

E 265

ELEKTROTECHNIKA



2-3

Felelős szerkesztő:

KELEMEN TIBOR

Szerkesztők:

BOROVSKY LÁSZLÓ
KARSAI KÁROLY
KERÉNYI DÉNES

Szerkesztőbizottság:

Dr. EISLER JÁNOS, elnök
BÁNÓCZY GYÖRGY
CSÁKI FRIGYES
FISCHER GYÖRGY
FRIGYES ANDOR
GREGOR ALADÁR
HARKÁNYI JÓZSEF
HORVÁTH TIBOR
Dr. MÁNDI ANDOR
RONKAY FERENC dr.
Dr. SZENDY KÁROLY
SZEPESI ENDRE
SZIRÁKI ZOLTÁN dr.
Dr. URBANEK JÁNOS

Felelős kiadó:

SOLT SÁNDOR

Kiadja a
Műszaki Könyvkiadó
Budapest V.
Bajcsy-Zsilinszky út 22
Telefon: 113—450

TARTALOM

LÉVÁRDI FERENC	Megnyitó	49
PAPP A. LÁSZLÓ	A tudományos kutatás szerepe a villamosenergiaiparban ...	51
IGNÁCZ PÁL	A VILLENKI 10 éves munkája	54
VAMOS TIBOR	A teherelosztás korszerű módszerei	59
CSÁKI FRIGYES	A változó szlip meghatározásának gyakorlati módszere turbogenerátorok aszinkron üzemiében	62
RONKAY FERENC	A VILLENKI-ben kifejlesztett kooperációs teljesítményszabályozó berendezés energetikai elvi kérdései	68
UZSOKY MIKLÓS	Kooperációs szabályozóberendezés transzfer paramétereinek megválasztása	73
VÖRÖS KÁROLY	A kooperációs teljesítményszabályozó elektronikus egységeinek tervezési szempontjai és pontossága	78
VAJDA GYÖRGY	Egységkapcsolású generátorok igénybevétele légköri túlfeszültségek hatására	81
BÁN GÁBOR	Kábeles csatlakozású alállomások légköri eredetű túlfeszültségek elleni védelme	89
BESZE JENŐ	Oltócsövek alkalmazásának néhány szempontja szabadvezetékek és berendezések védelmére	95
BENKŐ IMRE	Kis induktív áramok megszakítása	98
SZABÓ BAKOS RÓBERT	A visszaszökő feszültség jellemzőinek néhány kérdése a hazai hálózaton végzett mérések alapján	103
VAJTA MIKLÓS	A VILLENKI zuglói hálózati zárlati próbaállomása	110
PAULUSZ MIHÁLY	Újtípusú belsőtéri támszigetelők	114
PÁZMÁNDI LÁSZLÓ	Mérleg- és fázisszögrelék alkalmazása védelmi célokra	120
WEINGART FERENC	Szimmetrikus összetevő szűrők	128
BACH IVÁN	Kétfős földzáratok szelektív védelme	132

СОДЕРЖАНИЕ

Труды Электроэнергетического исследовательского института

ФЕРЕНЦ ЛЕВАРДИ	Вступительное слово	49
A. ЛАСЛО ПАП	Роль научно-исследовательской работы в электроэнергетической промышленности	51
ПАЛ ИГНАЦ	10 лет работы Электроэнергетического исследовательского института	54
ТИБОР ВАМОШ	Современные методы распределения нагрузки	59
ФРИДЕШ ЧАКИ	Практический метод определения переменного скольжения при асинхронном режиме работы турбогенераторов ...	62
ФЕРЕНЦ РОНКАИ	Энергетические теоретические вопросы устройства для регулирования кооперационной мощности, разработанного Электроэнергетическим исследовательским институтом	68
МИКЛОШ УЖОКИ	Выбор трансферных параметров кооперационного регулирующего устройства	73
КАРОЙ ВЕРЕШ	Принципы проектирования и точность электронных блоков регулятора кооперационной мощности	78
ДЬЕРДЬ ВАЙДА	Нагрузка генераторов от атмосферных перенапряжений	81
ГАБОР БАН	Защита от атмосферных перенапряжений подстанций с кабельным соединением	89
ЙЕНЭ БЕСЕ	Некоторые принципы применения разрядников для защиты воздушных линий и оборудования	95
ИМРЕ БЕНКŐ	Прерывание небольших индуктивных токов	98
РОБЕРТ САБО БАКОШ	Некоторые вопросы показателей обратного напряжения на основе данных измерений, проведенных на венгерских сетях	103
МИКЛОШ ВАЙТА	Испытательная станция короткого замыкания Электроэнергетического исследовательского института в Зугло (Будапешт)	110
МИХАЙ ПАУЛИОС	Новые опорные изоляторы закрытого типа	114
ЛАСЛО ПАЗМАНДИ	Использование для целей защиты балансных реле и реле фазового угла	120
ФЕРЕНЦ ВЕЙНГАРТ	Фильтры симметричных слагающих	128
ИВАН БАХ	Селективная защита двойных замыканий на землю	132

ELEKTROTECHNIKA

A MAGYAR ELEKTROTECHNIKAI EGYESÜLET
(A MŰSZAKI ÉS TERMÉSZETTUDOMÁNYI EGYESÜLETEK SZÖVETSÉGE TAGJA) HIVATALOS KÖZLÖNYE

Официальный орган Венгерского Электротехнического Союза — Official Organ of the Hungarian Electrotechnical Association — Organe officiel de l'Association Électrotechnique Hongroise — Organo ufficiale dell'Associazione Elettrotecnica Ungherese — Offizielles Organ des Ungarischen Elektrotechnischen Vereines

Szerkesztőség: V., Honvéd utca 22. Kiadja: a Műszaki Könyvkiadó, Budapest V., Bajcsy-Zsilinszky út 22.
Az Egyesület címe: V., Honvéd utca 22. Távbeszélő: 126—313

TÍZ ÉVES A VILLAMOS ENERGETIKAI KUTATÓ INTÉZET (VILLENKI)

A Magyar Elektrotechnikai Egyesület a Villamos Energetikai Kutató Intézettel karöltve az Intézet 10 éves fennállása alkalmából 1960. március 3—5-ig tudományos ülészakot rendezett. Lapunk az ülészakon elhangzott előadások egy részét ismerteti; egyes témák ismertetésére a későbbiekben kerül sor.

Az itt közölt cikkek képet adnak az Intézet munkájának módszereiről, jellegéről, és tájékoztatják a lap olvasóit néhány, az utóbbi időben végzett tudományos munka eredményéről.

Megnyitó

LÉVÁRDI FERENC

a nehézipari miniszter első helyettese

061.3.053.51

A Villamos Energetikai Kutató Intézet fennállásának 10 éves évfordulója alkalmából nem egészen érdektelen, ha röviden visszatekintünk általában a tudományos kutatás elmúlt tíz évére.

Mint ismeretes, a felszabadulás előtt szervezett, egy-egy iparágat átfogó és irányító tudományos kutató munkáról nem beszélhetünk. Egyes nagy vállalatoknak voltak kutató részlegei, amelyek kizárólag a fenntartó vállalatot érintő témákkal foglalkoztak. A felszabadulást követően, a háborús károk helyreállítása és a hatalom megszilárdítása után, már mint céltudatos kíváncsalom került előtérbe az ipar új szervezetének, egységes irányításának és további fejlesztésének kérdése.

A sok, kisebb-nagyobb magánvállalat államosítása megteremtette a centralizált iparirányítás alapjait, s az ipari minisztériumok mellett sorra alakultak az egész ipari szektorokat átfogó, egységes műszaki fejlesztési célokat szolgáló tervező és kutató intézetek.

Az elmúlt tíz év eredményei bizonyítják, hogy a tudományos kutató munkának ezek a központi szervei részben beváltották a hozzájuk fűzött reményeket. Ipari termelésünk volumene megháromszorozódott, több termékünk minősége elérte a világszínvonalat, amiben része van annak a 120 kutató intézetnek, amely ma az ipar műszaki fejlesztésének szolgálatában áll.

A kutató intézetek működését elsősorban az eredményesen lezárt témákon, illetve a gyakorlatba közvetlenül átvitt effektív eredményen kell és lehet lemérni. Nem hanyagolhatók el a távlatban alkalmazásra kerülő kutatási feladatok sem, ezeknek azonban reális alapokon kell nyugodniuk. Jelentős feladatot töltöttek be a kutató intézetek az általános műszaki kultúra növelése, és a magasabb képzettségű kutatógárda nevelése szempontjából is.

A tudományos kutatás jelentősége a technika fokozott mértékű előretörése következtében állandóan nő, az előttünk álló műszaki fejlesztési feladatok kutatás nélkül nem oldhatók meg. Ezért a Párt és a Kormány egyre nagyobb anyagi lehetőséget kíván a tudomány és kutatás rendelkezésére bocsátani.

A tudományos kutatás jelentőségének fokozódása ma világjelenség, és különösképpen a szocialista gazdasági rendszer fejlesztésének szükséges velejárója és jellemzője. Érdemes megemlíteni, hogy míg a legnagyobb kapitalista állam, az Egyesült Államok, évenként közel 4 milliárd dollárt, addig a legfejlettebb szocialista állam, a Szovjetunió — bár nemzeti jövedelme ma még alacsonyabb — ennél lényegesen többet áldoz tudományos kutatásra, 300 ezer fő kutatói létszáma mellett. Hazai lehetőségeink számarányainkhoz viszonyítva is jóval kisebbek.

Ezek az összehasonlító adatok egyértelműen meghatározzák hazai irányú feladatainkat. Mindenekelőtt azt, hogy a tudományos kutatásra fordítandó erőfeszítéseinket nem csökkenteni, hanem növelni kell, egyidejűleg azonban arra is intenek, hogy az ország szerény anyagi lehetőségeit figyelembe véve, a kutatásnak elsősorban az előttünk álló közvetlen megoldandó műszaki fejlesztési feladatokra kell irányulnia nagyobb méretekben, sőt messzemenően kell támaszkodnunk a külföldi, elsősorban a baráti országok már elért tudományos eredményeire.

A tudományos kutató munkában kívánatos eme törekvést célozza az a nagyszabású felmérő és irányító munka, amit a Tudományos és Felsőoktatási Tanács a távlati tudományos kutatási terv központi irányításának előkészítő munkálataival kezdett meg.

A kutatómunka fontossága, emellett említett szerény lehetőségeink azt követelik, hogy a rendelkezésre álló szellemi kapacitással és anyagi erővel a legcélszerűbben gazdálkodjunk. Erre a villamosenergiaiparban jelenleg az erők koncentrációja nyújtja a legtöbb lehetőséget. Így biztosítható, hogy a jól képzett kutatók kollektívája, a korszerű kutatáshoz szükséges berendezések birtokában rövid időn belül maximális eredményt érjen el. — Ilyen szempontból a központi intézmények létrehozása alapvetően helyes volt, s azok fenntartása a további időkre is célszerű. A központi kutató intézmények létrehozásának és fenntartásának célszerűségét igazolják — a Szovjetunió és a baráti országok példáján túl — éppen a villamosenergiaiparban felismerhető nyugati törekvések, amikor is a kapitalista módon államosított és összefogott szervezetek mellé központi kutató intézeteket hoztak létre.

Angliában a *Central Electricity Authority*, Franciaországban az *Electricité de France* kutatási és tanulmányi osztálya, Nyugatnémetországban a villamos áramszolgáltató vállalatok által közösen fenntartott *Studiengesellschaft für Höchstspannungsanlagen* és számos más országban működő, hasonló rendeltetésű intézet hasonló a mi Villamos Energetikai Kutató Intézetünkhöz.

A tapasztalat azt bizonyítja, hogy a nagyobb elméleti tudással rendelkező, gyakorlati szakemberek nevelése egyik célravezető útja-módja a laboratóriumi munka, a műszerezési-mérési feladatokban való teljes jártasság. Nagyobb erőműveink, vidéki elosztóvállalataink az idők folyamán kiépítették a maguk üzemi laboratóriumait, amit lényegében helyeselni lehet, annál is inkább, mert ez elősegítette saját műszaki apparátusuk műszaki fejlődését és helyi problémáik megoldását. Az iparág központi jellegét figyelembevéve azonban a fő feladatok a Villamos Energetikai Kutató Intézetre várnak.

Iparunk fejlődésének jelenlegi szakaszában felmerülnek bizonyos szervezeti problémák, általánosan is, nemcsak a villamosenergiaipar vonatkozásában, amelyekkel számolnunk kell. Így

többek között az, hogy milyen legyen a tudományos kutatás szervezete, hogyan növelhetjük annak hajtóerőit és hogyan küszöbölhetjük ki annak fékjeit.

A tudományos kutatás szervezeteire vonatkozó kérdésre a villamosenergiaiparban az előbbiek választ adnak. Helyesnek látszik a felvázolt kétféle: egyfelől a decentralizált üzemi laboratóriumok rendszere, amely a műszaki fejlesztés helyi feladatait oldja meg, és egyben a káderek továbbnevelésére is alkalmas, másfelől feltétlenül szükség van az iparági kutató intézetre, mely az általánosan jelentkező nagyobb feladatokat oldja meg, ezen túlmenően segíti és összehangolja az üzemi kutató munkát.

A szervezeten belül a kutató intézeteknek törekedniük kell a kitűzött feladatok fontossági sorrendben való mielőbbi kidolgozására és azok használatba vételére. Szorosabbá kell tenni az együttműködést nemcsak az egyes érintkező profilú kutató intézetek, hanem a tervező és kivitelező szervezetek között is.

Ami a tudományos kutatás hajtóerőinek növelését illeti, javasolható, hogy a kutató intézetek az általuk kidolgozott kutatási zárójelentések üzemi megvalósítása során elért gazdasági eredményből részesüljenek. Ennek előfeltétele azonban az, hogy a kutató intézetek — az eddigi gyakorlattól eltérően — a javasolt műszaki megoldás gazdaságossági vizsgálatával is részletesen foglalkozzanak.

Előtérbe került tehát, mint egyik fő kérdés: a jelenlegi kétszintű műszaki fejlesztésben a tudományos kutatás és a gyakorlati élet kapcsolata, tehát együttműködés a két szint között.

A VILLENKI alapján véve jól oldotta meg ezt a feladatot. A témáknak már a kidolgozás közben történő bírálata az Intézet tanácsadói bizottsága által, amelybe bevonják a minisztérium, a tervező intézetek, a Műszaki Egyetem s az üzemek legjobb szakembereit, biztosítja azt, hogy a témák kiválasztása és célkitűzése, valamint megoldási módja a gyakorlati igényeknek megfeleljen. Másik eszköze az együttműködésnek a nagyszámú hálózati kísérlet. Ezeket a jövőben is szorgalmazni kell, mert közös munkára nevelik a kutatót és az üzemi embert, emellett mindegyik tanul a másiktól. Minél magasabb színvonalú az erőművekben és a vidéki áramszolgáltató vállalatoknál folyó műszaki munka, annál jobb társra talál a kutató intézet, annál szorosabb lesz a kapcsolat.

A villamosenergiaipar területén történő tudományos kooperáció jelentősége nagyban fokozódik azáltal, hogy a szocialista országok a közeljövőben az energiatermelés területén szoros kapcsolatba lépnek, sőt a kölcsönös együttműködés oldja meg az energiabázis problémáit is. Ezért különös jelentősége van a Villamos Energetikai Kutató Intézet már eddig is végzett munkásságának az energia kooperáció számítási, szabályozási, védelmi és egyéb műszaki feladatainak előkészítésében. A minisztérium feladatának tekinti, hogy ezt a műszaki

tudományos együttműködést a jövőben tovább segítse és szorgalmazza. Ahhoz, hogy ebben a nemzetközi együttműködésben tudományos téren is megfelelően részt tudjunk venni, olyan kutatási bázisra van szükség, amely képes sajátos hazai problémákat megoldani, s amely alkalmas arra, hogy a külföldi eredményeket a hazai viszonyokra átültesse.

Ezt felismerve a Nehézipari Minisztérium messzeemenően támogatta a Villamos Energetikai Kutató Intézetet abban a törekvésében, hogy korszerű laboratóriumokat létesítsen a nagyteljesítményű zárlati jelenségek és nagyfeszültségű szigetelésekkel kapcsolatos kérdések vizsgálatára, mivel ezek a kérdések mind az üzemvitel, mind a készülékek biztonsága szempontjából rendkívül nagy jelentőségűek. Az ezirányú kutatások fontos szerepét egy példával szeretném illusztrálni. Az elmúlt évben rendkívül súlyos nehézségeket okozott számunkra az, hogy a Borsodi Hőerőműben a közeli Nitrogénműtrágyagyár által kibocsátott szennyezés hatására a szigetelők átíveltek, aminek következtében nemcsak a Borsodi Hőerőmű esett ki számos alkalommal az energiaszolgáltatásból, hanem közvetve az egész együttműködő energiarendszer is szétesett. Az ilyen üzemzavarok milliós nagyságrendű károkkal járnak, elkerülésükre tehát mindent meg kell tennünk. A Villamos Energetikai Kutató Intézet a szigetelők átívelés elleni védelmét megoldotta, úgyhogy a jelenlegi téli kódos évadban eddig emiatt egyetlen üzemzavar sem következett be.

A korszerű műszaki és tudományos módszerek alkalmazása az energiarendszerekben különösen kifizetődő, mivel koncentrált irányítású, rend-

kívül bonyolult technológiai folyamatokról van szó és viszonylag kis százalékos megtakarítások is évi többmillió forintos eredményeket jelenthetnek. Ezért kell külön kiemelni azt a törekvést, hogy villamosenergia-rendszerben eddig egyáltalán nem, vagy csak durva közelítéssel végzett számításokat az Intézet különböző analóg és digitális számító-eljárásokkal végez. Az Intézetben építették Európa kilencedik hálózati modelljét még 1953-ban, amely egyben ma is az ország első és legnagyobb analóg számológépe. Ez a modell ma az energiarendszer üzemeltetésének és fejlesztésének nélkülözhetetlen eszköze, amely nemcsak Magyarország számára volt jelentős, hanem segítséget nyújtott Csehszlovákiának és Jugoszláviának is. A hálózati gazdaságos teherelosztás számítására készülő analóg számológép, továbbá a különböző energetikai műszaki problémák digitális számológépre történő feldolgozása mutatják, hogy az Intézet tovább folytatja ezt a rendkívül fontos munkát. Nem kétséges, hogy a jövőben külföldi energiarendszerekhez hasonlóan a magyar villamosenergia-rendszer számára is biztosítani kell azt a nagyteljesítményű számolóapparátust, amely a külföldi adatok szerint sokszor néhány hónap alatt, de legfeljebb 1—2 év alatt megtéríti költségeit.

A Kutató Intézet a most kezdődő tudományos ülészakon az Intézet néhány, az utóbbi időben elért eredményéről kívánja a műszaki közvéleményt tájékoztatni. Ezek az előadások képet adnak az Intézetben folyó munka jellegéről és módszereiről. Reméljük, hogy ezek az előadások is hozzájárulnak a magyar villamosenergia-rendszer műszaki fejlesztéséhez és a műszaki kultúra színvonalának emeléséhez.

A tudományos kutatás szerepe a villamosenergia fejlesztés és elosztás területén

PAPP A. LÁSZLÓ

a műszaki tudományok kandidátusa, iparigazgató

621.312.001.6

Ezen rövid előadás keretében nem kívánom részletesen elemezni, értékelni (dícsérni és bírálni) a Villamos Energetikai Kutató Intézet eddigi szerepét és munkáját. Úgy gondolom, hogy ezt a feladatot az Intézet igazgatója hivatott elvégezni. Mindössze néhány főbb szempontot és feladatot szeretnék kiemelni ahhoz, hogy a villamosenergia-ipari villamos kutatás egy-két területének jelentőségét röviden megvilágítsam.

Ismeretes, hogy a felszabadulás után erős ütemben meginduló szocialista iparosítás minden iparág területén, így a villamosenergiaiparág területén is szükségessé tette kutató intézetek létrehozását. Ezáltal a tudományos kutatásnak a szocialista népgazdaság fejlesztésében elfoglalt szerepe és jelentősége kézzelfogható elismerést nyert és megteremtődtek a tudományos kutatás terén folytatható széleskörű alkotó munka lehetőségei és alapfeltételei. Az Intézetek munkájának jó megszer-

vezésén, a rendelkezésre álló szellemi és anyagi kapacitások ésszerű, tehát a legjobb hatásokra törekvő hasznosításán múlik az, hogy ezeket a lehetőségeket mennyire tudjuk a reánk háruló feladatok megoldására az eddiginél jobban gyümölcsöztetni.

A mi iparágunk, a villamosenergia iparág kutató intézetének feladata a többi kutató intézetekhez képest sajátos. A villamosenergiaiparág feladata, hogy a fogyasztók igényeit minél üzembiztosabban, minél jobb műszaki és gazdasági mutatók mellett elégítse ki. A kutatás igényei is ezen alapvető feladatokhoz igazodnak. Ennek megfelelően a követelményeket a következők szerint rendezhetjük:

A kutatás célja egyrészt az üzemfolytonosság biztosítása, illetőleg az üzembiztonság növelése, másrészt a műszaki és a gazdasági mutatók javítása.

Az üzemfolytonosság biztosítására, illetőleg az üzembiztonság növelésére vonatkozó feladatok ugyancsak két részre oszthatók: egyrészt az üzemzavar megelőzésével kapcsolatos feladatokra, másrészt pedig az üzemzavar elhárításával, illetve kiterjedésének korlátozásával kapcsolatos feladatokra. Az üzemzavar megelőzésének első követelménye annak biztosítása, hogy a hiba lehetőleg fel se lépjen, illetve, hogy bekövetkezésének valószínűsége mindinkább csökkenjen. Ennek alapfeltétele, hogy az iparág a gyártó ipartól jó készülékeket kapjon. A kutató intézet feladata e téren a gyártó ipar termékeinek magasabbfokú ellenőrzése és a gyártás bizonyos fokú irányítása, segítése, főleg az üzemi követelmények jobb specifikálása, azok elméleti és kísérleti kutatások útján történő megbízható, tehát tudományos meghatározása és korszerűsítése, fejlesztése révén.

Az üzembiztonság növeléséhez tartozik annak biztosítása is, hogy valamely bekövetkezett hiba ne okozzon kiterjedt üzemzavart, illetve hogy valamely hiba káros kihatásait mindinkább csökkentjük, vagy — hacsak lehet — megszüntessük. E téren a kutató intézet feladata a zárlatvédelmi, ill. relévédelmi megoldások és készülékek, a különböző rendeltetésű hálózati (zárlatkorlátozó, tartalékátkapcsoló, leterhelő stb.) automatikák, valamint a túlfeszültségvédelmi elvek és készülékek fejlesztése.

A már bekövetkezett üzemzavarok elhárításának meggyorsítására vonatkozóan is lehet a kutatásnak feladata. Mégpedig az, hogy korszerű és biztos hibahelykereső készülékeket fejlesszen ki, megfelelő hírszolgálati, illetve távközlő, távjelző és esetleg távműködtető berendezéseket dolgozzon ki és a meglevők tökéletesítését segítse elő.

A műszaki és gazdasági mutatók javításának kérdése ugyan igen nagy részben tervezési és üzemeltetési kérdés, mégis jelentős szerepet tölthet be — és kell is, hogy betöltsön — e téren is a kutató intézet, a tudományos kutató munka, mivel az egész országos erőmű- és hálózatrendszert, tehát a villamosenergia rendszert tekintve, felmerülnek olyan problémák, amelyeknek megoldása sokoldalú és igen kiterjedt, sőt bonyolult elméleti és kísérleti kutatómunkát, modell-, ill. számológép vizsgálatokat igényel.

A VILLENKI eddigi 10 évének munkái is szükségszerűen magukon viselték ezen sajátos kutatómunka jellegét. Az Intézet kifejlesztett több új műszaki berendezést, azonban nemcsak ez volt tevékenységének kizárólagos területe, hanem a már említett sajátosságoknak megfelelően, számos irányelv jellegű eredményt adó kutatási munkát is végzett. Ezek az eredmények elősegítették az országos energiaellátás üzembiztonságának és — részben — műszaki-gazdasági mutatóinak is a javítását. Ezen eredmények részletes ismertetését — mint már bevezetőmben említettem — nem tartom célszerűnek elvégezni, mégis megemlítem az új műszaki berendezések közül a hálózati kismintát, amely az iparágban ma már nélkülözhetet-

len segédeszköze, mind a távlati tervezésben, mind az üzemvitelben. Igen fontosak azok a mérések, amelyeket a hálózati kismintán az országos hálózat legmegfelelőbb hálózatképeinek kialakítására végeztek, amelyek az országos hálózat csomópontjainak zárlati teljesítményeit állapították meg, amelyek a külföldi kooperációk létesítéséhez szükséges egyes műszaki feltételeket tisztázták és amelyek a gazdaságos teherelosztás helyes megvalósítását támasztották alá. Jelentős új műszaki eredménye volt az Intézetnek az oltócsövek kifejlesztése, valamint a gyorsrágerjesztő berendezés, és egyéb automatikák kidolgozása is.

Az Intézet különösen megindulási időszakában, amikor még egyáltalán nem voltak komolyabb saját kutatási eszközei, nagyrésztben tanulmányi jellegű munkát végzett. Ezekkel a tanulmányokkal nagy, hazailag még nem eléggé ismert területeket dolgozott fel, mint pl. a zárlatvédelem, a zárlatkorlátozás, a zárlatra való méretezés irányelvei; a túlfeszültségvédelmi és koordinációs irányelvek; a földelések problémái; zuzmaravédelem, érintésvédelem stb.

A kifejezetten villamosenergiaipari kutatómunka mellett az Intézet az iparágon kívüli villamosenergetikai kutatási igények kielégítésére is jelentős segítséget nyújtott, a lehetőségeknek megfelelően. Foglalkozott a különféle iparágak villamosenergia gazdálkodási és érintésvédelmi kérdéseivel is.

A villamosenergiaipar előtt a második és a további öt éves tervek folyamán a várható energiaigények kielégítése terén igen nagy feladatok állnak.

Az iparágban számolnia kell azzal, hogy az ország villamosenergia igénye 10 évenként megkétszereződik, ennek megfelelően kell az erőműrendszer teljesítőképességét bővíteni és a teljesítmény elosztásához szükséges országos-, közép- és kisméretű elosztóhálózatot kiépíteni. Ezenkívül, mint ismeretes, egyrészt a villamosenergia-rendszerek összekötéséből adódó előnyök kihasználása, másrészt energiahiányunk enyhítésére több külföldi villamosenergia-rendszerrel kooperációs kapcsolatot fogunk kiépíteni. Így többek között párhuzamos üzemét kívánunk megvalósítani a jelenlegi csehszlovák kapcsolaton kívül a Szovjetunió nyugat-ukrajnai energiarendszerével, a román energiarendszerrel s későbbi perspektívában valószínűleg — ha a kutatási eredmények is segítik a megoldás meggyorsítását — az osztrák és a jugoszláv energiarendszerrel is. (Ez utóbbival ugyanis jelenleg szabályozástechnikai problémák miatt sugaras üzem szerint vagyunk összekötésben.) Ezen feladat megoldásában a tudományos kutatás vonalán a VILLENKI-nek megvan a maga fontos szerepe. Meg kell oldania a nemzetközi kooperáció kiszélesítésével kapcsolatos műszaki — tudományos feladatokat, ezzel egyidejűleg pedig jól megszervezett kutatómunkával hathatósan elő kell segítenie a villamosenergiaipar műszaki színvonalának emeléséhez, tehát villamosenergia-rend-

szerünk vonatkozó műszaki-gazdasági mutatóinak állandó javításához szükséges alapfeltételek kidolgozását.

Anélkül, hogy ezen elvi feladatokat most részletesen elemezném, egy-két fontosabb megoldandó kérdésre szeretnék rámutatni.

A nemzetközi kooperációnak — amint azt az előbbiekben vázoltam — a második öt éves tervben és a további évek folyamán sokoldalú megerősödése bontakozik ki. A magyar energiarendszer a fentebb vázolt, és részben a meglévő kapcsolatokon túlmenően a csehszlovák rendszeren keresztül a Német Demokratikus Köztársaság és a Lengyel Népköztársaság energia-rendszereivel, továbbá lehetséges, hogy Ausztrián keresztül a nyugat-európai energia-rendszerrel is kooperációba fog kerülni. Ennek megfelelően ki kell dolgozni ezen bonyolult kooperáció megvalósításának összes műszaki feltételeit, a hálózati rendszerek illesztését, védelmi, teherelosztási és meddőteljesítmény elosztási problémákat, a sokféle szabályozástechnikai problémát, köztük a kooperációs csereteljesítmény menetrendi értéken tartását, illetve a nemzetközi kooperáció előnyeinek teljes kihasználását lehetővé tevő szabályozó berendezést stb.

Ez utóbbi feladat megoldásához az Intézet jelentős segítséget kaphat a már megindult együttműködés még jobb megszervezése által a baráti országok e kérdéssel foglalkozó szakembereitől és intézeteitől. Erre a KGST keretében e vonatkozásban megkezdett munka messzemenő lehetőségeket nyújt.

Az említetteken kívül a nemzetközi kooperáció a zárlati teljesítmények ugrásszerű növekedéséhez is vezet, amelyet az új erőművek egységteljesítményének és a hálózat hurkoltságának növekedése is elősegít. A zárlati teljesítmények növekedésével kapcsolatos problémák külön hangsúlyt adnak annak a munkának, amelyet az Intézet végez a zuglói hálózati zárlati próbaállomással kapcsolatban.

A berendezés tervezése meglehetősen szerény elgondolások alapján indult, hiszen az eredeti célkitűzés kettős transzformátoros kiépítéssel 400 MVA próbalehetőség biztosítása volt. A beruházás jelenlegi állásában ezt az Intézet javaslatára már megemeltük, és most egy transzformátorral 600 MVA biztosítását írtuk elő a beruházási programban az elmúlt év elején. A zárlati problémák növekedése azonban olyan gyorsütemű, hogy megítélsem szerint már most kell gondoskodnunk arról, hogy a második öt éves terv során a próbák lehetőségének bővítésével foglalkozzunk. Ezért szükségesnek tartom, hogy az Intézet ezt a kérdést vizsgálja meg, és egy második transzformátorral való bővítésre, valamint az első kiépítésű berendezés szabta lehetőségek maximális kihasználására szükséges kiegészítések létesítésére vonatkozó, de építkezést már nem igénylő ésszerű javaslatokat dolgozzon ki. A második transzformátor beépítésével ugyanis lehetővé válnék a középfeszültségű próbák határát 1000 MVA fölé emelni, ami 35 kV-on

ma már feltétlenül szükséges követelménynek tekinthető. Szükséges lenne ezen felül a berendezésben lehetővé tenni a legutóbbi időben egyre nagyobb tért hódító terhelés-szakaszoló próbáit is, mivel ezekre a készülékekre az iparágban égető szüksége van.

Sok munka vár az intézetre a hálózati, zárlati próbaállomásban és a nagyfeszültségű laboratóriumban elvégzendő mérések helyes módszerének megállapítása terén is. Elméleti és kísérleti kutatást igényel a legcélszerűbb mérőkapcsolások és mérőműszerek megválasztása, mivel ezek birtokában tudunk csak rátérni a próbaállomásokon a villamosenergiaipar által felhasznált gépek, készülékek stb. üzemi viselkedésének tanulmányozására, a velük szemben támasztandó követelmények megalkotására, tudományos meghatározására. Ez a munka végeredményben elősegítené azt, hogy a hálózati hibák ritkábban és kisebb mértékben lépjenek fel.

A műszaki színvonal emelésével kapcsolatban a nemzetközi kooperáció már említett bővülése, valamint az új nagyteljesítményű géptípusok bevezetése következtében felül kell vizsgálni a rendszerben dolgozó generátorok feszültség-szabályozását, illetve — és véleményem szerint ez a helyesebb kifejezés — gerjesztésszabályozását, különös tekintettel a folyamatosan működő, holtáv nélküli szabályozókra.

Alapos, sokoldalú és célratoró munkával el kell háritani minden akadályt a korszerű gerjesztésszabályozás legteljesebb hazai bevezetése elől. Azaz ki kell dolgozni ezek alkalmazásának feltételeit, és be kell tudni bizonyítani ezen feltételek szükséges — és főleg elégséges — voltát a megvalósítást és annak lehetőségét illetően (többek között a gyártó cégeknek is).

A korszerű színvonalon álló külföldi energia-rendszerekkel való lépéstartás továbbá azt is megköveteli, hogy mi is rátérjünk az analóg és digitális számítógépek alkalmazására és a hálózati kisminták termelékenységének, alkalmazhatóságának nagyfokú növelésére és kiszélesítésére.

Bizonyára a hallgatóság közül többek előtt ismeretes (ennek ellenére szükségesnek tartom kihangsúlyozni), hogy külföldön (elsősorban a Szovjetunióban) a váltakozóáramú hálózati kismintamérések teljes automatizálásának megvalósítása (beleértve a terhelési elemek szabályozását és utánállítását is) a szó szoros értelmében a küszöbön áll, illetve éppen azon halad át. Ugyanis ez évben valószínűleg üzembe kerül az első ilyen hálózati kisminta. A mi modellünk 50 periódusú lévén, ilyen szempontból bizonyos vonatkozásban külön is előnyös kivitelű.

El kell készíteni a közeljövőben többek között a gazdaságos teherelosztást számító és irányító gép laboratóriumi példányát. Ehhez — véleményem szerint — szintén jelentős segítséget nyújthat a Szovjetunióban e téren elért néhány újabb eredmény és megoldás dokumentációs anyaga. Ezt az anyagot a legközelebbi hetekben már az Intézet

számára tanulmányozás és felhasználás céljából hozzáférhetővé tudjuk tenni.

Programokat kell kidolgozni a hasznos és meddő teherelosztási, zárlati és stabilitási vizsgálatokra. Ez utóbbiak nagy időigénye elsősorban a dinamikus stabilitás vizsgálatok tekintetében különösen kívánatosá teszi a modell termelékenységének előbb említett növelését.

Ez utóbbi feladatok megoldása tekintetében a VILLENKI véleményem szerint rendelkezik olyan lehetőségekkel — elsősorban szellemi kapacitás és a már eddig e téren végzett munka alapján — amelyek reményt nyújtanak arra, hogy e téren hamarosan „kézzelfogható” eredményekkel ismerkedhessünk meg.

Mint említettem, nem célo, hogy részletes tématervet adjak most az Intézetnek. Ehelyett szeretnék rámutatni a feladatok megoldási módjával kapcsolatban egy-két olyan körülményre, melynek figyelembevétele igen fontos. Az Intézetnek a feladatok megoldása tekintetében a legfontosabb és legsürgősebb témák kidolgozására kell koncentrálnia erőit. E témákat az Intézetnek az Iparigazgatósággal együtt a soron levő legfontosabb feladatok figyelembevételével kell kiválogatnia. Ily módon lehet elérni azt, hogy az Intézet valóban jelentős mértékben alátámassza a villamosenergiaipar tevékenységét. Ennek érdekében ki kell használni az összes adódó lehetőségeket.

Igy fokozottabb együttműködést kell kiépíteni a külföldi kutató intézetekkel, hogy olyan témák kutatására, amelyeket a baráti államok intézetei már megoldottak, idehaza ne fecséreljünk energiát. Profilmegosztást kell elérnünk a külföldi kutató intézetekkel, hazailag 3—4 fő téma részletes kidolgozását kell vállalni, illetve tervbe venni, ezekben azonban olyan mélységig kell elmenni, hogy ezeken a területeken nemzetközi színvonalon is kiemelkedő eredményeket tudjunk elérni.

Ugyancsak fokozottabb kapcsolatot kell kiépíteni az iparág vállalataival és üzemivel is. El kell kerülni azt, hogy több helyen párhuzamosan, kellő

összehangoltság nélkül folyjanak azonos vagy hasonló irányú munkálatok, és ügyelni kell arra is, hogy az Intézet ne csak önmagában műszakilag kifogástalan megoldásokat hozzon létre, hanem ezek alkalmazkodjanak, tehát illeszthetők legyenek az erőmű és elosztóvállalatok meglévő műszaki adottságaihoz is. Fokozottabb tevékenységet kell kifejteni az Intézetnek a szabványalkotás területén is, hogy az Intézet fejlett műszaki eljárásai ezen az úton is minél szélesebb körben terjedjenek.

Tovább kell javítani és minél gyümölcsözőbbé tenni a gyártóipar kutató intézeteivel, szakembereivel — s lehetőleg üzemivel is — az együttműködést, annak érdekében, hogy a gyártóipar a felhasználás követelményeit mind jobban kielégítő berendezésekkel tudja népgazdaságunk fejlődését elősegíteni.

Az előbbieken vázolt célok elérésére az Intézeti tématerv készítésében is bizonyos változtatást lesz célszerű eszközölni, nevezetesen *rá kell térni a távlati tématervek készítésének módszerére* és az egyes évi tématerveknek ehhez igazodó, részletterveknek kell lenniük.

A Párt VII. kongresszusán elhangzottak tanulmányai arra mutatnak, hogy az eddiginél sokkal nagyobb gondot kell fordítanunk a műszaki fejlesztésre és az ipar tekintetében minőségi változást kell előidézni. E programnak a villamosenergiaiparra tartozó része nagy lehetőségeket biztosít, de egyben komoly kötelességet is jelent az Intézet részére.

Az eddigi 10 év során elért eredményekhez a VILLENKI összes dolgozóinak, különösen pedig azoknak, akik kezdettől fogva részt vettek az Intézet munkájában, melegen gratulálok.

Kívánom, hogy az elmúlt 10 év sok és gazdag tapasztalata alapján az elkövetkezendő 10 évben és a további években az Intézet még nagyobb mértékben járulhasson hozzá a villamosenergiaipar műszaki színvonalának fejlesztéséhez, ahhoz, hogy e téren is elérhessük az iparilag fejlett államokat. Ehhez kívánok mindnyájunknak sok sikert.

A VILLENKI tíz éves munkája

IGNÁCZ PÁL

Kossuth-díjas, a műszaki tudományok doktora
intézeti igazgató

061.6"1950/1960" „VILLENKI"

1949-ben a Párt és a kormányzat igen nagyvonalú elhatározást hajtott végre: a műszaki fejlesztés és a műszaki tudományok színvonalas művelése érdekében egy sor ipari kutató intézetet létesített olyan területeken, amelyeken eddig gyakorlatilag nem volt kutatás.

Ennek a keretében keletkezett a villamosenergia iparág elektrotechnikai kérdésekkel foglalkozó intézete, a mai Villamos Energetikai Kutató Intézet.

Alig valamivel előbb, 1948-ban államosítottuk a villamosenergia-szolgáltató vállalatokat. A régi Magyarország nem építette ki az együttműködő erőművek rendszerét, az országos nagyfeszültségű

hálózatot. Néhány kis erőművön kívül Kelenföld, Bánhida és Tatabánya, valamint az elkezdett Mát-ra létezett még csak.

Középfeszültségű és elosztóhálózataink is egymástól független, különböző vállalatokhoz tartozó és különböző elvek szerint épült részekből állottak. A nagy kapitalista államok már régen rájöttek arra, hogy a villamosenergia előállítását és szétosztását — a maguk módján — állami és egységes kezelésre kell bízni. A mi akkori fejlettségi fokunk még alig nyújtott valami műszaki alapot ehhez, amikor elindultunk, de a következő években az egységes tervezés és irányítás rendkívül hasznos volt,

lényegesen meggyorsította a kiépülés ütemét és műszaki színvonalát. Azóta a Magyarországon beépített erőművi teljesítmény 2-szeresére, a nagyfeszültségű távvezetékek hossza 12-szeresére, és az évenként fejlesztett energia értéke 3 1/3-szorosára emelkedett hazánkban.

Ennek a gyors fejlődésnek a műszaki feltételeit kellett biztosítani és ebben működött közre az elvek kidolgozása, a kutatás, az alapvető mérések elvégzése és a műszaki fejlesztés számos feladata tekintetében a *VILLENKI*.

Abban a régebbi időben, amikor még csak egy-két különállóan dolgozó erőművünk volt, hálózatrészeink elszigetelten működtek és javarészt közepfeszültségű vezetékekből állottak, a műszaki igények a kooperáció, a gazdaságosság, az üzemi biztonság vonatkozásában nem voltak összehasonlíthatók azokkal, amelyek az államosítás után mint új követelmények léptek fel. Ezekkel a problémákkal kapcsolatosan alig volt saját tapasztalatunk. Ezen a területen átfogó jellegű kutatás mondhatni nem folyt eddig, relék, zárlatvédelmek Magyarországon még nem készültek, tudásunk sok témakörben nem terjedt túl a katalógusismereteken, amelyek nem alkalmasak arra, hogy a fizikai-műszaki összefüggésekbe mélyebb betekintést engedjenek meg.

A nagy és új problémák megoldásához viszonylag kisszámú, de igen kitűnő felkészültségű és tehetségű régebbi szakember állt rendelkezésre. De éppen mert kevesen voltak, maga az ipar tartott igényt rájuk, a közvetlenül előtte álló, napi feladatok elvégzéséhez.

Ez volt egyik legfőbb oka annak, hogy a keletkező intézet — eltérően más iparágak intézeteitől — nem kaphatott közvetlen segítséget szakemberek átengedése révén. Ez volt az oka annak, hogy az intézet — amely eleinte egy vezetőből és egy adminisztrátorból állt csupán — mint „Villamosítási Kutatási Bizottság” kezdett működni és szervezeti formája csak fokozatosan alakult át olyanná, amilyen ma.

Nagyon homályos volt a felülről jövő elképzelés és tanács, hogy az ipar szakértőinek bevonásával hogyan dolgozzunk ki kutatási témákat. De az élet és a leszűrt tapasztalatok évről évre formálták

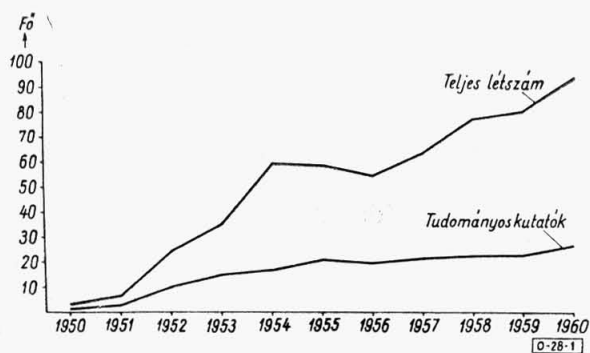
és érlelték a munkát. Nem volt könnyű a feladat, mert különösen az első esztendőkből, az indulásnál az ipar azonnal megválaszolandó kérdéseket tett fel, amelyek azonban évekre előre szóló döntéseket igényeltek és nagy volt a gazdasági kihatásuk. Viszont az intézetnek sokáig kis létszámú és fiatal volt a saját személyzete és kutató eszközökkel nem rendelkezett. Párhuzamosan kellett kutatókat nevelni és a kísérleti berendezéseket kifejleszteni.

Éppen ez utóbbi vonatkozásban adott rendkívül értékes segítséget a külső munkatársaknak az a szűkebbkörű tanácsadó testülete, amelyet ma is — üléseinek rendszeres, állandó napjáról — „Csütörtöki bizottság”-nak nevezünk. Az iparág legjobb szakembereiből szerveződött meg az ez együttes az intézet körül. Akkor, amikor még jóformán minden probléma új volt és oly sokat kellett nekünk idősebbeknek és tapasztaltabbaknak is megtanulnunk — amikor például sem a zárlatvédelemnek, sem a túlfeszültségvédelemnek nem volt még valóban szakértője —, akkor összeadtuk a tudásunkat és szemináriumszerű, részletekbe menő vitákban, sokoldalú megvilágításban tisztáztuk a fogalmakat. Ez az eljárás a mai napig fennmaradt.

Az élet megmutatta, hogy kutatási témák kidolgozását általában nem várhatjuk külső munkatársaktól. Csakis állandó személyzet dolgozhat ki elmélyülten — előzetes irodalmi búvárkodásra és később saját mérésekre támaszkodva, esetleg különleges kísérleti eszközöket kifejlesztve — kutatási témákat. De a helyes célkitűzések rögzítése, a munkaközbeni tanácsadás és annak utólagos kritikája, a gyakorlat szempontjainak állandó érvényesítése — mindez kitűnő módszer volt arra, hogy fiatal mérnököket rövid idő alatt jó kutatókká neveljünk, hogy maguk a bizottság tagjai nézeteiket és tapasztalataikat vitaközvetítő kicseréljék és egymástól is tanuljanak, hogy az iparágban olyan, kollektív munkában összeforrott tanácsadó testülete alakuljon ki, amely táglatókörű és egyben minden területen speciális tudással is rendelkezik. Ez a bizottsági forma természetesen megengedte, hogy az állandó tagokon kívül esetenként a gyártóipar vagy a saját iparág érdekelt üzemi és tervező szakembereit is bevonjuk a megbeszélésekbe, hogy mindenoldali tájékoztatást kapjunk és eredményeinket — sokszor már rész-eredményeinket, menet közben — az iparral való élénk és közvetlen kapcsolataink útján a gyakorlatnak átadjuk.

Rengeteg új felismerés és gondolat született meg és — hogy úgy mondjam: szivárgott ki — ilyen módon az intézetből. Ezek az egész erőssáramú területen megtermékenyítőleg hatottak és sokszor másutt realizálódtak anélkül, hogy eredetük ki lett volna hangsúlyozva. De ez nem baj, mert hiszen a népgazdaság nyert ezáltal és végső fokon ez az igazi cél.

Az intézet az első években a „Csütörtöki bizottság”-on kívül még sok más, egyes speciális témák megvitatására alakított bizottság munkájára támaszkodott. Ezek az idő folyamán nélkülözhetőkké



1. ábra. Az adatok minden év január 1-re vonatkoznak

váltak olyan mértékben, ahogyan a tervezőintézetek és vállalatok közben megszerveződtek és egyes feladatokat átvehettek tőlünk. Ezáltal tisztult, egyöntetűbbé vált az intézet profilja. Lehetséges, hogy ma már fölösleges kitérőnek tűnik olyan területeken való munkálkodásunk, mint például a villamosenergiának az ipar különböző szektoraiban való gazdaságos felhasználása, vagy a mezőgazdaság villamosítása, de a maguk idejében, addig amíg az arra hivatott szervnek a munkát átadtuk, talán hasznos kezdeményezések voltak ezek is.

Erőinket azonban mindenkor a villamosenergia iparág fő problémáira koncentráltuk. Munkánk egyik jellegzetessége volt az, hogy — habár gyakran nagyon sokirányú igényt támasztanak az intézettel szemben — súlypontképzéssel mindig ki tudtunk ragadni néhány legfontosabb témát.

Alapvető elgondolásunk volt, hogy a szocialista fejlődés kezdeti időszakában az iparnak gyors eredményekre van szüksége és habár egy kutató intézet fő feladata, hogy a majd felmerülő szükségleteket jóval előbb lássa és munkájával a jövőt formálja, ebben az időszakban a perspektív témákkal való foglalkozást „meg kell vásárolnia” azáltal, hogy a távlati témák kidolgozásával párhuzamosan folyó fejlesztő munkájával elsősorban mindent pótol, amiben elmaradtak vagyunk és amit sürgősen meg kell oldanunk.

Igy például első eredményeink egyike volt a *nagyfeszültségű állomások és távvezetékek földelési rendszerének kidolgozása*. A problémát az együttműködő hálózat kiépítésének terve és a nagy hálózat — régebben kompenzált — csillagpontjának földelése vetette fel. Vizsgálataink, amelyeket valóságos földeléseken végzett mérésekre alapítottunk és amelyek eredményeit számos vitában tisztáztuk, abban az időben még a külfölddel összehasonlítva is új megfontolásokra vezettek, amelyek egyik első könyvünkben nyertek formát [2] és azóta a szabványokon keresztül a mindennapos gyakorlatba mentek át.

Mindjárt itt szeretném megemlíteni: kezdettől fogva az volt az elvünk, hogy a valóságtól minél kisebb mértékben távolodjunk el. Ezért szorgalmaztuk mindig az üzemi kísérleteket és méréseket az 1 : 1 arányú modelleken. Bármilyen körülményben is végezzük a számításainkat vagy vizsgálatainkat kiragadott kismintákon, mindig lehetséges, hogy leegyszerűsítéseink olyanok, amelyek mégis komoly befolyással vannak az eredményre, amelyeket elhanyagoltunk, vagy amelyekről elfeledtünk. Ezért csak a tényleges berendezési tárgyakon és az üzemi körülmények között végzett mérések adhatják meg az elmélet teljes igazolását és a valóság leírását.

Ez az elv vezetett bennünket, amikor az *előfeszített vasbetonból való távvezeték szolópokat* szerkesztettük meg. Nem elégedtünk meg a papíron lefektetett konstrukcióval, hanem a próbagyártásban elkészült oszlopokon deformációs méréseket és törésig menő kísérleteket végeztünk. Sőt nem

nyugodtunk addig, amíg néhány km-es távvezeték szakasz felépítésével teljesen át nem adtunk egy-egy típust a gyakorlat számára. Így nemcsak avval foglalkoztunk, hogy a szerkezetet kialakítsuk, hanem ügyeltünk arra is, hogy a szállítás, felállítás, oszlopramászás problémáit is megoldjuk, ami mind nélkülözhetetlen volt az iparban való kiterjedt alkalmazáshoz.

Amikor a faoszlopok pótlására az új típus kifejlesztését kezdeményeztük, munkánk előremutató volt. Csak néhány év múlva lépett fel olyan mértékű fahiány, hogy a középvezettségű hálózatok építését egészen sürgősen át kellett állítani a vasbetontípusra — és ebben az időben ez a típus már az intézet által teljesen kipróbáltan rendelkezésre állt.

Ma már kb. 4000 db 35 kV-os és 43000 db 20 kV-os vasbetonoszlop áll és mindkét fajtából a teljes távvezeték hosszának kb. 1/4-e van vasbetonoszlop-pal kiépítve.

Azt hiszem, az elmondottak némiképpen rávilágítanak arra, hogy az intézet hogyan igyekezett mindig erőit latbavetni arra, hogy kidolgozott témáit egészen a gyakorlatban történő megvalósításig vigye. Sokszor kaptunk ehhez kitűnő segítséget a jólátókörű ipari szakemberek részéről, de előfordult az is, hogy esetleg ugyanazon a vállalaton belül is konzervatívizmussal kellett megküzdenünk.

A villamosenergia szolgáltatás legfontosabb követelménye a teljes üzemfolytonosság fenntartása, az üzemi biztonság problémáinak megoldása. Ennek villamos vonatkozásában két nagy veszélyeztetője van: a *zárlat* és a *túlfeszültség*, és ennek megfelelően az elhárítás eszközeit a védelemnek ez a két főága valósítja meg.

Több új területen munkánk az alapvető elvek lefektetésével kezdődött. Így születtek meg hosszú vita után és kollektív erőfeszítéssel előbb a zárlatvédelmi irányelvek, majd a „szigetelések koordinálása”, ill. a túlfeszültségvédelmi irányelvek, amelyek mind könyv alakban jelentek meg [4,8]. Ezek mindenekelőtt egységes szempontokat teremtettek, lehetővé tették a témákba való nagyobb elmélyülést, a tisztánlátást, és felmérték a feladatokat. Ezáltal nemcsak a berendezések tervezésének váltak alapjaivá, hanem programot adtak a szükséges készülékek kifejlesztéséhez is.

Igy született meg az elsőnek említett területen a *zárlatvédelmi készülékek és hálózatvédelmi automatikák* egész sora. Ezek közül a szakaszvédelmet — noha jól bevált — nem alkalmazták ugyan nagyon nagy darabszámban, de mégis megemlítem történeti jelentősége miatt, mert ez volt az első hazai komplex védelem és az akkor induló relégyártásunk számára az első konkrét feladat. Számos más, magyar reléből összeállított készülék követte azt. Ezek közül mint egyik sikeres fajtát, a középvezettségű visszacsatló automatikát szeretném kiemelni. A tapasztalatok szerint a zárlatok 85—90%-a múltó jellegű. Régebben mégis

üzemzavart, lekapcsolást és sokszor több órás vagy esetleg egész napos hibahelykeresést és fogyasztói kiesést okozott. Mindezt az automatikus visszakapcsolás kiküszöbölő oly módon, hogy tartós lekapcsolás már csak a zárlatok fennmaradó 10—15 %-ában szükséges és a többi esetben nem keletkezik üzemzavar, a fogyasztó a zárlatot észre sem veszi. Az elmúlt évek statisztikája teljesen igazolja ezt.

Az utolsó években elsősorban a különböző típusú — kábelhálózati, szabadvezeteki, valamint generátor — földzárlat védelmek tekintetében keletkeztek önálló hazai konstrukciók.

Kezdeményezők voltunk az elektronikus megoldású védelmek kifejlesztésében. Ezen a téren a legutóbb kialakított tranzisztoros távolsági védelem, amely a kioldási parancs adásáig minden mozgó alkatrészt következetesen mellőz, nemcsak megbízhatóbbat, de elvi szempontból is újat és — úgy hiszem — világviszonylatban jelentőset fog nyújtani.

A *túltesztelésvédelem* ugyancsak új terület volt. Ezen négy részre tagozódnak a feladatok. Minde- nek előtt meg kell határozni, hogy mekkora a berendezési tárgyak villamos igénybevétele az üzemben. Meg kell vizsgálni, hogy helyes tervezési elvek és védelmi eszközök alkalmazásával az igénybevételek milyen mértékre csökkenthetők. Meg kell állapítani, hogy maguknak a tárgyaknak a szigetelése mit bír el, továbbá mérések alapján meg kell becsülni, hogy az idő folyamán milyen mértékben romlik majd, és végül az egész feladatkör minden részletében fontos szerepe van a *nagyfeszültségű mérés- és szigetelés-technikának*.

Az igénybevételek meghatározásánál megintcsak szorosan a valóság vizsgálatából indultunk ki, a lökőfeszültség- eloszlásokat tényleges állomásokban való mérésekkel állapítottuk meg és a nem-lineáris eszközöket — a túltesztelés levezetőket és szikraközöket — is a teljes hűség kedvéért a valóságos eszközök egy arányos elemével képeztük le. Csak az újabban kifejlesztett lökőfeszültség kisminta tartalmaz már ezek helyett elektronikus leképezéseket, de ezeket is csak azóta alkalmazzuk, amióta a valóságos elrendezéseken végrehajtott mérésekkel igazoltuk hogy helyes leképezést adnak. Azonban még a jelenlegi kismintánk is olyan, hogy a berendezések bármely részét (pl. a bizonytalanabban és nehezebben leképezhető transzformátorokat vagy feszültség szabályozókat) tényleges elemekkel lehet helyettesíteni. A kismintán felvett oscillogramok rendkívül szemléletes képet adnak a bonyolult folyamatokról, amint ezt az eddig kidolgozott példák mutatják.

A villamosenergiaipar által felhasznált berendezési tárgyak szigetelési szintjének méréseit és a különböző, más nagyfeszültségű kísérleteket évek óta végezzük. Egyelőre ez a Pécsi Porcelángyár nagyfeszültségű laboratóriumában történik mindaddig, amíg a lényegesen nagyobb igényeknek megfelelő saját zuglóli laboratóriumunk el nem készül.

Úgy hiszem, elsősorban intézetünk objektív laboratóriumi eredményeinek köszönhető, hogy az utóbbi időben e téren erőteljes fejlődés indult el a különböző konstrukciók megjavítására.

A szerkezetek megjavításán kívül a *túltesztelésvédelmi eszközök* alkalmazása növeli az üzemi biztonságot. Ezeknek egyike az olcsó, egyszerű és éppen ezért tömegben felhasználható oltócső, amelyet kifejlesztettünk. Azáltal, hogy a cső oltóanyagát és szigetelőbevonatát villamos próbák sorozatával kikísérleteztük, a világszínvonalat elérő típust sikerült kialakítanunk. Más intézkedések mellett bizonyára ennek is betudható, hogy az üzemben levő elosztótranszformátorok meghibásodási statisztikája a néhány esztendővel ezelőtti (igen magas) évi 10%-ról évi 6%-ra csökkent.

A *szigetelés-technika* területén a gépek, transzformátorok és kábelek belső anyagainak üzemben történő *előregedésén* kívül iparágunkat és más ipari szektorokat is nagymértékben a különböző célú *porcelánok* konstrukciója érdekli. E tekintetben — sok régebbi munkánkon kívül — nagy gyakorlati haszonnal járó és elvi érdekességgel bíró közepesfeszültségű tám- és átvezető szigetelők kifejlesztése van folyamatban.

Ide sorolhatók azok a munkák is, amelyek a *szigetelők szennyeződésével* foglalkoznak. 1953-ban a Mátrai Erőmű rendkívül nagy mennyiségű pernyeszennyeződésének helytálló ködszigetelő típust fejlesztettünk ki rövid idő alatt, tavaszól ősziig. Az elmúlt évben pedig a Borsodi Erőmű légtérben a Borsodi Vegyikombinát által okozott elektrolitikus szennyeződéssel szembeni védekezést más módon próbáltuk megoldani. *Lévárdi* miniszterhelyettes elvtárs az előbbieken már megemlítette, hogy a nagy méretekben alkalmazott szilikonzsírozási eljárás az eddigi tapasztalatok szerint teljes sikerrel járt és egy évvel a sorozatos és súlyos üzemzavarok után, a mostani (1959—60-as) ősztéli időszakban a mai napig, szilikonnal kezelt porcelánon egyetlen átívelést sem észleltek. Örülünk, hogy eredményeinket a Nehézipari Minisztérium is értékesnek tartja.

Amint mindkét példa mutatja — és ezenkívül természetesen számos más példát is említhetnénk — az intézet, amikor szükség volt rá, mindig tudott gyors eredményeket produkálni.

A VILLENKI kutatási eredményeit igen szerény eszközökkel dolgozta ki. Védelmek és hasonló automatikák kifejlesztésére kis laboratóriumaink elegendők voltak. Említettem, hogy felhasználjuk az egyébként csak kis teljesítőképességű, de azért ma az országban legjobb, pécsi nagyfeszültségű laboratóriumot, ahol havonta 8—10 napon át van módunk dolgozni. Budapest Főváros Elektromos Műveinek próbaállomása havi 1—2 napon áll rendelkezésünkre. Más, komolyabb igényeket kielégítő — nagy teljesítményt vagy számottevő energiatartalommal nagyfeszültséget szolgáltatató — villamos laboratórium nincs is ma az országban.

A felsoroltakon kívül első nagyjelentőségű — habár természeténél fogva kis teljesítménnyel dolgozó — laboratóriumát az intézet 1953 nyarán helyezte üzembe. Ez a váltakozóáramú *Hálózati Modell* volt. A modell kifejlesztéséről és az általa kapott eredményekről már ismételtén beszámoltunk [5], *Lévárdi* és *Papp* elvtársak is megemlékeztek róla, úgy hogy itt nem szükséges ezekre bővebben kitérni.

Ha az intézet kísérleti lehetőségeiről beszélünk, természetszerűleg ki kell emelnünk azt az igen fontos módszert, amelyet a legnagyobb mértékben igyekezett felhasználni: az *üzemi kísérletet*. Maga a hálózat az intézet nagykiterjedésű laboratóriuma, amely eddig az egyedüli lehetőséget nyújtotta arra, hogy olyan nagyteljesítményű, főleg zárlati kísérleteket végezzünk, amelyek a villamosenergia iparág számára semmiképpen sem nélkülözhetők. Persze ezeknél korlátozást és nehézséget jelent az, hogy az élő üzem zavartalanságára figyelemmel kell lenni, a beépített berendezéseket nem szabad veszélyeztetni, de ezeknek az elveknek a megtartásával a VILLENKI bőségesen kihasználta az alkalmat arra, hogy hálózati kísérleteket végezzen és a különböző transzformátorok, gépek, elsősorban pedig megszakítók és más készülékek zárlati igénybevételét és zárlati biztonságát megvizsgálja. Évenként 40—60 mérésorozatot szoktunk üzemi berendezéseken végezni. Erőműveink, elosztóvállalataink és a villamos szakszolgálatok műszaki személyzetének és vezetőinek megköszönjük azt a támogatást, amelyet ehhez a munkához kapunk. Azt hiszem, hogy viszont a sok tanulságos eredmény, amely a közreműködésükkel létrejött, igen jó iskolát jelent mindnyájuk számára és az ő tudásukat és látókörüket is állandóan növeli.

A VILLENKI avval a tevékenységével, hogy a beépítendő berendezési tárgyak üzemi biztonságát vizsgálja, elsősorban saját iparágának érdekeit védi. De ugyanakkor a vilamos gyártó ipart is szolgálja azáltal, hogy produktumainak tulajdonságait próbákkal ellenőrzi.

Mostanig ennek a munkának eszköze egy mozgólaboratóriummal kiképezett mérőautóbusz volt, amelyet berendeztünk és használtunk. A jövő évtől rendelkezésre fog állni az a nagy hálózati zárlati próbaállomás, amelyet Zuglóban építünk, amelyet már az említetteknél lényegesen kevesebb korlátozással működtethetünk. Ez alkalmas lesz az eddigieknél sokkal nagyobb zárlati teljesítmény szolgáltatására és a korszerű igények kielégítésére.

A villamosenergia iparágak jól kiépített saját hírközlő szolgálatra van szüksége. A 120 kV-os távvezetékekre felszerelt vivőfrekvenciás berendezéseket még korai időszakban szereztük be, azokat külföldről hozattuk. Helyes célkitűzésnek látszott a középfeszültségű hálózatok részére egyszerű, olcsó hazai berendezéseket kifejleszteni. Ilyenek más országokban nem nagyon készülnek, mert ott a telefonhálózatok jobban kiépültek és inkább alkalmazhatók. Néhány elektroncsöves készülékünk évek óta üzemben van. Még ebben az évben

üzemi felszerelésre kerülnek olyan *tranzisztoros távközlő berendezéseink*, amelyek a legjobb specifikációknak eleget tesznek. Úgy hisszük, ezzel megoldódik középfeszültségű hálózataink egy régi, fontos problémája.

Most és a következő években mindinkább előtérbe kerül a villamosenergiaipar *szabályozási és automatizálási* problémáinak megoldása. Ehhez szorosan kapcsolódik a legkorszerűbb *számológépes eljárások* iparági alkalmazása.

Az első nagyszabású feladat, amelyet az automatizálás területén megoldottunk, az ún. kooperációs szabályozó berendezés megépítése volt. Ennek célja, hogy szomszédos országok energiarendszereinek együttműködését szabályozza. Az energiarendszerek együttműködésének szabályozása nagy gazdasági jelentőségű, mert az energiacsere menetrendjét nemzetközi szerződések szigorúan rögzítik. Másfelől műszaki szempontból igen fontos, mert a rendszerek együttműködésének bonyolult problémája korszerű szabályozás nélkül nem biztosítható, már pedig az egész kérdés perspektívája az, hogy a kelet-európai szocialista államok energiáshálózatait néhány év múlva össze fogják kapcsolni.

Ahol ilyen kooperációs szabályozókkal foglalkoznak, ott még mindenütt a fejlesztés bizonyos állapotánál tartanak. Rajtunk kívül a baráti országokban egyedül a Szovjetunióban készítettek ilyen berendezést. A VILLENKI készüléke most már csaknem egy éve van éles üzemben. Fejlesztése közben az okozott nehézséget, hogy az eredetileg lefektetett célkitűzések változtak és újabb követelményeknek is eleget kellett tenni. Az üzemi tapasztalatok analízise és a berendezést működtető Teherelosztó-beli szakemberek véleménye azt mutatja, hogy a kezdeti nehézségeket leküzdöttük és a szabályozó a kooperációs üzemnek értékes eszközévé építhető ki tovább.

*

Nagyon nehéz egy kutató intézet 10 évéről — akár csak nagy vonalakban is — beszámolni. Munkájának nyoma — működésének természeténél fogva — többnyire nem egy-egy nagylétesítményben jelentkezik koncentrált alakban. Sőt néha egyenesen negatív formában, mint egy megtakarított és meg nem épített transzformátorállomás vagy távvezetékszakasz mutatható ki. De egy, az utolsó évtizedben rendkívül hatalmas fejlődésen keresztül ment iparág sok-sok munkása és mérnöke által kifejlesztett együttes erőfeszítés majd minden részében fellelhetők a kutató intézet munkatársainak eredményei is.

E tevékenység kiterjedtségére nem akarom jellemzőül venni, hogy az intézet 10 év alatt több mint 420, saját mérésekről vagy vizsgálatokról szóló tanulmányt, ill. a szaklapokban publikált cikket adott közre. Ez igen nagy szám, különösen ha meggondoljuk, hogy az intézet kutató mérnökeinek száma ez alatt az idő alatt átlagban mindössze kb. 18 volt. Ezt egyedül mérőszámként tekinteni talán nem volna helyes, mert a tanulmányok ter-

jedelme és műszaki súlya különböző és sokszor éppen egy többéves és értékes kutató munka eredményei nem elsősorban írásos formában, hanem mint megvalósult alkotások jelentek meg. Az irodalmi tevékenységgel kapcsolatban még meg szeretném jegyezni, hogy a tanulmányoknak egy részét — habár csupán kis hányadát — külső munkatársak írták az intézet számára.

Az említett számot még kiegészíti a VILLENKI által nyomtatásban megjelentetett 11 könyv vagy könyvterjedelmű nagyobb munka[1...11].

Az intézet működését csak többoldalú megvilágítással lehet felmérni, hiszen ez a munka is igen sokirányú volt nemcsak témáit tekintve, hanem jellegére nézve is. Elvek tisztázása és rögzítése, alapvető mérések elvégzése, konstrukciók kísérleti kialakítása és a gyakorlatba való átültetése váltakozva fordultak elő. Mindezzel párhuzamosan pedig igen fontos volt a műszaki szakemberek nevelése és a saját kísérleti eszközök fejlesztése.

Amint említettem, az elmúlt évek során aránylag szerény kutató berendezésekkel dolgoztunk. Rendkívül nagy hiányosság volt az, hogy Magyarországon még nincsenek meg azok a nagy villamos erősáramú laboratóriumok, amelyekkel egy modern ipari országnak föltétlenül rendelkeznie kell. Úgy vélem, az intézet munkájának első szakasza most lezárult. Fejlődésében rövidesen ugrásszerű változás áll be. A Nehézipari Minisztérium nagyvonalú elhatározással pótolta évtizedes elmaradásunkat és komoly áldozatot vállalva megteremtí a kutatás és műszaki fejlesztés számára a szükséges korszerű eszközöket: a *nagyfeszültségű laboratóriumot* és a *zárlati laboratóriumot*. Külön név szerinti köszönet illeti meg ezért a nagyjelentőségű döntésért és az építés elindításáért a Villamosenergia ágazat vezetőit: *Csenterics* miniszterhelyettes elvtársat, *Papp* iparigazgató elvtársat és *Kerényi* h. iparigazgató elvtársat.

*

Igyekeztem az intézet eddigi fejlődéséről vázlatos képet adni, noha számos vonatkozásra és problémára nem térhettem ki és ezért hiányos marad ez a kép. Most elinduló tudományos ülésszakunk némileg kiegészíti majd ezt. Előadásaink nem régi és lezárt témáinkról szólnak, jórészt az elmúlt év munkáját mutatjuk be. Főképpen nem távoli tervekről, hanem már többé-kevésbé megértelt új eredményekről, tehát mai munkánkról szeretnénk a tudományos ülészak három napján beszámolni.

*

- [1] Ipartelepi hálózatok (Szepesi Endre). Nehézipari Könyvkiadó V. 1951.
- [2] Földelések (dr. Ronkay Ferenc). Nehézipari Könyvkiadó V. 1952.
- [3] A földvezetékes energiaszolgáltatási rendszer. (Gesztli P. O. — Dr. Kovács K. P. és munkabizottság műve) Nehézipari Könyvkiadó V. 1952.
- [4] Irányelvek erősáramú hálózatok védelmének tervezésére (Munkabizottság műve).
- [5] A hazai hálózati modell feladatai és szerkezeti megoldása (Ignác P. — Lengyel G.) VILLENKI 1953.
- [6] A mezőgazdaság villamosítása (Szerk.: Gádor E., Kunffy Z., Lomb F.; munkabizottság műve). Mezőgazdasági Kiadó, 1954.
- [7] Villamos szabadvezetékek zúzmaraterhelése (Szerk.: dr. Ronkay F.; munkabizottság műve). Akadémiai Kiadó, 1955.
- [8] Túlfeszültségvédelmi irányelvek. (Szerk.: Elek A. — Szepesi E.; munkabizottság műve). VILLENKI 1955.
- [9] Erőművek villamos berendezése (Szerk.: dr. Ronkay F.; munkabizottság műve). Műszaki Könyvkiadó, 1955.
- [10] Érintésvédelem. (Endrényi J. — Dévényi Dezső). Műszaki Könyvkiadó, 1956.
- [11] Transzformátor tekercselések zárlati erőinek meghatározása. (Dr. Ignác Pál). VILLENKI 1958.

A teherelosztás korszerű módszerei

VÁMOS TIBOR

a műszaki tudományok kandidátusa
tud. oszt. vezető

621.311.177

A cikk erőművek közötti gazdaságos teherelosztás új, analóg számítógépes megoldását ismerteti. A gépi módszer alkalmazható a gazdaságos meddő elosztás számítására is.

A korszerű, nagy villamos hálózatok kialakulása az erőművek együttműködésének új műszaki feladatait hozta magával. A feladatok megoldása bonyolult hurkolt hálózatok esetén, az energiarendszer számos nemlineáris jellemzőjét is figyelembevéve, olyan számítási munkát igényel, amelyet gépi segítség nélkül nem lehet elvégezni. A nagy energiarendszerekben áramló energia évi előállításai és szállítási költségei azonban olyan nagyok, hogy a legnagyobb ráfordítást igénylő gépi számítási módszerek is rendkívül rövid idő

alatt amortizálnak, ezért az energiarendszerek igyekeznek mindig a legkorszerűbb számológépeket beszerezni. Az amerikai energiarendszerek például — bár egyes rendszerek nagysága nem tér el lényegesen a magyarországitól — már általában az *IBM 704* mintájú, 3 millió dollár értékű, nagyteljesítményű számológépeken végzik számítási feladataikat.

A digitális és analóg gépek az egyes rendszerek számítási feladataiban általában nem mint versenytársak, hanem mint egymás kiegészítői jelentkeznek, mint azt a hazai energiarendszer számára végzett tanulmányaink szemléltetően bizonyítják.

Az Elektrotechnika múlt évi 8—9. számában ismertettük azokat a gépi eljárásokat, amelyeket a hasznos terhelés gazdaságos elosztására alkalmazni szoktak. A hazai rendszer számára több megfontolásból kiindulva az ún. „B” állandók módszerét választottuk, amely lényegében egy szokásos terhelési képből kiindulva linearizálja a hálózati veszteségek változásait.

A gazdaságos teherelosztás alapegyenlete:

$$\frac{\partial K_i}{\partial P_i} - \lambda \frac{\partial P_v}{\partial P_i} = \lambda, \quad \text{ahol} \quad (1)$$

K_i az i -edik erőmű termelési költsége (Ft/ó)

P_i az i -edik erőmű teljesítménye (MW)

P_v a teljes hálózati veszteség (MW)

λ Lagrange-féle multiplikátor, optimum esetén minden erőműre azonos (Ft/MWó)

$$P_v = \sum_i \sum_j P_i P_j B_{ij} \quad (2)$$

értékkel közelítve, ahol B_{ij} egy n^2 tagból álló matrix (ha n az erőművek száma), jellemezve az egyes erőműveknek a hálózati veszteségre vonatkozó kölcsönös hatását egy meghatározott terhelési elosztás közelében.

$$\frac{\partial K_i}{\partial P_i} = \lambda - 2\lambda \sum_k B_{ik} P_k \quad (3)$$

Ezt az egyenletrendszert oldja meg az a számológép, amelyet az idézett cikk ismertet. A „B” állandók felhasználásával történő analóg számítási módszer jelentős és nemzetközileg is új továbbfejlesztése Uzsok Miklós javaslata alapján történik. Uzsokynak az *Elektricseszto*-ban sajtó alatt levő közleménye szerint a megoldás a következő elvi megfontolásokon alapul:

Ha közvetlenül a P_i -t akarjuk számítani, annak első közelítése (a hálózati veszteségek figyelembevétele nélkül) közvetlenül az erőművi növekményhőfogyasztási jelleggörbékéből adódik:

$$P_i^{(0)} = P_i^{(0)}(\lambda_0) \quad (4)$$

$$\text{ahol } \lambda_0 = \frac{dK_i}{dP_i}$$

a pontos érték (3)-ból

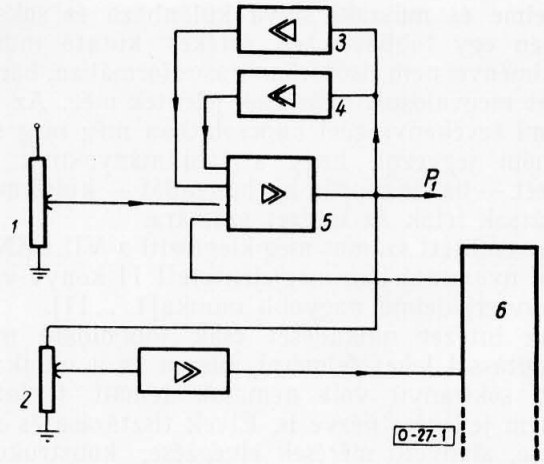
$$P_i = P_i \left(\frac{dK_i}{dP_i} \right) = P_i (\lambda - 2\lambda \sum_k B_{ik} P_k) \quad (5)$$

mivel $\sum_k B_{ik} P_k \ll 1$, a sorbafejtést a második taggal lezárhatjuk:

$$P_i = P_i^{(0)}(\lambda) - 2\lambda \frac{dP_i}{d\lambda} \sum_k B_{ik} P_k^{(0)} \quad (6)$$

Könnyen belátható, hogy ha az 1. ábra kapcsolása szerint a $P_i^{(0)}$ helyett a P_i értéket visszük

be a B_{ik} matrixba, a gép a B állandók módszerével történő közelítést nem tekintve, egyenes jelleggörbe esetén teljesen pontos megoldást ad.



