

Optoelectronics을 이용한 高電位部の 電流測定

李亨浩 / 電力試驗室

I. 序 論

종래의 계기용 변류기 및 分流器를 사용하여 高電位點 또는 非接地回路 등의 전류를 측정하기 위해서는 측정에 相應한 계기의 절연내력이 커야하므로 大形이어야하고, 또한 이것들을 접지 측에 삽입하여 측정하는 것이 일반적이다. 이 방법으로서는 예를들면, 小電流開閉試驗 등과 같이 회로의 구성상 對地 stray capacitance에 의한 分流電流를 무시할 수 없는 경우 및 전원 측정케이블을 통하여 大地에 흘러 들어오는 surge current의 영향이 있는 lightning impulse current의 측정등에는 高精度의 측정이 불가능하였다.

이런 점을 해소하기 위하여 optical fiber가 갖고 있는 우수한 情報傳送과 절연내력을 이용하여 여러분야에 응용한다. Optical 傳送方式을 이용한 例로서는 電氣通信技術, 직류송전용 싸이리스터 변환장치, 光變流器, 分擔電壓測定用 光 coupling, 압력의 측정, 전계강도등의 측정이 있으나 本稿에서는 高電壓點用 電流測定時의 optical analog 傳送方式 및 기타 주요한 측정例에 대해서 기술하고자 한다.

II. Optical Analog 傳送方式

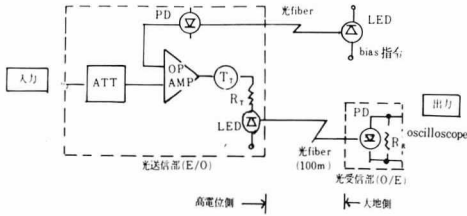
1. 특 징

高電壓測定의 分野에 있어서 optoelectronics 응용은 유도 및 절연의 문제가 쉽게 해결되며, 한편 전류측정시에 있어서 高電位側에서 전류를 직접 측정하여 500kV급 계통의 직접변환에 의한 光 analog 傳送方式으로 stray capacitance 등에 의한 측정오차를 충분히 줄일 수 있다.

2. 測定回路

이 회로 측정방식은 發光diode(이하 LED)를 사용하는 방식으로서 補償回路 및 發光部설계가 용이하며, 또 多量의 情報傳送이 가능한 optical analog 直接변환 방식이지만, 특성상 單極性, 直線性 및 溫度特性등의 문제점이 있다. 그러나 單極性에 대해서는 bias 방식에 의하여, 直線性에 대해서는 LED 구동전류를 적게함으로써, 또 온도특성에 대해서는 補償을 함으로써 문제가 해결된다. 측정기 구성에 대해서 설명하면 電氣/光(E/O)을 행하는 光送信部는 주로 attenuat-

or, operational amplifier, LED 구동용 transistor bias 지령을 받는 photo diode(PD) 및 전원용 전전지등으로 이루어져 있으며 回路는 <그림 1> 과 같다.



< 그림 1 >

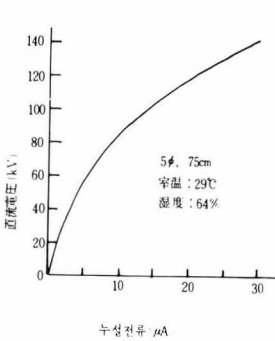
3. Optical Fiber의 절연특성

가. Plastic Fiber

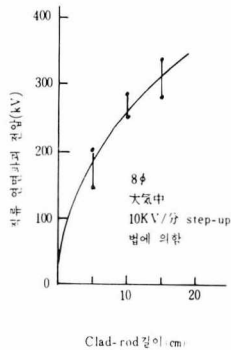
연면교류파괴전압 : 80kV/20cm, 300kV/80cm

나. Cled-Rod

多成分系유리에는 알카리성분의 多,少가 있다. 前者는 後者에 比하여 값이 싸나 고습도 장시간 課電에 문제가 있다. <그림 2>에 알카리성분이 많은 보통의 Clad-Rod 5φ - 750mm의 누설전류를, <그림 3>에 알카리성분이 적은 8φ - Clad-Rod의 연면파괴 전압의 예를 나타낸다.



