

大電力 試驗時의 測定一般

朴東旭 · 朴炳樂 / 大電力研究室

I. 序 論

大電力試驗室에서 실시하는 小電流 開閉試驗, 遮斷性能 試驗時에는 크게 분류해서 試驗電流 開閉過電壓 및 arc電壓 등을 측정하게 된다. 특히 遮斷性能 試驗時의 遮斷性能은 遮斷電流와 차단후에 인가되는 再起電壓의 크기에 의해서 좌우되므로 성능을 정확하게 파악하기 위해서는 再起電壓과 電流의 정확한 측정이 필요불가결한 것이다. 그러나 實試驗時의 측정은 큰 전류 및 高周波開閉 過電壓에 의한 誘導雜音과 高周波信號의 측정에 따른 측정기기의 오차등 많은 어려움이 따르게 된다.

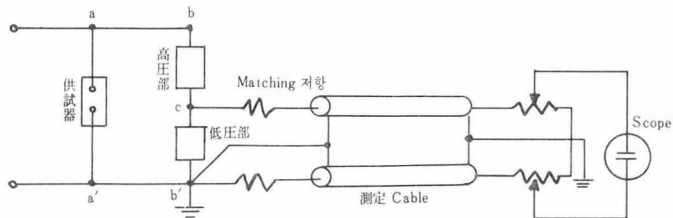
本稿에서는 大電力 試驗時의 측정에 있어 測定器, 測定方法, 측정상의 주의사항에 대해서 기술하고자 한다.

II. 電壓測定

大電力試驗時의 被測定電壓은 수 volt에서 수 백 kV에 이르기 때문에 주로 電壓測定에는 分壓器, 計器用 變壓器가 사용되고 있으나 후에 기술하는 것처럼 再起電壓은 고주파성분이 포함되어 있으므로 高周波 応答特性이 우수한 分壓器를 필요로 한다. 따라서 가장 높은 주파수의 開閉過電壓이 나타나는 近距離線路 遮斷試驗時의 전압측정을 기본으로 分壓器에 대해서 설명하면 다음과 같다.

1. 分壓器의 種類와 特徵

分壓器는 측정하고자 하는 고전압을 oscilloscope 및 oscillograph등으로 측정가능한 수 백



〈그림 1〉 電壓 測定回路

volt 이하의 저전압으로 分圧하는 장치로서 통상 2개의 직렬 impedance로 구성되어 있고 그 impedance比에 의해 分圧하게 된다. 2개의 impedance중 <그림 1>의 bc로 표시된 부분, 곧 고전압의 대부분을 부담하는 부분을 高压部, 低壓을 부담하는 cb'를 低壓部라고 칭한다.

分壓器의 低壓部는 측정cable 및 matching impedance를 거쳐 oscilloscope 또는 oscillograph등에 접속되어 이들 impedance에 의해 전체 分壓比가 정해진다. 이들 分壓器는 대별해서 다음과 같이 3種類로 분류할 수 있다.

가. 抵抗分壓器

Noninductive(無誘導性) 卷線抵抗, 電解液抵抗 등으로 구성되어 있으나 저항체의 처地 漂遊容量, 残留inductance에 의해 특성에 영향을 받게 된다. 抵抗分壓器의 처地 漂遊容量가운데 高压部の 漂遊容量의 영향을 줄이기 위해 shield電極을 사용한 것을 shield저항 分壓器라 한다.

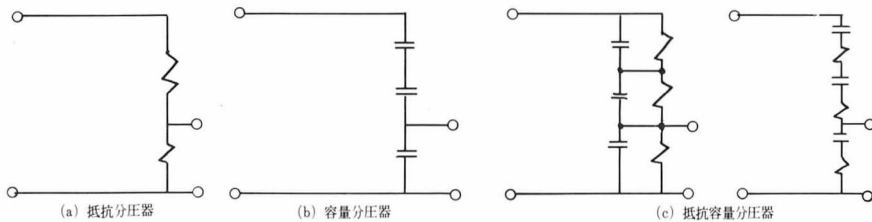
이 shield저항 分壓器는 응답특성이 양호하고 電位傾도가 큰 波의 측정에 적합하나 열용량이 작아 장시간의 측정에 부적합하다.

