

Középfeszültségű vákuummegszakítók zárlati megszakítási vizsgálatai az Infoware Zárlati Próbaállomás szintetikus vizsgálati áramkörében

A cikk a középfeszültségű vákuummegszakítók zárlati megszakító-képességének vizsgálatához kifejlesztett szintetikus vizsgálati áramkört ismerteti. A roncsolás-mentes vizsgálat, a paraméterek egyszerű változtathatósága és az 5...10 percnkénti kapcsolási lehetőség miatt az áramkört a gyártók fejlesztési vizsgálataihoz és az élettartam görbe (adott megszakítási áramot a megszakító hányszor képes sikeresen megszakítani) felvételéhez javasoljuk. Az élettartam görbék ismerete fontos az Áramszolgáltatók és egyéb felhasználók számára is.

The synthetic test circuit appropriate for short-circuit current tests of vacuum circuit-breakers is treated. The synthetic test method is proposed to the development tests of the vacuum c.b. because of the easy changeability of test parameters and the fact, that unsuccessful operations do not cause damage of the vacuum chamber. It is proposed to the quick determination of the permissible number of break cycles as a function of short-circuit current for the manufacturers and power companies too.

Bevezetés

Az áramszolgáltatók és az OVIT az utóbbi években az új létesítésű középfeszültségű állomásaikban és a revitalizációs programja keretében a régi állomásokban is nagy számban építenek be korszerű, nagy villamos és mechanikus élettartamú, kis ívidejű vákuummegszakítókat.

Ezek beépítésének feltétele az IEC 62271-100 [1] szabvány szerinti típusvizsgálati követelményeket igazoló jegyzőkönyvek átadása. A típusvizsgálati jegyzőkönyvek azonban nem igazolják ezen korszerű - normál üzemi körülmények között 20-25 évig karbantartásmentes - megszakítók villamos élettartamát. A beépítendő megszakítók kiválasztásánál tehát a gyártó által igazolt vagy az INFOWARE ZRt. Zárlati Próbaállomásán néhány nap alatt elvégezhető villamos élettartam vizsgálatnak nagy jelentősége van.

Mivel egyrészt az INFOWARE ZRt. vizsgálati adottságai nem teszik lehetővé a 12kV-os, 20...40kA - és 24kV-os, 16...31,5kA névleges zárlati megszakító-képességű megszakítók direkt zárlati áramkörben való vizsgálatát, másrészt ezek direkt zárlati áramkörben való meghibásodása a megszakító robbanásához vezethet, nagy jelentősége van a megszakítók szintetikus áramkörben való vizsgálatának. Egy ilyen vizsgálati áramkörben 5 - 10 percnként elvégzett kapcsolással 1-3 nap alatt ellenőrizhető egy megszakító villamos élettartama az üzemi körülmények között - például a betáplálási megszakító névleges megszakítási áramának 80-100% -án, vagy egy zárlatkorlátozó fojtótekerces leágazás 40-50%-os zárlati áramán.

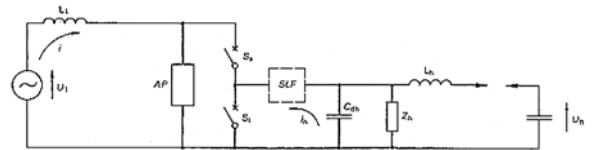
Mivel a sikertelen megszakítás nem eredményezi a vákuumkamra súlyos sérülését (a nagyfeszültségű kör visszagyújtását nem követi roncsoló zárlati áram - lásd később), annak szét-

szedés utáni állapota a gyártó számára fontos információt jelent. A szintetikus vizsgálati áramkör a vákuummegszakító fejlesztő gyárak részére lehetővé teszi a vizsgálati jellemzők (zárlati áram, visszaszökő feszültség meredeksége, földzárlat melletti megszakítás, stb.) gyors, rugalmas változtatását, egyben biztosítja, hogy a sikertelen megszakítás után a vákuumkamra állapota leellenőrizhető.

Az alábbiakban az INFOWARE Zrt. Zárlati Próbaállomásának (továbbiakban ZP) szintetikus vizsgálati áramkört ismertetjük.

