

직류분전류를 포함한 과전류에 대한 변류기의 출력특성

정홍수 · 나대열 · 김선구 · 노창일 · 김원만 · 이동준  
한국전기연구원

Output performance of current transformer on over-current

Heung-Soo Jung, Dae-Ryeol La, Sun-Koo Kim, Chang-il Roh, Won-Man Kim, Dong-Jun Lee  
KERI

**Abstract** - The current transformer is used for the insulation of measuring instrument, enlargement of measurement scope, standard-ization of measuring instrument, control of protective device. It's required various perfor- mance as the intention of service, site of establishment, insulation. especailly, current transformer has small ratio errors. if current transformer has large ratio error, it's caused a electricity failure. so in this paper, we examine the theory of current transformer, major factor of errors, output performance on over-current.

권선은 선로에 직렬 접속되기 때문에 선로전류가 1차 전류가 되며, 이 1차 전류는 2차측에 연결된 부담을 통하여 흐르는 2차 전류  $I_s$ 와 철심을 여자시키기 위한 여자 전류  $I_e$ 로 나누어진다. 2차 단자에는 부담  $Z_b$ 가 연결되어 있으므로 2차 전류와 부담의 곱에 해당하는 2차 전압  $E_s$ 이 유기된다. 이 전압을 유기하기 위한 자속  $\Phi$ 가 철심을 통하여 2차 전압과 평형을 유지하는데, 부담이 증가하게 되면 2차 전압이 커지고, 철심의 자속이 증가하게 되므로 자속을 유지하기 위한 여자전류도 증가한다. 즉 철심을 여자시키기 위한 여자전류는 변류기의 1차 전류를 변류비에 비례한 2차 전류로 변성하는데 오차로서 작용을 한다. 이 여자전류는 2차 전압과 같은 성분인 철손전류  $I_i$ 와 자속과 같은 성분인 자화전류  $I_m$ 으로 나누어진다. 2차 전류  $I_s$ 와 여자전류  $I_e$ 의 벡터합인  $I_b$ 가 실제적인 1차 전류가 되며, 변류비를  $K_n$ 라고 한다면, 변류기의 비오차  $\epsilon$ 는

1. 서 론

변류기는 전기회로의 대전류를 각종 측정기기 및 제어 기기에 적합한 소전류로 변성하는 기기로서, 측정기기의 절연, 측정범위의 확대, 측정기기의 표준화, 정밀측정, 각종 보호기기의 제어에 사용하며, 용도(계기용, 계전기용, 계량기용), 설치장소(옥내용, 옥외용), 절연방식(에폭시 절연형, 유입형, 가스 절연형)등에 따라 다양한 특성이 요구된다. 이러한 변류기는 오차가 적어야 하는데, 만약 변류기의 오차가 크면, 계기의 지시가 불확실해지고, 보호기기의 오동작 및 부동작으로 큰 전기사고로 확대될 수 있다. 본 논문에서는 변류기의 원리, 변류기의 주된 오차원인, 특히 직류분전류가 포함된 과전류영역에서의 출력특성 및 그에 따른 사용상의 주의점에 대해서 살펴본다.

$$\epsilon = \frac{K_n I_s - I_p}{I_p} \times 100 (\%)$$

가 되며, 위상각 오차는  $\delta$ (분)이 된다. 변류기의 오차는 주로 여자전류에 의한 오차이며, 특히 계기용변류기는 정격전류이하의 소전류영역에서 오차가 중요한데, 정격전류보다 실제전류가 작아질수록 1차 전류에 비해 여자전류가 상대적으로 커지므로 오차는 증가한다. 이러한 여자전류는 주로 철심의 재질과 구조에 많이 좌우된다. 이렇듯이 변류기의 오차를 결정하는 요인은 주로 여자전류가 되고, 오차가 적은 정밀한 변류기를 제작하기 위해서는 여자전류를 감소시키는 것이 중요하며, 변류기의 여자전류를 감소시키기 위해서는 자속밀도를 적게 하여야 한다. 그러므로 철심의 단면적을 크게 하거나, 1차 및 2차 권선 횟수를 크게하여 암페어턴(AT)의 값을 크게하여야 한다. 보호용 변류기는 과전류 영역에서 여자전류에 의한 오차로 특성을 규정하지만, 그 외에도 고려하여야 할 사항이 있다. 첫째 잔류자속에 의한 오차인데, 이는 전류의 통전과 휴지가 반복될때 철심의 히스테리시스현상으로 인한 오차이다. 즉 전류가 끊어지는 시점에 철심에 잔류자속이 남고 이 잔류자속이 완전히 감자되기 전에 다시 전류가 통전되기 시작하면 전류통전초기에 큰 오차가 발생하게 된다. 둘째는 전류 통전시 직류분전류가 포함된 과전류가 통전시 철심의 포화현상에 의한 오차이다. 이는 수십배의 과전류영역이 아닌 정격전류의 수배의 과전류영역에서도 발생한다.

