

상용 주파수용 단일 공진 PWM 인버터의 특성

김종해* 배상준** 김경식*** 문창수**** 안항목*****
* 영남대 **경북산업대 ***경북설업전문대 ****LG전자 *****안양전문대

A Characteristic of commercial frequency unity Resonant PWM Inverter.

*Jong-hae Kim, **Sang-June Bae, ***Kyung-Sik Kim,
****Chang-soo Moon, *****Hang-mok Ahn

Electrical Engineering Yeungnam University*, Dept. of Kyung Buk Industrial University**,
Kyung Buk Junior College***, LG Electronics****, An-Yang Junior College*****

<Abstract>

This paper describes a new dc/ac inverter system, which makes use of parallel loaded high frequency resonant inverter consisting of full bridge, for achieving sinusoidal ac waveform.

Because current throughout switch at turn-on is always zero in proposed inverter, low stress and low switching loss is achieved. Operating characteristic of proposed system is analyzed in per unit system using computer simulation. Output voltage of it include low harmonics and almost close to sine wave.

I. 서론

직류를 교류(임의의 주파수)로 변환시켜주는 인버터를 제어하는 효과적인 방법들이 많이 보고되어 있다.^{[1][2][3]}.

상기의 제어 기구로 동작되는 인버터는 스위칭 소자가 많은 스트레스를 받게 되고 스위칭 손실이 뿐만 아니라 고주파 성분도 많이 발생하게 되므로 영전압 스위칭(ZCS)이나 영전류 스위칭(ZCS) 기술 등이 많이 이용되고 있다.^{[4][5]}

고주파 공진을 이용한 인버터로서 그의 내부에 VVVV 제어 기능을 가지고 있는 것도 제안되었는데^[6], 이는 공진 용 리액터와 콘덴서가 두개씩 소요되므로 회로 구성이 복잡하다는 등의 결점이 있다.

본 연구에서는 기존의 전압형 풀 브리지 고주파 인버터 시스템을 기본으로 하여 스위칭 소자와 공진용 인덕터와 콘덴서의 수를 줄여서 회로 구성은 간단한 공진형 인버터를 제안하고 있다.

제안된 인버터는 불연속 도통 모드로 동작하고 PWM으로 제어되는 고주파 공진형 인버터를 이용함으로써 유사 정현적인 공진 필터 옆로 조합된 출력 전압을 갖게 되는데, 이는 저역 통과 필터(LPF)에 의해 정현적인 AC 전압 파형을 얻을 수 있는 장점을 가진다.

II. 제안 인버터의 동작 원리

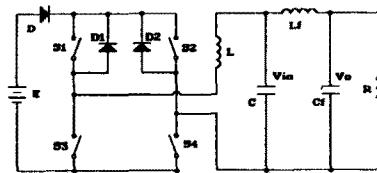


그림 1 고주파 공진 링크된 인버터 회로도

그림 1은 본 연구에서 제안하고 있는 병렬 부하를 갖는 고주파 공진 링크된 인버터로서 이는 기존의 풀 브리지 인버터와 거의 동일한 구조로 구성된다.

그림에서 스위치 S1~S4는 PWM 제어를 위해 자기 소호형 소자로 구성되며, L 및 C는 공진용 리액터와 콘덴서이고, Lf와 Cf는 필터용 리액터와 콘덴서이다. R은 부하 저항을 나타내며, D1~D2는 고주파 공진 투프를 구성시켜주는 다이오드이다. 그리고 D는 역방향으로 흐르는 공진 전류를 저지하기 위한 다이오드로서 기존의 풀 브리지와 다른 점이다.

이 인버터의 출력 전압을 정현화에 가까운 상용 주파수 전압이 되도록 하기 위한 스위치 S1~S4의 제어 동작 타이밍을 그림 2에 나타내고 있다.

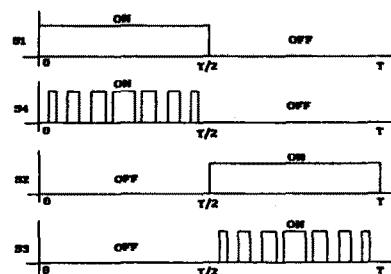


그림 2 스위치 S1~S4의 동작 타이밍도

그림 2에서 보는 바와 같이 그림 1의 회로도의 브리지 암에서 대각으로 서로 대응되는 스위치 쌍 (S1, S4)과 (S2, S3) 중에서, S3과 S4는 상용 주파수 내에서 PWM 신호에 따라 동작된다. 따라서 스위치 S1과 S2의 동작 주파수를 변화시킴으로써 출력 전압의 주파수를 가변시킬 수 있고, 스위치 S3, S4에 인가되는 PWM 신호의 진폭 변조비를 변화시킴으로써 출력 전압의 크기를 가변 시킬 수 있어서 VVVF 동작이 가능하게 된다.