Zárlati megszakítóképeség vizsgálati áramköre

A mai korszerű 145...245kV/ 40-50kA egységkamrás nagyfeszültségű SF6 gazoltású megszakítókat csak szintetikus vizsgálati áramkörben lehet vizsgálni, a KEMA (Arnhem, Hollandia) zárlati laboratórium direkt zárlati teljesítménye is csak 8400MVA. A kis, 1 μ s körüli ívideőálló és a nagyobb visszaszökő feszültség (VSF) frekvenciák melletti vizsgálatok igénye (zárlatkorlátozó fojtótekerces leágazásokban fellépő VSF frekvenciája 80-140 kHz, a középfeszültségű generátor megszakítókat a KEMA is szintetikus körben vizsgálja) az áram nullaátmenete közeli termikus visszagyújtás viszonyait hűen leképező áraminjektáló szintetikus kapcsolás alkalmazását helyezte nemzetközileg előtérbe [2, 3]. [2] szerint: „It has proven that synthetic testing is an economical and technically correct way to test high-voltage a.c. circuit-breakers according to the requirements of IEC 62271-100. Synthetic testing methods ...are equivalent to the direct test method.”



1. ábra ([2] BB1 ábrája)

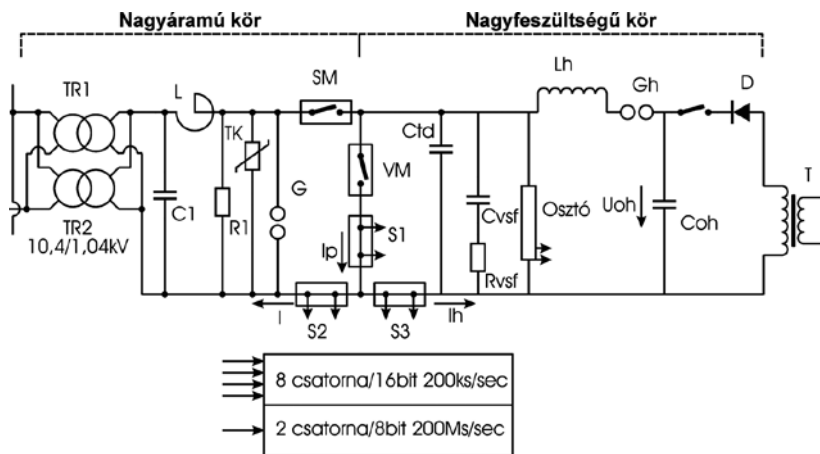
U_1 = voltage of current circuit
 L_1 = Inductance of current circuit
 AP = arc prolonging circuit
 S_a = auxiliary circuit-breaker
 S_1 = test circuit-breaker
 Z_h = equivalent surge impedance of voltage circuit
 C_{dh} = capacitance for time delay

L_h = inductance of voltage circuit
 U_h = charging voltage of voltage circuit
 i = current of the current circuit
 i_h = injected current
 SLF = short-line-fault circuit (for the corresponding tests)

A ZP-on kiépítendő párhuzamos áraminjektáló kapcsolású szintetikus áramkör elvi kapcsolását az 1. ábra ([2] BB1 ábrája) mutatja. A megvalósított részletes kapcsolás a 2. ábra mutatja. A ~ 900V feszültségű nagyáramú kör alkalmas a 12 kV-os és 24 kV-os vákuummegszakítók 16 ... 40kA zárlati áramának táplálására is. Ezt < 60V ívfeszültségük teszi lehetővé.

Az 1. és 2. ábra baloldalán lévő nagyáramú kört és a jobb oldali részen látható, a vizsgált megszakítóval párhuzamosan kapcsolt nagyfeszültségű kört egyesítő szintetikus áramkör a valóságos igénybevételeket hűen leképező és az IEC 60427 [2] szabvány által megkövetelt ekvivalencia kritériumokat kielégítő kapcsolást eredményez, így a megszakító oltókamrája és érintkezője is a valóságos áram és VSF igénybevételeket kapja. A párhuzamos áraminjektáló kapcsolás működése a következő:

A zárlati áram utolsó nulla-átmenete előtt $t^* = \frac{1}{2} T_h - t_h$ idővel (ahol $t^* >$ ívfeszültség „jelentős változásának” szakasza (lásd [2] BB2 és BB5b ábráit) a G_h szikraközt begyújtva, az $U_{0h} = L_h \cdot di_h/dt$ feszültségre feltöltött C_{0h} kondenzátortelep $f_h = 1/2\pi \sqrt{L_h C_{0h}}$ frekvenciájú - rendszerint 500 Hz körüli $-i_h$ áramot szuperponál a vizsgált VM megszakítón átfolyó i zárlati



