

PAM 인버터를 이용한 무효전력보상장치의 고조파 저감에 관한 연구

A Study on The Reducing Harmonics of Static Var Compensator using PAM Inverter

박현철*, 김영민, 황종선, 김종만
(HyunChul Park*, YeongMin Kim, JongSun Hwang, JongMan Kim)

Abstract

This paper presents SVC which use PAM method and eliminate harmonics. Inverter is connected directly so that SVC improve output voltage waveform into 24 steps. Inverter output waveform THD is reduced to 6.89%. Leading control of reactive power generated in power system is possible. Snubber is added to reduce switching loss.

Key Word : 24-steps, switching loss

1. 서론

최근 전력 변환용 반도체 소자인 다이리스터, 파워 트랜지스터, GTO, MOSFET 등은 뛰어난 제어 기능과 고속 스위칭 기능을 갖고있어 소용량 가전 기기에서부터 대용량 기기까지 널리 사용되고 있다. 그러나 이러한 전력 변환 장치가 전기기기에 접속될 경우 전기 설비에서 발생하는 고조파 전류는 설비의 종류, 운전 방법에 따라 전력계통에 전압을 왜곡시키고, 각종 전력용 기기의 플리커 현상, 발열, 진동, 소음, 역율저하, 전력동요, 고조파등 여러 문제점을 야기한다. (1, 5, 7)

이중에서 고조파는 송·배전계통의 보호계전기 오동작, 전회회선의 잡음, 통신장애, 일렉트로닉스 관련 기기의 유도장애 등의 문제점을 발생시킨다. 고조파를 저감하기 위한 몇가지 방법들을 보면은

PWM제어법과 PAM제어법이 있다.

PWM(Pulse Width Modulation) 제어법은 저차 고조파를 제거할 뿐만 아니라 출력전압·전류제어가 가능하여 고성능 제어 시스템에 적용할 수 있는 장점이 있어 소형기에 널리 사용되고 있다. 그러나 수백KVA-수백 MVA에서는 스위칭 손실 및 스너버 손실이 많아 사용이 곤란하다.

PAM(Pulse Amplitude Modulation) 제어법은 인버터에 여러대의 변압기를 병렬로 접속하여 고조파를 저차부터 고차까지 감소시킬 수 있으나 시스템이 대형화되고 가격이 고가이므로 사용이 곤란하다.

그러므로 본 연구에서는 고조파를 저감하기 위한 방법으로 대용량에 적합한 PAM방식을 이용한 전압형 인버터를 사용하였고, 출력측 전압파형을 24스텝화 하기위하여 인버터를 $\Delta-\Delta-\Delta-\Delta$, Y-Y- $\Delta-\Delta$ 로 결선하였다. 또한 기존에 TCR, TSC에서 무효전력 보상에 속용성이 떨어지는 그 밖에 전력계통의 무효전력을 억제하고 플리커 발생을 감소시키기 위한 방법으로 TCR(Thyristor Controlled Reactor), TSC(Thyristor Switched Capacitor)등이 사용되어 왔으나 이들은 가격이 저렴한 반면에 속용

* 정인대학 정보통신계열

(전북 정주시 시기동 정인대학

Fax: 063-532-3768

E-mail :uvh2200@mail.chongin.ac.kr)

성이 떨어지는 단점을 가지고 있다. (2, 7)

단점을 제거하기 위하여 기존에 전압형 인버터를 사용하여 속응성은 동등하도록 시스템을 설계하였다.

