The Journal of The Institute of Internet, Broadcasting and Communication (IIBC)
Vol. 22, No. 4, pp.119-125, Aug. 31, 2022. pISSN 2289-0238, eISSN 2289-0246

https://doi.org/10.7236/JIIBC.2022.22.4.119
JIIBC 2022-4-17

소형 대공 추적레이다용 전원공급기 개발

Development of Power Supply for Small Anti-air Tracking Radar

김홍락*, 김윤진*, 이원영*, 우선걸*, 김광희**

Hongrak Kim*, Younjin Kim*, Wonyoung Lee*, Seonkeol Woo*, Gwanghee Kim**

요 약 소형 대공 추적레이다용 전원공급기는 시스템이 잡음의 영향 없이 빠르고 안정적으로 전원을 공급받을 수 있도록 해야 한다. 이를 위하여 신뢰성 있는 전원변환을 위하여 DC-DC 변환기를 많이 적용한다. 또한 DC-DC 변환기의 스위칭 주파수 노이즈가 시스템의 탐지 추적 성능에 영향을 줄 수 있는 False Alarm 과 Ghost 를 유발하지 않도록 해야 하며, 추적 레이다가 동작중 실시간으로 전원을 모니터링 할 수 있는 점검 기능을 보유하고 있어야 한다. 본 연구에서는 소형 대공 추적 레이다에 적용하기 위하여 +28VDC 입력을 받아서 최대 출력 OOO W, 효율 80% 이상(@100%부하), 출력 전원 6개의 다중 출력 스위칭 전원공급기를 개발하였고 효율 80% 이상을 달성하기 위하여 전력이 큰 출력에 대해서는 DC-DC 변환기를 적용하였고 나머지 소전력 출력에 대해서는 출력 전류 및 노이즈를 고려하여 리니어 레귤레이터를 적용하여 설계 제작하여 시험 결과 100% 부하조건에서 85%의 우수한 효율 특성을 확인하였다.

Abstract The power supply for the anti-aircraft radar homing sensor should allow the system to receive power quickly and stably without the influence of noise. For this purpose, DC-DC converters are widely used for reliable power conversion. Also, switching of DC-DC converters Frequency noise should not cause false alarms and ghosts that may affect the detection and tracking performance of the system, and it should have a check function that can monitor power in real time while the homing sensor is operating. In order to apply to anti-aircraft radar homing sensor, we developed a multi-output switching power supply with maximum output OOO W, efficiency 80% or more (@100% load), output power by receiving 28VDC input, and power supply to achieve more than 80% efficiency. A DC-DC converter was applied to this large output, and the multi-output flyback method was applied to the rest of the low-power output.

Key Words : anti-aircraft radar, Power supply, DC-DC

*정회원, LIG넥스원(주)
**정회원, 국방과학연구소
접수일자 2022년 5월 25일, 수정완료 2022년 7월 10일
게재확정일자 2022년 8월 5일

Received: 25 May, 2022 / Revised: 10 July, 2022 / Accepted: 5 August, 2022
*Corresponding Author: hongrak.kim@lignex1.com
Dept. of RF & IIR Seeker R&D Lab, LIG Nex1 Co., Ltd. Korea

Ⅰ. 서 론

대공 추적 레이다용 전원공급기는 추적 레이다의 각 구성품이 정상적으로 동작하기 위하여 필요한 아날로그 전원과 디지털 전원을 공급하는 구성품으로 잡음이 적고 안정적으로 공급하여야 한다. 또한 각 구성품에서 발생되는 잡음들이 전원 라인을 통하여 전달되지 않도록 전원 분리 설계가 요구되어 진다.

전원공급기 내부에서 DC-DC 변환기를 통하여 생성되는 +15V, +5V 등 낮은 전압의 전원에 대해서는 리플 노이즈를 최소화하여야 한다. 레이다의 최대 탐지 거리를 만족하기 위한 최소검출신호를 만족하기 위해서는 DC-DC 변환기의 스위칭으로 인한 리플 노이즈의 영향을 최소화가 필요하다.

