U. D. C. 621.316.57.001.4 : 621.311.6

日立における遮断器合成試験

Synthetic Testing of Circuit Breakers in Hitachi

細川正男* 臼木寿一郎*
Masao Hosokawa Juichirô Usuki

要旨

合成試験を空気遮断器に適用したときの遮断判定に及ぼす諸因子効果を検討し，電流零近傍の電流電圧責務を与える電圧源の効果が大きく，特に再起電圧の初期部分が遮断の成否に大きな影響を及ぼすことが判明し，零近傍の遮断現象を実測と計算から解析した。このほか日立製作所日立研究所の合成試験設備の概要と，並列抵抗付遮断器に対する新しい合成試験法についても言及した。

1. 緒言

電力系統の大容量化に伴い，使用される遮断器もますます大容量のものが要求され，日立製作所においてもすでに 300 kV 25 GVA, 550 kV 35 GVA の OPH 形 ABB[1] を開発し，営業あるいは試験運転にはいっている。

これら遮断器の遮断性能を検証するのに，理想的には 100% 容量の実負荷短絡試験が行なえるような試験設備を必要とするが，設備が膨大なものとなり実際的には不可能である。このため単相試験，部分試験などが用いられるが，遮断部ユニット自体が高電圧大容量となると，部分試験ですら実負荷短絡試験で 100% 容量の性能検証が困難となる。一方海外でみられる実系統を利用した試験所でも限度があり，時間的な制約も多く特に遮断器の開発試験に利用することはほとんど不可能といえる。

これらの状勢にかんがみ，内外の短絡試験所では合成試験法の確立と設備の建設に力を入れ，等価性についても精力的に研究がなされている[2]~[5]。

合成試験の原理は，遮断器でアーク発生中は大電流を通じているが極間電圧はアーク電圧しか存在しないため，比較的低電圧大電流の電流源からこれを供給し，消弧以後は電流供給が少なくてよいため高電圧小電流の電圧源からこれを供給し，消弧近傍時に遮断器を電流源から電圧源に移すことにより，結果的には一つの電源から高電圧大電流を供給する実負荷(直接)試験と等価とみなせる試験を行なうものである。

試験法の概要は上述のとおりであるが，実際の試験実施上の難易あるいは等価性などに関連して種々の回路構成が考えられている。日立製作所日立研究所では種々の合成試験法のうち最も信頼性があり，内外で最も多く用いられているワイル合成試験法を採用し，数年前から基礎実験し，昭和40年12月に現有設備を完成した。以来遮断器の開発研究試験を始め商用試験にも大いに利用している。以下，設備の概要と ABB を用いた試験結果について述べる。

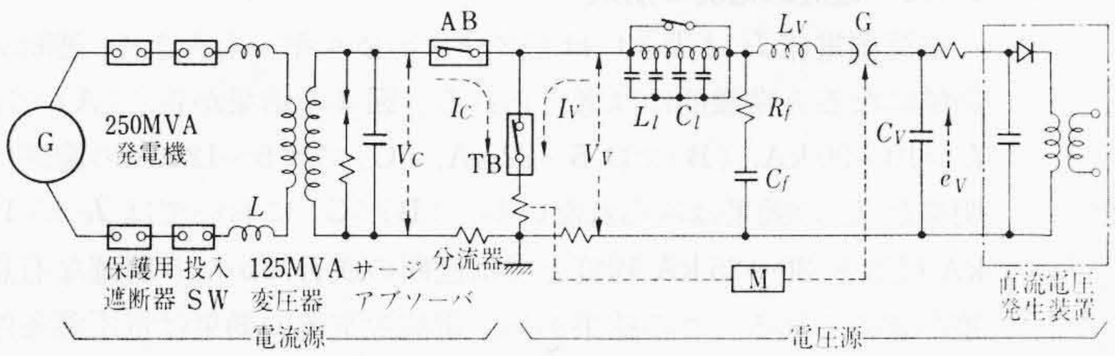
2. 試験回路と試験設備

2.1 試験回路と構成

試験回路は図1のように電流源と電圧源から構成されている。電流源回路は供試遮断器のアーク電流，アークエネルギーを直接試験時と同等にする必要があり，電流源電圧は供試遮断器と補助遮断器の直列アークにより電流が著しく変歪しない程度に高くする必要がある。電圧源回路は，供試遮断器を通る電流零近傍の電流傾斜，回復電圧，供試遮断器からみた回路の短絡駆動点インピーダンス関数を直接試験回路と一致するよう選定する必要がある[6]。図2は遮断試験時の動作説明図である。

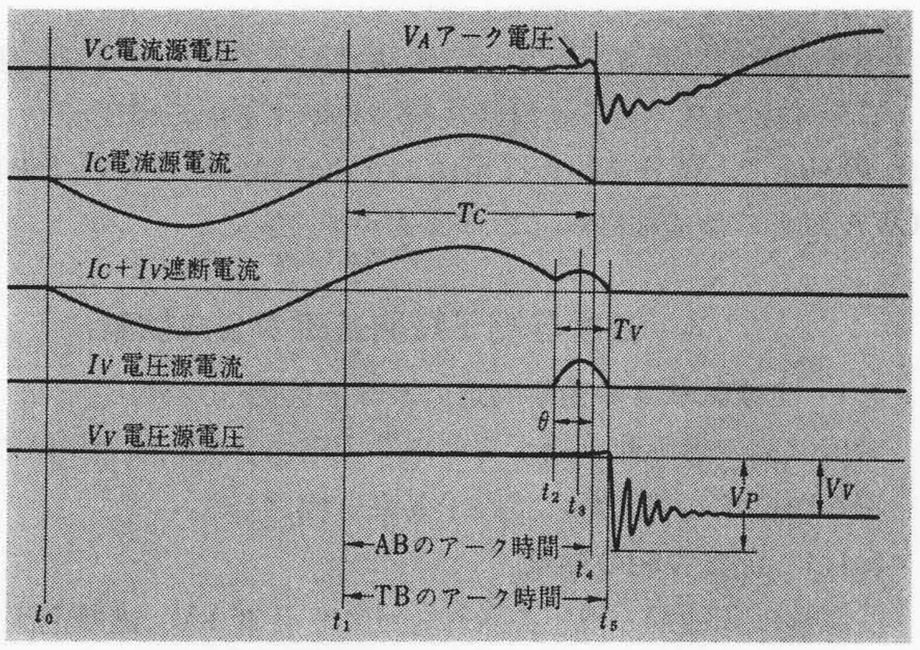
2.2 試験設備の概要

電流源としては 250 MVA 短絡発電機[7]，125 MVA 変圧器，電流調整用リアクトル，サージ吸収装置から構成している。電流源電圧 V_C に比べ電圧源電圧 e_V は数倍であるため，e_V が電流源に侵入すると絶縁上過酷なものとなる。アナライザ解析の結果から，サージ吸収用として 5~10 μF のコンデンサおよび放電ギャップと直列に 3~4Ω の抵抗を電流源出力端子に設けている。



AB：補助遮断器
TB：供試遮断器
G：3点ギャップ
M：ギャップ始動装置
e_V：充電電圧
I_C：電流源電流
V_C：電流源電圧
I_V：電圧源電流
V_V：電圧源電圧
C_V：電圧源コンデンサ
L_V：電圧源リアクトル
C_f：再起電圧周波数調整用コンデンサ
R_f：再起電圧振幅率調整用抵抗
L_l, C_l：SLF用模擬線路

図1 合成試験回路



t_0：投入SW投入時点
t_1：AB, TB の開極点
t_2：I_V の印加時点
t_3：I_V の波高時点
t_4：I_C の電流零点
t_5：I_V の電流零点
T_C：I_C によるアーク時間
T_V：I_V によるアーク時間
θ：電圧源の印加位相
V_P：再起電圧波高値
V_V：回復電圧
$f_V=\frac{1}{2}T_V$：I_V の周波数

