

전파 뇌충격전압 측정용 실드저항분압기의 직각과 특성에 관한 연구

論 文
45~2~15

A Study on the Step Response Characteristics in Shielded Resistor Divider for Full Lightning Impulse Voltage

金 益 秀* · 李 亨 浩** · 曹 井 守*** · 朴 正 后***
(Ik-Soo Kim · Hyeong-Ho Lee · Jung-Soo Cho · Jung-Hoo Park)

Abstract - This paper presents the development technology of standard shielded resistor divider for full lightning impulse voltage. The ability of large-capacity power apparatus to withstand lightning stroke is usually evaluated by means of full lightning impulse voltage. Lightning impulse voltage test has been essential to evaluate the insulation performance of electrical power apparatus. Recently international standard (IEC 60) on high voltage measurement techniques is being revised and requests a formal traceability of high voltage measurements. Therefore, general interest for this area has grown considerably during last years, and several international intercomparisons have been already completed worldwide, i.e. Europe, Japan, America etc.. In this viewpoint, we have also investigated the step response of the standard shielded resistor divider, which satisfies the IEC recommendation.

Key Words : resistor divider, lightning impulse voltage, step response

1. 서 론

우리나라의 산업 발달과 경제 향상으로 전력수요는 급격히 증가하고 있으며 2000년대초에는 800kV의 송전이 실시될 예정이다. 이러한 초고전압 송전과 더불어 양질의 전력을 공급하기 위하여는 전력기기의 절연성능의 검증은 필수적이다. 전력계통의 절연성능을 시험하기 위해서는 실사용의 상용주파 전압뿐만 아니라 과도적으로 발생하는 이상전압에 대하여 전력기기 및 기타 전기공작물의 절연특성을 충분히 파악할 필요가 있다. 이러한 이상전압 발생원으로는 1선지락등에 의해 발생하는 교류성 이상전압, 차단기등의 개폐동작에 의한 개폐서지등의 내부이상전압 및 뇌격에 의한 상당히 높은 외부이상전압이 있다. 이 중 가장 문제로 되는 것의 하나는 뇌격에 의한 이상전압이므로, 시험시에는 뇌전압과 유사한 전압(이를 뇌충격전압이라 함)을 발생시켜, 각종 애자, 붓싱, 전력기기 등의 설각특성과 내전압특성을 파악하여 전력계통 절연성능에 대한 기본적인 자료의 확립 및 전기공작물의 뇌충격 전압에 대한 절연내력 시험을 행하고 있다.

이러한 뇌충격전압 시험을 정확하게 행하기 위해서는 측정기술에 대한 충분한 지식과 경험이 중요하다. 특히, 측정분야의 기술진보에 따른 분압기의 성능 및 측정精度에 더욱 엄격한 정확성을 요구하고 있다. 최근 IEC (International Electrotechnical Commission)에서는 그림1과 같이 고전압 시험기술의 국제 규

격화를 도모하도록 국가표준의 추적성 (traceability) 확보에 의한 측정 정확도를 유지하도록 하는 제도를 도입할 것을 제시하고 있다[1]. 이에 대하여 선진 외국에서는 이 규격에 바탕을 둔 분압기의 개발 및 국제간 성능비교를 수행하고 있다[2 - 4].

본 논문에서는 이러한 국제적인 추세에 대응하기 위하여 IEC에 의한 뇌충격전압의 기준 측정 시스템 (Reference Measuring System)으로서 성능을 갖는 실드 저항분압기를 설계, 제작하여 그 특성을 분석하였다.

