論 文
49A-7-7

쌍방향 시동방식의 고속투입스위치 개발

Development of the Spark-gap Switch with Dual Trigger System

金 孟 顯* · 徐 潤 澤* · 朴 勝 哉* · 朴 炳 樂** · 高 義 石***
(Maeng-Hyun Kim · Yoon-Taek Suh · Seung-Jae Park · Byung-Rak Park · Hee-Seog Koh)

Abstract - This paper is introducing a newly developed spark-gap switch with dual trigger system, into which the current from the voltage source is injected along with the test sequence during the synthetic testing of high voltage circuit-breaker. The currently-used spark gap switch is narrow in operating range due to the use of the method of triggering energy being injected by single way. As a result, the frequent happening of misoperation has greatly reduced the test quality and test efficiency and has required the cost of maintenance excessively.

In this study, accordingly, in order to basically remove these problems, another triggering system is installed to the opposite direction on the existing triggering system; attaching the same time and the same rising time of pulse wave as on the existing system, so that at a comparatively trigger gap distance from the main electrode(the gap can be operated at 60% of self-break voltage, while at 80% in the current system), the main electrode has been enabled to be closed by the development of spark gap switch with dual trigger system.

Key Words : High-speed closing switch, Spark-gap switch, Trigger generator system, Air generator system

1. 서 론

대용량 개폐장치의 성능을 경제적으로 평가하는 방법에 대한 연구는 오랜 기간동안 계속되어 현재의 기술수준은 차단시험 뿐만 아니라 투입시험까지도 합성 시험방법을 사용하는 수준에 이르렀다. 이러한 합성시험방법[1-3]에는 전압원회로를 대전류구간 내에 투입하여 대전류구간에서 고전압구간으로의 전이과정을 전압원회로가 감당하게 하는 전류주입방법과 전압원회로를 고전압구간 내에 투입하여 대전류구간에서 고전압구간으로의 이동을 두 개의 전원이 동시에 감당하게 하는 전압주입방법이 있다. 이처럼 전압원회로의 주입시점을 차단과정에 맞추어 정확하게 주입하기 위해서는 고전압, 대전류를 고속으로 투입시키는 스위치가 필요하게 된다. 이러한 대용량 고속투입스위치로 제어가 용이하고 구조가 간단한 트리거트론 스파크 갭 스위치(이하 스파크 갭 스위치)가 널리 사용되고 있다[4]. 그리고 이들 스파크 갭 스위치의 시동방식은 주전극의 중앙에 시동전극을 설치하고, 이 시동전극에 고전압 펄스전원을 인가하여 불꽃방전을 발생시킴으로써 주전극간의 절연내력을 순간적으로 현저하게 감소시켜 주전극간을 전기적으로 투입시키는 방식이므로 스파크 갭 스위치의 운전범위는 시동전극에 인가되는 시동용 펄스전원의 전압 및 에너지가 중요한 요소이다[5]. 하지만 현재 한국전기연구소에서 사용중인 스파크 갭 스위치의 시동방식은 한쪽 방향에서만 시동에너지를 주입하는 방식이므로 스파크 갭 스위치의 동작범위가 매우 협소하였다. 때문에 합성시험방법으로 투입-차단 책무나 자동재폐로 책무를 실시하는 경우 차단기가 개극되어 있는 상태이므로 스파크 갭 스위치의 양쪽 전극에는 전압원회로의 충전전압 뿐만 아니라 전류원회로의 전압이 중첩되어 인가되므로 스파크 갭 스위치의 동작이 매우 불안정하였다.

따라서 본 연구에서는 이러한 문제점을 근본적으로 해결하고 시험의 신뢰성 및 시험효율을 제고시키기 위해 기존의 시동장치와 반대의 전극에 또 다른 시동핀을 설치하고 시동시간 및 펄스파의 상승시간이 동일한 장치를 부가함으로서 시동전극의 근방에 스트리머 채널의 이온화 밀도를 급속하게 증가시켜 비교적 큰 거리(운전전압은 자가방전전압의 60%전압)에서도 시간지연 없이 주전극을 고속으로 투입하는 대용량 고속투입스위치와 압축공기를 동력원으로 하는 전원장치를 개발하였다.