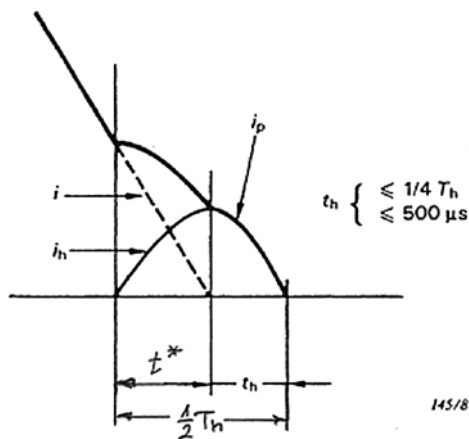
2. ábra Megvalósított részletes kapcsolás

áramra (lásd 3. ábrát). A direkt zárlati körben és a szintetikus áramkörben lefolytatott vizsgálat egyenértékűségét teljesítő fontos ekvivalencia kritériumok:

- a nagyfeszültségű kör L_h induktivitása közelítőleg egyezzen meg a direkt zárlati kör induktivitásával, $L_d < L_h < 1,5L_d$ legyen - ahol $L_d = K \cdot U_N / (\sqrt{3}I_w)$ - (K - az először megszakító pólus tényezője, értéke $K=1,5$ a nem hatásosan földelt 12...24kV-os hálózat esetén),
- a zárlati áram és az injektált áram nulla-átmeneti meredeksége azonos legyen:

$$di/dt_{t=0} = \sqrt{2}I_w = di_h/dt_{t=0} = \sqrt{2}I_h\omega_h = U_{0h} / L_h$$

A 3. ábrán az is látható, hogy a VM vizsgált megszakítóval rendszerint azonos típusú SM segédmegszakító a $t = 0$ időpontban az R1 és C1 elemekkel biztosított enyhe VSF mellett szakítja meg a ~ 900V feszültségű nagyáramú kör zárlati ára-



3. ábra Injektált áram időzítése

mát, leválasztva azt a nagyfeszültségű körről. A $t > 0$ időtől kezdve (lásd a 3. ábrán) a nagyfeszültségű rezgőkör egyedül biztosítja a VM megszakítón átfolyó, azonos meredekségű i_h injektált áramot és az L_h, C_{VSF}, R_{VSF} elemekkel meghatározott VSF paramétereket.

[1] megfelelő táblázataiban megadott VSF paraméterek teljesítésén túlmenően az áramkörnek teljesítenie kell a nullaátmenet közeli alábbi két feltételt is:

- A VM nyitott kontaktusairól a $t=0$ időben a „ Z_h egyenértékű hullámmellenállást” lássunk, azaz a mi esetünkben

$$Z_h = R_{VSF} = (du_{VSF} / dt) / (di / dt) \text{ ahol}$$

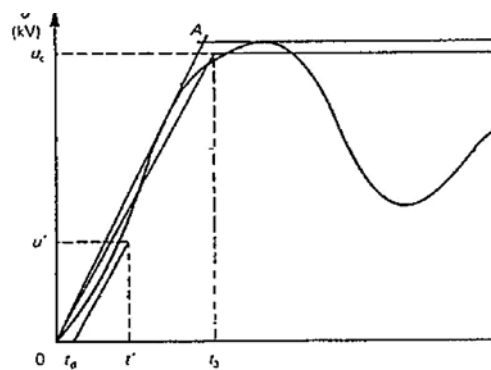
- du_{VSF} / dt - a VSF kezdeti meredeksége,

- $di / dt = \sqrt{2}I_w$ - a zárlati áram nulla-átmeneti meredeksége.

- A megszakító tápoldalán lévő helyi kapacitások (áramváltó, feszültségváltó, gyújtósín stb. kapacitásai) VSF kezdeti meredekségét csökkentő hatását a t_d időeltolással (time delay lásd. 4. ábra) veszi [1] figyelembe. Az előírt t_d beállítása az 1. ábra C_{dh} ill. a 2. ábra C_{td} kondenzátorával a $t_d = Z_h \cdot C_{td}$ egyenlet alapján történik.

- A direkt és a szintetikus áramkörben az ívidők azonosak legyenek.

