

AC SSCB를 이용한 새로운 3상 Static Transfer Switch

New Three-Phase Static Transfer Switch using AC SSCB

송승민* · 김진영* · 김인동†
 (Seung-Min Song · Jin-Young Kim · In-Dong Kim)

Abstract - These days, widespread use of sensitive loads and distributed generators makes static transfer switch (STS) an essential component in power circuits to achieve a good power quality for AC Grids. In case of a short-circuit fault, previous STS cannot break the fault current. However, the proposed STS has the capability of breaking it quickly as a circuit breaker. Also if there are power quality problems such as Sag/Swell, the proposed STS can quickly transfers the load to the good quality source. Furthermore it is proved that the transfer time of the proposed STS is within one half of period of 3-phase source frequency regardless of the type of load. It is anticipated that the proposed STS may be utilized to realize many stable and reliable AC grid systems.

Key Words : Static Transfer Switch(STS), Solid-state Circuit Breaker(SSCB), Short-circuit fault, Sag, Swell, AC grid

1. 서론

현대 사회는 IT 산업의 발전과 더불어 전력 품질에 민감하게 반응하는 부하들이 널리 보급되고 있다 [1].

그림 1은 국제 표준 사양(IEC 62040-3)에서 전압 교란의 크기에 따른 지속시간의 규정을 보여준다[2]. 전원에서 sag/swell이 발생하더라도 규정된 시간 이내에 신속하게 다른 전원으로 전환하면 부하는 항상 좋은 품질의 전력을 공급받을 수 있다. STS (Static Transfer Switch)는 신속하게 전원을 전환할 수 있기 때문에 민감한 부하에 필수적이며, STS는 EMTS(Electromagnetic

Transfer Switch)를 대체하기 위해 고압 어플리케이션에서도 적용되고 있다 [3-4].

그림 2는 기존의 STS 회로도이다. 기존의 STS는 SCR로 구성 되어 있으며 preferred source에 사고가 발생하면 해당 SCR을 모두 턴오프하고 alternate source와 연결된 SCR을 턴온해서 부

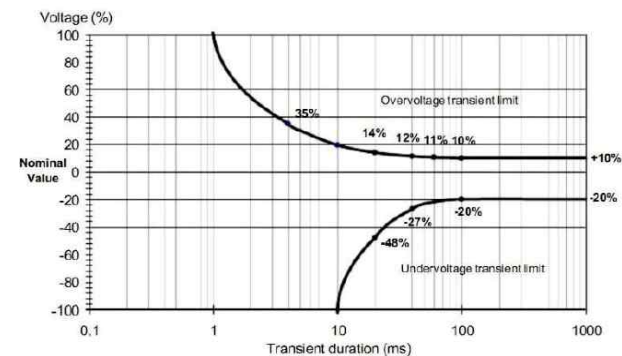


그림 1 전압교란의 크기에 따른 지속시간의 규정
 Fig. 1 Output dynamic performance classification

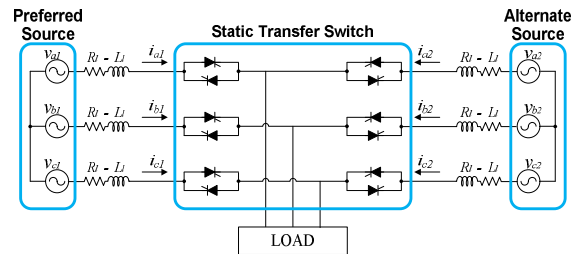


그림 2 기존의 STS(Static Transfer Switch) 회로도
 Fig. 2 Previous STS schematic

Case No.	Test Condition	Transfer Time		
		Anal. (ms)	Sim. (ms)	Exp. (ms)
1	u=35%	2.89	2.72	3
2	$\phi = 90^\circ$ pf = 0.7	1.66	1.69	1.83
3	$\phi = 200^\circ$ pf = 0.8	3.40	3.10	3.61
Total Load-Transfer Time				
1	u=35%	3.90	4.10	4.03
2	$\phi = 90^\circ$ pf = 0.7	4.27	4.67	4.89
3	$\phi = 200^\circ$ pf = 0.8	7.60	7.62	7.91

그림 3 사고 발생 시 기존의 STS 절환시간
 Fig. 3 Previous STS transfer time when the fault occurs

† Corresponding Author : Dept. of Electrical Engineering, Pukyong National University, Korea.
 E-mail : idkim@pknu.ac.kr

* Dept. of Electrical Eng., Pukyong Nat. University, Korea.
 Received : January 18, 2018; Accepted : April 30, 2018

하에 항상 좋은 품질의 전력을 공급한다.

그림 3은 사고가 발생한 경우 기존의 STS 절환시간을 나타낸다[5]. Case 1은 전원의 전압이 35% 강하된 경우이고, case 2는 a상에서 지락사고가 발생한 경우이고, case 3는 a상과 b상에 단락사고가 발생한 경우에서 STS 절환시간을 나타내고 있다. 그림에서 보는 것처럼 기존의 STS는 상당히 긴 절환시간을 갖고 있다. 또한 단락 또는 지락사고가 발생한 경우 기존의 STS는 사고 전류를 신속하게 차단하지 못한다.

전력계통의 고장은 빈번하게 발생하게 되는데 사고 전류의 신속한 차단이 이루어지지 않는다면 큰 피해가 발생하게 된다[6]. 그리고 짧은 시간의 접촉사고의 경우에 오랜 시간동안 차단 상태로 유지 된다면 2차 경제적 손실이 발생한다[7]. 이러한 이유로 차단기에는 재투입 동작과 재차단 동작을 반복 수행해야 하는 동작책무 조건이 (IEC-62271-100) 규정되어 있다[8]. 따라서 본 논문에서는 위에서 언급한 바와 같은 기존 STS의 단점을 해결하는 새로운 STS를 제안한다.

