

https://doi.org/10.7236/JIIBC.2022.22.5.99
JIIBC 2022-5-15

Ka-대역 추적 레이더용 전원공급기 개발

Development of Power Supply for Ka-band Tracking Radars

이동주*, 안세환*, 주지한*, 권준범*, 서미희**

Dongju Lee*, Se-Hwan An*, Ji-Han Joo*, Jun-Beom Kwon*, Mihui Seo**

요약 밀리미터파 추적 레이더는 다양한 환경조건에서 운용하므로 입력전압의 큰 변동에도 안정적인 출력전원을 공급하는 전원공급기가 필요하며, 송수신기에 고품질의 전원공급을 위해 낮은 잡음레벨 특성을 가져야 한다. 본 논문에서는 Ka-대역 추적 레이더에 적용하기 위한 최대 출력 727 W급의 소형 전원공급기 설계 및 구현방안에 대해 기술한다. 전압 안정도 및 효율 요구사항을 충족하기 위해 buck 타입의 DC-DC 컨버터의 윗면이 전원공급기의 커버와 맞게 배치하여 방열효율을 극대화하였다. 최대 부하 조건에서 시스템 효율 88.4 %, 전압정밀도 ± 2 %, 잡음레벨은 전압값의 1 % 이내임을 확인하였다.

Abstract Millimeter-wave tracking radars operate in various environmental restrictions, thus they demand stable power sources with low noise level under high fluctuation of input voltage. This paper presents the design and implementation of the compact power supply with max power of 727 W for Ka-band tracking radar applications. To meet requirements of voltage accuracy and system efficiency for transceiver circuits, upper plates of buck converters are attached on the covers of power supply for efficient heat dissipation. The proposed power supply achieves system efficiency of 88.4 %, output voltage accuracy of ± 2 % and noise level of $<1\%$ under full load conditions.

Key Words : power supply, DC-DC converter, millimeter-wave tracking radar, Ka-band

1. 서론

밀리미터파 추적 레이더용 전원공급기는 다양한 환경 조건에서 운용되므로 높은 효율을 유지하여야 하며, 입력전압의 큰 변동에도 송수신기 등 구성품에 안정적인 전원을 공급하여야 한다. 특히 FPGA, DSP 등 디지털 회로 동작에 필요한 저전압/고전류 특성의 전원(1.0 V - 3.3 V) 공급시, 부하 경로의 전압 드랍을 최소화하기 위해 중간전압으로 변환 후 각 구성품의 최종단에 Point of Load 컨버터를 적용하여 가격을 낮추고 효율을 개선

할 수 있다^{[1][2]}.

전원공급기의 전체 효율은 DC-DC 컨버터의 효율 및 내부 방열설계에 의해 크게 좌우되므로 부품배치 및 방열면적을 넓히기 위한하우징 형상 설계가 필요하다.

스위칭 방식의 buck DC-DC 컨버터들은 높은 변환 효율(>90 %)을 가지지만^{[2][3]}, 스위칭 잡음을 발생시키므로 송신기^{[4][5]} 및 수신기^[6]의 신호 대 잡음비 특성에 영향을 주지 않도록 잡음레벨 억제가 필요하다. 디지털 전원 또한 송수신기의 신호 대 잡음비에 영향을 주므로 간섭을 최소화하기 위한 전원 분리 설계가 요구된다.

*정회원, LIG넥스원(주)

**정회원, 국방과학연구소

접수일자 2022년 8월 19일, 수정완료 2022년 9월 19일

게재확정일자 2022년 10월 7일

Received: 19 August, 2022 / Revised: 19 September, 2022 /

Accepted: 7 October, 2022

*Corresponding Author: dongju.lee@lignex1.com

Dept of RF Seeker R&D Lab, LIG Nex1 Co., Ltd. Korea.

