

**Misure On Wafer di Amplificatori  
MMIC InP**

*Andrea Cremonini, Sergio Mariotti*

**Rapporto Interno IRA N° 350 /2004**

Revisori: Alessandro Orfei

## **Indice**

1. Introduzione
2. Scopo delle misure
3. Considerazioni sul Wafer Run TRW™ 4245
4. Descrizione dei dispositivi
5. Misura dei parametri S
  - 5.1. Setup del banco di misura
  - 5.2. Misure preliminari
  - 5.3. Definizione delle regole di validazione della misura ed automatizzazione
  - 5.4. Risultati ottenuti
6. Ricerca di autoscillazioni
7. Test di stress sulle alimentazioni
8. Misure di Rumore
  - 8.1. Setup del banco di misura
    - 8.1.1. Elenco dei componenti
    - 8.1.2. Descrizione Del Banco di Misura
    - 8.1.3. Caratterizzazione degli elementi inseriti fra Noise Source e DUT
  - 8.2. Calibrazione e Misura
  - 8.3. Risultati ottenuti
9. Conclusioni
10. Appendice A – Parametri S (TRW™4245 – CSR17)
11. Appendice B – Misure di Rumore (TRW™4245 – CSR17)
12. Appendice C – Distribuzioni statistiche delle prestazioni di rumore

## 1. Introduzione

Di seguito sono presentate le modalità operative ed i risultati ottenuti dalle misure effettuate sui dispositivi presenti nei 5 Wafer prodotti da TRW™ con processo tecnologico HEMT 0,1µm InP. I chip di proprietà dell'Istituto di Radioastronomia presenti sui wafer sono amplificatori a basso rumore (LNA) operanti in banda 18 - 26 GHz sviluppati principalmente per essere utilizzati nel ricevitore oggetto del Progetto FARADAY-SUB 2. Le misure sono state effettuate nel mese di Novembre 2003, presso le GigaHertz Laboratories Measurements Facilities appartenenti a C-TIP (CSIRO® Telecommunications Industrial Physics) in Epping (Sydney) Australia.

## 2. Scopo delle misure

Lo scopo principale di questa campagna di misure è stato quello di rilevare quanti e quali dispositivi presenti sui cinque wafer in oggetto sono funzionanti e tra questi quali e quanti rispettano le specifiche di progetto assegnate. In questa fase non si vuole caratterizzare con il massimo grado di accuratezza il funzionamento dei dispositivi. Le misure devono in ogni caso garantire un grado di ripetibilità sufficiente a consentirne il successivo confronto con altre più accurate, effettuate in una diversa sede.

## 3. Considerazioni sul Wafer run TRW™ 4245

Il contratto con TRW™ stipulato da CSIRO® per conto di CSIRO® (AUS) stesso e di JBO® (UK), IRA® (I), ASTRON® (NL) e TcfA® (PL) prevede la lavorazione di 6 wafer InP dei quali ne vengono garantiti funzionanti 3. Dalle misure di convalida del processo effettuate da TRW™, cinque di questi sono risultati rispettare le specifiche di processo. In Fig 3.1 è riportata la tabella relativa alle misure effettuate da TRW™ sui diversi wafer, su appositi dispositivi, per verificare la corrispondenza con le specifiche assegnate.

Parameter	Units	PCMgoal	Wafer Avg 4245-020	Wafer Avg 4245-021	Wafer Avg 4245-023	Wafer Avg 4245-024	Wafer Avg 4245-025
f <sub>T</sub> (H21 @1V & Idsp)	GHz	180	185	180	178	180	178
MAG @26 GHz	dB	15,5	14,5	14,5	14,3	14,3	14,2
Peak Transconductance	mS/mm	900	1109	1105	1048	1049	1039
Pinch-off Voltage	Volts	-0.5	-0,08	-0,07	-0,16	-0,15	-0,14
Breakdown Voltage, BV <sub>gsr</sub>	Volts	-2.0	-1.9	-1.8	-1.6	-1.7	-1.6
Thin Film Resistor	Ohms/sq	100	101	102	100	100	100
MIM Capacitor	pF/mm <sup>2</sup>	300	283	281	281	282	281
Wafer Thickness	µm	75					

Figure 3.1

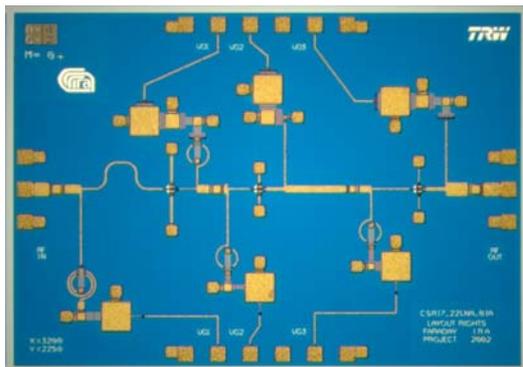
La Transconduttanza risulta essere molto più alta di quanto previsto. Questo indica un maggior guadagno disponibile per ogni stadio, ma come conseguenza si riduce il margine di stabilità del singolo dispositivo, individuabile in prima approssimazione nella riduzione del MSG (Max Stable Gain). Occorre prestare molta attenzione a questo aspetto, perché a temperature criogeniche, la transconduttanza tende ad alzarsi ulteriormente, aumentando il rischio di instabilità. La presenza di auto oscillazioni renderebbe inutilizzabili gli amplificatori. Inoltre la Tensione di Breakdown è sensibilmente più bassa di quanto previsto. Questo dato, sommato alla nota e documentata fragilità dei dispositivi InP rispetto ai GaAs, deve far riflettere su tutte le possibili precauzioni da prendere per proteggere i dispositivi da sovratensioni che potrebbero danneggiarli in modo permanente.

#### 4. Descrizione dei dispositivi

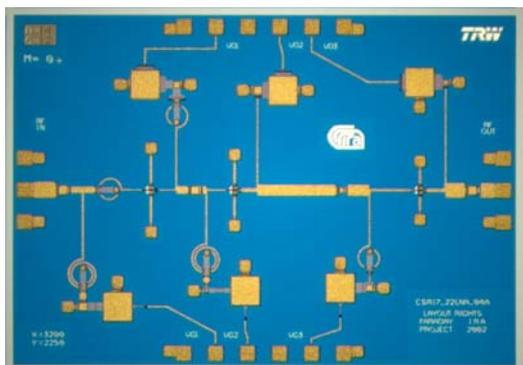
I dispositivi in oggetto sono amplificatori progettati per funzionamento criogenico. Le dimensioni sono per tutti 3,2(L) x 2,25(W) mm e necessitano della medesima configurazione di probe per effettuare le misure: 2 probe RF Ground-Signal-Ground (G-S-G) per il segnale radiofrequenza e 2 probe G-S-S-S-S-G per la polarizzazione. La distanza (pitch) fra i diversi aghi (probetips) che compongono la medesima probe è di 200 µm. Guardando i chip dall'alto, come in figura 4.2, i pads di ingresso sono a sinistra, quelli di uscita a destra, quelli di bias di drain in alto, quelli di bias di gate, in basso. Nella tabella di Fig. 4.1 sono riportate le condizioni di polarizzazione di progetto, prese come punto di partenza per verificare il corretto funzionamento dei dispositivi. Successivamente in Fig. 4.2 sono riportate le immagini dei diversi dispositivi a fianco della relativa la mappa di configurazione dei pads di alimentazione.