제안하는 STS는 절환스위치로 AC SSCB(Solid-State Circuit Breaker)를 이용하여 절환동작을 수행하므로 부하에 좋은 품질의 전력을 항상 공급할 수 있다. 또한 제안하는 STS에 사용되는 AC SSCB는 1[ms] 이내에 신속한 사고전류의 차단이 가능하며 재투입과 재차단동작을 수행할 수 있으므로 단락사고 발생 시에도 신속한 차단동작을 수행할 수 있다.

2. 3상 AC SSCB를 이용한 새로운 STS

그림 4는 STS(Static Transfer Switch)의 개념도를 나타낸다. 독립된 전원 2개는 각각의 SSCB와 연결되어 있고 각각의 SSCB의 출력은 부하에 연결되어 있다. 평소에는 preferred source에서 부하로 전력을 공급하고 preferred source에 문제가 발생하면 alternate source로 전원을 절환한다.

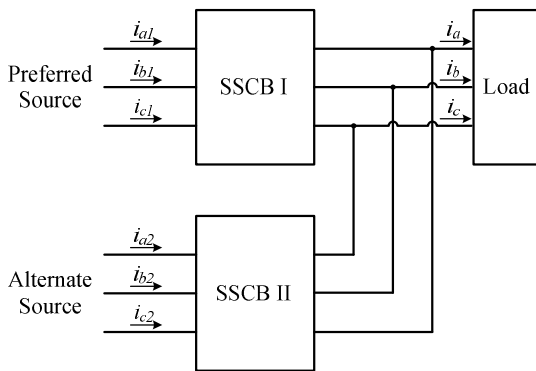


그림 4 STS(Static Transfer Switch) 개념도
Fig. 4 STS Conceptual diagram

그림 5는 기존의 STS와는 달리 각 상에 SCR 대신 SSCB가 연결되어 있는 제안하는 STS 회로도이다. 각각의 전원에 SCR이 아닌 SSCB가 연결되어 있으므로 사고가 발생하면 신속하게 차단이 가능하고 기존의 STS처럼 절환동작도 가능하다.

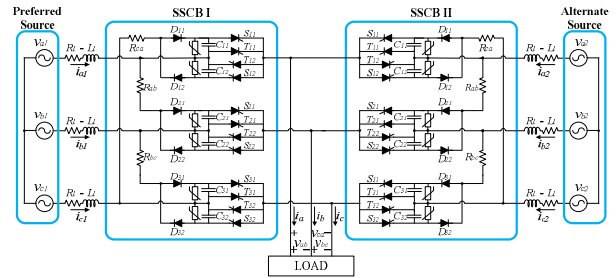


그림 5 제안하는 STS 회로도
Fig. 5 Proposed STS schematic

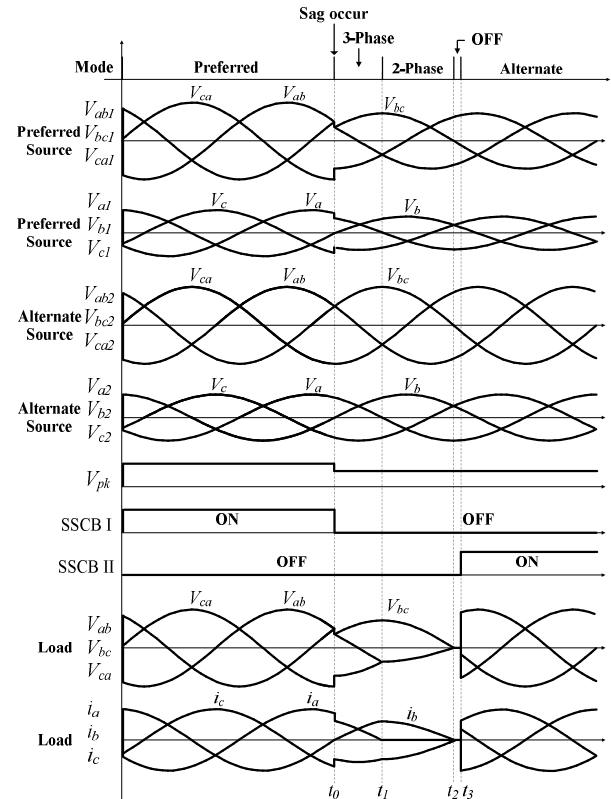


그림 6 제안하는 STS 동작 파형
Fig. 6 Proposed STS operation waveforms

그림 6은 제안하는 STS 동작 파형이다. STS는 크게 5가지의 모드를 가진다. 모드는 Preferred Source에서 전력을 공급하는 Preferred mode, 전력품질의 문제를 인지한 후 모든 스위치의 게이트 신호를 off하였으나 아직은 3상의 전류가 흐르고 있는 구간인 3-Phase mode, 1개의 상전류가 0[A]가 되고 2개의 상에만 전류가 흐르는 2-phase mode, 3상의 전류가 모두 0[A]가 된 off mode, 그리고 Alternate source를 통해 전력을 공급하는 Alternate mode로 이루어진다.

2.1 Preferred mode

Preferred mode는 preferred source에서 SSCB I을 통해 부하

로 전력을 전달하는 모드이다. 이 모드에서 STS는 preferred source의 전압을 검지해서 sag/swell과 같은 전력품질의 문제 또는 단락, 지락사고와 같은 사고가 발생하는지 판별한다.

2.2 3-Phase mode ($t_0 \sim t_1$)

3-Phase mode는 preferred source의 전력품질에 문제가 발생한 것을 검지한 모드이다. 전력품질 문제를 검지하면 SSCB I의 SCR $T_{all}(T_{11}, T_{12}, T_{21}, T_{22}, T_{31}, T_{32})$ 에 모두 off 신호를 인가한다. 하지만 SCR은 전류가 0[A]가 되어야 꺼지는 소자이므로 여전히 3상 모두 전류가 흐르고 있다.

2.3 2-Phase mode ($t_1 \sim t_2$)

2-phase mode는 1상의 전류가 0[A]가 되어서 2개상의 전류만 흐르는 모드이다. 그림 6의 t_1 에서 i_a 가 0[A]가 되어서 b상과 c상의 전류만 흐르게 된다. b상과 c상의 전류는 V_{bc} 에 의해서 결정된다.