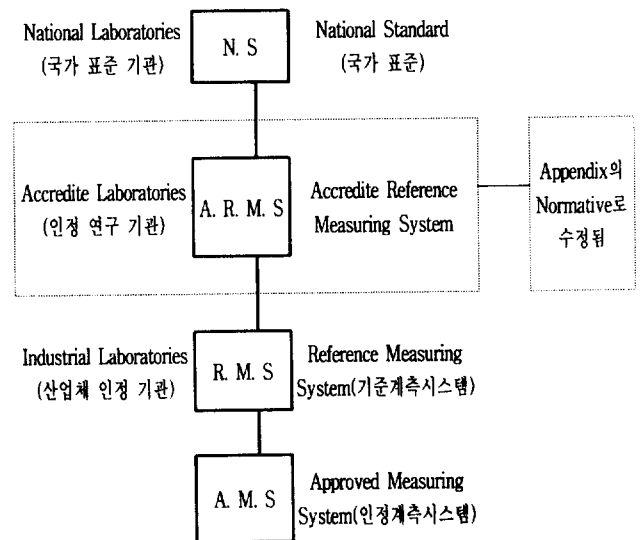


그림 1 IEC 규정에 의한 충격전압측정시스템 추적성의 구성도

Fig. 1 The traceability structure of lightning impulse measurement system according to IEC

*正 會 員 : 韓國電氣研究所 高電壓研究팀 先任研究員

**正 會 員 : 韓國電氣研究所 高電壓研究팀 팀長 · 工博

***正 會 員 : 釜山大 工大 電氣工學科 教授 · 工博

接受日字 : 1995年 7月 24日

1次 修正 : 1995年 9月 20日

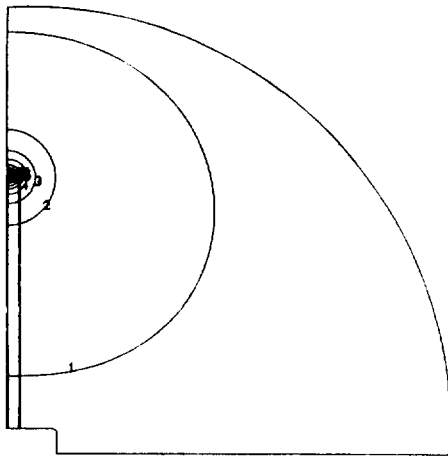
2次 修正 : 1995年 11月 30日

2. 실험장치 및 방법

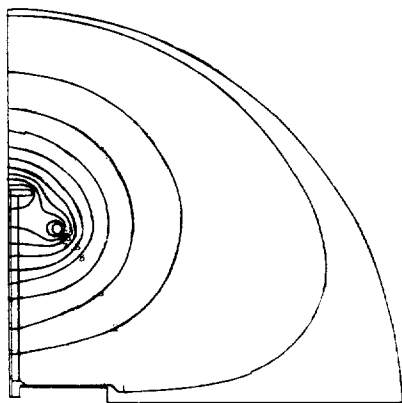
2.1 저항분압기의 기본 설계시 고려사항

뇌충격전압 기준 측정 시스템은 직각과 응답특성에 있어서 응답시간이 15ns이하이어야 하며, 측정의 대상인 전파 전압에 대하여 충분한 절연강도 및 열용량을 가져야 한다. 저항 분압기의 응답특성을 개선하기 위해서 다음과 같은 여러가지 방법이 있다[5].

- (1) 쉴드링을 갖추는 방법
- (2) 분압기의 크기를 축소시킴으로써 표류용량을 감소시키는 방법
- (3) 분압기의 저항값을 작게 하는 방법
- (4) 분압기의 직렬커패시턴스를 크게 하는 방법



(a) 쉴드링이 없는 경우



(b) 쉴드링이 있는 경우

1. 7000.01 2. 75600.1 3. 144200. 4. 212800. 5. 281400.
6. 350000. 7. 418600. 8. 487201. 9. 555801. 10. 624401.
11. 693001.

그림 2 쉴드링 유무에 따른 분압기의 전위분포

Fig. 2 The voltage distribution of divider with and without shielding ring

이들은 각각 장점과 단점을 가지고 있다. 쉴드링을 갖는 방법은 고압부의 표류용량의 영향을 적게하며, 고압부의 저항치가 높은 경우에 유효하여 뇌충격전압에 있어서 가장 일반적으로 사용되고 있다. 따라서 본 논문에서도 쉴드링을 갖는 방법을 적용하여 그 특성을 연구하였다.