図2 合成試験時の電圧電流

* 日立製作所日立研究所

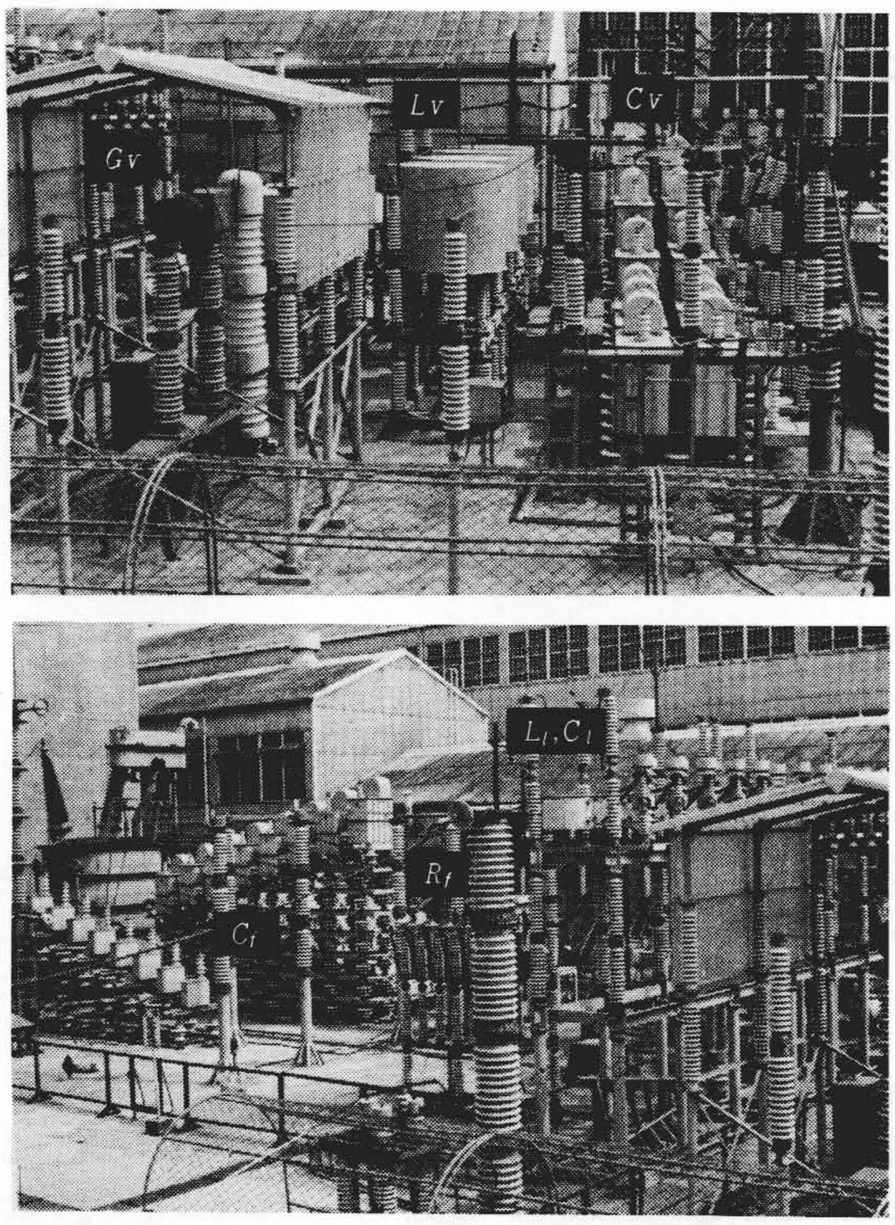


図3　電圧源設備の外観

表1　電圧源設備の概要

名称(略号)	仕様と構成
C_V	DC 100 kV×16個，最大充電々圧 400 kV，電圧バランス用抵抗付
充電装置	DC 500 kV，50 mA，コッククロフト・ウオルトン回路
L_V	最大 25 mH まで 0.1 mH ごとに調整可能，50 mm², 空心
G	500 mmφ 半球，最大ギャップ長 800 mm，モータ駆動，光パルス制御
C_f	AC 20 kV 2.7 μF×16個，AC 40 kV 0.1 μF×8個
R_f	最大 1,365Ω まで1Ωごとに調整可能，無誘導形金属板抵抗
L_l	0.25 mH×10個(50 mm²)，0.083 mH×16個(150 mm²)，0.2 mH×10個 (100 mm²)，いずれも空心
C_l	AC 40 kV 8,000 pF×40個，AC 12 kV 500，1,000，2,000 pF 各8個

備考 (1) C_V, C_f, C_l は付属断路器により直並列切換可能
(2) L_V, G, R_f, L_l (0.25 mH×10)，C_l(8000 pF×40)は対地絶縁140号)
(3) このほか充電，放電用抵抗，断路器類から成る

電圧源設備は図3に示すように屋外配置である。設備の概要は表1に示すとおりである。設備規模のめやすとなる電圧源コンデンサは400 kJで，部分試験の採用により300 kV 25 GVA～550 kV 450 GVA以上の性能検証がじゅうぶん可能である。

3. 遮断器端子短絡遮断の合成試験

3.1 合成試験時の遮断判定に及ぼす諸因子効果

合成試験の等価性を論ずる前に，実際の合成試験適用時の問題点を明らかにする意図から諸因子効果を検討した。

3.1.1 印加位相の効果

試験は3種類の電圧源条件（回復電圧36 kV，遮断電流10, 20, 30 kA相当）のそれぞれにつき電流源電流 I_C を5～35 kAに変化し，I_C の効果を調べるとともに印加位相 θ を20～170度(電圧源電流周波数 f_V 基準の電気角度，図2参照）の範囲に変化してその効果も調べた。試験結果を示す図4から，電圧源条件が一定でほぼ同じ電流源電流を遮断した場合に，θ の大小により遮断成否の割合がどうなっているかを調べることにより θ の効果が知られる。

θ の効果があるとすれば図2から判断して，θ が大きいほど遮断困難になると常識的に考えられる。試験回数が少ないがあえて θ の効果を論ずると，θ=30～35度の小さい所でも遮断不能を発生しており，θ=30～120度の範囲では明確な有意差はみられない。なお f_V=500 Hzの場合 θ=30～138度の範囲で有意差なしとの結果[2]も発表されており，これを裏付けるものである。