2.4 Off mode ($t_2 \sim t_3$)

off mode는 SSCB I의 SCR $T_{all}(T_{11}, T_{12}, T_{21}, T_{22}, T_{31}, T_{32})$ 이 모두 꺼진 모드이다. SCR은 전류가 0[A]가 되고 t_q 시간이 지나야 완전히 꺼진다. 그러므로 SSCB II를 켜기 전에 SCR이 완전히 꺼지도록 잠시 대기하는 모드이다. SCR의 t_q 시간은 주로 100[us] 내외이므로 off mode는 다른 모드에 비해 매우 짧은 시간을 가진다.

2.5 Alternate mode

Alternate mode는 SSCB II를 켜서 alternate source에서 부하로 전력을 전달하는 모드이다. 전원의 절환이 완전히 이루어져서 부하는 좋은 품질의 전력을 공급받게 된다.

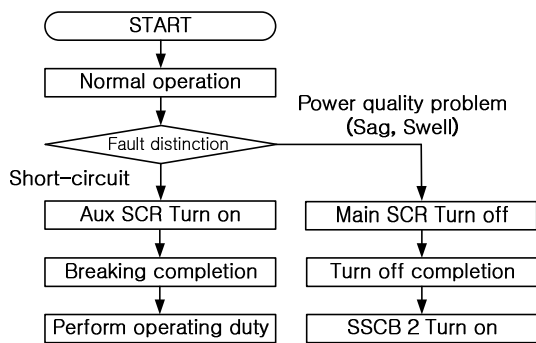


그림 7 STS 차단동작 알고리즘
Fig. 7 STS breaking operation algorithm

그림 7은 STS의 동작 알고리즘을 나타낸다. 제안하는 STS는

기존의 STS와 달리 SSCB를 이용하므로 단락사고가 발생한 경우와 sag/swell과 같은 전력품질에 문제가 발생한 경우에 따라 다르게 동작해야 한다.

계통에 단락사고가 발생한 경우 SSCB I는 신속한 차단동작을 수행한다. 그리고 규정에 따라 재투입과 재차단의 동작책무를 수행한다. 기존의 STS의 경우 단락사고가 발생하면 단락전류를 차단할 수 없지만 SSCB를 사용한다면 1[ms]이내에 신속한 차단이 가능하다.

전원에서 sag나 swell이 같은 전력품질의 문제가 발생하면 SSCB I은 오프동작을 수행한다. 그리고 SSCB I의 모든 전류가 0이 되면 SSCB II를 켜서 전원을 절환하는 절환동작을 수행한다.

3. 제안한 STS를 위한 3상 AC SSCB

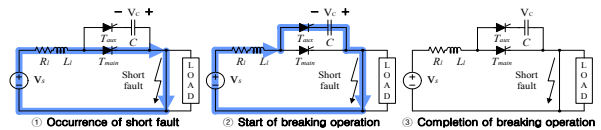


그림 8 전류회로를 갖는 SCR
Fig. 8 SCR with commutation circuit

그림 8은 제안한 STS를 위한 3상 AC SSCB에서 SCR을 강제 턴오프시키기 위해 전류 커패시터 C로 구성된 전류회로를 갖는 회로이다. 단락사고가 발생하면 그림 8의 ②처럼 SCR T_{aux} 를 턴온한다. SCR T_{aux} 가 켜지면 SCR T_{main} 에는 역방향으로 전류 커패시터의 충전전압인 V_c 가 인가된다. 그로인해 SCR T_{main} 의 전류는 감소하여 0이 되고 t_q 시간이 지나면 SCR T_{main} 이 완전히 턴오프되고 전류는 모두 SCR T_{aux} 를 통해 흐르게 된다. 계통의 전류가 점점 감소하면서 선로 인덕턴스에 저장되었던 에너지는 전류 커패시터로 옮겨가며, 선로 인덕턴스의 전류가 0에 도달함에 따라 전류 커패시터는 역방향 최대전압으로 충전된다.

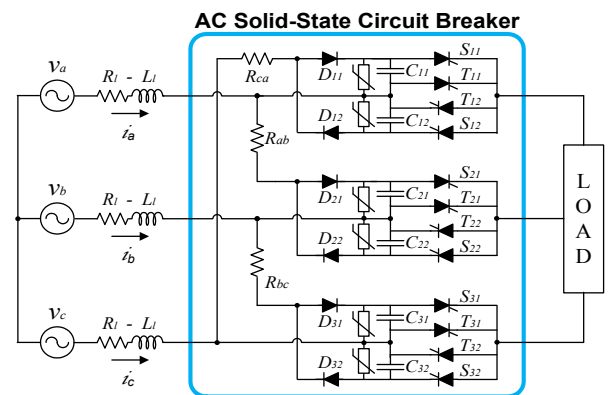


그림 9 3상 AC SSCB[9]
Fig. 9 3-phase AC SSCB[9]

