

상호 변조 및 불요 신호에 대한 탐색레이더 부 체계의 EMI 시험 기법

Research of the EMI Test Methods for a Surveillance Radar Subsystem Against
the Intermodulation and Undesired Signals

이진호*
Lee, Jin-Ho

ABSTRACT

MIL-STD-461E, EMI military standard for the equipment and subsystems, requires reception characteristic tests to verify the susceptibility of a receiver against the intermodulation and spurious signals. Because the CS103 and CS104 of MIL-STD-461E show the test configuration of the equipment unit like a traditional receiver, it is possible to verify the susceptibility only for the reception signal through analog filters. However, at present when software programming techniques make a progress, the CS103 and CS104 tests need to evaluate the reception signal of the subsystem which includes both the digital filtering effects and analog filter characteristics. These test and evaluation techniques applied to a surveillance radar subsystem. This paper researched the EMI test methods in order to confirm feasibility of these test and evaluation techniques. Also the test results are compared and analyzed.

주요기술용어(주제어) : Conducted Susceptibility(CS : 전도 내성), CS103(상호 변조에 대한 수신기의 응답 특성 시험), CS104(불요 신호에 대한 수신기의 제거 특성 시험)

1. 서론

현대 무기체계는 전장 우위를 확보하기 위해 광역 감시, 공격목표 자동식별, 정밀유도, 장거리 목표탐색, 고 신뢰 대용량 통신 등 많은 기능을 요구하고 있다. 무기체계에 탑재되는 많은 전기·전자 장비중에서도 레이더는 이러한 기능을 가지도록 하는데 매우 중요

한 역할을 수행한다^[1]. 무기체계 내·외부의 전자파 간섭(EMI)으로 인한 오동작 및 성능 저하를 방지하기 위해서 레이더를 포함한 부 체계(Sub-system) 및 장비(Equipment)는 해당 무기체계에 조성될 전자파 영향을 고려하여 설계 및 개발되어 시험 평가를 통해서 확인이 되어야만 한다.

현재 국내 개발 무기체계에 탑재되는 부 체계 및 장비에 대한 EMI 규격서로는 미 군사 EMI 규격서인 MIL-STD-461E가 적용되고 있다^[2]. MIL-STD-461E에서는 EMI 시험 대상인 부 체계 및 장비가 탑재되는 플랫폼의 종류와 시험 항목별로 EMI 특성 요

† 2007년 3월 23일 접수~2007년 5월 18일 게재승인

* 국방과학연구소(ADD)

주저자 이메일 : jhlee75@add.re.kr

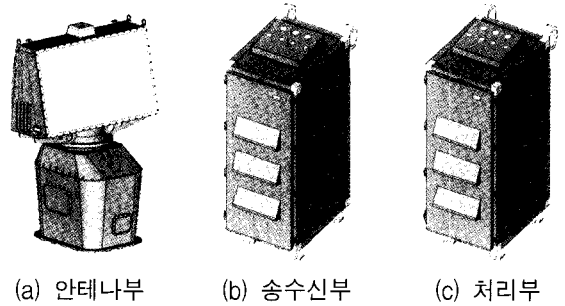
구조건을 기술하고 있으며, 이 요구조건에 따라 EMI 시험 항목이 정해지고 시험 평가가 수행된다. 하지만, 부 체계 및 장비의 운용 기능에 따라서도 적용되는 시험 항목이 다르기 때문에 EMI 시험 항목의 설정과 시험 평가는 합리적으로 이루어져야 한다.

MIL-STD-461E의 여러 시험 항목들 중에서 상호 변조 신호에 대한 수신 내성 특성 시험(CS103)과 불요 신호에 대한 수신 제거 내성 특성 시험(CS104)은 거의 모든 통신기 및 레이더에 적용하도록 되어 있지만, 그 시험 구성은 일반적으로 수신기와 같은 장비 단위에 대한 것만 기술하고 있어, 아날로그 필터까지만 거친 수신 신호에 관한 내성 확인만 가능하다^[2~4]. 그러나 실제 무기체계에서 확인되는 수신 신호는 아날로그 필터와 디지털 신호 처리로부터 만들어지는 디지털 필터링 과정을 경유한 것이므로 CS103, CS104 시험도 이러한 모든 수신 과정을 포함하는 부 체계 단위로 이루어져야 한다.