나. 容量分壓器

Capacitance직렬회로에 의한 것으로 접속선의 inductance, 누설저항, capacitor의 漂遊容量 및 残留inductance의 영향을 받는다.

다. 抵抗容量 分壓器

저항, capacitance의 直並列回路에 의한 것으로 접속선의 inductance, capacitor의 残留inductance, 漂遊容量 누설저항의 영향을 받는다. 병렬형에는 저항분압기의 漂遊容量을 補償하기 위해 저항에 작은 capacitance를 병렬로 접속한 것과 용량분압기의 漏洩抵抗의 영향을 보상하기 위해 capacitor에 고저항을 병렬접속한 것이 있다. 이상의 세가지 분압기의 결선은 <그림 2>와 같다.



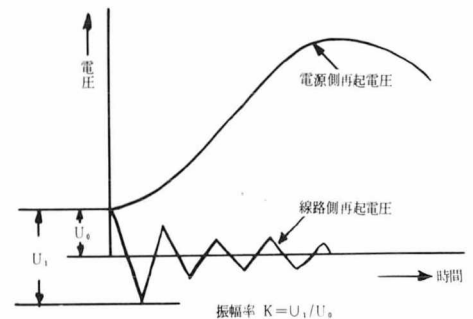
<그림 2> 分壓器 回路

2. 再起電壓 測定用 分壓器

측정하고자 하는 전압은 차단조건, 즉 端子短絡遮斷, 近距離線路 故障遮斷, 脫調遮斷, 異相接地遮斷 遲相 및 進相 小電流遮斷 등의 경우에 발생하는 전압으로 재기전압의 진폭율, 주파수 상승율, 波高值 遲延時間 등이 주측정 대상이다.

再起電壓은 모든 규격에서 2-para, 4-para로 표현된 표준치가 기술되어 있는데 端子短絡遮斷의 경우 전압의 주파수는 수 십kHz이하 이나 근거리선로 故障遮斷의 경우 <그림 3>과 같이 수 백kHz의 고주파 성분이 포함된 고전압으로 정확한 分壓比 및 응답특성이 우수한 分壓器가 요구된다. 곧 재기전압 측정용 분압기로는 耐電壓, 熱容量, 応答特性이 우수해야 되며 전술한 세 종류의 분압기 중 열용량이 나쁜 抵抗分

壓器는 제외되고 容量分壓器의 残留inductance 補償用 저항상압을 고려할 때, 현재로서는 抵抗容量 分壓器가 재기전압 측정에 가장 적합한 것으로 판단되고 있다.

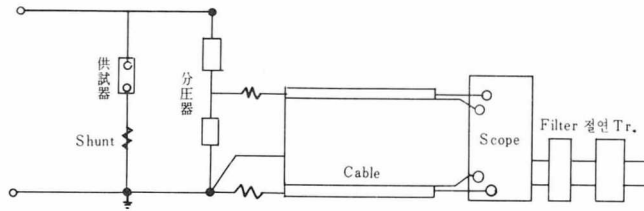


<그림 3> 近距離 線路 故障遮斷 再起 電壓

3. 電圧測定の問題点

보통 大電力 試驗時의 전압측정 회로는 <그림 4>와 같으며 分圧器를 가능한 측정점에 가깝게

결선하고 시험회로의 접지는 一点接地로 하고그 외의 측정계통은 모두 절연하여 同軸cable로 分圧器와 測定器間을 접속하여야 한다.

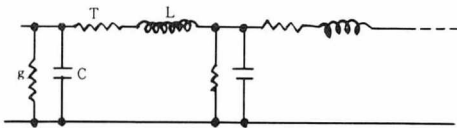


<그림 4> 電圧 測定回路

가. 測定 cable

大電力 試驗所에서의 측정은 보통 被測定点으로 부터 수 십m 떨어진 곳에서 이루어 지며 測定点과 測定器間은 同軸cable로 접속되어 있다. 이 同軸cable의 等価回路는 <그림 5>와 같으며

끝 出力端의 전압은 入力波에 대해서 $\sqrt{LC}x$ 의 時間遲延이 생기고 振幅은 $e^{-\alpha x}$ 로 감쇠하는 것을 의미한다.