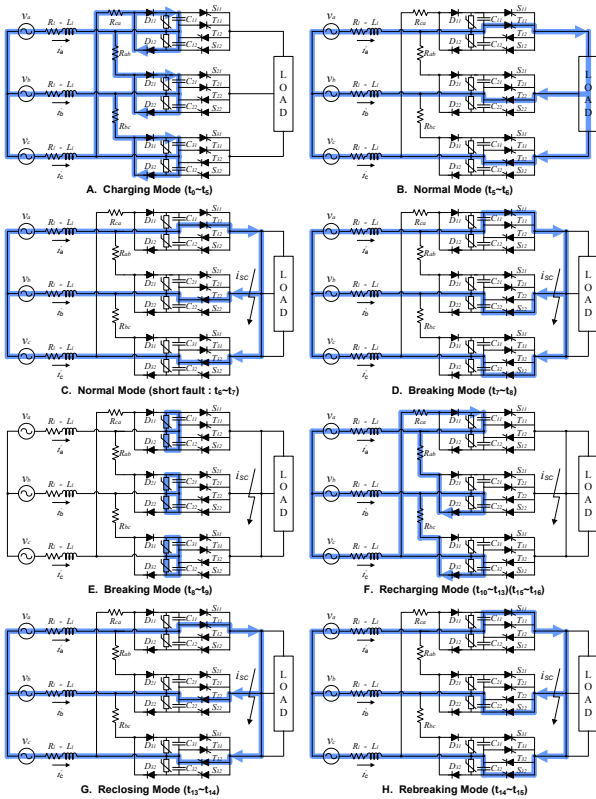


그림 10 3상 AC SSCB의 동작모드
 Fig. 10 Operation mode of the 3-phase AC SSCB

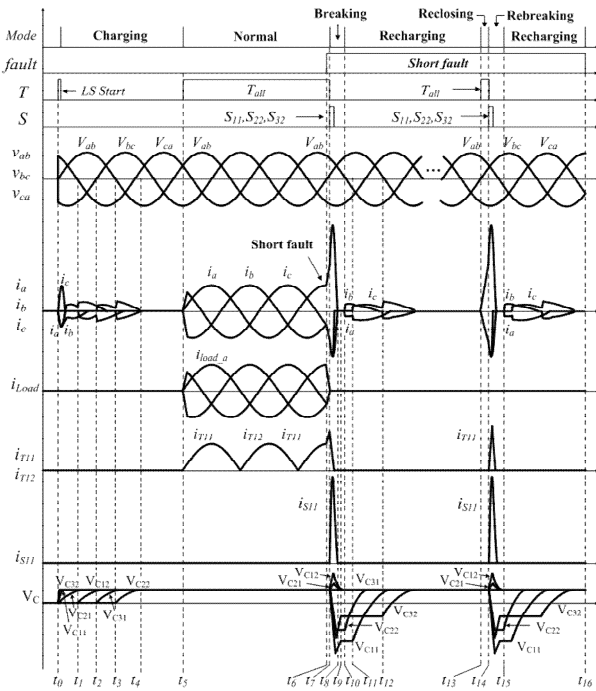


그림 11 AC SSCB의 동작 파형
 Fig. 11 Operation waveforms of the AC SSCB

그림 9는 제안한 STS를 위한 상세한 3상 AC SSCB 회로이다. 그림 10은 AC SSCB 동작 모드를 나타낸다. AC SSCB는 6가지 동작 모드로 나누어진다. 6가지 동작 모드는 전류 커패시터를 충전하는 충전 모드, 부하에 에너지를 공급하는 정상 모드, 사고 전류를 차단하는 차단 모드, 재투입 동작을 수행하기 위한 전류 커패시터의 재충전 모드, 다시 부하에 에너지를 공급하는 재투입 모드, 계속해서 사고가 유지되면 다시 차단하는 재차단 모드이다.

3.1 충전모드

AC SSCB가 차단동작을 수행하려면 전류 커패시터의 충전이 선행되어야 하므로 충전모드에서 AC SSCB의 모든 전류 커패시터들은 충전되어야 한다. 따라서 AC SSCB의 충전 모드($t_0 \sim t_1$)에서는 선간전압과 충전저항을 이용하여 사고 차단에 요구되는 전압으로 전류 커패시터를 충전하게 된다. 그림 11의 t_0 에서 LS(라인 스위치)가 턴온되면 전류 커패시터의 충전이 시작된다. 모든 전류 커패시터들은 SCR을 포함하지 않는 충전 루프를 가지므로 전류 커패시터 충전을 위한 별도의 제어가 요구되지 않는다. 또한 부하측이 단락사고 상태이더라도 전류 커패시터의 충전이 이루어지므로 제안한 AC SSCB는 언제든지 차단동작을 수행할 수 있다.

3.2 정상모드

정상모드는 AC SSCB의 정상모드로서 SCR $T_{all}(T_{11}, T_{12}, T_{21}, T_{22}, T_{31}, T_{32})$ 를 턴온하면 부하에 에너지를 전달하게 된다. 정상 모드에서는 전류와 전압을 검지하여 과전류 및 전압의 sag/swell 등 사고를 판별하게 된다. STS의 preferred mode와 동일하다.

3.3 정상모드 (단락사고 발생)

그림 10의 모드 C는 t_6 에서 3상 단락사고가 발생하여 사고 전류가 증가하는 구간이다. 단락사고가 발생하였지만 사고전류의 크기는 사고로 판단되는 기준 전류보다 작으므로 AC SSCB는 정상모드로 동작을 한다. 상전류 i_a 가 점차 증가하여 t_7 이 되면 AC SSCB는 단락 사고로 판단하여 차단모드가 시작된다.

3.4 차단모드

차단모드는 충전된 전류 커패시터를 이용하여 사고 전류를 차단하는 구간이다. 그림 10의 D회로처럼 각 상전류의 방향에 맞는 보조 SCR S_{11}, S_{22}, S_{32} 가 턴온 되면 전류 커패시터 C_{11}, C_{22}, C_{32} 에 의해 메인 SCR T_{11}, T_{22}, T_{32} 이 턴오프가 된다. 모든 상에는 R_l-L_l-C 공진 전류가 흐르게 되며 사고 전류는 감소하게 된다. 차단에 이용된 각 상의 전류 커패시터 C_{11}, C_{22}, C_{32} 는 그림 8의 V_c 파형처럼 역방향으로 충전이 된다.

3.5 차단모드 (모든 SCR off)

그림 10의 모드 E는 모든 사고 전류가 차단이 되고 계통에

전류가 흐르지 않는 구간이다. 그림 11의 t_8 에서 보조 SCR을 통해 흐르는 전류가 0이 되고 AC SSCB의 모든 SCR은 턴오프가 되므로 AC SSCB의 차단동작이 완료된다. 역방향으로 충전된 전류 커패시터의 전압이 배리스터의 항복전압보다 커지므로 전류 커패시터는 t_9 까지 배리스터를 통해 방전한다.

