

# RF System 세미나

2025.09.12 JHR



# 목차

**I. RF 측정 계측기**

**II. PASSIVE 소자 (Attenuator/Isolator)**

**III. 계측기 교정 (SG/SA/NA Calibration)**

**IV. 측정**

NA: DC Block SA: 2T IMD

**V. RF system 갖추어야할 역량**

# RF 측정 계측기

## 1. Network Analyzer

- 입력과 출력의 주파수 신호 분포결과를 서로 나눔으로써 S파라미터를 측정하는 장비

### 사용 용도

- 임피던스 매칭 확인
- Return Loss, VSWR 측정
- Group Delay 측정
- GAIN 측정

### S-Parameter란?

- 주파수 분포상에서 입력전압대 출력전압의 비를 의미



Network Analyzer

$$S_{ab} = \frac{V_a^-}{V_b^+} \quad S_{matrix} = \begin{pmatrix} S_{11} & S_{12} \\ S_{21} & S_{22} \end{pmatrix}$$



### S 파라미터의 분류

#### Transmission

- 입력 포트대 출력포트의 비. 입력신호를 전송하고자 하는 포트까지 얼마나 도달하느냐를 평가

#### Reflection

- 각각의 입/출력 포트의 자체 반사값, S11, S22와 같이 입력과 출력포트가 같은 경우이며 자기가 입력하고 출력하여 돌려받은 값이므로 결국 반사된 값을 의미

## RF 측정 계측기

### 2. Spectrum Analyzer

- 발생하는 주파수에 스펙트럼 성분에 따른 신호 크기를 표현하고 분석하는 기능이 내장된 장비

#### 사용 용도

- 신호의 주파수의 위치 및 크기 확인
- 스퓨리어스(Spurious) 신호 검출
- 톤 당 출력 전력 (Po/toner)

### 3. Signal Generator

- 원하는 주파수, 전력 크기, 변조 방식을 가진 RF 신호를 인위적으로 발생시켜 DUT(Device Under Test)에 입력해주는 장비

#### 사용 용도

- 스퓨리어스 및 왜곡 측정을 위한 입력 신호 소스 제공
- 아날로그 부터 디지털 변조 소스 제공



Spectrum Analyzer



Signal Generator

## PASSIVE 소자(Attenuator, Isolator)

### 1. Attenuator

- 신호의 세기를 파형 왜곡 없이 줄이는 수동 소자

#### 주요 역할

- 계측기 보호
  - DUT와 SA 입력단 사이 연결
  - SG가 출력할 수 있는 최소 파워보다 더 낮은 레벨의 신호가 필요할 때 (가변 어테뉴에이터 유용)

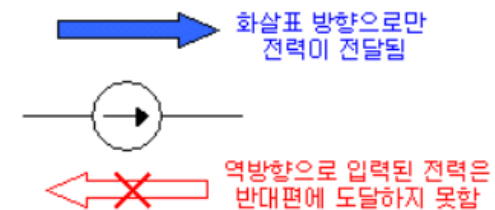


### 2. Isolator

- 신호를 한쪽 방향으로만 고정하는 수동 소자

#### 주요 역할

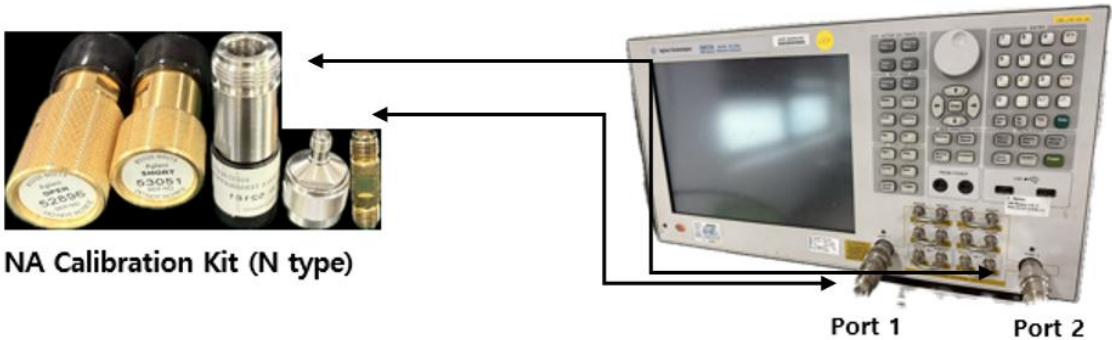
- 계측기 보호
  - SG 출력단과 DUT 사이 연결
  - 임피던스 부정합으로 인해 신호가 반사되고 이 신호가 다시 입력으로 들어가면서 발진 생성 가능성을 막아줌



