

# Nagyfeszültségű megszakítók kapacitív áramú megszakítóképességének vizsgálata szintetikus áramkörben



Dr. Mihákovics Tibor, Szabó Zoltán

## Bevezetés

Az [1] irodalomban részletesen elemeztük a Villamosenergiapari Kutató Intézet Villamos Berendezések Divízióját (a továbbiakban: VEIKI-VBD) tervezett és megépített áraminjektáló szintetikus áramkör felépítését és működését. A jelenlegi kiépítésben maximálisan 170 kV névleges feszültségű, 50 (63) kA névleges megszakítóképességű SF<sub>6</sub> gázoltású megszakítók előírt kapocszárlati-, kistávolságú zárlati és fázisopozíciós megszakítóképesség vizsgálata lehetséges.

A zárlati megszakítási vizsgálatok mellett azonban fontos a nagyfeszültségű megszakítók kapacitív áramú megszakítóképességének (távvezeték- és kábeltöltőáram) vizsgálata is. A következőkben a VEIKI-VBD nagyfeszültségű megszakítók kapacitív áramú megszakítóképességének vizsgálatához kifejlesztett szintetikus áramkörét ismertetjük és az áramkör megfelelő működését néhány jellemző oszcillogram bemutatásával igazoljuk.

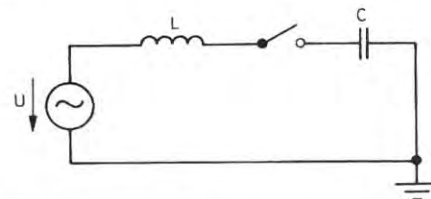
## 1. Kapacitív áram megszakításának vizsgálati áramkörei

A kisoltajterű megszakítók egyes típusai (pl. a hazai 145 kV-os hálózaton nagy számban használt OTKF 4000 típus) a távvezeték- vagy kábeltöltőáram megszakításakor visszagyújtásra hajlamosak, ami komoly túlfeszültséget okoz. A megszakító visszagyújtásakor a valóságos távvezetéken vagy kábelen keletkező hullámjelenségek miatt az ilyen megszakítókat rendszerint háromfázisú valóságos távvezeték- és kábeleket tartalmazó áramkörben kell vizsgálni. Ennek részleteit [2] 6.111.2 pontja tárgyalja. Bár elvileg szóba jöhet a 6-8 π-tagos művonalak alkalmazása is, ezek bonyolultságuk és költséges voltuk miatt nem terjedtek el.

A vizsgálóállomások szempontjából szerencsésebb a helyzet a mai korszerű, SF<sub>6</sub> gázoltású megszakítóknál. Ezek áram-nullaátmenete után olyan gyors az ívcsatorna villamos szilárdságának növekedése, hogy a néhányszor tíz- vagy néhányszor száz A-es kapacitív áramok megszakításakor a megszakító újra- vagy visszagyújtása nem fordul elő. Ezt a GANZ Ansaldo fémtokozott 170/40 kA-es ELK SL1-1 típusának vizsgálata, de az ELMŰ Rt. által használt ABB 145/40 kV-es LTB 145 D1 típus, az AEG

145 kV/31,5 kA-es S1-145 típus és a GEC Alstom 145 kV/31,5 kA-es FX-11 és 245 kV/31,5 kA-es FXT-14 típusok megszakítási oszcillogramjainak tanulmányozása is igazolta.

Ha viszont a megszakító visszagyújtásmentes, megengedhető a terhelési oldalon lévő elosztott paraméterű kapacitás koncentrált kapacitással való helyettesítése és a megszakító egyfázisú áramkörben való vizsgálata (lásd a [2] 6.111.2 pontját). Az előzőknek megfelelően a direkt vizsgálati áramkör sémáját az 1. ábra mutatja.