2. 시스템 구성

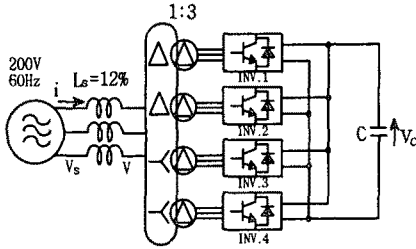


그림 1. 전압원인버터 SVC 회로
Fig. 1. SVC circuit of source voltage inverter

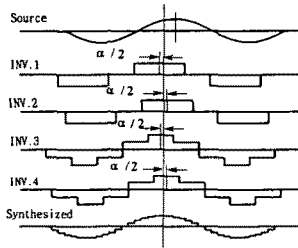


그림 2. 각부의 파형
Fig. 2. Each waveforms of SVC

제안된 전압형 인버터 무효전력보상장치는 그림 1에 나타내었고, 그림 2는 각 인버터의 타임차아트이고, SVC의 주회로는 4대의 180° 통전 방향과 출력전압형 인버터이다. 각 인버터의 직류측은 4대 공통 직류 콘덴서를 접속한다. 교류측에서는 1차 권선을 직렬접속한 Y- Δ 결선, Δ - Δ 결선 4대의 3상 변압기(권수비 1 : 3)로 전원에 접속한다.

INV.1과 INV.2, INV.3과 INV.4를 각각 12스텝 인버터로 동작시키면 변압기 1차측에서는 5차, 7차 고조파 전압이 발생하지 않는다. 따라서 INV.1과 INV.3은 SVC출력전압에 대해서 7.5° 앞서고, INV.2와 INV.4는 7.5° 늦은 전압을 출력할 수 있도록 제어하여 앞선측 인버터와 늦은측 인버터 위상차는 15° 가 발생한다. 그 결과 변압기 1차측에서는 24스텝 출력전압파형이 되고 전원전류 고조파

직류콘덴서 전압 리플을 저감이 가능하다.

3. 스위칭 동작원리

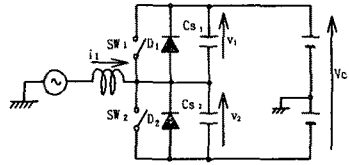
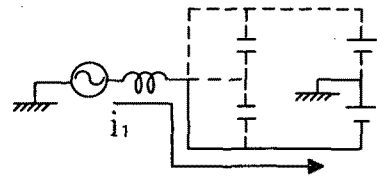
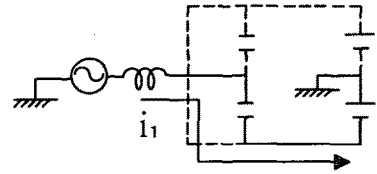


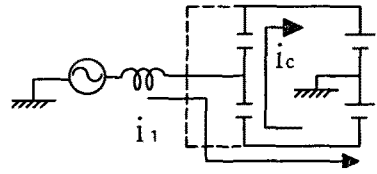
Fig. 3. Sing phase equivalence circuit of inverter



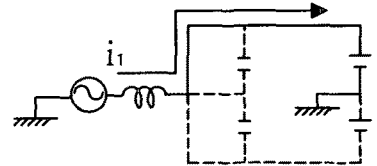
(a) 전류전



(b) 전류개시후



(c) 전류중



(d) 전류종료후

Fig. 4. Commutation operation of inverter

그림3에 인버터의 1상분의 등가회로를 표시하였다. 직류 콘덴서 전압이 V_c 로 일정하다고 가정하며, 인버터 교류측 전류 $i_1 > 0$ 으로 하측에서 상측으로 전류 할 경우를 생각한다. 먼저 SW₂가 ON된 경우에 그림4(a)와 같이 i_1 은 SW₂를 통해서 흐른다. 이

때 상·하측의 콘덴서는 $V_1=V_c$, $V_2=0$ 에 충전된다. 여기서 SW_2 를 OFF할 때 C_{S2} 는 바이패스 콘덴서로 동작하고, 그림 (b)에 i_1 은 C_{S2} 로 흐른다. 이때 스위칭 소자 SW_2 의 전압은 $V_2=0$ 이고, SW_2 는 영전압 다이오드가 된다.

그리고 i_1 은 C_{S2} 를 충전하고, V_2 가 상승하기 때문에 그림 (c)에 귀환전류 i_c 가 흘러 C_{S1} 을 방전한다. 이때 스위칭 소자 전압은 $V_1+V_2=V_c$ 이므로 상·하측 콘덴서 용량 C_{S1} , C_{S2} 가 같다면 귀환전류는 $i_c=i_1/2$ 가 된다.

