

보조 공진 DC-DC컨버터를 이용한 단상 유도 전동기 구동 시스템

이상현* · 문상필 · 권순걸 · 이현우 · 서기영
경남대학교

Single phase induction motor driving system using auxiliary resonant DC-DC converter

S.H.Lee* · S.P.Mun · S.K.Kwon · H.W.Lee · K.Y.Suh
Kyungnam University

Abstract - These days, electromagnetic radiation noise and switching losses of static converter become harmful. Many resonant inverters with radiation techniques solve their such problems. Auxiliary Resonant Commutated Pole Inverter (ARCP) was proposed, but it has two demerits. In circuit configuration, it isn't constructed by 2 in 1 IGBT modules. Besides, control is complicated because of neutral point voltage control and boost current control. This paper proposes a new auxiliary resonant inverter which solved two demerits. In addition, it deals efficiency which compared with hard switching inverter and result of separation of power loss

제안회로의 전류(轉流)동작은 먼저 스위칭 지령이 주어지면, 보조 스위치의 ON 지령이 주어져 공진이 개시된다. 이때 주 스위치의 영전압을 검출하여 주 스위치를 턴-온 시킨다. 그리고 부하전류와 인덕터 전류가 같게 되는 구간에서 공진이 다시 개시되며, 일정시간 후에 스너버 콘덴서의 영전압을 검출하여 보조스위치 A_1 와 A_2 를 턴-오프 시키면서 회생모드로 동작하여 공진 전류가 감소된다. 이 공진 전류에 의해서 영전류가 검출되어 나머지 보조 스위치를 턴-오프 시키게 된다.

1. 서 론

일반적으로 소프트 스위칭 방식을 이용한 전력변환 장치는 스위칭 주파수 상승시에 발생하는 스위칭 손실 및 스위칭 노이즈를 저감시키는데 사용되어지고 있다. 최근 LC공진을 이용한 전력 변환 장치중 가장 대표적인 것이 보조 공진 전류형 인버터(이하 ARCP형)이다. 보조 공진 전류형 인버터는 공진 기간중에 발생하는 에너지를 보상하기 위해서 부스터 전류 제어 및 콘덴서의 분압이 필요하므로 전체적으로 회로가 복잡하고 제어가 어려운 단점이 있다. 이러한 문제점을 해결하기 위해서 논문에서는 범용 파워모듈을 이용한 보조 공진형 인버터 회로를 제안하여 그 특징 및 해석을 하고자 한다. 이러한 모든 사항을 시뮬레이션에 의해서 그 타당성을 증명하고자 한다.

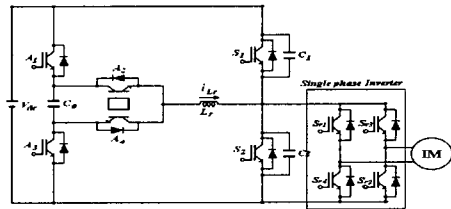


그림 2. 제안한 ARCP 회로
Fig 2. Proposed ARCP circuit

그림3은 제안한 회로의 동작모드를 나타낸 것이다. 제안한 회로는 콘덴서 전압 $V_{Ca}=0[V]$ 인 조건과 $V_{Ca}\neq 0[V]$ 이 아닌 조건으로 나누어지므로 다음과 같은 해석할 수 있다.

2. 제안한 단상 유도 전동기 구동 시스템의 해석

그림1은 일반적인 보조 공진 전류형 인버터 회로이며, 그림2는 제안한 보조 공진 전류형 인버터의 회로구성을 나타낸 것이다. 제안한 회로는 일반적인 범용 회로에서 턴-오프 시 스너버와 공진 리액터가 공진을 하지 않도록 보조스위치를 추가하였으며, 전체적으로 2 in 1 범용 파워 모듈로 구성하였다.

1) $V_{Ca}=0[V]$ 인 경우 ($D_{S2} \rightarrow S_1$ 의 전류방법)

- mode 1 : 보조 스위치 A_1 과 A_2 가 동시에 영전류 턴-온하는 모드이다.
- mode 2 : 공진전류 $i_{Lr}=i_{Load}$ 에서 리액터 L_r 및 공진 콘덴서 C_1, C_2 에서 공진이 개시되는 모드이다. 이때 공진 주파수 f_r 는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$f_r = \frac{1}{2\pi\sqrt{2L_r C_1}} \quad (1)$$

- mode 3 : 공진 콘덴서 C_1 의 전압 $v_{s1}=0$, C_2 의 전압 $v_{s2}=V_{dc}$ 로 되면 주 스위치 S_1 이 영전압으로 턴-온하는 모드이다. 이때 공진 전류 i_{Lr} 가 계속 흐르는 상태에서 보조 스위치 A_2 를 턴-오프 시키면 남아 있는 잔류 에너지는 부하 측으로 회생된다. 그리고 보조 스너버 콘덴서 C_a 에 발생되어지는 스위칭 손실은 저감된다.
- mode 4 : 공진 전류 $i_{Lr}=0$ 이 될 때 보조 스위치 A_1 은 영전류 턴-오프하는 모드이다. 모드 4의 전류 동작이 끝나면 다시 모드 1이 반복된다.