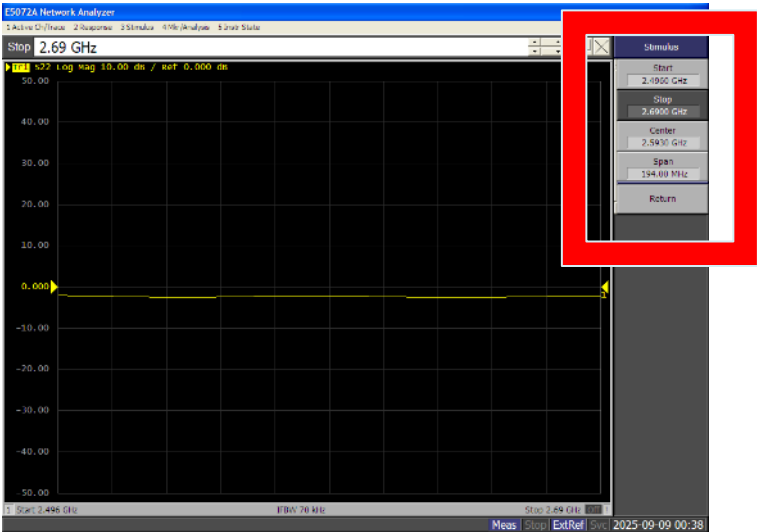
# 계측기 Calibration

## Calibration이란?

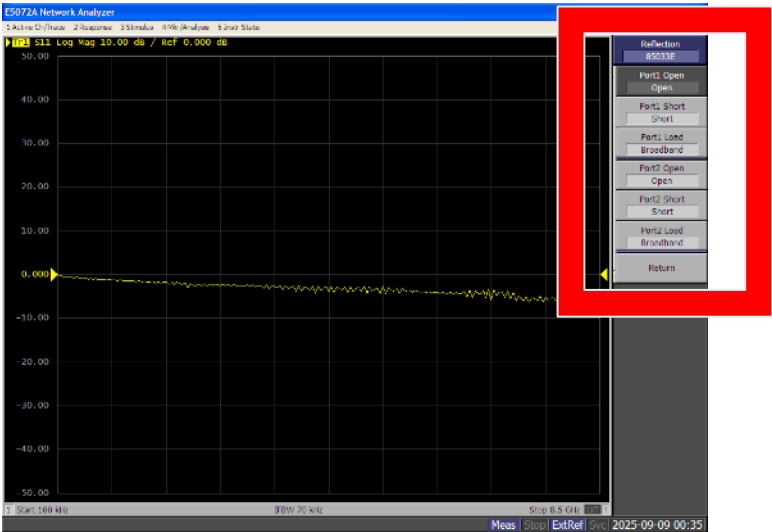
측정 기기가 가리키는 값이 "표준값" 과 얼마나 차이 나는지 확인하고, 그 차이를 조정하여 정확도를 높이는 과정



NA Calibration



주파수 설정(BRS 대역)



