

Solid-State Switched Tap Changer를 이용한 Voltage Sag and Swell 발생장치에 대한 연구

박태범, 정용호, 권기현, 임계영
LG 신전

Voltage Sag and Swell Generator with Solid-State Switched Tap Changer

Tae-Bum Park, Yong-Ho Chung, Gi-Hyun Kwon and Kye-Young Lim
LG Industrial Systems Co.,Ltd

Abstract - 본 논문은 DVR과 DSTATCOM 같은 수 MVA급 용량의 CPD (Custom Power Device)를 평가하기 위한 Sag 및 Swell 전압 발생 장치에 사용될 두 가지 형태의 새로운 회로 방식에 관한 것이다. 제안된 Sag 및 Swell 전압 발생 장치는 계통선로에 직렬로 연결된 직렬 변압기를 통해 다양한 형태로 전압을 발생시킬 수 있으며, 전력회로는 Solid-State Switched Tap Changer와 AC-Chopper 두 가지 방식을 이용하고 있다. 본 논문에서는 제안된 각각의 방식에 대한 고조파 분석을 하였고, 또한 시뮬레이션을 통해서 제안된 Sag 및 Swell 전압 발생장치를 통해서 원하는 형태의 전압을 얻을 수 있음을 확인하였다.

1. 서 론

수용가에서 사용하는 전력 및 전기 장치는 기술의 발전에 의해 반도체 소자의 사용으로 점점 정밀해지고 있으나, 배전계통 및 대형 수용가에 대해 전력품질(Power Quality : PQ)의 저하로 인한 경제적인 손실이 발생하고 있다. 이에 따라 CPD에 대한 개발의 중요성이 크게 부각되고 있다.^[1]

배전계통에 연결되어 있고, 일반적으로 수 MVA 이상의 용량을 가지고 있으며, 전력품질에 악영향을 주는 Voltage Sag와 Swell, Over Voltage, Under Voltage, Flicker 그리고 고조파를 제거하여 양질의 전력을 수용가에 공급하는 역할을 하는 것을 CPD라 한다.^{[1][2]}

반도체 공장이나 화학 공장등의 양질의 전력 품질을 필요로 하는 곳에는 DVR (Dynamic Voltage Restorer) 이나 DSTATCOM (Distribution Static Compensator)과 같은 CPD가 요구된다. 또한, 최근 전기품질의 중요성이 한층 더 강조되어 많은 연구들이 이루어지고 있는데 이는 전기를 사용하여 상품을 생산하는 수용가에게 전기품질의 양부가 경제적으로 큰 영향을 미치는 요소가 되었으나 이러한 CPD를 개발하여도 이를 시험하기 위한 시험장비나 시설이 많지 않으며, 이를 현장에서 직접 시험한다는 것 또한 많은 어려움이 따른다.^[3]

본 논문은 이러한 필요성을 바탕으로 하여 경제적인 비용으로 효과적으로 CPD를 시험할 수 있도록 Voltage Sag와 Swell을 발생시키는 배전급 용량의 SSG (Sag and Swell Generator)에 대해 논의 하고자 한다. SSG는 Solid-State Switched Tap Changer 방식과 AC-Chopper방식을 이용한 두 가지 모델을 제시하였으며, 전압을 계통선로에 직렬로 연결된 변압기를 통해 인가함으로써 Voltage Sag, Swell을 발생시킨다. 아울러 본 논문에서는 제시된 장치가 CPD 시험에 요구되는 Voltage Sag와 Swell을 발생시킬 수 있는가에 대해 Simulation을 통한 검증은 하였고 검증에 사용된 Simulation Tool로서는 MatLab과 PSCAD/EMTDC를 사용하였다.

2. 본 론

2.1 Solid-State Switched Tap Changer방식

그림 1은 Solid-State Switched Tap Changer방식을 이용한 시스템의 구성을 개략적으로 나타내고 있다.^[4-6] 시스템은 크게 입력측 변압기(T_{PA}), 출력측 변압기(T_{SA}), GTO를 이용한 양방향 스위칭 소자(S_{A1}~S_{A6}) 그리고 Bypass용 Thyristor와 고조파를 줄이기 위한 Filter(L_A, C_A)로 구성되어 있다. 입력측 변압기(T_{PA})를 통해 각각의 전압이 Gate-turn off 소자에 전달되며, 입력측 변압기(T_{PA})의 2차측에는 V_{m1}, V_{m2}, V_{m3}의 Tap 전압이 각각 인가 된다.