3.6 재충전모드

재충전모드는 AC SSCB의 차단모드에서 방전된 전류 커패시터를 재충전하는 구간이다. 재충전 루프는 충전모드($t_0 \sim t_5$)의 충전 루프와 동일하다. 전류 커패시터는 모든 SCR이 턴오프 된 상태에서 재충전 동작이 이루어지므로 부하 측에 단락 상태가 유지되더라도 재충전이 가능하다.

3.7 재투입모드

재투입모드는 주 SCR $T_{all}(T_{11}, T_{12}, T_{21}, T_{22}, T_{31}, T_{32})$ 이 턴온되는 구간이다. 차단기는 동작책무의 재투입 시간에 따라 재투입 동작을 하여야 한다. 따라서 부하측에는 단락사고가 지속되고 있는 상태여도 모든 주 SCR을 턴온하여야 한다.

3.8 재차단모드

단락사고로 판별되는 t_{14} 가 되면 AC SSCB는 재차단 동작을 시작한다. 재차단동작의 원리는 차단모드($t_7 \sim t_9$)의 동작과 같다.

4. 제안하는 STS의 절환시간

Sag/swell은 전력 품질의 대표적인 문제로 규정(IEC-61000-4-30)에 따라 반주기 이상 지속되는 전력품질 문제를 말한다 [10]. 그러므로 STS의 절환 시간이 반주기 이내에 완료된다면 부하에는 sag/swell이 발생하지 않으므로 항상 좋은 품질의 전력을 공급받을 수 있다.

제안하는 STS는 SSCB I의 메인 SCR이 켜져있는 상태에서 SSCB II의 메인 SCR을 턴온하면 단락사고가 발생할 수 있으므로 반드시 SSCB I의 모든 전류가 0이 되는 것을 확인하고 SSCB II의 메인 SCR을 턴온해야 한다. 즉, SSCB I의 모든 메인 SCR이 반주기 이내에 꺼져야 STS는 반주기 이내에 절환이 가능하다.

그림 12는 저항부하에서 최대절환시간을 갖는 경우의 STS 동작파형을 나타낸다. $T_{3-phase}$ 는 3-Phase mode의 시간이고, $T_{2-phase}$ 는 2-phase mode의 시간이다. T_{off} 는 sag검지 후 모든 상 전류가 0[A]가 되는 경우이고, T_{on} 은 off 모드에서의 시간이고 T_{STS} 는 사고발생 후 절환되는 전체시간이다.

그림에서와 같이 T_{STS} 의 수식은 다음과 같다.

$$T_{STS} = T_{OFF} + T_{ON} \quad (1)$$

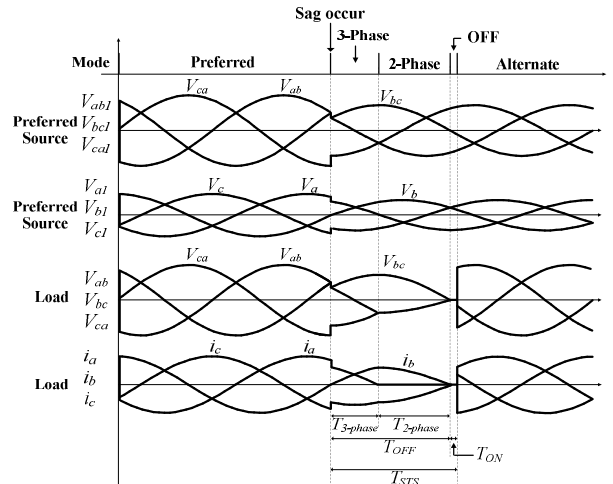


그림 12 최대절환시간에서 STS 동작파형(저항부하)

Fig. 12 STS operation waveforms at maximum transfer time (resistance load)

그리고 T_{OFF} 의 수식은 다음과 같다.

$$T_{OFF} = T_{3-phase} + T_{2-phase} \quad (2)$$

3상에서 전류가 0[A]가 되는 지점은 60° 마다 존재하므로 $T_{3-phase}$ 의 범위는 다음과 같다.

$$0 \leq T_{3-phase} \leq \frac{T}{6} \quad (3)$$

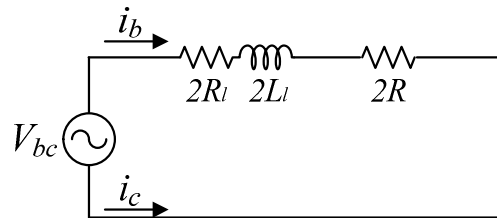


그림 13 그림 12의 $T_{2-phase}$ 에서 등가회로

Fig. 13 Equivalent circuit at $T_{2-phase}$ of Fig 12

그림 13은 저항부하에서 a상전류가 0이 된 경우에 남은 상의 등가회로를 나타낸다. i_b 와 i_c 는 V_{bc} 에 의해 흐른다는 것을 그림 13을 통해 알 수 있다. 그러므로 V_{bc} 가 0[V]가 될 때 i_b 와 i_c 도 0[A]가 된다. 그림 14는 전원의 선간전압과 상전압 페이저도를 나타낸다.

그림 14에서 알 수 있듯이, V_a 와 V_{bc} 는 90° 의 위상차를 가진다. V_a 가 0[V]가 되고 V_{bc} 가 0[V]가 될 때까지의 시간이 $T_{2-phase}$ 이므로 $T_{2-phase}$ 는 다음과 같다.

$$T_{2-phase} = \frac{T}{4} \quad (4)$$

그러므로 $\frac{T}{4} \leq T_{OFF} \leq \frac{5T}{12}$ 가 된다.

