

# Impulzusbegyűjtással kezdeményezett zárleti vizsgálatok

DR. BÁN GÁBOR, Budapest\*  
A Magyar Elektrotechnikai Egyesület tagja  
MIHÁKOVICS TIBOR, Budapest\*\*

DK 621.317.333

## 1. Impulzusbegyűjtásos próbák

A villamos hálózaton bekövetkező üzemszavarak jelentős része zárleti ívek fellépésével kapcsolatos. A zárleti ívek roncsoló hatása jelentős károkat okoz a villamosberendezésekben, ha nem gondoskodunk arról, hogy a hálózati védelem az íves zárlatokat kellően rövid idő alatt megszüntesse. Mivel a védelem működési idejét hálózati és szerkezeti szempontok minimálják, ezért arról is gondoskodni kell, hogy a zárleti ívek hatásának kitett berendezések a zárlat bekövetkezése és likvidálása közötti időtartamig kellő biztonsággal elviseljék az íves zárleti igénybevételeket.

A nagyteljesítményű villamos ív hatásának ismerete különösen fontos a megszakító-jellegű készülékekben, amelyeknek fő feladata a bennük keletkező zárleti ív oltása. E készülékek csoportjába tartozik a megszakítón kívül a túlfeszültség-levezető és az oltócső is.

Annak érdekében, hogy a villamosberendezések üzemi megbízhatóságára a laboratóriumi próbák alapján kellő biztonsággal következtetni lehessen, a laboratóriumi vizsgálati módszereket a veszélyes üzemi viszonyoknak megfelelően kell kialakítani. Ez az íves zárleti próbákra vonatkoztatva a hálózaton előforduló íves zárlatok kialakulási körülményeinek vizsgálatát teszi szükségessé. E vizsgálatok alapján az íves zárlatokat két csoportba sorolhatjuk:

a) A hálózati zárleti ívek egy része a fémes vezetőjű zárleti áramkör folytonosságának — szándékolt vagy nem szándékolt — megszűnéséből származik. Ide sorolhatók mindenekelőtt a megszakítóknak lezajló ívjelenségek. Tágabb értelemben azonban ide tartoznak a vezető réteggel szennyeződött szigetelőfelületeken kialakuló ívek is, amelyek a vezető réteg folytonosságának a száradás miatti megszűnéséből erednek. Az ilyen természetű íveket húzott íveknek nevezhetjük.

b) A zárleti ívek másik csoportja valamilyen szigetelés hirtelen — rendszerint túlfeszültség miatti — letöréséből származik. Az ilyen ívek oka tehát átütés. E jelenséget egy igen rövid ideig tartó, impulzusjellegű ív vezeti be, s ebből alakul ki a tulajdonképpeni zárleti ív. Ezek az impulzusbegyűjtásos ívek.

Az ívhúzás folyamatának laboratóriumi leképezése általában nem jár nagyobb nehézségekkel: a jelenséget maga a vizsgált megszakító produkálja, vagy a szigetelőre előzetesen felvitt vezető rétegen a valóságost megközelítő módon való megsza-

kadása. Egyes vizsgálatoknál az ív kívánt helyen való kialakulását igen kis keresztmetszetű vezeték-szál közbeiktatásával idézik elő. A zárleti áram hatására a vezeték-szál fokozatosan elég, s helyén zárleti ív keletkezik.

Nagyobb problémát jelent a vizsgálati technika szempontjából a jelen cikk tárgyát képező impulzusbegyűjtásos ívek laboratóriumi létrehozása. Ezeknél a vizsgált berendezéshez a zárleti áramkör mellett túlfeszültség-hullámot szolgáltató áramkörrel is csatlakoztatni kell, s gondoskodni kell a két áramkör üzembiztos, összehangolt működéséről.

## 2. Impulzusbegyűjtásos ívek a hálózaton

Az üzemben előforduló impulzusbegyűjtásos ívek közül leggyakoribb a túlfeszültség következtében átívelt szigetelőkön kialakuló üzemi frekvenciájú ív. Az ilyen ívkialakulás vizsgálata két kérdés szempontjából lehet fontos:

a) Mi a valószínűsége az üzemi frekvenciájú ív sikeres begyűjtésének?

b) Mennyiben okozhatja az így kialakult ív a szigetelő sérülését?

A szigetelőknél kialakuló ívjelenségek tanulmányozása alapján az a következtetés adódik, hogy a túlfeszültség okozta átívelések a szigetelő sérülése szempontjából általában nem jelentik a legveszélyesebb igénybevételt. Ennek oka az, hogy a túlfeszültség által kiváltott nagyáramú ív nem tapad a szigetelőre. Lényegesen veszélyesebbnek látszik a felületi szennyeződés miatti átívelés, amely a szigetelő felületén kialakuló részívekből ered, s így veszélyesebb igénybevételt jelent. Ezért a szigetelők laboratóriumi ívállósági vizsgálatánál ez utóbbi jelenséget utánozzák.

A szabadvezeteki szigetelőknél az *a* szempont szerinti vizsgálata igen fontos. E vizsgálat eredményei alapján lehet ugyanis eldönteni azt, hogy egy villámsapás a vizsgált hálózat üzemi frekvenciájú zárlatát okozza-e vagy sem. Az így kapott adatok nélkülözhetetlenek a megszakító-működések várható számának, illetve az esetleg alkalmazásra kerülő védővezetők hatásosságának megállapításánál, valamint alapvetően befolyásolják a túlfeszültségvédelem célszerű kialakítási módját is.

A szóban forgó vizsgálatot az elmúlt évtizedek során több országban is elvégezték. BROOKES, SOUTHGATE és WHITEHEAD [1] 26 kV-os, faoszlopos vezetéken végzett, ilyen célú mérések eredményeiről számolt be. Sokkal részletesebb, valamint kiterjedtebb vizsgálatsorozatot végeztek az 1950-es években a Moszkvai VNIIE (Össz-szövetségi Villamosenergetikai Kutató Intézet)-ben. A vizsgálatok eredményeit MAJKOPÁR cikkei és könyve [2, 3] tartalmazzák. Majkopár mérései alapján megállapíthatók azon feszültséggradiens-értékek, amelyeket ha a szigetelőfelület mentén mért gradiens túl-

\* Dr. BÁN GÁBOR okl. gépészmérnök, a műszaki tudományok kandidátusa, a Budapesti Műszaki Egyetem Villamosművek Tanszékének docense (Budapest XI., Egry J. u. 18.)