그림2는 쉴드링의 유무에 따른 분압기 주변의 전위분포를 계산한 일례를 나타낸다. 그림에서 보는 바와 같이 쉴드링이 없는 경우는 고전압 인가부분에 전계가 집중됨을 볼 수 있고, 쉴드링이 있는 경우는 전계가 상당히 완화됨을 볼 수 있다. 또한, 쉴드링 아래부분의 등전위선은 대지와 거의 평형하게 되어 있으므로, 이 등전위선에 직교하여 분압기와 대지간에 존재하는 전기력선은 거의 존재하지 않게 되므로 분압기 대지용량은 극히 작게 된다.

쉴드 저항분압기의 응답특성의 근사식은 아래 식1과 같이 표현되므로[6] 이 분압기의 응답시간은, 대지용량 ≈ 0 라고 하면 고압인가선 제동저항과 쉴드링의 대지용량의 곱의 값으로 대략 정해지게 되고, 응답시간을 작게 할 수 있다.

$$T \approx rC_{sg} + (RC_g)/6 \quad (1)$$

단, r : 고압인가선 제동저항, C_{sg} : 쉴드링의 대지간 정전용량, R : 분압기의 저항, C_g : 분압기 대지간 정전용량

고압측 저항선의 권선법은 인덕턴스가 가능한 한 적도록 무유도 권선법(Ayrton-Perry 권선법)을 사용하였으며, 표피효과와 온도상승을 고려하여 높은 저항률($133\mu\Omega\text{-cm}$)과 낮은 저항-온도 계수($\pm 20 \times 10^{-6}/^\circ\text{C}$)를 갖는 저항선을 선택하였다. 저항선의 화학적 구성은 니켈70%, 크롬21%, 알루미늄3%, 망간 및 기타 6%이다. 그림3은 분압기 고압측 저항을 나타낸 것이고, 사용전압 700kV를 만족하도록 3조를 직렬로 연결하였다. 또한 저압

