

간이 합성시험설비의 구성 및 회로특성

이정희^o 박경엽 장기찬 신영준
한국전기연구소 계폐장치연구팀

Construction and Circuital Characteristics of Simple Synthetic Test Facility

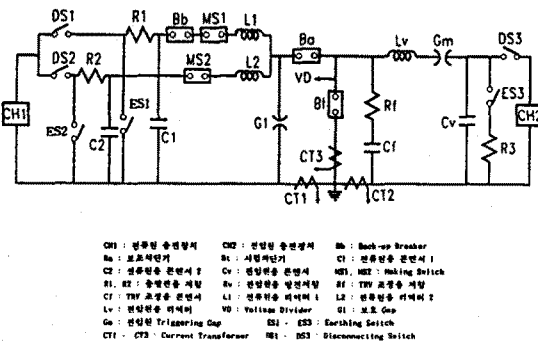
J.H..Lee^o K.Y.Park K.C.Chang Y.J.Shin
Korea Electrotechnology Research Institute

Abstract

This paper proposes the circuit of the simple synthetic testing facility using LC resonance circuit. The analyzed results of the circuit which can be useful for the design stage of the testing facility are also shown. EMTF has been used to analyze the circuit. Two cases of short-circuit test results obtained from the simple synthetic testing facility in KERI are shown with the waveforms of current and voltage. The results also indicate that the simple synthetic testing facility using LC resonance circuit can be easily designed and used very usefully for the research and development for the switchgears.

1. 서론

간이 합성시험법[1]은 전류와 전압을 단락발전기에서 공급하는 직접시험법과 전류를 단락발전기로 전압을 콘덴서뱅크로 공급하는 합성시험법[2-4]에 비해 전압과 전류 모두를 콘덴서뱅크로 공급하는 시험법이다. 차단기의 개발시에는 수 백내지 수 천회의 차단성능검증을 시행해야 하므로 직접시험법과 합성시험법에서는 운전 및 유지보수에 시간과 비용이 많이 소요되는 단점이 있다. 따라서 전류원으로 콘덴서와 리액터의 진동전류를 이용하면 단락발전기에 대한 부담이 거의 없어져서 경제성이 있는 시험을 실시할 수 있으며, 시험의 효율성을 도모할 수 있으므로 선진국의 스위치기어 전문제작사의 대부분은 차단기의 개발을 위해 이러한 간이 합성시험설비를 사용하고 있다. 본 논문에서는 현재 한국전기연구소의 계폐장치연구팀에서 운전중인 L-C 공진회로를 이용한 간이 합성시험설비를 소개하고 회로해석 및 시험결과를 제시한다.



- CH1 : 교류용 송전장치
- CH2 : 전압용 송전장치
- Bb : Back-up Breaker
- Bs : 보조차단기
- Bt : 시험차단기
- C1 : 전압용 콘덴서 I
- C2 : 전류용 콘덴서 I
- Cv : 전압용 콘덴서
- MS1, MS2 : Making Switch
- R1, R2 : 용량용 저항
- Rv : 전압용 방전저항
- Rf : TVR 조정용 저항
- CT1 : TVR 조정용 전류변
- L1 : 전류용 리액터 I
- L2 : 전류용 리액터 II
- Lv : 전압용 리액터
- VD : Voltage Divider
- C3 : 보조용 콘덴서
- G1 : 전압용 Tripping Gap
- ES1, ES2, ES3 : Earthing Switch
- CT1, CT2 : Current Transformer
- MS1, MS2 : Disconnecting Switch