상·하측의 콘덴서 전압이 각각 $V_1=0$, $V_2=V_c$ 로 되어 상측의 귀환다이오드 D_1 이 ON하고 그림 (d) i_1 은 상측으로 흐른다. D_1 이 ON하는 사이에 SW_1 에 게이트 신호를 가하면 i_1 의 극성이 반전할 때 SW_1 이 ON한다. 따라서 SW_1 은 영전압·영전류 다이오드가 되어 SW_1 은 OFF시에 손실이 발생하지 않는다.

$i_1 < 0$ 으로 상측에서 하측으로 전류 할 때도 마찬가지로 전류가 가능하고, 논문의 스위칭 동작은 영전압 TURN OFF, 영전류 다이오드를 실현하여 소자의 dv/dt 를 저감하는 만큼 스위칭소자 스트레스를 대폭적으로 경감 할 수 있다. 또 영전류 TURN ON이 가능하여 스위칭 소자 di/dt 를 제어하기 때문에 애노드 리액터를 접속할 필요가 없다.

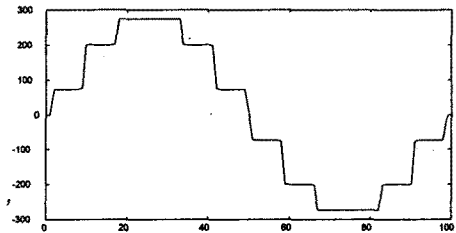
그러나 $i_1 < 0$ 으로 하측의 상측으로 전류할 때는 SW_2 를 OFF시켜서 환류다이오드 D_2 가 온 하기 때문에 콘덴서 C_{S2} 는 되지 않는다. 여기서 SW_1 을 ON 할 때 SW_1 은 콘덴서 C_{S1} 을 단락하여 콘덴서 C_{S1} 에 충전된 전하는 SW_1 의 손실이 된다.

4. 실험결과 및 고찰

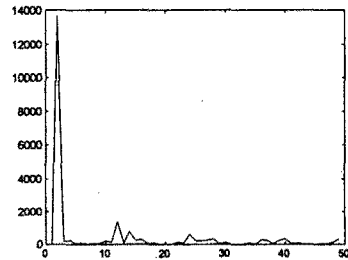
그림5(a)는 기존의 방식인 12스텝 무효전력보상 장치 출력 전압파형이고, 그림(b)는 고조파 스펙트럼이다. 그림6은 본 연구에서 제안한 인버터를 이용한 SVC의 출력전압 파형개선법에 대한 시뮬레이션 결과로 그림(a)는 SVC의 24스텝 출력전압파형이고 그림(b)는 고조파 스펙트럼을 나타내었다.

본 연구에서 제안된 시스템 구성 정수는 진상용량 $Q=10[kVA]$, 전원전압 실효치 $V_s=200[V]$, 전원주파수 $f=60[Hz]$, 교류인덕턴스 $L=2.7[mH]\%$, 출력전압비 $K=1.03$, 직류 콘덴서전압 $V_c=200-250[V]$, 직류콘덴서 용량 $C=500[\mu F]$, 콘덴서용량 $C_s=1[\mu F]$ 를 사용하여 제작하여 실험한결과를 그림7에서보여준다. 여기서 그림7(a)는 기존의 방식이고, 그림(b)는 본 연구에

서 제안된 방식으로 고조파를 저감하기 위해서는 인버터 출력파형이 정현파화 되어야 한다. 그림(a)와 그림(b)를 비교해보면 거의 정현파에 가까워 졌음을 알 수 있다.

