

12 펄스 인버터에서 결합변압기를 이용한 고조파 제거기법

정 창용* 이 영운 최규형 오 대규
한국전기연구소

Harmonic Elimination Method of Using Coupling Transformer in Twelve Pulse Inverter

Chang-yong Jeong* Young-woon Lee Kyu-hyung Choi

Tae-kyoo Oh

KERI

Abstract

Harmonic elimination method of using coupling transformer in twelve pulse inverter is presented for high power application. This method is using coupling transformer and PWM(pulse width modulation) switching and voltage source inverter. The object of proposed harmonic elimination method is obtained inverter output of low THD(Total Harmonic Distortion). The simulation results confirm the proposed harmonic elimination method.

1. 서론

FACTS 기기중에 하나인 STATCON에는 대용량의 인버터가 필요한데 이러한 기기에는 고조파를 제거하기위해 따로 필터 설계하는 것은 전체시스템에 부피, 무게를 증가시킬 뿐만 아니라 그와같은 장치를 만들는데도 어려움이 있다. 그래서 대용량인버터에서 고조파를 제거하는 것은 중요한 문제로 대두되어져왔다. 주로 그방향은 따로 필터를 삽입하지않아도 되는 그러한 방향이 모색되어왔다. 대용량의 인버터에서 고조파를 제거기법을 열거해보면 다음과같다. 인버터의 레벨을 증가시키는 멀티레벨(multi-level)과 결합변압기를 사용하여 고조파를 제거하는 방법이 있다[1][2][3]. 또 인버터를 펄스폭변조방법에 의거한 고조파제거기법 등이 있다[4][5]. 멀티레벨인버터는 DC link 전압이 2-level 인버터보다 높아서 전압을 높여서 용량을 증가시키는 방법을 택하면서 고조파를 줄이는데 이러한 인버터는 스네리모드를 구현하기가 어려울뿐만아니라 전체 구동이 2-level 보다 복잡하다. 결합변압기를 써서하는 방법은 $6kn \pm 1$ (n : integer, k : inverter number)의 고조파만이 인버터의 수에 따라 나타나게된다. 이식에서 살펴보듯이 인버터수의 증가에 따라 인버터출력의 고조파는 작은값을 가지는 필터로도 제거가능함을 보여주고있다. 또 인버터의 출력을 만들는데 스위칭각으로 저고조파를 제거하고 상대적으로 높은 고조파를 키개하여 작은값을 가지는 필터만으로도 낮은 THD를 가지는 출력을 만들수가 있다. 한상(phase)에 대한 인버터출력패턴을 아래 그림 1 과 같이 출력하게되면 고조파식은 대칭인성질을 이용하여 식으로 정리하면 식(1)이된다.

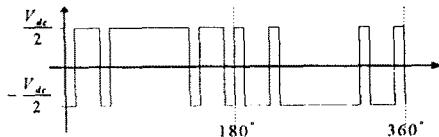


그림 1. 인버터의 스위칭패턴

$$a_s = \frac{4}{n\pi} \left(\frac{V_{dc}}{2} \right) \left[-1 + 2 \sum_{k=1}^{\infty} (-1)^{k+1} \cos(k\alpha_s) \right]$$

$M = \frac{1}{4}$ 주기동안의 스위칭수

식(1)

식(1)에서 없애고싶은 고조파의 값이 영되도록하는 비선형방정식을 수치해석방법으로 풀어서 각을 구하고, 그것을 인버터의 스위칭 패턴으로 정하여 스위칭하게되면 원하는 고조파를 제거할수있다.

본논문에서 제안한 방법은 위와같은 스위칭 방법으로 인버터출력패턴을 만들고, 결합변압기를 사용하면 고조파면에서 결합변압기의 누설리액션스만으로도 양전의 출력을 얻을수 있을음을 모의실험으로 확인한다.

2. 결합변압기를 이용한 펄스폭변조방식의 고조파 해석

본논문에서 언급하는 결합변압기의 구조를 가지는 12 펄스인

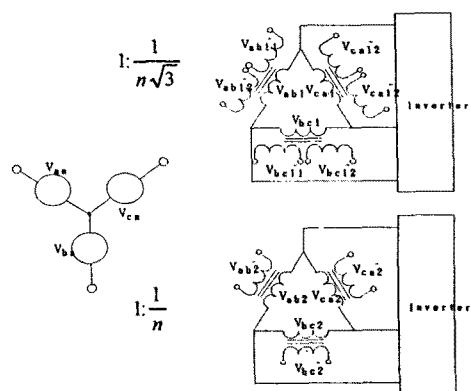


그림 2. 12 펄스인버터의 구조

비터는 그림 2 와 같다.

