

스파크 갭 스위치 및 제어시스템 개발

김명현, 김대원, 서운택, 이명재*, 고희석**

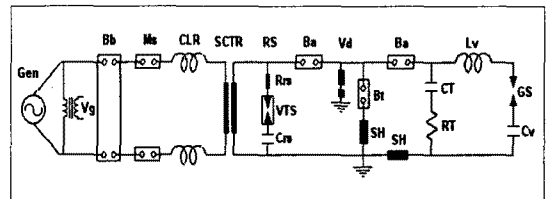
한국전기연구원 대전력시험1실, * : 동아 Hi-tech Co., Ltd, ** : 경남대학교*

Development of Spark Gap Switch and Control System

Maeng-Hyun Kim, Dae-Won Kim, Yoon-taek Suh, Myung-Jae Lee*, Hee-Seok Koh
Korea Electrotechnology Research Institute, * : Dong-A Hi-tech Co., Ltd, ** : University of KyungNam

Abstract - 합성단락시험에서 차단기의 정확한 아크시간을 검증하기 위해서는 제점호 회로가 필요하게 된다. 제점호장치는 전류원회로의 전류영점 직전에 기물기가 매우 큰 전류를 주입하여 차단기가 시험전류를 차단할 수 없게 하여 차단기의 아크시간을 직접시험과 동일하게 유지시키는 장치로서 본 장치를 구동하는 핵심장치는 고속도로 고전압 및 대전류를 투입하는 스파크 갭 스위치이다. 현재까지 이러한 용도의 스파크 갭 스위치가 개발되어 사용되고 있지만 본 논문에서는 고속 투입스위치로 진공차단기의 인터럽터를 사용하고, 시동용 전원으로 직류 12V만을 사용하여 정확하고 신뢰성 있는 제점호 장치용 스파크 갭 스위치의 설계, 제작 및 시운전 결과 등에 관해 기술 하였다.

내력은 250kVp 이상이어야 하고, 차단기의 아크시간을 적절하게 연장하기 위해서는 전류영점의 수십 μ s 전에 정확하게 동작해야하므로 시스템의 지연시간은 5 μ s 이하이어야 하며 스위치의 수명은 10,000회 이상이어야 한다. 그러므로 VTS는 높은 절연내력, 빠른 절연회복 및 빠른 동작특성을 가져야 한다.



(a) Test circuit for synthetic test

1. 서 론

합성시험에서 차단기의 아크를 연장하는 장치인 제점호 회로의 동작과 기능을 설명하기 위해서는 먼저 합성시험회로에 대해 간략하게 설명할 필요가 있다.

합성단락시험의 대표적인 시험방법은 그림 1(a)에서 나타난 병렬 전류주입방식으로 회로의 구성은 시험전류를 공급하는 전류원회로와 피시험차단기의 아크시간을 제어하는 제점호장치 및 시험전압을 공급하는 전압원회로로 이루어져 있고 시험회로의 동작은 다음과 같다.

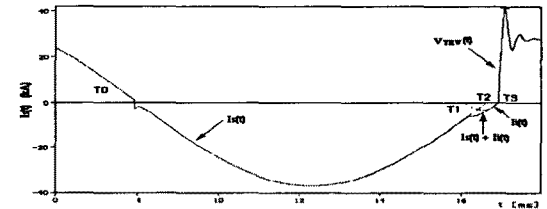
(1) 차단기를 T_0 시점에서 개극하게 되면 차단기 극간에는 아크저항에 의한 전압강하가 발생하게 된다. 하지만 합성시험에서는 직접시험과 달리 대전류 구간에서는 전류원 회로만 동작하므로 시험전류는 정격이지만 시험전압은 정격에 비해 매우 작기 때문에 차단기는 아주 쉽게 시험전류를 차단하게된다. 이처럼 합성시험에서도 직접 시험에서의와 동일한 아크시간을 차단기가 가질 수 있도록 조정하는 장치로 합성시험회로에서는 제점호회로를 사용한다.

