

(a) 등가회로도 (b) 동작범위 (c) Vector 도
Fig. 2 Equivalent circuit, Vector diagram and test current and voltage for synthetic making tests

(2) ITMC회로

본 연구에서 사용한 전압원회로는 저용량 승압용 변압기이므로 피시험용 차단기의 극간에 절연파괴가 발생하여 변압기의 2차 권선이 단락 되어도 HCS가 투입되기 전까지는 매우 작은 전류만 차단기의 극간에 흐르게 된다. 그러므로 ITMC회로의 설계는 HCS의 동작시간까지 아크전류를 유지시키는데 필요한 최소전류(차단기의 소호매질에 따라 다르긴 하지만 최대 소호전류로 계산)를 일정시간 동안 유지시킬 수 있도록 설계하였다.

① 설계조건

- I_{min} : 5Ap(SF₆ 가스차단기를 기준)
- V_n : 400kV(550kV의 차단기를 기준)
- V_{min} : 70kVp(=123kV * √(2/3) * sin(90° - 40°))
- Tr : 300μs(본 시험회로에서 사용되는 HCS의 최대 동작 지연시간이 200μs이므로 시험설비 동작의 신뢰성을 고려)

② 시험설비의 설계

$$R_c = \frac{V_{min}}{I_{min}} e^{-1} = \frac{70kV}{5A} \times 0.368 = 5152\Omega (\approx 6000\Omega)$$

$$E_{Rc} = I_{min}^2 \times R_c \times Tr \times \frac{3}{2} = 67.4J$$

$$C_c = \frac{Tr}{R_c} = \frac{300\mu s}{5152\Omega} = 58nF (\approx 55nF)$$

(3) UPTR

승압용 변압기(UPTR)은 시험전압과 전류사이의 적절한 위상관계를 갖도록 하기 위해서 가능한 위상 변위를 작게 되도록 설계·제작하여야 한다. 그러므로 UPTR의 용량은 최대 시험전압과 ITMC회로의 함수로서 다음과 같이 계산할 수 있다.

① 설계조건

- V_{max} = 350kV ; 최대 시험전압

② 승압용 변압기의 정격

- 정격 용량 : $u \times C_c \times V_{max}^2 = 377 \times 55nF \times 350kV^2 = 2540kVA$

2.1.3 시험회로의 동작특성

(1) ITMC회로에 의한 시험회로의 동작범위

본 ITMC회로의 동작특성은 아래의 두 식의 설계조건을 대입하여 계산하면 다음과 같이 결과를 얻을 수 있다.

$$\theta_{Ctmin} = \sin^{-1} \left(\frac{70kV}{\sqrt{2} \times 350kV} \right) = 8.13^\circ$$

$$\theta_{Ctmax} = 180^\circ - \sin^{-1} \left(\frac{70kV}{\sqrt{2} \times 350kV} \right) = 171.87^\circ$$

(2) HCS 동작전압에 의한 시험회로의 동작범위

HCS 동작특성은 동작전압에 의해 결정되고, 동작특성의 계산은 동작전압과 전류원회로의 공급전압을 아래의 두 식에 대입하여 계산하면 다음과 같은 결과를 얻을

수 있다.

$$\theta_{Ctmin} = \sin^{-1} \frac{15kV}{\sqrt{2} \times 13.5kV} = 51.8^\circ$$

$$\theta_{Ctmax} = 180^\circ - \left(\sin^{-1} \frac{15kV}{\sqrt{2} \times 13.5kV} \right) = 128.2^\circ$$

(3) 시험회로의 동작범위

본 시험회로의 동작특성은 ITMC회로의 동작특성과 HCS의 동작특성에 의해 결정되고 동작범위는 Tabel 1과 Table 2에 각각 나타내었다.