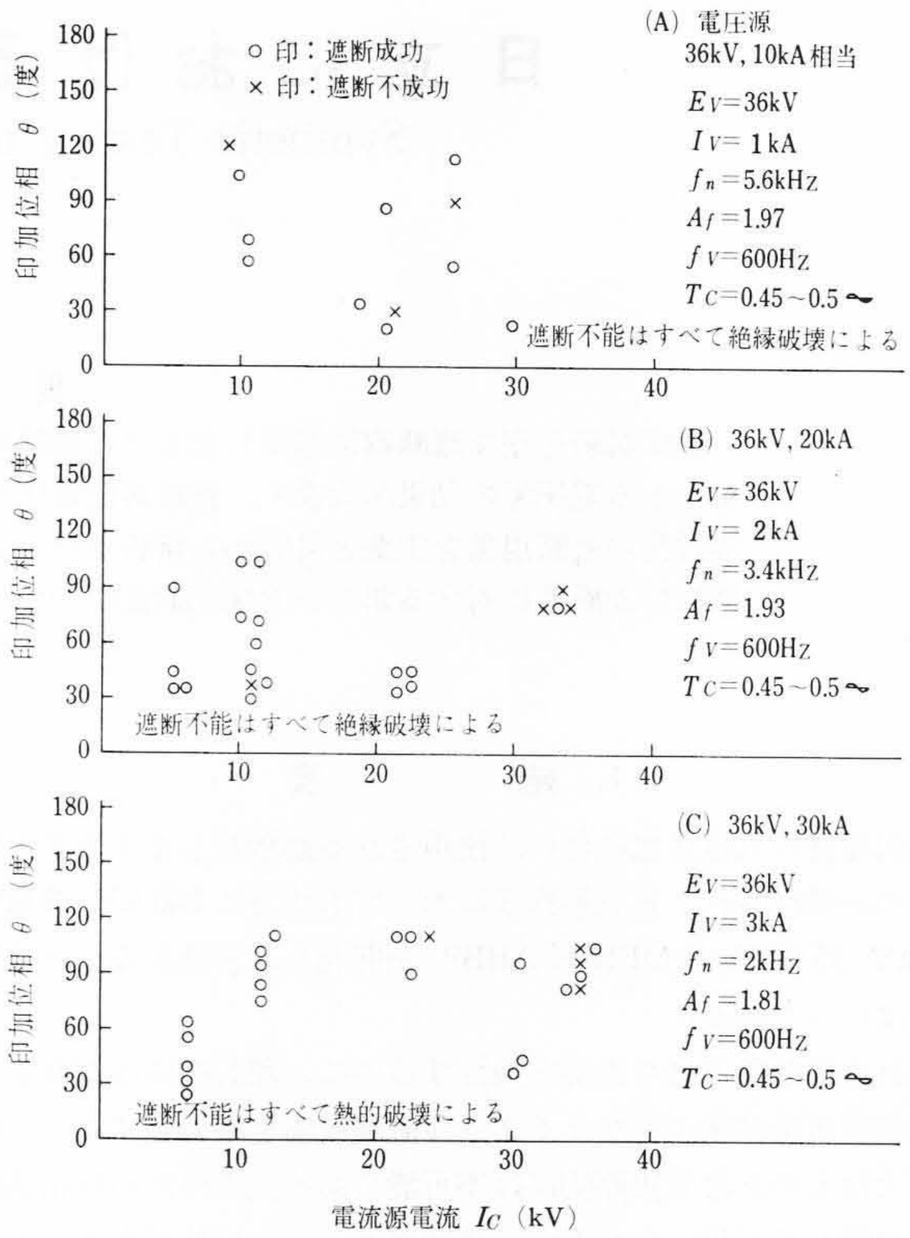


図4　電流源電流，印加位相の効果

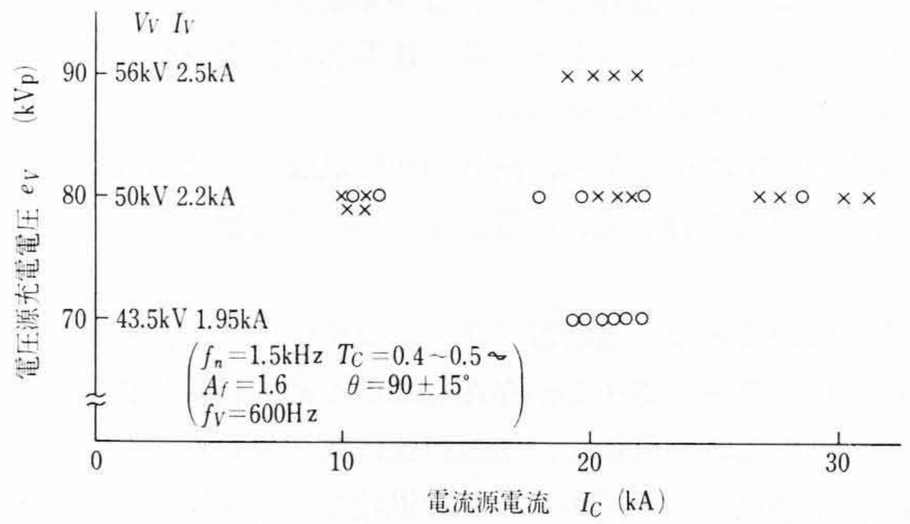


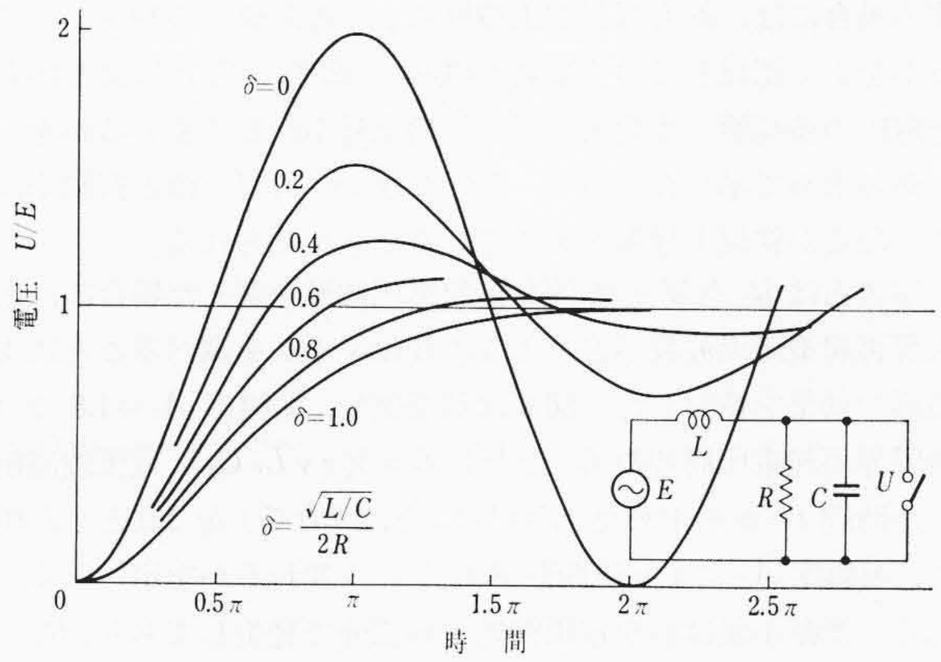
図5　電圧源と電流源の効果比較

3.1.2 電流源電流の効果

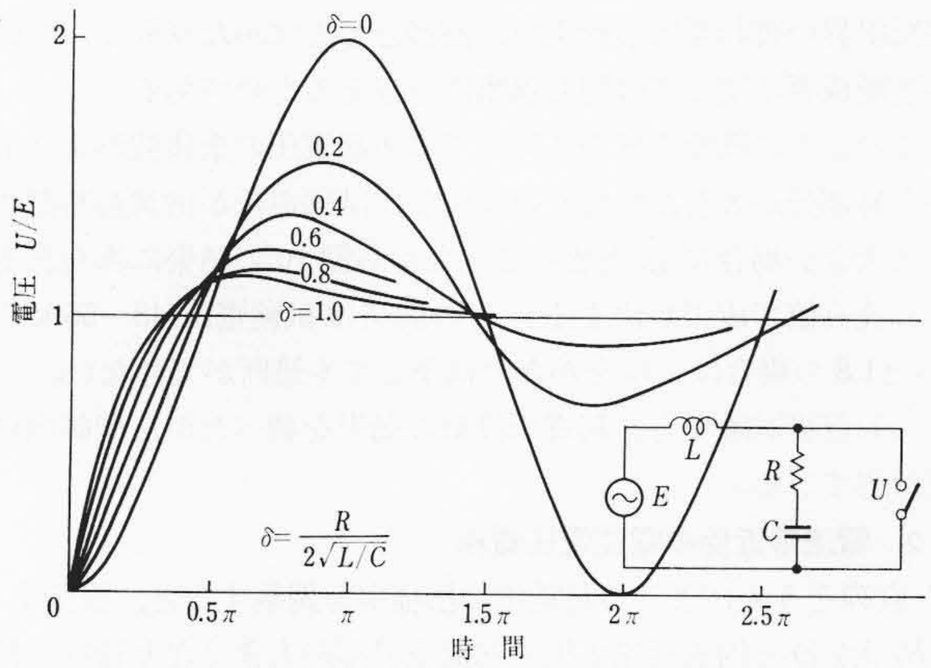
電流源電流 I_C は大きいほどアークエネルギーも大きく，遮断が過酷になると常識的には考えられる。図4の結果から，(A)では I_C=10～30 kA，(B)では5～22 kA，(C)では5～12 kAの範囲で明確な I_C の効果はみられないが，(B)(C)においては I_C が10 kA程度と30～35 kA程度とでは遮断の成否にかなり明確な有意差が認められる。この結果から，電流源電流の効果は電圧源条件(特に電圧源電流)が過酷な場合ほど大きくなるといえよう。

3.1.3 電圧源と電流源の影響力の比較

遮断判定に及ぼす電圧源 ($e_V \propto V_V$, I_V) と電流源 (I_C) の効果について調べた結果例を図5に示す。電圧源を一定 (e_V=80 kV$_p$, 50 kV 22 kA相当) にして，I_C を10～30 kA (20 kA±50%) に変えても遮断成否に及ぼす効果はさほど明確でない。これに対し電流源を一定 (I_C=19～22 kA) として，電圧源を e_V=70～90 kV$_p$ (50 kV, 22 kA±12.5%) に変えると明確な有意差がみられた。こ



(a)　並列制動の場合



(b)　直列制動の場合

図 6　固有再起電圧波形に及ぼす制動抵抗の影響

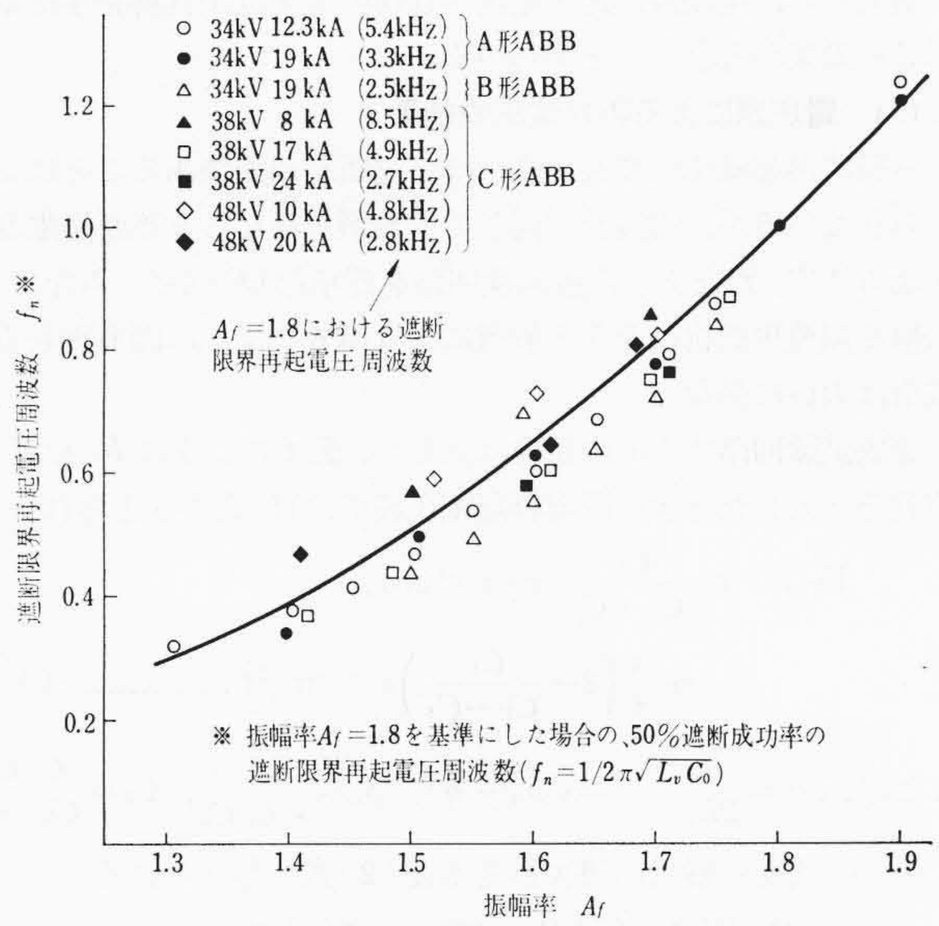
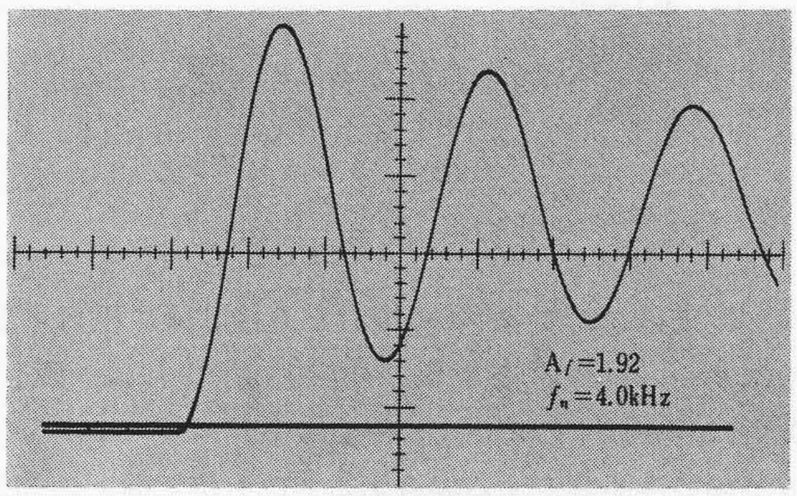
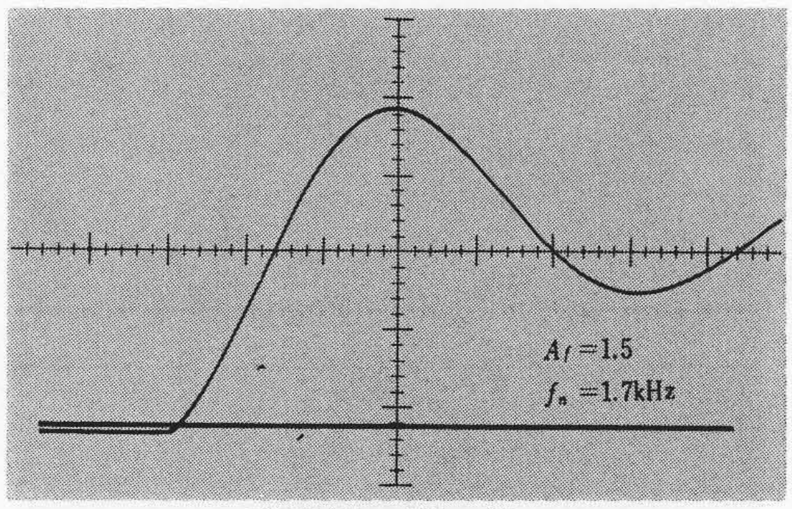