2. 본 론

2.1 변류기의 원리

변류기(current transformer)는 철심에 통하는 자속을 매체로 하여 변류기의 1차측에 흐르는 선로의 대전류를 변류비에 비례한 소전류로 변환시키는 자속기기로서, 등가회로는 그림 1과 같으며, 벡터도는 그림 2와 같다.

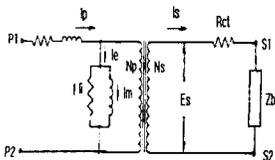


그림 1 등가회로도

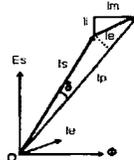


그림 2 벡터도

등가회로도 및 벡터도에서 알 수 있듯이 변류기의 1차

2.2 계기용 변류기

IEC, ANSI를 비롯한 각종 규격에서는 변류기를 사용 목적상 계기용 변류기(measuring current transformer)와 보호용 변류기(protective current transformer)로 구분하여, 각각의 요구 특성을 규정하고 있다. 계기용 변류

기는 정상상태에서의 전류를 정확하게 측정하기 위한 용도로 사용하며, 그 요구특성에 따라 IEC 규격에서는 정밀용, 특수용 및 일반용으로 분류하는데, 정밀용(0.1급, 0.2급, 0.5급, 1.0급)은 정격 전류 I의 5%-120%까지의 전류에 대한 오차를, 특수용(0.2s급, 0.5s급)은 정격 전류의 1%-120%까지의 전류에 대한 오차를, 일반용(3.0급, 5.0급)은 정격 전류의 50%-120%까지의 전류에 대한 오차를 규정하며, ANSI 규격에서는 정격전류의 10%-100%까지의 전류에 대한 오차를 0.3급, 0.6급, 1.2급으로 규정한다. 그리고 IEC 규격에서, 과전류영역에서의 특성을 규정하는 계기안전계수(FS)를 규정하는데 이는 과전류영역에서 변류기의 2차측부담에 유기되는 전압이 부담으로 사용되는 계기등의 내전압치보다 높아지는 것을 방지하여 계기를 보호하기 위함이며 다음 식을 만족하여야 한다.

$$\frac{I_{exc}}{I_{sn} FS} \times 100 \geq 10 (\%)$$

$I_{exc}$  : 여자전류

$I_{sn}$  : 정격2차전류

FS : 계기안전계수

오차 표시 예 : 1.0FS10 (정밀용, 정격전류의 120%이하의 전류에서 오차는 1.0%이며, 10배의 과전류영역에서 종합오차는 10%이상임)

### 2.3 보호용 변류기

보호용 변류기는 단락 또는 지락사고 발생시 사고 전류를 검출하여 차단기와 같은 보호기기를 동작시키기 위하여 사용하며, 정격전류 및 사고전류(보통 정격전류의 수배-수십배의 과전류)에서의 성능을 과도계수 및 오차계급으로 표시하는데 계기용보다 오차의 범위가 크며, 요구 특성에 따라 IEC규격에서는 5종류(P급, TPS급, TPX급, TPY급, TPZ급)로 구분하며, ANSI 규격에서는 C급(C100-C800)과 T급(T100-T800)으로 구분한다.

보호용 변류기는 그 사용목적상 정격전류이하의 소전류 영역에서의 오차특성은 크게 중요하지 않고 정격전류의 수십배 영역에서의 오차를 표시한다.

오차 표시 예 :

IEC 규격 : 5P10 (보호용, 10배의 과전류영역에서 종합 오차가 5%이하임)

ANSI 규격 : C100 (누설자속이 오차에 영향을 미치지 않는 구조로서, 20배의 과전류영역에서 종합오차가 10% 미만이며, 2차단자전압(5A 기준)이 800V이상임)

### 2.4 변류기 출력특성

일반적인 변류기의 출력특성을 직접 살펴보기 위하여 대표적인 변류기 정격을 관통형, 1000-500-250 : 5 A 0.5 급 25VA 60Hz 에폭시몰드절연형을 선정하여 과전류영역에서 변류기의 특성을 측정하기 위하여 변곡점(knee point)를 측정하였다.

