

## 마그네트론 구동용 인버터의 특정 고조파 제거에 관한연구

김양배\*, 황정호\*\*  
 동양미래대학교\*, 이모션텍(주)\*\*

### Studies on the Particular Harmonics Elimination inverter Magnetron drive

Yang-Bea Kim\*, Jung-Ho Hwang \*\*  
 Dept. of Electrical, Dongyang Mirae University\*, EMOTIONTEK Co., Ltd\*\*

**Abstract** - 마이크로 웨이브를 사용하는 기기들은 대량생산 공정에 있어서 식품 가공용 건조기기로 사용되고 있다. 3kW 마그네트론을 구동하기 위해서는 필라멘트를 가열하고 고압의 DC전원을 발생시킬 수 있는 회로가 필요하게 된다. 반도체 소자를 이용한 전력변환 장치로 DC로 운전이 되면 AC계통으로 혼입되는 고조파가 발생된다.

본 논문에서 AC계통으로 유입되는 특정고조파 제거 방법을 제안한다. 고조파 검출회로를 기반으로 전류를 제어함으로써 기존 LC필터에서 제거되지 못한 고조파성분이 감소되는 성능을 보였다.

#### 1. 서 론

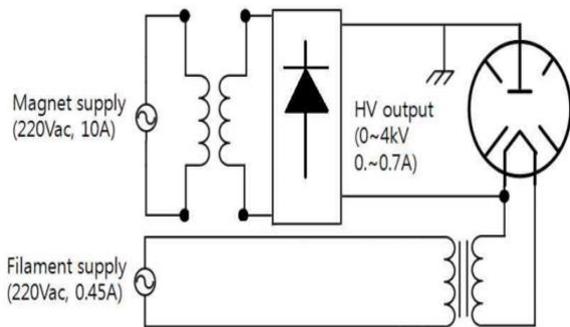
마그네트론은 자기장 속에서 마이크로파(Microwave, 주파수 300MHz ~ 300GHz)를 발진하는 2극 진공관으로 자전관(磁電管)이라고도 한다. 인버터에서 발생된 약 4k[V<sub>dc</sub>] 고전압은 음극에서 고온으로 가열된 상태로 마그네트론에 공급되면 열전자가 음극 표면에서 양극으로 가속되면서 마이크로파가 방출하게 된다. 이러한 시스템은 대부분 소형고효율 건조설비에 사용되며, 이 경우 위상제어방식의 마그네트론 인버터를 사용하기 때문에 고조파발생시 비선형상태가 된다. 비선형상태의 전류파형이 마그네트론으로 공급되면 시간함수의 고조파 연산오류를 발생하여 전력손실과 맥동이 발생하는 등 문제를 발생한다. 이러한 고조파 발생을 줄이기 위해서 최근 PWM 스위칭 방식의 인버터가 발표되고 있다. [1]

본 논문에서 AC계통으로 유입되는 특정고조파 제거 방법을 제안한다. 반도체 전력변환장치의 스위칭소자는 비선형 부하에서 고조파를 야기시킨다. 비선형 부하에 대한 해석방법은 유효성분과 무효성분을 구분하기 때문에 특정고조파성분을 구분할 수 있다. 또한 고조파 전류는 부하전류에서 기본파를 제거하는 필터 구현이 쉽다. 제안된 방법은 기존 LC필터에서 제거되지 못한 고조파성분을 특정 고조파 검출회로를 기반으로 전류를 제어함으로써 설계가 용이하고 단순한 구조의 고조파제거 시스템을 구현하였다.

#### 2. 마그네트론 인버터의 발진 고조파

##### 2.1 마그네트론 구동전원의 기본 구조

마그네트론을 구동하기 위한 전원은 필라멘트와 HV발생부로 독립된 전원장치시스템이다. 그림2-1은 일반적인 마그네트론 구동을 위한 전원장치시스템을 나타내었다. [3][4]



〈그림 1〉 마그네트론 전원공급장치

고압의 음극 붐에 연결하기 위하여 절연을 필요로 하고, 고압에 의해 발생 되는 전자를 여자 시키기 위한 마그네트론 전원이 인가되어 있다. 공급된 AC전원은 정류과정을 처리하고, DC link를 생성하여 스위칭에 의한 chopping 동작으로 스위칭 트랜스에 의한 HV출력전압을 발생하게

된다. 또한 2kw이하 마그네트론은 Cool start방을 사용하기 때문에 필라멘트의 예열과정이 필요 없지만 3[kw]이상 사업용 마그네트론의 경우 예열과정에서 충분한 전자를 확보한 출력이 발생해야 하므로 약10~15초의 예열과정이 필요하여 별도의 전력공급 장치가 필요하게 된다. 따라서 발전을 위한 예열 과정과 스위칭에 의한 HV 발생 회로는 AC공급전원에 고조파를 발생하게 된다.