(2) 전류원회로의 시험전류($I_{a(t)}$)가 전류영점 근방에 이르면 아크전압이 현저하게 커지게 된다. 이 시점의 바로 직전인 T_1 시점에 전압원전류($I_{v(t)}$)가 전류원전류($I_{a(t)}$)에 중첩되도록 한다.

(3) 그러면 피시험차단기(Bt)에 아크 에너지를 공급한 전류원전류($I_{a(t)}$)는 피시험차단기(Bt)와 직렬로 연결된 보조 차단기(Ba)에 의해 T_2 시점에서 차단된다.

(4) 보조차단기(Ba)에 의해 T_2 시점에서 전류원전류($I_{a(t)}$)가 차단되면 피시험차단기(Bt)에는 전압원전류($I_{v(t)}$)만 통전하게되고 T_3 시점에서 전압원전류($I_{v(t)}$)마저 차단하게 되면 전압원회로에서 발생한 과도회복전압($V_{TRV(t)}$)과 회복전압이 피시험차단기의 극간에 인가되게 된다. 그림 1(b)에서 나타난 것처럼 합성시험은 직접 단락시험과 동일한 차단 과정을 갖는다.

그러므로 VTS(제점호회로 제어용 스파크 갭 스위치 시스템)은 다음과 같은 특성을 가져야한다. 스위치의 한쪽 극에는 충전전압 150kV 이상이 인가되고, 다른쪽 극에는 전류원 전압 100kV 이상이 인가되므로 스위치의 절연



(b) Test current and voltage

Fig. 1 Test current/voltage and circuit for synthetic test

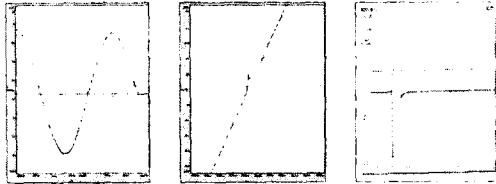
여기서 CLR : 전류원회로의 인덕턴스, RS : 아크 연장 회로 Gs : Spark-Gap Switch, Ba:보조차단기, Bt:피시험 차단기 Cv, Lv, Re, Ce :전압원회로의 회로소자, I(t):시험전류 VTS : Vacuum Triggered Gap Switces(t): 전류원회로의 시험전류, Ii(t): 전류원회로의 주입전류 Vtrv(t) : 과도회복전압

따라서 본 논문에서는 이러한 특성을 가지고 있는 스위치로 범용의 진공차단기(38kV 40kA)의 Interrupter를 사용하여 갭의 간격 조정 없이 10kV에서 200kV까지 지연시간 없이 정확하게 동작하는 VTS의 특성 및 시험 결과에 대해 기술하였다.

2. 본 론

2.1 제점호회로의 설계

차단기의 아크시간의 연장은 상승률이 매우 빠르고 지수함수적으로 감소하는 펄스전류를 그림 2와 같이 주입하여 시험전류를 차단하지 못하게 하는 것이다. 제점호 회로의 파라미터는 차단기의 차단특성과 제어장치의 정확도에 따라 설계되어야 하는데 가스차단기인 경우에는 일반적으로 다음과 같은 파라미터를 사용한다.



(a) 전류원 전류 (b) 주입된 펄스전류 (c) 펄스전류
그림 2 전류원 전류와 재점화회로의 펄스전류

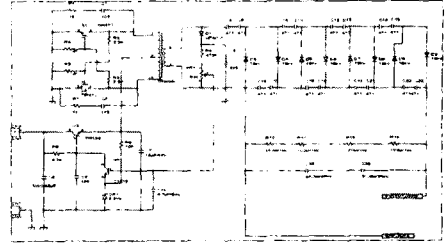
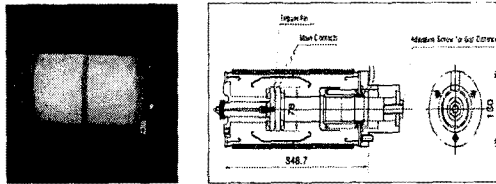


