

인덕터 轉流형 소프트 스위칭 고주파 인버터에 의한 비접촉 충전

김희준*

(*한양대학교 공과대학 전기공학과 교수)

1. 서 론

최근 노트북PC, 전동공구, 전기번도기등 휴대용 전자기기를 비롯한 전기자동차등에는 NiCd 전지등 충전형 2차전지가 폭넓게 사용되고 있다. 종래 이러한 전지의 충전에는 접점을 이용하여 전력을 공급하는 방법이 이용되어 왔으나 안정성, 내구성, 신뢰성, 간편함등의 면에서 볼 때 비접촉 충전이 바람직한 방법으로 대두되고 있다. 그러나 비접촉 충전에는 고주파 인버터와 탈착 트랜스포머가 핵심적인 요소로 나타난다. 따라서 스위칭 노이즈 및 스위칭 손실이 저감될 수 있는 소프트 스위칭 고주파 인버터 및 대전력을 전달할 수 있는 탈착 트랜스포머가 필요하게 된다.

본 고에서는 다년간 이 분야의 연구에 종사하고 있는 쿠마모토 공업대학 응용에너지 일렉트로닉스 연구소 K. Harada 교수 및 H. Sakamoto 교수 연구팀의 연구 성과를 중심으로하여 소프트 스위칭 고주파 인버터에 의한 비접촉 충전에 관하여 소개하고자 한다.

2. 인덕터 轉流를 이용한 소프트 스위칭

그림 1은 인덕터 轉流를 이용한 소프트 스위칭을 설명하기 위한 기본회로도이다. 이 그림에서 L_s 는 轉流 인덕터를 나타낸다. MOSFET 스위치 Q1 및 Q2는 역병렬 다이오드와 기생용량이 병렬로 연결되는 형태로 되어있다

이 회로에 있어서 소프트 스위칭의 특징을 설명할 수 있는 각부의 전압 및 전류의 파형을 그림 2에 나타내었다. 이 그림에서 $t_0 \sim t_1$ 및 $t_2 \sim t_3$ 의 구간은 양 스위치 모두 차단되는 dead time 구간을 나타내며 (b)는 스위치의 도통이 Q2에서 Q1으로 이전되는 구간, 즉 $t_0 \sim t_1$ 의 구간을 확대한 그림을 나타낸다. 회로동작을 설명하면

우선 t_0 에서 Q2가 급속히 턴 오프했을 때 Q2양단의 전압은 기생용량 C2로 인해 급히 변하지 못하므로 영전압 턴 오프가 되어 손실이 0이 된다.

다음 이 시점에서 L_s 의 전류에서 부하전류 I_o 를 제한 나머지 전류가 x점 방향으로 흐르면서 C2를 충전하고 C1은 방전하게 된다. 따라서 Q2의 양단의 전압은 완만하게 상승하며 t_1 시점에서 V_i 에 달하게 되고 Q1의 양단의 전압은 0에 이르게 된다. 이후에도 여분의 전류는 Q1의 역병렬 다이오드 D1을 통하여 전원쪽으로 회생되므로 이 시점에서 Q1을 턴온시키면 영전압 턴온이되어 손실이 0이 된다.

다음 $t_2 \sim t_3$ 의 구간, 즉 스위치의 도통이 Q1에서 Q2로 이전되는 구간에서의 동작은 스위치 Q1을 턴오프하면 x점에서 부하쪽으로 L_s 의 전류와 부하전류 I_o 를 합한 크기의 전류가 흐르면서 커패시터 C1은 충전되어 t_3 의 시점에서 V_i 에 달하고, C2는 방전되어 0에 이르면서 영전압 스위칭 동작을 하게 된다. 이상과 같이 유도성 전류에 의하여 스위치의 기생용량이 완만하게 충전방전하여 전압이 반전되고 영전압 스위칭이 이루어짐으로써 스위칭 손실을 0에 가까운 값으로 저감시킬 수 있는 스위칭 방식을 소프트 스위칭이라고 한다.