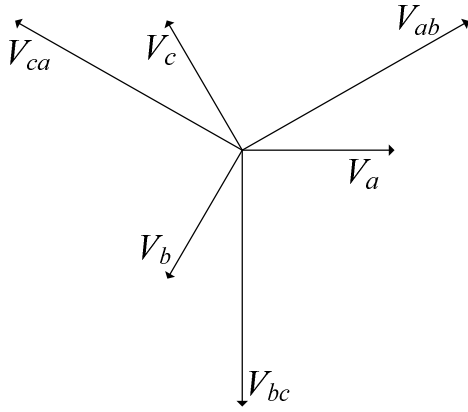


그림 14 전원의 선간전압과 상전압 페이저도
Fig. 14 Line voltage and phase voltage of the power source

T_{ON} 의 시간은 T_{OFF} 에 비해 매우 짧으므로 $T_{STS} \approx T_{OFF}$ 가 된다. 즉, 저항부하에서 STS의 최대 절환시간 $T_{STS-max}$ 는 다음과 같다.

$$T_{STS-max} = \frac{5T}{12} \quad (5)$$

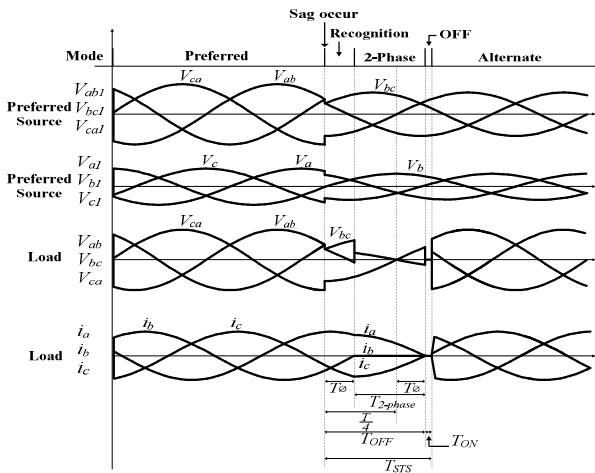


그림 15 R-L부하에서 STS 동작과정
Fig. 15 STS operation waveforms at R-L load

그림 15는 θ° 만큼 위상지연이 있는 R-L부하에서의 STS 동작 과정이다. T_θ 는 전압과 전류의 위상차이 시간을 말한다. 그림에서 처럼 T_{OFF} 는 다음과 같다.

$$T_{OFF} = T_\theta + T_{2-phase} \quad (6)$$

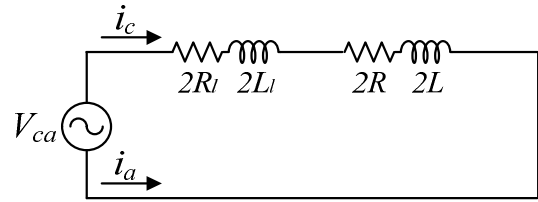


그림 16 그림 15의 $T_{2-phase}$ 에서 등가회로
Fig. 16 Equivalent circuit of Fig 15 at $T_{2-phase}$

그림 16은 그림 15의 $T_{2-phase}$ 에서 등가회로이다. 그림 16에서 알 수 있듯이, 2상에만 전류가 흐를 때 전체 임피던스가 2배가 되므로 V_{ca} 와 i_c 의 위상차는 3상에 전류가 흐를 때의 V_b , i_b 의 위상차와 동일하다. 즉, V_{ca} 와 i_c 의 위상차는 0° 이다. 그러므로 V_{ca} 가 0[V]가 되고 시간이 T_θ 만큼 지나고 i_c 와 i_a 가 0[A]가 되므로 $T_{2-phase} = \frac{T}{4}$ 이다.

R-L부하도 저항부하와 마찬가지로 3상이므로 1상의 전류가 0이 되는 시간의 범위는 동일하다. 즉, 역률에 상관없이 $0 \leq T_{3-phase} \leq \frac{T}{6}$ 의 범위를 가지므로 $T_{STS-max} = \frac{5T}{12}$ 이다. 그러므로 역률에 관계없이 반주기 이내에 전원의 절환이 가능하다.

5. 시뮬레이션 및 실험과정

5.1 절환동작 실험

제안하는 STS의 실험 파라미터는 표 1과 같다.

표 1 제안하는 3상 STS의 파라미터

Table 1 Proposed 3-phase STS parameters

Power	9.63 [kW]
Line Voltage	380 [V]
Full load current	4.8 [A]
Line resistance R_L	100 [mΩ] (0.222%)
Line inductance L_L	35 [μH] (0.0293%)
Load resistor R	45 [Ω]
Range of trip setting	380[V] → 342[V]

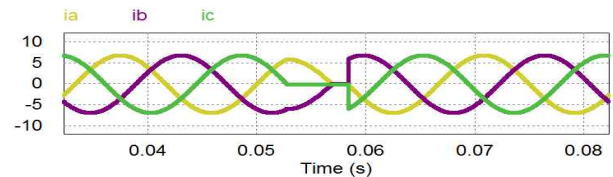


그림 17 sag 발생시 i_a , i_b , i_c 의 시뮬레이션 과정
Fig. 17 Simulation i_a , i_b , i_c waveforms when sag occurs

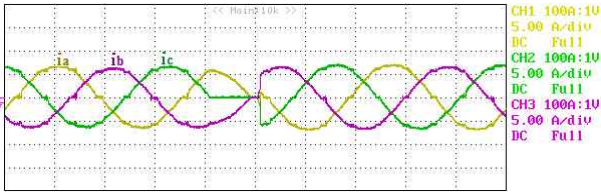


그림 18 sag 발생시 i_a, i_b, i_c 의 실험 파형
 Fig. 18 Measured i_a, i_b, i_c waveforms when sag occurs

그림 17은 Sag 발생 시 i_a, i_b, i_c 의 시뮬레이션 파형이고 그림 18은 그림 17의 실험 파형이다.