#### 2.4.1 1000 : 5 A 전류탭

피시품 번호	측정방법	ANSI/IEEE 45°	ANSI/IEEE 30°	IEC/BS
#1	여자전류	54.8	67.0	73.6
	단자전압	154.5	179.6	188.4
#2	여자전류	46.6	61.6	77.3
	단자전압	142.3	176.5	195.1
#3	여자전류	54.2	66.7	77.3
	단자전압	151.0	176.0	188.0

단위 : 여자전류 mA, 단자전압 V

#### 2.4.2 500 : 5 A 전류탭

피시품 번호	측정방법	ANSI/IEEE 45°	ANSI/IEEE 30°	IEC/BS
#1	여자전류	108.3	133.1	148.1
	단자전압	75.6	88.9	93.7
#2	여자전류	93.8	121.9	159.2
	단자전압	70.7	87.2	97.5
#3	여자전류	107.2	131.5	154.6
	단자전압	73.8	86.8	93.2

단위 : 여자전류 mA, 단자전압 V

#### 2.4.3 250 : 5 A 전류탭

피시품 번호	측정방법	ANSI/IEEE 45°	ANSI/IEEE 30°	IEC/BS
#1	여자전류	217.6	264.6	측정 불가능
	단자전압	38.0	44.3	
#2	여자전류	188.7	243.7	
	단자전압	35.1	43.2	
#3	여자전류	215.4	261.6	
	단자전압	37.2	43.2	

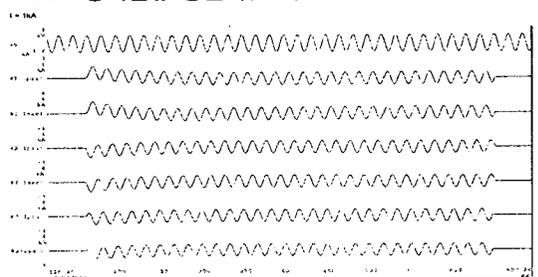
단위 : 여자전류 mA, 단자전압 V

변곡점 측정결과 3대의 변류기 모두 IEC 규격을 따르면, 가장 큰 전류탭을 기준으로 5P10의 기준에 적합하며, ANSI 규격을 따르면, 다중탭인 경우, 가장 큰 전류탭에서의 성능을 규정하므로, 상기 제품은 C100의 기준에 적합하다.

### 2.5 직류분을 포함한 전류에 대한 변류기 출력

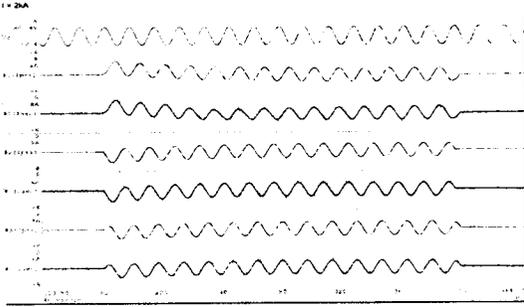
다음의 오실로그램은 특성이 동일한 위 3대의 피시품을 3상으로 결선하여 시험하였을 때 변류기의 출력특성이다. 변류기 1차측에 흐르는 전류는 로고스키코일을 사용하여 측정하였으며, 변류기 2차측 출력전류는 분류기통하여 전압으로 환산하여 측정하였다.

#### 2.5.1 정격전류 통전시(1kA)



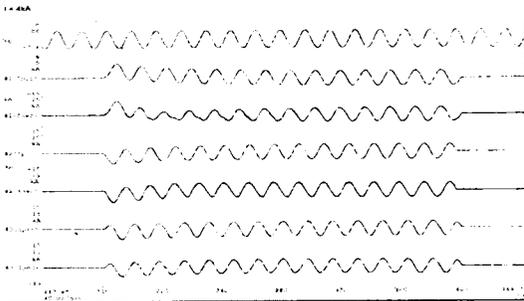
	#1		#2		#3	
	1차측	2차측	1차측	2차측	1차측	2차측
초기파고전류(kAp)	2.86	2.71	2.27	2.24	1.96	1.95
실효치전류(kA)	1.04	1.00	1.01	1.01	1.03	1.01
통전시간(sec)	0.485					
I <sup>2</sup> t (kA <sup>2</sup> s)	548	532	533	523	517	498

