

# Plazmakifújások villamos ívekben, villamos ívek mozgása

KERTÉSZ VIKTOR – MIHÁLKOVICS TIBOR, Budapest\*

DK 537.523.5

A nagyfeszültségű hálózatokon bekövetkező szennyezett felületű szigetelők átíveléséből eredő üzemzavarok esetleges igen súlyos következményeinek elkerülése érdekében nagy jelentősége van az átívelt szigetelők és ívvédő szerelvények ivállóságának. Az ivállósági vizsgálatoknál laboratóriumi körülmények között az ívbegyújtás hagyományos módszere a szigetelőkön (v. szigetelőlánc) végigfektetett fémzárla történő rákapcsolás. Ennek oka elsősorban a szükséges zárlati teljesítmény csökkentése, másrészt a jó reprodukálhatóság és egyszerű megvalósíthatóság. [1]-ben a szerzők beszámolnak arról, hogy olyan szintetikus vizsgálati áramkört fejlesztettek ki a VEIKI-VBF zárlati próbaállomásán, amelyben névleges feszültségen történt a szennyezett felületű szigetelő átíveltetése.

Ezzel a valóságot jobban megközelítő módszerrel végzett vizsgálatok során az volt tapasztalható, hogy olyan szigetelők esetében, amelyek közbenső fémszerelvényeket tartalmaznak (pl. ES vagy KS tagokból álló szigetelőláncok), a felületi szennyeződésből eredő átívelések alkalmával a közbenső fémrészekeken esetleg a zárlat lekapcsolásáig is fennálló stabil ívtalppontok alakulhatnak ki. Ezek az ívet a szigetelő felület közelében tartják és részben az ívtalppontoktól, másrészt az ívoszloptól származó nagy termikus igénybevétel miatt befolyásolhatják az ivállósági próba eredményét. Ez a hatás nem érvényesül a hagyományos módon alkalmazott, vezetőszálas begyújtásnál. Ezek a vizsgálatok csupán tájékoztató jellegűek voltak.

A problémakör mélyebb kikutatása céljából a Nehézipari Minisztérium megbízásából 1970-ben a VEIKI-ben újabb vizsgálat-sorozat indult.

Mivel nagyfeszültségű szigetelőláncok ivállósági vizsgálata szempontjából nagy jelentőséget tulajdonítunk a közbenső ívtalppontok létrejöttének, fennállási idejének és mozgásának, ezért szükségesnek bizonyult az ívtalppontokat és a belőlük kiinduló plazmakifújásokat meghatározó alapvető fizikai folyamatok tisztázása.

A jelen munkában áttekintjük az idevágó irodalmat. Az irodalom egy része a plazmajelenségek fizikai-matematikai leírását tartalmazza, másik része a plazmajelenségeket gyakorlati, műszaki szempontból tárgyalja. Megállapítható azonban, hogy a kutatók többsége a plazmakifújást a kifeszültségű kapcsolókészülékek ívöltása szempontjából vizsgálja. A nagyfeszültségű szigetelőlánc létrejövő, hosszú, szabadon égő ívek ívtalppontjai-

val és plazmakifújásaival kapcsolatos megfigyelésekkel nem találkoztunk. Ezért külön kísérleteket kellett végeznünk, amelyek lehetővé tették az irodalmi eredmények kiterjesztését a 2...28 kA nagyságú váltakozó áramú, méter nagyságrend hosszúságú, szabadon égő ívekre.

A kísérletek során az elektródák alakját és geometriai elrendezését úgy választottuk meg, hogy az eredményeket a későbbiekben közvetlenül tudjuk felhasználni a nagyfeszültségű szigetelőláncok átívelésénél tapasztalt jelenségek értelmezésénél.

Ezekről a kísérletekről az irodalom összefoglalása után számolunk be.

## 1. Villamos ívben megfigyelhető plazmakifújások elmélete

A nagyáramú ívekben megfigyelhető, határozottan körülhatárolható, stabil irányú plazmakifújásra először BECK figyelt fel [2]. Az ezután következő három évtizedben ezzel kapcsolatban további megfigyelésekről számolnak be a fizikusok, sőt a jelenségek bizonyos jellemzőit (például az áramlás sebessége) is mérik, azonban az okát nem sikerült feltárni. Sikerült bizonyos tényezőket kizárni, amelyek korábbi feltételezésekkel ellentétben nem lehetnek a plazmakifújás előidézői: termikus felhajtóerő, elektróda elgőzölés stb. A plazmakifújás fizikai-matematikai tárgyalását és az eredmények kísérleti igazolását először MAECKER közölte [3]-ban. Maecker ezen cikke tekinthető a plazmakifújás jelenség elméleti alapjának. Valamennyi későbbi munka elméletileg erre támaszkodik.

Plazmakifújások az ív szűkületi helyeiből indulnak ki. Az ívszűkületi helyek kétfélek lehetnek: természetesen és mesterségesek.

Az elektródákon levő talppontok természetes szűkülési helyek. Az ív talpponti szűkületének matematikai elméletét először (1940-ben) WEIZEL, ROMPE és SCHÖN dolgozták ki. Ezt az elméletet tovább fejlesztett formájában [4] ismerteti.

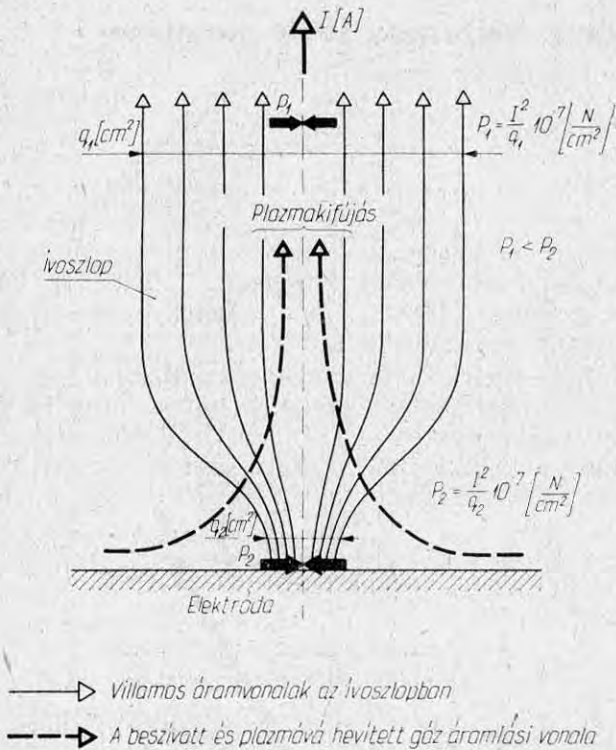
Az ívoszlop útjába tett szilárd anyagú akadályokkal mesterséges szűkületi helyek hozhatók létre.