$$\theta'_{Ctmin} = \left(\sin^{-1} \frac{15kV}{\sqrt{2} \times 13.5kV} \right) - 2.2^\circ - 6.5^\circ = 43.1^\circ$$

$$\theta'_{Ctmax} = 180^\circ - \left\{ \left(\sin^{-1} \frac{15kV}{\sqrt{2} \times 13.5kV} \right) + 2.2^\circ + 6.5^\circ \right\} = 119.6^\circ$$

$$\theta_1 = \tan^{-1} \frac{1}{\omega C_c R_c} = 82.9^\circ$$

$$\theta_2 = \tan^{-1} \frac{\frac{1}{\omega C_c} - X_g}{R_g + R_c} = 80.7^\circ$$

$$\beta = \theta_1 - \theta_2 = 82.9^\circ - 80.7^\circ = 2.2^\circ$$

$$\gamma = \omega Tr = 360 \times 60 \times 300 \times 10^{-6} s = 6.5^\circ$$

2.2 실증시험 및 결과 검토

건설된 시험설비의 실증시험은 개별시스템의 동작특성 시험과 설비종합 및 국제규격에 따른 시험을 수행하여 성능을 평가하였고 그 결과는 다음과 같다.

(1) 고속투입스위치(HCS)

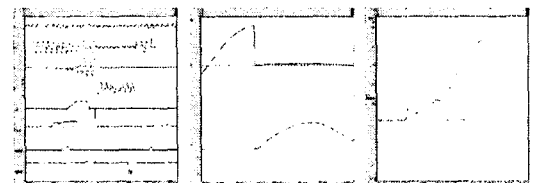
설계최대정격인 전압원 전압 550kV, 전류원 전압 13.5kV, 시험전류 63kA를 사용하여 합성투입시험과 합성투입 및 차단시험을 수행한 시험결과는 최소동작전압은 11.5kVp이고, 최대지연시간은 그림 3(a)에서 나타낸 것처럼 120μs이다.

(2) 시험전압공급용 승압용 변압기

시험전압을 자동으로 제어하기 위해 2차측 단자는 Tap 절환장치를 설치하고 용량은 ITMC회로의 삽입에 따른 전압 및 전류의 위상의 차이를 최소화하기 위해 설계치인 2500kVA 보다 다소 용량을 증가시켜 3000kVA로 제작하였으며 내부 임피던스는 12.5%로 단락전류를 감소시키기 위해 다소 크게 제작하였다.

(3) ITMC회로

ITMC회로는 HCS의 지연시간(200μs)을 감안하여 시정수를 300μs로 제작하기 위해 콘덴서는 110nF, 저항은 6kΩ을 직렬로 연결하였으며, 차단기에 pre-arc에 의해 통전되는 전류는 HCS의 최소동작전압과 차단기의 소호특성을 고려하여 7Ap이상이 되게 제작하였다. 본 연구에서 건설한 합성투입시험설비의 최대시험용량은 550kV 63kA이고, 실 동작특성은 Table 1에서 나타낸 것처럼 시험전압을 기준으로 43°에서 120°이다. 그리고 시험전류가 50kA일 경우에는 전류원전압이 24kV로 증가됨으로 시험범위가 18°에서 145°까지 확대된다.



