

배전계통에서 UPFC를 이용한 순시전압상승 보상

장원혁*, 이상봉*, 이명희**, 김철환*
성균관대학교*, 켈파워**

Voltage Swell Compensation using an UPFC in Distribution System

Won-Hyeok Jang*, Sang-Bong Rhee*, Myoung-Hee Lee**, Chul-Hwan Kim*
Sungkyunkwan University*, Xelpower**

Abstract - Based on the fact that renewable energies such as photovoltaic, wind power, etc. are increasingly used in distribution systems recently which affects overvoltage, this paper implements an unified power flow controller(UPFC) to compensate voltage swell. The implemented scheme employs an ac chopper and a low-pass filter along with a series transformer. The ac chopper converts the amplitude of the voltage down to the nominal value. The low pass filter makes the rough waveform of the output voltage of the ac chopper due to switching smoothly by eliminating harmonics. To verify the effectiveness of the implemented UPFC, the results by Electro-Magnetic Transients Program(EMTP) are presented for various overvoltage cases.

1. 서 론

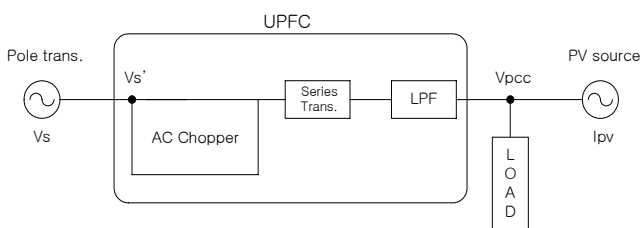
전력계통에서 전압의 파형이나 진폭의 변화는 빈번히 일어난다. 이러한 상황은 정전의 가능성을 높이며 전력을 사용하는 설비나 기기의 오 동작을 야기할 수 있다. 따라서 전압 변동을 억제 하거나 보상하는 것은 단기간의 전압변동에 매우 민감한 전자 제품들을 많이 쓰는 현대 사회에 매우 중요하다고 할 수 있다. 특히 전압 제어는 최근 들어 늘어난 분산 전원 설치에서 주 고려 사항들 중 하나이다.

근래에 태양광 에너지 같은 신재생에너지가 각광을 받으면서 분산전원과 기존 배전 계통과의 연계에서 전압상승이나 하강과 같은 전압품질에 많은 문제가 발생하고 있다. 비록 태양광 에너지가 미래 지향적인 관점에서 많은 장점을 가지고 있지만 태양광 전원의 경우 낮 시간 동안 태양의 복사에너지가 증가함에 따라 생기는 역 조류 현상으로 배전계통에 순시전압상승을 발생시킬 수 있다. 순시전압 상승은 순시전압강하만큼 일반적인 현상은 아니지만 계통의 고장과 밀접한 관련을 가지고 있다.

따라서 본 논문에서는 이러한 전압상승을 보상하기 위해 배전계통에 UPFC를 적용한 전압보상 방법을 연구하였다. 순시전압상승을 보상하기 위해서 ac chopper를 사용하여 태양광 전원에서의 역 조류에 의해 상승하는 전압을 다시 감소 시켰다. 그리고 저역통과필터를 ac chopper뒤에 사용하므로 ac chopper에서 스위칭으로 인하여 생기는 고조파들을 감쇄시켜 좀 더 품질이 좋은 전압의 출력 파형을 만들었다. 모의시험을 위해 UPFC는 주상 변압기와 태양광 시스템 사이에 위치하고 태양광 시스템을 교류 전류원으로 설정하였고 50[A,rms]에서 400[A,rms]까지 변화를 주면서 모의를 하였다[1].

2. UPFC

2.1 UPFC의 전압제어



<그림 1> 주상변압기와 태양광전원 사이의 UPFC

본 논문에서 사용된 UPFC는 태양광 에너지를 사용하는 배전계통에서 낮 시간 동안의 역 조류로 인한 순시전압상승을 보상하여 전압을 제어한다. 그림 1은 주상변압기와 태양광 시스템 사이에 위치하는 UPFC의

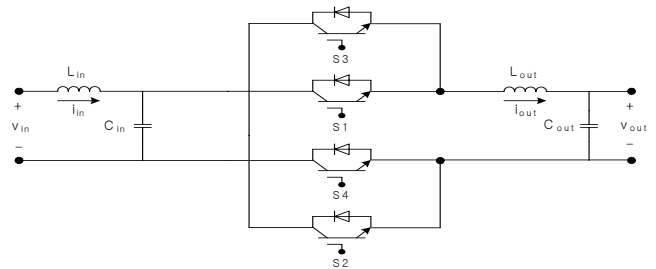
개괄적인 그림이다. 낮 시간 동안 강해지는 복사에너지 때문에 생기는 역 조류로 인하여 순시전압상승이 발생하면 UPFC가 동작을 한다. UPFC는 ac chopper의 입력전압 V_s' 와 수용가인 부하에 걸리는 V_{pcc} 를 측정하여 Root-Mean-Square(RMS)값으로 바꾼다. 전압상승이 일어나 이 두 지점의 RMS 값이 일정 수준(V_{error}) 이상의 차이가 나면 UPFC가 동작을 시작하게 되고 전압이 낮아지게 된다. 식 (1)은 UPFC가 작동하기 위한 조건을 나타낸다[2].

$$V_{pcc} - V_s' > V_{error} \quad (1)$$

본 논문에서 V_{error} 의 값은 2[V]로 설정을 하였다.

