

통신장비 시험용 Switching Power Supply 개발에 관한 연구

배진용* . 김용* . 권순도** . 한경태* . 이동현*
*동국대학교 . **대림대학

A Study on the Development of Switching Power Supply for testing communication equipment

Jin-Yong Bae* . Yong Kim* . Soon-Do Kwon** . Kyung-Tae Han* . Dong-Hyun Lee*
*Dongguk University . **Daelim College

Abstract - This paper presents the Development of Switching Power Supply for testing communication equipment. The communication equipment need many kinds of voltage(-48V, 27V, 12V, 5V, 3.3V) . and in case of low voltage needs large current(10~20A). The previous Linear Power Supply was very heavy, has low efficiency and poor power-factor for testing communication equipment. This development has good efficiency and high power-factor using switch mode power supply technique. This Development of Switching Power Supply is composed of eight converters. The principles of operation, feature, and design considerations are illustrated and verified through the experiment with 600W prototype.

1. 서 론

통신용 장비의 유지 및 보수 관리에 있어서 우선적으로 필요로 되는 것은 장비에 적합한 전원의 공급이라 할 수 있으며, 장비에 따라 필요로 하는 전원의 종류는 -48V, 27V, 12V, 5V, 3.3V 등과 같이 다양한 형태를 띠게 된다.[1-2] 특히 3.3V나 5V를 필요로 하는 경우 10A에서 20A에 이르는 전류를 필요로 하는 경우도 있으며, 이 경우 기존의 Linear Power Supply를 사용하는 경우 트랜스의 크기가 거대하게 되며, 또한 중량도 무시 할 수 없는 정도가 될 뿐 아니라 안정도에 있어서 뒤지게 되어 유지 및 관리, 보수를 담당하는 엔지니어에게는 Power Supply의 이동이나 조작 또는 시험 결과 등에 대한 신뢰라는 측면에서 적지 않은 어려움을 주게 된다. 따라서 본 연구에서는 반도체 소자의 스위칭 프로세서를 이용하여 전력을 제어하는 Switch Mode Power Supply 기술 및 토클로지를 토대로, 최근 활발하게 연구되는 소프트 스위칭 기술과 역률개선 기술(PFC)을 실제 시스템에 응용하여 고효율, 고역률, 고밀도의 통신장비 시험용 전원을 개발하였다.

본 논문에서 제안하는 통신장비 시험용 전원은 출력 27~48V 1 Channel과 3.3~5V 4 Channel로 구성되며, 최대 600W의 용량의 가변전압 다중출력 컨버터를 설계·제작 및 시험하고, 그 결과를 나타내었다.

2. 본 론

2.1 전체 시스템 구성

그림 1은 전체 시스템 구성을 나타낸다. 통신장비 시험용 Switching Power Supply의 전체 시스템 구성은 8대의 컨버터로 구성되어 있으며, 주전력 회로는 입력단 역률개선 Boost 회로, Two Transistor Forward

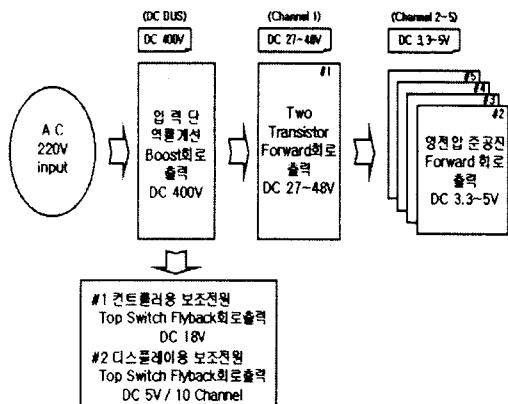


그림 1. 전체 시스템 구성

회로, 영전압 준공진(ZQR) Forward 회로로 구성되어 있으며, 보조전원 회로는 컨트롤러용 보조전원과 디스플레이용 보조전원으로 구성하였다.