Design Name	Stage 1				Stage 2				Stage 3			
	Id [mA]	Vds1 [V]	RD1	VD1	Id [mA]	Vds2 [V]	RD2	VD2	Id [mA]	Vds3 [V]	RD3	VD3
CSR17_20LNA_01A	18	0.90	40	1.62	18	0.9	40	1.62	18	0.9	40	1.62
CSR17_22LNA_01A	18	0.90	35	1.53	18	0.9	30	1.44	18	0.9	35	1.53
CSR17_22LNA_04A	18	0.90	30	1.44	18	0.9	15	1.17	18	0.9	10	1.08
CSR17_22LNA_05A	18	0.90	35	1.53	18	0.9	25	1.35	18	0.9	30	1.44
CSR17_22LNA_07A	18	0.90	25	1.35	18	0.9	25	1.35				

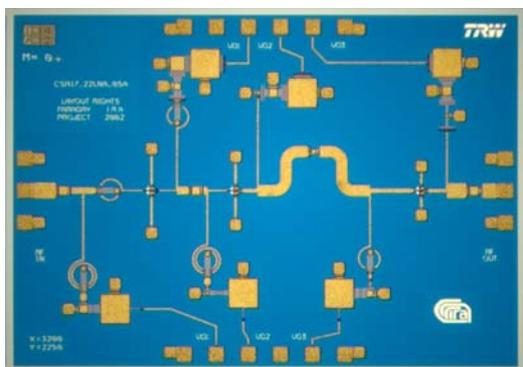
Figure 4.1



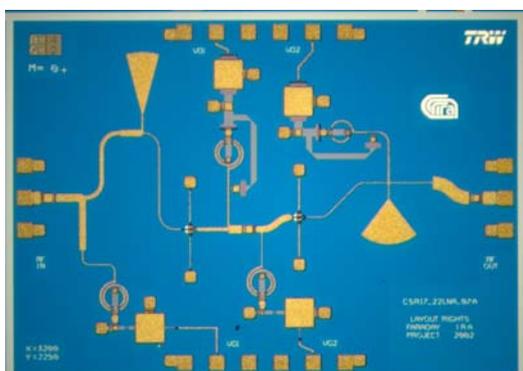
Drain			
4	3	2	1
1,53	1,44	X	1,53
<b>CSR17_22LNA_01A</b>			
		X	
1	2	3	4
Gate			



Drain			
4	3	2	1
1,44	X	1,17	1,08
<b>CSR17_22LNA_04A</b>			
		X	
1	2	3	4
Gate			



Drain			
4	3	2	1
X	1,53	1,35	1,44
<b>CSR17_22LNA_05A</b>			
		X	
1	2	3	4
Gate			



Drain			
4	3	2	1
1,35	X	X	1,35
<b>CSR17_22LNA_07A</b>			
	X	X	
1	2	3	4
Gate			

Figure 4. 2

## 5. Misure di Parametri S

### 5.1 Setup del banco di misura

Il primo banco di misura è stato approntato utilizzando una versione primitiva di probestation Cascade™ mod. Summit 10000® presente nel laboratorio, due PC, uno per il controllo diretto della movimentazione operante in MS-DOS® e l'altro per la gestione automatica dell'intero banco di misura, un analizzatore di rete vettoriale HP 8510C®, tre alimentatori Keithley® per le alimentazioni di gate ed un alimentatore GW PPT-1830® a tre canali per i relativi drain. Tutti gli alimentatori nominati in precedenza sono controllabili via GP-IB dal software di controllo del sistema.

Questo setup si è dimostrato quasi immediatamente non affidabile. Nella sezione relativa alle misure introduttive è descritto il motivo per cui dopo svariati tentativi, si è deciso di approntare un differente banco di misura su un'altra probestation Cascade™ di costruzione più recente ed affidabile per ciò che riguarda la movimentazione. Inoltre il banco di alimentatori commerciali utilizzati in precedenza è stato sostituito da un alimentatore specificatamente progettato e realizzato internamente in ATNF® ( Australia Telescope National Facilities ) per alimentare amplificatori InP . Nel grafico di fig. 5.1.1 è schematizzato il banco di misura allestito. Nelle immagini di Fig. 5.1.2 sono rappresentati: il VNA (a), la probestation (b), il banco di alimentatori sviluppati da ATNF® (c) ed il wafer allineato per essere misurato (d).

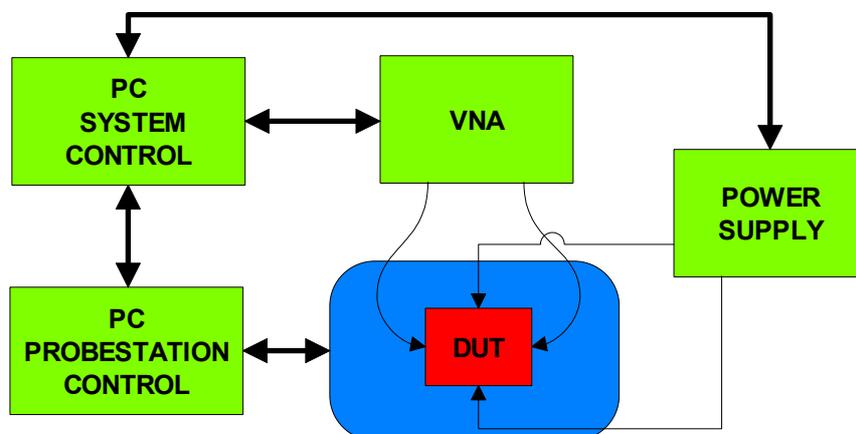


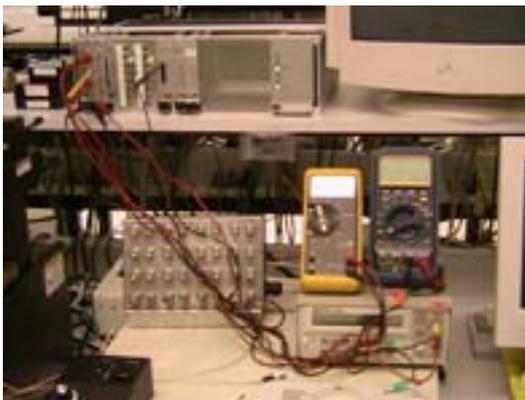
Figure 5.1.1



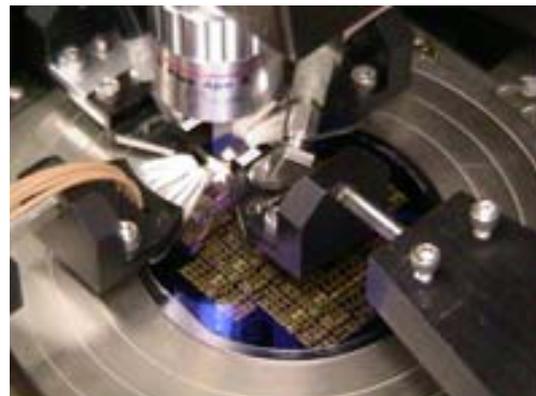
(a)



(b)



(c)



(d)