A forgalomban lévő vákuummegszakítók vizsgálati jegyzőkönyvei alapján megállapítható, hogy háromfázisú áramkörben a legnagyobb igénybevételű először megszakító pólus ívideje legfeljebb 4,5...5,2 ms, tehát (a nagyfeszültségű megszakítóknál szükséges és szokásos) ívidő-hosszabbító áramkör (1. ábrán AP jelű) elhagyható. Ennek magyarázata az, hogy a vákuummegszakító kisebb ívidőnél bekövetkező visszagyújtása esetén a következő áram nulla-átmenetben megszakító másik fázis válik először megszakítóvá. Még a visszagyújtott - most már utoljára, de csak 0,866.I áramot megszakító - pólus ívideje is max. 11ms. Az esetleg fejlesztési célból szükséges (milyen tartalék van a megszakítóban) > 10ms ívidő a nagyobb egye-



4. ábra VSF jellemzői

náramú komponensű fél-hullámban (major loop) történő megszakítással is elérhető.

Zárlati megszakítóképesség vizsgálatára alkalmas szintetikus áramkör elemei

- A C_{0h} alaptelep a rendelkezésre álló 36 db $C = 3,6\mu F; 12kV_{AC} - 40kV_{DC}$ kondenzátorból építhető fel. Egyéb célokra (pl. C_1) 4 darabot tartalékolva:

$$12kV\text{-os VM esetén: } C_{0h} \leq 32 \times 3,6 \mu F = 115,2 \mu F$$

$$24kV\text{-os VM esetén: } C_{0h} \leq 16 \times 1,8 \mu F = 28,8 \mu F$$

A szokásos 16...40kA névleges megszakítóképességű 12kV-os és 16...31,5kA névleges megszakítóképességű 24kV-os megszakítók jellemző paramétereit: VSF-t, először megszakító pólus U_d visszatérő feszültségét, a fejlesztési- és élettartam vizsgálat szempontjából fontos 100%- és 60% névleges megszakító-képességű áramkör L_h induktivitását, az áram di/dt meredekségét, a C_{0h} kondenzátor telep U_{0h} töltőfeszültségét és a nagyfeszültségű kör f_h injektálási frekvenciáját néhány esetre az 1. táblázatban foglaltuk össze.

- T töltőtranszformátorként egy 35kV-os feszültségváltó használunk, a D a 90kV zárófeszültségű egyenirányító.

- A G_h jelű vezérelt kapcsoló-szikraköz a triggerelő jelet az

utolsó áram félhullám nulla-átmenet közeli meredekségéből nyeri.

- A nagyfeszültségű kör L_h jelű inuktivitásaként a ZP meg-lévő szabályozó fojtótekercei használjuk.
- C_{VSF} kondenzátor, R_{VSF} ellenállás
Az [1] által megadott U_C/t_3 VSF meredekséget ill. 4...30kHz frekvenciát a rendelkezésre álló $3 \times 0,1 \mu F$; $3 \times 0,25 \mu F$ és $4 \times 3,6 \mu F$ kondenzátorok soros-, párhuzamos kapcsolásaiból állítjuk be. A 30...230ohm értékű RVSF csil-lapító ellenállást fém- és folyamatosan változtatható vízel-lenállásokkal állítjuk be.
- SM segédmegszakítóként a vizsgált megszakító másik pó-lusa használható.