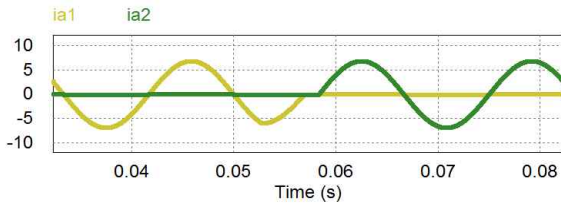


그림 19 sag 발생시 i_{a1}, i_{a2} 의 시뮬레이션 파형
 Fig. 19 Simulation i_{a1}, i_{a2} waveforms when sag occurs

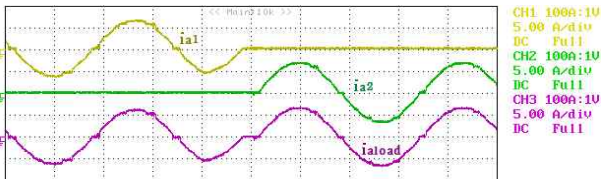


그림 20 sag 발생시 i_{a1}, i_{a2} 의 실험 파형
 Fig. 20 Measured i_{a1}, i_{a2} waveforms when sag occurs

그림 19는 Sag 발생 시 AC SSCB의 전류 i_{a1}, i_{a2} 의 시뮬레이션 파형이고 그림 20은 그림 19의 실험파형이다. SSCB I의 전류가 0이 되고 SSCB II가 켜지는 것을 확인할 수 있다.

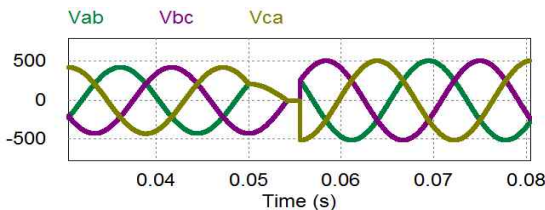


그림 21 sag 발생시 V_{ab}, V_{bc}, V_{ca} 의 시뮬레이션 파형
 Fig. 21 Simulation V_{ab}, V_{bc}, V_{ca} waveforms when sag occurs

그림 21은 Sag 발생 시 부하의 전압 V_{ab}, V_{bc}, V_{ca} 의 시뮬레이션 파형이고 그림 22는 그림 21의 실험파형이다. Sag가 발생하고 반주기 이내에 전원이 절환되는 것을 확인할 수 있다.

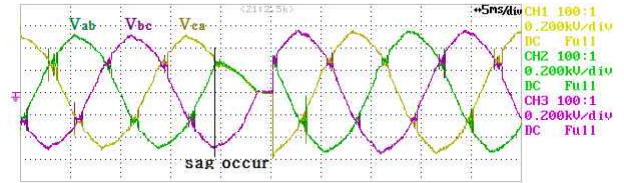


그림 22 sag 발생시 V_{ab}, V_{bc}, V_{ca} 의 실험 파형
 Fig. 22 Measured V_{ab}, V_{bc}, V_{ca} waveforms when sag occurs

제안된 STS는 3상 계통에서 분산전원으로 반주기 이내에서 절환되므로 부하에서 sag 및 swell이 발생하지 않아서 부하는 항상 좋은 품질의 전력을 공급받는 것을 확인할 수 있다.

5.2 SSCB동작 실험

표 2는 AC SSCB의 실험 파라미터를 나타낸다.

표 2 AC SSCB의 실험 파라미터

Table 2 Experiment parameter of the AC SSCB

Power	46.67 [kW]
Line Voltage	380 [V]
Full load current	70.7 [A]
Line resistance R_L	100 [mΩ] (3.214%)
Line inductance L_L	35 [uH] (0.424%)
Load resistor R	3 [Ω]
short fault switch resistance	200 [mΩ]
Range of trip setting	100[A _{peak}] → 500[A _{peak}]

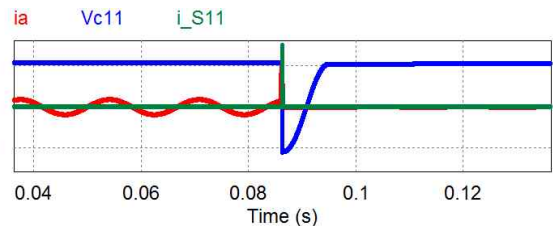


그림 23 차단모드에서 V_{C11}, i_a, i_{S11} 의 시뮬레이션 파형
 Fig. 23 Simulation V_{C11}, i_a, i_{S11} waveforms at breaking mode

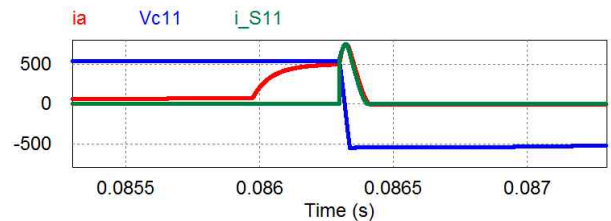


그림 24 그림 23의 확대파형
 Fig. 24 Magnification waveforms of the Fig 23

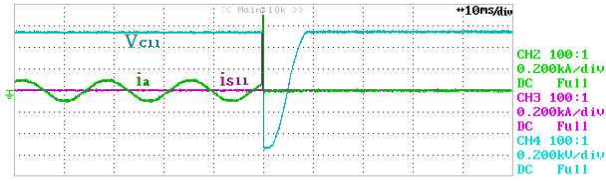


그림 25 차단모드에서 V_{C11} , i_a , i_{S11} 의 실험 파형
 Fig. 25 Measured V_{C11} , i_a , i_{S11} waveforms at breaking mode

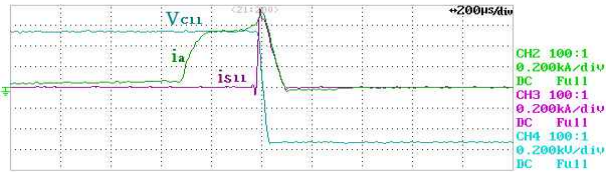


그림 26 그림 25의 확대파형
 Fig. 26 Magnification waveforms of the Fig 25

그림 23은 차단모드에서 i_a , i_{S11} , V_{C11} 의 시뮬레이션 파형이다. 그림 24는 그림 23의 확대파형이다. 그림 25는 그림 23의 실험 파형이고, 그림 26은 그림 24의 실험파형이다. AC SSCB는 사고 전류를 100[us] 이내에 차단하는 것을 알 수 있다.