\*\* MIHÁKOVICS TIBOR okl. villamosmérnök, a Villamosenergiaipari Kutató Intézet tudományos munkatársa (Budapest V., Zrínyi u. 1.)

lép, a lököátívelés tartós zárlattá válik. A kísérletek eredményei alkalmasak voltak általános érvényű következtetések levonására, s ezért ilyen jellegű további laboratóriumi vizsgálatokra általában már nincs szükség.

A hálózaton gyakran okozza a villamosberendezések meghibásodását a szigetelés túlfeszültség miatti átütését követő zárlati iv. Az átütés létrejöhet a főszigetelésen keresztül, de tekercselt berendezésekben bekövetkezhet menetek közötti átütés is. Mindkét átütés-fajta átfejlődhet üzemi frekvenciájú ívvé.

A légköri, illetve a kapcsolási túlfeszültségek korlátozására szolgálnak a túlfeszültségvevzetők és az oltócsövek. Mindkét túlfeszültségvédelmi eszköz működése szikraköz-átütéssel kezdődik. A szikraközök átütési feszültsége lényegesen nagyobb az üzemi feszültségnél, tehát az átütést csak túlfeszültség hozhatja létre. Az átütő-áram-impulzus üzemi frekvenciájú ívet gyújt be, amelynek árama az ún. követő vagy utánfolyó áram. Ezt a követő áramot a túlfeszültségvevzetőbe épített feszültségfüggő munkaellenállások erősen korlátozzák, s a velük sorbakapcsolt oltószikraközök a kisáramú ívet eloltják, illetve az iv újragyulladását megakadályozzák. Oltócsónél az átütést követően nagyáramú zárlati iv alakul ki, amelynek kóhatása az oltócső falának anyagából heves gázképződést vált ki. Az ebből eredő kifúvás oltja el a zárlati vet.

Mindkét túlfeszültségvédelmi eszköz működése tehát túlfeszültség hullámmal begyújtott, üzemi frekvenciájú iv oltásával kapcsolatos.

Az impulzusbegyújtásos ívekkel végzett laboratóriumi vizsgálatok keretében a felsorolt hálózati jelenségekhez hasonló feltételeket kell biztosítani.

### 3. Az impulzusbegyújtásos próbák áramköreinek fő kérdései

Az impulzusbegyújtásos próbák elvégzésére szintetikus körök alkalmazhatók. Ezek egyrészt impulzusgenerátort tartalmaznak, amely a begyújtó impulzust, másrészt elegendő teljesítőképességű, üzemi frekvenciájú áramforrást, amely a begyújtás utáni zárlati áramot szolgáltatja.

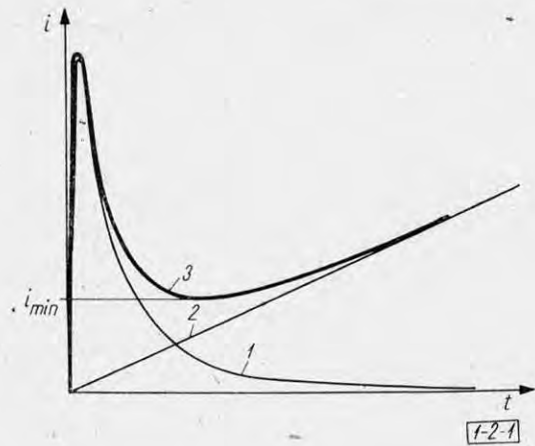
A begyújtás sikerességének érdekében a következő tényezőket kell figyelembe venni:

a) A begyújtó impulzus feszültségének meg kell haladnia a próbatárgy átütési feszültségét.

b) Az átütés után a próbatesten az impulzusgenerátor áramának, valamint a zárlati áramkör tranzienis áramának eredője folyik át (1. ábra). Az áramgörbe minimális ( $i_{\min}$ ) áramának nem szabad az iv fenntartásához szükséges kritikus áramérték alá csökkenni.

c) Amennyiben mégis pillanatnyi ivkialvás következne be, a próbatárgyon fellépő visszazökő feszültség olyan alakú legyen, hogy az ívet újra be tudja gyújtani.

A *b* és *c* feltételeket az impulzus- és a zárlati kör paramétereinek megfelelő megválasztásával és összehangolásával lehet megteremteni. A zárlati



1. ábra. 1 — impulzus áram; 2 — tranzienis zárlati áram  
3 — eredő áram

kör paramétereit azonban egyéb feltételek is meghatározzák, mint pl. előírt visszatérő feszültség, illetve zárlati áramérték betartása. Ezért megfelelő vezérlés kialakításával biztosítani kell a begyújtó impulzus fázishelyzetének (az üzemi frekvenciájú feszültséghez képesti időbeli helyzetének) tág határok közötti folyamatos változtatását, mivel a begyújtó impulzus fázishelyzetével erősen befolyásolható a *b* és *c* feltétel teljesülése. Az impulzus fázishelyzetének folyamatos változtatási lehetősége azért is fontos, mert — ahogy ez a későbbiekből kiderül — a próbák alatti igénybevételek is jelentős mértékben függenek a begyújtási fázishelyzettől.

Az impulzusbegyújtásos próbák technikájából következik, hogy a próba bizonyos időintervallumban az impulzus-kör és a zárlati kör szükségszerűen galvanikus kapcsolatba kerül. Ez egyrészt azt a veszélyt rejti magában, hogy a begyújtóimpulzus a zárlati körben veszélyes túlfeszültségeket okoz, másrészt, hogy a zárlati kör az impulzusgenerátort tartósan üzemi frekvenciájú feszültséggel veszi igénybe, ami általában nem megengedhető.

Az említett veszélyek megelőzésére az impulzusbegyújtásos próbaáramkörökben gondoskodni kell a zárlati berendezés megfelelő túlfeszültségvédelméről, valamint arról, hogy az impulzusgenerátor megfelelő időben leválasztódjék a zárlati körről.

A VEIKI Nagyteljesítményű Laboratóriumában három impulzusbegyújtásos próbaáramkört fejlesztettünk ki. Ezeknek segítségével az alábbi próbák végezhetők el:

- Transzformátor menetszigetelésének vizsgálata
- Túlfeszültségvevzetők működési próbája
- Oltócsövek oltási próbája.