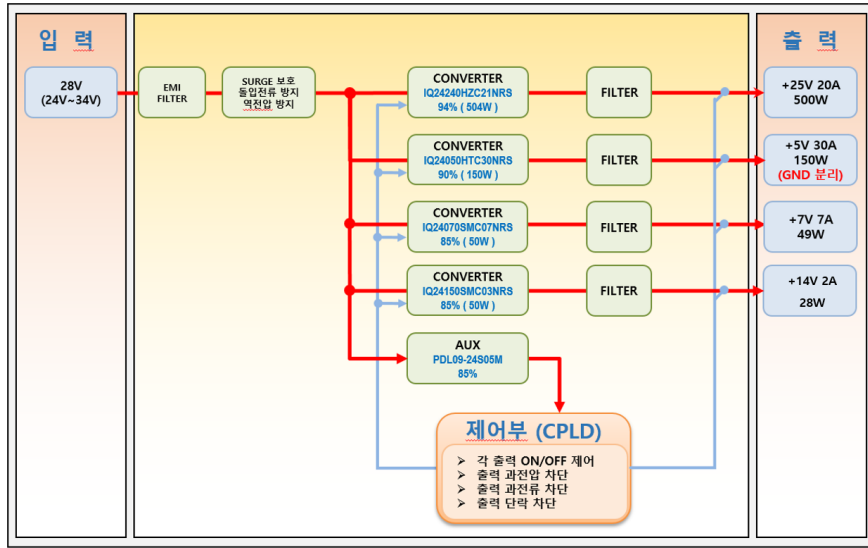


그림 1. 전원공급기 구조 개념도
Fig. 1. Conceptual diagram of power supply architecture

입력단에서는 EMI 규격을 충족하기 위해 EMI 필터가 요구되며^{[3][7]}, 서지전압 보호회로 및 넓은 입력전압 범위에서 정상 동작하기 위한 DC-DC 컨버터들이 요구된다. 출력단에서는 구성품의 손상 방지를 위하여 과전압/과전류 및 단락 차단 기능을 가져야하며, 이상동작시 원 인파악을 위한 출력전압에 대한 실시간 모니터링 기능이 필요하다.

본 연구에서는 제한된 공간 내에서 Ka-대역 추적 레이다의 요구사항인 전압안정도 및 시스템 효율을 달성하기 위한 최대 출력 727 W급 전원공급기 설계내용을 기술한다.

II. 전원공급기 설계

1. 하드웨어 구성 및 사양

아날로그/디지털 회로들에 전원을 공급하기 위한 전원공급기 개념도를 그림 1에 나타내었다. 외부에서 +28VDC 전원을 입력받아 EMI 필터 및 서지전압 보호 회로를 통과한 뒤 레이다에 필요한 4종의 전원으로 강압하여 출력하며, 각 출력전압 결과값은 분압회로를 통해 제어부로 입력받아 실시간 모니터링 및 각 출력전원 제어를 수행한다. 전원공급기의 주요 사양을 표 1에 요약하였다.

표 1. 전원공급기 주요 사양
Table 1. Specifications of power supply

항목	사양
입력전압	24.0~34.0 VDC
출력전원(4종)	+25VTX,+5VD,+14VA,+7VA
EMI 전도방사	MIL-STD-461G CE102
목표 효율	85% 이상 (@100% 부하)
전압 안정도	±2% 이내
점검 기능	출력전원 실시간 모니터링

표 1의 주요 사양 충족을 위해 EMI 필터, 전원변환회로 및 제어부를 설계하였으며, 입력전압은 EMI 필터 통과 후 전원변환회로로 인가되며 24~34 V 범위 내에서 정상 동작하여야 한다.

2. 전원변환회로

서지전압 보호회로 및 soft start 회로를 그림 2에 나타내었다. 입력단의 DC 전압을 안정화시키기 위함이며, RC 시정수값으로 출력시간을 조정할 수 있다.

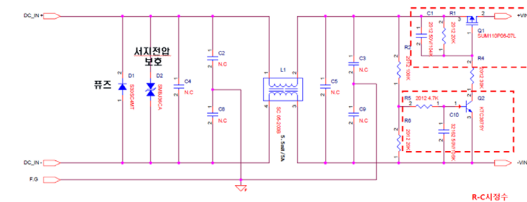


그림 2. 서지전압 보호 및 soft start 회로
Fig. 2. Circuits for surge protection and soft start