2. 스파크 갭 스위치의 일반

스파크 갭 스위치는 펄스파워기술을 이용하여 짧은 시간에 전기에너지를 부하로 방출하는 스위치로서 구조가 간단하고 제어가 용이한 트리거트론 스파크 갭 스위치(Trigatron Spark-Gap Switch)가 가장 널리 사용되고 있으며, 그 구조는 한 쌍의 주전극과 전극의 중앙에 시동전극이 삽입되어 있다[4].

* 正 會 員 : 韓國電氣硏究所 産業協力部 先任硏究員
** 正 會 員 : 韓國電氣硏究所 電氣試驗硏究센터 센터長
*** 正 會 員 : 慶南大 電氣電子工學部 敎授 · 工博
接受日字 : 2000年 4月 8日
最終完了 : 2000年 6月 12日

트리거트론 스파크 갭 스위치의 시동은 시동전극에 상승시간이 빠른 고전압 펄스를 주어 타운젠트 메커니즘(Townsend-mechanism)을 통해 주전극에 방전을 유발시키는 것으로, 고전압 시동펄스를 시동전극에 인가하면 절연파괴의 물리적 메커니즘에 따라 약간의 시간지연과 주전극간에 전자가 전파되는 약간의 시간이 경과한 후 시동전극의 근방에 스트리머가 형성된다. 이렇게 형성된 하나 또는 몇몇의 스트리머 채널들은 반대전극과 큰 저항 (10kΩ)을 가지고 연결된다[5]. 인가된 전압은 이들 스트리머 채널의 이온화 밀도를 계속 증가시켜 주전극간의 절연성을 현저히 감소시키면 주전극간에는 불꽃방전이 발생하게 된다[4~7]. 하지만 현재 개발되어 사용되고 있는 스위치로는 상기의 원리와 같이 불꽃방전을 유발시키기는 방법이 아닌 다른 시동메커니즘을 사용하기도 한다. 즉 열을 가한다든지 아니면 외부의 충격파(stock wave)를 주입하여 타운젠트의 α계수(충돌전리계수)를 증가시켜 불꽃방전인 아크가 발생되어 주전극간이 전기적으로 급속하게 투입되는 방법이 그것이다.

2.1 스파크 갭 스위치의 동작특성

스파크 갭 스위치의 동작특성은 여러 가지 요인에 의해 달라지게 되는데 이 중에서 특히 대표적인 요소가 되는 것을 살펴보면 다음과 같다[8-10].

2.1.1 충전전압

스파크 갭 스위치의 지연시간(td)과 Jitter시간(tj)은 충전전압을 증가시키면 감소하게 되고, 역으로 충전전압을 감소시키면 증가하게 된다. 충전전압에 대한 스파크 갭 스위치의 동작은 자가방전전압의 70~80% 이하가 되면 td와 tj가 급격히 증가하는 경향이 있으므로 스파크 갭 스위치의 운전전압은 일반적으로 자가방전전압의 80% 정도에서 운전한다. 하지만 이러한 한계도 시동장치의 시동전압이나 에너지 등을 증가시키면 스파크 갭 스위치의 자가방전전압의 50%이하에서도 운전이 가능하다고 보고되고 있다[9].

2.1.2 시동용 펄스전원

td와 tj는 시동용 펄스전원의 전압과 에너지가 증가하게 되면 감소하게 되지만 그 영향력은 충전전압에 비해 약하다. 그리고 td와 tj는 시동용 펄스전원의 전압 및 에너지 이외에도 펄스의 상승시간 및 지속시간 등에도 크게 영향을 받는 주요한 요소이다.

2.1.3 충전전압의 극성

전압극성에 관한 문제는 4가지 경우가 있으나 이들 중에서 시동용 펄스전원의 극성이 정(+)극성이고 충전전압이 부(-)극성일 때 td와 tj를 줄일 수 있다.

2.1.4 전극구조

주전극의 설계는 주전극 축 근방의 전계가 균등하게 유지되도록 하고 축상에 전계가 집중되는 구조로 하며 주전극의 지름은 전극의 운전거리보다 크게 되도록 한다.