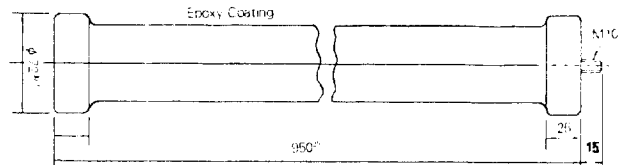


그림 3 시제작 개발된 분압기의 고압부

Fig. 3 The high voltage part of a newly developed divider

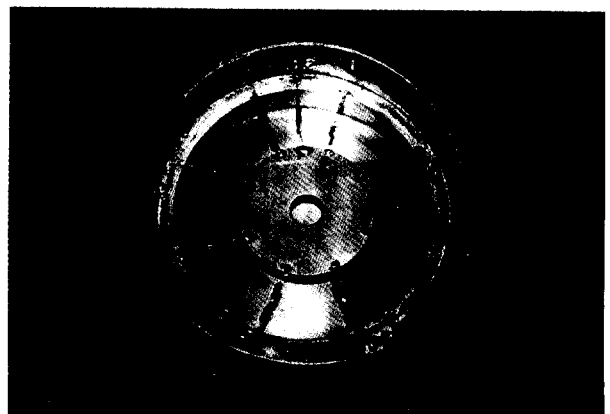


그림 4 시제작 개발된 분압기의 저압부

Fig. 4 The low voltage part of a newly developed divider

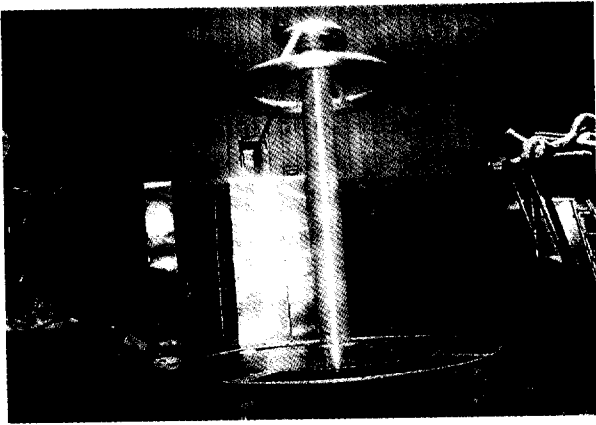


그림 5 시제작 개발된 분압기의 전경
Fig. 5 The view of a newly developed voltage divider

측은 무유도 저항을 사용하였으며, 열용량 및 내전압을 고려하여 용량 3W, 2개를 직렬로 하였다. 또한 구성은 인덕턴스를 줄일 수 있도록 각 저항을 그림4와 같이 방사상으로 설치하였다. 그림5는 본 연구에서 설계하여 제작한 분압기의 전경을 나타낸다.

2.2 제작된 분압기의 정밀성 계측

IEC규격에 의하면 기준 측정시스템의 성능확인 은 표준적 방법으로서의 직접비교시험과 확보된 기준 측정시스템이 없는 경우의 대응적 방법으로 나누어 제시하고 있다.

2.2.1 표준적 방법

기준 측정시스템으로서 만족스러운 실용성능을 갖는가의 확인은 국가적 또는 국제적 비교시험을 통하여 그 자체의 추적성이 확보된 기준 측정 시스템에 대하여 고전압에서의 비교 측정을 행하여 분압비가 0.5%이내의 오차임을 증명하여야 한다. 또한 시간의 함수 (파두장, 파미장등)에 대하여는 ±5%이내의 오차를 가져야 한다.

그런데, 현재 우리나라에서는 아직 추적성이 확보된 기준 측정시스템이 없으므로 표준적인 방법의 사용이 불가능하여 아래에 기술하는 대응적 방법을 사용하였다.

2.2.2 대응적 방법

(1) 기준 측정시스템의 분압비는 아래의 부품교정에 의한 방법으로써 0.5%이내의 오차를 입증하여야 한다.

- 부품 교정에 의한 분압비의 결정

분압비는 변환장치(예를 들면 분압기등)와 전송 시스템과 측정기기와의 분압비 곱으로 나타낼 수 있다. 즉, 분압비는 전체 입력전압/저압측 임피던스로 얻어지며 다른 하나의 방법은 동시에 측정된 입력전압/출력전압으로 얻을 수 있다. 저항 분압기에 있어서 고·저압부 저항은 낮은 직류전압을 사용하는 wheatstone bridge 또는 충분한 정확도를 갖는 ohmmeter로 측정한다.

본 논문에서 사용된 측정계기는 ±0.002%의 정확도가 있는 precision resistance measuring system(Model 242D esi)였고, 측정값은 분압기 고압부는 7957.0795Ω, 저압부는 5.0195Ω이었다.

따라서 분압기자체의 분압비는 1586.2328(공칭값:1590)이다.

(2) 전파 뇌충격전압 측정에 있어서의 IEC규격은 기준 측정시스템의 직각파응답특성이 다음의 요구조건을 만족하도록 규정하고 있다.

특성 파라메타	요구조건
실험적 응답시간 T_N	$\leq 30\text{ns}$
부분응답시간 T_a	$\leq 15\text{ns}$
정정시간 T_s	$\leq 200\text{ns}$

단, parameter의 정의는 다음과 같다(그림6 참조).

가) 실험적 응답시간 T_N

규약원점 O_1 에서 t_{\max} 까지의 응답 적분의 값

$$T_N = \int_{O_1}^{t_{\max}} (1-g(\tau))d\tau$$

나) 부분 응답시간 T_a

계단응답 적분의 최대값으로 보통 $T_a = T(t_1)$ 으로 된다.