1. ábra. Kapacitív áramú megszakítóképesség vizsgálatának egyszerűsített direkt vizsgálati áramköre

A szokásos nagyfeszültségű SF<sub>6</sub> egységkamrák [2] 4.107 és 4.108 pontjában ajánlott szabványos kapacitív áram megszakítási értékeit az 1. táblázatban foglaltuk össze.

1. táblázat

U, kV	I <sub>T</sub> , A	I <sub>K</sub> , A
145	50	160
170	63	160
245	125	250

U a hálózat névleges feszültsége;

I<sub>T</sub> a távvezeték-töltőáram;

I<sub>K</sub> a kábeltöltőáram

Az egyfázisú laboratóriumi áramkörben beállítandó U<sub>v</sub> visszatérő feszültség a [2] 6.111.7 fejezete szerint az (1). egyenlettel számítható, ahol k<sub>f</sub> tényező a hálózat csillagpontjának földelési módjától és a kikapcsolt kapacitív terhelés jellemzőitől függ. A hazai hatásosan földelt hálózaton távvezetékek kikapcsolása esetén k<sub>fT</sub> = 1,2; a földelt árnyékolású nagyfeszültségű kábelek töltőáramának kikapcsolásakor k<sub>fK</sub> = 1,0.

$$U_v = k_f U / \sqrt{3} \quad (1)$$

Egy 145 kV-os megszakító 160 A-es kábeltöltőáram megszakításához

$$Q = U_v I = 145 \cdot 0,16 / \sqrt{3} = 13,4 \text{ Mvar}$$

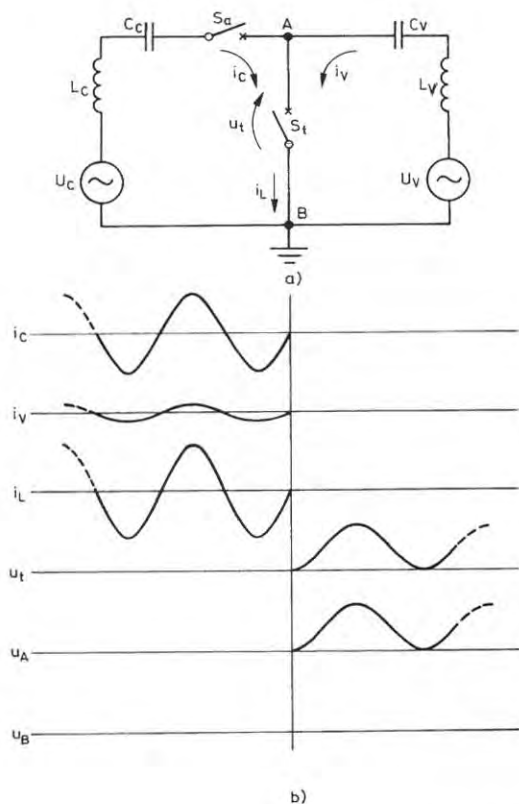
Dr. Mihákovics Tibor, a műszaki tudomány kandidátusa, az ELMŰ Rt. Vizsgálóállomásának vezetője, a MEE tagja  
Szabó Zoltán, a Villamosenergiapari Kutató Intézet Rt. Villamos Berendezések Divízió Zárlati Próbáállomásának vezetője, a MEE tagja

kondenzátorteleg szükséges, ez 83,7 kV-os feszültségű,  $C = 6,1 \mu\text{F}$  kondenzátort jelent. A korszerű SF<sub>6</sub> megszakítót gyártó cégek ennél nagyobb kapacitív áramú vizsgálati igényrel is jelentkeznek, nem ritka a 400...500 A-es kapacitív áramú megszakítási vizsgálat. A kis és közepes vizsgálóállomások, így a VEIKI-VBD is ilyen nagy kondenzátorteleggel nem rendelkeznek, tehát az 1. ábra szerint direkt vizsgálókörben nem tudják a nagyobb áramú vizsgálatokat elvégezni.