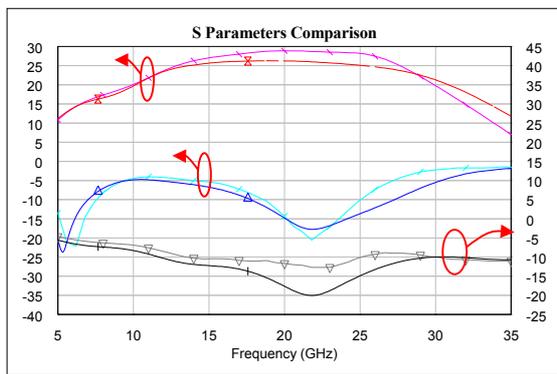
**Figure 5.1.2**

## **5.2 Misure preliminari**

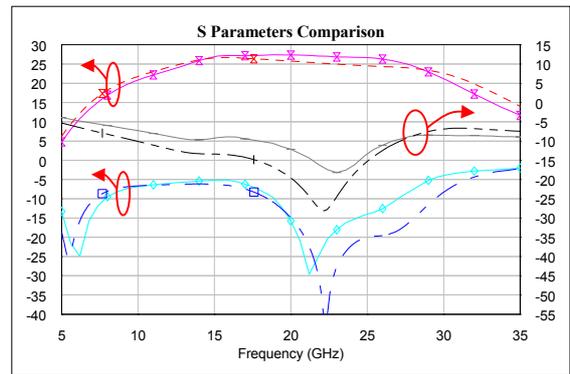
Le prime misure sono state effettuate sul wafer 4245-021 con il primo setup ed hanno dato risultati incoraggianti. In generale il guadagno è risultato più alto di quanto ci si aspettasse, ma ugualmente gli adattamenti d'impedenza in ingresso ed in uscita sono risultati soddisfacentemente comparabili con le simulazioni. Nei grafici di Fig. 5.2.1 sono riportati, per ogni amplificatore, le misure su un singolo campione nel wafer 4245-021. La definizione "soddisfacentemente comparabili" indica una similitudine di andamento ed ha

valenza qualitativa, in quanto, in questa prima fase non è stata eseguita nessuna correzione ai valori di polarizzazione che, compensando l'incremento di guadagno, potesse far recuperare le differenze di adattamento fra simulato e misurato. Il dispositivo tipo LNA\_07A presenta le differenze più evidenti. Anche in questo caso, l'informazione ottenuta è puramente indicativa sull'andamento generale, poiché la differenza di comportamento potrebbe risiedere nel singolo dispositivo misurato.

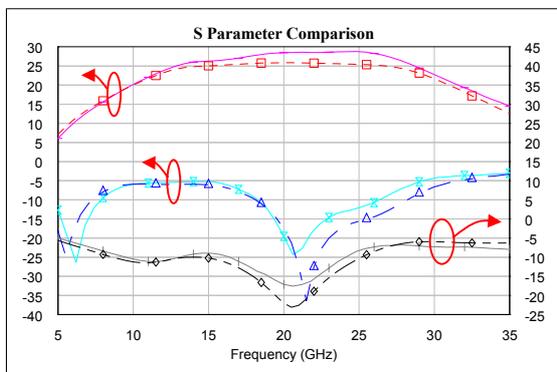
In figura sono riportati i valori misurati in linea continua ed in tratteggio i rispettivi simulati.



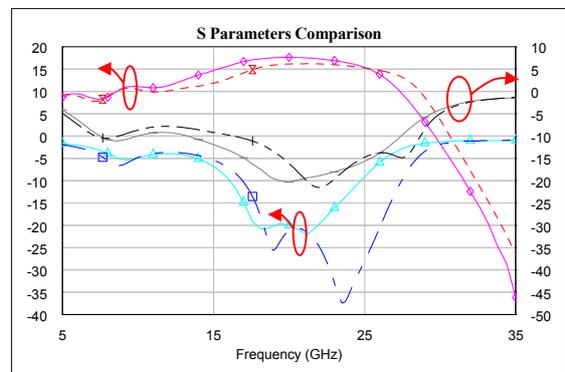
4245-021 22LNA\_01A



4245-021 22LNA\_04A



4245-021 22LNA\_05A



4245-021 22LNA\_07A

Figure 5.2.1

Inizialmente è risultato evidente un alto tasso di mortalità degli HEMT, attribuito in un primo tempo alla qualità del wafer; molti HEMT presentavano gates che assorbivano una corrente dell'ordine di 0,5 mA considerata intollerabilmente alta per un dispositivo correttamente funzionante. Proseguendo le misure ci si è accorti che questi "Leaky gates" erano soprattutto nel secondo stadio di tutti gli amplificatori. Questo fatto ha insospettito rendendo probabile un possibile malfunzionamento di almeno uno degli alimentatori presenti nel laboratorio. Inoltre la probestation utilizzata ha dimostrato problemi di controllo

della movimentazione che potevano danneggiare il wafer durante la misura. Tutto ciò ha reso necessario riallestire un nuovo banco di misura attorno ad una nuova probestation che utilizzasse alimentatori specificatamente progettati per pilotare amplificatori nei ricevitori costruiti dal receivers groups di ATNF. Con questi nuovi Power Supply non è stato possibile utilizzare il software di controllo del sistema in modalità completamente automatica perché non si potevano controllare via GP-IB. La modalità semiautomatica è stata comunque sufficientemente rapida da consentire il completamento delle misure di parametri S. Gli schemi circuitali degli alimentatori sono stati acquisiti in modo da confrontare il loro principio di funzionamento con quelli progettati dai Laboratori in Medicina. Nel grafico di Fig. 5.2.2 è rappresentata la risposta di un amplificatore alle variazioni di corrente di drain. In rosa sono tracciate le misure relative alle condizioni di bias da progetto ed in linea continua le misure relative a diversi livelli di corrente di drain. Le linee ingrossate rappresentano le simulazioni. Ciò indica che a scapito di un maggior guadagno, è possibile, riducendo le correnti di drain, ritornare alle condizioni di progetto.

