

<https://doi.org/10.7236/JIIBC.2023.23.2.51>
JIIBC 2023-2-7

추적 레이더 시스템의 전자기파 내성 설계

Electromagnetic Susceptibility Design of Tracking Radar Systems

김홍락*, 김윤진**, 박성호**, 이만희**, 이다빈**

Hong-Rak Kim*, Youn-Jin Kim**, Seong-Ho Park**, Man Hee LEE**, Da-Been LEE**

요약 추적 레이더 시스템은 지상, 함정, 항공기 등에 탑재되어 운용되며 주변의 전자장치들과의 전자기파 간섭에 대한 내성 설계가 필요하다. 특히 함정에 설치되는 추적레이더 및 항공기에 탑재되는 추적레이더의 경우 주변 여러 장치들과 전원 라인과 통신 라인으로 전기적 연결이 되어 있다. 이러한 경우 추적레이더와 연결된 케이블에 의한 전자기파 간섭에 의한 다른 장비들의 오동작을 방지하기 위하여 케이블 연결에 대한 방사규격과 내성규격을 만족해야 한다. 또한 추적레이더에서 생성되어 방사되는 전자기파 잡음이 주변장치에 영향을 주지 않도록 방사 규격 또한 만족해야 하여 주변 장치에서 방사되어 입력되는 전자기파에 대한 내성 규격을 만족 해야 한다. 본 논문에서는 CE, CS, RE, RS를 포함하는 MIL-STD-461G를 만족하기 위한 설계를 제시하고 시험을 통하여 설계 만족에 대하여 설명한다.

Abstract The tracking radar system is installed and operated on the ground, ships, and aircraft, and requires a design to withstand electromagnetic interference with nearby electronic devices. In this case, radiation and immunity standards for cable connection must be satisfied to prevent malfunction of other equipment due to electromagnetic wave interference caused by cables connected to the tracking radar. The radiation standard must also be satisfied so that the electromagnetic wave noise generated and radiated from the tracking radar does not affect the peripheral device, so that the immunity standard for the electromagnetic wave emitted from the peripheral device must be satisfied. In this paper, we propose a design to satisfy MIL-STD-461G including CE, CS, RE, and RS, and explain design satisfaction through tests.

Key Words : aircraft, Ship, tracking radar, EMS(Electromagnetic Susceptibility), MIL-STD-461G

1. 서 론

소형 추적 레이더 시스템은 지상, 함정, 항공기 등에 탑재되어 항공기, 및 함정 표적을 탐지 및 추적 하기 위

한 추적 시스템으로 주변에 여러 장비들과 연동되어 운용된다. 연동을 위하여 전원선과 통신선들이 연결되어 있다. 이때 전기, 전자 기기에 전류가 흐르면 이 전류의 주위에는 전계와 자계가 유도된다. 전위차에 의해 생긴

*정회원, LIG넥스원(주) PGM탐색기연구소 (교신저자)

**정회원, LIG넥스원(주) PGM탐색기연구소

접수일자 2023년 3월 7일, 수정완료 2023년 4월 3일

게재확정일자 2023년 4월 7일

Received: 7 March, 2023 / Revised: 3 April, 2023 /

Accepted: 7 April, 2023

*Corresponding Author: hongrak.kim@lignex1.com

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

전계는 시간적으로 변화하면 그 주위에 전자기계가 발생한다. 전자파는 의도와 상관없이 여러 매질의 경로를 통하여 다른 기기에 장애를 주게 되며 다른 기기에 전달되면 성능의 저하나 오동작의 원인이 된다. 여러 장비들과의 연동시 EMI는 가장 큰 문제 중의 하나이다. 여러장비에서 사용되는 전원 장치들은 스위칭에 의한 전력변환으로 인해 많은 EMI를 발생된다. 통상적으로 EMI필터를 이용하여 1차적으로 전원쪽의 노이즈를 제거하며 나머지는 실딩된 케이블을 이용하여 EMI소스가 방사되는 것을 원천적으로 봉쇄하는게 일반적인 방법이다. 하지만 본질적으로 해결하기 위하여 노이즈 소스에 대한 대책, 경로 대책, 필터에 의한 대책등을 수립하게 된다.^{[1][2][3]} 이러한 각 대책들에 대해서 좀 더 정확한 분석을 통하여 EMI 노이즈를 공통모드와 차동모드로 분리하는 방법에 대해서 많은 연구들이 이루어졌다.^{[4][5][6][7]}

그림 1은 EMC의 분류를 보여주고 있다. EMC는 EMI와 EMS로 나누어지며 그 하부에 CE(전도 방사), RE(복사 방사), CS(전도 내성), RS(복사 내성) 으로 이루어지며 그림 2에 규제 주파수대역에 대하여 보여주고 있다. 군사용 레이더의 경우 MIL-STD-461G에 따라서 레이더의 모든 장치 또는 하위 시스템은 테스트를 받아야 한다. 이는 해당 장비가 설치 환경과 전기적으로 호환이 되는지를 확인하는 것이고, 다른 장비의 작동을 방해해서는 안 됨을 의미한다. 또한 성치 환경 내에서 전자기 소스가 있는 상태에서 안정적으로 동작해야 한다. 이를 확인하기 위하여 해당 장비 분류에 따라서 시험 방법과 규격이 정해져 있다.