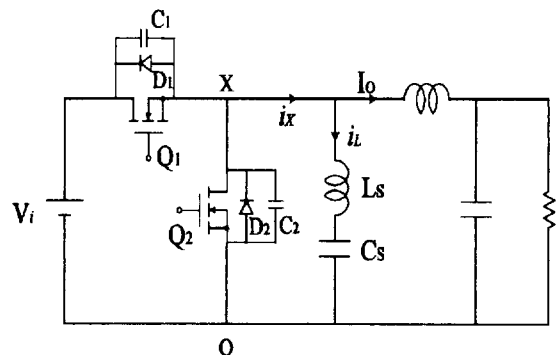
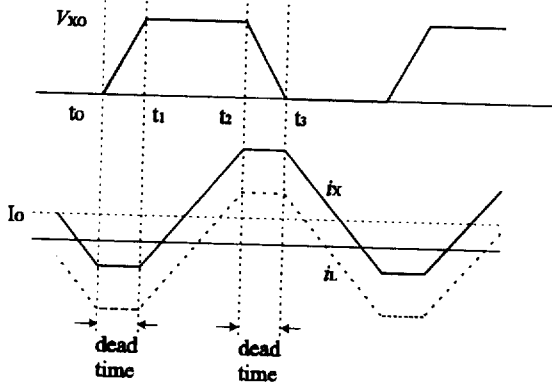
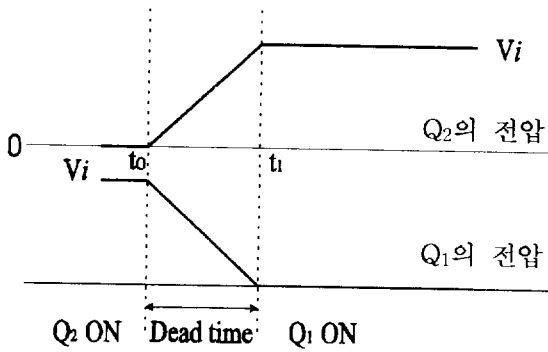


그림 1. 인덕터 轉流에 의한 소프트 스위칭 컨버터



(a) 각부의 전압 및 전류 파형



(b) 각 스위치 양단의 전압파형($t_0 \sim t_1$)

그림 2. 각부의 파형

3. 인덕터 轉流 소프트 스위칭에 의한 비접촉 충전

그림 3은 비접촉 충전의 대표적인 예인 전기자동차용 비접촉 충전장치의 블록도를 나타낸다. 장치는 라인필터, 1차측 정류기, 인버터, 탈착트랜스포머, 2차측 정류기로 구성되어 있다. 비접촉 충전은 접촉방식의 충전과 비교했을 때 인버터와 탈착트랜스포머가 더 추가되어 나타난다. 따라서 이 부분이 효율 및 코스트의 면에서 불리하지 않게끔 하기 위해서 구조가 간단하면서 고효율의 특징을 갖고 있는 인덕터 轉流 소프트 스위칭 인버터를 채용하는 것으로 한다.

그림 4는 탈착 트랜스포머를 포함하는 인덕터 轉流 소프트 스위칭 인덕터회로를 나타낸다. 이 회로에서 MOSFET 스위치 Q1 및 Q2의 기생용량 C1 및 C2의 충전전은 인덕터 轉流에 의하여 이루어진다. 이때 轉流용 인덕턴스는 탈착 트랜스포머의 air gap에 의한 인덕턴스로 대치된다.