##### 2.2 특정 고조파제거를 위한 수치해석

일반적으로 마그네트론 부하와 같은 비선형부하에서 발생하는 전류( $i_L$ )은 기본파와 고조파 성분으로 구성되며 식(2-1)과 같다.

$$i_L(t) = \sum_{n=1}^{\infty} I_n \sin(n\omega t + \theta_n) \quad (2-1)$$

$$= I_1 \sin(\omega t + \theta_1) + \sum_{n=2}^{\infty} I_n \sin(n\omega t + \theta_n)$$

식(2-1)에서 기본파성분을 유효전력 성분과 무효전력 성분으로 나누어 표현하면 식(2-2)와 같다.

$$i_L(t) = I_1 \cos\theta_1 \sin(\omega t) + I_1 \sin\theta_1 \cos(\omega t) + \sum_{n=2}^{\infty} I_n \sin(n\omega t + \theta_n) \quad (2-2)$$

$$= I_p(t) + I_q(t) + I_h(t)$$

여기서  $I_n$ 은  $n$ 차 고조파 전류의 크기를 의미하고  $\omega$ 는 각주파수,  $\theta_n$ 은  $n$ 차 고조파의 위상을 의미한다.  $i_p(t)$ 은 기본파성분에 대한 유효전류이고,  $i_q(t)$ 은 기본파성분에 대한 무효전류이며,  $i_h(t)$ 는 모든 고조파성분의 합이다. 고조파 제거 시스템이 발생해야 할 보상 전류( $i_c(t)$ )는 무효전류와 고조파 전류성분으로 식(2-3)과 같다.

$$i_c(t) = i_q(t) + i_h(t) = i_L(t) + i_p(t) \quad (2-3)$$

식(2-3)사용하여 기준보상신호를 생성 할 수 있고, 이는 부하 전류( $i_L$ )에서 유효전류( $i_p$ )를 제거함으로써 가능하다. 유효전류는 식(2-4)와 같다.

$$i_p(t) = I_1 \cos\theta_1 \sin(\omega t) = I_x \sin(\omega t) \quad (2-4)$$

여기서  $\sin(\omega t)$ 는 전원전압과 비교하여 주파수와 위상이 서로 같은 신호이다.  $I_x$ 는  $I_1 \cos\theta_1$ 으로 부하전류에서 기본차 유효전류의 크기를 의미하며 식(2-5)를 이용하여 구할 수 있다.

$$I_x(t) = \frac{1}{T} \int_0^T i_L(t) \sin(\omega t) dt \quad (2-5)$$

즉, 부하전류( $i_L$ )에 기본파와 동일한 각주파수( $\omega$ )를 갖는  $\sin(\omega t)$ 를 곱한 후 적분하면 기본파의 유효전류 성분 크기를 얻을 수 있으며 이 값( $I_x$ )을 식(2-4)에 의거하여  $\sin(\omega t)$ 와 곱하면 유효전류를 얻을 수 있다. 이와 같은 기준전류  $i_c$ 를 생성하는 방법은 곱셈기2개와 적분기1개로 나타 낼 수 있다. [5]

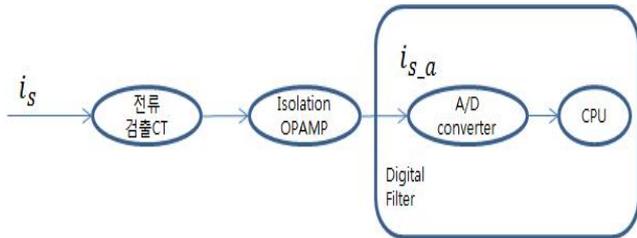
##### 2.3 특정 고조파제거를 위한 시스템

본 논문에서 제안하는 고조파 제거는 고조파 검출부를 아날로그 회로로 구성하였다. 검출된 고조파를 이용하여 기준전류  $i_c$ 를 생성 할 수 있고 또한 아날로그로 구현하는 것이 목적에 맞는다. 이를 아날로그 회

로 구성하기 하게 되면 불필요한 구성요소가 증가되어 복잡도를 증가시키고 비용을 상승시키는 요인이 되기 때문에 본 논문에서는 식(2-3)에서  $i_g(t)$ 와  $i_h(t)$  중에  $i_h(t)$ 만을 제거하는 방법을 채택했다. 보상을 위해서 부하에 작용되는 전류를 측정해야 하여  $i_h(t)$ 는 부하전류( $i_L$ )에서 기본파  $I_1 \sin(\omega t + \theta_1)$ 를 제거함으로써 얻을 수 있으며 이는 대역 저지 필터로 쉽게 구현 가능하다.

### 2.3.1 고조파 검출회로

부하로 유입되는 전류  $i_s(t)$ 로부터 고조파전류  $i_h(t)$ 를 검출하기 위하여 그림 2와 같은 고조파 검출부를 제안한다. 제안된 고조파 검출부는 전류검출부부와 대역저지 필터부로 구성되어 있다.