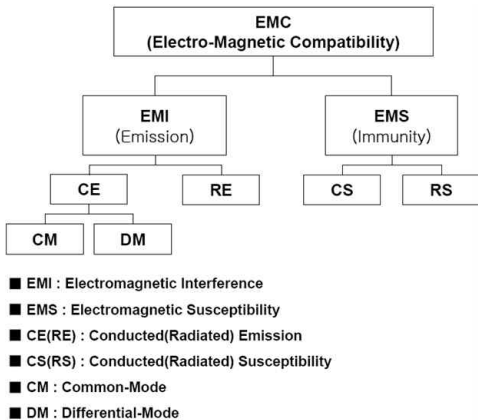


그림 1. EMC의 분류
Fig. 1. Classification of EMC

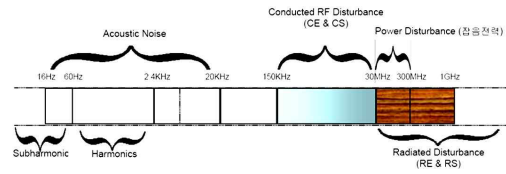


그림 2. 규제 주파수대역
Fig. 2. Regulated frequency band

그림 3은 방사와 내성 요구사항 항목과 정의에 대하여 보여준다. 총 19개의 각 항목들은 그림 4의 적용 플랫폼 혹은 장치에 따라서 수상함, 잠수함, 육군용 항공기, 해군용 항공기, 공군용 항공기, 항공우주시스템, 육군 지상, 해군 지상, 공군 지상으로 나누어 A(applicable), L(Limited as specified in the individual sections of this standard.), S(Procuring activity must specify in procurement documentation.)에 따라서 적용 된다. A는 필수항목이며, L은 장착위치에 따라서 제한적으로 적용가능하며, S는 조달문서에 명시된 조달 활동에 따른다. MIL-STD-461G에서는 CE102, CS101, CS114, RE102, RS103 5가지 항목은 모든 플랫폼에서 적용 되어야 하는 필수 항목들이다.

Requirement	Description
CE101	Conducted Emissions, Audio Frequency Currents, Power Leads
CE102	Conducted Emissions, Radio Frequency Potentials, Power Leads
CE106	Conducted Emissions, Antenna Port
CS101	Conducted Susceptibility, Power Leads
CS103	Conducted Susceptibility, Antenna Port, Intermodulation
CS104	Conducted Susceptibility, Antenna Port, Rejection of Undesired Signals
CS105	Conducted Susceptibility, Antenna Port, Cross-Modulation
CS109	Conducted Susceptibility, Structure Current
CS114	Conducted Susceptibility, Bulk Cable Injection
CS115	Conducted Susceptibility, Bulk Cable Injection, Impulse Excitation
CS116	Conducted Susceptibility, Damped Sinusoidal Transients, Cables and Power Leads
CS117	Conducted Susceptibility, Lightning Induced Transients, Cables and Power Leads
CS118	Conducted Susceptibility, Personnel Borne Electrostatic Discharge
RE101	Radiated Emissions, Magnetic Field
RE102	Radiated Emissions, Electric Field
RE103	Radiated Emissions, Antenna Spurious and Harmonic Outputs
RS101	Radiated Susceptibility, Magnetic Field
RS103	Radiated Susceptibility, Electric Field
RS105	Radiated Susceptibility, Transient Electromagnetic Field

그림 3. 방사와 내성 요구사항
Fig. 3. Emission and susceptibility requirements.

Equipment and Subsystems Installed In, On, or Launched From the Following Platforms or Installations	Requirement Applicability														
	CE101	CE102	CE103	CE104	CE105	CE106	CE107	CE108	CE109	CE110	CE111	CE112	CE113	CE114	CE115
Surface Ships	A	A	L	A	S	L	S	L	A	S	A	L	S	A	L
Submarines	A	A	L	A	S	L	S	L	A	S	L	S	A	L	S
Aircraft, Army, Including Flight Line	A	A	L	A	S	L	S	L	A	S	L	S	A	L	S
Aircraft, Navy	L	A	L	A	S	L	S	L	A	S	L	S	A	L	S
Aircraft, Air Force	A	L	A	S	S	S	S	A	A	L	L	A	A	L	A
Space Systems, Including Launch Vehicles	A	L	A	S	S	S	S	A	A	L	L	A	A	L	A
Ground, Army	A	L	A	S	S	S	S	A	A	L	L	A	A	L	A
Ground, Navy	A	L	A	S	S	S	S	A	A	L	L	A	A	L	A
Ground, Air Force	A	L	A	S	S	S	S	A	A	L	L	A	A	L	A

Legend:
 A: Applicable
 L: Limited as specified in the individual sections of this standard.
 S: Procuring activity must specify in procurement documentation.