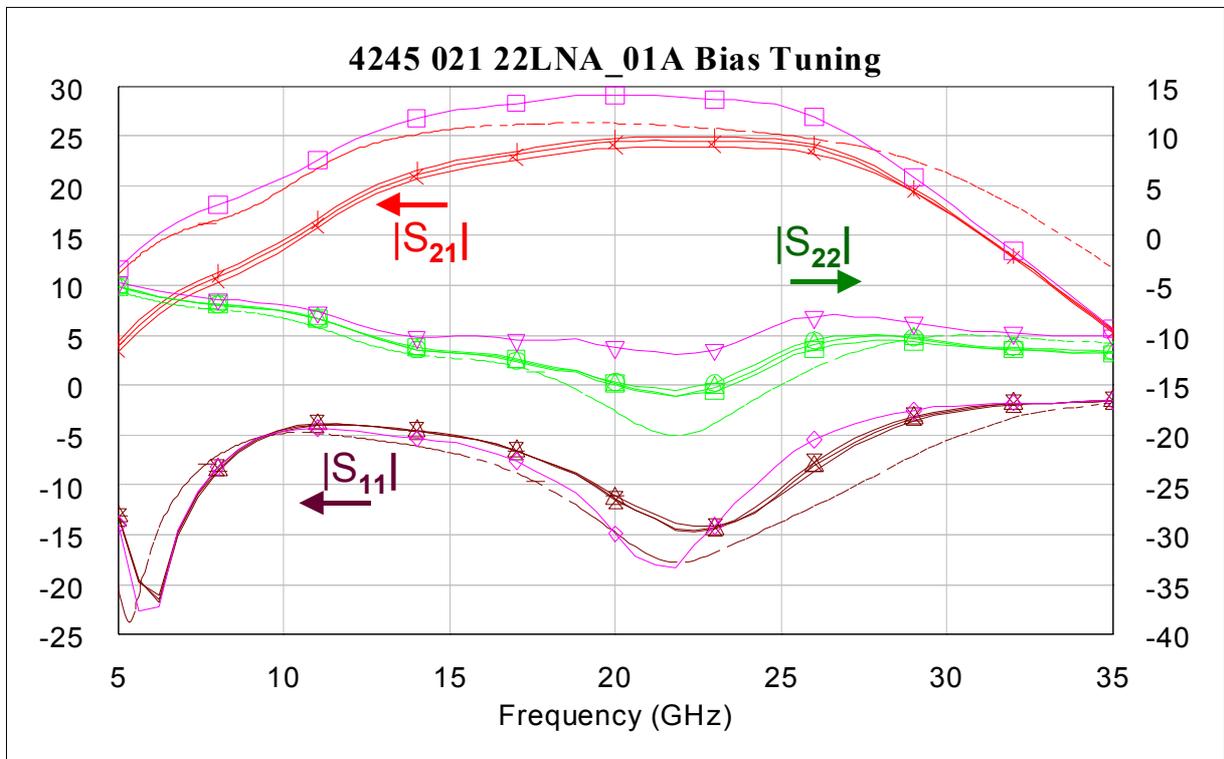


Figure 5.2.2

### 5.3 Definizione delle regole di convalida della misura ed automatizzazione

Queste misure sono state eseguite soprattutto per verificare quali e quanti, dei dispositivi presenti sui diversi wafer, sono funzionanti in modo qualitativamente simile a quanto simulato. Di seguito sono riportati, a titolo di esempio, i risultati delle misure di parametri S effettuate di un tipo di amplificatore (22LNA\_01A) su uno specifico wafer (4245-020). La collezione completa dei grafici relativi alle misure è riportata in appendice A. La linea rossa di maggiore spessore rappresenta quanto simulato, mentre tutte le altre tracce sul grafico rappresentano il comportamento delle diverse copie dello stesso dispositivo su un dato wafer.

