

https://doi.org/10.7236/JIIBC.2021.21.4.123  
JIIBC 2021-4-18

## 밀리미터파 추적 레이더용 전원공급기 개발

# Development of Power Supply for Millimeter-wave Tracking Radars

이동주\*, 최진규\*, 주지한\*, 권준범\*, 변영진\*\*

Dongju Lee\*, Jinkyu Choi\*, Ji-Han Joo\*, Jun-Beom Kwon\*, Young-Jin Byun\*\*

**요약** 밀리미터파 추적 레이더는 다양한 환경조건에서 운용 가능해야하므로 기존의 추적 레이더에 비해 동등 이상의 연산능력 및 소형화를 요구한다. 본 논문에서는 밀리미터파 추적 레이더에 적용하기 위한 소형 전원공급기 설계 및 구현 방안에 대해 기술한다. FPGA/DSP 등 디지털회로의 저전압/고전류 및 전압 정밀도 요구사항 충족을 위해 Point of Load (POL) 컨버터를 적용하였으며, 전력밀도를 향상시키고 시스템 효율을 개선할 수 있다. 부하가 크지 않은 출력전압에는 LDO (Low Dropout) 등을 적용하여 최대 출력 375 W, 출력 전원 8종의 단일 입력-다중 출력 전원공급기를 개발하였다. 최대 부하 조건에서 전압정밀도  $< \pm 2\%$ , 잡음레벨  $< 50$  mVpp 특성을 확인하였다.

**Abstract** Millimeter-wave tracking radars should be operated in various environmental restrictions, thus they demand more computing power and smaller size compared to conventional tracking radars. This paper presents the design and implementation of the compact power supply for millimeter-wave tracking radar applications. To meet requirements of low voltage/high current and voltage accuracy for FPGA/DSP digital circuits, Point of Load (POL) converters are used in order to enhance power density and system efficiency. LDO (Low Dropout) is applied for the output voltage under the light load condition, then the single-input-multi-output power supply with max power of 375 W and 8 outputs is developed. The proposed power supply achieves output voltage accuracy of  $\pm 2\%$  and noise level of  $< 50$  mVpp % under full load conditions.

**Key Words** : power supply, POL, point of load, DC-DC converter

## 1. 서 론

반도체 미세공정의 발전으로 gate length가 줄어들면서 동작전압이 낮아지고 집적도가 증가하는 추세이다. 특히 FPGA, DSP 등 일부 디지털 회로들은 저전압/고전류 특성의 전원을 요구하는데 (1.0 V - 3.3 V), DC-DC

컨버터에서 이런 저전압/고전류 부하에 바로 전원을 공급할 때 잠재적인 문제를 일으킬 수 있다. 예를 들어 28 V 입력전압을 DC-DC 컨버터를 통해 1 V 전압 등으로 바로 변환 시, 부하까지 연결되는 경로가 수백 mm 이상일 경우 고전류가 흐르는 패턴에서 원치 않는 전압 드랍이 발생하여 전압 품질이 저하될 수 있다<sup>[1]</sup>. 또한 부하별

\*정회원, LIG넥스원(주)

\*\*비회원, 국방과학연구소

접수일자 2021년 5월 18일, 수정완료 2021년 7월 2일  
게재확정일자 2021년 8월 6일

Received: 18 May, 2021 / Revised: 2 July, 2021 /

Accepted: 6 August, 2021

\*Corresponding Author: dongju.lee@lignex1.com

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

로 절연형 타입의 DC-DC 컨버터가 요구되므로 공간활용 및 배치 측면에서 효율적이지 않다. 이와 같은 문제를 개선하기 위해 POL (Point of Load) 컨버터를 이용한 분산 버스 구조가 사용되고 있으며<sup>[1][2]</sup>, 여러 개의 POL 컨버터들을 활용한 일반적인 분산 버스 구조 개념도를 그림 1에 나타내었다.