그림 4. 요구사항 매트릭스.
 Fig. 4. Requirement matrix.

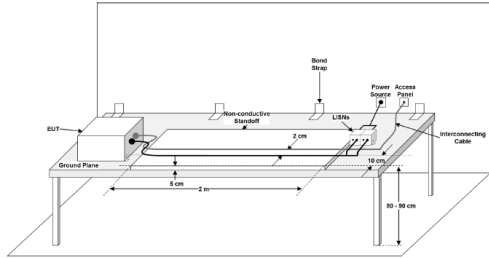


그림 5. 일반적 시험 셋업.
 Fig. 5. General test setup.

그림 5는 일반적 시험 셋업을 보여준다. 본 논문에서 적용하는 소형 추적레이다는 시험이 이루어지는 지상면에 설치된다. 적용되는 지상 평면은 금속 지상 평면을 사용해야 하고 면적은 2.25 m² 이상, 더 작은 쪽은 76 cm 이상이어야 한다. 케이블은 EUT와 배선된 다음 2 m 노출 후 전원 리드선은 가능한 한 짧은 거리에서 LISN에 연결된다. 이때 총 길이는 2.5 m를 초과할 수 없다. 모든 전원선은 나무 등 비전도성 재료로 지상평면에서 5 cm 높이를 유지해야 한다. 실제 적용되는 전원선이 twist wire로 구성된다면 LISN 까지 유지해야 한다. EUT는 기능 저하 또는 오작동의 징후에 대한 내성 테스트 중에는 모니터링이 되어야 한다. 일반적으로 BIT 테스트, 시각적 디스플레이, 청각적 출력 등 기타 측정이 가능한 방법을 사용하여 수행된다.

II. EMC 설계

1. 복사 방식, 복사 내성 설계

복사 방식은 전자 장치에서 의도하지 않은 전자기 에너지를 방사하는 것을 의미하며 영상처리기 내부의 영상 처리보드와 전원보드의 전원과 신호선에 의하여 DM (Differential Mode) noise와 CM(Common Mode) noise가 발생된다. 그림 6은 두 모드 노이즈의 경로를 보여 준다.

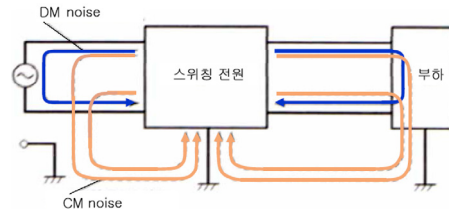


그림 6. DM 노이즈와 CM 노이즈 경로
 Fig. 6. DM noise and CM noise path

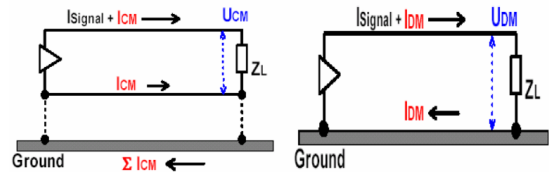


그림 7. Common Mode and Differential Mode Current flow
 Fig. 7. Common Mode and Differential Mode Current flow

그림 7은 모드별 전류 흐름을 보여 준다. DM 모드 noise는 스위칭 회로에서 발생하는 노이즈로 입, 출력단에 전달된다. CM 모드 noise는 장비의 히트싱크, 트랜스포머의 커패시턴스 패턴의 영향 등으로 DM Mode로 변환될 수 있다. 노이즈의 발생을 적게 해야만 전자기파의 영향을 최소화할 수 있고 CM 모드 전류를 억제해 해야만 노이즈를 저감할 수 있다. 이를 위해서 통신라인은 Differential Signaling으로 설계를 하였다. Differential signaling 구조는 differential pair의 각 line에 크기는 같고 위상이 180도 차이가 나는 신호를 입력하고 두 신호의 차를 전송하는 방법이다. single ended signaling 구조에 비해 신호선이 하나 더 필요하다는 단점이 있지만 수신단에서 differential pair의 차이를 검출하기 때문에 동위상이며 같은 크기의 CM 노이즈는 differential pair에 인가되면 쉽게 제거될 수 있다. 이