<그림 2>

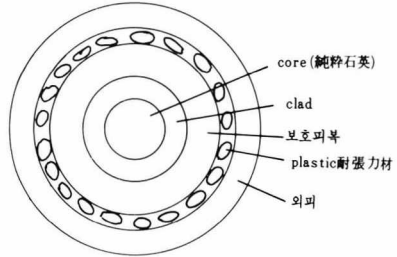


<그림 3>

절연유中 5φ - 380mm의 적은 Clad-Rod의 沿面電界強度는 AC, DC의 경우 6.5kV/10mm 연속, 12kV/10mm AC 1분간, 1×40μs 24kV/10mm임.

다. Bundle Fiber

Clad-Rod에 比교하여 flexible로써 취급이 용이하다. 그러나 beam이 넓은 發光 diode와 結合할 경우, 직경과 길이가 같을 때 Clad-Rod쪽이 결함손실이 적기 때문에 光出口에서의 光은 強하다.

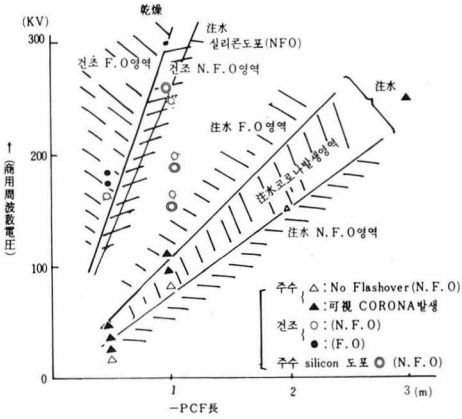


<그림 4> PCF單心 Cord의 断面構造

라. PCF의 商用周波 耐電圧特性

LED와의 結合效率이 最大16% 높고, LED의 peak 發光長에 대하여 거의 최저전송손실(약 5 dB/km) 특성이 되는 plastic clad fiber를 사용하며 구조는 <그림 4> 와 같다. PCF의 10분간 商用周波耐電圧値는 PCF의 길이에 거의 비례하여 상승하고, 그 값은 건조시 300kV/m, 주수시 70kV/m이다. 즉 주수시에 있어서 70kV/m 이상을 인가하면 10분간 이내에 可視corona가 발생하고, 더구나 100kV/m 이상에서 接觸이 일어난다. Flashover 과정은 건조시에 있어서는 可視 corona 발생영역이 存在하지 않고 직접 연면접촉으로 옮겨가나, 주수시에 있어서는 PCF 외피의 누설전류가 數mA 이상이 되면 外被表面에 可視corona가 발생하고, 그 후 연면접촉으로 옮겨간다. 따라서 注水時의 耐電壓을 상승시키기 위해서는 PCF외피면의 누설전류를 적게할 필요가 있으며 PCF의 10분간 상용주파 내전압 특성은 <그림 5> 와 같다.

耐電壓을 상승시키기 위한 방법으로 첫째, PCF를 core와 clad만으로 하든지 둘째, PCF 외피표면에 silicon을 도포하면 된다. 그러나 사용시 첫째 방법으로는 PCF clad의 표면보호를 고려하면 불가능하고, 둘째방법에 의하면 주수시 10분간 耐電壓値는 약 250kV/m, impulse 値는 약 500~600kV/m가 된다.



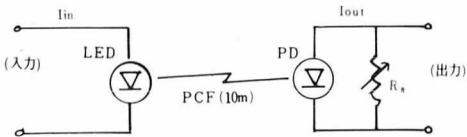
〈그림 5〉 PCF의 10分間 商用周波 耐電壓特性

위에서 알 수 있듯이, 500号 절연계급의 상용 주파내전압치 750KV에 대하여 裕度를 2배로 한 경우, PCF長을 길게하지 않고 silicon 도포에 의하여 절연성능을 만족시킬 수 있다. 耐候性의 문제 및 clad와 nylon jacket 사이의 문제 등, 보수대책의 검토가 必要하다.

4. 光学測定系의 特性

가. 入出力特性

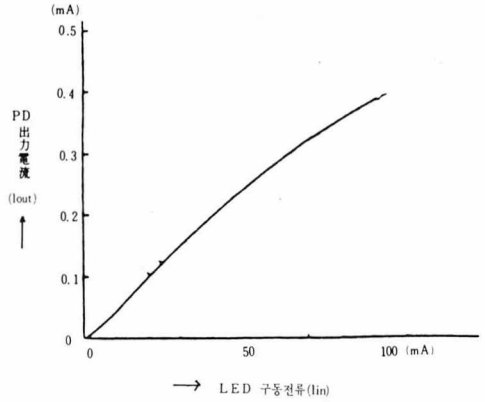
光学測定系의 特性檢討를 위한 基本回路는 〈그림 6〉과 같다.