그림 5는 스위치 Q2가 턴 오프되는 시점에서의 회로상태를 나타낸다. Q2가 턴 오프되면 트랜스포머에서 부터 x점으로 유도성 전류가 흐르게 된다. 이 전류에 의하여 Q2의

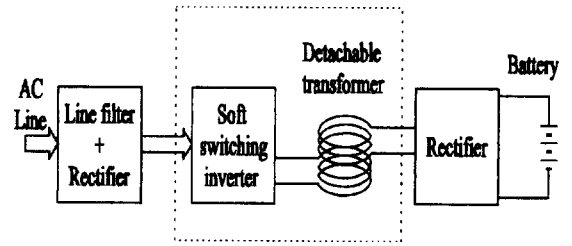


그림 3. 전기자동차용 비접촉 충전장치 블록도

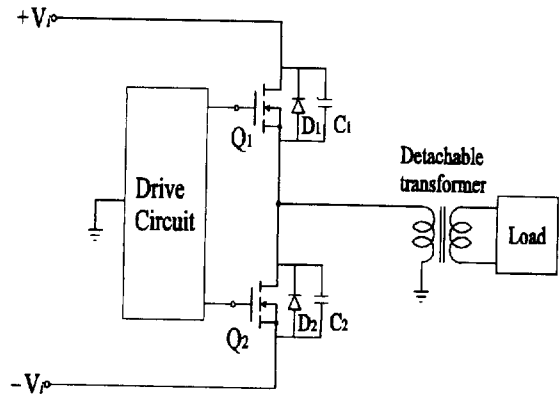


그림 4. 탈착트랜스포머를 포함한 소프트 스위칭 인버터회로

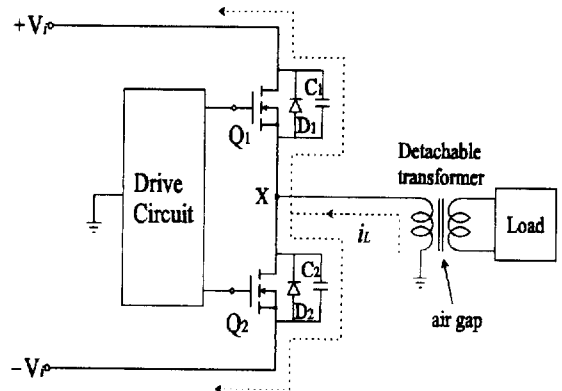


그림 5. 소프트 스위칭 동작

기생용량 C2는 충전되고, Q1의 기생용량 C1은 방전되어 x점의 전압은 반전하게 된다. 그리고 이후 여분의 전류가 Q1의 역병렬 다이오드 D1을 통하여 흘러 전원으로 회생되므로 이때 Q1을 턴 온 시키면 영전압 턴온이 가능하게 된다. Q1에서 Q2으로의 轉流도 동일한 방법으로 이루어지게 되어 소프트 스위칭에 의한 인버터 동작이 가능해진다.

4. 탈착트랜스포머 및 최대전달전력

탈착트랜스포머의 air gap은 소프트 스위칭을 위한 유도성 전류를 공급할 수 있다는 점에서는 매우 유리한 면에서 작용하지만 누설자속의 증가에 의한 전력전달특성의 저하가 문제로 남게된다.

그림 6은 탈착트랜스포머의 등가회로를 나타낸다. 이 그림에서 L_m 은 자화 인덕턴스, L_1 및 L_2 는 누설인덕턴스를 나타낸다. 그림 6(a)의 회로에서 테브난의 법칙에 의해 트랜스포머를 등가 인덕턴스 L_{eq} 로 나타내면 그림 6(b)와 같이 된다. 이 L_{eq} 에 의하여 2차측 전압은 1차측전압보다 저하하고 위상지연이 생긴다. 이 회로의 동작은 트랜스포머의 1차측 및 2차측 전류·전압의 방향에 따라 4개의 모드로 구분할 수 있으며 이 모드 해석으로 부터 출력전압 V_o , 출력전류 I_o , 출력전력 P_o 와의 관계식을 다음과 같이 구할수 있다.

$$V_o = \sqrt{V_i^2 - 8f L_{eq} V_i I_o} \quad (1)$$

$$P_o = V_o \cdot I_o \quad (2)$$

이 식으로부터 출력전압 및 출력전력은 L_{eq} 에 크게 의존하고 있음을 알 수 있다. 또한 L_{eq} 는 거의 누설 인덕턴스에

의해 결정되므로 코어의 형상, 재질, 권선방법에 따라 L_{eq} 의 값이 달라질 것이다. 여기서는 탈착트랜스포머에 가장 적합한 Pot코어를 택하여 실험하는 것으로 하였다.