각각의 인가된 전압중 V_{m1}과 V_{m2}는 Voltage Sag를 발생하는데 사용하며 V_{m2}와 V_{m3}는 Voltage Swell을 발생하는데 사용한다.

SSG에서 스위칭 소자의 Gate 신호를 제어하기 위해 삼각파와 직류 형태의 제어 신호(V_{CON})를 비교기를 통해 PWM(Pulse Width Modulation)을 발생하며 이상적인 환경에서 Dead time은 없는 것으로 가정한다.

PWM에서, 변조에 사용되는 삼각파의 최대값에 대한 제어신호의 비율을 m_a로 정의 하면,

$$m_a = \frac{V_{CON}}{V_{TRI}}$$

이다. 이때, V_{CON}은 제어 신호를, V_{TRI}는 삼각파의 최대값을 나타낸다. 또한 스위칭 주파수와와 주파수비를 m_f로 정의 하면,

$$m_f = \frac{f_s}{f_o}$$

이때, f_s는 스위칭 주파수를, f_o는 60Hz를 나타낸다. 그림 2와 그림 3은 m_a가 0.4이며 f_s는 1.2kHz, f_o는

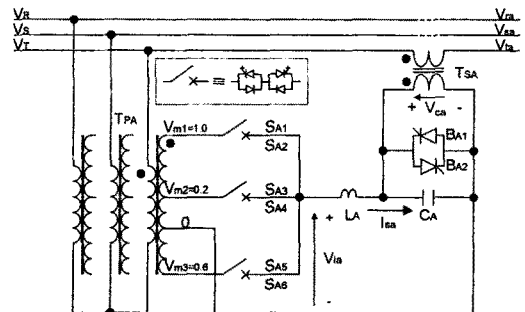


그림 1. Solid-State Switched Tap Changer방식을 이용한 SSG

60Hz, V_{tr} 는 1.0, V_{m1} 은 1.0, V_{m2} 는 0.2, V_{m3} 는 0.6 일 때의 PWM을 보여준다. 입력측 변압기(T_{PA})에 의한 각각의 Tap전압은 $V_{m1}\sin 2\pi f_o t$, $V_{m2}\sin 2\pi f_o t$, $V_{m3}\sin 2\pi f_o t$ 이며, 양방향 스위칭 소자 S_{A1} 또는 S_{A2} 가 도통될 때 $V_{m1}\sin 2\pi f_o t$ 가 선택되며, 양방향 스위칭 소자 S_{A5} 또는 S_{A6} 가 도통될 때 $V_{m3}\sin 2\pi f_o t$ 이 선택되어 각각 Sag와 Swell을 발생하게 된다.

그림 4는 시스템을 모의하여 얻은 파형으로 V_R , V_S , V_T 는 상전압이며, V_{os} 는 SSG의 출력측 변압기를 통해 1차측에 인가되는 전압의 파형이며, V_{ca} 는 출력측 변압기의 2차측에서 측정된 전압이고 I_{ca} 는 이때 흐르는 전류이다. 그림3에서 부하의 전압은 그림 1의 S_{A3} 또는 S_{A4} 가 완전히 도통되면 0.9 P.U. 이다. Voltage Sag의 크기는 변조 지수 m_a 의 변화에 의해 결정되며 S_{A1} 또는 S_{A2} 가 완전히 도통되면 0.5 P.U.의 Voltage Sag가 발생한다. 또한, S_{A5} 또는 S_{A6} 이 완전히 도통되면 1.3 P.U.의 Voltage Swell이 발생함을 알 수 있다.