<그림 5> 同軸 cable 等価回路

入力端子로 부터 xm 떨어진 点의 전압은 入力を $V_0(t)$ 라 하면

$$Vx = e^{-\alpha x} V_0(t - \sqrt{LC}x)$$

$$\text{단 } \alpha \approx r/2Z$$

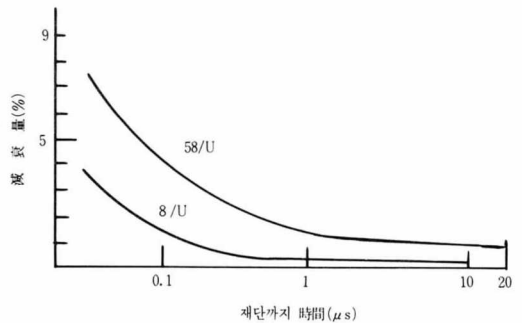
r : 内部導體 및 外部導體의 저항

Z : 특성impedance

L : Inductance

C : Capacitance

현재 사용중인 同軸cable의 특성은 <表 1>과 같고 波頭재단파에 대한 감쇠특성은 <그림 6>과 같다. 단 供試cable은 58/U, 8/U로 약 15m 떨어진 곳에서의 감쇠량을 표시한 것으로 측정용 cable의 선정에 주의를 필요로 한다.



<그림 6> 波頭 재단파 전압의 감쇠 특성

名稱	特性	Z Ω	C (pF/m)	減衰量 α (dB/km)			
				1MHz	10MHz	100MHz	1,000MHz
RG-8/U		52 ±2	86.8	6.2	20	70	290
RG-58/U		53.5±2.5	93.5	12.0	31	140	520
3C 2V		75 ±3	67±3	15.0	50	160	500
5C 2V		"	"	7.8	25	92	320
7C 2V		"	"	6.5	21	78	260
10C 2V		"	"	5.2	17	62	210
20C 2V		75 ±3	67±3	2.2	8.4	32	12

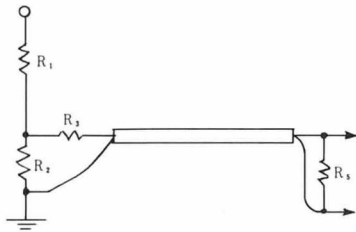
<表 1> 高周波 cable의 特性

나. Impedance matching

측정cable의 양단은 양호한 周波数特性을 얻기 위해 impedance matching이 필요하다. <그림 7>의 抵抗分压器에서는 $R_2 + R_3 = Z_0 = R_s$ (Z_0 는 cable의 특성impedance)에 따른 matching이 필요하고 이때의 分压比는 다음과 같다.

$$\text{分压比} = \frac{R_2 R_3}{(R_1 + R_2)(R_3 + R_s) + R_1 R_2}$$

<그림 8>의 抵抗容量 分压器의 경우에는 $R_2 +$

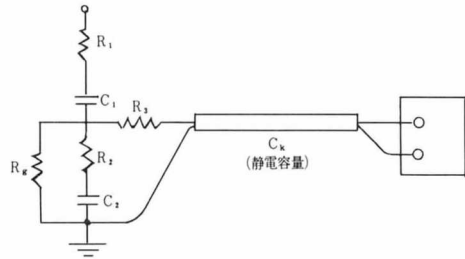


<그림 7> 抵抗 分压器

$R_3 = Z_0$, $C_1 R_1 = C_2 R_2$ 식에 의한 matching이 필요하나 이 경우 測定器側은 matching이 불가능하기 때문에 측정cable을 짧게 할 필요가 있다. 測定線은 고주파 영역에서는 특성impedance Z_0 로 작용하고, 저주파 영역에서는 capacitance성분으로 작용하기 때문에 각 영역의 分压比는 다음과 같이 달라진다.

