제어용 전원으로 사용 가능한 공진형 컨버터 시스템

임영하, 지준근
순천향대학교, 정보기술공학부

Resonant Converter System for Control Power Supply

Young-Ha Lim, Jun-Keun Ji
Division of Information Technology Engineering, Soonchunhyang University

Abstract - 본 논문에서는 제어용 전원으로 사용할 수 있는 주파수 제어 직렬 공진형 컨버터의 동작 원리 및 특성을 살펴보고 실제의 제어용 전원을 설계 및 제작하려고 한다. 고성능의 SMPS 제작을 위한 공진형 컨버터 회로를 구성하고 실제 시스템 제작에 앞서 먼저 시뮬레이션을 통한 시스템의 분석을 하였다. 시뮬레이션 프로그램은 ACSL(Advanced Continuous Simulation Language)을 사용하였다.

1. 서 론

전력변환 시스템에서의 제어 전원은 다음과 같은 특성을 필요로 한다. 첫째로, 출력 전압이 입력 전압과 부하의 변동에 대해서 일정하여야 한다. 둘째로, 출력이 입력과 전기적으로 절연이 되어야한다. 셋째로, 출력전압과 소비전류가 다르고 서로간에 절연된 많은 출력이 필요하다. 넷째로, 신뢰성이 있어야 하고 소형이며 고효율이어야 한다.

현재 여러 가지의 전원 장치가 있는데, 먼저는 60Hz 전원을 정류하여 쵸핑(chopping) 방식으로 출력 전압을 얻는 선형 전원 장치가 있다 이 방식은 1,2차간의 절연을 위하여 60Hz 변압기가 필요하므로 부피가 크며 무겁고 효율도 30%-60%로 낮다. 대부분의 전력 변환에는 직류 링크 전압이 있으므로 이것을 이용한 플라이백(Flyback) 방식의 SMPS(Switch Mode Power Supply)가 많이 이용되고 있는데, 입력 전압의 변동에 대해서 제어가 잘되는 장점이 있으나 50W이하의 소형 전원 회로에 적합하다. 또한 대규모 GTO 인버터등에서 직류 링크 전압 또는 입력 교류를 정류한 직류 전압을 고주파 구형파로 발진시킨뒤 이를 고주파 변압기로 절연한 후 정전압 소자로 전압을 제어하는 방식이 있으나 구형파로 인한 EMI문제가 있으며 각각의 전압을 제어하기 위하여 정전압 회로가 필요하다.

컨버터의 스위치로 사용되는 BJT, MOSFET, SCR, GTO, DIODE 등의 반도체 소자는 이상적이지 않으므로 온·오프될 때 전력 손실이 발생한다. 주파수가 높아질수록 턴온 시간과 턴오프 시간이 증가하게 되는데 이에 비례하여 스위칭 손실도 증가한다. 전원 장치의 소형, 경량화를 위해서 컨버터의 스위치는 고주파로 스위칭 되어야 하며 이는 스위칭 손실을 증가시키는 주요 원인으로 작용한다.

그림 1은 구성될 전원 장치의 전체 구성도이다. 본 전원 장치는 위에서 설명한 다른 장치에 비해 많은 장점을 갖는다. 주 회로를 POSR(Parallel Output Series Resonant)로 채택하였기 때문에 부하변동에 둔감하며 스위칭 손실이 적고 고주파 운전이 가능하기 때문에 여러 가지 유도성 소자(인덕터, 변압기 등)의 크기를 최소화시킬 수가 있다. 예를 들어 2차측 변압기는 20W전원을 공급하기 위하여 EI코어(core)를 사용했을 경우 단면적이 25㎟으로 상당히 작다. 출력 전압이 거의 정현파에 가까우므로 위에서 언급되었던 EMI 문제가 없고 그림에서 보듯이 1차와 2차간의 절연이 용이하므로 IGBT, GTO, MOSFET의 고속 스위칭에서 문제가 되는 커플링(Coupling) 커패시터를 대폭 줄일 수가 있다. 또한 스위칭 주파수를 조절함으로써 광범위한 입력 전압에 대해 전압제어가 가능하다.