図 8　振幅率と遮断限界周波数の関係



(a)



18 kV/div, 100 μs/div

(b)

図 9　遮断限界再起電圧波形例　(34 kV　19 kA)

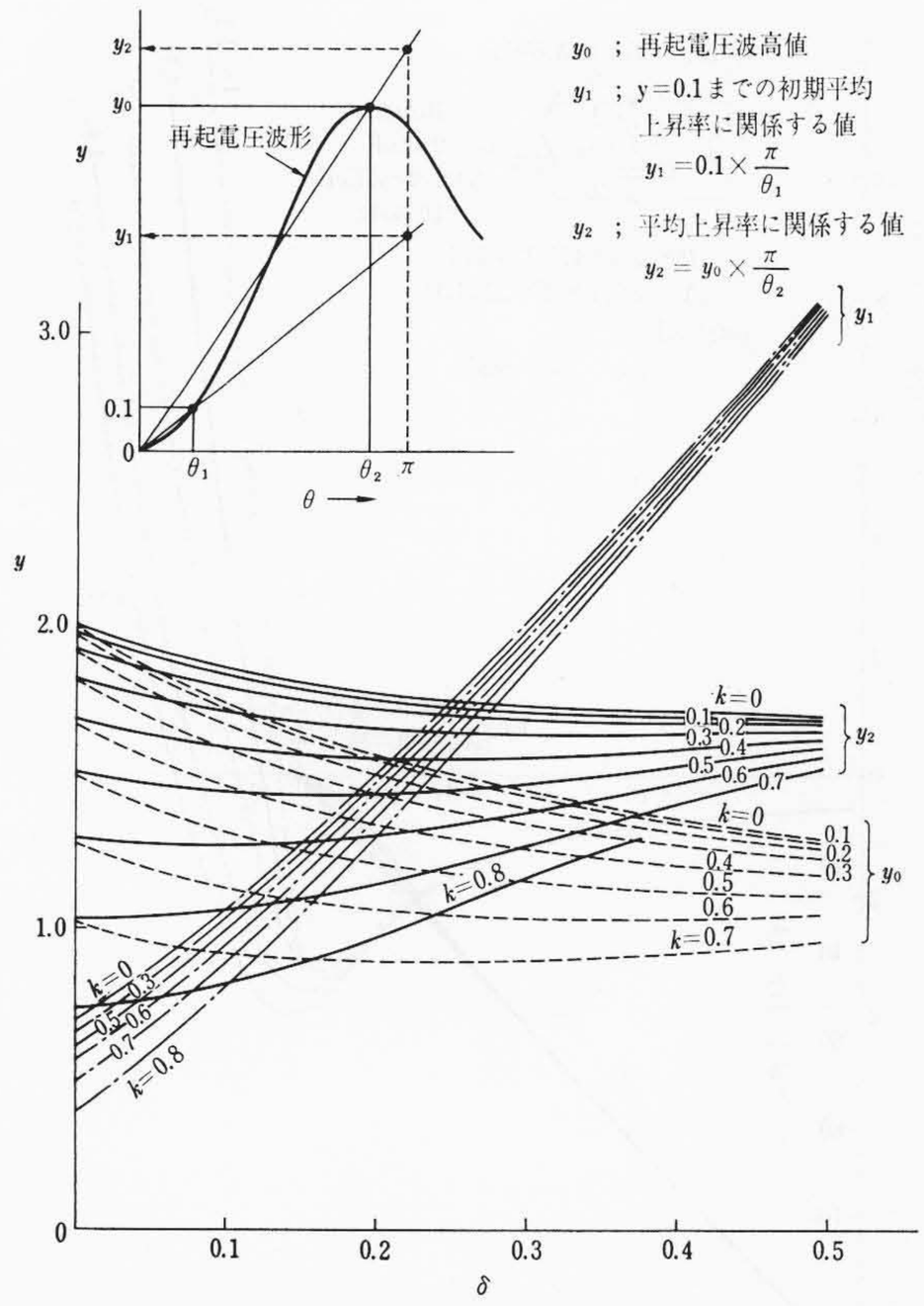


図 7　δ, k と再起電圧波高値，上昇率との関係

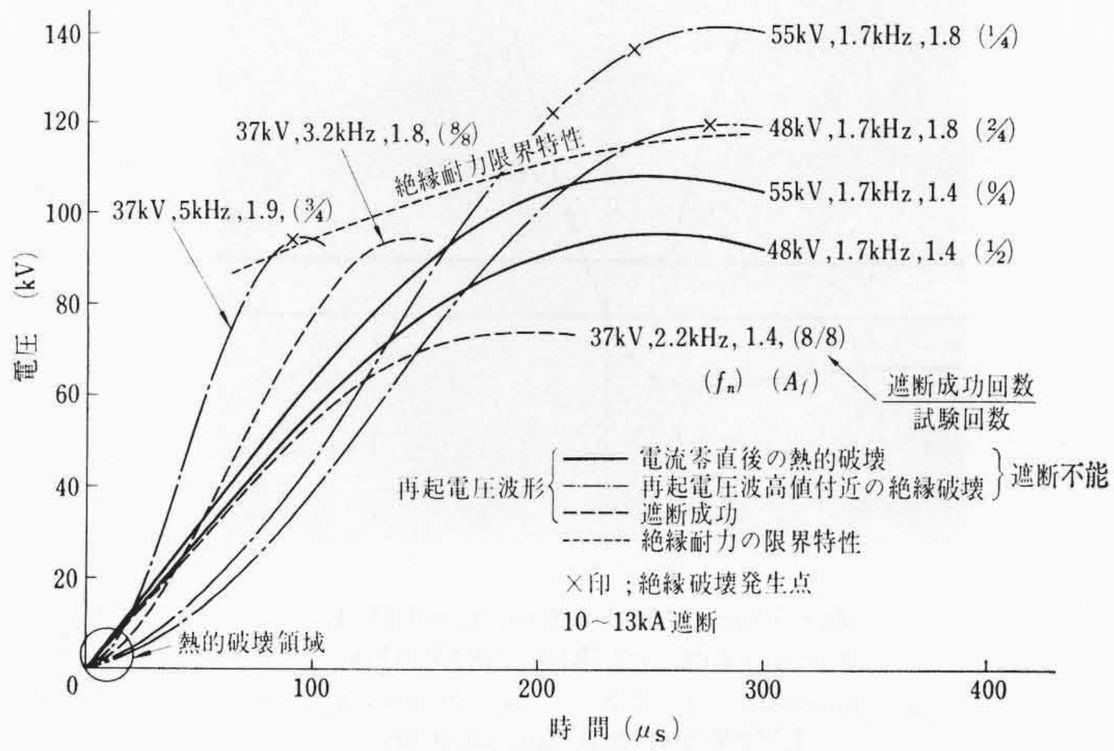


図 10　消弧後の絶縁耐力回復特性

の結果から，電流源に比べ電流零近傍の電流電圧責務を与える電圧源の効果が大きいことがわかる。

3.1.4 電圧源による再起電圧の効果

一般に再起電圧周波数が高いほど遮断が過酷であることはよく知られているが，周波数が同じでも波形が異なると遮断過酷度も異なる[8][9]。たとえば直接試験回路を簡単なLC回路とみなすと，振幅率調整用抵抗のそう入個所により図6のように固有再起電圧波形は大いに異なる。

合成試験回路でもその傾向は同じで，図1のように R_f を C_f に直列そう入したときの固有再起電圧波形は(1)式で与えられる[6]。

$$V_V(t)=e_V\frac{C_V}{C_V+C_f}(1-\varepsilon^{-\alpha t}\cos\beta t)+e_V\frac{\alpha}{\beta}\left(2-\frac{C_V}{C_V+C_f}\right)\varepsilon^{-\alpha t}\sin\beta t \quad\cdots\cdots(1)$$

ここに，$\alpha=\dfrac{R_f}{2L_V}$，$\beta=\sqrt{\beta_0{}^2-\alpha^2}$，$\beta_0=\dfrac{1}{\sqrt{L_V C_0}}$，$C_0=\dfrac{C_V C_f}{C_V+C_f}$

この(1)式を一般式に書き換えると(2)式で与えられる。

$$y=\{1-k^2(1-\delta^2)\}\{1-\varepsilon^{-\delta\theta}\cos\sqrt{1-\delta^2}\,\theta\}+\frac{\delta}{\sqrt{1-\delta^2}}\{1+k^2(1-\delta^2)\}\varepsilon^{-\delta\theta}\sin\sqrt{1-\delta^2}\,\theta \quad\cdots\cdots(2)$$

ここに，$y=\dfrac{V_V(t)}{e_V}$，$\theta=\beta_0 t$，$\delta=\dfrac{R_f}{2\sqrt{\dfrac{L_V}{C_0}}}$，

$$k=\frac{\omega}{\beta},\quad \omega=2\pi f_V,\quad f_V=\frac{1}{2\pi\sqrt{L_V C_V}}$$

この(2)式において $k=0$ の場合が直接試験に相当する。合成試験では $k\neq0$ のため直接試験の波形とは完全には一致しないが，$k\leqq0.2$ では5%以下の差でよく一致する[6]。

合成試験で性能判定する場合あるいは直接試験との等価性を論ずる場合には，固有再起電圧波形により遮断成否の判定がどうなるかをよく認識しておく必要がある。図7は δ, k により固有再起電圧の波高値，平均上昇率，初期上昇率がどう変わるかを(2)式から求めて示したもので，δ が大きい(R_f 大)ほど振幅率は小さくなるが初期上昇率が大きくなることが知られる。