DC-DC 변환기를 동작시키기 위한 스위칭 주파수의 선정에 있어서도 시스템과 동기된 주파수를 사용함으로써 스위칭 노이즈가 수신신호를 통하여 획득이 되더라도 제거를 통하여 False Alarm 과 Ghost 신호를 유발하지 않는 설계가 요구되어 진다.[2]

외부 장비로부터 입력되는 +28VDC 전원에 대하여 전력 밀도를 효과적으로 최적화 하고, EMC 규격이 만족될 수 있도록 입력단 EMI 필터설계가 요구되어 진다.[1][3][6]

DC-DC 변환기의 전원 출력 효율은 변환기의 온도와 관련이 크기 때문에 전원공급기 내부 온도를 실시간으로 측정기능 및 동작중 생성된 전원에 대한 실시간 모니터링을 통하여 자체 보호 기능이 요구되어 진다.

또한 제한된 좁은 공간에서 여러 가지 요구사항을 만족시키기 위한 형상 최적 설계가 요구되어 진다.

본 연구에서는 소형 추적 레이다에 적용하기 위하여 +28VDC 입력을 받아서 최대 출력 000 W, 효율 80% 이상(@100%부하), 출력 전원 6개의 다중 출력 스위칭 전원공급기의 설계와 제작 및 전용 시험 치구를 통한 요구사항 충족여부를 확인 한다.[4][5]

Ⅱ. 전원공급기 설계

표 1은 전원공급기의 주요 사양을 나타내고 있다. +28VDC 입력을 받아 6개의 출력을 ±5% 범위 안에서 유지하여야 하고 실시간으로 모니터링 할 수 있어야 한다.

표 1. 전원공급기 주요 사양
Table 1. Major Specification of Power Supply

항목	개발 사양	비고
입력	+28VDC	
출력	+5VD, +5VA, -5VA +15VA, -15VA,, +15VTX	
전압 안정도	±5% 이내	
효율	80% 이상(@100% 부하)	
EMC	MIL-STD-461G CE102	
점검	전원 실시간 모니터링	

그림 1은 전원공급기의 블록도를 나타낸다. 레이다의 외부로 부터 전원 +28VDC를 입력받아 레이다에서 필요로 하는 전압을 생성한다. 전원 케이블을 통한 외부의 잡음 유입을 최소화하고 레이다 운용시 발생되는 잡음 유출을 최소화하기 위하여 EMI 필터를 내장하고 있다. EMI 필터를 통과한 전원은 효율을 고려하여 고효율의 DC-DC 변환기를 적용하여 소모전류를 최소화 하였고 리플감쇄회로 적용 및 LC 필터 설계를 통하여 리플노이즈가 OOmV$_{p-p}$ 이하가 되도록 설계하였다. 적용된 DC-DC 변환기는 가격과 효율을 고려하여 선정하였다. 출력되는 전압이 5V와 15V로 이루어 져있고 각 전원별 출력 전력값이 정해져 있어서 이를 기준으로 선정을 한다. 그림 2는 선정된 DC-DC 변환기의 규격을 나타내고 있다.

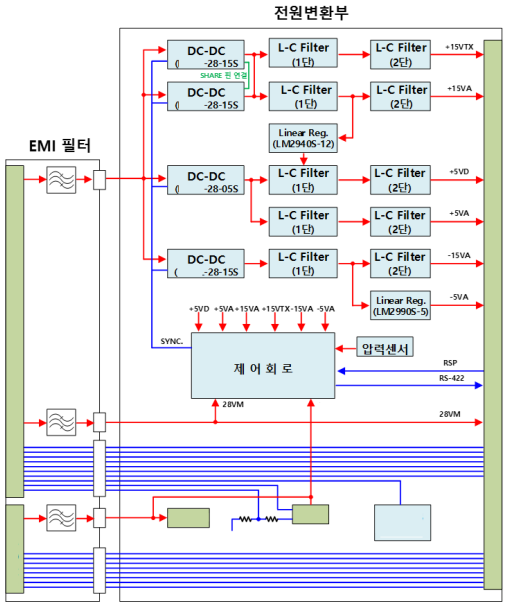

그림 1. 전원공급기 블록도
Fig. 1. Power Supply Block Diagram

항 목	-28-05S	-28-15S	-28-15S
입력전압	16~40V(Typ. 28V)	16~40V(Typ. 28V)	16~40V(Typ. 28V)
출력전압	4.95~5.05V	14.85~15.15V	14.85~15.15V
출력전류	최대 24A(120W)	최대 8A(120W)	최대 1.3A(19.5W)
Ripple/Noise	최대 30mVpp	최대 60mVpp	최대 100mVpp
효율	83% 이상	84% 이상	80% 이상
무게	Typ. 79g	Typ. 79g	Typ. 35g
형상			