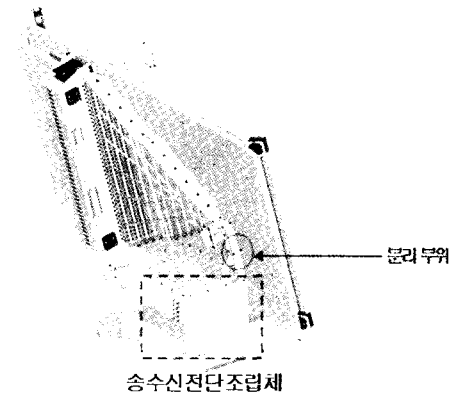
본 논문은 안테나부의 수신기 입력단에서부터 신호 처리를 수행하는 처리부 최종단까지 포함하는 탐색레이더 부 체계에 대한 CS103, CS104 시험 기법을 연구하였다^[2~5]. 특히, 탐색레이더는 송수신 신호 채널 전환을 빠르게 수행하기 위해서 넓은 수신 대역이 필요하기 때문에 이러한 경우의 CS103, CS104 시험 기법에 대해 자세히 기술하였다.

2. 레이더의 구성 및 모의 신호 인가 지점

CS103, CS104 시험 평가를 수행하기 위해서 피시험장비(EUT : Equipment Under Test)로 사용되는 탐색레이더는 안테나부, 송수신부, 처리부 등으로 구성된다. 이러한 구성품들은 장비로 분류되며 각 장비들을 합쳐서 부 체계라고 정의한다. 본 논문에서 언급할 탐색레이더 부 체계의 각 장비들 형상은 그림 1과 같고, 안테나를 통해 수신된 신호는 안테나부의 송수신 전단조립체와 송수신부의 수신기를 통해 처리부로 전달된다. 송수신 전단조립체와 수신기에는 여러 개의 아날로그 필터가 내장되어 있으며, 처리부에서는 펄스 압축 및 도플러와 같은 디지털 필터링 기능을 이용하여 원 수신 신호의 감도가 향상되도록 하



[그림 1] 탐색레이더의 장비별 형상



[그림 2] 안테나 부의 안테나 분리 지점

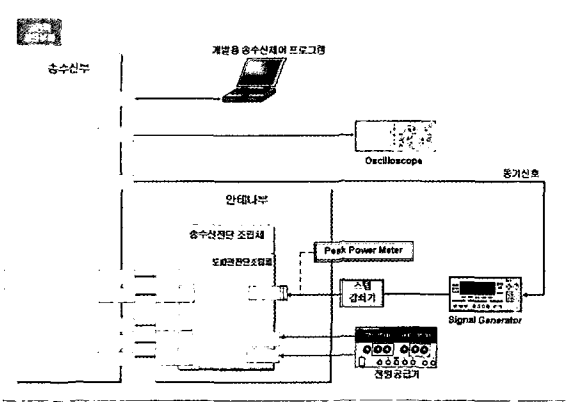
었다.

탐색레이더의 CS103, CS104 시험을 위한 모의 신호는 그림 2에서 볼 수 있듯이 송수신 전단조립체의 합 채널 지점인 안테나 분리부위에 인가한다. 송수신 전단조립체에는 서큘레이터(Circulator)가 있어서 한 경로로만 수신이 가능하다.

3. 수신기의 수신 응답 특성

탐색레이더의 수신 대역 특성 자료는 레이더 운용 주파수 근처 대역과 외측 대역에서의 광대역 응답 특성 확인과 영상 주파수(Image Frequency) 영역의 응답 특성 확인을 가능하게 한다^[5].

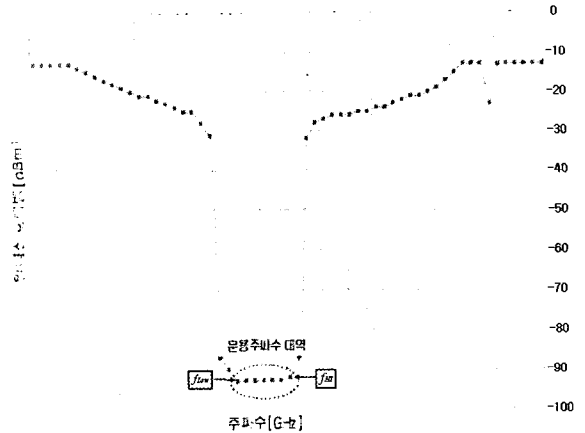
그림 3은 수신기 단독 장비의 수신 응답 특성을 확인하기 위한 시험 장비 배치도이다. 커넥터 및 케이블의 손실을 고려하여 장비의 모의 신호 입력단에