筆者らは R_f を変えて固有再起電圧波形を変えた場合に，遮断限界再起電圧周波数がどのように変化するかを調べることにより波形の効果を検討した。図8は結果例で，振幅率 $A_f=1.8$ での遮断限界再起電圧周波数 f_n (ただし $f_n=\frac{1}{2}\pi\sqrt{L_V C_0}$。電圧波高値までの時間 t_m から求めた $f_n'=\frac{1}{4}t_m$ とは異なる)を1.0とした場合に，振幅率 A_f により遮断限界 f_n がどう変わるかを示したものである。遮断不能は再起電圧初期上昇部分で発生しており，R_f を大きくして A_f を低下するほど遮断限界 f_n は低下している。図9は遮断限界の再起電圧波形例で，波形としてはかなり異なっているが遮断成否に関しては同じ過酷度を与えるものである。

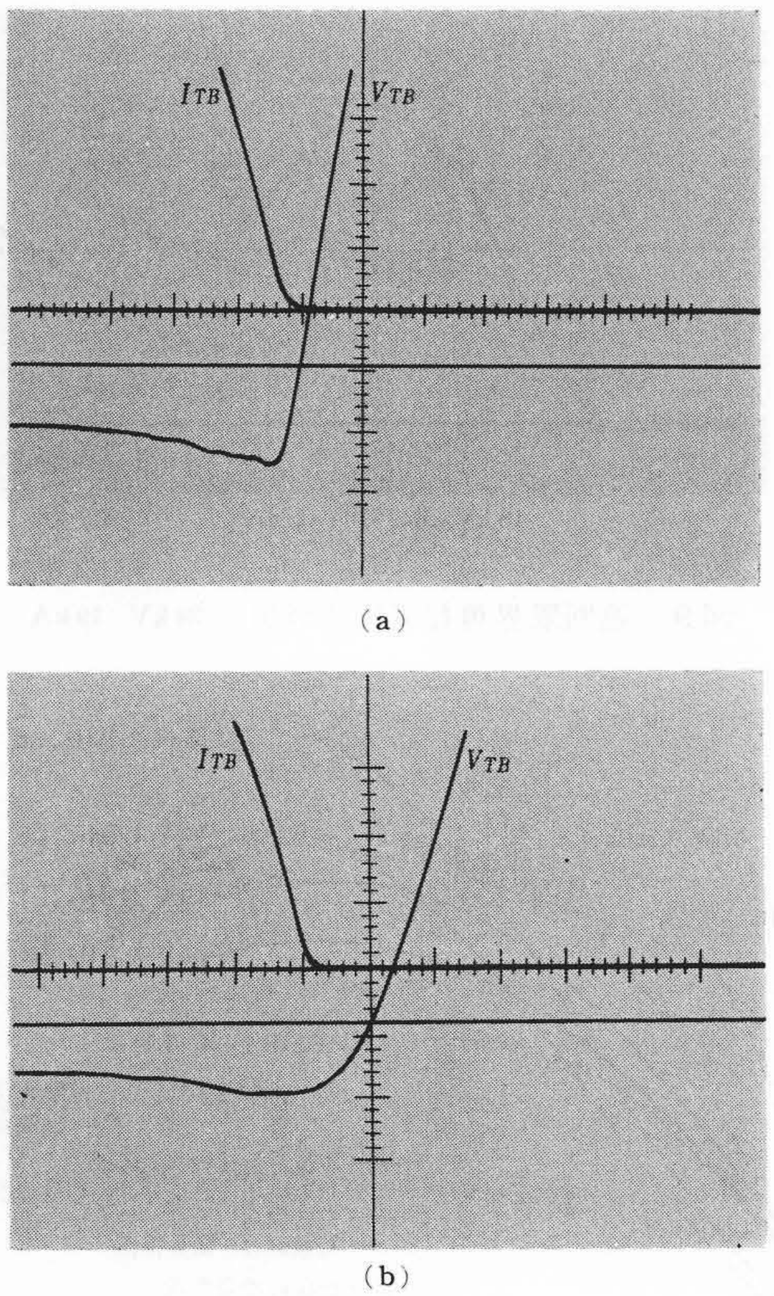
このように遮断の成否に関しては再起電圧の全体波形よりも初期上昇部分が大きな影響を及ぼすが，試験電圧が供試遮断器に対して大きい場合には当然のことながら図10の結果にみられるように波高値で成否が決まる。この例では試験電圧48～55 kV で $A_f\geqq1.8$ の場合は，f_n をかなり低下しても遮断ができない。

なお直接試験でも再起電圧波形の効果を調べたが，同傾向の結果を得ている。

3.2 電流零近傍の電流電圧責務

R_f 直列そう入により再起電圧の振幅率を調整すると，振幅率 A_f 小(R_f 大)ほど固有再起電圧の初期上昇率が大きくなり遮断過酷であることが実験的にも確かめられたが，アークが存在する場合の電流零近傍の電流電圧現象から R_f の効果を考察してみる。

合成試験による実測波形例を図11に示す。現象を明確にするため再起電圧周波数が比較的小さく，かつ R_f 値が極端に異なるものの比較例である。図12は零近傍現象をよく説明するといわれてい



$L_V=5.3$ mH，$C_V=13.3\,\mu$F，$C_f=0.45\,\mu$F
$f_n=\frac{1}{2}\pi\sqrt{L_V C_0}=3.1$kHz (14 kV 8 kA)
(a) $R_f=100\,\Omega$ ($A_f=1.3$)　(b) $R_f=0$ ($A_f=2.0$)
(1,750 V/div, 20 A/div, 20 μs/div)

図11 電流零近傍の電流電圧波形(実測例)

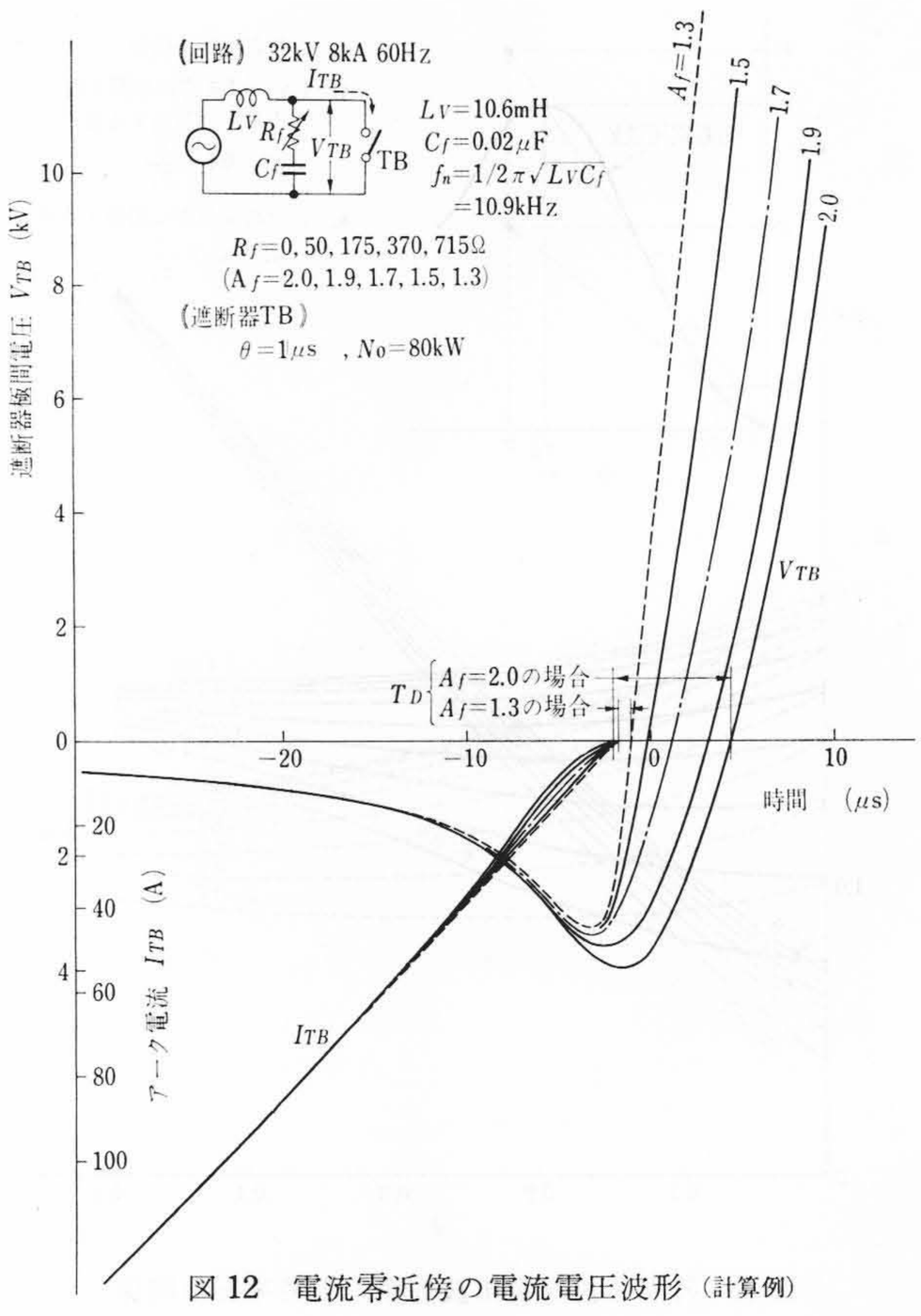
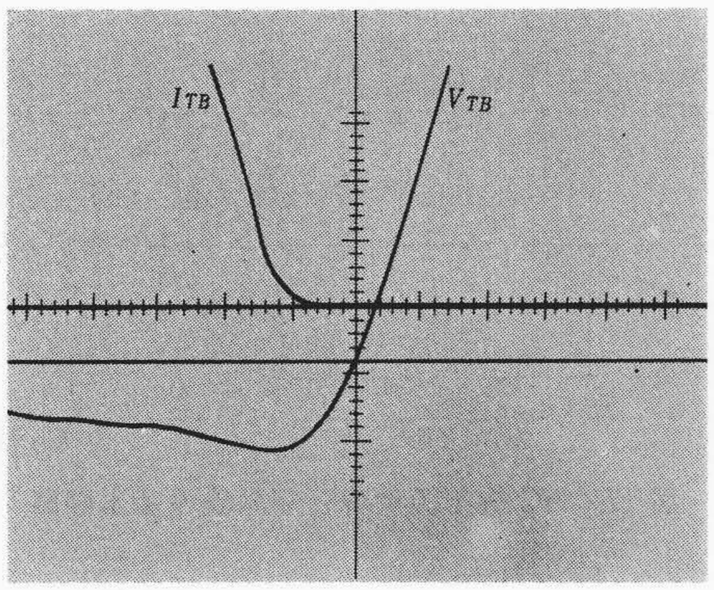
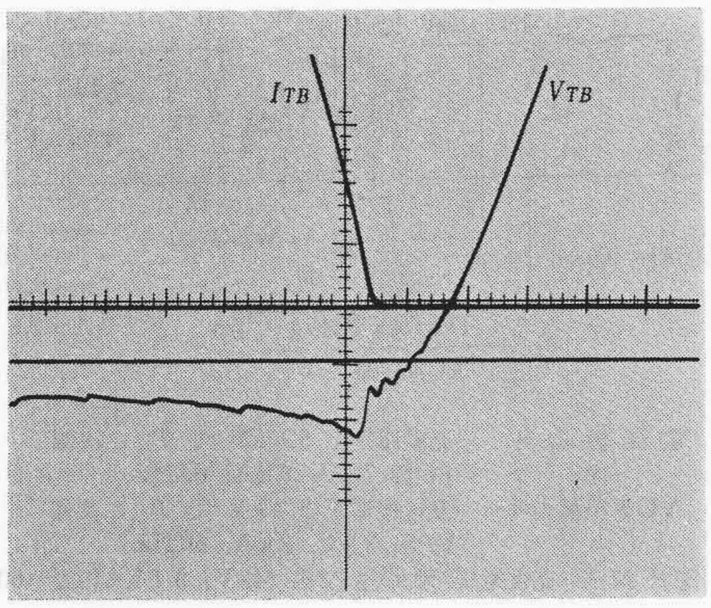