2.2 Ac chopper

순시전압상승이 일어났을 때 ac chopper는 과전압을 상쇄하기 위해 필요한 전압을 발생시킨다. ac chopper의 회로도는 그림 2에서 확인할 수 있다.

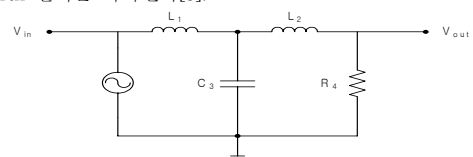


<그림 2> Ac chopper

스위치 S1, S2, S3, S4가 전압상쇄에 필요한 극성을 만들면서 Pulse Width Modulation(PWM) 교류전압을 발생시킨다. V_{pcc} 가 정상상태인 경우 S1과 S4가 열려있고 S2와 S3가 닫힌 상태여서 V_{out} 은 0이 된다. V_{error} 값이 2[V]를 초과할 경우 반대로 S1과 S4가 닫히고 S2와 S3가 열리게 되어 V_{out} 에 보상전위를 생성한다. 이 때 전압 보상을 위해 직렬변압기에 극성이 반대로 걸리게 되면서 V_{pcc} 의 값은 감소하게 된다. 스위치 동작 시 ac chopper가 단락회로가 되는 것을 피하기 위해 S1-S4는 S2-S3와 동시에 닫혀서는 안 된다[3,4].

2.3 저역통과필터

Ac chopper의 스위칭에 의한 고조파 성분이 V_{pcc} 에 나타나는 것을 억제하고자 저역통과필터 중의 하나인 3차 butterworth 필터를 사용하였다. butterworth 필터의 스퀘트 특성은 다른 필터들에 비해 좋지 않으나 통과 대역에서 아무런 리플을 발생시키지 않아 다른 필터들에 비해 월등한 통과대역 형태를 가진다. 그림 3은 Cauer topology로 나타낸 3차 butterworth 필터를 나타낸다[5].



<그림 3> 3차 butterworth 필터 회로도

n차 butterworth 필터의 전달함수, 즉 이득을 제공한 값은 식 (2)와 같다.

$$G^2(w) = [H(jw)]^2 = \frac{G_0^2}{1 + (\frac{w}{w_c})^{2n}} \quad (2)$$

여기서 n은 필터의 차수, w_c 는 차단 주파수, 그리고 G_0 는 DC 이득(주파수가 0일 때의 이득)이다. 차수가 높아질수록 이득은 직사각형 형태의 함수가 되고 차단주파수 w_c 이하의 주파수들은 이득 $G_0 (=1)$ 으로 필터를 통과하며, 그 이상의 주파수들은 억제된다. 따라서 3차 필터의 전달 함수를 구하면 식 (3)과 같다.

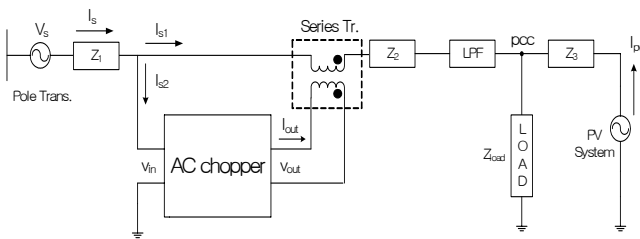
$$[H(s)] = \frac{1}{s^3 + 2s^2 + 2s + 1} \quad (3)$$

여기서, $s=jw$.

3. 모의 및 결과 검토

3.1 UPFC 모델 계통

UPFC를 이용한 순시전압상승 보상을 모의하기 위한 계통도는 그림 4와 같고 EMTP를 사용하여 모의하였다[3]. 이 모델 계통에서 주상 변압기를 220[V,rms]의 전압원으로 두었고 태양광 전원은 50[A,rms]에서 400[A,rms]까지의 교류 전류원으로 말단 부하 뒤쪽에 설정하였다. Z_1 , Z_2 , Z_3 는 선로 임피던스이고 저역통과필터는 위에서 언급한 3차 butterworth 필터를 사용하여 스위칭 시 발생하는 고조파를 감소시켰다.



〈그림 4〉 모의 계통도

표 1은 그림2-4에서 사용한 파라미터 값들이다.