그림 2. DC-DC 변환기 선정
Fig. 2. DC-DC Converter Selection

출력 전류가 높은 5V와 15V는 SynQor 사의 OOO 시리즈로 선정하였다. -15V는 출력전류가 낮아서 OOO 시리즈로 선정하였다. 또한 -5VA는 소모전력이 적어 -15V를 입력받아 리니어 레귤레이터를 적용하여 설계하였다.

추적 레이다의 수신되는 신호의 파워는 매우 낮은 신호이기 때문에 잡음에 취약하다. 특히 전원에서 생성되는 리플 노이즈는 탐지 확률에 영향을 준다. 이를 위해서는 DC-DC 변환기의 리플규격을 충족하기 위해서 시스템에 동기화된 Sync 신호를 사용해야 한다. 이를 위해서 신호처리기로부터 동기된 신호를 받아서 처리한다. 이때 신호처리기의 디지털 스위칭 잡음이 영향을 주지 않기 위해서 옵토커플러를 활용하여 잡음을 분리설계 한다. 그림 3은 DC-DC 변환기의 동기신호 회로도를 보여주고 있다. 레이다에서 입력받는 28VDC를 입력전압으로 사용하여 옵토커플러를 통하여 Sync 신호를 받는다. 그림 2에서 적용된 DC-DC 변환기의 리플노이즈는 최대 100mVpp 이다. 알고 있는 Sync 신호를 이용하여 전원을 변환하였기 때문에 해당 리플노이즈를 LC 필터 설계를 통하여 낮출 수 있다. 특히 신호처리시에 많이 사용되는 5VD의 리플 노이즈 규격은 매우 중요하다. 설계된 회로를 적용하여 리플노이즈를 측정하였다. 그림 4는 정적 부하를 이용하여 부하가 없을 때와 부하가 있을 때 리플 노이즈를 비교 측정한 값으로 규격을 만족하고 있음을 알 수 있다.

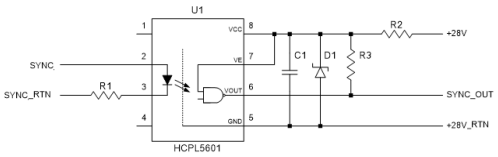

그림 3. Sync 신호 수신회로
Fig. 3. Sync Signal Receive Circuit

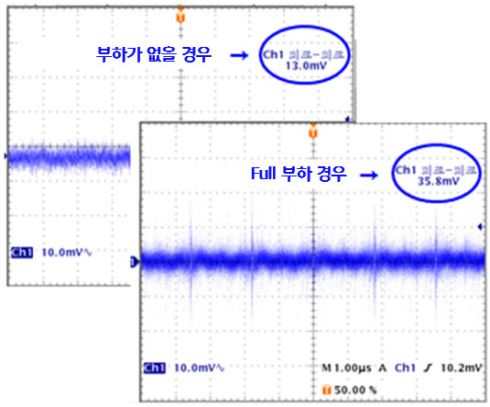

그림 4. 출력 전류에 따른 +5VD 출력 잡음레벨
Fig. 4. +5VD output noise level depending on output current