1. ábra. 1 és 2 — függvényképző potenciométerek, 3 és 4— alsó, ill. felső határ korlátozó erősítő, 5 — összegező erősítő, 6 — B ellenállás mátrix

Magasrendű görbék esetén egyébként a közelítés olyan jó, hogy azt csak az erőművi kalorikus mérésekkel meghatározott jelleggörbe és a beépített villamos elemek pontossága korlátozza.

Az ismert megoldásokkal szemben (*Westinghouse, General Electric, Siemens* stb.) ennek a módszernek lényeges előnye, hogy nem tartalmaz erőművenként szervomotorokat, az egyes erőművi határteljesítmények beállítása villamosan, érintkezőmentesen készíthető el. A gép a *Gamma* által gyártott nagy pontosságú, tízmenetes potenciométereken (helipot) kívül mozgó elemeket nem tartalmaz, ugyancsak tranzisztoros erősítőkkel történik az erőművek megengedhető legkisebb és legnagyobb teljesítményének beállítása. Ezt a potenciométerekkel kialakított jelleggörbék (1), (2) által szolgáltatott teljesítmény értékek beállítható levágásával érjük el. Ezt a levágást nem lineáris jelleggörbéjű erősítők végzik. (3), (4); A pillanatnyilag leggazdaságosabb terheléselosztást az egyes erőművekre, továbbá a beállított alsó és felső értékeket MW-ban skálázott árammérő műszerek mutatják.

Az erőművi jelleggörbék kialakítása a megcsapolt potenciométerekkel 10 töréses görbével történik. Az erőművek egyelőre csak ennél lényegesen pontatlanabb, háromtöréses görbét tudnak adni, azonban reméljük, hogy a gépi számítási módszer adta pontosságot kihasználva a rendelkezésünkre álló adatok minősége javulni fog. Egy erőműnél átkapcsolóval ötféle jelleggörbe-változatot lehet megvalósítani a pillanatnyi kazán- és turbinakombinációtól függően. Ezenkívül a jelleggörbéket kialakító, a potenciométerrel párhuzamosan kapcsolt ellenállások könnyen cserélhetők. Külön gondoskodás történik a szénár, illetőleg fűtőérték változásának figyelembevételel a jelleggörbéknek önmagukkal párhuzamos eltolásával.

A „B” állandók, mint már hangsúlyoztuk, a helyes hálózati veszteségértékeket csak bizonyos

terhelési elosztás környezetében adják meg kellő pontossággal. Ezért a különböző hálózati kapcsolási, téli, nyári stb. üzemállapotok legjobb közelítésére 12 variációt építünk be a gépbe, melyek átkapcsolóval választhatók. Ezenkívül a *B* matrix is viszonylag könnyen cserélhető, ha újabb variációkra van szükség.

A gép által adott, a gazdaságos terheléelosztásra vonatkozó értékek felhasználhatók a menetrend tervezésére, de közvetlenül is működtethetik a kooperációs szabályozó elosztóját, így a kooperációs szabályozó eleve a leg gazdaságosabb elosztásban adja ki utasításait az erőműveknek. A nagy amerikai rendszerekben a gazdaságos terheléelosztó és a kooperációs szabályozó így zárt láncban, teljesen automatizálva működik.

A gép könnyen kiegészíthető a meddő terhelés gazdaságos elosztására is. Ilyen jellegű kiegészítést szintén nem ismerünk a külföldi irodalomban. *Dr. Szendy* az *Elektrotechnika* 1958. 10—12. számában írt cikkében a következő lineáris összefüggést vezeti le meddő elosztásra:

$$n \mathbf{1} = \mathbf{R} \mathbf{q} + \mathbf{X} \mathbf{p} \quad (7),$$

ahol az **R** és az **X** a hálózati adatokból és a **B** matrixhoz hasonló feltételekből számítható matrixok,

$$\mathbf{q} = \begin{bmatrix} q_1 \\ \cdot \\ q_n \end{bmatrix} \text{ a meddő terhelés vektora}$$

$$\mathbf{p} = \begin{bmatrix} p_1 \\ \cdot \\ p_n \end{bmatrix} \text{ a hasznos terhelés vektora}$$

n az optimális állapotban minden erőműre azonos. Innen a keresett

$$\mathbf{q} = \mathbf{R}^{-1} n - \mathbf{R}^{-1} \mathbf{X} \mathbf{p} = \mathbf{R}^{-1} n - \mathbf{K} \mathbf{p} \quad (8), \text{ ha } \mathbf{R}^{-1} \mathbf{X} = \mathbf{K}$$

$$q_i = n \sum_{kl} R_{ik}^{-1} - \sum_{k=1}^n K_{ik} p_k \quad (9) \quad \sum_{k=1}^n R_{ik}^{-1} = R_i$$

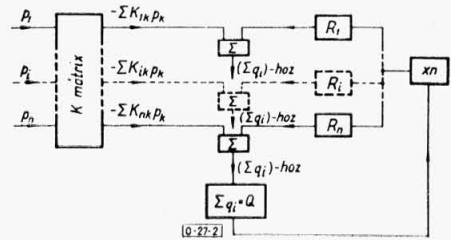
$$q_i = n R_i - \sum_{k=1}^n K_{ik} p_k \quad (10)$$

$$\sum q_i = Q \quad (11)$$

ahol *Q* a meddő igény.

A megoldás vázlata a 2. ábrán látható. Az *n* szorzó feszültséget addig kell állítani, míg az összegező műszer a *Q*-t nem mutatja. A **q** vektor természetesen az *n* megadása nélkül közvetlenül is kifejezhető az egyenletekből, ami valamivel több számítási munkát ad az előkészítésben, de a beállítás így elhagyható. A **p** vektort az alapgép szolgáltatja. A módszer azért is jól használható, mert a fogyasztói meddő igények adottak, a hálózatiak jól becsülhetők, így a *Q* értéke könnyen megadható. A gazdaságos meddő elosztás következtében kapott feszültségviszonyok természetesen bizonyos módosításokat vonhatnak ma-

guk után, azonban, mint a *VILLENKI Bókay Béla* által készített tanulmánya kimutatja, a hálózati feszültségjavításra az erőművi meddőtáplálás változtatása kevésbé hatásos és igen gazdaságtalan módszer, így a gép által kapott adatok veendőek elsősorban figyelembe.



2. ábra

A gép elkészítése igen nagy számítási előmunkákat igényel. A „*B*” állandók megfelelő számítása a mi hurkolt hálózatunkra digitális számológép nélkül gyakorlatilag megvalósíthatatlan, egyszerűsített esetben sem ad megfelelő pontosságot. Nincs lehetőség az egyes hálózati terhelési és kapcsolási variációk okozta változások megfelelő becslésére. Ezért kidolgoztuk az akadémiai *M-3* számológépre a „*B*” állandók számításának programját, és a digitális számológép által adott értékeket építjük be a folytonos működésű analóg gépünkbe. Ugyancsak feldolgoztuk a meddő elosztáshoz szükséges **K** matrix programját is.

A „*B*” állandók segítségével történő számítás természetesen csak egyik, jelenleg még legcélszerűbbnek mutató megközelítése a kérdésnek. Természetesen a digitális gép alkalmazásával felmerül annak a lehetősége, hogy a hálózati elosztást minden részletében és teljes pontossággal végezzük. Ez vonatkozik tehát nemcsak az erőművek közötti gazdaságos hasznos és meddő elosztás számítására, hanem a hálózati feszültségviszonyok számítására is. Ezek a módszerek lehetővé teszik a „*B*” állandóknak, vagy más közelítő feltevéseknek a kikapcsolását, a hálózati adatok alapján az összes szükséges értékek számítását. Ilyen jellegű programok kidolgozása folyamatban van. Ezek során megpróbálunk más közelítő feltevésekkel is számításokat végezni, így összehasonlítást kapunk az egyes közelítések eredményességére.

Hangsúlyozni kell azonban, hogy ezek a digitális számítások általában a gyorsműködésű számológépeken is jelentős időt vesznek igénybe, folyamatos, az energiarendszer számára mindig készen álló adatokat csak akkor adnának, ha egy igen nagy teljesítőképességű, legalább 10 millió rubel értékű gépet állandó üzemben csak erre a célra alkalmaznánk. Ez természetesen semmiképpen sem fizetődne ki és teljesen felesleges is lenne. A digitális számítások feladata, hogy ellenőrzést adjanak a kidolgozott analóg módszerekre, kiválasztható legyen a legmegfelelőbb köze-

lító eljárás, tájékoztatást nyújtson a szükséges variációk számáról és alapadatokat adjon az analóg számológép építéséhez. Az energiarendszerek egyéb számítási feladataival együtt ezek a számítások amúgyis lekötik egy digitális számológép kapacitását, és valamennyi feladatra elosztva valóban kifizetődővé teszik azok alkalmazását. Az egyes analóg gépek, mint például a hálózati kisminta, vagy a gazdaságos teherelosztást számító gép alkalmazásának fontossága ezáltal nem csökken.

Befejezésül szeretném hangsúlyozni, hogy a fentiekben körvonalazott munkák igen széleskörűek és eredményei számos munkatársunk kollektív erőfeszítésének gyümölcsei. Ezek közül ki kell emelnem a VILLENKI Automatika osztályáról *Borovszky László* és *Kaiser Mihály*, az *Úzsoky Miklós* által vezetett elektronikus osztályról *Vörös Károly* és *May Péter* munkáját, akik mind az egész megoldás együttes kialakításában, mind az egyes részfeladatok önálló kidolgozásával járultak hozzá az eddigi előrehaladáshoz.

Gyakorlati módszer turbogenerátorok aszinkron üzemének vizsgálatára

CSÁKI FRIGYES

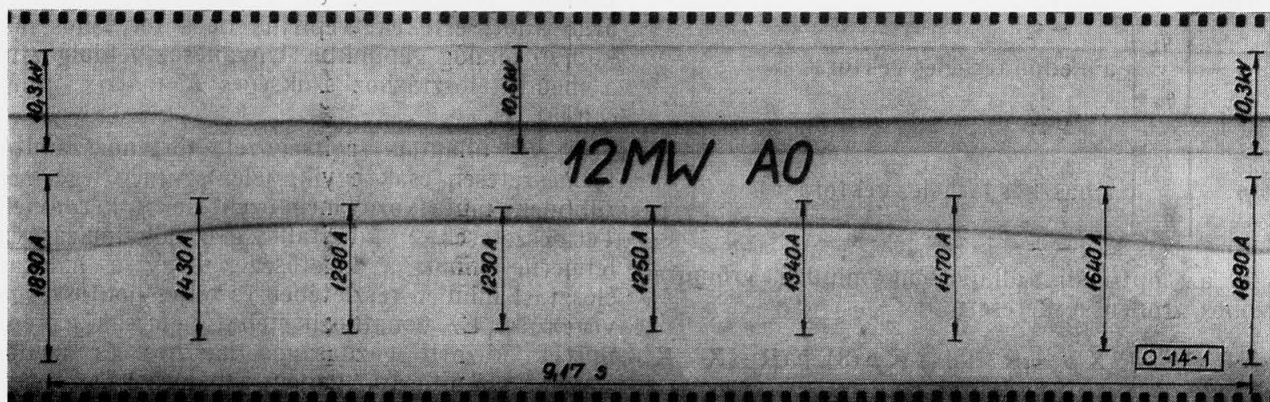
a műszaki tudományok kandidátusa, műegyetemi tanár,
a VILLENKI volt tudományos munkatársa

621.313.332.018.46:621.313.322—81

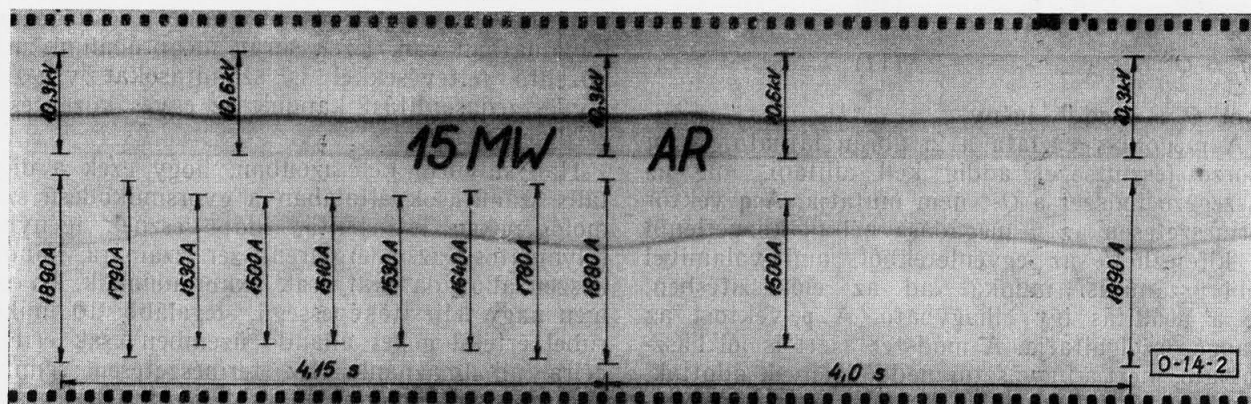
A javasolt grafikus eljárás műszerleolvasásokból származó mérési adatok alapján lehetővé teszi a szlip-idő, a szög-idő, az állórészáram-idő, illetve a látszólagos teljesítmény-idő görbék egyszerű megszerkesztését turbogenerátorok aszinkron üzemére.

Turbogenerátorok aszinkron üzemében az I állórészáramban, a Q meddő- és az S látszólagos teljesítményben, az s szlipben stb. periodikus,

de nem harmonikus változások figyelhetők meg. Az U kapcsol feszültség és az I állórészáram lefolyásáról példaképpen az 1. és 2. ábra tájékoztat 26 MVA-es gépre vonatkozólag. (Az első kb. 12 MW terhelésre és közvetlenül rövidrezárt gerjesztőkörű gépre, a második kb. 15 MW terhelésre és legerjesztő ellenálláson át zárt gerjesztőkörű gépre



1. ábra. Turbogenerátor aszinkron üzemének oszcillogramja. 12,3 MW-os terhelési állapotban, rövidrezárt gerjesztőkörű, acélekes forgórészű gépre vonatkozólag (12 MW AO). A felső görbe a kapcsol feszültség, az alsó görbe az állórészáram lefolyását mutatja

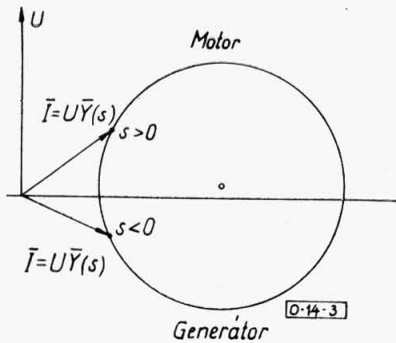


2. ábra. Turbogenerátor aszinkron üzemének oszcillogramja. 15,2 MW-os terhelési állapotban, legerjesztő ellenálláson át zárt gerjesztőkörű, acélekes forgórészű gépre vonatkozólag (15 MW AR). A felső görbe a kapcsol feszültség, az alsó görbe az állórészáram lefolyását mutatja.

vonatkozik.) A következőkben olyan egyszerű és a gyakorlatban könnyen végrehajtható eljárás bemutatására kerül sor, amelynek segítségével a változó szlip, az áram stb. bonyolultnak látszó lefolyása nehézség nélkül meghatározható.

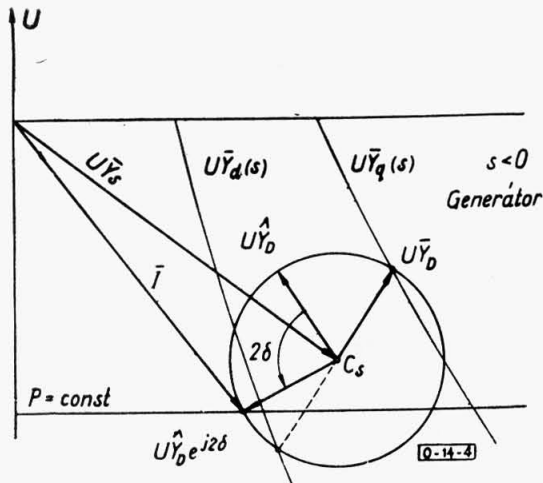
I. Elméleti alapok

A 3. ábrán a közönséges indukciós gép jólismert $I = U Y(s)$ kördiagramja látható. Mivel a forgórész szimmetrikus tekercselésű, állandósult üzemben az s szlip és az I állórészáram állandó értékű. Tetszőleges teljesítményhez (nyomatékhoz) könnyen meghatározható az áram és a szlip. Az utóbbi motorüzemben pozitív, generátorüzemben negatív.



3. ábra. Közönséges indukciós gép kördiagramja

A turbogenerátor aszinkron üzemében — amint ismeretes [1, 2, 3, 4], a forgórésznek a gerjesztőtekercs által létrehozott aszimmetriája következtében — külön diagram rajzolható fel a d hossz-tengelyre és a q kereszt-tengelyre (4. ábra: $U Y_d(s)$, ill. $U Y_q(s)$), és ezek a tömör vastest miatt már nem körök.



4. ábra. Aszinkron üzemben járó turbogenerátor hossz-tengely és kereszt-tengely áramdiagramja, valamint az állórészáram vektorának helygörbéi: C_s és $P = \text{const}$

Ha a szlip *állandó* lenne, az állórészáram változását [1, 2, 3, 4] az

$$I = U (Y_s + \hat{Y}_D e^{j2\delta}) \quad (1)$$

egyenlet írná le, és az áramvektor végpontja a 4. ábrán látható C_s körön mozogna. Itt a kör középpontjának vektora

$$U Y_s = \frac{U}{2} (Y_q + Y_d), \quad (2)$$

és a kör sugár vektorának kezdeti helyzete

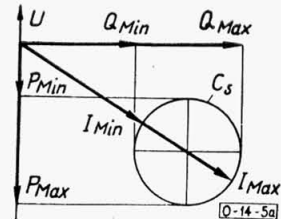
$$U \hat{Y}_D = \frac{U}{2} (\hat{Y}_q - \hat{Y}_d) \quad (3)$$

az $U Y_q$ és $U Y_d$ diagramokból adott s szlipre könnyen megszerkeszthető. A forgórész elfordulásának viszonylagos szöge egyszerűen:

$$\delta = -s\omega_0 t. \quad (4)$$

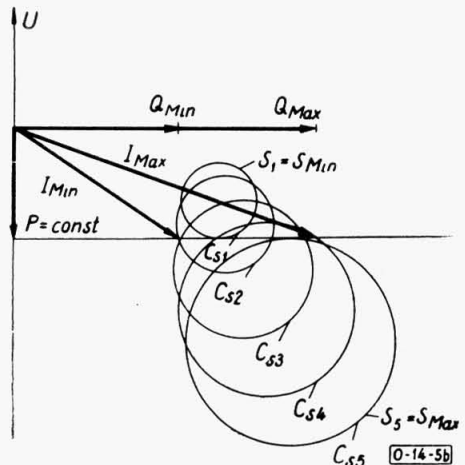
Ez a δ szög a sugárvektor $U \hat{Y}_D e^{j2\delta}$ általános és $U \hat{Y}_D$ kezdeti helyzetéből könnyen leolvasható.

Az állandó szlippel feltételezése helytelen eredményekre vezet, például a hatásos teljesítmény (és a nyomaték) P_{Max} és P_{Min} határok között nagymértékben változnék (5a. ábra).



5a. ábra. Állandó szlippel járó turbogenerátor fontosabb jellemzőinek szélsőértékei

A valóságban maga a szlip és változásának értéke igen kicsi, a szöggyorsulással kapcsolatos tehetetlenségi nyomatékok hatása tehát elhanyagolható, a turbina szabályozó szelepe pedig nem érzékeli a kis fordulatszámváltozást. Ezért nem a szlipet, hanem a teljesítményt (illetve a nyomatékot) kell állandónak tekinteni. És megfordítva, éppen a $P = \text{const}$. feltételből kiindulva lehet a változó szlip időbeli lefolyását meghatározni.



5b. ábra. Változó szlippel járó turbogenerátor C_s körserege és fontosabb jellemzőinek szélsőértékei

Az áramvektor végpontjának ugyanis a $P = \text{const.}$ egyenes mentén kell mozognia (4. ábra). A végpont pillanatnyi helyzetét (és így az áram pillanatnyi nagyságát) ennek az egyenesnek és a különböző s szlipekre megszerkesztett C_s köröknek a metszéspontja határozza meg (5b. ábra). Eközben minden egyes körben még a 2δ szög értéke is könnyen leolvasható (4. ábra), tehát az $s(\delta)$ összefüggés meghatározható.

Minthogy

$$\frac{d\delta}{dt} = -s\omega_0, \quad (5)$$

tehát

$$\omega_0 t(\delta) = - \int_0^\delta \frac{d\delta}{s(\delta)}, \quad (6)$$

vagyis az idő-szög összefüggés meghatározásához a szlip reciprokját kell a szög szerint integrálni. Ha $t(\delta)$ már ismert, akkor egyrészt inverze a keresett $\delta(t)$ összefüggést adja meg, másrészt $s(\delta)$ és $\delta(t)$ a keresett $s(t)$ összefüggést szolgáltatja. Mivel a fenti szerkesztésből $I(\delta)$ is ismert, végeredményben $I(t)$ is meghatározható.

Az említett eljárás az UY_q és UY_d diagramokból indul ki, tehát ismertnek tételezi fel azokat. Sajnos általában ezek a diagramok sem számítással, sem mérésel nincsenek előzetesen meghatározva. A következőkben éppen olyan javaslatra kerül sor, amely az említett nehézségen segít.

II. A javasolt eljárás

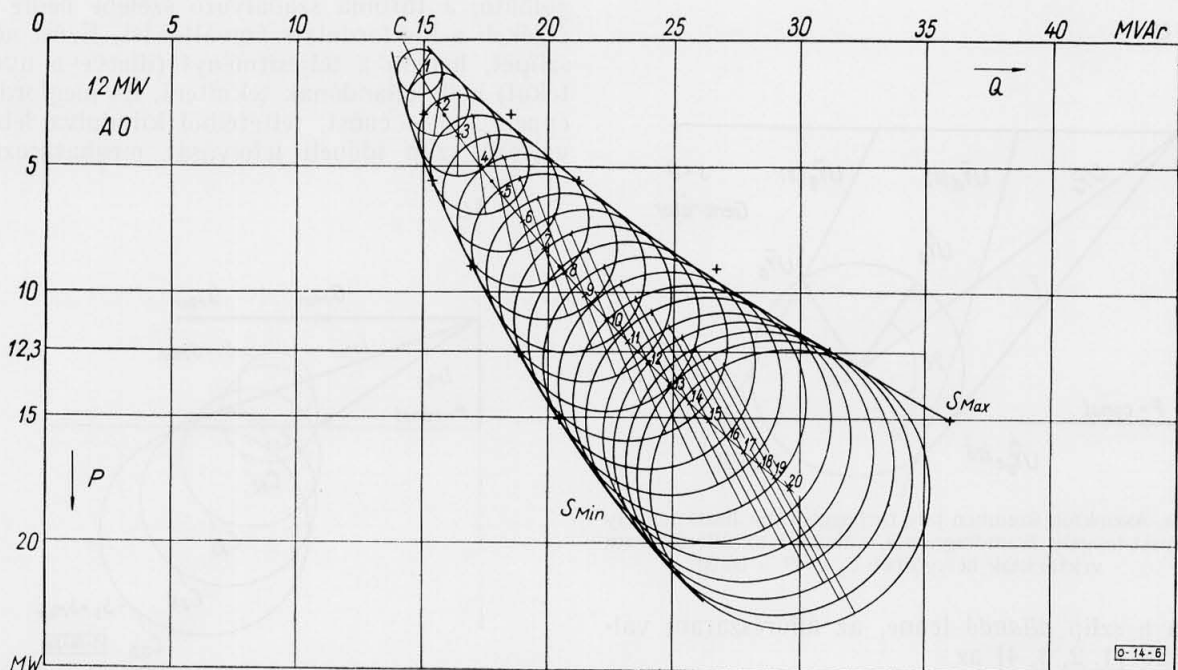
Az aszinkron üzemből műszerleolvasásokból nyert mérési eredmények alapján (lásd: [2, 3, 4]) vigyük fel a P — Q koordináta-rendszerbe az állan-

dónak feltételezett P hatásos teljesítményhez tartozó Q_{Min} minimális és Q_{Max} maximális meddő teljesítményt (kereszttek a 6. és 7. ábrán). Az adott pontok alapján megrajzolható az S_{Max} , ill. S_{Min} burkológörbe, és gyakorlatilag kielégítő pontossággal meghatározható a körsereg középpontjának C mértani helye. A C görbét szlip beosztással kell ellátni oly módon, hogy először a görbe és a különböző $P = \text{const.}$ egyenesek metszéspontjaiba az illető P teljesítményhez tartozó mért közepes szlipet kell beírni, majd az alappontok alapján több-kevesebb kiegyenlítéssel megszerkeszthető a teljes szlip skála (például 10^{-4} -es osztással.) Az osztópontokból mint körközeppontokból a burkológörbék segítségével megrajzolható a C_s körsereg.

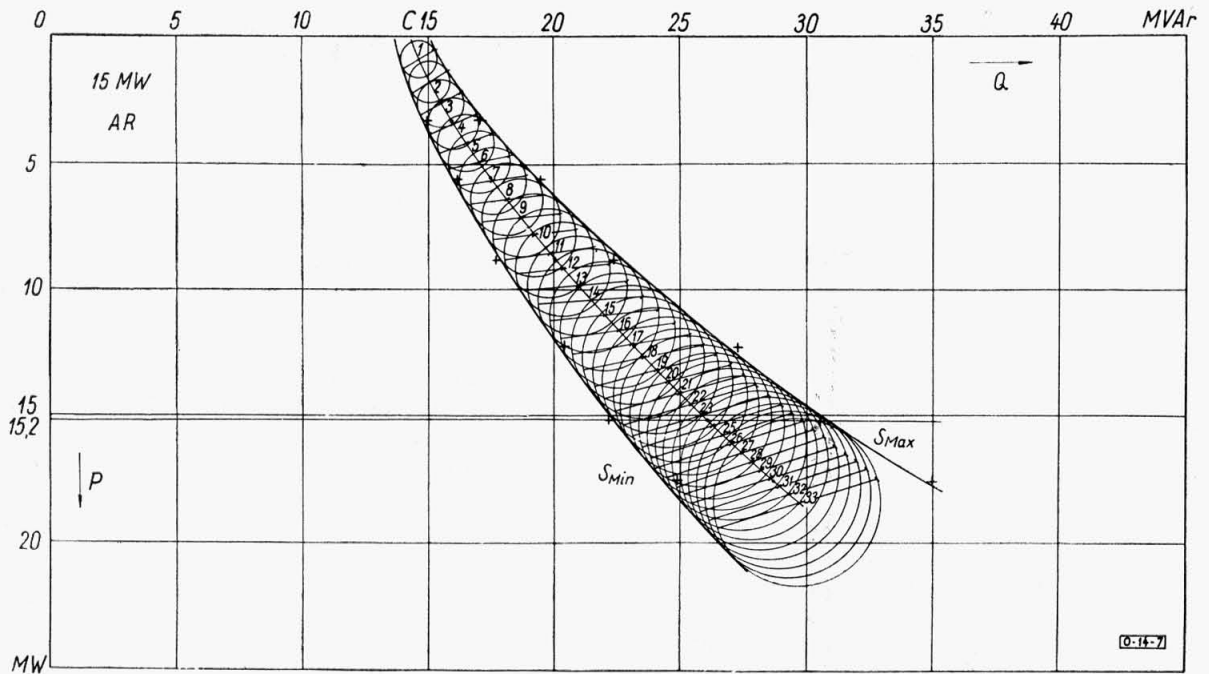
Meg kell még határozni a sugárvektoroknak a szögolvasáshoz szükséges kezdeti helyzetét is. Ez a következőképpen állapítható meg:

A C_s körsereget két esetre kell megszerkeszteni. A 6. ábra közvetlenül rövidrezárt gerjesztőkörű, a 7. ábra legerjesztő ellenálláson keresztül rövidrezárt gerjesztőkörű turbogenerátorra vonatkozik. A két körsereget egymásra helyezve, az azonos s szliphez tartozó körök általában jobboldali metszéspontjának az UY_q görbén kell feküdnie, hiszen a legerjesztő ellenállás áthidalása vagy beiktatása csak az UY_d hossz-tengely diagramot befolyásolhatja. Az említett metszéspontokhoz tartozó (a 6. és 7. ábrán vékony vonallal megrajzolt) két-két átmérő másik végpontja pedig az UY_d diagram egyes pontjait szolgáltatja.

Igy tehát az említett akadályt sikerült áthidalni, az UY_d hossz-tengely és az UY_q kereszt-tengely diagram most már ismertnek tekinthető és az I. pont végén javasolt eljárás alkalmazható.



6. ábra. Rövidrezárt gerjesztőkörű turbogenerátor C_s körseregének megszerkesztése



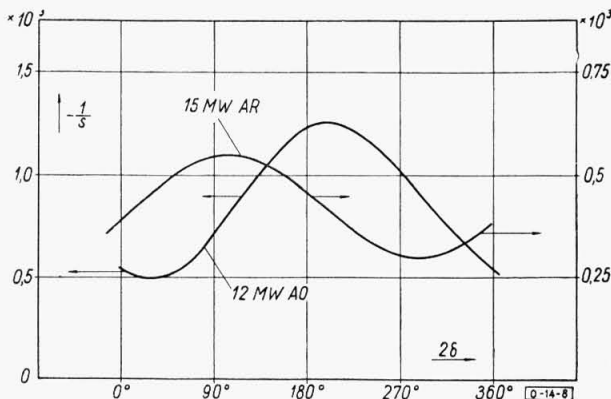
7. ábra. Legerjesztő ellenálláson keresztül zárt gerjesztőkörű turbogenerátor C_s körseregének megszerkesztése

Megjegyzendő, hogy az előzőekben leírt szerkesztés több elhanyagolást tartalmaz. Aszinkron mérés közben ugyanis sem a feszültség, sem a hatásos teljesítmény, sem a nyomaték szorosan véve nem állandó, és elméletileg a mért közepes szlip is bizonyos mértékig eltér attól a szlip értéktől, amely ahhoz a C_s körhöz tartozik, amelyeknek középpontja épp a $P = \text{const.}$ egyenesre esik.

III. Példa a javasolt eljárás alkalmazására

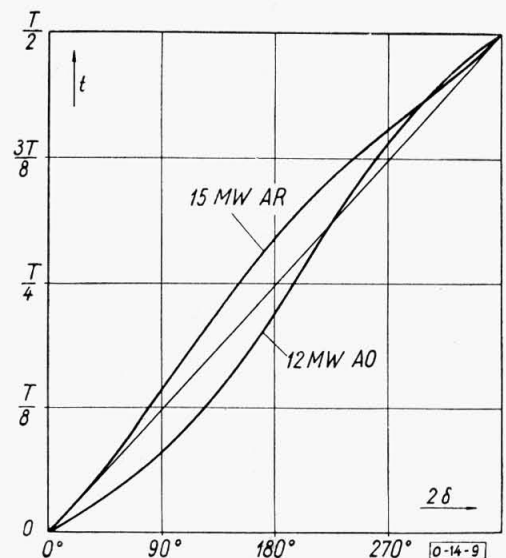
Az előzőekben leírt eljárás — pontosságának, célszerűségének és gyakorlati használhatóságának megítélése céljából — mérési eredményekkel kerül összehasonlításra.

A javasolt eljárás szerint a 6. ábrán $P = 12,3 \text{ MW}$ egyenes felhasználásával, a 7. ábrán pedig $P = 15,2 \text{ MW}$ egyenes alapján — az előzőekben leírt módon — meghatározhatók az összetartozó δ , s és I értékek. A 8. ábrán s és δ összetartozó értékeiből meghatározott reciprok szlip: $-1/s(\delta)$ görbéje

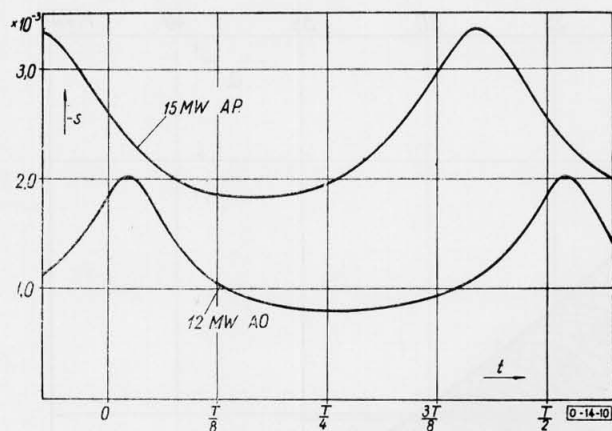


8. ábra. A szlip reciprokja a viszonylagos szögelfordulás függvényében

látható. Ez a görbe $\delta = 10^\circ$ -os intervallumokban a közepes ordináták leolvasásával és egyszerű összeadásával nehézség nélkül integrálható. Az integrálás eredményeként kiadódó $t(\delta)$ görbét a 9. ábra mutatja (pontosabban a t/T görbét, mert a teljes $\delta = 2\pi$ körülfordulás T periódusideje önkényesen egységnyi mindkét esetre.) A $t(\delta)$ görbe inverze a keresett $\delta(t)$ függvényt, vagyis a szög időbeli lefolyását szolgáltatja. A $\delta(t)$ összefüggés és a szerkesztésből leolvasott $s(\delta)$ értékek alapján a 10. ábrán a keresett $s(t)$ függvény menete, vagyis a szlip időbeli lefolyása látható. Végül a szerkesztésből leolvasott $I(\delta)$ összefüggés és az integrálással meghatározott $\delta(t)$ függvény alapján a keresett $I(t)$ görbe, tehát az állórészáram időbeli lefolyása is megállapítható.

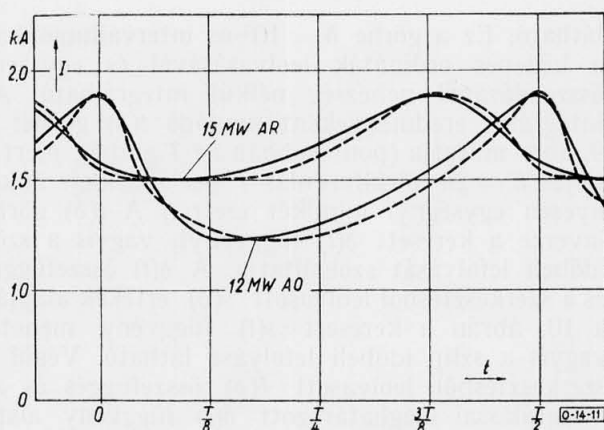


9. ábra. Az idő a szögelfordulás függvényében



10. ábra. A szlip lefolyása az idő függvényében

A 11. ábrán a javasolt eljárással meghatározott $I(t)$ görbét teljes vonal, az 1. és 2. ábra oszcillogram felvételei alapján felrajzolt $I(t)$ görbét pedig szaggatott vonal jelzi. (A görbék maximumainak időpontja önkényesen egybeesőnek van választva, mert a valóságos szögelfordulásra nézve nincs adat.)



11. ábra. Az állórészáram lefolyása az idő függvényében. Teljes vonal a szerkesztés alapján, szaggatott vonal a mérés alapján.

A javasolt eljárás alapján $P = 12,3$ MW terhelés és rövidrezárt gerjesztőkör esetén a közepes szlip $s_m = 0,1143\%$ értékűnek adódott, míg a mérésből

$$s_m [\%] = \frac{2}{T [\text{sec}]}$$

képlettel $s_m = 0,111\%$ átlagos érték nyerhető. Hasonlóképpen $P = 15,2$ MW terhelés és legerjesztő ellenálláson át zárt gerjesztőkör esetén $s_m = 0,2352\%$, illetve $s_m = 0,243\%$ adódik a szerkesztésből, illetve a mérésből.

IV. Összefoglalás és következtetések

Amint az előzőkből kitűnik, a javasolt eljárás nemcsak egyszerű, hanem a közelítések és elhanyagolások ellenére a mutatkozó eltérések a gyakorlat számára megengedhető mértékűek. A meg-

szerkesztett és a mért áramgörbék csaknem fedik egymást, eltérésük alig számottevő. Nagyobb pontosságra nem is nagyon érdemes törekedni, mert maguknak a mért áramgörbéknek egyes periódusaiban is megfigyelhetők különbségek (lásd az 1. és 2. ábrát).

Hasonlók mondhatók el a szlipről is. A szerkesztéssel és a mérésből meghatározott közepes szlip értéke még a legkedvezőtlenebb esetben sem tér el 5%-nál jobban. Ennyi eltérés magában az egyes félperiódusokban mért szlipben is megmutatkozik.

Mint hogy a szlip-idő és a szög-idő görbék közvetlen mérése, oszcillográf felvétele nem mindennapi feladat, így a javasolt eljárás egyik gyakorlati eredményének kell tekinteni az utóbbi két görbe meghatározását.

Mint hogy továbbá az eljárás kiindulási alapját csupán műszerleolvasások képezik, és a szög-idő, valamint a szlip-idő görbe mellett az állórészáram-idő görbe is egyszerűen kiadódik, a javasolt eljárás a hurkos oszcillográf használatát is feleslegessé teheti vagy helyettesítheti.

A javasolt eljárás mellékeredményeként az UY_q és UY_d diagramnak, illetve az Y_q és Y_d hossz- és kereszt-tengely admittancia diagramnak kis szlipekre (kis frekvenciákra) vonatkozó szakasza adódott ki, amelynek egyéb mérési módszerekkel való megállapítása nehézségekbe ütközik.

V. Függelék

A III. pontban ismertetett két példa részleteiről a jelen függelékben található táblázatok tájékoztatók.

A 6. ábra (illetve a 7. ábra) alapján meghatározott δ szög, s szlip, és I állórészáram összetartozó értékeit az 1. táblázat (illetve a 3. táblázat) tartalmazza. Ugyanitt megtalálhatók a 8. ábra felrajzolásának alapjául szolgáló $-1/s$ reciprok szlip értékek is.

A numerikus integrálás részleteit a 2. táblázat (illetve a 4. táblázat) ismerteti. A közepes ordinátákat a 8. ábráról 5° , 15° , 25° ... stb. szögekre kell leolvasni.

Az egyes ordináták összegezésének eredménye ugyancsak megtalálható a 2. táblázat (illetve a 4. táblázat) második és negyedik oszlopában. A harmadik és hatodik oszlop ezeket a részleteredményeket az egységnyinek vett félperiódus törtrészeként tünteti fel. A 9. ábra a 2. táblázat (illetve a 4. táblázat) első és harmadik, negyedik és hatodik oszlopából nehézség nélkül felrajzolható.

Az 1. és 2. táblázat (illetve a 3. és 4. táblázat) azonos δ szögekhez tartozó (interpolálással meghatározott) megfelelő értékeiből az $s(t)$ szlip-idő összefüggés (10. ábra) és az $I(t)$ idő-szög összefüggés (11. ábra) ugyancsak könnyen felrajzolható.

Az 1. és 3. táblázatban az alábbi léptékeket alkalmaztuk:

$$\left. \begin{aligned} \text{Léptékek: } \frac{22,60 \text{ MVA}}{1,23 \text{ kA}} &= 1,836 \text{ MVA/kA} \\ \frac{33,73 \text{ MVA}}{1,88 \text{ kA}} &= 1,794 \text{ MVA/kA} \end{aligned} \right\} (1. \text{ tábl.})$$

$$\left. \begin{aligned} \text{Léptékek: } \frac{27,16 \text{ MVA}}{1,50 \text{ kA}} &= 1,81 \text{ MVA/kA} \\ \frac{34,50 \text{ MVA}}{1,89 \text{ kA}} &= 1,825 \text{ MVA/kA} \end{aligned} \right\} (3. \text{ tábl.})$$

Összetartozó értékek
(12 MW AO)

1. táblázat

$-s$ 10^{-4}	$-\frac{1}{s}$ 10^8	$2\delta'$ °	$2\delta''$ °	I' kA	I'' kA
8	1,25	189°	211°	1,29	1,35
9	1,11	152°	252°	1,23	1,492
10	1,0	133°	273°	1,23	1,583
11	0,9	119°	288°	1,25	1,653
12	0,833	108,5°	302°	1,28	1,714
13	0,769	99°	313°	1,32	1,76
14	0,714	92°	324°	1,36	1,803
15	0,666	83°	332,5°	1,405	1,836
16	0,625	76°	342°	1,46	1,858
17	0,583	68°	349°	1,51	1,874
18	0,555	60°	357°	1,57	1,88
19	0,526	52°	5°	1,642	1,88
20	0,500	37°	21°	1,745	1,84

Összetartozó értékek
(15 MW AR)

3. táblázat

$-s$ 10^{-4}	$-\frac{1}{s}$ 10^8	$2\delta'$ °	$2\delta''$ °	I' kA	I'' kA
18	0,555	105°	105°	1,56	1,56
19	0,526	67°	144°	1,51	1,64
20	0,500	51°	159°	1,50	1,69
21	0,476	39°	172°	1,51	1,73
22	0,454	30°	182,5°	1,52	1,755
23	0,435	20°	192°	1,53	1,785
24	0,417	12,6°	200,6°	1,55	1,81
25	0,400	5°	209°	1,57	1,83
26	0,385	359°	216°	1,587	1,845
27	0,371	352,5°	223°	1,594	1,86
28	0,357	346°	231°	1,63	1,868
29	0,345	339°	236°	1,655	1,88
30	0,333	332,5°	243°	1,684	1,888
31	0,323	323°	251°	1,717	1,89
32	0,313	314°	261°	1,758	1,882
33	0,303	303°	272°	1,8	1,873

Numerikus integrálás

2. táblázat

(12 MW AO) $1/C = 0,5 \cdot 10^8 \pi/180^\circ$

δ°	$-C \int_0^\delta \frac{1}{s} d\delta$	$\frac{2}{T} t$	δ°	$-C \int_0^\delta \frac{1}{s} d\delta$	$\frac{2}{T} t$
0°	0,00 5,23	0,0000	180°	139,42 12,45	0,4425
10°	5,23 5,07	0,0165	190°	151,87 12,58	0,4815
20°	10,30 4,99	0,0325	200°	164,45 12,57	0,5215
30°	15,29 5,02	0,0485	210°	177,02 12,43	0,5610
40°	20,31 5,11	0,0645	220°	189,45 12,20	0,6005
50°	25,42 5,34	0,0805	230°	201,65 11,80	0,6390
60°	30,76 5,71	0,0975	240°	213,45 11,47	0,6760
70°	36,47 6,20	0,1160	250°	224,92 10,96	0,7135
80°	42,67 6,80	0,1355	260°	235,88 10,47	0,7470
90°	49,47 7,35	0,1570	270°	246,35 9,81	0,7815
100°	56,82 8,14	0,1800	280°	256,16 9,36	0,8130
110°	64,96 8,79	0,2060	290°	265,52 8,76	0,8415
120°	73,75 9,45	0,2340	300°	274,28 8,20	0,8700
130°	83,20 10,13	0,2640	310°	282,48 7,62	0,8950
140°	93,33 10,74	0,2960	320°	290,10 7,09	0,9200
150°	104,07 11,30	0,3300	330°	297,19 6,49	0,9355
160°	115,37 11,87	0,3660	340°	303,68 6,02	0,9630
170°	127,24 12,18	0,4035	350°	309,70 5,61	0,9815
180°	139,42	0,4425	360°	315,31	1,0000

Numerikus integrálás

4. táblázat

(15 MW AR) $1/C = 0,5 \cdot 0,5 \cdot 10^8 \pi/180^\circ$

δ°	$-C \int_0^\delta \frac{1}{s} d\delta$	$\frac{2}{T} t$	δ°	$-C \int_0^\delta \frac{1}{s} d\delta$	$\frac{2}{T} t$
0°	0,00 8,00		180°	180,80 8,97	0,5905
10°	8,00 8,45	0,0261	190°	189,77 8,57	0,6200
20°	16,45 8,89	0,0540	200°	198,34 8,15	0,6480
30°	25,34 9,35	0,0825	210°	206,49 7,75	0,6750
40°	34,69 9,80	0,1135	220°	214,24 7,35	0,7000
50°	44,49 10,16	0,1455	230°	221,59 6,96	0,7240
60°	54,65 10,46	0,1790	240°	228,55 6,64	0,7470
70°	65,11 10,67	0,2130	250°	235,19 6,34	0,7690
80°	75,78 10,83	0,2480	260°	241,53 6,16	0,7890
90°	86,61 10,94	0,2830	270°	247,69 6,05	0,8095
100°	97,55 10,99	0,3195	280°	253,74 6,01	0,8285
110°	108,54 10,94	0,3550	290°	259,75 6,01	0,8490
120°	119,48 10,85	0,3915	300°	265,76 6,09	0,8685
130°	130,33 10,69	0,4265	310°	271,85 6,25	0,8880
140°	141,02 10,47	0,4605	320°	278,10 6,49	0,9090
150°	151,49 10,16	0,4950	330°	284,59 6,76	0,9300
160°	161,65 9,80	0,5285	340°	291,35 7,12	0,9515
170°	171,45 9,35	0,5600	350°	298,47 7,52	0,9750
180°	180,80	0,5905	360°	305,99	1,0000

IRODALOM

1. Csáki Frigyes: 44 000 kVA-es turbogenerátor aszinkron üzeme. Elektrotechnika, Budapest, 1956. 8. sz. 229—239. old.
2. Csáki Frigyes: Turbogenerátorok aszinkron üzeme I. és II. Villamos Energetikai Kutató Intézet és Villamos Gépek Üzemtana Tanszék közleménye. Budapest, 1955. 92. szám és 1957. 179. szám.

3. Kovács K. Pál—Csáki F.: Marche asynchrone des turbo — alternateurs. CIGRÉ rapport No. 115. Paris, 1958.
4. Kovács K. Pál—Csáki F.: Asynchronous Running of Turbo — Alternators. Periodica Polytechnica, Electrical Engineering, Budapest, 1959. Vol 3. No 1. p. 1—19.
5. Сыромятников И. Ф.: Режимы работы синхронных генераторов. Госэнергоиздат. 1952.

A VILLENKI-ben kifejlesztett kooperációs teljesítmény-szabályozó berendezés energetikai elvi kérdései

RONKAY FERENC dr.
a műszaki tudományok kandidátusa,
az Erőmű Tröszt OÜSZ vezetője és a VILLENKI tudományos munkatársa

621.316.728:621.311.062.1

Az önmagukban szorosan csatolt, de egymással laza kapcsolatban levő erőműrendszerek között átáramló teljesítmény időbeli lefolyása egy lassúbb lengésre szuperponálódó gyorsabb lengéssel jellemezhető. A lassúbb lengések hálózati jelleggörbe szerinti szabályozással gyakorlatilag megszüntethetők, de akkor a szabályozást végző erőmű teljesítménye erősen ingadozik. Höerőműves rendszerben, ilyen a magyarországi rendszer is, az erőműveket nem szabad túlzott teljesítményingadozásokkal terhelni, ezért a kooperációs teljesítményt csak hosszabb időre eső állagértékre célszerű szabályozni. E célkitűzés a Villamos Energetikai Kutató Intézetben kifejlesztett, félig automatikus rendszerű és több erőművet irányító szabályozó berendezéssel megoldható.

A magyar villamosenergia-rendszer Csehszlovákiából párhuzamos üzemben villamosenergiát importál. E villamosenergia importot a szerződésekben körülhatárolt menetrendek szerinti teljesítményértékkel kell Magyarországnak hálózatának Csehszlovákia hálózatából vételeznie. A vételezést tehát szabályozni kell, illetve az országhatáron átjövő teljesítmény értékét a kölcsönös megállapodásnak megfelelő menetrendi érték meghatározott tűrésén belül kell tartanunk. A két állam hálózatának összes teljesítményéhez viszonyítva kb. egy nagyságrenddel kisebb teljesítőképességű kapcsolata műszaki okokból is gondos szabályozást követel, mert különben a csatlakozó állomások berendezései és a vezetékek időnként túlterhelődnének és az üzemet zavaró feszültségingadozások, valamint teljesítménylengések is káros következményekkel járnának.

A felvetett kérdésre, tehát önmagukban szorosan csatolt hálózatoknak egymásközötti viszonylag laza kapcsolatán átfolyó teljesítménynek szabályozására ma már kiforrott megoldások vannak. E kérdéssel a VILLENKI 1953 óta rendszeresen foglalkozik, több tanulmányt is adtunk közre e témakörből és több előadást is tartottunk.¹

¹E tárgykörből a szerzőnek eddig a következő tanulmányai jelentek meg:

Kooperációs hálózat szabályozása I. 110 sz. VILLENKI tanulmány, 1955.

Kooperációs hálózat szabályozása II. (Félautomatikus szabályozó berendezés). 125 sz. VILLENKI tanulmány, 1956.

Kooperációs hálózat szabályozása III. 154. sz. VILLENKI tanulmány, 1957.

Együttműködő erőműrendszerek teljesítmény- és periódusszám szabályozásának alapelve. Elektrotechnika, 1957. jan.—febr.

A nemzetközi villamosenergia kooperáció szabályozásának elvi kérdései. Elektrotechnika, 1958. apr.—jún.

Villamosenergia-rendszerünk teljesítmény- és frekvencia-szabályozása. Elektrotechnika, 1959. nov.—dec.

Ennek megfelelően a mostani előadásomban az általános elvi problémákat nem érintem, hanem inkább azokat az alapvető szempontokat vázolom, amelyek a kooperációs teljesítményt úgynevezett félig automatikus módszerrel szabályozó első hazai berendezés kifejlesztésének és létesítésének alapjául szolgáltak.

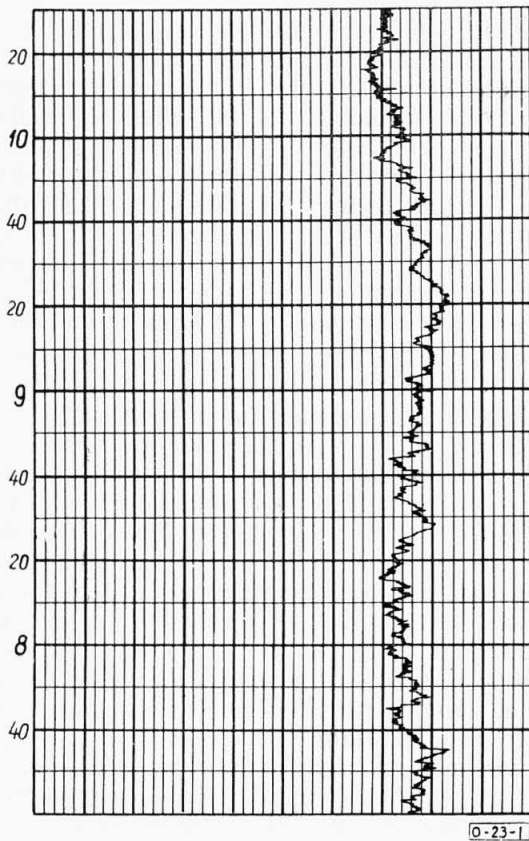
Párhuzamos üzemünk az úgynevezett klasszikus rendszerben indult: külön a frekvenciára és külön a határon átvett teljesítményre szabályozó felekkel. Mivel műszakilag előnyösebb, ha a nagyobb teljesítőképességű partner tartja a frekvenciát, a mi feladatunk a határt átszelő teljesítmény szabályozása lett. E szabályozás erőműveink forgótartalékának változó igénybevételével a *Teherelosztó*-ból diszpécseri irányítással, távmérőberendezés és telefonok segítségével is megoldható. E módszer fáradtságos, széles toleranciát követel és így ma az automatikák korszakában már nem nevezhető korszerűnek. Részben a műszaki fejlődésre való törekvés, részben a ČSK villamosenergia hálózata részéről egyre szigorúbban jelentkező követelmények, arra indították iparágunk irányítóit, hogy a VILLENKI-t a kooperációs teljesítményt szabályozó berendezés létesítésével bízzák meg.

A szóbanforgó célnak megfelelő automatikák kifejlesztése nálunk iparilag sokkal haladottabb államok vállalatai részére is komoly feladatokat jelentettek, ugyanakkor hozzánk képest lényegesen nagyobb anyagi, műszaki és főleg nagyobb technológiai lehetőségekkel már egy évtizeddel ezelőtt kezdtek hozzá a probléma megoldásához. Ezek tudatában az első megbeszéléseken a külföldi behozatal mellett foglaltunk állást és az Intézetben a hálózati követelményeinknek megfelelő önműködő szabályozóberendezésre ajánlati felhívást dolgoztunk ki. A közben felmerült devizanehezvételeket mérlegelve, mégis a VILLENKI kapott megbízást a csehszlovák-magyar párhuzamos üzem magyar oldali szabályozására alkalmas teljesítményszabályozó berendezés kifejlesztésére és hazai előállítására.

Az akkori feltételek szerint a határunkat átszelő teljesítményt egy-negyedórás átlagban ± 5 MW pontossággal kellett tartani. A csehszlovák és magyar hálózatok közötti természetes teljesítmény-csere — hasonlóan az egyéb hasonló jellegű rendszerek közötti teljesítménycseréhez — egy lassúbb

lengésre szuperponálódó, viszonylag gyorsabb ingadozásokkal jellemezhető. A lassúbb lengés ideje 6—12 perc között változik és a középértékhez viszonyítva az amplitudója általában ± 5 és ± 10 MW határok között mozog. A gyorsabb ingadozások ideje 1—3 perc és amplitudója általában ± 5 MW-ig változik.

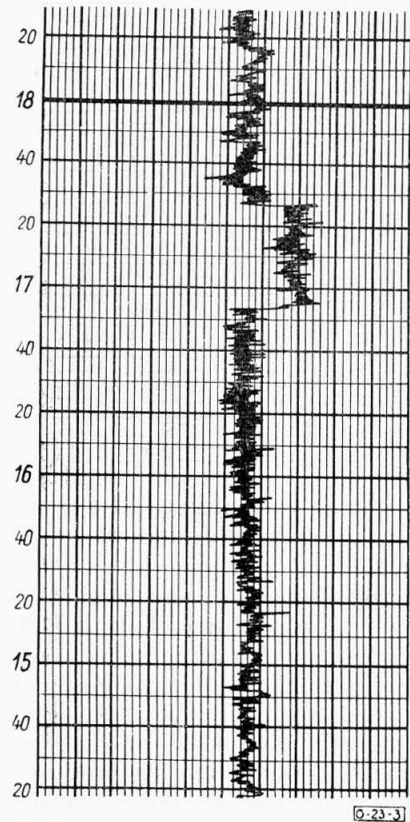
Ez utóbbi gyorsabb ingadozást a hálózat fogyasztóinak statisztikus törvényszerűséggel jelentkező eredő terhelésváltozásai hozzák létre. E teljesítménylökések fedezésében a párhuzamos üzemben járó hálózatok a frekvenciatényezőjük arányában vesznek részt, így nyilvánvaló, hogy a rendszereket összekötő vezetéken a fogyasztói teljesítménylökések észlelhetők.



1. ábra. Csehszlovákia és Magyarország villamosenergia rendszereit összekötő vezetéken áramló teljesítmény regisztrátuma

A lassúbb lengések részben a fogyasztói lökések interferenciáiból, részben a terhelés és termelés változásaiból erednek. Ezekre már rányomja bélyegét az együttműködés szabályozási rendszere. A megosztott frekvencia és teljesítményszabályozás esetén, tehát a mi jelenlegi szabályozási rendszereinkben, a partnerünk által szabályozott frekvencia elkerülhetetlen ingadozása a saját hálózatunk frekvenciatényezője szerint befolyásolja a csereteljesítményt állandó értéken tartani a turbináink primér szabályozóinak átállításával. Ezt a befolyásolást az erőművek részben a Teherelosztó utasítására, de részben öntevékenyen hajtják végre

azzal, hogy a részükre kiadott teljesítménymentrendet igyekeznek betartani. A turbinák primérszabályozóinak átállítása lassú folyamat, tehát a létrehozott teljesítménylengés is viszonylag lassú. Maga a lengés részben a személyi művelettel elkerülhetetlen túlszabályozások, részben pedig annak a következménye, hogy a mi teljesítményszabályozásunk is befolyásolja a frekvenciát, amit a csehszlovák partner törekszik visszaállítani eredeti értékére, tehát teljesítménylabdázás áll elő. E lengések lefolyása az 1. ábrán feltüntetett regisztrátumon észlelhető.

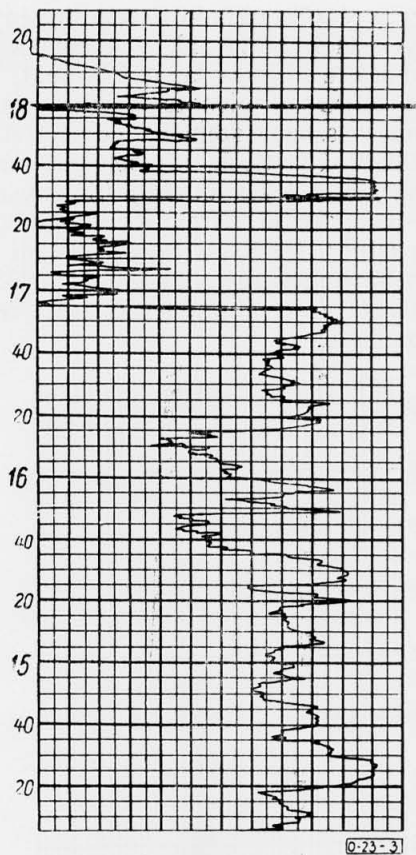


2. ábra. Hálózati jelleggörbére szabályozó rendszerek közötti csereteljesítmény regisztrátuma

Ha a frekvencia és teljesítmény szabályozását a Darrieux-elv alapján mindkét partner együttesen és automatizmussal végzi, akkor a nagyobb idejű lengések gyakorlatilag eltüntethetők. Erre a 2. ábra regisztrátuma mutat be példát két nagyobb külföldi hálózat közötti csereteljesítmény időbeli lefolyását szemléltetve. Természetesen a csereteljesítménylengés eltüntetésének ára van, amennyiben a körzeten belüli lassúbb terhelésváltozások átmennek a szabályozott erőműre. A 3. ábra az előbbi rendszerek egyikén az egyetlen szabályozott erőmű teljesítmény regisztrátumát mutatja be a 2. ábra regisztrátumával azonos időben. Ez az erőmű vízerőmű, és ezért engedhető meg a csaknem teljes kapacitásra kiterjedő szabályozási sáv.²

Joggal felvethető az a kérdés, hogy érdemes-e az erőmű teljesítményét tág határok között változ-

² Regelversuche. Deutsche Verbundgesellschaft Heidelberg, 1957.



3. ábra. Szabályozást végző vízerőmű teljesítményregisztrátuma

tatni csak azért, hogy a rendszereket összekötő vezetéken szép regisztrátumot kapjunk. A választ nem lehet kizárólag műszaki indokok alapján megadni, mivel a többnyire külön gazdasági érdekességekhez tartozó rendszerek közötti együttműködést előíró megállapodásokban az egyes partnerek a saját hálózatuk minél zavarmentesebb üzemét igyekeznek a csereteljesítmény állandósításával biztosítani. Ugyanakkor szerepet játszik az az adottság is, hogy van-e olyan vízerőmű, esetleg tározós erőmű a rendszerben, amely károsodás nélkül bírja az erős teljesítményingadozást. Közismert tény, hogy a teljesítmény gyakori és meredek változtatása a hőerőmű élettartamát és általában az üzem biztonságát károsan befolyásolja, tehát hőerőműves rendszerben, mint amilyen a miénk is, a csereteljesítmény ingadozást nagyobb sávban célszerű megengedni. Ez az elv a szocialista gazdálkodásban meg is valósítható, amire példa a múlt évi csehszlovák-magyar üzemviteli megállapodás, amely szerint a csereteljesítmény menetrendet csak egyórás átlagban kell tartani és ezzel a hőerőműveket nagyobb mértékben lehet kímélni.

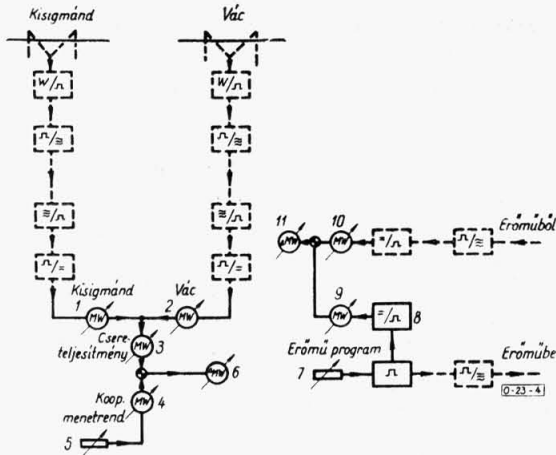
E szemléletben tervezte a VILLENKI teljesítményszabályozó berendezését először hat erőmű szabályozására, amit később az *Erőmű Tröszt*-tel való megbeszélés alapján nyolc erőmű szabályozására alkalmas központi részleggel valósított meg és ugyanakkor a szabályozás sebességét kis értékre tervezte.

Mivel Csehszlovákia is a későbbiekre *Darrieux*-elv alapján működő szabályozást irányozott elő, a saját szabályozó berendezésünket is úgy terveztük, hogy az kiegészíthető legyen a frekvencia taggal. Egyelőre azonban a fennálló üzemviteli megállapodás és a csehszlovák partner szabályozási adottságaira való tekintettel kizárólag teljesítményszabályozásra készült el.

A fejlesztést a külföldi, hasonló jellegű berendezésekről folyóiratokban megjelent cikkek gondos tanulmányozása előzte meg. E külföldi szabályozóberendezések viszonylag nagymértékben mozgó mechanizmusokat is tartalmaznak, aminek előállításához fejlett műszeripari technológiával is rendelkeznek. Sajnos ezen a vonalon — legalább is a munka kezdetekor — nem állt a hazai műszeriparunk azon a fokon, hogy megbízható segédkészülékeket tudjon adni. Így például az erőművi eltérés érzékelését szerettük volna ejtőkengyeles Deprezrendszerrel megoldani, de az illetékes vállalat akkor még nem tudott ilyen készüléket szállítani. Mindezek a kényszerű körülmények arra indították a VILLENKI-t, hogy teljesen mozgó alkatrész nélküli elektronikus rendszerrel oldja meg a feladatot. A turbinák szervó motorjaira kimenő és viszonylag nagyobb teljesítményszükségletű beavatkozó jelet a moszkvai *CNIEL*-ben folytatott konzultáció alapján — mágneses erősítő állítja elő.

A szabályozóberendezést első menetben — a VILLENKI témakollégiuma tanácsára és a *VIPIG*-gel való megállapodás alapján úgynevezett félautomatikus rendszerben készítette el a VILLENKI. Ez azt jelenti, hogy a csereteljesítmény eltérését a Teherelosztóban levő kezelő figyeli és ő állítja be az eltérésnek megfelelő menetrendmódosításra a szabályozásra kijelölt erőműveket. Tehát a szabályozási láncban a kezelő személye, illetve az ő tevékenysége is benne van. Az erőmű oldalon a szabályozás teljesen automatikus. Ez azt jelenti, hogy az erőmű önműködően kapja a mindenkori menetrendje tartásához szükséges befolyásoló jeleket a turbinák primér szabályozóinak szervomotorjaira. Így tehát az erőmű önműködően menetrendtartó, illetve a módosított menetrendre áttér, tehát önműködően követi a diszpécser irányítását.

A teljes automatizmusra való áttérést csak a félautomatikus berendezéssel szerzett üzemi tapasztalatok leszűrése és kiértékelése utáni időre irányoztuk elő. Ugyanis már a munka indulásakor tudatában voltunk annak, hogy az új elektronikus berendezések sok bizonytalanságot és meglepetést rejtegetnek, amik azonban a próbák eredményei alapján rendszeres munkával kiküszöbölhetők. Előzetes aggodalmaink — sajnos — indokoltak voltak, amennyiben az első próbák után a berendezés nem mutatkozott eléggé állékonynak, amit azonban az *OVTÁSZ* gondos megfigyeléseinek és ellenőrző méréseinek figyelembevételével az elektronikus munkatársaknak fokozatosan sikerült olymértékben rendbehozniuk, mint az hasonló jellegű elektronikus berendezéseknél szokásos és amelyen túl a követelményekben már nem indokolt elmenni.



4. ábra. A VILLENKI központi szabályozóberendezésének tömbvázlata (az Országos Villamos Teherelosztóban levő részleg)

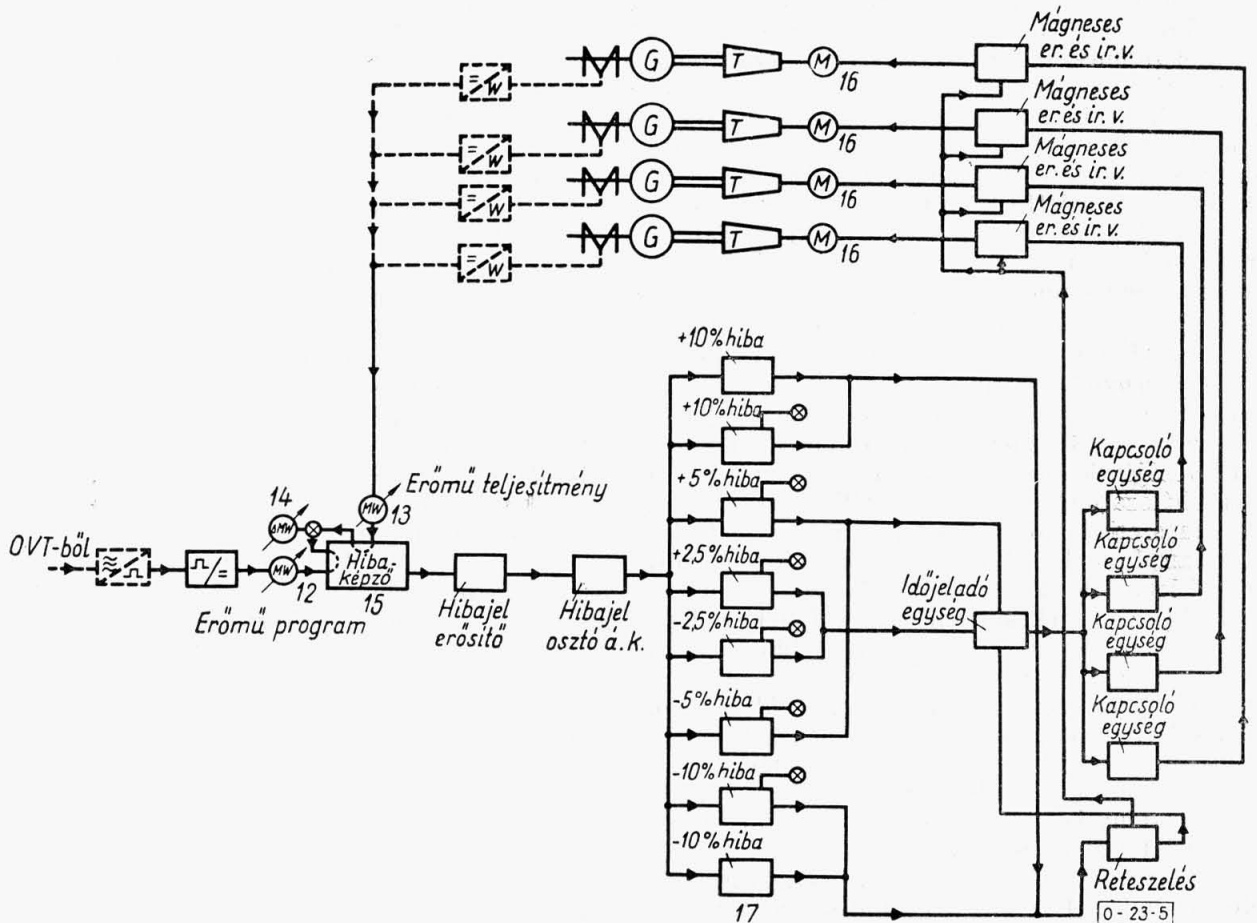
Az előzőekben röviden vázolt elvi működés a 4. és 5. ábra alapján a következők szerint követhető:

A 4. ábra a központi helyen a Teherelosztóban levő berendezés tömbvázlatát, míg az 5. ábra az erőművi részleg tömbvázlatát tünteti fel.

A határt két helyen átszelő csereteljesítmény értékét távmérési láncolatlan az 1 és 2 jelű, már a készülékben levő műszerekbe hozzuk, majd az összegezett értéket a 3 műszer mutatja. A csereteljesítmény előírt menetrend szerinti értéke a 4

jelű műszeren olvasható le, de ehhez szükséges, hogy a diszpécser az 5 jelű potenciométeren a napi menetrendet rendszeresen beállítsa. A 6 jelű műszer a tényleges és az előírt csereteljesítmény különbségét, tehát az eltérést jelzi. Ezt az eltérést kell a szabályozásra kijelölt erőművek felé mint erőművi menetrendváltoztatást a diszpécsernek kiadnia. Az erőmű felé menő impulzusjel értékét ellenőrzés céljából a 8 jelű átalakító készülékkel mérhető egyenárammá alakítják át, és ezzel az erőműbe menő parancs-érték a 9 jelű műszeren leolvasható.

A 4. ábra jobb középső részén feltüntetett láncolaton érkezik vissza az erőműből az erőmű tényleges teljesítményét jelző érték, tehát a 10 jelű műszeren az erőmű tényleges teljesítménye olvasható le. A 11 jelű műszer az erőmű felé kiadott parancs-értéknek és az erőmű tényleges teljesítményének a különbségét jelzi, tehát a diszpécser erről látja, hogy az erőmű mekkora eltéréssel dolgozik, illetve az erőműben levő automatikának mekkora eltérést kell szabályoznia. A Teherelosztó diszpécser által kiadott erőművi menetrend, illetve módosított menetrend-érték a 12 jelű (5. ábrán) műszeren az erőműben leolvasható. Ugyanott, az erőmű vezénylőtermében a 13 jelű műszer az erőmű tényleges teljesítményét jelzi. A 14 jelű műszeren a vezénylőtermi kezelőszemélyzet közvetlenül láthatja az erőmű eltérést a menetrendtől, tehát azt az értéket, amit a szabályozóberen-



5. ábra. A VILLENKI erőművi szabályozóberendezésének tömbvázlata (erőműben levő részleg)

dezés igyekszik eltüntetni. A 15 jelű hibaképző készülék az erőműteljesítmény és a menetrend közötti különbségnek, tehát a 14 műszeren mutatott értéknek megfelelő részleteltérések szerint, az 5. ábra jobboldalán feltüntetett láncolatban keresztül, több vagy kevesebb turbinaterhelés beállítására ad impulzusokat, a turbinák 16 jelű szervomotorjai felé (e motorok a turbinák primér szabályozóinak jelleggörbéit önmagukkal párhuzamosan tolják el). Az átviteli láncolatban a 17 jel feletti oszlopban levő eltérést érzékelő készülékek különböző fokozatokban készültek. Középtől lefelé az egyik irányú, míg középtől felfelé a másik irányú eltérést érzékelik. Az első fokozat (az ábrán 2,5%-kal jelölve) lassúbb ütemben adja a turbina felé a beavatkozó jelet, míg a második fokozat (az ábrán 5%-kal jelölve) gyorsabb ütemben ad a turbinák felé befolyásoló jelet. Ezzel azt szándékoztunk elérni, hogy az esetleg szükségessé váló nagyobb eltérés szabályozása gyorsabban következzen be. Ha akár a berendezés hibájából, akár a diszpécser személyes tévedéséből kifolyóan túlzottan nagy eltérésre kap parancsot az erőművi részleg, akkor a 17. oszlop két legfelső és két legalsó szimbólumának megfelelő készülékek reteszeltést hoznak létre, illetve a berendezés működését megállítják és ezzel lehetetlenné teszik azt, hogy a turbinák túl nagy terhelésváltozásra legyenek igénybe véve.

A meglévő erőműveink többségében és a *Budapesti Erőműben* is, ahol elsőként került próbára a berendezés, még nincs önműködő kazán szabályozás. Célzerűnek mutatkozott ezért a szabályozó berendezést kazánházi beavatkozó szervvel is kiegészíteni. Tekintettel arra, hogy ez ott szükséges, ahol nincs kazán szabályozás, így nyilvánvalóan csak a személyzetet figyelmeztető jelzőberendezés lehetett, amit a VILLENKI erőművi berendezéséről vezérelve az Erőmű Tröszt és a Budapesti Erőmű dolgozott ki, illetve készített el. E transzparens jelzőberendezés az induló eltérés irányát jelzi és két fokozatban megközelítően tájékoztatást ad a közvetlenül következő terhelésváltoztatásról.

A *Darrieux*-elv szerinti szabályozáshoz a központi berendezés kiegészíthető frekvenciataggal. A frekvenciatagot mindenkor a hálózat eredő frekvenciatényezőjének megfelelően kell beállítani. Ez az érték a hálózaton levő gépek összeállítása és terhelési állapota szerint változó. A hálózatunkon jelenleg általában 140—160 MW/Hz értékhatárok között szokott lenni, de előállhat olyan helyzet is, amikor az előbbi számértékeket lefelé vagy felfelé túllépi. Példaként megemlíthető, hogy az utóbbi években üzembehelyezett 50 MW teljesítőképességű gépegységeink frekvenciatényezője egyedül is kb. 25 MW/Hz, tehát aszerint, hogy e gépek véghelyzetig vannak-e terhelve vagy forgótartalékkal rendelkeznek, erősen befolyásolják a hálózati eredő frekvenciatényező számszerű értékét. Változik a frekvenciatényező aszerint is, ahogy a gépeket több, illetve kevesebb teljesítmény szolgáltatására befolyásoljuk. Ugyanis a mindenkor terhelési ponttól lefelé üzemszerűen mindenkor több a sza-

bályozható teljesítménytartalék, mint fölfelé, annál is inkább, mivel gazdaságossági okokból a korszerű, kis növekményfogyasztású gépeket teljes terheléssel célszerű járítani.