2.1.5 가스종류

스파크 갭 스위치의 절연 매질은 보통 편리한 공기나 질소를 사용한다. 그러나 높은 전압에 있어서는 절연을 높이기 위하여 SF_6을 사용하는 경우도 있다.

2.2 트리거트론 스파크 갭 스위치의 특징

2.2.1 장점

트리거트론 스파크 갭 스위치는 td와 tj가 작고, 시동영역은 스파크 갭 스위치 유지전압의 25%까지 제어가 가능할 만큼 넓은 시동영역을 갖고 있으며, 구조가 간단하고, 제어가 대단히 용이하다.

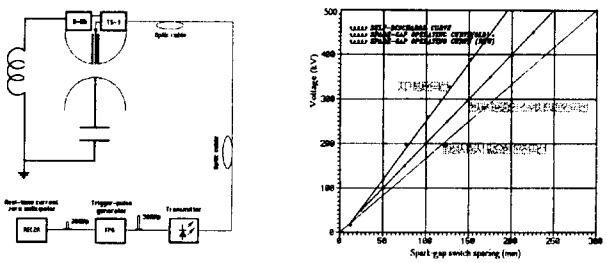
2.2.2 단점

시동회로가 주전극 회로와 전기적으로 절연되어 있지 않아 시동전극의 전압이 주전극의 충전전압까지 올라가므로 제어신호와 시스템과의 유기적 절연을 유지시키면서 제어신호가 결합되는 방법이 필요하다. 그리고 고속으로 주전극을 시동시키기 위해서는 주전극이 투입하는 속도보다 훨씬 상승속도가 빠른 펄스전압이 필요하고, 주전극간에 아크의 형성에 의해 스위치가 투입되므로 전극에 심한 마모가 발생하게 되는데 이러한 전극의 마모는 스위치의 동작에 악영향을 끼친다.

3. 쌍방향 시동방식의 스파크 갭 스위치 개발

3.1 현재 사용중인 스파크 갭 스위치의 문제점

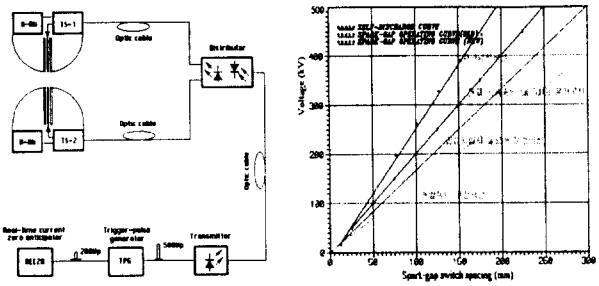
현재 한국전기연구소에서 사용되는 스파크 갭 스위치는 그림 1(a)에서 나타낸 것처럼 상부전극 중앙에 설치된 시동용 전극에 여러 가지의 제어장치를 통해 발생된 시동신호를 광 Isolator를 통해 고전압 펄스장치를 구동시켜 주전극의 시동핀에 고전압 펄스를 인가하여 방전을 발생시키는 방식이므로 그림 1(b)에서 나타낸 것처럼 운전최대범위가 자가방전전압의 80% 전압까지이다. 하지만 합성단락시험에서 필요한 스파크 갭 스위치의 운전범위는 차단기의 동작책무에 따라 다소 다르긴 하지만 그림 1(b)에서 나타낸 것처럼 합성투입차단시험을 안정되게 수행하기 위해서는 자가방전전압의 70% 전압까지 필요하게 된다.



(a) 구성도 (b) 동작곡선

그림 1 스파크 갭 스위치의 구성도 및 동작곡선

Fig. 1 Configuration and operating characteristics of the spark-gap switch



(a) 블록도 (b) 동작특성곡선

그림 2 개발된 스위치의 블록도 및 동작특성곡선

Fig. 2 Schematic diagram and operating characteristics of the developed spark-gap switch

3.2 개발된 스파크 갭 스위치의 특징

시동용 펄스의 에너지를 380(J)에서 760(J)증가시켰지만 운전영역은 표 2에서 나타낸 것처럼 에너지의 증가에 비례해서 증가되지 않았다. 따라서 본 연구에서는 이러한 문제점을 해결하기 위해 그림 2(a)에서 나타낸 것처럼 기존의 시동장치와 반대의 전극에 또 다른 시동핀을 설치하고 시동시간 및 펄스파의 상승시간이 동일한 장치를 부가함으로서 그림 2(b)에서 나타낸 것처럼 비교적 큰 갭거리(자가방전전압의 60% 전압)에서 시간지연이나 기타의 오동작 없이 동작하는 고속투입스위치를 개발하였다.