그림 1의 회로에서 스위칭 소자의 온 상태와 오프 상태에 따른, 각 모드의 동가 회로는 그림 3과 같다.

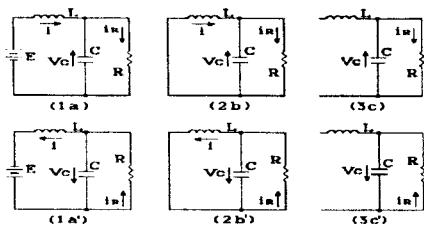


그림 3 각 모드의 동가 회로

그림 3의 동가 회로에 대한 상태 방정식은 회로 해석의 간략화를 위해 모든 값들을 p.u. 값으로 나타낸다.

III. 동작 특성

제안한 시스템은 불연속 도통 모드에서 동작하는 고주파 공진형 인버터를 이용하고 있으므로 스위칭 주기의 50%에 해당하는 시간 간격을 확보해 두어야 하기 때문에 스위치 S1이나 S2의 드티비는 1/2보다 적어야 한다.

따라서 공진 주기의 1/2 이내에서 온 스위칭 신호의 폭ton 을 식 (1)과 같이 정현파의 크기에 비례하도록 하면 된다.

$$ton = \frac{1}{2} ma \sin(9.28 \times 10^{-5} \pi ft) \quad (1)$$

여기서 ma 는 진폭 변조도이다.

필터가 없는 경우 한 출력 주기(T)에 대해 식 (1)의 스위칭 신호에 따른 출력 전압 파형을 그림 4에 보여주고 있다.

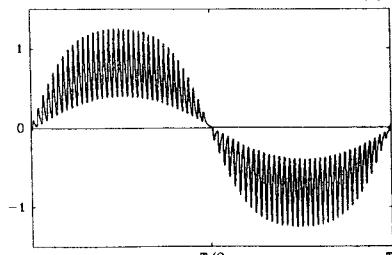


그림 4 제안된 인버터의 출력 전압(필터가 없는 경우)

그림에서 보는 바와 같이 출력 전압은 공진 주파수인 캐리어 주파수가 상용 주파수인 정현파로 변조된 파형으로 되어 있는데, 이는 그림 1과 같이 L_f 와 C_f 로 구성된 저역 통과 필터 회로에 의해 캐리어 주파수 성분은 제거되고 정현파의 출력을 얻을 수 있다.

저역 통과 필터 회로에 대한 상태 방정식과 출력 방정식은 필터 콘덴서와 인더티의 저항 r_c 과 r_l 을 포함해서 나타내면 식 (2)와 같다.

$$\begin{cases} \frac{dx_1}{dt} = A_1 x + B_1 u_1 \\ y_1 = C_1 x_1 \end{cases} \quad (2)$$

여기서 $x_1 = [i_1 \quad v_{cf}]^T$, $y_1 = v_o$, $u_1 = v_b$

$$A_1 = \begin{bmatrix} -\frac{r_l r_c + R(r_l + r_c)}{L_f(R + r_c)} & -\frac{R}{L_f(R + r_c)} \\ \frac{R}{C_f(R + r_c)} & -\frac{1}{C_f(R + r_c)} \end{bmatrix}$$

$$B_1 = \left[\begin{array}{cc} \frac{1}{L_f} & 0 \end{array} \right], C_1 = \left[\begin{array}{cc} \frac{r_c R}{R + r_c} & \frac{R}{R + r_c} \end{array} \right]$$

필터 입력 전압 v_b 에 대한 출력 전압 v_o 의 전달 함수를 구하면 식 (3)와 같다.

$$G(s) = \frac{v_o(s)}{v_b(s)} = \frac{a_0 + a_1 s}{b_0 + b_1 s + b_2 s^2} \quad (3)$$

여기서 $a_0 = R$, $a_1 = r_c R C_f$, $b_0 = r_l + R$

$$b_1 = L_f + r_l R C_f + r_c r_l C_f + r_c R C_f$$

$$b_2 = L_f C_f (R + r_c)$$

그림 5는 $R=1.5$ 인 경우에 차단 주파수 $fc=0.4$ 로 하였을 경우($C_f = 16$, $L_f = 70$) 주파수 응답 특성 곡선을 나타내고 있다.

