

델타변조방식을 이용한 전류형 능동필터

정만규* 김홍성 강병희 조한덕 최규하

전국대학교 전기공학과

Current-Fed Power Filters Using Delta-Modulation Technique

Man-Kyu Jeong, Hong-Seong Kim, Byong-Hee Kang, Han-Duk Cho, Gyu-Ha Choe

Dept. of Electrical Eng. Kon-Kuk University

Abstract - The problems of the plentiful harmonics and low power factor have occurred to the increase of semiconductor power conversion equipments. These problems should be improved by the active power filters which have been studied recently. This paper described the application of delta modulation technique to current-fed filter and control performance. Through digital simulation the output characteristics of delta modulator are investigated theoretically.

1. 서론

전력전자기기의 사용이 날로 증가함에 따라 교류입력 측에 고조파나 무효전력에 의한 심각한 문제가 발생되고 있다. 따라서 안정하면서 경제적인 운영하기 위해서는 고조파 저감 및 역률개선용 고조파저감기술의 개발이 필요하다. 비선형부하에 의한 고조파 및 무효전력에 대한 보상은 그동안 인덕터와 커패시터로 구성된 수동필터가 사용되어 왔다. 그러나 이러한 수동필터에서는 동조주파수가 필터정수에 고정되어 있고 선로의 인덕턴스와 필터의 커패시터 사이에 병렬공진에 의해 고조파 증폭현상이 일어날 가능성이 있다. 그러므로 새로운 필터로서 전력용 능동필터의 기법이 연구되어 왔다. [1][2]

능동필터를 위한 제어기법중 삼각파변조는 간단하지만 그 특성이 좋지 않고 또 PWM 계산방식은 특성은 우수하지만 복잡한 계산때문에 필터의 응답이 느리지는 단점이 있다. 그러므로 전압형 필터의 히스테리시스 방법과 유사한 기법으로서 델타변조기법을 생각할 수 있다. [3][4] 이 방법은 신호를 직접 피드백 시키지 않으므로 제어회로가 간단하고 응답이 빠르며, 부하변동이나 파라미터의 변화에 둔감하다. 본 논문에서는 전류형 능동필터에 델타변조기법을 이용하여 그 특성을 조사하였다.

2. 전류형 능동필터

전류형 능동필터는 그림 1과 같이 교류전원에 연결된 부하와 병렬로 연결되며 부하에서 발생하는 고조파를 저감시키도록 되어 있다. 그림 2(a)의 전류형 인버터는 그 구조가 정류기와 같음을 볼 수 있고 스위칭의 동작상태에 따라 주입되는 i_{cm} 의 흐름을 달리하여 고조파를 저감한다.

즉 전원측에 고조파 전류 i_n 가 교류전원 V_s 로부터 흘러나오면 필터의 스위치 P를 켜서 상쇄시키고 그 반대가 되면 스위치 P를 끄고 그 대신에 N을 켜서 인덕터 전류 I_w 가 전원의 고조파를 상쇄토록 제어한다.

그리고 필터의 인덕터에는 항상 일정 전류 I_w 이 흘러야 하고 이를 위해 교류전원으로부터 적당한 크기의 기본파 전류 i_{s1} (즉 그림 1에서 제어정류기의 입력전류 i_s 가 갖는 기본파 크기 i_{s1} 의 ρ 배로 됨)가 흘러 들어오도록 제어해야 한다.

그림 2(b)는 이러한 원리를 나타내주는 블록선도이며 전원측에서 A상 전류 i_{sa} 를 감지하여 60Hz BPF (Band-Pass-Filter)를 거쳐 순수한 고조파 및 무효전류 성분만을 분리시킨다. 원리상 이 신호는 본 연구에서 제안하는 델타변조기를 거쳐 PWM 신호로 변환되고 이 신호는 그림 2(a)에 있는 스위치 P 및 N을 각각 동작시키게 된다.

본 논문에서는 전체 필터시스템을 3개의 단상 필터를 3상 변압기 Y-Y결선으로 구성하였다. 그 이유는 필터가 전압형이 아니라 전류형이며 또한 델타변조기에서 얻어지는 출력신호는 2-level인데 3상의 신호를 동시에 인가하면 3상필터의 경우 어느 2상밖에 전류가 흐르지 않기 때문이다. 따라서 이러한 구조는 다소 전력 소자가 늘어나는 점이 있으나 한편으로는 각 상을 개별적으로 제어할 수 있고, 늘어난 소자 자체가 예비소자로 작용하는 것임도 있다.