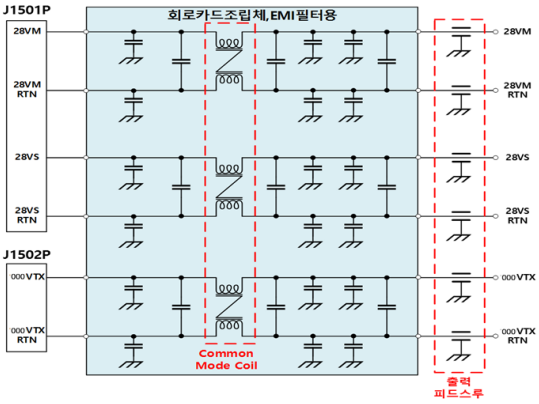

그림 5. EMI 필터 회로
Fig. 5. EMI Filter Circuits

MIL-STD-461G CE102를 만족하기 위하여 입력전원에 대한 별도의 차폐된 EMI 필터를 설계하였으며 출력은 EMI 필터용 피드스루를 적용 설계하였다. 그림 5는 EMI 필터 회로로 Source impedance로 인한 DC-DC 변환기 동작 안정성 확보를 위한 커패시터를 적용하였으며 통신라인과의 차폐를 고려하여 경로 분리 설계를 하였다. EMI 필터는 부하단의 특성을 고려하여 +28VS와 +28VM, OOO VTX의 필터 설계를 달리 하였다. 그림 6은 Common Mode와 Normal Mode일때의 감쇄 특성을 나타내고 있다. DC-DC 변환기의 동기주파수는 레이다 시스템과의 동기를 고려하여 시스템의 PRF(Pulse Repetition Frequency)와 동기된 신호를 전원 분리 설계를 통하여 신호를 받아 적용하도록 설계하였다.

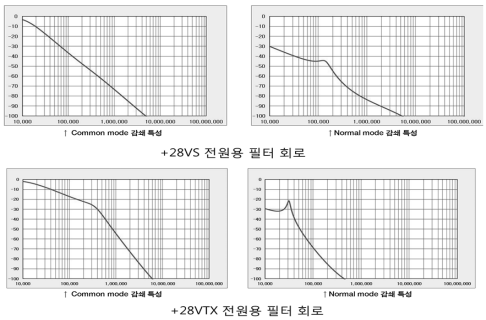

그림 6. EMI 필터 특성 그래프
Fig. 6. EMI Filter characteristic graph

출력되는 모든 전원들을 실시간으로 모니터링을 하기 위해서 MCU의 디지털 변환 포트를 이용하여 디지털값으로 변환하여 422통신을 통하여 신호처리부로 전달하여 모니터링을 수행 한다. 규격 미달의 전원이 모니터링 되면 신호처리부를 통하여 해당 전원은 차단하며 레이다 동작을 자동 차단할 수 있다. 모니터링을 위하여 이득이 1인 Isolation 앰프를 적용하여 해당 전원과 MCU회로 전원을 분리 하였으며 MCU 입력으로 넣기 위하여 마이너스 전원은 반전증폭회로와 전압 분압 회로를 거쳐서 입력되고 플러스 전원은 전압 분압회로만 거쳐 입력된다. 그림 7의 전원 모니터링 블록도에 잘 나타나 있다. 저항의 허용치에 따른 분압회로 출력 전압값의 변동을 고려하여 허용치는 1%를 적용한다. 또한 실제 출력값과의 오차가 있기 때문에 오차를 보정하기 위하여 실측값과의 오차를 테이블에 두고 모니터링시 보정한다.

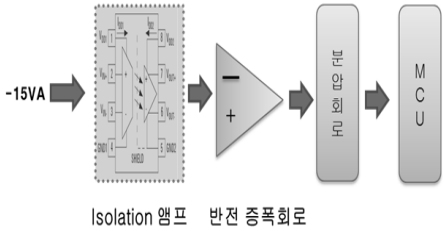

그림 7. 전원 모니터링 블록도
Fig. 7. Power monitoring Block Diagram

그림 8은 설계된 전원공급기 모델링 형상이다. DC-DC 변환기는 케이스를 통하여 방열을 하는 구조이고 외부로부터 입력전원과 통신신호를 받는 원형컨넥터가 있다. 뒤쪽 보드는 전원 필터와 전원 모니터링 회로가 설계되었다. 그림 9는 전원공급기 보드 부품 배치 형상이다. 공간과 방열을 고려하여 2단 보드로 설계되었으며 아랫단에 DC-DC 변환기로 입력 28VDC가 공급되면 낮은 전압이 생성되어 뒷단의 보드의 필터를 통하여 최종 필터링된 전원이 컨넥터를 통하여 각 구성품으로 공급된다.