### 2.5.2 정격전류의 2배의 전류 통전시 (2 kA)



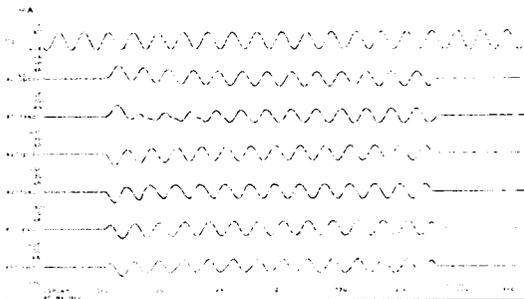
	#1		#2		#3	
	1차측	2차측	1차측	2차측	1차측	2차측
초기파고전류(kAp)	5.68	5.58	4.47	4.64	3.94	4.10
실효치전류(kA)	2.05	1.96	2.02	1.99	2.02	1.98
통전시간(sec)	0.239					
$I^2t$ (MA <sup>2</sup> s)	1.26	1.01	1.06	1.04	0.99	0.96

### 2.5.3 정격전류의 4배의 전류 통전시 (4 kA)



	#1		#2		#3	
	1차측	2차측	1차측	2차측	1차측	2차측
초기파고전류(kAp)	11.1	10.8	9.17	9.43	7.80	8.10
실효치전류(kA)	4.20	3.98	4.17	4.11	4.18	4.06
통전시간(sec)	0.239					
$I^2t$ (MA <sup>2</sup> s)	4.99	3.35	4.39	4.22	4.10	3.81

### 2.5.4 정격전류의 8배의 전류 통전시 (8 kA)



	#1		#2		#3	
	1차측	2차측	1차측	2차측	1차측	2차측
초기파고전류(kAp)	21.3	17.8	17.4	17.2	15.4	15.5
실효치전류(kA)	8.42	8.03	8.45	8.31	8.43	8.13
통전시간(sec)	0.222					
$I^2t$ (MA <sup>2</sup> s)	17.6	11.5	15.9	15.4	15.0	13.1

### 3. 결 론

초기 직류분전류가 최대인 R상에 접속된 변류기에 대하여 그 최대전류값인 1000:5A를 기준으로 실효치전류에 대한 직류분전류 비와 출력오차는 아래의 표와 같다.

시험전류(kA)	초기직류분전류 실효치전류	출력오차 (%) ( $I^2t$ 기준)
1	2.75	-2.9
2	2.77	-19.8
4	2.64	-32.8
8	2.52	-34.6

상기 표에서 전체 통전시간에 걸친 출력오차는 정격전류의 2배의 전류(2kA) 통전시에 약 -20%의 출력오차가 발생하였고, 4kA, 8kA 통전시 -30%이상의 출력오차가 발생하였다. 이 출력오차는 전체 통전시간에 대한 오차이므로 파형의 왜곡현상이 발생한 순간의 출력오차는 훨씬 더 크다는 것을 알 수 있다. 그리고 실효치전류는 크지만, 상대적으로 실효치전류에 비해 직류분 전류가 작은 S상 및 T상에 접속된 변류기들은 포화현상이 거의 발생하지 않았다.

출력오차의 대부분은 통전개시 후 대략10ms부터 포화현상이 발생하기 시작하여 약 100ms동안 심하게 출력오차가 발생한 후, 점차 직류분 전류가 소멸됨에 따라 정상적인 출력이 발생함을 알 수 있다. 이러한 오차는 계기용변류기인 경우 통전초기 계기치시 부정확 정도의 현상만 발생하지만, 고속도로 동작하여야 하는 보호시스템에서 이러한 특성을 지닌 변류기를 사용하였을 경우 보호시스템의 오동작 또는 부동작으로 인한 큰 전기사고로 발생할 수도 있다. 따라서 상기 피시험품으로 선정된 변류기는 IEC규격에 의한 5P10, ANSI 규격에 의한 C100의 조건은 만족하지만, 이는 직류분전류를 고려하지 않은 실효치전류에 대한 과전류영역에서의 특성을 규정한 값이며, 이 규정을 직류분전류가 포함된 과전류영역에서는 변류기의 특성이 달라짐을 알 수 있다. 따라서 계폐로시스템등 초기 직류분전류가 포함된 사고전류에 대한 보호시스템을 설계하는 경우에 변류기 선정시 세심한 주의가 기울여야 한다.

### [참 고 문 헌]

- [1] IEC 60044-1, "Instrument transformers - Part 1: Current transformers", IEC, TC-38, 1996-12.
- [2] ANSI/IEEE C57.13, "Requirements for instrument transformers", IEEE, 1993.