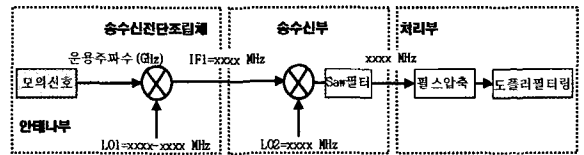
[그림 3] 수신 응답 측정 블럭도



[그림 4] 기준신호 레벨



[그림 5] 수신기 단독 수신 응답 특성



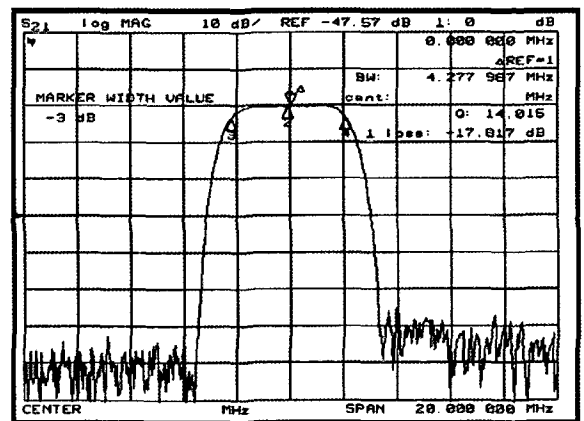
[그림 6] 쏘오 필터의 위치

Peak Power Meter를 이용하여 모의신호 레벨을 측정하였고, 신호 레벨은 스텝 감쇠기를 이용하여 조정하였다. 여기서, 수신 응답 특성은 송수신부의 수신기 최종단에 오실로스코프를 연결하여 추출하였다.

수신기에 사용되는 기준신호 레벨은 최소 탐지 신호(MDS : Minimum Detectable Signal) + 10dB로 설정(그림 4 참조)하였고, 신호 측정 대역은 광범위한 주파수 전 대역을 보기 위해서 운용 주파수 대역과 상측 및 하측 운용 외 주파수 대역으로 구분하였다.

그림 3으로부터 측정된 수신기 단독 장비의 수신 대역 특성은 그림 5와 같다. 탐색레이더의 운용주파수 대역은 xxx MHz이고, 운용 대역에서의 수신레벨은 0.1dB 차이가 있다. 그림 5에서 보는 것처럼 수신기는 운용 대역(xxx MHz) 내에 들어오는 모든 송신 신호에 항상 응답하도록 되어 있음을 확인 할 수 있다.

송수신부 최종단에는 xxxx MHz의 중간주파수로 변환되어 처리부로 신호가 전달된다. 쏘오(SAW : Surface Acoustic Wave) 필터는 운용 대역 주파수 중에서 튜닝 신호 이외의 잡음을 제거하기 위해서 사용되며, 이 필터의 위치는 그림 6과 같다. 쏘오 필터는 3dB 이내의 손실을 가지는 4MHz의 대역폭을 가지고 있기 때문에 처리부에 입력되는 신호는 xxxx MHz



[그림 7] 쏘오 필터의 특성

± 2MHz가 된다. 그림 7은 쏘오 필터의 특성을 나타내었다.

일반적으로 CS103, CS104 시험은 튜닝 주파수(f_0)로부터 모의 신호를 인가하면서 f_1 을 찾도록 되어 있다. 하지만, 그림 5와 같이 넓은 운용 주파수대역을 가지는 탐색레이더의 경우에는 CS104 시험 시 수신기가 튜닝 주파수로 운용되는 상태에서 운용 대역 안

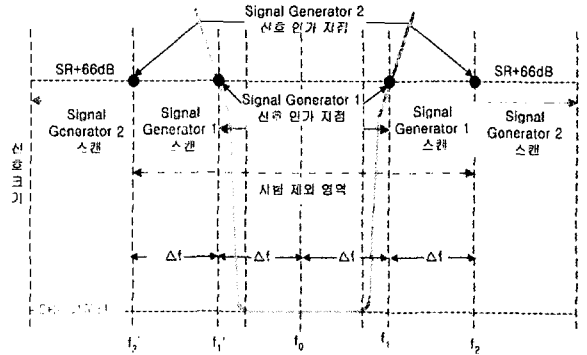
에 포함되는 원치 않는 신호가 들어온다면 수신기가 포함되어 잘못된 반응을 나타낼 수도 있기 때문에, 이러한 방법은 탐색레이더에 적용할 수 없다.