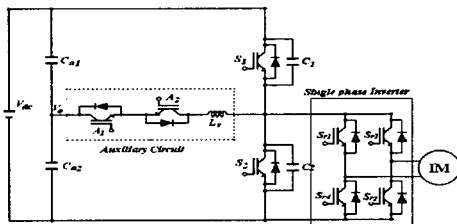


그림 1. 보조 공진 전류형 인버터의 회로
Fig 1. Circuit of ARCP Inverter

II) $V_{Ca} > 0[V]$ 인 경우 ($S_1 \rightarrow D_{S2}$ 의 전류(轉流)방법)

모드 I에서는 주 스위치 S_1 를 턴-오프 하는 것만으로 공진 콘덴서 C_1, C_2 가 오프 스너버 콘덴서 역할을 하게 된다. 이때 턴-오프 손실 및 d_v/d_t 은 억제되지만 부하 전류가 적을 경우에는 OFF시간이 역으로 증가되어 보조스위치 A_2 의 턴-오프때에 C_a 는 오프 스너버의 역할을 다할 수 없으므로 스위칭 손실은 증가하게 된다. 이러한 에너지를 회생하기 위해서 보조 회로가 필요하므로 전체적인 효율은 저하한다. 모드II에서는 보조스위치 A_2 턴-오프를 시작하지 않고, 보조스위치 A_1 를 턴-오프하여 C_a 의 에너지를 전원으로 회생하는 모드이다. 이때 $V_{Ca} = V_{dc}$ 으로 되면서 $V_{A1} = 0$ 에서 턴-오프 된다.

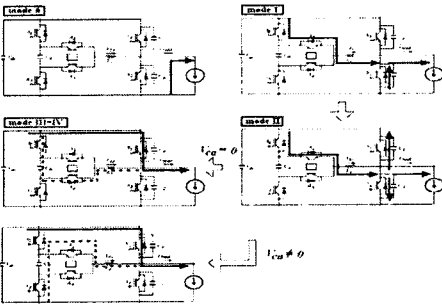


그림 3. 전류모드도
Fig 3. Transition of commutation

일반적인 단상 인버터회로는 스위치 $S_{n1} \sim S_{n4}$ 로 이루어져 있으며, 양쪽의 스위치를 서로 다른 시간에 동작시켜주는 PWM 제어 방식을 이용하고 있으나 본 논문에서 스위치 S_{n1}, S_{n2} 가 입력신호의 정의 반주기 동안 스위칭 동작을 하며 부의 반주기 스위치 S_{n3}, S_{n4} 는 휴지하는 기간을 가지게 하는 HPWM방식을 이용하여 제어하였다. 이 HPWM 방식을 이용함으로써 기존 방식보다 저차고 조파 성분을 저감시킬 수 있었다.

2.1 전력변환장치의 손실해석

전력변환장치는 크게 2가지 형태로 나눌 수 있다. 먼저 하드 스위칭 인버터의 손실은 턴-온 손실, 턴-오프 손실 및 주 스위치 도통 손실 W_{CON} 로 나눌 수 있으며, 식2와 같이 나타낼 수 있다. 여기서 스위칭 손실은 스위칭 하는 소자의 수와 캐리어 주파수를 거는 것으로서 한 주기 당의 손실을 산출한 것이며 주 스위치 도통손실은 식3와 같이 나타낼 수 있다.