떻게 발생된 노이즈는 여러 경로를 통해서 복사되어 다른 장비에 영향을 줄 수 있다. 이러한 CM 모드 노이즈와 DM 모드 노이즈를 최소화하는 설계가 기본적으로 필요하고 노이즈가 외부로 복사되어 나가지 못하도록 차폐구조로 설계가 필요하다. 그림 8은 레이더의 구성품들을 보여주고 있다. 모두 차폐구조로 되어 있으며 외부와 연결되는 마이크로 컨넥터 역시 그림 9와 같이 백셀을 적용한 차폐구조로 되어 있다. 케이블 내부는 전원과 신호선들로 구성이 된다. 케이블의 신호와 전원은 분리 배치를 하고 디지털 신호와 전원신호는 리턴과 twist wire로 구성한다. 그림 10은 케이블 배선도를 나타내고 있다. 백셀이 적용되어 있으며 신호선과 전원선은 twist wire로 구성되어 있고, 전체 shield 처리되어 있어서 노이즈가 방사되는 것을 방지하고, 외부로부터 방사 노이즈가 침투하지 못하도록 막고 있다.

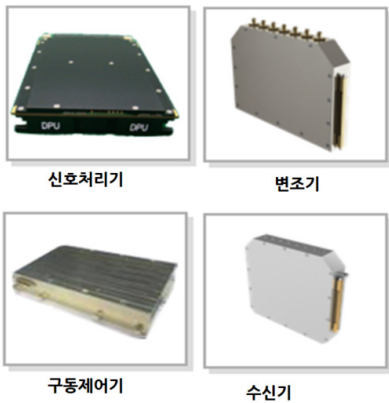


그림 8. 차폐구조의 구성품
Fig. 8. Components of the shielding structure



그림 9. 차폐구조의 케이블
Fig. 9. Cables of the shielding structure

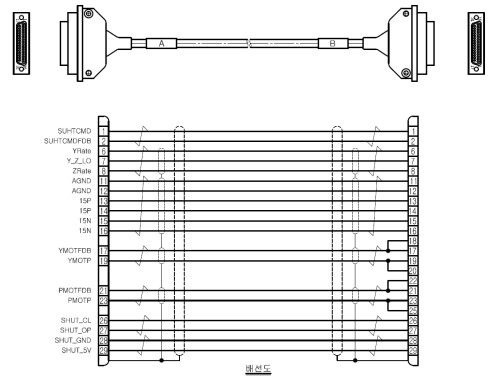


그림 10. 케이블 배선도
Fig. 10. Cable wiring diagram

복사 방사에 대한 시험규격 및 방법은 MIL-STD-461G의 RE101, RE102, RE103 이 있다. RE101은 전기 케이블 인터페이스를 포함한 장비 및 하위 시스템의 복사 방사에 대해 30MHz에서 100kHz 까지 적용이 된다. 안테나 방사에는 적용되지 않는다. RE102는 EUT 및 케이블의 전기장 방출에 적용된다. 주요 목적은 수신기와 관련된 안테나 및 결합된 간섭으로부터 민감한 수신장치를 보호하는 것이다. 본 장비는 Aircraft에 장착되는 추적레이더로 2MHz에서 18GHz 까지 적용하며 송신기 기본 주파수와 대역폭에는 적용되지 않는다. 그림 11은 CE102 제한 규격을 보여주고 있다.

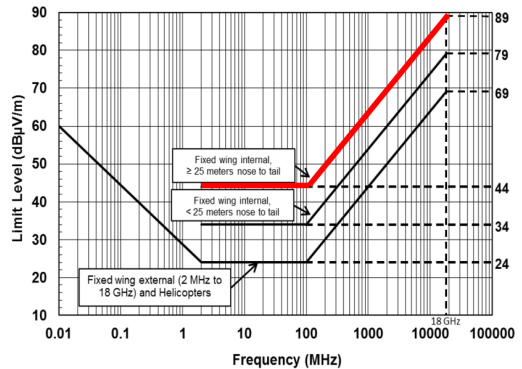


그림 11. CE102 제한
Fig. 11. CE102 limit

복사 내성에 대한 시험규격 및 방법은 MIL-STD-461G의 RS101, RS103, RS105가 있다. RS101은 Flight Line를 포함하는 Aircraft, Army에 적용하는 것으로 본 장비는 해당이 되지 않는다. RS103은 장비 및 하위 시스템

템 인클로저 및 모든 상호 연결 케이블에 적용됩니다. 30MHz ~ 18GHz 에 적용됩니다. 영구적으로 안테나가 부착된 수신기를 보유한 EUT의 경우 수신기 작동 대역에 대한 성능 감소는 허용됩니다. EUT 자체에 대해서는 동작에 영향이 없도록 차폐구조로 설계 및 제작이 되었습니다. 케이블에 의한 영향은 차동모드 노이즈와 유사하게 Xc와 Yc를 통하여 필터링 되도록 설계하였다.