3.3 시동장치의 구성과 동작특성

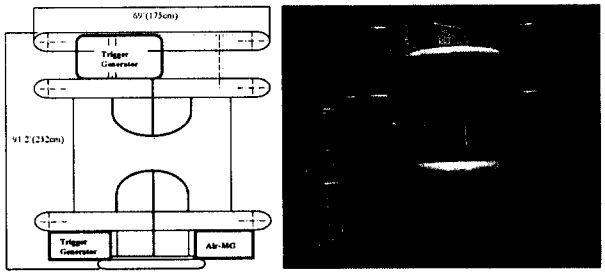
본 연구에서 개발한 스파크 갭 스위치의 동작특성은 표 1에 현재의 장치와 비교하여 나타내었고, 장치의 구성도와 외형은 그림 3(a), 3(b)에 각각 나타내었다.

표 1 스파크 갭 스위치의 동작특성

Table 1 Operating characteristics of spark-gap switch

항목	스파크 갭 스위치의 동작특성		비고
	현재의 장치	개발된 시제품	
직류유지전압	0 ~ 500 kVdc	0 ~ 500 kVdc	동일
운전전압범위	25 ~ 450 kVdc	25 ~ 450 kVdc	동일
통전최대전류	12 kAp	12 kAp	동일
운전전압영역	**80%**	**60%**	**20%증가**
지연시간	5.0 μs	5.0 μs	동일
Jitter 시간	0.5 μs	0.5 μs	동일

그리고 본 장치의 동작은 1)시험전류의 영점을 정확하게 예측, 스파크 갭 스위치의 시동시점을 결정한 후 시동신호를 Trigger Pulse Generator(TPG)로 보낸다. 2)TPG에서는 수신된 신호를 동기된 광신호로 변환한 후 Trigger Pulse Distributor(TPD)로 보낸다. 3)TPD에 수송된 광신호는 전기신호로 변환 분리한 후 이를 다시 광신호로 변환하여 Trigger Pulse Receiver(TPR)로 보내게 된다. 4)이렇게 수신된 광신호는 TPR에서 다시 전기신호로 변환, 100kV로 증폭된 신호는 시동용 펄스발생장치인 High Voltage Pulse Generator System(HVGS)의 보조스위치를 동작시켜 시동전극과 주전극간에 불꽃방전을 유발시킨다, 5)그러면 2개의 주전극간의 절연내력은 현저하게 감소하게 되어 마침내 전기적으로 단락상태를 만들게 된다. 그리고 아래의 절에서는 본 연구에서 제작한 시제품의 동작특성을 나타낸 것이다.



(a) 구성도 (b) 외형

그림 3 개발된 스위치의 구성도 및 외형

Fig. 3 Geometry and photograph of the spark-gap switch

3.3.1 Trigger Pulse Generator System

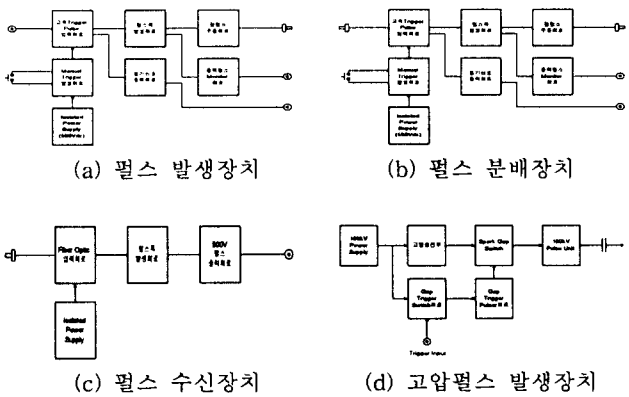
개발된 스파크 갭 스위치의 TPG System은 전류영점 예측기로부터 동기된 스파크 갭 스위치의 시동신호를 수신 증폭, 정형하는 펄스발생회로, 이를 광신호로 변환하는 광펄스 구동회로, 출력신호를 Monitoring 할 수 있는 출력펄스 Monitor 회로로 구성되고, 그림4(a)는 시제품 블록도이다.