A probléma megoldását a rendszerint két áramkörös, kapacitív áramú szintetikus vizsgálati áramkörök jelentik. Az IEC által szabványosított 5 vizsgálati áramkör alapkapcsolását a [3] Appendix GG fejezete tárgyalja.

## 2. A VEIKI-VBD kapacitív áramok megszakításához kifejlesztett szintetikus áramköre

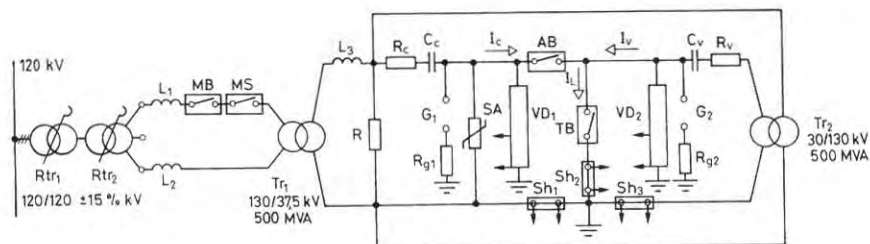
A VEIKI-VBD a [3] GG 1. ábra szerinti alapkapcsolását választotta, ezt a leggyakrabban használt kapcsolást alkalmazza



2. ábra. A [3] GG 1. ábrája szerinti szintetikus áramkör

Nagyáramú kör	Nagyfeszültségű kör
feszültsége $U_c = U_s/n$	feszültsége $U_v = U_s$
árama $I_c = I_L (1-1/m)$	árama $I_v = I_L/m$
induktivitása $\omega L_c \ll 1/\omega C_c$	induktivitása $\omega L_v \ll 1/\omega C_v$
kapacitása $C_c = n (1-1/m) C_L$	kapacitása $C_v = C_L/m$

terhelő áram:  $I_L$   
terhelő kapacitás:  $C_L$



3. ábra. A kapacitív árammegszakítási vizsgálatok szintetikus próbaáramkörének kapcsolása

$Rtr_1, Rtr_2$	Szabályozótranszformátorok
$L_1, L_2, L_3$	Áramkorlátozó induktivitások
MB	Védőmegszakító
MS	Rákapszoló
$Tr_1, Tr_2$	Egyfázisú teljesítménytranszformátorok
$R, R_{g1}, R_{g2}$	Ellenállások
$G_1, G_2$	Védőszikraközök
$VD_1, VD_2$	Feszültségosztók
$C_c$	A nagyáramú kör kapacitása
$R_c < 0,1 * \frac{1}{\omega * C_c}$	$C_c$ -vel sorbakötött nem induktív ellenállás
$C_v$	A nagyfeszültségű kör kapacitása
$R_v < 0,1 * \frac{1}{\omega * C_v}$	$C_v$ -vel sorbakötött nem induktív ellenállás
AB	Segédmegszakító
TB	A vizsgált megszakító
$Sh_1, Sh_2, Sh_3$	Kis ellenállású söntök
SA	Fém-oxid túlfeszültség-korlátozó

többek között a Siemens berlini és a Hitachi zárlati laboratóriuma [4] is. A [3] GG 1. ábrája szerinti alapkapcsolást a hozzá tartozó egyenletekkel a 2. ábra tartalmazza.

Az áramkör működése a következő:

Az egymással fázisban lévő nagyáramú és nagyfeszültségű kör üzemi frekvenciájú,  $U_c$  és  $U_v$  feszültségű áramforrásai a  $C_c$  és  $C_v$  kapacitásokon egymással fázisban lévő  $I_c$  és  $I_v$  áramok  $I_L = I_c + I_v$  eredőjét hajtja át az  $S_t$  vizsgált megszakítón. A nagyfeszültségű kör  $U_v$  feszültsége az (1) képletnek megfelelő értékű. Az áram nagyobbik részét a nagyáramú kör biztosítja, a nagyfeszültségű kör  $I_v$  árama rendszerint csak néhány amper.