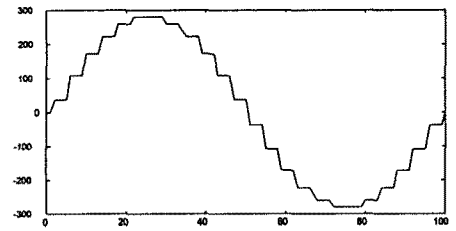


(a)

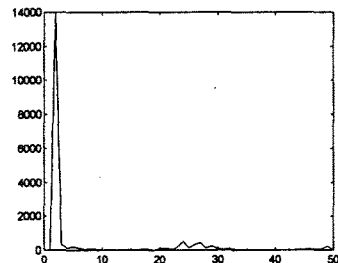


(b)

그림 5. 12 스텝전압파형 및 고조파스펙트럼
Fig 5. 12 Step output voltage waveform(a) and harmonic spectrum(b)

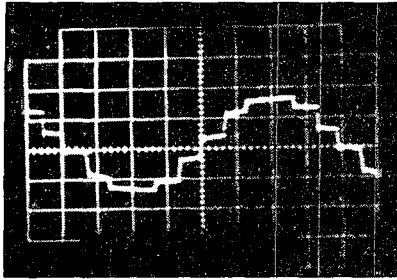


(a)

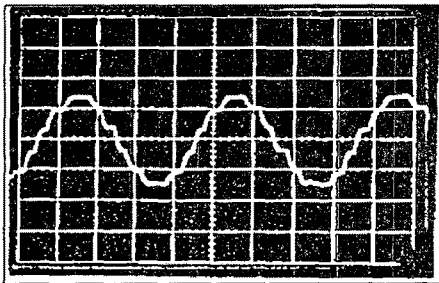


(b)

그림 6. 24스텝전압파형 및 고조파 스펙트럼
Fig. 6. 24 Step voltage waveforms(a) and harmonic spectrum(b)



(a) 12스텝



(b) 24스텝

그림. 7. SVC의 전압 실험 파형

Fig. 7. Oscilogram waveforms of SVC

5. 결 론

본 연구에서는 다중화 방법으로 상수 변환용 3상 변압기 8대와 4대의 전압형 인버터를 사용하여 직렬 연결하였고, 스위칭 손실을 저감하기 위해서 트랜지스터에 병렬로 콘덴서를 접속하여 영전류 영전압으로 동작시키고, 고조파를 저감하기 위해서 인버터 4대를 직렬로 구성한 결과 출력전압파형이 24스텝화되어 고조파 성분을 15.2%에서 6.89%로 감소하였다. 또한 본 시스템은 SVC에 적용 했기 때문에 배전계통에 사용할 경우 플리커현상 발생될 경우 TCR, TSC에 비해 속응성은 동등하였다. 앞으로 대용량 송·배전계통에 사용될 경우 고조파 장애를 감소시킬수 있고 특히 부하가 대용량인 배전계통에 많이 사용될것으로 본다.

참고 문헌

[1] G.A. Philips, et al.:"Progress in Self-Commutated Inverters for Fuel Cells and Batteries" IEEE Trans. Power Apparatus Syst.

PAS-98, 4, 1466, 1979.

- [2] H. Harumoto, et al.:"Application of SVG using Force-Commutated Inverter for Improvement of power System Stabilities" IPEC-Tokyo, pp. 1630, 1983.
- [3] K. Heuman: "Elektrotechnische Grundlagen der Zwangskommütierung" E und M 84, 3, 99, 1966.
- [4] K.Suzuki, T.Nakajima, S.Ueda, Y. Eguchi, "Minimum Harmonics PWM Control for a Self-Commutated SVC", Proc. of PCC-Yokohama. P.615, 1993.
- [5] L. Gyugyi:"Reactive Power Generation and Control by Thyristor Circuits" IEEE, OESC 1976.
- [6] L. Gyugyi, N. G.Hingorani, P. R. Nannery and N. Tai, "Advanced Static Var Compensator Using Gate Turn-off Thyristors for Utility Applications", CIGRE, Session, 23-203, 1990.
- [7] Y.Sumii, et al. : "New Static VAR Control Using Force-Commutated Inverter" IEEE Trans. Powr Apparatus syst. PAS-100, 9, 4216, 1981