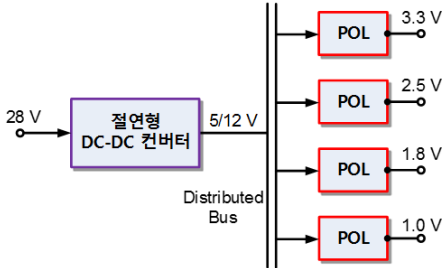


그림 1. Point of Load (POL) 분산 버스 구조 개념도  
Fig. 1. Conceptual diagram of Point of Load (POL) distributed bus architecture

그림 1에서 입력전압 28 V를 받아 중간전압으로 변환하여 분산 버스를 통해 여러 POL 컨버터에 전압을 공급하며, 각 POL 컨버터에서 부하별 출력 전압으로 최종 변환하여 공급한다. 이 구조의 특징점은 다음과 같다.

- 1) 입력 컨버터가 절연형 타입이므로, 2번째 컨버터부터는 비절연형 POL 컨버터를 사용할 수 있어 크기를 줄일 수 있으며, 출력컨버터에 가능한 가까이 배치할 수 있어 전력 손실을 줄일 수 있다. 단, 절연형 컨버터는 모든 출력전원을 감당하므로 높은 효율을 가져야 한다.
- 2) 입력전원 28 V를 받아 2번 이상 변환하므로 컨버터별로 입력출력 전압의 비율을 줄일 수 있어 효율을 개선할 수 있다. 또한 POL 컨버터의 허용 입력전압의 범위가 넓으므로 분산 버스의 중간전압이 고정일 필요가 없으며 (5/12 V 가능), POL 컨버터의 사양 및 효율 등을 고려하여 최적의 값으로 선정할 수 있다.

그림 1의 분산 버스 구조에서 전압 안정도 요구치가 높지 않다면 중간전압을 필터링하여 바로 출력할 수 있다. 저전압/고전류 출력을 요구하는 부하에는 소형 및 고효율 특성의 buck 컨버터 (스위칭 레귤레이터) 적용이 가능하며<sup>[1][2][3]</sup>, 스위칭 주파수가 수 MHz 이상인 레귤레이터 사용 시 소자의 크기를 줄일 수 있지만 스위칭 손실이 증가하게 된다. 입력전압 대 출력전압의 비율이 크지 않은 출력전원에는 LDO (Low Dropout) 리니어 레귤레이터 등을 선택적으로 적용하여 발열을 최소화하며 리플을 억제할 수 있다. 컨버터들의 출력단 리플 억제를 위해 LC 필터를 적용하였고, EMI 규격<sup>[4]</sup> 충족을 위해 28 V

입력단에 EMI 필터를 적용하였다.

본 연구에서는 제한된 공간 내에서 밀리미터파 추적 레이더의 요구사양을 만족하는 최대 출력 375 W급 전원 공급기 설계내용을 기술하였다.

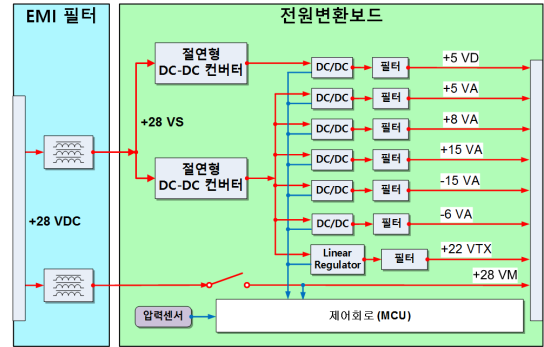


그림 2. 제안하는 전원공급기의 블록 다이어그램  
Fig. 2. Block diagram of proposed power supply

## II. 전원공급기 설계

### 1. 하드웨어 구성 및 사양

그림 2는 개발된 전원공급기의 블록 다이어그램이다. 외부에서 +28VDC 전원을 입력받아 EMI 필터를 통과한 후 레이더에 필요한 7종의 전원으로 강압하여 출력하며, 예외적으로 +28VM 전압은 별도의 전압강하 없이 EMI 필터를 통과하여 출력한다. 각 출력전압 및 입력센서 결과값은 분압회로를 통해 MCU (MicroController Unit)로 입력받아 실시간 모니터링을 수행한다. 전원공급기의 주요 사양을 표 1에 요약하였다.