A frekvenciatényező értékének változása komolyabb nehézségeket nem szokott támasztani, mivel az esetleges pontatlan beállítás nem okoz olyan eltérést, mint amit diszpécseri beavatkozással nem lehetne azonnal és egyszerű módon helyreigazítani.

E helyen kell megemlíteni a napi terhelési görbe erősen emelkedő szakaszán, a reggeli felterheléskor előálló helyzetet is, amikor a változó terhelés közben felfelé szabályozásra a frekvenciatényező értéke csaknem zérus, mivel a teljesítményszolgáltatásban a vezérelt kazánok terhelésderiváltja ilyenkor csaknem az elérhető maximumig van kimerítve. (Az erős terhelésváltozási időszakban jelentkező szabályozási nehézségek leküzdését célozta már az is, hogy a VILLENKI szabályozóberendezésének központi része már eleve nyolc erőmű szabályozására alkalmas kivitelezésben készült.)

A kazánhelyzet egyébként is befolyásolja a frekvenciatényezőt, de ez a befolyás a terhelésváltozás után nem jelentkezik azonnal, mivel a kazánban tárolt energia általában jóval több, mint a forgótömegekben tárolt energia, tehát annak a kimerítésére később kerül sor. Régi, nagyobb vízterű kazánokban a tárolt energia jóval nagyobb, mint a korszerű kazánokban. A frekvenciatényező értéke ezek szerint a lökést követő néhány másodperc után a turbinák helyzetétől függ, majd néhány-szor 10 s, esetleg 1—2 perc után a frekvenciatényező csökken, mert akkor jelentkezik a kazánok tartalékának a kimerítése. Olyan hálózaton, ahol sok a vízerőmű, ez a hatás alig jelentkezik. Hőerőműves erőműrendszerben, mint a miénkben is, korszerű kazán szabályozásokkal lehet a kazánok frekvenciatényező csökkentő hatását ellensúlyozni.

A *Darrieux*-elv bevitelével, illetve a teljes automatizmusra való áttérés mellett még meg kell oldani a turbinák primér szabályozóinak nem lineáris jellegéből előálló problémákat is, amik csak a berendezés üzemi próbái után kerültek felszínre. E nem lineáritás abban jelentkezik, hogy a teljes terhelési állapot közelében a szervó motornak az egységnyi teljesítményeltoláshoz több fordulatot kell tennie, mint kisebb terhelések esetén. Ennek következtében a szabályozás a teljes terhelés közvetlen közelében lassúbb. Különösen az ún. rudazatos primér szabályozóval ellátott Zoelly-turbinánál áll fenn e jelenség. A probléma a gépek egyenkénti teljesítményével arányos jel visszavezetésével oldható meg.

Külön kérdés még a hálózati veszteségek figyelembevételével a gazdaságos terheléselosztás automatizálása, illetve ennek az automatizmusnak kapcsolata a kooperációs teljesítményszabályozó berendezéssel. A jelenlegi szabályozó berendezés szerkezeti felépítése e kapcsolatot lehetővé teszi. E kérdés megoldásával a VILLENKI Automatikaosztálya foglalkozik és az eddigi részeredmények is már biztató képet adnak.

Kooperációs szabályozó berendezés transzfer paramétereinek megválasztása

UZSOKY MIKLÓS
tud. oszt. vezető

621.316.72:621.311.062.1

A szerző a kooperációs szabályozást mint sokváltozós lineáris szabályozót vette vizsgálat alá. Üzemi követelmények figyelembevételével a szabályozó transzfer paramétereinek megválasztására ad módszert. Az ismertetett megoldásnál a hálózati tranziensek esetében is teljesül a körzetek között a be nem avatkozás elve. Végül numerikus példán mutatja be az eredmények alkalmazását.

Jelölések

P_e : tényleges teljesítmény.

P_p : paraméter teljesítmény, vagyis az a teljesítmény, mely a turbina szekunderszabályozó állását jellemzi azáltal, hogy a névleges frekvenciánál (50 Hz-nél) ez a teljesítmény lép fel.

$P_h = P_e - P_d$: a hibateljesítmény.

P_d : az előírt teljesítmény.

P_m : a menetrend szerint tervezett teljesítmény.

$k = \frac{\Delta P_e}{\Delta f}$: a primerszabályozó arányossági

tényezője (frekvencia tényező)

*: konvolúció jele

Indexezés

Felső index: a körzet jelölése (római szám v. betű);
alsó index: a körzeten belüli jelölés

speciális alsó második index;

c : csereteljesítmény indexe,

r : a szabályozásban részt nem vevő erőműveket és fogyasztókat összefoglaló index

Például:

P_{ei}^n, k_i^n : az n -dik körzet i -dik erőművének tényleges teljesítménye és primer szabályozójának arányossági tényezője;

P_e^n : az n -dik körzet tényleges teljesítményét megadó vektor, melynek összetevői az egyes erőművek tényleges teljesítményei.

Bevezetés

A magyar és a cseh villamosenergia-rendszerek összekapcsolása és kooperálása szükségessé tette egy szabályozóberendezés felállítását. A VILLENKI elsősorban egy olyan szabályozó tervezését végezte el, melyben a kooperáló körzetek közti csereteljesítményt, a szabályozandó erőművek menetrend szerinti teljesítményértékét, valamint az egyes erőművek szabályozásban való részvételének mértékét időnként az OVT-ben a diszpécser-szolgálat beállítja az adott terhelésnek és rendelkezésre álló erőművi gépteljesítményeknek megfelelően. A hálózat frekvenciaszabályozásáról a körzetek kooperációs szabályozóitól függetlenül történik gondoskodás.

Megvizsgáltuk azt a lehetőséget is, amikor a kooperációs teljesítményszabályozás a gazdaságos teherelosztást végző analóg számítógép kiegészítő részévé válik. Ez a rendszer a szabályozás menete szempontjából természetesen sok hasonló vonást mutat az előzőekben említett rendszerrel.

A jelen dolgozatban az első esetben említett szabályozási rendszer kidolgozásánál alkalmazott vizsgálati módszert ismertetjük.

I. Egyszerűsítő feltételek és lineáris folyamat-ábra

A kooperációs szabályozás egy földrajzilag kiterjedt és sok változót tartalmazó rendszer vizsgálatát kívánja meg. Azért, hogy az áttekinthetőség ne vesszen el, és hogy az eredmények gyakorlati számításokra is alkalmasak legyenek, bizonyos egyszerűsítő feltételeket kell tennünk, ugyanakkor a tárgyalásmódnak is tömörnek kell lennie.

A tényleges viszonyok egyszerűsítése céljából vezessük be az alábbi feltételeket:

1. a vizsgált rendszer az arányossági tartományon belül dolgozik,

2. a kooperációs szabályozásból eredő változások szempontjából a rendszer kinetikus energiájának a változása elhanyagolható.

A számítás tömörsége szempontjából az azonos jellegű mennyiségeket vektorokba fogjuk össze. Mindjárt előljáróban vezessük be a következő jelöléseket:

$$(1, 1, 1, \dots, 1) = \mathbf{1}$$

és

$$\mathbf{1} \mathbf{k}^1 + k_r^1 + \mathbf{1} \mathbf{k}^{11} + k_r^{11} + \dots + \mathbf{1} \mathbf{k}^n + k_r^n = k.$$

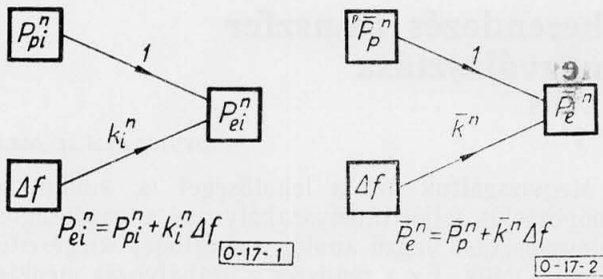
A rendszerben fennálló viszonyokat az S. J. Mason által kidolgozott lineáris folyamat-ábrák segítségével vizsgáljuk¹. A lineáris folyamat-ábra bizonyos vonatkozásban a blokkvázlat duálja: minden változóhoz tartozik egy csomópont és minden egyes operátorhoz egy irányított út. Egy csomópont egyben reprezentál egy explicit egyenletet, melyben a csomópontba írt mennyiséget fejezzük ki, mint a többi változó lineáris függvényét. Az egyes együtthatókat az irányított utakra írjuk. A változók lehetnek skalárok vagy vektorok és ennek megfelelően az utakra írt együtthatók skalárok, vektorok vagy mátrixok.

A lineáris folyamat-ábra használatát egy példa keretén mutatjuk be.

Írjuk fel az n -dik körzet i -dik erőművének tényleges teljesítményét a paraméterteljesítmény és a frekvenciamegváltozás függvényében:

$$P_{ei}^n = P_{pi}^n + k_i^n \Delta f$$

¹) S. J. Mason: Feedback Theory—Some Properties of Signal Flow Graphs. Proc. I. R. E. 1953. szept. 1144. o.



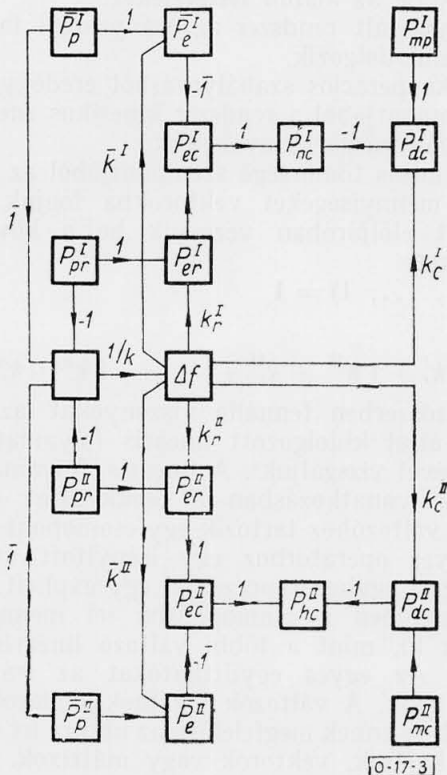
1. ábra

2. ábra

Ezen összefüggés lineáris folyamat-ábráját az 1. ábra mutatja. Itt mind a csomópontokra, mind az utakra skalármennyiségeket írtunk. Ha az n -dik körzet W erőművet tartalmaz, akkor W egyenlet írható fel. A felírás egyszerűsítése céljából az azonos mennyiségeket vektorokba fogva össze, a felírt összefüggés a következő alakot ölti:

$$P_e^n = P_p^n + k^n \Delta f$$

A nyert vektoregyenlet lineáris folyamat-ábrája a 2. ábrán látható. A csomópontokban, valamint az utakon levő mennyiségek skalárok, ill. vektorok.



3. ábra

- | | |
|--|---|
| (1) $P_{dc}^I = P_{mc}^I + k_c^I \Delta f$ | (6) $P_{dc}^{II} = P_{mc}^{II} + k_c^{II} \Delta f$ |
| (2) $P_{hc}^I = P_{ec}^I - P_{dc}^I$ | (7) $P_{hc}^{II} = P_{ec}^{II} - P_{dc}^{II}$ |
| (3) $P_{ec}^I = P_{er}^I = \mathbf{1} P_e^I$ | (8) $P_{ec}^{II} = P_{er}^{II} - \mathbf{1} P_e^{II}$ |
| (4) $P_e^I = P_p^I + k^I \Delta f$ | (9) $P_e^{II} = P_p^{II} + k^{II} \Delta f$ |
| (5) $P_{er}^I = P_{pr}^I + k_r^I \Delta f$ | (10) $P_{er}^{II} = P_{pr}^{II} + k_r^{II} \Delta f$ |
- (11) $\Delta f = \frac{1}{k} [\mathbf{1} P_p^I + \mathbf{1} P_p^{II} - P_{pr}^I - P_{pr}^{II}]$

Mint látható, a lineáris folyamat-ábra segítségével a kérdéshez csatlakozó matematikai modellt egyértelműen és röviden definiálhatjuk és szemléletes képet nyerhetünk az összefüggésekről.

A 3. ábrán egyszerűség kedvéért két kooperáló körzetre rajzoltuk fel a lineáris folyamat-ábrát, ami az általánosságot nem érinti, mivel egy körzet szempontjából a többi körzet összevonható. Az ábra alatt felírtuk az egyes explicit egyenleteket, melyek segítségével a fizikai folyamat kétféle leírása jól összevethető. Az ábrából látható, hogy a két körzet egymásra hatása a frekvenciaeltérésen keresztül lemérhető.

II. Kooperációs szabályozás üzemviteli feltételei

A kooperációs szabályozó a körzeten belüli erőművek gépeinek üzemébe célszerűen mint szekunderszabályozó avatkozik be. Vagyis a szabályozó az erőmű tényleges teljesítményét úgy változtatja meg, hogy a gépek szekunderszabályozó motorjára adott vezérléssel azok paraméterteliességét állítja át.

A szabályozónak üzemviteli szempontok miatt ki kell elégíteni a következő három feltételt:

1. A paraméterteliességekre nézve teljesüljön a be nem avatkozás elve a körzetek között. Ez jelen esetben azt jelenti, hogy az egyik körzeten belüli terhelésváltozás vagy szabályozási folyamat ne hasson a többi körzet szekunderszabályozóira, vagyis a paraméter teljességeire.

2. A csereteliesség menetrend értékének változása ellenkező előjellel egyenértékű legyen a körzeten belüli terhelésváltozással. Ez annyit jelent, hogyha például a körzeten belüli fogyasztásváltozást a csereteliesség menetrendjének változásával kívánjuk fedezni, — vagyis a körzeten kívülről — akkor a körzeten belüli gépek paraméterteliességének nem szabad megváltoznia.

3. A turbinák szelepeinek kímélése céljából a szekunderszabályozó motorok kisímitott jellel legyenek vezérelve.

A fenti kikötések alapján levezethetők a szabályozást kielégítő egyenletek. A levezetés folyamán azt az utat követjük, hogy előbb meghatározzuk az ideális szabályozásra vonatkozó összefüggést, függetlenül attól, hogy az egyenletekben szereplő mennyiségek gyakorlatban előállíthatók-e vagy sem. Ezután — a szabályozás gyakorlati megvalósítása céljából — az egyenletben szereplő, de a szabályozás szempontjából hozzá nem férhető mennyiségeket kifejezzük ismert mennyiségekkel.

III. A szabályozás egyenletei

A szabályozóberendezés az erőművek paraméterteliességén keresztül avatkozik be az energia-termelésbe, ezért a körzet P_p vektorát kell kifejeznünk. Az 1. feltétel előírása alapján egy körzeten belüli erőművek paraméterteliessége csak a körzeten belüli fogyasztás paraméterteliességétől és a körzet menetrend szerinti csereteliesség-

nyétől függhet, azaz a szekunderszabályozásnak csak akkor szabad megindulni, ha a körzeten belül megváltozik a fogyasztó paraméterteljesítménye, vagy a csereteljesítmény menetrendje. A 2. feltétel kimondja, hogy az egyes erőművek paraméterteljesítménye csak a fenti két érték különbségétől függ. Egyenlettel kifejezve:

$$P_p^i = \Theta (P_{pr}^i - P_{mc}^i)$$

ahol Θ — lineáris operátor.

A Θ operátor tulajdonságait a következő módon állapíthatjuk meg. Feltételezve azt, hogy a fogyasztói paraméterteljesítmény lépcsőszerűen megváltozik, akkor állandósult állapotban ennek a változásnak egy előírt arányban szét kell oszlania az egyes erőművek paraméterteljesítményeire, azaz

$$\lim_{t \rightarrow \infty} \Delta P_p^i = \lim_{t \rightarrow \infty} \Theta [\Delta (P_{pr}^i - P_{mc}^i)] = v^i \Delta (P_{pr}^i - P_{mc}^i) \quad (12)$$

A v^i vektor megadja az i -dik körzet paraméterteljesítmény vektora egyes összetevői változásainak arányát, vagy más szavakkal, a v^i vektor egy komponense azt mutatja meg, hogy a kérdéses erőmű milyen részt vállal a bekövetkezett teljesítményváltozás kiszabályozásából. Mivel mindig a teljes teljesítményváltozást osztjuk szét, szükséges hogy fennálljon az alábbi azonosság:

$$1 v^i \equiv 1 \quad (13)$$

Tekintsünk el egy rövid időre a 3. feltételtől — vagyis ne vizsgáljuk a rendszert tranziens állapotban — akkor a paraméterteljesítményre (melyet most P_p^{i*} jelzéssel látunk el), nyerjük:

$$d P_p^{i*} = v^i d (P_{pr}^i - P_{mc}^i)$$

illetve

$$P_p^{i*} = \int_{-\infty}^t v^i d (P_{pr}^i - P_{mc}^i) \quad (14)$$

Ha most figyelembe vesszük a 3. feltételt is, akkor a (14)-ben kapott paraméterteljesítménnyel arányosan nem vezérelhetjük az erőműveket, hanem az időbeni hirtelen változásait ki kell simítani. Ezzel az ideális szabályozásra nyert összefüggés a következő:

$$\begin{aligned} P_p^i(t) &= B^i(t) * \int_{-\infty}^t d P_p^{i*}(t) = \\ &= B^i(t) * \int_{-\infty}^t v^i(s) d [P_{pr}^i(s) - P_{mc}^i(s)] \quad (15) \end{aligned}$$

Ahol a $B^i(t)$ integrál magnak a (12) értelmében ki kell elégíteni az alábbi egyenletet:

$$\int_0^{+\infty} B^i(t) dt = 1 \quad (16)$$

A $B^i(t)$ megválasztása a szabályozás gyorsaságát befolyásolja és mindenkor a konkrét viszonyok mérlegelése alapján lehet meghatározni.

A (15) egyenlet alapján elvileg elkészíthető egy szabályozó, azonban annak gyakorlati kivitelezése nehézségekbe ütközne a P_{pr}^i teljesítmény megállapítása miatt. A (15) egyenletnek a szerepe csak az, hogy rámutasson a fizikai összefüggésekre. A gyakorlat számára használható formula elérése céljából átalakítjuk olyan egyenletté, amelyben a szabályozás szempontjából jól kezelhető mennyiségek szerepelnek.

A 3. ábrán feltüntetett (1), (2), (3), (4) és (5) egyenletek felhasználásával a következő kifejezést nyerhetjük:

$$P_{pr}^i - P_{mc}^i = (k_c^i + 1 k^i - k_r^i) \Delta f + 1 P_p^i + P_{hc}^i \quad (17)$$

A szabályozás üzemvitelére tett 1. feltétel szerint szükséges, hogy a zárójelbe foglalt kifejezés nullával legyen egyenlő, azaz

$$k_c^i = k_r^i - 1 k^i \quad (18)$$

amely pedig nem más, mint a hálózatszabályozásban ismert Darrieux-féle összefüggés.

A (17) egyenletnek a (15)-be való behelyettesítésével nyerjük a szabályozás integrálegyenletét

$$P_p^i(t) = B^i(t) * \int_{-\infty}^t v^i(s) d [1 P_p^i(s) + P_{hc}^i(s)] \quad (19)$$

Az integrálegyenlet a függelékben megadott módon megoldható és az alábbi eredményt nyerjük:

$$P_p^i(t) = B^i(t) * \int_{-\infty}^t v^i(s) [\Gamma^i(s) * P_{hc}^i(s)] ds \quad (20)$$

ahol

$$\Gamma^i(t) = \frac{d}{dt} \mathcal{L}^{-1} \left\{ \frac{1}{1 - \mathcal{L}[B^i(t)]} \right\} \quad (21)$$

\mathcal{L} , \mathcal{L}^{-1} : a Laplace, illetve az inverz Laplace transzformáció.

A (20) egyenlet megadja az erőművek paraméterteljesítményét, mint a kooperációs csereteljesítmény hibájának függvényét. Az összefüggésben szereplő műveletek szokásos automatikai elemekkel megvalósíthatók. Az erőmű felé a teherelosztó központból praktikusán nem a paraméterteljesítménnyel arányos jelet továbbítjuk, hanem az úgynevezett diszpécsereljesítményt, amelyhez hozzáadjuk az erőműre eső frekvenciatagot is.

A fenti összefüggések diszkussziójának hosszadalmassága miatt csak néhány tárgyalható kérdésre utalunk: Például a (20) egyenlet segítségével meghatározható az egységelteljesítmény ugráshoz tartozó előírt válasz esetén a $B^i(t)$. Felállíthatók a szabályozó egyes elemeivel szemben támasztandó pontossági követelmények. Az egyenletek segítségével meghatározható a lassan és gyorsan szabályozható erőművek (víz- és hőerőművek) együttes szabályozása.

IV. Példa

Az előzőekben nyert eredmények használatát egy egyszerű háromerőműves körzet numerikusan megadott adatai kapcsán kívánjuk bemutatni. Tételezzük fel, hogy a körzet egy $k = 1000$ MW/Hz frekvenciatényezőjű rendszernek része. Legyenek a hálózat adatai:

Index	Erőművek			Fogyasztó	Mértékegység
	1	2	3	r	
Névleges teljesítmény	200	100	200	700	MW
k	-100	-40	-80	20	MW/Hz

A szabályozásnál fellépő tranziensekre írjuk elő, hogy a körzetben bekövetkező lépcsőszerű fogyasztásváltozást a körzet kooperációs szabályozója — mint szekunderszabályozó — a rendszer primer-szabályozóitól $\tau = 300$ s-os időállandóval vegye át, azaz legyen:

$$B(t) = \frac{1}{300 s} \exp\left(-\frac{t}{300 s}\right) \quad (22)$$

A (21) alapján

$$\Gamma(t) = \frac{1}{\tau} \delta(t) + \delta'(t) \quad (23)$$

ahol $\delta(t)$: a Dirac-féle függvény. A (22) és (23) felhasználásával esetünkben a (20) egyenlet az alábbi formát ölti:

$$P_p(t) = \frac{1}{300 s} \exp\left(-\frac{t}{300 s}\right) * \int_{-\infty}^t v(s) \left[\frac{P_{hc}(s)}{300 s} + \frac{d P_{hc}(s)}{ds} \right] ds \quad (24)$$

Gyakorlatban megengedhető közelítéssel írhatjuk, hogy

$$\int_{-\infty}^t v(s) \frac{d P_{hc}(s)}{ds} ds \approx v(t) P_{hc}(t)$$

és ezzel a (24) egyenlet a következőképpen egyszerűsödik:

$$P_p(t) = \frac{1}{300 s} \exp\left(-\frac{t}{300 s}\right) * \left[v(t) \cdot P_{hc}(t) + \int_{-\infty}^t v(s) \cdot P_{hc}(s) \frac{ds}{300 s} \right] \quad (25)$$

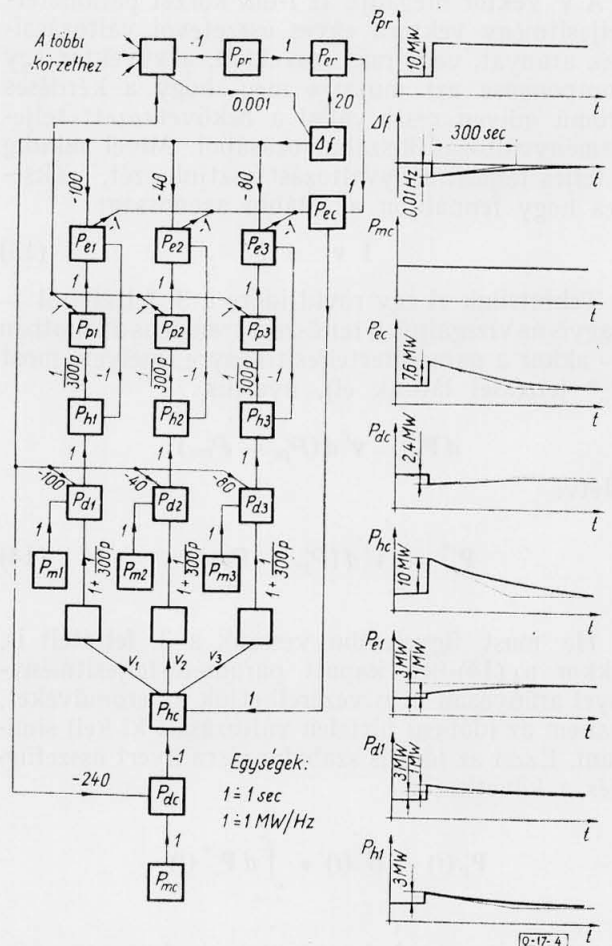
A (22) alatt megadott $B(t)$ átviteli függvényt célszerű az erőműben levő gépek szekunderszabályozói áttételének megválasztásával megvaló-

sítani. Így az erőmű felé kiadott P_d előírt teljesítmény:

$$P_d(t) = P_m(t) + k \Delta f(t) + v(t) \cdot P_{hc}(t) + \int_{-\infty}^t v(s) \cdot P_{hc}(s) \frac{ds}{300 s} \quad (26)$$

ahol $k = -(100, 40, 80)$ MW/Hz.

A fentiek alapján felrajzolható a megadott három erőműből álló körzet lineáris folyamat-ábrája, amely a 4. ábrán látható. Az utakra írt együtthatók közt szereplő p a Heaviside-féle operátor. A lineáris folyamat-ábrából leolvasható, hogy az erőműben elvégzendő művelet egy különbségképzés, a teherelosztó központban végzendő műveletek: összegezés, három integrálás, egy beállítható arányokban történő szétosztás és egy frekvenciamérés.



4. ábra

Az ábra baloldalán a frekvenciaváltozást, a kooperációs teljesítmények és az 1-es erőmű teljesítményeinek változását ábrázoltuk egy, a fogyasztói paraméterteljesítményben bekövetkező 10 MW-os lépcsőszerű teljesítménynövekedés esetén, $v = (0,3, 0,2, 0,5)$ mellett.

V. Függelék

A

$$\mathbf{P}_p^i(t) = B^i(t) * \int_{-\infty}^t \mathbf{v}^i(s) d [\mathbf{1 P}_p^i(s) + P_{hc}^i(s)] \quad (19)$$

integrálegyenlet megoldását a következő módon nyerhetjük.

Szorozzuk meg az egyenlet mindkét oldalát 1-el:

$$\begin{aligned} \mathbf{1 P}_p^i(t) &= B^i(t) * \int_{-\infty}^t \mathbf{1 v}^i(s) d [\mathbf{1 P}_p^i(s) + P_{hc}^i(s)] = \\ &= B^i(t) * \int_{-\infty}^t d [\mathbf{1 P}_p^i(s) + P_{hc}^i(s)] = \\ &= B^i(t) * [\mathbf{1 P}_p^i(t) + P_{hc}^i(t)] \end{aligned} \quad (19-1)$$

Vegyük a (19-1) mindkét oldali Laplace-transzformáltját:

$$\mathcal{L} [\mathbf{1 P}_p^i(t)] = \mathcal{L} [B^i(t)] \cdot \{ \mathcal{L} [\mathbf{1 P}_p^i(t)] + \mathcal{L} [P_{hc}^i(t)] \}$$

innen:

$$\mathcal{L} [\mathbf{1 P}_p^i(t)] = \frac{\mathcal{L} [B^i(t)]}{1 - \mathcal{L} [B^i(t)]} \cdot \mathcal{L} [P_{hc}^i(t)]$$

A nyert kifejezésre alkalmazva az inverz Laplace-transzformációt:

$$\mathbf{1 P}_p^i(t) = \mathcal{L}^{-1} \left\{ \frac{\mathcal{L} [B^i(t)]}{1 - \mathcal{L} [B^i(t)]} \right\} * P_{hc}^i(t)$$

Visszahelyettesítve a (19) egyenletbe, kapjuk:

$$\mathbf{P}_p^i(t) = B^i(t) * \int_{-\infty}^t \mathbf{v}^i(s) d \left\{ \mathcal{L}^{-1} \left[\frac{\mathcal{L} [B^i(s)]}{1 - \mathcal{L} [B^i(s)]} \right] * P_{hc}^i(s) + P_{hc}^i(s) \right\} \quad (19-2)$$

Vezessük be a következő jelölést

$$\bar{B} = \mathcal{L} [B^i(s)]$$

és következőkben vizsgáljuk a (19—2) egyenlet integráltagját külön:

$$\begin{aligned} &\int_{-\infty}^t \mathbf{v}^i(s) d \left\{ \mathcal{L}^{-1} \left[\frac{\bar{B}}{1 - \bar{B}} \right] * P_{hc}^i(s) + P_{hc}^i(s) \right\} = \\ &= \int_{-\infty}^t \mathbf{v}^i(s) \frac{d}{ds} \left\{ \mathcal{L}^{-1} \left(\frac{\bar{B}}{1 - \bar{B}} \right) + \delta(s) \right\} * P_{hc}^i(s) ds = \\ &= \int_{-\infty}^t \mathbf{v}^i(s) \frac{d}{ds} \left\{ \mathcal{L}^{-1} \left(\frac{\bar{B}}{1 - \bar{B}} + 1 \right) \right\} * P_{hc}^i(s) ds = \\ &= \int_{-\infty}^t \mathbf{v}^i(s) \frac{d}{ds} \left\{ \mathcal{L}^{-1} \left(\frac{1}{1 - \bar{B}} \right) \right\} * P_{hc}^i(s) ds = \\ &= \int_{-\infty}^t \mathbf{v}^i(s) \left\{ \left[\frac{d}{ds} \mathcal{L}^{-1} \left(\frac{1}{1 - \bar{B}} \right) \right] * P_{hc}^i(s) \right\} ds = \\ &= \int_{-\infty}^t \mathbf{v}^i(s) \left\{ \left[\frac{d}{ds} \mathcal{L}^{-1} \left(\frac{1}{1 - \mathcal{L} [B^i(s)]} \right) \right] * P_{hc}^i(s) \right\} ds = \\ &= \int_{-\infty}^t \mathbf{v}^i(s) \left[I^i(s) * P_{hc}^i(s) \right] ds \end{aligned} \quad (19-3)$$

ahol

$$I^i(t) = \frac{d}{dt} \mathcal{L}^{-1} \left\{ \frac{1}{1 - \mathcal{L} [B^i(t)]} \right\} \quad (19-4)$$

A (19—3)-nak a (19)-be való visszahelyettesítésével nyerjük az integrálegyenlet megoldását:

$$\mathbf{P}_p^i(t) = B^i(t) * \int_{-\infty}^t \mathbf{v}^i(s) \left[I^i(s) * P_{hc}^i(s) \right] ds \quad (19-5)$$

A „VILLAMOSSÁG“ 1960. évi 2—3. számának tartalma

A „Korszerű erősáramú kábelek és vezetékek fejlesztési és gyártási kérdései” ankét teljes tárgyalási anyaga.

Bevezető

Dr. Urbanek János : A Magyar Elektrotechnikai Egyesület VIII. szegedi vándorgyűlésének célkitűzései és a Kábelkutató Bizottság szerepe a hazai kábelgyártás fejlődésében

Felkai Aurél : Hazai gyártású erősáramú kábelekkel és vezetékekkel szerzett üzemi tapasztalatok

Hozzászólások

Pálos Ferenc : A villamosenergiaipar igényei a hazai kábelgyártással szemben
Hozzászólások

Vecsey Ágoston: A hazai erősáramú kábel- és vezetékgyártás gyártmányfejlesztésének irányjai, együttműködése a KGST országaival

Hozzászólások

Határozatok

Csenterics Sándor : Zárószó

Rudolf Lukac : A csehszlovák kábelipar újabb eredményei

Az Országos Villamosenergia Felügyelet közleményei

Szabványosítás

Egyesületi hírek

Találmányi bejelentések

A kooperációs teljesítményszabályozó elektronikus egységeinek tervezési szempontjai és pontossága

VÖRÖS KÁROLY
tudományos munkatárs

621.316.728 : 621.38.001.2.

Az egyes villamos energiakörzetek közötti kooperáció megvalósítására a VILLENKI kidolgozott egy elektronikus szabályozó berendezést. A szerző ismerteti a berendezés elvi felépítését, sorra veszi a szabályozó pontosságát befolyásoló egységek működését és közli a mérési eredményeket.

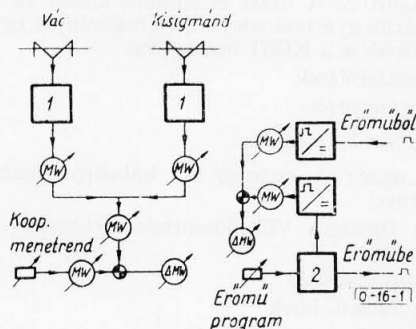
A magyar villamosenergia rendszernek a környező államok energiarendszerébe való bekapcsolódása következtében felmerült a határon átfolyó villamosenergia mennyiségének szabályozási problémája. A Villamos Energetikai Kutató Intézet az Erőmű Tröszt megbízásából foglalkozott egy olyan automatikus távszabályozó berendezés megépítésével, amely lehetővé teszi a kooperációs csereteljesítménynek a nemzetközi megállapodásban előírt értéken való tartását.

A kooperációs teljesítményszabályozás elvi kérdéseivel Dr. Ronkay Ferenc: „A VILLENKI-ben kifejlesztett kooperációs teljesítményszabályozó berendezés energetikai elvi kérdései” című dolgozatában részletesen foglalkozott, ugyanakkor Uzsoky Miklós: „Kooperációs szabályozóberendezés transzfer paramétereinek megválasztása” című tanulmánya a szabályozás megvalósításához szükséges feltételeket vizsgálta. Az említett két tanulmányhoz csatlakozva a továbbiakban a megépített szabályozó egyes egységeinek tervezési és pontossági előírásairól kívánunk beszámolni.

I. A szabályozóberendezés működésének rövid ismertetése

A szabályozóberendezés egységeinek behatóbb vizsgálata előtt tekintsük át röviden a teljes készülék működését.

Az 1. ábra az Országos Villamos Teherelosztóban felállított központi szabályozó rész áramköri felépítésének vázlatát mutatja. Működése röviden a következő: A váci és kisigmándi csatlakozó állomásokon átfolyó csereteljesítményt megfelelő távmérő rendszerrel mérik és az OVT-ben az átfolyó teljesítménnyel arányos egyenáramot állítanak elő. A szerződésben előírt csereteljesítmény egy precíziós potencióméterrel beállítható. A ve-

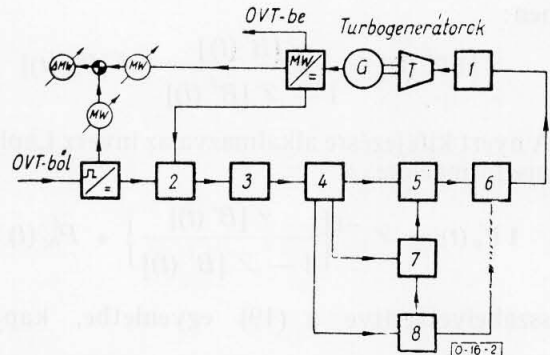


1. ábra. 1 — kooperációs mérőátalakító; 2 — impulzus generátor

zénylőasztalon egy kétmérőrendszeres műszer közös skáláján leolvasható a mért és a beállított teljesítmény pillanatnyi értéke, valamint egy külön műszerrel a két mennyiség különbsége.

Minden szabályozandó erőmű számára a vezénylőasztalba egy parancsadó impulzusgenerátort építettünk be, amelyen az erőműtől megkívánt teljesítmény ± 1 MW pontossággal beállítható.

A parancsolt teljesítményérték nagyságát a kiadott impulzus ismétlődési ideje szabja meg. Az impulzusok másodpercenkénti száma 2—12-ig változhat az erőmű teljesítményének nullától a névleges értékig való változtatásával. A kimenő impulzussorozat egy impulzus/egyen átalakító ellenőrzi és ez az érték egy műszeren leolvasható. Ugyanezen a műszeren mérhető még az erőmű pillanatnyi teljesítménye is.



2. ábra. 1 — turbina szekunder szabályozó motor; 2 — hibajel képző; 3 — hibajel erősítő; 4 — hibaezérő; 5 — kapcsoló egységek; 6 — mágneses erősítők; 7 — időjel generátor; 8 — reteszelés

A 2. ábrán az erőműben felállított szabályozóberendezés vázlatát látható. Az OVT-ből a nagyfrekvenciás csatornán érkező impulzussorozat egy impulzus/egyen átalakító az impulzusszámmal arányos egyenárammá alakítja át. Ez az egyenáram képviseli a hibajelképzőben az erőmű számára előírt teljesítményt. Az egyes generátorok által leadott teljesítmény értékét mérőátalakítók mérik, melyek a teljesítménnyel arányos egyenáramot állítanak elő. Ezen egyenáram a hibajelképzőben a tényleges értéket képviseli. Amennyiben az előírt teljesítmény és a tényleges teljesítmény között a különbség nulla, a hibajelképző nem szolgáltat jelet. Ha a két teljesítmény nem egyezik meg egymással, akkor a hibajelképző az eltérés előjelétől és nagyságától függő jellel vezérli a hibajelérősítőt, amelynek kimenetéhez egy osztó áramkörtön keresztül a hibaezérők csatlakoznak. A hibaezérők attól függően működnek, hogy mekkora az eltérés a két teljesítmény között az erőmű névleges

teljesítményéhez viszonyítva. A turbínaszabályozó motorjára jutó vezérlés ismétlődését az időjeladó egység szabályozza, míg a kapcsolóegységek a szekunderszabályozó motorra jutó impulzusok hosszát szabják meg. A szekunder szabályozó motorok hajtásához szolgáló teljesítményt mágneses erősítők szolgáltatják.

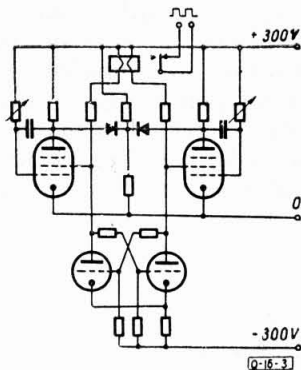
A kapcsolási vázlatból látható, hogy a szabályozás pontosságát lényegében három egység szabja meg, éspedig az OVT-ben és az erőműben beiktatott impulzus/egyen átalakító, az impulzusgenerátor és az erőműben levő hibajelképző és erősítő pontossága. Ezenkívül külön kell majd még szólnunk a tápegység stabilitásáról is.

A továbbiakban az itt megemlített három egység tervezési és pontossági feltételeit tárgyaljuk.

Jelenleg abban a helyzetben vagyunk, hogy egyidejűleg két megoldásról beszélhetünk, az egyik a jelenleg is üzemben levő, míg a másik a laboratóriumban továbbfejlesztett berendezés.

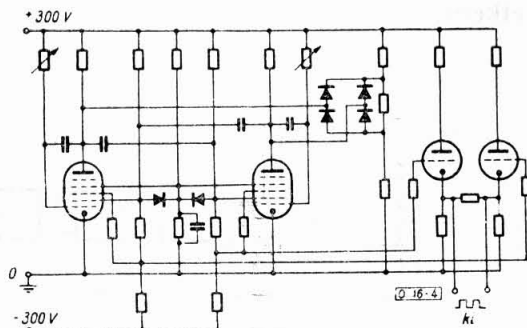
II. Impulzusgenerátor

A 3. ábrán az első, a 4. ábrán az újonnan kifejlesztett impulzusgenerátor kapcsolási vázlatát látható.



3. ábra

A felhasznált kapcsolás az impulzustechnikában használatos, ún. fantasztron kapcsolásnak módosított összeállítása. A kapcsolás lényege, hogy egy többrácsos elektroncső anódáramát valamelyik rác — de nem a vezérlőrác — negatív előfeszítésével lezárjuk. Ekkor a rác és az anód között levő kondenzátor feltöltődik a teljes tápfeszültségre.



4. ábra

ségre. A lezárás megszüntetésekor az anódfeszültség egy kisértékű hirtelen ugrás után lineárisan csökken. Nagyértékű feszültségugrás nem állhat elő, mert az a kondenzátor csatolása miatt a cső lezáródását eredményezné. Ha az anódfeszültség annyira lecsökkent, hogy áramnövekedést az anódon már nem tud létrehozni, a segédáram megnövekszik és az anódfeszültség a minimális értékét veszi fel. A segédáram növekedésének hatására a segédáram feszültsége csökken és ez a feszültségcsökkenés lezárja a kapcsoló szerepét betöltő trióda anódáramát és ez által a másik fantasztron kapcsolásban működő cső kezd vezetni, melyen a segédáramfeszültség megemelkedve, a másik kapcsoló triódát kinyitja és ez az előző csövet a segédáramnak negatív vezérlésével lezárja. A segédáramkörbe kapcsolt polarizált jelfogó gerjesztése a lezárások ütemében előjelet vált és érintkezői a szükséges vezérlő impulzusokat szolgáltatják.

Az itt használt kapcsolás előnyei az alábbiak:

1. Az anódon fellépő feszültségváltozás közel egyenlő a tápfeszültséggel. Ezen feszültséghez képest az elektroncsövek öregedése következtében előálló jelleggörbe változásai olyan kicsinyek, hogy az egység pontosságát nem befolyásolják.

2. Az időzítő hullámalak lineárisan változik, míg a más típusú impulzusgenerátorok időzítő hullámalakja általában exponenciális lefolyású. Az elektroncső öregedése miatt beálló emissziócsökkenés megváltoztatja a cső rács karakteristikáját és ennek hatása a pontosságra annál nagyobb, minél kisebb az időzítő hullámalak meredeksége. Mivel a lineáris időzítőjel meredeksége állandó, ezen módszerrel nő az egység időbeli stabilitása.

Az újonnan kifejlesztett impulzusgenerátor lényegében az előzőekben leírt elv szerint működik, azzal a különbséggel, hogy elmaradt a két kapcsoló trióda és helyette egy korszerű impulzustechnikai heptódat használtunk, melyet az *Egyesült Izzó* időközben fejlesztett ki és 10 000 órás élettartamú kivitelben gyárt. Az anódáram lezárása ebben a kapcsolásban a második vezérlő rácslal történik. Ezenkívül a generátor pontosabb működése céljából az anódon fellépő maximális és minimális feszültségeket diódák segítségével behatároltuk és ezáltal a generátor pontossága nagymértékben megnövekedett. A polarizált jelfogót — amely elég drága importanyag és sűrű karbantartást igényel — egy kettőstriódával helyettesítettük, amely egyben a kimenetet is leválasztja.

Az 5. ábrán a két impulzusgenerátor hibagörbéje látható. A szabályozandó erőmű teljesítménye 200 MW. Mint az ábrából is látható, a nem ipari csövekkel felszerelt impulzusgenerátor hibagörbéje közel eléri a 2 százalékot, ami természetesen megfelelő beállítással ± 1 százalék pontosságra állítható be. Ugyanakkor az ipari csövekkel működő impulzusgenerátor hibagörbéje ± 4 ezrelék között mozog. A jelleggörbék tartalmazzák a beállító ellenállások hibáit is.

Egy permalloy C anyagból készült köpeny-transzformátor középső oszlopára tett tekercselésbe akkora szinuszos áramot kényszerítünk, hogy a vas telítődjék. A szélső oszlopokon levő tekercsekben minden nullátmenetnél feszültségimpulzus keletkezik, azonban az oszlopon levő tekercsekben indukált feszültségek egymással szembe vannak kapcsolva és így a kimeneten nem jelenik meg jel. Ha az oszlopokon levő vezérlő-tekercsek egyikére egyenáramot kapcsolunk, akkor a két oszlop tekercseiben a feszültségimpulzusok időpontja nem esik egybe és azok nem oltják ki egymást. Ennek eredményeképpen a jelentkező eredő jel tartalmazni fogja a mágnesező áram felharmonikusait. A soros rezgőkör a második felharmonikus, vagyis a 100 Hz-es összetevőt kiszűri, majd két erősítő fokozaton keresztül felerősíti. A második felharmonikus amplitúdója a gerjesztő egyenáram értékével arányos, míg a fázisa az egyenáram irányától függ. A felerősített 100 periódusú jelet egy úgynevezett *Klemper* áramkörrel detektáljuk, szűrjük és a nyert egyenfeszültséget a kimenő fokozatra vezetjük. Az egyenáramú kimenetet a transzformátorra visszacsatoljuk úgy, hogy a visszacsatolás negatív legyen. Így kb. 3—400-szoros negatív visszacsatolás érhető el, amely azt jelenti, hogy a két áram különbségét kb. 0,3% pontossággal meg lehet határozni még akkor is, ha az erősítő erősítése nagymértékben megváltozik. Ez a pontosság tökéletesen elegendő, mivel a két áram maximális eltérése a szabályozási intervallumon belül az erőmű névértékének 10%-a lehet.

V. Tápáramforrás

Az áramkörök vizsgálatában utoljára a tápfeszültség problémáját hagytuk. A felsorolt áramköröknél csak az impulzus/egyen átalakító érzé-

keny a tápfeszültségre. Ennek elvi okai vannak, ugyanis a frekvencia/feszültség átalakításhoz szükséges egy referens feszültség, mely a mi kapcsolásainkban a negatív tápfeszültség. Ebből következik, hogy a visszaalakítás pontossága nem lehet jobb, mint a tápfeszültség stabilitásának a pontossága. Az alkalmazott stabilizált tápegység rövid idejű stabilitása megfelelő, kb. 2 ezrelék. Azonban a beépített gáztöltésű stabilizátorcsövek (VR csövek) időbeli stabilitása lényegesen rosszabb, méréseink szerint kb. 1—1,5 százalék. Az Intézetben elkészült egy tápegység laboratóriumi mintája, melyben referens elemként normálemet használunk. Ennek a tápegységnek 4 heti laboratóriumi tartampróbája alapján a stabilitás jobb mint 1 ezrelék.

Befejezésül néhány szót szeretnénk szólni az üzembehelyezett berendezés működésével kapcsolatban. A készülék tíz hónapja állandóan üzemben van. Ezen idő alatt négy egységet — három impulzusgenerátort és egy impulzus/egyen átalakítót — kellett cserélnünk a csövek emissziócsökkenése miatt. Meg kell jegyeznem, hogy ugyanakkor 17 egység működik a berendezésben, amelyekben nem ipari kivitelű elektroncsövek vannak. A készüléken az eltelt idő alatt karbantartás vagy revíziós vizsgálat, illetve hitelesítés nem történt. Egyszer kellett az erőművi tápegységet az 1,5 százalékos tápfeszültségelcsúszás miatt utánállítani. Legtöbbször (ötször) fordult elő a polarizált jelfogó érintkező meghibásodása.

IRODALOM

- Dr. Ronkay F.: Kooperációs hálózatszabályozás (körzet-szabályozás). VILLENKI jelentés, 1955.
 Dr. Ronkay F.: Kooperációs hálózatszabályozás (Félautomatikus szabályozóberendezés). VILLENKI jelentés, 1956.
 Uzsoky M.:—Vörös K.: Kooperációs teljesítményszabályozó berendezés. Elektrotechnika, 1958. 4—6. sz.

Egységkapcsolású generátorok igénybevétele légköri túlfeszültségek hatására

VAJDA GYÖRGY

a műszaki tudományok kandidátusa, igazgató h.

621.313.12 : 537.315.8

A tanulmány a Magyarországon szokásos egységkapcsolásban dolgozó generátorok igénybevételeit vizsgálja légköri túlfeszültségek hatására. A kisfeszültségen végzett túlfeszültségeloszlási mérések alapján meghatározza a generátorok szigetelésében fellépő legnagyobb igénybevételeket, valamint azt, hogy az igénybevétel hogyan függ a hullámalaktól, a túlfeszültségvédelem módjától, a transzformátor csillagpontjának földelésétől és más tényezőktől. Elméleti megfontolások alapján megvizsgálja az üzemi és a túlfeszültségek együttes hatását is. A vizsgálatok alapján rámutat a legmegfelelőbb túlfeszültségvédelmi megoldásokra.

Az elmúlt években nagyobb számban estek ki generátorok a szigetelés sérülése miatt. Célszerűnek mutatkozott megvizsgálni, hogy a generátorok szigetelése milyen igénybevételnek van kitéve, és ezen igénybevételek között a légköri túlfeszültségek nem játszanak-e lényeges szerepet. Egység-

kapcsolású gépekben közvetlenül légköri túlfeszültségekre visszavezethető sérülések általában nem voltak tapasztalhatók, ez azonban nem zárja ki ezen túlfeszültségek szerepének lehetőségét.

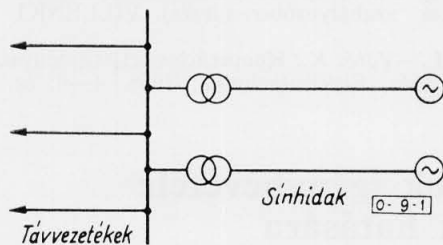
I. A szigetelésben megengedhető igénybevétel

Ismeretes, hogy a forgógépek szigetelése sok tényező együttes hatására romlik le, ezek a hatások az idő folyamán fokozatosan gyengítik a szigetelés minőségét [1]. A szigetelésnek ez a kumulatív romlása olyan mérvű lehet, hogy egy idő után — viszonylag nem nagy túligénybevételek hatására — a szigetelés átüt. Bár a légköri túlfeszültségek időtartama az üzemidőhöz képest rendkívül kicsi, az igénybevételek nagysága azont

ban olyan mérvű lehet, hogy a szigetelés romlásában szerepet játszhat. Ha ezek a túlfeszültségek nem is ütik át a szigetelést, olyan mechanikai sérüléseket vagy olyan fokú belső kisüléseket okozhatnak, amelyek erősen csökkentik a szigetelőképességet. Ezt támasztják alá Kozirev vizsgálatai, amelyek szerint [2] az átütést nem okozó lökőfeszültségek csökkentik az 50 periódusú átütési feszültséget.

A generátorszigetelések túlfeszültség-biztonsága sokkal kisebb, mint más berendezési tárgyaké. Az átütési lökőfeszültség alig valamivel nagyobb, mint az 50 periódusú átütési feszültség csúcserkéje [3]. Az egységkapcsolású generátorokban fellépő néhány kV/ μ s meredekségű hullámok esetén a lökési tényező 1,0 és 1,2 közötti érték. A megengedhető túlfeszültség-igénybevételek tekintetében világszerte megoszlanak a vélemények, az ajánlott értékek az 50 periódusú próbafeszültség csúcserkéjének 1,0 és 1,25-szerese között mozognak, a szovjet irányelvek a lököpróba-feszültség és az 50 periódusú próbafeszültség csúcserkéjére azonos értéket adnak meg [2]. Addig, amíg hazai generátorainkra megfelelő kísérleti adatok nem állnak rendelkezésre, célszerűnek látszik a megengedhető igénybevételeket a próbafeszültség csúcserkéjére korlátozni. A magyar szabványok szerint új állapotban a generátorokat $U_{pr} = 2U_n + 3$ kV feszültséggel kell próbálni, a próbát megismételni legfeljebb a próbafeszültség 75%-ával lehet.

A menetek közötti szigetelés szempontjából a hullámok meredeksége mérvadó, irodalmi adatok szerint [2] 5—10 kV/ μ s a megengedhető felső határ.



1. ábra. Egységkapcsolás elvi kapcsolási vázlata

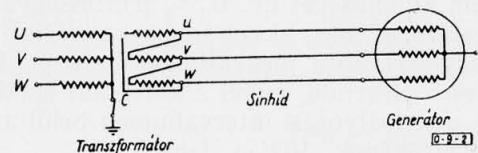
Az irodalmi adatok szerint a távvezetékhez közvetlenül csatlakozó generátorok esetében a kialakuló igénybevételek és a túlfeszültségek korlátozásának módszerei tisztázottnak tekinthetők [4]. A távvezetékhez transzformátoron keresztül csatlakozó generátorok (1. ábra) igénybevételeinek

vizsgálatáról szóló irodalmi közlemények ellentmondó eredményekről számolnak be és ezek alapján nem lehet egyértelmű ítéletet alkotni a túlfeszültségek veszélyességéről. Tekintve, hogy hazai vonatkozásban az egységkapcsolás bír gyakorlati jelentőséggel, célszerűnek mutatkozott megoldásainkban az igénybevételeket mérések útján meghatározni.

II. A vizsgálatok módja

Mind saját, mind külföldi mérések [5] azt igazolták, hogy a túlfeszültségek eloszlása kisfeszültségen a gyakorlat számára kielégítő pontossággal megegyezik a nagyfeszültségen kialakuló helyzettel. A viszonyok vizsgálata kisfeszültségen történt, mivel így a mérés egyszerűbb és gyorsabb. A behatoló túlfeszültség-hullámokat kisfeszültségű ismétlő lökésgerjesztő szolgáltatta, a vizsgált rendszer egyes pontjain fellépő igénybevételek oszcilloszkóppal segítségével mérhetők. A lökésgerjesztő 200 Volt csúcserkéjű impulzusokat szolgáltat másodpercenként 50-es gyakorisággal, ilyen ismétlődési idővel a feszültség-hullámok a katód-sugárcső ernyőjén szemmel is kényelmesen megfigyelhetők és egyszerűen fényképezhetők.

A vizsgált elrendezések vázlata a 2. ábrán látható.



2. ábra. Egységkapcsolás kapcsolási vázlata

A méréseket egy-, két- és háromsarkú lökésekkel végeztük, a nem lökött primér kapcsokat a szabadvezeték hullámellenállásának megfelelő ellenálláson keresztül földeltük. A lökésgerjesztő a lökött primér kapcsokhoz, vagy a távvezeték hullámellenállásán keresztül, vagy egy kis ellenálláson keresztül kapcsolódott attól függően, hogy távoli vagy közeli villámcsapások hatását kívántuk vizsgálni.

A kisfeszültség alkalmazása egyszerű eszközökkel lehetővé teszi annak vizsgálatát is, hogy a rendszerhez kapcsolódó különböző elemek (védőkondenzátor, védőellenállás, zárlatkorlátozó fojtótekeres stb.) hogyan befolyásolják a viszonyokat. Ezeket alkalmasan kialakított kisfeszültségű változtatható impedanciákkal lehet leképezni és a rendszer megfelelő pontjához lehet kapcsolni.

1. táblázat

Mérés jele	Generátor		Transzformátor				Sínhid hossza (m)
	teljesítmény (MVA)	feszültség (kV)	teljesítmény (MVA)	feszültség-áttétel (kV/kV)	kapcsolási csoport	rövidzárási feszültség (%)	
A	62,5	10,5	60	132/10,5	Yd11	8,5	70
B	44	10,5	40	132/10,5	Yd5	8,8	67
C	25	6,3	23	114/6,3	Yd11	10,15	46
D	18	10,5	18	120/11	Yd11	8,2	110
E	18	10,5	5	32,7/10,2	Yd5	6,0	110+328 m kábel

A túlfeszültségvédelmi eszközök leképzése elektronikus berendezéssel történt [6].

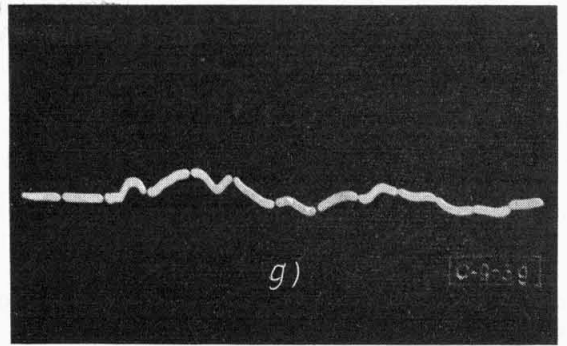
A vizsgálatokat több erőműben végeztük, a vizsgált berendezési tárgyak főbb adatait az 1. táblázat tünteti fel.

III. A túlfeszültségeloszlási mérések eredményei

A) Az igénybevételek jellege

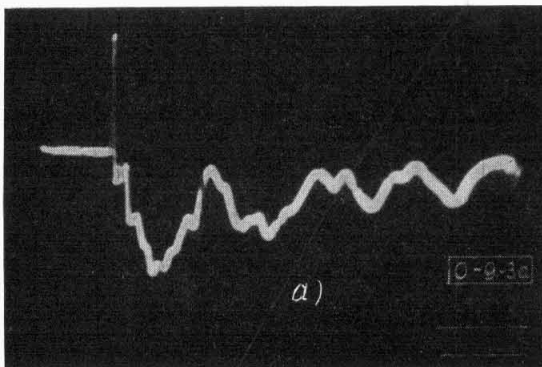
Az állomások közvetlen villámcsapások ellen védve vannak, túlfeszültségek csak a távvezetéken keresztül hatolhatnak be és a generátorokhoz csak a transzformátoron keresztül jutnak.

A mérések a generátort veszélyeztető túlfeszültség-igénybevételek meghatározására irányultak, feltételezve hogy a transzformátorkapcsok köz-

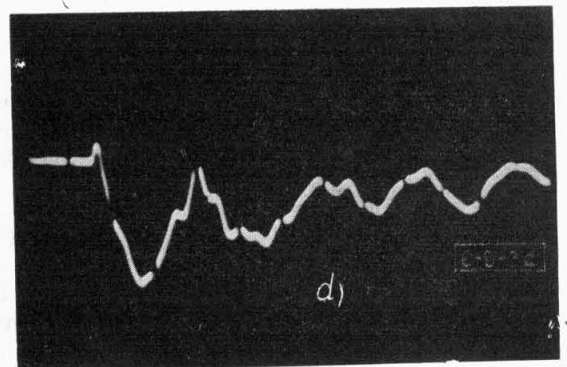


7

Igénybevétel a csillagpontban

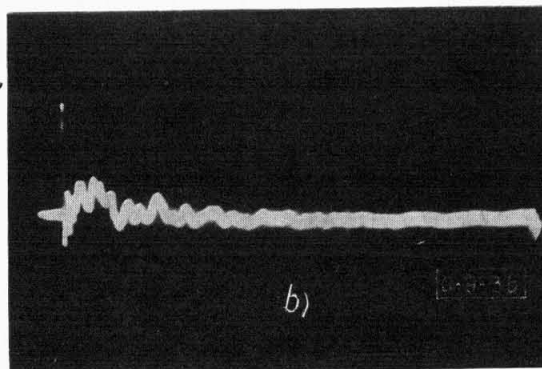


1

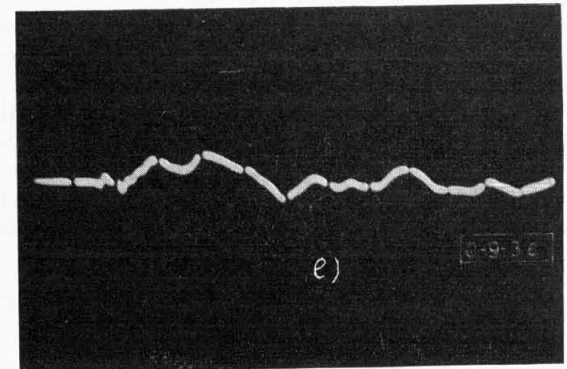


u

4

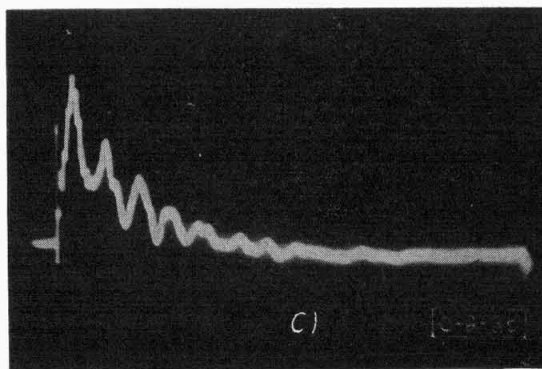


2

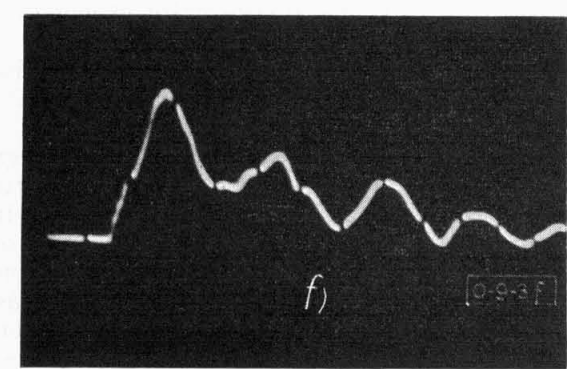


v

5



3



w

6

Igénybevétel a transzformátor szekunder kapcsain

Igénybevétel a generátor kapcsokon

3. ábra. A feszültségek hullámrajza egysarkúan távolról behatoló vándorhullám esetén. B mérés, időjel $10 \mu s$. Teljes eltérítés a 2. és 3. hullámrajzokon kb. $400 \mu s$, a többin $130 \mu s$

vetlen közelében elhelyezett túlfeszültségvédelmi eszközök (túlfeszültséglevezető, oltócső) megszó-
lalási feszültségénél nagyobb csúcsértékű hullámok az állomásba nem hatolnak be. Természe-
tesen, ha a védelmi eszközök a transzformátor
kapcsoktól távolabb vannak elhelyezve, az igény-
bevételek megnőnek. Így például ha túlfeszültség-
levezetők a vonali becsatlakozásnál vannak fel-
szerelve, a transzformátorkapcsok igénybevétele
25—30%-kal is megnőhet.

Az igénybevételek jellegéről 1/50-es szabványos
alakú, egysarkú behatoló hullám esetében a
3. ábra ad felvilágosítást.

A transzformátor primér oldaláról a szekundér
oldalra átvitt túlfeszültségek három összetevőre
bonthatók fel.

A transzformátor primér és szekundér teker-
cselése közötti C_{12} kapacitáson keresztül átvitt
kapacitív összetevő rövid ideig tartó feszültség-
impulzus, amely mindhárom fázisban azonos
polaritású és nagyságú (a 3. ábrán a transzformátor-
szekundérkapcsain felvett hullámrajzok elején
látható impulzusok). Nagysága U_{1t} csúcsértékű
túlfeszültség-hullám behatolásakor közelítőleg

$$U_{2c} = U_{1t} \frac{C_{12}}{C_{12} + C_2 + C_1}, \quad (1)$$

ahol C_2 a szekundértekeres földkapacitása, C_1
pedig a terhelés földkapacitása. Az U_{2c} összetevő
nagysága attól is függ, hogy a primér oldalon
hány sarkúan érkezett a túlfeszültség-hullám és
annak milyen az alakja. Legnagyobb háromsar-
kúan, legkisebb egysarkúan érkező hullámok ese-
tében. A hullám homlokidejének csökkenésével
a kapacitív összetevő megnő.

A hullámrajzokból az is kiténik, hogy a sínhíd
a kapacitív összetevőt nagyrészt elnyeli és a gene-
rátor kapcsokon értéke már elhanyagolható.

Az elektromágnesesen átvitt induktív összetevő
nagysága csillag-háromszög kapcsolású transzfor-
mátorban közelítőleg [7]

$$U_{2L} = U_n \frac{k}{N \left(1 + \frac{L_t}{L_g}\right)}, \quad (2)$$

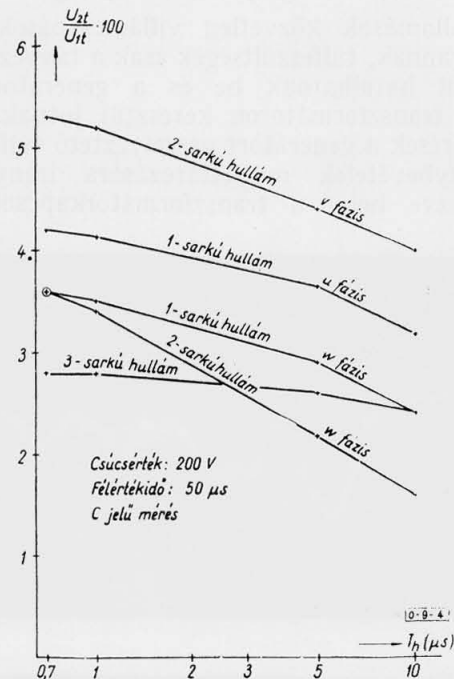
ahol U_n a névleges primér feszültség, N a feszült-
ség áttétel, L_t és L_g a transzformátor és generátor
szórás inductivitása, a k tényező értéke 3—4
attól függően, hogy a primér csillagpont hatáso-
san vagy nem hatásosan földelt.

Ha a szekundér oldal deltába van kapcsolva —
hazánkban ez a kizárólagos gyakorlat — csak egy-
és kétsarkú hullámok esetében alakul ki induktív
összetevő, háromsarkú lökésekkel szemben a delta
kapcsolás rövidzárat jelent. Az átvitt feszültség
a generátor oldalán két fázisban fog fellépni,
értékük egyforma nagy, de ellenkező polaritású
lesz, a harmadik fázisban az induktív összetevő
zérus lesz. Két fázis között a földhöz képest mér-
hető feszültség kétszerese fog fellépni.

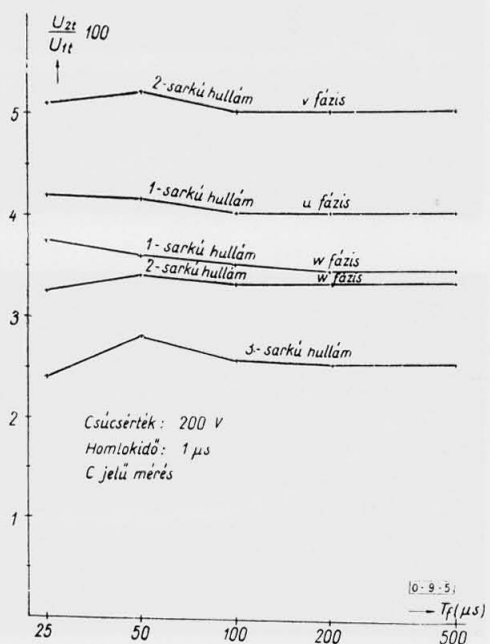
A szekundér oldali áramkör önrezgésszámának
megfelelően csillapított lengések is kialakulnak,
amelyek hozzáadódnak a fenti két összetevőhöz.

B) A behatoló hullám alakjának befolyása

A vizsgálatok előtt célszerű volt megmérni,
hogy az igénybevételeket hogyan befolyásolja a
behatoló túlfeszültség-hullám alakja. Néhány erre
vonatkozó mérési eredményt a 4. és 5. ábra tüntet
fel. Ezekből kiténik, hogy a homlokidő szerepe
nagy, a félértékidő hatása viszont nem túl lényeges.



4. ábra. A hullám homlokidejének befolyása a generátorkapcsok igénybevételeire
 U_{1t} = behatoló hullám
 U_{2t} = fellépő igénybevétel

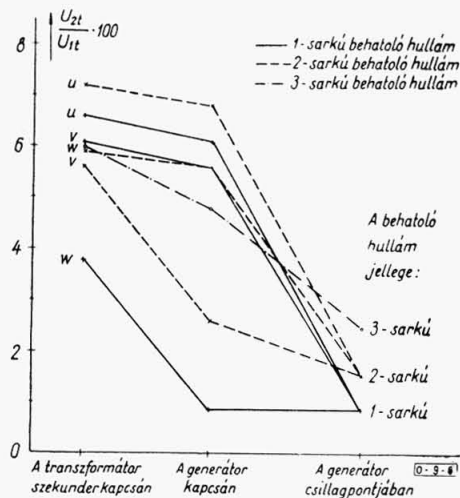


5. ábra. A félértékidő befolyása a generátorkapcsok igénybevételeire
 U_{1t} = behatoló hullám
 U_{2t} = fellépő igénybevétel

A görbék alapján megfelelőnek mutatkozott a méréseket a szabványos 1/50-es alakú hullámokkal végezni. Az eredmények értékelésekor viszont figyelemmel kell lenni arra, hogy 1 μ s-nál rövidebb homlokidő és 50 μ s-nál rövidebb félértékidő esetén az igénybevételek néhány százalékos növekedése is előfordulhat.

C) Túl feszültség-igénybevételek 1/50-es alakú beható hullámok esetén

A vizsgálatok szerint a közeli visszacsapás valamivel nagyobb igénybevételeket okoz, mint a távolról beható vándorhullámok. Nagyságukról a 6. ábra ad képet.

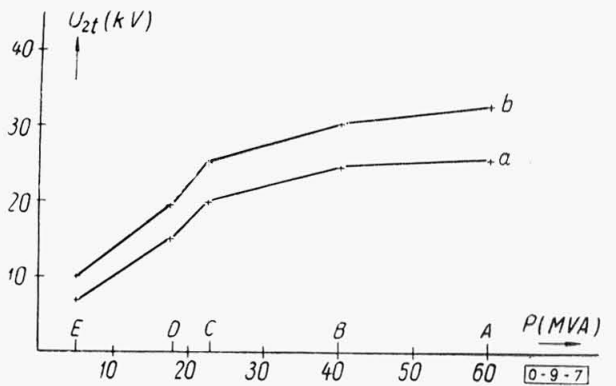


6. ábra. A fellépő igénybevételek csúcserőértéke a beható hullám csúcserőértékének százalékában. A jelű mérés

Néhány mérési eredményt a 2. táblázat mutat be, a táblázatban a mért túlfeszültség igénybevételek csúcserőértéke a beható hullám csúcserőértékének százalékában van feltüntetve.

A mérések szerint a generátorkapcsokon két-sarkú hullámok okozzák a legnagyobb, a három-sarkúak a legkisebb igénybevételt, a csillagpont

igénybevétele háromsarkú hullámok esetén legnagyobb, egysarkú esetén a legkisebb. A közeli visszacsapás okozta igénybevétel két- és három-sarkú esetben valamivel nagyobb mint a távolról beható vándorhullámok esetén fellépő.



7. ábra. A generátorkapcsokon fellépő igénybevételek a transzformátorteljesítmény függvényében

A generátorkapcsok legnagyobb túlfeszültség igénybevétele a 7. ábrán látható a transzformátorok teljesítményének függvényében. Attól függően, hogy a transzformátor primerkapcsain túlfeszültségvezetők vagy koordináló szikraközök látják el a túlfeszültség védelmet az a, illetve b görbék mérvadók. A mérések szerint az igénybevétel az egységteljesítmény növekedésével általában nő. Ugyancsak kitűnik a mérésekből, hogy a generátor és transzformátor közötti összeköttetés hosszának és kapacitásának növekedése csökkenti az igénybevételt.

A hullámrajzok szerint a hullámok homlokideje minden esetben meghaladta a 10 μ s-ot, a hullámok meredeksége nem veszélyes és a lengésidő növelésére különleges intézkedésekre nincs szükség.

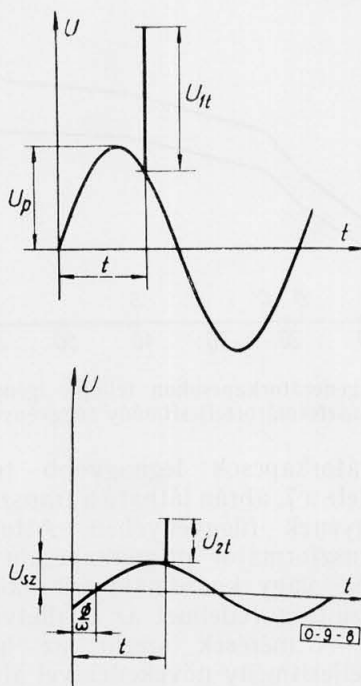
A csillagpont igénybevétele mindig jóval kisebb volt a kapcsok igénybevételénél, különleges védelmi eljárásokra tehát itt sincs szükség.

2. táblázat

Igénybevétel jellege	Mérés helye	A		B		C	
		távoli villámcsapás	közeli visszacsapás	távoli villámcsapás	közeli visszacsapás	távoli villámcsapás	közeli visszacsapás
Egysarkú 1/50-es hullám	Generátor kapcsokon	u: 6,0 v: 5,6 w: 0,9	6,1 5,6 0,9	5,1 0,9 4,2	5,0 1,1 4,0	4,3 1,0 3,6	4,1 1,0 3,6
	Generátor csillagpontban	0,7	0,9	1,0	0,9	0,8	0,9
Kétsarkú 1/50-es hullám	Generátor kapcsokon	u: 6,6 v: 1,9 w: 5,4	6,8 2,6 5,6	5,8 3,9 1,9	6,3 4,0 2,0	1,9 4,9 3,2	2,2 5,3 3,4
	Generátor csillagpontban	1,5	1,6	1,9	1,8	1,7	2,0
Háromsarkú 1/50-es hullám	Generátor kapcsokon	2,4	2,8	2,9	3,3	2,5	2,8
	Generátor csillagpontban	2,3	2,4	2,7	3,3	2,5	2,8

IV. Az üzemi feszültség befolyása az igénybevételek nagyságára

A generátorok szigetelését a légköri eredetű túlfeszültség-hullám és az üzemi feszültség eredője veszi igénybe. Az eredőt legegyszerűbb számítással meghatározni.



8. ábra.