Az ívoszlopot a saját mágneses térből adódó elektrodinamikusan erők összennyomni igyekeznek. Az ívoszlop belsejében uralkodó, az elektrodinamikusan erők hatására létrejövő gázkinetikus nyomás a tengelyben a legnagyobb. Ez a nyomás az ív áramának négyzetével egyenesen, az ívoszlop keresztmetszetével pedig fordítottan arányos.

Ha a tengelymentén az ívoszlop keresztmetszetében szűkület van (lásd 1. ábra;  $q_1 > q_2$ ), akkor a nyomás nemcsak sugár- hanem tengelyirányban

\* KERTÉSZ VIKTOR okl. villamosmérnök, a Villamos-energiáipari Kutató Intézet tudományos munkatársa;

MIHÁLKOVICS TIBOR okl. villamosmérnök, a Villamos-energiáipari Kutató Intézet tudományos munkatársa (Budapest XV., Cserevka M. u. 99-101.)



- Villamos áramvonalak az ívcszlopban  
 → A beszívott és plazmává hevített gáz áramlási vonala

ábra. Magyarázó ábra az ív szűkületi helyéről kiinduló plazmakifújás leírásához

is változik ( $p_2 > p_1$ ), ezért az ívcszüketli helyeken tengelyirányú nyomáskülönbség lép fel, amely az anyagi részecskéket tengelyirányú, 300...400 m/s sebességű mozgásra kényszeríti.

Az áramlás folytonossága megköveteli, hogy a  $p_2$  nyomású helyről a  $p_1$  nyomású helyre áramló részecskék pótlására a szűkületi hely annak környezetéből mintegy beszippantsa a hideg gázt. Ez a hideg gáz az ívcszlopban felhevül és plazmasugárként a tengely irányába (tehát a szűkületi keresztmetszetre merőlegesen) kifújódik. A sugárzás nagyfokú iránystabilitása a részecskékre adott nagy kezdeti impulzusnak tudható be.

A plazmakifújás tetemes energiát szállít el az ívből. Ennek ellenére a plazmasugár a szűkületi hely közelében lényegesen nagyobb hőmérsékletű az ívcszlop egyéb részeinek hőmérsékleténél. Ez azzal magyarázható, hogy a villamos áram útján bevezetett hőenergia az áramvonalak sűrűsödése következtében (nő az ívellenállás) egységnyi tengelyhosszra vonatkoztatva jelentősen nő.

[4] alapján pl. 10...15 kA-es ívek esetében az ívcszlopban a maximális áramsűrűség kb. 3 kA/cm<sup>2</sup>, az átlagos áramsűrűség 0,5...1 kA/cm<sup>2</sup>. Ugyanakkor a talppontnál az átlagos áramsűrűség kb. két nagyságrenddel nagyobb.

A magas hőmérsékletű, tehát erősen ionozott plazma jó villamosvezető képességű. Ez a tény bizonyos elektróda elrendezéseknél azt eredményezi, hogy az ív a talppontok között akár hosszabb nyomvonal mentén is halad, de ninél tovább igyekszik a plazmaáramlás útját követni.

Az ívtalppont hőhatása következtében a fém-elektroda a talppont helyén megolvad. A plazmaáramlásba fém ionok kerülnek, amelyek a plazma villamos vezetőképességét erősen növelik.

## 2. A plazmakifújással kapcsolatos kísérleti megfigyelések

Mint említettük a szakirodalom a plazmakifújásokkal elsősorban a kisfeszültségű kapcsoló készülékek ívöltása szempontjából foglalkozik. Ebből a szempontból a plazmakifújások jelentősége elsősorban abban áll, hogy az ívből jelentős energia elszállítására képesek – így az oltást megkönnyítik –, továbbá az ív nyomvonalát alapvetően befolyásolják.

A kísérleti megfigyelések más vonatkozásban is érdeklődésre tarthatnak számot, mivel megmutatják a plazmakifújások fizikai viselkedését különböző körülmények között. Ezért röviden beszámolunk néhány ilyen kísérletről az irodalom ([5]–[10]) alapján.

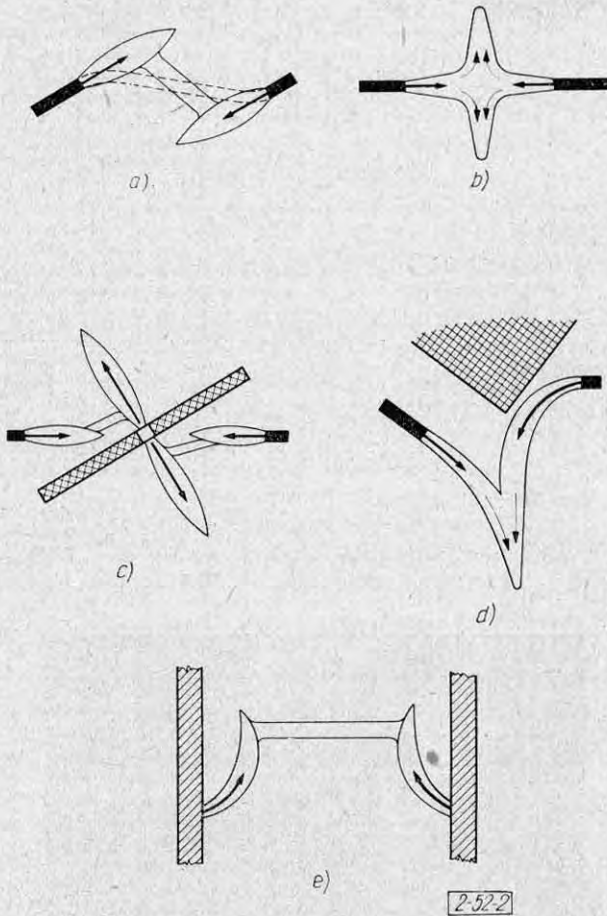
A 2. ábra különböző elektróda elrendezések esetében mutatja a plazmakifújásokat. A nagysebességű filmfelvétel alapján sematikus megrajzolt ábrák egyenáramra, vagy a váltakozó áram csúcsértéke körüli időtartományra vonatkoznak. Nullátmenet környékén, amikor az áram pillanatértéke kicsi, a plazmakifújás erősen csökken. A plazmakifújás hosszának periódikus váltakozása késik az áram periódikus váltakozásához képest. 440 A esetén pl. ez a késés kb. 1 ms [10].