3.3.2 Trigger Pulse Distributer System

TPD system은 TPG System으로부터 송신된 광신호를 전기신호로 변환하는 고속 Trigger Pulse 입력회로, 이를 다시 시동신호로 변환하는 펄스발생회로, 시동신호를 2개로 분리한 후 다시 광신호로 변환하는 광펄스 구동회로와 출력펄스 Monitor 회로로 구성되고, 그림4(b)는 시제품 블록도이다.

3.3.3 Trigger Pulse Receiver System

TPD System으로부터 송신된 광신호를 전기적인 시동신호로 변환하는 Fiber Optic 입력회로와 이를 다시 HVPG의 구동신호로 변환 재생하는 500V 펄스발생회로로 구성되어 있다.



(a) 펄스 발생장치 (b) 펄스 분배장치

(c) 펄스 수신장치 (d) 고압펄스 발생장치

그림 4 시동장치 부품의 블록도

Fig. 4 Block diagram of triggering system

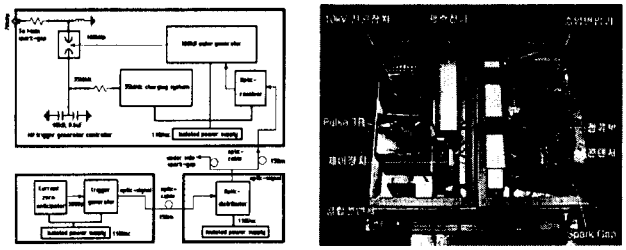
3.3.4 High Voltage Pulse Generator System

본 System의 구성은 TPD System으로부터 송신된 시동

신호를 수신, 증폭 재생하는 Pulse Board와 이를 구동하는 10kV 직류전원 장치와 증폭된 10kV의 시동신호를 HVPG System을 구동하기 충분한 전압(100kV)으로 승압시키는 HV Pulse Transformer로 구성되어 있다.

3.3.5 HV Trigger Controller System

본 System의 구성은 Main Spark Gap Switch를 직접적으로 시동시키기 위해 에너지를 저장 공급하는 35kV 직류 충전장치와 충전된 시동에너지를 제어 조정하여 70kV의 Pulse를 발생시키는 파형정형회로로 구성되어 있다.



(a) 블록도 (b) 외형

그림 5 시동장치의 블록도 및 외형

Fig. 5 Block diagram and photograph of triggering system

3.4 압축공기를 이용한 전원장치

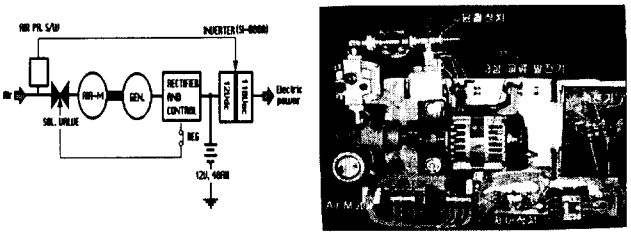
매우 낮은 전압을 사용하는 스파크 갭 스위치의 전원장치는 대지와 500kV에서 1500kV까지의 절연을 유지하면서 장치에 전원을 공급해야 하므로 특별한 방법의 전원 공급장치를 필요로 한다. 따라서 본 연구에서는 압축공기를 동력원으로 하는 발전장치를 개발하였으며 그 제품의 구성과 특성은 다음과 같다.

3.4.1 제품의 구성

개발된 제품은 공기를 운동에너지로 변환하는 Air Motor와 보조기계장치, Air Motor에서 발생한 운동에너지를 전기적 에너지로 변환하는 3상 교류발전기, 발생된 교류전원을 정류 및 정전압으로 유지시키는 제어장치 및 축전기로 구성되어 있다.