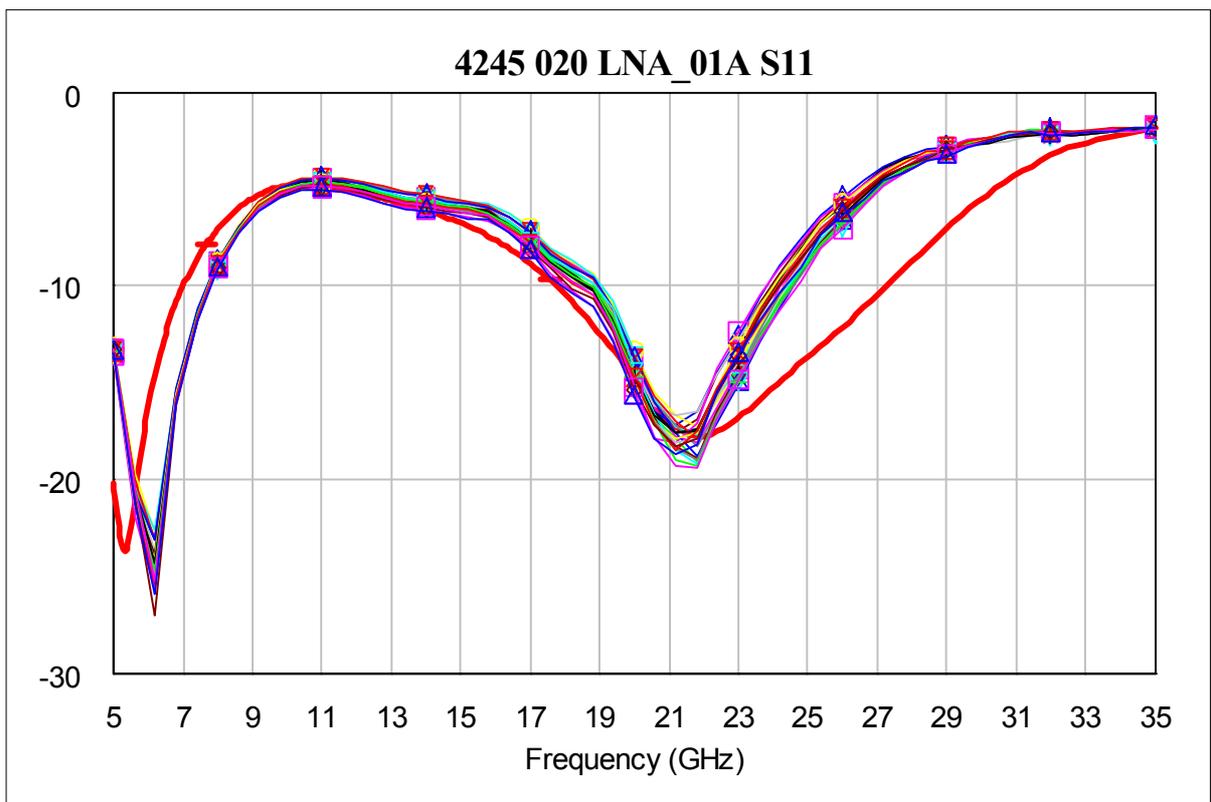


Figure 5.3.1

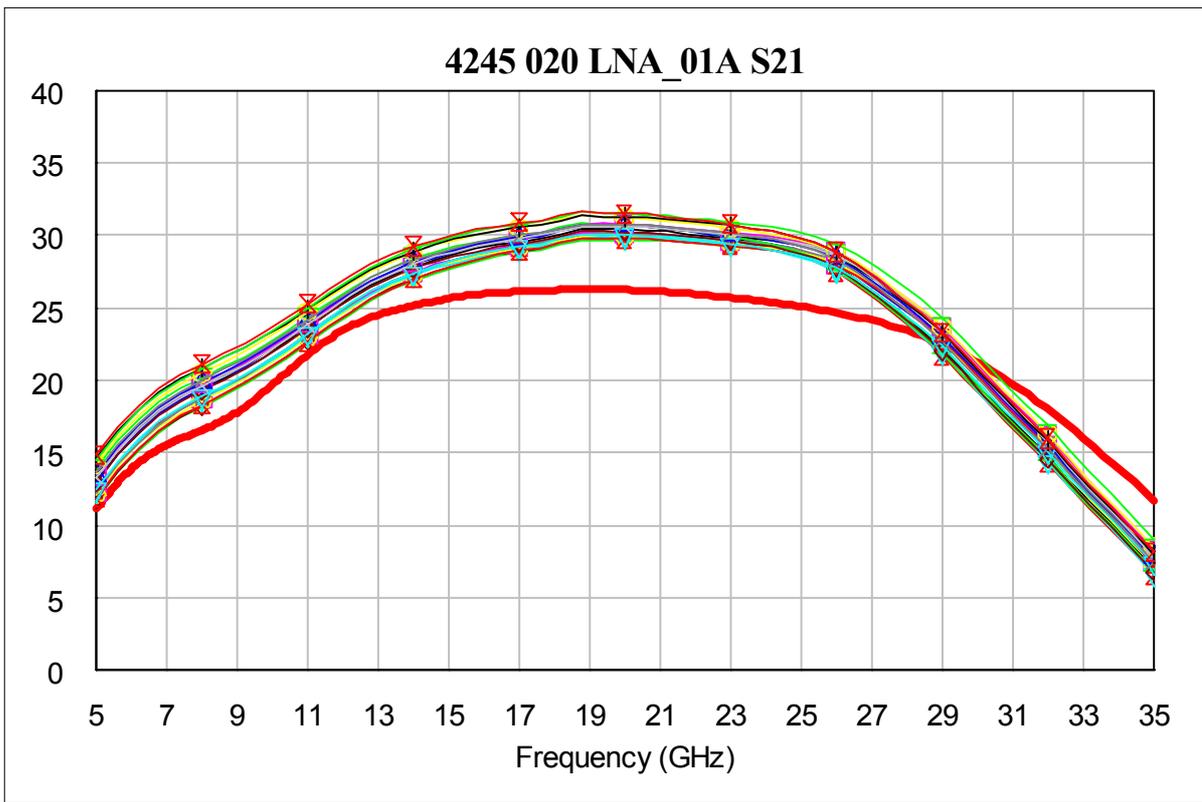


Figure 5.3.2

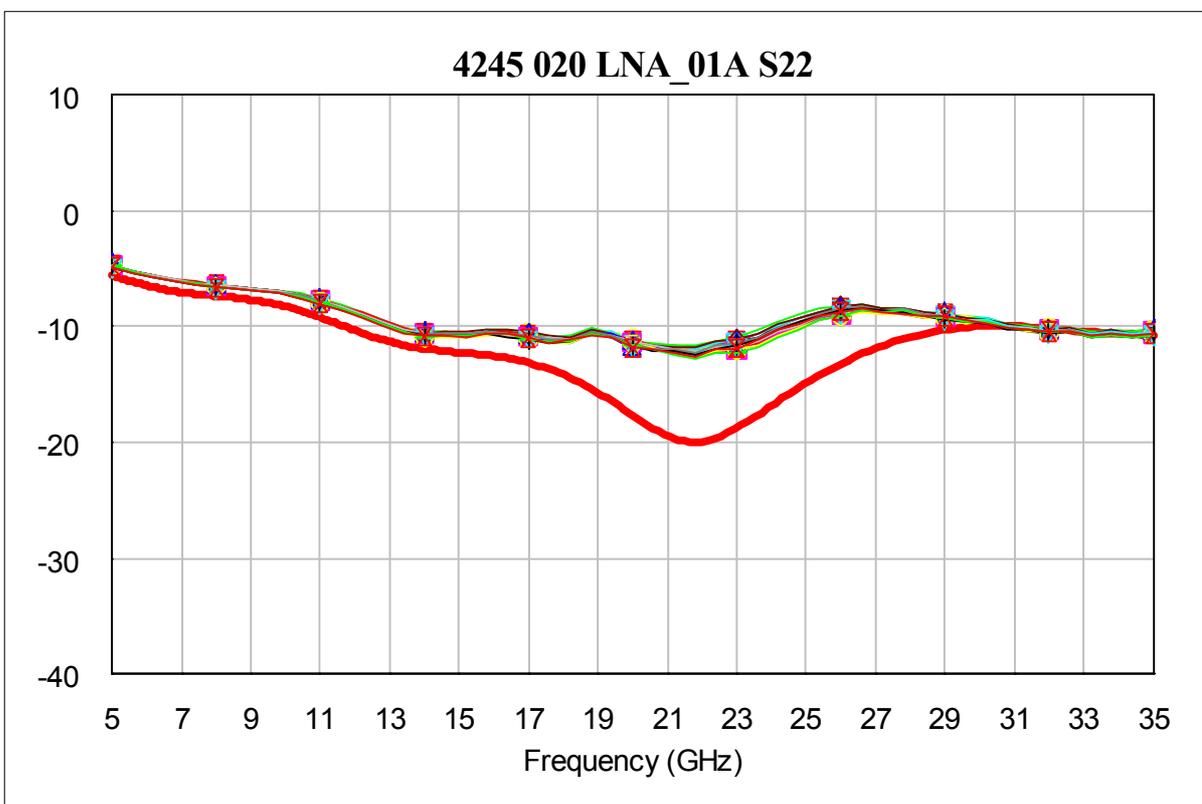


Figure 5.3.3

## 5.4 Risultati ottenuti

Di seguito in Fig 5.4.1 sono riportate le tabelle riassuntive dei valori medi a 22 GHz delle misure di parametri S effettuate su tutti i dispositivi del wafer run, divise per wafer e per dispositivo.

Design Name	S11  @ 22GHz					
	4245-020	4245-021	4245-023	4245-024	4245-025	Goal
CSR17_22LNA_01A	-19	-19	-19	-18.4	-17.8	-20.6
CSR17_22LNA_04A	-26	-23.3	-26	-26	-25	-23.6
CSR17_22LNA_05A	-16.6	-17	-17	-17	-16.7	-31.7
CSR17_22LNA_07A	-18.7	-17	-17.8	-17.8	-18	-25.1

Design Name	S21  @ 22GHz					
	4245-020	4245-021	4245-023	4245-024	4245-025	Goal
CSR17_22LNA_01A	29.3	30,4	29.3	29.8	29.3	26
CSR17_22LNA_04A	27.3	28	27.3	27.7	27	25.2
CSR17_22LNA_05A	30	28.7	29.2	29	28.9	25.6
CSR17_22LNA_07A	18.5	18.2	17.5	17.9	18	16.2

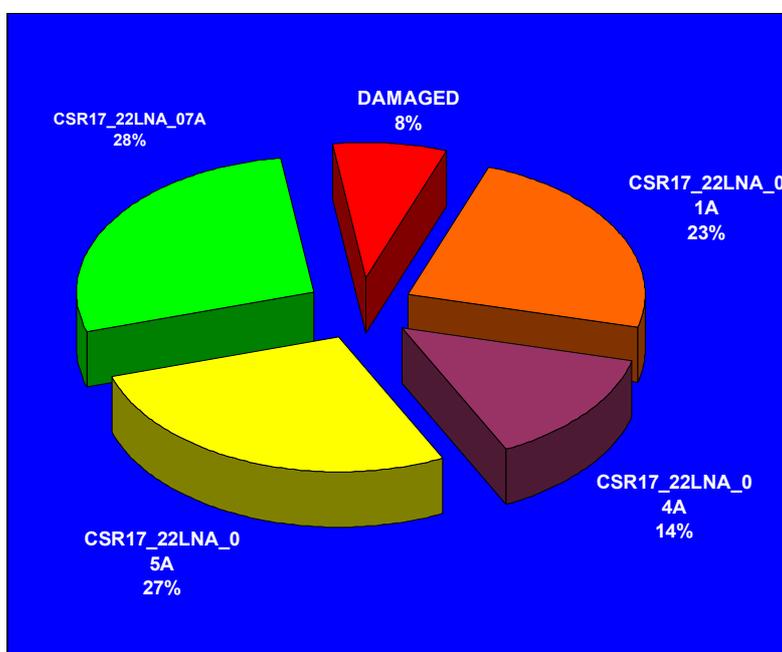
Design Name	S22  @ 22GHz					
	4245-020	4245-021	4245-023	4245-024	4245-025	Goal
CSR17_22LNA_01A	-12	-11.5	-12	-11.5	-12	-19.5
CSR17_22LNA_04A	-15	-14.7	-15	-13.9	-14.3	-30.5
CSR17_22LNA_05A	-14.5	-13	-14.7	-14.4	-14.3	-23.9
CSR17_22LNA_07A	-22	-22	19.7	-21.5	-21.5	-22.9

Figure 5.4.1

Dalle tabelle si nota una notevole omogeneità dei risultati attraverso i diversi wafer, soprattutto una più che accettabile corrispondenza fra misurato e quanto simulato. Le differenze maggiori si avvertono soprattutto negli adattamenti (S11 e S22), dove essendo presenti un circuiti di adattamento abbastanza stretti la condizione di minimo Return Loss (massimo adattamento) va sintonizzata agendo sulle alimentazioni per spostarla in frequenza ed ottenere un risultato simile a quanto desiderato (I grafici dei paragrafi 5.2 e 5.3 e le appendici descrivono in modo più chiaro ed esaustivo questo concetto).