Open,Short,Load,Thru Cal

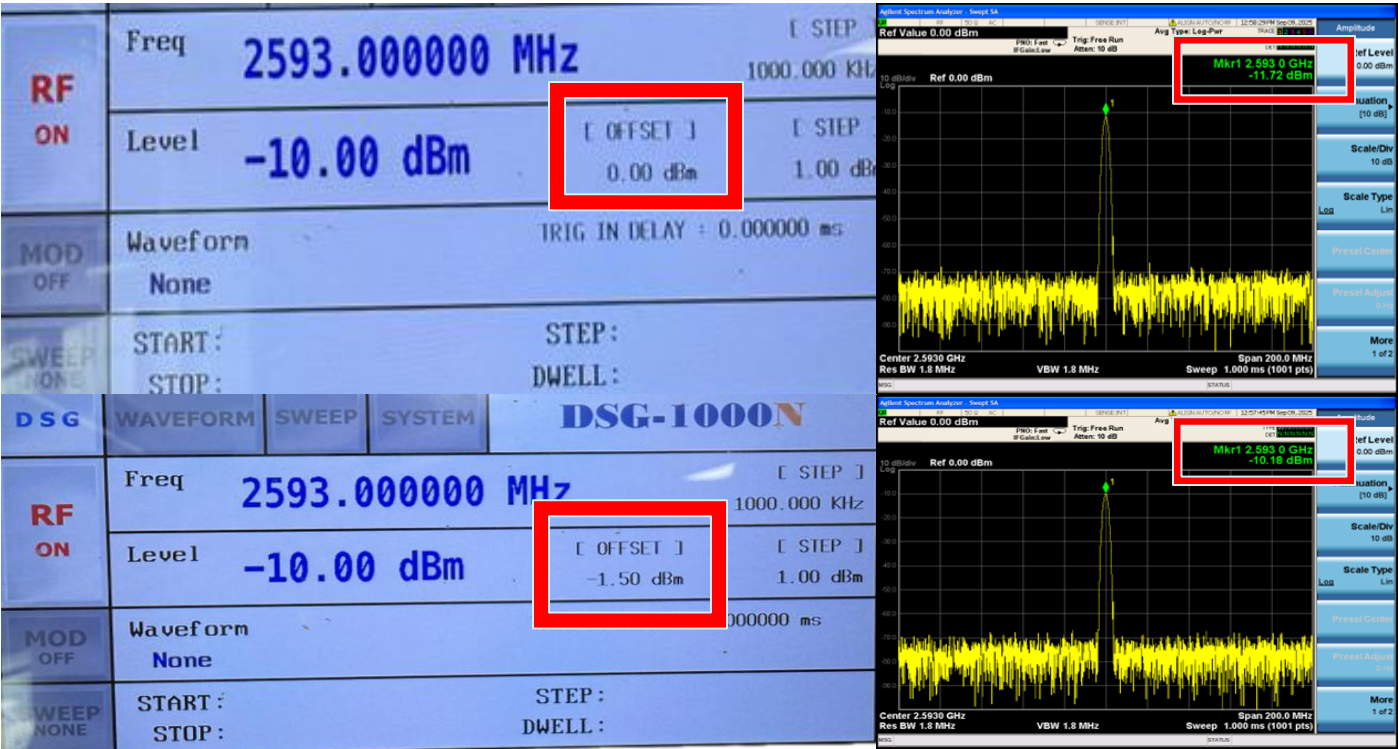


캘 완료된 모습



# 계측기 Calibration

## SG Calibration



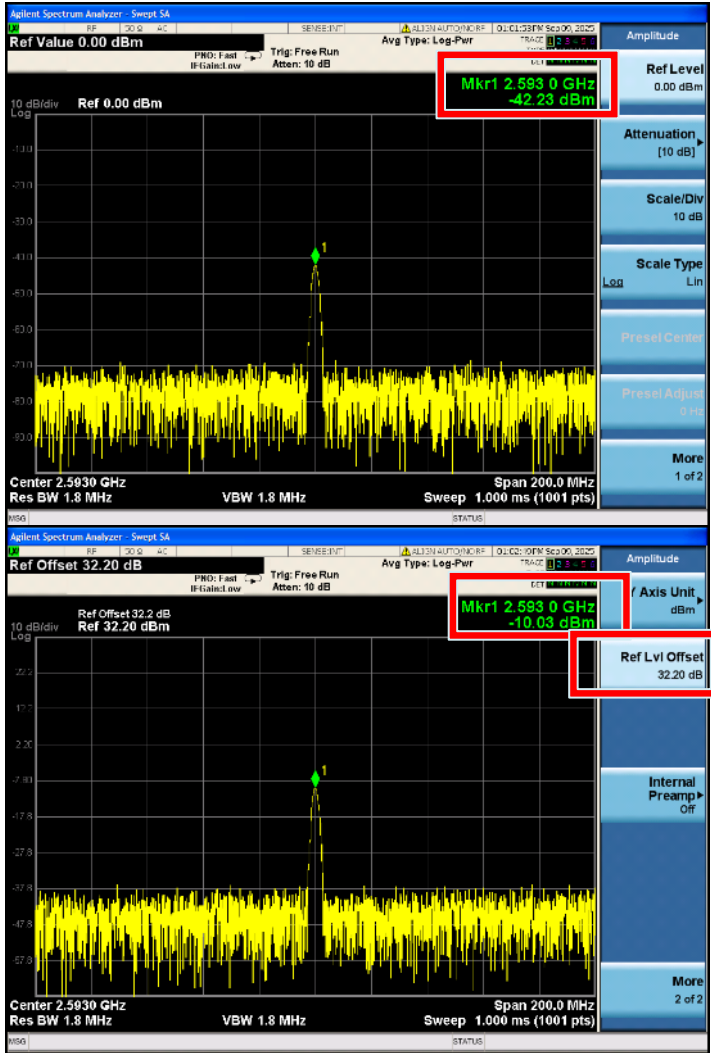
Before (SG Offset 미적용)	After (SG Offset 적용 후)
첫 번째 SG + SA 화면	두 번째 SG + SA 화면
DUT 입력 파워: -11.7 dBm	DUT 입력 파워: -10.18 dBm
문제: 케이블 손실로 인해 목표 파워 -10 dBm보다 낮은 전력이 인가됨.	해결: SG가 손실을 미리 계산하여 출력을 높여주므로, 목표 파워 -10 dBm이 정확히 인가됨.