A 2a ábra azt mutatja, hogy az ív a magas hőmérsékletű, tehát jó villamos vezetőképességű plazmát igyekszik követni. A szaggatott vonal az ív nyomvonalát az áramnullátmenet után mutatja.

A 2b ábra elektróda elrendezése olyan, hogy a plazmakifújások tengelye egy egyenesbe esik. Az elektróda távolság olyan kicsi, hogy a szembejövő plazmasugarak összeütköznek és plazmakorongot képeznek.

A 2c ábra esetében az egytengelyű elektródák között a tengelyhez képest ferdén kis átmérőjű lyukkal ellátott (Ø 2,5 mm) szigetelt lemez van. Az ív a kis résen megy keresztül és így az elektródákon fellépő természetes szűkületeken túlmenően a résnél mesterséges szűkület keletkezik. Erről a mesterséges szűkületi helyről újabb plazmakifújások indulnak ki. Ezek a szigetelőlap felületére merőlegesek.

Ha a szigetelőlap helyett megegyező méretű fémlapot (például Cu) alkalmazunk, akkor a jelenségek nem változnak. Felmerül a kérdés: miért megy át az ív a fémlemez nyílásán és miért nem képződnek a fémlemenzen talppontok? A magyarázat abban található, hogy szabadon égő pl. néhány száz A-es ívcszlopban a villamos térerősség kb. 15 V/cm, a fémlemenzen a két talpponti feszültségesés összege pedig 20...30 V. Így, ha a lemezvastagságnak megfelelő hosszon az ív feszültségesése kisebb, mint a talppontok feszültségeséseinek összege, akkor



2. ábra. Plazmakifújások jellege különböző elektróda elrendezések esetében

a minimális ívfeszültség elvének megfelelően az ív nem képez talppontot a fémlapon. A fémlemez vastagságát növelve növekedik a nyíláson áthaladó ívszakasz feszültsége. Elérhető egy olyan határeset, amikor a fémlemenzen talppontok képződnek. Hasonló hatás érhető el a nyílás szűkítésével. Ugyanis az 1. alapján nyilvánvaló, hogy a plazmakifújás a nyílás szűkítésével növekedik, tehát növekszik az ív adott szakaszából elvont energia, tehát az adott helyen fellépő feszültségesés is.

A 2d ábra azt az esetet mutatja, amelynél az egyik elektródából kiinduló plazmasugarat egy szigetelő prizma eltéríti egyenes irányából.

A plazmasugár más külső beavatkozással is eltéríthető. A 2e ábrán mindkét plazmasugarat megfelelő irányú mágneses mező téríti el. A 2a ábrához hasonlóan itt is látható, hogy az ív a plazmasugarak között ég.

### 3. Nagyáramú, hosszú, szabadon égő ívek plazmakifújásainak és mozgásának néhány sajátossága

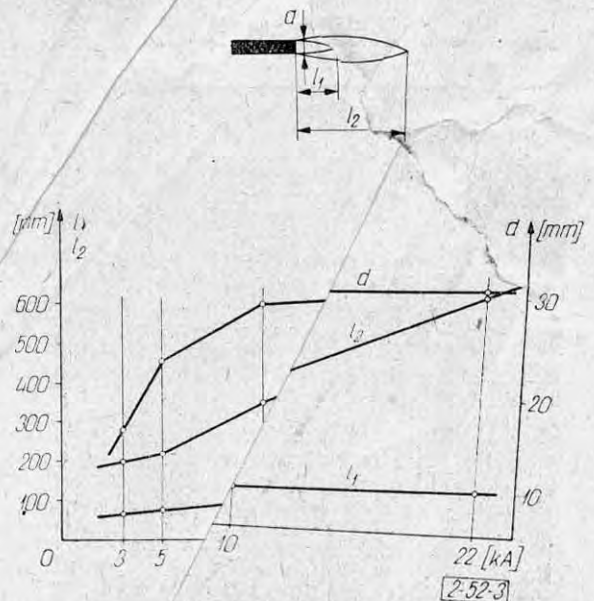
Az [1]-ben közölt filmfelvételek egyértelműen bizonyítják, hogy nagyfeszültségű szigetelőláncokon fellépő 3 kA áramerősségű ívek esetében a talppontoknál (ívvédő szerelvényeken, vagy közbenső fém részeken) erős plazmakifújások keletkeznek.

A hazai nagyfeszültségű hálózati áramai 2...28 kA nagyságúak ( $U_n \cong 120$  kV). Ezért vizsgálatainkat olyan zárlati áramok mellett végeztük el, amelyek lényegében ezt a tartományt fogják át.

A vizsgálati áramkörrel kapcsolatban a következőt kell megjegyeznünk. A nagyfeszültségű hálózatokon fellépő íves zárlatok esetében az ívfeszültség 1...5 kV nagyságú. Ez az érték elhanyagolható a hálózat feszültsége mellett, tehát az ív árama gyakorlatilag független az ív ellenállásától, csupán a zárlati kör egyéb impedanciájától függ. Más szóval ezeket az íveket „áramgenerátor” táplálja. A táplálásnak ezt a jellegét – 18,75 kV tápfeszültség alkalmazásával – kísérleteink során is biztosítottuk.

A 3. ábrán 15 mm átmérőjű rúdelektrodából kiinduló plazmának az elektródától kb. 20 mm-re mért átmérőjét, valamint az 1000 felvétel/s-os filmfelvételeken jól megkülönböztethető nagyobb és kisebb fényerejű kifújásai hosszát tüntettük fel az áram függvényében. A feltüntetett áramerősségek a vizsgálati áramok effektív értékei. A  $d$ ,  $l_1$  és  $l_2$  méretek az áram csúcserőértékénél mért értékek.

A nagyfeszültségű szigetelőláncon keletkezett közbenső talppontok [1] fennmaradása és megszűnése szempontjából lényeges az ívtalppont fémfelületen történő mozgásának vizsgálata. Ebből a célból a következő kísérletet hajtottuk végre. Nagy kiterjedésű, vízszintes vaslemezzel szemben 1400 mm-re függőleges vasrudat helyeztünk el. A 3 kA-es ívet – amint a 4. ábra első ms-ban készült felvétele mutatja – rézszállal gyűjtöttük be ( $\varnothing 0,1$  mm). Az ívoszlop az elektrodinamikus erők hatására az áramhurok tágulásának irányába mozdul el. Azonban az ívtalppont a vízszintes vaslemezen 37 ms-ig rögzített helyen marad. A 38. ms-ban a régi ívtalppont mellett két új ívtalppont keletkezik és a három plazmakifújás



3. ábra Rúdelektródából kiinduló plazmakifújás méretei az áram függvényében

egyidejűleg áll fenn. A 40. ms-ban már csak egy ívtalppont látható a két baloldali megszünt. Ez a helyzet áll fenn a 65. ms-ig. Ekkorra az ívoszlop mozgása úgy alakult, hogy az ívoszlop egy jelentős szakaszon a vízszintes elektróda közelében halad. A 66. és 67. ms-on készült filmfelvételeken látható, hogy az ívoszlop ezen szakasza és a vaslemez között a kis távolság miatt két új ívsatorna alakul ki és a 72. ms-ban már csak a jobboldali plazmasugár ég.

