충격전류용 shunt의 직각파 특성

김익수, 김민규, 허대행
한국전기연구원

Step Response Characteristics of Shunts for Impulse Current

I. S. Kim, M. K. Kim and D. H. Huh
KERI

Abstract - This paper represents the step response characteristics of shunts for impulse current. This work is aimed at the development of the reference measuring system(RMS) for impulse current rated 10 kA at 1/20 ㎲, 100 kA at 4/10 ㎲, 20 kA at 8/20 ㎲, 40 kA at 30/80 ㎲. According to the IEC 60060-2, the step response characteristics was assessed. As results of the test, the step response characteristics of newly developed shunts for impulse current satisfied requirements of RMS.

1. 서 론

우리나라 전력계통에서는 각종 서지에 대한 전력설비의 보호를 목적으로 피뢰기를 적용하고 있고 양질의 전력을 안정적이고 신뢰성 있게 공급하기 위해서는 송배전선로, 발·변전용, 전철 등에 사용되는 피뢰기에 대한 성능평가가 필수적이다.

IEC 60060-1, IEC 60099-4 등 국제규격에서는 피뢰기에 대한 충격전류시험 시 파형을 충격전류의 시간 parameter에 따라 지수함수 충격전류(Exponential Current Impulse) 및 방형파 충격전류(Rectangular Current Impulse)로 분류하고 있다.

이러한 충격전류는 극히 단시간에 최대치까지 상승하고, 또 단시간에 0으로 감쇄하는 과도전류이므로, 충격전류 특성평가를 정확하게 하기 위해서는 측정분야에 대한 충분한 지식과 경험이 요구된다.

성능평가 및 측정에 있어서 측정 정확도를 가지기 위해서는 국제 또는 국가 표준으로의 소급성(Traceability)이 필수적이다. 소급성을 나타내는 표준적인 방법은 기준측정시스템과의 상호비교시험을 통하여 불확도(Uncertainty)를 나타내는 것이다.

IEC에서는 기준측정시스템(Reference Measuring system, RMS)을 갖추지 못하여 상호비교시험을 할 수 없는 경우, 대용적인 방법으로서 직각파 응답특성에 의한 각종 파라미터를 측정, 분석하도록 언급하고 있다.

본 논문에서는 시제작 된 4종류의 충격전류 shunt에 대하여 대용적인 방법인 직각파 응답특성을 서술한다.

2. 본 론

피뢰기의 성능평가를 위한 충격전류시험에 있어서 충격전류 측정용으로 범용적인 변류기(Current transformer) 또는 Rogowski coil이 사용되고 있으며, 기준측정시스템용은 분류기(Shunt)가 사용되고 있다.

2.1 충격전류용 shunt

충격전류용 shunt는 원통형과 판형 2종류가 있으나, coaxial tubular design은 서지전류 측정에 있어서 다른 design과 비교하였을 때 아래와 같은 우수함을 나타낸다.

① 넓은 주파수 범위에 걸쳐서 impedance가 일정하다.
② 서지발생기의 전류가 흐르는 부분들에서 최소 inductive pick-up을 확신할 수 있는 구조이다.
③ 서지발생기에서 접지 연결위치에 있어 가장 자유로움을 줄 수 있다.

따라서 본 연구에서는 coaxial shunt를 채택하였으며, 국제규격을 만족하기 위하여 1/20 ㎲(10 kA), 4/10 ㎲(100 kA), 8/20 ㎲(20 kA), 30/80 ㎲(40 kA)의 4종류의 shunt를 구축하였다.

2.2 직각파 응답특성 평가 방법

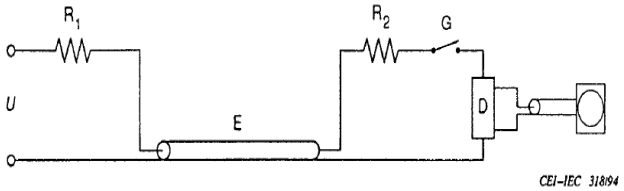
IEC 60060-2는 다음의 2가지 특성평가 방법을 제시하고 있다.

① 기준 시스템과의 비교시험에 의한 특성평가
② 직각파 응답시험에 의한 특성평가

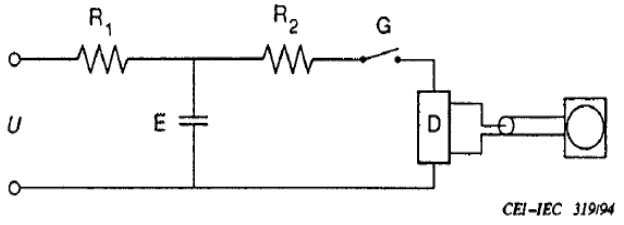
IEC 60060-2는 ①의 방법을 표준적 방법으로 추천하고 있으며, ②의 방법은 기준시스템을 갖추지 못하여 ①의 방법을 시행할 수 없는 경우에 사용토록 하는 대용적방법이다.