3. 델타변조기법

(1) 변조원리

델타변조기는 그림 3(a)와 같이 히스테리시스 비교기, 적분기 및 가산기로 구성된다. 기준신호 $i_c(t)$ 가 델타변조기에 입력되면 기준신호를 중심으로 허용밴드 Δ 를 벗어나면 그 후호에 따라 양 또는 음의 PWM 신호로 출력된다. 실제 이 신호는 그림 1의 각상의 필터회로에 인가되어 인덕터전류 I_w 가 교류전원측에 주입되는 시점과 흐름의 방향을 제어해 준다. 그러면 전원측에 존재하는 고조파를 상쇄시키게 되는데 이때 주입전류 자체가 PWM 형태이므로 급격히 변하기 때문에 입력측에 그림 1과 같이 반드시 커패시터를 연결해야 한다. 그림 3(a)에서 밴드 Δ 를 작게 할수록 적분된 신호 $i_{nr}(t)$ 가 기준신호 $i_c(t)$ 에 보다 근접하게 되어,

적분기의 이득(Gain) 즉, 시정수 RC의 역수를 크게 할수록 또한 기준신호를 잘 추종하게 된다.

(2) 델타변조기

그림 3의 델타변조기는 그림 4와 같이 3개의 OP AMP로 구성된다. OP AMP A₁은 비교기이며 A₂는 적분기이다. 적분기 A₂는 하나의 저역 통과 필터이므로 입력 신호 $i_h(t)$ 중 차수 n에 대해서 적분된 신호 i_{hr} 에 대해서 출력 신호 i_{cm} 의 관계는 다음과 같다.

$$i_{hr}(t) = \frac{i_{cm}(t)}{n R_1 C 2\pi f_r} \quad (1)$$

$$R_1 C = \frac{4 I_M}{\pi I_h 2\pi f_r} \quad (2)$$

전력용 소자의 초당 최대 전류수 N_{CM} 은 밴드폭 ΔI 를 $\Delta[\%]$ 로 할 경우 다음식에 의해 설정된다.

$$N_{CM} = \frac{I_M}{2 R_1 C \Delta I} = \frac{100}{2 \Delta R_1 C} \quad (3)$$

그리고 저항 R_2 및 R_3 의 비는 다음으로 구해진다.

$$\frac{R_2}{R_3} = \frac{1}{2R_1 C N_{CM}} = \frac{\Delta I}{I_M} = \frac{\Delta}{100} \quad (4)$$

(3) 델타변조기 설계

입력이 600Hz와 900Hz의 고조파일때의 경우를 고찰해 보자. 식(2)에 의하여 각 고조파의 이득(Gain) $R_1 C$ 을 선정하고 Δ 를 변화시켜 보자. 그림 5(a)은 각각의 입력 고조파 차수에 대하여 Δ 를 변화 시켰을때 Δ 가 작을수록 THD가 감소하는 것을 나타낸것이다.

그림 5(b)는 이득의 따른 THD의 변화를 나타내는 곡선이다. 입력이 600Hz(n=10)일때 이득을 5000에서 12000까지 변화시켰을때 일정한 THD를 유지하지만 그 이상으로 했을때는 감소하는 것을 볼수 있고 16000이상으로 크게하여도 일정한 것을 볼수 있다. 입력이 900Hz(n=15)일때 이득이 5000에서 18000범위까지는 일정한 THD를 유지하고 이득이 20000일때 까지 THD가 감소하다가 그 이후로는 일정해지는 것을 볼수 있다. 이것은 각 고조파 차수에 THD가 일정해지는 이득이 존재하고 고조파 차수가 커질수록 이득이 증가한다.

4. Simulation 결과

DM을 이용한 전류형 능동필터의 특성을 조사하기 위해서 비선형 부하로서 3상 제어정류기를 사용하였다. DM의 제어특성을 검토하기 위해 변조기의 밴드폭 Δ , 이득 및 전류형 필터의 인덕터 전류 I_M 에 따른 관계를 해석하였다. 그림 6(a), (b)는 적분이득 $G = 3000$, 필터전류 $I_M = 100\%$ 로 한 경우인데 밴드폭 Δ 가 30%로 할때보다 10%로 할 때 기준신호를 잘 추종하고 있음을 볼수 있다. 그림 6(c), (d)는 $G=15000$ 일때의 기준신호를 추종하는 파형이다.