2. 전도 방사, 전도 내성

전도 방사에 대한 시험규격 및 방법은 MIL-STD-461G의 CE102, CE106이 적용된다. 레이더 시스템의 경우 EUT에 영구적으로 장착된 안테나로 설계된 장비이므로 적용되지 않는다. CE102 요구사항만 충족되면 된다. EUT가 다른 소스에서 전원과 리턴을 포함한 모든 전원 리드에 대해 10kHz ~ 10MHz에 적용된다. 레이더 내부에서 생성된 잡음이 전원케이블을 통하여 외부로 전도되어 케이블을 통하여 방사되는 신호의 세기를 규격내로 충족 시켜야 한다. 이를 위하여 전원 입력단에 EMI 필터 설계가 매우 중요하다. EMI 필터는 입력쪽 임피던스와 출력쪽 임피던스에 따라서 크게 4가지 타입으로 나누어진다.

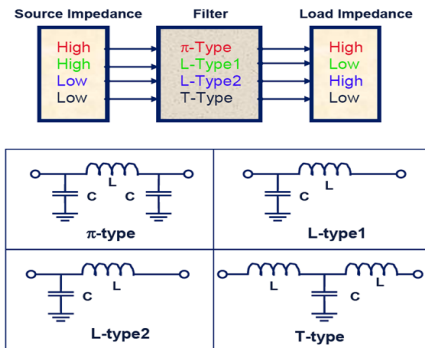


그림 12. 임피던스 별 EMI 필터 타입
 Fig. 12. EMI Filter type by impedance

EMI 필터를 선정시 그림 12와 같이 입력 임피던스가 크고 출력 임피던스도 클 경우 파이 타입이 적절하다. 본 논문의 추적 레이더의 경우 파이 타입으로 EMI 필터를 설계 및 제작 하였다. 특히 파이 파입은 고주파 신호가 C를 통해 접지로 보내지는 리턴 패스가 형성되어 있으므로 방사가 최소화 될 수 있다. 여기서 C를 큰 값의 전해 콘덴서를 사용하여 CS 규격을 만족 시키게 된다. 높은 주파수 대역에 대해서는 bypass 콘덴서를 이용하여 사

시로 빼주게 된다.

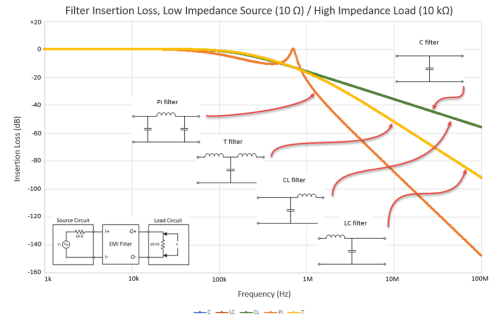


그림 13. 필터의 삽입 손실
 Fig. 13. Filter Insertion Loss

파이 파입 필터는 그림 13과 같이 입력 임피던스와 출력 임피던스가 높은 때 높은 주파수 대역에서 보다 효과적인 노이즈 감쇄를 구현할 수 있다. 그림 14는 공통모드 노이즈와 차동모드 노이즈를 최적으로 감쇄시키기 위해 선정한 EMI 필터의 형태를 보여주고 있다.

Xc는 낮은 영역의 차동모드 노이즈를 제거하기 위한 캐패시터이고 L은 낮은 영역의 공통모드 노이즈를 제거하기 위하여 초크 코일을 선정하였다.^{[16][17]} 공통모드 초크 코일은 원하는 DC 또는 저주파 신호를 통과시키면서 둘 이상의 데이터 또는 전원 라인에 공통적인 노이즈를 차단한다. 초크는 반대 방향으로 기전력을 발생시켜 전류 흐름의 급격한 변화가 있는 노이즈에 대해 제동 효과를 나타낸다. 그림 15는 제작된 초크 코일을 보여주고 있다. 공통 모드 초크는 본질적으로 그림 14와 같이 한 줄의 1차와 다른 줄의 2차와 연결된 1:1 절연 변압기이다. 그들은 두 라인 모두에서 흐르는 위상 전류(왼쪽에서 오른쪽으로)가 흐름에 반대되는 전압을 생성하고 반대 위상 전류(정상적인 전력선 전류)에 대한 반대가 생성되지 않도록 연결되어 있다. 이것은 보통 철 코어에 바이필라 권선으로 구성된다. 차동 전류에 대한 반대가 없기 때문에, 저장된 에너지가 없는 순 인덕턴스가 없고 라인 전류의 코어 포화 문제도 없다. 공통 모드 초크의 효과는 얇은 분산 커패시턴스, 1차에서 2차 누설 커패시턴스, 그리고 1차에서 2차 누설 인덕턴스에 의해 제한된다. 공통 모드 초크가 최대 1MHz 이상 유용하다[18]. Yc는 높은 영역에서의 공통모드 노이즈와 차동모드 노이즈 모두를 제거하기 위한 캐패시터이다. Yc는 안전의 문제로 일정 수준이상으로 값을 증가시킬 수 없으므로 초크 코일 인덕터의 값을 적절히 증가시켜야 한다.

