

대전력 시험전압 측정방법에 대한 고찰

노창일, 나대열, 김선구, 정홍수, 김원만, 이동준
한국전기연구원

The study of test voltage measuring system for high-power testing laboratory

Chang-il Roh, Dae-Ryeol La, Sun-Koo Kim, Heung-Soo Jung, Won-Man Kim, Dong-Jun Lee
Korea Electrotechnology Research Institute

Abstract - This paper describes the optimal design, construction and performance evaluation of voltage divider used in high power testing laboratory for voltage measuring system.

These dividers, which are of R, C, R&C type voltage dividers, the voltage to be measured range from voltage to several ten kiloVolts, the frequency of the signals has a bandwidth from DC to megaHertz

Measuring transient voltage and currents in the high voltage power laboratory is generally accompanied by electromagnetic interface and induced noise.

above all, the measuring capabilities of voltage measuring system are dependent upon short response time and it must be as free as possible of inductive effects.

In this paper presents both characteristic of voltage divider and design of voltage measuring system.

1. 서 론

대전력시험중의 시험전압을 측정하기 위한 조건은 측정전압은 기준 접지전위에 대하여 작은 변동폭이 요구되어지며 시험 중 발생할 수 있는 과도주파수 특성에 따른 전위상승으로 측정 system의 피해가 우려되므로 voltage transformer를 사용하지 아니하고 voltage divider를 사용하여 시험전압을 십 volt 미만의 저전압으로 측정하고 있다. voltage divider는 전압계급, 전압종류 및 과형상의 특성, 측정장치의 입력 임피이던스 등을 고려하여 제작하여야 한다. 또한 대전력시험중의 과도전압을 측정하기 위한 설비는 시험 중 발생할 수 있는 전자기 간섭에 대하여 보다 정확한 시험전압을 측정하기 위한 외부 noise 저감대책을 강구하여야 한다. 이에 본 논문에서는 voltage divider의 각 type 별 특성과 대전력시험중의 시험전압을 보다 정확히 측정하기 위한 고려사항 및 측적의 시험회로를 구성하여 제시하고자 한다.

2. 본 론

2.1 Voltage Divider의 종류 및 특성

Voltage divider는 저항소자, 캐퍼시터소자, 저항과 캐퍼시터의 합성으로 소자로 구성 type으로 나눌 수 있다. 이상적인 divider는

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{Z_1}{Z_1 + Z_2} \quad (1)$$

(V_1 : 입력전압, V_2 : 출력전압,

Z_1 : 입력임피이던스 Z_2 : 출력임피이던스)

임피이던스 Z_1 , Z_2 의 소자는 동일종류로 구성되어 있으

며 저항소자, 캐퍼시터소자, 인덕턴스 소자로 구성할 수 있지만 인덕턴스소자의 사용빈도는 드물다.

저항, 캐퍼시터 divider는 구성소자를 자기 또는 애피시 절연통 내부에 설치하여 고압단자와 접지단자로 구분하여 설치한다. 외부 절연물의 크기는은 대략적으로 교류전압에서는 $5m/1MV(10^6 \text{ volt} = 1000\text{kV})$ 직류전압에서는 $2.5-3m/MV$ 로 제작한다. 각 저항 및 캐퍼시터 소자는 효기적으로 차폐를 할 수 없으며 이는 전계분포특성이 외부 절연물의 구조에 의하여 장해를 받기 쉽기 때문이다. 이 전계분포는 voltage divider가 가지고 있는 주파수 특성에 영향으로 접지전위에 대한 표류캐퍼시턴스로 고려할 수 있다.

2.2 저항 Divider(Resistance divider)

저항divider의 고압부는 차폐되지 않은 저항을 사용하고 있지만 저항체로서 무유도 권선된 권선저항 및 고체 저항등을 사용하여 제작한다. 저항체의 대지표류용량, 잔류임피이던스 영향을 받기 쉬워서 저압부는 고압부와 동일 특성의 저항체를 사용하든지 또는 고압부 보다 특성이 좋은 저항체를 사용한다. divider용 금속저항선은 저항율이 크고 비자성체로 사용되는 용융온도가 높고 저항온도계수가 작고 또한 경년변화가 적어야 하는 특성을 보유하고 있는 닉크롬계의 저항선을 이용하고 있다. 이러한 형태의 저항 divider는 응답특성이 양호하지 않기 때문에 표준충격전압정도의 전압측정에 이용하고 있으며 고성능의 응답특성을 요구하고 있는 전압측정에는 사용하지 않고 있다. 고압부에 shield 전극을 설치하여 표류용량의 영향을 크게 하여 특성을 향상시킨 shield 저항 divider를 사용하여 $1,000\text{kV}$ 급의 충격전압의 측정(요구응답시간 5ns)에 사용하고 있으며 응답특성의 향상을 위하여 shield 전극 또는 저항체를 소형화하고 절연내력을 향상시키기 위하여 SF_6 gas 또는 절연유를 설치하고 있다. divider는 측정에 필요한 직각파응답 특성과 주파수 특성을 반드시 보유해야 하며 다음과 같이 표시할 수 있다.