Hasonló folyamat látható a 74. és a 76. ms-ban készült felvételeken is.

A 4. ábra felvételein a berajzolt vízszintes fehér vonal a fémlemezt jelzi. Az egymás után kialakult ívtalppontok helyét kialakulásuk sorrendjében számozott nyilak mutatják. A feltüntetett ms-ok továbbá azt mutatják, hogy a begyújtás pillanatától kezdve hányadik ms-ban készült az illető felvétel.

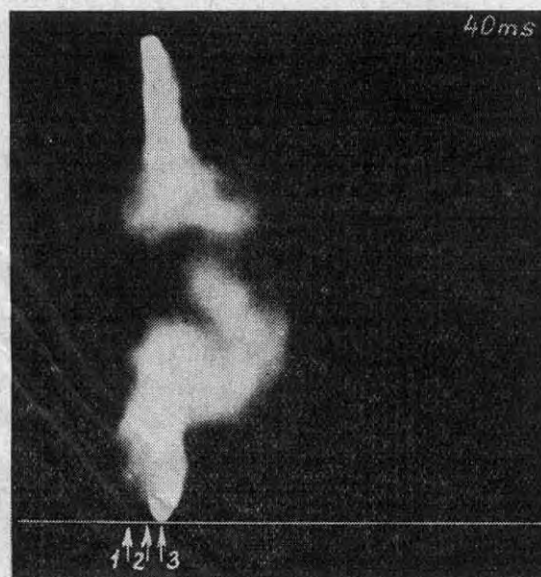
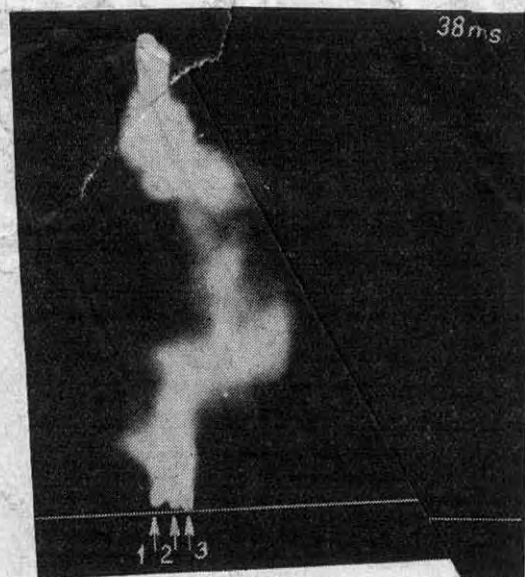
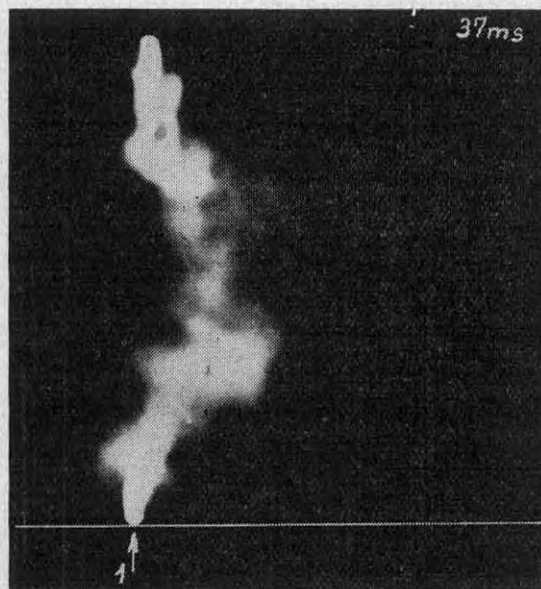
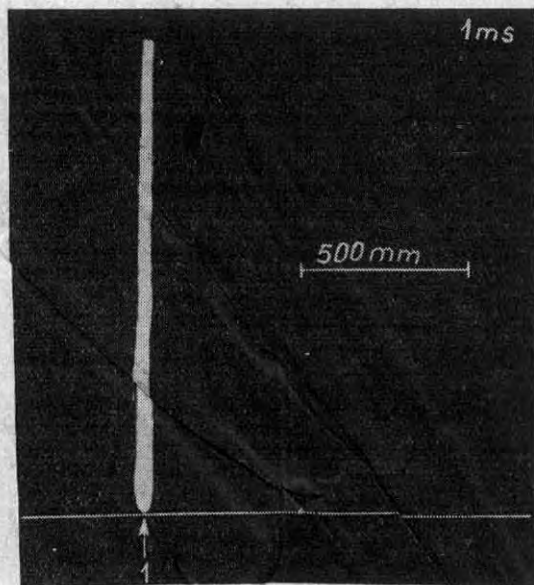
Az ívtalppontnak ez a rögzített egyhelyben