그림 5 30kV/1mA 고압발생장치의 회로도

- 콘덴서의 충전전압 : 60kV ~150kV
 - 펄스전류의 크기 : 3.0kA이상
 - 펄스전류의 폭 : 450 μ s ($3 \times R_{re} \times C_{re}$)
- 따라서 본 연구에서는 상기의 조건을 기본으로 재점화회로를 설계하였고, 그 파라미터는 다음과 같다.
- 콘덴서의 충전전압 : 110kV ~150kV
 - 콘덴서의 용량 : 4.3 μ F = 6.4 μ F $\times 2/3$
 - 콘덴서의 정격전압 : 168.7kV = 56.25kV $\times 3$
 - 제동저항 : 35 Ω
 - 펄스전류의 크기 : 3.14kA ~4.28kA
 - 펄스전류의 폭 : 452 μ s ($3 \times 35 \Omega \times 4.3 \mu$ F)
- 그리고 본 연구에서 개발한 VTS의 외형은 그림 3와 같다



(a) VTS의 외형 (b) VTS의 도면
그림 3 재점화회로용 VTS의 외형

2.2 Triggered Vacuum Gap

VTS의 진공 챔버는 그림 3에서 나타난 것처럼 범용의 진공차단기(38kV 40kA)의 Interrupter를 사용하여 차단부의 가동부는 챔버의 거리를 조정할 수 있고, 고정부에는 시동핀을 설치한 구조로 주전극의 간격은 30mm까지 조정이 가능하고, 직경은 76mm이고 재질은 Interrupter의 재질인 Cu-Cr합금으로 만들었고 그리고 내부의 압력은 5×10^{-4} torr이고 주전극과 트리거 핀간의 간격은 1.5mm로 주변에는 절연물로 채워져 있다.

2.3 Trigger device

Trigger device는 그림 4 재점화회로 제어장치의 회로도에서 나타난 것처럼 직류12V를 30kV로 승압하는 전원회로, 광 trigger신호를 수신하여 전기신호로 변환하는 Receiver와 저압의 trigger신호를 VTS를 동작시킬 수 있는 고압펄스전압을 발생시키는 고전압회로로 구성되어있고 장치의 동작은 다음과 같다.

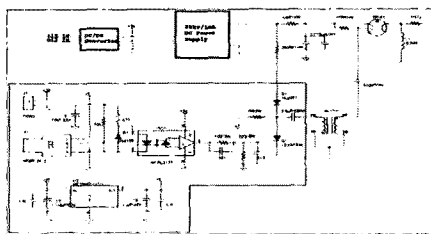


그림 4 재점화회로 제어장치의 회로도

- (1) 전원회로는 압축공기가 입력되면 발전기에서 직류 12V를 발전한다. 직류전압은 그림 5에서 나타난 것처럼 교류로 변환하여 승압용 변압기(Trans-1)에서 2.6kV로 승압한다. 승압된 교류전압을 콘덴서와 다이오드로 조합된 배전압회로를 사용하여 30kV까지 승압하여 충전저항 33 M Ω 을 통해 Capacitor 75nF를 충전한다.
- (2) Photo Receiver는 전류영점예측기에서 발생한 광신호를 수신 전기신호로 변환하여 Thyristor 구동시켜 300V의 펄스를 Pulse Transformer의 1차측 단자에 인가한다.
- (3) 그러면 Pulse Transformer의 2차측 단자에는 30kV의 펄스가 Coupling Capacitor를 통해 진공 챔버 스위치(GP-41)의 트리거 핀에 인가되면 GP-41 챔버 동작된다. 그러면 콘덴서 75nF에 충전된 35J의 에너지가 제동저항을 통해 VTS의 트리거 핀에 인가되고 방전을 발생시켜 VTS의 극간에 breakdown을 발생시켜 재점화회로의 Main Capacitor에 충전된 50kJ의 에너지를 제동저항 35 Ω 을 통해 펄스전류를 차단기에 주입시켜 아크를 연장시킨다.

2.4 동작특성과 결과 검토

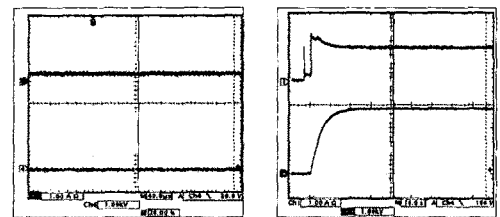
본 논문에서는 개발한 시제품의 동작특성을 평가하기 위해 1)제어장치의 소비전력의 평가, 2)장치의 무부하 동작특성과 시간지연특성, 3)재점화회로의 동작특성시험을 수행하여 다음과 같은 시험결과를 얻었다.