Az  $S_a$  jelű segédmegszakító – amely rendszerint a vizsgált megszakító másik pólusa – a nagyáramú kör leválasztását végzi. A nagyáramú kör rendszerint 15...30 kV közötti értékű  $U_c$  feszültségét az alkalmazott  $C_c$  kondenzátor névleges feszültségéhez illesztik.

A VEIKI-VBD részletes vizsgálati áramkörét a 3. ábra mutatja. Egy konkrét esetre, a GANZ-Ansaldo 170 kV/40 kA-es SF<sub>6</sub> megszakítójának 63 A távvezetési töltőáram megszakítási eseteire a jellemző paramétereket is megadjuk.

A nagyfeszültségű kör  $1,2 \cdot 170/\sqrt{3} = 117,8$  kV előírt feszültsége helyett a gyártó kérésére növelt  $U_v \approx 135$  kV visszatérő feszültséget állítottunk be. A kívánt feszültségek a négy sorba és párhuzamosan kapcsolható szekunder- és négy tercier tekercsű két darab 130 kV/7,5...75 kV áttételű, 500 MVA-es zárlati transzformátorral állíthatók be. A konkrét esetben  $Tr_1$  áttétele 130/37,5 kV, a  $Tr_2$  áttétele 30/130 kV volt. Az  $Rtr_1$  és  $Rtr_2$  120 kV  $\pm 15\%$  áttételű szabályozótranszformátorokkal történik az  $U_v$  pontos értékének beállítása, a vizsgálat folyamán a  $Tr_1$  transzformátor

130 kV-os sarkain a feszültséget 106...107 kV-on tartottuk. Így – a zárlati induktivitásokon eső (emelkedő) feszültségtől eltekintve –

$$U_v = 107 \cdot \frac{37,5}{130} \cdot \frac{130}{30} = 133,8 \text{ kV.}$$

Tekintettel arra, hogy a 2. ábra szerinti  $\omega L_c \approx 0,015 \frac{1}{\omega C_c}$  és  $\omega L_v \approx 0,01 \frac{1}{\omega C_v}$ , az induktivitásokon fellépő kapacitív áram okozta feszültség változásokat elhanyagolhatjuk, tehát a zárlat alatti feszültség jó közelítéssel megegyezik a megszakító nyitása után fellépő  $U_v$  visszatérő feszültséggel, amely a transzformátorok áttételéből számítható.

A konkrét esetben  $C_c = \frac{1,75}{2} \cdot 7 \mu\text{F} = 6,125 \mu\text{F}$ , ezt 2, egyenként 7 párhuzamosan kapcsolt 17,5 kV–1,75  $\mu\text{F}$  kondenzátorból álló telep soros kapcsolásával állítottuk be.  $A C_v = 1,75 \mu\text{F}/10 = 0,175 \mu\text{F}$  telepet 10 darab kondenzátor soros kapcsolásával állítottuk össze.

A [2] megengedi  $R = 0,1 X_c$  soros ellenállások alkalmazását, amelyek a kondenzátorok védelmét és az áramkör „nyugodtabb” működését teszik lehetővé. Az  $R_c = 50 \text{ ohm} < 0,1 \cdot 520 \text{ ohm}$  és  $R_v = 1200 \text{ ohm} < 0,1 \cdot 18200 \text{ ohm}$  soros ellenállások vízellenállások voltak.

A megszakítók visszagyújtásmentes megszakítása esetén a nagyáramú kör  $VD_1$  feszültségosztóval mért legnagyobb feszültsége  $U_c = 87,3 \text{ kV}$ ; a  $G_1$  mérő- és védőszikraközt ennél 15...20%-kal nagyobb értékre célszerű beállítani, hogy normális működés esetén ne üssön át, de a TB vizsgált-, vagy AB segédmegszakító visszagyújtása esetén hatásos védelmet nyújtson. Visszagújtásmentes esetben a nagyfeszültségű kör  $VD_2$  feszültségosztóval mért legnagyobb feszültsége  $U_v = 2 \cdot \sqrt{2} \cdot 135 \text{ kV} = 382 \text{ kV}$ ; a  $G_2$  mérő- és védőszikraközt ennél 10...15%-kal nagyobb értékre célszerű beállítani. Az SA fém-oxid korlátozó ugyancsak a nagyértékű nagyáramú kör túlfeszültségvédelmét látja el.