A 8. ábra jelölései szerint U_p és U_{sz} a primér, illetve szekundér kapcsok fázisfeszültségének csúcserőke, φ a két feszültség közötti fáziseltolás, a leggyakoribb Yd11 kapcsolási csoportnál $\varphi = 30^\circ$, U_{1t} és U_{2t} a t időpontban érkező túlfeszültség-hullám primér, illetve szekundér oldali csúcserőke. A szekundér oldal eredő igénybevétele

$$U_2 = U_{2t} + U_{sz} \sin(\omega t - \varphi). \quad (3)$$

A túlfeszültség-hullámoknak a mérésekből meghatározható áttételi számát $\frac{U_{2t}}{U_{1t}} = a$ -val, az üzemi feszültség áttételi számát $\frac{U_{sz}}{U_p} = b$ -vel jelölve,

az U fázisra érkező egysarkú túlfeszültség-hullám hatására az u és w fázisban fellépő feszültség

$$U_{2u,w} = \pm a U_{1t} \pm b U_p \sin(\omega t \mp \varphi) \quad (4)$$

lesz, a két fázis igénybevétele ellenkező előjelű. A primér oldalon behatoló túlfeszültség csúcserőket a védelmi eszköz U_v megszóllalási feszültsége korlátozza

$$U_{1t \max} = U_v - U_p \sin \omega t \quad (5)$$

értékre, amiből

$$U_{2u,w} \leq \pm a U_v \pm U_p [b \sin(\omega t \mp \varphi) - a \sin \omega t] = \pm a U_v \pm U_p \frac{b \sin(\omega t \mp \alpha)}{2 \sin \alpha}, \quad (6)$$

ahol $\varphi = \frac{\pi}{6}$ figyelembevételével

$$\sin \alpha = \frac{b}{2 \sqrt{a^2 + b^2 - \sqrt{3} ab}}. \quad (7)$$

Az U_2 feszültségnek $\frac{\pi}{2\omega} \pm \frac{\alpha}{\omega}$ időpontban van maximuma, ennek értéke

$$U_{2 \max} = a U_v + U_p \sqrt{a^2 + b^2 - \sqrt{3} ab} \quad (8)$$

Kétsarkúan behatoló túlfeszültség-hullám esetén, ha $a > \frac{b}{3}$, a (8) kifejezés érvényes, ha $a < \frac{b}{3}$

$$U_{2 \max} = a U_v + U_p \frac{\sqrt{3} b - a}{2}. \quad (9)$$

Háromsarkú hullám esetén a generátor igénybevétele kicsi, ennek részletesebb vizsgálata mellőzhető. A (8), illetve (9) kifejezések lehetőséget nyújtanak a legnagyobb eredő igénybevételek meghatározására. A képletek első tagja a légköri túlfeszültségek, második tagja az üzemi feszültség hatását veszi figyelembe. Az így számított értékek átlagosan 15—20%-kal nagyobbak, mint az üzemi feszültség elhanyagolásával végzett túlfeszültség-eloszlási mérésekből meghatározott feszültségek.

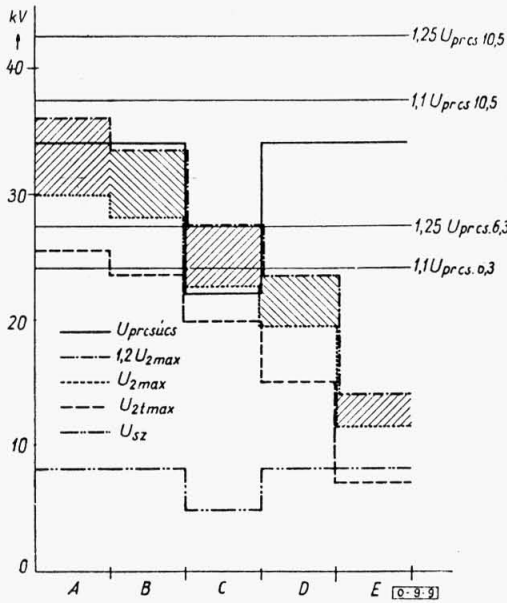
A 120 kV-os kapcsokon elhelyezett túlfeszültségvédelmi eszközök figyelembevételével 1/50-es behatoló hullám esetén a meghatározott legnagyobb igénybevételekről a 3. táblázat ad felvilágosítást.

3. táblázat

Generátorkapcsok legnagyobb túlfeszültség igénybevétele (kV)		A		B		C	
		1 sarkú hullám	2 sarkú hullám	1 sarkú hullám	2 sarkú hullám	1 sarkú hullám	2 sarkú hullám
1/50-es alakú túlfeszültség-hullámok hatására	a	22,9	25,5	19,1	23,6	16,4	19,9
	b	29,3	32,6	24,4	30,2	21,2	25,4
az üzemi feszültség figyelembevételével	a	27,4	29,9	24,1	28,1	18,9	22,6
	b	33,8	37,0	29,4	34,7	23,8	28,1

a = túlfeszültség-vezető védelem
b = koordináló szikraközös védelem

Az igénybevételek alakulásáról a 9—10. ábrák adnak képet.



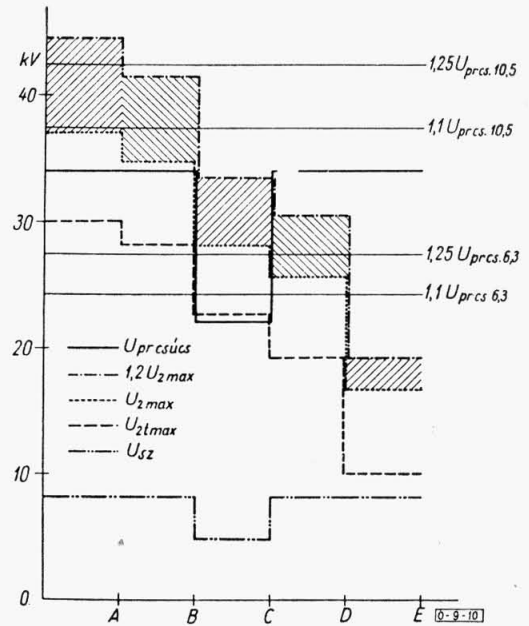
9. ábra. A maximális igénybevételek alakulása, ha a primér kapcsokon túlfeszültség-levetők vannak felszerelve
 U_{prcs} : a vizsgált generátor próbafeszültségének csúcsértéke
 $U_{prcs\ 6,3}$: 6,3 kV névleges feszültségű generátorok próbafeszültségének csúcsértéke.
 $U_{prcs\ 10,5}$: 10,5 kV névleges feszültségű generátorok próbafeszültségének csúcsértéke
 U_{2max} : a kapcsok eredő legnagyobb igénybevétele
 U_{Sz} : a transzformátor szekundárolalán a földhöz képesti üzemi igénybevétel csúcsértéke
 U_{2lmax} : a szekundár oldalra átvitt legnagyobb túlfeszültség

V. Az igénybevételeket befolyásoló egyéb tényezők

A túlfeszültségek hatására kialakuló igénybevételek elsősorban a transzformátor, a generátor és a kettő közötti összeköttetés villamos jellemzőitől függenek. Az igénybevételeket kismértékben befolyásolhatják azonban a rendszerbe beiktatott egyéb berendezési tárgyak, vagy a kapcsolás kisebb módosításai is. Ezek közül a legfontosabbak a következők:

A) A transzformátor 120 kV-os oldali csillagpontjának földelése

Elsősorban zárlatkorlátozás érdekében előfordulhat, hogy a csillagpont közvetlen földelését megbontják és a csillagpontot fojtótekercsen keresztül földelik le, vagy szigetelten hagyják. A



10. ábra. A maximális igénybevételek alakulása, ha a primérkapcsokon koordinációs szikraközök vannak felszerelve

mérések szerint ilyenkor a túlfeszültség-igénybevételek nagyobbak, mintha a csillagpont közvetlenül van földelve, a növekedés a generátorkapcsokon 10%-ot is elérhet. A csillagpontban elhelyezett 20 kV-os névleges feszültségű túlfeszültség-levető a növekedést mérsékli, de ilyenkor is előfordulhat az igénybevétel 5—7%-os növekedése.

Az A szerinti erőműbe beépített csillagponti zárlatkorlátozó fojtó ilyen jellegű befolyásáról a 4. táblázat nyújt felvilágosítást.

A generátor csillagpontjának a túlfeszültség-igénybevétele ilyenkor 25—30%-kal is megnőhet, de ez a nagyobb érték is jóval alatta marad a kapcsok igénybevételének.

B) A generátor csillagpontjának földelése

A gyakorlatban a generátorok csillagpontja a földtől el van szigetelve, vagy — ami a túlfeszültségek eloszlása szempontjából ezzel egyenértékű — feszültségváltón keresztül van földelve. A csillagpontba beiktatott impedanciák hatását a 11. ábra mutatja be.

A generátor csillagpontjának földelése befolyásolja a kapcsok igénybevételét is. Szigetelt csillagpont esetén egy- és kétsarkú hullámoknál két

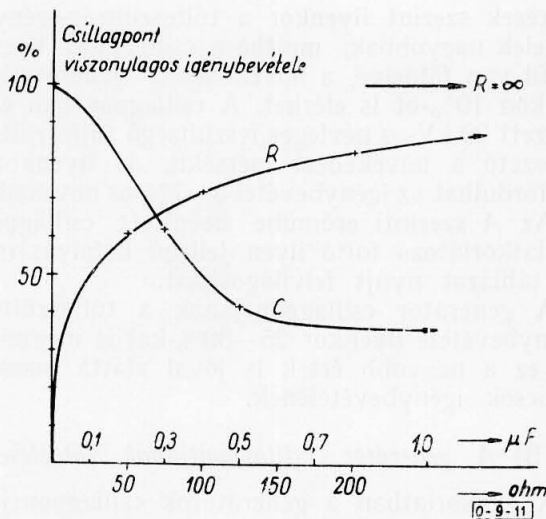
4. táblázat

Kapcsok maximális igénybevétele kV-ban, ha	A transzformátor csillagpontjának földelés módja			
	közvetlen		fojtón és levezetőn keresztül	
	1 sarkú hullám	2 sarkú hullám	1 sarkú hullám	2 sarkú hullám
a 120 kV-os oldalon a túlfeszültség-levető	27,4	29,9	28,7	31,0
védelmi eszköz koordináló szikraköz	33,8	37,0	35,4	38,5

5. táblázat

A generátorkapcsok relatív igénybevétele		B		C	
		generátor csillagpont		generátor csillagpont	
		szigetelt	földelt	szigetelt	földelt
1 sarkú hullám esetén	<i>u</i>	5,1	4,7	4,35	3,85
	<i>v</i>	0,9	0,5	1,05	0
	<i>w</i>	4,2	4,7	3,55	3,85
2 sarkú hullám esetén	<i>u</i>	5,8	4,9	1,9	1,2
	<i>v</i>	3,9	4,9	4,9	4,0
	<i>w</i>	1,9	1,4	3,2	4,0
3 sarkú hullám esetén		—	—	2,5	1,6

fázisban alakul ki túlfeszültség-hullám, ezek ellentétes polaritásúak, nagyságuk nem teljesen egyforma. A csillagpont földelése ezt a különbséget eltünteti, a földhöz képest fellépő nagyobb igénybevétel lecsökken, a kisebb megnő (5. táblázat), a két fázis közötti igénybevétel azonban gyakorlatilag változatlan marad. A tapasztalatokat a csillagpontban kialakuló reflexióval lehet megmagyarázni.



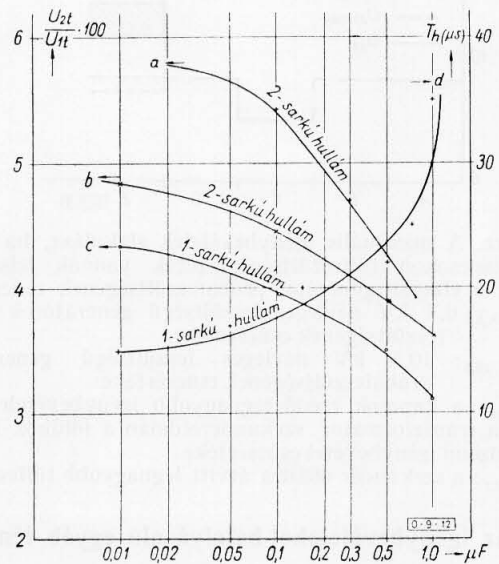
11. ábra. A generátor csillagponti igénybevételének függése a csillagpontba kapcsolt elemek értékeitől

C) A generátorkapcsokra csatlakozó kondenzátorok szerepe

A generátorkapcsokhoz csatlakozó kapacitások megnövelik a túlfeszültség-hullámok homlokidejét és lecsökkentik az igénybevételek csúcsértékét. A kapcsok és a föld közé fázisonként beiktatott kapacitások hatása néhány esetre a 12. ábrán látható. Hasonló hatása van a fázisok közötti kapacitás növelésének is.

VI. Összefoglalás

A vizsgálatok módját adták annak megítélésére, hogy hazánkban jelenleg szokásos elrendezésekben (A, B, C), valamint egyes különleges esetek-



12. ábra. A kapcsokra szerelt kondenzátorok befolyása

ben (D, E) 1/50-es alakú behatoló túlfeszültségek milyen igénybevételt okozhatnak a generátorok szigetelésében. A túlfeszültségeloszlási mérések alapján az üzemi feszültség hatásának figyelembevételével meghatározható a várható legnagyobb igénybevétel (U_{2max}), ha a túlfeszültségvédelmi eszközök a transzformátor primérkapcsainak közelében vannak felszerelve. Ennél nagyobb igénybevétel is felléphet, ha a túlfeszültségvédelmi eszközök a kapcsoktól távol vannak felszerelve, ha a transzformátor csillagpontja nincs mereven földelve, ha a behatoló hullám homlok-, illetve félértékideje nagyon rövid, ha a védelmi eszköz a megszólalási feszültség szórása miatt a feltelezett érték felett szól meg stb. Ilyen okokból a mérések során meghatározott legnagyobb igénybevételek kedvezőtlen esetben 20—25%-kal is megnőhetnek (9. és 10. ábrán $1,2 U_{2max}$).

A kísérleti eredmények szerint az a külföldön elég elterjedt nézet, hogy egységkapcsolásban dolgozó generátorokat légköri túlfeszültségekkel szemben a transzformátorok tökéletesen megvédik, nem fogadható el általános érvényűnek. A fellépő igénybevételek a próbafeszültség csúcs-

értékének nagyságrendjében mozognak, sőt kedvezőtlen esetben azt jelentősen meg is haladhatják.

A mérések alapján a túlfeszültségvédelem helyes módját is el lehet dönteni. A szigetelés igénybevételel célszerűnek látszik az új gép próbafeszültségének csúcsertékeire korlátozni. Ebből indulva ki, a megengedhető és a várható legnagyobb igénybevételeket egybevetve megállapítható, hogy

a) a 120 kV-os oldalon alkalmazott koordináló szikraközök a jelenleg szokásos elrendezésekben nem biztosítják, hogy a generátorok túlfeszültség igénybevétele a megengedett értéket ne haladja meg (9. ábra).

b) A 120 kV-os oldalon felszerelt túlfeszültség-levezetők a 10,5 kV-os generátorok számára általában megfelelő védelmet nyújtanak (10. ábra), ezért az erőművi állomásokat célszerű levezetőkkel ellátni.

c) A 6,3 kV-os generátorokban a túlfeszültség igénybevételek kielégítő korlátozása csak a generátorkapcsolókra felszerelt megfelelő túlfeszültség-levezetőkkel vagy védőkondenzátorokkal biztosítható (10. ábra).

A vizsgálatok szerint túlfeszültség-levezetők alkalmazásán kívül más különleges eljárásokra egységkapcsolásban dolgozó generátorok esetén nincs szükség.

A kisfeszültséggel végzett túlfeszültségeloszlási vizsgálatok hasznos felvilágosítást nyújtottak a várható igénybevételekről. Új erőművek üzembehelyezése előtt érdemes ilyen mérésekkel a kényes pontok veszélyeztetettségét megvizsgálni.

Befejezésül e helyen szeretném megköszönni *Tajthy Tihamér* villamosmérnök közreműködését, aki a mérések jelentős részét végezte.

IRODALOM

1. Vajda Gy.: Szigetelések romlása I. VILLENKI 207. sz. tanulmány, 1958.
2. *Szirotinszkij, L. I.*: Tehnika vizsokih naprazsenij II. Goszenergoizdat, Moszkva, 1953. 192—193. oldal.
3. *Kozirjev, N. A.*: Ob impulznoj procsnosztyi glavnoj izoljacii viszokovoltnyih elektricseszkih masin. Elektricseszto, (4). 73. (1957.)
4. *Szendy K.—Szepesi E.*: Forgógépek túlfeszültségvédelme. Elektrotechnika, 1952. 352. oldal.
5. *Monnet, M. M.*: La répartition des tensions de choc sur les enroulements statoriques de machines tournantes. R. G. E. 1958. 507. oldal.
6. *Bán G.*: Kábeles csatlakozású állomások védelme légköri túlfeszültségek ellen. Kand. dissz. Megjelenés alatt.
7. *Greve, A. W.*: Overvoltage protection for generators and other equipment in non-vulnerable position. ASEA. Journ. 1956. 148. oldal.
8. *Liebscher, K.—Meyer, F.*: Die Stoßspannungsprüfung der Isolation Elektrischer Maschinen. ETZ. A. 1957. 481. oldal.
9. *Abetti, P. A.—Johnson, J. B.—Schultz, A. J.*: Surge phenomena in large unit-connected steam turbine generators. Trans. AIEE. 1952. 1035. oldal.
10. *Lundholm, R.—Hytten Cavallius, N.*: Protection against transferred surges in generator stations. CIGRE. 1954. Rep. No. 309.
11. *Hayward, A. R.—Dillard, J. K.*: Lightning protection of unitconnected turbine generator. Trans. AIEE. 1956. 1370. oldal.
12. *Robinson, B. C.*: The penetration of surge voltages through a transformer to an alternator. Proc. IEE. 1956. A. 341. oldal.
13. *Dillard, J. K.—Hillemann, A. R.*: Lightning protective requirements of generators connected to the system through Y grounded-delta transformers. Trans. AIEE. 1958. 1435. oldal.
14. *Hunter, E. M.—Dillow, N. E.*: Surge protection of A—C rotating machines. Gen. E. Rev. 1950. 20. oldal.
15. *Moses, G. L.—Akle, R. J.*: Studies of impulse strength and impulse testing problems on high voltage generators. Trans. AIEE. 1953. pt. III. 123.

Kábeles csatlakozású alállomások légköri eredetű túlfeszültségek elleni védelme

BÁN GÁBOR
tudományos munkatárs

621.311.4 : 621.316.93

Alállomási túlfeszültség-elosztás mérések 1:1 idő- és ellenállásléptékű kismintaelemek segítségével. Kábeles csatlakozású alállomásokban közeli villámcsapás hatására veszélyes feszültséglengések keletkezhetnek. Ezek ellen a túlfeszültséglengések ellen a jelenleg általánosan alkalmazott, költséges védelmi elrendezések nem nyújtanak kellő védelmet. A cikk olyan új védelmi elrendezést ismertet, amelynek megvalósítása könnyebb és kisebb költségekkel jár, s amely az alállomási túlfeszültségvédelmet kellő mértékben biztosítja.

Alállomásoknak szabadvezetékekhez kábelen keresztül való csatlakoztatása az utóbbi években egyre nagyobb számban fordul elő. A kábeles csatlakozás sok esetben — különösen városok területén épült alállomásokban — elkerülhetetlen. Más esetekben jelentős helymegtakarítást eredményez és ezért alkalmazzák. Szennyezett levegőjű helyeken a kábeles bevezetés a hálózat üzembiztonságát növelheti.

Hazánkban eddig csak középfeszültségen épültek kábeles csatlakozású alállomások, külföldön

azonban 100 kV, vagy ennél nagyobb feszültségű alállomásokban is alkalmazzák a kábeles bevezetést.

A szabadvezeték és az alállomási berendezés közé iktatott kábel a régebbi felfogás szerint nagyfokú védőhatást fejt ki légköri eredetű túlfeszültségekkel szemben. A szakirodalomban található régebbi vizsgálatok eredményei szerint a szabadvezetéken érkező túlfeszültség-hullámot a kábel ellaposítja, vagyis meredekségét, s ezenkívül csúcsertéket is nagymértékben csökkenti. Az elmúlt években két, külföldön megjelent tanulmányban számoltak be a szerzők a közeli villámcsapás hatására létrejövő túlfeszültségjelenségek számítási módszerekkel való vizsgálatáról. Kimutatták, hogy a vizsgált esetben az alállomásban fellépő feszültségek legnagyobb értéke lényegesen felülmúlja azokat az értékeket, amelyeket régebbi cikkek szerzői — számítási, szer-

kesztési vagy mérési módszerekkel — meghatároztak távoli villámcsapás esetére.

Az elmúlt másfél év folyamán intézetünkben kiterjedt vizsgálatokat folytattunk kábeles csatlakozási állomásokban létrejövő túlfeszültség-folyamatok részletes tisztázására. Vizsgálatainknak több célja volt. Mindenekelőtt mérésekkel ellenőriztük a fent említett két tanulmányban (*Herlitz—Knudsen* és *Giara*) közölt, számítási úton nyert eredményeket. Ezenkívül tisztáztuk az állomási berendezés befolyását a szabadvezeték-kábel rendszeren létrejövő feszültségekre. Megvizsgáltuk azt, hogy magában a transzformátorban milyen jellegű és nagyságú igénybevételek keletkeznek kábeles bevezetés esetén. Végül pedig meghatároztuk azt a túlfeszültségvédelmi elrendezést, amely kábeles bevezetésű állomások berendezésének védelmét optimálisan biztosítja.

A szabadvezeték-kábel rendszeren létrejövő tranzienst folyamatok *matematikai vizsgálata* meglehetősen nehézkes. A túlfeszültség-hullám matematikai kifejezése már magában véve bonyolult, s a távvezeték-egyenlet pontos megoldása az említett rendszerre nézve igen nagy munkát jelent. Amennyiben a közvetlen túlfeszültségvédelmi eszközök jelenlétével is számolunk, akkor a jelenségeket leíró differenciál-egyenletekbe még nem lineáris tagok is kerülnek, s ezért a megoldás csak közelítő lehet. Ezért a jelenséget matematikai módszerekkel vizsgáló szerzők egyes tényezőket kénytelenek elhanyagolni. Így pl. *Herlitz* és *Knudsen* a villámcsapás helyén mérhető földelési ellenállást, valamint a szabadvezeték és kábel csillapítását, a túlfeszültség-vezető nem lineáris jellegű görbét hagyták figyelmen kívül. *Giara* a szabadvezeték koncentrált induktivitással helyettesítette és a csillapítást elhanyagolta, mégis igen bonyolult, s a mérnöki gyakorlat számára szinte használhatatlan matematikai kifejezésekhez jutott.

Fenti okokból célszerű egyes esetekben alkalmazni a *szerkesztési módszereket*. Ezek a módszerek azonban szintén elhanyagolásokat tartalmaznak, másrészt pedig helyes alkalmazásukhoz előre ismerni kell a jelenségek lefolyásának természetét. Ezeket tehát csak ott alkalmazhatjuk, ahol egyrészt pontosan tudjuk az egyes elemek hullámellenállását, induktivitását, kapacitását stb., másrészt ahol csupán hullámviszaverődésekkel állunk szemben. Olyan esetekben azonban, amikor ezeket az értékeket vagy jelenségeket előre nem ismerjük (pl. transzformátorokban létrejövő lengések, gyűjtősin-lengések stb.), e módszerek nem alkalmazhatók.

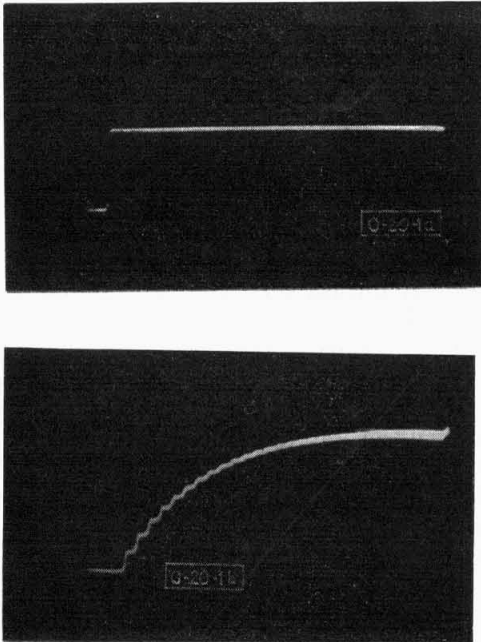
Ezért vizsgálataink fő eszköze a *mérés* volt. Sok mérést végeztünk csökkentett feszültséggel kábeles csatlakozási állomásokon az egyes állomási elemek szerepének, valamint a szabadvezeték és kábel jellemzőinek meghatározására. Méréseink alapján *kismintát* készítettünk, amelyen laboratóriumban viszonylag kis idő alatt számos elrendezést vizsgálhattunk végig. A kisminta

nagy előnye, hogy helyes leképzés esetén a bonyolult, nem lineáris tagokat is tartalmazó differenciál-egyenletrendszerek pontos megoldása közvetlenül megjelenik az oszcilloszkóp ernyőjén. A kisminta elemei között nem szerepelt a transzformátor vagy gyűjtősinrendszer leképzése, mivel ezek modellezése meglehetősen bonyolult és a leképzésnél tett elhanyagolások azt a veszélyt rejtik magukban, hogy esetleg a jelenségek lényegét is megváltoztatják. Ezért új mérési módszert dolgoztunk ki, vagyis olyan kismintát készítettünk, amellyel valódi gyűjtősinrendszereket és transzformátorokat különböző elrendezésű kábeles csatlakozási állomásokká egészíthettünk ki, vagyis a kisminta elemeit valódi állomási elemekkel kombinálhattuk. Ez azt a követelményt támasztotta a kismintával szemben, hogy annak idő- és ellenállásléptéke 1:1 legyen. Míg az utóbbi követelmény kielégítése nem okoz különösebb nehézséget, az 1:1 időlépték megvalósítása nagy nehézségekbe ütközik. Sikerült azonban viszonylag egyszerű eszközökkel olyan elektronikus kapcsolást készíteni, amely lehetővé tette ennek az időléptéknek a megvalósítását. Olyan kisminta elemeket nyertünk, amelyek nemcsak kábeles csatlakozási állomások túlfeszültségviszonyainak vizsgálatát tették lehetővé, hanem légköri eredetű túlfeszültségekkel kapcsolatos problémák megoldására általánosan használható, a külföldön hasonló célokra használt kismintákhoz képest nagy előnyökkel rendelkező kisminta-elemeket kaptunk. Ezért az így kifejlesztett néhány elem-ből álló kisminta alapját képezheti a VILENKI-ben megépítendő lökőfeszültség kismintának.

I. A lökőfeszültség-jelenség lefolyása szabadvezetékhez csatlakozó kábelben

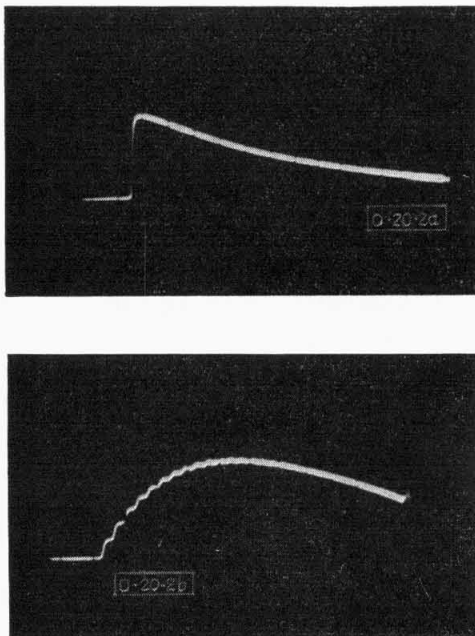
Vizsgáljuk meg, milyen lesz a feszültség lefolyása a szabadvezetékhez csatlakozó kábelben, ha a szabadvezetéken a kábelre lökőhullám érkezik.

A kábel hullámellenállása a szabadvezeték hullámellenállásának kb. huszadrésze. Ezért a szabadvezetéken érkező hullám amplitúdója a törési együttható arányában kb. 10%-ára lecsökken, vagyis a kábelben egy jóval kisebb hullám fog a csatlakozási ponttól elindulni. Ez a hullám azonban a nyitott véghez érkeve azonos előjellel visszaverődik, majd pedig a szabadvezeteki csatlakozási ponthoz érve újra nagyobb hullámellenállást talál, s így ismét azonos előjellel verődik vissza. A lecsökkent csúcsértékű vándorhullám mindaddig verődik vissza a kábel két vége között, míg egyrészt a csillapítás folytán, másrészt abból kifolyólag, hogy a szabadvezeték és kábel csatlakozási pontján a visszaverődési együttható kisebb egynél, a visszavert hullám csúcsértéke elhanyagolhatóan kicsivé válik. Az ismertetett jelenség következtében a kábel mindkét végén lépcsősen emelkedő feszültséget kapunk (1. ábra). Ha a szabadvezetéken érkező hullám négyzetimpulzusnak vehető, akkor a lépcsős görbe csúcs-



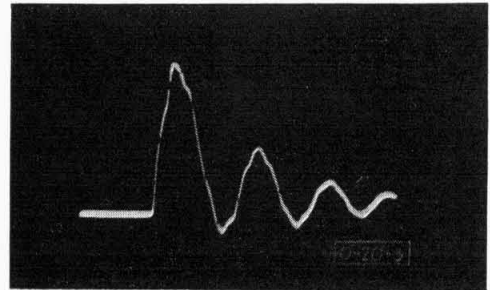
1. ábra. a) A szabadvezetéken haladó négyzet hullám
b) Feszültségfolyás a kábel nyitott végén

értéke a csillapítás figyelmen kívül hagyása esetén egyenlő lesz a szabadvezetéken érkező hullám csúcsértékének kétszeresével. A kábel jelenléte tehát ebben az esetben a kialakuló feszültség csúcsértékét nem csökkenti, csak a meredekségét. Véges félértékű hullámok esetén a lépcsős görbe csúcsértéke ennél a kétszeres értéknél kisebb, mégpedig annál kisebb, minél hosszabb a kábel (2. ábra). A hullám homlokidejének változása csak igen kis mértékben befolyásolja a jelenségeket.



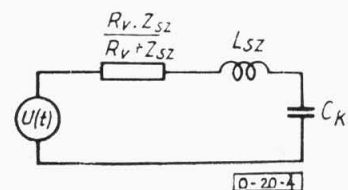
2. ábra. a) A szabadvezetéken haladó lökőhullám
b) Feszültségfolyás a kábel nyitott végén

Többszörös visszaverődés csak akkor történik a leírt módon, ha a villámcsapás helye igen távol van a kábeltől, vagy pedig a villámcsapás hatására a villám környezetében nem jött létre átívelés. A valóságban azonban számolni kell a közelebbi villámcsapás valószínűségével is, ugyanakkor pedig a villámstatisztika adatai szerint a villámok túlnyomó része olyan áramhullámokat okoz, amelyek a villámcsapás helyén feltétlenül átívelésre vezetnek. Meg kell vizsgálnunk tehát azt, hogyan módosul a fenti folyamat akkor, ha a szabadvezetéken a villámcsapás helyén átívelés következik be. Az átívelési hely ebben az esetben áramköri változást jelent, vagyis a villámcsapás helyéről is vissza fognak haladni a szabadvezetéken visszafelé haladó hullámok. Ez az újabb visszaverődési hely bonyolulttá teszi a kábelben lezajló folyamatot, mivel a kábelvégeken mérhető feszültség görbéjében ekkor már kétféle lépcsőzés van: az egyik a kábel két vége között való visszaverődések eredménye, a másik pedig a villámcsapás helye és a kábel-szabadvezeték csatlakozási pont közötti visszaverődésből ered. A kétféle lépcsőzés eredményeképpen keletkezett lépcsős feszültséggörbe csillapodó lengéshez hasonló (3. ábra).



3. ábra. Feszültség a kábel nyitott végén, közeli villámcsapás esetén

A szokásos kábelhosszak esetén eléggé finom lépcsőzést kapunk, amelynek elhanyagolása nem okoz nagy hibát. A lépcsőzést figyelmen kívül hagyva, ugyanazt a feszültségfolyást kapjuk a kábelvégeken, mintha egy, a szabadvezeték induktivitásával megegyező induktivitású tekercsből és a kábel kapacitásával megegyező kapacitású kondenzátorból álló rezgőkörre bocsátanánk a lökőhullámot (4. ábra). A rezgőkörben szereplő R ellenállás, a villámcsapás helyén mérhető földelési ellenállás R_v , és a szabadvezeték hullámimpedanciáját helyettesítő ellenállás Z_{sz} eredője. Egy ilyen rezgőkörnek a kapcsaira exponenciá-

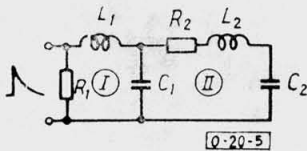


4. ábra. Kapcsolás az alállomási feszültség számítására

lisan csökkenő feszültséget bocsátva, a kondenzátoron megjelenő feszültség egy exponenciálisan csökkenő lökőhullám és egy csillapodó szabad lengés eredője lesz.

II. Az alállomási berendezésnek és a gyűjtősínre csatlakozó vezetéknek hatása

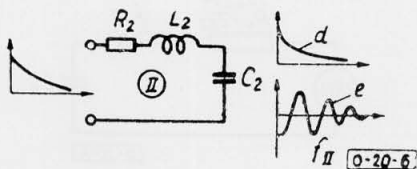
Az alállomásokban végzett vizsgálataink bizonyították, hogy az alállomási berendezésnek kapacitással való helyettesítése csak bizonyos esetekben helytálló és általában nem teszi lehetővé az alállomásban előforduló legnagyobb feszültségértékek megállapítását. Az alállomási berendezés ugyanis nemcsak kapacitásokból, hanem induktív elemekből is áll. Így áramváltók, bekötő vezeték és gyűjtősínrendszer vagy fojtótekercs és gyűjtősínrendszer, a transzformátor-tekercsek és annak a kábelfázisnak a kapacitása, amelyet nem ért villámcsapás, sőt maga a transzformátor tekercselése és a csillagpontba redukálható kapacitás külön-külön olyan soros rezgőköröket alkotnak, amelyekben a kábel végén kialakuló feszültséglengés hatására nagy feszültségek keletkezhetnek. Ennek megvilágítására nézzük meg, mi történik két összekapcsolt soros rezgőkörben, ha az első rezgőkör kapcsaira lökőhullámot bocsátunk (5. ábra).



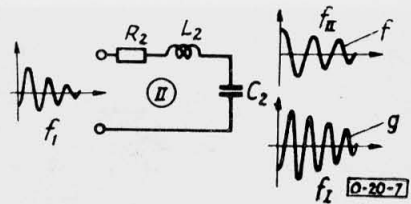
5. ábra. Helyettesítő kapcsolás az alállomási rezgőkörök hatásának vizsgálatára

A két rezgőkört külön-külön vizsgálhatjuk, mivel a kábel kapacitását jelképező C_1 kapacitás olyan nagy, hogy lesöntöli a második rezgőkört, s így annak jelenléte gyakorlatilag nem hat vissza az első rezgőkörre.

Amint az előzőkben láttuk, az első rezgőkörre adott exponenciálisan csökkenő impulzus annak C_1 kondenzátorán egy exponenciálisan csökkenő egyenáramú tagot és egy csillapodó szabadlengést hoz létre, az utóbbinak csillapítása, frekvenciája és kezdő fázisa kizárólag az I. rezgőkör állandóitól függ. Bocsássuk ezt a két összetevőt külön-külön a II. rezgőkörre. Az exponenciálisan csökkenő egyenáramú összetevő a II. rezgőkör C_2 kondenzátorán újra egy egyenáramú, exponenciálisan csökkenő összetevőt fog létrehozni, valamint egy olyan szabad lengést, amelynek frekvenciája, kezdő



6. ábra

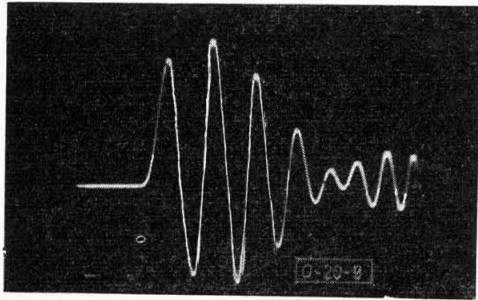


7. ábra

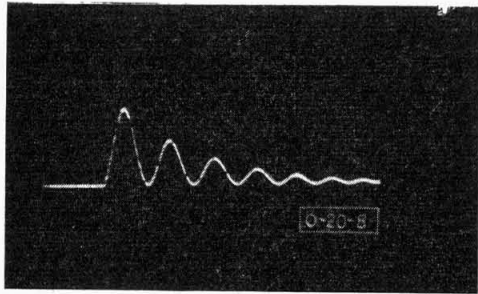
fázisa és csillapítása a II. rezgőkör állandóitól függ (6. ábra). A C_1 kondenzátoron létrejövő szabadlengés a II. rezgőkör kondenzátorán egy kényszerített lengést hoz létre, amelynek frekvenciája az I. rezgőkör paramétereitől függ, valamint egy szabad lengést, amelynek frekvenciáját a II. rezgőkör paraméterei határozzák meg (7. ábra). Az előbbieket szerint tehát a II. rezgőkör kondenzátorán kialakuló feszültség egy exponenciálisan csökkenő egyenáramú tag és három csillapodó lengés eredője lesz. Az eredő feszültség meghaladhatja a C_1 kondenzátoron fellépő feszültség legnagyobb értékét. Igen nagy értéket vehet fel az eredő feszültség, ha a két rezgőkör saját frekvenciája csak kevéssé tér el egymástól. Ebben az esetben ugyanis a II. rezgőkörben létrejött kényszerített lengés amplitudója a rezonancia következtében nagy mértékben megnő. Pontos rezonancia esetén a szabad lengés és a kényszerített lengés frekvenciája és kezdeti abszolút értéke megegyezik, kezdő fázisa azonban ellentétes, s így kezdetben két összetevő eredője zérus lesz, a későbbiekben csak a két összetevő csillapodásának eltérése folytán különbözhet e két összetevő eredője zérustól. Ha azonban a két rezgőkör saját rezgésszáma kissé eltér egymástól, akkor néhány periódus után a két lengés már azonos fázisba kerül, az értékek összeadódnak, s így alakul ki a nagy feszültségérték a II. rezgőkör kondenzátorán. Ilyen esetekben tehát a gyűjtősínen, azokon a transzformátorkapcsokon, amelyeket nem közvetlenül ért a villámcsapás, vagy pedig a transzformátor csillagpontjában, illetve háromszög kapcsolású transzformátor tekercselésének közepétáján sokkal nagyobb feszültségértékek léphetnek fel, mint a kábel nyitott végén.

Ezeknek a jelenségeknek nemcsak a lehetőségére hívtuk fel a figyelmet, hanem alállomásokon kismintával kombinált mérések alkalmával ilyen rezonancia jelenségeket sok esetben elő is idéztünk. Kimutattuk azt, hogy kábeles bevezetés esetén bármely II. rezgőkörre, tehát fojtótekercs-gyűjtősín elrendezésre, vagy bármely földeletlen csillagpontú vagy háromszöghkapcsolású transzformátorra nézve található egy olyan villámcsapási hely, amelynél ezek a rezonancia jelenségek fellépnek és az említett pontokban, illetve a gyűjtősínen nagy feszültségek ébrednek (8. és 9. ábrák).

Az alállomásban fellépő feszültségre hatással vannak a gyűjtősínre csatlakozó vezeték. Ezeknek a befolyását szemléltető módon tanulmányozhatjuk olyan egyszerűsített kapcsoláson, amelyben a szabadvezeték induktivitással, a kábelt kapa-

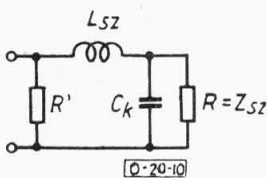


8. ábra. Feszültség fojtótekerccsen keresztül a gyűjtősínre csatlakozó kábel alállomási végén, rezonancia közelében

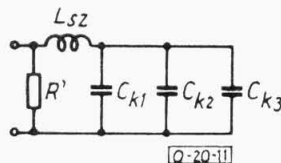


9. ábra. Feszültség a gyűjtősínen

citással és a gyűjtősínre csatlakozó végtelen hosszú szabadvezeték hullámellenállásával meg- egyező ohmos ellenállással helyettesítjük (10. ábra). Az egyszerűsített kapcsolásból megállapíthatjuk, hogy szabadvezetéknek a gyűjtősínre való kapcsolása viszonylag kismértékű feszültségcsökkenést okoz a gyűjtősínen, mivel a C_k kapacitás nagy értéke folytán az 500 Ω -os ellenállás söntölő hatása csak kevésbé érvényesül. Ha a gyűjtősínre kábeleket kapcsolunk, akkor ennek az egyszerűsített kapcsolásban kondenzátorok párhuzamosan kapcsolása felel meg (11. ábra). Mivel párhuzamosan kapcsolt kondenzátorok eredő kapacitása a kapacitások összegével egyenlő, ezért a gyűjtősínen fellépő feszültség csúcserőértéke jó közelítéssel akkora lesz, mintha a gyűjtősínre csak egy kábel csatlakozna, amelynek hossza a gyűjtősínre csatlakozó összes kábel hosszával egyenlő.



10. ábra. Kapcsolás a gyűjtősínre csatlakozó szabadvezeték hatásának vizsgálatára



11. ábra. Kapcsolás a gyűjtősínre csatlakozó kábelek hatásának vizsgálatára

A fojtótekerccs jelenléte következtében a gyűjtősínre előálló nagy feszültséglengéseket a gyűjtősínre közvetlenül csatlakozó szabadvezeték vagy kábelek erősen csökkentik, mivel (lásd 5. ábra) a gyűjtősín kis kapacitását ezek nagymértékben söntölik. Ha azonban a gyűjtősínre minden sza-

badvezeték és kábel fojtótekerccsen keresztül csatlakozik, akkor ezek újabb rezgőköröket alkotnak és nem csökkentik lényegesen a gyűjtősínen fellépő lengések amplitudóját, hanem csupán eltolják a veszélyes frekvenciát, vagyis egy másik villámcsapási hely lesz veszélyes az alállomásra.

III. Védekezés a veszélyes túlfeszültségek ellen

A szabadvezeték-kábel rendszeren elvégzett mérésorozatok eredményei azt mutatják, hogy az alállomásra nézve teljes biztonságot nyújtó kábel hossza több km. A feltárt rezonancia-jelenségek pedig arra hívják fel a figyelmet, hogy még ilyen hosszú kábelek esetén is veszélyben forog az alállomási berendezés, ha a villámcsapás a szabadvezetéknek egy előre meg nem határozható szakaszán történik. Ezért kábeles csatlakozású alállomások védelmére a gyakorlatban előforduló esetek túlnyomó többségében túlfeszültséglevezetőket vagy oltócsöveket (szikraközöket) kell alkalmazni. A múltban alkalmazott védelemnél általában a kábel szabadvezeteki végpontján iktattak be túlfeszültséglevezetőket. Ez a védelem azonban csak rövid kábelek esetén megfelelő, mert kb. 100 m hosszon felül a kábel alállomási végén már a transzformátorra veszélyes feszültség léphet fel. Emellett a kábel két végén a hullámok visszaverődéséből olyan feszültségjelenségek jöhetnek létre, amelyek nagy rezonancia-feszültséget idézhetnek elő a transzformátorban. Ezért ezen a hosszon felül az alállomásban is fel kell szerelni levezetőket. Ez azonban a költségeket növeli, továbbá hely hiányában sokszor lehetetlen is. Pl. a külföldön alkalmazott, közvetlen kábelbevezetésű transzformátoroknál.

Hosszú kábel vagy kis félértékidejű vándorhullám esetén a kábelen a feszültség nem lépi túl a levezető megszólalási feszültségét, s a levezető nem szólal meg. A transzformátorban azonban felléphetnek veszélyes feszültségek, mert a transzformátorban létrejövő rezonancia-lengéseket a kapcsolókra szerelt túlfeszültséglevezető nem tudja megakadályozni, tehát pótlólagos csillagponti túlfeszültséglevezető szükséges. Háromszög kapcsolású transzformátorok esetén ez az eljárás sem alkalmazható.

Látjuk tehát, hogy a szabadvezeték-kábel csatlakozási pontján alkalmazott túlfeszültséglevezető sok esetben nem nyújt biztos védelmet az alállomásra még akkor sem, ha az alállomásban is felszerelünk túlfeszültséglevezetőt.

Az Egyesült Államokban megjelent cikkek arra utalnak, hogy ott a szabadvezeték és kábel csatlakozási pontján oltócsöveket alkalmaznak bizonyos esetekben túlfeszültséglevezető helyett.

A védelemnek ez a módja még rosszabb mint az előző, mivel egyrészt meredek homlokú hullámok esetén a szikraköz megszólalási feszültsége sokkal nagyobb mint a levezetőé, tehát ennek arányában megnőnek az alállomásban fellépő igénybevételek is. Másrészt a szikraköz meredek

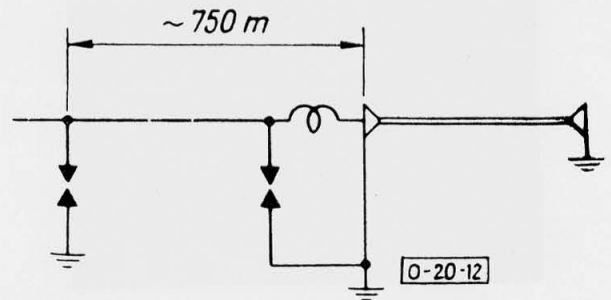
levágása a transzformátor-kapcsokon kétszeres meredekségű levágást okoz, amely veszélyes lehet a transzformátor menetszigetelésére. Hozzájárul ezekhez a hátrányokhoz még az is, hogy a szikraköz, illetve oltócső megszólalási feszültsége nehezen állítható be pontosan és ugyanazon a szikraközön is igen nagy szórás mutatkozik a megszólalási feszültség terén.

Az oltócsőnek igen előnyös alkalmazását biztosítja azonban az a védelem, amelyet a VILLENKI-ben kábeles bevezetésű alállomások számára kidolgoztunk. Ennek a védelemnek alapelve röviden a következő:

A kábelben a feszültség azért érhet el nagy értéket, mert a többszörös visszaverődés következtében a hullámok egymásra helyeződnek. Az egyes visszavert hullámok csúcserőértéke azonban nem nagy. A szabadvezeték és kábel csatlakozási pontján felszerelt levezető vagy szikraköz akkor szólal csak meg, ha a részhullámok szuperpozíciója következtében a feszültség magán a kábelben már elérte a megszólalási feszültséget. Ha azonban a kábeltől megfelelő távolságra a szabadvezeték helyezzük el a szikraközt vagy oltócsövet, akkor ez még a szabadvezeték haladó hullámot vágja le, s az így levágott, hát nélküli hullámok vagy egymásra sem tudnak helyeződni, vagy pedig — igen rövid kábel esetén — szuperpozíciójukból csak kis amplitudójú feszültséglengés alakulhat ki.

A „megfelelő” távolság azt jelenti, hogy a szabadvezeték a kábeltől legalább olyan távolságra kell elhelyezni az oltócsövet, hogy a szabadvezeték visszafelé haladó lebontó hullám csak azután érkezzon az oltócsőhöz, miután már az oltócső megszólalt. Ellenkező esetben ugyanis a lebontó hullám késleltetné az oltócső megszólalását, és ezért a kábelben is lenne idő a feszültség megnövekedéséhez. Nagy homlokidejű hullámok esetén ez a távolság közel 1 km. Az 1 km-re előretolt oltócső és a kábel között azonban hosszú, védetlenül hagyott szakasz lenne.

Az általunk kidolgozott védelem ezeknek a hátrányoknak a megakadályozására két oltócső-készletből áll. Az egyiket a csatlakozási ponttól kb. 900 m-re, a másikat pedig középvezetési szinten 120—150 m-re kell elhelyezni. Az oltócsővek, főleg pedig a csatlakozási ponthoz közelebb eső oltócső földelését minimális ellenállásúra kell készíteni. Méréseink szerint ez az elrendezés a védetlen szakaszt 70—80 m-re zsugorítja. Ez a védetlen szakasz is kiküszöbölhető, ha egy, kb. 120 m-es szabadvezeteki szakasz inductivitásá-



12. ábra. A két oltócsőves védelem módosult formája

val megegyező inductivitású soros tekercset iktatunk az oltócső és a kábel közé (12. ábra). A két oltócsőves védelemmel elérhető, hogy a kábel egy pontjában se érje el a feszültség csúcserőértéke a szikraköz megszólalási feszültségét, hanem annak 65%-a alatt maradjon. Minden más védelem esetén a kábel alállomási végén sokkal nagyobb a feszültség mint a levezető vagy szikraköz megszólalási feszültsége. Az alállomásban fellépő feszültség meredeksége igen kicsi lesz, ezért távolabbi visszaverődések következtében sem kaphatunk nagy feszültség-értékeket. A kábelben keletkező kis amplitudójú feszültség-lengések még rezonancia esetében sem okoznak az alállomási berendezésben káros feszültségeket. Tekintve, hogy a szikraköz által levágott hullám csúcserőértéke a kábelre áttevődve kb. 1/10-ed részére lecsökken, a szikraköz szórásából vagy meredek V_s -jelleggörbéjéből adódó megszólalási feszültség-növekedések hatása is elhanyagolhatóvá válik.

IRODALOM

1. Bogomolov, A. F.: Effektivnoszt kabelnüh podhodov pri prjamüh udarah molnii v vozdušnue linii. Električeszkie Sztancii, 1941. No. 11, 19—26. oldal.
2. Berger, K.—Giario, J.: Vom Blitzschlag bedingter Spannungsverlauf an einer am Ende einer Freileitung angeschlossenen Kapazität. Bull. SEV., 1944. No. 1. 14—26. oldal.
3. Witzke, R. L.—Bliss, T. J.: Surge Protection of Cable-Connected Equipment. Trans. AIEE, 1950. I. 527—542. oldal.
4. Herlitz, I.—Knudsen, H.: Surge Protection of Electric Equipment Connected to Overhead Lines through Cable. CIGRE, 1952. No. 324.
5. Morello, A.: I cavi per altissime tensioni e le riflessioni a impulso. L'Elettrotecnica, 1956, 647—683. oldal.
6. Giario, J.: Critical Overvoltages at the Terminals of a Cable Connected to an Overhead Line Struck by Lightning. CIGRE, 1958. No. 312.
7. Bán G.—Ignác P.: The Protection Afforded to Cable-Connected Substations. Informal report for the Stresa Session of the CIGRE Study Comm. No. 8. 1959.

Világenergia konferencia Madridban. 1960. június 5—9-ig tartják Madridban a világenergia konferencia XIII. ülését. A konferencia témája: „Az energiahánnal kapcsolatos problémák megoldásának módszerei”. A vitákat öt csoportban bonyolítják le, mégpedig

I. csoport: Az energiaforrások és az energiaszükséglet meghatározásának módszerei.

II. csoport: Energiatermelési kapacitások és ezek kihasználása.

III. csoport: Az energiatovábbítás műszaki fejlesztése.

IV. csoport: Magreaktorok létesítése ipari célokra.

V. csoport: A hagyományos energiatermelés és a magenergia felhasználásán alapuló energiatermelés koordinálása.

A konferencia hivatalos nyelve angol, francia és spanyol.

Bodnár György

Oltócsövek alkalmazásának néhány szempontja szabadvezetékek és berendezések védelmére

BESZE JENŐ
tudományos munkatárs

621.315.1 : 621.316.9

A cikk az oltócsöves védelem kialakításának egyik kérdésével, a védőtávolság megállapításával foglalkozik. A szabadvezeték, illetve transzformátor védelmére alkalmazott oltócső működésekor lezajló jelenségek ismertetése után a védőtávolság meghatározására alkalmas szerkesztő eljárást mutat be. A bemutatott módszer — az eddig ismert módszereken túlmenően — lehetővé teszi a védendő szigetelések és a védelmi eszközök lökömegszólalási jelleggörbéinek számításba vételét, így pontosabb eredményt szolgáltat.

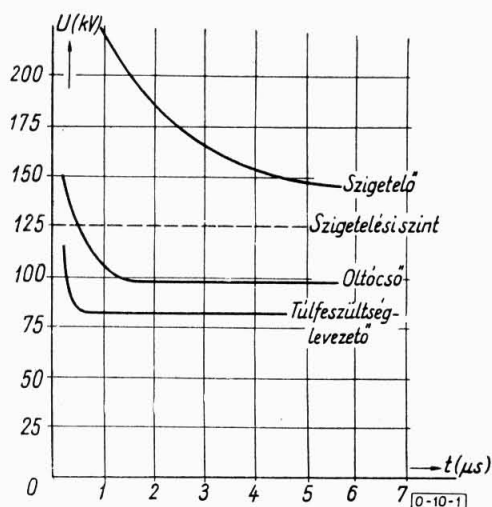
Energiaátviteli rendszerünk jelentős hányadát teszik ki a közepesfeszültségű elosztó hálózatok, ezért igen fontos kérdés ezek túlfeszültségvédelme. A közepesfeszültségű vezetékeket védővezetővel felszerelni gazdasági okokból nem tudjuk. Ugyancsak gazdasági okok miatt a túlfeszültségvezetők alkalmazási köre sem terjed túl a nagyobb állomások berendezésének védelménél.

A túlfeszültségvédelem továbbfejlesztésének értékes eszköze lehet az oltócső. Az oltócsövekkel kapcsolatos üzemi tapasztalatok eddig igen kedvezőknek mutatkoztak.

A következőkben az oltócsöves védelem kialakításának egyik lényeges kérdésével a védőtávolság meghatározásával kívánunk foglalkozni. Bemutattunk egy szerkesztő eljárást, amely alkalmas arra, hogy az eddigi módszereken túlmenően a védelmi eszköz és a védendő szigetelés átívelési feszültség-idő jelleggörbéjét is figyelembe vegye a védőtávolság meghatározásához.

Az alkalmazandó túlfeszültségvédelmi eszközök kiválasztásához a kiinduló adatokat a szigetelések koordinálási alapelvei adják meg. A szigetelések koordinálása intézkedik a túlfeszültségvédelmi eszközök és a berendezési tárgyak lököpróba-feszültségéről.

A próbafeszültségek azonban nem adnak teljes képet valamely szigetelés lököszilárdságáról.



1. ábra. Feszültség-idő jelleggörbék 20 kV névleges feszültségen

Ugyanis a szigetelés valóságos átütési, illetve átívelési feszültsége különféle meredekségű feszültségigénybevételre más és más lesz.

Az 1. ábra a 20 kV névleges feszültséghez tartozó néhány jellegzetes feszültség-idő jelleggörbét mutat. Az ábrából láthatjuk, hogy a védelmi eszköz akkor védheti meg a szigetelést, ha jelleggörbéje mindvégig alatta marad a szigetelés jelleggörbéjének. Ez a feltétel alkalmas arra, hogy egyszerűen megítéljük a védelmi eszköz használatosságát abban az esetben, ha az közvetlenül a védendő tárgy közelében van felszerelve. Ellenkező esetben azonban a védelem hatásosságának eldöntése további megfontolásokat igényel.

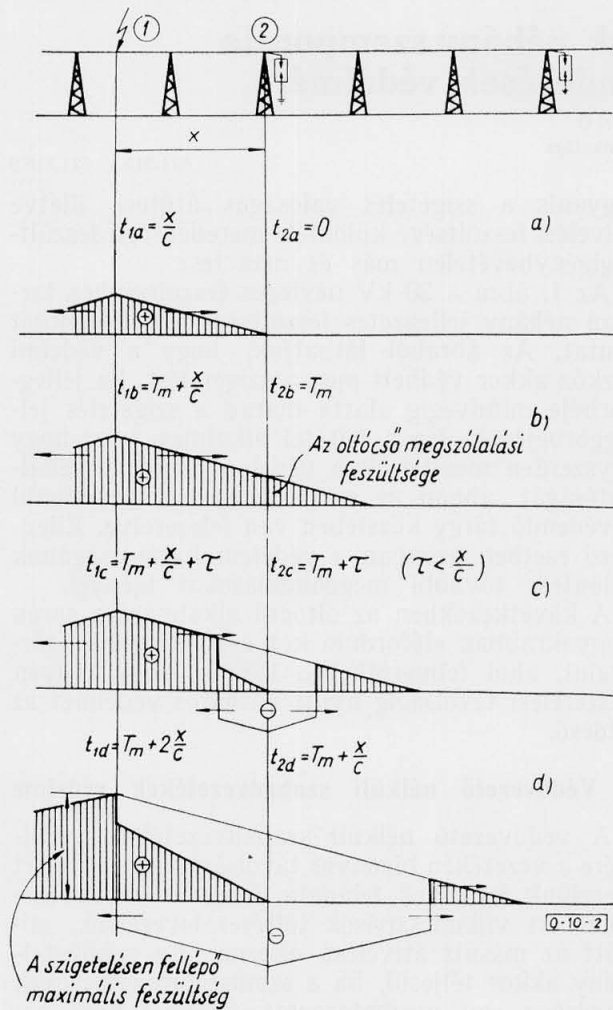
A következőkben az oltócső alkalmazása során leggyakrabban előforduló két esetet fogunk tárgyalni, ahol felmerülhet a kérdés, hogy milyen felszerelési távolságig nyújt hathatós védelmet az oltócső.

I. Védővezető nélküli szabadvezetékek védelme

A védővezető nélküli szabadvezetékek védelmére a vezetéken bizonyos távolságra oltócsöveket szerelünk fel. Ezek feladata, hogy a szabadvezetékért villámcsapások töltését levezessék, mielőtt az másutt átívelést okozna. Ez a követelmény akkor teljesül, ha a szomszédos oltócsövek távolsága egy meghatározott értéknél nem nagyobb.

A védőtávolság meghatározásakor követett gondolatmenetet a 2. ábra mutatja. A vezeték 1-gyel jelölt helyen villámcsapás éri. A vezetéken a villámcsapás helyétől mindkét irányban vándorhullám indul el. A vándorhullámot az időben lineárisan emelkedőnek tételezzük fel. Az egyes ábrarészletek különféle, jellemző időpillanatokban a vándorhullámok hatására kialakult feszültségviszonyokat mutatják a vezeték pontjain. A feltüntetett időtartamok az 1-es és 2-es helyen a feszültség-hullám megérkezésétől eltelt időket jelentik.

A becsapás helyétől elinduló feszültség-hullám eljut az oltócsőhöz (2. a ábra), majd pedig T_m idő múlva eléri annak megszólalási feszültségét. Az oltócső megszólalásakor annak helyétől mindkét irányban az érkező hullámmal azonos amplitudójú, de ellentétes előjelű lebontó hullám indul el. Jó közelítéssel ugyanis az oltócső működésekor a vezeték és a föld közötti ellenállást zérussal vesszük egyenlőnek. A lebontó hullám hatását a c ábrarészleten látjuk. A villámcsapás helyétől távolodó irányban csak az oltócső megszólalásáig elhaladt hullám fog tovaterjedni, amelynek maximális amplitudója az oltócső megszólalási feszültségével azonos. A becsapás helye felé eső irányban pedig csak addig növekszik a feszültség, amíg a



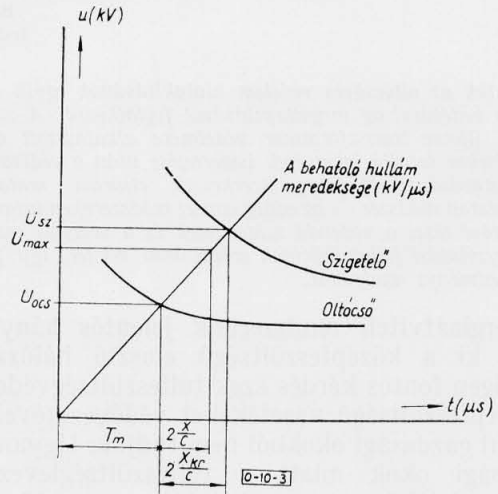
2. ábra. Oltócsövek alkalmazása szabadvezetékek védelmére

lebontó hullám a vizsgált pontokhoz vissza nem érkezett. Ez annyit jelent, hogy a becsapás helye és az oltócső közti bármely ponton a feszültség növekedésére rendelkezésre álló idő az oltócső megszóalási idejénél az illető pont és az oltócső kétszeres távolságának befutásához szükséges idővel lesz több (d ábra részlet). Képlettel kifejezve:

$$t = T_m + 2 \frac{x}{c}$$

Ennek alapján az oltócső és a szigetelés jelleggörbéjének ismeretében adott meredekségű feszültség-hullám esetén a védőtávolság megszerkesztését a 3. ábra mutatja. A behatoló hullám meredekségére jellemző hajlásszögű egyenesnek az oltócső jelleggörbéjével alkotott metszéspontja adja az oltócső megszóalási idejét. Az abszcisszán ettől jobbra felmérjük a vizsgált szigetelés kétszeres távolságának befutásához szükséges időt. A behatoló hullám egyenesén az ehhez tartozó ordináta adja a keresett helyen fellépő maximális feszültséget. Kritikus esetben a kifejlődő feszültség nagysága éppen eléri a szigetelés átíveléséhez szükséges feszültséget. Meg kell jegyezni, hogy szigetelés alatt itt egyrészt az esetleges közbeeső

oszlop szigetelőjét, másrészt pedig az oszlopközön belül a vezetők közötti légtér szigetelését kell érteni.



3. ábra. Védőtávolság meghatározása szabadvezeték védelmének

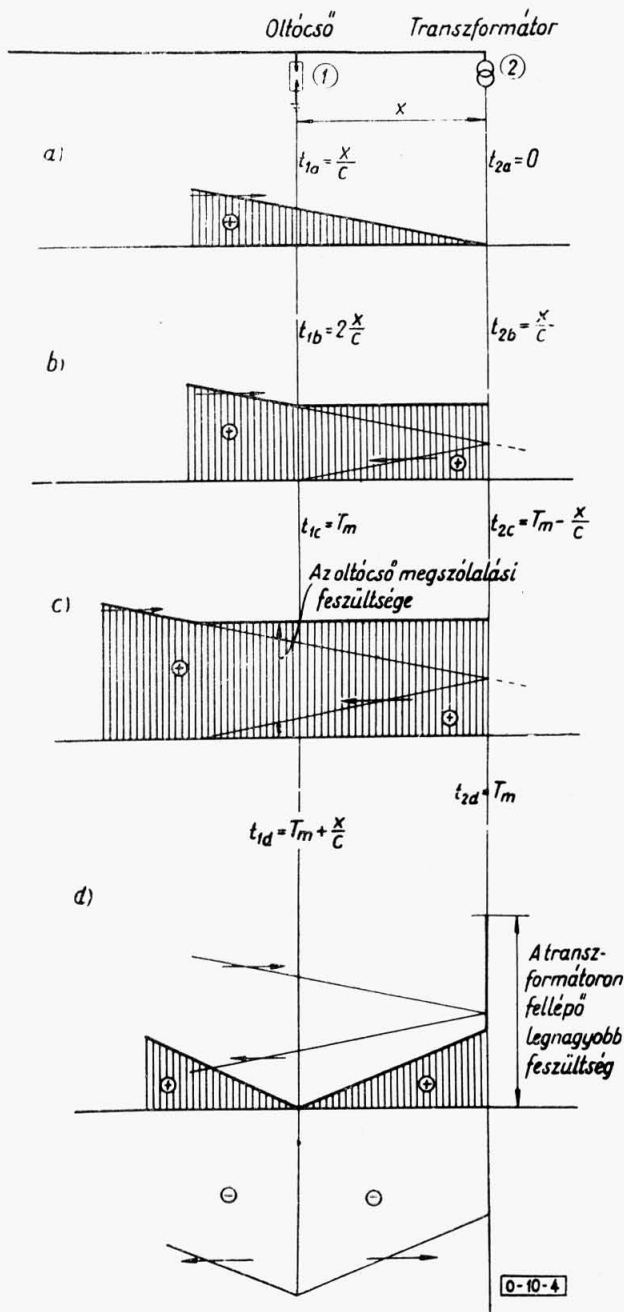
A gyakorlat számára szóba jöhet ilyen védelem kialakítása a középfeszültségű állomások előtti bevezető szakaszok túlfeszültség védelmeként. A jelenleg megvalósított szigetelések és az alkalmazható oltócsövek jelleggörbéit, valamint az irodalomban található villámáram előfordulási adatokat felhasználva, meghatároztuk a védőtávolságot. A nyert eredmények szerint tökéletes védelemhez jutunk, ha vasoszlopos szabadvezetéknel minden oszlopra, faoszlopos vezetéknel pedig minden második vagy harmadik oszlopra szerelünk fel oltócsövet.

II. Transzformátorok védelme

Az oltócsövek alkalmazásának másik gyakori módja a transzformátorok közvetlen védelmére felszerelt oltócső. A hatásos védelem kialakításához itt is ismernünk kell azt a maximális távolságot, ahova az oltócsövet elhelyezve az még kellő védőhatást biztosít.

Az alább ismertetettel azonos gondolatmenetet alkalmazhatunk a nyitott szakaszolók átütésének megakadályozására alkalmazandó koordináló eszközök védőtávolságának meghatározásához is.

A 4. ábrásorozat az előző esethez hasonlóan bemutatja a túlfeszültség-hullám megjelenésekor az oltócsövön és a transzformátor kapcsain lejátszó jelenségeket. A vezetékén érkező hullám a transzformátorhoz érkezve közel azonos amplitudóval visszaverődik, mivel annak hullámmellenállása jóval nagyobb a vezetékénél. A transzformátoron tehát az érkező feszültség meredeksége közelítőleg megkétszereződik. A visszavert hullám $\frac{2x}{c}$ idő múlva visszaérkezik az oltócsőhöz és annak kapcsain is meggyorsítja a feszültség növekedését.



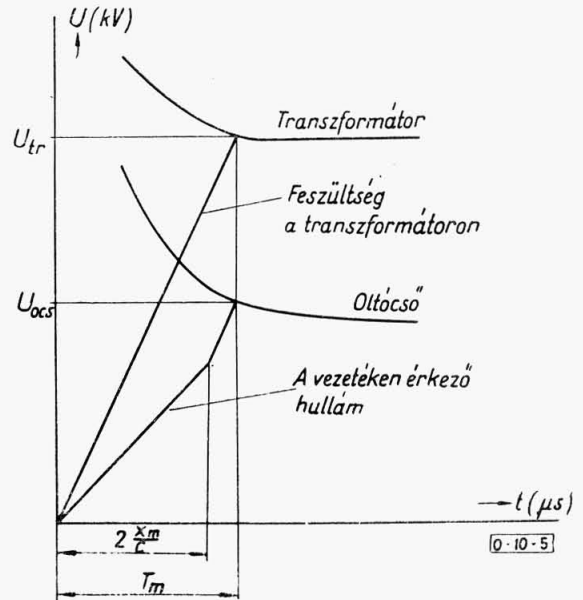
4. ábra. Oltócső alkalmazása transzformátor védelmére

Az oltócső megszólalása után most is lebontó hullám indul el mindkét irányban. Amikor a lebontó hullám a transzformátorhoz érkezik, annak kapcsain a feszültség növekedését megállítja. Az oltócsövet közelítve a visszavert hullám sietteti az oltócső megszólalását. Ebben az esetben az eredeti hullámnak csak az oltócső megszólalásáig az oltócső helyén áthaladt része kétszereződik meg a transzformátor kapcsain. Ha az oltócső már az érkező hullám hatására megszólal, a transzformátoron mindig az oltócső megszólalási feszültségének kétszerese lép fel.

A védőtávolság meghatározására most is az oltócsövön, illetve a transzformátoron eltelt időket fogjuk felhasználni. A két helyen a feszültség növekedésére rendelkezésre álló idő egymással

egyenlő. Ugyanis amennyivel később érkezik a transzformátorhoz az eredetileg érkező hullám, ugyanannyit késik a növekedést megállító lebontó hullám is.

Ezek után a védőtávolság megszerkesztésének módját tetszőleges meredekségű feszültség esetére az 5. ábra mutatja.



5. ábra. Védőtávolság meghatározása transzformátor védelmének

Megrajzoljuk a transzformátor kapcsain a visszaverődés folytán előálló hullámnak megfelelő, közelítőleg kétszeres meredekségű egyenest. Kijelöljük rajta a megengedhető legnagyobb feszültséget, szélső esetben a jelleggörbével alkotott metszéspontot. Az egyenlő idő feltételének megfelelően megkeressük az oltócső jelleggörbéjén az azonos abszcisszához tartozó pontot. Az oltócső kapcsain először egyszerűs, majd pedig közel kétszeres meredekséggel növekszik a feszültség. Tehát visszafelé végezve a szerkesztést, a T_m abszcisszának megfelelő pontból párhuzamost húzunk a visszaverődés folytán előálló meredekséggel, az origóból pedig a vezetéken érkező hullám meredekségével. A két egyenes metszéspontjához tartozó abszcissa a védőtávolság kétszeresének megtételéhez szükséges idő.

Abban az esetben, ha a gyakorlat számára meg akarjuk határozni az oltócső védőtávolságát, először meg kell adnunk, milyen nagyságú feszültséget engedhetünk meg a transzformátoron, ismerve az oltócső működésekor előálló különleges igénybevételt. Ha kiinduló feltételként csupán a transzformátoron fellépő feszültség csúcsertékét akarjuk korlátozni, akkor a transzformátorok közvetlen védelmére alkalmazandó oltócső védőtávolsága 20 kV névleges feszültségen 20—25 m-re, 35 kV-on pedig 30—35 m-re adódik. Ez annyit jelent, hogy a leggyakoribb esetként előforduló, elosztóhálózati transzformátorok védelmekor az oltócsövet alkalmazasan a transzformátor közvetlen közelébe kell felszerelni.

A 3. és 5. ábrákra tekintve láthatjuk, hogy ha a védőeszköz jelleggörbáját lejjebb szállítjuk, csökkentve megszólalási feszültségét, az alkalmazható védőtávolságok megnőnek. Ugyancsak megállapítható, hogy a nagyobb meredekségű feszültségeken kevésbé gyorsan emelkedő jelleggörbéjű védőeszköznek a védőtávolsága nagyobb. Tehát azonos 50%-os megszólalást feltételezve, a túlfeszültségevezető védőtávolsága nagyobbra, a közönséges szikraközé kisebbre adódik, mint az oltócső védőtávolsága. Végső soron az alkalmazandó védőtávolság nagyságát mindig két tényező, a megszólalási, illetve átütési feszültség nagysága és a védelmi eszközre, illetve a szigetelésre jellemző átívelési feszültség-idő jelleggörbe határozza meg.

Kis induktív áramok megszakítása

BENKÓ IMRE

a VILLENKI tndományos munkatársa, az ERŐTERV osztályvezetője

621.316.52.014

A cikk 10—35 kV-os megszakítókkal kis induktív áramok kikapcsolásakor mért túlfeszültségeket és a mérésekből levonható következtetéseket ismerteti. Ezenkívül a túlfeszültségek ellen védő, a megszakítóba beépített söntellenállás meghatározásának elveivel foglalkozik.

A kapcsolási túlfeszültségek okozta igénybevételek veszélyességére és az ilyen túlfeszültségek elleni védekezésre ma még sok vonatkozásban nem alakult ki egységes álláspont. Még nem teljesen tisztázott, hogy milyen igénybevételek jelentkezhetnek és milyen esetben jelentenek a levezetők védelmet. Éppen ezért a villamosenergia-rendszer üzembiztonságának növelése megkívánja a kapcsolási túlfeszültségek vizsgálatát.

A VILLENKI-ben végzett munkánk ezen a területen arra irányul, hogy elvi megfontolások és a rendelkezésre álló külföldi irodalmi anyag alapján meghatározzuk azokat a kapcsolásokat, amelyek veszélyes túlfeszültséget okozhatnak. Az ilyen kapcsolások alkalmával hazai megszakítóinkkal várható túlfeszültségek nagyságát — megfelelő teljesítőképességű nagyfeszültségű laboratórium hiányában — egyelőre hálózati mérésekkel igyekszünk megállapítani és ezek alapján dolgozunk ki a védekezés, ill. elhárítás módjára vonatkozó javaslatokat.

Veszélyes túlfeszültségek a kapacitív és kis induktív áramok kikapcsolásakor léphetnek fel. Minthogy nagyfeszültségű kondenzátortelepek nálunk még alig vannak üzemben, a kapacitív áramok megszakításakor fellépő túlfeszültségek hazai viszonylatban csak a terheletlen vonalak kikapcsolása szempontjából érdekesek. Középfeszültségű és 120 kV-os hálózatunkon veszélyes túlfeszültségektől nem kell tartanunk, ha azt az elemi szabályt megtartjuk, hogy az egyetlen transzformátorról vagy nagyon kis kapacitású gyűjtősinről táplált terheletlen vonalat a táptranszformátorral együtt kapcsoljuk ki. Ezt a külföldi irodalmi adatokon kívül az eddigi üzemi tapasztalatok és mérések is igazolják.

IRODALOM

1. *Bewley, L. V.*: *Traveling Waves on Transmission Systems*. New York, John Wiley and Sons, 1951.
2. *Beck, E.*: *Lightning Protection for Electric Systems*. New York, McGraw-Hill Book Comp., 1954.
3. *Baatz, H.*: *Überspannungen in Energieversorgungsnetzen*. Berlin, Springer, 1956.
4. *Strigel, R.*: *Elektrische Stossfestigkeit*. 2. Aufl. Berlin (Göttingen) Heidelberg, Springer, 1958.
5. *Schulze, H.—Koettnitz, H.—Hicke, C.*: *Richtlinien für Wahl, Einbau und Erdung von Überspannungsableitern*. VEB Verlag Technik, Berlin.
6. *Jirku, J.*: *Oltócsövek elhelyezése nagyfeszültségű távvezetéseken*. Elektrotechnický Obzor, 1955. 10. sz.
7. *Besze J.*: *Villenki típusú oltócsövek*. 229. sz. VILLENKI jelentés, Budapest, 1958.
8. *Elek A.*: *Szabadvezetékek villámbiztonsága I*. 129. sz. VILLENKI jelentés, Budapest, 1956.

A kis induktív áramok, terheletlen transzformátorok és motorok áramának megszakításakor viszont, különösen középfeszültségű megszakítóinknál már veszélyes túlfeszültségekre számíthatunk. A következőkben az ezen területen, különösen a 10 kV-os megszakítókkal végzett vizsgálatainkat kívánom röviden ismertetni.

I. Az áramlevágás jelensége

A kis induktív áramok kikapcsolásakor fellépő túlfeszültségeket az áramlevágás jelensége okozza. A megszakítás alkalmával az iv okozta nagyfrekvenciás rezgések miatt az iváram instabillá válik és az 50 periódusú nullaátmenet előtt megszakad, amikor még a kikapcsolt induktivitásban az áram nem zérus. Az induktivitásban tárolt mágneses energia a kikapcsolt hálózatrés kapacitásán elektrosztatikus energiává alakul át, és emiatt túlfeszültség lép fel. A túlfeszültség nagysága is közelítőleg az energiaegyenlőségből számítható. Mégpedig az 1. ábra jelöléseivel:

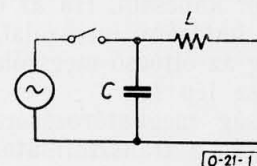
$$\frac{1}{2} Li_m^2 = \frac{1}{2} C u^2 \quad (1)$$

amiből

$$u = \sqrt{\frac{L}{C}} i_m \quad (2)$$

ahol i_m a levágott áram pillanat-értéke.