〈표 1〉 모의계통 파라미터

Parameters	Values	Parameters	Values
V_s	220[V,rms]	L_{in}	75[μH]
Z_1	80+3.7[mΩ]	L_{out}	75[μH]
Z_2	11+4.9[mΩ]	C_{in}	20[μF]
Z_3	3.5+0.56[mΩ]	C_{out}	30[μF]
Z_{load}	10.01+0.003[Ω]	C_1	2[μF]
I_{pv}	50-400[A,rms]	L_1	1[mH]
Series Tr.	1:1[Np:Ns]	L_2	1[mH]

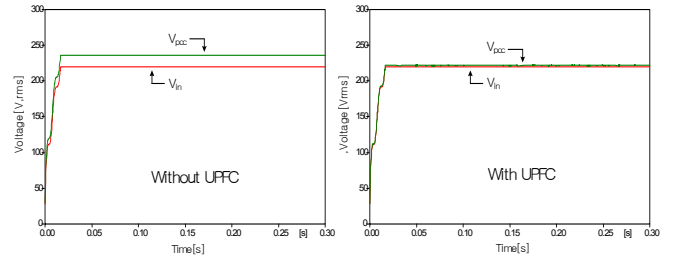
3.2 모의 결과

순시전압상승 보상에 대한 모의 결과는 표 2와 같다.

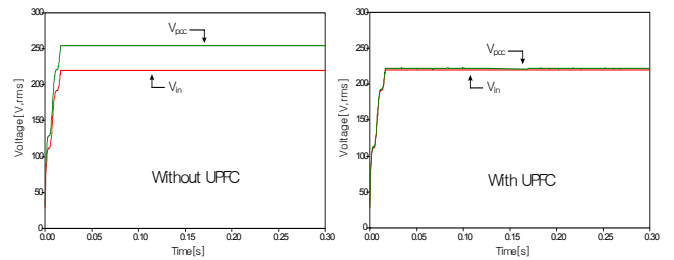
〈표 2〉 순시전압상승 보상 모의 결과

I_{pv} [A,rms]	V_{in} [V,rms]	without UPFC	with UPFC
		V_{pcc} [V,rms]	V_{pcc} [V,rms]
50	220.01	222.6	218.2
100	220.01	227.1	218.9
150	220.01	231.6	221.8
200	220.01	236.1	222.2
250	220.01	240.6	222.1
300	220.01	245.1	222.4
350	220.01	249.6	223.7
400	220.01	254.1	223.9

모의 시 태양광 계통은 전류원으로 가정되어 낮 시간 동안의 복사에너지 차이에 따라 생기는 역 조류 현상을 나타내기 위하여 50[A,rms]에서 400[A,rms]까지 다양한 값을 갖도록 하였다. UPFC의 경우 식 (1)을 만족하는 경우 동작하도록 모델링 하였다. UPFC 적용 전, 태양광 전류원이 400[A,rms]인 경우 254.1[V,rms]로 상승한 V_{pcc} 값이 UPFC가 적용되어 223.9[V,rms]로 제어되는 것을 확인 할 수 있다.



〈그림 5〉 UPFC 적용 전, 후의 pcc의 전압파형(전류원 200[A,rms])



〈그림 6〉 UPFC 적용 전, 후의 pcc의 전압파형(전류원 400[A,rms])

그림 5와 그림 6은 I_{pv} 가 200[A,rms]와 400[A,rms]의 값으로 계통에 투입 될 때 UPFC의 작동 전후의 V_{pcc} 파형을 나타낸다. 두 개의 케이스 모두 UPFC가 적용되고 나서 약간의 고조파가 발생되었으나 전압의 진폭이 줄어들어 순시전압상승이 보상되는 것을 확인할 수 있었다.

4. 결 론

본 논문에서는 태양광 시스템이 적용된 배전계통에서 낮 시간 동안 일조량 증가로 인해 발생하는 역 조류에 의한 순시전압상승을 보상하고자 UPFC를 EMTP를 이용해 구현하였다. UPFC는 과전압을 상쇄하기 위해 필요한 전압 생성을 위한 ac chopper와 ac chopper의 스위칭으로 인해 생긴 고조파를 감쇄시키는 저역통과필터가 직렬연접기와 연결되어 구성된다. 모의 결과 출력 전압 파형이 약간의 고조파 성분이 포함되어 있지만 UPFC가 안정적으로 순시전압상승을 보상하는 것을 확인하였다. 향후 연구로는 일조량에 따른 태양광 전원 출력 변화, 고조파 저감 등을 고려한 연구가 진행되어야 할 것으로 사료된다.

감사의 글

본 논문은 지식경제부의 출연금으로 수행한 특성화대학원사업의 연구결과입니다.

[참 고 문 헌]

- [1] Tsao-Tsung. Ma, "A Variable Structure Unified Power Flow controller for Advanced Industrial applications", Industry Applications IEEE Transactions, vol.36, pp.33-38, 2000.
- [2] Kyungsoo Lee, Hirotaka Koizumi and Kosuke Kurokawa, "Voltage Sag/Swell Controller by Means of D-UPFC in the Distribution System", Photovoltaic Energy Conversion, Conference Record of the 2006 IEEE 4th World Conference, vol.2, pp.2427-2430, 2006.
- [3] "Alternative Transients Program ATP Rule Book", EEU, Canadian/American EMTP User Group.
- [4] 노의철, 정규범, 최남섭, "전력전자공학 제2판", 문운당, 2004.
- [5] M.E. Van Valkenburg, "Analog filter design", Holt Rinehart and Winston, 1982.