Anche il guadagno risulta molto elevato rispetto a quanto simulato ( fino a 6dB in più). Questo è dovuto all'elevato valore di transconduttanza, parametro che dipende dal processo. La stabilità intrinseca (intesa come rischio di oscillazione) del singolo HEMT risulta ridotta, ma dalle indagini condotte sulle oscillazioni, sembra non aver influenzato la stabilità complessiva del dispositivo.

Dal conteggio effettuato sui dispositivi progettati dall'IRA, in totale 430, è risultato che meno dell' 8% risulta danneggiato o non accettabile. Questo è un ottimo risultato che indica la maturazione ed il grado di affidabilità del processo utilizzato.



**Figure 5.4.2**

## 6. Ricerca di autoscillazioni

Una delle preoccupazioni maggiori di un progettista di amplificatori riguarda le oscillazioni. E' inutile progettare Dispositivi estremamente performanti in termini di basso rumore e di guadagno quando questi sono inutilizzabili a causa della presenza di oscillazioni. Per questo motivo, anche se in modo abbastanza veloce, è stata condotta un'indagine sperimentale per cercare una eventuale predisposizione all'oscillazione di questi dispositivi. Questa sarà in ogni caso ripetuta nei laboratori IRA con maggior scrupolo, quando il dispositivo sarà interfacciato per essere integrato nei ricevitori. Il banco di Misure è quello rappresentato nello schema di Fig 6.1



## 7. Test di stress sulle alimentazioni

Con questo tipo di test si è voluta verificare la robustezza dei chip ad alimentazioni difettose. Utilizzando gli alimentatori realizzati da ATNF, mentre questi ultimi fornivano corrente ai dispositivi, si sono più volte alzate ed abbassate gli aghi delle probe sul chip con diverse combinazioni di stadi eroganti, senza che si verificasse alcuna rottura.

Si noti che questo tipo di stress, di fatto verifica le robustezze sia meccaniche sia elettriche.

## 8. Misure di Rumore

### 8.1. Setup del banco di misura

#### 8.1.1. Elenco dei componenti

Il banco di misura di rumore è composto dai seguenti elementi:

- Agilent Technologies™ 83650L Sweep CW generator 10 MHz – 50 GHz



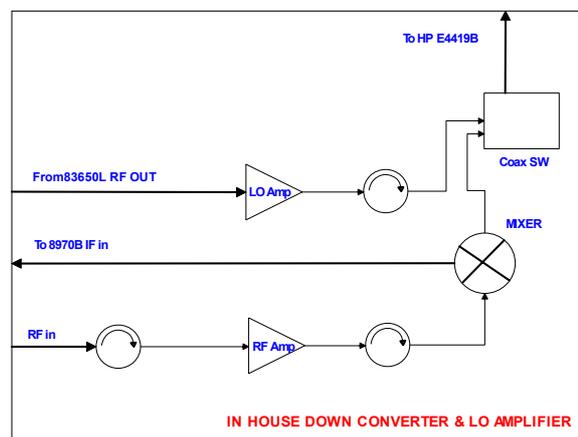
- HP 8970B Noise Figure Meter



- “Inhouse” Noise Figure Test Set



Lo schema funzionale del componente illustrato sopra è il seguente:



Esso è necessario per convertire il segnale RF misurato nella banda di lavoro del Noise Figure Meter. Prima di utilizzarlo è necessario eseguire una procedura di taratura della potenza del segnale in uscita dal 83650L affinché essa risulti, in ingresso al Power meter, compresa fra i +10 dBm ed i +15 dBm. Naturalmente il Power meter deve essere calibrato prima di essere utilizzato.

- Agilent Technologies™ Power Meter HP E4419B



- Agilent Technologies™ Power Sensor PN 8487A SN 2937A01001



- Noise Source HP PN: 346C K01 SN 3328A04559



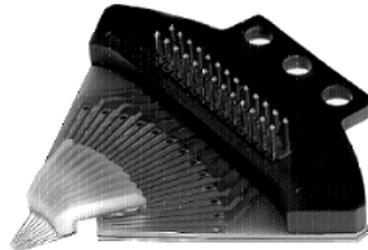
- Attenuatore Wiltron™ PN 41VC-6 SN 960061



- Input Probe Picoprobe™ PN 67A-GSG-200 P SN 37899 (a)
- Output Probe Picoprobe™ PN 67A-GSG-200 P SN 37898 (a)
- Drain DC Probe PN MCW-9-3702-1 GSSSSG-200P SN 4458 (b)
- Gate DC Probe PN MCW-9-3702-1 GSSSSG-200P SN 4457 (b)



(a)



(b)

- RF Cable Insulated Wire Inc.™ PN 2PS-1453-240-2PS SN 09231998
- RF Cable M.L.Gore™ PN 4F0BC0BX 048.0 65474 SN 1208623

### 8.1.2. Descrizione Del Banco di Misura

Il banco di misura si compone come in figura 8.1.2.1: PC1 controlla L'intero banco: guida nella calibrazione, esegue la misura controllando gli strumenti via GP-IB, salva i dati secondo uno specifico formato e istruisce PC2, che gestisce la movimentazione della probestation, sulle coordinate da raggiungere nel reticolo del wafer. E' fondamentale che il banco di misura, una volta acceso non venga più spento fino al completamento delle misure.

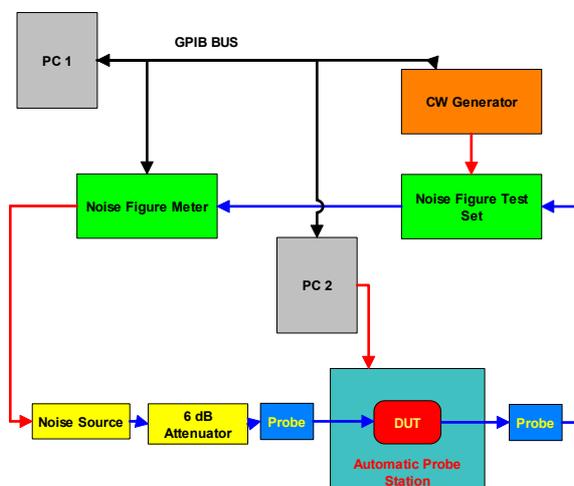
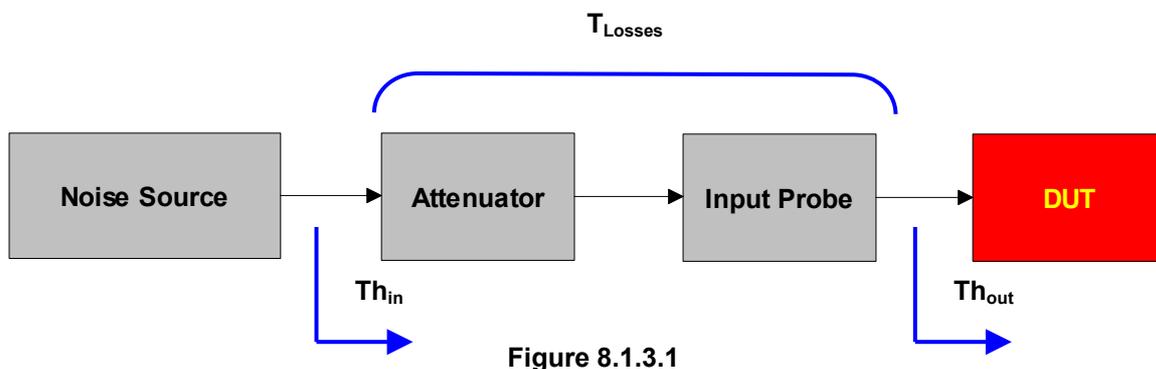


Figure 8.1.2.1

### 8.1.3. Caratterizzazione degli elementi inseriti fra Noise Source e DUT

Il Noise Figure Meter (NFM) opera considerando una tabella ENR inserita prima della misura. Questa tabella si riferisce ad un preciso piano di riferimento, ovvero il connettore di uscita della Sorgente di Rumore. Tutto ciò che si frappone fra questo piano di riferimento ed il piano di riferimento di calibrazione dello strumento viene considerato dal NFM come facente parte del DUT. Nel nostro caso le perdite nelle probe di ingresso vengono considerate facenti parte del DUT.