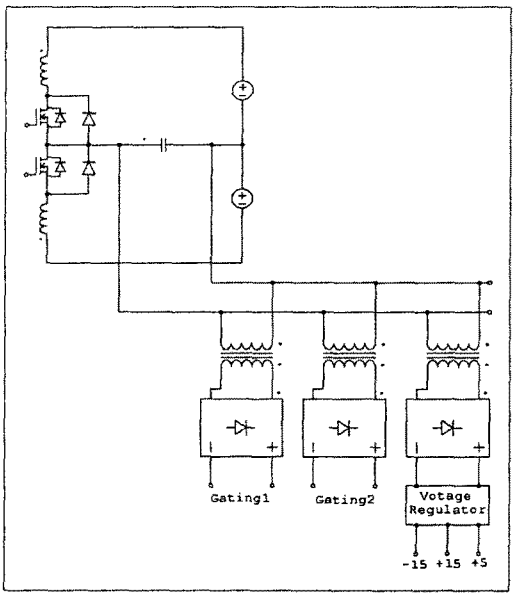

그림 1 제안된 전원 장치의 전체 구성도

2. 본 론

그림 2에 회로 구성도를 표시하였다. 모든 소자는 이상적이고 스위치에 들어가는 게이팅 파형은 듀티(duty) 50%이고 스위칭 주파수는 공진 주파수의 반으로 가정한다.

Q1 또는 D1 도통시 등가회로는 그림 3과 같이 나타낼 수가 있고, Q2 또는 D2 도통시에는 그림 4와같이 나타낼 수 있다. 각각의 등가회로에서 i1, i2, Vc가 결정된다. 이때의 전압방정식을 세워 보면 다음과 같다.

$$-V_c + \frac{V_{dc}}{2} = L\frac{di_1}{dt}$$

$$V_c + \frac{V_{dc}}{2} = L\frac{di_2}{dt}$$

$$i_1 + i_2 = C\frac{dV_c}{dt}$$

동작파형은 그림 5에 나타내었다.

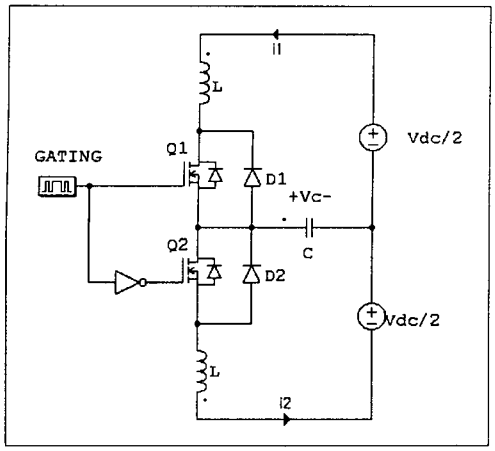

그림 2 반파 PRC의 회로 구성도

무부하시 동작 모드는 3가지로 나눌 수 있으며 그 동작을 설명하면 다음과 같다.

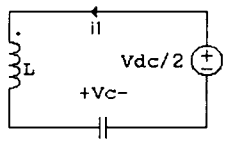

그림 3 Q1또는D1 ON

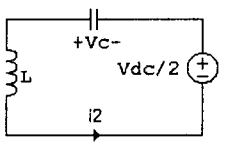

그림 4 Q2또는D2 ON

〔구간 1: t0-t1〕
스위치 Q1이 켜지면 스위치 Q2는 꺼져 있는 상태가 되므로 등가회로는 그림3처럼 표현된다. 스위치 Q1을 통하여 흐르는 전류 i1은 LC 직렬공진에 의해 정현파가 되고 그 값은 양이므로 Vc는 계속 증가하여 직류 링크 전압 (Vdc/2) 만큼 된다.

〔구간 2: t1-t2〕
스위치 Q1으로 흐르던 전류 i1은 공진에 의해 방향이 바뀌어 Q1에 병렬로 붙어있는 다이오드 D1을 통해 흐르게 된다. 전류 i1의 크기는 음이므로 Vc는 감소하여 영이 된다. 구간 1, 2에서의 현상을 식으로 정리하면 아래와 같다.

$$V_c(t_0) = 0, \quad i_1(t_0) = 0, \quad i_2(t_0) = 0$$

$$V_c = \frac{V_{dc}}{2}(1-\cos(w_r(t-t_0))$$

$$i_1(t) = \frac{V_c(t)}{2Z}\sin(w_r(t-t_0))$$

$$i_2(t) = 0$$

$$w_r = \frac{1}{\sqrt{LC}}, \quad Z = \sqrt{\frac{L}{C}}$$

〔구간 3: t2-t3〕
스위치 Q2가 켜지고 스위치 Q1이 꺼져서 i1이 흐를 수 없으므로 전류는 영이 되고 다시 Q1이 켜질 때까지 영전류 기간이 지속된다. 이 기간 동안에는 스위치 Q2가 켜진 상태이므로 등가회로는 그림 4와 같이 되고 구간 1, 2와 같은 동작을 수행하게 된다. 구간 3에서의 현상을 식으로 정리하면 아래와 같다.