3.4.2 제품의 동작특성

전원장치의 상용주파교류전압 발전원리는 첫째, 압축공기가 Air Pressure switch(PRS)에 입력되면 Inverter를 turn on하여 상용주파교류전압을 발생시킨다. 물론 초기의 전원은 축전지에 충전되어 있는 에너지를 사용한다. 둘째, 제어장치는 축전지의 전압을 검사한 후 15V 이하이면 solenoid valve를 열어 Air Motor에 압축공기를 공급하여 발전기를 운전하게 된다. 이때 Air Motor에 입력되는 공기의 압력을 4kg/cm^2 (약 60PSIG)로 조정한다. 그러면 발전기의 회전수는 1200rpm이 되고 이 때의 공기소모량은 400 ℓ/min가 되고 발전기의 출력전압 및 출력전류는 12Vdc, 7.5A가 되어 출력이 약 100W가 된다.



(a) 제어회로 (b) 외형도

그림 6 압축공기를 이용한 전원장치

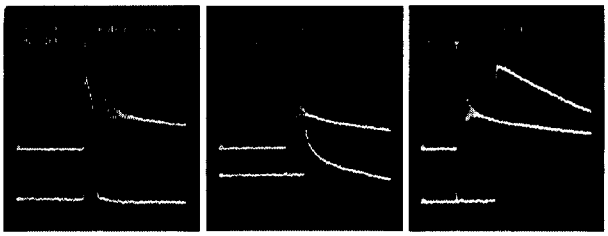
Fig. 6 Control circuit and photograph of the air generator system

4. 동작특성시험 및 결과검토

시제품의 동작특성평가시험은 다음과 같이 실시하였으며 그 시험결과는 표 2와 같다.

4.1 시동신호 발생장치의 동작시험

시동신호 발생장치의 동작시험은 그림 2(a)에서 나타낸 구성도를 기본으로 각 Module의 입력파형과 출력파형을 측정하여 그 Module의 동작성능을 평가하였으며, 그 특성시험 평가결과는 다음과 같다. 그림 7(a)는 RECZA (real time current zero anticipator)의 출력파형과 TPG의 출력파형을 나타낸 것으로 시간 지연은 거의 없다. 그림 7(b)는 TPG의 출력파형과 TPR의 출력파형을 나타낸 것으로 그림에서 알 수 있는 것처럼 지연시간은 2.0㎲정도 발생하였다.



(a) (b) (c)

(a) RECZA/TPG출력 (b) TPG/TPR의 출력

(c) TPG/HVPG의 출력

그림 7 시동신호 발생장치 출력파형

Fig. 7 Waveforms of triggerring system

4.2 고전압 펄스발생장치의 동작시험

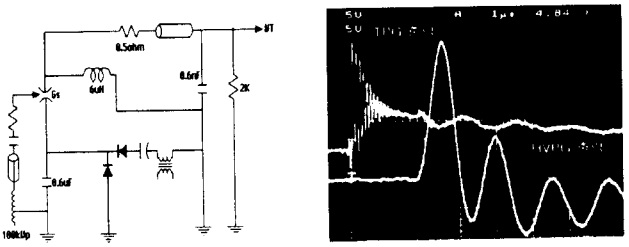
시험회로의 구성은 그림 8과 같다. 그림 8(a)는 개발된 스파크 갭 스위치의 하부고압 펄스발생장치의 회로도로서 운전효율과 장치의 개발원가를 절감하기 위해 충전 콘덴사를 1-Stage로 구성하고, 회로의 정수는 스파크 갭 스위치의 동작효율을 극대화하기 위해 상부 고압펄스 발생장치의 상승시간과 일치하도록 조정하였다.

그림 8(b)는 TPG의 출력과 HVPG의 출력전압을 나타낸 것이고, 그림 9는 스파크 갭 스위치가 동작 할 때의 불꽃방전 상태를 고속카메라를 이용하여 촬영한 그림이다.