# 계측기 Calibration

## SA Calibration



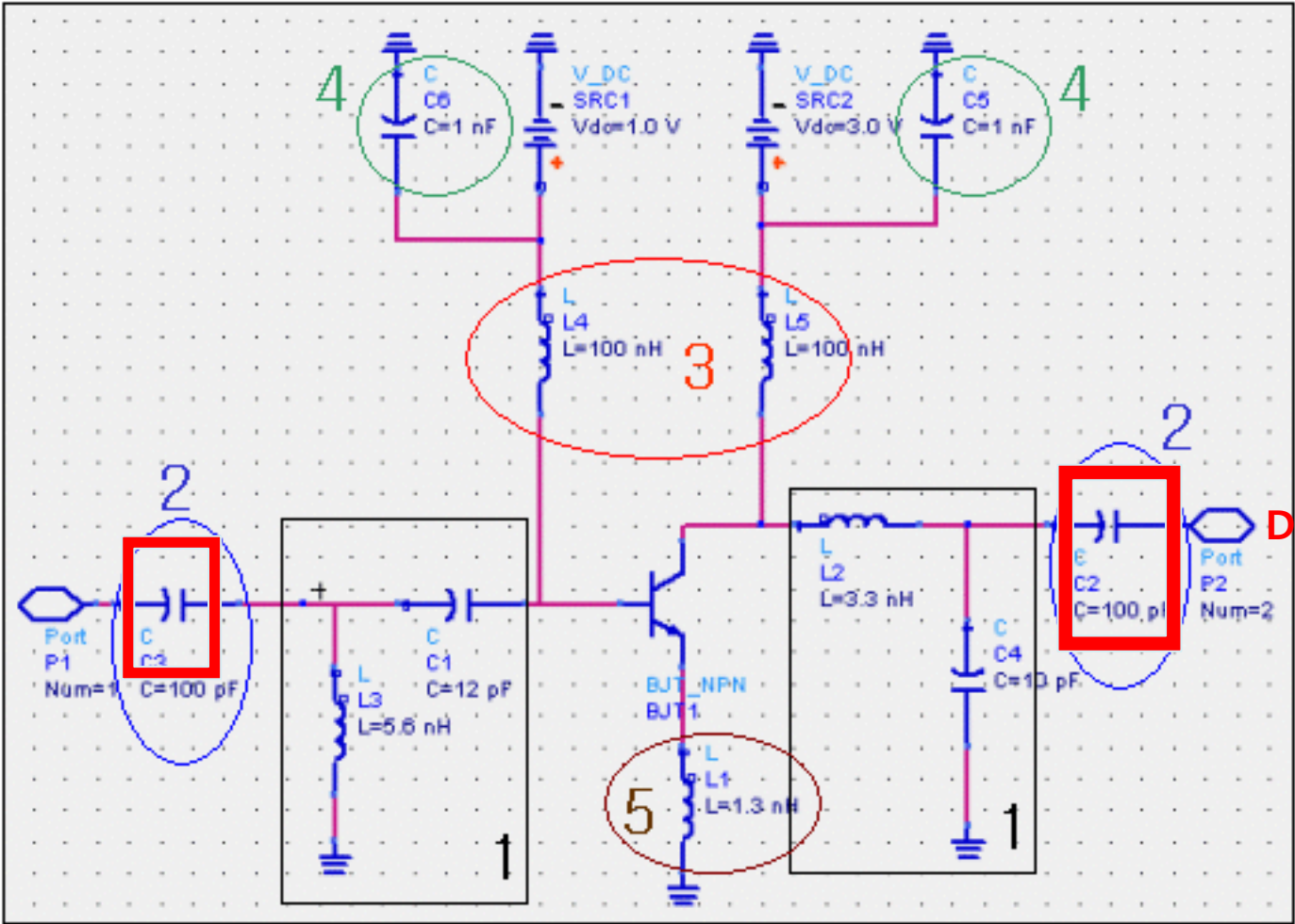
항목	설명 (Description)	값 (Value)
Attenuator	신호의 세기를 일정하게 감소시키는 패시브 소자	30 dB
SA 측정값	감쇠기를 거쳐 약해진 신호가 SA에서 실제로 측정된 값입니다.	-42.23 dBm
Offset 설정	ATT 으로인해 발생한 감쇠량을 보상하기 위해 SA에 입력하는 값	32.20 dB
SA 측정값	Offset 설정을 통해 교정된 신호의 실제 전력 값입니다. (실제 신호 레벨 = SA 측정값 + Offset 값)	-10.03 dBm





측정

용량별 DC Block 측정



DC Block

측정

1. RF 시스템 설계에서 DC 블록 S21: - 0.5dB의 합리성

- ▶ 기준 S21: -0.5 dB
- ▶ 합리적인 기준

$$dB = 10 \cdot \log_{10} \left( \frac{P_{out}}{P_{in}} \right) \longrightarrow -0.5 = 10 \cdot \log_{10} \left( \frac{P_{out}}{P_{in}} \right) \longrightarrow \frac{P_{out}}{P_{in}} = 10^{-0.05} \longrightarrow \frac{P_{out}}{P_{in}} \approx 0.89125$$