A Magyar Villamos Művek megbízásából végzett próbák során meggyőződünk arról, hogy a kidolgozott próbaáramkörök az impulzusbegyújtásos vizsgálatra alkalmasak. E próbaáramkörök felépítéséről, működéséről számolunk be jelen cikk keretében.



#### 4. Transzformátorok menet- és tekercsszigeteléseiben bekövetkezett átütések helyének kiégetése

A transzformátor tekercselésekben létrejött átütések — amennyiben nem gyújtanak be zárlati ívet — nem okozzák a transzformátor azonnali meghibásodását. Mivel azonban az átütési helyek regenerálódása feltehetően nem tökéletes, célszerű a karbantartási munkák keretében az átütött szigetelésű tekercsrészeket kicserélni. Ezek helyének megállapítása úgy történhet, hogy a gyengült szigetelésű helyen a vizsgált tekercselésre bocsátott lökőhullámmal átütést hozunk létre, amely nagy valószínűséggel a tekercselésben gerjesztett üzemi frekvenciájú feszültség által táplált íves zárlattá fejlődik. Ezáltal a hibahely „kiég” és a hibás tekercsrész helye a tekercselés kiemelése után könnyen megtalálható.

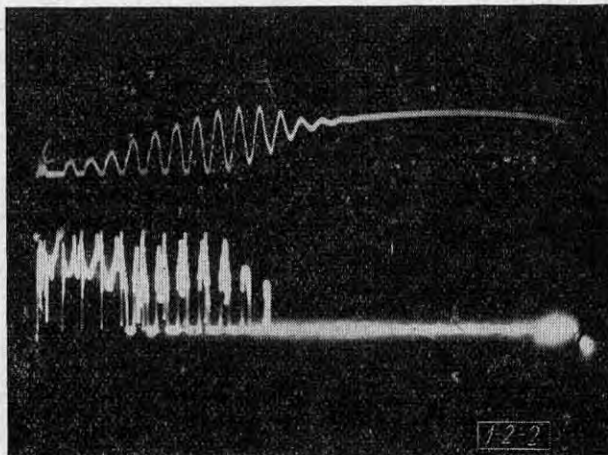
A hibahely kiégető áramkör arra a célra is felhasználható, hogy a menetszigetelések lökőhullámmú próbája alkalmával félreérthetetlenül kimutassa az esetleges átütések bekövetkezését. A szokott bonyolult és munkaigényes hibakimutatási eljárásokkal szemben a hibakimutatás ekkor a transzformátor tápoldalán egyszerű áramméréssel történhet.

A kiégető áramkör kialakítása több nehézségbe ütközik. Az egyik abban áll, hogy a menetzárlat helyén átfolyó áramimpulzus igen keskeny: csak a transzformátortekercselésre bocsátott lökőfeszültség-hullám homlokának legfeljebb  $\mu s$  nagyságrendű időtartama alatt képes fenntartani az átütési ívet. Ilyen rövid idő alatt pedig a rövidre zárt menetekben az áram nem nő olyan értékre, hogy az impulzus megszűnése után fenntartsa a zárlati ívet. További problémát jelent az a körülmény, hogy nincs módunk egyszerűen befolyásolni a zárlati áram lefolyását, illetve a zárlati ív kialakáskor keletkező visszazökő feszültség alakját a zárlatos tekercsrészben, mivel utóbbi a tekercselés belsejének a próba tartama alatt még ismeretlen helyén alakul ki.

PROOVOST [4] a transzformátortekercselésben létrejött átütés zárlati ívvé való fejlesztése érdekében a vizsgált tekercset ellenállással terhelte. Tapasztalataink szerint ez a módszer nem elég hatásos, s a terhelő ellenállás szükséges paramétere tekercseléstől függőek. Ezek a körülmények a Proovost által javasolt módszer alkalmazását nehezítik.

A VEIKI Nagyteljesítményű Laboratóriumában kidolgozott kiégető áramkör működési elve a következő [8]:

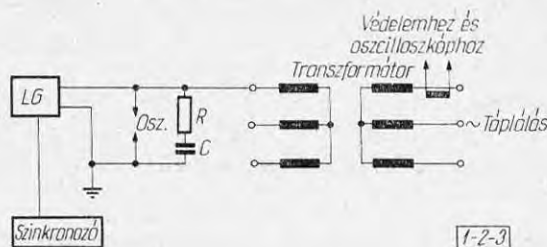
A hibás szigetelésű helyen a kiégető kör által a tápfeszültség meghatározott fázishelyzetében kibocsátott feszültségimpulzus átütést okoz, amelynek íve azonban rövid idő után megszűnik. Az átütéskor megindult, induktív jellegű tranzien sz zárlati áram az átütési ív kialakása után az átütési hely kapacitásán át tud csak záródni, s így az átütött tekercsrészben áramlengés alakul ki. Ha sok, egymás után következő feszültségimpulzust bo-



2. ábra. Felső görbe: a zárlatos tekercsrészben folyó áram  
Alsó görbe: az átütési pontok közötti feszültség

csátunk a vizsgált tekercselésre, amelyek mindegyike átütést okoz a hibás szigetelésű helyen, akkor az átütött tekercsrészben az ívkialvást követően fellépő áramlengések szuperponálódnak. A szuperpozíció következtében nagy valószínűséggel egyre növekvő áram alakul ki az átütött tekercsrészben. Kellően sok impulzus alkalmazása esetén ez az áramnövekedés olyan mértékű, hogy az átütő impulzusok valamelyike által kiváltott ívet fenn tudja tartani, s kialakul az üzemi frekvenciájú zárlat (2. ábra).

Az áramkör elvi kapcsolása a 3. ábrán látható. Az átütő feszültségimpulzust a transzformátor üzemi frekvenciájú gerjesztő feszültségéhez szinkronizált működésű, nagy induktivitású lökésgerjesztő (LG) állítja elő, amelyet az OSZ oltószikraköz-sorozat levág, azonban a szikraköz által kifejtett intenzív oltóhatás miatt a levágási ív kialszik. Az induktív lökőáram megszakadása miatt az oltószikraközön nagy meredekségű visszazökő feszültség jelenik meg, amelynek következtében a szikraköz újra átüt. Ez a jelenség mindaddig ismétlődik, míg a lökőgenerátor kondenzátora teljesen ki nem sül a szikraközön keresztül. Ezalatt a nagy induktivitású lökésgerjesztő és az oltószikraköz egymáshoz közeledésük következtében meredek homlokú és meredeken levágott impulzusok sorozata keletkezik a transzformátortekercselés bemenete és a föld között. Az impulzusok kívánt sűrűsége a szikraközzel párhuzamosan kapcsolt  $R-C$  tag kapacitásával állítható be. Az impulzusok csúcsértéke az oltószikraköz átütőfeszültségének változtatásával sza-



3. ábra

bályozható. Az impulzussorozat a tekercselés szigetelésének sérült helyén átütés-sorozatot okoz.