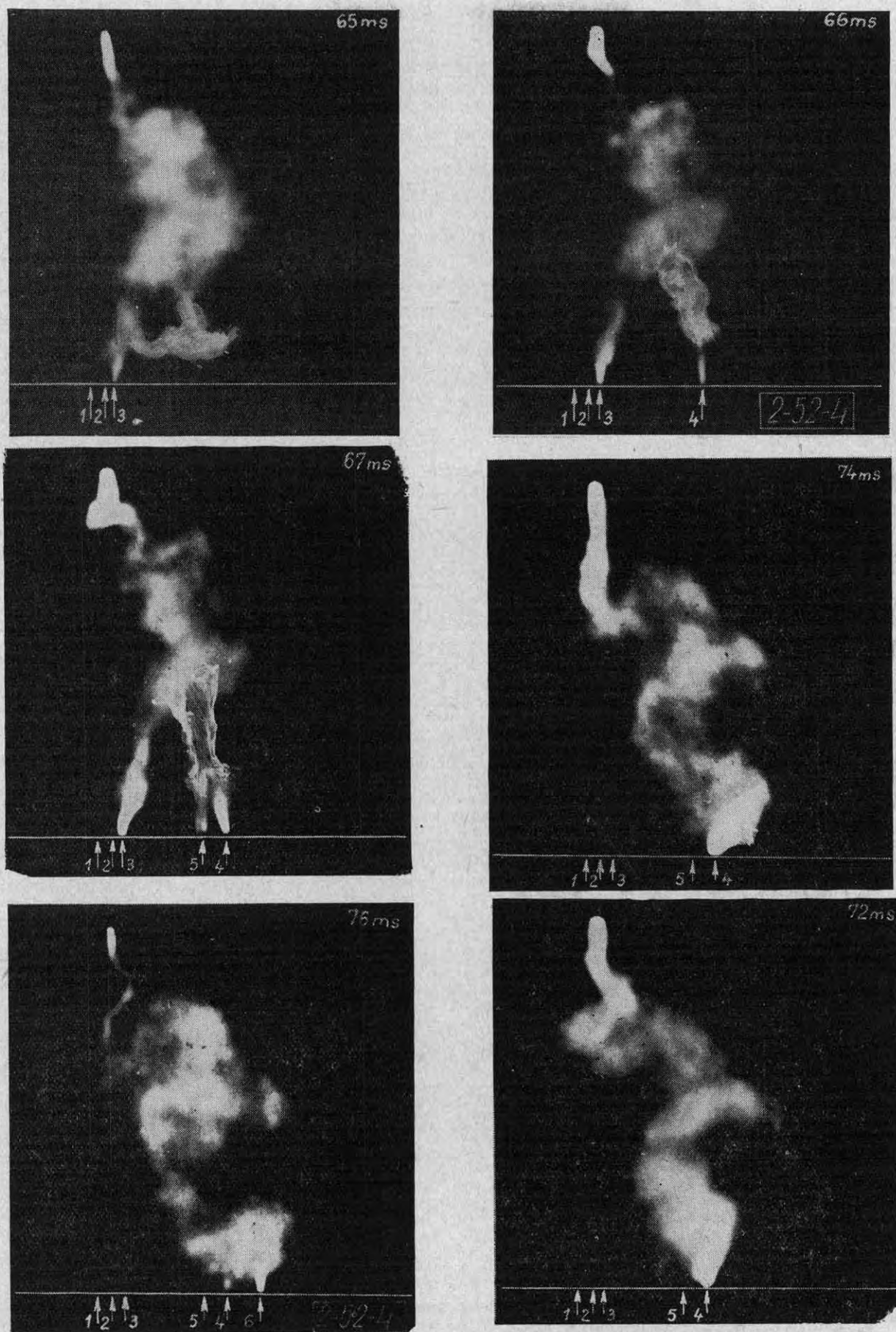
maradása, más helyen új ívtalppont kialakulása és a régi ívtalppont megszűnése azt eredményezi, hogy az ívtalppont nem folyamatosan halad, hanem ugrásszerűen mozog.

A kísérletet 10 kA-es árammal is megismételtük. Az ívtalppont ugrásszerű mozgása ebben az esetben is a fentebb leírtakhoz teljesen hasonlóan bizonyult.

A jelenségek magyarázata a következő.

A plazmakifújás az anyagi részecskékre adott nagy kezdeti impulzus miatt gyakorlatilag az elektrodinamikusan erőtől független, az elektróda-felületre merőleges. A talpponti hőhatás következtében a talppontnál a fém megolvad. Az ív a felhevített talpponti helyről a minimális energia (vagy minimális ívfeszültség) elvének megfelelően nem mehet át szomszédos hideg fémrészre. Ugyanis az eredeti, nagy hőmérsékletű talpponti helyen kialakult – minimális energiát igénylő – egyensúlyi állapottal szemben a hideg fémre kerülő





4. ábra. Az ívtalppont ugrásszerű helyváltoztatása vízszintes fémlapra

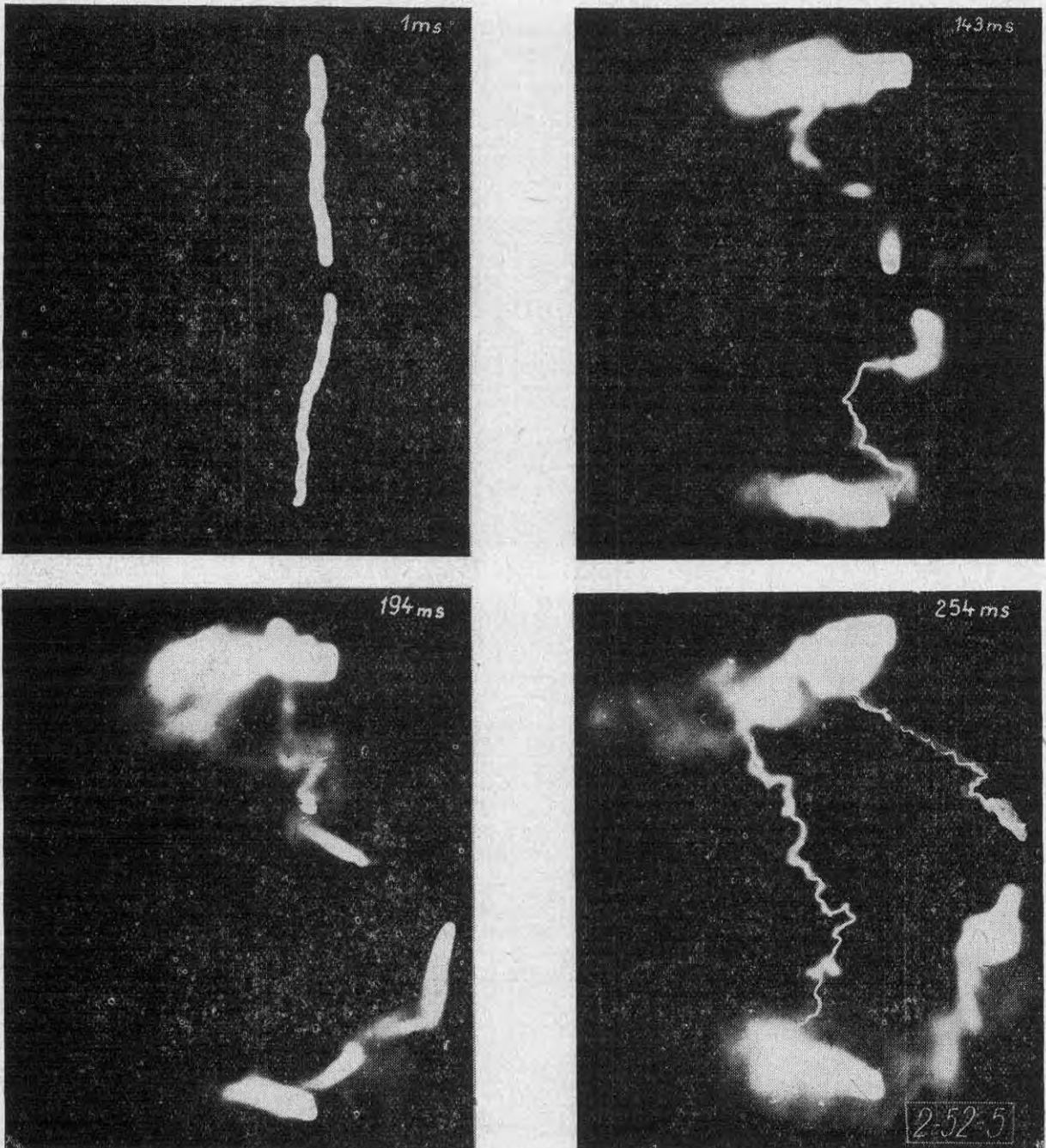
ívtalppont energiaszükséglete a nagy kilépési munka és a fém felhevítése miatt jelentősen megnőne. A két hatás határozottan egy helyre rögzíti az ívtalppontot.