그것을 페이지다이아그램으로 표현해보면 그림 3 과 같다.

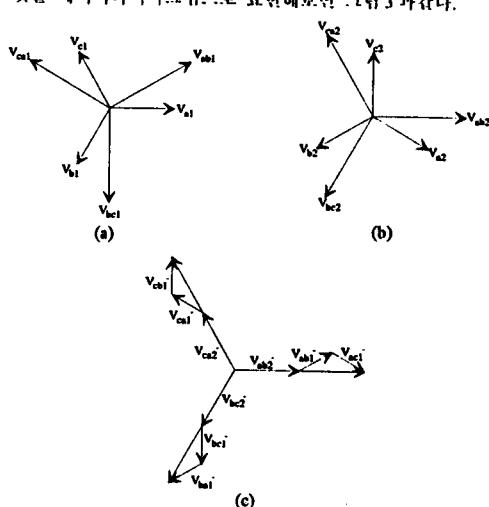


그림 3. 결합변압기의 페이저도

그림 3(c)에서 전체출력은 그림 3(a),그림 3(b)의 Δ 변압기출력을 조합하여 최종출력을 구성하는데 a상(phase)만을 수식으로 표현해보면 $V_m = V_{m1} + V_{m2} - V_{m3}$ 가 된다.

Fourier(Fourier)식을 전개해보면 식(2)와같이 $12n \pm 1$ 의 고조파를 가지는 출력파형이된다.

$$V_m = \frac{4\sqrt{3}nV_s}{\pi} \left(\sin(\omega t) + \frac{1}{11} \sin(11\omega t) + \frac{1}{13} \sin(13\omega t) - \dots \right) \quad \text{식(2)}$$

위의 식(2)의 식에서 인버터의 스위칭각을 조절함으로써 11,13,23 의 고조파를 없애면 출력전압의 고조파는 25 고조파부터 존재하게된다. 펀터구성에 영향이 많은 저고조파를 없애고 높은 고조파 성분을 커지게되어 펀터구성에 유리하게된다.

3. 모의실험

모의실험은 결합변압기를 이용한 12 펠스방식에서 스위칭각을 조절하는 방법과 조절하지않는 방법을 비교하였는데 출력쪽에 10.44mH(10kVA STATCON 12 펠스인버터 방식에서의 누설인덕턴스값)의 누설인덕턴스가 존재한다고 가정하고, 그 인

터로 구성되는 펀터의 cut-off 주파수를 1kHz로 하였다.

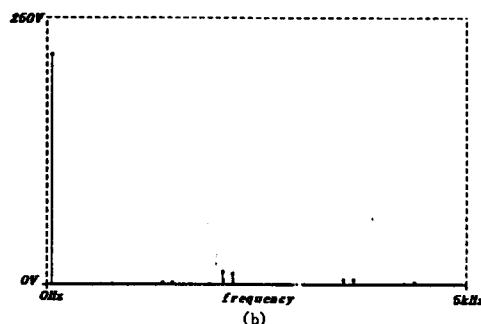
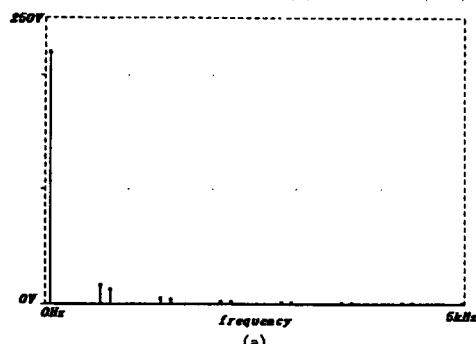


그림 4. 출력전압의 스펙트럼

output harmonic no.	제안한 방법의 고조파	기존방법의 고조파
1	1	1
11	0.001680	0.07388
13	0.003638	0.05867
23	0.007377	0.002409
25	0.008085	0.002087

표 1. 출력전압의 고조파값

또 정확하게 11,13,23 고조파가 제거되는 $\frac{1}{4}$ 주기의 스위칭각을 은 식(1)에서 구해보면 4.1443° 11.949° 13.5912° 이나 실제 인버

터에서 구현의 어려움때문에 4° 12° 14° 로 고조파제거각을 정한다. 그림 4(a)는 2-level 인버터에서 결합변압기를 이용한 기준의 방법으로 구현한 출력스펙트럼이고 경우이고 그림 4(b)는 제안한 방법의 출력진압스펙트럼이다. 제안한 방법이 저차수 고조파에서 개선되어지는 것을 확인할 수가 있다. 표 1에서 수치적으로 확인해보면 11 고조파는 98%, 13 고조파는 94%, 23 고조파는 70%, 25 고조파는 61%가 향상되는 것을 확인할 수 있다.