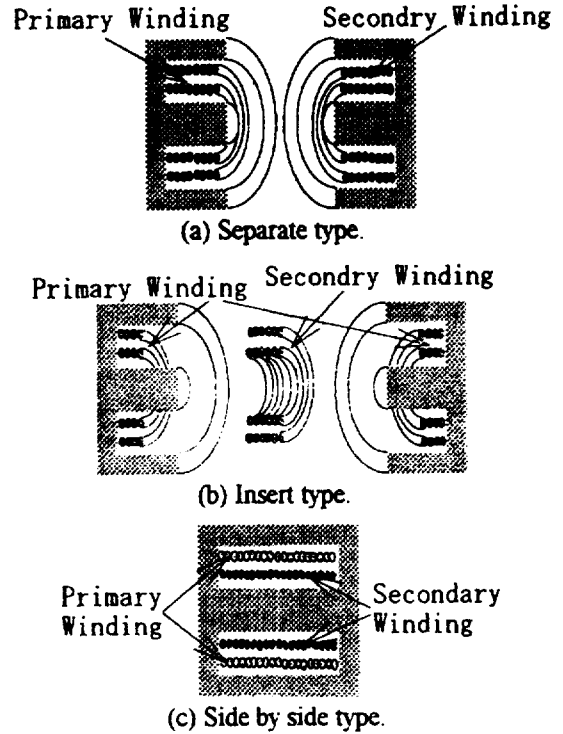
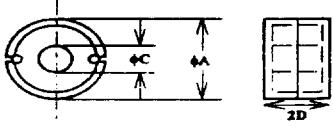
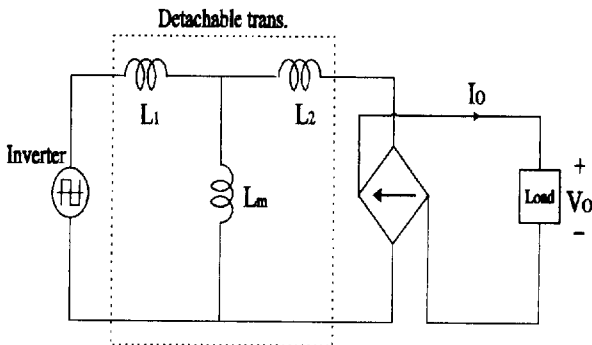


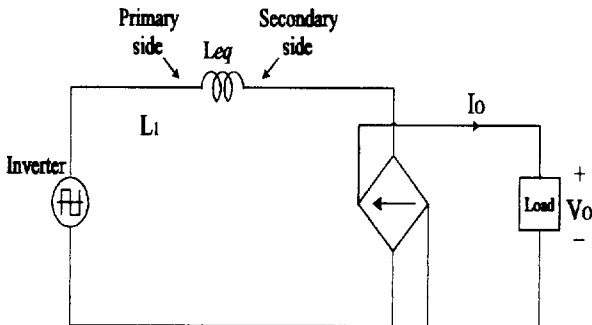
그림 7. 탈착트랜스포머의 권선 방법

표 1. 탈착트랜스포머의 코어특성 및 인덕턴스 측정결과

| | |
|--------------------------------------------------------------------------------------|--------------|
| Ferrite core PC40P56/36(T아) | A : 59.3 mm |
|  | C : 25.5 mm |
| | 2D : 35.6 mm |
| μ_{iac} | 2300 ± 25% |
| Bms | G 5100 |
| Hcms | Oe 0.18 |
| N_p : 32 Turns , N_s : 32 Turns | |
| | (a) (b) (c) |
| Magnetizing inductance(mH) | 3 3 3 |
| Leakage inductance (μH) | 32 17 13.7 |