A vizsgált transzformátort szekunder oldalról háromfázisúan gerjesztjük. Ennek következtében az átütés által rövidre zárt menetekben az előzőekben leírt hatás folytán kialakul az üzemi frekvenciájú zárlati áram. Ez a megfelelő tápoldali áram ugrásszerű növekedését idézi elő, s így a zárlat bekövetkezése könnyen kimutatható.

Az ismertetett kiegészítő áramkörrel transzformátorok 20 kV-os tekercselésén végeztünk próbákat. A próbák során beigazolódott, hogy az áramkör alkalmas a menetszigetelés-hibák kiegészítésére, mivel a kiegészítési kísérletek mindegyike sikeres volt. A kísérletek alkalmával kimutatható volt a begyújtási fázishelyzet hatása is: a zárlati ív begyújtása szempontjából az a legkedvezőbb, ha az átütés-sorozat kezdete a vizsgált transzformátortekercsen fellépő feszültség csúcserőértékét 10–15 villamos fokkal megelőzi.

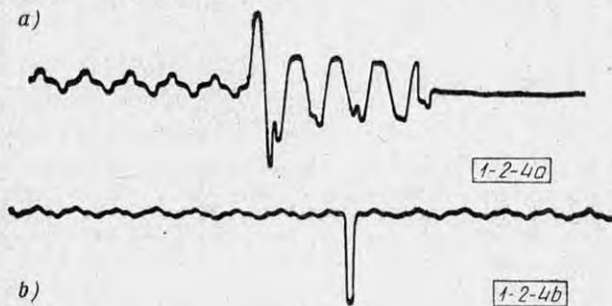
Amint a 2. ábrából látható, az átütés által időnként rövidre zárt tekercsvégben az áram tranziens lengéseket végez. Ezek amplitúdójának növekedése kedvező hatású a kiegészítő ív létrejötté szempontjából, de fennáll annak a veszélye is, hogy közben a tranziens áram zérushoz közeli értéke esetén az ív kialszik. Ezt a veszélyt az impulzusok sűrűségének változtatásával lehet csökkenteni.

A 4. ábrán két oszcillogramfelvételt mutatunk be. A felvételek elosztóhálózati transzformátorok 20 kV-os tekercselésének próbái alkalmával a tápoldali gerjesztőáramról készültek. A 4a oszcillogramon az állandósult menetzárlatnak megfelelő áramnövekedés látható. A 4b felvételen bemutatott esetben a menetzárlat csak kb. fél perióduson keresztül állt fenn. Ilyen esetekben a kiegészítési kísérlet megismétlése látszik célszerűnek.

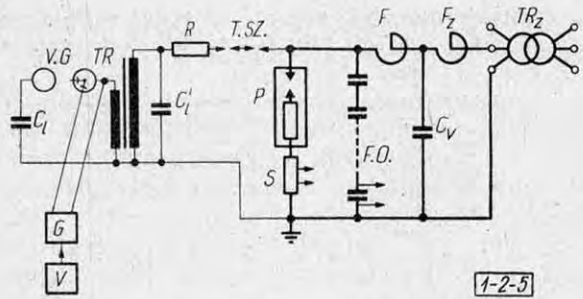
## 5. Túlfeszültségvevő működési próbája

A szóban forgó próba célja annak megállapítása, hogy a túlfeszültségvevő a begyújtó impulzust követő ún. utánfolyó áramot kellő biztonsággal tudja-e oltani. A próba feltételeit az [5] tartalmazza. Eszerint egy levevő próbája alkalmával 20 működést kell előidézni, a következő feltételek mellett:

1. A begyújtó impulzus áramának javasolt alakja  $8/20 \mu\text{s}$ , csúcserőértéke pedig megegyezik a névleges levevő árammal.



4. ábra



5. ábra. A szintetikus kör két áramkörét az eltérő vonalvastagság jelzi

2. A begyújtó feszültségimpulzus polaritása egyezzen meg a zárlati kör feszültsége megfelelő pillanatértékének polaritásával.

3. A begyújtást az üzemi frekvenciájú feszültség megfelelő csúcserőértéke előtt 60 villamos fokkal kell megvalósítani.

4. A zárlati kör teljesítőképességének akkorának kell lennie, hogy a levevőn mért feszültség csúcserőértéke az utánfolyó áram megszakítása után legfeljebb 10%-kal haladja meg a levevő alatti feszültség csúcserőértékét.

A túlfeszültségvevő működési próbájára kidolgozott áramkör felépítése az 5. ábrán látható. Az impulzusáramkör  $C_1$  és  $C_2$  lökökondenzátorokból,  $TR$  nagyfeszültségű transzformátorból,  $VG$  vezérelt gömbszikraközéből,  $R$  nagyfeszültségű ellenállásból,  $TSZ$  többszörös szikraközéből állt. Az impulzusáramkör működése a következő:

A  $V$  vezérlő elektronikával vezérelt  $G$  impulzusgenerátor a  $VG$  vezérelt gömbszikraköznek gyújtó impulzust ad. Ennek hatására a  $VG$  szikraköz átüt és az előzetesen feltöltött  $C_1$  kondenzátor a  $TR$  transzformátor középfeszültségű tekercsén át kisül. Ennek következtében a  $TR$  transzformátor nagyfeszültségű tekercsének kapcsai között egy feltranszformált, 100 kV nagyságrendű feszültséglengés alakul ki. Ez a  $C_2$  nagyfeszültségű kondenzátort feltölti. Ha e kondenzátor feszültsége eléri a  $TSZ$  szikraköz átütési feszültségét, igen meredek homlokú ( $0,1 \mu\text{s}$  nagyságrendű homlokidejű) feszültségimpulzus jut a  $P$  próbatárgyra.