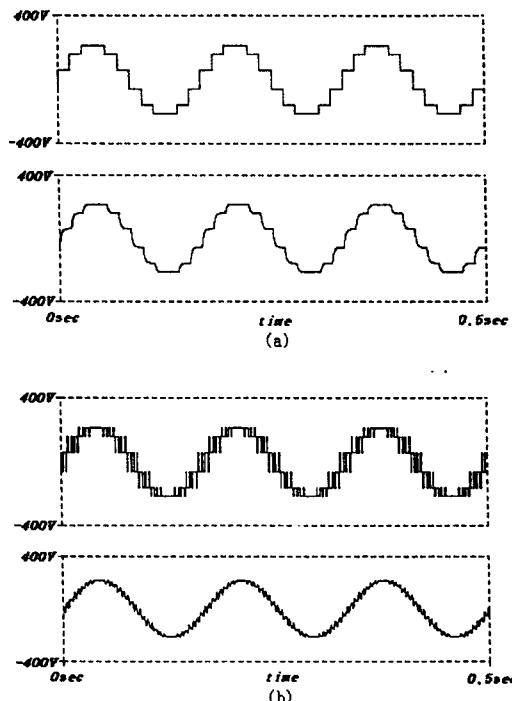


그림 5. 출력진압

출력파형을 관찰해보면 그림 5 와 같은데 각각의 그림은 펀터를 동과하지 않았을 경우와 펀터를 통과했을 경우의 출력파형인데를 보이는데 같은 펀터에서 제안한 방법이 더욱더 낮은 THD 를 가지는 출력진압 파형을 얻을 수 있음을 보여준다.

30 개의 고조파를 고려한 THD 은 제안한방법은 1.16%이고 기

존의 방법은 10%가 되다. 즉 기존의 보다 약 9%의 THD 향상을 가져옴을 고찰할수가 있다.

4. 결론

본논문에서 제안한 방법은 결합변압기와 인버터의 스위칭각으로 고조파를 제거기법을 동시에 적용하여 저차수 고조파들을 상대적으로 작은값이되게하고 고차수 고조파의 값을 커기만들이 펀터설계에서 궁극적으로 결합변압기의 누선인티던스 값만으로도 적은 고조파를 가지는 출력을 얻을 수가있다. 이런 이유로 펀터를 따로 필요하지않기때문에 대용량 시스템 일수록 제안한 고조파제거기법이 유리하게된다.

이와같은 방법은 전력소자들의 반전주체가 높은 스위칭주파수로 가는 경향에도 부합된다.

References

- [1] L. Gyugi, N.G. Hingorani, P.R. Nannery, N. Tai " Advanced Static Var Compensator Using Gate Turn-off Thyristor for Utility Applications ", CIGRE paper No. 23 - 230, 1990
- [2] A. Nabae, I. Takahashi, and H. Akagi, " A new neutral-point-clamped PWM inverter", IEEE Trans. Ind. Appl., vol. 17, no. 5, 518 - 523, sept./oct., 1981
- [3] Pradeep. M. Bhagwat, V.R. Stefanovic, " Generalized struture of a multilevel PWM inverter", IEEE Trans. Ind. Appl., vol. IA -19, no. 6 nov./dec., 1983
- [4] H. S. Patel and R. G. Holt, " Generalized Techniques of harmonic elimination and voltage control in thyristor inverters. Part I - Harmonic elimination ", IEEE Trans. Ind. Appl., vol. IA - 9, pp. 310-317, May/June 1973.
- [5] T. Hasegawa, T. betsui, S.Ohnishi, M. Takeda, M. scoto, S. Murakami, T. Kohan, " Development of a large Static Var Generator using self-communitated inverters for improving power system stability ", T. IEE Japan. Vol. 111-D, no 10, 1991