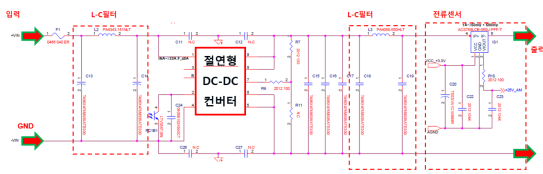


그림 3. 절연형 DC-DC 컨버터 회로도
 Fig. 3. Circuit diagram of isolated DC-DC converter

그림 3은 절연형 DC-DC 컨버터의 회로도이다. 출력 전원 생성을 위해 DC-DC 컨버터 4종을 적용하였으며, 출력전원 중 디지털 전원인 +5V_D의 그라운드 경로를 분리하여 다른 아날로그 전원들과의 간섭을 최소화하였다. 출력전원의 전압 안정도 증축 및 잡음레벨 최소화를 위해 각 DC-DC 컨버터의 입출력단에 LC필터를 적용하였고, 출력단에 전류센서를 적용하여 출력전류를 모니터링 할 수 있도록 설계되었다. 출력전압의 상태를 모니터링 하기 위해서 그림 4와 같이 별도회로를 구성하였다.

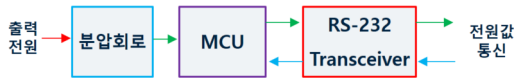


그림 4. 출력 모니터링 블록도
 Fig. 4. Block diagram of output monitoring

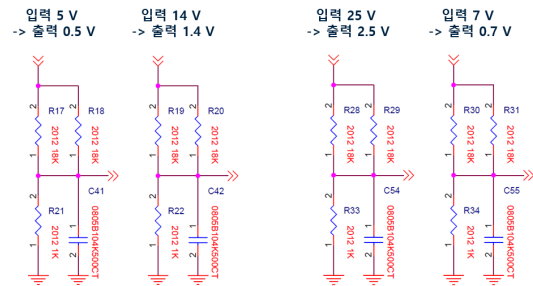


그림 5. 분압회로
 Fig. 5. Voltage divider circuit

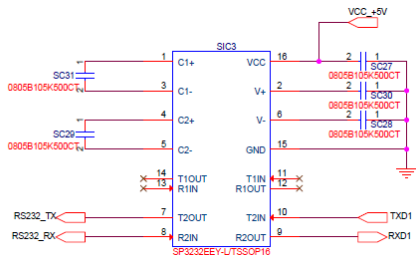


그림 6. RS-232 송수신기
 Fig. 6. RS-232 Transceiver

출력 모니터링 블록도를 그림 4에 나타내었다. 출력전원 값에 대한 실시간 모니터링을 수행하여 분압회로를 통해 점검값을 MCU (MicroController Unit)에 업데이트하며, 출력요청시 저장된 데이터를 직렬통신방식으로 내보낸다. 분압회로는 그림 5와 같이 4종의 출력전원값을 저장분배를 통하여 MCU가 처리할 수 있는 전압값으로 변환하는 역할을 수행하며, 해당값들은 통신 요청시 그림 6의 RS-232 송수신기를 통해 RS-232 통신방식으로 점검값을 출력한다.

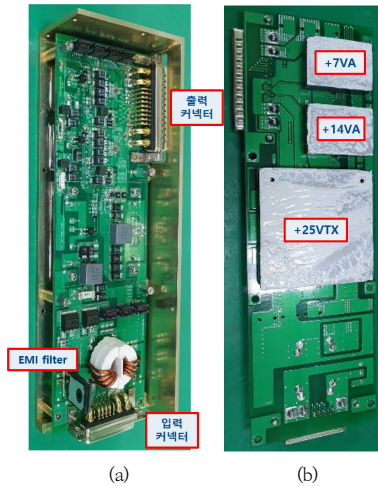


그림 7. 주 회로카드조립체 (a) 앞면 (b) 뒷면
 Fig. 7. Main PCB Assembly (a) Front side (b) Back side

그림 7은 주 회로카드조립체의 제작형상을 나타내고 있다. Combo 타입의 D-sub 입출력 커넥터를 적용하여 파워핀에 출력전류가 큰 +25V_{TX} 및 +5V_D 전원을 할당하였으며, DC-DC 컨버터들의 상단면이 하우징과 맞닿을 수 있도록 하우징 두께를 조절하여 방열효율을 극대화하였다.