4.3 실부하 상태에서의 동작 특성시험

실부하 시험회로도는 그림 10(a)에 나타낸 것처럼 시험전압을 공급하는 콘덴서뱅크(Cv), 시험전류를 발생시키기 위한 리액터(Lv), 과도전압의 주파수를 조정하는 콘덴서(CT), 진폭율을 조정하는 저항(RT) 및 이를 제어하는 스파크 갭 스위치(GS)로 구성된다.

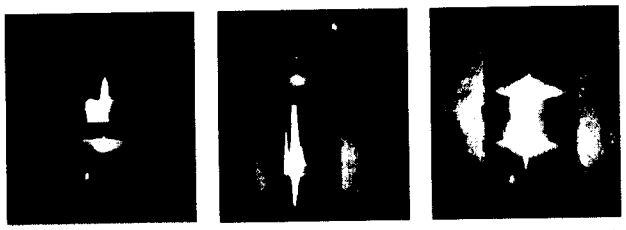
스파크 갭 스위치의 동작 시험은 외부에 출력전압을 측정할 수 있는 분압기(Vd)를 설치한 상태에서 전류영점 예측기(RECZA)에서 시동신호를 출력하면 이 시동신호는 여러 단계의 신호변화를 거쳐 스파크 갭 스위치를 동작시키게 된다. 그러면 콘덴서뱅크(Cv)에 충전된 전하는 주회로 리액터(Lv)와 과도회복전압(TRV)의 조정회로인 CT와 RT를 통해 방전하게 되어 외부에 설치된 분압기에는 스파크 갭 스위치의 동작여부에 따라 출력전압(Vo)이 측정되게 된다. 본 시험에서의 동작시간 즉, td 및 tj의 측정은 이러한 동작 시퀀스를 각각의 충전전압의 여러 단계에서 수행하여 그 결과를 표 2에 나타내었다. 그리고 이 시험결과에서 알 수 있는 것처럼 각각의 시험전압에서 실시한 동작시험에서의 스파크 갭 스위치의 평균 지연시간은 5.0μs이다. 이 지연시간은 시동신호를 발생하여 스파크 갭 스위치까지 전달하는데 소요되는 고유의 시간이 그림 7에서 나타낸 것처럼 4.5μs이므로 스파크 갭 스위치의 순수한 동작지연시간은 0.5~1.0μs이고, 지연시간의 편차인 Jitter time는 0.5μs 이하가 된다.



(a)HVPG장치의 회로도 (b)TPG/HVPG의 출력

그림 8 고압Pulse 발생장치의 회로도 및 출력파형

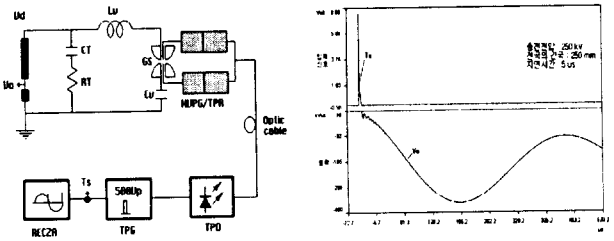
Fig. 8 Schematic of high voltage generator system and output waveform



(a) 상부 갭 시동시 (b) 하부 갭 시동시 (c) 쌍방향 시동시

그림 9 개발된 시제품의 동작시 불꽃방전

Fig. 9 Photograph of spark-gap switch under spark discharging condition



(a) 시험 회로도 (b) 시험 결과

그림 10 실부하 시험 회로도 및 시험결과

Fig. 10 Test circuit and results of the newly developed spark-gap switch

표 2 스파크 갭 스위치의 동작특성

Table 2 Operating characteristics of spark-gap switch

시동 방식 / 시동에너지 / 충전전압	개발된 스위치 (쌍방향 시동방식)		현재의 스위치 (단방향시동방식)		전극의 간극 (mm)
	760/760(J)	760/380(J)	760 (J)	380(J)	
50 kV	5.0 (us)	-	5.0 (us)	5.0 (us)	24
	4.5 (us)	-	-	-	35
	5.0 (us)	-	-	-	40
	6.0 (us)	-	-	-	50
100 kV	-	-	5.0 (us)	5.0 (us)	50
	4.5 (us)	5.0 (us)	-	-	100
150 kV	-	-	5.0 (us)	5.0 (us)	75
	5.5 (us)	5.0 (us)	-	-	150
200 kV	-	-	4.5 (us)	4.0 (us)	100
	5.0 (us)	5.0 (us)			200
250 kV	-	-	5.0 (us)	5.0 (us)	125
	5.0 (us)	5.0 (us)	-	-	250