4. 상호 변조 및 불요 신호에 대한 내성 시험

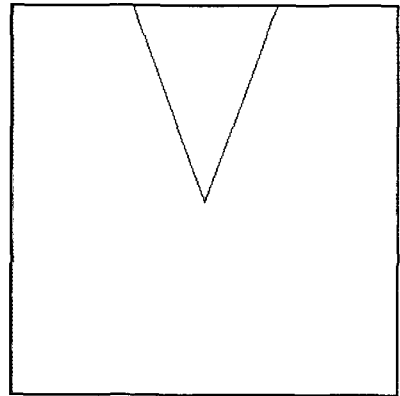
가. 상호 변조에 대한 응답 특성 시험(CS103)

상호 변조란 통과대역 밖에 있는 두 신호들이 부채계 및 장비 구성품들의 비선형적인 특성으로 인해 통과 대역 내의 신호로 인식되는 것을 말한다^[2-4]. CS103은 이러한 상호 변조로 인식되는 신호에 대한 수신 응답 특성을 확인하는 시험이다. CS103을 위한 시험장비 배치도는 그림 8과 같다. 파형 발생기(WG : Waveform Generator)와 신호 발생기(SG : Signal Generator) 1에서 나오는 신호는 UP-Convertor를 통해 탐색레이더에서 발생하는 동일한 펄스 신호(모의 신호)를 만들고, SG 2는 연속파(Continuous Wave) 신호를 발생시킨다. ES 동기신호는 송신 트리거(Trigger) 신호로 WG에 연결되고, 10MHz의 Clock Reference는 WG와 SG 2에 연동되며, 수신 최종단인 처리부에는 노트북을 연결하여 노트북에서 내성 유무를 판단한다.

모의 신호의 크기에 대한 기준신호(SR : Standard Respons)는 MDS + 10dB로 하였고, SR + 66dB의 지점을 SG 1, 2의 모의 신호 레벨로 지정하였다. 그림 5에 제시된 탐색레이더의 수신 대역 특성 그래프



[그림 9] CS103을 위한 신호 발생기 동조



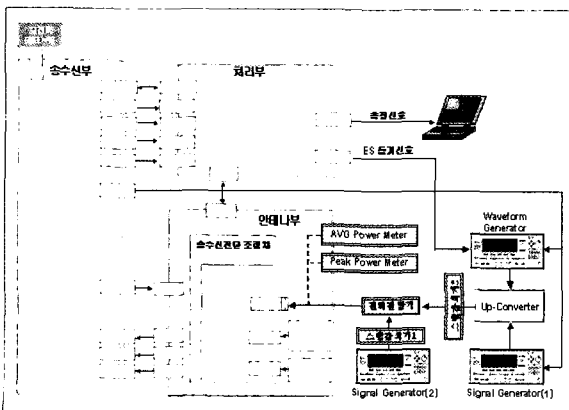
[그림 10] CS103 시험 시 정상 상태의 예

는 그림 9에서 볼 수 있듯이 통신기와는 달리 상당히 넓은 대역을 유지하기 때문에 f_1, f_1', f_0 의 결정이 매우 중요하다.

탐색레이더의 수신기 중단에는 그림 5와 그림 9의 운용 대역 이외에서부터 SG 1의 모의 신호를 인가하면서 f_1 과 f_1' 을 찾아야 한다. 두 신호의 상호 변조로 인해 발생하는 f_0 는 다음 식과 같다.

$$|mf_1 \pm nf_2| = f_0 \quad (1)$$

수신 운용 대역의 레벨이 평탄하기 때문에 f_2 를 스캔할 때 운용대역 안에 신호가 들어오면서 f_0 근처에서도 발생하는 상호 변조 신호에 대한 탐색레이더 부채계의 수신 특성을 확인하기 위해 f_0 를 운용 대역 중간주파수로 선택하였다. 이 때 f_2 는 식 (1)과 그림