2.2.1 직각파 응답특성

저항divider는 그림과 같은 등가회로 표시할 수 있다. 여기서 R_{dx} , L_{dx} , $C_s dx$, $C_g dx$ 는 고압부 dx 의 저항, 임피이던스, 캐퍼시턴스가 된다. divider 입력단자에 직각파 전압을 인가할 때에 응답특성을 라플라스 변환식으로 표시하면

$$\frac{L}{R} \leq \frac{1}{4} RC_s \quad (2)$$

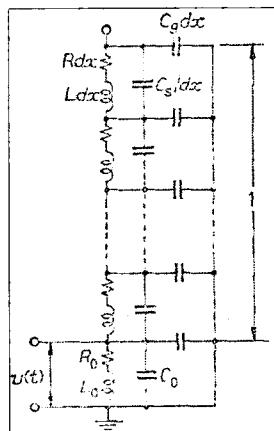
로 나타낼 수 있으며 고압부의 임피이던스는 응답시간을 증가시키므로 될 수 있는 한 임피이던스를 감소시킬 필요가 있으며 응답시간을 제로에 근접하게 접근하기 위하여 직렬용량 C_s

$$C_S = \frac{1}{6} C_g + \frac{R_0}{R} C_0 + \frac{L}{R^2} - \frac{L_0}{R \cdot R_0} \quad (3)$$

으로 된다. 저압부의 임피던스도 용답특성을 감소시키기 위하여 용답파형을 증첩시키려면 divider는 $RC_S > R_0 C_0$ 가 되기 때문에 식(2)에 따라

$$\frac{L}{R} > \frac{L_0}{R_0} \text{ 가 된다. 따라서 저압부의 전동을 방지하기}$$

위하여 저압부의 저항체는 고압부의 특성보다 양호한 것으로 사용한다.



(그림 1)

2.2.2 주파수 용답특성

주파수 용답특성은 divider 1차측에 정현파 전압을 인가 시 입력측과 출력측의 전압비로서 구해지며 주파수 특성은 용답시간과 위상특성을 고려하여야 한다.

주파수 용답 $g(w)$, 직각파용답 $u(t)$ 라면 특성간의 관계는

$$g(w) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{+\infty} u(t) e^{-j\omega t} dt \quad (4)$$

로 되며 진동성과 비진동성을 고려하여 주파수 용답특성을 계산할 수 있다.

$$u(t) = 1 - e^{-j\omega t} : \text{비진동성}$$

$$u(t) = 1 - \frac{e^{-j\omega t}}{\beta} (\alpha \sin \beta t + \beta \cos \beta t) : \text{진동성}$$

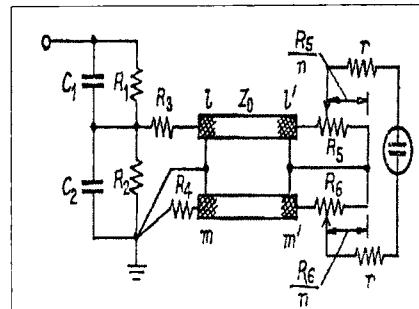
2.3 캐패시터 Divider

캐패시터 divider는 캐패시턴스의 직렬회로가 되어서 특성은 접속도체의 인덕턴스, 콘덴서의 표류용량, 잔류인덕턴스, 누설저항등의 영향을 받기 쉽다. 교류전압을 포함한 충격전압 캐페임펄스 전압등의 측정에는 문제점이 없으나 급준파 및 충격전압의 측정은 불가능하다.

2.4 저항 과 캐패시터 합성 Divider

고전압 측정에 주로 사용하고 있는 divider로서 저항과 캐패시턴스의 병렬회로로 구성되어 저항 divider의 표류용량의 영향을 보상하기 위하여 저항과 병렬로 비교적 작은용량의 콘덴서를 접속하는 형태로 제작하여 용답특성이 양호하기 때문에 재단파, 급준파측정 등에 사용하는 방식과 캐패시턴스 divider의 누설저항 영향을 보상하기 위하여 콘덴서와 병렬로 고저항을 접속하여 직류 및 충격전압의 측정이 가능할 수 있도록 다단의 저항과 콘덴서를 병렬 접속하여 1000kV 이상의 전압에서 용답특성 수 ns가 될 수 있도록 제작하는 방식으로 나눌 수 있으며 이방식은 그림2와 같이 표시되며 다음식으로 나타

낼 수 있다.