(전력 효율 공식)

50DB-002 Data Sheet 보기  
Drawing(N) 보기

모델명 : 50dB-002 N

0.5 dB Loss DC Block

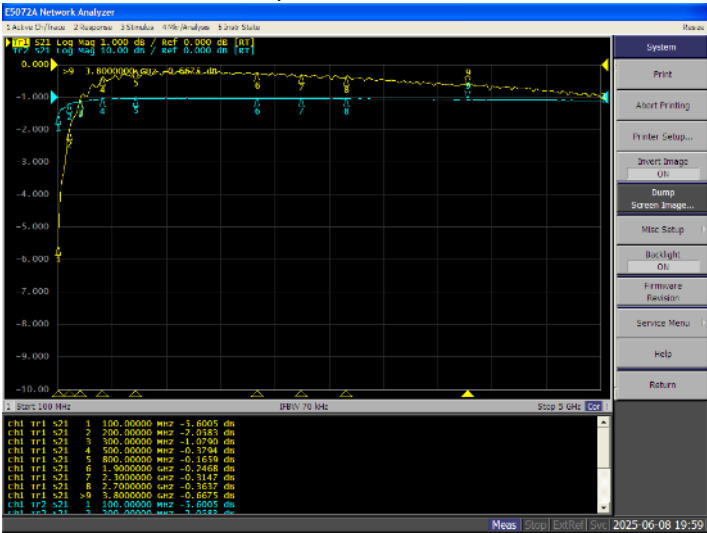
Connector type, Imp : N, 50 Ω(ohm)  
Type: Inner  
Frequency Start: 0.05 MHz  
Frequency Stop: 1.8 GHz  
Breakdown Voltage: 100 Volts