〈그림 2〉 고조파 검출부 구성

그림 2와 같이 고조파 검출 회로를 구현하였다. AC에서 공급되는 전류  $i_s(t)$ 를 홀CT를 사용하여 측정하고, AVOG의 절연형 OPamp 778J를 사용하여 전달하면 손실없는 순수한 정보를 획득할 수 있다. 기존의 LC에서 검출하지 못한 고조파성분이 발생되므로 기생성분에 의한 신뢰성의 문제점이 없다.

### 3. 실 험

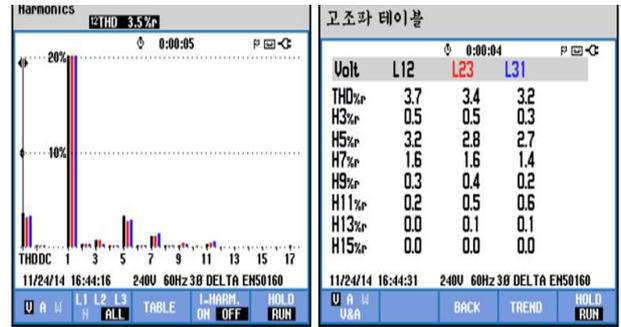
본 논문에서 제안한 고조파 제거하기 위하여 제안한 검출회로를 포함한 신뢰성을 검증하기 위해, 사용한 마그네트론은 Hitachi electronic의 2M251으로, 사양은 표 1에 제시한다. 마그네트론은 예열과 출력을 발생하면서 특정 고조파를 발생한다. 그림 3과 같이 정전압 공급 장치로 제안된 특정 고조파 제거방법을 구현하고, DC전원 발생 영역에서 실험하였다. 정상상태 전원을 확인하기 위해서 공급 전원의 대기 상태의 고조파 분포도를 확인하였다. 발전시 기준전력은 4kVdc, 0.5A로 2kW 출력을 발생하도록 설정하였다. 전류 검출용으로 사용된 CT는 10:1의 해상도로 0.1A가 흐를 때 1V를 출력한다.

〈표 1〉 마그네트론 사양

제품명	2M251
출력[w]	3000
히타 전압[v]	4
히터전류[A]	23
양극전압[kv]	5.2
주파수[MHz]	2.455
냉각 방식	Air
외형크기 [mm]	128x120x149
무게[kg]	3.1



〈그림 3〉 3kw급 정전압 출력 전원공급장치



〈그림 4〉 출력시 고조파 분포

그림 4는 220ac, 0.5A로 설정하고 2kW로 출력하였다. 출력이 발생하면서 5고조파와 7고조파가 발생됨을 보여준다.



〈그림 5〉 제안된 고조파제거 알고리즘 적용 고조파 분포

그림 5는 고조파 제거 알고리즘을 적용하고 n을 5로 고정하고 전력 변화기를 동일하게 출력하였을 때 고조파 분포도이다.

알고리즘 적용 전 고조파 분포도와 적용 후 분포도를 보면 5고조파가 3.2%에 0.8%로 감소하는 것을 확인할 수 있었으며, 기존 고조파들도 적용 이전보다 감소하고 있어 고조파 제거 알고리즘 적용으로 전반적으로 고조파 분포도가 감소하고 있음을 확인할 수 있었다.

### 4. 결 론

DC전원을 사용하는 마그네트론의 부하는 비선형을 갖는다. 공급되는 전원을 가동하여 사용하는 과정에서 특정고조파가 발생되어 시스템의 오동작을 발생한다. 본 논문에서는 이러한 단점을 극복하기 위하여 입력 전류의 고조파성분을 분석하고 특정 고조파를 제거하는 방법을 제안하였다. 아날로그방식의 검출부를 구현하여 구성계가 단순하고 저가의 고조파제거 시스템을 구현하였다. 특정고조파를 대상으로 스위칭과 관련하여 제거하기 때문에 단순한 하드웨어의 구조를 갖는다. 또한 유효전력기 준의 알고리즘을 제안하였다. 제안된 방법은 특정 고조파성분을 제거하였으며 고조파의 분포가 감소되었다.

### 〈참 고 문 헌〉

- [1] Wing C. Ho, M. H. Pong, "Design and analysis of discontinuous mode series resonant converter", IEEE International Conference, pp486-489, 1994
- [2] S. J. Chang, C. M. Liaw, J. H. Ouyang, C. C. Chiang, "Multi Module parallel series-loaded resonant converter", IEEE Trans. on Aerospace and Electronic Systems, pp257-265, 1995
- [3] 황정호, 김양배, 강두병, "산업용 3kw 마그네트론을 위한 제어시스템 구현", CICS 2013 정보 및 제어 학술대회, pp432-433, 2013.10
- [4] 류영복\*, 강민수\*, 김영석\*, 이주동\*, 김양도\*\*, 이만식\*, "Microwave를 이용한 주형건조장치 개발을 위한 기초연구", 2009년 한국산학기술학회 춘계 학술발표논문집
- [5] 정동열, 박종연, 금상훈, 최원호, "단상 전원 고조파 제거 시스템을 위한 기준전류 생성회로에 대한 연구", 전기학회논문지 제54B권 제7호, 2005.7, pp335-342