다) 잔류 응답 시간 $T_R(t_i)$

실험적 응답시간에서 $t_i < t_{\max}$ 되는 어떤 규정시간 t_i 에서의 계단 응답 적분의 값을 뺀 값

$$T_R(t_i) = T_N - T(t_i)$$

라) 정정시간 T_s

잔류응답시간이 정정시간 T_s 의 2%이하로 되는 가장 짧은 시간(그림7 참조)

$$\left| \int_{T_s}^{T_{\max}} (1-g(\tau))d\tau \right| \leq \frac{T_s}{50}$$

마) 오버슈트 β

표준화된 계단 응답 $g(t)$ 의 1을 넘는 최대의 양으로써, 측정할 응답시간 T_X 와 부분 응답시간 T_a 의 함수로 그림 8의 빗금친 부분내에 있어야 한다.

바) 규약원점 O_1

계단응답 파두장의 가장 급준한 부분에서의 접선이 시간축과

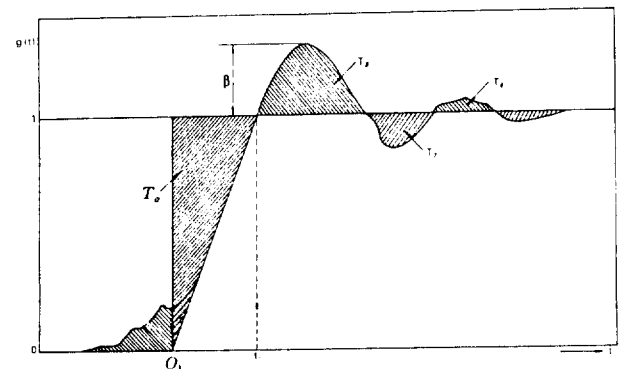


그림 6 직각파 응답파형g(t)의 응답파라메타의 정의
Fig. 6 Definition of response parameters with respect to g(t)

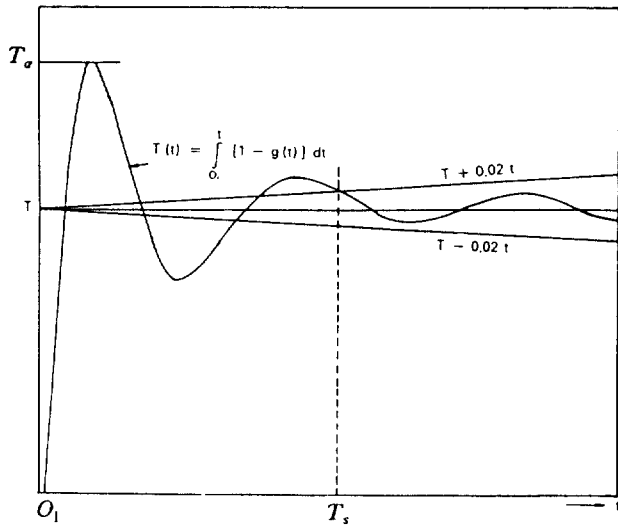


그림 7 직각과 응답특성파라메타인 정정시간 T_s 의 결정법
 Fig. 7 Definition of response parameters with respect to T_s

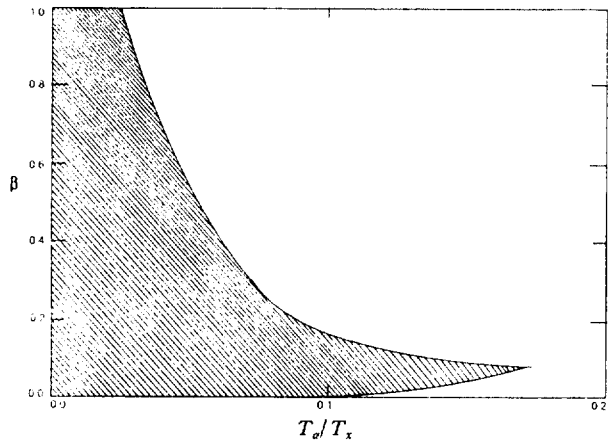


그림 8 오우버 슈트 β 와 T_s/T_x 의 허용값의 관계
 Fig. 8 Limit on β and T_s to measure T_x

만나는 점으로 파두장에 진동이 있는 경우에는 진동을 통과하는 평균 곡선을 그려서 접선을 결정한다.