(a) 시험전류 및 전압 (b) 투입전압 및 전류 (c) ITMC 및 대전류
Fig. 3 합성투입단락시험의 시험전압 및 전류 파형

3. 결 론

초고압·대용량차단기의 합성투입시험에 대한 연구는 비교적 오래 동안 연구가 진행되었지만 합성시험의 필요성이 크게 대두되지 않았다. 그러나 차단기의 설계기술과 계통해석기술의 발전으로 차단기의 투입성능도 차단성능과 동일하게 중요하다는 것이 인식되어 새로이 개정된 차단기의 규격인 IEC62271-100에서는 모든 차단기는 반드시 정격전압과 전류로 차단기의 투입성능을 평가하도록 규정하고 있다. 따라서 본 논문에서는 이러한 목적을 달성하기 위해 저용량 승압변압기를 사용하여 합성투입시험설비를 완성하였으며, 합성투입시험의 목적인 자동재폐차단기의 성능을 가장 등가성 있게 평가할 수 있는 시험설비를 완성하여 설비의 규모 및 성능은 세계 일류의 시험설비를 보유하게 되었다. 하지만 시험설비의 제어장치의 설계와 제작상의 어려움으로 3상 합성투입시험설비는 본 논문에서 검토하지 못했지만 가까운 장래에는 단상 및 3상 시험의 차이점과 3상 시험설비에 대한 연구가 진행되어야 할 것으로 사료된다.

"Development and application of new synthetic circuits in CESI and IPII" CIGRE 1992, Report 13-201

[9] L. Vander Sluis, G.C. Damster, H.W. Kempen, W.A. Vander Linden, "Synthetic test methods : Experience and future developments", (Cigre report 30 August-5September, 1992)

[10] S. Managanaro - G. Mazza - S. Rovelli, "Some problems encountered in the evaluation of the stresses on high voltage circuit breakers during making operations on a short circuit" Report presented at the Colloquim of CIGRE SC N. 13, Poland, September 1977

[11] IEC, "IEC-High voltage alternating current circuit breaker", IEC60056/FDIS, 2001

[12] IEC, "IEC-Synthetic testing high voltage alternating current circuit breaker", Publication 60427, 2000

[13] IEC, "IEC-High voltage alternating current circuit breaker", IEC62271-100, 2001

Table 1 시험회로의 동작특성(전압 = 13.5kV)

항목	γ	β	θ_{RCmin}	θ_{RCmax}	θ_{Climin}	θ_{Climax}	θ_{Climin}	θ_{Climax}
동작특성	6.5	2.2	8.7	171.3	51.8	128.2	43.1	119.6
비고	시험전류 63kA, 시험전압 350kV							

Table 2 시험회로의 동작특성(전압 = 24kV)

항목	γ	β	θ_{RCmin}	θ_{RCmax}	θ_{Climin}	θ_{Climax}	θ_{Climin}	θ_{Climax}
동작특성	6.5	2.2	8.7	171.3	26.2	153.8	17.6	145.1
비고	시험전류 50kA, 시험전압 350kV							

[참 고 문 헌]

[1] A. Balossi - M. Malaguti - P. Ostano, "Laboratory full-scale tests for the determination of the secondary arc extinction time in high speed reclosing" IEEE Conference Paper n. CP-66-382 presented at the Summer Power Meeting, New Orleans, 1996

[2] A.D. Strokes - S. Rovelli, "Discussion on : Balanced Synthetic Circuit: new circuit for high-power testing with low frequency transient recovery voltage " Proceedings IEE 1975, n. 4, vol. 122, pp. 427-429

[3] S. Manganaro - S./ Rovelli, "A new circuit for synthetic autoreclosing test duties under short-circuit conditions on high-power circuit-breakers" IEEE PES F77 132-4 presented at the Winter Meeting, New York, January 1977

[4] R. Ballada, " A new fast and high current making switch for synthetic testing " Alta Frequenza n. 2, February 1975, pp. 107~111

[5] R. Ballada, " A fast high current making-switch for synthetic testing of circuit breakers " Reprinted from Energy Storage, Compression and Switching(1976), Ed. W.H. Bostick, B. Nardi, O.S.F. Zucker

[6] S. Managanaro - H. H. Schramm, "Application of synthetic auto-reclosing circuit for testing high-voltage circuit-breakers" IEEE T. PAS, November- December 1980, vol. 99, n. 6, pp. 2223~2231

[7] S. Manganaro, "New developments in synthetic testing technique" International Workshop on HV-Switchgear Bangalore (India) 18-19 February 1985

[8] G. Aldrovandi I. Bonfanti, G. Kuhnhardt, H. Pliet,