$$E_{HON} = \int_0^{T_{sw}} v(t) * i(t) dt \quad (2)$$

여기서, 입력 전압: $v(t)$,

전류 파형: $i(t)$

스위칭 시간: T_{sw}

스위칭의 턴-온 손실: E_{HON}

스위칭의 턴-오프 손실: E_{HOFF}

$$W_{CON} = W_H - (E_{HON} + E_{HOFF}) * 2 * f_{sw} \quad (3)$$

여기서, 하드 스위칭 인버터 전 손실: W_H

소프트 스위칭 인버터 주스위치의 도통손실: W_{CON}

그리고 소프트 스위칭 인버터의 손실은 주스위치 도통 손실, 주스위치 턴-온, 오프 손실 및 보조 스위치 턴-온, 오프 손실 등의 소프트 스위칭 손실, 보조 스위치 도통손실 W_{AUXCON} 및 공진 인덕터 도통 손실 W_{Lr} 로 나눌 수 있으며, 보조 스위치의 도통손실을 간략화하기 위해서 회생 모드 없이 공진 전류가 항상 2개의 보조 스위치에 흐르는 상태로 가정한 후 공진 전류의 실효값을 산출하였다. IGBT의 ON전압 V_{ON} 을 식4와 같이 나타낼 수 있으며 공진 인덕터의 도통손실은 식5와 같이 구해진다.

$$W_{AUX:OFF} = 2 * 2 * V_{ON} * I_a \quad (4)$$

$$W_{Lr} = 2 * R_{Lr} * I_a^2 \quad (5)$$

여기서, R_{Lr} 은 공진 인덕터의 동손 저항이다.

3. 시뮬레이션 결과 및 검토

제안한 회로에 있어서 다이오드 및 IGBT등 대부분의 소자는 이상적 소자이며, 제어 스위치는 가변저항의 전압 스위치로 하며 Design Center(version 9.0)를 이용하여 시뮬레이션 하였다. 표 1은 시뮬레이션에 사용된 회로정수를 나타낸 것이다.

표 1. 시뮬레이션에 사용된 회로정수
Table1. Circuit parameters using simulation

직류링크전압 V_{dc}	140[V]
공진 리액터 L_r	25[μ H]
공진 콘덴서 C_1, C_2	54[nF]
보조 스너버 콘덴서 C_a	100[nF]
부하 저항 R_{Load}	12.5[Ω]
부하 리액터 L_{Load}	10[mH]
공진 주파수 f_r	96.7[kHz]

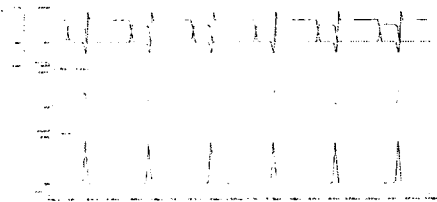


그림 5. 전류(轉流)동작 파형
Fig 5. Waveform of commutation

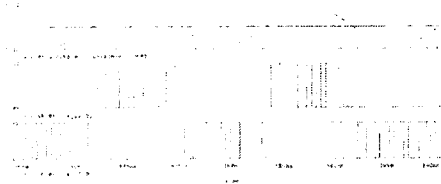


그림 6. 제안한 HPWM 인버터의 게이트 신호
Fig 6. Gate signal of proposed HPWM inverte

그림 5는 제안 회로의 전류(轉流)동작 파형을 나타낸 것이다. 그림 5에서 알 수 있듯이 턴-온시 주 스위치는

영전압으로 실현되며, 보조 스너버 콘덴서의 전압에 의해 제어를 전환시켜도 전류(轉流)가 실현 가능하다는 것을 확인 할 수 있다. 제안한 회로는 기존의 단상 풀 브리지 인버터에 턴-오프 스너버 및 보조회로를 추가하였다. 그림 6은 인버터의 게이트 신호를 나타낸 것이며, 그림 7은 인버터의 출력전압, 전류의 파형을 나타낸 것이다. 그림 8은 기존의 PWM인버터 방식과 HPWM 인버터 방식의 고조파 성분을 분석한 결과이다. 그림 8에서 제안한 HPWM 인버터방식이 저차고조파 성분이 저감되는 것을 알 수 있다.

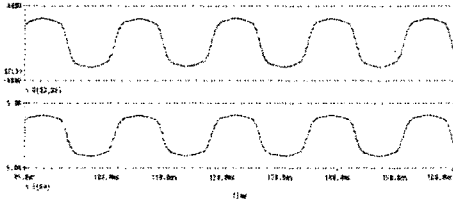
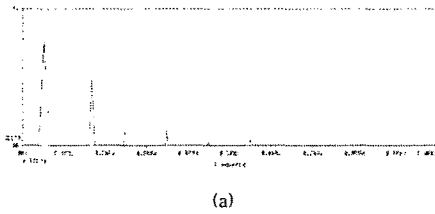
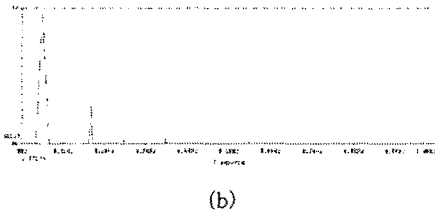