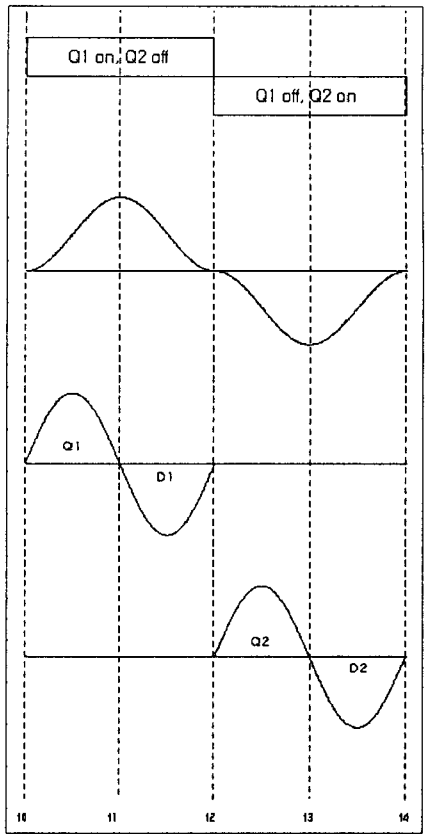

그림 5 출력파형

$$V_c(t) = -\frac{V_{dc}}{2}(1-\cos(w_r(t-t_2))$$

$$i_1(t) = 0$$

$$i_2(t) = \frac{V_c(t)}{2Z}\sin(w_r(t-t_2))$$

$$w_r = \frac{1}{\sqrt{LC}}, \quad Z = \sqrt{\frac{L}{C}}$$

위에서 알아본 바와 같이 Q1, Q2는 모두 영전류에서 스위칭을 하기 때문에 스위칭 손실이 적다. 스위칭 주파수가 공진 주파수의 반보다 커지면 i1 과 i2가 동시에 흐르는 구간이 생기게 되는데 Vc의 파형도 정현파에 더 가깝게 된다.

3. 시뮬레이션 결과 및 검토

공진주파수	: 40㎑
C	: 0.0385uF
L	: 411uH
출력 전력	: 200 W
입력 전압 변동(Vdc)	: 240V - 380V
출력 전원 전압(Vc)	: 230V 실효치
출력 전원 주파수 변동(fs)	: 20㎑ - 40㎑

표 1 시뮬레이션 조건

실제 시스템을 제작하기 전에 회로동작의 검증과 특성을 알아보기 위하여 ACSL (Advanced Continuous Simulation Language)프로그램을 사용하여 시스템의

출력을 확인하였으며, 사용한 시뮬레이션 조건과 결과 파형은 다음과 같다.

그림 6의 파형은 직류 링크 전압(Vdc)이 380V, 스위칭 주파수(fs)가 20㎑일때의 정상상태의 회로 동작을 표시하였다.