〈그림 6〉 特性檢討 目的의 基本回路 構成

LED 驅動電流 (I_{in})에 대한 PD出力電流 (I_{out}), 즉 電流伝産 靜特性(주위온도 25°C)은 〈그림 7〉과 같다.

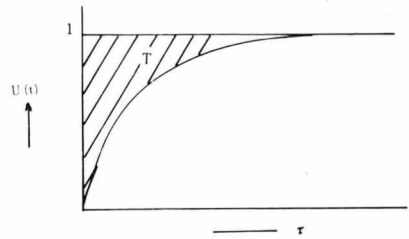
실제시험시에는 그림중 直線性이 양호한 영역을 사용하기 위하여 50mA 이하 범위를 사용하는 것이 좋다.



〈그림 7〉 전류 전달 정특성 (주위온도 25°C)

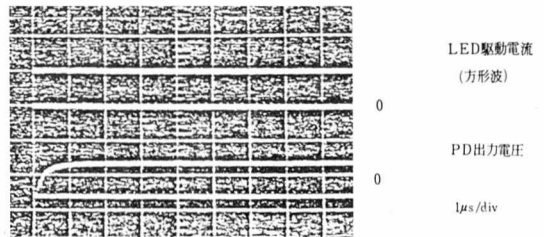
나. 方形波 應答

일반적인 應答특성의 평가방법으로서 $U(t) = 1 - \frac{1}{e^{\frac{t}{T}}}$ (단 T: 時定數)로 나타낸다. 따라서 〈그림 8〉에 나타난 빛침진 부분의 면적에 의해서 分圧器의 주파수응답 특성을 근사적으로 구할 수 있다.



〈그림 8〉 R-C形分圧器의 方形波 應答

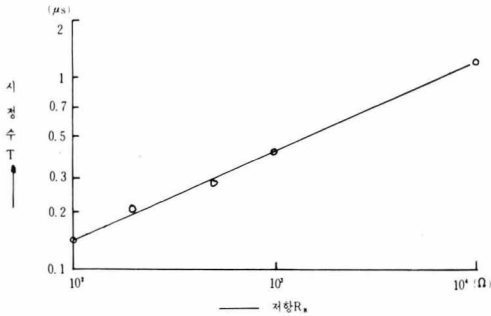
위의 방법에 의하여 〈그림 6〉의 PD素子の 출력 저항치로써 應答特性 및 出力電壓特性을 구할 수 있다.



〈그림 9〉 $R_R = 500\Omega$ 일 경우 方形波 應答波形

〈그림 9〉는 $R_R=500\Omega$ 일 경우의 入出力 波形을 나타내고, 또 R_R 과 時定數 T 의 관계는 아래와 같다.

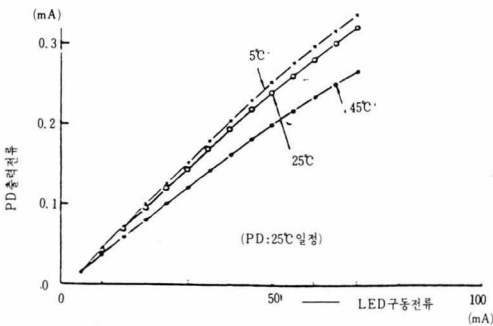
$$T \approx 0.0175R_R^{0.46} (\mu s), \text{ 단 } 100\Omega < R_R < 10k\Omega, \\ R_R : \text{PD 출력저항} (\Omega)$$



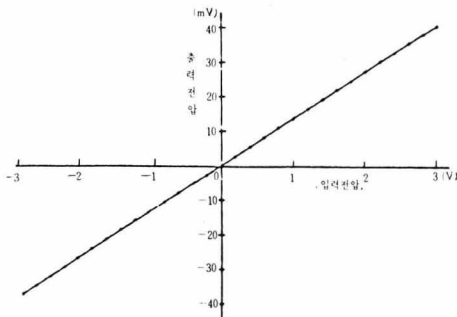
〈그림 10〉 抵抗 R_R 과 時定數 T 의 關係

다. 溫度特性

PD를 일정온도(25°C)로 유지하고 주위온도를 5°C ~ 45°C 사이에서 변화시켜 電流伝達 靜特性을 살펴보면 〈그림 11〉과 같다.