A zárlati kör  $TR_2$  zárlati próbatranszformátorból, valamint a zárlati kör teljesítőképességét szabályozó  $F_2$  zárlati fojtótekercsből áll. A zárlati kör túlfeszültségvédelméről az  $F$  fojtótekercsből és  $C_v$  kondenzátorból álló soros rezgőkör gondoskodik: a próbatárgyon fellépő meredek feszültségimpulzus helyett a  $C_v$  védőkondenzátoron (vagyis a zárlati kör sarkain) erősen csökkent frekvenciájú és a zárlati kör főszigetelésére veszélytelen csúcserőértékű lengés lép fel. Az áram mérésére az  $S$  sönt, a feszültség mérésére az  $FO$  feszültségosztó szolgál.

Az [5]-ben javasolt begyújtó impulzus megvalósítása középfeszültségű ( $U_{név} \leq 40,5 \text{ kV}$ ) teljes túlfeszültségvevő próbájához nagy költséggel megvalósítható kondenzátortelep megvalósítását tette volna szükségessé. Azonban külföldi tapasztalatok szerint az impulzusáram alakja nem befolyásolja lényegesen a levevő feszültségfüggő ellen-



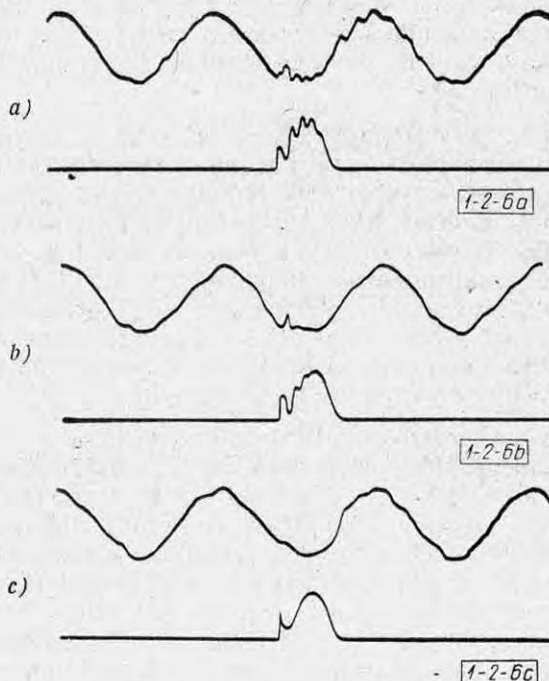
állásának igénybevétele, mivel az utánfolyó áram energiataralma közel egy nagyságrenddel nagyobb az impulzusénál. (Ezt a későbbiek során ismertető méréseinkkel magunk is kimutattuk.)

A begyújtó impulzus áramának az ajánlottal szembeni csökkentése lehetővé tette az 5. ábra szerinti lökökör-megoldást. Ennek a lökökörnek egyik előnye a nagyteljesítményű kondenzátortelep feleslegessé válása, másik előnye pedig az, hogy az impulzusgenerátor épsége nem forog veszélyben még akkor sem, ha a *TSZ* szikraköz nem alszik ki a begyújtó impulzus lefutása után. További jelentős előny, hogy az így kialakított lököáramkör az impulzustranzformátorként szereplő *TR* transzformátor miatt erősen induktív lehet. Az induktív lököáram megszakadásakor fellépő jelentős visszahatófeszültség felhasználható az ív újragyújtására, ha az  $i_{min}$  a kritikus érték alatt van.

A lököáramkör  $C_1$  nagyfeszültségű kondenzátora és *TSZ* szikraköze arra szolgál, hogy a túlfeszültséglevezetőn nagy meredekségű begyújtó impulzus lépjen fel. Ez viszont elengedhetetlenül szükséges ahhoz, hogy az *F* fojtónak a zárleti kör előírt teljesítőképessége által megszabott kis induktivitása mellett is bekövetkezzék a levezető átütése. A  $C_v$  kondenzátor jelenléte miatt ugyanis a levezetőn a feszültség adott időtartam után csökkenni kezd. Ez az időtartam annál kisebb, minél kisebb az *F* fojtó induktivitása.

A lököáramkörbe iktatott *R* ellenállás segítségével a begyújtó lököimpulzus alakját lehet változtatni.

A továbbiakban egy 24 kV-os névleges feszültségű túlfeszültséglevezetőn lefolytatott próbák néhány oszcillogramját mutatjuk be.



6. ábra. Felső görbék: az 5. ábra szerinti kapcsolás *FO* feszültségosztójával mért feszültség. Alsó görbék: a levezetőn átfolyó áram

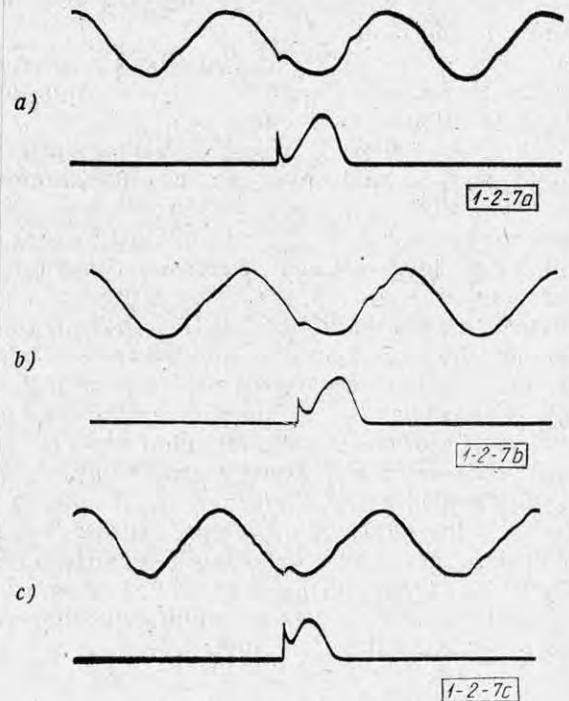
A 6. ábrán látható felvételek a lököáram-alak változtatásának hatását mutatják be a levezető igénybevétele. (Az impulzusáram hatását az utánfolyó áram nagyságán lehet lemérni.) A három oszcillogram azonos begyújtási fázishelyzet és zárleti kör paraméterek mellett készült, csupán az impulzuskörben levő *R* értékét változtattuk (*R* ellenállás értéke a 6a oszcillogramon 0 ohm, a 6b oszcillogramon 150 ohm, a 6c oszcillogramon 2000 ohm).