2.4.1 소비전력

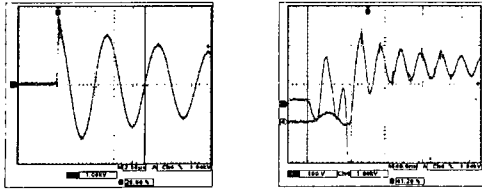
본 장치의 무부하 소비전력은 그림 6(a)에서 나타난 것처럼 4.8W정도이고, 부하 소비전력은 그림 6(b)에서 나타난 것처럼 18W 정도 소모됨을 알 수 있다.

2.4.2 출력파형

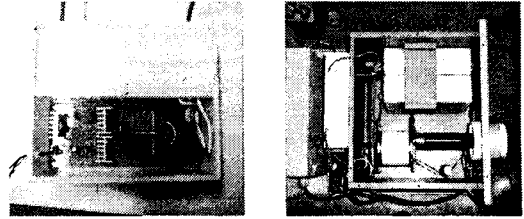
VTS에 인가되는 trigger 전압의 파형을 분석하기 위해 trigger펄스의 출력단자를 개로한 후 GP-41을 동작시키면 그림 7(a)와 같은 전압의 파고치는 43kV이고 주파수는 190kHz인 펄스 전압이 인가됨을 알 수 있고, trigger 펄스의 출력단자를 VTS에 연결하여 VTS를 동작시키면 그림 7(b)와 같이 상승시간이 16.8ns이고, 펄스전압의 파고치가 43kV이고, 이때의 지연시간은 그림에서 알 수 있는 것처럼 91.2ns정도로 일정하게 유지하였다.



(a) 무부하시의 소비전력 (b) 부하시의 소비전력
그림 6 제어장치의 소비전력



(a) 개로 상태에서의 출력 (b) VTS 동작시의 출력
그림 7 VTS 제어장치의 출력



(a) 30kV 30W 고압 발생장치 (b) 제어장치의 내부 배지도
그림 9 VTS 시동장치의 외형사진

2.4.3 실증시험

개발한 재점화회로의 제어장치의 실증시험은 그림 8에서 나타낸 KERI의 재점화회로를 사용하여 충전전압을 20kV에서 125kV까지 10kV씩 증가하면서 펄스전류의 크기와 장치의 지연시간 등을 확인하는 시험을 수행하였으며 시험결과는 표 1과 같다. 표 1에서 알 수 있는 것처럼 VTS의 갭 간격을 일정하게 고정하고 충전전압을 변화시켜도 지연시간이 3~4 μ s로 일정하게 유지되는 것을 알 수 있다.

3. 결 론

본 연구에서는 개발한 VTS의 진공 갭은 그림 6에서 나타낸 것처럼 범용의 진공차단기(38kV 40kA)의 Interrupter를 사용하여 차단부의 가동부는 갭의 거리를 조절할 수 있고, 고정부에는 시동편을 설치하여 갭 스위치를 완성하고, VTS의 제어용 구동장치는 그림 9에 나타낸 것처럼 외부의 전자노이즈에 의한 파손과 오동작을 방지하기 위해 압축공기를 동력원으로 하는 전원장치를 개발하였고, 여러 단계로 이루어져있는 고전압 발생장치를 한 개의 직류전압을 사용하여 완성함으로써 회로가 매우 간단하고, 시험전압에 관계없이 10kV에서 200kV까지 지연시간 없이 정확하게 동작하는 VTS와 제어장치를 개발하였다. 그리고 향후 연구에서는 합성단락시험용 Main Spark Gap Switch를 본 VTS를 활용해서 개발할 계획이다.