Az  $I_c$  áram mérése az  $Sh_1$ , az  $I_v$  áram mérése az  $Sh_3$ , a vizsgált megszakítón átfolyó eredő  $I_L$  áram mérése az  $Sh_2$  söntökkel történt.

### 3. Jellemző oszcillogramok bemutatása

[2] 6.111.8 fejezet szerint mind a távvezeték, mind a kábeltöltőáram megszakítási vizsgálatokat két áramértéken:

- a névleges, vonatkozó kapacitív áramú megszakítóképesség 20...40%-án és
- a névleges, vonatkozó kapacitív áramú megszakítóképesség 100...110%-án kell elvégezni.

Egy sorozat 12 megszakítási műveletből áll, amelyből 10 O és 2 CO művelet. Az egyes kapcsolások között a vizsgált megszakító KI-impulzusát 30 villamos fokkal eltolva kell a KI tekercsre adni, ez biztosítja a szinuszos feszültséggörbe egy periódusa mentén eltoltan bekövetkező érintkező szétválásokat, így a különböző  $0 < t_{iv} < 10 \text{ ms}$  időket.

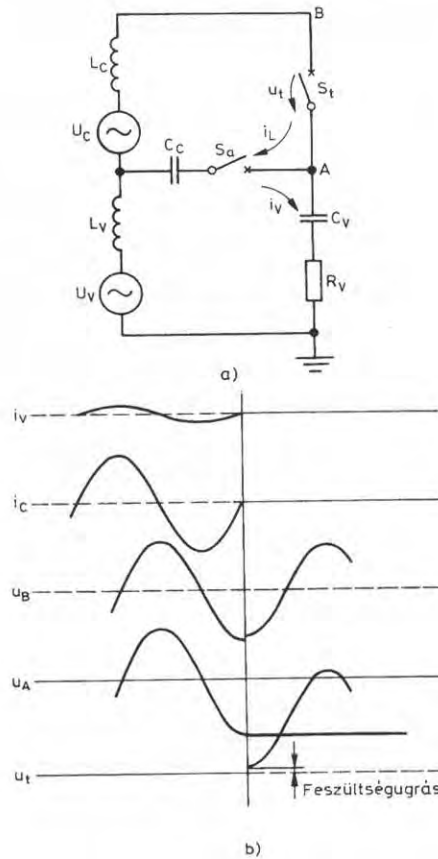
A 12 kapcsolásból álló sorozat 5. és 10. kapcsolásáról készült AFE 0513 és AFE 0518 számú oszcillogramok jellemző adatait a 2. táblázatban foglaltuk össze. A két kapcsolás között tehát a megszakító KI impulzusát összesen  $150^\circ$ -kal toltuk el.

Az AFE 0518. számú oszcillogramon látható, hogy ívfeszültség hatására az áram torzul, meredekebben tart a nullához, az ívidő is kisebb az elméleti  $0,8 \text{ ms} + 10 \text{ ms} \cdot 150^\circ/180^\circ \approx 9,1 \text{ ms}$  értéknél.

