

## 절연형 DC-DC 컨버터의 설계 자동화에 관한 연구

김주일 김종태  
성균관대학교 전기공학과

### A study on the design automation for isolated DC-DC converters

Kim, Ju Il Kim, Jong Tae

Suna Kvon Kwan Univ. Dept. of Electrical Engineering

#### Abstract

This paper presents the design automation for isolated DC-DC converters. Isolated DC-DC converts have many advantages such as protection, wide range variation, and multiple output. Procedures consist of several steps. There are the selection of converter topology, the selection of switching devices, the calculation for the value of inductances and capacitances, and the design of transformers. We verified it with many practical examples from databooks.

#### 1. 서론

SMPS(switched mode power supply)는 입력측과 출력측 사이에 저항성분을 삽입하고 그 값을 조정하여 출력전압을 일정하게 유지시킴으로써 효율을 저하시키는 종래의 전원장치와는 달리 전기적인 스위치를 이용하여 스위치의 턴온/ 턴오프 시간을 조절하여 출력전압을 일정하게 유지시키는 방법으로 기존의 방법보다 효율이 높고 소형, 경량화라는 장점을 가진 전원공급장치이다. SMPS는 DC에서 DC로의 변환을 기본으로 하므로 DC-DC 컨버터라고도 한다.[1] 현재까지는 단순히 설계자가 회로를 설계하고 결과를 검증하는 단계에서 주로 컴퓨터 시뮬레이션 프로그램이 사용되었으나, 설계사양으로부터 적절한 토폴로지와 반도체 소자 및 인덕턴스, 캐패시턴스의 값을 자동으로 결정하여 그에 따른 설계결과를 제시하여 줌으로써 초보자도 설계가 가능하게 하고, 비용절감과 경쟁력 강화를 위해 요구되는 설계기간 단축, 용이한 설계변경, 오류가 없는 정확한 설계에 도움이 될 것이다.

#### 2. 절연형 DC-DC 컨버터

DC-DC 컨버터는 변압기를 이용한 절연이 되는지의 여부에 따라 비절연형과 절연형 컨버터로 구분할수 있다. 절연형 DC-DC 컨버터는 변압기를 이용하여 입력과 출력측을 분리함으로써 회로를 보호하고, 다출력확장이 용이하고, 승압 및 강압이 쉽다는 장점이 있다. 절연형 DC-DC 컨버터는 Flyback, Forward, Push-Pull, Half bridge, Full bridge의 5가지의 기본적인 토폴로지를 가지고 있다. 각각의 토폴로지를 구성하는 기본적인 요소로는 고속 스위칭 소자로 사용할수 있는 Mosfet, 입력과 출력의 절연 및 승강압을 위한 변압기, 정류회로를 위한 Diode, 평활회로를 위한 Inductor와 Capacitor가 있다.

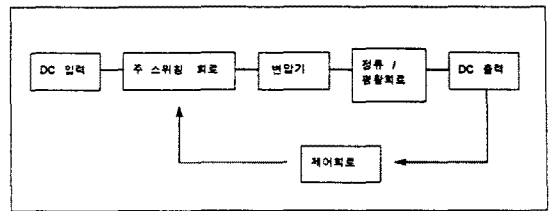


그림 1. 절연형 DC-DC 컨버터의 구성도

#### 3. 설계자동화

설계자동화의 과정은 여러 단계로 나눌수 있다. 먼저, 설계자가 입력한 회로의 설계사양으로부터 절연형 컨버터 토폴로지와 전압 및 전류용량이 적절한 Mosfet과 Diode를 선택하였다. 다음으로, 인덕턴스와 캐패시턴스는 Forward, Half bridge, Full bridge에서는 항상 연속모드로 동작하게 하고, Flyback에서는 항상 불연속모드로 동작하게 하는 값으로 결정하였다. 마지막으로, 설계자가 임

력한 코어의 설계사양으로부터 변압기의 1차측과 2차측의 인덕턴스 값을 계산하여 각각의 회로의 구성요소들을 결정하였다. 결정된 구성요소들로부터 SPICE의 입력파일을 만든 뒤 SPICE로 시뮬레이션을 수행하여 결과파형을 보여주는 형태로 자동화를 시도하였다. 제어회로는 널리 쓰이는 펄스폭 변조방식이라고 가정하였다.