컨트롤러용 전원의 경우 FAN 전원과 공유하여 쓰이며, 디스플레이용 전원은 각 출력의 전압과 전류를 측정할 10개의 DVM(Digital Voltage Meter), DCM(Digital Current Meter)에 대하여 접지 분리된 전원을 공급하여야 한다. 표 1은 전체 시스템 및 세부 설계 사항을 나타낸다.

표 1. 전체 시스템 및 세부 설계사항

정 격	600 W	
입 력 전 압	220V (AC)	
출 력 전 압	Channel 1: 27~48V (DC) Channel 2~5: 3.3~5V (DC)	
Channe	1	2~5
출 력 전 압	DC 27~48V	DC 3.3~5V
최 대 전 류	6 A	15 A
Line Regulation	전 압: 5% of V _{max} 전 류: 5% of I _{max}	
Load Regulation	전 압: 1% of V _{max} 전 류: 1% of I _{max}	
Output Noise	< 3V _{rms} < 0.2A _{rms}	< 5V _{rms} < 150mA _{rms}
컨터롤러용 보조전원	DC 18V, 1A, 1 Channel	
디스플레이용 보조전원	DC 5V, 60mA, 10 Channel	

2.2 컨버터 종류 및 특성

1. 입력 역률 개선 Boost 컨버터 (AC 220V → DC 400V)

교류 전원으로부터 직류 전압을 얻기 위해서는 교류 전압을 정류하여야 한다. 이 때 혼히 사용되는 커패시터 입력형 정류기는 일정한 직류 전압을 얻기 위해 커패시터의 용량이 매우 커야한다. 이로 인해 정류기의 입력 전류는 진폭이 큰 펄스형태가 되어 고조파가 많이 포함되며, 역률이 악화된다. 그 결과 전원선의 효율이 나빠지므로 교류 전원에서 부하에 공급하는 실효 전력을 감소시킨다. 따라서 이러한 문제점을 해결하기 입력 전류 리플의 평균값이 입력 전압에 비례하도록 제어하는 평균 전류모드 방식을 사용하였다.[3-4]

그림 2는 입력 역률 개선 Boost 컨버터 회로를 나타낸다.

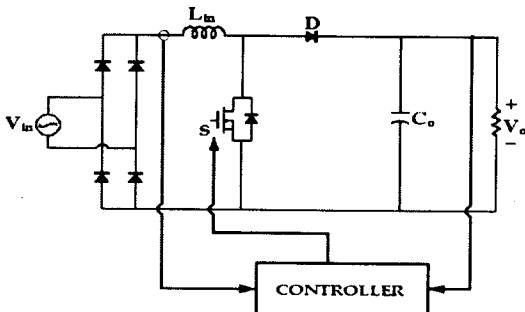


그림 2. 입력 역률 개선 Boost 컨버터 회로

그림 3은 입력전압이 220V일 때, 반주기 동안의 스위치 드티비를 나타낸다.

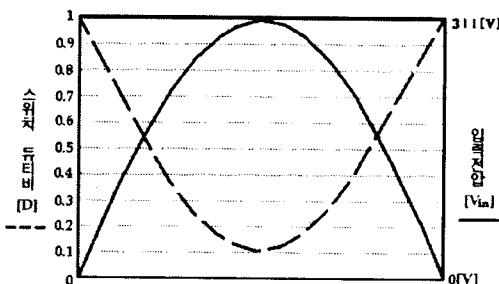


그림 2. 반주기 동안 스위치 드티비의 변화

식 (1)은 AC/DC 컨버터의 입·출력 관계를 나타내며, 식 (1)로부터 교류 입력 전압에 대하여 일정한 직류 출력 전압을 얻기 위한 스위치 드티비를 구할 수 있다.

$$V_o = \frac{1}{1 - D(t)} \times V_{in, peak} |\sin \omega t| \quad (1)$$

따라서, 스위치의 드티비는 식 (2)와 같이 된다.

$$D(t) = 1 - \frac{V_{in, peak}}{V_o} |\sin \omega t| \quad (2)$$

2. Two Transistor Forward 컨버터

(DC 400V → DC 27/48V)