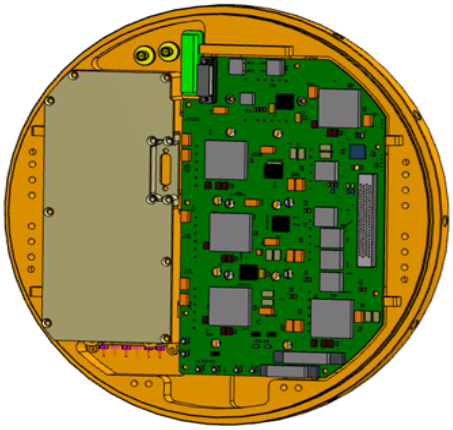

그림 8. 전원공급기 모델링 형상
Fig. 8. Power supply Modeling shape

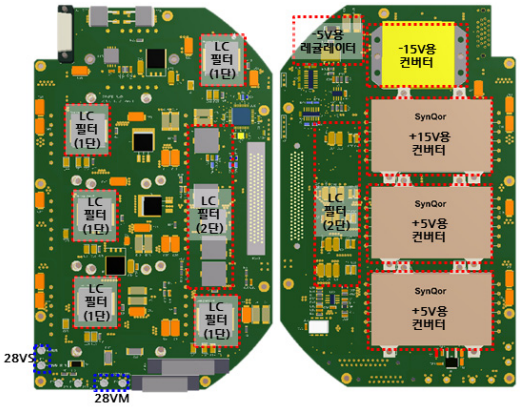

그림 9. 전원공급기 Board 부품 배치 형상
Fig. 9. Power supply Board component placement shape

Ⅲ. 전원공급기 설계 제작 및 측정 결과

상기의 설계 내용을 바탕으로 전원공급기를 제작하였다. 전원공급기가 레이다의 입력단에 있어서 외부로부터 전원과 통신신호를 받게 되고 외피의 Thermal mess를 이용하는 방열 구조로 제작 되었다. 외부 입력쪽에 EMI 필터를 전력밀도를 고려하여 최적화 설계로 제작되었고 차폐를 위하여 출력 EMI 피드스루 필터만 보여 진다.

그림 10은 전원공급기를 시험 측정하기 위한 구성도이며 +28VDC를 공급하는 DC 전원공급기와 100%부하를 위한 전자부하, 전원공급기와 외부장비를 연동하여 시험을 수행한다. 전원공급기와 연동하여 전원 제어, 동기신호 제공, 전원모니터링을 수행할 모의프로그램을 구현하였다.

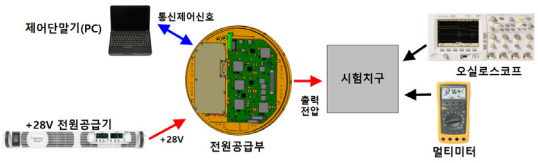

그림 10. 전원공급기 시험 측정 구성도
Fig. 10. Power supply test & measure configuration diagram

그림 11은 레이다 호밍센서가 동작될 때 출력되는 28VM, +15V, 5V 에 대한 결과로 규격 만족 범위에서 정상적으로 출력되고 있음을 알 수 있다. 측정결과를 통해서 분석된 효율은 표 2의 결과를 토대로 85%를 얻을 수 있었다.

표 2. 전원공급기 측정 결과
Table 2. Power Supply Measurement Result

측정 항목	기준값	측정값	결과
+5VD 전압	+4.75 ~ +5.25V	5.137V	합격
+5VA 전압	+4.75 ~ +5.25V	5.170V	합격
-5VA 전압	-4.75 ~ -5.25V	-4.980V	합격
+15VA 전압	+14.25 ~ +15.75V	15.230	합격
-15VA 전압	-14.25 ~ -15.75V	-15.200	합격
+15VTX 전압	+14.25 ~ +15.75V	15.140	합격

표 3. 전원공급기 잡음 측정 결과
Table 3. Power Supply Noise Measurement Result

측정 항목	기준값	측정값	결과
+5VD 잡음	OOmVpp이내	OO -13.7mVpp	합격
+5VA 잡음	OOmVpp이내	OO -22.4mVpp	합격
-5VA 잡음	OOmVpp이내	OO -17.6mVpp	합격
+15VA 잡음	OOmVpp이내	OO -17.4mVpp	합격
-15VA 잡음	OOmVpp이내	OO -17.4mVpp	합격
+15VTX 잡음	OOmVpp이내	OO -14.6mVpp	합격