III. 측정 결과

제안된 구조를 검증하기 위한 측정셋업을 그림 8에 나타내었다. DC 전원공급기에서 입력단에 +28V_{DC} 전원을 공급하며, 각 출력단에 전자부하를 연결하여 최대 출력전류를 설정한 뒤 입력전압의 변동에 따른 출력특성을 측정하였다. 전압 안정도 및 잡음레벨 값은 멀티미터와 오실로스코프로 각각 측정하며, 출력전원 점검값은 직렬통신방식으로 PC 모의프로그램에서 확인한다.

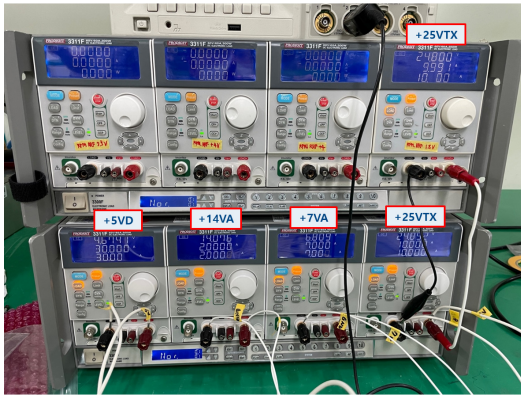


그림 8. 측정 셋업
Fig. 8. Measurement setup

표 2. 출력전원 측정값
Table 2. Measured output voltages

출력전원	측정전압(V)	전압변동(%)	출력전류(A)	잡음(mVpp)
+25VTX	24.99	-0.04	20	54
+5VD	4.95	-1	30	42
+14VA	14.03	+0.21	2	50
+7VA	6.94	-0.85	7	42

그림 8의 전자부하 출력전압값은 전선의 전압손실이 포함되어 있으므로 정확한 측정을 위해 출력커넥터에서 측정된 결과값을 표 2에 요약하였다. 입력전압 +28 V 기준으로 입력전류 29.31 A이며, 표 2 분석 결과 약 88.4 % 효율로 계산되었다. 요약하면 출력전원들이 100 % 부하가 걸릴 때 목표치인 시스템 효율 >85 %, 전압 안정도 ± 2 %, 잡음레벨은 전압값의 <1 % 를 달성하였다.

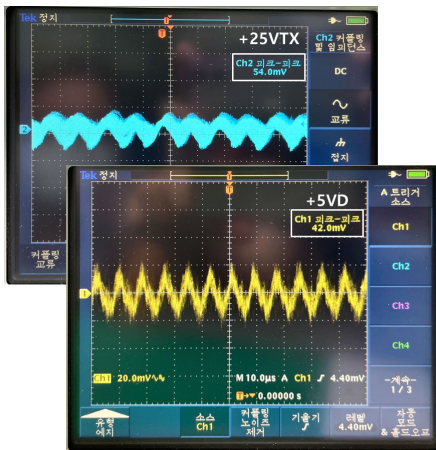


그림 9. +25VTX, +5VD 출력전원 잡음레벨 측정 결과
Fig. 9. Measured noise level of +25VTX, +5VD outputs

그림 9는 4종의 출력전원이 100 % 부하 조건일 때 소모전류가 가장 큰 출력전원 2종의 잡음레벨을 오실로스코프에서 측정한 결과이다. 각 출력전원은 스위칭 방식의 DC-DC 컨버터를 적용하여 구현되었으므로 리플 형태의 잡음이 발생하지만, +25VTX 전원의 경우 54 mVpp, +5VD 전원의 경우 42 mVpp로 허용치인 <1 % 이내의 수치를 기록하였다. 다른 출력전원의 잡음레벨 또한 기준치인 전압값의 <1 % 이내로 요구사항을 충족함을 확인하였고 표 2에 요약하였다.

IV. 결론

본 논문에서는 Ka-대역 밀리미터파 추적 레이더에 적용 가능한 전원공급기를 제안하였다. 시스템 효율, 전압 안정도 및 잡음레벨 요구사항을 만족하면서 방열효율을 개선하기 위해 하우스 형상을 방열판으로 고려하여 일체형으로 설계하였다. 제작된 전원공급기에 입력전압 +28VDC 인가시 시스템 효율 약 88.4 %, 전압 안정도 ± 2 %, 잡음레벨은 전압값의 <1 % 특성을 확인하였다.