2.3 교정용 직각파 펄스 발생

직각파 펄스 전압 발생은 그림9와 같은 회로에 의하여 직류 전압 또는 서서히 상승하는 충격전압이 릴레이 또는 gap에 의해 차단되도록 해야 하며 다음의 3가지 방법을 추천하고 있다.

- i) 수은 접점릴레이에 의한 방법: 수백 V
- ii) 대기압에서 수mm간격의 공기중의 평동갭: 수십 kV
- iii) 고기압에서 수mm간격의 평동갭: 수십 kV

본 논문에서는 i)의 방법을 택하였으며, 직각파 전압 발생기는 그림10과 같이 설계하여 제작하였다.

그림11은 이 제작된 기기의 발생파형을 오실로스코프(bandwidth:500MHz)로 측정한 파형이다. 오실로스코프에 의해 측정된 파형과 실제의 발생파형과의 관계는 다음 식(2)로 표시되므로[7] 발생파형의 파두장은 4.38ns이었다.

$$t_s = \sqrt{t_0^2 + t_p^2} \tag{2}$$

단, t_s 는 오실로스코프상 관측된 파형의 상승시간,
 t_0 는 오실로스코프의 상승시간($B(\text{GHz}) \times t_0(\text{ns}) = 0.35$ 의 관계식에서 구해 짐.)
 t_p 는 피측정펄스의 상승시간

직각파 응답 측정에 있어서의 회로는 일반적으로 그림12와 같은 3가지가 추천되어 있으나, 본 논문에서는 가장 일반적으로 사용하고 있는 그림12a)를 사용하였고, 직각파 전압 발생기는 접지의 영향이 적도록 금속피의 폭이 1m이상인 곳에 설치하여 인가토록 하였다.

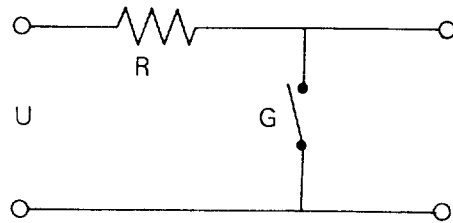


그림 9 직각파 전압 발생의 회로도
 Fig. 9 A circuit for step voltage generation

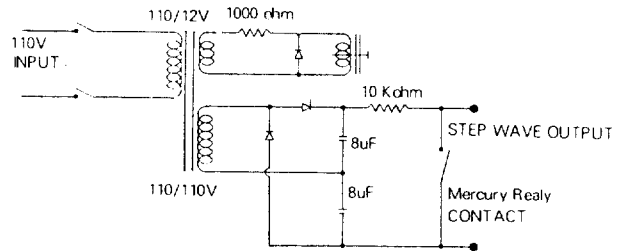


그림 10 직각파 전압 발생기의 설계도(수은 릴레이 접점 사용)
 Fig. 10 A drawing of step wave generator(using Mercury relay contact)