고주파영역 分压比 = $R_2 / (R_1 + R_2)$

저주파영역 分压比 = $C_1 / (C_1 + C_2 + C_k)$



<그림 8> 抵抗容量 分压器

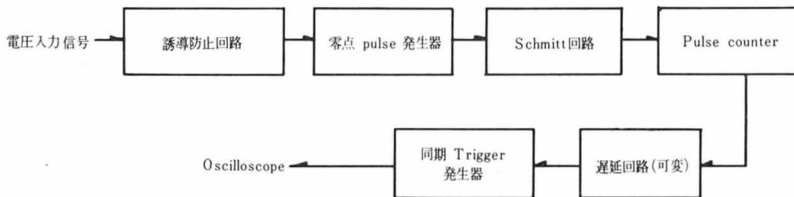
다. 同期装置

再起電圧을 정확하게 측정하기 위해서는 재기 전압 발생시간을 정확히 포착하여 測定器를 trigger시켜야 한다. 이때 사용하는 측정보조기기를 同期装置(또는 current zero anticipator)라 하며 再起電圧 측정을 위해서는 필요 불가결

한 것이다.

1) 電子方式

<그림 9>와 같은 전자회로로 遲延回路의 저장치를 변화시켜 triggering point를 임의로 조정 가능하다.



<그림 9> 同期装置의 block diagram

2) CT方式

角形 히스테리 특성을 갖는 鉄心에 감겨진 卷線에 전류를 흘리면 二次卷線에 起磁力이 발생하는데 그 전압을 trigger signal로 사용하는 것으로 또 하나의 三次卷線에 一次電流를 감소시키는 방향으로 직류전류를 통전시켜 電流零点 이전의 位相을 제어하는 방식이다.

라. 誘導現象

위에서 기술한 바와 같이 높은 고주파의 전압 측정시 일반적으로 分压器를 사용하여 측정하고

있으나 통상 이때의 2차전압은 아주 낮아 靜電, 電磁誘導에 잡음의 영향을 크게 받게 되고, 이에 따른 측정오차에 따라 차단성능은 크게 좌우된다. 따라서 정확한 측정을 위해서는 다음 사항에 주의하여야 한다.

1) 分压器 시험전류 通電 loop내에 넣지말것.

2) 가능한 시험회로의 接地는 一点接地에 가까울 것.

3) 分压器는 differential 회로로 사용 측정할 것.

4) 측정기 전원측으로부터 surge 가 침입하지 않도록 絶緣 Tr 및 필타를 사용할 것.

5) 1 대의 계측기에 電位가 다른 2 가지 신호를 입력시킬 경우 상호간섭이 없도록 주의 할 것.

Ⅲ. 電流測定

系統容量의 증가에 따라 현재 초고압 대용량 차단기의 차단전류는 50kA 정도까지 요구되는데 遮斷器 차단성능의 가혹도는 전류의 2~3 승에 비례하기 때문에 전류의 측정은 정확해야 하고, 시험설비 용량의 부족을 보완하기 위한 直接遮斷 시험의 等価合成 시험의 경우 차단직전의 電流傾斜(di/dt)가 等価條件으로 더욱 정확한 측정이 요구된다.

1. 測定時의 必要條件

(1) 測定計의 時定數가 被測定現象에 비해 충분히 작을 것.

(2) 大電流通電에 따른 온도상승이 없을 것.

(3) 大電流의 電磁力에 견딜 것.

(4) 測定素子の impedance는 시험회로 impedance에 비해 극히 작을 것.

(5) 測定計에 電磁, 靜電誘導의 영향이 작을 것.

(6) 供試器의 차단실패의 경우에도 測定計의 파손위험이 없을 것.

2. 商用周波數의 電流測定

가. 測定方法

차단기의 특성 및 성능을 확인하기 위한 試驗種類에 전류는 수 A 에서 수십kA까지 변하며 이의 측정에는 shunt 또는 CT 를 사용하고 있다.

1) Shunt

측정하고자 하는 회로에 shunt 를 직렬로 접속하여 電流通電中の shunt 양단에 나타나는 전압을 측정, shunt 의 저항치에 의해 전류로 환산하는 방법이다.