References

- [1] R. V. White, "Emerging on-board power architectures," Eighteenth Annual IEEE Applied Power Electronics Conference and Exposition, APEC '03., Miami Beach, pp. 799-804, vol.2, 2003. DOI: <https://doi.org/10.1109/APEC.2003.1179308>
- [2] D. Lee *et al.*, "Development of Power Supply for Millimeter-wave Tracking Radars", The Journal of The Institute of Internet, Broadcasting and Communication(JIIBC), Vol. 21, No. 4, pp. 123-127, Aug. 2021. DOI: <https://doi.org/10.7236/IJIBC.2021.21.4.123>
- [3] H.-B Song, J. Jeong, "The Implementation of Smart Plug-in Switching Mode Power Supply", The Journal of KIIT, Vol. 16, No. 2, pp. 17-27, 2018. DOI: <https://doi.org/10.14801/jkiit.2018.16.2.17>
- [4] J.-H. Lee *et al.*, "Design and fabrication of Ka-band 100W SSPA using spatial combiner", The Journal of The Institute of Internet, Broadcasting and Communication(JIIBC), Vol. 22, No. 1, pp. 35-43, Feb. 2022. DOI: <https://doi.org/10.7236/IJIBC.2022.22.1.35>
- [5] J.-H. Lee *et al.*, "Design and Fabrication of 200W SSPA in Ka-band", The Journal of KIIT, Vol. 20, No. 2, pp. 79-88, 2022. DOI : <https://doi.org/10.14801/jkiit.2022.20.2.79>

- [6] M.-H. Lee *et al.*, "Receiver for Ku-band Compact Doppler Radar", The Journal of The Institute of Internet, Broadcasting and Communication(IIBC), Vol. 20, No. 1, pp. 89-93, Feb. 2020.
DOI: <https://doi.org/10.7236/IIBC.2020.20.1.89>
- [7] Y.-S. Mo, H.-J. Song, "Design and Reliability Evaluation of 5-V output AC-DC Power Supply Module for Electronic Home Appliances", Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society(JKAIS), Vol. 18, No. 4, pp. 504-510, 2017.
DOI: <https://doi.org/10.5762/KAIS.2017.18.4.504>

저 자 소 개

이 등 주(정회원)



- 2005년 8월 : 충남대학교 전자공학과 (공학사)
- 2008년 2월 : 광주과학기술원 전기전자컴퓨터공학부 (공학석사)
- 2016년 8월 : 광주과학기술원 전기전자컴퓨터공학부 (공학박사)
- 2016년 9월 ~ 현재 : LIG넥스원(주) 선임연구원

• 주 관심분야 : mm-Wave MMIC 및 시스템 설계

안 세 환(정회원)



- 2004년 2월 : 숭실대학교 정보통신공학과 (공학사)
- 2006년 2월 : 숭실대학교 정보통신공학과 (공학석사)
- 2007년 1월 ~ 현재 : LIG넥스원(주) 수석연구원

• 주 관심분야 : 초고주파 회로 설계, 마이크로파 송수신기

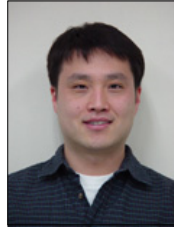
주 지 한(정회원)



- 2002년 8월 : 충북대학교 전파공학과 (공학사)
- 2004년 8월 : 광운대학교 전파공학과 (공학석사)
- 2008년 8월 : 광운대학교 전파공학과 (공학박사)
- 2008년 7월 ~ 현재 : LIG넥스원(주) 수석연구원

• 주 관심분야 : 레이더 시스템, 마이크로파 신호처리

권 준 범(정회원)



- 1997년 2월 : 연세대학교 전기전자공학과 (공학사)
- 1999년 2월 : 포항공과대학교 전자전기공학과 (공학석사)
- 1999년 2월 ~ 현재 : LIG넥스원(주) 연구위원

• 주 관심분야 : 레이더 시스템, 마이크로파 신호처리

서 미 희(정회원)



- 2006년 2월 : 고려대학교 물리학과(이학사)
- 2013년 2월 : 한국과학기술원 물리학과 (이학박사)
- 2013년 3월~현재 : 국방과학연구소 선임연구원

• 주 관심분야 : 초고주파 레이더 시스템, 송수신기