2.2.1 직각파 응답특성 평가법

IEC 60060-2에서 추천하는 직각파 응답특성 시험은 그림 1 (a) ~ (b)와 같이 회로를 구성하여 수행한다. 그림 1의 경우 전압 U는 일반적으로 수백 V의 직류전압전원, G는 수은릴레이로 이루어진다. 직각파 전류는 측정시스템에 직류전압을 인가한 상태로 수은 릴레이를 단락접지 시키면 발생되며, 접지로는 동판을 사용한다.



(a)



(b)

<그림 1> 충격전류 측정시스템에 대한 직각파 응답 시험회로도

직각파전류를 분류기(shunt)에 인가하여 측정되는 파형으로부터 다음과 같이 응답 파라미터를 분석함으로써 분류기(shunt)의 동특성을 파악할 수가 있다.

(1) 응답 파라미터

직각파 전류가 측정시스템의 입력단에 인가되었을 때 시간의 함수로서 나타나는 출력을 직각파 응답 $G(t)$라고 하며, 응답 파라미터는 다음과 같이 정의된다.

① 기준 레벨 I_R(Reference level)

공칭측정 시간 폭 내에서 직각파 응답의 평균치

② 직각파 응답의 규약원점

직각파 응답의 파두부분에서 경사가 가장 급격한부분에 그은 접선과 시간 축과의 교점을 말하며, 파두에 진동이 있는 경우에는 진동의 평균곡선을 그어서 그에 대한 접선을 그어서 정한다. 접선을 그을 때 초기 왜곡은 무시하며, 모든 시간 양은 규약원점으로부터 측정한다.

③ 정규화 직각파 응답 $g(t)$(Normalized step response)

기준 레벨이 1이 되도록 정규화한 직각파 응답을 말한다.

④ 직각파 응답 적분 $T(t)$(Step response integral)

다음 식(1)로 주어지는 적분을 말한다.

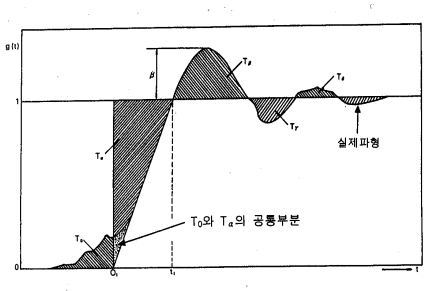
$$T(t) = \int_{O_1}^{t} \{1 - g(t)\}dt \quad (1)$$

$g(t)$의 처음부분은 O_1을 결정하기 위해 그은 직선을 사용한다.

⑤ 부분응답 시간 T_a(Partial response time)

직각파 응답의 최대치이고 일반적으로 $g(t)$가 최초로 1에 도달하는 시각을 t_1이라고 하며, 식(2)로 나타낸다.

$$T_a = T(t_1) \quad (2)$$



〈그림 2〉 정규화 된 직각파 응답파형과 응답 파라미터

(2) 기준 측정시스템의 요구조건

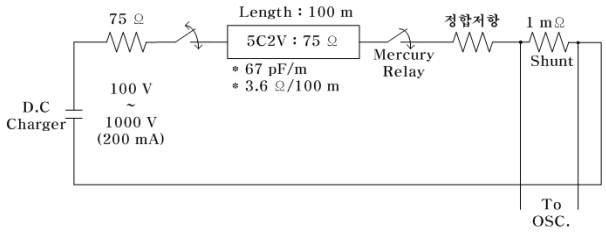
IEC 60060-2에서는 기준측정시스템으로서의 특성은 비교시험의 대체법으로 적용되는 직각파 응답특성시험에서 응답파라미터는 표 1을 만족할 것을 추천하고 있다.

〈표 1〉 기준측정시스템에서 요구되는 응답 파라미터

파라미터		충격전류	비고
실험응답시간(ns)	T_N	-	
안정화 시간(ns)	t_s	-	
부분응답시간(ns)	T_a	0.1 T_1 이하	1/20 μs : 100 ns 이하 4/10 μs : 400 ns 이하 8/20 μs : 800 ns 이하 30/80 μs : 3 μs 이하
초기왜곡시간(ns)	T_0	-	

2.2.2 직각파 발생

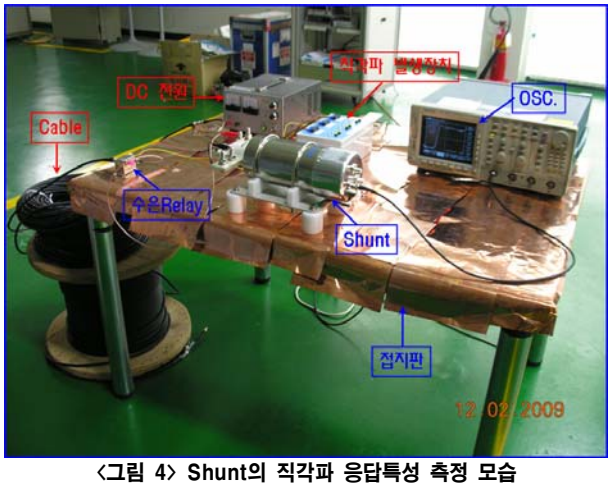
실제로 설계한 직각파 발생회로는 그림 3과 같다. T_a가 100 ns 이하이므로 수은접점을 사용한 인가 파형은 100 ns의 1/10 = 10 ns 이하이면 직각파특성 파악에 충분한 것으로 사료된다. 본 연구에서는 SANYU사의 UCL-C 1224S의 수은접점릴레이를 이용하여 1 ns이하의 인가파형을 발생하였다.