5. 결 론

본 연구에서는 시동에너지를 스파크 갭 스위치의 양쪽 전극에서 동시에 주입하는 쌍방향 시동방식을 채택하였다. 그리하여 스파크 갭 스위치의 운전전압을 유지전압의 80%에서 60%까지 확장된 장치를 개발 완료함으로서 합성시험시 투입-차단 책무 및 자동재폐로책무에서 스파크 갭 스위치의 양쪽 전극에는 전류원회로의 시험전압이 중첩되어 인가되어 발생하던 스파크 갭 스위치의 불안정한 동작을 해결할 수 있었다.

이로서 합성단락시험의 신뢰성 및 시험효율을 제고시킬 수 있었고, 펄스파워의 발생장치 및 고전압 제어장치 등의 국산화도 함께 완성하여 시험설비의 운전비용도 크게 절감할 수 있을 것으로 기대된다.

향후에는 본 연구의 기본기술을 바탕으로 초고압 대용량 차단기의 투입시험설비의 개발 및 연구에 적극 활용할 계획으로 있으며, 고압제어장치의 부품의 개발사업도 병행하여 추진할 계획이다.

참 고 문 헌

[1] IEC-High voltage alternating current circuit breaker, Publication 60056, 1987.

[2] IEC-Synthetic testing high voltage alternating current circuit breaker, Publication 60427, 1989.

[3] A, GreenWood, "Electrical Transients in power Systems", Wiley-Interscients Pub., John Wley & Sons, Inc. 1991.

[4] W. James Sarjeant, R. e. Dolling, "High-power electronics", TAB Books inc., pp. 171-191, 1989.

[5] Gerhard schaefer, M. kristansen, a. Guenther, "Gas Discharge Closing Switches", Plenum Press, pp. 63-81, 1990.

[6] 林泉, "고전압 플라즈마공학", 동일출판사, pp. 165-169, 1997.

[7] 전춘생, "방전고전압공학", 동명사, pp. 62-82, 1980.
[8] 오길한 편역, "기체방전공학", 경북대학교출판부, 1996.
[9] 전기학회 대전류응용기술조사 전문위원회편, "대전류 공학 핸드북", 코로나사, pp. 53-58, 1992.
[10] J. M. Meek, J. D. Craggs, "Electrical Breakdown of Gases", John Wley & Sons, Inc. 1978.

저 자 소 개

김 맹 현 (金 孟 顯)

1961년 6월 14일생. 1989년 경남대 공대 전기공학과 졸업. 1996년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1989년~현재 한국전기연구소 선임연구원
Tel : 0551-280-1524
E-mail : kimmh@keri.re.kr

서 윤 택 (徐 潤 澤)

1965년 4월 17일생. 1991년 영남대 공대 전기공학과 졸업. 1999년 창원대 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1991년~현재 한국전기연구소 선임연구원
Tel : 0551-280-1592
E-mail : ytsuh@keri.re.kr

박 승 재 (朴 勝 哉)

1966년10월 18일생. 1989년 광운대 공대 전기공학과 졸업. 2000년 경남대 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1989년~현재 한국전기연구소 선임연구원
Tel : (0551) 280-1525
E-mail : parksj@keri.re.kr

박 병 락 (朴 炳 樂)

1952년 2월 23일생. 1978년 영남대 공대 전기공학과 졸업. 1996년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1980년~현재 한국전기연구소 전기시험연구센터장
Tel : 0343-420-6003
E-mail : brpark@keri.re.kr

고 희 석 (高 羲 石)

1942년 8월 21일생. 1966년 부산대 공대 전기공학과 졸업. 1979년 동아대 전기공학과 졸업(석사). 1985년 중앙대 전기공학과 졸업(공박). 경남대 전기전자공학부 교수
Tel : (0551) 249-2628
E-mail : powersys@kyungnam.ac.kr