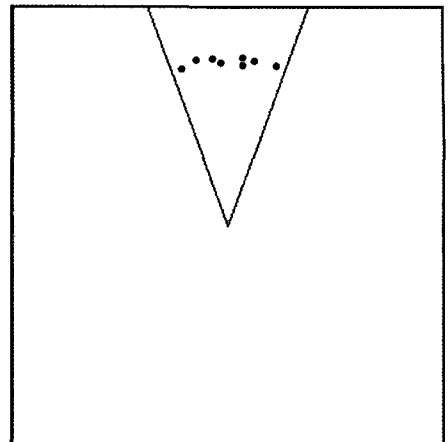


[그림 8] CS103의 시험 장비 배치도

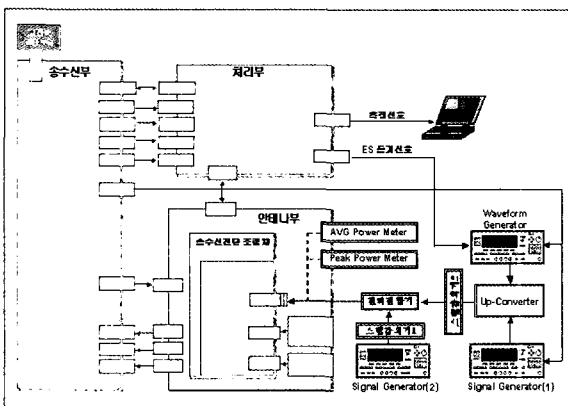
5를 참조하여 시험 주파수 전 대역을 스캔하였다. 그림 10은 본 시험에서 적용된 정상상태의 예를 보여주며 이상 현상이 발생시 $-350^{\circ} \sim 10^{\circ}$ 의 구간에 모의 표적이 모사되도록 시스템을 설정하였다.

나. 불요 신호에 대한 제거 특성 시험(CS104)

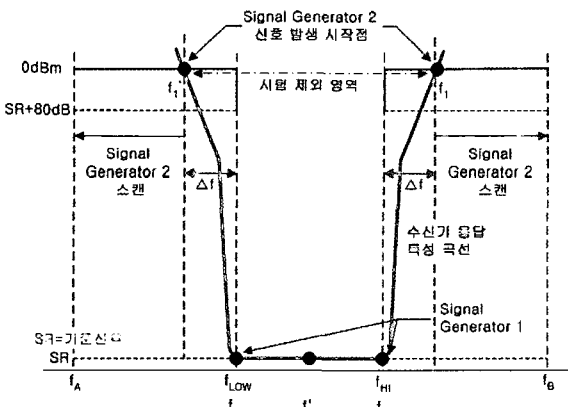
불요 신호는 수신기의 운용 주파수 대역 이외의 주파수 성분을 통칭한다. CS104 시험은 수신기가 수신하고 있을 때 불요 신호에 대한 제거 특성을 통제하기 위한 것이다^[2~4]. 본 시험을 수행하기 위한 시험 장비 배치도, 신호 발생기의 동조 그래프 및 정상상태는 그림 11~13에 나타내었다. 그림 12에서 탐색레이더 운용 대역의 양 끝 주파수는 f_{LOW} , f_{HI} 와 동일하기 때문에 SG 2의 신호 레벨을 0dBm으로 조정하



[그림 13] CS104 시험 시 정상 상태



[그림 11] CS104의 시험 장비 배치도



[그림 12] CS104를 위한 신호 발생기 동조

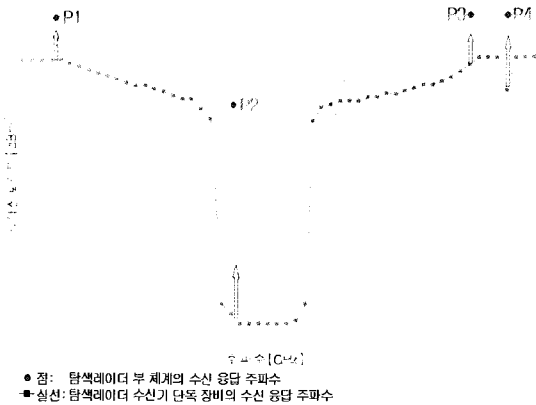
여 f_1 , f_1 을 찾는다. SG 1은 Δf 를 작게 하여 f_0 에서 최대한 가까운 주파수부터 수신 감응 특성을 확인하기 위해서 f_0 의 위치를 f_{LOW} 와 f_{HI} 로 결정하였다. 만약, 운용 주파수 대역의 리플 레벨이 평탄하지 않으면 운용 대역 중에서 가장 작은 레벨을 갖는 주파수에서도 SG 1의 신호를 인가하여 시험하는 것도 필요하다고 판단된다. 여기서, 시험 주파수는 로컬 오실레이터 주파수도 포함하였다.