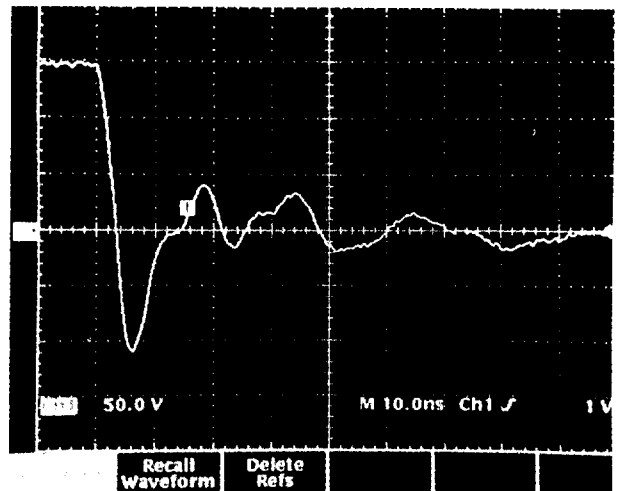


그림 11 발생된 직각파형
 Fig. 11 Generated step wave

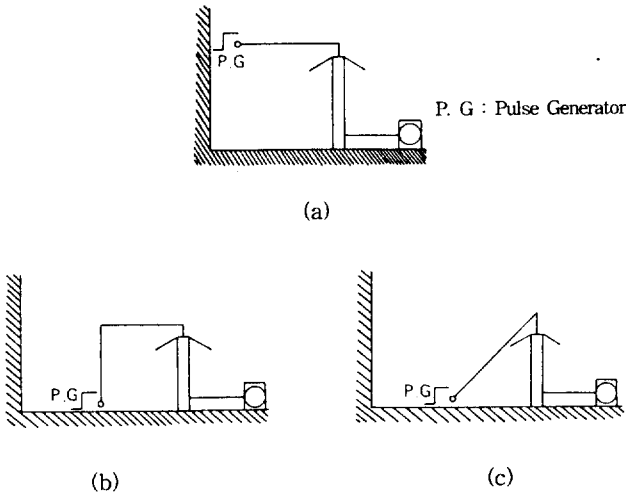


그림 12 직각과 응답 측정방법 (IEC 추천방법)
 Fig. 12 Step response measurement for voltage measurement systems (according to IEC)

3. 특성평가

개발된 쉴드 저항분압기는 700kV까지 사용토록 고압부의 내전압 성능을 갖도록 하였고, 700kV 충격 내전압시험을 행하여 절연성능을 확인하였다. 특성 평가는 그림13과 같은 측정시스템을 구성하여, 앞에서 언급된 직각과 발생기기를 사용하여 직

표 1 측정케이블의 제원

Table 1 The characteristics of measuring cable

케이블명	5C 2W
케이블 길이	15 m
케이블의 공칭 특성 임피던스	75 Ω

회로소자값

소자	R _H	R _L	R _M	R _{t1}	R _{t2}	R _{t3}	R _{t4}
값(Ω)	7957.08	5.02	69.63	59.39	15.06	60.24	74.76

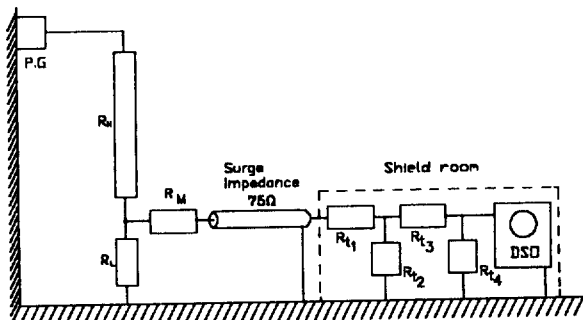


그림 13 직각과 응답특성시험의 회로
 Fig. 13 The test circuit of step response characteristics

표 2 시제작 개발된 쉴드 저항분압기의 직각과 응답 특성값

Table 2 The characteristics of developed shielded resistor divider using step wave method

특성파라메타	IEC규정값 (전파의경우)	개발품의 특성값
T _a	≤ 30ns	27ns
T _N	≤ 15ns	14ns
T _s	≤ 200ns	120ns

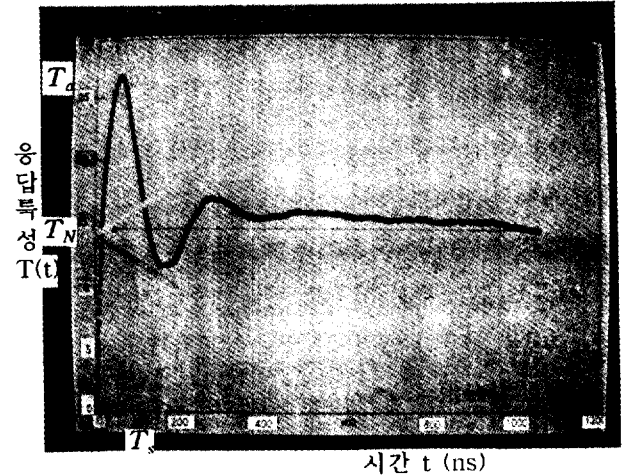


그림 14 시제작 개발된 분압기의 직각과 응답특성
 Fig. 14 Step response characteristics of developed shielded resistor divider