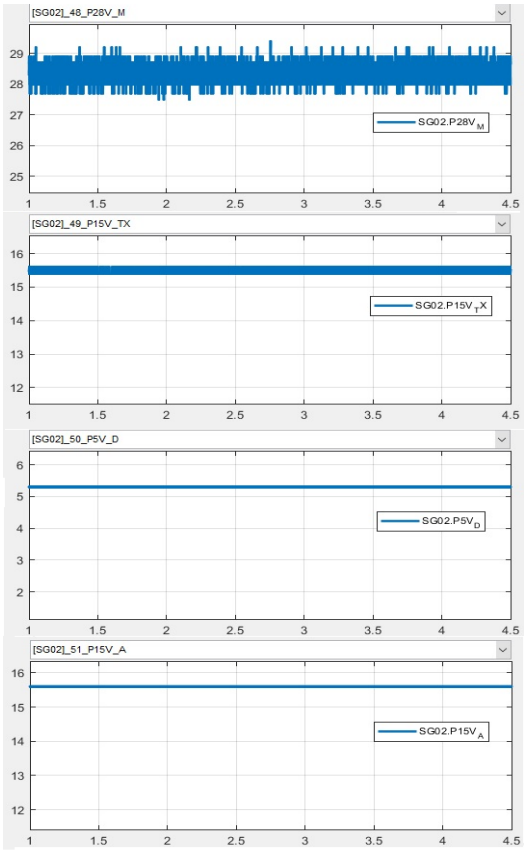

그림 11. 출력 전원 결과
Fig. 11. Output Power Results

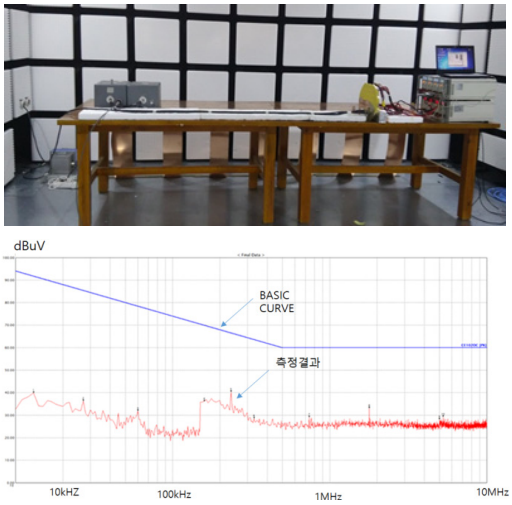

그림 12. CE102 시험 및 결과
Fig. 12. CE102 TEST and Result

MIL-STD-461G CE102를 만족을 확인하기 위하여 EMC 챔버실에 장비를 설치하고 측정을 수행 하였다. 그림 12는 CE102 시험 set up 및 시험 결과 이다.

MIL-STD-461G CE102 규격을 만족하고 있으며 RS-422 통신의 일부 신호가 전원 케이블로 유기되었지만 규격에 충분한 여유가 있음을 확인 하였다.

Ⅳ. 결 론

DC-DC 변환기는 효율이 좋은 Synqor사의 제품으로 선정을 하였고 2차 출력 필터를 적용하여 잡음을 최소화 하였으며 출력 용량이 적은 전원은 리니어 레귤레이터 회로를 적용하였다. 리플 노이즈를 최소화 하기 위한 회로를 적용하여 안정적으로 동작하는 전원공급기를 설계하였으며 제작 후 측정을 통하여 결과를 확인하였다. 또한 EMC 시험을 통하여 MIL-STD-461G CE102 규격을 만족함을 확인하였다.

References

[1] Jin-Kyu Choi, Han-Chun Ryu, “A Development of the High-Performance Signal Processor for the Compact Millimeter Wave Radar”, The Journal of The Institute of Internet, Broadcasting and Communica- tion, Vol. 17, No. 6, pp.161-167, Dec.31, 2017.
DOI :https://doi.org/10.7236/JIIBC.2017.17.6.161

[2] Keith Billings, Taylor Morey, "Switchmode Power Supply Handbook, 3rd edition", McGraw Hill.