Shunt 는 noninductive 구조로 되어 있으며 통상 50kA 측정시 shunt 는 0.1~0.5mΩ 정도로서 출력전압은 5~25V 이다. 그러나 최근에는 특성이 양호한 貫通形 CT 가 개발됨으로써 主回路

에 설치되어 비교적 전류측정이 양호하다. 또한 shunt 를 사용하는 경우 供試器의 再發弧에 따른 接地電位의 이동으로 측정기 파손의 위험이 있으나 CT 방식에서는 이런 위험이 적은 것이 특징이다.

2) CT

일반 CT 結線方式에 따라 被測定回路에 CT 를 접속, 측정하는 것이나 試驗所에서 사용하는 측정기 oscilloscope 및 oscillograph는 신호입력이 전압이므로 CT 2 次에 shunt 저항을 삽입하여 shunt 저항 양단 전압을 측정, 一次電流로 환산하는 방법이다.

Ⅳ. 電流零前傍의 測定

1. 測定目的

가. 遮斷前의 電流傾斜

발전기의 短絡容量의 부족으로 어떤 試驗所에서나 일정 차단용량 이상의 被試器의 단락 시험시 合成試驗을 실시하고 있으나, 이 경우 注入電流 電流零前의 傾斜(di/dt)가 단락 전류의 경사치에 상당하여야 한다. 따라서 電流零前의 전류를 정확하게 측정하여야 하며 구체적으로 60Hz 50kA 에서는 26.5A/ μ s 정도로 零前 수로 부터 수십 μ s 사이를 測定한다.

나. 殘留電流測定

초고압용 차단기의 시험중 SLF 시험이 가혹한 責務중 하나이고 차단성능의 한계근방에서는 잔류 전류가 나타나기도 한다. 잔류전류의 측정은 遮斷成否에 대한 定量分析의 한 자료가 되기 때문에 차단기 개발단계에서는 자주 필요하게 된다. 殘留電流는 차단기의 종류에 따라서 다르나 수 A 에서 수 μ s 동안 통전하는 것으로 수십kA 통전직후의 이 전류를 측정하여야 하므로 어려움이 따른다.

다. 遲相 小電流試驗時의 再發弧電流

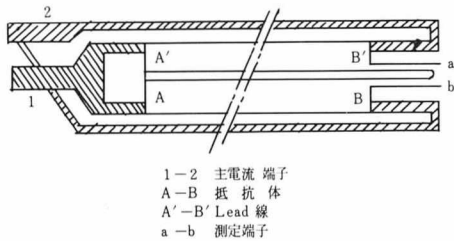
이 시험에서는 차단성능보다는 발생하는 surge 가 문제인데 surge 의 원인은 큰 電流의 chopping surge 와 반복되는 再發弧時의 surge 로 분류된다. 이의 분석을 목적으로 surge 전압과 再發弧時의 전류를 측정할 필요가 있다. 이 發弧電流는 회로조건에 따라서 다르며 수백kHz, 수십 A 정도로 고주파측정의 어려움이 따른다.

2. 測定方法

통상 同軸 shunt나 電磁偏向管式을 사용하는 데 여기서는 同軸 shunt에 관해서 기술한다.

가. 構造와 時定數

구조는 <그림 10>과 같으며 時定數는 작고, 短絡電磁力에 견딜 수 있는 기계적 강도 및 Joule 熱에 대한 熱的 強度를 갖는다. 電氣等價回路는 <그림 11>로 殘留 inductance와 저항의 직렬회로이며 전류 i의 遮斷瞬時 端子電壓 U의 시간적 경과는 殘留 inductance 때문에 U는 i보다 位相이 L/R 만큼 빠르고 i가 ϕ으로 된 순간에



<그림 10> 同軸 Shunt의 構造

나. Shunt의 時定數

전력용 차단기의 電流零近傍 측정을 위한 s-hunt의 時定數의 적정치에 대한 이론은 다음과 같다.