Ezek a hatások természetesen nem érvényesülnek az ívoszlopnál, amely az elektrodinamikus erő, termikus felhajtó erő, szél hatására könnyen elmozdul. Az ívoszlop egy-egy része közel kerülhet valamelyik fémelektrodához. Ha az egymáshoz közel került ívoszloprész és a hideg elektróda között létrejövő sönt áramút, jelentős hosszúságú ívoszlop hosszát iktat ki, akkor ez a söntút — éppen a minimális energia alapján — valóban létre is

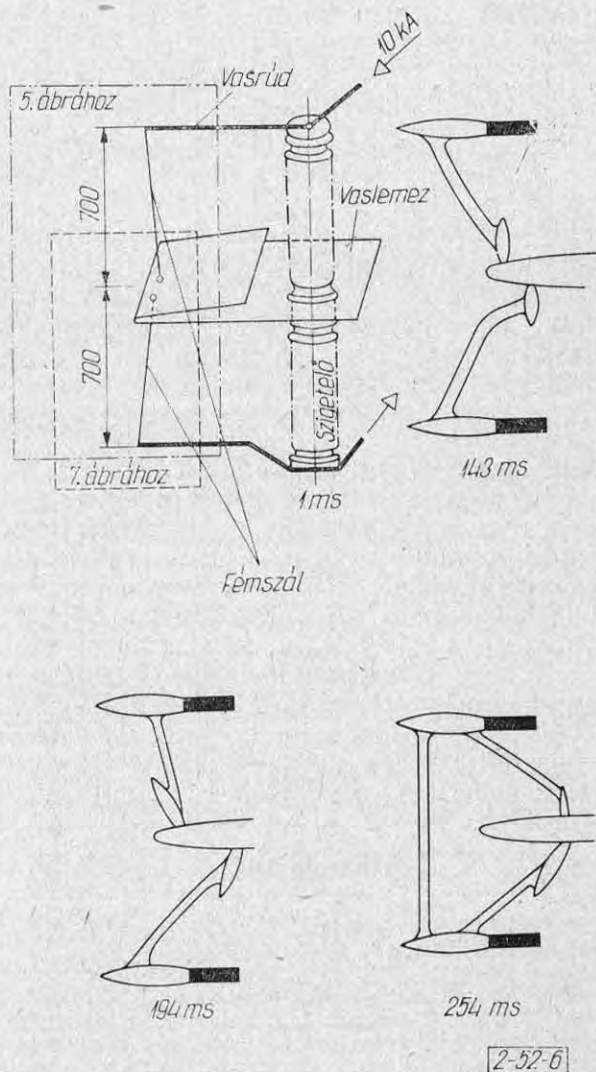
jön, hiszen a hosszú ívoszloprész kiiktatásával nagyobb az energiaszükséglet csökkenése, mint a fém hideg hőmérséklete miatti energiaigény növekedés. Ennek következtében új ívtalppont alakul ki és a kiiktatott ívoszlop a hozzátartozó talpponttal együtt megszűnik.

A fenti jelenségeket részint más oldalról támasztja alá, részint kiegészíti az 5. ábra, amelynek megértését a 6. ábra sematikus rajza segíti elő.

A választott elektróda elrendezés nagyon jól megközelíti azt az esetet, amelynél a nagyfeszültségű szigetelőlánc felső és alsó szerelvényein kívül a szigetelőlánc közepe táján is két ívtalppont van.



5. ábra. Közbenső ívtalppontok rögzítődése és megszűnése



6. ábra. Magyarázó ábra az 5. ábrához

Látható, hogy a közbenső fémlemenzen az ívtalppontok a 4. ábra kapcsán leirtaknak megfelelően rögzítődnek, illetve „ugranak”.

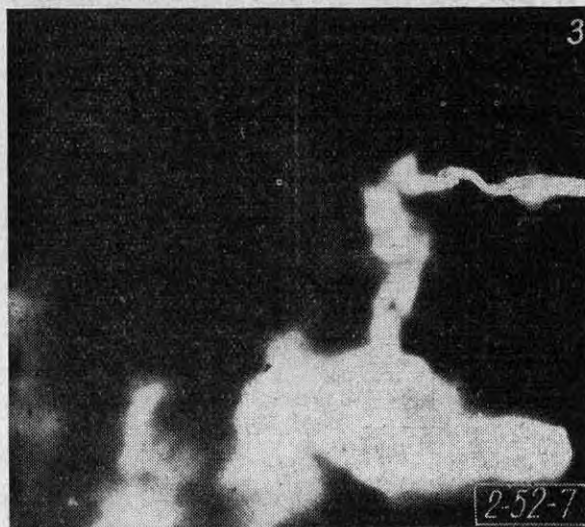
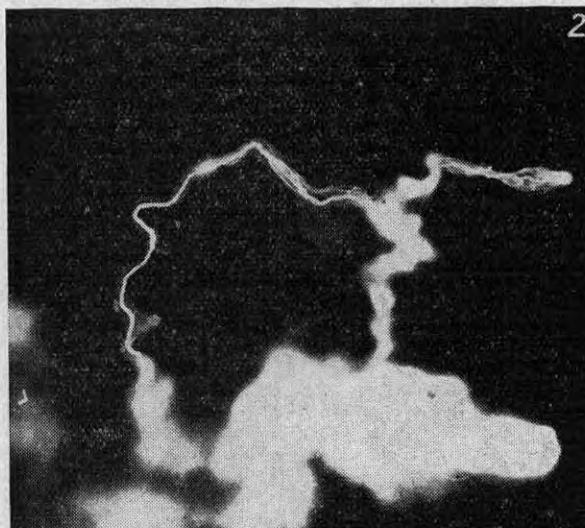
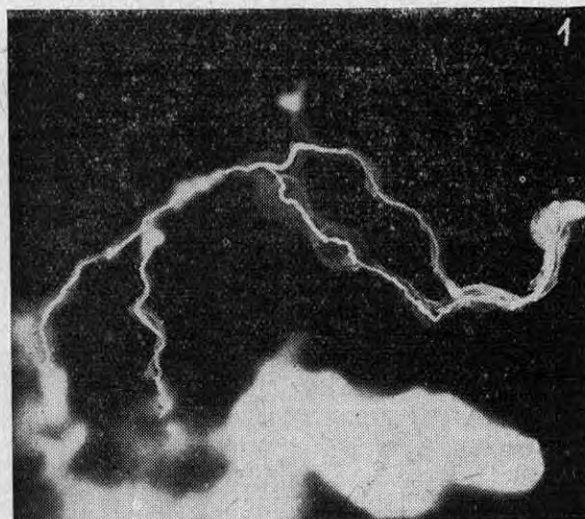
Az a kísérlet, amelyről készült filmfelvételtől kiválasztott 4 kockát a szóbanforgó 5. ábra mutatja, 10 kA mellett folyt le. A közbenső talppont rögzítődésének jelenségét 3 kA mellett is megfigyeltük.