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

항목	사양
입력전원	+28VDC
출력전원(8종)	+5VD, +5VA, +8VA, ±15VA, -6VA, +22VTX, +28VM
EMI 전도방사	MIL-STD-461G CE102
목표 효율	80% 이상 (@100% 부하, 28VM 제외)
전압 안정도	±2% 이내
점검 기능	출력전원 실시간 모니터링

표 1의 주요 사양 충족을 위해 EMI 필터보드 및 전원 변환보드로 분리하였으며, +28VDC 입력전압은 EMI 필터보드 통과 후 전원 변환보드로 인가된다.

## 2. EMI 필터보드

EMI 전도방사 규격을 만족하면서 입력커패시터를 통한 잡음 유입 및 컨버터에서 발생하는 잡음 유출을 최소화하기 위해 입력단에 EMI 필터를 설계하였다<sup>[5][6]</sup>.

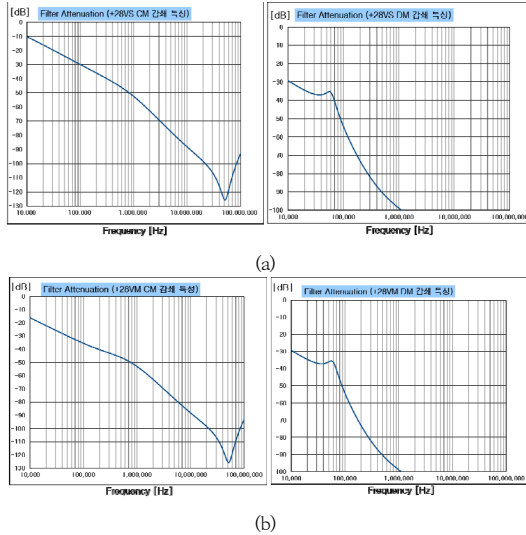


그림 3. EMI 필터 감쇄특성 시뮬레이션 결과 (10 k~100 MHz):  
 (a) +28VS EMI 필터 (b) +28VM EMI 필터  
 Fig. 3. Simulated attenuation of EMI filters (10 k~100 MHz):  
 (a) +28VS EMI filter (b) +28VM EMI filter

설계된 EMI 필터들의 Common Mode 및 Differential Mode 감쇄특성을 그림 3에 나타내었다. +28VS 및 +28VM 전원의 부하 특성을 고려하여 다른 감쇄특성을 가지도록 설계되었으며, EMI 전도방사 규격인 MIL-STD-461G CE102 항목을 만족하도록 common mode choke와 X, Y 커패시터 값을 최적화하였다.

## 3. 전원변환보드

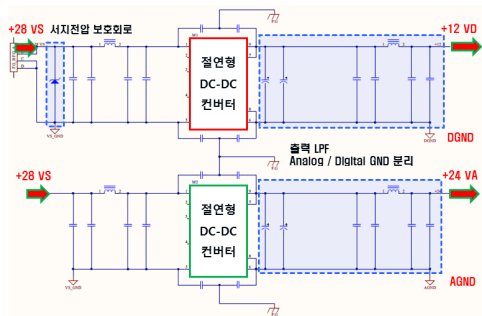


그림 4. 절연형 DC-DC 컨버터 회로도  
 Fig. 4. Circuit diagram of isolated DC-DC converter

그림 4는 절연형 DC-DC 컨버터의 회로도이다. 입력단에 서지전압 보호회로를 갖추고 있으며, 절연형 컨버터를 사용하여 입출력간 전기적인 절연을 제공한다. 출력전원 중 신호처리기<sup>[7]</sup> 요구전원인 +5VD는 유일한 디지털 전원이므로 소모전력을 공급하면서 다른 아날로그 전원들과 분리시키기 위해 별도의 절연형 컨버터를 입력단에 적용하였다. 절연형 컨버터 2종은 +28VS 전압을 입력받아 각각 +12VD, +24VA 중간전압을 출력하며, 컨버터의 출력단과 연결되는 POL 컨버터들의 DGND와 AGND 그라운드 경로를 분리시켜 간섭을 최소화하였다. POL 컨버터 출력전원의 전압 안정도 증축 및 잡음레벨 최소화를 위해 출력단에 LC필터 및 피드스루를 적용하였다.