A három oszcillogram alapján megállapítható, hogy az impulzusáram alakjának lényeges változtatása sem befolyásolja észrevehetően a levezető utánfolyó áramát, tehát termikus igénybevétele.

A 7. ábra oszcillogramjai a begyújtási fázishelyzet változtatásának hatását tükrözik. A felvételekből megállapíthatóan a begyújtási fázishelyzetnek a nullaátmenethez való közelítése nemcsak a levezető igénybevételenek időtartamát növeli, hanem az utánfolyó áram csúcserőértékét is. Ennek oka az, hogy a tartósabb termikus igénybevételel folytan a levezető munkaellenállásának korlátozó hatása csökken. A leírt hatást jól szemlélteti az 1. táblázat.

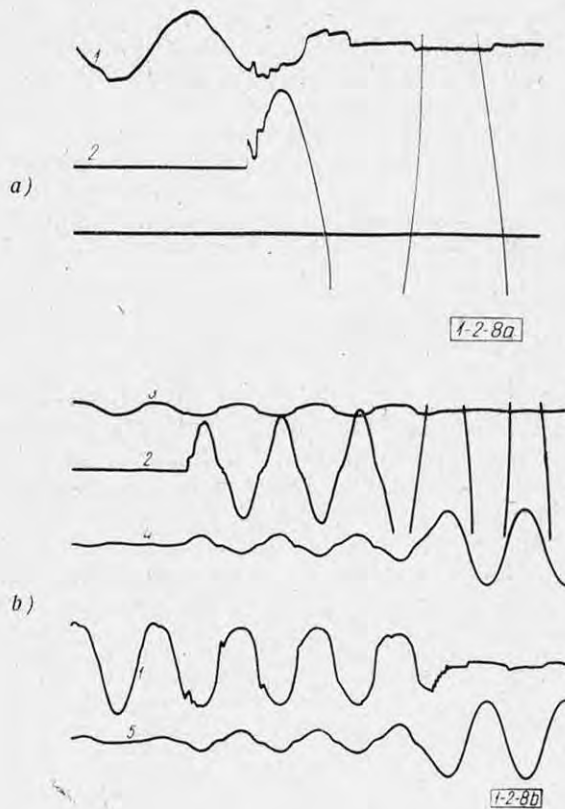
1. táblázat

Felvétel száma	Begyújtási szög	Utánfolyó áram csúcserőértéke, %
7a	8°	100,0
7b	25°	93,0
7c	57°	81,0



7. ábra. Felső görbék: a levezetőn mért feszültség. Alsó görbék: a levezetőn átfolyó áram

A táblázatból látható, hogy a levezető termikus igénybevétele 8° begyújtási fázishelyzet esetén



8. ábra. 1. és 3. görbék: a levezetőn mért feszültség;  
2., 4. és 5. görbék: a levezetőn átfolyó áram

nagyobb, mint az [5] által javasolt  $30^\circ$  mellett. Ez indokolja a  $0^\circ$  közelében való begyűjtással végződő vizsgálatokat.

A 8. ábrán egy 24 kV és egy 40,5 kV névleges feszültségű levezető meghibásodási folyamatáról készült felvételeket mutatunk be.

A 24 kV-os levezetőről készült 8a felvételen jól látható, hogy az utánfolyó áram első félperiódusában, a csúcserték előtt az áram lépcsőzetesen nő, a feszültség pedig lépcsőzetesen csökken. Ez a munkaellenállás egyes elemeinek egymás utáni átütésével magyarázható. A két elem átütése következtében az épen maradtak is túlterhelődtek és a második félperiódusban már minden elem átütött.

A 40,5 kV névleges feszültségű levezetőről készült 8b felvételen az utánfolyó áram növekedése négy félperióduson keresztül folyamatosnak látszik, vagyis ezen idő alatt munkaellenállás átütés valószínűsíthetően nem következett be. Az ötödik és hatodik félperiódusban egy-egy átütésre utaló feszültségugrás látható, a hetedik félperiódusban a feszültség öt lépcsőben csökken a szikraközök iv-feszültségéig, ami a levezető munkaellenállás elemeinek sorozatos átütését tanúsítja.

## 6. Oltócsövek oltáspróbája

Hazánkban a múltban az oltócsövek oltáspróbáját nem impulzusbegyűjtással, hanem fémszálas begyűjtással végezték: az oltócső főszikraközének és előszikraközének fémszállal való áthidalása után

a zárlati kört az oltócsőre kapcsolták. A kialakuló zárlati áram a fémszálatat elégette, helyükön nagyáramú zárlati ív fejlődött ki, amelyet az oltócsőnek előírt visszaszökőfeszültség-paraméterek mellett el kellett oltania.

A leírt próbamódszer körülményei a valóságtól eltérnek abban, hogy a szikraközöket áthidaló fémszálat elgőzölgése miatt fémionok kerülnek az elektródok közötti térbe. Azonban ezeknek mennyisége nem jelentős ahhoz a fémmennyiséghez képest, amely az ív hatására a fémelektródokból eltávozik, tehát e szempontból a fémszálas begyűjtés megfelelő lenne. Nagy hátránya azonban a fémszálas begyűjtásnak, hogy ennél a módszernél — a nagy költséget igénylő szinkron rákapcsoló hiányában — véletlenszerű az ívbegyűjtés fázishelyzete. Már pedig — amint a továbbiakból kiderül — az ívbegyűjtés fázishelyzete az oltócső igénybevitelére döntő befolyású.