Az 5. ábra 254. ms-nál új jelenség is figyelhető meg. A rúdelektrodák plazmakifújásai között átütésszerűen új ívsatorna alakul ki, amely az előző ívsatornát és a két közbenső talppontot a továbbiakban megszünteti.

Mindenesetre a közbenső ívtalppontok a nagyfeszültségű hálózaton fellépő zárlatok időtartamához viszonyítva elég sokáig — jelen esetben 254 ms-ig — maradnak fenn.

Az átütésszerű jelenség okát a következőkben látjuk. A közbenső ívtalppontok energiaszükséglete olyan mértékben növeli meg az ívfeszültséget, hogy a két rúdelektrodán égő plazmasugár közötti erősen ionozott térben átütés következik be. Az így kialakult ívsatorna — ismét a minimális

energia elvének megfelelően — megszünteti a közbenső ívtalppontokat, hiszen a két közbenső ívtalppont kiiktatódása energiacsökkenést eredményez. Ez az energiacsökkenés még akkor is megvan, ha a két ívoszlop (az új oszlop és a két részből álló régi oszlop) közel azonos hosszúságú.



7. ábra. A kitégült ívoszlop lerövidülési folyamata

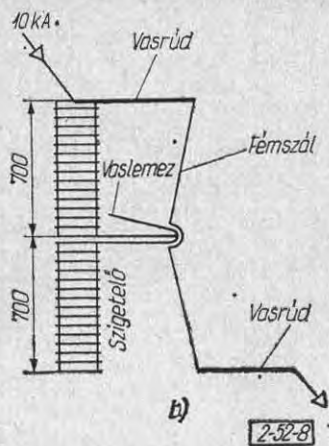
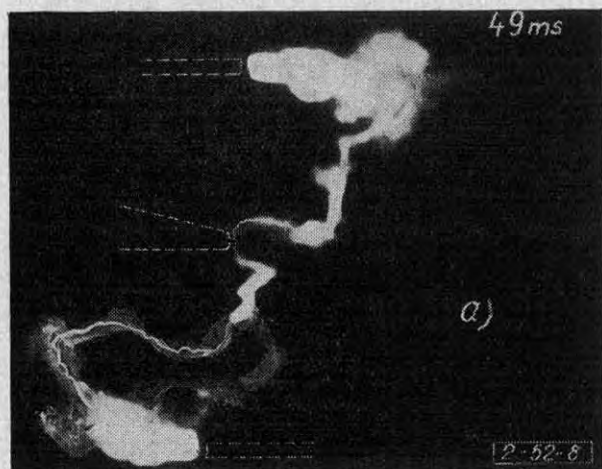
2-52-7

Természetesen az energiacsökkenés fokozottabban jelentkezik, ha az új ívoszlop rövidebb.

A jelenséget bonyolítja, hogy az ívoszlopnál nem számolhatunk azonos egységnyi hosszra eső ellenállással (tehát energiával), hiszen a plazmában haladó ívszakasz hosszegységre eső energiája kisebb, mint a plazmán kívül haladó ívoszlop részé.

Két ívtalppont közötti ívoszlop mozgásában megfigyelhető gyakori jelenségre mutatunk rá a 7. ábra kapcsán. Az alábbiakban leírt jelenség különféle elektródáknál, geometriai elrendezésnél és áramoknál is előfordul. Példaképpen a 7. ábrán olyan három egymásutáni ms-ban készült filmfelvételt közlünk, amelyet a 6. ábrán látható elektróda elrendezés és 10 kA-es áram mellett kaptunk. A filmkockákból a 6. ábra első képén szaggatott vonallal körülhatárolt részt nagyítottuk ki.

Az ívoszlopra ható erők (elsősorban elektrodinamikus erők) hatására, valamint annak következtében, hogy az íváram a plazmakifújásban igyekszik haladni, az ívoszlop erősen kitágul, nyomvonalának hossza az ívtalppontok közötti legrövidebb távolság többszörösére növekedhet. Ennek eredményeképpen az ívoszlop bizonyos geometriailag közeli, de a nyomvonal mentén távoli pontjai között olyan nagy ívfeszültség léphet fel, hogy erősen ionozott térben átütés következik be.



8. ábra. Az elektródáktól szigetelten elhelyezett fém és az ívoszlop kölcsönhatása

Az így kialakult új – rövidebb – ívcsatorna a minimális ívenergia elvének megfelelően az íváramot magára veszi, a régi ívcsatorna megszűnik. A leírt jelenség többszörösen ismétlődhet. Az egész folyamatot világosan mutatják a 7. ábra felvételei.

A 8a ábrához tartozó elektróda elrendezés a 8b ábrán látható. A 6. ábrával ellentétben a begyújtó fémszálat a szigetelőn álló vaslemeznél nem szakítottuk meg, hanem a vaslemez végén kb. 2 cm hosszon felragasztottuk, ezáltal a begyújtott ívnek nincsenek kikényszerített közbenső talppontjai. Az egymással szembenező vasrúd elektródák plazmakifújásainak hatására azonban az ív a vaslemez közelében kényszerül maradni. A filmfelvételekből megállapítható, hogy a szigetelten elhelyezett vaslemezt érintő ívoszlop a 130. ms-ig nem képez talppontokat a lemezen. A 8a ábra a film egy jellemző kockáját mutatja a begyújtástól számított 49. ms-ban. A jelenség magyarázata az eddigiek alapján nyilvánvaló. A két új ívtalppont megnövelné az ív energiaszükségletét.