그림 5. 출력 모니터링 블록도  
 Fig. 5. Block diagram of output monitoring

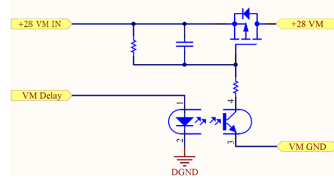


그림 6. 전원 순서 제어회로  
 Fig. 6. Power sequence controller circuit

그림 5는 출력 모니터링 블록도이다. 출력전원이 정상 범위 내에 있는지 실시간 모니터링을 수행하여 점검값을 MCU에 저장하며, 출력요청 시 직렬통신방식으로 점검값을 신호처리기에 전달한다. 분압회로의 정확도를 감안하여 점검값과 실제 측정값과의 오차는 5% 이내로 관리한다.

전원 순서 제어회로를 그림 6에 나타내었다. MOS 스위치의 디플트상태는 OFF이며, MCU에서 생성된 제어 신호 VM Delay를 포토커플러에서 받아 MOS 스위치가 ON되면 +28VM 출력이 순차적으로 나오게 되므로 오작동으로 인한 회로손상을 방지할 수 있다.

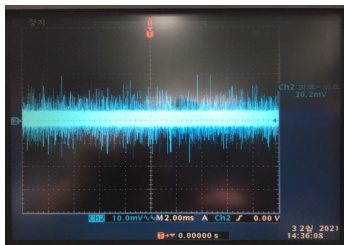
## III. 측정 결과

제안된 구조를 검증하기 위한 측정셋업을 그림 7에 나

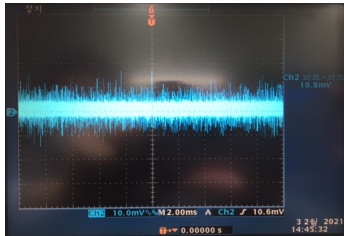
타내었다. DC 전원공급기에서 +28VDC 전원을 공급하며, 출력단에 전자부하를 연결하여 원하는 출력전류를 설정한 뒤 입력전압의 변동에 따른 출력특성을 측정하였다. 전압 안정도 및 리플값은 멀티미터와 오실로스코프로 측정하며, 출력전원 점검값은 직렬통신방식으로 PC 모의프로그램에서 확인한다.



그림 7. 측정 셋업  
Fig. 7. Measurement setup



(a)



(b)

그림 8. 출력전원 리플 측정 결과: (a) +5VA (b) +22VTX  
Fig. 8. Measured ripple level of output voltages: (a) +5VA (b) +22VTX

그림 8은 100 % 부하 조건에서 출력전원 리플값 측정 결과이다. +5VA 출력 POL 컨버터로 스위칭 레귤레이터를 적용하여 >90 % 효율을 가지며, 리플 억제에 의해 출력단에 LC 필터 및 피드스루를 추가하였다. +22VTX 전원에는 LDO를 적용하여 앞 단의 절연형 컨버터에서 발생하는 리플 노이즈를 억제하며, 입출력 전위차가 2 V 이내이므로 >90 % 효율을 가진다. 두 전원 다 리플 기준치인 <50 mVpp 를 충족하고 있다.

출력전원 측정값을 표 2에 요약하였다. 전체 효율은 표 2 분석결과 약 81 %이며, 모든 출력전원에 대해 목표치인 전체 효율 >80 %, 전압 안정도 <2 %, 리플 <50 mVpp 를 달성하였다.