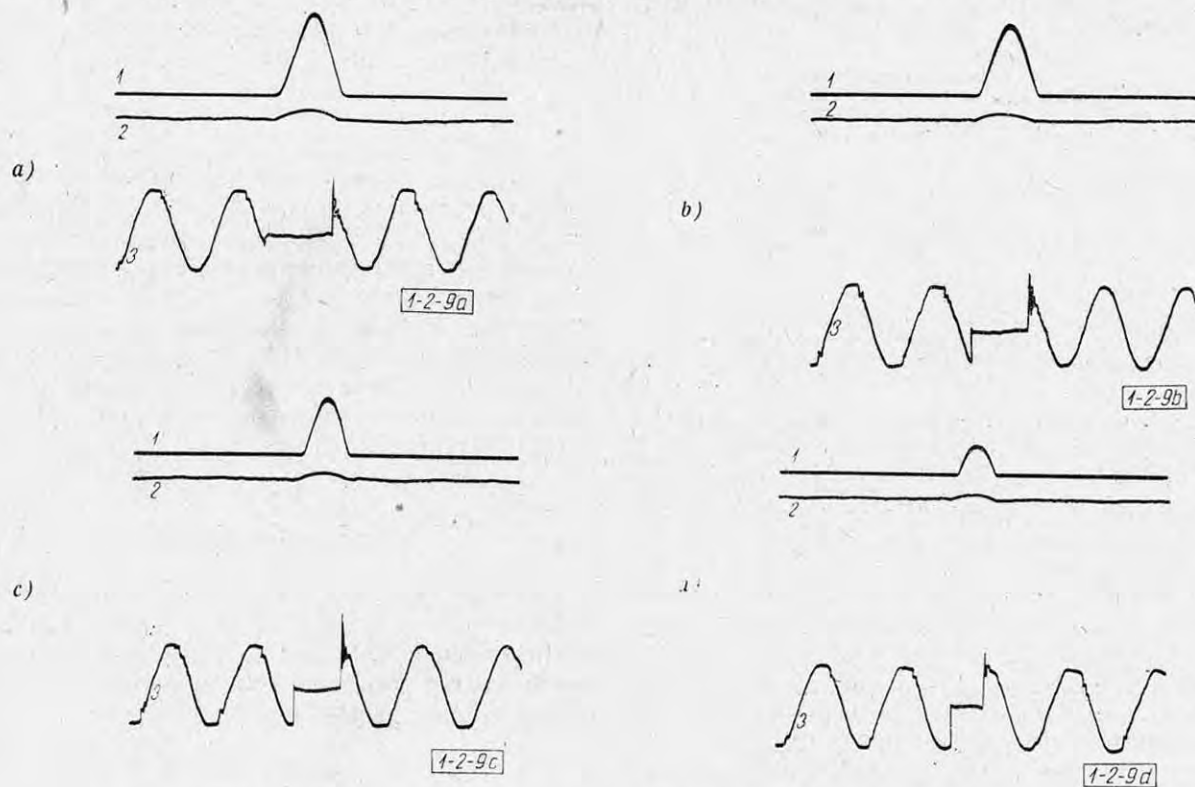
A VEIKI Nagyteljesítményű Laboratóriumában kidolgozott és az 5. ábrán látható próbaáramkör némi módosítással oltócsövek oltási próbájára is használható. A módosítások az alábbi okok miatt szükségesek:

1. Az oltócső szikraközének átütésekor kialakuló lökőáram időállandója sokkal kisebb, mint a levezető esetében, tekintve, hogy az oltócső nem tartalmaz munkaellenállást. Ezért az 1. ábrán látható áramgörbe minimuma sokkal kisebb, mert a rövidebb ideig tartó áramimpulzus időtartama alatt kisebb zárlati áram tud csak kialakulni. Ennek következtében fokozottan fennáll a begyűjtés sikertelenségének lehetősége. A sikertelen begyűjtés veszélye kiküszöbölhető az  $R$  ellenállás beiktatásával, amely megnöveli az áramimpulzus időállandóját. Tehát amíg a levezető működési próbájánál az  $R$  ellenállás csak a paraméterek változtatására szolgált, itt szükséges az üzembiztos ívbegyűjtáshoz.

2. Az oltócső megszakító-jellegű készülék lévén, előírt visszaszökőfeszültség paraméterek (frekvencia és csúcstényező) mellett kell végezni az oltási próbát. Ezért a levezetőnél csupán túlfeszültségvédelmi célokat szolgáló  $C_v$  kondenzátor kapacitását úgy kell megválasztani, hogy az a zárlati kör induktivitásával az előírt visszaszökőfeszültség frekvenciát biztosítsa. A csúcstényező értékének beállításához a  $C_v$  kondenzátorral párhuzamosan egy csillapító ellenállást kell kapcsolni.

3. A visszaszökő feszültség kívánt paramétereinek megfelelően megválasztott  $C_v$  kondenzátor és az oltócső közé — túlfeszültségvédelmi célokból —  $F$  fojtótekercset iktattunk be. Ez a fojtótekercs az oltócsövön fellépő visszaszökő feszültség görbéjét saját, nagyfrekvenciás (50–100 kHz) rezgésével torzítja, ami nem kívánatos. A torzulás csökkentése érdekében az  $F$  fojtótekercs induktivitását a zárlati kör többi induktivitásához képest minimálisra (1–2%) kell választani. Ennek következtében viszont növekednek a begyűjtő impulzus homlokmeredekségével szembeni követelmények.





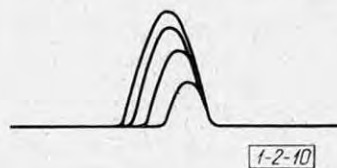
9. ábra. 1. és 2. görbék: az oltócső zárati árama; 3. görbék: az oltócsővön mért feszültség

Az *F* fojtótekercesnek a próbatárgy felőli kezdő menetei közötti szigetelés igen nagy igénybevételnek van kitéve. Már a meredek homlok is jelentős feszültségekülönbséget okozhat a szomszédos menetek között, s ezt tovább növeli az oltócső meredek levágása által kiváltott menetfeszültség. Ezért az *F* tekercesnek legalább a kezdő menetei közötti szigetelést meg kell erősíteni.

A 9. ábrán 20 kV-os oltócső impulzusbegyújtásos próbáiról készült oscillogramokat mutatunk be annak illusztrálására, hogy a begyújtási fázishelyzet milyen hatással van az oltócsőnek, mint megszakítónak az igénybevételeire.\* A 9a ábra 19 fokkal a feszültség nullaátmenete utáni begyújtási fázishelyzettel készült. Ez a fázisszög a 9b felvételnél 58 fok, a 9c felvételnél 81 fok, s a 9d felvételnél 105 fok. Az oscillogramokból láthatóan az ivenergia a begyújtási fázishelyzet függvényében igen erősen változik: részben a begyújtástól a megszakításig eltelt idő következtében, részben pedig azért, mert a begyújtási fázishelyzettől függően változó egyenáramú komponens hatása miatt a zárati kör áramának csúcserőteke is eltérő. (A 10. ábrán együtt látható a szóban forgó négy vizsgálat alkalmával mért zárati áram görbéje.) A leírt különbség fizikai hatását mutatja az a vizsgálati eredmény, hogy az oltócsőtípus, amelynek oscillogramjait a 9. ábrán bemutattuk, 90°-os begyújtási fázishelyzettel végzett 10 próbát sikeresen kiállt, azonban 0° közelében való begyújtással végzett vizsgálatot csak 3 ízben bírt ki.