〈그림 11〉 LED의 溫度變化에 의한 電流伝達 靜特性



〈그림 12〉 측정기의 入出力 靜特性 (ATT無)

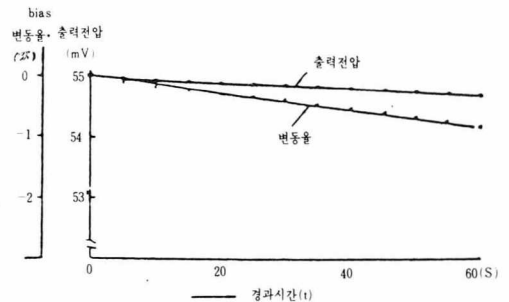
5. 測定器의 제특성과 対策

가. 入出力靜特性

〈그림 12〉는 bias 출력전압(약 -55mV)을 出力電圧 “Zero”치로 하고, 입력전압에 대한 출력전압의 특성을 나타낸다.

나. Bias 出力電圧의 Trip

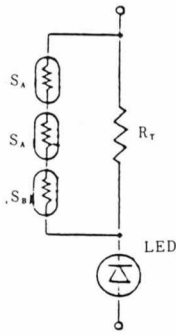
Bias의 제어에 대해서는 測定直前に bias 指令에 의하여, bias 전류를 LED에 흘려 측정하고, 측정시 이외는 bias 전류는 없는 상태로 한다. 따라서 다른 측정기와 DC結合하여 측정할 경우 bias 출력 전압의 trip 이 오차의 원인이 된다. 이 trip은 bias 전류치가 一定하기 때문에 주로 bias 전류에 의한 LED의 내부 온도상승에 의하여 발생한다고 볼 수 있다. Bias 出力電圧은 경과시간에 대하여 거의 비례하여 감소하고 bias on (t=0)時的 값에 대하여 60sec후에 약 0.8% 감소한다. 이상과 같이 數 10秒간의 측정에 대하여 1%정도의 bias 전압의 trip을 고려할 필요가 있으나, AC結合으로써 측정할 수 있는 oscilloscope 등을 사용했을 경우 이 trip의 영향은 無視할 수 있는 것이며, bias 출력전압의 trip 특성은 〈그림 13〉과 같다.



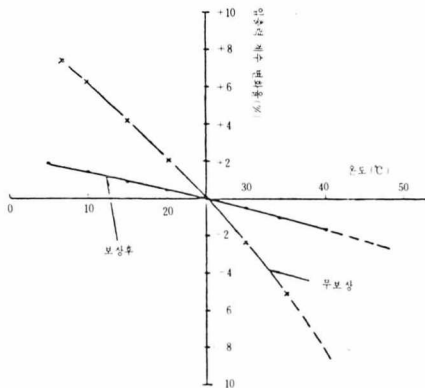
〈그림 13〉 Bias 出力電圧의 Trip特性

다. 溫度特性

온도보상의 간단한 방법으로써 zenor - diode, 써미스터 또는 바리스타 등을 사용하는 방법중 〈그림 14〉는 각각 다른 특성을 가진 써미스터 S_A, S_B 를 직렬로써 LED의 전류제한용 저항 R_T 에 병렬로 접속한 방법이다. 온도특성은 온도보상의 有無에 의해서 O/E부의 주위온도를 5°C ~ 40°C로 변화하여 그때의 入出力靜特性을 구하여, E/O부의 25°C에 있어서 入出力 係수에 대한 변화율을 산출하면 〈그림 15〉와 같다.



〈그림 14〉 温度補償回路



〈그림 15〉 온도특성

입출력계수의 변화는 無보상시에 $25^{\circ}\text{C} \pm 20^{\circ}\text{C}$ 에 대해서 최대 약 $\pm 10\%$ 이나, 보상 후는 약 $\pm 2\%$ 로 온도특성이 대폭 개선된다.