A valóságban az így számított túlfeszültség nem tud kialakulni, mert a megszakító érintkezői közt az iv a nagy önrezgésszámú kikapcsolt háló-



1. ábra

zatrészen nagy meredekséggel növekvő feszültség hatására újragyullad és a visszagyújtásokkal a megszakító mintegy saját maga korlátozza is a túlfeszültségeket. Ha a visszagyújtások hatásától egyelőre eltekintünk, a (2) képlet szerint a túlfeszültség a levágott áram nagyságával arányos. Feltehető, hogy a megszakított áramtól független deionizációval működő légnymásos és kényszeráramlású megszakítók nagyobb áram levágására képesek, mint a megszakított áramtól függő deionizációval működő folyadékoltású megszakítók. A kis induktív áramok kikapcsolásakor — e megfontolás szerint — a légnymásos megszakítók nagyobb túlfeszültségeket okozhatnak.

II. Mérési eredmények

A különböző típusú megszakítók hatásának összehasonlítására ugyanabban az induktív áramkörben méréseket végeztünk 10 kV-os légnymásos, expanziós és olajszegevény megszakítókkal. A mérési eredményekről az 1. táblázat ad áttekintő képet. A mérések alkalmával két, egyenként 2 MVA-es párhuzamosan kapcsolt transzformátor üresjárású áramát (kb. 6 A) és ugyanezt a transzformátort szekunderoldalon fojtótekerccsel terhelve 60, ill. 120 A induktív terhelő áramot szakítottunk meg. A legnagyobb túlfeszültség a légnymásos (PTK 10/601 típusú) megszakító működésekor lépett fel, mégpedig egy alkalommal, 60 A áram megszakításakor a fázisfeszültség csúcsértékére vonatkoztatva 7,2-szeres.

Itt meg kell jegyezni, hogy az induktív terhelő áram kikapcsolása a túlfeszültségek szempontjából kedvezőtlenebb feladatot jelent a megszakító részére, mint akár a terheletlen transzformátorok, akár a motorok áramának megszakítása. Az utóbbiak esetén ugyanis egyrészt a hiszterézis, másrészt a zárt forgórész jelentékeny csillapítást jelent.

A fellépő túlfeszültségek a megszakított áram erősségével egyidejűleg növekednek, azután ismét csökkennek. Ez azzal magyarázható, hogy a megszakító által levágott áram bizonyos értéken túl nem növekszik az áramerősséggel. Légnymásos megszakítóknál pl. a levágott áram legfeljebb 20—25 A. A nagyobb induktív áramhoz viszont kisebb terhelő induktivitás tartozik, az áramerősség növekedésével tehát az induktivitásban tárolt energia, azonos áramlevágást tételezve fel, csökken és ezzel együtt a túlfeszültség is kisebb lesz. A legnagyobb túlfeszültség annak a legkisebb induktív áramnak a megszakításakor lép fel, amely már elegendő nagy a maximális áramlevágás kialakulásához. Légnymásos megszakítóknál ez az áramerősség kb. 50—60 A.

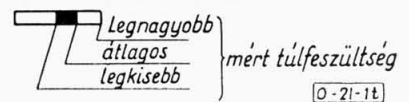
A légnymásos megszakító működésekor fellépő túlfeszültségekre jellegzetesek a 2. és 3. ábra oszcillogramjai. Ezek az oszcillogramok a kikapcsolt induktivitás kapcsán fellépő feszültséget mutatják. Jól látszanak a végleges megszakítás előtti visszagyújtások, a végleges megszakítás után pedig a kikapcsolt hálózatrész feszültségének lecsengése. A lecsengésben látható kétféle

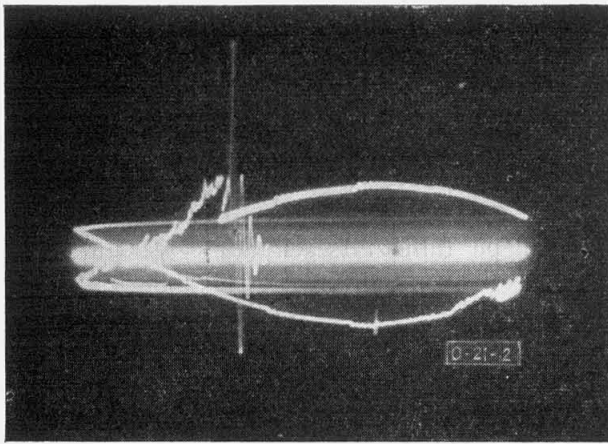
1. táblázat

Terheletlen transzformátorok és induktív terhelőáramok kikapcsolásakor mért túlfeszültségek

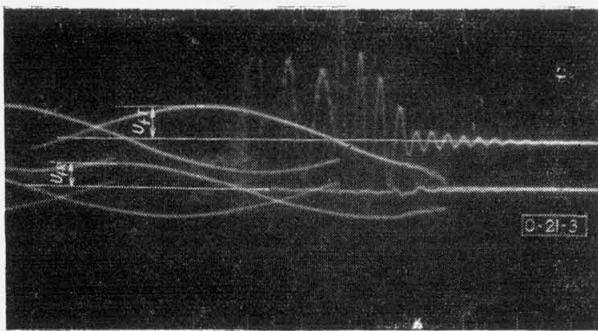
Mérés száma	A hálózat zárlati teljesítménye		A megszakító típusa	teljesít. árama A	teljesít. menny. MVA	A kikapcsolt transzformátor rövid-üresjárású árama A _{eff}			terhelési árama A _{eff}	legnagyobb túlfesz. tényező szék.o.	Túlfeszültségek		Kapcsolási rajz	
	feszültség kV	MVA				átviteli vesz. %	terhelési árama A _{eff}	terhelési árama A _{eff}			legnagyobb túlfesz. tényező szék.o.	Grafikusan ábrázolva		
1	10	260	PTK 10/601	1000	4,4	10,5/10,4	6,8	6	-	2,53	-			
2	10	260	PTK 10/601	1000	4,4	10,5/10,4	6,8	6	Fojtótekerccs	60	7,2			
3	10	260	PTK 10/601	1000	4,4	10,5/10,4	6,8	6	Fojtótekerccs	140	4,00			
4	10	72	R 624c 10	1000	4,4	10,5/10,4	6,8	6	-	-	1,86			
5	10	72	R 624c 10	1000	4,4	10,5/10,4	6,8	6	Fojtótekerccs	140	2,46			
6	10	72	OM 280/10	600	4,4	10,5/10,4	6,8	6	-	-	2,16			
7	10	72	OM 280/10	600	4,4	10,5/10,4	6,8	-	Fojtótekerccs	60	4,3			
8	10	72	OM 280/10	600	4,4	10,5/10,4	6,8	-	Fojtótekerccs	120	3,0			
9	10	80	OM 280/10	600	0,8	10,5/10,4	5	-	Fojtótekerccs	120	3,6			
10	5,5	350	PTK 10/401	2000	18	36,75/35	8,4	57	-	-	4,8	2,0		
11	35	220	OM 400/30	600	18	36,75/35	8,4	8,5	-	-	-	4,6		

Túlfeszültségtényező: $K = \frac{U_{max}}{\sqrt{2} U_{fázis}}$

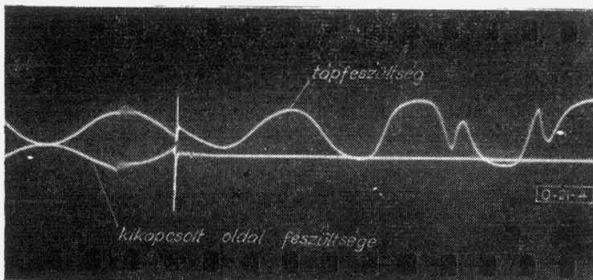




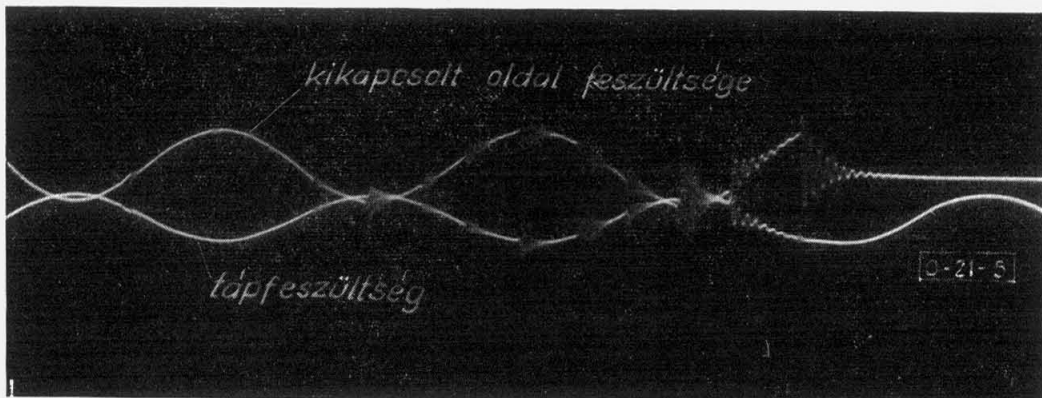
2. ábra



3. ábra



4. ábra



5. ábra

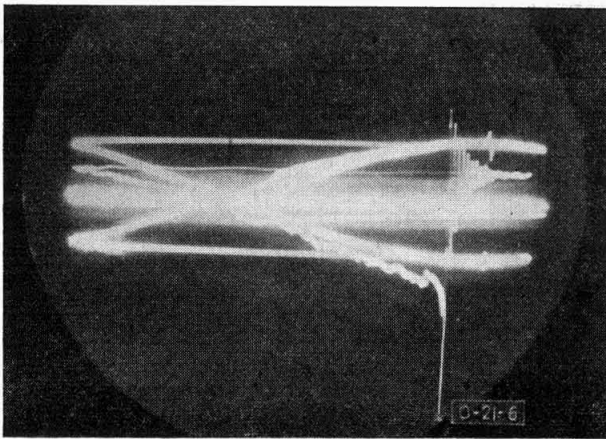
frekvenciát az okozza, hogy a megszakító fázisai nem egyszerre működnek és a második fázis nyitása után az áramkör önrezgésszáma megváltozik. Megfigyelhető, hogy a földetlenn rendszernek megfelelően a megszakító egyes fázisaiban lefolyó jelenségek lényegesen befolyásolják egymást.

A 4. ábra oszcillogramja abból a szempontból érdekes, hogy a kikapcsolás után az egyetlen transzformátorból álló tápoldalon a transzformátor kapcsaira csatlakozó földelő feszültségváltók miatt ferrezonanciás túlfeszültség lépett fel. Ez a jelenség nem tartozik ugyan a kapcsolási túlfeszültségek körébe, de érdemes itt is felhívni arra a figyelmet, hogy földetlenn hálózatokban a transzformátorkapcsokra csatlakozó földzárlatjelző feszültségváltóknál minden esetben indokolt a ferrezonanciás túlfeszültségek csillapítására a nyitott földzárlatjelző tekercsben csillapító ellenállást vagy impedanciát beépíteni.

Az expanziós megszakítóval végzett kapcsolások alkalmával veszélyes túlfeszültségek nem léptek fel. Jellemző erre a megszakítóra (5. ábra), hogy a kikapcsolás viszonylag hosszú ideig (1,5—2 periódusig) tart. Az ív többször újragyullad, de a végleges megszakítás is viszonylag lágyan következik be. Az expanziós megszakítóban az ív huzamosabb ideig is stabilisan tud égni, mert a megszakítás alatt a folyadékkezelés az ív stabilitását elősegítő nagy ellenállásként hat.

Az olajszegény megszakító működése (6. ábra) sok hasonlóságot mutatott az expanziós megszakítóéval. Ennél azonban már nagy túlfeszültségek is felléptek, mégpedig a fázisfeszültség csúcsértékére vonatkoztatva 4,3-szeres legnagyobb túlfeszültséget mértünk. A bemutatott oszcillogramokon itt is jól megfigyelhető az ív többszöri újragyújtása. A végleges megszakítás gyorsabban következik be, mint az expanziós megszakítónál, a kialakuló túlfeszültségek is nagyobbak.

Egy 18 MVA-es 35/5 kV-os transzformátor üresjárási áramának megszakításakor mért túlfeszültségeket az 1. táblázat 10. és 11. sora mutatja. Az 5 kV-os oldalon légnymosós, a 35 kV-os oldalon olajszegény megszakító szakította meg az üresjárási áramot. Mindkét oldali kikapcsoláskor a



6. ábra

háromszögbe kapcsolt 5 kV-os oldalon keletkeztek nagyobb túlfeszültségek, mégpedig közel azonos nagyságúak. A legnagyobb túlfeszültség a fázisfeszültség csúcsértékére vonatkoztatva 4,8-szeres volt.

Túlfeszültségméréseket végeztünk még a nagyfeszültségű motorok kikapcsolásakor is. Az eredményeket a 2. táblázat foglalja össze.

A legnagyobb túlfeszültséget PTK 10/201 típusú, légnemű megszakítóval mértük, mégpedig egy 228 kW-os, 3 kV-os motor indítási áramának megszakításakor közel 4-szerest. Hasonló nagyságú túlfeszültség lépett fel egy 160 kW-os, 6 kV-os motor indítási áramának CP 104 típusú, légnemű megszakítóval történt kikapcsolásakor. A motorok üzemi áramának megszakításakor eddigi vizsgálataink szerint veszélyes túlfeszültségek nem

léptek fel, az indítási áram megszakításakor felépő túlfeszültségek a fázisok közti szigetelésre kedvezőtlen körülmények esetén veszélyt jelenthetnek.

III. Következtetések

Az eddig elvégzett mérésekből korai lenne messzemenő következtetéseket levonni, de ezek a mérések néhány hazai megszakítóinkkal kapcsolatos megállapításra mégis lehetőséget nyújtanak.

A transzformátorok üresjárású áramának megszakításakor mind a légnemű, mind pedig az olajszegény középfeszültségű megszakítók veszélyes, a fázisfeszültség csúcsértékének háromszorosát meghaladó túlfeszültséget okozhatnak, ha az üresjárású áram értéke a 10—20 A-t meghaladja. A túlfeszültségveszély a légnemű megszakító esetében nagyobb. Ezek ellen a túlfeszültségek ellen a levezetők védelmet jelentenek, mert viszonylag kis, a légköri túlfeszültségeknél nem nagyobb energia levezetéséről kell gondoskodniuk.

A veszélyeztetett transzformátoroknál a túlfeszültséglevezetők felszerelése ezért abban az esetben is indokolt, ha a légköri eredetű túlfeszültségek miatt a levezetők nem lennének szükségesek.

A nagyfeszültségű motorok légnemű megszakítóval történő kikapcsolásakor bizonyos esetekben, elsősorban a kisebb motorok indítási áramának megszakításakor, veszélyes túlfeszültségek léphetnek fel. A veszélyes túlfeszültségek az eddigi mérések szerint viszonylag ritkán fordulnak elő, mégis indokolt a motorok kapcsolására használt hazai légnemű megszakítóknál is a söntellenállással felszerelt típus kialakítása.

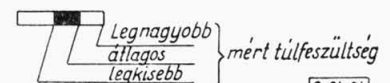
2. táblázat

Nagyfeszültségű motorok kikapcsolásakor mért túlfeszültségek

Mérés száma	A hálózat feszültsége kV	Zárlati teljesítmény MVA	A megszakító típusa	A kikapcsolt motor névleges				A megszakított áram A _{eff}	Túlfeszültség tényező ²	Legnagyobb	Grafikusan ábrázolva
				teljesítménye kW	árama A	fordulatszám 1/perc	bekötő kábelének keresztmetszete mm ²				
1	3	60	PTK 10/201	95	23,5	1460	3x120	75	11,5	2,22	
2	3	60	PTK 10/201	228	58	580	3x120	220	50/76*	3,96	
3	3	150	PTK 10/401	515	120	1460	3x120	86	92	2,71	
4	3	90	R 624C-10	191	50	585	3x120	620	50	1,26	
5	3	90	R 624C-10	160	40	1460	3x120	45	25	1,28	
6	6	80	CP 104/10	160	20	730	3x95	20	15	1,97	
7	6	80	CP 104/10	160	20	730	3x95	20	135	3,71	
8	6	80	CP 104	480	59	985	3x95	55	52	2,43	
9	6	80	CP 104	480	59	985	3x95	55	310	2,86	

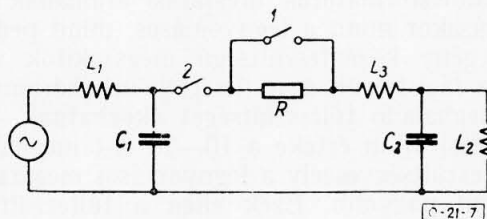
* A legnagyobb túlfeszültség 76 A megszakításakor keletkezett

$$\text{Túlfeszültség tényező: } K = \frac{U_{\max}}{\sqrt{2} U_{\text{fázis}}}$$



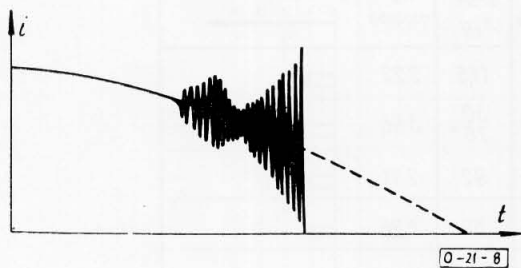
IV. A söntellenállás szerepe

A következőkben az induktív áramok kikapcsolásakor fellépő túlfeszültségek ellen védő söntellenállás kiválasztásával kapcsolatban néhány elvi megállapításra kívánom a figyelmet felhívni. A söntellenállással felszerelt megszakítóknak (7. ábra) a megszakító 1 jelű főérintkezőinek nyitásakor az áramkörbe az R ellenállás iktatódik be. Az ellenállás hatására lecsökkent áramot azután a 2 jelű másodérintkezők szakítják meg véglegesen.



7. ábra. L_1, C_1 — a táphálózat jellemzői;
 L_2 — a kikapcsolt motor inductivitása;
 C_2 — a bekötő vezeték és a motor kapacitása;
 L_3 — a bekötő vezeték inductivitása.

Az érintkezők nyitásakor az inductivitások áramának változása miatt tranziens rezgések lépnek fel, amelyek az érintkezők közötti ív negatív karakterisztikája miatt erősödő jellegűek lehetnek. Az áramlevágás kialakulása szempontjából döntő jelentőségű viszonylag nagy-frekvenciájú rezgések frekvenciáját elsősorban az L_3 inductivitás, a C_1 és C_2 kapacitás, valamint maga az ív határozzák meg. Ugyanis az ív tehetetlensége miatt mint energiatároló viselkedik, ezért a kör önrezgésszámát is befolyásolja. Az erősödő jellegű nagyfrekvenciás rezgések az ív instabillá válását és az 50 periódusú nullaátmenet előtti kialakulását okozhatják. Az iváramnak a nullaátmenet körüli időbeli változását elvileg a 8. ábra mutatja.

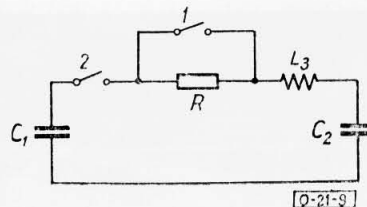


8. ábra

A söntellenállás szerepe, hogy a nagyfrekvenciás rezgéseket csillapítsa, illetve megszüntesse és ezzel az ívnek az 50 periódusú nullaátmenet előtti kialakulását megakadályozza.

Az ív fellépése okozta nagyfrekvenciás rezgések elvi vizsgálatakor elegendő a 9. ábra áramkört figyelembe venni, amelynek alapján az ív árama:

$$i = Ae^{-\frac{R_e}{2L_3}t} \cdot \sin\left(\sqrt{\frac{C_1+C_2}{L_3C_1C_2} - \left(\frac{R_e}{2L_3}\right)^2}t - \alpha\right) \quad (3)$$

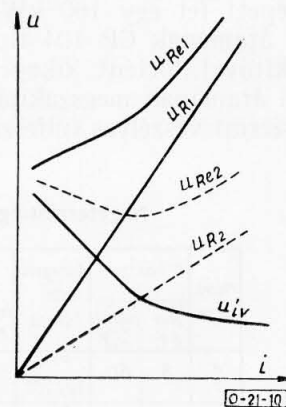


9. ábra

A (3) egyenletben A és α a megszakítás körülményeitől függő állandók, R_e az R söntellenállás és az 1 jelű érintkezők nyitásakor vele párhuzamosan kapcsolt, a 2 jelű érintkezők nyitásakor pedig vele sorbakapcsolt ivellenállás eredője. Megjegyezzük, hogy az ív tehetetlenségének a frekvenciára gyakorolt hatását a (3) egyenletben nem vettük figyelembe, minthogy ezt az egyenletet csak elvi vizsgálatra kívánjuk most felhasználni.

A (3) egyenletből látható, hogy ha az R_e eredő ellenállás az ív negatív karakterisztikája miatt negatív, akkor a rezgések erősödnek és az áramlevágás bekövetkezésének lehetősége fennáll.

Az ívvel sorba kapcsolt söntellenállás eredő jelleggörbéjéről — közelítésképpen statikus ívet tételezve fel — a 10. ábra ad tájékoztatást. A kis áramok tartományában az eredő jelleggörbe csak akkor nem negatív hajlásszögű, ha az ellenállás nagyobb az ív jelleggörbe negatív hajlásszöge által meghatározott értéknél.

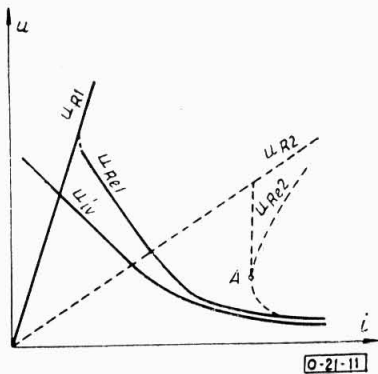


10. ábra. U_{iv} : az ív jelleggörbéje;
 U_{R1}, U_{R2} : ellenállás jelleggörbék;
 $R_1 > R_2$;
 U_{Re1}, U_{Re2} : az ív és vele sorbakapcsolt ellenállások eredő jelleggörbéi.

Az ív jelleggörbéje a kis áramok esetén a legmeredekebb, a 2 jelű másodérintkezők működésekor az ív stabilizálásához ezért nagy értékű (néhány száz ohmos, nagyobb feszültségű megszakítóknál néhány kiloohmos) ellenállás szükséges.

Az ívvel párhuzamosan kapcsolt söntellenállás eredő jelleggörbéjét hasonló közelítéssel a 11. ábra mutatja. Az ív jelleggörbe iránytangensének megfelelő értékűnél nagyobb ohmos ellenállás alkalmazása esetén az eredő jelleggörbe csak az áram nullaátmenet közvetlen közelében veszíti el negatív jellegét és megy át a tiszta ohmos ellenállás egyenesébe. Ez esetben az erősödő jellegű rezgések

kialakulásának és ezzel együtt az áramlevágás bekövetkeztének lehetősége hosszabb ideig fennáll. Ha a söntellenállás kisebb, akkor az iv árama már a nagyobb áramokon megszűnik az eredő jelleggörbe „A” pontjában. Az áramlevágás szempontjából veszélyes kisebb áramokon az áramkörben már nincs negatív jellegű ellenállás, tehát az áramlevágás lehetősége is megszűnik. A söntellenállás beiktatásakor, azaz az I jelű érintkezők nyitásakor a túlfeszültségek csökkentése érdekében minél kisebb ellenállás választása célszerű. Ez a feltétel a söntellenállás értékét felfelé korlátozza.



11. ábra. Az iv és vele párhuzamosan kapcsolt ellenállások eredő jelleggörbéi

Figyelembe kell venni azt is, hogy a 2 jelű másodérintkezők megszakítóképeségének korlátozott volta a minél nagyobb söntellenállás választása mellett szól.

Fentiek alapján a minél jobb túlfeszültségvédelem érdekében a söntellenállás az a legnagyobb ellenállás legyen, amelyet a megszakító I jelű főérintkezői még túlfeszültségveszély nélkül tudnak az áramkörbe beiktatni.

Ebből a rövid elvi áttekintésből is látszik, hogy az áramlevágás megszüntetésére szolgáló ellenállás értékét nem lehet csak a kikapcsolt berendezés és a táphálózat jellemzői alapján megállapítani. Az áramlevágás kialakulásában a megszakítónak, ill. pontosabban a megszakító érintkezői között fellépő ívnek döntő szerepe van és a védőellenállás is csak az ív jellemzőinek ismeretében határozható meg. Ez egyúttal azt is jelenti, hogy adott megszakító típusnál csak kísérletek alapján lehet a legmegfelelőbb védőellenállást meghatározni.

Megjegyezzük, hogy sok esetben jó eredményeket értek el feszültségfüggő söntök alkalmazásával. Ezeknek ellenállása az áramkörbe való beiktatásakor kicsiny, a végleges megszakítás alkalmával fellépő esetleges túlfeszültségeknél viszont megfelelő csillapítást jelentenek.

A visszazökő feszültség jellemzőinek néhány kérdése a hazai hálózaton végzett mérések alapján

SZABÓ BAKOS RÓBERT
tudományos munkatárs

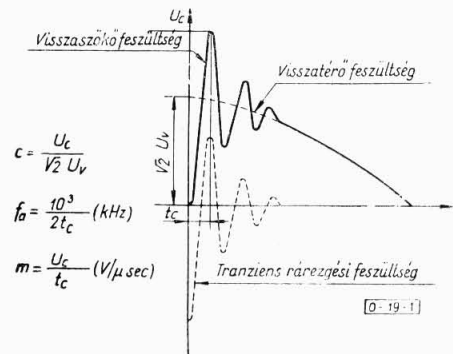
621.317.32.015.3 : 621.315.1(439)

A visszazökő feszültség a megszakítók megszakítóképeségének szempontjából jelentős. Jellemzésére a tranziens összetevőjének rezgésszáma, csúcstényezője, és átlagos emelkedését kifejező meredekség szolgál. A megszakítók megszakítási teljesítménye a meredekség függvényében csökken. A visszazökő feszültség jellemzőit a megszakító és a hálózati elemek együtt határozzák meg. Transzformátorok és fojtótekercek növelik, a kábelek és hosszú távvezetékek csökkentik a meredekséget és ezzel a megszakító igénybevételét.

I. A visszazökő feszültség jellemzői

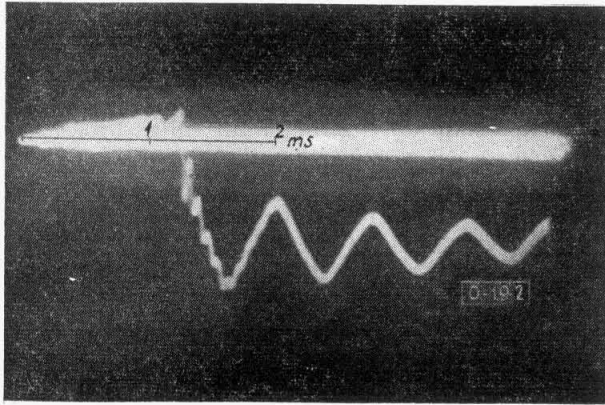
Nagyfeszültségű megszakítók sarkain közvetlenül a zárlati áramkör megszakítása után kapcsolási túlfeszültség lép fel, amelyet visszazökő feszültségnek nevezünk. Ez a feszültség két összetevőből áll, az egyik az üzemi periódusszámú visszaterő feszültség, a másik a visszaterő feszültségre szuperponált tranziens rárezgési feszültség (1. ábra). A tranziens rárezgési feszültség periodikus vagy aperiodikus. Periodikus esetben lehet egy rezgésszámú, mint az 1. ábrán, vagy több rezgésszámú. A legtöbb hálózati vizsgálaton többfrekvenciás rárezgési feszültséget mérhetünk. Példaképpen tekintsük a 2. ábra katódsugár oszcillogramját, amelyen a rárezgési feszültség kétfrekvenciás, de a nagyobb rezgésszámú összetevő nem számottevő és nézzük a 3. ábra katódsugár oszcillogramját, amelyben viszont a kisebb rezgésszámú összetevő nem játszik szerepet.

A megszakítás sikeres vagy sikertelen voltát a visszazökő feszültségnek általában az első csúcsgig terjedő szakasza dönti el, ezért ennek a szakasznak — gyakran bonyolult — lefolyását igyekezünk megfelelően választott egyszerű paraméterekkel jellemezni.

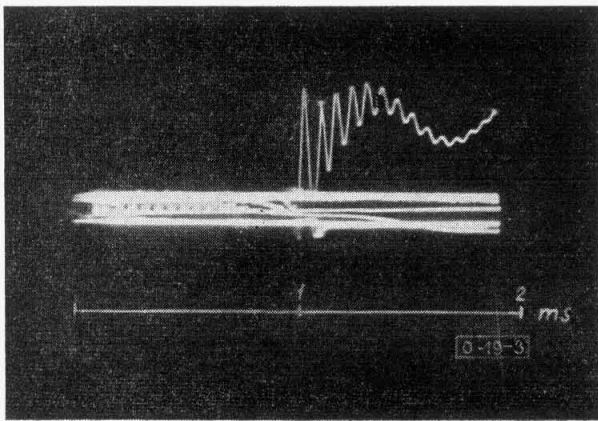


1. ábra. A visszazökő feszültség és összetevői ideális megszakítás esetén

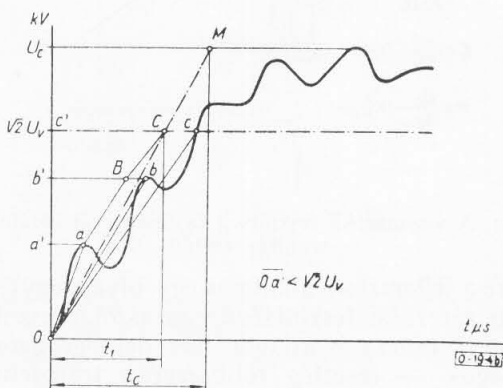
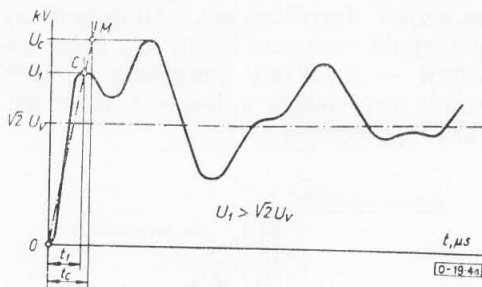
Erre a jellemzésre alkalmas egy olyan egyrezgésszámú rárezgési feszültségű visszazökő feszültség, amelynek csúcsa és átlagos meredeksége azonos a valóságos — esetleg többrezgésű tranzienseket tartalmazó — visszazökő feszültség csúcsával és átlagos meredekségével. Az átlagos meredekségnek a különféle bonyolultabb alakú visszazökő



2. ábra. $f_1 = 1300 \text{ Hz}$; $f_2 = 12\,500 \text{ Hz}$; $f_a = 3100 \text{ Hz}$; $c = 1,5$



3. ábra. $f_1 = 1300 \text{ Hz}$; $f_2 = 13\,500 \text{ Hz}$; $f_a = 13\,500 \text{ Hz}$; $c = 1,5$



4. ábra. Az átlagos meredekség és az egyenértékű, egy-rezgésszámú visszaszökő feszültség meghatározása, ha a tranzienst összetevő többregezzszámú

feszültségek esetén való értelmezésére a megszakító szabvány az IEC előírásokkal azonos szerkesztési eljárásokat ad [1].

Tekintsük a két leggyakrabban előforduló esetet. Az egyik az, ha a visszaszökő feszültség görbében levő első csúcs nagyobb mint a visszatérő feszültség csúcserőke. A 4. ábrából leolvasható az átlagos, egyenértékű meredekség szerkesztése. Értékét az ábrán eredményvonallal jelöltük. A második eset az, ha a visszaszökő feszültség görbében levő első csúcs kisebb mint a visszatérő feszültség csúcserőke (4/b ábra). Az egyenértékű meredekség szerkesztésekor azokat a csúcspontokat kell figyelembe venni, amelyek nagyobbak mint az őket megelőző. A visszaszökő feszültség görbében a $\sqrt{2} U_v$ kV ordinátájú pontot kell az utolsó csúcspontnak tekinteni, amelyet még figyelembe veszünk az egyenértékű, átlagos meredekségű egyenes hajlásszögének meghatározásakor. Az origóból mindegyik figyelembe veendő csúcsponthoz egyenest rajzolunk, és az első (a) csúcspontból párhuzamost húzunk az origón és a második (b) csúcsponton átfektetett egyenessel. Ez metszi a második (b) csúcspontból az időtengellyel húzott párhuzamost és ebből a metszéspontból párhuzamost húzunk a harmadik csúcsponton és az origón átfektetett egyenessel. Az eljárást addig folytatjuk, amíg a $\sqrt{2} U_v$ feszültséghez tartozó vízszintes vonalat el nem érjük. Az így kapott metszéspontot át (C) az origóból egy egyenest rajzolunk a visszaszökő feszültség legnagyobb csúcspontból az időtengellyel párhuzamosan húzott egyenesig (M). Ezzel meghatározható az egyenértékű, egyfrekvenciás visszaszökő feszültség összes jellemzője.

Az ilyen egyregezzszámú visszaszökő feszültséget három adattal lehet egyértelműen megadni: a rérezési feszültség rezgésszámával [f_a (kHz)], a csúcstényezővel (c), amely a visszaszökő és a visszatérő feszültség csúcspontjának hányadosa és végül a $V/\mu\text{s}$ -ban kifejezett meredekséggel (m). A három adat közül bármelyik kettő megadása elegendő, mivel közöttük az ismert

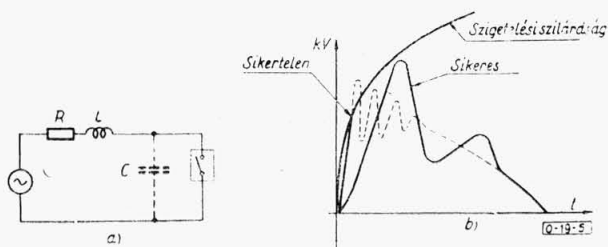
$$m = 2\sqrt{2} c f_a U_v \quad V/\mu\text{s}$$

összefüggés áll fenn; U_v a visszatérő feszültség értéke effektív kV-ban.

Ez a tranzienst kapcsolási jelenség az egyik állandósult állapotból (a zárattól) a másikba (a megszakítottba) vezet át.

A jelenség lényegét olyan egyszerű egyfázisú körben tudjuk vizsgálni, amelyben a beépített soros elemeken kívül mindig jelen vannak a geometriai elrendezéséből kiadódó, párhuzamosan kapcsolódó kapacitások is (5. ábra). Az egyik állandósult állapotban, a zárattal, a megszakító helyén a feszültség 0. A másik állandósult állapotnak, amely megszakítás után kezdődik, a megszakító sarkain az üzemi frekvenciájú feszültségnek a maximum körüli értéke felel meg. A körben levő egyik energiátároló energiája sem változhat ugrásszerűen, így nem változhat ugrásszerűen a

C kapacitás elektrosztatikus energiája sem. Ezért nem nőhet meg a C kapacitáson a feszültség a megszakítás pillanatában — a két állandósult állapot határán — ugrásszerűen 0-ról $\sqrt{2} U_v$ körüli értékre. A megszakítót ideálisnak feltételezve, a C kapacitás statikus energiájának és feszültségének közvetlenül a megszakítás után ugyanolyan nagyoknak kell lennie, mint a megszakítás előtt, tehát 0-nak. Ez pedig csak úgy lehetséges, ha fellép a megszakítás pillanatában egy, az üzemi periódusszámú feszültség pillanatértékével egyenlő nagy, de ellenkező előjelű tranziens feszültség.



5. ábra. Egyszerűsített áramkör (a) és feszültségnövekedés sikeres megszakítás és sikertelen megszakítási kísérlet esetén (b)

A 5/a ábra szerinti áramkörben a visszaszökő feszültség időbeli lefolyása ideális megszakítás esetén:

$$u(t) = U_{v \max} \left[\cos(\omega t - \varphi) - \frac{\omega_0}{\omega_s} \cdot \frac{\omega L}{\sqrt{R^2 + (\omega L)^2}} \cdot e^{-\frac{R}{2L}t} \cdot \cos(\omega_s t - \varphi_s) \right]$$

A képletben:

$$\varphi = \arctg \frac{R}{\omega L - \omega C(R^2 + \omega^2 L^2)}$$

az üzemi periódusszámú összetevő fázisszöge;

$$\varphi_s = \arctg \frac{\frac{R}{L} \left(3 \omega_0^2 - \omega^2 - \frac{R^2}{L^2} \right)}{2 \omega_s \left(\omega_0^2 - \omega^2 - \frac{R^2}{L^2} \right)}$$

a rárezgési feszültség fázisszöge;

$$\omega_s = \sqrt{\frac{1}{LC} - \left(\frac{R}{2L}\right)^2}$$

a kör önrezgésének körfrekvenciája, amely $R = 0$ esetén:

$$\omega_0 = \sqrt{\frac{1}{LC}}$$

A megszakítás pillanatában, tehát $t = 0$ időpillanatban visszatérő feszültség pillanatértékének és a rárezgési feszültség pillanatértékének összege 0, így a zárójelben levő kifejezés 0. Közvetlenül $\frac{\pi}{\omega_s}$ mp múlva az üzemi periódusszámú összetevő és a tranziens rárezgési feszültség előjele megegyezik és a visszaszökő feszültség eléri csúcstét. Jelöljük a megszakítás pillanatában az üzemi

periódusszámú összetevőt A-val és mivel rendszerint $\omega_s \gg \omega$, $\frac{\pi}{\omega_s}$ mp alatt az üzemi periódusszámú tag alig változik, így a csúcstényezőre közelítően írható

$$c \approx \frac{A + A e^{-\frac{R}{2L} \cdot \frac{\pi}{\omega_s}}}{A} = 1 + e^{-\frac{R}{2L} \cdot \frac{\pi}{\omega_s}}$$

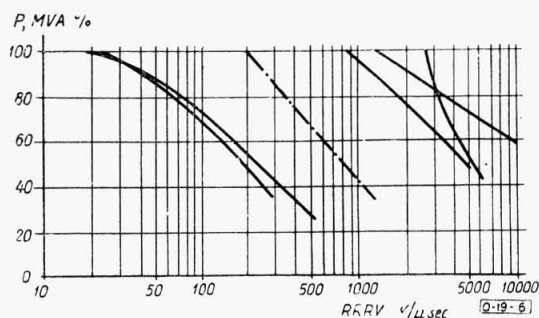
A csillapításoknak tehát döntő szerepük van a visszaszökő feszültség jellemzőinek kialakításában.

Ha $R > 2 \sqrt{\frac{L}{C}}$, a tranziens összetevő aperiodikus,

$R < 2 \sqrt{\frac{L}{C}}$ esetében periodikus az egyszerű soros

rezgőkörben. A megszakítás szempontjából az eléggé ritka aperiodikus eset a legkedvezőbb.

A visszaszökő feszültség időbeli lefolyásának jelentős szerepe van zárlatok megszakításakor (5/b. ábra). Ha egy megszakítóban a megszakítás után közvetlenül az ívcatorna szigetelési szilárdága gyorsabban nő és minden pillanatban nagyobb mint a visszaszökő feszültség okozta igénybevétel, a megszakítás sikeres, ellenkező esetben visszagyújtás következik be. Ha ez sok perióduson át ismétlődik, ez a megszakító pusztulásához és a zárlat fennmaradása pedig még súlyosabb megsérüléshez vezethet. A megszakítók megszakítási teljesítménye tehát függ a visszaszökő feszültség jellemzőitől. Nagyobb önrezgésszám és nagyobb csúcstényező mellett kisebb a megszakító megszakítási teljesítménye, tehát a megszakítók megszakítási teljesítménye a visszaszökő feszültség jellemzőinek függvényében csökkenő jellegű. A függvényt ábrázoló eső jellegű görbéknek meredeksége, tehát a megszakítási teljesítmény csökkenése a különböző rendszerű megszakítókra különböző. Ebben a tárgyban végzett számos külföldi és hazai vizsgálat szerint a légnyomásos megszakítók legérzékenyebbek a visszaszökő feszültség jellemzőinek növekedésére. O. S. Johansen az 1952. évi CIGRE tanulmányában néhány szerző által különböző légnyomásos megszakítókon végzett vizsgálatok eredményét egyszerű logaritmikus koordináta-rendszerben rajzolja fel és megszerkeszt egy átlagos görbét (6. ábra).



6. ábra. Különböző légnyomásos megszakítók százalékos megszakítási teljesítménye és O. S. Johansen helyettesítő görbéje a visszaszökő feszültség meredekségének függvényében

II. Mérési módszerek

Az elmondottakból következik, hogy a megszakítóktól zárlatok üzembiztos megszakítását csak akkor remélhetjük, ha a hálózat adott helyén nemcsak a zárlati teljesítményt ismerjük, hanem a visszaszökő feszültség jellemzőit is.

A rárezgési feszültség rezgésszámának és a csúcstényezőnek meghatározása a hálózati mérések célja. Fejlettebb országokban több mint két évtizede foglalkoznak kapcsolási túlfeszültségek mérésével és különböző mérési módszereket dolgoztak ki. Az alábbiakban csak azokról lesz szó, amelyek a legkevesebb anyagi befektetéssel valósíthatók meg. Legegyszerűbb a közvetlen mérési módszer. Ennek a módszernek az alkalmazása abban áll, hogy a hálózat vizsgált helyén háromfázisú zárlatot létesítünk és a kijelölt megszakító először megszakító fázisának sarkain a visszaszökő feszültséget osztlók segítségével katódsugároszcilloszkóp ernyőjén fényképezzük. A közvetlen módszer vitathatatlan előnye, hogy a valóságot mérjük. (Az a tény, hogy nem a hálózat ún. független visszaszökő feszültségét mérjük, még nem minősíthető hátránynak. A hálózatban egy adott megszakítóhelyen alkalmazott megszakítók ugyanolyan rendszerűek). Ezért a közvetlen módszer eredményei szolgálnak egyéb módszerek eredményeinek ellenőrzésére. A közvetlen módszer rendszeres alkalmazása azonban a gyakorlatban súlyos nehézségekbe ütközik.

A visszaszökő feszültség vizsgálatának végső célja az, hogy a nagyfeszültségű hálózat minden megszakító helyére két hálózatkép mellett határozzuk meg a jellemzőket (rezgésszámot, csúcstényezőt). Az egyik hálózatkép az, amelynél a visszaszökő feszültség jellemzői a legnagyobb igénybevételt jelentik a megszakító számára; a másik hálózatkép az, amelynél a legnagyobb a zárlati teljesítmény. A hazai hálózaton végzett zárlati próbákban a zárlat nagyságát mindig a transzformátorok megengedhető igénybevétele szabja meg. A transzformátor zárlati árama a zárlati próbák engedélyezésében kialakult gyakorlat szerint névleges áramának 3—3,5-szörösénél nem lehet nagyobb. Ezért a zárlati körbe mindig annyi távvezeték-impedanciát kell beiktatni, hogy a zárlati áram az engedélyezett értéknél ne legyen több. Ebből beláthatjuk, hogy közvetlen zárlatokkal nem lehet célt érni. A zárlati kör kialakításában üzembiztonsági okokból nem a két szélső eset létrehozása a döntő szempont, hanem a zárlati áramok korlátozása. Így a közvetlen zárlati próbákban kapott eredmények nem az elő-hálózatra vonatkoznak, hanem csak a zárlati áramkörre. Ezek alapján belátható, hogy az üzemi hálózatot közvetlen zárlatok létesítésével „feltérképezni” nem lehet.

A közvetlen módszer nehézségei a kutatókat olyan módszerek kidolgozására is ösztönözték, amelyek alkalmazásával az üzemben levő hálózaton bizonyos korlátok között méréseket lehet végezni. Ezek közül *Fourmarier* módszerét em-

lítjük meg [2]. Módszere azon alapszik, hogy kisebb áramok megszakításakor is fellép tranziens kapcsolási feszültség, amely az egyik állandósult állapotból a másikba vezet át, természetesen a tranziens feszültség nem nulláról indul. Egy-egy hálózatrész terhelési áramát szakítja meg, majd az üzem fenntartására gyorsvisszakapcsolást alkalmaz. Hogy a kisebb terhelési áram megszakításakor fellépő visszaszökő feszültséget katódsugároszcilloszkóp ernyőjén fényképezni lehessen, az üzemi periódusszámú hálózati feszültséget kompenzálni, a tranziens feszültséget pedig erősíteni kell. A mérési eredményeket erősen befolyásolja a mindenkori terhelési állapot. Ezenkívül, ha az üzemi periódusszámú feszültség felső harmonikusokat is tartalmaz, a kapott eredmények megbízhatatlanok. Ez a módszer továbbá a megszakítóval szemben az önműködő gyorsvisszakapcsolás követelményeit támasztja.

A mérési módszerek másik csoportját azok a módszerek alkotják, amelyekkel üzemen kívül helyezett, feszültségmentesített hálózatrészeket vizsgálhatunk méréseket. Ezek közül legfontosabb az injektáló módszer és a rezonancia módszer.

Az injektáló módszer azon az elvi megfontoláson alapszik, hogy a zárlat megszakításakor a megszakító kapcsain megjelenő visszaszökő feszültség ugyanolyan lefolyású és nagyságú, mint az a feszültség, amely akkor jön létre, ha a nyitott kapcsokon keresztül a zárlati árammal megegyező áramlökést adunk a hálózatra. Ennek az állításnak igazsága megérthető, ha megfontoljuk, hogy a rövidzárlati áram megszakítása úgy is felfogható, mint egy ugyanolyan nagy, de ellentétes irányú áram szuperponálása a zárlati áramra (*Thevenin* elv.)

A gyakorlati alkalmazáskor vagy 0 értékből induló és lineárisan növekvő, vagy szinusz alakú áramlökést adnak az egyik sarkán nyitott megszakítón keresztül a feszültségmentesített és a megfelelő helyeken rövizrezárt hálózatra. Ügyelni kell arra, hogy az injektáló transzformátor impedanciája a hálózat mint passzív kétpólus bemenő impedanciájához képest helyesen legyen megválasztva. Általában nagy belső ellenállású áramforrást használnak. Az áramforrás lényeges része egy rácsvezérlésű gáz- vagy higanytöltésű tiratron cső, vagy közönséges gáz vagy higanytöltésű egyenirányító cső. Az első megoldást *Trencham* és *Wilkinson*, a másodikat *Sing-Yui King* és tőle függetlenül *R. Gert* alkalmazta. Ezekben a módszerekben a váltakozó áram egyenirányítása féloldalas, ezáltal másodpercenként 50 félhullámot löknek a transzformátorok a hálózatra. Az ismétlődő áramlökések hatására a megszakító nyitott sarkain megjelenő visszaszökő feszültség is periodikusan ismétlődik, így kellő szinkronizálással a katódsugár oszcillográf ernyőjén állókép keletkezik, amelyet könnyű fényképezni [3], [4], [5].

E módszer alkalmazásának kétségtelen akadálya az, hogy kiterjedt hálózatrészeket nem lehet

feszültségmentesíteni. Ennek ellenére nélkülözhetetlen a hálózaton végzett mérések alkalmával.

A *Fourmarier* és *Brown* által ismertetett [6] rezonanciamódszer lényege a következő: megfelelően méretezett hangfrekvenciás generátor segítségével lemérjük a hálózat admittanciáját a frekvencia függvényében. Felrajzolva a $Y(\omega)$ jelleggörbét, a minimumok helyéből következtetni lehet a hálózat önrezgésszámára. Előnye, hogy az összes eddigi módszerrel ellentétben rárezgési feszültség rezgésszámait külön-külön megkaphatjuk, hátránya a feszültségmentesítés mellett az is, hogy az admittancia frekvencia jelleggörbe felvétele hosszadalmas, bonyolult eljárás.

Zárlati próbaállomáson a megszakítókat legáltalában akkor igénybevételek kell alávetni, mint amennyire a hálózaton a tényleges zárlati áram és a hozzátartozó visszaszökő feszültség igénybe veszi. A megszakító jellemző visszaszökő feszültsége, amelyre megszakítóképeségét vonatkoztatjuk, nem lehet enyhébb, mint beépítési helyén a hálózat ún. független visszaszökő feszültsége.

1. táblázat

A próbaáramkör visszaszökő feszültségének legkisebb önrezgésszámára ajánlott értékek. (A meredekség számításában a csúcstényezőt 1,6-ra vettük fel)

A megszakító névleges feszültsége kV.	10	20	35	60	120	
A	A névleges megszakítóképeség 30%-áig					
	f_a kHz	15	9	6,5	4	2,8
	S V/ μ sec	588	705	893	940	1100
B	A névleges megszakítóképeség 60%-áig					
	f_a kHz	A és C között				
	S V/ μ sec	A és C között				
C	A névleges megszakítóképeség 100%-áig					
	f_a kHz	3	1,8	1,3	0,9	0,6
	S V/ μ sec	118	141	179	211	282

A magyar megszakító szabványtervezet összhangban a svájci szabvánnyal, az 1. táblázatban feltüntetett legkisebb önrezgésszám értékeket javasolja, amelyhez — 1,6 csúcstényezőt figyelembe véve — a meredekséget is kiszámítottuk.

Látható, hogy a megszakítóképeség 30%-áig (a svájci szabványban 50%-áig) sokkal szigorúbb a visszaszökő feszültség, ami megfelel a megszakító szempontjából a csökkenő jelleggörbének, a hálózat szempontjából pedig azon szerencsés körülménynek, hogy a legnagyobb zárlati teljesítményekkel általában nem jár együtt a legszigorúbb visszaszökő feszültség.

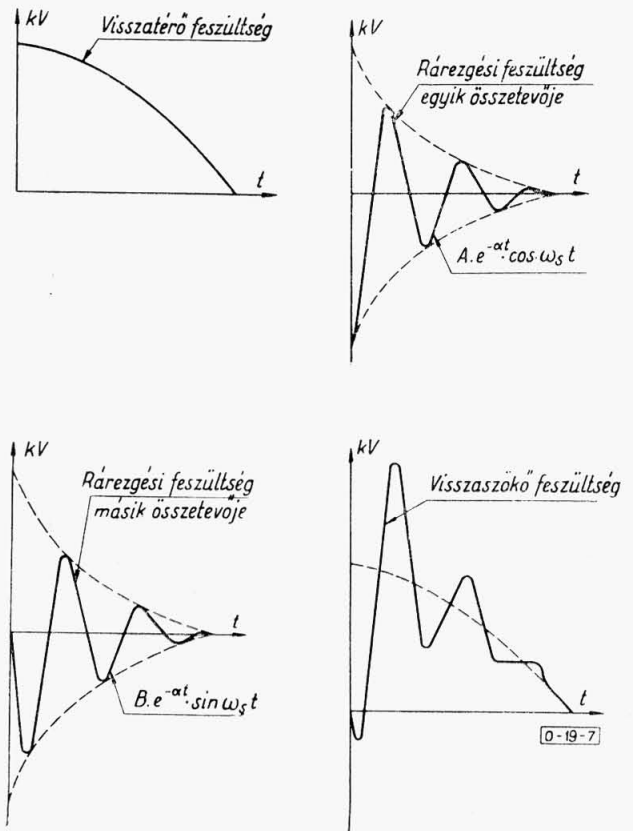
A megszakító jelleggörbéket csak zárlati próbaállomáson lehet meghatározni, hálózati zárlati próbákon nem. Reméljük, hogy zuglói zárlati

próbaállomásunk üzembehelyezése után megkezdhetjük hazai gyártmányú megszakítóink zárlati vizsgálatait a visszaszökő feszültség jellemzőinek függvényében felvett megszakítási teljesítmény jelleggörbék meghatározására is.

III. Mérések a hazai hálózaton

A hálózat egy adott pontján az ott beépített megszakító sarkain, zárlat megszakításakor a visszaszökő feszültség jellemzőit a hálózat és a megszakító együtt határozzák meg. Ha megszakítóink ideális megszakítók lennének, tehát az áramot nullaátmenetében szakítanák meg, az ívidő alatt az ív vezetőképesége végtelen nagy lenne és megszakítás után az ívcsatorna vezetőképesége azonnal nullává válna, akkor a zárlatok megszakításakor csak a hálózat elemei által meghatározott független visszaszökő feszültséget mérhetnénk.

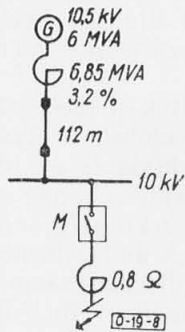
A valóság az, hogy a megszakítók módosítják a független visszaszökő feszültség időbeli lefolyását. A nullaátmenet előtti megszakítás és az ívfeszültség az amplitudótényezőt megnöveli, míg az utánfolyó áramnak a visszaszökő feszültség időbeli lefutására kedvező hatása van. A nullaátmenet előtti megszakítás a rárezgési-feszültséget számottevően módosíthatja a nullaátmenetben történő megszakításhoz képest. Nullaátmenetben történő megszakításkor a mágneses tér energiája 0 és így csak az egyik energiatárolónak, a kondenzátornak



7. ábra. A visszaszökő feszültség összetevői az áram nullaátmenete előtt végzett megszakítás esetén

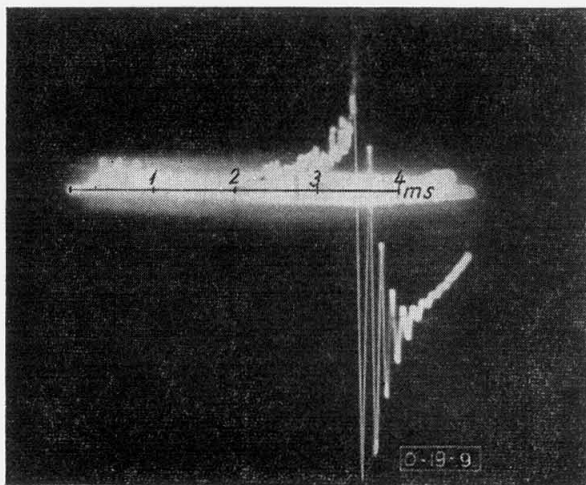
lesz döntő szerepe. A nullaátmenet előtti megszakításban a másik energiátároló, az induktivitás is szerephez jut. Ha i a megszakított áram pillanatértéke, akkor $\frac{1}{2} L i^2 = \frac{1}{2} C u^2$ összefüggés szerint a mágneses tér energiája elektrosztatikus energiává alakul át. Ennek megfelelően a rárezgési feszültségben a negatív cosinuslengés mellett egy negatív sinuslengés is fellép, ami egyrészt egy kezdeti kisebb negatív csúcsot, másrészt az első pozitív csúcsnál nagyobb csúcstényezőt eredményez, mint amekkora nullaátmenetű megszakításkor lenne.

A 7. ábra mutatja erre az esetre a visszazökő feszültséget és összetevőit.



8. ábra

Általános az a vélemény, hogy a légnyomásos megszakítók hajlamosak a csúcstényező megnövelésére, mivel az ívoldó tényezők függetlenek a megszakított áramtól, s így a kis és közepes áramokat a nullaátmenet előtt szakítják meg. Erre példaként egy kis erőműben a 8. ábra szerinti kapcsolásnak megfelelő zárlatról készített 9. ábra oszcillogramja szolgál. A 10 kV-os zárlatot PTK 201 típusú megszakító szüntette meg. Megszakítóképeségének kb 20 %-áig volt igénybevéve. Az oszcillogramon láthatjuk a negatív csúcsot és az első pozitív csúcstényezője 2,2, jóllehet a független visszazökő feszültség csúcstényezője csak $R = 0$ esetben lehet 2. A megszakítók által jelentősen nem befolyásolt csúcstényező statisztikusan 1,3—1,6 között szokott maradni. Valószínű, hogy a PTK 201-es ugyanebben az áramkörben nem tudna megszakítani 200 MVA zárlati teljesítményt. Megfigyelhetjük, hogy az önrezgésszám a 112 méter hosszú kábel ellenére is jelentős, ezt pedig a fojtótekerces hatásának tudhatjuk be.

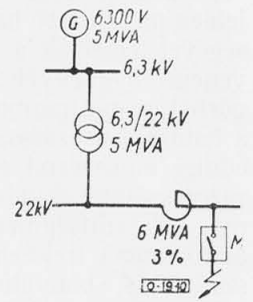


9. ábra. $f_a = 7600$ Hz; $c = 2,2$

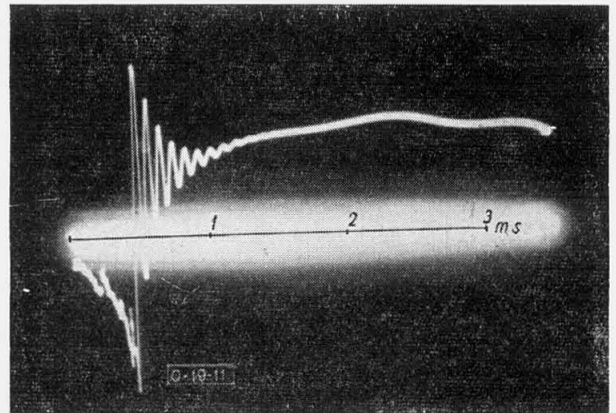
Általánosságban elmondható, hogy a visszazökő feszültség önrezgésszáma legnagyobb transzformátorok és fojtótekercesek után, kábelek pedig mérséklék az önrezgésszámot. Nézzünk ezekre egy-egy példát.

A 10. ábra kis erőművet mutat, transzformátor és fojtótekerces van a zárlati körben, de kábel nincs. Az önrezgésszám a kétszeres üzemi feszültség (20 kV) ellenére lényegesen nagyobb mint az előbb mutatott kis erőműben. A zárlatot PTK 201 típusú megszakító szüntette meg (11. ábra).

A 12. ábra bemutatja a hosszú kábel hatását. A transzformátorok után a hosszú kábel rendkívül alacsony értékre csökkentette az önrezgésszámot és meredekséget (13. ábra).

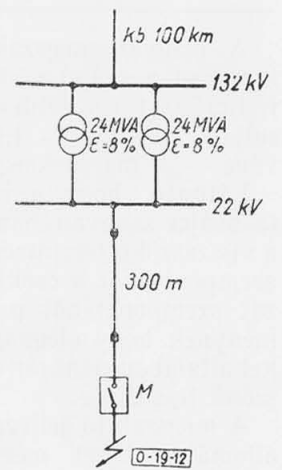


10. ábra

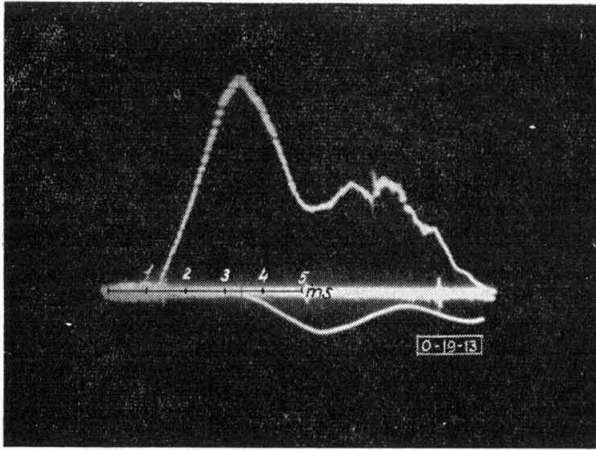


11. ábra. $f_a = 11\ 300$ Hz; $c = 1,5$

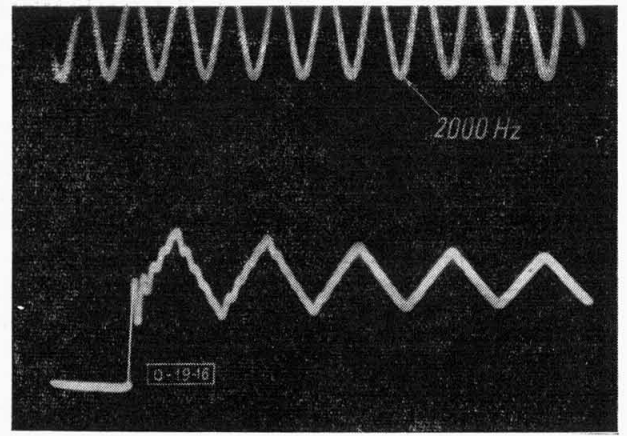
Egy hosszabb 35 kV-os távvezeték és egy 2,5 MVA-es transzformátor együttes hatását mutatják a 14., 15. és 16. oszcillogramok. A hálózat egyvonalas kapcsolási rajza, amelyen a méréseket injektálással végeztük, a 17a, 17b, 17c ábrákon látható. A 14. oszcillogram csak a távvezeték önrezgésszámát adja (17c), a transzformátor 20 kV-os oldalán keletkezett háromfázisú földzárlatnak a 35 kV-os oldali megszakítóval végzett megszakítást (17a) a 15. oszcillogram; a 20 kV-os oldalon végzett megszakítást (17b) a 16. oszcillogram mutatja. A transzformátor hatására az egyenértékű rárezgés 1280 Hz helyett 6000 Hz, ami a frekvenciának és a meredekségnek jelentős növekedését bizonyítja.



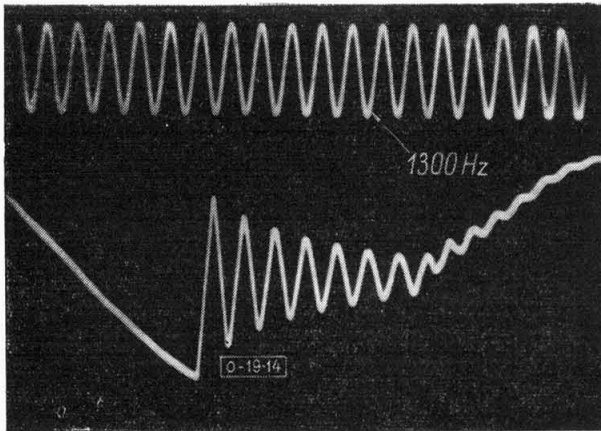
12. ábra



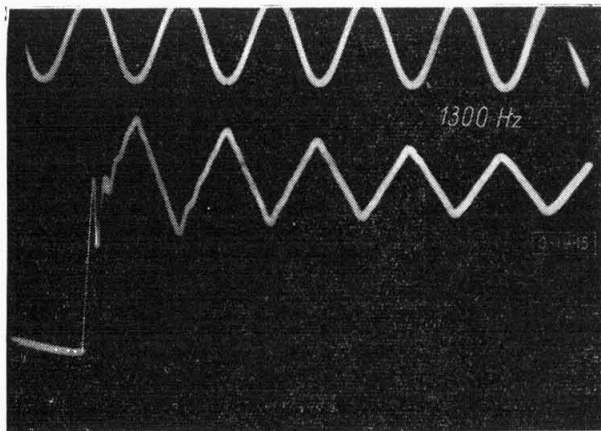
13. ábra. $f_a = 230 \text{ Hz}$; $c = 1,3$



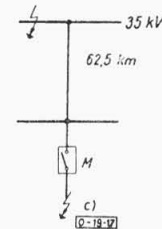
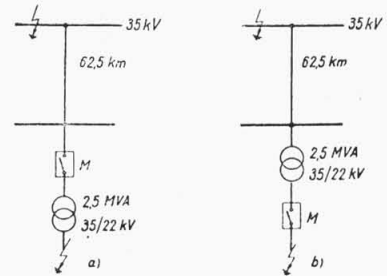
16. ábra. $f_1 = 1060 \text{ Hz}$; $f_2 = 10800 \text{ Hz}$; $f_a = 3800 \text{ Hz}$; $c = 1,43$



14. ábra. $f_a = 1280 \text{ Hz}$; $c = 1,8$



15. ábra. $f_1 = 1280 \text{ Hz}$; $f_2 = 11800 \text{ Hz}$; $f_a = 5000 \text{ Hz}$; $c = 1,35$



17. ábra

IRODALOM

1. „Nagyfeszültségű megszakítók”. MNOSZ 1589T
2. Fourmarier: „Méthode expérimentale nouvelle de détermination de la tension de rétablissement, CIGRE, 1950.
3. Trencham—Wilkinson: Restriking voltage and its import in circuitbreaker operation. JIEE, 1937.
4. Sing-Yui-King: Determination of restriking transients on power networks by an halfwave injection method. PIEEE II. 1949.
5. Gert: „Zjistování zotavených napětí v rozvodných sítích”. Elektrotechnický Obzor, 1952.
6. Fourmarier—Brown: „Die Bestimmung des Verlaufs der Wiederkehrenden Spannung nach Kurzschlussabschaltungen nach einer Hochfrequenz-Resonanz-Methode”. B. B. M. 1937.

A VILLENKI zuglói hálózati zárlati próbaállomása

VAJTA MIKLÓS
a műszaki tudományok doktora

G21.317.014.3:061.6

A zárlati próbák céljára használatos forgógépes és hálózati próbaállomások elvi összehasonlítása után a szerző ismerteti a VILLENKI építő zuglói hálózati zárlati próbaállomásának elrendezését, a vizsgáló és a megfigyelő épület berendezését, végül a próbaállomásban elvégezhető próbák teljesítményhatárait.

A villamosenergia igények világátlagban kb. 10 évenkénti megkétszereződése állandóan újabb és újabb erőművek építését vonja maga után. A villamosenergia fejlesztés önköltségének csökkentése érdekében a gépegységeknek és az erőműveknek nemcsak határfokát, hanem teljesítőképességét is egyre növelik. Ennek következtében az egyes erőművekből ellátott hálózatokban a zárlati teljesítmények is egyre növekednek. Az elmúlt két évtizedben a fejlettebb ipari országokban részben az üzembiztonság, részben a gazdaságosság növelésére egyre több erőművet kapcsolnak párhuzamosan, és így egyre nagyobb területre, gyakran egész országra kiterjedő energiarendszerek alakultak ki. E rendszerekben együttműködő egyre nagyobb erőműteljesítmény az előbb említett mellett másik tényezőként járul hozzá a zárlati teljesítmények további növekedéséhez. Mindennek következtében az energiarendszerek egyik legfontosabb problémájává fejlődött a nagy zárlati igénybevételeknek ellenálló berendezések és berendezési tárgyak szerkesztése, gyártása és üzemben tartása. Még ennél is nagyobb problémát jelent a növekvő zárlati teljesítmények egyre gyorsabb idő alatt való megszakításának és a gyors visszacsatlásnak követelménye, amelyet az energiaellátás biztonsági színvonalának fejlődésével kapcsolatos követelmények hoztak magukkal.

Amíg az erősáramú gyártó ipar abban a helyzetben van, hogy a villamos forgógépeket, transzformátorokat, kábeleket, vezetékeket és készülékeket állandó terhelésre elég megnyugtatóan tudja számításokkal méretezni, addig a zárlati igénybevételeknél nem ez a helyzet. Egyedül a zárlati áram hőhatása az, amely kielégítő módon számítható. A zárlati áram dinamikus hatásai, valamint a dinamikus és termikus hatások együttes jelentkezéséből származó igénybevételek számítása annyi bizonytalanságot tartalmaz, hogy a gépek és készülékek zárlati szilárdsága megnyugtatóan csakis közvetlen zárlati próbákkal igazolható. Még fokozottabban áll ez a megállapítás a zárlati áramok megszakítására szolgáló készülékekre: a megszakítókra és olvadó biztosítókra. A megszakítás folyamatát olyan sokféle körülmény befolyásolja, hogy az ilyen készülékek kifejlesztése, a kifejlesztett típusok viselkedésének, megbízhatóságának ellenőrzése csakis nagyteljesítményű zárlati próba-berendezésekben eszközölhető.

Ez az oka annak, hogy ilyen próba-berendezéseket a világon mindenütt elsősorban azok a gyárak létesítettek, amelyek megszakító készülékek gyár-

tásával foglalkoznak. E próbaállomások áramforrása általában egy vagy több különleges zárlati generátor. A második világháború után azonban az energia rendszerek és ezzel a zárlati teljesítmények növekedése olyan mértékben meggyorsult, hogy még a legnagyobb áldozatokkal létesített nagyteljesítményű forgógépes állomások sem tudtak ezzel lépést tartani. Ezért az utóbbi időben egyes országok a nagyteljesítményű közhasznú hálózat megfelelő, nagy zárlati teljesítményű pontján létesítettek és létesítenek olyan próba-berendezést, amely az ugyanolyan zárlati teljesítményű forgógépes állomás költségénél lényegesen kisebb költséggel lehetővé teszi a megszakítók és egyéb készülékek, transzformátorok, áramváltók stb. közvetlen zárlati próbáit.

A Szovjetunióban például évtizedek óta próbálnak megszakítókat hálózati zárlati próbákkal; régebben csak rögtönzött próbahelyeken, ma már azonban egyszerre több helyen is építés alatt áll nagyméretű 110—220 kV, sőt 400 kV-os hálózati zárlati próbaállomás. Európa egyik legtekintélyesebb ilyen hálózati próbaállomása az Electricité de France Fontenay-i 5000 MVA-es, 220 kV-os állomása, amelyet nem csak francia, hanem sok más ország gyárjai és vevői keresnek fel hiteles zárlati próbák lefolytatására. Jellemző az ilyen próbák megbízhatóságára és jelentőségére, hogy például a svájci BBC, amikor a második világháború után elsőnek jelent meg a piacon a korszerű elemekből felépített nyomólégmegszakítóval, egy 220 kV-os típus 6000 MVA-es zárlati próbáját — amelyet akkor európai próbaállomáson nem lehetett elvégezni — a Grand Coulee vízerőműnél, 220 kV-os hálózaton bonyolította le.

Új megszakító típusok kifejlesztése igen sok zárlati próbával jár. A hálózati üzemben viszont nagy zárlatok túl gyakran nem engedhetők meg; gyakran csak olyanok engedhetők meg, amelyek a hálózat zárlati teljesítményének 30—50%-át nem haladják meg és csak rövid ideig (néhány periódusig) tartanak. Ezért a nagy készülékgyárak kénytelenek a fejlesztési próbákat továbbra is saját próba-berendezésükben elvégezni. A legnagyobb feszültségű és megszakítóképeségű készülékek próbájához elegendő nagy próba-berendezéssel azonban a világ egyetlen vállalata sem rendelkezik, és ezért ezeket a készülékeket vagy ún. szintetikus próbával, vagy — ha a megszakító kisebb feszültségű azonos egységek sorbakapcsolásával készül, mint például a legtöbb korszerű nyomólégmegszakító — ún. egységpróbával próbálják. Míg ez utóbbi próbát az IEC és számos ország szabványa elismeri, addig a szintetikus próbák sokféle változata közül eddig még egy sem bizonyult olyan meggyőzőnek, hogy szabványerőre emelkedhetett volna, bár e próbáknak fejlesztési célra kétségtelenül sok előnye van.

A hálózati próbaállomások tehát csak kis és közepes teljesítményű megszakítók fejlesztésére használhatók. Egészen nagy teljesítményű megszakítók próbáját csak ritkán lehet elvégezni, nem fejlesztési próbaként, hanem a szabványban előírt típuspróbaként (új típus bevezetésekor és 3 évenként).

Van azonban a hálózati próbaállomásnak két olyan — újabban egyre nagyobb érdeklődésre számot tartó — próbalehetősége, amelyet a generátoros próbaállomáson egyáltalán nem lehet elvégezni. Az egyik a nagy transzformátorok zárlati próbája, a másik a megszakítók vizsgálata hosszú, üresen járó távvezeték kikapcsolásakor. Mivel ez utóbbi próbát a végleges üzemi helyén felállított megszakítóval is általában — nagyobb kockázat nélkül — el lehet végezni, a transzformátor próbának van nagyobb jelentősége.

A transzformátor szabványok a világon mindenütt előírják, hogy a transzformátoroknak végtelen hálózatról táplálva kapcsolzárataukat a rövidzárási feszültségtől függően kb. 2—6 másodpercig károsodás nélkül el kell bírniok. Nem intézkednek azonban ennek próbájáról. Nyilván azért, mert a tőkés országok legnagyobb gyárainak sincs akkora zárlati próbaberendezése, amellyel ez a próba lefolytatható lenne.

A generátoros zárlati próbaállomásokban ugyanis a zárlati áramkör energiafogyasztását egyedül a zárlati generátorok forgórésében tárolt kinetikai energia táplálja. Ez viszonylag nem nagy, ami onnan is kitűnik, hogy megszakítók vizsgálata alkalmával a legnagyobb zárlati teljesítményeken a generátorok fordulatszáma 0,1—0,2 másodpercig tartó zárlat során 10—20%-kal is csökken-

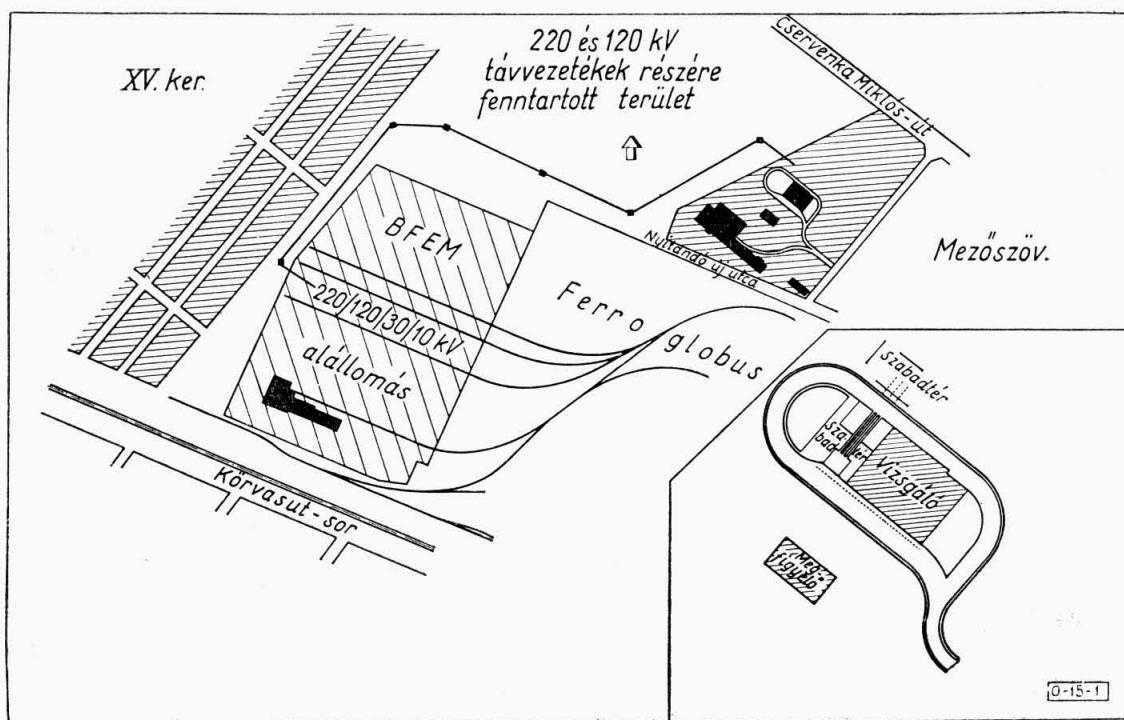
het. Például 2500 MVA-es próba alkalmával, $\cos \varphi = 0,1$ és 0,1 s megszakítási idő esetén kereken 7 kWó az az energia, amely ezt a fordulatszám-csökkenést előidézi.