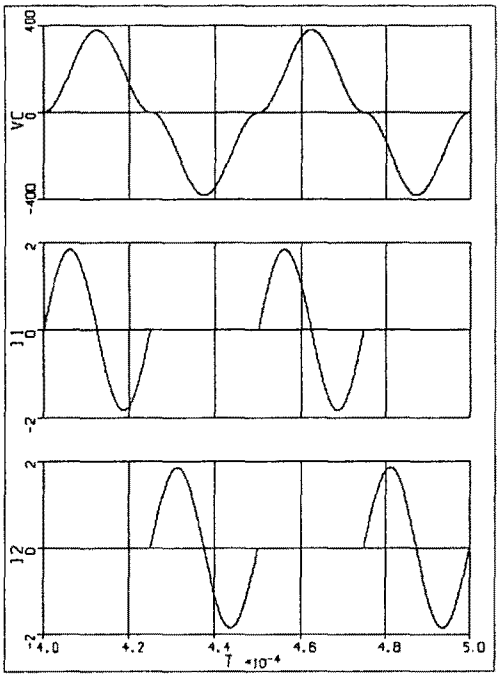

그림 6 정상 상태 동작 파형

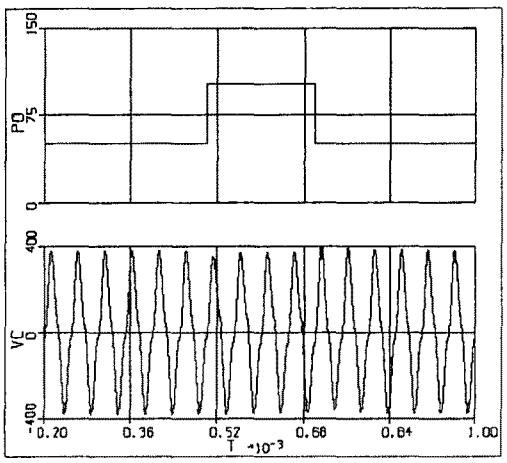

그림 7 부하변동시 출력전압 (Vc)의 파형

그림 7에서는 출력전압(Vc)의 제어를 하지 않은 상태에서 부하가 50W에서 100W로, 다시 100W에서 50W로 변화하였을 때의 Vc의 파형이다. POSR(Parallel Output Series Resonant)의 회로가 부하변동에 둔감함을 보여주고 있다.

그림 8에서는 직류 링크 입력 전압이 380V에서 240V로 변화할 때의 파형이다. 그림 8(b)에서는 출력전압(Vc)의 제어를 하지 않은 상태이므로 Vc의 전압은 직류 링크 전압이 내려감에 따라 감소하고 있다. 그림 8(c)에서 보듯이 이를 보상하기 위해서는 직류 링크 전압(Vdc)이 내려감에 따라 스위칭 주파수를 높이므로써 최대치는 다르더라도 전구간에서 실효치는 같게 얻을 수 있다.

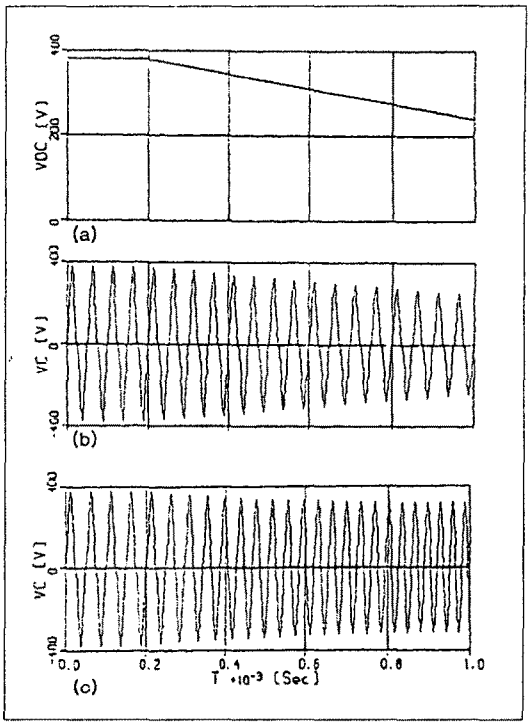

그림 8 직류 링크 전압 변동시 Vc의 파형

4. 결 론

제안된 주파수 제어 직렬 공진형 컨버터는 기본적으로 POSR이므로 부하 변동이나 입력 전압변동에 강인한 특성을 보인다. 입력전압이 변동할 경우나 부하가 변동할 경우 출력전압이 약 1% 정도 변화하므로 225V 출력을 강압하여 다이오드 정류하여 쓸 경우 출력전압은 거의 변화하지 않는다.

참 고 문 헌

[1] 김희중, "스위치모드파워서플라이", 성안당, p157-213, 1999

[2] 노의철외 3명, "전력전자공학", 문운당, p271-308, 2002

[3] Young-Goo Kang, Anand K.Upadhyay,"Analysis and Design of a Half-Bridge Parallel Resonant Convetter", IEEE PESC Rec., 1987, pp.231-243

[4] N. Mapham,"An SCR Inverter with Good Regulation and Sine-wave Output", IEEE Trans. Ind. Gen. Appl., vol. IGA-3, Mar./Apr. 1967, pp.176-187

[5] V. T. Ranganathan, P. D. Ziogas, and V. R. stefanovic,"A regulated dc-dc voltage source converter using a high frequency link", IEEE Trans. Ind. Appl. Ia-18, no.3, May/June 1982, pp.279-287

[6] Ned Mohan, Tore M. Undeland, William P. Robbins, "Power Electronics : Conveters, Applications and Design", 1989, pp.154-174

[7] John G. Kassankian, Martin F. Schlecht, Geoge C. Verghese, "Principles of Power Electronics", 1991, pp.197-230