- ▶ 눈에 띄지 않는 손실 (사람의 인지 한계, RF시스템 통신 거리, 데이터 전송률)
- ▶ 경제성 및 제조 현실적인 권장 사양 값

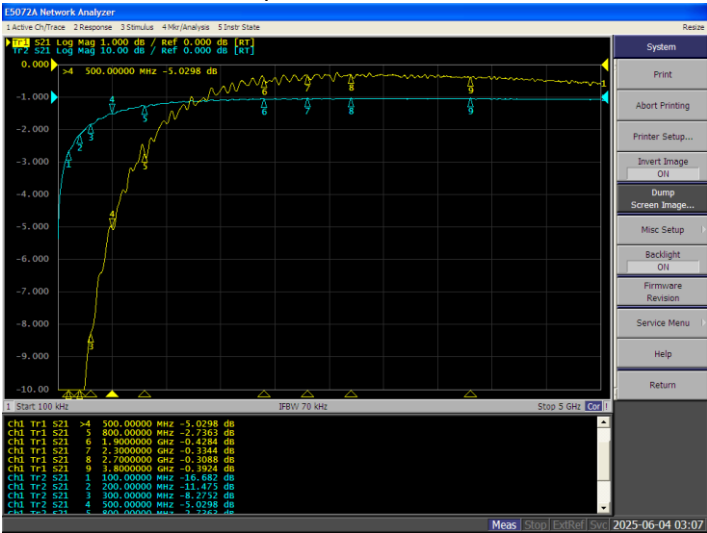
측정

DC Block 소자별 삽입 손실(S21) 측정 데이터

100pF 측정



10pF 측정

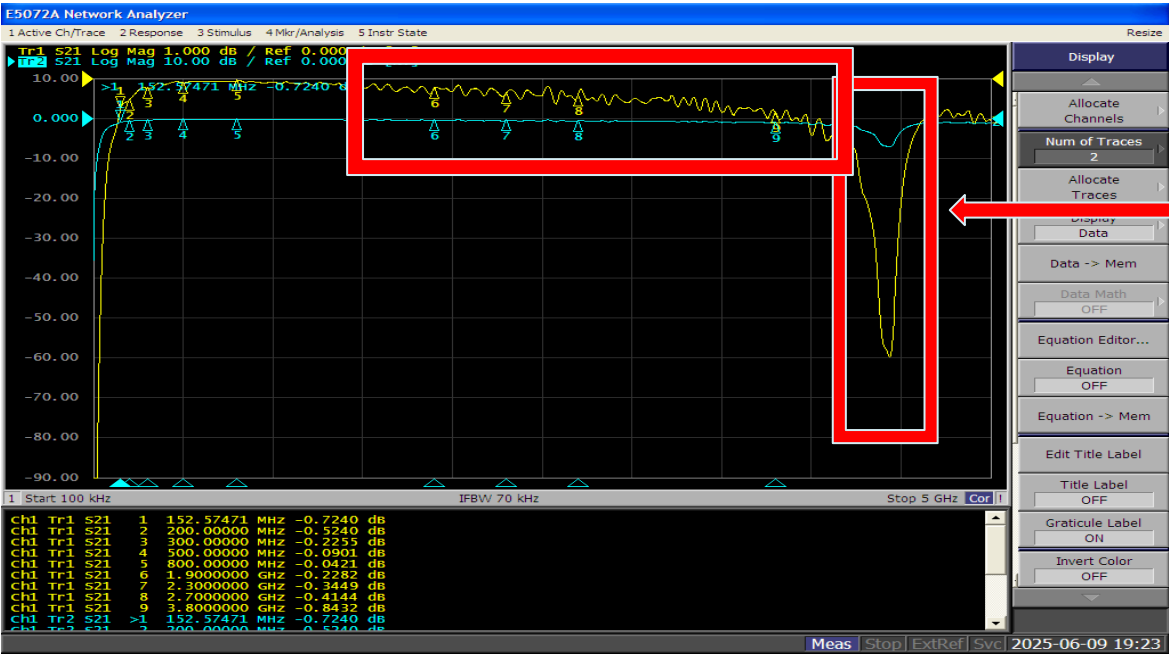


표준값		
Frequency	용량	비고
100 MHz	C 10nF	VHF
200 MHz	C 10nF	VHF
300 MHz	C 1nF	VHF
500 MHz	C 1nF	UHF
800 MHz	C 100pF	UHF
1.9 GHz	C 100pF	S BAND
2.3 GHz	C 100nF	S BAND
2.7 GHz	C 10pF	S BAND
3.8 GHz	C 10nF	S BAND

	100MHz	200MHz	300MHz	500MHz	800MHz	1.9GHz	2.3GHz	2.7GHz	3.8GHz
100pF	-5.6005	-2.0583	-1.0790	-0.3794	-0.1659	-0.2468	-0.3147	-0.3637	-0.6675
10pF	--16.682	-11.475	-8.2752	-5.2098	-2.7363	-0.4284	-0.3344	-0.3088	-0.3924

측정

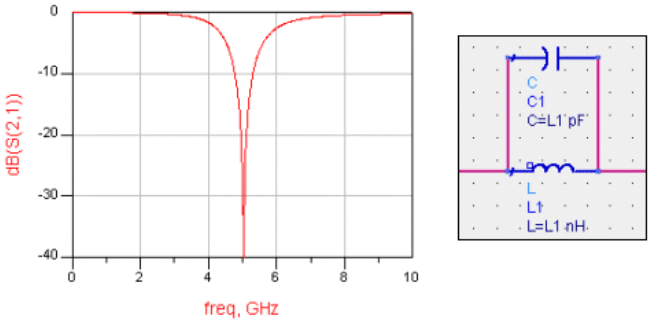
SRF 자가 공진 주파수 관측



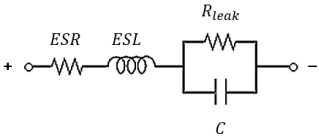
47pF 측정

자가 공진 주파수 초과(SRF)

자가 공진 주파수 초과 그래프 (RFDH참조)



(이상적인 커패시터)



(현실적 커패시터)

- 1. DC 블럭의 S21 특성 분석 및 자가 공진 주파수 초과(SRF) 고찰
  - 자가 공진 주파수 초과(SRF)에 인해 커패시터의 동작과는 달리 인덕터처럼 동작하는 결과 확인