그림 3은 DC400V에서 DC27/48V 가변 출력 전압 컨버터로써 사용된 Two Transistor Forward 컨버터

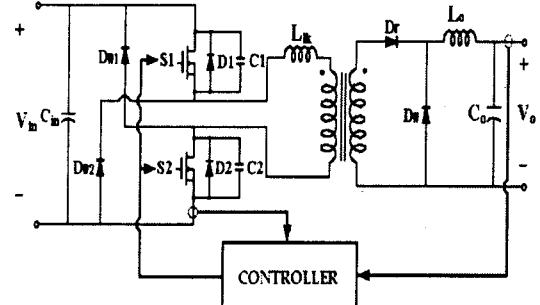


그림 3. Two Transistor Forward 컨버터 회로

회로를 나타낸다. Two Transistor Forward 컨버터 회로는 1차측 환류 다이오드를 통하여 누설 인덕터(L_{pk})의 에너지를 전원측으로 회생하는 것이 가능하기 때문에 일반적인 Forward 컨버터에 비하여 리셋회로가 필요가 없다는 장점을 가진다. 주 스위치 소자의 내압도 $\frac{1}{2}$ 로 줄어드는 장점을 지닌다.

Two Transistor Forward 컨버터 회로를 이용하므로 Half-Bridge 또는 Full-Bridge 컨버터 방식에 비하여 제어회로가 간단해지며, 출력 전압의 센싱 이득 가변을 통하여 출력 전압을 27~48V 사이로 제어하였다.

4. 영전압 준공진 Forward 컨버터 (DC 27/48V → DC 3.3/5V)

그림 4은 DC27/48V에서 DC3.3/5V 가변 출력 전압 컨버터로써 사용된 영전압 준공진 Forward 컨버터 회로를 나타낸다. 누설 인덕터(L_{pk})와 스위치 커패시터(C1)의 공진을 이용한 영전압 준공진 방식을 적용하여 일반적인 Forward 컨버터에 비하여 리셋회로가 없다는 장점을 지닌다. 최종 출력단과 제어회로 사이에는 Opto-coupler를 사용하여 접지를 분리시켰으며, 출력 전압의 센싱 이득 가변을 통하여 출력 전압을 3.3~5V 사이로 제어하였다.

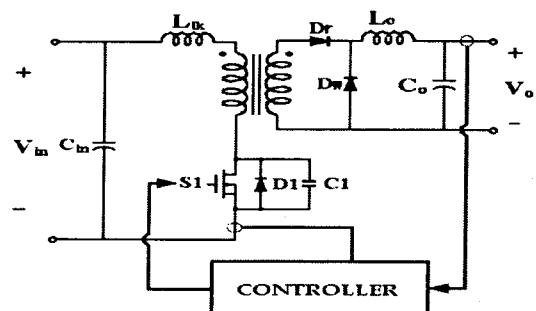


그림 4. 영전압 준공진 Forward 컨버터 회로

5. Flyback 컨버터

(컨트롤러/ 디스플레이용 보조전원)

그림 5는 제어 회로와 MOSFET가 결합된 Top-Switch를 이용한 Flyback 컨버터 회로를 나타낸다. 컨트롤러용 보조전원은 각 컨버터의 제어용 IC, 구동용 IC, Opto-Coupler 및 FAN 전원으로 이용되며, 디스플레이용 보조전원은 각 출력의 전압과 전류를 측정할 10개의 DVM(Digital Voltage Meter), DCM(Digital Current Meter)에 대하여 각각 접지 분리된 전원을 공급한다. 입력 역률개선 Boost 컨버터의 브리지 정류기를 후단에서 입력을 공급받으며, 적은 부품수

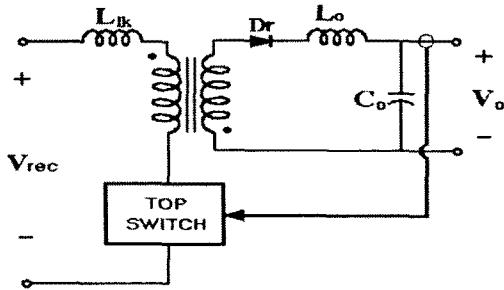


그림 5. Top-Switch를 이용한 Flyback 회로

로 인해 시스템 가격을 저감시키며, 동시에 입력 전원의 변동에 관계없이 안정적인 제어 및 디스플레이 전원 공급이 가능한 장점을 가지고 있다.