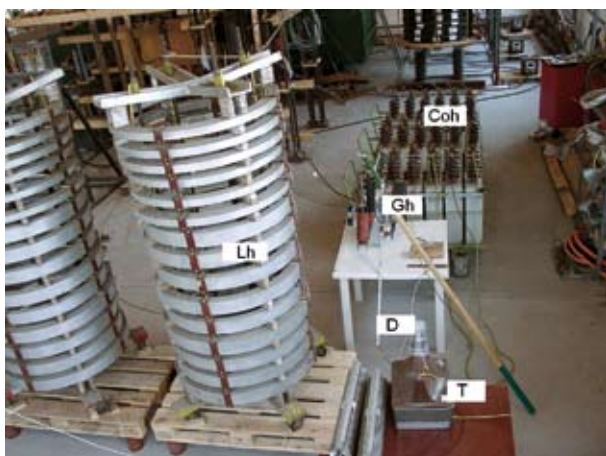


1. kép 2 db 10,4/0,173...1,04kV zárlati transzformátor

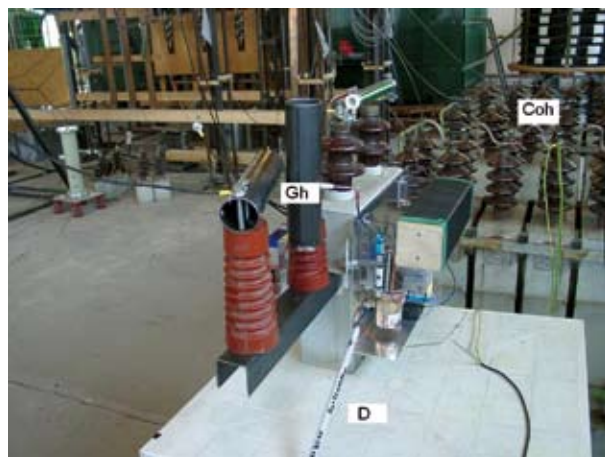
- A nagyáramú kör tápt-ranzformátorai

A szükséges max. 40...50kA zárlati áramot a 23kV-os gyűjtősínről 28,6/11kV-os illesztő transzformá-torokon keresztül táplált 2darab 10,4/1,04kV fe-szültségű, 100MVA zárlati telje-sítményű $\epsilon = 1,5...2,5\%$ transzformátorok bizto-sítják. Mivel a vákuum-megszakítók szokásos ívfeszültsége $< 60V$, fen-ti transzformátorok alkalmasak a zárlati áram táplálására, az ívfeszült-ség nem eredményez számottevő áramtorzulást. Nagyobb ívfeszültség esetén az [1]-ben megadott tűrések betartásá-hoz [2]-ben javasolt módszerek alkalmazhatók.

- A nagyáramú kör VSF szabályozása
A nagyáramú kört a VM megszakítóról az SM megszakító választja le. Ennek kis ívidő mellett üzembiztos műkö-déséhez célszerű a VSF igénybevételt csökkenteni. Ez a $C_1 = 7,2 \mu F$ kondenzátorral biztosítható.
- A nagyáramú kör túlfeszültségvédelme
Az SM megszakító visszagyújtása esetén a nagyfeszültségű kör feltöltött kondenzátoraiból (C_{td} ; C_{0h}) eredő veszélyes túlfeszültség jelenhet meg a nagyáramú kör sarkain. A há-rom lépcsős túlfeszültségvédelem elemei:
- $C_1 = 7,2 \mu F$ kondenzátor és $R_1 \approx 20 \Omega$ ellenállás
- TK fénoxid túlfeszültség korlátozó
- G védőszikraköz



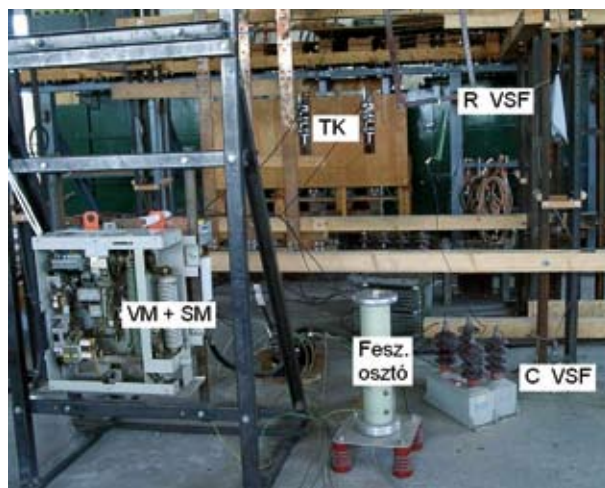
2. kép T, D, G_h , C_{0h} , és L_h elemek



3. kép D, G_h és C_{0h} elemek

Mérő- és vezérlő rendszer

A ZP nyolccsatornás, 0,1ms lépésekben szabályoz-ható elekt-ronikus programkapcsolójával történik a próbaáramkör ele-meinek: a ZP operatív- és védőmegszakítójának, a VM és SM megszakítóknak, a G_h szikraköznek a vezérése.



4. kép VM és SM, CVSF, RVSF, TK és a feszültségosztó

Az áram nulla-átmenet érzékelő feladata a megszakító íve-lése által okozott áramtorzulás hatására fellépő kismértékű áram nulla-átmenet eltolódás érzékelése és előretartással a vezérlő impulzus kiadása a G_h vezérelt szikraköznek.