Shunt에 inductance가 있으면 <그림 10>에서와 같이 電流零에서 U_0 가 발생하는데 $U_0 = L \frac{di}{dt}$ 로 주어진다. 이 U_0 가 오차로 되는데 피측정 현상에 대해 5%이내의 誤差가 요구된다면,

- 1) 試驗條件 : 60Hz, 50kA
- 2) Shunt : 5 mΩ
- 3) 測定器 setting : 40A/div (0.2V/div)
- 4) 計算 (誤差 5%)

$$0.2 \times 10^{-2} \times 5 \text{ (V)} = L \times 26.6 \text{ A}/\mu\text{s}$$

$$\therefore L = 3.76 \times 10^{-10} \text{ (H)}$$

$$T = L/R = 3.76 \times 10^{-10} / 5 \times 10^{-3}$$

$$= 7.52 \times 10^{-8} \text{ (S)}$$

곧 時定數는 75.2ns 이하임을 의미한다. 이것은 電流零時의 도약의 관점에서 검토되었으나 gas 차단기의 時定數는 1.0μs 정도이므로 時定數가 75ns 이하이면 잔류전류도 만족하게 측정

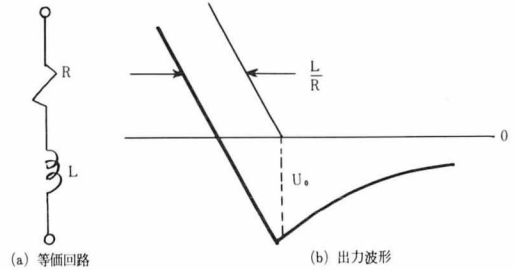
서도 U_0 가 남고 이것이 指數関數의으로 감쇠한다. 따라서 L/R (Shunt의 時定數)을 가능한 작게 하는 것이 전류측정의 정확성을 기할 수 있게 된다. 여기서,

$$L/R = \frac{U_0}{6} \delta d^2$$

但, d : 内部抵抗體의 두께

δ : 導電率

그러나 고주파 영역에서는 表皮效果때문에 저항치가 변하므로 저항치가 변하지 않도록 얇은 抵抗體를 사용하는 것이 좋다.



<그림 11> 等價回路와 出力波形

가능할 것으로 사료된다.

Shunt 時定數의 측정은 고주파 전류차단시의 di/dt와 U_0 를 측정 계산하는 방법과 pulse generator를 사용, shunt의 入出力을 비교 산출하는 방법이 있다.

다. 補助測定器

1) Clip 回路

Shunt의 출력전압을 oscilloscope로 측정할 때에 대전류 영역에서는 잔류 전류에 대응하는 전압보다 $10^3 \sim 10^5$ 배의 전압이 印加되어 scope의 수명을 단축시키고 入力超過에 따른 측정오차가 발생하게 된다. 따라서 <그림 12>와 같은 clip 회로를 사용해야 한다.

2) 同期裝置

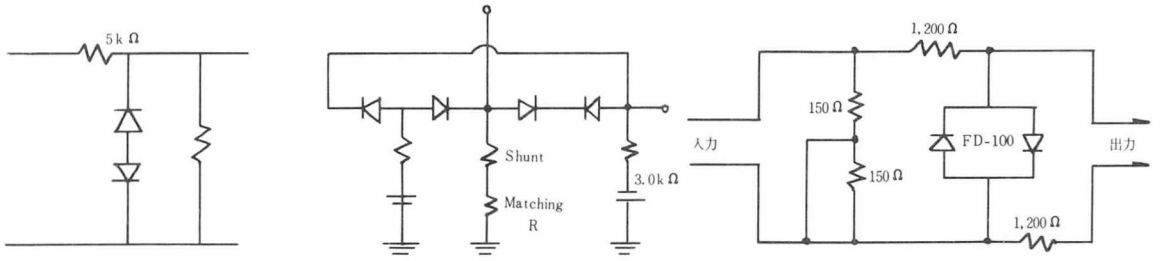
電壓測定時와 동일하므로 생략한다.

3) 接地点과 測定線

測定系는 <그림 4>와 같으며 시험회로의 접지점을 一點接地로 해서 측정 cable과 측정기를 모두 對地絶緣한다.