그림 1 간이 합성시험연구실비 회로도

2. 시험회로 및 동작원리

그림 1은 현재 당 연구팀에서 운전중인 간이 합성시험설비의 회로도들을 보여주고 있으며, 크게 전류원회로와 전압원회로로 나눌 수 있다. 전류원회로의 콘덴서는 현재 사용중인 콘덴서의 낮은 Voltage Reversal Factor (10%)를 고려하고 아크시간을 연장하기 위해서 2개의뱅크(C1 및 C2)로 나누어 사용하고 있다. 즉 MS2가 투입이 되어 C2에 충전된 전하가 L2, Bb 및 Bt를 통해 방전이 되면 그림 2의 i_a 와 같은 전류가 얻어지며, 이 전류는 크기가 약 5-7kArms, 주파수가 60Hz이며 약 0.5 cycle 동안 흐르게 된다. 이 전류는 피시콤 차단기의 아크시간을 연장하기 위한 목적으로 통전되며 전류크기는 피시콤 차단기의 전류 chopping을 방지할 수 있을 정도이다. 전류 i_a 의 영점이 가까워지면 MS1이 투입되어 주전류 i_m 이 C1, Bb, MS1, L1, Bb, Bt를 통해 흐르게 된다. 한편 주전류 i_m 의 영점직전에 전압원회로의 방전갭 Gm이 방전되면 콘덴서 C3에 충전되었던 전하가 C3, Gm, Lv, Bt를 통해 흐르게 되며, 이 전류 i_b 는 합성시험법에서 요구하는 등가성을 만족시키기 위해 전류영점에서의 기울기가 주전류 i_m 의 전류영점에서의 기울기와 같도록 조정된다. 여기서 MS1이 투입되는 시점과 방전갭 Gm이 방전되는 시점은 Sequence timer에 의해 적절하게 제어가 된다. 즉 MS1의 투입시점은 i_a+i_m 의 크기가 어느 정도 이상으로 유지되어 Bb 또는 Bt에 의한 전류 chopping이 발생하지 않도록 조정되며, Gm의 방전시점은 IEC 427에서 규정하고 있는 전압원에 의한 주입전류만에 의한 전류통전시간이 주입전류의 0.25Cycle 이하 및 최대 500 μ s 이하의 조건에 따라 결정된다. 주입전류 i_b 가 Bt에 의해 차단이 되면 Bt의 양단에는 전압원회로 Rf, C3, Lv 및 C3에 의해 결정되는 그림 3과 같은 과도회복전압이 인가된다.

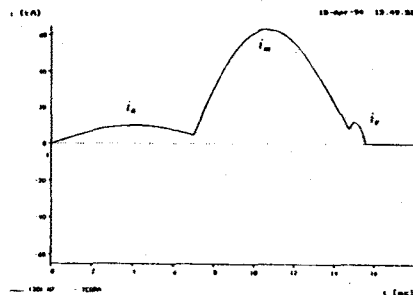


그림 2 합성전류 파형

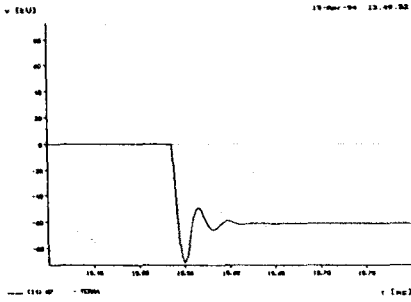


그림 3 B₁에 인가되는 TRV 파형

3. 회로해석

EMTP를 이용하면 그림 1의 합성시험회로의 각 Branch 및 Switching 소자들의 전압, 전류 및 소비전력의 계산이 가능하며 주요한 해석결과들을 그림 2, 그림 3 및 그림 4에 나타낸다. 시험용차단기 B₁를 통해 흐르는 합성전류의 파형(그림 2)은 아크 연장을 위한 전류 i_a , 전류원 주전류 i_m , 전압원에 의한 주입전류 i_s 로 되어 있으며 이 전류와 피스콤차단기의 차단 후에 차단기 양단에 인가되는 과도회복전압(TRV)의 파형(그림 3)은 합성시험시에 항상 측정을 해서 규정치와 비교를 해야 하는 중요한 물리량이다. 그림 4(a) 및 그림 4(b)는 각각 전압원에 의한 주입전류 파형과 보조차단기에 흐르는 전류파형을 나타내며, 주입전류의 측정은 차단시험의 성패여부와 주입전류의 크기 및 주파수를 측정함으로써 전류차단 순시의 di/dt의 증가성을 확인할 수 있다.