図12 電流零近傍の電流電圧波形(計算例)



(a)



(b)

$L_V=5.3$ mH. $C_V=13.3\ \mu$F, $C_f=0.45\ \mu$F, $R_f=0\ \Omega$
$A_f=2.0$, $f_n=\frac{1}{2}\pi\sqrt{L_V C_0}=3.1$k Hz (14 kV 8 kA)
(1,750 V/div, 20 A/div, 20 μs/div)

(a) 配線の短い場合 (約 2 m)
(b) 配線の長い場合 (約 100 m)

図 13　配線の長さによる電圧波形の相違

る Mayr 氏のアーク動特性式を用い，再起電圧周波数の比較的大きい直接試験回路を対象に計算した波形例である。

この実測および計算波形から，R_f 値の大小により零近傍のアーク電流波形が若干影響を受ける。また R_f 値が大きいほどアーク電流零から再起電圧印加までの休止期間 T_D が短くなっている。$R_f C_f$ 直列回路の固有再起電圧初期上昇率($t=+0$ における接線上昇率)は $rrrV_0 \propto R_f$ で与えられ，$A_f=2$ すなわち $R_f=0$ の場合は $rrrV_0=0$ である。しかし実際の遮断器でアーク電圧が存在する場合は，あたかもアーク電圧分だけ固有再起電圧が移動したような形となり，たとえ $R_f=0$ の場合でも電圧零における再起電圧上昇率は有限値となる。このため電圧零における実測再起電圧上昇率のみで回路の過酷さは規定できず，休止期間 T_D の効果を含めて考えなければならない。

ワイル合成試験のようないわゆる電流そう入方式の等価試験では，**2.1** で述べたように回復電圧，電流零近傍の電流傾斜，短絡駆動点インピーダンス関数を直接試験回路と一致するように電圧源回路を構成してやると，電流零近傍の現象も直接試験とよく合致するものとなるが，電圧そう入方式の等価試験では単に電流遮断時の再起電圧波形を直接試験による波形と一致させるだけでは不じゅうぶんで，休止期間 T_D も合わせて考慮した等価な試験を実施する必要がある。一般に固有再起電圧周波数が低いほど期間 t_D は長くなるため，電流源の周波数を低くして，その再起電圧に電圧源を重畳して再起電圧波形を直接試験時のそれに合わせても，t_D に差があると等価は試験とはならないことになろう。

3.3　合成試験実施上の注意事項

合成試験実施上の注意事項として，たとえば電流そう入法の合成試験に関する IEC 案[10] では I_C, I_V, θ, f_V などに関して，(1) 電圧源電流周波数 $f_V=250\sim1{,}000$ Hz (2) 電圧源電流 I_V の零直前の電流傾斜は規定値(直接試験)の 0～+10% (3) 印加位相 $\theta=90\sim135$ 度 (4) 電流源電流 I_C は規定値の 0～+5% などと規定されている。前述 **3.1** の結果から(1)(2)はともかくとして(3)(4)は厳密すぎるようにも思えるが，日立製作所日立研究所では IEC 案に準拠して試験を実施し，一般に $f_V=600$ Hz を用いることにしている。

これ以外に，電圧源の固有再起電圧波形にじゅうぶんな注意を払う必要がある。再起電圧波形については現在 IEC で審議中であるが[11]，初期上昇部分については許容範囲で規定される気運にある。固有再起電圧波形を調整するための L, C, R の接続法として**図 6** 以外に種々考えられるが，初期上昇部分が遮断の成否に大きな影響を及ぼすため，性能判定，等価性を論ずる場合には特に注意する必要がある。

なお実用上の点からは，電圧源から供試遮断器までの配線が長いと**図 13** のように，配線のインダクタンスが模擬線路の作用をして SLF 試験に似た形となるため，機器配置にも注意する必要がある。

3.4　合成試験と直接試験の比較試験例

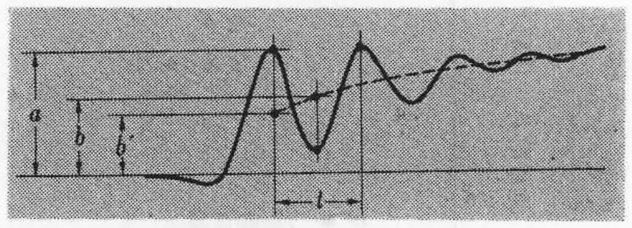
合成試験の等価性に関する実験研究は内外で盛んに行なわれ，合成試験のほうが直接試験に比べて過酷である例[12]，ほぼ同等である例[2]~[4][13]などが発表されている。

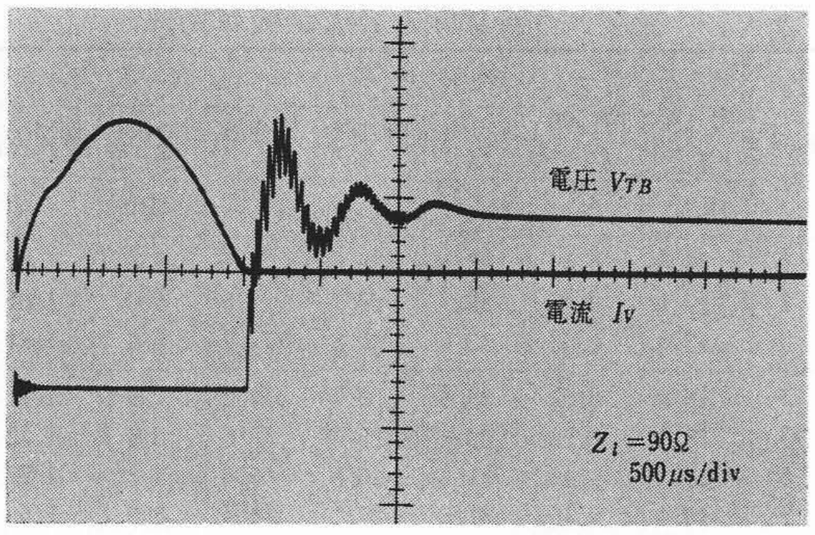
筆者らが実施した比較試験結果例は**表 2** に示すとおりである。回路構成上の制約もあり，両回路の条件を完全に一致させることはできなかったが，合成試験が若干過酷な結果となった。この理由としては，直接試験では再起電圧周波数を変更するのに並列 C_f のみを用いたが，合成試験では瞬時回復電圧，再起電圧波高値および周波数を直接試験のそれに合わせるのに $R_f C_f$ 直列回路を用いたため，初期上昇率が大きかったためと考えられる。再起電圧を**表 1** 注記のように規定した場合，定常回復電圧を同じ値にしても瞬時回復電圧は合成試験より直接試験のほうが一般に低い。したがって JEC-145 で規定している回復電圧が同じであっても，再起電圧としては合成試験のほうが過酷で，再起電圧波高値を直接試験に合わせるのに $R_f C_f$ 直列回路を用いると，ますます合成試験が過酷となる。直接試験との等価性を論ずる場合，この点をじゅうぶん認識しておく必要がある。

表 2　直接試験と合成試験の比較

試験種類	項番	遮断電流 I *3	アーク時間 T_A *3	回復電圧 定常 C *1	回復電圧 瞬時 b *1	再起電圧 波高値 a *1	再起電圧 周波数 f_n *1	再起電圧 振幅率 A_f *1	遮断成功率 *2
		kA	～	kV_{eff}	kV_{eff}	kV_p	kHz	—	
直接試験	1	12.0	0.49	33.5	28.6	73.1	6.8	1.81	4/4
	2	12.1	0.45	32.7	28.1	72.5	8.0	1.81	4/4
	3	12.0	0.50	32.1	27.8	71.2	8.5	1.81	4/6
	4	18.8	0.51	33.8	29.7	72.2	2.9	1.72	4/4
	5	18.8	0.52	32.8	28.3	68.6	3.5	1.72	4/4
	6	18.3	0.46	31.2	26.8	65.6	4.3	1.72	3/3
	7	18.4	0.45	31.3	27.1	64.4	5.0	1.68	3/4
合成試験	8	11.7	0.45	30.4	29.1	75.4	7.0	1.82	5/5
	9	12.2	0.46	31.8	31.3	79.6	7.0	1.81	2/7
	10	17.4	0.45	29.3	28.2	70.2	3.0	1.76	6/9
	11	17.4	0.46	29.5	28.5	71.2	3.8	1.76	6/11
	12	19.4	0.45	23.8	23.2	61.5	4.3	1.88	8/10