4) 測定器의 電源

측정기는 보통 고성능 scope를 사용하고 전 원측으로부터 surge가 침입하지 않도록 절연변

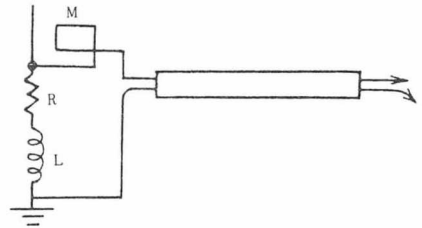


〈그림 12〉 Clip 回路 例

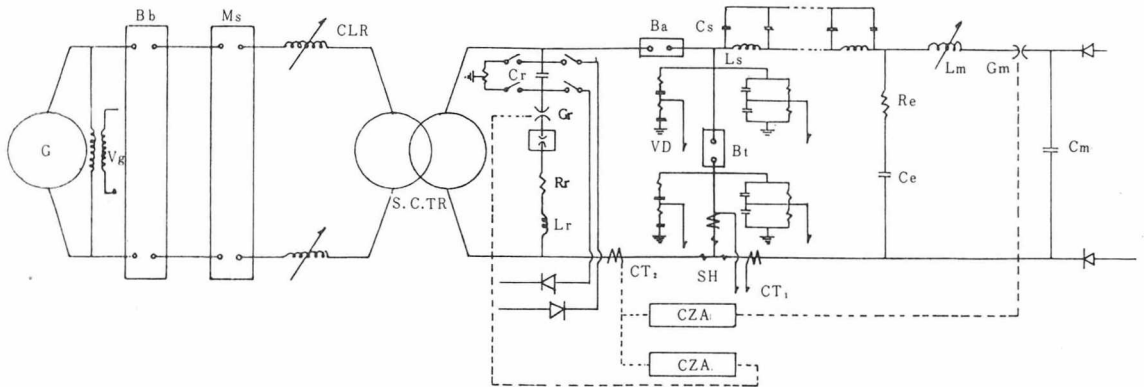
압기와 필타를 사용하는 것이 바람직하고 차폐 측정실내에서 측정하는 것도 한 방법이다.

5) Shunt 時定数 補償

Shunt 에는 잔류 inductance 가 존재하므로 그것을 상쇄시키기 위해서 〈그림 13〉과 같이 相互誘導 현상을 이용하여 補償回로를 구성, 適當하게 선정하면 精確한 측정이 가능하다.



〈그림 13〉 Inductance 補償回路



Remarks	Name	Remarks	Name
G	Short Circuit Generator	Gr	Reignition Triggering Gap
Bb	Back-Up Breaker	Gm	Main Triggering Gap
Ms	Making Switch	Cm	Main Capacitor
CLR	Current Limiting Reactor	Lm	Main Variable Reactor
S. C. TR	Short Circuit Transformer	VD	Voltage Divider
Ba	Auxiliary Breaker	Re	Wave Shaping Resistor
Bt	Circuit Breaker under Test	Ce	Wave Shaping Capacitor
Cs	Short Line Fault Testing Capacitor	CT ₁	Current Transformer for Testing Current
Ls	Short Line Fault Testing Reactor	CT ₂	Current Transformer for CZA
Cr	Reignition Capacitor	CZA	Current Zero Anticipator
Rr	Reignition Resistor	Vg	Generator Voltage
Lr	Reignition Reactor	SH	Shunt

〈그림 14〉 合成 試驗 回路

V. 結 論

이상에서 短絡試驗所에서 이용되고 있는 測定技術 一般을 기술했으나 試驗回路중 가장 복잡한 합성시험시의 측정회로를 포함한 시험회로는 <그림 14>와 같다. 그리고 電子技術의 발전으로 發光 diode 를 이용한 bridge 形 laser 光을 이용한 측정이 世界의 몇 研究所에서는 試驗運轉이 進行되고 있어 측정의 정확도가 향상될 것으로

보이나, 보편적인 사용까지는 시간이 소요될 것이므로 一般 測定技術 向上으로 정확한 측정이 요구되고 있다.

參 考 文 獻

1. しゃ断器常置専門委員会：しゃ断器の試験法
2. IEC 56-1~4, 427