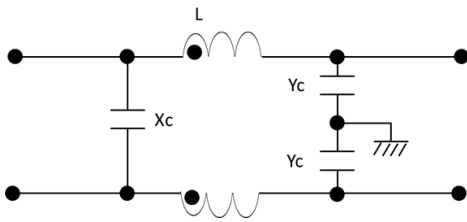


그림 14. 설계된 필터 회로 블록도
Fig. 14. Designed filter circuit block diagram



그림 15. 초크 코일
Fig. 15. choke coil

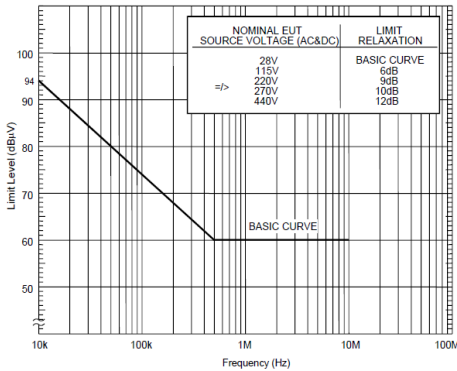


그림 16. CE102 제한
Fig. 16. CE102 limit

그림 16은 CE102 제한을 보여주고 있다. 초크 코일을 적용하여 1MHz 까지 규격을 만족시키고 Y 캡을 적용하여 10MHz 까지 만족시키도록 값을 설정하여 필터를 설계한다.

전도 내성에 대한 시험규격 및 방법은 MIL-STD-461G의 CS101, CS103, CS104, CS105, CS114, CS115, CS116, CS117, CS118이 해당된다. CS103, CS104, CS105는 조달문서에 명시된 조달활동에 따른다. CS103, CS104, CS105는 통신수신기, 음향 및 기타 수신기와 같은 장비 및 하위 시스템에 적용되는 것으로 해당되지 않는다. CS117은 장비 케이블의 유도 전류 또는

간접 번개의 영향으로 인한 절연 파괴에 대한 장치 허용 오차를 평가하는 것으로 본 장비는 외부 차폐구조로 유도 낙뢰 테스트는 불필요하다. CS118은 사람과 기계의 인터페이스 상황에서 정전기에 대한 영향을 평가하는 것으로 본 장비는 해당되지 않는다. CS101은 30Hz ~ 150kHz의 주파수 범위에 적용한다. CS114는 전원 케이블을 포함한 모든 연결케이블에 10kHz ~ 200MHz를 적용한다. CS115는 연결된 케이블에 임펄스 신호를 전달할 수 있는지를 검증한다. CS116은 연결된 케이블에 감쇠된 정현파 과도 현상을 견디는 기능을 테스트 한다. 이러한 요구사항을 충족하기 위해서는 EMI 필터의 타입 선정과 추가적인 필터 설계가 중요하다. 그림 17은 설계된 EMI 필터를 보여주고 있다.

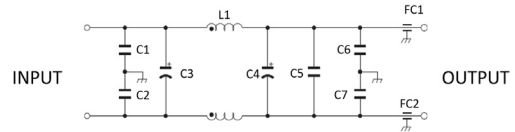


그림 17. 설계된 필터 회로 블록도
Fig. 17. Designed filter circuit block diagram

추적레이다의 전원은 전체 시스템에서 관리하고 00VDC를 받아서 추적레이다에 사용하게 된다. 필터 입력으로는 전원 신호의 개념으로 00VDC와 해당 전원 신호의 리턴 신호로 이루어진다. 별도의 리턴신호가 내부에서 사시와 접지는 없다. 입력된 전원신호는 DC-DC 변환기를 통하여 5V, 15V 등 낮은 전압으로 변환된다. DC-DC 변환기의 스위칭 주파수는 수백 kHz 대역이므로 이와 같은 낮은 주파수 대역의 공통모드 노이즈를 제거하기 위해서는 초크 코일 적용이 매우 적절하다. 그림 17에서와 같이 L1 초크 코일이 적용되어 있다.

전체 시스템과 연동시 전원 이외에 여러 통신 신호들과 연결이 된다. 이러한 통신 신호들은 수 MHz의 높은 주파수 대역의 노이즈를 발생시킨다. 이러한 노이즈를 적절히 제거하기 위하여 입력단에는 Yc로 C1, C2와 출력단에 Yc로 C6, C7을 적용하였다. 외부에서 입력되는 여러 차동모드의 잡음 신호와 추적레이다에서 발생한 차동모드 노이즈에 대해서는 낮은 주파수대역에 대해서는 높은 값의 Xc를 입력단과 출력단에 적용하였고, 높은 주파수 대역에 대해서는 높은 주파수 대역의 공통모드 노이즈를 제거하기 위하여 설계된 Yc를 통하여 제거할 수 있다.