측정

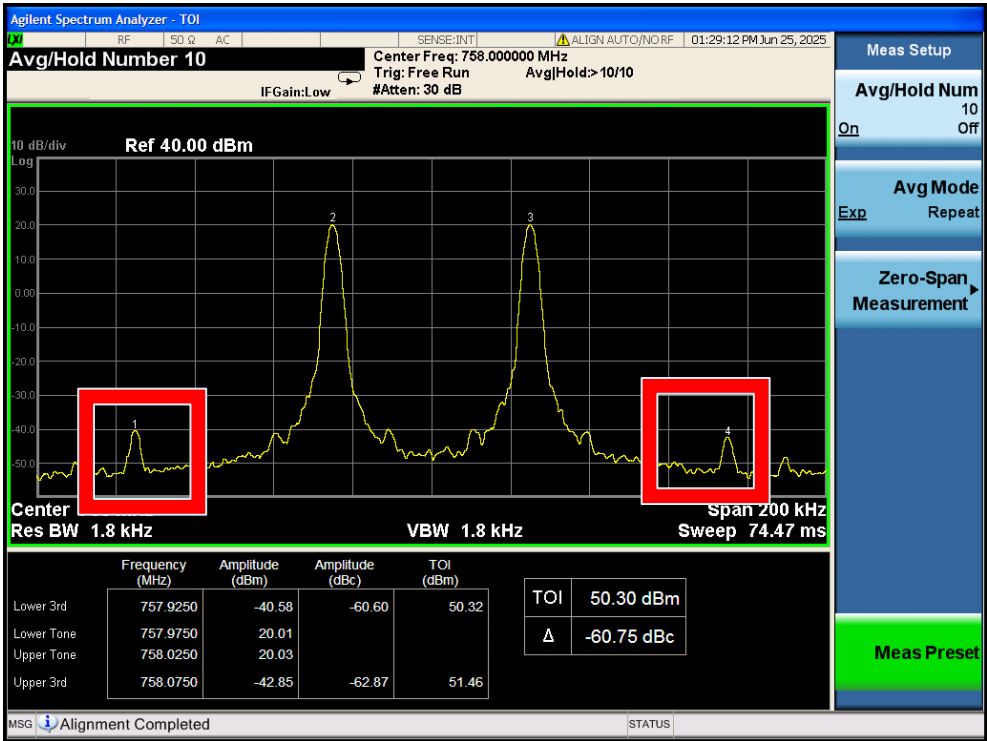
2T IMD란

- RF 시스템의 선형성을 평가하는 가장 대표적인 방법 중 하나로, 두 개의 서로 다른 주파수 신호를 시스템에서 입력했을 때 시스템의 비선형성 때문에 원치 않는 새로운 잡음 신호가 얼마나 생겨주는 지를 측정하는 방법

2T IMD 원리?

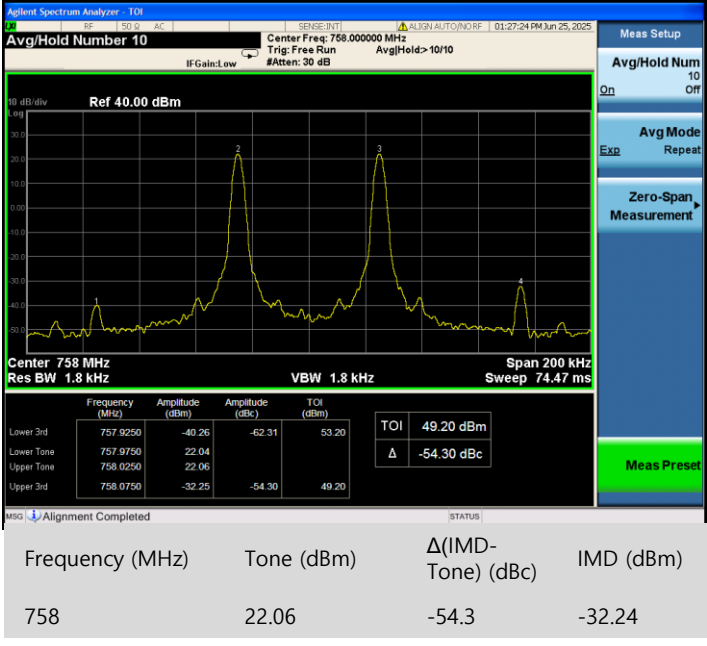
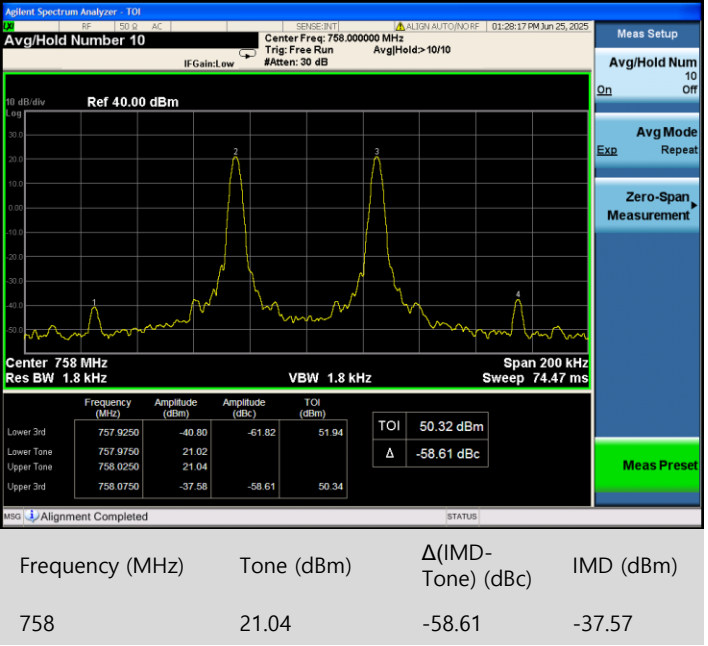
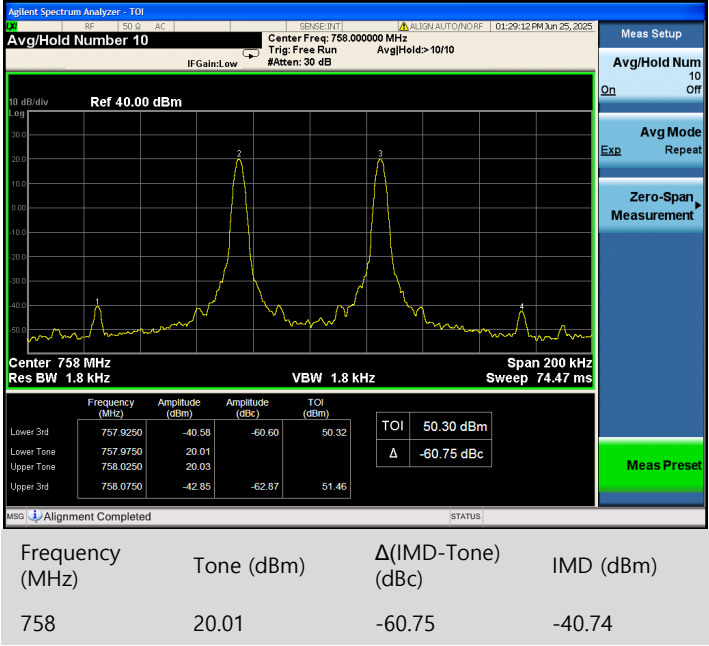
- 입력: 시스템에 주파수가 f1,f2인 두개의 신호를 입력
- 비선형 시스템 통과(DUT): 이 신호들이 증폭기와 같은 비선형 소자를 통과
- 출력: 왜곡 신호 발생(3차 혼변조 왜곡)