[3] MIL-STD-461E, "Requriements for The Control of Electromagnetic Interference Characteristics of Subsystem and Equipment.“

[4] Dae-Kwan Kim, Young-Soo Lee, “Developement of Multi-Output Switching Power Supply for Military Aeronautical Radar Processor Unit”, The Korea Institute of Power Electronics Autumn Annual Conference, pp.188-189, Nov. 2013.

[5] Jong Beom Park, Young Hwa Kim, “Development of Power Supply Testing System”, The Korean Institute of Electrical Engineers Conference , pp.703-705, July, 1999.

[6] G. Ala, G. C. Giaconia, G. Giglia, “Optimized Design of High Power Density EMI Filters for Power Electronic Converters”, AEIT International Annual Conference, 5-7 Oct. 2016.
DOI :https://doi.org/10.23919/AEIT.2016.7892794

[7] Sung-Yug Choi, “Variable and Controllable Digital Power-supply Design” Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society(JKAIS), Vol. 7, No. 1, pp. 21-26, 2006.

[8] Jongbok Lee, “A Study on Power Dissipation of The Multicore Processor” The Journal of The Institute of Internet, Broadcasting and Communication (IIBC) Vol. 17, No. 2, pp.251-256, Apr. 30, 2017.
DOI : https://doi.org/10.7236/JIIBC.2017.17.2.251

[9] D. Brooks, V. Tiwari, and M. Martonosi, "Wattch: A Framework for Architectural-Level Power Analysis and Optimizations," Proceedings of the 27th International Symposium on Computer Architecture, pp 83-94, Jun. 2000.

[10] Sangsik Lee, “Development of the SMPS Power Module for the Medical Kit”, The Journal of KIIECT, Vol. 1, No. 1, pp. 11-15, 2009.

[11] Sang-bong Park, “Implementation and design of fuse controller using single wire serial communication”, The Journal of The Institute of Internet, Broadcasting and Communication (IIBC) Vol. 15, No. 6, pp.251-255, Dec. 31, 2015.
DOI :http://dx.doi.org/10.7236/JIIBC.2015.15.6.251

저 자 소 개

김 홍 락(정회원)

- 1995년 2월 : 대구대학교 전자전기컴퓨터학부 (공학사)
- 1997년 8월 : 대구대학교 전자공학과 (공학석사)
- 1997년 7월 ~ 현재 : LIG넥스원(주) 수석연구원
- 주 관심분야 : 마이크로파 신호처리기, 전원공급기, 마이크로파 탐색기 등

김 윤 진(정회원)

- 1997년 2월 : 서울대학교 전기공학부 (공학사)
- 1999년 2월 : 서울대학교 전기공학부 (공학석사)
- 1999년 3월 ~ 현재 : LIG넥스원(주) 수석연구원
- 주 관심분야 : 마이크로파 탐색기 시스템 등

이 원 영(정회원)

- 2007년 2월 : 충북대학교 전자공학부 (공학사)
- 2009년 2월 : 충북대학교 반도체공학과 (공학석사)
- 2009년 1월 ~ 현재 : LIG넥스원(주) 수석연구원
- 주 관심분야 : 전원공급기, 진행파관 증폭기 등

우 선 걸(정회원)

- 2001년 2월 : 광운대학교 전자공학부 (공학사)
- 2003년 2월 : 광운대학교 전파공학과 (공학석사)
- 2007년 7월 : 광운대학교 전파공학과 (공학박사)
- 2007년 8월 ~ 현재 : LIG넥스원(주) 수석연구원
- 주 관심분야 : 레이다 신호처리, 마이크로파 탐색기 등

김 광 희(정회원)

- 1998년 2월 : 전남대학교 컴퓨터공학과(공학사)
- 2000년 2월 : 전남대학교 컴퓨터공학과(공학석사)
- 2002년 2월 ~ 현재 : 국방과학연구소 책임연구원
- 주요관심분야 : 마이크로파 센서 시스템, 레이더 신호처리