*1　定常回復電圧は，電流遮断後 16～20 ms で求めた回復電圧
瞬時回路電圧＝b
再起電圧波高値＝a
再起電圧周波数 $f_n=1/t$
再起電圧振幅率 $A_f=a/b$
*2　遮断成功回数/試験回数
*3　60 Hz 基準
電流源電流は 60 Hz，電圧源電流は 600 Hz
I, T_A, c, b, a, f_n, A_f は平均値





L_l=0.25 mH×4, C_l=0.016 μF×1+0.032 μF×3
L_V=2 mH, C_V=80 μF, R_f=10 Ω, C_f=2.7μF

図14　SLF 試験時の電流，電圧波形

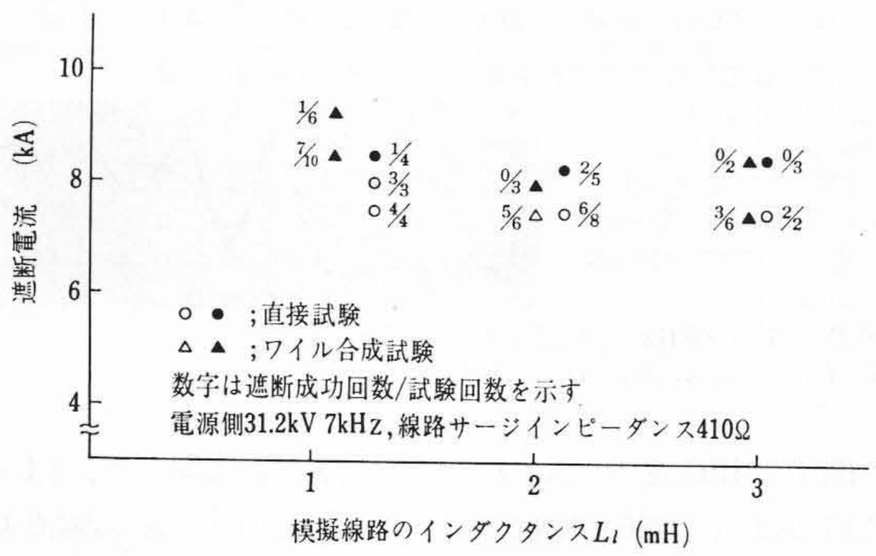


図15　合成試験と直接試験の SLF 比較試験例

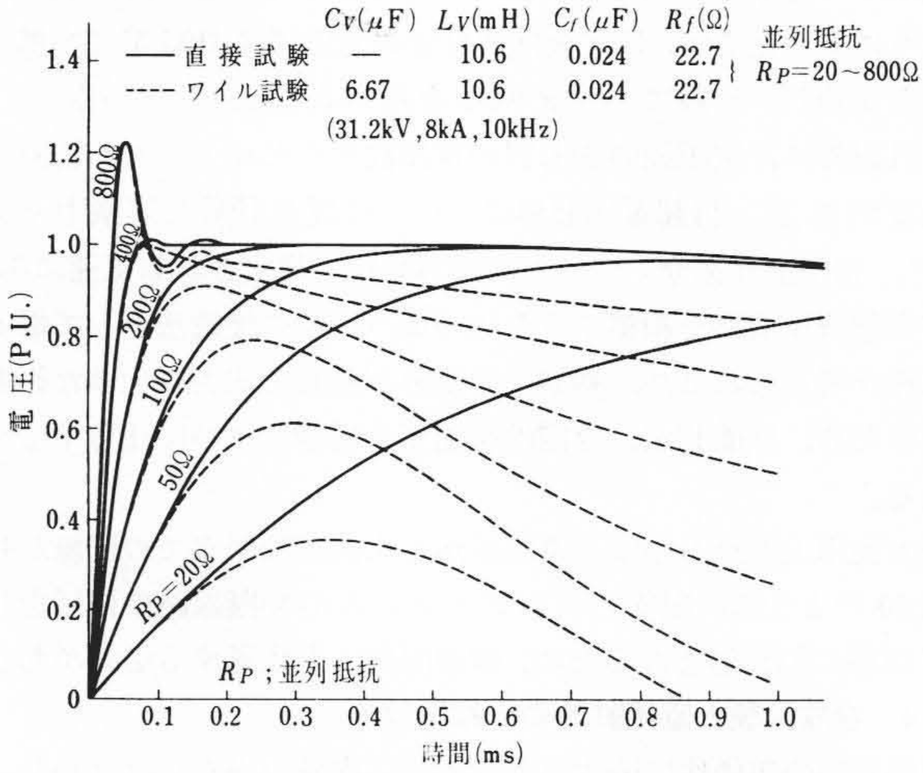


図16　直接試験とワイル合成試験の固有回復電圧比較

4.　近距離線路故障遮断の合成試験

4.1　回　路　構　成

模擬線路の構成法を直列形回路[14]とはしご形回路に大別できるが，日立製作所日立研究所では線路長，サージインピーダンスの選定が容易な後者を用いている。また模擬線路のそう入個所としては，再起電圧調整用回路に直列接続する方法[15]と主回路に直列接続する方法とがあるが，実際の回路と同じ構成にする意図から後者の方法(図1参照)を用いている。

この構成では，線路インダクタンス L_l と再起電圧調整用コンデンサ C_f による派生高調波電流が電圧源電流に含まれ，電流零近傍の電流傾斜および再起電圧波形も変歪して等価性がそこなわれるおそれがある。この派生振動電流の防止対策として，C_f を前もって充電しギャップを介して接続する方法[16]，C_f と並列に抵抗と Diode を用いる方法[2]，L_V と並列にコンデンサを接続する方法[17]など種々考案されているが，C_f と直列に R_f を用いる簡単な方法でも実用上問題ないので通常この方法を用いている。図14はその一例で，派生振動電流は通電初期にはみられるが0.5サイクル通電後の電流零までには減衰している。

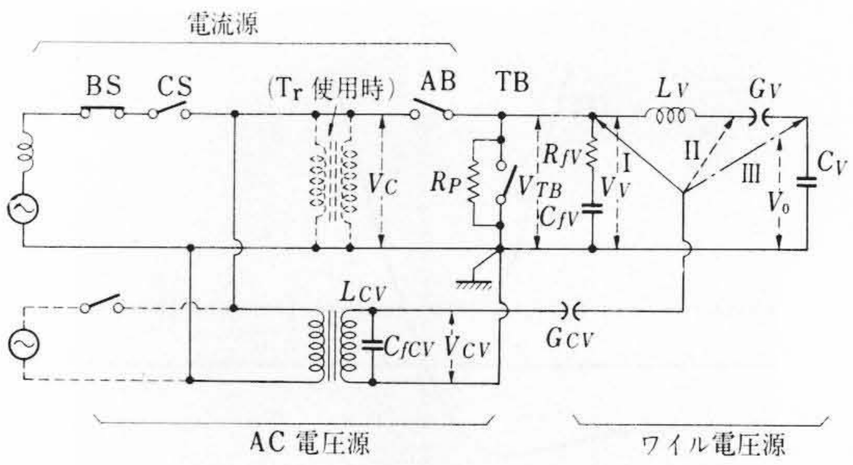
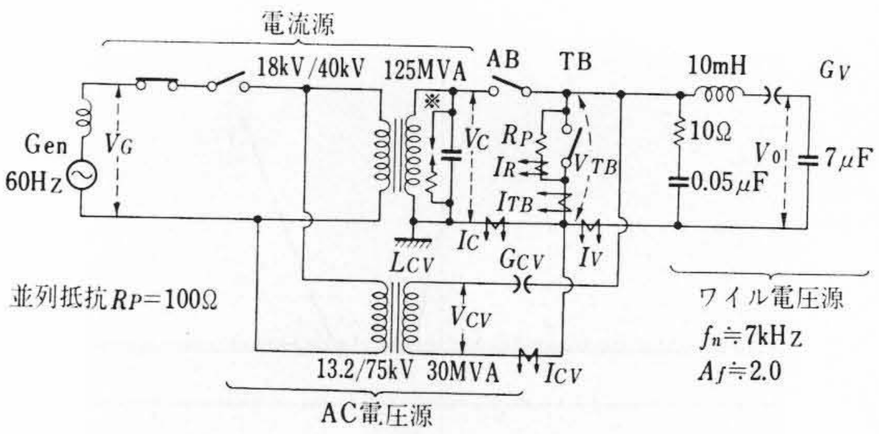


図17　AC 電圧源重畳合成試験の基本回路



電流源のみ‥‥発電機電圧 5.4 kV で T_r 二次側
約 12.7 kV, 8 kA, 60 Hz
AC電圧源のみ‥‥発電機電圧 5.4 kV で T_r 二次側
約 31.2 kV, 2 kA, 60 Hz
ワイル電圧源‥‥充電電圧 50 kV$_p$ で約 34kV, 8.8 kA相当 (600 Hz)
*　サージ吸収装置 (10 μF の C とギャップ付 3.75 Ω の R 使用)

図18　AC 電圧源重畳合成試験実施時の回路

4.2　模擬線路を用いた合成試験と直接試験の比較試験例

試験電圧 31.2 kV，電源側再起電圧周波数 7 kHz，模擬線路のサージインピーダンス 410Ω を一定とし，線路インダクタンス 1～3 mH について合成試験と直接試験の遮断限界電流を求めた結果を図15に示す。遮断電流の変更は，電源側インダクタンスの変更により行なわれた。試験回数が少ないため厳密な比較は困難だが，両者の間には大きな差異は認められなかった。