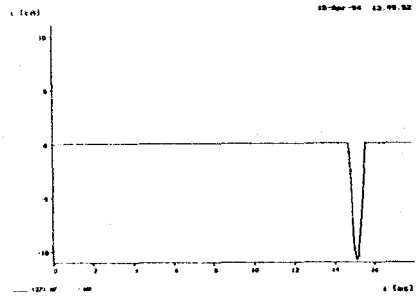
그림 4(c)-4(f)는 콘덴서 C₁, C₂, C_r, C_s 인가되는 전압파형을 나타내며, 각 콘덴서에 흐르는 전류 및 인가되는 전압파형을 조사하면 각각의 콘덴서에 요구되는 절연성능 및 단시간 동전성능을 결정할 수 있다. C₁ 및 C₂의 경우 공진주파수인 60Hz의 전압이 인가되며 C₂의 경우 1.0 cycle 후에는 초기 충전전압보다도 약 25% 정도 더 높은 전압으로 충전이 되므로 콘덴서의 정격전압 선정시 유의할 필요가 있다. 한편 전압원의 콘덴서 C_s에는 주입전류의 주파수와 같은 주파수(통상 400-1000Hz)의 전압이 인가되며 C_s에는 TRV와 같은 고주파 과도회복전압이 인가되며 이 전압의 피크치는 C_s의 충전전압에 Amplitude Factor 1.4 정도를 곱한 값으로 된다. 그림 4(g)에는 TRV 조정용 저항 R_t 양단에 인가되는 전압파형을 나타낸다.

4. 차단시험

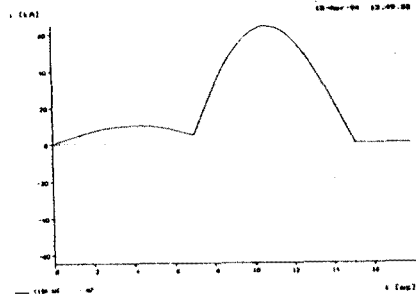
그림 5 및 그림 6은 간이 합성시험설비를 이용하여 정격전압 7.2kV, 정격차단전류 4.0kA의 SF₆가스 전자절속기의 차단시험한 결과를 나타낸다. 차단전류 및 정격전압이 낮아서 전류원 콘덴서의 낮은 voltage reversal factor가 문제가 되지 않아서 아크연장용 콘덴서뱅크 C₂는 사용하지 않고 전류를 1.5 cycle 통전시켰다. 정격차단전류에 대하여 TRV를 변화시켜 시험한 결과 그림 1의 합성시험설비의 전압원 충전전압이 8kV일 때 차단성공(그림 5)하였으며 충전전압이 9.1kV일 때 차단실패(그림 6)하였다. 표 1은 차단시험조건과 결과를 나타낸 것이며, 그림 7은 간이 합성시험설비를 이용한 차단시험시에 발생한 TRV 파형의 측정 예이다.

표 1 시험조건 및 결과

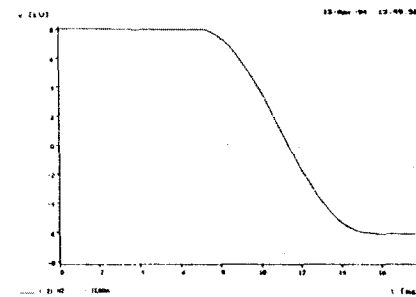
Test No	차단 전류 [kA]	아크 시간 [ms]	진이 시간 [ms]	과도회복전압				차단 여부
				U _c [kV]	t ₃ [μs]	t _d [μs]	U _c /t ₃ [kV/μs]	
22	4.4(4.0)	10.3	8.2	10.3	35.3	0	0.30	성공
23	4.5(3.2)	11.7	7.4	11.7	35.3	0	0.33	실패