Ha azonban az ívoszlop annyira körül fogja a vaslemezt, hogy a lemezen kialakuló ívtalppontok olyan hosszú ívoszloprészt iktatnak ki, amely a két új ívtalppont ellenére az ívet alacsonyabb energiaszintre vinné, akkor ezek az ívtalppontok létre is jönnek. Ez a jelenség a 130. ms-ban következik be.

#### 4. Összefoglalás

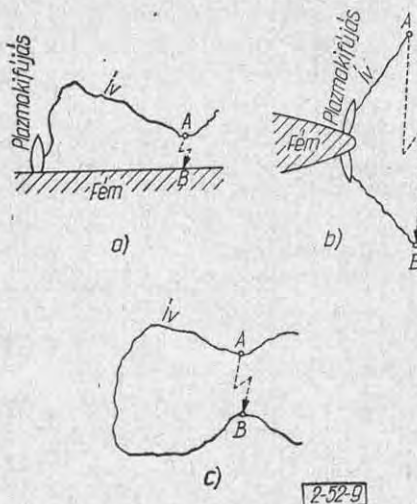
Az irodalom feldolgozása alapján összefoglaltuk a plazmakifújások jellemzőit és keletkezésük okát.

Kísérletsorozatot végeztünk olyan elektróda elrendezéseknél és olyan zárlati áramok mellett, amelyek a nagyfeszültségű szigetelőláncokon létrejövő íves jelenségeknek felelnek meg. Az eredményeket az alábbi pontokban foglaljuk össze.

1. Az ívtalppont nem változtatja a helyét, a fémelektróda egy pontjához rögzített. (Az ívtalppont „ugrása” lényegében új ívtalppont kialakulása.)

2. Az ívtalppontból az elektróda felületre merőleges plazmakifújás indul ki. A plazmakifújás intenzitása áramfüggő.

3. Az ívoszlopra különféle erők (elsősorban elektrodinamikus erők, ezen kívül szél, termikus felhajtó erő stb.) hat-



9. ábra. Az ívoszlop és az elektróda, illetve az ívoszlop két pontja közötti átütések



nak. Az ívoszlop talppontokhoz közeli szakasza igyekszik a plazmakifújás útját követni. Ezek eredményeképpen az ívoszlop kitágulhat és hossza a talppontok közötti legrövidebb út többszörösére növekedhet.

4. Az ívet körülvevő erősen ionozott térben a 3.-ban leírt jelenségek következtében az ívoszlop nyomvonala mentén mérve távoli két pont (ld. 9. ábra A és B pontjait) geometriailag olyan közel kerülhet egymáshoz, hogy közöttük az ívfeszültség hatására villamos átütés keletkezik. Az alábbi konkrét esetek lehetségesek.

5. Ha a 4. eredményeképpen az ívben egymással paralell kapcsolódó ívcsatornák mindegyike egy-egy ívtalppontban végződik (vagyis az átütés az ívoszlop egy pontja és az egyik fémelektroda között jött létre), akkor a rövidebb (újabb) csatorna a minimális energia elvének megfelelően magára veszi az ív áramát, és a hosszabb (régebbi) ívcsatorna a hozzátartozó ívtalpponttal együtt megszűnik. Ez a jelenség az ívtalppont látszólagos ugrásszerű helyváltoztatása (9a ábra).

6. Ha a 4. eredményeképpen az ívben egymással paralell kapcsolódó ívcsatornák közül a régebbiben két közbenső ívtalppont volt, akkor az új ívcsatorna magára veszi az ív áramát, a közbenső ívtalppontokat megszünteti (9b ábra).

7. Ha a 4. eredményeképpen az ívben egymással paralell kapcsolódó ívcsatornák közül az új lényegesen rövidebb, akkor ez magára veszi az ív áramát és a hosszabb (régebbi) ívcsatornát megszünteti (9c ábra).

8. Ha az ívoszlop mozgása közben az elektródától szigetelten elhelyezett fémmel érintkezik, akkor a minimális energia elvének megfelelően csak az esetben képződnek a fémen közbenső ívtalppontok (akkor „megy rá” az ív a fémmre), ha ez megfelelő mértékű ívhossz rövidüléssel jár együtt.

## IRODALOM

- [1] DR. BÁN G. — KARSÁ B. — KERTÉSZ V. — МИХАЛКОВИЦ Т.: Nagyfeszültségű szigetelők ivállósági vizsgálatának új módszere. Elektrotechnika 65. évf. (1972) 1—2. sz. 10—22. o.
- [2] BECK, H.: Die Theorie des Beck-Lichtbogens. ETZ 42, (1921), 993—999. o.
- [3] MAECKER, H.: Plasmaströmungen in Lichtbögen infolge eigenmagnetischer Kompression. Zeitschrift für Physik. Bd. 141, (1955) 198—216. o.
- [4] ZALESSZKIJ, A. M.: A villamos ív. Műszaki Könyvkiadó, Budapest (1968).
- [5] BURKHARD, G.: Über die Bedeutung der Plasmaströmung im Schaltlichtbogen. Fachberichte des IX. Internationalen Kolloquiums der TH Ilmenau, (1964). Elektrische Apparate und Anlagen, 55—59. o.
- [6] БРОН, О. Б. — СУШКОВ, Л. К.: Продольные потоки плазмы в электрической дуге. Электротехника, № 12 (1966), 1.—5. old.
- [7] БРОН, О. Б. — СУШКОВ, Л. К.: Потоки плазмы, исходящие из опорных точек дуги. Известия высших учебных заведений электромеханика, № 1 (1967), 7—14. old.
- [8] БРОН, О. В. — СУШКОВ, Л. К.: Plasmastrahlen elektrischer Lichtbögen. Elektrie, Heft 10. (1967) 372—374. o.
- [9] MÜLLER, O.: Dielektrische Wiederverfestigung von Gasentladungsstrecken bei Wechselstromlichtbögen nach dem Stromnulldurchgang. Elektrie, Heft 11 (1966) 413—417. o.
- [10] БРОН, О. Б. — СУШКОВ, Л. К.: Продольные потоки плазмы в электрической дуге переменного тока. Электротехника, № 5 (1967). 28—31. old.

Érkezett: 1972. X.