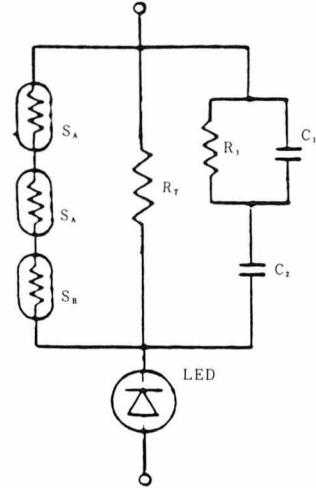
라. 方形波應答 및 周波數特性

LED의 電流制限用 抵抗 R_T 에(그림16)과같이 보상회로소자 저항 R_1 및 capacitor C_1, C_2 를 부가하여 方形波應答보상을 행하면 파고치 부근에 약간의 高調波振動이 있으나 方形波應答時間은 $0.25\mu\text{s}$ 로 짧아지기 때문에 응답특성이 개선된다. (그림17)에보상회로를 부가한 후의 주파수응답특성의 결과를 나타내고 보상회로에 의한 영향에 의하여 100KHz 부근에서 peak치가 존재하나 그 값은 아주 적다.

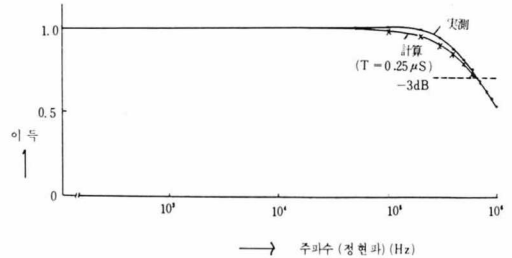
결국 光測定系の 주파수 특성도 일반적인 분압기의 주파수 특성과 같은 모양으로 측정할 때 時定數를 사용한 계산에 의하여 주파수 특성을 예측할 수가 있다.

마. 전파시간

동축케이블을 사용한 측정계와 光측정계에 의



〈그림 16〉 方形波應答 補償回路



〈그림 17〉 方形波應答 補償後의 周波數特性

하여 동시 측정을 행할 경우, 전파 속도의 차 때문에 信号伝搬 時間이 상당히 相異하다.

Ⅲ. 名種의 大電流 測定技術

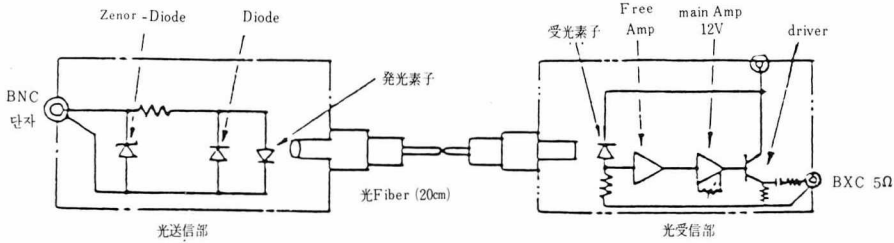
1. 光学式 Impulse High Current 測定

가. 개요

충격전압발생장치의 高電圧, 大電流를 測定하는데는, 從來부터 抵抗性 또는 容量性分壓器, 電流用으로써 shunt抵抗이 사용되었다. 측정상 기술적으로 어려운 것은 電氣의 誘導(靜電, 電磁, 接地電位上昇에 의한 誘導)를 제거하는 데에 있다. 한가지 해결방법으로써 高電位點과 接地側을 電氣的으로 無接觸의 상태로 하는 것이다. 전기를 光으로 變換하고, 光 fiber에 의하여 光을 地上에서 伝送하고, 地上側에서 光을 電氣로 變換하면 된다.

光伝送의 技術開發의 point는 広帯域周波數의 analog 伝送으로써, 周波數特性, 出力電壓의 直線性, 온도특성이 좋아야 하고 전기적유도에 의한 障害를 가능한 한 低감시켜야 한다.

나. 測定裝置 및 測定
機器構成圖는 <그림18>과 같으며, 機器는 光送信部, 光 fiber, 光受信部로 構成되어 있다.



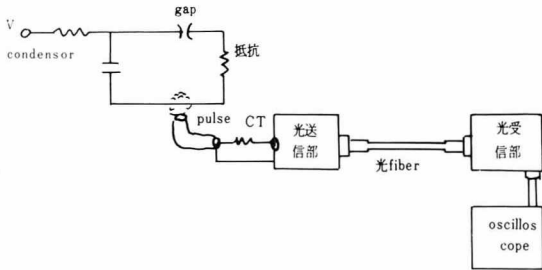
<그림 18> 機器構成圖

Impulse current를 current transformer를 介하여 이것을 光으로 變化시켜 전류를 測定한다. 일반적인 동축 cable 방식에 있어서는 波形에 surge current의 影響에 의하여 진동이 생기게 된다. Optical 측정방식의 회로구성도는 <그림19>와 같다. Optical system에 의하면 o-scilloscope의 위치여하에 관계없이 외부에서의 誘導의 影響을 받지않는다.