각과를 인가하고, 디지털 오실로스코프(Tek. TDS620 : 8bit, 2GSamples/sec)로 응답특성을 측정, 평가하였다. 측정에 사용된 케이블의 제원은 표1과 같으며, 사용케이블의 직각과에 대한 반사,투과에 의한 응답특성의 왜곡을 피하기 위하여 임피던스 정합을 하였다. 그림14는 분압기의 직각과 응답특성의 결과를 나타내며, 이를 정리하면 표2와 같다. 이는 IEC의 기준 측정시스템으로서의 규정치를 만족하는 값이었다.

4. 결 론

뇌충격전압 측정에 있어서 IEC개정안에 따른 특성을 가지는 측정시스템의 개발에 관한 연구를 시행하여 다음의 성과를 얻을 수 있었다.

(1) 전파 뇌충격전압 측정용 쉴드 저항분압기의 전계해석을 통하여 내전압 및 응답특성이 양호한 형상을 설계가능케 하였다.

(2) 뇌충격 전압측정시스템의 평가에 필요한 직각과 발생기기는 수은 접점릴레이를 사용하여 파두장이 5ns이하의 펄스를 발생토록 설계,제작하였다.

(3) 제작된 분압기의 특성은 부분응답시간이 27ns, 실험적 응답시간이 14ns, 정정시간이 120ns로 되었다. 이는 IEC의 전파 뇌충격전압측정의 기준 측정시스템으로서의 특성을 만족하였다.

본 연구는 과학기술처에서 시행한 특정 연구개발 사업의 연구결과의 일부입니다

참 고 문 헌

[1] Draft IEC standard IEC 60-2, High Voltage Test Techniques Part 2 : Measuring Systems, IEC TC 42(Secretariat) 82, 1992
 [2] M. Aro et al., "Intercomparison of Impulse Voltage Measuring Systems at 600kV Level Experience and Practical Problems" 8th ISH 50.03, 1993

[3] F. Perhaps et al., "Calibrating HV Impulse Dividers in Industrial Laboratories", 8th ISH 50.04, 1993
 [4] 石井外 1人, "100kV級 雷インパルス電壓による分壓器の國內持ち回り比較試験" 電氣學會 論文誌 B, 電力エネルギー部門誌 vol. 114-B, pp. 91-97, 1994
 [5] 電力中央研究所, "衝擊電壓測定用抵抗分壓器の高性能化に關する研究(第4報)", 技術研究所報告(電力63005), 1963
 [6] 電氣學會絶縁試験法ハンドブック改訂委員會編, 高電壓試験ハンドブック, 日本電氣學會, 1983, pp 172
 [7] 山中英夫, パルス計測の基礎と應用, 産報, 1972, pp. 81-82.

저 자 소개



김익수 (金益秀)

1957년 9월 20일생. 1981년 부산대 공대 전기공학과 졸업. 1983년 2월 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1994년 - 현재 동 대학원 전기공학과 박사과정 재학중. 1983년 8월 - 현재 한국전기연구소 고전압연구팀 선임연구원



조정수 (曹井守)

1935년 12월 21일생. 1961년 서울대 공대 전기공학과 졸업. 1976년 부산대 대학원 전기공학과 졸업(공학). 1983년~84년 미국 Oregon Univ. 교환교수. 현재 부산대 공대 전기공학과 교수



이형호 (李亨浩)

1953년 3월 16일생. 1976년 서울대 전기공학과 졸업. 1988년 2월 영남대 전기공학과 졸업(석사). 1993년 3월 일본 구주대 전기공학과 졸업(공학). 1980년 2월 - 현재 한국전기연구소 고전압연구팀장



박정후 (朴正后)

1945년 4월 8일생. 1968년 부산대 공대 전기공학과 졸업. 1974년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1980년~83년 일본 구주대학 대학원 졸업(공학). 현재 부산대 공대 전기공학과 교수