Ha azonban például egy 24 MVA-es, $\varepsilon = 8\%$ rövidzárási feszültségű transzformátort akarunk 5 s-os zárlati próbának alávetni, és ismét felteszünk, hogy az egész zárlati áramkör $\cos \varphi$ -je 0,1, akkor ez a próba már kereken 42 kWó-t fogyaszt. Ha a 7 kWó-s fenti megszakító próba 10% fordulatszámcsökkenést okozott, akkor a generátorban a próba előtt tárolt kinetikai energia $7 : (1 - 0,9^2) = 37$ kWó volt, ami kisebb 45 kWó-nál. A generátorral tehát nem lehet e transzformátor zárlati próbáját elvégezni, a gép a próba közben megáll.

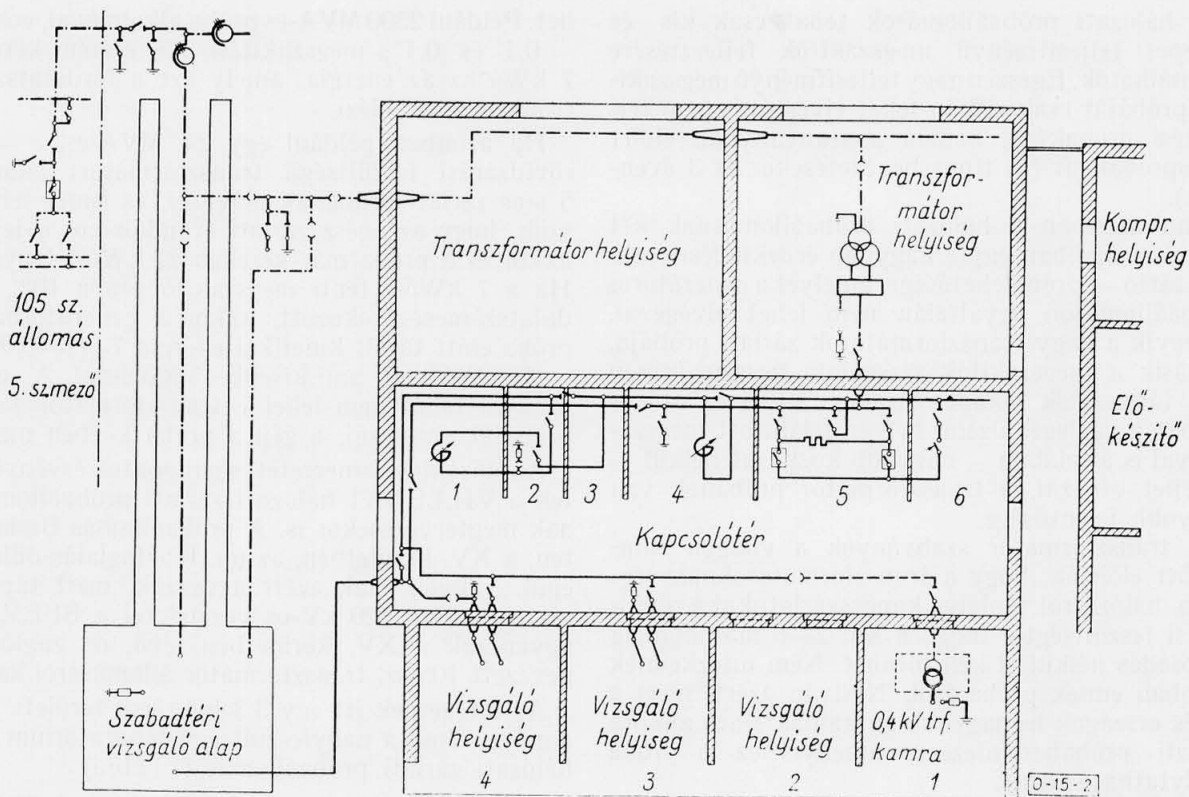
Az előzőekben ismertetett szempontok érvényesültek a VILLENKI hálózati zárlati próbaállomásának megtervezésekor is. A próbaállomás Budapesten, a XV. kerületben, az ún. Honfoglalás-dűlőben épül. „Zuglói”-nak azért nevezzük, mert táplálását egy rövid 120 kV-os vezetékkel a BFEM-nek ugyancsak a XV. kerületben levő, de zuglónak nevezett 105 sz. transzformátor állomásáról kapja.

Az intézetnek itt egy 3,3 hektáros területe van, amelyen épül a nagyfeszültségű laboratórium és a hálózati zárlati próbaállomás (1. ábra).

A hálózati zárlati próbaállomás két épületből: a megfigyelő- és a vizsgáló-épületből, továbbá a 120 kV-os szabadtéri kapcsoló berendezésből áll. Ez utóbbiban van a 120 kV-os tápvezeték csatlakozó mezeje két szakaszolóval, áram- és feszültségváltóval, továbbá két leágazás a szabadtéri próbaalaphoz és erre merőlegesen két leágazás a zárttéri 120 kV-os transzformátorhoz. Az egymást



1. ábra. A VILLENKI zuglói laboratóriumainak helyszínrajza



2. ábra. Az első kiépítés egyvonalas kapcsolási rajza

keresztező leágazások között különböző összeköttetések létesíthetők.

A 2. ábrán látjuk az első kiépítés egyvonalas kapcsolási rajzát, a vizsgáló-épület alaprajzának megfelelő tényleges elrendezést követő ábrázolásban.

A vizsgáló-épületet úgy terveztük meg, hogy a kezdeti szerényebb próbaberendezésen kívül még bizonyos fokú bővítés befogadására is alkalmas legyen (3. ábra). Így például az áramforrásként szolgáló 120 kV-os transzformátor kamrája mellett még egy ugyanilyen egység lesz elhelyezhető, amely nemcsak tartalékként, vagy az elsővel párhuzamos üzemben a zárlati teljesítmény növelésére szolgálhat, hanem a két transzformátor primer és szekunder tekercsrendszerének, a táphálózatnak és a főtötekercseknek különféle kombinatív kapcsolásával a próbalehetőségek skálája is megnövelhető. E két transzformátor kamra akkora, hogy bennük csillagponti szabályozó is elhelyezhető a kívánt feszültségérték pontos szabályozására.

A 120 kV-os transzformátor szekunder tekercsrendszere különféle kapcsolásokban megszakító és biztosító próbák céljára a következő feszültségeket szolgáltatja:

3,5—6—10,5—12—14—18,2—21—27,8—36,4 kV.

Transzformátor próbák céljára ezen felül még 24,3—30,2—42,4—48,4 kV is előállítható. Erre azért van szükség, mert a KGST Gépipari Állandó Bizottsága 10. Szekciója által a transzformátorok zárlati próbájára kidolgozott előírás-tervezet szerint a zárlati próbát olyan megnövelt feszültség-

gel kell táplálni, hogy a zárlat tartama alatt a hálózaton jelentkező feszültségesés kiküszöbölődjék. 120 kV-os transzformátoroknál Dr. Ratkovszky akadémikus javaslatára ezt úgy fogjuk megoldani, hogy a vizsgálandó transzformátor felbontott csillagpontja és a föld közé beiktatjuk a mi zárlati transzformátorunk szekunder tekercsrendszerét. Ezzel a módszerrel próbaállomásunk alkalmas lesz 24 MVA és ennél kisebb teljesítményű transzformátoroknak a szabványokban előírt „végtelen hálózati” táplálás feltételeivel azonos zárlati próbára.

A sokféle feszültség előállítása bonyolult tekercsrendszert, sok átvezetőt és sokféle külső átkötési lehetőséget von maga után. Részben ezek külső behatások elleni védelmére, részben az átkötéseket végző dolgozók munkafeltételeinek javítása miatt volt szükség e transzformátorok belsőtéri elhelyezésére.

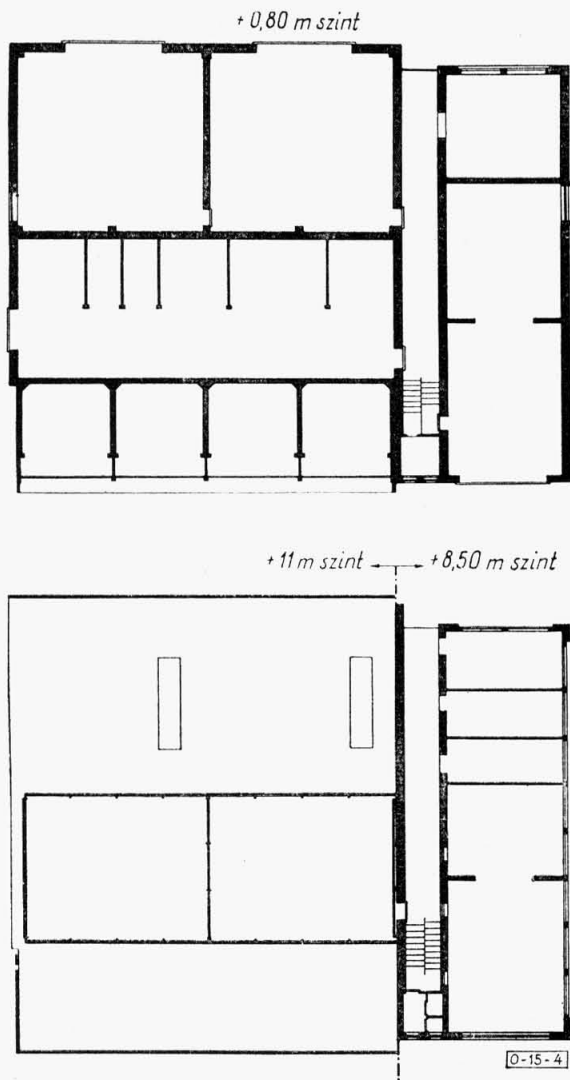
A legnagyobb zárlati teljesítmény, amelyre egy transzformátorral megszakítókat és biztosítókat próbálni kívánunk:

3,5—6 kV-on 300 MVA,

10—20—35 kV-on 600 MVA.

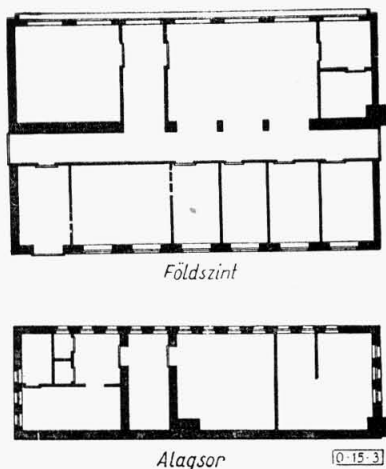
A zárlati transzformátorokat a Klement Gottwald gyárnál rendeltük meg, szerkesztésük folyamatban van. Bár a gyár még kötelezően nem nyilatkozott a megengedhető legnagyobb zárlati igénybevételekről, de szóban kilátásba helyezte a 600 MVA-es határ esetleges felemelésének lehetőségét.

A 120 kV-os transzformátor után PTK kapcsolókból és vasellenállásokból álló védőmegszakító-



3. ábra. A vizsgálóépület alaprajza

kombináció, zárlati rákapcsolókészülék, majd egy kisebb és egy nagyobb impedanciát képviselő, sokmegcsapolású, háromfázisú fojtótekerecs következik. Ezekkel a zárlati áram igen tág határok között,



4. ábra. A megfigyelőépület alaprajza

kb. 10—20%-os lépésekkel beállítható a kívánt értékre. A fojtótekercek után a próbakamrák következnek. Első kiépítésben három próbakamránk és egy szabadtéri próbahelyünk lesz; ezenkívül az épületben van még egy tartalék próbakamra.

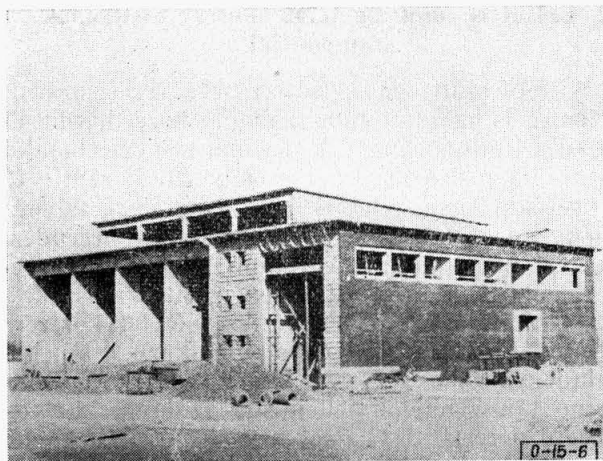
Az első próbakamrában egy 10 kV táplálású, kisfeszültséget szolgáltató zárlati transzformátor lesz, amelyhez rövid sínrel csatlakozik majd a vizsgálendő készülék. Ez a berendezés elgondolásunk szerint az alábbi zárlati próbákra lesz alkalmas:

Egy- vagy három-fázisú feszültség (V)	Legnagyobb zárlati áram (kA _{eff})
100	100
173	100
200	100
300	100
346	100
400	100
520	90
600	80
692	70
1040	50

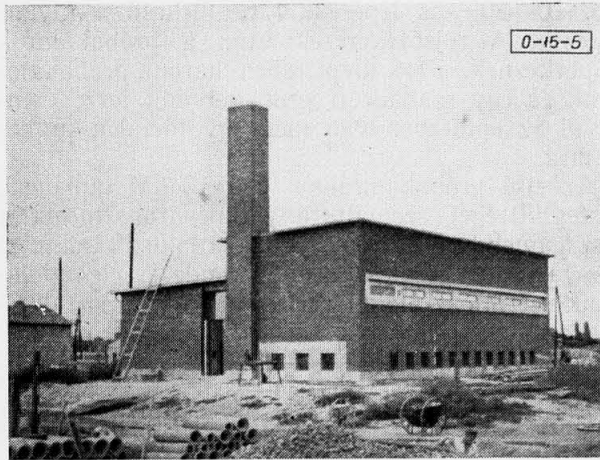
A második próbakamra tartalék, a harmadik és negyedik kamrában lehet 3—35 kV-os megszakítókat és biztosítókat próbálni. A szabadtéri próbahely transzformátorok és esetleg 60—120 kV-os megszakítók közvetlen egyszarkú hálózati próbáira alkalmas, bár a beruházási program szerint ez utóbbi nem képezi a próbaállomás feladatát.

A visszaszökő feszültség meredekségének változtatására szolgáló kondenzátorokat a kapcsolóhelyiség fölötti szinten helyezzük el.

A vizsgálóépületben van még egy 1,5 t-s, kézi futómecskával ellátott helyiség a vizsgálendő készülékek előkészítésére és mechanikai próbáira, továbbá egy helyiség állandó áramterhelési próbákra. Az 5—20 att légszolgáltató berendezés, az akkumulátor és a segédüzemi kapcsolóberendezés is ebben az épületben van elhelyezve.



5. ábra. A vizsgálóépület képe 1959/60. telén



6. ábra. A megfigyelőépület képe 1959/60. telén

A próbakamráktól 25 m távolságra fekszik a megfigyelőépület (4. ábra). Ennek biztonsági üveggel ellátott, keskeny, lőrészerű ablakai mögött van a próbák előkészítéséhez és lebonyolításához szükséges kapcsolótábla és vezénylőasztal a szükséges műszerekkel és a program kapcsolóval. Itt vannak a hurkos és katódsugár oszcillográfok, a sötétkamra, végül egy megfigyelő helyiség a vizsgált készüléket gyártó vállalat szakemberei és egyéb érdekelt külső személyek részére. Ennek az épületnek alagsorában van a központi fűtés kazánja a két épület számára, öltöző és mosdó. Az épület hátsó oldalán van néhány szerény irodahelyiség.

Az 5. és 6. ábrán a két épület képét látjuk. A megfigyelőépület már teljesen kész, a vizsgálóépület építése még folyik.

Végül meg kell említenem, hogy ebben a próbaállomásban — az oszcillográfoktól és néhány jelentéktelen egyéb műszertől eltekintve — valamennyi különleges berendezési tárgy, a védőmegszakítók, rákapcsolók, különleges nagyszilárdságú sínek, szigetelők, átvezetők, szerelvények, a szekunder vezénylő és jelzőberendezés, mind erre a célra, intézetünk által közvetlenül vagy irányítása mellett kifejlesztett hazai gyártmány lesz. Külön köszönetet kell mondanom a Klement Gottwald Villamossági Gyár vezetőségének azért a megértő segítő készségért, amellyel a zárlati transzformátorok és fojtótekercek kifejlesztése, megszerkesztése és legyártása nehéz feladatát és a VILLENKI által kifejlesztett különleges készülékek egész sora elkészítésének semmiesetre sem kellemes feladatát — kérésünkre — magára vállalta. A berendezés kiviteli tervei a VERTESZ, az épületek az IPARTERV tervezőinek kiváló — a különleges feladat nehézségeit eredményesen leküzdő — lelkes munkáját dicsérik. Végül ezuton is megköszönöm dr. Ratkovszky akadémikusnak segítőkészségét és értékes tanácsait amelyekkel igen sokat tett e próbaállomás megvalósulása és korszerűsége érdekében.

Reméljük, hogy e berendezés üzembehelyezése után komoly segítséget fog nyújtani mind a villamosenergia, mind pedig az erőáramú gyártó ipar műszaki fejlesztése számára.

Újtípusú belsőtéri támszigetelők

PAULUSZ MIHÁLY
tudományos munkatárs

621.315.623.4

Kis helyigényű belsőtéri támszigetelők műszaki és gazdasági kérdései. Az új TBS 10, TBS 20, és TBS 35 típusú támszigetelők. Tokozott berendezésbe felhasználható új típusú TTB 10 jelű támszigetelő. Átívelési távolságok módosítása. Mechanikai és villamos vizsgálatok a kifejlesztett támszigetelőkön. A támszigetelők átívelő feszültségét befolyásoló tényezők.

I. Belsőtéri támszigetelők korszerűsítésének szempontjai

Középfeszültségű belsőtéri berendezéseinkben a jelenleg is használt támszigetelők közel három évtizedes típusok, amelyek ma már sem mechanikai, sem villamos szilárdsági szempontból, sem pedig méretükkel nem felelnek meg a korszerű követelményeknek. Mivel a középfeszültségű berendezésekben nagy mennyiségű támszigetelő van, ezért e szigetelők korszerűsítéséhez jelentős műszaki és gazdasági érdekek fűződnek. A szigetelők korszerűsítésére számos megoldás kínálkozik, amelyek mindegyike más más problémát vet fel. A szóbanforgó támszigetelők jellemzője az üreges héjszerkezetű porcelántest, amelynek alsó és felső részére fém sapka csatlakozik. Az üreges kiképzésnek több előnye van: egyszerű és olcsó gyártás, kis súly,

kedvező szilárdsági viszonyok. A sapkás szerelvények felerősítése is egyszerű. Ennek a szigetelőtípusnak hátrányaként említhető meg nagy beépítési magasságuk, emiatt a súly és a hajlítási igénybevétel feleslegesen nagy és a sapkák csökkentik a villamos lököszilárdságot. Mintegy 10 év óta mind külföldön, mind belföldön számos vizsgálatot végeztek arra, hogyan lehet a támszigetelők fenti hátrányait új szerkezetekkel kiküszöbölni.

A világszerte folyamatban levő korszerűsítés általános szempontjain túlmenően, mint különleges hazai probléma jelentkezett a 35 kV-os szigetelők kifejlesztése. Az eredetileg 30 kV névleges feszültségre szerkesztett, jelenlegi szabványos szigetelők a nálunk a felszabadulás után szabványosított 35 kV-os berendezésekben nem megfelelőek, éppen azokban a hálózatokban csökkentik a szigetelési biztonságot, amelyek mint gerinchálózatok a legfontosabb középfeszültségű fogyasztói területeket és ipari nagyfogyasztókat táplálják.

A kisebb beépítési magasság elérésének egyik nem kívánatos útja a szigetelő átívelési távolságának (az ún. zsinórtávolságnak) csökkentése lenne. Ez az út nem járható, mivel — amint a továbbiak-

ból kitűnik — az átívelési távolság a meglévő típusoknál sem megfelelő. Ennél sokkal célszerűbb a támszigetelőt oly módon megszerkeszteni, hogy a szigetelési távolságok némi növelése mellett beépítési magasságuk csökkenjen.

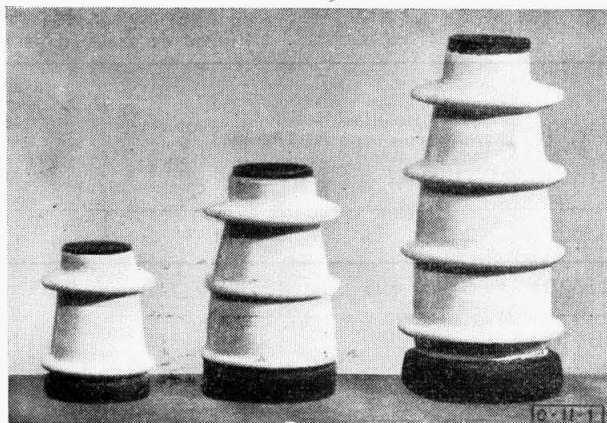
A külföldi irodalomban ismertett megoldások szerint a belsőtéri támszigetelőket újabban kis helyigényűre és kis súlyúra gyártják. Ezt az előírt átívelési távolság megtartása mellett, a támszigetelő egyik, vagy mindkét oldalának üreges kiképzésével oldják meg. Ebbe azután olyan süllyesztett fémszerelvényt helyeznek el, amely tárcsával zárja le a szigetelőt. Egyes támszigetelőknél a súly csökkentésére még ezt a tárcsát is elhagyják. A külföldi süllyesztett szerelvényvel készülő szigetelők egy része a régi szabványos szigetelőknél megfelelő körvonalú, másik része ettől eltérő formájú. Újabban a villamosiparban jelentős helyet foglalnak el a porcelán támszigetelőknél kívül a különböző műgyantákból készült támszigetelők is. Ezekre azonban most nem térünk ki, bár ezekkel lehet a méreteket és súlyokat a legnagyobb mértékben csökkenteni, s ezért nem kétséges, hogy műanyagiparunk fejlődésének mértékében e szigetelőtípusokra nagy jövő vár.

A magyar villamosenergiaipar részéről felmerült igények kielégítésére a VILLENKI is kidolgozott olyan támszigetelőket, amelyek megfelelnek a korszerű követelményeknek. A következőkben részletesen ismertetjük az intézet által kifejlesztett új, belsőtéri támszigetelő sorozat kísérleti példányait, és a rajtuk végzett mechanikai és villamos vizsgálatok eredményeit, majd ezek alapján összehasonlítást teszünk az új és a szabványos szigetelők között. Az új támszigetelőkről már most előljáróban a következőket állapíthatjuk meg: 1. kis helyigényűek, de ugyanakkor nagy a villamos és a mechanikai szilárdságuk; 2. átütési távolságuk a korszerű irányelvekhez igazodik; 3. kúszó útjuk nagyobb a szabványos szigetelők kúszó útjánál.

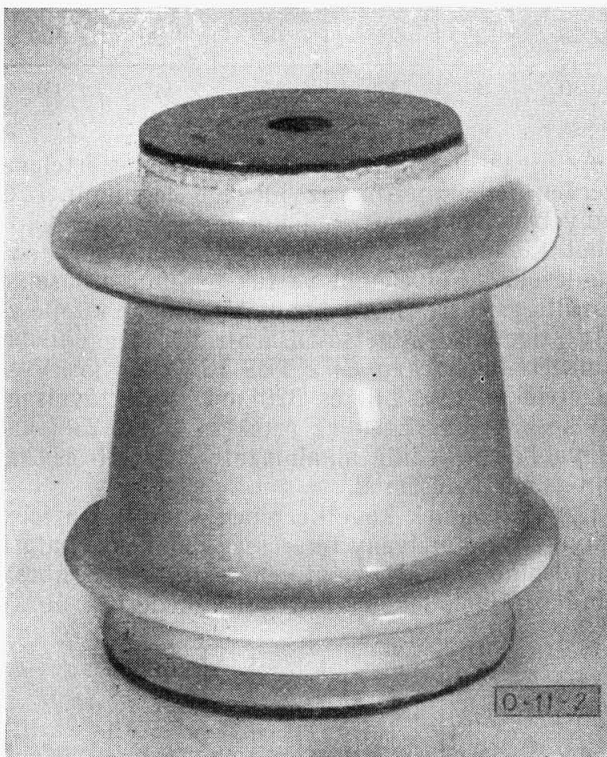
II. A VILLENKI által kifejlesztett új belsőtéri támszigetelők

Az első lépésként kidolgozott belsőtéri támszigetelők 10, 20 és 35 kV feszültségűek, mechanikai szilárdsági szempontból pedig *B* szilárdsági osztályba sorolhatók, vagyis legkisebb törőerejük 750 kg. Az 1. ábrán látjuk a TBS 10, TBS 20 és TBS 35 jelű szigetelőkről készült fényképfelvételt.

Az új 10 kV-os támszigetelők kétféle kivitelben készültek. A TBS 10-es típuson kívül a tokozott berendezések számára egy alul és felül süllyesztett fémszerelvényvel ellátott, fémtárcsával lezárt TTB 10 jelű szigetelőt készítettünk. A 2. ábra ezt a szigetelőt tünteti fel. Itt elsőrendű követelmény az volt, hogy a legkisebb beépítési magasság esetén is a legnagyobb átívelési távolságot érjük el. Ezt egyszerűen két olyan borda alkalmazásával értük el, amelyek az alsó és felső fémszerelvények közelében helyezkednek el. Ennek a szigetelőnek nagy előnye, hogy magassága 58%-a, a súlya pedig 56%-a a szabványos TB 10 szigetelőnek, ugyan-



1. ábra. TBS 10, TBS 20 és TBS 35 újtípusú szigetelők



2. ábra. TTB 10 újtípusú szigetelő

akkor mechanikai és villamos szilárdsága megegyezik a szabványos szigetelőével. Összehasonlítás céljából az 1. táblázatban feltüntettük az új szigetelők és a szabványos szigetelők jellemző értékeit.

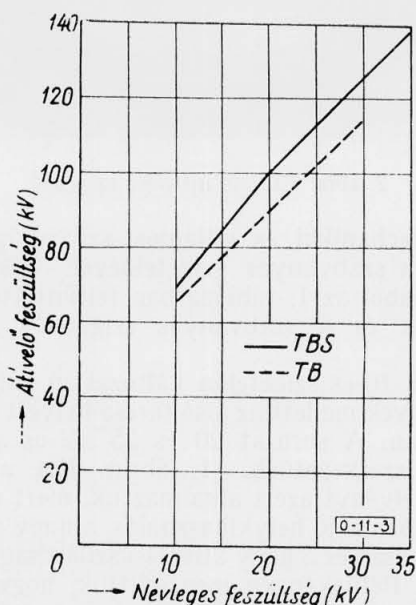
A TBS 10-es szigetelőn változatlan süllyesztett szerelvények mellett az alsó tárcsa helyett alacsony sapka van. A sorozat 20 és 35 kV-os szigetelői hasonló szerkezetűek. (1. ábra). Ezt a kombinált szerelvényt azért alkalmaztuk, mert ez elégti ki legjobban a jó helykihasználás, a nagy mechanikai szilárdság és a nagy átívelési szilárdság követelményeit. Példaképpen megemlítjük, hogy az alul sapkás szerelvényvel ellátott támszigetelők törőereje kb. 40%-kal nagyobb, mint az alul is tárcsás szerelvényvel készült szigetelőé.

Újtípusú és szabványos támszigetelők jellemző értékei

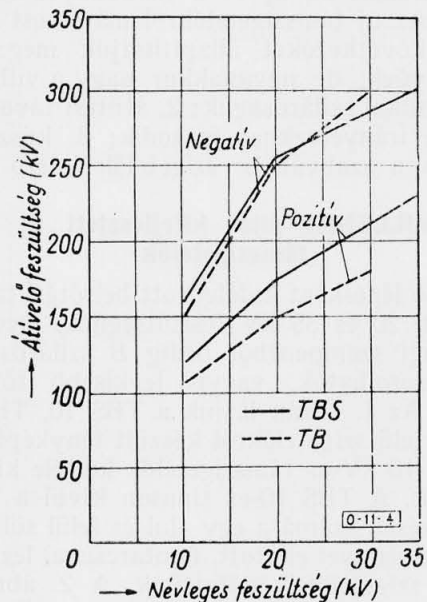
Szigetelő jele	Névleges feszültség (kV)	Beépítési magasság (mm)	Zsinórtávolság (mm)	50 Hz-es átívelő feszültség (kV)	50%-os átívelő lökőfeszültség		Törőerő (átlag) (kg)	Összsúly (kg)	Villogási küszöb feszültség (kV)	Olaj alatti átütő feszültség (kV)	Jósági mutató $\left(\frac{4}{3} \cdot \frac{8}{9}\right)$
					poz. (kV _{cs})	neg.					
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
TTB 10	10	125	125	65	105	165	840	2,5	64	160	336
TBS 10	10	150	130	69	120	160	1080	3,0	59	180	312
TBS 20	20	240	210	100	175	256	1330	7,4	82	220	157
TBS 35	35	355	320	138	230	300	1325	14,5	70	210	82
TB 10	10	215	125	65	107	150	1100	4,5	52	—	142
TB 20	20	285	180	90	150	252	1080	6,5	72	—	105
TB 30	30	370	260	115	180	300	1100	9,6	70	—	81

Az újtípusú támszigetelők tervezésekor értelem-szerűen felhasználtuk az idevágó legújabb IEC irányelvekben foglalt, a lökőszilárdság szempontjából kívánatos átütési távolságokra vonatkozó ajánlásokat. Figyelembe vettük továbbá a hasonló feszültségszintre legújabban külföldön kifejlesztett szigetelők zsinórtávolságait is. Meggondolásaink eredményeképpen a TBS 10, 20 és 35 kV-os szigetelőket 130, 210 és 320 mm zsinórtávolsággal készítettük. Ezek az értékek 4, 17, 23%-kal nagyobbak az eddig alkalmazott 125, 180 és 260 mm zsinórtávolságnál.

Egyrészt ennek következtében, másrészt a felső süllyesztett szerelvény térorösség csökkentő hatása miatt mind az 50 Hz-es átívelő feszültség (3. ábra), mind az átívelő lökőfeszültség növekedett (4. ábra).

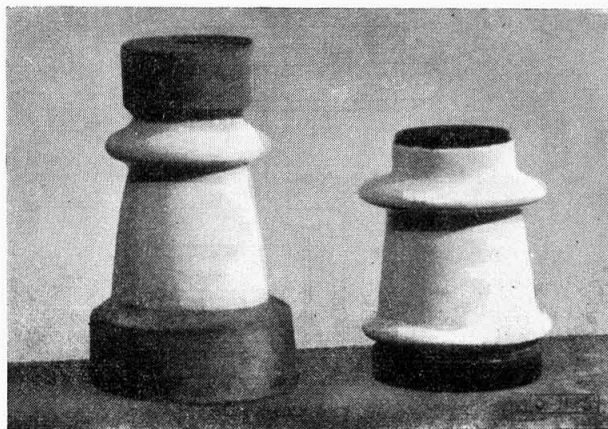


3. ábra. Újtípusú TBS és szabványos TB jelű támszigetelők 50 Hz-es átívelő feszültsége

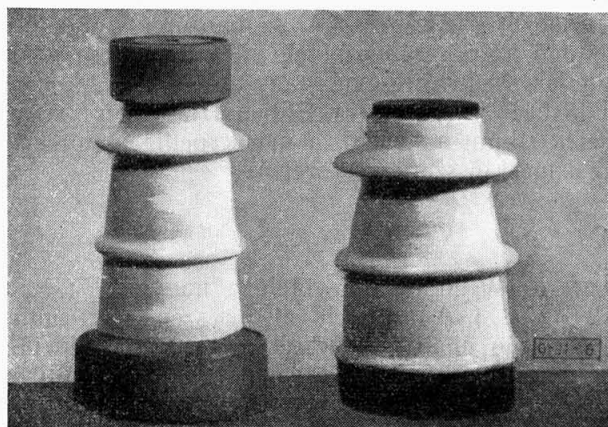


4. ábra. Újtípusú TBS és szabványos TB jelű támszigetelők 50%-os átívelő lökőfeszültsége

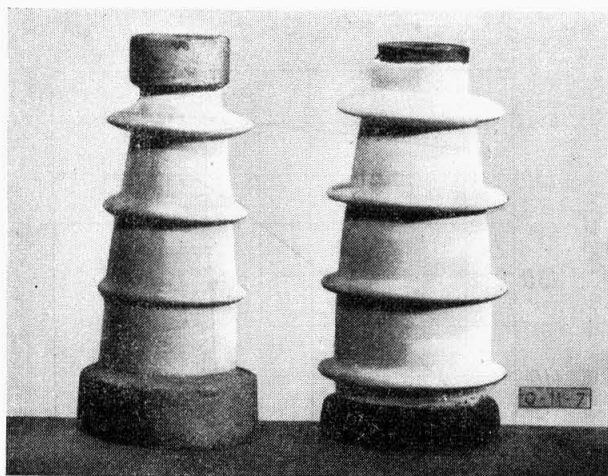
Érdekes összehasonlítást tenni helykihasználás szempontjából is a két szigetelőtípus között. E célból feltüntettük egymás mellett az 5. ábrán a TB 10 és az újtípusú TBS 10, a 6. ábrán a TB 20 és TBS 20,



5. ábra. TB 10 és új típusú TBS 10 szigetelő



6. ábra. TB 20 és új típusú TBS 20 szigetelő



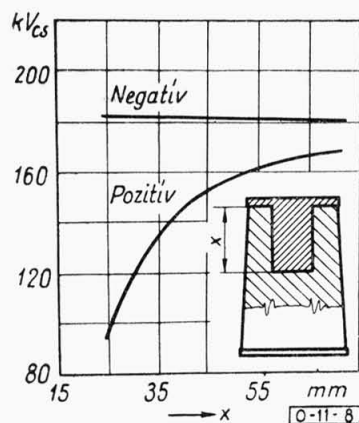
7. ábra. TB 30 és új típusú TBS 35 szigetelő

a 7. ábrán pedig a TB 30 és TBS 35 jelű szigetelőket. Az összehasonlításból jól kitűnik a süllyesztett fémszerelvény alkalmazásának előnye. A 35 kV-on számottevő méretcsökkenés nincs (csak 15 mm), viszont ott a legnagyobb — a névleges feszültség növelésének megfelelően — a villamos szilárdság növelése.

III. Az új típusú támszigetelők átívelő feszültsége

A következőkben az új típusú támszigetelők villamos szilárdsági kérdéseire térünk még ki. Ezt egyrészt azért érdemes részletesebben megvizsgálni, hogy a szigetelők további fejlesztésekor ismerjük az átívelő feszültséget befolyásoló tényezőket, másrészt hogy tárgyilagos véleményt tudjunk kialakítani a támszigetelők átívelő lökőfeszültségének polaritásfüggése, illetve függetlensége kérdésében. Egyes új típusú támszigetelők kifejlesztése alkalmával ugyanis felmerült olyan kívánság is, hogy a szigetelő átívelő lökőfeszültsége mindkét polaritáson azonos legyen. Amint azt a vizsgálatok is kimutatták, ez a szigetelő egy beépítési módra viszonylag könnyen megvalósítható, de különböző elhelyezések esetén a térerősség módosulása miatt változik az átívelő lökőfeszültsége és vele szemben számos egyéb kifogás támasztható, amelyek miatt nem érdemes ilyen szigetelőket külön gyártani.

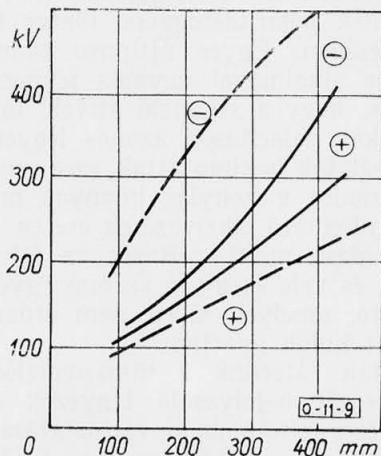
Ezek után rátérünk a támszigetelők átívelő lökőfeszültségét befolyásoló tényezők ismertetésére. Először a felső fémmag változtatásának hatását említjük meg. Példaképpen a 8. ábrán egy 10 kV-os támszigetelő 50%-os átívelő lökőfeszültségének változását tüntetjük fel a felső fémmag előrenyúlásának függvényében akkor, ha a szigetelő magassága állandó. A felső fémmag előrenyújtásával a támszigetelő 50%-os átívelő lökőfeszültsége pozitív polaritáson jelentősen nő, negatívon pedig kissé csökken.



8. ábra. 10 kV-os támszigetelő 50%-os átívelő lökőfeszültsége a felső fémmag előrenyúlásának függvényében

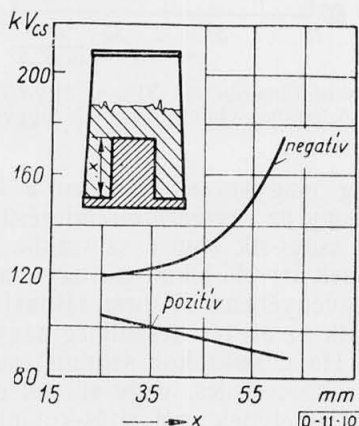
A jelenség magyarázata röviden a következő. Ismeretes, hogy az egyszerű elrendezésű támszigetelő erőtere csúcs-sík típusú szikraköz erőteréhez hasonló. Ennek átívelő lökőfeszültségét az átívelési távolság függvényében a 9. ábrán láthatjuk, amelyből jól kitűnik az átütési feszültség nagy polaritás különbsége. Ha a szikraköz szimmetriáját növeljük, akkor a csúcs-csúcs, vagy sík-sík elrendezéshez jutunk, amelynek polaritás-különbsége már sokkal kisebb. A felső fémmag előrenyújtása a fémszerelvény mentén csökkenti a térerősséget,

ezért a szigetelő erőtere szimmetrikusabb lesz, vagyis a felső fémmag előrenyújtásával lényegében a támszigetelő erőterét szimmetrikus elrendezésű sík-sík szikraköz erőtere irányában módosítjuk. Ez pedig változatlan átívelési távolság esetén azt jelenti, hogy az átívelő lökőfeszültség pozitív polaritáson nő, negatívan viszont csökken.

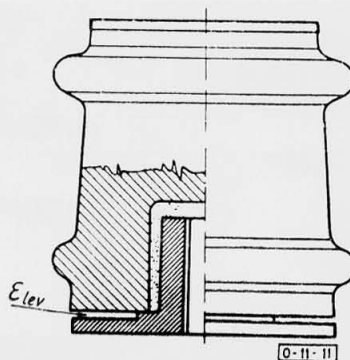


9. ábra. Csúcs-csúcs (folytonos vonal) és csúcs-sík (szaggatott vonal) elrendezésű szikraköz átütő feszültségének változása az átütési út függvényében 1/50 jellegű lökőfeszültségen

Az alsó fémmag előrenyújtásával a fejszerelvénynél nő, a talpszerelvénynél csökken a térerősség. A támszigetelő erőtere tehát aszimmetrikusabb lesz, vagyis szimmetrikus sík-sík szikraköz erőterétől a csúcs-sík szikraköz erőtere irányába módosul. Ez pedig állandó átívelési távolság esetén a pozitív átívelő lökőfeszültség csökkenését és a negatív átívelő lökőfeszültség növekedését okozza. Példaképpen a 10. ábrán feltüntettük egy 10 kV-os támszigetelő 50%-os átívelő lökőfeszültségének változását az alsó fémmag előrenyúlásának függvényében. Az alsó fémmag 50%-os előrenyújtásakor az átívelő lökőfeszültség pozitív polaritáson kis mértékben (kb. 16%-kal) csökken, negatív polaritáson viszont kb. 40%-kal nő.



10. ábra. 10 kV-os támszigetelő 50%-os átívelő lökőfeszültsége az alsó fémmag előrenyúlásának függvényében

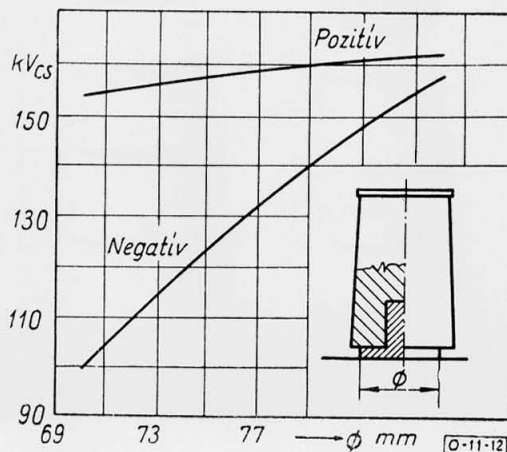


11. ábra. „Soros légkondenzátor” a támszigetelőben

Végül megvizsgáljuk, milyen módon befolyásolja az átívelő lökőfeszültséget az úgynevezett „soros kondenzátor” képzés. A szóbanforgó soros légkondenzátor a támszigetelő alsó fémtárcsa átmérőjének csökkentésével vagy üreges kiképzésével alakítható ki (11. ábra). Ebben az esetben az egyik dielektrikum a levegő, a másik pedig a porcelán. Az ismert összefüggés szerint

$$E_{forc} \cdot \epsilon_{porc} = E_{lev} \cdot \epsilon_{lev}$$

azaz a levegő igénybevétele a nagyobb. ($E_{lev} = 6 \cdot E_{porc}$). A szigetelő alsó részén a levegőben meginduló előkiszülések így biztosítják a kisülési talppontot. Ezért a szigetelő átívelő lökőfeszültsége jelentősen — főleg negatív polaritáson — csökken. Megemlítjük, hogy a 10 kV-os támszigetelő alsó fémtárcsa átmérőjének 14%-os csökkentése a negatív átívelő lökőfeszültséget 40%-kal, a pozitívat 3%-kal csökkentette (12. ábra).



12. ábra. 10 kV-os támszigetelő 50%-os átívelő lökőfeszültsége az alsó fémtárcsaátmérő változásának függvényében

A talpszerelvény üreges kiképzésére a 11. ábrán láthatunk példát. Itt a porcelán alatt vékony levegőréteg helyezkedik el. A levegőre jutó nagy igénybevétele miatt például egy 35 kV-os támszigetelő átívelő lökőfeszültsége a 2. táblázatban feltüntetett módon változik. Láthatjuk, hogy az átívelő

lökőfeszültség negatív polaritáson nagy mértékben (kb. 68%-kal), pozitív polaritáson kis mértékben (kb. 8%-kal) csökken.

2. táblázat

Támszigetelők átívelő lökőfeszültsége különböző talpszerezvények esetén

Szigetelő	50%-os átívelő lökőfeszültség			
	normális talpszerezvény		üreges talpszerezvény	
	pozitív	negatív	pozitív	negatív
	kV _{cs}		kV _{cs}	
20 kV	190	264	150	200
35 kV	220	360	214	215

A 8., 10. és 12. ábrából látható, hogy akár a belső elektródák előrenyúlásának, akár az alsó „soros légekondenzátor” átmérőjének változtatásával kisebb-nagyobb mértékben elérhető a szigetelő polaritásfüggetlensége. Ez azonban csak látzólag van így. Ezen a három ábrán közölt görbék csak adott vizsgálati elrendezés esetén érvényesek. A görbék rögtön megváltoznak, amint az elrendezésen változtatunk.

3. táblázat

Térbeli elhelyezés hatása a támszigetelő átívelő feszültségére

Szigetelő	50%-os átívelő lökőfeszültség (kV _{cs})				50 Hz-es átívelő feszültség (kV)	
	pozitív		negatív		földelt síkon	földtől távol
	földelt síkon	földtől távol	földelt síkon	földtől távol		
TAS 35	198	250	343	300	130	132

Az elrendezés hatásának megállapítására több laboratóriumi vizsgálatot végeztünk. Ezek során a támszigetelőt: 1. síkon, 2. földtől távol, 3. két sík között elhelyezve vizsgáltuk. Méréseink azt mutatták, hogy legkedvezőtlenebb a síkon történő elhelyezés, mert ebben az esetben legaszimmetrikusabb az erőtér, és így legkisebb az átívelő feszültség pozitív polaritású lökőfeszültségen. A második elrendezés az elsőhöz viszonyítva már kedvezőbb, mert a föld közvetlen hatása kisebb. Legkedvezőbb a két sík között elhelyezkedő támszigetelő esete, mivel az erőtér ekkor a legszimmetrikusabb. Nagyságrendi tájékozódás céljából a 3. táblázatban egy új, 35 kV-os támszigetelő átívelő lökőfeszültségeit és 50 Hz-es átívelő feszültségeit közöljük síkon és

földtől távol történő elhelyezés esetén. Mivel a szigetelők a különféle épített vagy tokozott berendezésekben egyszerű támszigetelőként, vagy mint készülék-alkatrészek a legkülönbözőbb elrendezésbe kerülhetnek, nyilvánvaló hogy a polaritásfüggetlen átívelő feszültségű szigetelő gyakorlati alkalmazása nehezen valósítható meg, mert akármilyen megoldással is készítjük, mindig csak egyféle elrendezés-típusnál lesz polaritásfüggetlen, más elrendezésben a térerősség változása miatt a pozitív és a negatív átívelő lökőfeszültsége eltérő.

A lökőszilárdságnak az elrendezéstől való fenti nagyfokú függése viszont felhívja a figyelmet arra, hogy a szigetelők típusvizsgálatakor az átívelési próbákhoz az elrendezést is szabványban kell rögzíteni, különben a különböző helyen és időben végzett vizsgálatok eredményei nem adnak módot objektív összehasonlításra.

Az 1. táblázat utolsó oszlopában feltüntettük a szigetelő „jósági” számát, amely az 1 cm beépítési magasságra jutó zsinórtávolságnak és az 1 kg súlyra eső törőerőnek szorzatából áll. Ebből a számból látható, hogy az új szigetelők a régieknél 10 és 20 kV-on jelentősen jobbak, 35 kV-on viszont a nagy súly miatt nem jobbak. Ezért a fejlesztési munkát még nem tekintjük lezártnak.

A jövőben a szigetelők súlyának csökkentését héjszerkezetű porcelán test és fémszerelvény alkalmazásával kívánjuk megoldani. Ezenkívül vizsgálatokat szándékozunk végezni különböző befogási módok villamos és mechanikai tulajdonságainak meghatározására. A legkedvezőbb porcelán test és befogási mód ismeretével azután a szigetelőket 10, 20 és 35 kV feszültségszintre, A, B és C osztályú törőszilárdságra fejlesztjük ki.

IRODALOM

1. *Strigel, R.*: Elektrische Stossfestigkeit. Springer-Verlag, Berlin, 1955.
2. *Wellauer, M.*: Einführung in die Hochspannungstechnik. Verlag Birkhäuser, Basel, 1954.
3. *Sirotiński, L. I.*: Hochspannungstechnik, Band II. VEB Verlag Technik, Berlin, 1958.
4. *Jacottet, P.*: Durchschlagsverhalten von Anordnungen in Luft und unter Öl bei Schaltüberspannungen. ETZ A., 11. Mai 1958.
5. *Sejkora, I.*: Stützer, Durchführungen und Trenner für Hochspannungs-Schaltanlagen. AEG M. 1957.
6. IEC, Technical Committee No. 28.: Insulation co-ordination, March 1959.
7. *Josse, M. H.*: Nouvel isolateur pour postes intérieurs, Bull. Soc. Fr. Septembre 1958.
8. *Radl.*: Vliv dutin na změny elektrických vlastností podperných izolátorů. Elektrotechnický Obzor, 10. 1958.
9. *Lasch, H.*: Zu neuen Isolation in der Hochspannungstechnik. Elektrie, 11. Heft. 1959.
10. *Dornorth, H.*: Grundlagen des Einheitsstützers. Elektrie, 11. Heft, 1959.

Mérleg- és fázisszögrelék alkalmazása védelmi célokra

PÁZMÁNDI LÁSZLÓ
tud. oszt. vezető

621.316.925.018.12

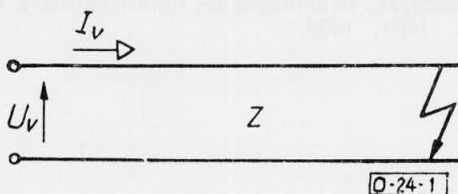
A hálózatvédelmek nagy része két villamos mennyiség összehasonlításának eredményétől függően működik. Az összehasonlítandó két mennyiség a zártos vonal áramának és feszültségének lineáris kombinációja. Az összehasonlítás a fázisszögek vagy az abszolút értékek alapulvételével történhet. A cikk részletesen ismerteti, hogy a lineáris kombinációk állandóinak milyen megválasztásával valósíthatók meg a teljesítményirányrelék és távolsági védelmek mérőelemeinek különböző jelleggörbéi.

A védelmi készülékek feladata, hogy a védett berendezésnél észlelhető villamos mennyiségek (ritkábban más fizikai értékek) alapján eldöntse azt, hogy van-e szükség beavatkozásra (megszakító működtetés, jelzés stb.). A legegyszerűbb védelmek feladata megállapítani azt, hogy valamely villamos mennyiség (pl. áramerősség, feszültség) egy előre meghatározott értéket meghalad (pl. túláramvédelem) vagy az előre megadott érték alá csökken (pl. feszültségcsökkenési védelem). Itt tehát egyetlen villamos mennyiséget kell egy beállított értékkel összehasonlítani. Az ilyen feladatok ellátására a régebben kifejlesztett, széles körben elterjedt elektromechanikus védelmek egyszerű, megbízható és olcsó megoldást adnak. Azt mondhatjuk, hogy kisebb változásoktól eltekintve a védelmi technika ezen része lezárt fejezet, nem is remélhető, hogy más fizikai elven (elektroncsöves, transzduktoros stb.) alapuló készülékek az ilyen egyszerű feladatok megoldásánál versenyképesek lehetnek.

A védelmek másik nagy csoportja két villamos mennyiséget hasonlít össze egymással és az összehasonlítás eredményektől függően állapítja meg, hogy van-e beavatkozásra szükség. Lehetséges az, hogy az egyik vagy másik, vagy mindkét összehasonlítandó villamos mennyiség külön-külön is két vagy több villamos mennyiség kombinációja.

Az összehasonlítás alapjául vagy a szóbanforgó villamos mennyiségek abszolút értéke szolgál (mérlegrelé), vagy pedig a két mennyiséget jellemző vektorok által bezárt szög (fázisszögrelé).

Tekintettel arra, hogy az újonnan kifejlesztett védelmek túlnyomó többsége az említett két elv (mérlegelv, fázisszögelv) alapján működik, ezt a kérdést részletesebben fogjuk tárgyalni. A közös alapelv alkalmazását távolsági és az ezekkel rokon teljesítményirány védelmekre fogjuk bemutatni.



1. ábra

Mivel csak elvi megoldásról van szó, az egyszerűség kedvéért egyfázisú vezetékét tételeztünk fel. A védelem beépítési helyén a feszültség U_v , az áramerősség I_v (lásd 1. ábra). Olyan védelmet kell készíteni, amely U_v és I_v érzékelése alapján működik. Képezzük U_1 és I_v alábbi kombinációit:

$$U_1 = K_1 U_v + Z_1 I_v$$

ill.

$$U_2 = K_2 U_v + Z_2 I_v$$

Itt K_1 , K_2 , Z_1 , Z_2 általában alkalmasan megválasztott (a megválasztás módjáról későbbiekben szó lesz) konstans komplexmennyiségek.

Megjegyezzük azt, hogy — mint az a felírások módjából is látszik — alapul azt a leggyakrabban előforduló esetet választottuk, amelynél a vonali feszültség bizonyos hányadához hozzáadva a vonali áramerősség által bizonyos impedancián (Z_1 , ill. Z_2) okozott feszültségesést, kapjuk az összehasonlítandó mennyiségeket. U_1 és U_2 mennyiségek ebben az esetben volt dimenziójúak. Ekkor Z_1 , Z_2 ohm dimenziójú, K_1 , K_2 pedig dimenzió nélküli. Az alábbi megfontolások azonban általános érvényűek, tehát pl. elképzelhető az is, hogy Z_1

dimenzió nélküli és $K_1 \frac{1}{\text{ohm}}$ dimenziójú. Ebben az esetben természetesen az összehasonlítás alapjául szolgáló U_1 amper dimenziójú.

Az U_1 és U_2 mennyiségeket visszük rá a mérőelemre, amely

vagy az U_1 és U_2 vektorok egymással bezárt szögét állapítja meg és működik, ha ez a szög egy bizonyos, a mérőelemre jellemző α szögnél nagyobb, de kisebb, mint $\alpha + \pi$ szög (fázisszögrelé);

vagy U_1 és U_2 abszolút értékét hasonlítja össze és működik, ha $|U_1| < k \cdot |U_2|$. Itt k valós állandó (mérlegrelé).

Bebizonyítható, hogy akár az egyik, akár a másik elv alapján működő mérőelemmel a szokásos jelleggörbék bármelyike megvalósítható, ha K_1 , K_2 , Z_1 , Z_2 állandókat megfelelően választjuk meg. Ezek a működési jelleggörbék körök, illetve egyenesek. A különböző α szögekhez, illetve k értékekhez, mint paraméterekhez a fázisszögrelénél, illetve mérlegrelénél egy-egy körsereg tartozik. Bebizonyítható az is, hogy ugyanazon K_1 , K_2 , Z_1 , Z_2 értékeknél a két körsereg egymásnak ortogonális trajektóriája.

Először a fázisszögrelével fogunk foglalkozni.

Mint említettük, a fázisszögrelé működési feltétele az, hogy az összehasonlítandó U_1 és U_2 villamos mennyiségek fázisszöge a mérőelemre jellemző α szög legyen. Másszóval, ha $\frac{U_1}{U_2}$ fázisszöge α -nál kisebb, a védelem reteszel, ha a fázisszög α -nál

nagyobb, a védelem kioldó parancsot ad. Meg fogjuk állapítani, melyek azok az $\frac{U_v}{I_v} = Z$ értékek, amelyeknél $\frac{U_1}{U_2}$ fázisszöge éppen az α -szög. A Z komplex számokat jellemző pontokat összekötő görbe adja az impedanciasíkon a mérőelem működési jelleggörbéjét.

Felírhatjuk a következőket:

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{K_1 U_v + Z_1 I_v}{K_2 U_v + Z_2 I_v} = s' e^{j\alpha}$$

A számlálót és nevezőt I_v -vel osztva és figyelembe véve, hogy a vizsgált áramkör impedanciája (1. ábra) $Z = \frac{U_v}{I_v}$

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{K_1 Z + Z_1}{K_2 Z + Z_2} = s' e^{j\alpha}$$

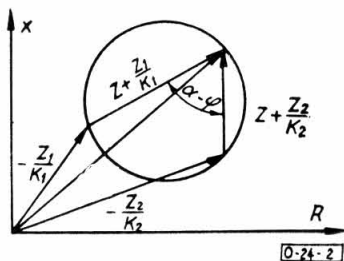
illetve:

$$\frac{Z + \frac{Z_1}{K_1}}{Z + \frac{Z_2}{K_2}} = \frac{K_2}{K_1} s' e^{j\alpha}$$

A K_1 és K_2 vektorok által bezárt szöget φ -vel, továbbá $s' \left| \frac{K_2}{K_1} \right|$ valós mennyiséget s -sel jelölve

$$\frac{Z + \frac{Z_1}{K_1}}{Z + \frac{Z_2}{K_2}} = s e^{j(\alpha - \varphi)}$$

A 2. ábra alapján belátható, hogy a Z vektorok végpontja az $R - X$ síkon olyan körön fekszik, amely kör átmegy a $-\frac{Z_1}{K_1}$ és a $-\frac{Z_2}{K_2}$ vektorok végpontján és kerületi szöge $(\alpha - \varphi)$. Mászóval, ha valamely fázisszög-elvű mérőelemre U_1 és U_2 mennyiségeket kapcsoljuk, akkor a mérőelem kioldó irányban működik, ha a Z impedancia vektor végpontja a körön belül van, reteszelő irányban működik, ha a Z impedancia vektor végpontja a körön kívül van.



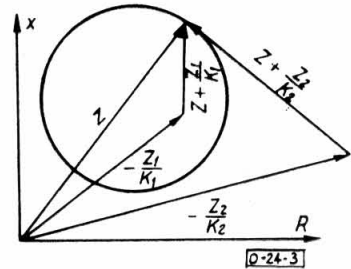
2. ábra

A mérlegreléknél a kiinduló egyenlet:

$$\left| \frac{K_1 U_v + Z_1 I_v}{K_2 U_v + Z_2 I_v} \right| = k$$

a számlálót és nevezőt I_v -vel osztva és mindkét oldalt $\frac{K_2}{K_1}$ -el szorozva:

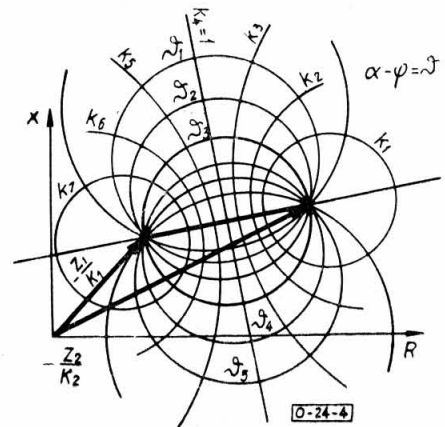
$$\left| \frac{Z + \frac{Z_1}{K_1}}{Z + \frac{Z_2}{K_2}} \right| = k \left| \frac{K_2}{K_1} \right|$$



3. ábra

A 3. ábra segítségével ismét belátható, hogy a működési jelleggörbe általában kör. Ugyanis kör (Apollonius-kör) azon pontok mértani helye, amelyeknek két adott ponttól — a $-\frac{Z_1}{K_1}$ és a $-\frac{Z_2}{K_2}$ vektorok végpontjától — mért távolságának aránya állandó.

Az eredményekből látható, hogy adott K_1, K_2, Z_1, Z_2 -nél a különböző $(\alpha - \varphi)$ szöghöz, ill. $k \cdot \left| \frac{K_2}{K_1} \right|$ értékekhez, mint paraméterekhez tartozó két körsereg egymásnak ortogonális trajektóriája (lásd 4. ábra).



4. ábra

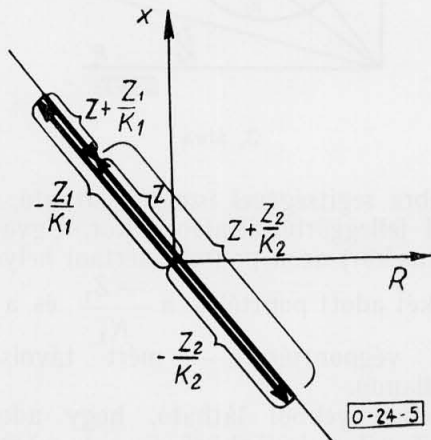
Külön kell néhány szót szólnunk még arról a szokásos megoldásról, hogy bizonyos esetekben az U_v feszültség helyett célszerű valamilyen más, ún. polarizáló feszültséget alkalmazni. Így pl. ha vala-

milyen háromfázisú rendszerrel 2 F zárlat esetére készül védelem (pl. BC zárlat), az előzők értelmében U_v feszültség a BC fázisok közötti mérőhelyen mérhető feszültség. Ez a feszültség azonban a védelem beépítési helyéhez közeleső zárlatoknál kicsi, ezért a védelem működése bizonytalan. E bizonytalanság kiküszöbölése céljából az U_{BC} feszültség helyett pl. az U_{BA} feszültséget alkalmazzák. A szokásos megoldásokat a reléjelleggörbék részletes tárgyalása kapcsán ismertetjük.

E rövid, általános áttekintés alapján vizsgáljuk meg, hogy a gyakorlatban előforduló jelleggörbék milyen módon állíthatók elő.

I. Teljesítményirány relé

A teljesítményirány relé jelleggörbéje az $R - X$ síkon a kezdőponton átmenő egyenes (5. ábra). Kérdés, hogy fázisszögrelé, ill. mérlegrelé segítségével hogyan lehet ezt a jelleggörbét előállítani.



5. ábra

Fázisszögrelé

Láttuk, hogy a karakterisztika olyan kör, amely átmegy a $-\frac{Z_1}{K_1}$ és a $-\frac{Z_2}{K_2}$ vektorok végpontjain, a végpontokat összekötő húrhoz tartozó kerületi szög pedig $(\alpha - \varphi)$. A kör egyenessé fajul, ha $\alpha - \varphi = 0$. Ez az egyenes akkor megy át a kezdőponton, ha

$$\frac{Z_1}{K_1} = k' \frac{Z_2}{K_2}$$

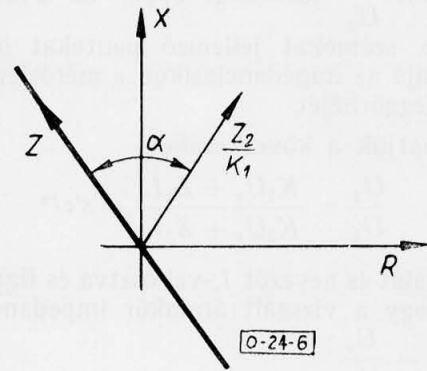
Itt k' valós állandó. Ha ez a két feltétel ki van elégítve, akkor a jelleggörbe középponton áthaladó egyenes (lásd 5. ábra).

Másik lehetőség a szóbanforgó jelleggörbe előállítására, hogy az egyik alappontot azonosnak vesszük a kezdőponttal (pl. $Z_1 = 0$), a másik alappontot pedig a végtelenben fekvőnek vesszük fel ($K_2 = 0$). A jelleggörbe (lásd 6. ábra) egyenlete ebben az esetben

$$\frac{K_1 Z}{Z_2} = s' e^{j\alpha}$$

illetve

$$Z = s' \frac{Z_2}{K_1} e^{j\alpha}$$



6. ábra

Ha U_v helyett U_p polarizáló feszültséget alkalmazunk, és továbbra is $Z_1 = 0$ és $K_2 = 0$, akkor az alapegyenletünk:

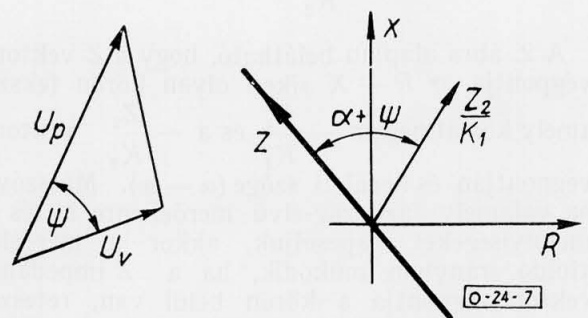
$$\frac{K_1 \cdot U_p}{Z_2 I_v} = s' e^{j\alpha}$$

A polarizáló feszültség a 7. ábra alapján:

$$U_p = \left| \frac{U_p}{U_v} \right| U_v \cdot e^{j\psi}$$

Ezt behelyettesítve, a számlálót és nevezőt I_v -vel osztva, rendezés után nyerjük a működési jelleggörbére a következő egyenletet:

$$Z = s'' \frac{Z_2}{K_1} e^{j(\alpha - \psi)}$$



7. ábra

Végeredményben azt látjuk, hogy az U_p polarizáló feszültség alkalmazásával nyert működési jelleggörbe ugyancsak egyenes, de ez az egyenes ψ szöggel elfordul az U_v feszültség alkalmazásával nyert egyeneshez képest. A ψ szög a zárlat helyétől és a hálózatképtől függően változik ugyan, de olyan esetekben, amikor a zárlati teljesítményirányt akarjuk meghatározni, ez a változás a helyes érzékelést nem befolyásolja. Ha a relé α működési szögét eleve úgy választjuk meg, hogy közepes ψ esetében a kívánt működési egyenest kapjuk,

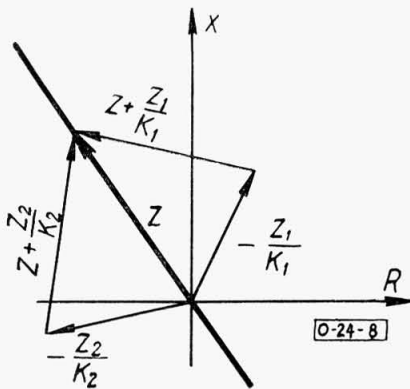
akkor a kívánt értéktől a működési egyenes szöge legfeljebb $\frac{\psi_{\max} - \psi_{\min}}{2}$ szöggel tér el. Hátránya tehát a

polarizáló feszültség alkalmazásának, hogy a működési karakterisztika a zárlat helyétől és a hálózatképtől függően bizonyos mértékben változik — ez azonban, mint említettük, rövidzárlat esetében nem okoz helytelen érzékelést —, nagy előnye viszont, hogy a védelemnek közeli zárlatoknál nincs holtzónája, ami egyébként az U_v feszültség letörése miatt elkerülhetetlen.

Mérlegrelé

Az Apollonius-kör egyenessé fajul, ha $k \cdot \left| \frac{K_2}{K_1} \right| = 1$.

Ez az egyenes a kezdőponton megy keresztül, ha $\left| \frac{Z_1}{K_1} \right| = \left| \frac{Z_2}{K_2} \right|$ (lásd 8. ábra).



8. ábra

A teljesítményirány relék közül leggyakrabban a $\cos \varphi$ és $\sin \varphi$ jellegűeket alkalmazzák. Ezekkel röviden külön is foglalkozunk.

A $\cos \varphi$ jellegűre a következőképpen valósítható meg:

Fázisszögrelé

Ha a két alappontot úgy választjuk meg, hogy azok az X-tengelyre essenek, vagyis

$$\frac{Z_1}{K_1} = k' \frac{Z_2}{K_2} = k'' j$$

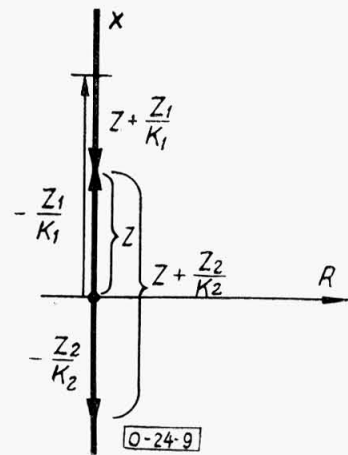
továbbá $\alpha - \varphi = 0$, ekkor a 9. ábrán látható jellegűrelét kapjuk.

A másik lehetőség az állandók következő megválasztásával adódik: $Z_1 = 0, K_2 = 0$, továbbá

$$\frac{Z_2}{K_1} = k''' e^{j(\frac{\pi}{2} - \alpha)}$$

Ezeket az értékeket az alapegyenletbe behelyettesítve:

$$Z = s e^{j\frac{\pi}{2}}$$



9. ábra

Mérlegrelé

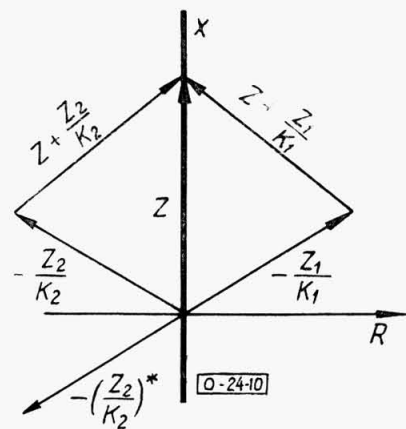
A két alappontnak szimmetrikusan kell elhelyezkednie az X-tengelyhez képest (lásd 10. ábra), vagyis

$$-\frac{Z_1}{K_1} = \left(\frac{Z_2}{K_2} \right)^*$$

továbbá

$$k \left| \frac{K_2}{K_1} \right| = 1$$

A $\left(\frac{Z_2}{K_2} \right)^*$ a $\frac{Z_2}{K_2}$ konjugáltját jelenti.

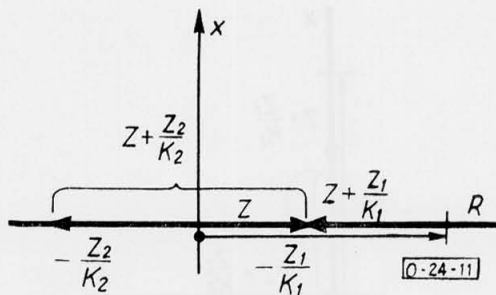


10. ábra

A $\sin \varphi$ jellegű relé megvalósításának lehetőségei:

Fázisszögrelé

Az egyik lehetőség: a két alappont az R tengelyen helyezkedik el, vagyis $\frac{Z_1}{K_1} = k_1$ és $\frac{Z_2}{K_2} = k_2$ (k_1 és k_2 valós állandó), továbbá $\alpha - \varphi = 0$ (a karakterisztika a 11. ábrán látható).



11. ábra

A másik lehetőség: az egyik alappont a végtelenben van, a másik pedig a koordináta-rendszer kezdőpontja, vagyis $Z_1 = 0, K_2 = 0$, továbbá

$$\frac{Z_2}{K_1} = k e^{-j\alpha}$$

A jelleggörbe egyenlete:

$$Z = s \cdot k$$

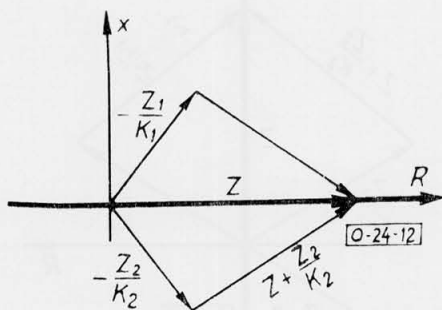
Mérlegrelé

A két alappont szimmetrikusan helyezkedik el az R-tengelyhez képest (12. ábra), vagyis

$$\frac{Z_1}{K_1} = \left(\frac{Z_2}{K_2} \right)^*$$

továbbá

$$k \cdot \left| \frac{K_2}{K_1} \right| = 1$$



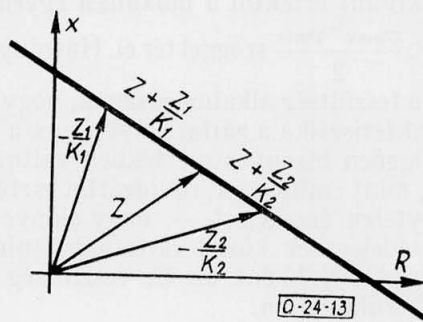
12. ábra

II. Impedancia vetületrelé

Az impedancia vetületrelé jelleggörbéje az R—X síkon olyan egyenes, amely nem foglalja magában a kezdőpontot.

Fázisszögrelé

A kívánt jelleggörbét kétféleképpen állíthatjuk elő. Az egyik esetben mindkét alappont a végesben van, egyetlen kikötés, hogy az alappontokhoz tartozó kerületi szög $\alpha - \varphi = 0$ (13. ábra).



13. ábra

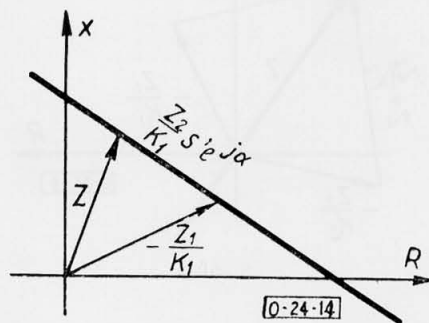
A másik esetben az egyik alappont a végtelenben van, vagyis $K_2 = 0$. A működési jelleggörbe egyenlete:

$$\frac{K_1 Z + Z_1}{Z_2} = s' e^{j\alpha},$$

innen

$$Z = \frac{Z_2}{K_1} s' e^{j\alpha} - \frac{Z_1}{K_1}.$$

A jelleggörbe a 14. ábrán látható.



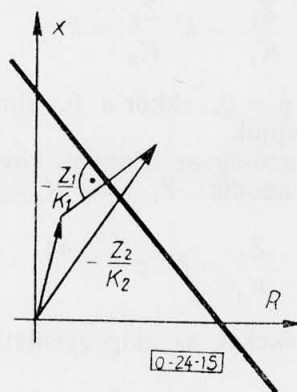
14. ábra

Mérlegrelé

Annak, hogy egyenes jelleggörbét kapjunk, egyetlen feltétele, hogy

$$k \cdot \left| \frac{K_2}{K_1} \right| = 1$$

A jelleggörbét a 15. ábra mutatja.



15. ábra

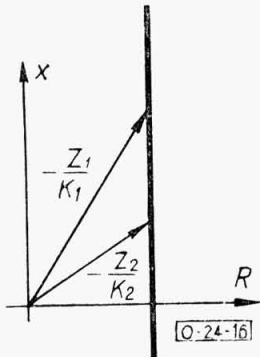
Az impedancia vetületrelé különleges esete az ellenállásrelé. Ennél a jelleggörbe olyan egyenes, amely merőleges az R -tengelyre.