III. 시험 결과

시험은 MIL-STD-461G의 권장된 그림 5와 같이 시험 셋업을 하여 수행한다. EUT에 연결된 케이블은 Ground Plane에서 Non-conductive Standoff를 적용하여 5cm 띄워 케이블을 최소 2m 노출 시킨다. 그림 18은 시험 셋업을 보여준다. 기본적으로 무반향 챔버에 설치된다.

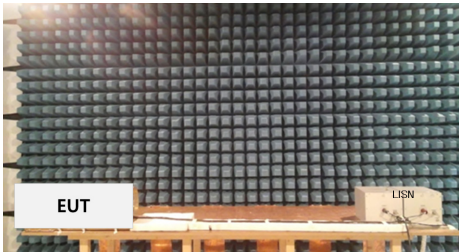


그림 18. 시험 셋업
 Fig. 18. Test Setup

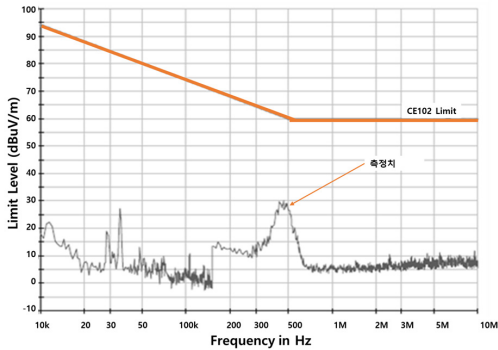


그림 19. CE102 시험 결과
 Fig. 19. CE102 Test Result

그림 19는 CE102 시험 결과이다. 규격대비 여유가 있는 결과가 도출되었다. 메인 시스템과 통신이 이루어지는 주파수 대역에서 잡음이 존재하지만 30dB정도 마진이 있다.

그림 20은 RE102에 대한 시험 결과이다. 레이더 신호 처리를 하는 보드의 여러 주파수들의 영향이 나타나지만 규격을 초과하지는 않았다.

전도 내성과 복사 내성에 대한 시험은 시험환경에서 외부에서 인가된 잡음에 의한 영향 하에서 레이더가 정상 동작하면서 요구된 규격을 만족되는지를 확인 되었다.

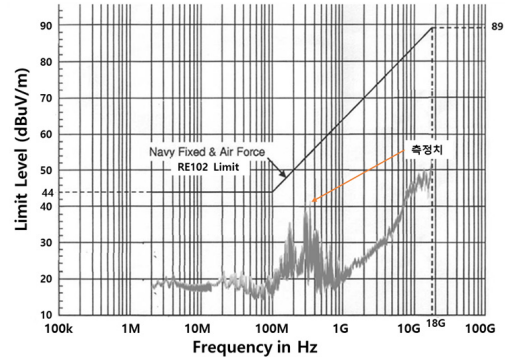


그림 20. RE102 시험 결과
 Fig. 20. RE102 Test Result

IV. 결론

본 논문에서는 소형 추적 레이더 시스템의 전자기파 간섭 설계를 진행하였다. 케이블로 연결되어 있는 전원과 통신 라인에 의한 영향인 전도 방사와 전도 내성에 대한 규격을 만족하기 위한 EMI 필터 설계와 결과에 대하여 설명하였고 전도 내성과 복사 내성의 규격을 만족하기 위한 세부 구성품 차폐설계와 케이블 차폐 설계에 대하여 설명하였다. 또한 시험을 통하여 MIL-STD-461G에 대한 규격 만족에 대하여 확인하였다.

References

- [1] Kim Jong-Hae, Won Jae-seon, "Power EMI Filter Technology Trend", Journal of the Korean Society of Power Electronics, Volume 24, No.4, pp 56-62, 2019.08.
- [2] Jeong Yong-chaee, "EMI Analysis and Solution for Low Power Switching Power Supply", Journal of the Korean Society of Power Electronics, Volume 6, No.2, pp.141-148, 2001.04.
- [3] Kim Hyung-geun, Bae Dae-hwan, Min Kyung-chan, Kim Dong-il, "Development of power cable for EMC countermeasures", Korea Communications Society, Proceedings of the Spring Conference of the Institute of Electronics Engineers, pp 107-113, 1995.6.
- [4] Bae Dae-hwan, Koo Dong-woo, "Design of Improved EMI Filter", Journal of the Korea Information and Communications Society Vol. 5, No 4, pp 798-806, 2001.07.
- [5] Sung Kyung-hoon, Kim Jae-kyung, "EMI power filter

and system ground design for reduction of EMI noises", Proceedings of the Korea Communications Society General Academic Conference(Fall), pp727-728, 2011.11.

[6] Choi Min-hwan, Shin Dong-seok, "A Study on Combining Circuit of New Active EMI Filter", Journal of Korean Society of Lighting and Electrical Equipment Vol. 29, No. 6, pp 78-89, 2015.06.