전반적으로 적분이득 G 를 크게 할수록 DM의 출력특성이 우수하였다. 또한 밴드폭 Δ 이 작을수록 기준신호에 잘 추종하며 보상후 전류의 THD도 많이 개선되고 있다. 각 그림에서 보상후 전류의 파형에는 전류가 급격히 증가하여 추종하지 못한 이유때문에 스파이크 형태의 전류가 나타나고 있다. 이것은 입력전류가 완전

한 step 변화로 변화하는 전류라고 가정함에 기인하며 실제회로에서는 전류의 중복현상때문에 step형태로 변화할 수 없다. 따라서 실용상 크게 문제가 되지 않으며 충분한 이득의 선정으로 개선할 수 있다.

그림 7(a)는 밴드폭 Δ 를 5%로 그리고 필터전류 I_M 을 100%로 한 경우 적분기의 이득에 대한 보상후 전류의 총왜형률을 구하였다. THD는 이득에 따라 크게 좌우되며 이득을 크게 할수록 파형들이 좋아진다.

그림 7(b)는 G 를 10^4 로 하고 전류 I_M 을 100%로 한 경우 THD를 구했는데 대체로 변조폭의 크기를 줄이면 THD가 개선되지만 G 가 어느정도 맞게 설정되었을 때는 밴드폭 Δ 의 변화에 크게 관계되지 않는다.

그림 7(c)는 G 를 10^4 로 하고 전류의 크기 I_M 및 변조폭을 동시에 변화시켜 가면서 THD를 조사한 경우로 밴드폭에 대해서는 그렇게 큰 변화는 없지만 전류의 크기는 상당한 영향을 주고 있다. 즉 전류 I_M 의 증가에 대해 THD가 감소하는 것을 볼수 있다.

5. 결론

본 논문에서는 전류형 능동필터에 델타변조기법을 제시 연구하였다. 델타변조기는 전류출력 PWM신호가 내부적으로 피드백되어 적분기를 거쳐 원신호와 비교되어 그때의 오차에 의해 새롭게 보정되므로 그 구조가 매우 간단해지거나 또한 응답이 빠른 우수한 제어성능을 가진다. 이득을 크게 할수록 밴드폭을 적게 할수록 보다 더 기준보상전류에 근접되지만 스위칭 손실이 증가하므로 적절하게 설정해야 한다.

제어기 내부에 필터가 내장되어 있어 본질적으로 고조파 특성이 우수하고 또한 변조의 회로 추가 없이 변조계수를 변경시켜 인버터 출력을 쉽게 제어할 수 있다.

참고문헌

- [1] H.Akagi, "Control Strategy of Active Power Filters Using Multiple Voltage-Source PWM Converters", IEEE Trans. on Industry App., Vol.1A-22(3), May, 1986.
- [2] G.H.Cho, "Analysis of Current-Fed Active Power Filters", KIEE Trans., Vol.38, No.6, PP.441-450, 1989.
- [3] P.D.Ziogas, "The Delta Modulation Technique in Static PWM Inverters", IEEE Trans. on Industry App., Vol.17(2), Mar, 1981.
- [4] M.A.Rahman, "Performance Analysis of Delta Modulation PWM Inverters", IEEE Trans. on PE., Vol. PE-2(3), July, 1987.

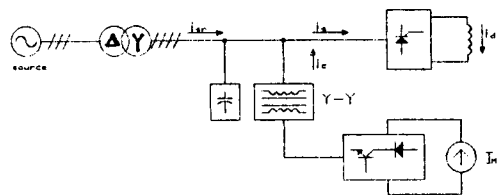
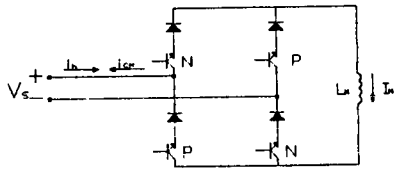
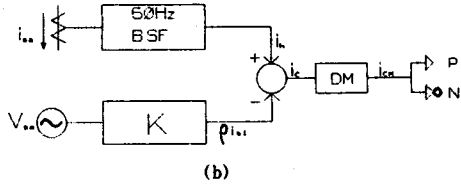


그림 1. 전체 필터시스템에 대한 블록선도



(a)