그림 5와 그림 6은 PMW을 발생시키기 위해 변조에 사용되는 삼각파의 최대값에 대한 제어신호의 비율 m_a

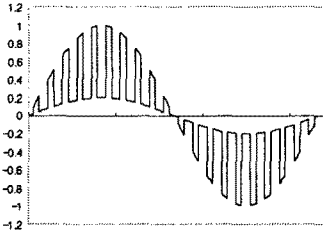


그림 2. Sag발생시 PWM 파형

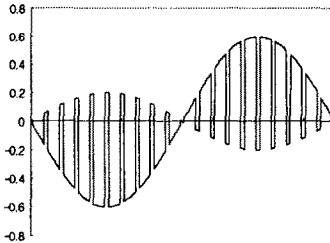


그림 3. Swell 발생시 PWM 파형

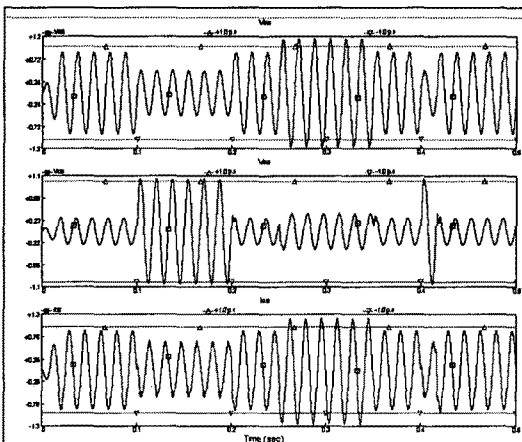


그림 4. Solid-State Switched Tap Changer를 이용한 Voltage Sag/Swell Simulation 파형

의 변화에 따른 고조파를 각각 Sag PWM과 Swell PWM에 대해 나타난 고조파 파형이며, 표1은 시스템 모의에 사용된 주요 기기들의 파라미터 이다.

표 1. 주요 기기의 파라미터

변압기		Tap 전압		LC Filter	
종류	용량	종류	전압(RMS)	L	C
입력측 변압기	2MVA	V_{m1}	800V	350uH	800uF
		V_{m2}	160V		
출력측 변압기	2MVA	V_{m3}	800V		

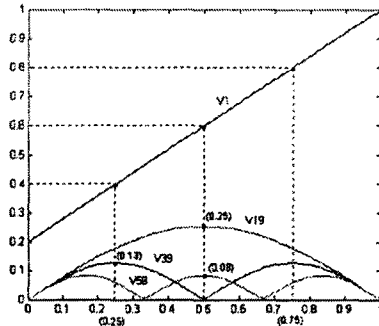


그림 5. m_a 의 변화에 따른 Sag PWM일 때의 고조파 파형

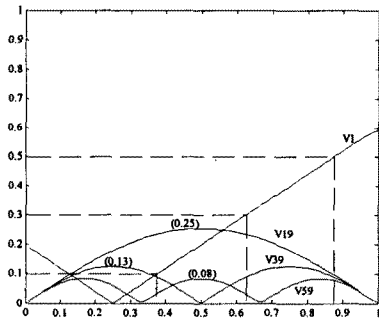


그림 6. m_a 의 변화에 따른 Swell PWM일 때의 고조파 파형

2.2 AC-Changer를 이용한 방식

그림 7은 AC-Chopper 방식을 이용한 시스템의 구성을 나타내고 있다. 입력측 변압기(T_{PB}), 출력측 변압기(T_{SB}), GTO를 이용한 양방향 스위칭 소자($S_{B1} \sim S_{B6}$) 그리고 Bypass용 Thyristor와 고조파를 줄이기 위한 Filter(L_B , C_B)로 구성되어 있다. 입력측 변압기(T_{PB})를 통해 각상의 위상이 Gate-turn off 소자에 전달되며, 입력측 변압기(T_{PA})의 2차측에는 V_{m1} , V_{m3} 의 Tap 전압이 입력측에 의해 각각 인가 된다. 양방향 스위칭 소자 S_{B1} 또는 S_{B2} 가 도통될 때 전압 V_{m1} 이 선택되며, S_{B3} 또는 S_{B4} 가 도통될 때 전압이 선택되고, S_{B5} 또는 S_{B6} 이 도통될 때 전압 V_{m3} 가 선택되어 각각 Sag와 Swell을 발생하게 된다.

그림 8은 AC-Chopper 방식일 때의 PWM 파형으로, m_a 는 0.4 일 때 이며, 그림 9는 PMW을 발생시키기 위해 변조에 사용되는 삼각파의 최대값에 대한 제어신호의 비율 m_a 의 변화에 따른 고조파 파형이다.