본 연구에서는 Power Integration사의 TOP234Y를 사용하였으며, Top-Switch의 대략적인 특징은 다음과 같다.

- ① 자체 발진회로 및 보상기 내장
- ② Buck, Boost, Flyback, Forward등 각종 토플로지에 적용 가능
- ③ 과전류, 과열등 보호기능 내장
- ④ Self-Start 기능 및 Fault시 Auto-Restart 기능 내장
- ⑤ 적은 부품수로 인한 소형화 가능
- ⑥ 입력 전압을 Free Voltage로 설계 가능

2.3 실험 결과

제안된 방식의 타당성을 검증하기 위해 전체 8대의 컨버터로 구성된 600W 시스템을 제작하여 실험하였다. 그림 6은 제작된 전체 시스템이며, 그림 7은 제작된 통신장비 시험용 SMPS의 정면을 나타낸다. 표 2는 하드웨어 제작에 사용된 소자와 회로 파라미터 값을 나타낸다.

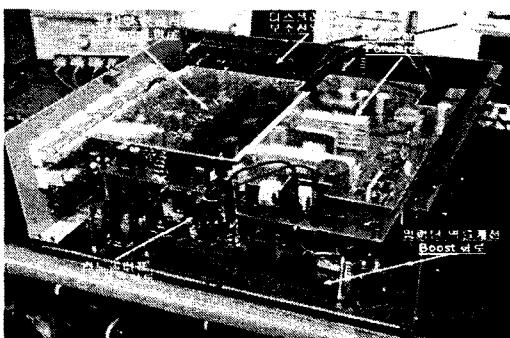


그림 6. 제작된 전체 시스템

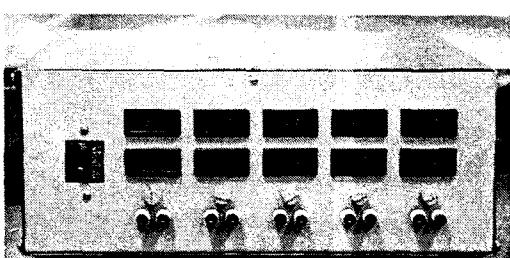


그림 7. 제작된 통신장비 시험용 SMPS의 정면

표 2. 하드웨어 제작에 사용된 소자와 회로 파라미터

입력 역률개선 Boost 컨버터	
입력전압 (V_{in})	AC 220 V
출력전압 (V_o)	DC 400 V
최대출력 (P_o)	640 W
주 스위치 (S)	IXFR26N60Q, IXYS
다이오드 (D)	DSEI 30, IXYS
정류 다이오드	D15XB60, Shindengen
승압 인덕터 (L_{in})	790 uH
출력 커패시터 (C_o)	940 uF
스위칭 주파수 (f)	100 kHz
Two Transistor Forward 컨버터 (1 Channel)	
입력전압 (V_{in})	DC 400 V
출력전압 (V_o)	DC 27~48 V
최대출력 (P_o)	600 W
주 변압기	EI 50, TDK 18 : 7, $L_{ik} = 5\mu H$
주 스위치 (S1,S2)	IXFR26N60Q, IXYS
1차측 환류 다이오드(D_{W1}, D_{W2})	SF10L60U
2차측 정류 다이오드(D_r)	DSEK 60-06S, IXYS
2차측 환류 다이오드(D_W)	SF10L60U