(a) 탈착트랜스포머의 등가회로



(b) 테브난 등가회로

그림 6. 비접촉 충전장치의 개략도

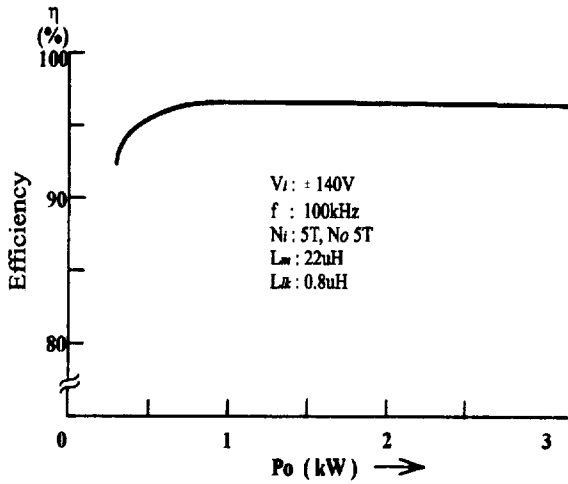


그림 8. 출력전력에 대한 효율

그림 7은 3가지 권선방법의 예를 나타내고 있으며 각 방법에 대한 자화인덕터스와 누설인덕터스를 측정하였다. 그림 7에서 (a)는 코어와 권선 양쪽모두 분리한 경우, (b)는 2차측권선을 양쪽의 1차측 권선내로 삽입하는 경우, (c)는 1차권선과 2차권선이 평행으로 삽입되는 경우를 나타낸다. 측정결과 (c)의 경우가 최소의 누설인덕터스값을 갖고있음을 알았으며 각각의 경우의 결과를 표 1에 정리하여 나타내었다. 그리고 TDK PC40P56/36의 페라이트 코어를 사용한 경우 부하특성을 실험하였으며 그림 8에 그 결과를 나타내었다. 이 결과로부터 3kw의 비접촉 충전 회로의 경우 약 95%의 고효율을 얻을 수 있었다.

5. 결 론

지금까지 인덕터 전류 소프트 스위칭 방식에 의한 비접촉 충전에 대하여 소개를 하였다. 특히 인버터의 부분은 구성이 간단하며 고효율의 특징을 갖는 소프트 스위칭 방식의 인버터가 적합함을 알았고 전력전달특성은 탈착트랜스포머의 누설인덕터스에 크게 의존하며 권선의 방법을 잘 선택하면 누설인덕터스가 최소의 탈착트랜스포머를 구성할 수 있음을 알았다.

[1] K. Harada, H. Sakamoto, "PWM Inverter controlled by a small saturable core", IEEE Trans. on MAG vol. MAG-23, NO5 pp.2276 - 2278 Sept.1987

[2] C. P. Henze, H. C. Martin, D. W. Paraley, "Zero-voltage-switching in high frequency power", APEC'88 Proceedings, pp.33-40, 1988

[3] K. Harada, H. Sakamoto, "Non-resonant Converter for Megahertz switching", PESC'89 Record, pp. 889-894, June 1989

저 자 소 개



김희준(金熙峻)

1954년 11월 16일생. 1976년 한양대 공대 전자공학과 졸업. 1978년 한양대 대학원 전자공학과 졸업(석사). 1986년 일본 큐슈 대학 대학원 전자공학과 졸업(공학박). 1991년~1992년 미국 Virginia 공대 방문교수.

현재 한양대 공대 전기공학과 부교수.