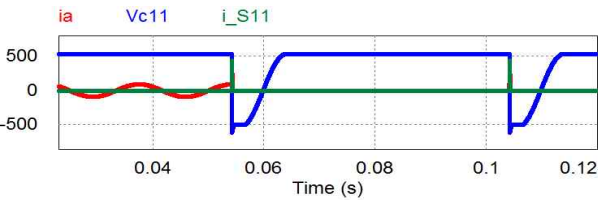


그림 27 동작책무에서 V_{C11} , i_a , i_{S11} 의 시뮬레이션 파형
 Fig. 27 Simulation V_{C11} , i_a , i_{S11} waveforms in operation duty

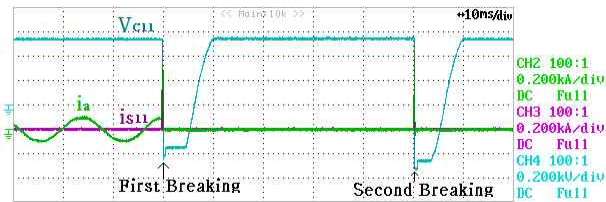


그림 28 동작책무에서 V_{C11} , i_a , i_{S11} 의 실험 파형
 Fig. 28 Measured V_{C11} , i_a , i_{S11} waveforms in operation duty

그림 27은 동작책무모드에서 i_a , i_{S11} , V_{C11} 의 시뮬레이션 파형이다. 그림 28은 그림 27의 실험파형이다.

6. 결 론

본 논문은 재투입과 재차단의 동작책무를 수행할 수 있는 AC SSCB를 이용한 새로운 STS를 제안한다. 단락사고가 발생한 경우

AC SSCB는 신속한 차단동작을 수행하고, Sag와 Swell 같은 전력품질에 문제가 발생할 경우 전원을 교체하는 AC STS 동작을 수행한다. 계통의 사고 종류에 관계없이 제안하는 STS는 반주기 이내에 절환이 가능하므로 부하는 항상 좋은 품질의 전력을 공급 받는다. 제안된 STS의 동작특성은 3상 단락사고와 Sag에 대한 시뮬레이션과 실험에 의해 검증하였다.

감사의 글

본 연구는 한국전력공사의 재원으로 기초전력연구원의 2015년도 선정 기초 연구개발과제의 지원에 의하여 이루어진 연구로서, 관계부처에 감사드립니다. [과제번호 : R15XA03-52]

References

- [1] Chan-Nan Lu and Cheng-Chieh Shen, "Estimation of Sensitive Equipment Disruptions Due to Voltage Sags," IEEE Trans. Power Delivery, vol. 22, No. 2, pp. 1132-1137, Apr. 2007.
- [2] IEC 62040-3, "Uninterruptible power systems (UPS)-Part 3: Method of specifying the performance and test requirements", International Electrotechnical Commission, (1999).
- [3] R. W. De Doncker, W. T. Eudy, J. A. Maranto, H. Mehta, and J. W. Schwartzberg, "Medium voltage subcycle transfer switch," Power Qual. Assur., pp. 46-51, July/ Aug. 1995.
- [4] J. W. Schwartzberg and R. W. De Doncker, "15 kV medium voltage static transfer switch," in Proc. IEEE IAS 30th Annu. Meeting, Orlando, FL, pp. 2515-2520, Oct. 1995.
- [5] H. Mokhtari, S. B. Dewan, and M. R. Iravani, "Analysis of a static transfer switch with respect to transfer time," in IEEE PES-2000 Summer Meeting, IEEE Trans. on Power Delivery, submitted for publication.
- [6] Giuseppe Parise and Luigi Parise, "Unprotected Faults of Electrical and Extension Cords in AC and DC Systems," IEEE Trans. Ind. Appl., vol. 50, No. 1, pp. 4-9, Jan. 2014.
- [7] C. Abbey, D. Cornforth, N. Hatziaargyriou, K. Hirose, A. Kwasinski, E. Kyriakides, G. Platt, L. Reyes and S. Suryanarayanan, "Powering Through the Storm: Microgrids Operation for More Efficient Disaster Recovery," IEEE Power and Energy Magazine, vol. 12, pp. 67-76, May/June 2014.
- [8] C37.09, IEEE Standard Test Procedure for AC High-Voltage Circuit Breakers Rated on a Symmetrical Current Basis, 1999
- [9] Jin-Young Kim, Seung-Min Song, Seung-Soo Choi,

In-Dong Kim and Sun Kyu Choi "New AC solid-state circuit breaker with simple charging and rebreaking capabilities," In Industrial Electronics Society, IECON pp. 3866-3871, Oct.2016

- [10] IEC 61000-4-30 Standard, "Testing and Measurement Techniques-Power Quality Measurement Methods", First Edition, 2003.

저 자 소 개



송 승 민 (Seung-Min Song)

1992년 1월 30일생. 2015년 부경대 공대 전기공학과 졸업. 2017년 부경대 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2017년~현재 부경대학교 대학원 전기공학과 재학(박사과정).



김 진 영 (Jin-Young Kim)

2004년 부경대 공대 전기공학과 졸업. 2006년 부산대 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2014년 부경대 대학원 졸업(공학박사). 2014년~2017년 부경대 박사 후 과정. 2017년~현재 LED-해양융합기술연구센터 책임연구원.



김 인 동 (In-Dong Kim)

1960년 8월 27일생. 1984년 서울대 공대 전기공학과 졸업. 1987년 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 졸업(석사). 1991년 동 대학원 졸업(공학박사). 1991년~1996년 대우중공업 철도차량연구소 책임연구원. 1997년~1998년 미국 Univ. of Tennessee Post Doc., 2004년~2005년 미국 Virginia Tech 방문교수. 1996년~현재 부경대 전기공학과 교수.

E-mail : idkim@pknu.ac.kr