(그림 2)

$$C_1 R_1 = C_2 \frac{R_2 (R_3 + R_5)}{R_2 + R_3 + R_5} \quad (5)$$

$$R_5 = R_6 \cong Z_0, \quad (6)$$

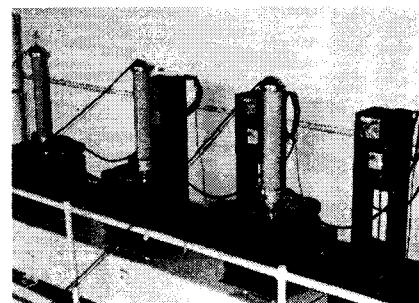
$$R_4 \cong R_2 + R_3 \cong Z \quad (7)$$

(C_1, C_2 : 보상콘덴서, R_1, R_2 : 분압저항)

저항 캐패시터 divider는 표류용량을 보상하기 위하여 저항과 병렬로 콘덴서를 접속하여 적당한 값의 제동저항과 최소값의 콘덴서를 선정하고 외부 noise에 대한 영향을 감소시키기 위하여 측정 lead의 길이를 최대한 균일하게 하도록 설치한다.

2.5 대전력시험 측정회로 구성

사진 1은 현재 대전력 시험의 전압측정에 사용하고 있는 R&C type 의 voltage divider와 측정된 2차 전압을 DAS(data acquisition system)에 보내기 위한 주파수 변조방식을 이용한 transmitter이다.

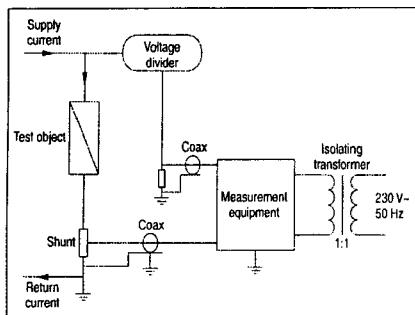


(사진 1)

그림3은 실제 대전력 측정회로에서 전압 및 전류 측정회로를 구성하는 방식으로 대전력시험회로의 전압 전류의 측정에서 가장 중요한 점은 one-point 접지를 실시하여야 한다. 다중접지를 실시할 경우 ground loop를 형성하여 전계가 기준신호에 대하여 이상 외부 signal을 발생하게 되어 정확한 측정이 어려워 진다.

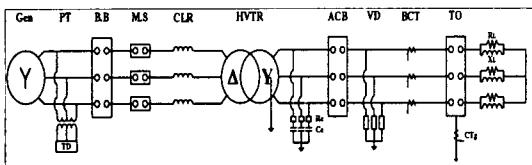
voltage divider는 주로 R&C type으로 구성되어 있으며 voltage divider 및 shunt의 2차측에서 coaxial cable 사용하여 전압 및 전류 전송장치로 연결되어서 digitizer 또는 주파수 변조방식 등을 채택하고 절연 및 외부 noise 저감을 위하여 광케이블을 사용하여 신호를 전송, DAS(data acquisition system)에서 전압 및 전류 파형을 측정하여 시험전압, 전류에 대한 과정을 분석하는 방식을 채택하고 있다. 여기서 중요한 점은 그림 3의 voltage divider, current shunt의 출력전압 전송장치의 전원은 외부 noise의 영향을 받기 쉬우므로 반드시 별도의 충전장치 또는 M-G set를 사용하여 시험의 정확도

를 기하여야 한다.



(그림 3)

현재 대전력시험회로의 시험회로는 그림4와 같이 구성하여 최대한 외부 noise를 제거한 과정으로 시험전압을 정확히 측정하여 시험결과를 분석이 가능하도록 회로를 구성하고 있다.



- VD : voltage divider
(그림 4) 대전력 시험회로

3. 결 론

대전력시험중 시험전압을 정확히 측정하기 위한 측정설비 중 가장 중요한 voltage divider에 대한 특성과 측정회로 구성을 위하여 반드시 고려해야 할 요소에 대하여 기술하였다.

정밀한 측정이 가능하도록 voltage divider를 제작하기 위하여 고려될 요소로 주파수 응답특성, 직각과 응답특성, divider 재질등에 대하여 검토하였다. 추후과제는 각 재질에 따른 정확한 전기적 특성을 연구하여 현재 거의 수입에만 의존하고 있는 voltage divider 및 출력전압 측정장치를 측정정밀도 및 소급성이 확보된 측정기기의 제작에 필요한 설계에 반영하여 대전력 시험전압의 측정에 사용하고자 한다.

[참 고 문 헌]

- [1] 原田 達哉 外 “絶縁試験法 ハンドブック” 電氣學會, pp. 124-160. 1994
- [2] Lou van der Sluis. "Transient in power system" pp. 196-202. 2001
- [3] Allan Greenwood. "Electrical transients in power system" pp. 641-648. 1990