Mért mennyiségek

- Az i zárlati áram (50 Hz),
 - az $f_h \approx 500 \text{ Hz}$ frekvenciájú i_h injektált áram és annak $di_h/dt \approx 5 \dots 18 \text{ A} \mu \text{s}$ meredeksége,
 - az $i_p = i + i_h$ - VM eredő árama,
 - a vizsgált megszakító $0,3 \dots 3 \text{ kV} \mu \text{s}$ meredekségű tranziens visszatérő feszültsége (U_{VSF}),
 - a vizsgált megszakító U_V visszatérő feszültsége,
 - a vizsgált megszakító U_{IV} ívfeszültsége,
 - a VM és SM BE- és KI működtető impulzusai.
- A különböző időbeli felbontást igénylő jelek rögzítéséhez az alábbi berendezéseket használjuk:
- 8 csatornás, $5 \mu \text{s} \dots 500 \text{ ms}$ tartományban 1-2-5-10 lépésekben változtatható mintavételi idejű tranziens rekorder
 - 2 csatornás, 1 Mbyte/csatorna memóriás, 8 bit felbontású, max. 200 Ms/s mintavételű H&P oszcilloszkóp, ez alkalmas az U_{IV} , di/dt , U_{VSF} nagyobb felbontású rögzítésére.

Kapcsolások oszcillogramjai

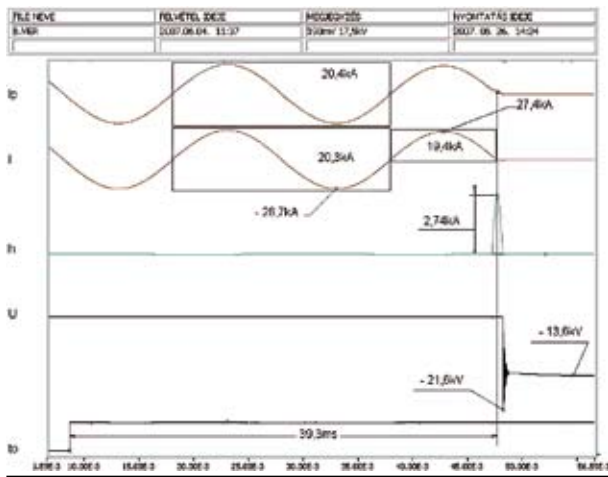
Az alábbiakban egy 12kV – 20kA vákuum-megszakító néhány megszakítási oszcillogramját mutatjuk be. A megszakító egyik pólusa volt a vizsgált (VM)-, másik pólusa a segédmegszakító (SM). A KI-önidő 32ms.

A sugarak sorrendje:

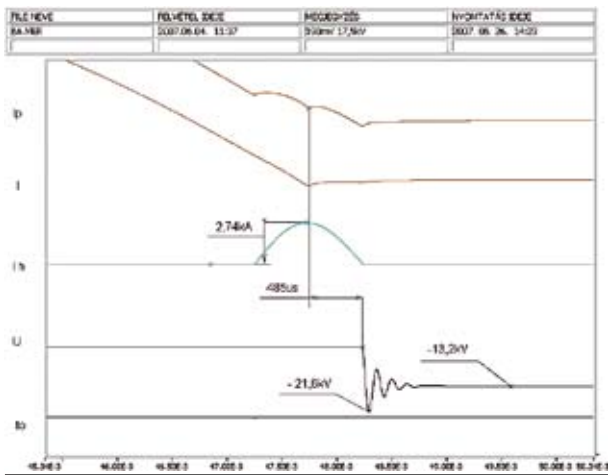
- i_p - VM S1 sönttel mért árama
- i - a nagyáramú kör S2 sönttel mért árama
- i_h - a nagyfeszültségű kör S3 sönttel mért injektált árama
- U - VM feszültségosztóval mért feszültsége
- t_0 - a megszakító KI tekercs feszültsége
- ($t_{IV} = t_{MEGSZAKÍTÁSI} - 32ms$)

A 20070604-6 sz. oszc. egy 20kA-es sikeres megszakítást mutat $t_{IV} = 39,3 - 32 = 7,3ms$ iv-ido esetén. A 20070604-6A felvétel ezt a kapcsolást nagyobb széthúzásban mutatja, ezen a nulla-átmenet közeli jelenségek láthatók.