출력 인덕터 (L_o)	794 uH
출력 커패시터 (C_o)	6600 uF
스위칭 주파수 (f)	100 kHz
영전압 준공진 Forward 컨버터 (4 Channel)	
입력전압 (V_{in})	DC 27~48 V
출력전압 (V_o)	DC 3.3~5 V
최대출력 (P_o)	75 W
주 변압기	PQ 2625, TDK 16 : 8, $L_{ik} = 2.96\mu H$
주 스위치 (S1)	IXFR26N50Q, IXYS
2차측 정류 다이오드(D_r)	MBR3045PT, ON-SEMI
2차측 환류 다이오드(D_W)	MBR3045PT, ON-SEMI
출력 인덕터 (L_o)	15.48 uH
출력 커패시터 (C_o)	4400 uF
스위칭 주파수 (f)	100 kHz
Flyback 컨버터 (컨터롤러용 보조전원)	
입력전압 (V_{in})	DC 310 V
출력전압 (V_o)	DC 18 V
최대출력 (P_o)	18 W
주 변압기	PQ 2020, TDK 72 : 6, $L_{ik} = 0.36\mu H$
주 스위치 / 제어회로	TOP234Y, Power
출력 커패시터 (C_o)	680 uF
스위칭 주파수 (f)	132 kHz
Flyback 컨버터 (디스플레이용 보조전원)	
입력전압 (V_{in})	DC 310 V
출력전압 (V_o)	DC 5 V
최대출력 (P_o)	6 W
주 변압기	PQ 2020, TDK 72 : 4, $L_{ik} = 18.56\mu H$
주 스위치 / 제어회로	TOP234Y, Power
출력 커패시터 (C_o)	100 uF
스위칭 주파수 (f)	132 kHz

그림 8은 전부하에서 입력 전압 및 전류 파형을 나타내며, 최대 부하시 역률은 0.998이다.

그림 9는 무부하에서 전부하로 부하 변동시(0→6A) 출력 전압 및 전류 파형을 나타낸다. 무부하에서 출력 인덕터 크기의 한계로 인하여 미소한 전압 리플이 발생함을 알 수 있다.

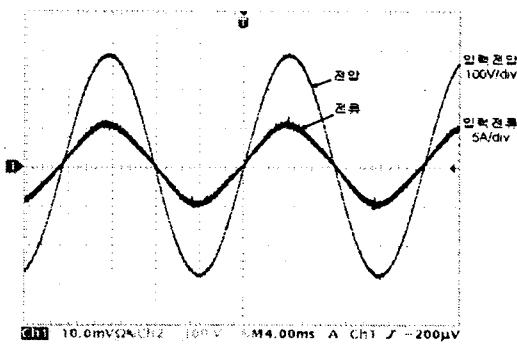


그림 8. 역률 개선후 입력 전압 및 전류 파형

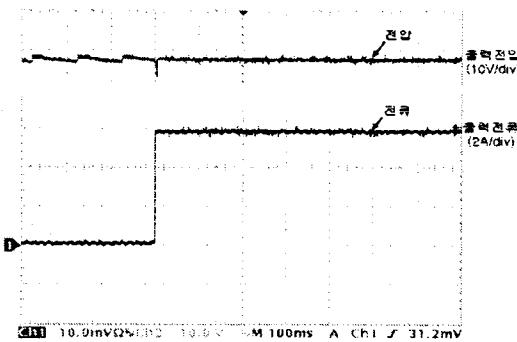


그림 9. 부하 변동시 출력 전압 및 전류 파형
(0→6A, 48V 출력)