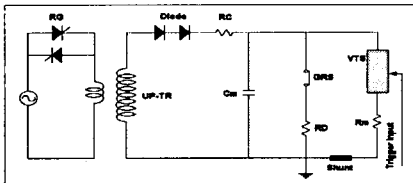


그림 8 개발한 재점화회로 제어장치의 실증시험회로도

표 1 개발한 재점화회로 제어장치의 실증시험결과

File Name	충전 전압 (kV)	주입 전류 (kA)	지연 시간 (us)	VTS 극간거리 (mm)	비고
907	24.0	0.68	3.84	15	
909	34.5	0.77	3.84	15	
910	44.8	1.03	4.37	15	
911	54.9	1.32	4.37	15	
912	84.9	1.58	4.21	15	
913	74.9	1.72	3.96	15	
915	95.3	2.33	3.96	15	
916	105.0	2.69	3.97	15	
917	115.0	2.97	3.97	15	
918	124.5	3.89	3.97	15	

[참고문헌]

- [1] IEC, "IEC-High voltage alternating current circuit breaker", IEC60056/FDIS, 2001
- [2] IEC, "IEC-Synthetic testing high voltage alternating current circuit breaker", Publication 60427, 2000
- [3] IEC, "IEC-High voltage alternating current circuit breaker", IEC62271-100, 2001
- [4] L.M.J. Vries, G.C. Damstra "A reignition installation with triggered vacuum gaps for synthetic fault interruption testing," 1985. IEEE
- [5] G.C. Damstra, "An arc reignition circuit with triggered vacuum gap." IXth International Symposium on Discharges and Electrical Insulation in Vacuum, September 1980, Eindhoven, The Netherlands, Book of Abstracts, pp. 151-153.
- [6] E. Slamecka, "synthetische Prufung von Hochspannungsleistungsschaltern. Stand der Technik und Entwicklungsaspekte." ETZ Bd. 101 (1980), Heft 5 pp. 295-300.
- [7] G.C. Damstra, "A new synthetic test plant at KEMA High Power Laboratory," Symposium on High Voltage Switching Equipment, May 1979, Sydney.
- [8] L.Th.M. Ornstein, C.A.J. Hugenholtz, H.A. van derLaan, "A triggered vacuum spark-gap switch," J.Sc.Instum., 1965, Vol. 42, pp. 659-661.
- [9] G.N. Aretov, V.I. Vasil'ev, M.I. Pergament, S.S. Tserevitinov, "Delay Characteristics of vacuum disc switches," soviet Physics-Technical Physics, Vol. 12, No. 1, July 1967.
- [10] V. Nanduri, "Behaviour of ceramic insulator materials during initiation of trigger discharge in TVG," Vacuum, volume 27, No. 4. 1977, pp. 255-261.
- [11] G.R. Govinda Raju, R. Hackam, F.A. Benson, " Firing characteristics of a triggered vacuum gap employing a dielectric coated with a semiconducting layer," Journal of Applied physics, Vol. 48, No. 3, March 1977, pp. 1101-1105.
- [12] A.J. Green, C. Christopoulos, "Plasma buildup and breakdown delay in a triggered vacuum gap," IEEE Transactions on Plasma Science, Vol. PS-7, No. 2, June 1979, pp. 111-115.
- [13] P.P. Gervadis, R.S.N. Rau, "Firing characteristics of a simple coaxial triggered vacuum gap," J. Phys. D: Appl. Phys., 14(1981) 867-70.
- [14] F.T. Warren, J.M.Wilson, J.E.Thompson, R.L. Boxman, T.S. Sudarshan, "Vacuum switch trigger delay characteristics," IEEE Transactions on Plasma Science, Vol. PS-10, No. 4, December 1982, pp. 298-301.
- [15] J.M. Wilson, J.E. Thompson, R.L. Boxman, T.S. Sudarshan, "Breakdown time of a triggered vacuum and low-pressure switch," Proceedings: Tenth International Symposium on discharges and Electrical Insulation in Vacuum, October 1982, Colombia, South Carolina, pp. 268-272.
- [16] G.E. Farrall, "Low voltage firing characteristics of a triggered vacuum gap," IEEE Transactions on Electron Devices, Vol. ED-13, No. 4, April 1966, pp. 432-438.