[7] Won Jae-sun, Kim Hee-seung, "EMI Filter for High Frequency Switching Power Supply". Journal of the Korean Society of Power Electronics, Vol. 20, No. 1, pp 44-49, 2015.02.

[8] A.Majid, H.B.Kotte, J.Saleem, R.Ambatipudi, S.Haller, K.Bertilsson, "High Frequency Half-Bridge Converter using Multilayered Coreless Printed Circuit Board Step-Down Power Transformer", 8th Internal Conference on Power Electronics-ICPE 2011 at Jeju South Korea (May 28-June 03 2011) DOI:https://doi.org/10.1109/ICPE.2011.5944712

[9] Hari Babu Kotte, "High Speed (MHz) Switch Mode Power Supplies(SMPS) using Multilayered Coreless PCB Transformer technology Passive gate drive circuit using Coreless Printed Circuit Board (PCB) Signal Transformer", Licentiate Thesis 62, Mid Sweden University, ISSN: 1652-8948, ISBN: 978-91-86694-41-8 DOI:https://doi.org/10.1109/TPEL.2012.2208123

[10] Radhikaambatipudi, "Multilayered Coreless Printed Circuit Board (PCB) Step-down Transformers for High Frequency Switch Mode Power Supplies (SMPS)", Licentiate Thesis 61, Mid Sweden University, ISSN: 1652-8948, ISBN: 978-91-86694-40-1 DOI:https://doi.org/10.1109/ICPE.2011.5944654

[11] Hari Babu Kotte, radhikaambatipudi and kent Bertilsson, "High Speed Series Resonant Converter(SRC) Using Multilayered Printed Circuit Board Step-Down Power Transformer", IEEE Transactions on Power Electronics(Volume:28, Issue:3, March 2013) DOI:https://doi.org/10.1109/TPEL.2012.2208123

[12] Devender, K.Nageswara Rao, "ELECTROMAGNET IC INTERFERENCE (EMI) SUPPRESSION TECHNIQUES - A CASE STUDY" Proceedings of INCE MIC 2001 - 2002, DOI:https://doi.org/10.1109/ICEMIC.2002.1006494

[13] Yilmaz Sozer, David A. Torrey, "Meeting MIL-STD-461 for 2KW military tactical generator drive system", 2010 IEEE Energy Conversion Congress and Exposition DOI:https://doi.org/10.1109/ECCE.2010.5617889

[14] V. Tarateeraseth, "Systematic Power Line EMI Filter Design for SMPS, Part I: Common mode and Differential-mode Conducted EMI Generation Mechanisms," IEEE EMC Society Newsletters, no. 231, Fall 2011.

[15] R. W. Erickson and D. Maksimovic, Fundamentals of Power Electronics, 2nd ed., KLUWER ACADEMIC, ch. 10, pp.377-408.

[16] M. J. Nave, Power Line Filter Design for Switched Mode Power Supplies, Van Nostrand Reinhold, 1991.

[17] T. H. Herring, "The Common Mode Choke, " 1970 IEEE Electromagnetic Compatibility Symposium Record. DOI:https://doi.org/10.1109/IEMC.1970.7565369

[18] F. E. King, "Baluns as EMC Control Devices, " 1970 IEEE Electromagnetic Compatibility Symposium Record. DOI:https://doi.org/10.1109/IEMC.1970.7565370

저 자 소 개

김 흥 락(정회원)



- 1995년 2월: 대구대학교 전자전기컴퓨터학부 (공학사)
- 1997년 8월: 대구대학교 전자공학과 (공학석사)
- 1997년 7월 ~ 현재 : LIG넥스원(주) 수석연구원
- 주 관심분야 : 마이크로파 센서 시스템, 레이더 신호처리 등

김 윤 진(정회원)



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

박 성 호(정회원)



- 2006년 2월 : 경상대학교 제어계측공학과(공학사)
- 2008년 8월 : 광주과학기술원 정보기전공학과(공학석사)
- 2008년 9월 ~ 현재 : LIG넥스원(주) 수석연구원
- 주 관심분야 : 마이크로파 센서 시스템, 레이더 신호처리 등

이 만 희(정회원)



- 2007년 2월 : 충남대학교 전기정보통신공학부 (공학사)
- 2009년 2월 : 충남대학교 전파공학과 (공학석사)
- 2009년 1월 ~ 현재 : LIG넥스원(주)수석 연구원
- 주 관심분야 : 마이크로파 센서, 초고주파 회로 및 시스템 등

이 다 빈(정회원)



- 2018년 2월 : 동국대학교 전자전기공학과(공학사)
- 2020년 2월 : 한양대학교 전자컴퓨터통신공학(공학석사)
- 2020년 1월 ~ 현재 : LIG넥스원(주)선임 연구원
- 주 관심분야 : 유도탄 호밍센서, 호밍센서 운용 S/W 등