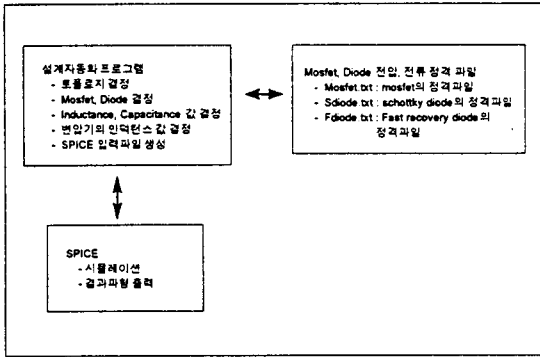


그림 2. 설계자동화 프로그램

### 3.1 절연형 DC-DC 컨버터의 토폴로지 선택

토폴로지의 선택은 부하에 전달되는 전력의 크기, 적절한 반도체 소자의 존재 유무, 가격에 의해 결정된다. Flyback, Forward는 주로 소전력용으로 사용되고, Push-pull, Half bridge는 중전력용으로, Full bridge는 대전력용으로 사용된다. Flyback은 효율이 가장 좋고 가격이 가장 저렴하나 전류의 리플이 크다는 단점을 가지고 있고, Forward는 자기포화 현상을 막기 위해 reset회로가 부가적으로 필요하다는 단점이 있으며, Push pull은 Core imbalance라는 치명적인 문제점을 가지고 있다. Full bridge는 스위칭 소자가 4개가 필요하므로 고가격이라는 단점이 있다.[3][4]

설계하고자 하는 SMPS의 설계기준을 사용자로부터 입력받아 적절 토폴로지를 선택하는 알고리즘을 구현하였다. 실제 구현한 알고리즘에서는 Flyback, Forward, Half bridge, Full bridge의 네가지의 토폴로지를 대상으로 하였다. 먼저, 입력받은 설계기준으로부터 출력전력을 계산하여 적절한 토폴로지를 임시로 결정하였으며, 이들로부터 필요한 소자의 전압, 전류용량을 계산하고 소자들의 용량이 들어있는 데이터 파일로부터 적절한 소자를 결정하게 하였다. 적절한 소자가 없을 경우에는 다른 토폴로지에 대해서 같은 동작을 반복수행하게 하였다. 부하전력이 중복되는 구간은 효율이 높고 가격이 낮은 것을 먼저 고려하게 함으로써 효율과 가격도 고려할 수 있게 하였다.

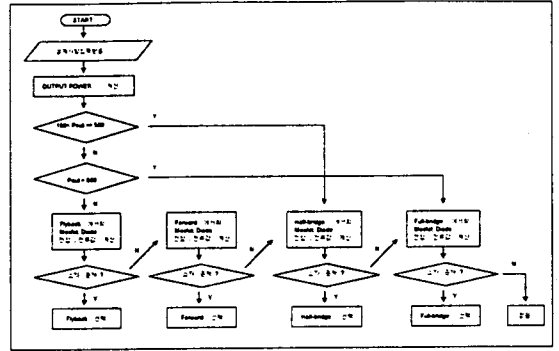


그림 3. 토폴로지 선택 알고리즘

### 3.2 반도체 소자의 선택

각각의 토폴로지마다 반도체 소자에 걸리는 전압과 전류가 다르므로 각각의 토폴로지에 알맞은 Mosfet과 Diode를 선택하여야 한다. 실제적인 회로에서는 변압기의 누설인덕턴스로 인한 전압 스파이크를 고려하기 위해 계산된 Mosfet의 전압용량 값에 약 1.5배의 여유를 두어서 선택하게 하였다. Diode의 선택시 역회복 특성이 좋은 schottky diode를 먼저 고려하였으며, 역방향 전압이 큰 경우에는 fast recovery diode를 선택하게 하였다.

### 3.3 인덕턴스와 캐패시턴스의 값 결정

절연형 컨버터의 다른 토폴로지와는 달리 Flyback 컨버터는 변압기에 축적된 에너지가 완전히 부하측으로 방출되어야 하므로 불연속 모드로 동작할 때 안정하게 동작한다.[3] 실제의 값을 결정할 때 Forward, Half bridge, Full bridge는 어떠한 시비율에도 연속모드로 동작하게 인덕턴스와 캐패시턴스의 값을 결정하였으며, 마찬가지로 Flyback에서는 어떠한 시비율에도 불연속모드로 동작하게 결정하였다.