A 20070604-4A felvétel egy (a kis 0,7ms ivido miatti kis érintkező távolság miatt) sikertelen 16kA-es kapcsolás oszcillogramját mutatja. Az SM 19kV-nál bekövetkező visszagyújtása csak a nagyfeszültségű kör kb. 2,8kA csúcsertékű kb.500Hz-es áramában jelent visszagyújtást.



5. ábra oszc. 20070604-6

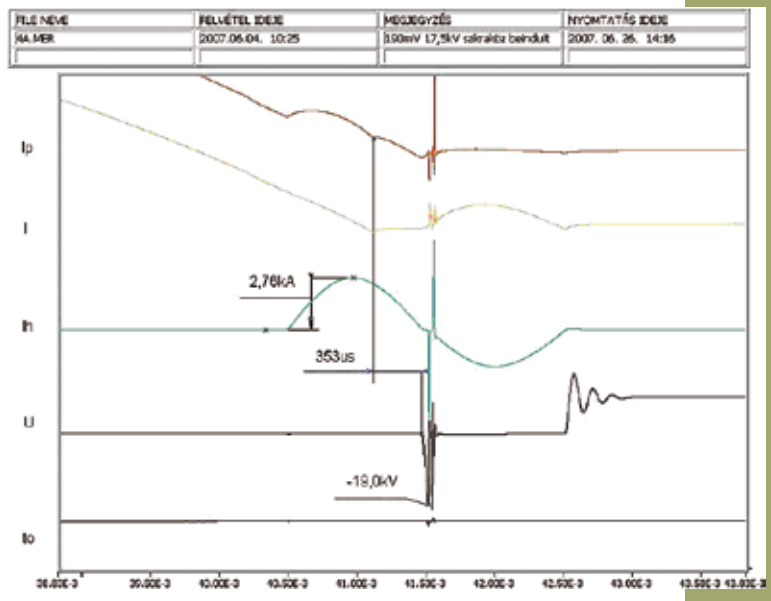


6. ábra oszc. 20070604-6A

U_N (kV)	I_N (kA)	I / I_N	Előírt VSF (IEC 62271-100)				U_d (kV)	$L_d = L_h$ (mH)	di / dt (A / μs)	U_{oh} (kV)	f_h (Hz)	C_{oh} (μF)
			U_c (kV)	t_3 (μs)	t_d (μs)	U_c/t_3 (kV/ μs)						
12	20	1,0	20,6	61	9	0,34	10,4	1,656	8,88	14,71	499	61,2
		0,6	22	26	4	0,85		2,76	5,33		505	36
	40	1,0	20,6	61	9	0,34		0,828	17,76		524	111,6
		0,6	22	26	4	0,85		1,38	10,66		505	72
24	16	1,0	41	87	13	0,47	20,8	4,14	7,105	29,42	496	25,2
		0,6	44	38	6	1,16		6,9	4,26		505	14,4
	31,5	1,0	41	87	13	0,47		2,103	13,99		668*	27
		0,6	44	38	6	1,16		3,505	8,39		514	27

1. táblázat Előírt jellemzők és azok beállítása

$U_d = 1,5 \cdot U_N / \sqrt{3}$ $L_d = L_h = X_d / \omega = U_d / I \cdot \omega$ $U_{oh} = L_d \cdot di / dt$ $f_h = 1 / (2\pi \sqrt{L_h C_{oh}}) * f_h$ csökkenthető nagyobb $L_d < L_h < 1,5L_d$ alkalmazásával



7. ábra oszc. 20070604-4A

Irodalom

- [1] IEC 62271 – 100: High-voltage switchgear and controlgear – Part 100: High-voltage alternating-current circuit-breakers (2001-05).
- [2] IEC 60427: Synthetic testing of high-voltage alternating-current circuit-breakers (2000-04).
- [3] Dr. Miháلكovics T., Schmidt L., dr. Szabó-Bakos R., Szabó Z.: 145kV-os, SF6 gázoltású megszakítók zárlati megszakítóképeségének vizsgálata szintetikus áramkörben. Elektrotechnika, 1993. 10. szám, 465-471 o.



dr. Miháلكovics Tibor

műszaki tudományok kandidátusa
Infoware Zrt. Zárlati Próbáállomás és Mérnökiroda vezetője

mihalkovicst@infoware.hu



Somogyi Gábor

vizsgálómérnök
INFOWARE ZRt. Zárlati Próbáállomás

somogyig@infoware.hu