〈그림 3〉 Step current generator

2.3 Shunt의 직각파 응답특성

그림 4는 충격전류용 Shunt의 직각파 응답특성을 측정하는 모습이며, 구축한 4종에 대하여 직각파 응답특성을 평가한 결과, 응답시간(T_a)은 표 2와 같다.



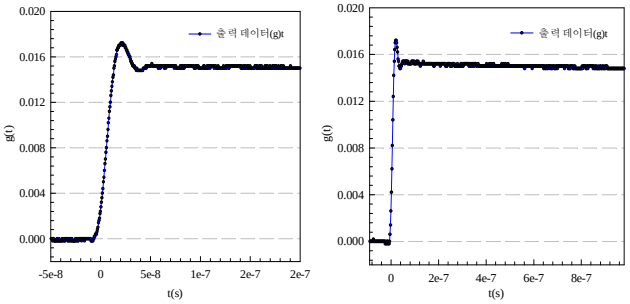
〈그림 4〉 Shunt의 직각파 응답특성 측정 모습

〈표 2〉 Shunt의 직각파 응답특성 결과

Shunt의 종류	IEC규격의 기준측정시스템으로서의 요구조건(T_a)	특성평가 결과	
		75 Ω 정합저항 有	75 Ω 정합저항 無
4/10 μs 용 : 5.60 mΩ	400 ns 이하일 것	11 ns	13 ns
1/20 μs 용 : 2.27 mΩ	100 ns 이하일 것	10 ns	13 ns
8/20 μs 용 : 2.00 mΩ	800 ns 이하일 것	9 ns	12 ns
30/80 μs 용 : 1.0 mΩ	3,000 ns 이하일 것	70 ns	22 ns

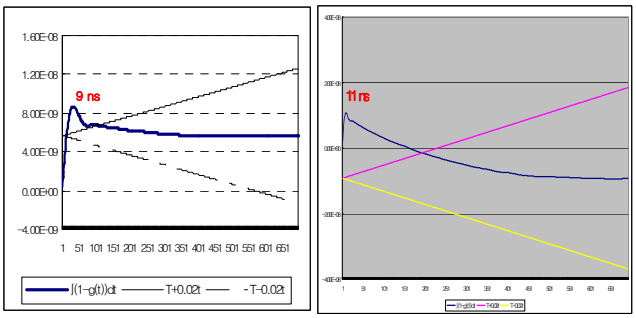
이들 값은 IEC규격의 기준 측정시스템에서 요구되는 표 1의 값을 모두 만족하였다.

그림 5는 4/10 μs용 shunt에 대한 직각파 응답 파형의 일례를 나타내며, 그림 6은 IEC 규격에 따라 평가한 부분 응답시간(T_a)을 계산한 결과이다.



(a) 25 ns/div. 인 경우 (b) 100 ns/div. 인 경우

〈그림 5〉 4/10 μs용 shunt의 직각파 응답특성 파형의 일례



(a) 25 ns/div. 인 경우 (b) 100 ns/div. 인 경우

〈그림 6〉 4/10 μs용 shunt의 응답시간(T_a) 계산의 예

3. 결 론

충격전류의 국가표준 측정기술개발에 관한 연구를 수행하여 IEC 60060-2에 적합한 특성을 갖는 충격전류용 shunt를 제작 하였으며, IEC규격의 충격전류 조건인 1/20 μs(10 kA), 4/10 μs(100 kA), 8/20 μs(20 kA), 30/80 μs(40 kA)의 4종류 shunt를 확보하여 측정정확도를 개선할 수 있는 발판을 마련하였고, IEC 60060-2의 언급한 직각파 응답특성을 실시하였으며, 그 결과 기준측정시스템(Reference Measuring system)으로서의 기준을 만족하고 있음을 확인하였다.

감사의 글

본 논문은 지식경제부에서 시행한 전력산업인프라구축사업의 지원을 받아 수행한 연구임.

[참 고 문 헌]

[1] IEC 60060-2 "High-Voltage Test Techniques Part 2: Measuring Systems", 1994. 1.
[2] 山中英夫, "パルス計測の基礎と應用", 電子科學シリズ 44, 1972.
[3] John H. Park, "Shunt and Inductors for Surge current Measurements", U.S. Department of Commerce Nation Bureau of Standards Volume 99, 1947. 9.