Vi sono diversi metodi per tener conto di queste perdite, con diversi gradi di accuratezza. In questo caso, non abbiamo effettuato una traslazione vettoriale dell'ENR ma abbiamo solo preso in considerazione le perdite introdotte e ricompilato opportunamente la tabella. Inoltre per ottenere un miglior risultato di misura, confrontabile con quanto simulato è stato introdotto anche un attenuatore. Quest'ultimo riduce sia il disadattamento del Generatore di Rumore sia la differenza di disadattamento d'impedenza fra lo stato on e lo stato off della sorgente di rumore. Quanto misurato corrisponderà al reale comportamento del dispositivo quanto più questo vedrà in ingresso una sorgente adattata. Anche l'attenuatore è stato opportunamente caratterizzato e gli effetti sono stati considerati nella tabella ricompilata. In Fig. 8.1.3.1 è descritta schematicamente la traslazione del piano di riferimento dell'ENR.



$$ENR_{OUT} = 10 \cdot \text{Log} \left( \frac{Th_{OUT} - T_{Losses}}{290} \right)$$

$$Th_{OUT} = Th_{IN} \cdot Losses + (1 - Losses) \cdot T_{Losses}$$

$$Losses = 10^{-\frac{|Att[dB] + Ploss[dB]|}{10}}$$

$$Th_{in} = 290 \cdot 10^{\frac{ENR_m[dB]}{10}} + T_{amb}$$

Le formule

riportate nella pagina

precedente sono state applicate ai dati nella tabella di Fig. 8.1.3.2 ed effettuano la traslazione sulle probetips di ingresso.

La seguente tabella, basata sulle formule riportate sopra e contenente le caratterizzazioni di attenuatore e Input probe, riporta il valore di ENR traslato in modo scalare, alle punte della probe:

Freq	ENR in	Th in	Att.	Probe	Att.+ Probe	Tatt	Tamb	Th out	ENR out
[ GHz ]	[ dB ]	[ °K ]	[ dB ]	[ dB ]	[ num. ]	[ °K ]	[ °K ]	[ °K ]	[ dB ]
						k	k		
						294	294		
20	13,96	7511,7	6,33	0,37	0,213796209	294	294	1837,1	7,260
21	13,74	7155,2	6,35	0,38	0,212324446	294	294	1750,8	7,010
22	13,55	6861,5	6,37	0,38	0,211348904	294	294	1682,0	6,800
23	13,38	6609,4	6,38	0,38	0,210862815	294	294	1625,7	6,620
24	13,08	6187,8	6,40	0,39	0,209411246	294	294	1528,2	6,290
25	12,83	5858,1	6,42	0,40	0,207969669	294	294	1451,2	6,010
26	12,52	5474,8	6,44	0,41	0,206538016	294	294	1364,0	5,670
26,5	12,42	5356,9	6,44	0,41	0,226986485	294	294	1443,2	5,980
27	12,16	5062,7	6,45	0,41	0,226464431	294	294	1373,9	5,710
28	11,76	4643,1	6,46	0,39	0,225943577	294	294	1276,6	5,300
29	11,47	4362,2	6,47	0,38	0,225423921	294	294	1211,1	5,000
30	11,33	4233,1	6,47	0,43	0,225423921	294	294	1182,0	4,860
31	11,39	4287,9	6,47	0,45	0,225423921	294	294	1194,3	4,920
32	11,39	4287,9	6,47	0,44	0,225423921	294	294	1194,3	4,920
33	11,45	4343,5	6,46	0,45	0,225943577	294	294	1209,0	4,990
34	11,42	4315,6	6,46	0,47	0,225943577	294	294	1202,7	4,960
35	11,41	4306,3	6,47	0,51	0,225423921	294	294	1198,5	4,940
36	11,43	4324,9	6,47	0,49	0,225423921	294	294	1202,7	4,960
37	11,38	4278,7	6,47	0,46	0,225423921	294	294	1192,3	4,910
38	11,3	4206,0	6,47	0,49	0,225423921	294	294	1175,9	4,830
39	11,23	4143,4	6,47	0,47	0,225423921	294	294	1161,8	4,760
40	11,08	4012,8	6,47	0,46	0,225423921	294	294	1132,3	4,610