Fázisszögrelé

Az egyik lehetséges megoldás: a két alappont végesben van, mégpedig természetesen az R -tengelyre merőleges egyenesen helyezkednek el, tehát

$$\frac{Z_1}{K_1} - \frac{Z_2}{K_2} = k \cdot j$$

Az alappontokhoz tartozó kerületi szög nulla, vagyis $\alpha - \varphi = 0$. (lásd 16. ábra).



16. ábra

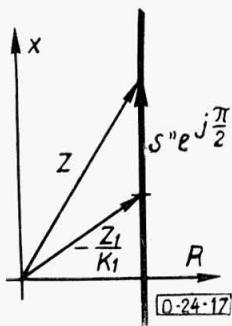
A másik megoldás: az egyik alappont az R egyenesre merőleges irányban a végtelenben van $K_2 = 0$,

$$\frac{Z_2}{K_1} = k e^{j(\frac{\pi}{2} - \alpha)}$$

Ebben az esetben a jelleggörbe egyenlete:

$$Z = s'' e^{j\frac{\pi}{2}} - \frac{Z_1}{K_1}$$

(lásd 17. ábra).



17. ábra

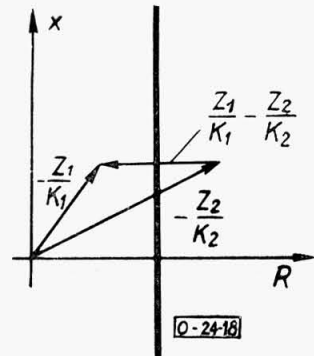
Mérlegrelé

A két alappontot összekötő egyenes párhuzamos az R tengellyel (lásd 18. ábra), vagyis

$$\frac{Z_1}{K_1} - \frac{Z_2}{K_2} = k'$$

továbbá

$$k \cdot \left| \frac{K_2}{K_1} \right| = 1.$$



18. ábra

Az impedancia vetületrelék közül leggyakrabban alkalmazott reaktanciareléknél a jelleggörbe egyenese párhuzamos az R -tengellyel. A megvalósítás lehetőségei:

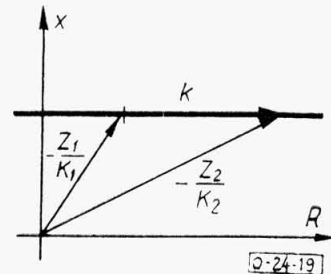
Fázisszögrelé

A két alappont az R -tengellyel párhuzamos egyenesen fekszik (lásd 19. ábra), kerületi szög viszont nulla, tehát

$$\frac{Z_1}{K_1} - \frac{Z_2}{K_2} = k$$

és

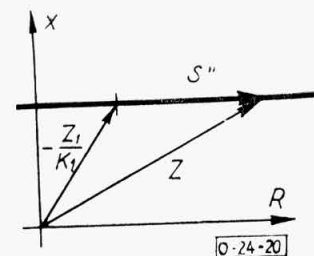
$$\alpha - \varphi = 0$$



19. ábra

A másik megoldás: az egyik alappont az R -tengellyel párhuzamos irányban a végtelenben van, $K_2 = 0$, $\frac{Z_2}{K_1} = k' e^{-j\alpha}$. A jelleggörbe (lásd 20. ábra) egyenlete:

$$Z = s'' - \frac{Z_1}{K_1}$$



20. ábra

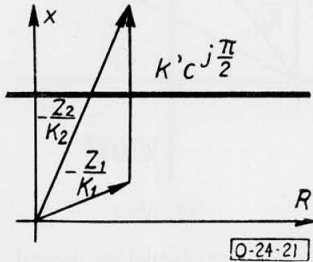
Mérlegrelé

A két alappontot összekötő vektor merőleges az R -tengelyre (lásd 21. ábra), vagyis

$$\frac{Z_1}{K_1} - \frac{Z_2}{K_2} = k' e^{j\frac{\pi}{2}},$$

továbbá

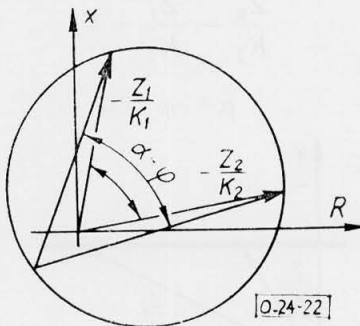
$$k \left| \frac{K_2}{K_1} \right| = 1.$$



21. ábra

III. Korlátolt irányérzékenységű impedancia relé

A korlátolt irányérzékenységű impedancia relé jelleggörbéje az $R - X$ síkon olyan kör, amely excentrikusan magában foglalja a koordináta-rendszer kezdőpontját (lásd 22. ábra).



22. ábra

Fázisszögrelé

A $-\frac{Z_1}{K_1}$ és $-\frac{Z_2}{K_2}$ vektorok által bezárt szög nagyobb, mint a két vektor végpontját összekötő húr ugyanazon oldalán levő $\alpha - \varphi$ vagy $180^\circ - (\alpha - \varphi)$ kerületi szög, de kisebb mint a húrhoz tartozó középponti szög (lásd 22. ábra).

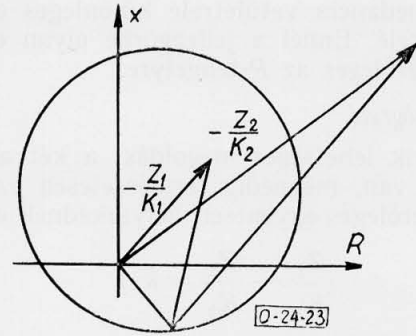
Mérlegrelé

Az alappont vektorok hosszának aránya kisebb mint a körre jellemző $k \left| \frac{K_2}{K_1} \right|$ paraméter (lásd 23. ábra), tehát

$$\left| \frac{Z_1}{K_1} \right| : \left| \frac{Z_2}{K_2} \right| < k \cdot \left| \frac{K_2}{K_1} \right|$$

egyszerűsítve

$$\left| \frac{Z_1}{Z_2} \right| < k.$$



23. ábra

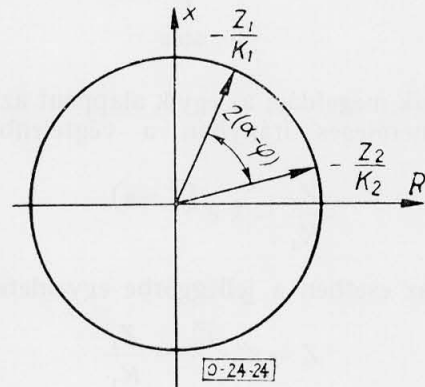
IV. Impedancia relé

A jelleggörbe olyan kör, amelynek középpontja egybeesik a koordináta-rendszer kezdőpontjával.

Fázisszögrelé

Az alappont vektorok által bezárt szög ugyanakkora, mint a középponti szög (lásd 24. ábra)

$$2(\alpha - \varphi)$$



24. ábra

Mérlegrelé

Egyik lehetőség

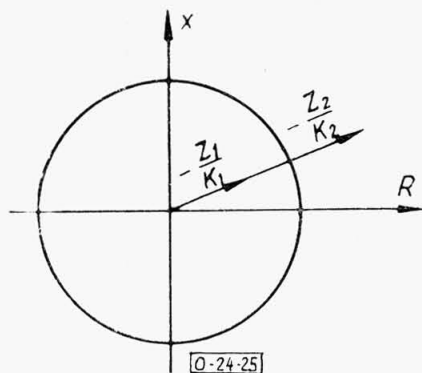
$$\frac{Z_1}{K_1} : \frac{Z_2}{K_2} = \text{pozitív valós szám},$$

vagyis az alappontok és a koordináta-rendszer kezdőpontja egy egyenesbe esnek, mégpedig úgy, hogy az utóbbi nem az alappontok között foglal helyet (lásd 25. ábra), továbbá

$$\left| \frac{Z_1}{K_1} \right| : \left| \frac{Z_2}{K_2} \right| = k^2 \left| \frac{K_2}{K_1} \right|^2$$

vagyis

$$\left| \frac{Z_1}{Z_2} \right| = k^2 \left| \frac{K_2}{K_1} \right|$$



25. ábra

Másik lehetőség: Az egyik alappont a koordináta-rendszer kezdőpontja ($Z_1 = 0$), a másik pedig a végtelenben van ($K_2 = 0$). Az alapegyenlet:

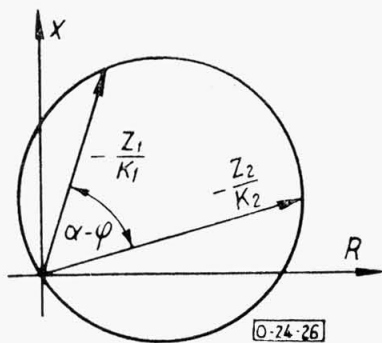
$$\left| \frac{K_1 U_v}{Z_2 I_v} \right| = k$$

$$|Z| = \left| \frac{Z_2}{K_1} \right| \cdot k$$

ami nyilván a koordináta-rendszer kezdőpontja köré írt kört ad.

V. Admittancia vetületrelé (mho relé)

A jelleggörbe olyan kör, amely átmegy a koordináta-rendszer kezdőpontján (lásd 26. ábra).



26. ábra

Fázisszögrelé

Az alappont vektorok által bezárt szög ugyanakkora, mint az azonos oldalon levő ($\alpha - \varphi$) kerületi szög (lásd 26. ábra).

Mérlegrelé

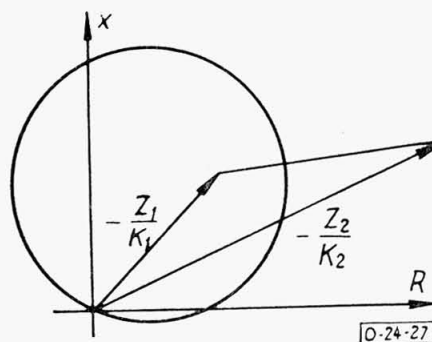
Az alappont vektorok hosszának aránya egyenlő a körre jellemző paraméterrel, tehát

$$\left| \frac{Z_1}{K_1} \right| : \left| \frac{Z_2}{K_2} \right| = k \cdot \left| \frac{K_2}{K_1} \right|$$

vagyis

$$\left| \frac{Z_1}{Z_2} \right| = k\text{-val}$$

(lásd 27. ábra).



27. ábra

Az előzőekben áttekintettük a teljesítményirányrelék és távolsági védelmek merőelemei különböző jelleggörbéinek megvalósítási lehetőségeit. Végeredményben megállapítható, hogy valamenyi jelleggörbe akár fázisszög, akár mérlegrelé segítségével létrehozható.

*

A cikk célja az elvi lehetőségek ismertetése volt. Valamely védelem gyakorlati kivitelénél természetesen számba kell venni az összes elvi lehetőségeket és meg kell vizsgálni, hogy ezek közül az alkalmazni kívánt rendszer (elektromechanikus, elektroncsöves, transzduktoros, tranzistoros, stb), pontosság (holtzóna, bizonytalan megszólalás tartománya), egyszerű kivitel, költségek, stb szempontjából az adott esetben melyik a legmegfelelőbb.

IRODALOM

Dr. Szendy K. Távolsági védelem alapelvei. VILLENKI—(VKB) 1952. 40. sz. tanulmány.
 Adamson C.—Wedepohl L. M.: Power System Protection with Particular Reference to the Application of Junction Transistors to Distance Relays. Proceedings of I. E. E. Pt. "A" Vol. 103. Nr. 10. 1956. aug.

Felhívjuk olvasóink szíves figyelmét az *Erőmű Beruházási Vállalat* 1960. évi újítási feladattervének alábbi pontjaira:

a) Erőművi villamosmotorok fordulatszám változtatásának megoldása az eddig alkalmazott módszereknél (Ward-Leonard rendszer, csúsógyűrűs motorok stb.) egyszerűbb, üzembiztosabb és gazdaságosabb módon.

Határidő: 1960. XII. 31.
 Külön díj: 1,500.— Ft.

b) Erőművek szerelési idejének lecsökkentése — elsősorban az előgyártás és előszerelés eddiginél fokozottabb alkalmazásával és a gyári előszerelésnek olyan berendezésekben történő bevezetésével, amelyek eddigi helyszíni szereléssel

készültek (blokkszerelés fejlesztése, kiterjesztése a kazánokon kívül más gépi berendezésekre is).

Határidő: 1960. XII. 31.
 Külön díj: 3,000.— Ft.

c) Felvonulási energiaellátás gazdaságos megoldása (fűtés, világítás, erőátvitel terén), valamint energia-megtakarítás ezen a téren.

d) Villamos berendezések cellafalainak egységes, az eddiginél gazdaságosabb kiképzése az előgyártási lehetőségek messzemenő figyelembevételével.

e) Földelőkutak új és olcsóbb megoldása a mélyföldelőknél az eddiginél gazdaságosabb kialakítása érdekében.

Szimmetrikus összetevő szűrők

WEINGART FERENC

tudományos munkatárs

621.318.7

A cikk foglalkozik a szimmetrikus összetevő szűrőkkel általában. Ezen belül részletesen kitér a negatív sorrendű feszültség- és áramszűrőkkel kapcsolatos problémák vizsgálatára. Bemutat egy periódusfüggetlen feszültség-szűrőt és egy áramszűrőt. Végül áttekintést ad a szimmetrikus összetevő szűrők gyakorlati alkalmazásáról.

A hálózaton és a villamosgépekben fellépő, különféle aszimmetrikus jelenségeket a szimmetrikus összetevők módszerével lehet a legjobban és legkönnyebben vizsgálni. A feszültségek és áramok szimmetrikus összetevőinek ismeretében sokkal egyszerűbb és tisztább képet kapunk magáról a jelenségről és annak a hálózat összes többi elemére való hatásáról is. Szükséges tehát az, hogy meg tudjuk határozni minden üzemállapotban a feszültségek és áramok szimmetrikus összetevőit. Ez számítási, szerkesztési vagy mérési módszerrel lehetséges.

A mérési módszer általában kevésbé ismert, pedig ez egyrészt az egyes összetevők közvetlen, műszerrel való meghatározásának szempontjából, másrészt pedig különféle védelmi berendezések szempontjából fontos.

A mérési és védelmi célokat szolgálják a szimmetrikus összetevő szűrők, melyeknek bemenő kapcsai a vizsgálandó háromfázisú feszültségekre vagy áramokra csatlakoznak, kimenő kapcsaik pedig csak a kívánt sorrendű összetevő jelenik meg. A szűrő tehát az összes többi összetevőt kiszűri azon az egyen kívül, melynek meghatározására készült.

A háromfázisú hálózat szimmetrikus összetevőinek megfelelően vannak pozitív, negatív és zérus-sorrendű szűrők. Az egyes csoportokon belül pedig feszültség és áramszűrők.

I. Zérus sorrendű szűrők

A zérus sorrendű szűrők általában ismertek, ezért csak a teljesség kedvéért említem meg ezeket.

A zérus sorrendű feszültségösszetevővel fázisban levő és vele arányos feszültséget szolgáltat a primer oldalon csillagba, a szekunder oldalon pedig nyitott deltába kapcsolt ötoszlopos transzformátor, illetve három egyfázisú feszültségváltó. A delta tekercselés ugyanis vektoriálisan összegezi az egyes fázisfeszültségeket. Ez az összeg pedig a zérus sorrendű feszültség háromszorosát adja:

$$U_0 = \frac{1}{3} (U_A + U_B + U_C).$$

Az ötoszlopos transzformátorokat úgy is szokták készíteni, hogy a 4. és 5. oszlopra tekercselik a szekunder tekercset, és így a fázisfeszültségeket mágneses úton összegezik. Az eredő fluxus indukálja azután a szekunder tekercsben a zérus sorrendű feszültséget.

Ezek a zérus sorrendű feszültség-szűrők általánosan használtak a szigetelt csillagpontú rendsze-

rek földzárlatjelző berendezéseiben, ahol a földzárlat tényét a zérus sorrendű összetevő megjelenésével érzékelik.

A zérus sorrendű áramszűrők leghasználatosabb típusa a három fázisban elhelyezett, szekunder oldalon párhuzamosan kötött áramváltócsoport, az úgynevezett *Holmgreen* kapcsolás. A párhuzamosan kapcsolt szekunder tekercsek összekötő-ágában, a *Holmgreen* ágban a három fázisáram vektoriális eredője folyik, ami a zérus sorrendű áram háromszorosára:

$$I_0 = \frac{1}{3} (I_A + I_B + I_C)$$

Kábeleknél általánosan használt zérus sorrendű áramszűrő a gyűrűs áramváltó, melyet a három fázisáram együttesen gerjeszt, az áramok összegeése mágneses úton történik.

II. Pozitív és negatív sorrendű szűrők

A pozitív és negatív sorrendű szűrők kevésbé ismertek, ezért ezekkel részletesebben kell foglalkozni.

Mindjárt előljáróban meg kell említeni, hogy a pozitív és negatív sorrendű szűrők kapcsolástechnikailag egyformák. Minden negatív sorrendű szűrő egyben pozitív sorrendű szűrőként is használható és viszont, csak a három bemenő kapcsa közül kettőt meg kell cserélni. Ez a tulajdonság rögtön világossá válik, ha arra gondolunk, hogy két kapocs megcserélésével a szűrő a rákapcsolt rendszer forgásirányát megfordulni látja, ezért az előző helyzethez képest fordítottan forgó összetevőt szűri ki. Ha tehát eredetileg negatív sorrendű szűrőnk volt, most a két kapocs megcserélésével pozitív sorrendű szűrőt nyerünk.

A kétféle típusú szűrő méretezési szempontból annyiban tér el egymástól, hogy míg a negatív sorrendű szűrőnek csak üzemzavari esetekben van a kimenőkapcsain feszültség és így a rákapcsolt műszer, illetve relé is csak ez alatt az idő alatt jelent számára terhelést, addig a pozitív sorrendű szűrők normális üzemviszonyok között is terheltek.

A továbbiakban csak a negatív sorrendű szűrőről lesz szó, egyrészt, mivel mint láttuk, ezek egyben pozitív sorrendűek is, másrészt, mivel a pozitív sorrendű szűrők gyakorlati jelentősége amúgyis kisebb. A gépek és hálózatok rendes üzemi állapotában csak pozitív sorrendű feszültség és áram van jelen, a negatív sorrendű komponensek megjelenése éppen a szimmetrikustól eltérő viszonyokat jelzi, ezért ezeknek pontos kimutatása a gyakorlatban fontosabb feladat.

Vizsgáljuk először a negatív sorrendű feszültség-szűrőket. Kétféle elv, a forgógépes és a statikus között választhatunk.

A forgógépes módszer lényege a következő: két közös tengelyű szinkrongépet kapcsolunk a háromfázisú hálózatra, de csak az egyiknek a forgórészét gerjesztjük, ez lesz a hajtómotor. A másik gép forgórészébe mérőműszert kapcsolunk. Mivel a hajtómotor ezt a gépet a pozitív sorrendű forgómezővel szinkron forgatja, így annak forgórészében csak a negatív sorrendű ellenforgó mező fog feszültséget indukálni. A forgórészébe kapcsolt voltmérő a negatív sorrendű feszültséggel arányosan tér ki.

A statikus elemekből álló szűrő, mint a neve is mutatja, nem tartalmaz mozgó alkatrészeket. R, L, C elemekből van felépítve és különböző fázisforgató módszerekkel szűri ki a torz feszültség-háromszögből a negatív sorrendű összetevőt.

Mivel a különféle forgógépes típusok előállítása nehezebb és gyakorlati használhatósága is igen korlátozott, mi csak a statikus szűrők kifejlesztésével foglalkoztunk.

A negatív sorrendű feszültség-szűrők sohasem a fázisfeszültségekre, hanem mindig a láncolt vonali feszültségekre csatlakoznak, mivel ezek nem tartalmaznak zérus sorrendű összetevőt, s így annak hatását nem kell figyelembe venni.

A szűrés probléma megoldása tehát abban áll, hogy olyan kapcsolást kell keresni, amelynél a bemenő kapcsolókra adott tiszta pozitív sorrendű feszültség hatására a kimenő kapcsolók nem kapunk feszültségkülönbséget, tiszta negatív sorrendű feszültség hatására pedig valamilyen, azzal arányos feszültségkülönbség jelentkezik.

Ilyen kapcsolásokat elég sokféleképpen készíthetünk, melyek csak a felépítés és a felhasznált elemek tekintetében különböznek egymástól.

A szűrők tervezésénél a következő szempontok irányadók:

1. A lehető legnagyobb érzékenység megvalósítása, ami azt jelenti, hogy a szűrő minél kisebb negatív sorrendű feszültség kimutatására legyen alkalmas.
2. A lehető legkisebb zavaró feszültség a szűrő kimenő kapcsain.
3. Minél kisebb fogyasztás a mérőváltók kis terhelhetősége miatt.

A harmadik, a kis fogyasztás követelményének a szűrők és a hozzájuk csatlakozó műszerek vagy relék helyes illesztésével tudunk eleget tenni. Az első két követelmény részben összefügg egymással, mert annál kisebb negatív sorrendű feszültséget tudunk érzékelni, minél kisebbek a kimeneten levő zavaró feszültségek, minél kisebb a szűrő alapzavarszintje.

A tiszta pozitív sorrendű táplálás esetén is jelentkező kiegyenlítetlenséget okozhatja:

- a szűrő impedanciaértékeinek pontatlan beállítása;
- az elemek hőfokfüggése;
- a felharmonikusok hatása és
- a hálózati periódus eltérése az 50 Hz-től.

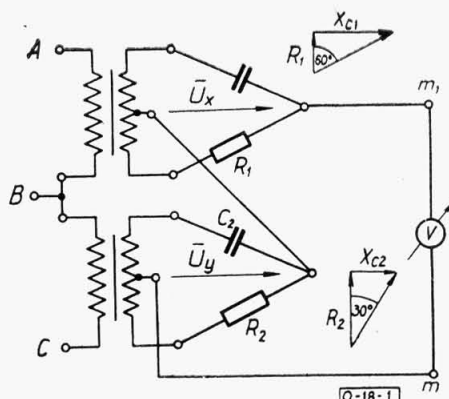
A szűrő impedanciáinak gondos, finom behangolásával az első okot a gyakorlati követelményeknek megfelelő minimum alá tudjuk szorítani, habár a pontos hangoláshoz szükséges etalon szimmetrikus háromfázisú feszültség előállítása komoly feladatot jelent.

A hőfokfüggést speciális, kis hőfoktényezőjű kondenzátorok és ellenállások alkalmazásával lehet a kívánt mértékre csökkenteni.

A felharmonikusokat, melyek a legtöbb esetben kiemelve jelentkeznek a kimenő kapcsokon, a negatív sorrendű szűrő után kapcsolt további felharmonikus szűrőkkel kell kiküszöbölni.

A periódusváltozás okozta hibát a legnehezebb megszüntetni az alkalmazott kapacitív és induktív tagok periódusfüggése miatt.

Sikerült azonban olyan kapcsolást találnunk Uzsoky Miklós, a VILLENKI tudományos osztályvezetőjének ötlete alapján, melyet a hálózaton a gyakorlatban előforduló periódusingadozások nem zavarnak. A szűrő kapcsolása az 1. ábrán látható.

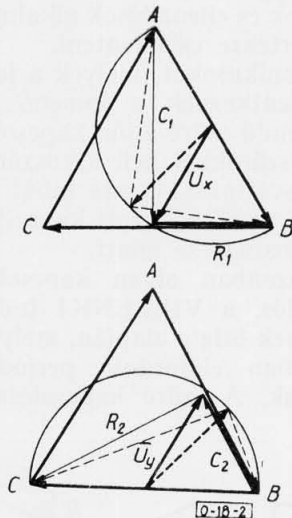


1. ábra

Az $A - B$ és $B - C$ vonali feszültségre olyan 1 : 1 áttételű kis transzformátorok csatlakoznak, melyek szekunder tekercse közép megcsapolású. Az AB transzformátor szekunder tekercsére 60° -os, a BC transzformátor szekunder tekercsére pedig 30° -os $R - C$ soros impedancia kapcsolódik. Az $R_1 - C_1$ és az $R_2 - C_2$ tagokon fellépő feszültségeséseket szimmetrikus, tiszta pozitív sorrendű feszültség-háromszög esetére a 2. ábra tünteti fel. Az $R_1 - C_1$ tagok csatlakozási pontja és az őket tápláló szekunder tekercs közepe közötti U_x feszültségkülönbség pontosan a $B - C$ feszültségvektor középpontjába mutat, nagysága pedig az $A - B$ vektorra rajzolható félkör sugarával egyenlő.

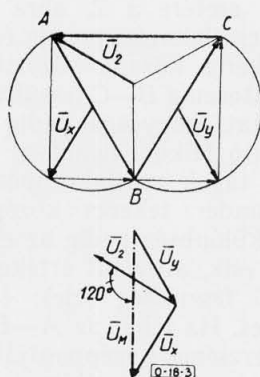
Az $R_2 - C_2$ tagok csatlakozópontja és az őket tápláló szekunder tekercs középpontja közötti U_y feszültségkülönbség pedig az előbbi U_x feszültség irányába esik, abszolút értéke azzal megegyezik (a $B - C$ feszültség fele): értelme azonban U_x -el ellentétes. Ha tehát az $A - B$ transzformátor szekundertekercsének középpontját az $R_2 - C_2$ tagok csatlakozópontjával összekötjük, azaz az U_y vektort és az U_x vektort sorbakötjük, akkor a $B - C$ transz-

formátor szekundertekercsének közepe, valamint az R_1-C_1 tagok csatlakozópontja között zérus feszültségkülönbséget kapunk. Teljesül tehát az a feltétel, hogy a szűrő (m_1-m_2) kimenő kapcsain tiszta pozitív sorrendű táplálás esetén nem kapunk feszültségkülönbséget.



2. ábra

Vizsgáljuk meg a periódusváltozás hatásának kiküszöbölését. Tételezzük fel először, hogy a periódus növekedett. Ebben az esetben a kapacitív tagok váltakozóáramú ellenállása lecsökken, ezzel együtt a rajtuk keletkező feszültségesés is kisebb lesz. Az U_x és U_y vektorok emiatt bekövetkező új helyzetét a 2. ábrán szaggatottan jelölt vektor mutatja. A vektorok abszolút értéke periódusváltozáskor nem változik a félkörön való mozgás miatt, szögváltozásuk pedig olyan értelmű, hogy mindkét vektor igyekszik továbbra is párhuzamos maradni, így a kimenő kapcsok közötti kiegyenlítetlenség a gyakorlatban előforduló periódusváltozások esetén elhanyagolhatóan kicsi marad. Ugyanilyen megfontolások érvényesek természetesen perióduscsökkenés esetére is. A 48... 52 Hz-es intervallumban a hiba nagysága kisebb mint 1 ezrelék, tehát valóban elhanyagolható.



3. ábra

Ha a szűrő bemenő kapcsaira tiszta negatív sorrendű feszültséget kapcsolunk, akkor a 3. ábra szerint alakulnak a viszonyok. A negatív sorrendű $A-C-B$ feszültségháromszög a pozitív sorrendűből úgy származtatható, hogy a helybenmaradó $A-B$ feszültségvektorhoz képest a $C-A$ vektor előreforgott, a $B-C$ vektor pedig visszafelé forgott 120° -kal. A $B-C$ vektorral mereven összekötött U_y vektor is visszaforgott tehát 120° -kal. Ha az U_x vektort a kapcsolás szerint hozzáadjuk U_y -hoz, kapjuk az U_M kimenő feszültséget, mely a negatív sorrendű feszültséggel arányos. Az arányossági tényező egyszerű geometriai megfontolásokkal meghatározható.

Válasszuk vonatkoztatási U_2 vektornak az A fázisfeszültséget. Ekkor az összefüggés U_M és U_2 között a következő:

$$U_M = \frac{3}{2} U_2 \angle 120^\circ$$

vagy a gyakorlatban szükséges U_2 értéke a mért U_M feszültség alapján:

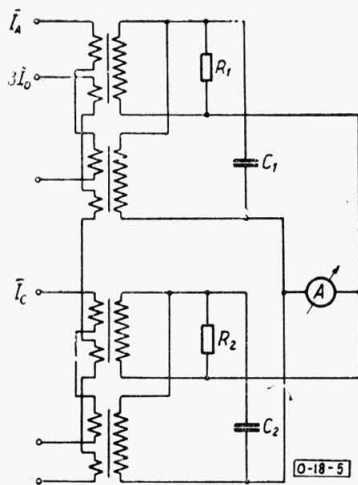
$$U_2 = \frac{2}{3} U_M \angle -120^\circ$$

Ha a bemutatott áramkör bemenetére valamilyen általános, torz feszültségháromszöget kapcsolunk, akkor a következő megfontolásokkal élhetünk: képzeljük el a torz feszültséget gondolatban pozitív és negatív sorrendű összetevőkre bontva. Alkalmazzuk a szuperpozíciós elvet. A pozitív sorrendű komponensek rákapcsolásakor, mint azt már láttuk, a szűrő kimenetén nem kapunk feszültségkülönbséget. A negatív sorrendű összetevő hatására viszont a vele arányos feszültség jelenik meg, a fenti képlet szerint éppen a $\frac{3}{2}$ -szerese 120° -kal előreforgatott irányban. Áramkörünk tehát negatív sorrendű szűrő, melyet a periódusváltozás nem befolyásol. (A 4. ábrán láthatjuk a periódusfüggetlen feszültségmérő prototípusát.)



4. ábra

A negatív sorrendű áramszűrők tervezésénél célszerű az ismert negatív sorrendű feszültség-szűrők-ből kiindulni és a dualitás elvét alkalmazni. Ennek az elvnek segítségével átalakíthatjuk a kívánt típusú feszültség-szűrőt a megfelelő duál áramszűrővé. Amíg azonban a feszültség-szűrőknél nem kell törődnünk a zérus sorrendű feszültségekkel azért, mert egyszerűen a vonali feszültségekre csatlakoztunk, melyek sohasem tartalmaznak ilyen összetevőt, addig a negatív sorrendű áramszűrőknél a zérus sorrendű áramok hatását is ki kell küszöbölni. A csillagba kapcsolt áramváltók szekunderében ugyanis megjelenik a zérus sorrendű összetevő is, ami a szűrő kimenő kapcsai között folyó áramértéket meghamisítja. Ezen pl. úgy tudunk segíteni, hogy a szűrőkben általában egyébként is szükséges kis közbenső áramváltókat két primer tekercssel látjuk el. Az egyik tekercset a teljes fázisáram gerjeszti, a másikat pedig, mely ellentétes polaritással van bekötve, a zérus sorrendű áram, amelyet az áramváltók csillagpontja, ún. Holmgreen ágából nyerünk. Mivel ebben az ágban a zérus sorrendű áram háromszorosa folyik, ez az ellentétes polaritású tekercselés a másik primer tekercshez képest egyharmad menetszámmal készül. Így mágneses úton mindig levonódik a fázisáramból a zérus sorrendű összetevő.



5. ábra

Egyébként az áramszűrőknél ugyanazon problémákat kell megoldani, mint a feszültség-szűrőknél. Itt is az egyik legnehezebben megoldható feladat a periódusváltozás zavaró hatásának kiküszöbölése. Az előzőleg ismertetett periódusfüggetlen feszültség-szűrő alapján azonban a dualitás elvének felhasználásával megtervezhetjük a periódusfüggetlen áramszűrőt. Ennek rajzát láthatjuk az 5. ábrán. Vektorábráinak felrajzolása és az arányossági tényező megállapítása teljesen hasonlóan történik, mint a feszültség-szűrőknél, ezért ezt nem érdemes részletezni.

III. Negatív sorrendű szűrők gyakorlati alkalmazása

A MÁV felkérésére foglalkoztunk az 50 periódusú, egyfázisú vasúti vontatás által az országos nagyfeszültségű hálózaton okozott aszimmetria vizsgálatával. Negatív sorrendű feszültség-szűrővel mértük az aszimmetriára mérvadó és fizikailag is helyesebb képet szolgáltató negatív sorrendű feszültség nagyságát. A használt szűrő érzékenységére jellemző az, hogy igen kicsi, 1% alatti U_2 értékeket sikerült pontosan kimutatnunk vele.

Jól alkalmazhatók a feszültség-szűrők sántaüzemi állapotban keletkező negatív sorrendű feszültség kimutatására és annak ellenőrzésére, hogy ez az összetevő nem lépte-e túl a megengedett értéket, mely esetben a sántaüzemi állapot megszüntetendő.

A negatív sorrendű áramszűrőknek főleg erőművi generátorok és nagyobb háromfázisú motorok forgórészének védelménél van fontos szerepe. A gépek által szolgáltatott, illetőleg felvett áram negatív sorrendű összetevője a gépben ellenforgó mezőt létesít. Az ellenforgó mező által a forgórészben indukált, esetleg jelentős áramok pedig azt meg nem engedhető módon túlmelegítik. Ez ellen a használt védelmi készülékek egyike sem nyújt védelmet. Ha azonban alkalmazunk egy áramszűrős negatív sorrendű túláramvédelmet, az minden ilyen esetben jelzést vagy kioldást ad. A VILLENKI-ben készítettünk ilyen védelmeket, melyek jelenleg Debrecenben és Szegeden vannak felszerelve.

A különböző összetevőszűrők önálló alkalmazáson kívül jól használhatók komplex védelmek elemeiként is, mivel ezzel bizonyos feladatok sokkal egyszerűbben oldhatók meg, s így az egész berendezés egyszerűbbé válik. Így felhasználhatók például nagyfrekvenciás szakaszvédelmekben, távolsági védelmekben lengékek esetén előforduló hibás megszólalások megakadályozására stb.

Befejezésül meg kell említeni még a különböző szűrős kapcsolások nagy előnyét és használhatóságát a hálózati kísérleteknél. Egyetlen műszerrel vagy oszcillográfhurokkal sokkal pontosabb eredményeket szolgáltatnak, mint a szokásos három műszeres eljárások, amelyek még utószámításokat, illetve szerkesztéseket is igényelnek. Ezenkívül ezek a készülékek a szimmetrikus összetevők módszerének alkalmazásával nyert elméleti eredmények közvetlen méréssel való ellenőrzését teszik lehetővé, ami mind oktatási, mind pedig gyakorlati szempontból igen hasznos.

IRODALOM

1. Фабрикант В. Л.: Фильтры симметричных составляющих. Госэнергоиздат, 1954.
2. Geszti—Kovács—Vajta: Szimmetrikus összetevők. Akadémiai kiadó, 1957.
3. Fedoszejev, A. M.: Villamos gépek és hálózatok védelme. Nehézipari Könyv- és Folyóiratkiadó Vállalat, 1954.
4. Bach—Weingart: Az egyfázisú terhelés hatása az országos hálózaton. (174. sz. VILLENKI jelentés, 1956).

Kettős földzárlatok szelektív védelme

BACH IVÁN
tudományos munkatárs

621.3.014.7:621.316.925

A cikk sugaras és hurkolt hálózatok kettős földzárlati védelmi kérdéseivel foglalkozik. Sugaras hálózatra megadja a két- és háromfázisú független késleltetésű túláramidővédelmek helyes felhasználását. Távolsági védelmekre vonatkozóan új, szabatos fáziskiemelési módszert ismertet.

A szigetelt csillagpontú vagy ívöltő tekercsen keresztül földelt hálózatok legdöntőbb előnye, hogy a leggyakrabban előforduló meghibásodás, az egyszeres földzárlat nem jelent a hálózat szempontjából rövidzárlatot. Éppen ezért — kivételes esetektől eltekintve — nem alkalmaznak olyan földzárlatvédelmet, amely lekapcsolásra működne, a földzárlat tényét legfeljebb jeleztetik. Gyakran a földzárlat — különösen ívöltő tekercsen keresztül földelt hálózatoknál — sajátmagától megszűnik és így semmiféle beavatkozást nem igényel.

Az egyszeres földzárlattal való esetleges tartós üzem ezzel szemben maga után vonja a kettős földzárlatok fellépésének lehetőségét, sőt az a körülmény, hogy földzárlatos üzemben a másik két fázis a földhöz képest a fázisfeszültség helyett nagyobb feszültségre, nevezetesen a láncolt feszültségre kerül, még valószínűvé is teszi ilyen meghibásodások bekövetkezését. Ez, mint látni fogjuk, védelemtechnikailag nehezebben megoldható feladatot ró a védelmi berendezések tervezőire, hiszen a kettős földzárlat a hálózatban szimultán hibát jelent, ami alkatilag sokkal bonyolultabb, mint az egyszeres meghibásodások.

Az alábbiakban közölt vizsgálatok alapján kitűnik, hogy a kettős földzárlatok szempontjából a sugaras hálózatoknál gyakran alkalmazott megoldás kedvezőtlen. Jelenleg általában a sugaras hálózatok táppontjában háromfázisú, a tápponttól távolabb pedig kétfázisú független késleltetésű túláram-idővédelmet alkalmaznak. Ez a megoldás — az egyébként egyszerű eszközökkel el nem kerülhető — felesleges fogyasztói kieséseket megnöveli. A vizsgálatok útmutatásai alapján a két- és háromfázisú túláramidővédelmek helyes elosztása megállapítható.

Hurkolt hálózatok esetében az általában alkalmazott távolsági védelemre vonatkozóan a vizsgálatok kimutatták, hogy a jelenleg használt, a zérus sorrendben túláram indítású védelmek adják a legkedvezőbb indítási módszert. A felesleges kiesések biztosabb elkerülésére a cikk a fáziskiemelés szabatosossá tételére új megoldást javasol.

I. Szelektivitási követelmények

Míg a közvetlenül földelt csillagpontú rendszerek meghibásodásainál, de a szigetelt csillagpontú, illetve ívöltő tekercsen keresztül földelt hálózatok egyszeres meghibásodásainál is, a szelektivitási követelmények megfogalmazása aránylag könnyű, kettős földzárlatoknál ez bizonyos nehézségekbe ütközik. Nyilvánvaló ugyanis, hogy egyszeres meghibásodásnál a védelmi rendszernek a zárlathoz

villamosan legközelebb eső megszakítók (sugaras hálózatonál esetleg egy) működtetésével kell a zárlatot megszüntetnie. Kettős földzárlatoknál rögtön felmerül a kérdés, hogy a védelem mindkét, vagy csupán az egyik zárlati helyet kapcsolja-e le. Tekintettel arra, hogy — mint előljáróban említettük — egyszeres földzárlattal az üzem fenntartható, — ez adja a szigetelt, illetve ívöltő tekercsen keresztül földelt rendszer előnyét — a szelektivitás ez esetben azt jelenti, hogy a védelmi rendszer csak az egyik földzárlati helyet kapcsolja le.

Itt rögtön felmerül az a kérdés, hogy a két földzárlati hely közül melyik kerüljön lekapcsolásra. Elvileg annak a földzárlati helynek a lekapcsolása volna kívánatos, amely vezeték szakasz-kieséssel nem jár egyúttal fogyasztói kiesés, illetve ha erre nincs mód, amelynek kikapcsolásával a fogyasztói kiesés a legkisebb. Mint látni fogjuk, bizonyos esetekben ez az elv betartható. Kétségetes keresztülviteléhez azonban arra volna szükség, hogy a védelmek ne csak arra tudjanak következtetni, hogy védett szakaszukon belül földzárlat lépett fel, hanem — legalább közelítően — meg tudják állapítani másik földzárlat helyét is.

Erre ebben a formában általában nincs lehetőség és éppen ezért a szelektivitás követelményét, tehát azt, hogy a két földzárlati hely közül csak az egyiknél történjék lekapcsolás, oly módon biztosítják, hogy a fázisok között bizonyos kiemelési sorrendet állapítanak meg. Az ugyanis aránylag könnyen eldönthető, hogy a kettős földzárlat melyik két fázisban lépett fel.

Az úgynevezett ciklikus fáziskiemelésnél a két zárlatos fázis közül következetesen mindig a fázis-sorrendben előálló (vagy az ellenkező) fázist kapcsolják le, tehát pl. olyan megoldásnál, ahol a fázis-sorrendben előálló kerül lekapcsolásra, *RS* kettős földzárlatoknál mindig az *R* fázis, *ST* kettős földzárlatoknál mindig az *S*, *TR* kettős földzárlatoknál pedig mindig a *T* zárlati hely feszültségmentesül.

A másik, úgynevezett aciklikus fáziskiemelésnél meghatározott fáziskiemelési sorrend van megállapítva, a szokásoknak megfelelően *T*, *R*, *S*, ami annyit jelent, hogy *TR*, illetve *ST* kettős földzárlatnál a *T* fázisban fellépő zárlati hely, míg *RS* kettős földzárlatoknál az *R* fázisban levő zárlati hely kerül lekapcsolásra. Az utóbbi kiemelési megoldás — mint erről még a későbbiekben szó lesz — sokkal egyszerűbben megvalósítható; előnye ezen túlmenően, hogy a sugaras hálózatok és hurkolt hálózatok együttműködésénél lehetővé teszi a távolsági védelmek és a túláram-idővédelmek egyidejű használatát. Gyakorlatilag csak az aciklikus fáziskiemelés terjedt el.

Összefoglalva megállapítható, hogy kettős földzárlatoknál a szelektivitásnak azt a követelményét, hogy csak az egyik zárlati hely kerüljön

lekapcsolásra, a védelmi rendszer vagy a legkisebb teljesítménykiesés szem előtt tartásával, vagy az aciklikus fáziskiemelés következetes megvalósításával oldja meg. A két rendszer egyébként nem minden esetben tartalmaz ellentmondást.

II. A védelmi megoldások áttekintése

Abból a célból, hogy a legkisebb teljesítménykiesés, illetve az aciklikus fáziskiemelés elvének alkalmazását könnyebben áttekinthessük, az általánosan alkalmazott védelmi megoldásokat ebből a szempontból rendszerezni fogjuk.

A zárlatvédelmi berendezések a szelektivitás biztosítását tekintve három csoportra oszthatók.

Az első csoportba azok a védelmek tartoznak, amelyek csak alapvédelmi szakaszukon belül bekövetkező zárlatok esetén lépnek működésbe. Itt tehát az észlelt — általában villamos — mennyiség megváltozásakor a védelem közvetlenül kioldó parancsot ad és a szelektivitás biztosításához nincs szükség késleltetésre. Ebbe a csoportba tartozik pl. valamennyi különbözeti elven működő védelem, de az árambehatárolású túláramvédelem is. Tekintettel arra, hogy itt a szelektivitás elbírálására elegendő a megfelelő villamos mennyiség érzékelése, ezt a szelektivitási elvet nevezzük villamos szelekciónak.

A második csoportba azokat a védelmeket soroljuk, amelyeknél a szelektivitást — a zárlat tényének érzékelésén túlmenően — pusztán a védelmek megfelelő időzítésével érjük el. Itt a független késleltetésű túláram-idővédelmet hozhatjuk fel példának. A szelektivitást ez esetben az időzítés biztosítja, nevezzük ezért ezt a szelektivitási elvet időszelekciónak.

Vannak olyan védelmek, amelyek a szelektivitás biztosítására mindkét módszert, tehát a villamos szelekciónak és az időszelekciónak együtt használják fel. Erre a megoldásra függő karakterisztikájú túláram-idővédelem és a távolsági védelem szolgáltat példát. Nevezzük az ennek megfelelő szelektivitási elvet villamos-időszelekciónak.

Kettős földzárlatoknál a szelektivitási elv szempontjából döntően meg kell különböztetnünk a második csoportba tartozó védelmeket, tehát elsősorban a túláram-idővédelmet. Ez a védelmi típus sugaras hálózatokon kerül alkalmazásra és egyszeres meghibásodásoknál mindig biztosítja, hogy a lekapcsolás szelektív legyen, csakis a zárlat által érintett fogyasztók energiaszolgáltatásában álljon be zavar.

A kettős földzárlatoknál említett két szelektivitási elv, tehát a legkisebb fogyasztói teljesítménykiesés, illetve az aciklikus fáziskiemelés megfelel a védelmeknél az időszelekciónak, illetve villamos szelekciónak elvének. A legkisebb teljesítménykiesés elvét ugyanis főképpen sugaras hálózatoknál alkalmazhatjuk, ahol az elv megvalósítására az időlépcsőzés szolgál. Az aciklikus fáziskiemelés tulajdonképpen a szelektivitást villamos érzékelés útján valósítja meg, a védelmek megállapítják, melyik a két földzárlattal érintett fázis és ezután csak a

kiemelt fázisban fellépő zárlati hely lekapcsolását engedélyezik az alkalmazott védelmi rendszernek megfelelően villamos- vagy villamos-időszelekciónal.

Az eddigiekből nyilvánvaló, hogy a legkisebb teljesítménykiesés elve csakis ott kerülhet alkalmazásra, ahol a védelmi rendszer csupán időzítéssel végzi el a szelekciónak. Minden olyan esetben, ahol a szelektivitás biztosítása villamos mennyiségek mérésére útján történik, tehát felosztásunkban az első és a harmadik csoportba sorolt védelmeknél, csakis aciklikus fáziskiemelés jöhet szóba a kettős földzárlati szelektivitás megvalósítására. Éppen ezért az alábbiakban külön vizsgáljuk meg az időszelekciónal dolgozó túláram-idővédelmi rendszer működését kettős földzárlatoknál és itt figyelembe vesszük mind a két szelektivitási elv — a legkisebb teljesítménykiesés és az aciklikus fáziskiemelés — megvalósítási lehetőségeit. A bonyolultabb, villamos szelekciónak is felhasználó védelmi rendszerek vizsgálatánál elsősorban azt fogjuk szem előtt tartani, hogy az aciklikus fáziskiemelési módszer, mint a kettős földzárlati szelektivitás biztosításának gyakorlatilag egyetlen lehetséges eszköze, milyen módon vihető a legkövetkezetesebben keresztül, hogy a felesleges lekapcsolásokat elkerüljük.

III. Túláram-idővédelmi rendszer vizsgálata

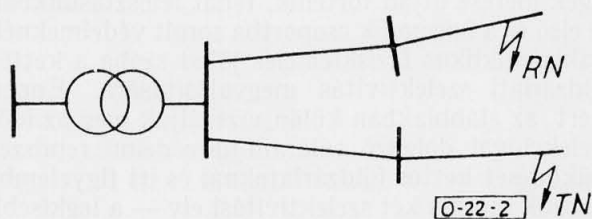
A sugaras hálózatoknál a védelem egyszerűsége miatt igen gyakran alkalmazott túláram-idővédelmeknél gyakorlatilag két megoldás jöhet szóba. Az első esetben a vezeték mindhárom fázisában alkalmazunk áramváltót, illetve túláramrelét, a másik esetben csak az R és T fázisban van túláramvédelem felszerelve. Egyszeres meghibásodás esetén mindkét rendszer biztosítja a teljes időszelekciónak, vagy másszóval — ami ezzel egyenértékű — a zárlatot mindig a zárlathoz legközelebb eső megszakító kapcsolja le, csak a meghibásodás által érintett fogyasztók maradnak ellátatlanul.

Kettős földzárlatok esetén azonban a kétfázisú és háromfázisú túláram-idővédelem nem egyenértékű. Vizsgáljuk ugyanis az I. ábrán feltüntetett esetet. Itt a tápponttól messzebb S fázisban lép fel földzárlat, míg a másik földzárlat a T fázisban, a tápponthoz csatlakozó leágazáson keletkezett. A háromfázisú túláram-idővédelem azt a szakaszt kapcsolja le, amely távolabb van a tápponttól és így tulajdonképpen biztosítja a legkisebb fogyasztói kiesés elvének teljesülését. A kétfázisú túláram-idővédelem azonban — ebből a szempontból helytelenül — a tápponthoz közelebbi szakaszt, a T fázisban fellépő zárlati helyet feszültségmentesíti, ami nagyobb fogyasztói kiesést okoz. Ez esetben tehát a háromfázisú túláram-idővédelem az előnyösebb.



I. ábra

Tételezzük fel most, hogy a 2. ábra szerint mindkét zárlati hely más leágazásban, de azonos időzítéssel védett szakaszon lépett fel. Ez esetben a háromfázisú túláram-idővédelem mindkét zárlatos szakaszt lekapcsolja, többletkiesést okozva, míg a kétfázisú túláram-idővédelem csak a T fázis zárlatos szakaszát feszültségmentesíti. Ilyenkor tehát a kétfázisú túláram-idővédelem mutatkozik előnyösebbnek.



2. ábra

Az első esetben a többletkiesés azáltal állt elő, hogy a megszakítás a tápponthoz közelebb levő szakaszban történt. Az az elv azonban, hogy csak egy zárlati helyet kapcsoljunk le, továbbra is érvényes volt. A második esetben a háromfázisú túláram-idővédelemnél — de ugyanez a helyzet RT kettős földzárlatoknál kétfázisú túláram-idővédelem esetén is — a többletkiesés annak következtében lép fel, hogy feleslegesen mindkét zárlati hely lekapcsolódik. Itt tehát az eredeti szelektivitási elv már nem teljesül. A továbbiakban arra törekszünk, hogy minél kisebb teljesítménykiesés álljon elő.

Annak eldöntése tehát, hogy melyik megoldás előnyösebb, a fellépett zárlat jellegétől függ, illetve ha valamennyi zárlat fellépésének valószínűségét azonosra vesszük, a hálózatkép függvénye. Úgy foghatjuk fel a viszonyokat, hogy a háromfázisú túláram-idővédelem mindig időszelekcióval dolgozik, a kétfázisú túláram-idővédelem RS és ST kettős földzárlatoknál villamos szelekciót, TR kettős földzárlatoknál pedig szintén időszelekciót alkalmaz. Ez utóbbit a továbbiakban vegyes szelekciónak nevezzük.

A viszonyok, tisztázására idealizált hálózatot feltételezve, vizsgálatokat végeztünk a két rendszer összehasonlítására. Az idealizált hálózatnál felvettük, hogy n teljesen egyforma leágazása van, amelynek mindegyike azonos m vezeték szakaszból áll. A fogyasztók az $n \cdot m$ állomáson egyenletesen vannak elosztva, tehát ha a hálózat teljes fogyasztását egységnyiinek vesszük, egy állomás fogyasztása $\frac{1}{n \cdot m}$.

A függelékben elvégzett számításnál mind a két esetre három mutatót számoltunk ki. Az első azt adja meg, hogy a kettős földzárlatok hány százaléka okoz felesleges kiesést. A második megadja, hogy egy átlagos kettős földzárlati lekapcsolásnál az összes fogyasztó hány százaléka esik ki feleslegesen az energiaszolgáltatásból. A harmadik sor megadja,

hogy a hiba kiküszöbölésére elkerülhetetlenül lekapcsolásra kerülő fogyasztói teljesítményhez viszonyítva mekkora az átlagos zárlati esetben a feleslegesen lekapcsolt fogyasztók viszonylagos teljesítménye.

Kézenfekvő az a gondolat, hogy a viszonyok kedvezőbbé tételére a háromfázisú, illetve kétfázisú túláram-idővédelmet együttesen alkalmazzuk. A függelékben közölt számítás szerint a legkedvezőbb viszonyokat akkor kapjuk, ha a tápponthoz csatlakozó vezeték szakaszon kétfázisú, a fogyasztóhoz közel eső szakaszon pedig háromfázisú túláram-idővédelmet alkalmazzunk, mégpedig oly módon, hogy a védelmek elosztása egyenlő legyen, illetve ha a vezeték szakaszok száma páratlan, a kétfázisú védelmek száma 1-gyel nagyobb. Tehát pl. három vezeték szakasz esetén a tápponttól számítva az első kettőben kétfázisú, a harmadikban pedig háromfázisú védelmet kell alkalmazni. Ezt a védelmi rendszert kombinált rendszernek neveztük.

A jelenlegi gyakorlat szerint gyakran kétfázisú túláram-idővédelmet használnak, kivételt képez a táppont, ahol a védelem háromfázisú. Ez a megoldás a fordított rendszer. A fordított rendszerre vonatkozó számításokat nem közöljük, csak a végeredményt adjuk meg. A táblázatban mind a négy megoldásra, tehát a háromfázisú- és kétfázisú túláram-idővédelemre, a kombinált rendszerre és a fordított rendszerre feltüntetjük a feleslegesen kikapcsolódó fogyasztói teljesítményeket a szükséges teljesítménykiesés százalékában kifejezve. Mint látható, az általunk javasolt kombinált rendszer gyakran jelentős előnyöket biztosít kettős földzárlatoknál.

Külön fel kell hívni a figyelmet, hogy a jelenlegi gyakorlat ebből a szempontból alapvetően hibás. A feszültségkimaradásra érzékeny fogyasztóknál pl. semmiképpen sem helyes háromfázisú túláramvédelmet alkalmazni, mivel ez azzal a következménnyel jár, hogy kettős földzárlatoknál gyakrabban kapunk lekapcsolást.

$m \rightarrow$ $n \downarrow$	1	2	3	4
1	∅ ∅ ∅ ∅	∅ 13,3 ∅ 6,7	∅ 19,1 ∅ 11,9	∅ 22,2 ∅ 11,1
2	50,0 16,7 16,7 50,0	25,0 23,0 16,7 30,0	16,7 26,2 14,3 26,2	12,5 27,8 11,1 25,6
3	66,7 22,2 22,2 66,7	33,3 26,7 22,2 37,7	22,2 28,6 17,5 30,9	16,7 29,7 14,1 28,9
4	75,0 25,0 25,0 75,0	37,5 28,4 25,0 41,7	25,0 29,8 19,0 33,3	18,7 30,6 15,6 29,2

1. sor időszelekció

$$t = \frac{3(m+1)(n-1)}{n(2m^2+3m+1)}$$

2. sor vegyes szelekció

$$t = \frac{(m+1)(2nm+n-3)}{3n(2m^2+3m+1)}$$

3. sor kombinált rendszer

$$t = \frac{(3m-1)(n-1)}{n(2m^2+3m+1)} \text{ ha } n > 1 \text{ és } m \leq 2$$

és

$$t = \frac{(3m^2-5m+4)(n-1)+4n}{nm(2m^2+3m+1)} \text{ ha } n > 1 \text{ és } m > 2$$

4. sor fordított rendszer

$$t = \frac{2nm^2-3m+16n-15}{3n(2m^2+3m+1)}$$

Természetesen ez az idealizált hálózatkép a gyakorlatban sehohsem fordul elő. Ennek ellenére azonban az itt nyert eredmények jó tájékoztatást nyújtanak.

IV. Ciklikus kiemelés — aciklikus kiemelés

Mint előzetesen említettük, az aciklikus kiemelésnek a ciklikussal szemben mutatkozó előnye miatt gyakorlatilag mindenütt az előbbi megoldást használják. E helyen szeretnénk röviden ezekre az előnyökre rámutatni.

Hálózati szempontból a kétféle kiemelési rendszer között abból a szempontból nincs különbség, hogy a kívánt feladatot, a kettős földzárlatok szelektív — tehát csak az egyik zárlati helyre kiterjedő — lekapcsolását mindkét megoldás szabatosan és helyesen elvégzi. Az aciklikus kiemelés előnyei a védelemtechnikai megoldás területén jelentkeznek.

Az aciklikus kiemelés legjelentősebb előnye már a túláram-idővédelem tárgyalásánál kitűnik, nevezetesen az a megoldás, amikor a védelmet csak két fázisban, az R -ben és T -ben építjük ki (pl. szakaszvédelmeknél), illetve ezzel egyenértékű megoldást alkalmazunk (pl. távolsági védelmeknél kétfázisú indítás), a kettős földzárlatok átlagosan 2/3 részénél, nevezetesen RS és ST zárlatoknál minden külön intézkedés nélkül az aciklikus kiemelésnek megfelelő szelektív működést kapunk. Külön fáziskiemelő megoldásra tehát TR kettős földzárlatok esetén van szükség. Ezen túlmenően az aciklikus kiemelés alkalmazása megkönnyíti távolsági védelemmel védett hálózatrészeknek kétfázisú túláram-idővédelemmel védett hálózatrészekkel való összekapcsolását, amennyiben az esetek döntő többségében kettős földzárlatoknál is szelektív működést kapunk. Ciklikus kiemelés mellett gyakran állna elő az a helyzet, hogy mind a távolsági védelem, mind a túláram-idővédelem lekapcsolja a védett szakaszán belül fellépő földzárlati helyet.

Ilyenkor egyébként csak háromfázisú túláramvédelem alkalmazható, mert különben előfordulhat, hogy egyik védelem sem kapcsolja le a zárlatot.

Végül még egy fontos szempontra szeretnénk rámutatni, amely az aciklikus megoldás előnyeire utal. A fáziskiemelést távolsági védelmeknél — de esetleg egyéb védelmeknél is — a megszólt túláram vagy impedancia indítóelemek alapján valósítjuk meg. Ez mind ciklikus, mind aciklikus megoldásnál általánosan szokásos. Mint a későbbiekben látni fogjuk, az általában túláram, esetleg impedancia indítóelemek megszóllásából nem lehet egyértelműen a másik földzárlatos fázisra következtetni és éppen ezért különleges — a célra alkalmas — kapcsolások, illetve elemek segítségével kell a szabatos fáziskiemelést biztosítani. Erre aciklikus kiemelésnél — ahol, mint említettük, csak a TR kettős földzárlatoknál van ilyen megkülönböztetésre szükség — aránylag könnyen mód nyílik, ugyanakkor azonban ciklikus kiemelésű védelmeknél ez további bonyodalmakat okoz.

Mint látható, a különböző védelmi fajták helyes együttműködése, de a védelmi megoldások egyszerűsítése szempontjából is az aciklikus kiemelés olyan előnyöket biztosít, hogy más kiemelés alkalmazásának nem volna értelme.

Itt helyes kicsit bővebben elemezni azt a körülményt, hogy villamos és villamos-időszelekciós védelmeknél csakis a fáziskiemelés alkalmazható. Ez a körülmény általában nem jelent lényeges hátrányt, mivel ilyen védelmek alkalmazási területe elsősorban a hurkolt hálózat, vagy hurkolt hálózatrész. Ilyenkor eltekinthetünk a legkisebb teljesítménykiesés elvétől, hiszen a hurkolt hálózat egy elemének kiiktatása nem jár fogyasztói kieséssel.

Az aciklikus kiemelés szerepe így még világosabban kitűnik, ugyanis lehetővé teszi, hogy a hálózat hurkolt részén fáziskiemelést alkalmazzunk, a sugaras vezetékálgazásoknál viszont módunk van a korábbi eredmények felhasználására. Bonyos szempontból előnyt jelent az is, hogy olyan kettős földzárlatokat, amelyek közül az egyik a hurkolt hálózatrészre, a másik pedig a sugaras hálózatrészre esik, általában a hurkolt hálózat védelme szünteti meg. A hurkolt hálózatrészen szokásosan alkalmazott távolsági védelmek ugyanis általában gyorsabb működésűek, mint a túláram-idővédelem — különösen a tápponthez csatlakozó szakaszon — és így (ismét helyesen) a kettős földzárlat megszüntetése fogyasztói kiesés nélkül oldható meg.

V. Az aciklikus kiemelés és megvalósítása

Mint említettük, a villamos szelekciót is felhasználó védelmeknél feltétlenül kívánatos a kettős földzárlati villamos szelekció, az aciklikus kiemelés megvalósítása. RS és TS zárlatoknál az előbbiek szerint az S fázisban a mérés elhagyásával lehet biztosítani a kiemelést. Így pl. szakaszvédelmeknél csak az R és T fázisban alkalmazzunk védelmet, míg távolsági védelmeknél csak az R , illetve T

fázisban végzünk földzárlati mérést, ennek megfelelően az S fázisban az indítóelem is elmarad.

TR zárlatoknál a fáziskiemelés megvalósítására túláramot, a feszültségcsökkenést, illetve a feszültségháromszög eltorzulását használhatjuk fel. Mindhárom megoldás bármely védelemnél alkalmazásra kerülhet.

Túláram alapján történő kiemelésnél a T fázisban jelentkező túláram megakadályozza az R fázisban levő mérőelem működését, illetve egy-mérőelemes távolsági védelmeknél a mérőelemet a T fázis és a föld közé kapcsolja. Ez a megoldás igen egyszerű és előnye, hogy pl. szakaszvédelemmel ellátott leágazásoknál külön feszültségváltó beépítését nem teszi szükségessé. A távolsági védelmeknél a túláram indítóelemek formájában már a túláramrelék maguk amúgyis rendelkezésre állnak, a fenti művelet tehát a védelem megfelelő belső huzalozásával könnyen teljesíthető. A gyakorlatban úgyszólván valamennyi távolsági védelem ilyen, túláram alapján történő fáziskiemeléssel működik.

Ennek a megoldásnak tulajdonképpen csak egyetlen hátránya van, nevezetesen az, hogy nem mindig teljesül a kiindulási alapfeltétel, nem minden TR kettős földzárlatnál kapunk az egész zárlati árampályán T -ben is túláramot. A 2. ábra alapján ez teljesen nyilvánvaló, hiszen a két sugaras vezeték közül az egyikben R fázisban és O -ban, a másikban pedig T fázisban és O -ban folyik a zárlati áram. Túláram alapján történő kiemelés esetében ilyenkor a védelmi rendszer tévesen nem tiltja le az R fázisban a kioldást és — ha távolsági védelmet feltételezve mindkét zárlat azonos időfokozatra esik — a védelmi rendszer nem szelektíven, mindkét zárlati helyet lekapcsolja.

Ez az eset nemcsak sugaras, hanem hurkolt hálózatoknál is felléphet, ha ugyanis a T fázis zárlati helye a tápponthoz (táppontokhoz) aránylag közel, az R fázisé pedig messze lépett fel, előfordulhat hogy az R fázis zárlati helyének közelében felszerelt védelmeknél a T fázisban az indítóelem nem tud megszólalni.

Éppen ezért felmerül az a gondolat, hogy a fáziskiemelés megvalósítására — minden esetben csak TR kettős földzárlatokról van szó — az R és T fázisok közötti láncolt feszültség letörése alapján következtessünk. TR zárlatoknál természetesen minden esetben letörik az U_{TR} feszültség, azonban a feszültségletörés nagysága változó, kedvezőtlen esetben a zárlathoz legközelebb levő relénél az ép feszültség felének nagyságrendjében mozog. Ugyanekkor RS zárlatoknál — amikor az R fázisban kell a védelemnek mérnie — közel a zárlati helyhez T és R fázis közötti láncolt feszültség a fázisfeszültségre törhet le. Mint láthatjuk, a feszültségcsökkenési relé beállítása, amelynek feladata a TR kettős földzárlat érzékelése, eléggé kényes- és a hálózati feszültség nagyságának ingadozása miatt a 0,5 és a 0,576 érték közé való beállítás megbízható elhatárolást már nem ad. A módszernek ezen túlmenően hátránya még, hogy a szakaszvédelmek-

nél vagy ezeknek megfelelő védelmeknél a T és R fázisok közé külön feszültségváltó beiktatását teszi szükségessé, a távolsági védelmeknél pedig a meglévő indítóelemeket feszültségcsökkenési relével kell kiegészíteni. A megoldás kétségkívül előnye, hogy a jelenség — a láncolt feszültség letörése —, amelynek működése alapszik, mindenképpen bekövetkezik, arról lehet csak szó, hogy a szabatos érzékelés nehézségekre ütközik.

A két megoldás ki nem elégítő volta miatt születtek meg a feszültségháromszög eltorzulásának érzékelésén, helyesebben az eltorzulás módja alapján működő kapcsolások. A legegyszerűbb kapcsolat feszültséghányados relével vagy feszültségirányrelével történik. RS kettős földzárlatoknál az U_{RS} feszültség kisebb mint U_{TR} , illetve TR kettős földzárlatoknál U_{TR} kisebb mint U_{RS} . Ezt a tényt fel lehet használni a fáziskiemelés megvalósítására, ugyanis a két feszültséget a feszültséghányadosrelé kapcsaira csatlakoztatva, a relé megszólalása egyértelműen eldönti, hogy reteszelni kell-e az R fázisban a mérést vagy sem. Ugyanígy történhet az S és T fázisfeszültség összehasonlításán alapuló érzékelés, TR kettős földzárlatnál mindig nagyobb az S fázisfeszültség mint a T .

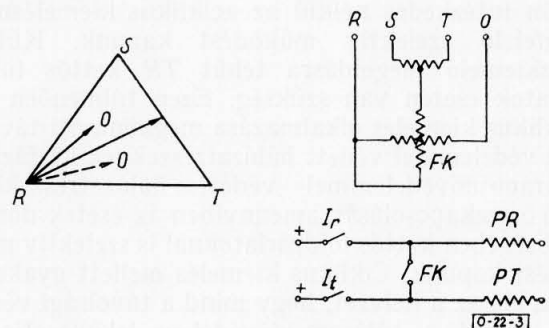
Az ismertett megoldás *A.E.G.* szabadalom.

Megoldható azonban a fáziskiemelés feszültségirányrelével, tehát olyan relével, melynek nyomatéka

$$M = c \cdot U_I \cdot U_{II} \sin(U_I U_{II})$$

alakú. Képezzük ugyanis az R fázishoz tartozó háromszög súlyvonal-feszültségét és vizsgáljuk meg, hogy az R fázisfeszültség fázishelyzete hogyan alakul súlyvonal-feszültségéhez képest. A 3. ábrán feltüntetett pozitív irányok mellett nyilvánvaló, hogy RS kettős földzárlatnál a fázisfeszültség vektora megelőzi, TR kettős földzárlatoknál pedig elmarad a súlyvonal feszültség mögött (szaggatott vonallal jelölve). Ezt a két mennyiséget feszültségirányrelé kapcsaira vezetve, a fáziskiemelés megvalósítható.

A fáziskiemelési megoldások különböző védelmi berendezéseknél való alkalmazása az elmondottak alapján igen egyszerű. Pl. szakaszvédelmeknél TR kettős földzárlatok alkalmával az érzékelő elem letiltja az R fázisba beépített védelem kioldó parancsát.



3. ábra

Távolsági védelmeknél nem ez a helyzet, ugyanis — mint említettük — a távolsági védelmek olyan kialakításúak, hogy R és T túláram indítóelem egyidejű megszólalásakor — itt persze feltételezzük, hogy kettős földzárlat lépett fel és a zérus sorrendű túláram indítóelem is megszólalt — a védelem belső huzalozása olyan, hogy a mérőelemet T fázis és a föld közé kapcsolja. Amennyiben nem elégszünk meg az úgyszólván önmagától kiadódó, túláram alapján történő fáziskiemeléssel, akkor a külön fáziskiemelésnek tulajdonképpen nincs más feladata, mint a védelem számára a zárlatot oly módon kell leképeznie, mintha T fázisban is megszólalt volna a túláramelem. A változt belső kapcsolás szerint látható, hogy R fázisú indításnál, ha a fáziskiemelő mérőelem TR kettős földzárlatot érzékel, a T fázis indítóeleméhez tartozó segédrelét is megszólaltatja és a védelem belső huzalozásának megfelelően, helyesen, a T fázisban fogja a zárlatot mérni.

A feszültségirányrelén alapuló érzékelés Intézetünk szolgálati találmánya.

VI. Egy vezeték szakaszon fellépő kettős földzárlatok

Az eddigiekben aciklikus fáziskiemeléses védelmeknél azt a problémát vizsgáltuk meg, milyen módon lehet a szelektivitást biztosítani abban az esetben, ha a zárlati áram pályán felszerelt védelmek közül vannak olyanok, amelyeknél a túláram indítóelemek megszólalása alapján a zárlat fajtájára való következtetés helytelen lenne. Ez RT kettős földzárlatoknál állt elő.

Előfordulhat azonban olyan kettős földzárlat is, amikor a relék megszólalásaiából a földzárlat ténye nem derül ki egyértelműen. Ez, mint könnyen belátható, akkor áll elő, ha a két zárlati hely egyetlen vezeték szakaszon lép fel és a teljes vagy túlnyomó zérus sorrendű áram a két zárlati hely közötti vezetékdarabon jelentkezik csupán, a relék beépítési helyén zérus sorrendű áram vagy egyáltalában nem, vagy csak olyan kismértékben jelentkezik, hogy a zérus sorrendű túláram indítórelét megszólaltatni nem tudja.

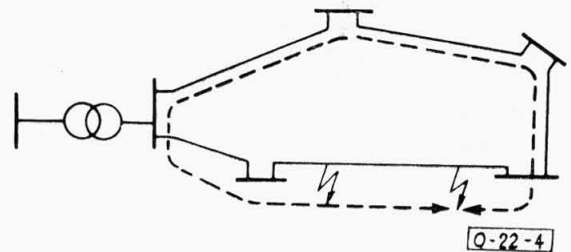
Erre az esetre vonatkozóan a védelmek működését külön meg kell vizsgálni. Sugaras hálózaton túláram-idővédelmet feltételezve, a zárlat lekapcsolása szelektíven történik. Ugyanez a helyzet szakaszvédelemmel védett hálózatrészeknél. A problémát a távolsági védelmek helyes mérése okozza.

Alábbiakban a hálózatkép jellege szerint három, a távolsági védelmek belső kapcsolása szerint ugyancsak három esetet különböztetünk meg és így a kiadódó elvileg kilenc esetből állapítjuk meg, melyik az a megoldási mód, amely a helyes működés szempontjából leginkább megfelel.

A három hálózati kép a következő:

1. zérus sorrendűen hurkolt hálózat,
2. csak pozitív-negatív sorrendben hurkolt hálózat,
3. sugaras hálózat.

ad 1. Zérus sorrendűen hurkolt hálózatrész a mi szempontunkból definíciószerűen azokat a hálózatrészeket jelenti, ahol a 4. ábra szerint elegendő nagyságú zérus sorrendű áram folyik nemcsak a két zárlati hely közötti úton, hanem visszafelé, a relék beépítési helyén keresztül adott hurkon át is. Az „elegendő nagyságú” alatt olyan áramot értünk, amely a zérus sorrendű túláram indítóelemet meg tudja szólaltatni. A hálózati viszonyoktól függően tehát a mi szempontunkból egy hálózatrész egy adott zárlatnál zérus sorrendűen hurkoltnak minősülhet, más zárlatoknál viszont csak pozitív vagy negatív sorrendűen hurkolt lesz.



4. ábra

ad 2. A pozitív-negatív sorrendűen hurkolt hálózatrésznél a kétoldali táplálás lehetősége adott, azonban a zérus sorrendű hurok áram oly kicsi — akár azért, mert a hurok zérus sorrendű impedanciája nagy, akár azért, mert a két zárlati hely viszonylag közel van egymáshoz és így a hurok áramot lesóntóli —, hogy a zérus sorrendű túláram indítórelét megszólaltatni nem tudja.

ad 3. A sugaras hálózatrész meghatározása megegyezik a szokásossal.

Az alkalmazott távolsági védelmek belső kapcsolása szerint a földzárlat mérés szempontjából szintén három megoldást különböztetünk meg:

- a) többmérőelemes kapcsolás,
- b) zérus sorrendű túláramindítási kapcsolás,
- c) zérus sorrendű feszültségindítási kapcsolás.

ad a). Többmérőelemes védelmeknél — az eddigiekben erről nem volt még szó — külön mérőelem szolgál az R és O , illetve a T és O közötti mérésre. A fáziskiemelés szerepe itt más, mint az egymérőelemesnél, ott az egyetlen mérőelemet kapcsolta az R illetve T fázisú földzárlatok mérésére, itt a védelem kapcsolása RT kettős földzárlatoknál az R fázis mérőelemének parancsát letiltja.

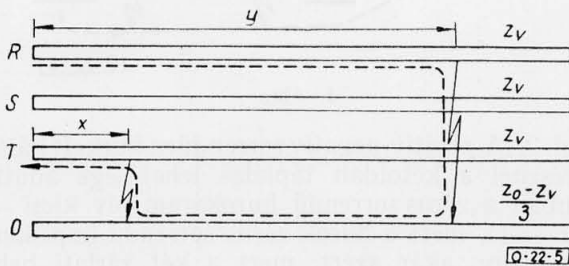
ad b). Ebbe a kategóriába tartoznak a szokásos egymérőelemes középfeszültségű távolsági védelmek, mégpedig mind a túláram-, mind az impedancia indításúak. A mi szempontunkból csak az döntő, hogy zérus sorrendben az indítás túláram-elemmel történik.

ad c). Jóllehet ilyen védelmek a gyakorlatban nincsenek, ezt az esetet is megvizsgáltuk. Gyakran felmerült ugyanis az a gondolat, hogy a földzárlat tényét a zérus sorrendű áram helyett a zérus sorrendű feszültséggel érzékeljük. Ennek a megoldásnak az az előnye, hogy gyakorlatilag minden földzárlat esetében, helyesen, földzárlatot érzékel a védelem még olyankor is, ha a védett vezetéken

zérus sorrendű áram egyáltalában nem, vagy csak igen kismértékben folyik. A fázisokban természetesen továbbra is túláram, esetleg impedancia indítást tételezünk fel.

Az alábbiakban a három hálózatkép adta körülményeket összevetjük a háromfajta védelem lehetőségeivel.

A viszonyok tanulmányozására legcélszerűbb a vezeték szakasz ún. négyvezetékes helyettesítő kapcsolását használni. A Függelékben közölt módon igazolható, hogy szabadvezetékek esetében — de minden olyan hálózati elemnél, ahol $Z_1 = Z_2$ egyenlőség fennáll — a hálózati elem négy impedanciával helyettesíthető, amelyek közül három a fázisokban, egy pedig a zérus sorrendű vezeték helyén van beiktatva; a fázisimpedanciákon keresztül a fázisáramok, a nullavezető impedanciáján keresztül pedig a zérus sorrendű áram háromszorosa folyik. (lásd 5. ábra)

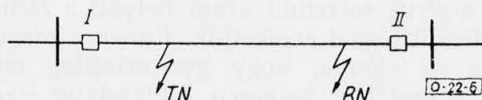


5. ábra

A Függelékben közölt számítás szerint a védelem, helyesen, csak a felszerelési helyhez közelebb fekvő földzárlati helyet tudja bemérni. A távolabb fekvő zárlati helynél a látszólagos közbenső betáplálás a mért zárlati impedanciát jelentősen megváltoztatja.