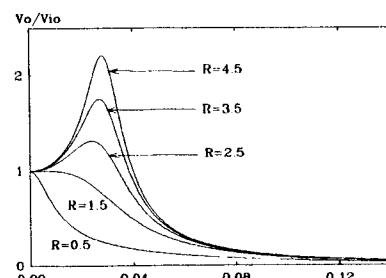


그림 5 전달 함수의 주파수 특성

필터 회로를 포함한 전체 회로의 상태 방정식과 출력 방정식은 식 (4)와 같다.

$$\begin{cases} \frac{dx}{dt} = Ax + Bu \\ y = Cx \end{cases} \quad (4)$$

여기서 $x = [i_1 \quad i_f \quad v_c \quad v_d]^T$, $u = 1$ 이고,

$$A = \begin{bmatrix} 0 & 0 & -\frac{m_1}{L_f} & 0 \\ 0 & 0 & \frac{1}{L_f} & -\frac{1}{L_f} \\ \frac{m_2}{C} & -\frac{1}{C} & 0 & 0 \\ 0 & \frac{1}{C_f} & 0 & -\frac{1}{RC_f} \end{bmatrix}, \quad y = v_o$$

$$B = \left[m_1 \frac{sn}{L} \quad 0 \quad 0 \quad 0 \right]^T, \quad C = [0 \ 0 \ 0 \ 1]$$

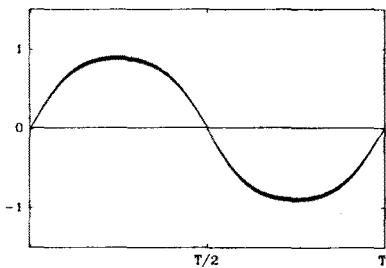


그림 6 제안된 인버터의 출력 전압(필터가 있는 경우)

그림 6은 제안된 인버터의 출력 전압(필터가 있는 경우) 파형을 나타내고 있다.

왜형률은 다음과 같은 정의로 계산하였다.

$$H.F = \frac{\text{고주파 성분}}{\text{기초파 성분}} = \frac{\sum_{n=2}^{\infty} V_n}{V_1}$$

$$= \sqrt{\frac{V_f^2 - V_d^2}{V_f^2}} - 1$$

그림 7 은 진폭 변조도 ma 에 따른 실효값과 왜형률의 변화를 나타내고 있다.

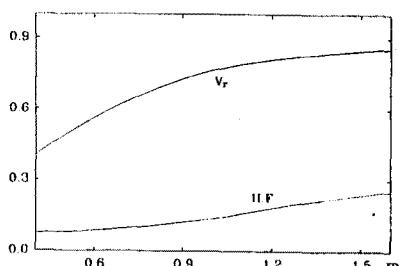


그림 7 진폭 변조도 ma 에 따른 실효값과 왜형률

그림 7에서 보는 바와 같이 진폭 변조도 ma 의 값이 크게 될수록 실효값은 증가하고 있지만 왜형률도 동시에 증가하고 있으므로 정현파에서 점점 멀어져간다는 것을 알 수 있다. 따라서 허용되는 왜형률 내에서 최대 출력을 얻기 위한 진폭 변조도를 그림 7에 의해 결정할 수 있다.

IV. 결 론

본 논문은 상용 주파수 인버터 장치의 구성과 제어 계통에 관한 연구로서 기존의 PWM이나 위상 제어형 고주파 인버터의 문제점을 보완하여 PWM 제어에 의해 출력 전압의 크기와 주파수를 제어할 수 있는 공진형 풀 브리지 인버터를 제안하였다. 제안된 계통은 이론적인 해석과 수치 해석적 인 방법을 적용한 시뮬레이션을 통해 그의 동작 특성을 확인하였고, 공진용 콘덴서와 리액터 및 스위칭 소자의 수가 감소되어 회로 구성이 간단하며, 고조파 특성이 양호하여 거의 정현파에 가까운 출력 전압을 얻을 수 있었다.

<참고 문헌>

- [1] Guan-Chyun Hsieh, Chun-Hung Lin, Jyh-Ming Li and Yu-Chang Hsu, "A Study of Series-Resonant DC/AC Inverter", IEEE pesc95 conf. proc. vol.1, pp.493-499, 1995
- [2] A.K.S. Bhat, S.B.Dewan, "DC-TO Utility Interface Using Sinwave Resonant Inverter", IEE Proceedings, Vol.135,Pt.B, No.5, September 1988.
- [3] T.Haneyoshi, A.Kawamura and R.G.Hoft, "Waveform compensation of PWM inverter with cyclic fluctuating loads", IEEE PESC Record, pp.744-751, 1986.
- [4] I.Yamato, N.Tokunaga, Y.Matsuda, H.Amano and Y. Suzuki, "High-frequency link DC/AC converter for UPS with a new voltage clamp", IEEE PESC Record, pp.749-756, 1990.
- [5] J.He,N.Mohan and B.Wold, "Zero-volt switching PWM inverter for high-frequency DC-AC conversion", IEEE IAS Conf , pp.1215-1221, 1990.
- [6] P.Savary, M.Nakaoka and T.Marushashi, "Novel Type of High Frequency Link Inverter for Photovoltaic Residential Applications", IEE Proceedings, Vol.133, Pt.B, No.4, July 1986.