2. táblázat

Oszc. száma	$U_c$ , kV	$U_v/U_{vlim}$ , kV	$I_c/I_v/I_L$ , A	$t_{iv}$ , ms
AFE 0513	32	136/385	57/9/66	0,8
AFE 0518		135/69		6,7

ahol  $U_{vlim}$  a tranziens visszatérő feszültség első csúcsa a vizsgált megszakítón



4. ábra. A [3] GG 5 ábra szerinti szintetikus áramkör

<b>Nagyáramú kör</b>		<b>Nagyfeszültségű kör</b>	
feszültsége	$U_c = U_s/n$	feszültsége	$U_s = U_c + U_v$
árama	$I_c = U_c \omega C_c$	árama	$I_v = U_s \omega C_v$
induktivitása	$\omega L_c \ll 1/\omega C_c$	induktivitása	$\omega L_v \ll 1/\omega C_v$
kapacitása	$C_c = n C_L$	kapacitása	$C_v = C_L/m$

terhelő áram:  $I_L$   
terhelő kapacitás:  $C_L$

Az áram nullaátmenet közelében való torzulása  $U_c$  elég nagyértéke esetén nem a szintetikus áramkör jellemzőiből következik, ezt igazolják ugyanezen megszakító CESI (Milánó) Zárlati Próbaállomásán direkt áramkörben lefolytatott vizsgálatait (lásd a 015407-020 és 015407-021 oszcillogramokat).

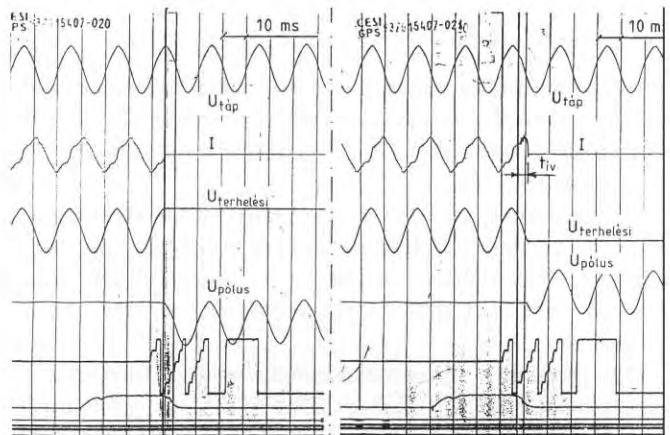
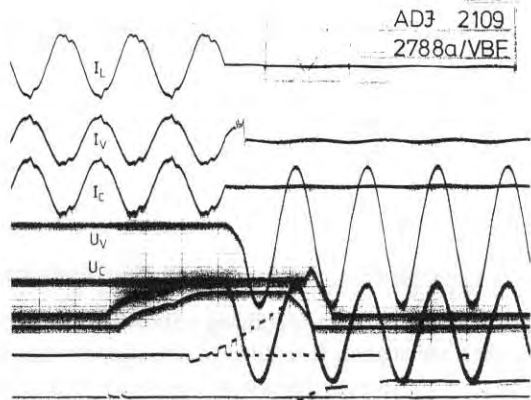
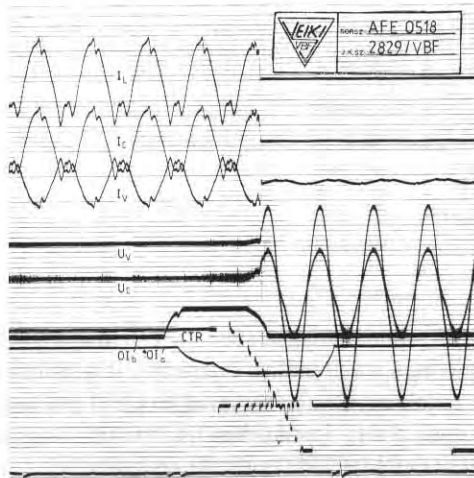
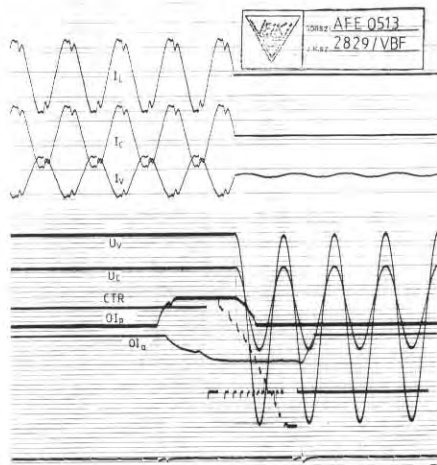
A 160 A-es kábeltöltőáram megszakítási vizsgálatainál már nem tapasztaltunk számottevő áramtorzulást.