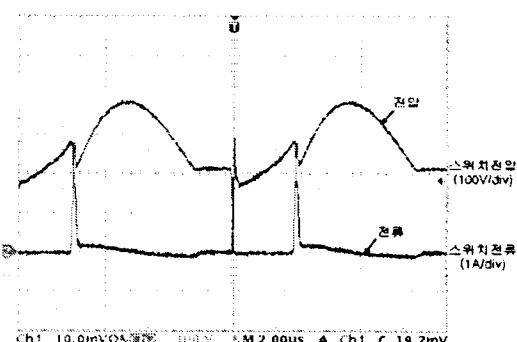


그림 10. Two Transistor Forward 컨버터의
주 스위치 전압 및 전류 파형

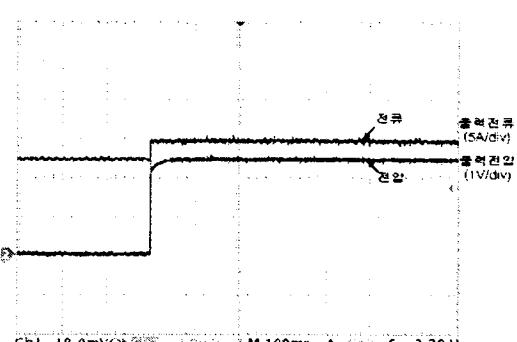


그림 11. 부하 변동시 출력 전압 및 전류 파형
(0→15A, 5V 출력)

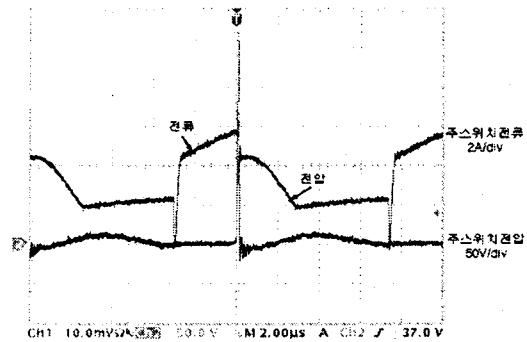


그림 12. 영전압 준공진 Forward 컨버터의 주
스위치 전압 및 전류 파형

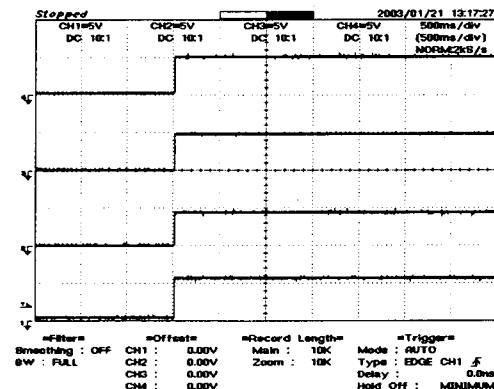


그림 13. 초기 기동시 출력 전압 파형 (5V 출력)

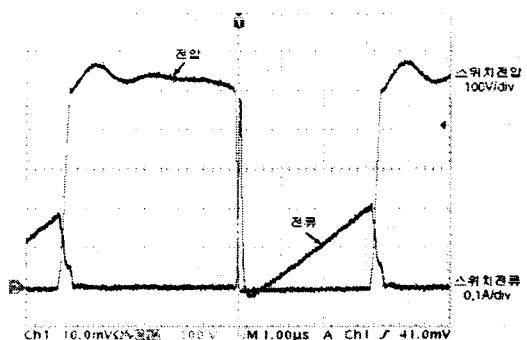


그림 14. Flyback 컨버터의 주 스위치 전압 및
전류 파형

그림 10은 Two Transistor Forward 컨버터의 주 스위치 전압 및 전류 파형을 나타낸다. 변압기의 누설 인덕터(L_{lk})와 스위치 커�패시터 사이에 전압 공진이 일어나며, 스위치의 고리전류(Tail Current)로 인하여 오프시 스위칭 손실이 발생함을 알 수 있다.

그림 11은 무부하에서 전부하로 부하 변동(0→15A) 출력 전압 및 전류 파형을 나타낸다. 출력 전압이 양호하게 추종함을 알 수 있다.

그림 12는 영전압 준공진 Forward 컨버터의 주 스위치 전압 및 전류 파형을 나타낸다. 변압기의 누설 인덕터(L_{lk})와 스위치 커�패시터 사이에 전압 공진을 통하여 주 스위치가 영전압 턴온하나, 스위치 오프시 전압 피킹 현상의 존재로 인하여 스위칭 손실이 발생한다.