Vizsgáljuk most meg a zérus sorrendűen hurkolt hálózatok esetét. Itt feltételünk értelmében valamennyi védelem, helyesen, földzárlatot érzékel, mégpedig a kiemelt fázisban. Az a védelem, amely a kiemelt fázis zárlati helyét az előbbi közbenső betáplálási hatás nélkül méri, tehát a 6. ábrán az I. védelem, helyesen mér, míg a II. védelem a zárlatot messzebbre érzékeli. Az I. védelem tehát szelektíven és idejében lekapcsol, a II. védelem vagy ugyanezt teszi, vagy túlmérés miatt a kikapcsolással késedelmeskedik. Az I. védelem lekapcsolása után azonban a hálózat sugaras hálózattá alakul át, úgyhogy a zérus sorrendűen hurkolt esetben a következőket rögzíthetjük le: A védelem legalább az egyik oldalról a zárlatot szelektíven és helyesen lekapcsolja. Ezzel a hálózat sugaras hálózattá alakul át.

A másik két hálózatrészen fellépő zárlatok vizsgálata előtt azonban tisztáznunk kell a fázis-fázis és fázis-föld impedancia viszonylagos nagyságát.



6. ábra

VII. Fázis-fázis és fázis-föld hurok impedanciája

Számítsuk ki, mit mér kettős földzárlatok alkalomával sugaras hálózaton a védelem, amely a zárlatot kétfázisú zárlatnak érzékeli. Az egyszerűség kedvéért tételezzük fel, hogy a teljes szakaszon az áram a földön keresztül folyik, az egyik zárlati hely közvetlenül a vezeték csatlakozó pontján lép fel (az 5. ábrán $x = 0$). Ekkor a mért impedancia:

$$\frac{U_R - U_T}{I_R - I_T} = \frac{1}{2} \left(Z_v + \frac{Z_0 - Z_v}{3} \right).$$

Amennyiben jó átlagértékként feltételezzük, hogy a Z_0 zérus sorrendű impedancia a fázisimpedanciának háromszorosa, azt a meglepő és paradoxonnak ható eredményt nyerjük, hogy az ily módon definiált fázis-föld hurok impedanciája a fázis-fázis közötti hurok impedanciájának 5/6-a, vagyis az utóbbinál kisebb. Tekintettel arra, hogy általában a fázis-föld hurok impedanciáját vélik nagyobbának, ez bizonyos magyarázatot igényel.

A gondolati eltérés részben onnan ered, hogy a két impedanciát általában nem azonos módon definiálják, a távolsági védelmek sem azonos módon érzékelik. A fázis-fázis közötti zárlatnál a láncolt feszültséget, tehát a kapocsfeszültséget a fázisáramok különbségével osztják, ami — sugaras hálózathoz — egyúttal a zárlati áram kétszerese. Tehát RS zárlatnál

$$Z_v = \frac{U_R - U_S}{I_R - I_S}$$

Földzárlatoknál viszont a fázisfeszültséget, tehát ismét a kapocsfeszültséget, a korrigált fázisárammal osztják. PI. R fázisban történő méréskor

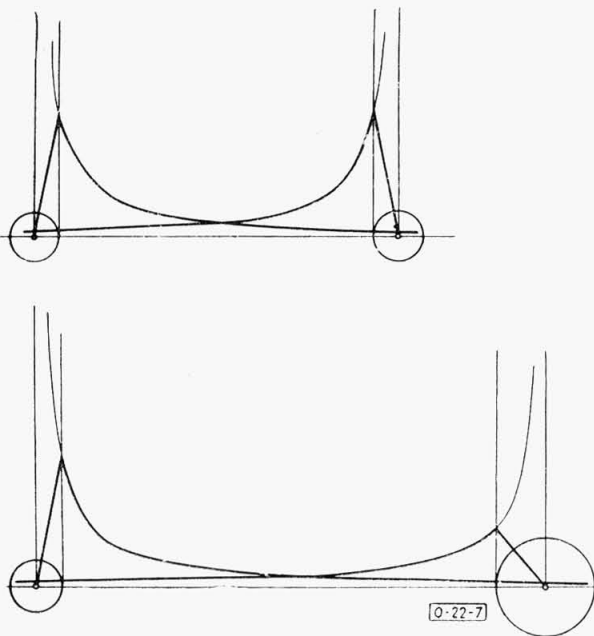
$$\frac{U_R}{I_R + k 3 I_0}$$

ahol $k = \frac{Z_0 - Z_v}{3}$. Sugaras hálózatoknál $3I_0 = I_R$

rel. Itt az előbbi kétszeres áramot akkor kapnánk, ha k értéke egy lenne. Általában $Z_0 = 3Z_v$, amiből $k = 2/3$. Az eddigi gyakorlat is alátámasztja az előbbi megállapítást. Természetesen ez az ismeret nem bizonyító erejű és csak annak magyarázatára szolgál, hogy jelenlegi állításunk az eddigi gyakorlattal megegyezik.

Az a meglepő tény, hogy nagyobb áramhurok hogy adhat kisebb impedanciát, fizikailag a következőképpen indokolható. A földdel, mint vezetővel egyenértékű vezető valóban nagy távolságban helyezkedik el a föld alatt, azonban — és ez a döntő — a vezető átmérője viszonylag nagy. A 7. (nem léptékhelyes) ábrán feltüntettük a két vezető közötti mágneses erőteret, ami tulajdonképpen a két vezető induktivitásával arányos. Látható hogy az „egyik” vezető mágneses terének nagyságát kevésbé befolyásolja, ha a figyelembe vett mágneses tér méretét bizonyos határon túl növeljük, a hiperbolikus összefüggés miatt ugyanis a tér

erőssége távolabb egyre csökken. Sokkal jelentősebb hatása van a vezető közvetlen környezetének, ahol a térerősség viszonylag igen nagy értékű. Ha a vezető átmérője nagy, a vezető „közvetlen környezetének” tere lényegesen lecsökken. Ily módon már érzékelhető, hogy a fázis-fázis alkotta hurok impedanciája miért nagyobb a fázis-föld hurokénál. Az előbbi esetben ugyanis két, viszonylag kisméretű vezető közvetlen környezetének tere szerepel a hurokimpedancia reaktanciájában, a másik esetben a földvisszavezetés környezetének tere lényegesen kisebb, ami végső soron az egész változás előjelét megszabja az előbb említett értelemben, tehát oly módon, hogy a fázis-föld hurok impedanciája lesz a kisebb.



7. ábra

VIII. Távolági védelmek helyes indítása

Ezután a kitérő után vegyük sorba az egyes védelemfajták viselkedését pozitív és negatív sorrendűen hurkolt, illetve sugaras hálózatok esetében. A zérus sorrendűen hurkolt hálózatrészen ugyanis — mint említettük — az első, bizonyosan bekövetkező védelmi működés után a sugaras hálózat esetére vezethető vissza.

A többmérőelemes védelmeknél semmiféle probléma nem merülhet fel. Itt a védelem ugyanis, függetlenül attól, hogy az indítás földzárlatot jelzett-e vagy sem, valamennyi mérőelemével beméri a zárlatot, tehát mind földzárlat mérőelemei, mind fáziszárlat mérőelemei működésbe lépnek. Ez a módszer a zárlat lekapcsolására teljes biztonságot szolgáltat. Amennyiben a földzárlati mérés ad kisebb értéket, ez fogja megszabni a lekapcsolási időt, ellenkező esetben, ha a kétfázisúan mért távolság ad kisebb értéket, a lekapcsolás ennek megfelelő időfokozatban fog bekövetkezni. Ezen védelem szempontjából tehát — mint ahogy ez természetes — közömbös az indítási módszer.

Az egymérőelemes védelmeknél a két indítási megoldás már eltérő eredményt ad. A zérus sorrendben túláram indítású védelmek a zárlatot fázisok közötti zárlatnak érzékelik, míg az esetlegesen alkalmazott zérus sorrendű feszültség indításkor a védelmek földzárlatot fognak mérni. Mindkét megoldás mellett és ellen is szólnak érvek.

A hurkolt — csak pozitív, illetve negatív sorrendűen hurkolt — hálózatoknál a kétoldalról történő táplálás a nullavezető két zárlati hely közötti szakaszán közbenső betáplálást jelent, ami a fázis-fázis hurok impedanciáját — esetleg jelentősen — megnövelheti. Éppen ezért, itt az egyik oldalról mindig szabatos fázis-föld hurok mérése, tehát a feszültségindítás volna kívánatos.

Sugaras hálózatnál ugyanakkor helyesebbnek látszik a fáziszárlati érzékelés, annál is inkább, mivel ez a mérési mód az előbbieknél szerintem nem növeli meg az érzékelési távolságot, sőt, éppen ellenkezően, csökkenti, ami a gyors lekapcsolás szempontjából feltétlenül kívánatos. Itt tehát a zérus sorrendű túláram indítás előnyösebb. Az a körülmény, hogy a látszólagos rövidülés miatt az időfokozati határ kitolódik, gyakorlatilag nem okozhat felesleges megszólalást. Sugaras hálózatnál ugyanis mindenképpen ennek a védelemnek kell megszólalnia, hurkolt hálózatnál pedig alig képzelhető el az az eset, amikor a hurkolás miatti látszólagos közbenső betáplálás olyan kismértékű, hogy a téves mérés miatti impedanciacsökkenést ne kompenzálná.

Meg kell említenünk még a zérus sorrendű feszültséggel való indítás egy másik, jobbra elvi hátrányát. Abban az esetben, ha a hálózat földzárlatos üzemi állapotban a másik két fázis fáziszárlatba kerül, a védelmek, helytelenül és tévesen, földzárlatot fognak mérni. Ezt a körülményt azonban csak a teljesesség kedvéért említettük meg, ilyen eset előfordulásának nagyon kicsi valószínűsége van.

Összefoglalva az indítási módokat, a következőket állapíthatjuk meg. Többmérőelemes védelmeknél az indítási mód közömbös. Egymérőelemes védelmeknél, sugaras hálózatoknál, és zérus sorrendűen hurkolt hálózatoknál — a működés során ugyanis ezek is sugarassá válnak — a túláram indítás előnyösebb. Az aránylag ritkábban előforduló, csak pozitív, illetve negatív sorrendűen hurkolt hálózatoknál a zérus sorrendű feszültséggel való indítás volna helyesebb. Összevetve az előnyöket és hátrányokat, megállapítható, hogy a túláram indítás jobban megfelel a célnak, vizsgálatunk alátámasztotta a relégyárak eddigi gyakorlatát.

Összefoglalás

7. Független késleltetésű túláramvédelemmel védett sugaras hálózatoknál általában legcélszerűbb, ha a két- és háromfázisú túláramvédelmek egyenlő részben szerepelnek oly módon, hogy a tápponthoz közel kétfázisú túláramvédelmet alkalmazunk.

2. Villamos szelekcióval működő védelmeknél az aciklikus fáziskiemeléssel kell a kettős földzárlatoknál a szelektivitást biztosítani.

3. RT kettős földzárlatoknál a szabatos fázis-kiemelést csakis a feszültségháromszög torzulásának alakján alapuló érzékelés biztosítja. Ez mind feszültséghányadosrelével, mind feszültségirányrelével megoldható.

4. A földzárlat érzékelésére távolsági védelmekben zérus sorrendű túláram indítás a legkedvezőbb.

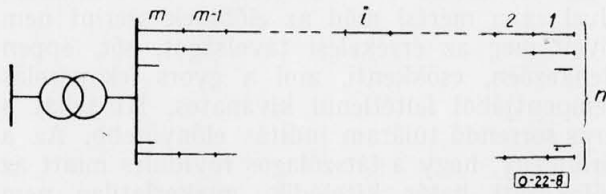
Függelék

I. Sugaras hálózat

Feltételezések:

a) a hálózat minden vezetékszaka azonos, zárlat minden szakaszban egyforma valószínűséggel lép fel;

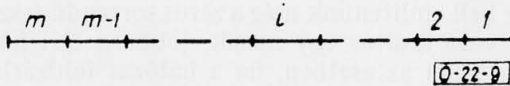
b) a hálózat terhelése teljesen egyenletesen van elosztva. A teljes fogyasztást egységnyinek véve, minden állomáson $\frac{1}{nm}$ terhelés van. (8. ábra)



8. ábra

A) Az átlagos kettős földzárlatnál fellépő szükségszerű kiesés
Itt feltételezzük, hogy a zárlat lekapcsolása oly módon történik, hogy a fogyasztói kiesés minimális legyen.

Ennél a vizsgálatnál közömbös, hogy a két zárlat az n közül mely leágazásokban keletkezett. Tegyük fel, hogy az első zárlat az i-ik szakaszban lépett fel (9. ábra).



9. ábra

Amennyiben a második zárlat a k-ik szakaszban van, és $k < i$, a lekapcsolás nyilván az utóbbinál történik. A kiesés ez esetben

$$\frac{k}{nm}$$

Amennyiben $k > i$, a zárlatot az i-ik szakaszban szüntetjük meg. Ekkor a kiesés nagysága

$$\frac{i}{nm}$$

Az előbbi esetek száma i, az utóbbié (m - i). Annál az m esetén, mikor az első zárlat éppen az i-ik szakaszban lépett fel, a kiesés

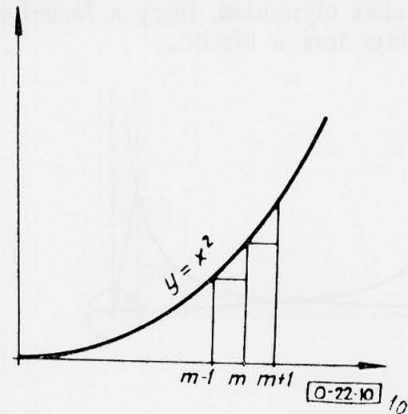
$$(m - i) \frac{i}{nm} + \sum_{k=1}^i \frac{k}{nm} \frac{i}{nm} \left(m - \frac{i}{2} + \frac{1}{2} \right)$$

Ha az első zárlat helyét 1-től m-ig változtatjuk, vagyis mind az m^2 lehetőséget figyelembe vesszük, a kiesés nagysága a következő lesz:

$$\sum_{i=1}^m \frac{i}{nm} \left(m - \frac{i}{2} + \frac{1}{2} \right) = (m + \frac{1}{2}) \frac{1}{nm} \sum i - \frac{1}{nm} \sum \frac{i^2}{2} = \frac{1}{nm} \left(m \frac{m+1}{2} - \frac{2m+1}{2} \right) = \frac{2m^2 + 3m + 1}{6n}$$

Nyilván, mert (10. ábra)

$$\sum_{i=1}^m i^2 = \int_0^{m+1} x^2 dx - \sum_{t=1}^{m+1} \int_{t-1}^t [x^2 - (t-1)^2] dx = \frac{(m+1)^3}{3} - \sum_{t=1}^{m+1} \left[\frac{t^3 - (t-1)^3}{3} - (t-1)^2 \right] = \frac{(m+1)^3}{3} - \sum_{t=1}^{m+1} \left(t - \frac{2}{3} \right) = \frac{(m+1)^3}{3} - \frac{m+1}{2} \frac{3m+2}{3} = \frac{2m^3 + 3m^2 + m}{6}$$



10. ábra

Ebből az átlagos zárlatra eső szükséges kiesés

$$\frac{2m^2 + 3m + 1}{6nm^2}$$

Az átlagos kettős földzárlat szükségszerű kiesés a teljes terhelés százalékában

$$\frac{2m^2 + 3m + 1}{6nm^2}$$

$\begin{matrix} m \rightarrow \\ n \downarrow \end{matrix}$	1	2	3	4
1	100,0	62,5	51,8	46,9
2	50,0	31,3	25,9	23,4
3	33,3	20,8	17,3	15,6
4	25,0	15,6	13,0	11,7

B) Időszelekción

Ennek a szelektivitási elvnek a háromfázisú túláram-ideővédelem felel meg.

a) *Felesleges kiesést okozó zárlatok száma*

Amennyiben az első zárlat az i-ik szakaszban lép fel, felesleges kioldás csak akkor következik be, ha a másik zárlati helyen ugyanolyan védelmi időlépcsővel védett szakasz keletkezik, de más vezetéken. Annak valószínűsége, hogy a másik zárlat ugyanannyiadik vezetékszaka van $\frac{1}{m}$

hogy a másik vezetéken, $\frac{1-n}{n}$. A felesleges kiesést okozó zárlatok viszonylagos száma tehát

$$z = \frac{n-1}{nm}$$

b) Az átlagos zárlatra eső felesleges kiesés

Amennyiben a felesleges kiesést okozó zárlatok az i -ik szakaszban léptek fel, a feleslegesen lekapcsolt fogyasztók teljesítménye $\frac{i}{n m}$. Mivel annak valószínűsége, hogy a felesleges kiesést okozó zárlatok éppen az i -ik szakaszban léptek fel $\frac{1}{m}$, egy felesleges kiesést előidéző zárlatra eső többletlekapcsolás nagysága

$$\frac{1}{m} \sum_{i=1}^m \frac{i}{n m} = \frac{m+1}{2 n m}$$

Figyelembe véve, hogy a többletkiesést okozó zárlatok viszonylagos száma $z = \frac{n-1}{n m}$, az átlagos zárlatra jutó felesleges kiesés

$$p = \frac{(m+1)(n-1)}{2 n^2 m^2}$$

c) A szükségszerűre vonatkoztatott többletkiesés az átlagos kettős földzárlatnál

$$t = \frac{3(m+1)(n-1)}{n(2m^2+3m+1)}$$

Időszelekció

Háromfázisú túláram-idővédelem

$m \rightarrow$ $n \downarrow$	1	2	3	4
1	∅ ∅ ∅	∅ ∅ ∅	∅ ∅ ∅	∅ ∅ ∅
2	50,0 25,0 50,0	25,0 9,4 30,0	16,7 5,6 21,4	12,5 3,9 16,7
3	66,7 22,2 66,7	33,3 8,3 40,0	22,2 4,9 28,6	16,7 3,5 22,2
4	75,0 18,7 75,0	37,5 7,0 45,0	25,0 4,2 32,1	18,7 2,9 25,0

1. sor $z = \frac{n-1}{n m}$

2. sor $p = \frac{(m+1)(n-1)}{2 n^2 m^2}$

3. sor $t = \frac{3(m+1)(n-1)}{n(2m^2+3m+1)}$

C) Villamos szelekció

Ennek a szelektivitási elvnek a fáziskiemelés következetes végrehajtása felel meg. Jóllehet ilyen védelmet nem alkalmaznak sugaras hálózatoknál, a vizsgálatot mégis elvégezzük, mivel az itt nyert eredményeket a későbbiekben felhasználjuk.

a) Felesleges kiesést okozó zárlatok száma

Legyen a kiemelési sorrendben előálló — „erősebb” — fázis zárlati helye az i -ik szakaszban. Felesleges kiesés akkor áll elő, ha a másik zárlati hely kisebb rendszámú szakaszban van. Ez $(i-1)$ lehetőséget jelent. Ha az „erősebb” zárlat helyét 1-től m -ig változtatjuk, az összes kiesést okozó zárlatok száma:

$$\sum_{i=1}^m (i-1) = \frac{m(m-1)}{2}$$

Figyelembe véve, hogy az összes zárlati lehetőségek száma ismét m^2 , felesleges kiesést adó zárlatok viszonylagos száma

$$z = \frac{m-1}{2 m}$$

b) Az átlagos zárlatra eső felesleges kiesés

Ha az „erősebb” fázis zárlata az i -ik, a „gyengébb” pedig a k -ik ($k < i$) szakaszban van, a felesleges kiesés nagysága $\frac{i-k}{n m}$. Azoknál a zárlatoknál, amikor az „erősebb”

fázis zárlati helye az i -ik szakaszban van, a többletkiesés

$$\sum_{k=1}^i \frac{i-k}{n m} = \frac{i(i-1)}{2 n m}$$

Ha i 1-től m -ig változik, megkapjuk az összes felesleges kieséseket:

$$\sum_{i=1}^m \frac{i(i-1)}{2 n m} = \frac{m^2-1}{6 n}$$

Az m^2 zárlati lehetőség figyelembevételével egy zárlatra eső többletkiesés

$$p = \frac{m^2-1}{6 n m^2}$$

D) Vegyes szelekció

A gyakorlatban sokszor alkalmazott kétfázisú túláram-idővédelem szelektivitási elvét neveztük vegyes szelekciónak. Itt az esetek 2/3-ában, nevezetesen RS és TS kettős földzárlatoknál villamos szelekció, a megmaradó 1/3-nál — RT kettős földzárlatoknál — az időszelekció érvényes.

a) Felesleges kiesést okozó zárlatok száma

Az előbbieket szerint az ismertetett két rendszert itt súlyozva kell figyelembe venni:

$$z = \frac{2}{3} \frac{m-1}{2 m} + \frac{1}{3} \frac{n-1}{n m}$$

$$z = \frac{n m - 1}{3 n m}$$

b) Az átlagos zárlatra eső felesleges kiesés

Itt is úgy járunk el, mint előbb

$$p = \frac{2}{3} \frac{m^2-1}{6 n m} + \frac{1}{3} \frac{(m+1)(n-1)}{2 n^2 m^2}$$

$$p = \frac{(m+1)(2 n m + n - 3)}{18 n^2 m^2}$$

c) A szükségszerűre vonatkoztatott többletkiesés az átlagos kettős földzárlatnál

$$t = \frac{(m+1)(2 n m + n - 3)}{3 n(2 m^2 + 3 m + 1)}$$

Vegyes szelekció
Kétfázisú túláram-idővédelem

$m \rightarrow$ $n \downarrow$	1	2	3	4
1	∅ ∅ ∅	16,7 8,3 13,3	22,2 9,9 19,1	25,0 10,4 22,2
2	16,7 8,3 16,7	25,0 7,3 23,3	27,8 6,8 26,2	29,1 6,5 27,8
3	22,2 7,4 22,2	27,8 5,6 26,7	29,6 4,9 28,6	30,6 4,6 29,7
4	25,0 6,3 25,0	29,1 4,4 28,4	30,6 3,9 29,8	31,3 3,6 30,6

1. sor $z = \frac{nm - 1}{3nm}$
 2. sor $p = \frac{(m + 1)(2nm + n - 3)}{18n^2m^2}$
 3. sor $t = \frac{(m + 1)(2nm + n - 3)}{3n(2m^2 + 3m + 1)}$

E) Az idő és vegyes szelekció összehasonlítása

A két szelektivitási elv nyilván akkor egyenértékű, ha az átlagos kettős földzáratra jutó többletkiesés azonos

$$\frac{(m + 1)(n - 1)}{2n^2m^2} = \frac{(m + 1)(2nm + n - 3)}{18n^2m^2}$$

$$m = 4 - \frac{3}{n}$$

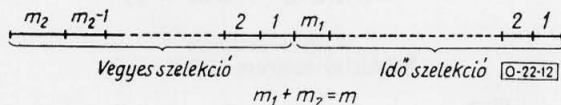
Amennyiben $m > 4 - \frac{3}{n}$ az időszelekció, ha viszont $m < 4 - \frac{3}{n}$, a vegyes szelekció előnyösebb. (11. ábra)



11. ábra

F) Kombinált rendszer

A szelektivitási viszonyokat kedvezőbbé tehetjük, ha a kétfázisú és háromfázisú túláram-idevédelmet együttesen alkalmazzuk. Itt a táppont közelében kétfázisú, a fogyasztói véghez közeledve pedig — alkalmas számú szakaszon — háromfázisú védelmet építünk be. Legyen az első m_1 szakaszon időszelekció, a második m_2 vezetéken pedig vegyes szelekció. (12. ábra)



12. ábra

Egy vezetékre a viszonyokat az alábbi módon tüntetjük fel.

a) Felesleges kiesést okozó zárlatok száma

A vezetékszakaszokat tekintve a zárlati lehetőségek száma: $m^2 = (m_1 + m_2)^2 = m_1^2 + 2m_1m_2 + m_2^2$. Az m_1^2 esetben mindkét zárlat az időszelekció tartományába, m_2^2 pedig a vegyes szelekció szakaszára esik. A fennmaradó $2m_1m_2$ eset arra vonatkozik, amikor az egyik zárlat az idő, másik a vegyes szelekció védelmi övezetére esik. Ez utóbbi esetekben a védelmi rendszer ideálisan szelektív,

felesleges kiesés nincsen. Az előbbi két esetre a már levezetett összefüggések érvényesek. Ennek alapján a többletet okozó zárlatok viszonylagos száma:

$$z = \frac{1}{m^2} \left(m_1^2 \frac{n-1}{n m_1} + m_2^2 \frac{n m_2 - 1}{3 n m_2} \right)$$

$$z = \frac{3 m(n-1) + m_2^2 n - m_2(3n-2)}{3 n m^2}$$

A képletben $m_2 = 0$, illetve $m_2 = m$ értékeket helyettesítve természetesen az idő, illetve vegyes szelekcióra érvényes összefüggéseket kapjuk.

b) Az átlagos zárlatra eső felesleges kiesés

Itt is külön tekinthetjük az idő, illetve vegyes szelekciós szakaszon bekövetkező kieséseket. A „keresztbe vett” zárlatoknál, mint említettük, felesleges kiesés nincsen.

Az első m_1 szakaszon fellépő felesleges kieséseket az átlagos zárlatra vonatkozó kiesésből nyerhetjük, figyelembe véve, hogy összesen m_1^2 lehetőség van. Ezzel az összes többletkiesés

$$m_1 \frac{(m_1 + 1)(n - 1)}{2 n^2 m}$$

Az egyedi kiesést jelentő $\frac{i}{n m}$ képletben ugyanis a nevezőben szereplő m az összes vezeték szakaszok számát jelöli és csak összegezésnél kell m_1 -et figyelembe venni.

A második esetben a zárlatok 2/3 részében — RS és TS kettős földzáratoknál — a többletkiesés azáltal áll elő, mert — a fogyasztói lekapcsolások szempontjából helytelenül — a tápponthoz közelebbi zárlatos szakasz kapcsolódik le. A többlet a két szakasz rendszámainak különbségével arányos és így az a körülmény, hogy hány szakasz szerepel még mindkét zárlati hely előtt, érdektelen. Éppen ezért a villamos szelekcióra levezetett összefüggéseket itt változtatás nélkül alkalmazhatjuk. Az előbbi szempontok szem előtt tartásával, valamint figyelembe véve, hogy most csak az m_2 szakasz zárlatainak 2/3-át vesszük számba, a felesleges kiesés

$$m_2 \frac{m_2^2 - 1}{9 n m}$$

Az m_2 szakasz zárlatának fennmaradó 1/3 részében a viszonyok bonyolultabbak. RT kettős földzáratoknál a többletkiesés azáltal áll elő, hogy a védelmi rendszer — feleslegesen — mindkét zárlati helyet lekapcsolja. Ilyenkor azonban nemcsak az m_2 szakaszon belül jelentkezik kiesési többlet, hanem az egyik leágazás m_1 szakasza is feleslegesen lekapcsolódik. Az időszelekcióra vonatkozó összefüggés csak a „belső” többletet adja meg. Ehhez hozzá kell még adni a felesleges kiesést adó zárlatok számának és

a minden egyes ilyen zárlatnál fellépő $\frac{m_1}{n m}$ fogyasztói többletkiesés szorzatát.

$$m_2 \frac{(m_2 + 1)(n - 1)}{6 n^2 m} + m_2 \frac{(n - 1)m_1}{3 n^2 m}$$

A teljes fogyasztói többletkiesés a komponensek összege lesz:

$$\frac{m_1(m_1 + 1)(n - 1)}{2 n^2 m} + \frac{m_2(m_2^2 - 1)}{9 n m} + \frac{m_2(m_2 + 1)(n - 1)}{6 n^2 m} + \frac{m_1 m_2 (n - 1)}{3 n^2 m}$$

Figyelembe véve, hogy az összes zárlati lehetőség m^2 és $m_1 + m_2 = m$, az átlagos zárlatra eső kiesési többlet

$$p = \frac{3(n-1)(2m_2^2 - m_2)4m + 2}{18n^2m^3} + \frac{3m^2 + 3m + 2n(m_2^3 - m_2)}{18n^2m^3}$$

Itt is, mint előbb, az $m_2 = 0$ és $m_2 = m$ helyettesítés a már levezetett összefüggéseket adja.

c) A legkedvezőbb m_2 megállapítása

Meg kell állapítanunk, melyik m_2 értéknél kapunk legkedvezőbb viszonyokat. Ezt nyilván a $\frac{dp}{dm_2} = 0$ egyenlet szolgáltatja. Ebből

$$m_2 = -\left(1 - \frac{1}{n}\right) \times \sqrt{\left(1 - \frac{1}{n}\right)^2 + 2\left(1 - \frac{1}{n}\right)m - \frac{1}{n} + \frac{4}{3}}$$

A számszerű értékeket behelyettesítve, megállapíthatjuk a kombinált rendszer „menetrendjét”. Az eredményeket az alábbi táblázat foglalja össze, az első szám a kétfázisú, a második a háromfázisú védelemmel védett szakaszok számát adja.

$m \rightarrow$ $n \downarrow$	0—1	0—2	0—3	0—4
1—0	1—1	2—1	2—2	2—2
1—0	1—1	2—1	2—2	2—2
1—0	1—1	2—1	2—2	2—2

Megjegyzés: az első sorban az első számnál 0 helyett 1 is állhat, tehát 0—3 éppoly kedvező, mint 1—2. Mászóval egy leágazásnál mindegy, hogy az utolsó elem két- vagy háromfázisú.

Mint láthatjuk, az első sortól eltekintve, amelynél a tiszta időszelekciót kaptuk, értékes útmutatást nyertünk a védelem kialakítására.

Számítsuk most már ki rögzített $m_2 = 1$ és $m_2 = 2$ értékekre z és p értékét.

$$z_1 = \frac{(3m-2)(n-1)}{3nm^2} \quad z_2 = \frac{(3m-2)(n-1) + 2}{3nm^2}$$

$$p_1 = \frac{(3m-1)(n-1)}{6n^2m^2}$$

$$p_2 = \frac{(3m^2 - 5m + 4)(n-1) + 4n}{6n^2m^3}$$

d) A szükségszerűre vonatkoztatott többletkiesés az átlagos kettős földzárlatnál

$$t_1 = \frac{(3m-1)(n-1)}{n(2m^2 + 3m + 1)}$$

$$t_2 = \frac{(3m^2 - 5n + 4)(n-1) + 4n}{nm(2m^2 + 3n + 1)}$$

Kombinált rendszer

A két- és háromfázisú túláram-idővédelem együttes alkalmazása

$m \rightarrow$ $n \downarrow$	1	2	3	4
1	∅ ∅ ∅	∅ ∅ ∅	∅ ∅ ∅	∅ ∅ ∅
2	16,7 8,3 16,7	16,7 5,2 16,7	16,7 3,7 14,3	12,5 2,6 11,1
3	22,2 7,4 22,2	22,2 4,6 22,2	19,8 3,0 17,5	15,3 2,2 14,1
4	25,0 6,3 25,0	25,0 3,9 25,0	22,1 2,5 19,0	16,7 1,8 15,6

Megjegyzés: ha $n = 1$ időszelekció

$$1. \text{ sor } z = \frac{(3m-2)(n-1)}{3nm^2} \quad \text{ha } m \leq 2$$

$$z = \frac{(3m-2)(n-1) + 2}{3nm^2} \quad \text{ha } m > 2$$

$$2. \text{ sor } p = \frac{(3m-1)(n-1)}{6n^2m^2} \quad \text{ha } m \leq 2$$

$$p = \frac{(3m^2 - 5m + 4)(n-1) + 4n}{6n^2m^3} \quad \text{ha } m > 2$$

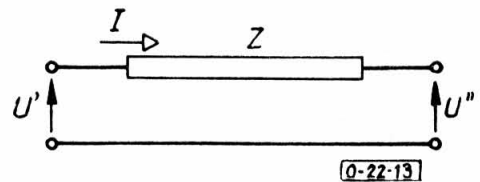
$$3. \text{ sort } t = \frac{(3m-1)(n-1)}{n(2m^2 + 3m + 1)} \quad \text{ha } m \leq 2$$

$$t = \frac{(3m^2 - 5m + 4)(n-1) + 4n}{nm(2m^2 + 3m + 1)} \quad \text{ha } m > 2$$

II. Hurkolt hálózat

A) Négyvezetékes helyettesítő kép

Védelmi berendezéseknél szívesen számolunk a fázismennyiségekkel. Bonyolultabb zárlatoknál — így kettős földzárlatoknál — azonban az összetevőkre bontás módszere szokásos.



13. ábra

Tételezzük fel, hogy valamely hálózati elemre vonatkozóan $Z_1 = Z_2$. Írjuk fel erre az elemre Kirchhoff második törvényét (13. ábra):

$$\begin{aligned} U''_1 - U'_1 &= \Delta U_1 = I_1 Z_1 \\ U''_2 - U'_2 &= \Delta U_2 = I_2 Z_2 \\ U''_0 - U'_0 &= \Delta U_0 = I_0 Z_0 \end{aligned}$$

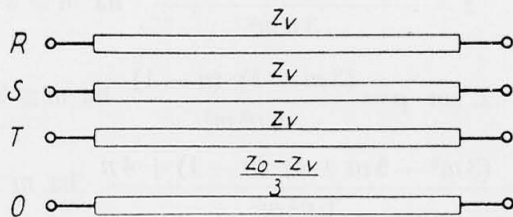
az 1, 2 és 0 indexek a szimmetrikus összetevőket jelentik. Legyen $Z_1 = Z_2 = Z_v$

$$U_R'' - U_R' = \Delta U_1 + \Delta U_2 + \Delta U_0 = I_1 Z_v + I_2 Z_v + I_0 Z_0 = I_R Z_0 + I_F \frac{Z_0 - Z_v}{3}$$

$$U_S'' - U_S' = a^2 \Delta U_1 + a \Delta U_2 + \Delta U_0 = a^2 I_1 Z_v + a I_2 Z_v + I_0 Z_0 = I_S Z_v + I_F \frac{Z_0 - Z_v}{3}$$

$$U_T'' - U_T' = a \Delta U_1 + a^2 \Delta U_2 + \Delta U_0 = a I_1 Z_v + a^2 I_2 Z_v + I_0 Z_0 = I_T Z_v + I_F \frac{Z_0 - Z_v}{3}$$

ahol $I_F = 3 I_0$ a földben — vagy az ennek megfelelő vezetőkben — folyó áram. Az összefüggések alapján látható, hogy egy $Z_1 = Z_2$ feltételnek eleget tevő elem vagy hálózatrész szabatosan mindenfajta terhelés, illetve zárlati viszonyok mellett helyettesíthető egy olyan négyvezetékes rendszerrel, amelynek fázisvezetői Z_v , nullavezetője pedig $\frac{Z_0 - Z_v}{3}$ impedanciájú. Ennek előnye, hogy továbbra is a fázismennyiségekkel számolhatunk, továbbá a zárlatok „helyettesítő” kapcsolása nem áll másból, mint abból, hogy a helyettesítő négyvezetékes leképezésben a megfelelő helyen a megfelelő fázisokat rövidre zárjuk. (14. ábra)



14. ábra

Az eljárás lényegében az egyes vezetőkkel kulcsolódó mágneses térnek megfelelő reaktanciát — a külső kép szempontjából szabatosan — „elosztja” a fázis és a földvezető között.

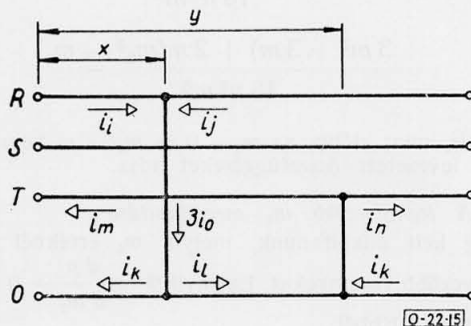
B) Látszólagos közbenső betáplálás

A kettős földzárlat egy vezeték szakaszon van. Vegyünk fel teljesen tetszőleges áramelosztást.

Földzárlatoknál a mért impedancia:

$$Z = \frac{U_f}{I_f + k 3 I_0}$$

ahol U_f , illetve I_f a fázisfeszültség és fázisáram, $k = \frac{Z_0 - Z_v}{3 Z_v}$ pedig az ismert állandó. A megadott pozitív irányok felvételével az R, illetve T fázisban mért impedancia (15. ábra)



15. ábra

$$Z_R = \frac{i_i x Z_v + i_k x \frac{Z_0 - Z_v}{3}}{i_i + k i_k} = Z_v$$

$$Z_T = \frac{Z_v y i_m + \frac{Z_0 - Z_v}{3} [(y - x) i_e - x i_k]}{i_m - k i_k} = Z_v + (y - x) \frac{Z_0 - Z_v}{3} \frac{3 i_0}{i_m - k i_k}$$

Mint látható, a felszerelési helyhez közelebbi zárlatot minden esetben helyesen méri a védelem. A másik — távolabbi — zárlati hely esetében a két zárlat közötti szakaszon látszólagos közbenső betáplálás jelentkezik. Mint-hogy a nevezőben ($i_m - k i_k$) szerepel, kedvezőtlen áramelosztásnál a védelem végtelen impedanciát is mérhet!

Sugaras hálózat esetére, tehát amikor:

$$i_m = i_e = i_n \text{ és } i_j = i_n = i_k = 0$$

A mért impedanciák

$$Z_R = Z_v$$

$$Z_T = Z_v + (y - z) \frac{Z_0 - Z_v}{3} = Z_v + \frac{2}{3} (y - x) Z_v$$

ha feltesszük, hogy $Z_0 = 3 Z_v$.

Sajnálattal közöljük kedves olvasóinkkal, hogy anyagtorlódás miatt Szemle, Külföldi hírek stb. rovataink ebből a számból kimaradtak.

ВЫВОДЫ

DK. 621.311.177

Тибор Вамош : *Современные методы распределения нагрузки*

В статье описывается новое решение экономического распределения нагрузки между электростанциями при помощи счетной машины аналогии. Машинный метод может быть использован также для экономического распределения безватной мощности.

Elektrotechnika (Электротехника), Будапешт, № 2—3, 1960, стр. 59—62.

DK. 621.313.332.018.46:621.313.322—81

Фридеш Чаки : *Практический метод определения переменного скольжения при асинхронном режиме работы турбогенераторов*

Предлагаемый графический метод на основе данных, полученных при счете данных с приборов позволяет осуществить простое построение для асинхронного режима турбогенераторов кривых скольжения — время, угол — время, ток статора — время, или же кажущаяся мощность — время.

Elektrotechnika (Электротехника), Будапешт, № 2—3, 1960, стр. 62—68.

DK. 621.316.728:621.311.062.1

Ференц Ронкаи : *Энергетические теоретические вопросы устройства для регулирования кооперационной мощности, разработанного Электроэнергетическим исследовательским институтом*

Изменение во времени мощности, текущей между системами электростанций, которые сами собою сильно связаны, но друг с другом слабо связаны, можно характеризовать относительно быстрыми колебаниями, накладывающимися на относительно медленные колебания. Относительно медленные колебания можно практически устранить при помощи регулирования по сетевой характеристике, но в этом случае мощность электростанции, выполняющей регулирование, будет сильно колебаться. В системе теплоэлектростанций такой системой является и система, применяемая в Венгрии, электростанция нельзя нагружать слишком большими колебаниями мощности, поэтому кооперационную мощность целесообразно регулировать, исходя из средних величин на относительно большой промежуток времени. Для этой цели Электроэнергетическим исследовательским институтом разработана полувотоматическая система, которая дает возможность управлять регулированием ряда электростанций.

Elektrotechnika (Электротехника), Будапешт, № 2—3, 1960, стр. 68—72.

DK. 621.316.72:621.311.062.1

Миклош Ужоки : *Выбор трансферных параметров кооперационного регулирующего устройства*

Автор изучает регулирование кооперационной мощности как многопеременный линейный регулятор. С учетом эксплуатационных требований дается метод для выбора трансферных параметров регулятора. При описанном решении даже в случае сетевых переходных процессов удовлетворяется принцип невмешательства между участками. Наконец, на числовом примере показано применение полученных результатов.

Elektrotechnika (Электротехника), Будапешт, № 2—3, 1960, стр. 73—77.

DK. 621.316.728:621.38.001.2

Карой Вереш : *Принципы проектирования и точность электронных блоков регулятора кооперационной мощности*

Для осуществления кооперации между отдельными электроэнергетическими участками Электроэнергетическим исследовательским институтом разработано электронное регулирующее устройство. Автор дает описание принципиальной схемы устройства, по очереди рассматривает работу блоков, влияющих на точность регулятора и сообщаются данные измерений.

Elektrotechnika (Электротехника), Будапешт, № 2—3, 1960, стр. 78—81.

ZUSAMMENFASSUNGEN

DK 621.311.177

T. Vámos : *Neuzeitliche Methoden der Lastverteilung*

Der Artikel beschreibt eine neue, maschinelle Rechenmethode für die wirtschaftliche Lastverteilung zwischen Kraftwerken. Dieses maschinelle Verfahren lässt sich auch auf die Berechnung von wirtschaftlicher Blindleistungs-Verteilung anwenden.

Elektrotechnika, Budapest, 1960, Nr. 2—3, S. 59—62.

DK 621.313.332.018.46:621.313.322—81

F. Csáki : *Praktisches Verfahren zur Bestimmung von veränderlichem Schlupf im asynchronen Betrieb von Turbogeneratoren*

Das vorgeschlagene graphische Verfahren ermöglicht auf Grund von Instrumenten-Ablesungen herrührender Daten eine einfache Verzeichnung von Schlupf-Zeit, Phasenwinkel-Zeit, Statorstrom-Zeit bzw. Scheinleistung-Zeitkurven im asynchronen Betrieb von Turbogeneratoren.

Elektrotechnika, Budapest, 1960, Nr. 2—3, S. 62—68.

DK 621.316.728:621.311.062.1

F. Ronkay : *Energetische Prinzipfragen des vom VILLENKI entwickelten Kooperations-Leistungsreglers*

Der zeitliche Verlauf der durchströmenden Leistung zwischen Kraftwerkssystemen, welche in sich dicht gekuppelt sind, stehen jedoch untereinander in loser Verbindung, kann durch eine schnellere Schwingung gekennzeichnet werden, die auf eine langsamere Schwingung überlagert ist. Durch Regelung laut Netzkurve können die langsameren Schwingungen praktisch behoben werden, wird jedoch in diesem Falle die Leistung des regelnden Kraftwerkes starken Schwankungen ausgesetzt. In einem wärmeleistungsmaschinellen System, wie das ungarische System, dürfen die Kraftwerke mit übertriebenen Leistungsschwankungen nicht belastet werden, deshalb ist es zweckmäßig, die Kooperationsleistung auf einen auf längere Zeit bezogenen Durchschnittswert zu regeln. Diese Zielsetzung lässt sich mit der halbautomatischen und mehrere Kraftwerke regelnden Regeleinrichtung, entwickelt durch das Forschungsinstitut für Elektrische Energie, verwirklichen.

Elektrotechnika, Budapest, 1960, Nr. 2—3, S. 68—72.

DK 621.316.72:621.311.062.1

M. Uzsoky : *Auswahl von Transfer-Parametern für kooperative Regeleinrichtungen*

Der Verfasser hat die kooperative Leistungsregelung als linearen Regler mit mehreren Veränderlichen untersucht und mit Rücksicht auf die Betriebsanforderungen gibt eine Methode zur Wahl der Transfer-Parametern des Reglers an. Bei der beschriebenen Lösung wird das Prinzip des Nichteingreifens zwischen den einzelnen Bereichen auch im Falle von Netz-Transienten verwirklicht. Zum Schluss wird die Anwendung der Ergebnisse an einem Zahlenbeispiel gezeigt.

Elektrotechnika, Budapest, 1960, Nr. 2—3, S. 73—77.

DK 621.316.728:621.28.001.2

K. Vörös : *Gesichtspunkte für den Entwurf und die Genauigkeit von elektronischen Einheiten des kooperativen Leistungsreglers*

Zur Verwirklichung des Zusammenwirkens zwischen einzelnen elektrischen Energiekreisen wurde vom VILLENKI eine elektronische Regeleinrichtung entwickelt. Der Verfasser beschreibt die grundsätzliche Bauart der Einrichtung, führt die Auswirkung der Genauigkeit des Reglers beeinflussenden Einheiten auf und gibt die Messergebnisse an.

Elektrotechnika, Budapest, 1960, Nr. 2—3, S. 78—81.

SUMMARY

DK 621.311.177

Tibor Vámos : *The up-to-date methods of load distribution*

The article deals with the new method of solving the problem of economic load distribution among power stations by means of analogue computers. The method using analogue computers can also be applied to calculating the economic distribution of the reactive power.

Elektrotechnika, Budapest, 1960, Nr. 2—3, pp. 59—62.

DK 621.313.332.018.46:621.313.322—81

Frigyés Csáki : *A practical method of determining the varying slip in the asynchronous operation of turbine generators.*

The graphical method suggested by the author makes possible to draw in a simple way the slip, angle, stator current, and apparent output curves plotted against time for the asynchronous operation of turbine generators.

Elektrotechnika, Budapest, 1960, Nr. 2—3, pp. 62—68.

DK 621.316.728:621.311.062.1

Ferenc Ronkay : *The theoretic problems of the power control equipment for cooperating systems developed by the Institute for Power Research (VILLENKI)*

The time function of the exchange power between power systems closely coupled in themselves but loosely with each other can be characterised with an oscillation of higher frequency superimposed on one of a lower frequency. The oscillations of lower frequency can practically be stopped by means of a control corresponding to the system characteristic curve but in this case the power of the controlling power station will considerably fluctuate. In a system consisting of steam power stations such as the system in Hungary the power stations must not be loaded with excessive power fluctuations therefore it is expedient to set the exchange power to an average value based on a longer period of time. This object can be attained with the half-automatic equipment for the control of several power stations developed by the Institute for Power Research.

Elektrotechnika, Budapest, 1960, Nr. 2—3, pp. 68—72.

DK 621.316.72:621.311.062.1

Miklós Uzsoky : *The selection of the transfer parameters of the control equipments for cooperating systems*

The author analyses the power control for cooperation as a linear control with many variables. A method is given for determining the transfer parameters of the control taking the requirements of the operation into consideration. At the solution described the principle of non-interference between the districts is realised even in the case of system transients. Finally the application of the results obtained is shown in connection of a numerical example.

Elektrotechnika, Budapest, 1960, Nr. 2—3 pp. 73—77.

DK 621.316.728:621.38.001.2

Károly Vörös : *Design principles and accuracy of the electronic units of the control equipment for cooperating systems.*

For the cooperation of the individual district power systems an electronic control equipment has been developed by the Institute for Power Research. The author describes the basic arrangement of the equipment, discusses in turn the operation of the individual units influencing the accuracy of the control and finally gives the results of the measurements.

Elektrotechnika, Budapest, 1960, Nr. 2—3, pp. 78—81.

ВЫВОДЫ

ДК 621.313.12 : 537.315.8

Дьердь Вайда: *Нагрузка генераторов от атмосферных перенапряжений*

Изучается нагрузка генераторов от атмосферных перенапряжений. На основе измерений распределения перенапряжений, выполненных со стороны низкого напряжения, определяются наибольшие нагрузки изоляции генераторов, далее то, что каким образом зависит нагрузка от волн, от вида защиты от перенапряжений, заземления нейтрали трансформатора и других факторов. На основе теоретических соображений также совместное действие рабочих напряжений и перенапряжений. На основе проведенных исследований указываются наиболее подходящие решения защиты от перенапряжений.

Elektrotechnika (Электротехника), Будапешт, № 2—3, 1960, стр. 81—89.

ДК 621.311.4 : 621.316.93

Габор Бан: *Защита от атмосферных перенапряжений подстанций с кабельным соединением*

Измерение распределения перенапряжений на подстанциях при помощи элементов модели масштаба 1:1 сопротивления — времени. На подстанциях кабельного соединения под воздействием ближнего удара молнии возникают опасные колебания напряжения. Против этих перенапряжений не дают соответствующей защиты применяемые сейчас всею дорогие защитные устройства. В статье описывается такое защитное устройство, осуществление которого легче и требует меньше расходов, и которое соответствующим образом обеспечивает защиту подстанций от перенапряжений.

Elektrotechnika (Электротехника), Будапешт, № 2—3, 1960, стр. 89—94.

ДК 621.315.1 : 621.316.9

Йене Бесе: *Некоторые принципы применения разрядников для защиты воздушных линий и оборудования*

Статья занимается одним из вопросов защиты при помощи разрядников, а именно определением защитного расстояния. После изложения явлений, происходящих при работе разрядника, применяемого для защиты воздушных линий и трансформаторов, приводится графический метод для определения расстояния защиты. Демонстрируемый метод позволяет учитывать также кривые характеристики момента начала удара защищаемых изоляций и защитных устройств, таким образом получают более точные результаты.

Elektrotechnika (Электротехника), Будапешт, № 2—3, 1960, стр. 95—98

ДК 621.316.52.014

Имре Бенко: *Прерывание небольших индуктивных токов*

Автором описываются перенапряжения, измеренные при выключении небольших индуктивных токов 10—35 кВ выключателями, и выводы, сделанные на основе измерений. Кроме того рассматриваются принципы определения шунтового сопротивления, вмонтированного в выключатель и защищающего от перенапряжений.

Elektrotechnika (Электротехника), Будапешт, № 2—3, 1960, стр. 98—103

ZUSAMMENFASSUNGEN

DK 621.313.12 : 537.315.8

G. Vajda: *Beanspruchung von Generatoren mit Einheitsschaltung durch atmosphärische Überspannungen*

Der Aufsatz untersucht die Beanspruchungen von Generatoren mit der in Ungarn üblichen Einheitsschaltung unter Einwirkung von atmosphärischen Überspannungen. Es werden auf Grund von bei Niederspannung durchgeführten Überspannungsverteilungsmessungen die in der Isolierung von Generatoren auftretenden Höchstbeanspruchungen ermittelt, weiters deren Abhängigkeit von der Wellenform, Überspannungsschutzart, Erdung des Transformator-Sternpunktes und von anderen Faktoren bestimmt. An Hand von theoretischen Überlegungen wird die Zusammenwirkung der Betriebs- und Überspannungen auch untersucht. Auf Grund dieser Untersuchungen weist der Verfasser auf die zweckmässigsten Überspannungsschutzlösungen hin.

Elektrotechnika, Budapest, 1960, Nr. 2—3, S. 81—89

DK 621.311.4 : 621.316.93

G. Bán: *Schutz von Unterwerken mit Kabelanschluss gegen atmosphärische Überspannungen*

Überspannungs-Verteilungsmessungen von Unterwerken mit Hilfe von Modellen mit Zeit- und Widerstandsmassstab 1:1. In Unterwerken mit Kabelanschluss können auf Wirkung von nahen Blitzschlägen gefährliche Spannungsschwingungen auftreten. Gegen solche Überspannungen bedeuten die heutzutage allgemein verwendeten, kostspieligen Schutzgeräte keinen befriedigenden Schutz. Der Artikel beschreibt eine neue Schutzanordnung, welche leichter und mit geringeren Kosten ausgeführt werden kann und bietet für das Unterwerk einen ausreichenden Überspannungsschutz.

Elektrotechnika, Budapest, 1960, Nr. 2—3, S. 89—94

DK 621.315.1 : 621.316.9

J. Besze: *Gesichtspunkte der Anwendung von Löschröhren für den Schutz von Freileitungen und Anlagen*

Der Artikel befasst sich mit der einen Frage der Gestaltung vom Löschröhrenschutz, d. i. mit der Bestimmung von Schutzentfernung. Nach Erörterung der Erscheinungen, welche sich bei der Betätigung von zum Freileistungs- bzw. Transformatorerschutz verwendeten Schutzröhren abspielen, zeigt der Artikel ein zeichnerisches Verfahren zur Bestimmung der Schutzentfernung. Die angegebene Methode — über die bisher bekannten Methoden hinausgehend — ermöglicht es, die ansprechenden Kennlinien der zu schützenden Isolierungen und Schutzgeräte in Rechnung zu nehmen, und liefert somit genauere Resultate.

Elektrotechnika, Budapest, 1960, Nr. 2—3, S. 95—98.

DK 621.315.52.014

I. Benkó: *Unterbrechung von kleinen induktiven Strömen*

Der Artikel gibt die Überspannungen, welche beim Ausschalten kleiner induktiven Ströme mittels 10—35 KV Unterbrechern gemessen wurden, an und erörtert die aus den Messergebnissen abgeleiteten Folgerungen. Er befasst sich ferner mit den Grundsätzen der Bestimmung des Nebenschluss-Widerstandes, der in den Unterbrechern eingebaut zum Überspannungsschutz dient.

Elektrotechnika, Budapest, 1960, Nr. 2—3, S. 98—103

SUMMARY

DK 621.313.12 : 537.315.8

György Vajda: *The effect of atmospheric overvoltages on generators operating in unit connection with transformers*

The article investigates the stresses caused by atmospheric overvoltages in generators operating in unit connection with transformers as usual in Hungary. Based on overvoltage distribution measurements carried out at low voltages the stresses in the insulation of the generators are determined. It is also determined how these stresses are influenced by the wave-shape of the overvoltages, by the overvoltage protection adopted, by the earthing of the transformer neutral and by other factors. Based on theoretical consideration the combined effect of the operating and the overvoltages is also investigated. Based on the investigation the most suitable overvoltage protections to be applied are pointed out.

Elektrotechnika, Budapest, 1960, Nr. 2—3, pp. 81—89

DK 621.311.4 : 621.316.93

Gábor Bán: *Protection against atmospheric overvoltages for substations connected to cables*

Overvoltage distribution measurements in substations by means of model elements of 1:1 scale are dealt with. In cable-connected substations owing to a near by lightning-stroke harmful voltage oscillations can be brought about. The now generally used expensive overvoltage protective arrangements do not secure satisfactory protection against these overvoltage oscillations. The article describes a new protective arrangement which can be built easier and at a lower cost while securing a satisfactory overvoltage protection for substations.

Elektrotechnika, Budapest, 1960, Nr. 2—3, pp. 89—94

DK 621.315.1 : 621.316.9

Jenő Besze: *Some viewpoints in the application of expulsion-type lightning arresters for the protection of transmission lines and electrical equipments.*

The article deals with one of the problems of designing expulsion-type lightning arresters i. d. the determination of the protective distance. After describing the phenomena at the operation of the expulsion-type lightning arresters used for the protection of transmission lines and transformers, the author presents a graphical method for the determining of the protective distance. As opposed to methods known so far with the method now described it is possible to take into account the volt-time curves of the insulations to be protected and those of the protective devices whereby a more accurate result can be obtained.

Elektrotechnika, Budapest, 1960, Nr. 2—3, pp. 95—98

DK 621.316.52.014

Imre Benkó: *The breaking of small inductive currents.*

The article treats the overvoltages measured when breaking small inductive currents with 10—35 kV circuitbreakers and gives the conclusions drawn from the measurements. Furthermore the principles of determining the value of the shunting resistance built into the circuit-breakers to secure protection against overvoltages are also dealt with.

Elektrotechnika, Budapest, 1960, Nr. 2—3, pp. 98—103

ВЫВОДЫ

ДК 621.317.32.015.3:621.315.1 (439)

Роберт Сабо Бакош: *Некоторые вопросы показателей обратного напряжения на основе данных измерений, проведенных на венгерских сетях*

Обратные напряжения имеют значения с точки зрения прерывающей способности треншальтеров. Для характеристики служат частота колебания переходной слагающей, пиковый коэффициент и крутизна, выражающая средний рост. Мощность прерывания треншальтеров падает в функции крутизны. Показатели обратного напряжения определяются совместно треншальтером и элементом и сети. Трансформаторы и дроссели повышают, а кабели и длинные воздушные линии уменьшают крутизну и с этим прерывающую нагрузку.

Elektrotechnika (Электротехника), Будапешт, № 2—3, 1960. стр. 103—109

ДК 621.317.014.3:061.6

Миклош Вайта: *Испытательная станция короткого замыкания Электроэнергетического исследовательского института в Зугло (Будапешт)*

После принципиального сравнения испытательных станций с вращающимися машинами и сетевого типа, используемых для целей испытаний замыканий, автор описывает схему испытательной станции Электроэнергетического исследовательского института, которая сейчас строится в Зугло (Будапешт). Эта станция предназначена для испытания сетевых замыканий. Дается описание оборудования испытательного и наблюдательного корпусов, наконец пределы мощностей испытаний, которые можно выполнить на этой испытательной станции.

Elektrotechnika (Электротехника), Будапешт, № 2—3, 1960. стр. 110—114

ДК 621.315.623.4

Михай Паулос: *Новые опорные изоляторы закрытого типа*

Технические и экономические вопросы опорных изоляторов закрытого малогабаритного типа. Новые опорные изоляторы типа ТБШ 10, ТБШ 20, ТБШ 35. Опорный изолятор нового типа ТТБ 10, который можно использовать и в бронированных устройствах. Изменение расстояний разряда. Механические и электрические испытания разработанных опорных изоляторов. Факторы, влияющие на напряжение разряда опорных изоляторов.

Elektrotechnika (Электротехника), Будапешт, № 2—3, 1960. стр. 114—119

ДК 621.316.925.018.12

Ласло Пазманди: *Использование для целей защиты балансных реле и реле фазового угла*

Большая часть сетевых защит зависит от результатов сравнения двух электрических количеств. Сравнимые два количества представляют собою линейную комбинацию тока и напряжения линии с замыканием. Сравнение можно осуществить, исходя из фазовых углов или абсолютных величин. В статье подробно описывается, что при каком выборе постоянных линейных комбинаций можно осуществить различные кривые характеристики измерительных элементов дистанционных защит и реле мощностей.

Elektrotechnika (Электротехника), Будапешт, № 2—3, 1960. стр. 120—127

ZUSAMMENFASSUNGEN

ДК 621.317.32.015.3:621.315.1 (439)

R. Szabó Bakos: *Einige Fragen der Kenndaten der Rückkehrspannung auf Grund von Messungen im einheimischen Netze*

Die Rückkehrspannung ist hinsichtlich der Unterbrechungsfähigkeit der Unterbrecher von Wichtigkeit. Sie kann durch die Frequenz, den Scheitelfaktor und durchschnittliche Steigung der Transientenkomponente gekennzeichnet werden. Die Unterbrechungsleistung der Unterbrecher nimmt mit der Steilheit ab. Die Kenndaten der Rückkehrspannung werden durch die Unterbrechungs- und Netzelemente zusammen bestimmt. Transformator und Drosselspulen vergrößern, Kabeln und lange Freileitungen hingegen vermindern die Steilheit und dadurch die Beanspruchung des Unterbrechers.

Elektrotechnika, Budapest, 1960. Nr. 2—3. S. 103—109

ДК 621.317.014.3:061.6

M. Vajta: *Netzschluss-Probestation des VILLENKI in Budapest*

Nach einem grundsätzlichen Vergleich von Kurzschlussgenerator- und Netzprobestationen beschreibt der Verfasser die Anordnung der im Bau befindlichen Netzschluss-Probestation des VILLENKI in Budapest-Zugló, die Einrichtung des Prüfungs- und Beobachtungsbauwerks, und gibt schliesslich die Leistungsgrenzen der Proben an, die in der Probestation vorgenommen werden können.

Elektrotechnika, Budapest, 1960. Nr. 2—3. S. 110—114

ДК 621.315.623.4

M. Paulusz: *Neuartige Innenraum-Stützisolatoren*

Technische und Wirtschaftsfragen von Innenraum-Stützisolatoren von geringem Raumbedarf. Die neuen TBS 10, TBS 20 und TBS 35 Stützisolatortypen. Der neue, in eingehüllten Einrichtungen verwendbare Stützisolator Typ TTB 10. Änderung von Überschlagsabständen. Mechanische und elektrische Untersuchungen auf den entwickelten Stützisolatoren. Die Überschlagsspannung der Stützisolatoren beeinflussende Faktoren.

Elektrotechnika, Budapest, 1960. Nr. 2—3. S. 114—119

ДК 621.316.925.018.12

L. Pázmándi: *Verwendung von Wage- und Phasenwinkel-Relais für Schutzzwecke*

Ein grosser Teil der Netzschutze arbeitet in Abhängigkeit vom Ergebnisse des Vergleichs zweier elektrischen Grössen. Die zu vergleichenden Grössen bilden eine Linearkombination des Stromes und der Spannung des kurzgeschlossenen Kreises. Der Vergleich kann auf Grund der Phasenwinkel oder der absoluten Werte geschehen. Der Artikel setzt eingehend auseinander, mit welcher Wahl der Konstanten der Linearkombinationen die verschiedenen Kennlinien der Messgeräte von Leistungs-Richtungsrelais und Fernschutze zu verwirklichen sind.

Elektrotechnika, Budapest, 1960. Nr. 2—3. S. 120—127

SUMMARY

DK 621.317.32.015.3:621.315.1 (439)

Róbert Szabó Bakos: *Some problems of the characteristics of the restriking voltage as based on measurements carried out on the Hungarian power system*

The restriking voltage is significant in view of the breaking capacity of circuit-breakers. It can be characterised with the frequency of the transient component, with its peak factor and with its average rate of rise. The breaking capacity of the circuit-breakers decreases with increasing rate of rise of the voltage. The characteristics of the restriking voltage are determined by the circuit-breakers as well as the circuit elements. The rate of rise and thus the demands on the circuitbreaker are increased by transformers and reactors while they are reduced by cables and transmission lines.

Elektrotechnika, Budapest, 1960. Nr. 2—3. pp. 103—109

DK 621.617.014.3:061.6

Miklós Vajta: *The system-supplied short-circuit testing station in Zugló of the Institute of Power Research*

After comparing in principle the two types of testing stations for short-circuit tests: those using rotating machines and those supplied from a system, the author describes the arrangement of the system-supplied shortcircuit testing station of the Institute for Power Research now under construction in Zugló. Furthermore the equipments of the buildings for tests and observation are described and the power limits of the tests to be carried out at the station are given.

Elektrotechnika, Budapest, 1960. Nr. 2—3. pp. 110—114

DK 621.315.623.4

Mihály Paulusz: *New types of indoor supporting insulators*

The technical and economical problems of indoor supporting insulators of low space requirement. The new TBS 10, TBS 20 and TBS 35 types of supporting insulators. The new TTB 10 type of insulator for use in encased equipments. The modification of the flash-over distances. The mechanical and electrical tests carried out on the new supporting insulators. The factors effecting the flash-over distance of the supporting insulators.

Elektrotechnika, Budapest, 1960. Nr. 2—3. pp. 114—119

DK 621.316.925.018.12

László Pázmándi: *The use of balance and phase-angle relays for protection purposes*

A great part of the system protections operates depending upon the result of comparing two electrical quantities. The two quantities to be compared are linear combinations of the current and voltage of the line under short-circuit. The comparison can be done on the basis of the phase angles or the absolute values. The articles discusses in detail how the different characteristics of the measuring elements of the power directional relays and the distance protections can be obtained by the suitable selection of the constants of the linear combinations.

Elektrotechnika, Budapest, 1960. Nr. 2—3. pp. 120—127

ВЫВОДЫ

DK 621.318.7

Ferenc Weingart: Фильтры симметричных слагающих

Статья занимается общими вопросами фильтров симметричных слагающих. В рамках этого детально рассматривается исследование проблем отрицательных напряжений и фильтров тока. Описывается независимый от частоты фильтр напряжения и фильтр тока. Наконец, дается обзор практического применения фильтров симметричных слагающих.

Elektrotechnika (Электротехника), Будапешт, № 2—3, 1960. стр. 128—131

DK 621.3.014.7:621.316.925

Iván Bach: Селективная защита двойных замыканий на землю

Статья занимается вопросами защиты двойного замыкания на землю радиальных и шлейфовых сетей. Для радиальной сети указывается правильное использование двух и трехфазных защит от сверхтоков с независимым запаздыванием. Для дистанционных защит описывается новый строгий метод.

Elektrotechnika (Электротехника), Будапешт, № 2—3, 1960. стр. 132—144

ZUSAMMENFASSUNGEN

DK 621.318.7

F. Weingart: Filter mit symmetrischen Komponenten

Der Artikel befasst sich im allgemeinen mit Filtern mit symmetrischen Komponenten und geht dabei ausführlich auf die Untersuchung von Problemen ein, welche mit den gegenlaufenden Spannungs- und Stromfiltern verknüpft sind. Zeigt einen periodenunabhängigen Spannungsfilter und einen Stromfilter, und gibt schliesslich eine Übersicht von der praktischen Verwendung von Filtern mit symmetrischen Komponenten.

Elektrotechnika, Budapest, 1960. Nr. 2—3. S. 128—131

DK 621.3.014.7:621.316.925

I. Bach: Selektiver Schutz von zweifachen Erdschlüssen

Der Artikel behandelt die Schutzfragen von zweifachen Erdschlüssen in Strahlen- und Maschennetzen. Für den Fall eines Strahlennetzes gibt die richtige Verwendung der Zwei- und Dreiphasen — Überspannungs-Zeitschutze mit unabhängiger Verzögerung. Betreffs Fernschutze wird eine präzise neue Phasenaushebungsmethode besprochen.

Elektrotechnika, Budapest, 1960. Nr. 2—3. S. 132—144

SUMMARY

DK 621.318.7

Ferenc Weingart: Symmetrical component filters

The article deals in general with the symmetrical component filters. Within this subject it discusses the problems connected with the negative sequence voltage and current filters. A frequency-independent voltage and a current filter are described. Finally a survey is given of the practical application of the symmetrical component filters.

Elektrotechnika, Budapest, 1960. Nr. 2—3. pp. 128—131

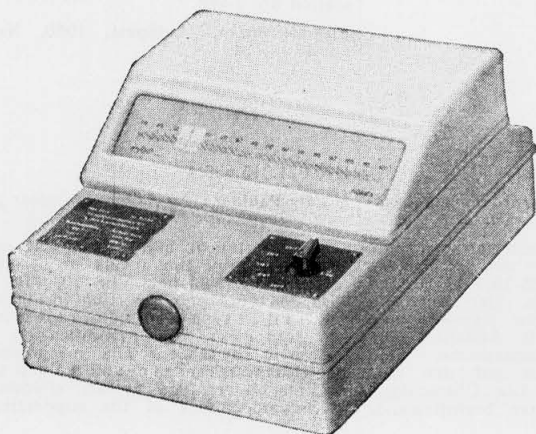
DK 621.3.014.7:621.316.925

Iván Bach: Selective protection against double line-to-earth short-circuits

The article deals with the problem of protection against double line-to-earth short-circuits in tree-type and looped distribution circuits. For the tree-type circuit the proper application of the two and three-phase over-current relays with definite time delay is given. For distance protections a new accurate phase-selection method is described.

Elektrotechnika, Budapest, 1960. Nr. 2—3. pp. 132—144

FÉNYMUTATÓS MŰSZEREK mint



NORMA
FABRIK ELEKTRISCHER MESSGERÄTE

GALVANOMÉTER

4 különböző típus
Belső ellenállás: 10, 100, 2000,
ill. 10 000 Ohm
6—6 dekád-fokozatú
érzékenységi tartománnyal:
 $5,10^{-4}$ — $5,10^{-10}$ A/skálaosztás

MILLIVOLTMÉRŐ

10 méréstartománnyal:
300 μ V — 300 mV, vagy
1,5 mV — 1500 mV

MIKROAMPERMÉRŐ

10 méréstartománnyal
0,75 — 750 μ A.

FLUXMÉRŐ

10 méréstartománnyal: 500-tól
500 000 Maxwellmenet/skálaosztás
értékig

Wien XI., Fickeystrasse 1—11

Táviratcím: NORMAMETER

ELEKTROTECHNIKA

Felelős szerkesztő: Kelemen Tibor — Kiadja a Műszaki Könyvkiadó V., Bajcsy-Zsilinszky út 22. Telefon: 113—450 — Felelős kiadó: Solt Sándor
Ez a folyóirat MSZ 3405 A szerint 2460 példányban készült, 60.2503. Állami Nyomda, Budapest

Előfizetés: Posta Központi Hírlapiroda Vállalatnál, Budapest V, József nádor tér 1. Telefon: 180—850.

Külföldön terjeszti *KULTURA Könyv és Hírlap Külkereskedelmi Vállalat* Budapest VI, Népköztársaság útja 21. vagy a *KULTURA* külföldi képviselői. — Bestellungen zu richten an *KULTURA Ungarisches Aussenhandelsunternehmen für Bücher und Zeitungen* Budapest 62, Postfach 149. oder an ihre ausländischen Vertretungen. — Orders may be placed with *KULTURA Hungarian Trading Company* for Books and Newspapers Budapest 62. POB 149. or with any of its representatives abroad. — Заказы принимаются предприятием *КУЛТУРА* Внешнеторговое по продаже книг и журналов Будапешт 62, п. я. 149. или его заграничными представительствами.

Előfizetési díj egész évre 72,— Ft. Egyes szám ára 6,—Ft. — Csekk számlaszám: 61.254

INHALT

Publikationen des Forschungsinstitutes für Elektrische Energie

F. LÉVÁRDI	Eröffnung	49
A. L. PAPP	Die Rolle der wissenschaftlichen Forschung in der elektrischen Energie-industrie	51
P. IGNÁCZ	10 Jahre Arbeit des Forschungsinstitutes für Elektrische Energie (VILLENKI)	54
T. VÁMOS	Neuzeitliche Methoden der Lastverteilung	59
F. CSÁKI	Praktisches Verfahren zur Bestimmung von veränderlichem Schlupf im asynchronen Betrieb von Turbogeneratoren	62
F. RONKAY	Energetische Prinzipfragen des vom VILLENKI entwickelten Kooperations-Leistungsreglers	68
M. UZSOKY	Auswahl von Transfer-Parametern für kooperative Regeleinrichtungen	73
K. VÖRÖS	Gesichtspunkte für den Entwurf und die Genauigkeit von elektronischen Einheiten des kooperativen Leistungsreglers	78
G. VAJDA	Beanspruchung von Generatoren mit Einheitsschaltung durch atmosphärische Überspannungen	81
G. BÁN	Schutz von Unterwerken mit Kabelanschluss gegen atmosphärische Überspannungen	89
J. BESZE	Gesichtspunkte der Anwendung von Löschröhren für den Schutz von Freileitungen und Anlagen	95
I. BENKÓ	Unterbrechung von kleinen induktiven Strömen	98
R. SZABÓ BAKOS	Einige Fragen der Kenndaten der Rückkehrspannung auf Grund von Messungen im einheimischen Netze	103
M. VAJTA	Netz-Kurzschluss-Probestation des VILLENKI in Budapest	110
M. PAULUSZ	Neuartige Innenraum-Stützisolatoren	114
L. PÁZMÁNDI	Verwendung von Wage- und Phasenwinkel-Relais für Schutzzwecke	120
F. WEINGART	Filter mit symmetrischen Komponenten	128
I. BACH	Selektiver Schutz von zweifachen Erdschlüssen	132

CONTENTS

Publications of the Institute for Power Research

FERENC LÉVÁRDI	Opening address	49
LÁSZLÓ A. PAPP	The role of the scientific research in the electric power industry	51
PÁL IGNÁCZ	The 10 years' work of the Institute for Power Research	54
TIBOR VÁMOS	The up-to-date methods of load distribution	59
FRIGYES CSÁKI	A practical method of determining the varying slip in the asynchronous operation of turbine generators	62
FERENC RONKAY	The theoretic problems of the power control equipment for cooperating systems developed by the Institute for Power Research	68
MIKLÓS UZSOKY	The selection of the transfer parameters of the control equipments for cooperating systems	73
KÁROLY VÖRÖS	Design principles and accuracy of the electronic units of the control equipment for cooperating systems	78
GYÖRGY VAJDA	The effect of atmospheric overvoltages on generators operating in unit connection with transformers	81
GÁBOR BÁN	Protection against atmospheric overvoltages for substations connected to cables	89
JENŐ BESZE	Some viewpoints in the application of expulsion-type lightning arresters for the protection of transmission lines and electrical equipments	95
IMRE BENKÓ	The breaking of small inductive currents	98
RÓBERT SZABÓ BAKOS	Some problems of the characteristics of the restriking voltage as based on measurements carried out on the Hungarian power system	103
MIKLÓS VAJTA	The system-supplied short-circuit testing station in Zugló of the Institute of Power Research	110
MIHÁLY PAULUSZ	New types of indoor supporting insulators	114
LÁSZLÓ PÁZMÁNDI	The use of balance and phase-angle relays for protection purposes	120
FERENC WEINGART	Symmetrical component filters	128
IVÁN BACH	Selective protection against double line-to-earth short-circuits	132

**TIZÉVES
A MAGYAR MŰSZAKI KÖNYVKIADÁS**

A MŰSZAKI KÖNYVKIADÓ MEGHÍVJA ÖNT A BUDAPESTI IPARI VÁSÁRON RENDEZENDŐ

NEMZETKÖZI MŰSZAKI KÖNYVKIÁLLÍTÁSRA

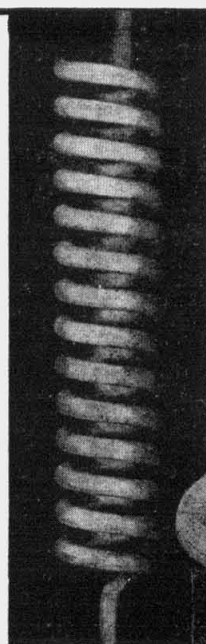
A KIÁLLÍTÁSON **MAGYAR
SZOVJET
NÉMET
CSEH
SZLOVÁK
ROMÁN**

SZAKKÖNYVEKET ÉS FOLYÓIRATOKAT MUTATUNK BE A MŰVÉSZ SÉTÁNYON
A SZOVJET PAVILONNAL SZEMBEN

1960. MÁJUS 20—30 KÖZÖTT

MŰSZAKI KÖNYVKIADÓ

VAC
VACUUMSCHMELZE



**VACROMIUM®
MEGAPYR®**



**FŰTŐVEZETÉK-
ANYAGOK
ELEKTROMOS
HŐTERMELŐ
BERENDEZÉSEKHEZ**

® Bejegyzett védjegy

VACUUMSCHMELZE AKTIENGESELLSCHAFT · HANAU