A VEIKI-VBD egy másik 145 kV-os SF<sub>6</sub> megszakítón lefolytatott 160 A áramú vizsgálataiból emeltük ki az érdekes ADJ 2109 oszcillogramot. A segédmegszakító KI impulzusának nem megfelelő időzítése miatt az a nagyáramú kör I<sub>c</sub> áramát ~ 6 ms-mal előbb leválasztotta a vizsgált megszakítóról.

Végül megemlítjük, hogy a VEIKI-VBD kidolgozta a 4. ábrán bemutatott [3] GG 5. ábra szerinti áramkörében történő vizsgálat feltételeit is. Ebben az áramkörben a vizsgált megszakító terhelési oldalán is megjelenik a feszültség, tehát a valóságos viszonyokat jobban utánozza. Ezt a vizsgált megszakító tápol-dali pontján és terhelésoldali pontján megjelenő U<sub>B</sub> és U<sub>A</sub> feszültségek ill. ezek különbségeként fellépő U<sub>t</sub> pólusfeszültség görbealakjai igazolják. Az előző áramört alkalmazza a KEMA (Arnhem, Hollandia) Zárlati Laboratóriuma is [5].

### Összefoglalás

A nagyfeszültségű megszakítók távvezetéki- és kábeltöltőáram megszakítóképességének vizsgálati igazolása a zárlati megszakítóképesség vizsgálatához hasonló jelentőségű. A modern SF<sub>6</sub> gázoltású megszakítók visszagyújtásmentessége lehetővé teszi a koncentrált terhelési oldali kapacitást alkalmazó egyfázisú áramkörben a vizsgálatot. A cikk a VEIKI Rt. szabványos előírásoknak megfelelő, kapacitív árammegszakítóképesség vizsgálatához kifejlesztett szintetikus áramkört mutatja be.



### Irodalom

- [1] Dr. Miháلكovics T., Schmidt L., Dr. Szabó-Bakos R., Szabó Z.: 145 kV-os SF<sub>6</sub> gázoltású megszakító zárlati megszakítóképességének vizsgálata szintetikus áramkörben. Elektrotechnika, 86. évf. 1993. okt. 465-471.o.
- [2] IEC 56: High voltage alternating-current circuit-breakers, 1987. International Standard.
- [3] IEC 427: Synthetic testing of high-voltage alternating current circuit-breakers. 1989. International Standard.
- [4] Dr. Miháلكovics Tibor: Hitachi Nagyteljesítményű Laboratóriuma. Tanulmány, VEIKI, 1986. nov.
- [5] Dr. Miháلكovics Tibor: Utijelentés KEMA (Arnhem, Hollandia) Nagyteljesítményű Laboratóriumban tett látogatásról. Tanulmány, VEIKI, 1987.

# OTIS

**OTIS FELVONÓ Kft.**  
 1033 Budapest, Huszti út 34.  
 Tel.: 250-4945, 250-4950  
 Fax: 250-4946, 250-4947

A világ legnagyobb felvonógyártó, karbantartó, és szervizelő vállalata, az **OTIS Elevator Company (USA)** tapasztalatait és gyakorlatát felhasználva, vállalkozunk tetszés szerinti igényekhez alkalmazkodó felvonók és mozgólépcsők

- tervezésére, • gyártására, • szerelésére, valamint karbantartására és szervizelésére;

átalánydíjas, teljes körű karbantartás, • csökkentett körű karbantartás, • alapkarakbantartás rendszerben;

a megbízói igényekhez rugalmasan alkalmazkodva, valamennyi felvonó- és mozgólépcsőtípusra, a gyártói függetlenül.