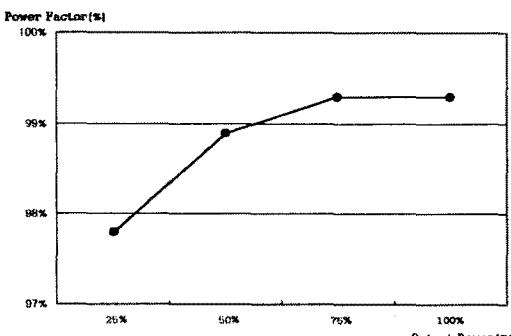


그림 15. 부하에 따른 입력 역률

그림 13은 초기 기동시 5V 출력 4Channel의 출력 전압 과형을 나타낸다.

그림 14는 컨트롤러용 보조 전원 Flyback 컨버터의 Top-Switch 전압 및 전류 과형을 나타낸다. 불연속 모드로 동작하며, 턴온과 턴오프시 하드 스위칭 함을 알 수 있다.

그림 15는 부하에 따른 입력 역률을 나타내며, 최대 부하에서 0.996며, 전 부하범위에서 우수한 역률을 지님을 알 수 있다.

3. 결 론

본 논문에서는 통신장비 시험용 Switching Power Supply 개발에 관한 연구를 수행하였다. 본 연구에서 개발된 통신장비 시험용 전원은 27~48V 출력 1 Channel과 3.3~5V 4 Channel로 구성되며, 최대 출력은 600W이다. 입력에서는 역률 보정을 위해 역률개선 Boost 컨버터를 적용하였으며, Boost 컨버터의 출력 400V를 입력으로 받아서 27~48V의 출력을 만들기 위해 스위치 전압 스트레스가 적은 Two Transistor Forward 컨버터를 적용하였고, Two Transistor Forward의 출력 27~48V를 입력으로 받아서 3.3~5V의 출력을 만들며, 최대 15A의 전류를 공급하기 위하여 영전압 준공진 Forward 컨버터를 적용하였다.

또한 MOSFET와 컨트롤러가 결합된 TOP-Switch를 응용한 Flyback 컨버터를 제작하여 보조전원, FAN 전원 및 디스플레이 전원으로 사용하였다. 전체 시스템은 주전력단에 6개의 컨버터회로와 보조 전원으로 2개의 컨버터회로를 사용하여 총 8대의 전력 변환장치에 의해 전체 시스템은 구성하였다.

이상의 연구 결과를 바탕으로 향후 시스템 양산단계에서는 소자 배치 및 탑재 공간의 최적화, 동작 환경을 고려한 방열 설계 및 저전압 대전력 회로에 동기정류 방식의 적용과 보호회로 설계 등의 추가적인 연구가 필요할 것으로 판단된다.

(참 고 문 헌)

- [1] 이종호, “통신용 전원 시스템”, 전력전자학회 논문지, 제3권 1호, pp. 34~42, 1998
- [2] 통신용 전원 연구회, “통신용 전원”, 일본전기 통신협회, 1982
- [3] 배진용, 김용외, “동동 클램프 방식을 이용한 ZVT 송암형 컨버터의 평균전류모드 제어에 관한 연구”, 대한전기학회, 하계학술대회 논문집, pp. 1005~1008, KIEE 2001 하계학술대회
- [4] 배진용, 김용외, “무손실 스너버를 고역률, 고효율 AC/DC Boost 컨버터에 관한 연구”, 대한전기학회 논문지, 제51권 11호, pp. 652~658, 2002.
- [5] Keith H. Billings “SWITCHMODE POWER

- SUPPLY HANDBOOK”, McGraw-Hill, 1999
- [6] Abraham I. Pressman, “Switching Power Supply Design”, McGraw-Hill, 1998
- [7] Ron Lenk, “PRACTICAL DESIGN OF POWER SUPPLYS”, McGraw-Hill, 1998
- [8] Marty Brown, “Practical Switching Power Supply Design” Academic Press, 1990
- [9] Marty Brown, “Power Supply Cookbook”, Newnes, 2001
- [10] H. W. Whittington, B. W. Flynn and D. E. Macpherson, “Switched Mode Power Supply : Design and Construction”, Research Studies Press, 1992
- [11] 김희준, “스위치모드 파워서플라이”, 성안당, 1993