(b)

그림 2. 각상 펄터시스템 및 기준신호의 발생

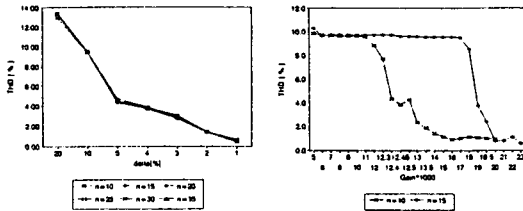


그림 5. 입력고조파, 이득, delta의 관계

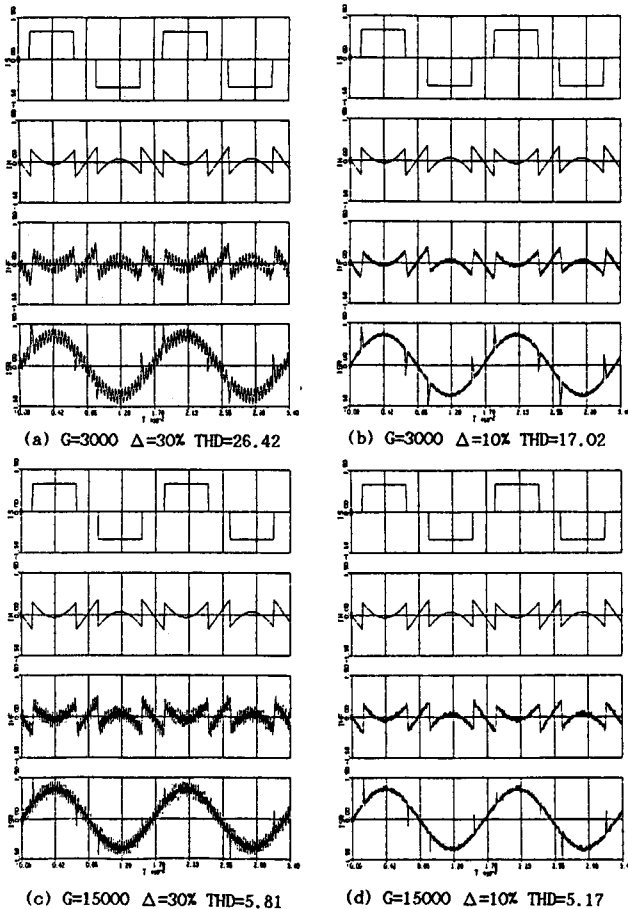
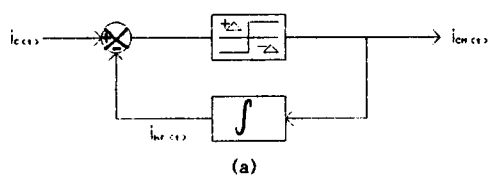
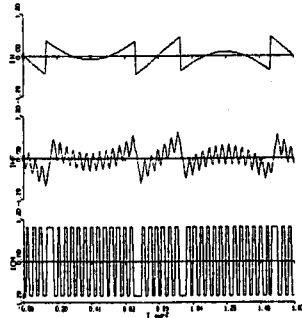


그림 6. Gain과 Delta와의 관계



(a)



(b)

그림 3. 델타변조기 기본구성 및 각부 파형

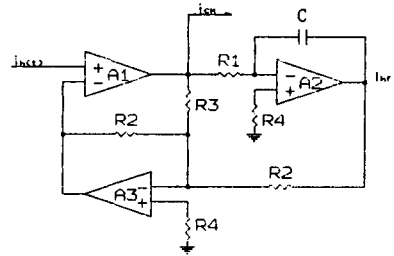
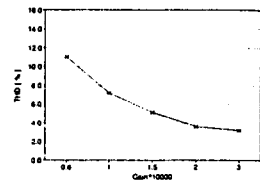
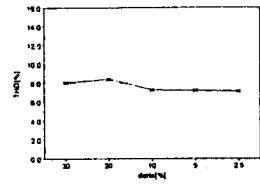


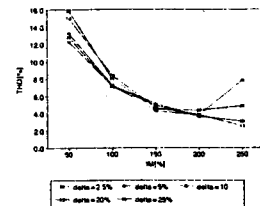
그림 4. OP AMP로 구성된 델타변조기 회로



(a)



(b)



(c)

그림 7. Gain, Delta, 주입전류의 관계