그림 7. 제안한 HPWM 인버터의 출력전압, 전류 파형
Fig 7. Output voltage and circuit waveform of proposed HPWM inverter



(a)



(b)

그림 8. 입력전류에 대한 주파수 스펙트럼
(a) 기존의 PWM방식
(b) 제안한 HPWM방식
Fig 8. Frequency spectrum for input current
(a) Circuit of conventional PWM inverter
(b) Circuit of proposed HPWM inverter

본 논문에서는 전체손실을 산출하기 위해서 입력과 출력 사이에 디지털 파워미터를 삽입하였으며, 출력은 변조율을 변화시켜 조정하였다. 그리고 각 스위칭 손실은 각 스위치의 전압 및 전류의 시뮬레이션 결과 데이터를 바탕으로 산출하였다. 그림 9는 하드 스위칭과 소프트 스위칭의 효율을 비교하여 나타낸 것이다. 그림 9에서 알 수 있듯이 하드 스위칭 인버터보다 링크전압이 낮기 때문에 효율이 다소 저하되는 결과가 나타난다. 하지만 소프트 스위칭의 링크 전압으로 결정된 보조 회로의 도통 손실을 고려하지 않는다면 하드 스위칭의 손실보다 높은 효율을 가지게 된다. 그림 10은 하드 스위칭과 소프트 스위칭일 때 각 손실의 특성을 나타낸 것이다. 그림 10에서 알 수 있듯이 회로의 보조 스위치수가 증가함에 따라 보조 스위치의 도통 손실이 증가되어 효율이 개선되

지 않는 문제점을 해결하기 위해서 공진 회로정수의 값을 변경하여 보조회로의 사용시간을 단축하였으며, 도통 손실이 적은 소자를 사용하였다.

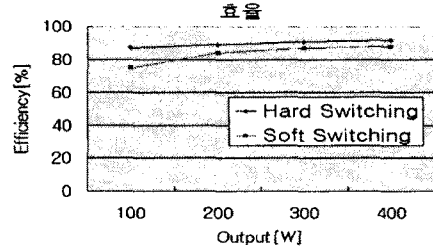


그림 9. 출력에 대한 효율특성
Fig 9. Output efficiency characteristics

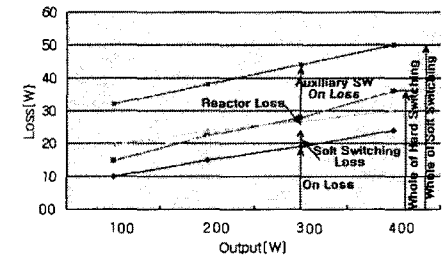


그림 10. 출력에 대한 손실특성
Fig 10. Output power loss characteristics

4. 결론

최근 LC공진을 이용한 전력 변환 장치중 가장 대표적인 것이 보조 공진 전류형 인버터이다. 보조 공진 전류형 인버터는 공진 기간중에 발생하는 에너지를 보상하기 위해서 부스터 전류 제어 및 콘덴서의 분압이 필요하므로 전체적으로 회로가 복잡하고 제어가 어려운 단점이 있다. 이러한 문제점을 해결하기 위해서 본 논문에서는 기존의 복잡한 제어를 사용하지 않고 간소화하기 위해 범용 파워로 구성된 보조 공진 DC-DC컨버터를 제안하였다. 그리고 소프트 스위칭 인버터 회로가 효율이 하드 스위칭 인버터보다도 저하되는 원인을 분석하였으며, 그 해결방안을 제시하였다.

【 참고 문헌 】

- (1) 日本電氣學會, "高周波用デバイス電力半導體 應用の技術動向" 電氣學會技術(II部) 第271號, pp.20~27, 1997
- (2) C. Blanco, "An Improved Electronic Transformer for Low Power Halogen Cycle Lamp", IEE IAS, Vol 1.3, pp. 1979~1983, 1944
- (3) KKit sum and Bruse W. Carsten, "Trends in High Frequency Power conversion", HFPC, pp.198~204, May, 1998
- (4) H.J. Song, K.S.Lee, D.J.Lee, "A study on the high voltage nozzle type ozonizer", 11th International Conference on Gaseous Discharge and Their Applications. Vol. 2, pp. 320~323, 1995
- (5) Shengpei Wang, Yoshihiro Konishi, " Voltage-Fed Pulse Density and Pulse Width Modulation Resonant Inverter for silent Discharge Type Ozonizer", H11 電氣學 會産業應用部門大會 1966