그 對地 stray capacitance에 유입되는 전류를 무시할 수 없기 때문에, 차단기의 裁斷電流測定을 高精度로 行하기 위해서는 高電位側에 의한 電流測定이 必要하다. 시험조건으로써 31kV, 5-20A의 지상소전류 차단시험을 VCB를 사용하여 실시하고, 各 case에 대해서 高電位側에서 裁斷電流의 측정을 행하면 된다.

나. 측정방법

<그림20>에 나타난 바와같이 電流測定은 高電位側에서 分流器와 optical system을 사용하여 행하고, 또 부하측 전압측정은 抵抗分壓器를 사용하여 行하고, 이것들의 전압전류파형은 時間分解能을 상승시키기 위하여 現象起動에 의하여 일단 digital式 recorder에 기억한 후, CPU 및 plotter에 의하여 재생시키면 <그림21>과 같다.

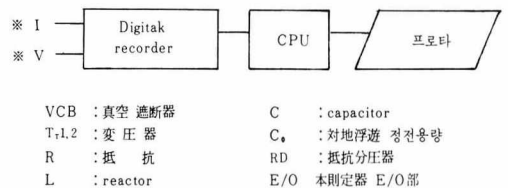
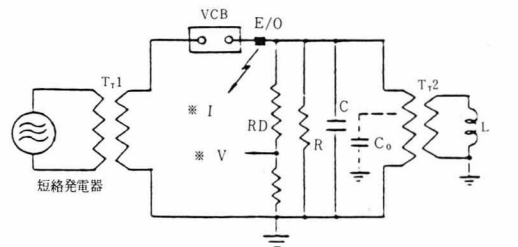


<그림 19> 放電 電流回路와 電流測定回路

2. 차단기의 지상 소전류 시험시의 裁斷電流測定

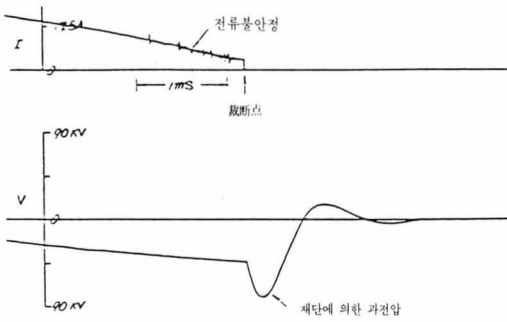
가. 概 要

전력용차단기의 무부하 변압기 勵磁能力을 檢정할 경우, 전류차단이 발생하면 그 負荷側 回路에 過電壓이 발생한다. 이 과전압치는 負荷側 回路의 제특성과 裁斷電流值에 의존한다. 일반적으로 부하측 회로는 high impedance 를 가지고,



- VCB : 真空 遮斷器
- T1,2 : 變壓器
- R : 抵抗
- L : reactor
- C : capacitor
- C₀ : 對地浮遊 靜電용량
- RD : 抵抗分壓器
- E/O : 本測定器 E/O部

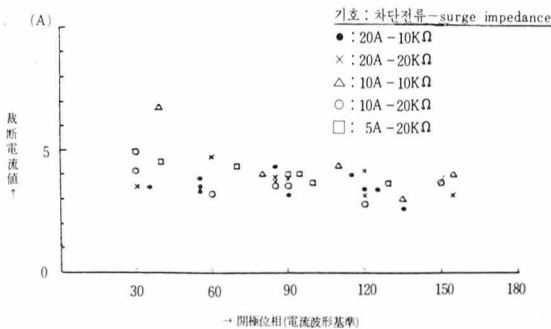
<그림 20> 지상 소전류 차단시험 회로도



〈그림 21〉 지상 소전류 차단시험 예 (31KV, 20A, 20KΩ)

다. 裁断電流 測定

전류파형을 기준으로 한, 開極位相과 재단전류치를 〈그림22〉에 나타낸다. 裁断電流値는 재단시에 있어서 不安定電流의 平均値로 나타낸다. 電流裁断은 전체의 開極位相에 있어서 발생하고, 그 裁断電流値는 개극위상의 큰 정도, 즉 開極時점에서 電流zero까지의 arc시간이 짧은 정도, 약간 적어지는 경향을 알수 있다. 또 부하측 surge impedance에 의한 재단전류치에 대해서는 surge impedance가 5kΩ 이하의 경우, 재단전류가 증가하는 경향이 있다.