그림 13은 기준신호(SR)레벨에 위치해 있는 SG1 신호에 대한 정상 표적상태를 나타내며 이상현상이 발생시에는 표적(검은색)이 $-350^{\circ} \sim 10^{\circ}$ 구간을 벗어나거나 표적의 개수가 증가한다.

5. 수신 응답 특성 비교

그림 14는 CS103, CS104 시험으로부터 얻어진 자료를 추가하여 탐색레이더 부 체계(점)와 수신기 단독 장비(실선)에 대한 수신 응답 특성을 비교하였다.

여기서, P2는 상호 변조 내성 특성 시험에서의 f_1 을 관측한 것이며 P1, P3 및 P4는 불요신호 특성을 관측한 것이다. 그림에서 확인되는 것처럼 두 시스템에 대한 수신 응답 특성은 매우 큰 차이 있음을 알 수 있다. 이것은 상호 변조 및 불요 신호에 대해 처리부에서 펄스 압축과 도플러 필터링을 하여 부 체계의 수신 내성 특성을 더욱 강하게 만들기 때문이다.



[그림 14] 장비와 부 체계에 대한 수신 응답 특성

6. 결론

현대와 같이 디지털 신호처리가 발달된 시대에 상호 변조 및 불요 신호에 대한 수신 내성 특성은 수신기인 장비와 부 체계 사이에 큰 차이가 있음에도 불구하고, 부 체계 및 장비에 대한 EMI 규격서인 MIL-STD-461에서는 수신기의 수신 내성 특성에 대한 시험 절차와 방법만을 언급하고 있으며 레이더 보다는 통신기에 더욱 많은 초점을 두고 있다. 따라서 레이더에 대한 CS103, CS104 시험을 수행하기 위해서는 이에 대한 시험 기법 개발이 시급하다. 본 논문에서는 탐색레이더 부 체계에 대한 CS103, CS104 시험 기법을 연구하였다. 첫째, 수신기 종단에서 수신대역 특성을 측정하여 추출한 자료로부터 운용 대역 특성과 영상 주파수를 비롯한 감응에 민감한 주파수들을 파악할 수 있었다. 둘째, 넓은 운용 대역을 가지는 탐색레이더의 CS103, CS104 시험 방법을 제시하였고, 특히, f_1 , f_1' , f_0 등 주요 주파수 결정과 모의 신호 인가 레벨을 제안하였다. 마지막으로 수신기 단독 장비와 탐색레이더 부 체계의 최종단인 처리부

에서 측정된 수신 응답 특성 자료들을 비교하였을 때, 이들 사이에 큰 차이가 있음을 확인할 수 있었다. 탐색레이더 운용자가 표적을 확인하는 수신 신호는 최종적으로 처리부에서 나오는 신호이므로 CS103, CS104 시험 또한 탐색레이더 부 체계에 대해 수행되어야 한다고 판단된다. 향후에는 레이더 부 체계의 최종단과 수신기 종단에서 수신 응답 특성에 대한 상관관계를 연구하면 수신기 종단에서 필터 특성만으로도 부 체계의 수신 내성 특성을 예측 및 분석할 수 있을 것이다.

참 고 문 헌

- [1] 전병직, 권준혁, 이진호, 신승제, “함정 개발과 전자기 환경 영향 통제”, 해상무기체계 발전세미나, 국방과학연구소, 2006.
- [2] MIL-STD-461E, “Requirements for the Control of Electromagnetic Interference Characteristics of Subsystems and Equipment”, Department of Defense, 1999.
- [3] MIL-STD-461C, “Electromagnetic Emission and Susceptibility Requirements for the Control of Electromagnetic Interference”, Department of Defense, 1986.
- [4] Edwin L. Bronaugh, William S. Lambdin, “Electromagnetic Interference Test Methodology and Procedures”, Handbook Series on Electromagnetic Interference and Compatibility, Vol. 6, 1988.
- [5] MIL-STD-469B, “Interface Standard for Radar Engineering Interface Requirements, Electromagnetic Compatibility”, Department of Defense, 1991.