### 3.4 변압기의 설계

DC-DC 컨버터에서는 주스위칭 회로부와 구동 회로에 각각 변압기가 필요하다. 다음은 변압기의 1차측의 턴수를 계산하는 수식이다.

$$N_p = \frac{V_p}{4 \times B_m \times A_c \times f}$$

여기에서  $V_p$ 는 변압기의 1차측에 걸리는 전압이고,  $B_m$ 은 변압기가 동작하는 최대 자속밀도를 나타내며,  $A_c$ 는 코어의 실효 단면적을 나타낸다.  $B_m$ 은 선택된 코어의 100°C에서의 포화자속밀도의 0.5배로 한다.[4] 여기서 계산된 1차측의 턴수를 가지고 0.4의 시비율과 각각의 토폴로지에 맞는 입력출력전압의 관계식으로부터 2차측의 턴수를 계산하

고 1회의 권선당 인덕턴스의 양으로부터 변압기의 1차측과 2차측의 인덕턴스값을 계산하였다.

### 3.5 프로그램 작성

C 언어를 이용하여 프로그램을 구현함으로써 단일출력단 절연형 DC-DC 컨버터의 설계를 자동화하였다. 프로그램 구현시 반도체 소자의 전압강하 및 인덕터와 캐패시터의 등가직렬 저항의 효과를 고려하지 않았다. [2] 변압기의 설계시 결합계수를 이상적인 1로 하였고, 턴수도 실수값으로 처리하였으며, 손실도 고려하지 않았다. 또한, 스누버 회로 등의 보호회로도 고려하지 않았다.

### 4. 시뮬레이션 결과

구현된 프로그램을 화인전자의 SMPS 데이터북에 적용시켜 보았다. 데이터북에 있는 환경과 같게 만들기 위해 스위칭 주파수를 flyback과 forward는 125Khz로 하였고, half bridge는 60Khz로 하였다. 입력전압은 100V로 고정시켰으며, 출력전압 리플은 출력전압의 1%로 하였다. 또한, 초기 시비율은 0.4로 고정시켰다. 시뮬레이션 결과는 아래의 표와 같다. databook에 나와있는 토폴로지와 프로그램에서 자동선택된 토폴로지를 명시하고 있으며, 각각의 SPICE 시뮬레이션시 출력전압을 나타내고 있다.

표에서 나타난 바와 같이 프로그램에서 구한 토폴로지는 databook에 있는 토폴로지와 10개 중 8개가 일치하였다. 2개의 예에서는 다른 토폴로지를 선택하고 있으나, 효율과 가격이 더 나은 토폴로지를 선택하고 있으며, 출력전압은 오히려 설계사양에 더욱 근접한 값을 얻을수 있었다.

### 5. 결 론

절연형 DC-DC 컨버터의 설계를 자동화함으로써 설계기간 단축, 용이한 설계변경, 오류가 없는 정확한 설계가 가능하도록 하였다. 다중출력단 컨버터와 제어회로에 대한 설계자동화도 추가로 구현되고 있으며, 또한 실제적인 회로의 동작과 같은 환경이 될 수 있도록 실제적인 요소들을 고려하는 연구가 진행되고 있다.

### [참 고 문 헌]

- [1] 각영기, 사공석진 공저, "S.M.P.S. 이론 및 응용", 경문사, 1984
- [2] 김현준, "스위치모드 파워서플라이", 성안당, 1993
- [3] Marty Brown, "Practical Switching Power Supply Design", Motorola, 1990.
- [4] Marty Brown, "Power Supply Cookbook", Motorola, 1994.

설계사양	출력전력	databook의 토폴로지와 출력전압	자동선택된 토폴로지와 출력전압
Vout=5V Iout=10A	50W	flyback 4.52V	flyback 4.52V
Vout=12V Iout=4.2A	50.4W	flyback 11.1V	flyback 11.1V
Vout=24V Iout=2.5A	60W	flyback 22.8V	flyback 22.8V
Vout=5V Iout=15A	75W	forward 4.37V	forward 4.37V
Vout=12V Iout=6.5A	78W	forward 11V	flyback 11.4V
Vout=24V Iout=3.5A	84W	forward 22.4V	flyback 22.8V
Vout=48V Iout=1.6A	76.8W	forward 45.9V	forward 45.9V
Vout=5V Iout=60A	300W	half bridge 4.2V	half bridge 4.2V
Vout=12V Iout=25A	300W	half bridge 11.1V	half bridge 11.1V
Vout=48V Iout=6.5A	312W	half bridge 45.2V	half bridge 45.2V

표 1. 시뮬레이션 결과