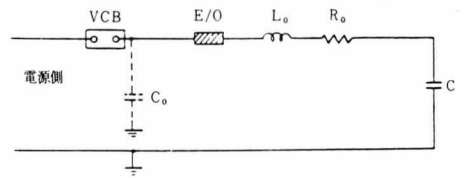
〈그림 22〉 開極位相과 裁断電流와의 관계

라. 裁断直後の 電流波形的 振動

시험시에 있어서 차단기 부하측 회로를 고주파적으로 본 경우, 〈그림23〉과 같이 등가회로로 표시할 수 있다.

〈그림23〉에 있어서 전류재단이 발생하면, 재단시에 L_0 에 유기된 전압에 의하여 R_0 , C , C_0 를 통하여 고주파전류가 흐른다.

이 전류의 주파수는 접속선의 길이(약 200m)에 대한 inductance 약 $240\mu H$ 및 stray capacitance 약 200PF를 이용하여 약 700KHz로 계산하면 실측시의 주파수와 거의 일치한다.



C : Load Capacitance
 L_0 , R_0 : 차단기에서 부하측 capacitance를 통한 접지점까지의 접속선 Inductance 및 저항
 C_0 : Stray Capacitance

〈그림 23〉 遮断器 負荷側の 高周波의 等価回路

이상에서 알 수 있듯이 高電位側の 재단전류 측정에 있어서 측정점이 차단기 부하측의 경우, 차단기등의 對地stray capacitance등의 영향에 의하여 裁断直後に 減衰振動電流가 발생하고 이 파형은 實測에 의하여 확인할 수도 있다.

IV. 結 論

高電位点的 電流測定用으로, optoelectronics 式 전류측정기는 發光diode-optical fiber-photodiode등을 사용한 bias方式에 의한 光analog 直接변환방식을 채용하고 있고, 光fiber는 信號伝送외에 高電位部와 大地間的 絶緣을 겸한다. 光fiber의 계속, 제어에의 應用에 있어서의 利点으로서는 情報伝送의 高速度, 大容量化가 우선 검토되어야 하나, 이외의 応答特性이 빠른점, 電力回路에서의 絶緣上 유리한 점, 輕量으로써 간단히 설치될 수 있는 점, 資原上 유리한 점을 들 수 있다. 電力系統에 있어서는 超高压 및 超超高压送電의 계획, 건설이 行해지고 있다. 이와 같은 전력계통에 있어서는 절연협조의 合理化 및 신기술을 응용한 機器의 開發, 더구나 전력계통의 보호 및 運用의 향상이 요구되고 있다. 光fiber가 가진 利点과 이 요구를 고려하면, 光fiber의

전력기술에의 응용은 가장 유망한 것의 하나로써 고려할 수 있다. 제조 plant에 있어서도 계측, 제어에 이용해야 할 情報量의 고속도화의 必要性 때문에 今後 점점 이용된다고 생각된다.

Optical fiber 技術을 이것들의 分野에 적용하는데 있어서는 信賴性이 점점 중요하다는 것은 말할 必要도 없다. 따라서 金후는 optical system에 사용되는 各素子에 대해서 한층 좋은 性能向上을 시도함과 동시에 충분한 信賴性을 가지고 長期의 実使用에 견디는 것을 実証할 試驗이 必要해진다.

参 考 文 献

1. Rogers, A. J., "Optical Methods for

Measurement of Current and Voltage at High Voltage" Electrical Review, Vol. 207, No. 11, 1977

2. Riscaldia, G., "Experimental Investigation on the Unit-Test Method for Testing Multi-Chamber Circuit Breakers" IEEE, 1977 Summer Meeting Paper.

3. Smith, A. M., "Current Measurement Using Single Mode Optical Fiber" Applied Optics, 17-52

4. 日本電氣学会 技術報告;小電流開 開試驗法の 檢討.

5. Yoshino, T., Jpn. J. Appl. Phys. Vol. 19. 745 (1980).

6. 日本電氣学会 技術報告: "Divider for Impulse Current".