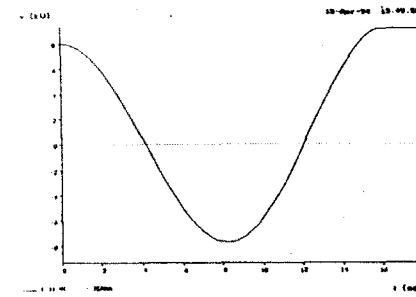
(a) 전압원의 주입전류 파형



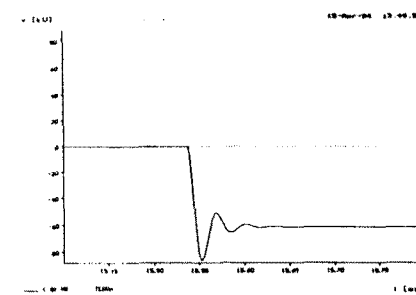
(b) 보조차단기 B₂에 흐르는 전류파형



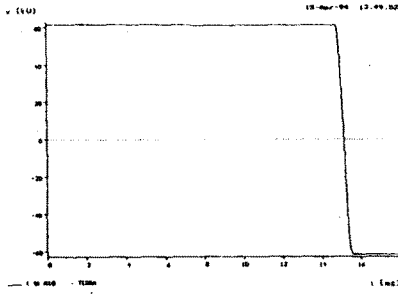
(c) C₁의 전압파형



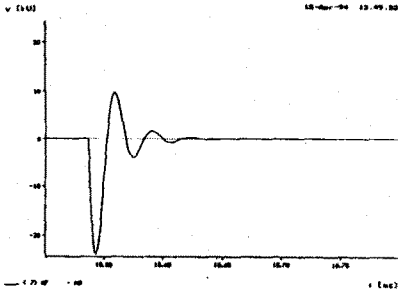
(d) C₂의 전압파형



(e) C_p 의 전압파형



(f) C_p 의 전압파형



(g) R_p 의 전압파형

그림 4 합성시험회로에 대한 EMTP 해석결과

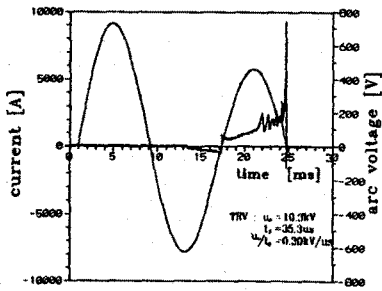


그림 5 차단성공시 전압, 전류파형

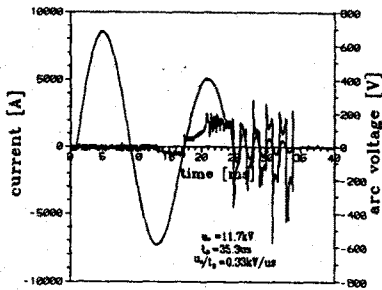


그림 6 차단실패시 전압, 전류파형

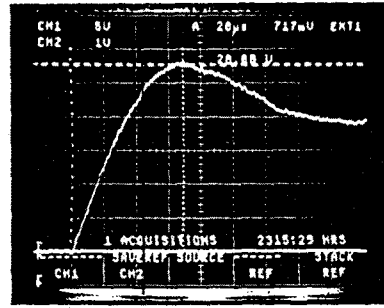


그림 7 TRV 파형 측정예

5. 결론

콘덴서뱅크 및 리액터를 이용하여 상용주파의 공진회로를 구성하여 단락전류를 공급하고, 전압원으로는 콘덴서 뱅크를 이용하는 LC 공진회로를 이용한 간이 합성시험설비는 단락발전기를 전류원으로 이용하는 경우에 비해 설치비용이 훨씬 저렴하고 유지보수가 간편하다. 따라서 이 설비는 개폐장치의 연구개발 시험설비로서 선진 각 국에서 크게 각광을 받고 있는 실정이다. 당 소에서는 이러한 추세에 부응하여 LC 공진회로를 이용한 간이 합성 시험설비를 직접 설계 및 제작하여 배전급의 개폐장치의 연구개발에 유용하게 이용하고 있다.

상기 결과는 과기처의 출연기관 연구과제 94NA61로 수행한 연구내용 중의 일부입니다.

참고문헌

- [1] 金方直의 2인, "대용량 C-L회로에 의한 단락차단시험에 대하여", SPD-88-1, 일본 전기학회연구회자료, 개폐보호연구회, 1988.
- [2] J.G.P.Anderson et al., "Synthetic testing of a.c. circuit breakers", IEE Proc., Vol. 113, No. 4, April 1966.
- [3] M.Murano et al., "Synthetic testing of high power circuit breaker", IEEE Summer Meeting, July 1973.
- [4] F.O.Mason, "Synthetic testing of high power circuit breaker", Electrical Review, 1963, pp. 817-820.