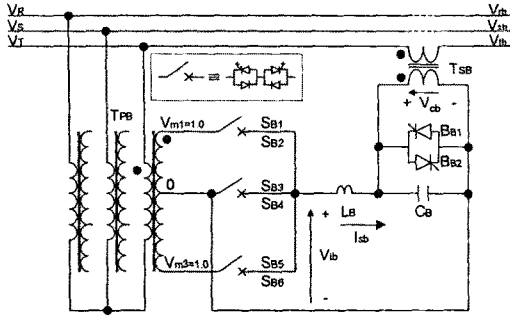


그림 7. AC-Chopper방식을 이용한 Voltage Sag and Swell Generator

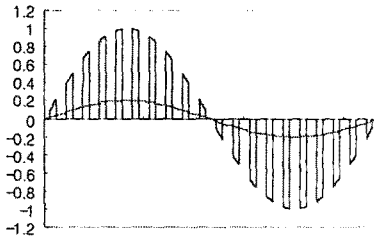


그림 8. AC-Chopper 방식의 PWM 파형

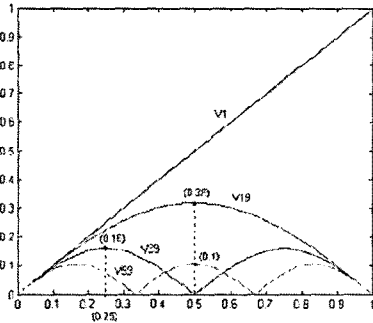


그림 9. m_a 의 변화에 따른 AC-Chopper방식의 PWM일 때의 고조파 파형

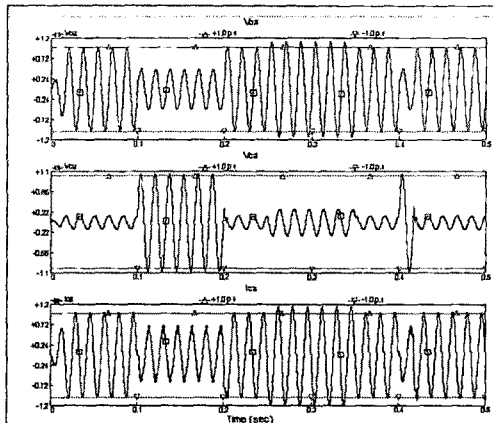


그림 10. AC-Changer를 이용한 Voltage Sag/Swell Simulation 파형

그림 10은 AC-Chopper방식의 시스템을 모의하여 얻은 파형으로 Solid-State Switched Tap Changer와 유사한 결과를 보여준다. 시스템 모의에 사용된 요소자의 파라미터는 Solid-State Switched Tap Changer방식의 요소자와 동일하다. V_{oa} 는 Voltage Sag and Swell Generator의 출력측 변압기를 통해 1차측에 인가되는 전압의 파형이며, V_{ca} 는 출력측 변압기의 2차측에서 측정된 전압이고 I_{ca} 는 이때 흐르는 전류이다. 그림 4와 그림 10을 비교하면 AC-Chopper방식에서 전류에 리플성분이 조금 더 많아짐을 볼 수 있다.

3. 결 론

본 논문에서는 이상적인 변압기와 Gate-Turn Off소자를 이용하여 다양한 전압을 발생시킬 수 있는 SSG에 대하여 Solid-State Switched Tap Changer방식과 AC-Chopper방식에 대해 시스템 모델을 제시하고 PSCAD/EMTDC를 이용한 모의 결과, 그리고 각각의 고조파 파형에 대하여 비교 하였다.

DVR이나 DISTACOM과 같이 배전계통에 연결되어 양질의 전력을 수용가에 공급하는 역할을 하는 CPD를 평가 할 수 있는 SSG 전력회로는 Sag나 Swell을 제거하는 기능을 하는 DVR등의 CPD에도 적용 가능할 것으로 기대된다.

[참 고 문 헌]

- [1] Math H.J. Bollen, "Understanding Power Quality Problems Voltage Sags and Interruptions", IEEE Press, 2000, pp 2 5.
- [2] A. Ghosh and G. Ledwich, " Power Quality Enhancement Using Custom Power Devices", Kluwer Academic Publishers, 2002, p87, p135.
- [3] Y.H. Chung, G.H Kwon, T.B. Park, K.Y. Lim, "Voltage Sag and Swell Generator with Thyristor Controlled Reactor", IEEE PowerCon 2002, Kunming, China, pp1933 1937
- [4] N.G. Hingorani and L. Gyugyi, "Understanding FACTS", IEEE Press, 2000, p268 p295.
- [5] L. Xiaoming, L. Qingfen, et. al., "A New On load Tap Changing System with Power Electronics Elements for Power Transformer", IEEE PowerCon 2002, Kunming, China, pp 556 559
- [6] N. Mohan, T. Underland and W. Robbins, "Power Electronics: Converters, Applications and Design", John Wiley & Sons, 1989, pp10215