3차 혼변조 왜곡(IMD3)      $2f_1 - f_2$   
    $2f_2 - f_1$



측정

IMD 측정



→ 입력이 커질수록 dBc 값은 커지고, 결과적으로 RF 시스템 선형성 악화



## 측정

### 시스템적 접근 (System-Level Approaches)

#### Digital Predistortion (DPD)란?

송신 신호를 전력 증폭기에 입력하기 전, 의도적으로 반대 방향의 왜곡을 미리 가함.  
증폭기를 통과하면서 발생하는 왜곡과 합쳐져 선형적인 출력이 나오도록 보정한다.

#### 구현:

- 외부 FPGA/DSP가 피드백 신호를 분석하여 다음 신호에 Pre-Distortion 적용.

#### 장점

- 넓은 대역폭에서 효과적
- 3차뿐만 아니라 고차 IMD도 보정 가능
- 효율 저하 없이 선형성 개선

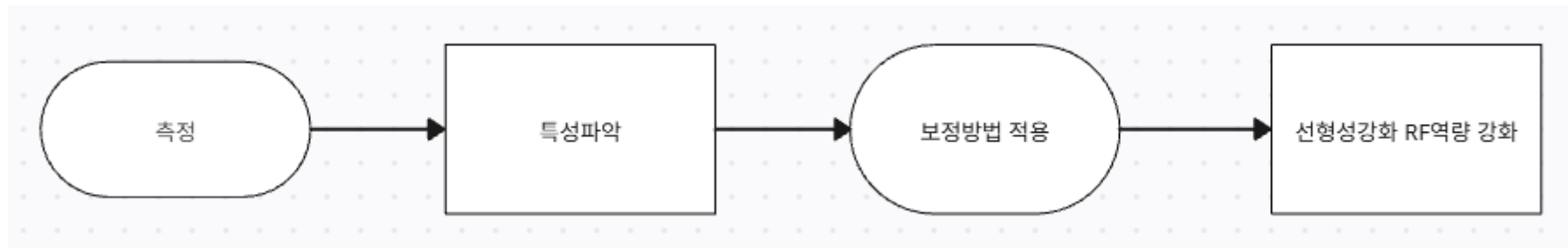
#### AFE7920과 Low Latency Loopback

- AFE7920 RF 트랜시버 칩은 **Low Latency Loopback 구조**를 제공하여 실시간 DPD 환경에 최적화.

루프백 경로에서 그룹 지연(Group Delay)을 최소화(수십 ns 수준) → FPGA/DSP가 빠르게 피드백을 처리 가능.  
결과적으로 5G/6G와 같이 대용량, 광대역 시스템에서도 안정적으로 DPD 적용 가능.

## RF system 갖추어야할 역량

- ▶ 기본 측정 및 분석 역량(계측기 이해, IMD 측정 등)을 넘어선 선형성 및 신호처리 개선 능력
- ▶ 측정-분석-보정: DUT 특성 평가 > 문제 파악 > 적절한 소자 및 신호처리 기법 적용
- ▶ Bypass 병렬 연결: SRF에 따른 커패시터 동작 문제 해결
- ▶ Impedance Matching: 반사 최소화 및 전송 효율 향상
- ▶ DPD(Digital Predistortion): 선형성 저하를 보정하여 고차 IMD까지 개선



# Thank You