표 2. 출력전원 측정값

Table 2. Measured output voltages

출력전원	측정전압(V)	전압변동(%)	출력전류(A)	리플(mVpp)
-15VA	-14.97	-0.2	1	28.2
+5VA	+4.941	-1.18	8.5	30.2
+5VD	+4.925	-1.5	33	26.8
+8VA	+7.95	-0.63	11	24.8
+15VA	+14.97	-0.2	1	25.4
-6VA	-5.925	-1.25	0.9	24.4
+22VTX	+22.14	+0.64	2	19.8

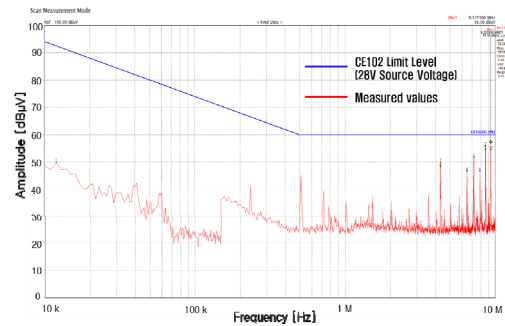


그림 9. EMI 전도방사 시험결과 (10 kHz to 10 MHz)

Fig. 9. EMI Conducted Emissions Test (10 kHz to 10 MHz)

MIL-STD-461G CE102 전도방사 특성 확인을 위해 EMC 챔버실 내에서 측정을 수행하였으며, 그림 9과 같이 9.32 MHz에서 피크치 56.56 dBμV를 기록하여 기준치인 <60 dBμV 를 충족함을 확인하였다.

## IV. 결 론

본 논문에서는 밀리미터파 추적 레이더에 적용 가능한 전원공급기를 제안하였다. 저전압/고전류 출력전원 및 전압 안정도, 리플 요구사항을 충족하면서 전력밀도를 향상시키고 효율을 개선하기 위해 POL 방식의 분산 버스 구조를 적용하여 설계하였다. 제작된 전원공급기에 입력전압 +28VDC 인가시 전체 효율 >80 %, 전압 안정도 <2 %, 리플 <50 mVpp 특성을 확인하였다.

## References

[1] J. Brown, "Point of Load Converters - The Topologies, Converters, and Switching Devices Required for Efficient Conversion", PCIM Conference, May 2002.

- [2] M. Mohammadi, M. Ordonez, "Resonant LLC bus conversion using homopolarity width control", IEEE ECCE, pp. 225-229, 2017.  
 DOI: <https://doi.org/10.1109/ECCE.2017.8095785>
- [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] MIL-STD-461G, "Requirements for The Control of Electromagnetic Interference Characteristics of Subsystem and Equipment", 2015.
- [5] H.-R. Kim *et al.*, "Developed power supply for small Millimeterwave(Ka band) radar", The Journal of The Institute of Internet, Broadcasting and Communication(IIBC), Vol. 19, No. 1, pp. 197-202, Feb. 2019.  
 DOI: <http://dx.doi.org/10.7236/IIBC.2019.19.1.197>
- [6] 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>
- [7] J.-K. Choi *et al.*, "A Design Study of Signal Processor for Small Tracking Radar", The Journal of The Institute of Internet, Broadcasting and Communication(IIBC), Vol. 20, No. 5, pp. 71-77, Oct. 2020.  
 DOI: <https://doi.org/10.7236/IIBC.2020.20.5.71>

### 저 자 소 개

#### 이 동 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

#### 최 진 규(정회원)



- 2004년 8월 : 원광대학교 전기전자공학과 (공학사)
- 2006년 8월 : 충남대학교 전자공학과 (공학석사)
- 2006년 8월 ~ 2008년 10월 : 한국해양연구원
- 2008년 10월 ~ 현재 : LIG넥스원(주) 수석연구원

• 주 관심분야 : 디지털 신호처리, 임베디드 시스템

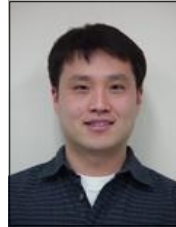
#### 주 지 한(정회원)



- 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

#### 변 영 진(비회원)



- 1984년 2월 : 서울대학교 전기공학과 (공학사)
- 1986년 2월 : 한국과학기술원 전기및전자공학과 (공학석사)
- 1986년 3월 ~ 현재 : 국방과학연구소 수석연구원

• 주 관심분야 : 레이더 시스템, 마이크로파 신호처리