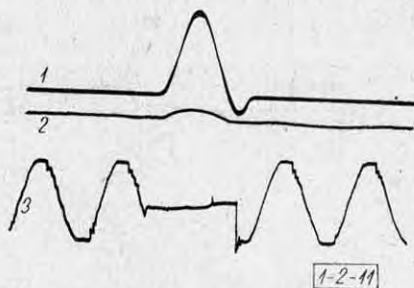
\* A felvételek az oltócső felső határáramával végzett próba alkalmával készültek.

A begyújtási fázishelyzet befolyásolja az oltáskor kialakuló tranziens feszültséget (visszaszökő feszültséget) is. (Lásd a 9a és 9c ábrát.) Ennek oka



10. ábra

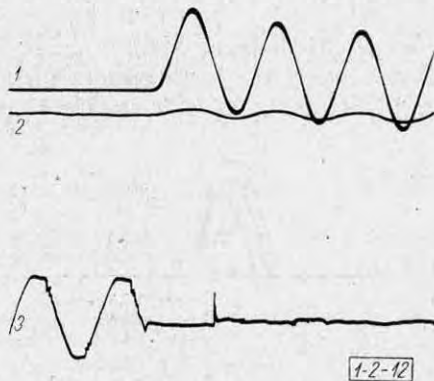
az, hogy a begyújtási fázishelyzettől függően kialakuló egyenáramú áramösszetevő jelenléte miatt a zárati áram nullaátmenete lényegesen eltolódhat a feszültség csúcserőtekéhez képest. (Ez különösen oltócsőnél fontos, mert a sikeres oltás általában az első áramnullaátmenetben történik, amikor az esetleges egyenáramú összetevő csillapodása még nem jelentős.) Ez a körülmény befolyásolja a megszakításkor fellépő üzemi frekvenciájú feszültség pillanatértékét, ami viszont alapvető befolyással van a kialakuló visszaszökő feszültségre. Az előbbieket szerint a feszültség nullaátmenete közelében való begyújtásnál — ami a maximális egyenáramú összetevőt eredményezi — legnagyobb a zárati áram időtartama és csúcserőteke, viszont legenyhébb a visszaszökő feszültség. A feszültség csúcserőteke körüli begyújtásnál — amikor nincs egyenáramú komponens — az oltócső termikus igénybevétele lényegesen kisebb, viszont legszigorúbb a visszaszökő feszültség.



11. ábra. 1. és 2. görbe: az oltócső zárlati árama  
3. görbe: az oltócsővön mért feszültség

A leírt, ellentétes hatások jól tükröződnek a 11. ábrán. A begyújtás a feszültség nullaátmenete közelében történt, s ezért szemmel láthatóan nagy az egyenáramú összetevő. A nagy termikus igénybevétel miatt — annak ellenére, hogy a visszaszökő feszültség enyhébb — sikertelen az első áramnullaátmenetben a megszakítási kísérlet. Az első és a második nullaátmenet között a nagy egyenáramú komponens miatt kicsi a termikus igénybevétel és ezért a második áramnullaátmenetben az oltócső sikeresen oltott a nagyobb meredekségű és csúcsértékű visszaszökő feszültség ellenére.

A 12. ábrán egy sikertelen oltócsőpróba oszcillogramját mutatjuk be. A begyújtás utáni első



12. ábra. 1. és 2. görbe: az oltócső zárlati árama  
3. görbe: az oltócsővön mért feszültség

áramnullaátmenetben az oltócső megkísérelte az oltást (meredek visszaszökő feszültség lép fel),

azonban visszagyújtás következett be. Az oltócső szétszakadt és helyén az ív tovább égett.

\*

A cikkben ismertetett próbaáramkörök — amint a bemutatott példákban látható — alkalmasak arra, hogy a próbatárgyak igénybevétele a valóságot jól megközelítse. Emellett az ismertetett áramkörökkel az igénybevételek nagysága is jól befolyásolható. E módszerekkel végzett vizsgálatok eredményei jó képet adnak a próbatárgyban lefolyó fizikai jelenségekről. Ezért ezek az áramkörök alkalmasak az ismertetett próbatárgyak darab- vagy típuspróbáin túlmenően a fejlesztési vizsgálatok lefolytatására is.

### Köszönetnyilvánítás

A szerzők köszönetüket fejezik ki a *Magyar Vilamos Művek Trösztnek*, hogy a leírt áramkörök kifejlesztésének, valamint a próbák lefolytatásának finanszírozása által lehetőséget nyújtott az impulzusbegyújtásos próbák hazai bevezetésére.

### IRODALOM

- [1] BROOKES, A. S., SOUTHGATE, R. N., WHITEHEAD, E. R.: Flashover Tests on 26 kV Wood Pole Structures. *Trans. AIEE*, 52 (1933) pp. 89–95.
- [2] MAJKOPAR, A. Sz.: Perekhod impul'sznogo pesekrütija v moscsnuju szilovuju dugu. *Trudü VNIIE* (1958) pp. 156–172.
- [3] MAJKOPAR, A. Sz.: Dugovüie zamükanija na linijah élektroperedaci. *Izd. Énergija, Moszkva* 1965.
- [4] PROVOOST, P. G.: Impulse Testing for Transformers. *CIGRÉ*, rep. No. 123, 1952.
- [5] IEC Publication 99–1: Recommendations for lightning arresters. Part I. Nonlinear resistor type arresters.
- [6] BOGATENKOV – KAPLAN – NASATÜR – SISMAN: Kombinirovannüie iszpütanija ventil'nüh razrjadnikov. *Izv. Vuzov „Énergetika”*, 1969. No. 2, pp. 14–19.
- [7] BOGATENKOV – KAPLAN – NASATÜR: Ékszperimental'nüie iszledovanija ventil'nüh razrjadnikov pri kommutacionnüh perenaprjazsenijah. *Élektricsesztvo* (1968) No 9, pp. 1–8.
- [8] BÁN, G.: Examination of the Development of Arcing Short Circuits. *Acta Technica*, 66 (1968) pp. 209–224.

Érkezett: 1971. I.