5.　並列抵抗付遮断器の合成試験

5.1　試験回路の構成

並列抵抗付遮断器にワイル合成試験を適用すると，電圧源コンデンサの電荷が並列抵抗を通して放電するため，図16のように遮断器極間にじゅうぶんな電圧が印加されず，等価試験としての信頼性が劣ることになる。このためワイル電圧源とは別に AC 電圧源を設け，回復電圧の低減を AC 電圧源により補償する合成試験回路が考えられる。現在，超高圧電力研究所主催の遮断器等価試験研究委員会で本格的な実験研究がなされているが，ここでは委員会の一員として行なった日立製作所日立研究所での予備検討結果について簡単に述べる。

回路としては図17に示したように，AC 電圧源の電源として実線のように電流源と同じ短絡発電機を用いるものと破線のように別電源から供給するものとがある。また AC 電圧源の接続個所としては I～III の三とおりがある。L_V, G_V の電流責務，G_{CV} の制御，電流源と AC 電圧源の同期などの点から検討した結果，AC 電圧源を電流源と同じ電源から供給し，AC 電圧源を供試遮断器に並列接続する I 回路が最適方法であることがわかった。

5.2　AC 電圧源重畳合成試験の実施例

予備実験を図 18 回路で行なったが，代表的なオシログラムは図 19（a）～（d）に示すとおりである。

（a）は $I_V=0$ の 0.4 ms 後に G_{CV} を放電して AC 電圧源電圧 V_{CV} を印加した例で，t_1～t_{CV} 間の電流電圧責務はワイル試験と全く同じであるが，t_{CV} 以後の遮断器極間電圧 V_{TB} はワイル電圧源と AC 電圧源の両電圧が重畳されている。

（b）は $I_V \fallingdotseq 0$ で V_{CV} を印加した例で，AC 電圧源電流 I_{CV} の突入電流の影響を受けて零近傍の電流責務が過酷となり，供試遮断器のみ遮断できず t_{CV} 近傍で再点弧した。この実験例から，$I_V=0$ で V_{CV} を印加する方法は実用できないといえる。

（c）は $I_V=0$ の 0.2 ms 前に V_{CV} を印加した例である。I_{CV} は I_V と逆極性のため t_{CV} 以後の遮断電流は $I_{TB}=I_V-I_{CV}$ となり，ワイル試験時より遮断電流零点 t_3 が時間的に早くなっている。このものでは電流零近傍の電流電圧責務は AC 電圧源の影響を受けるため，零近傍現象をよく解析する必要がある。

（d）は AC 電圧源のない通常のワイル合成試験の例である。AC 電圧源を重畳した前述（a）（c）では，回復電圧がかなり改善されているが，等価性，実用性については今後の研究結果に待たねばならない。

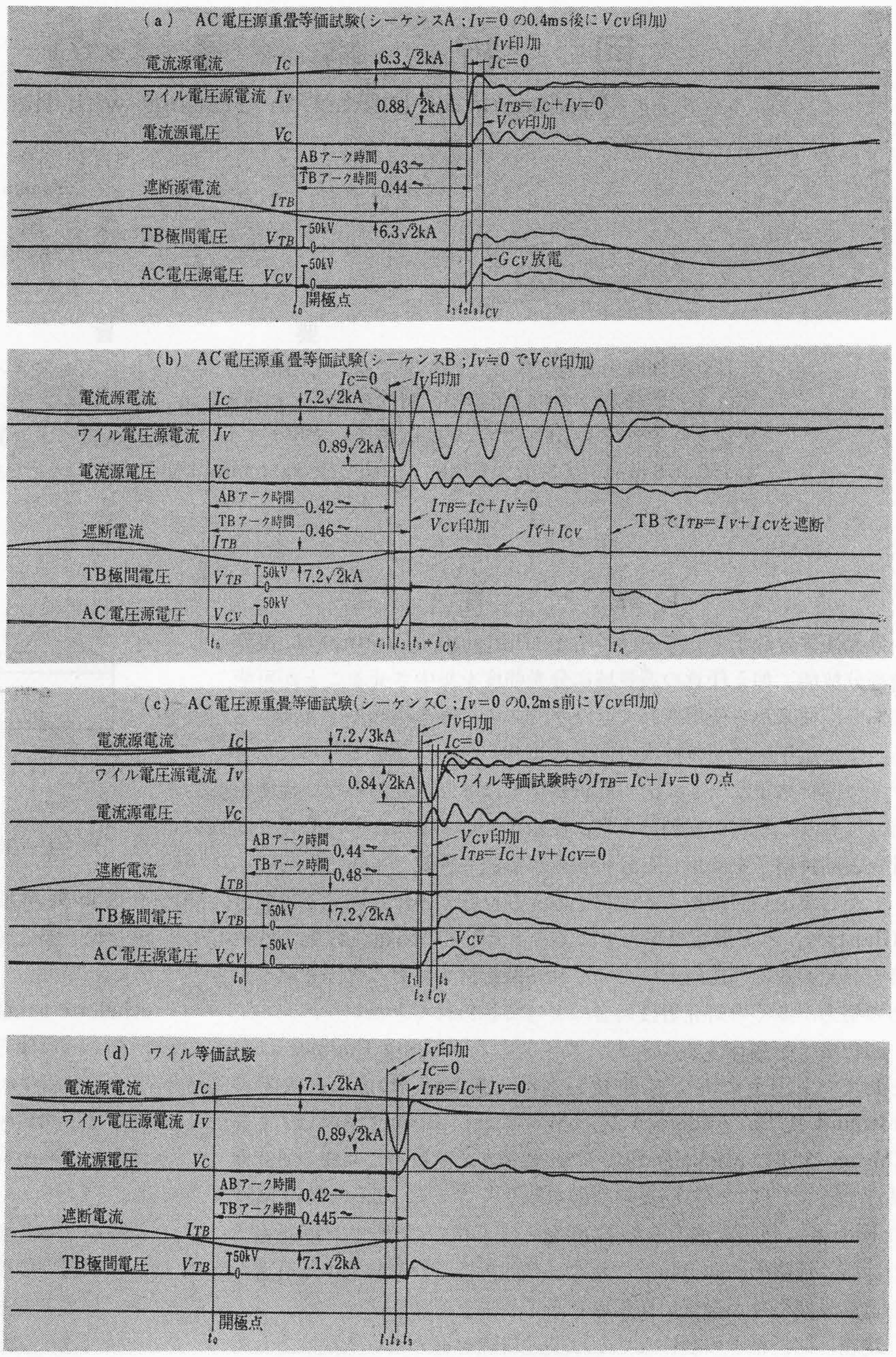


図 19　AC 電圧源重畳合成試験のオシログラム

6.　結　　言

遮断器の合成試験に関して日立製作所日立研究所の現有設備と ABB を用いた試験結果について述べたが，要約すると次のとおりである。

（1）　設備規模のめやすとなる電圧源コンデンサは 400 kJ で，部分試験を採用すれば 300 kV 25 GVA～550 kV 45 GVA はもとより，これ以上の遮断容量に対してもじゅうぶん検証できる。

（2）　合成試験の遮断判定に及ぼす効果は，アークエネルギーを供給する電流源より電流零近傍の電流電圧責務を与える電圧源のほうが大きい。

（3）　遮断の成否に及ぼす再起電圧の効果は，全体波形より初期上昇部が大きく，振幅率を低下させるための抵抗を周波数調整用コンデンサに直列にそう入すると初期上昇率が大きく遮断過酷度が大となる。

（4）　直列そう入抵抗の効果を電流零近傍現象から解析し，抵抗値の増大とともにアーク電流零から再起電圧印加までの期間が短くなることが，実測および Mayr のアーク動特性式を用いた計算から明らかとなった。

（5）　並列抵抗付遮断器に対する AC 電圧源重畳合成試験回路を考察し，実用上から最適なワイル電圧源と AC 電圧源を供試遮断器に並列接続する回路で遮断試験を実施した。

終わりに，並列抵抗付遮断器の合成試験に関し有益なご討議を賜わった超高圧電力研究所武山研究所富山所長，東京工業大学中野教授，名古屋大学宮地教授，横浜国立大学中西教授をはじめ遮断器等価試験研究委員会の委員各位，終始ご指導いただいた日立製作所日立研究所山崎部長，実験および計算にご協力いただいた平沢，樫村，倉沢，後藤，大石の諸君に謝意を表する次第である。

参　考　文　献

（1）　仲野ほか：　日立評論　**48**, 1164（昭 41-10）
（2）　J. G. P. Anderson ほか：　CIGRE No. 115（1966）
（3）　P. Heroin ほか：　CIGRE　No. 144（1966）
（4）　E. Slamecka：　Siemens Rev.　**34**, 167（1967-5）
（5）　P. Heroin ほか：　CIGRE　No. 13-11（1968）
（6）　等々力ほか：　電学誌　**84**, 151（昭 39-11）
（7）　山崎ほか：　日立評論　日研創立 30 周年記念論文集　64（昭 39-11）
（8）　細川ほか：　昭 42 電四学会連大　No. 610
（9）　E. Slamecka ほか：　CIGRE　No. 150（1966）
（10）　I. E. C. 17A (S)：　Recommendation for Synthetic Testing (1966)
（11）　I. E. C. 17A (S) 75：　Proposals for T. R. V.（1967-6）
（12）　A. British Collaborative Study：　Electronic & Power　**10** (1964-11)
（13）　遮断器等価試験研究委員会：　資料番号 80（昭 43-7）
（14）　等々力ほか：　電学誌　**83**, 21（昭 38-6）
（15）　井手：　東芝レビュー　**21**, 120（昭 41-2）
（16）　G. Casagrande ほか：　P. I. E. E. **115**, 136（1968-1）
（17）　K. Barta ほか：　CIGRE　No. 13-02（1968）