Figure 8.1.3.2

## 8.2. Calibrazione e Misura

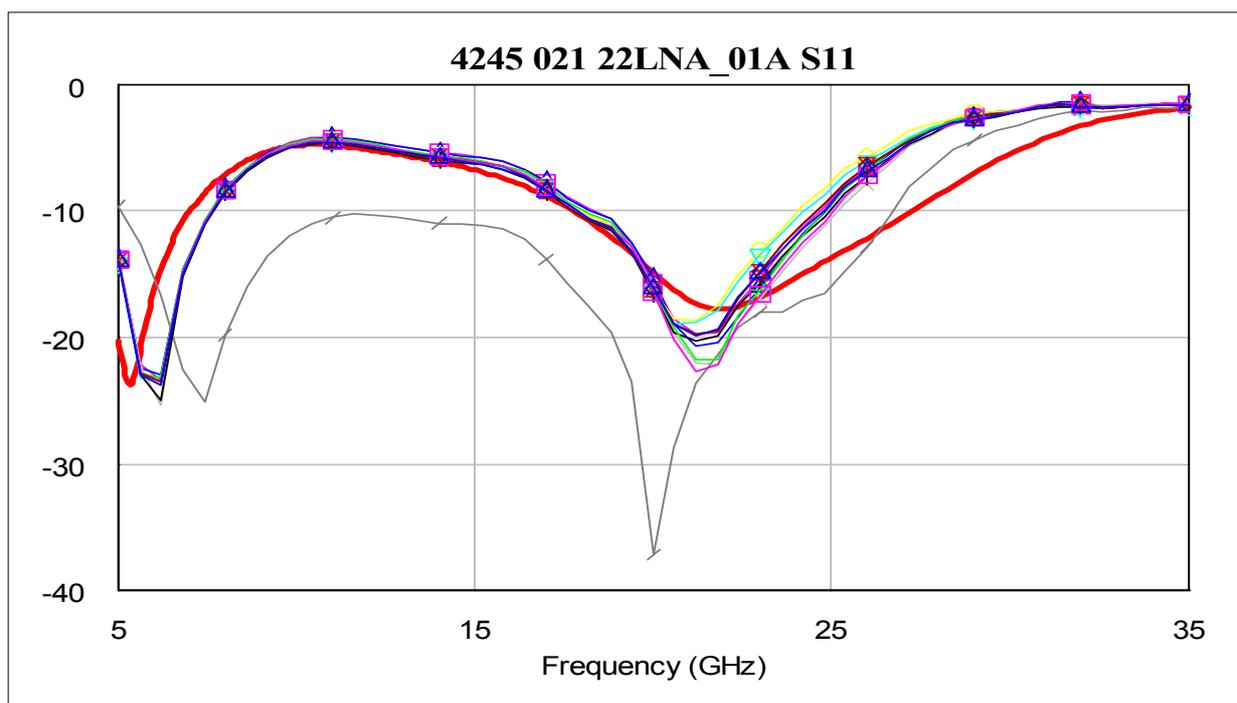
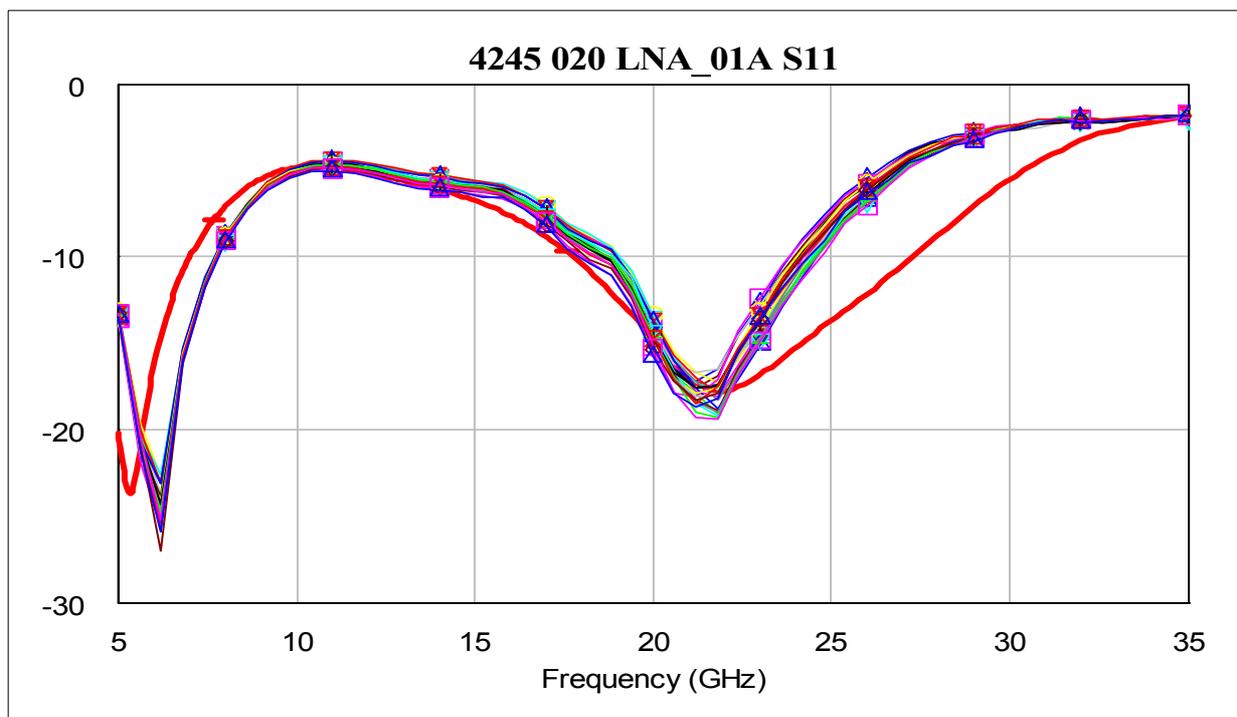
Il banco non è stato mai spento durante la sessione di misure ed è stato portato in equilibrio termico (warm-up) prima di utilizzarlo. La calibrazione è stata fatta utilizzando una linea  $Z_0=50 \Omega$  su un substrato di allumina. Questa operazione consente di detrarre gli effetti di rumore propri del NFM, della probe di uscita, del cavo di connessione dell'uscita e della linea che connette elettricamente le due probe durante la calibrazione. La misura è stata effettuata da 20 a 26 GHz, un punto ogni 500 MHz, 32 medie per ogni misura. In appendice B sono riportati i grafici relativi alle misure di rumore effettuate su tutti i dispositivi.

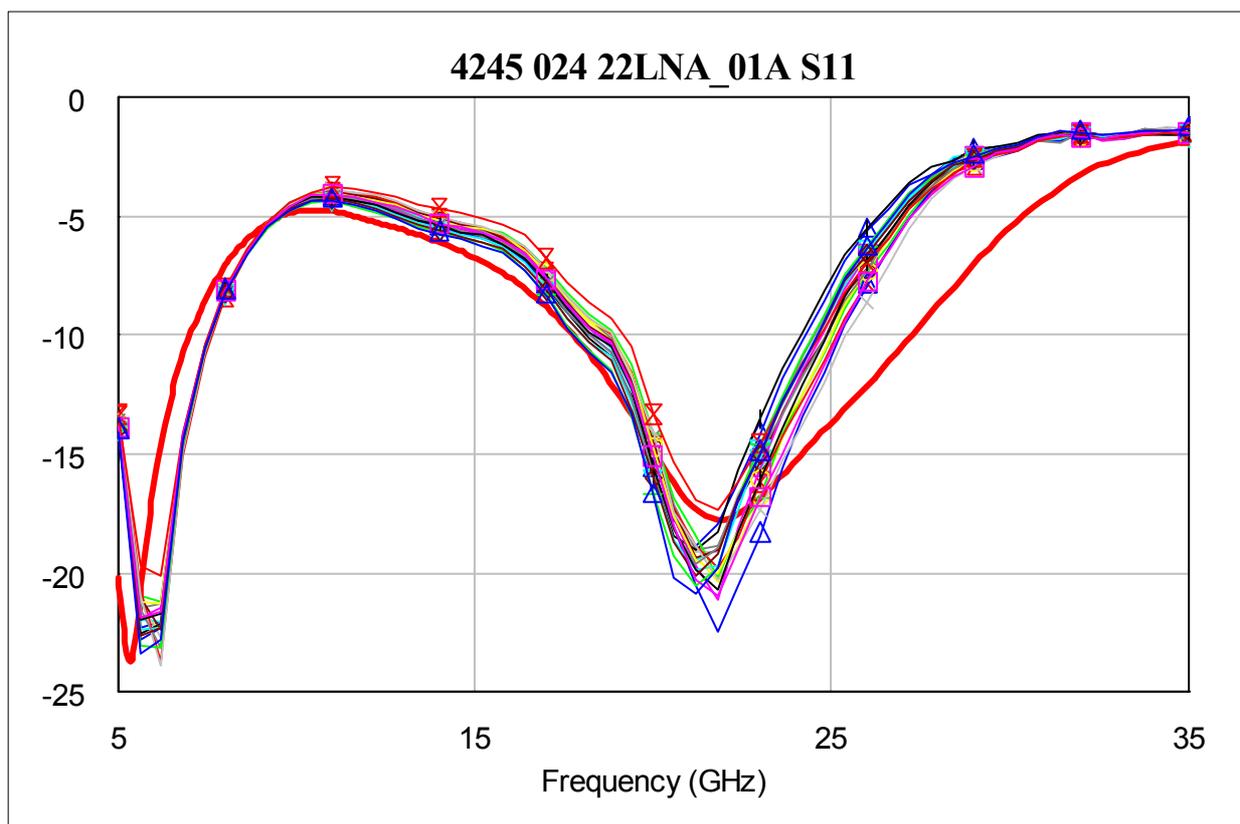
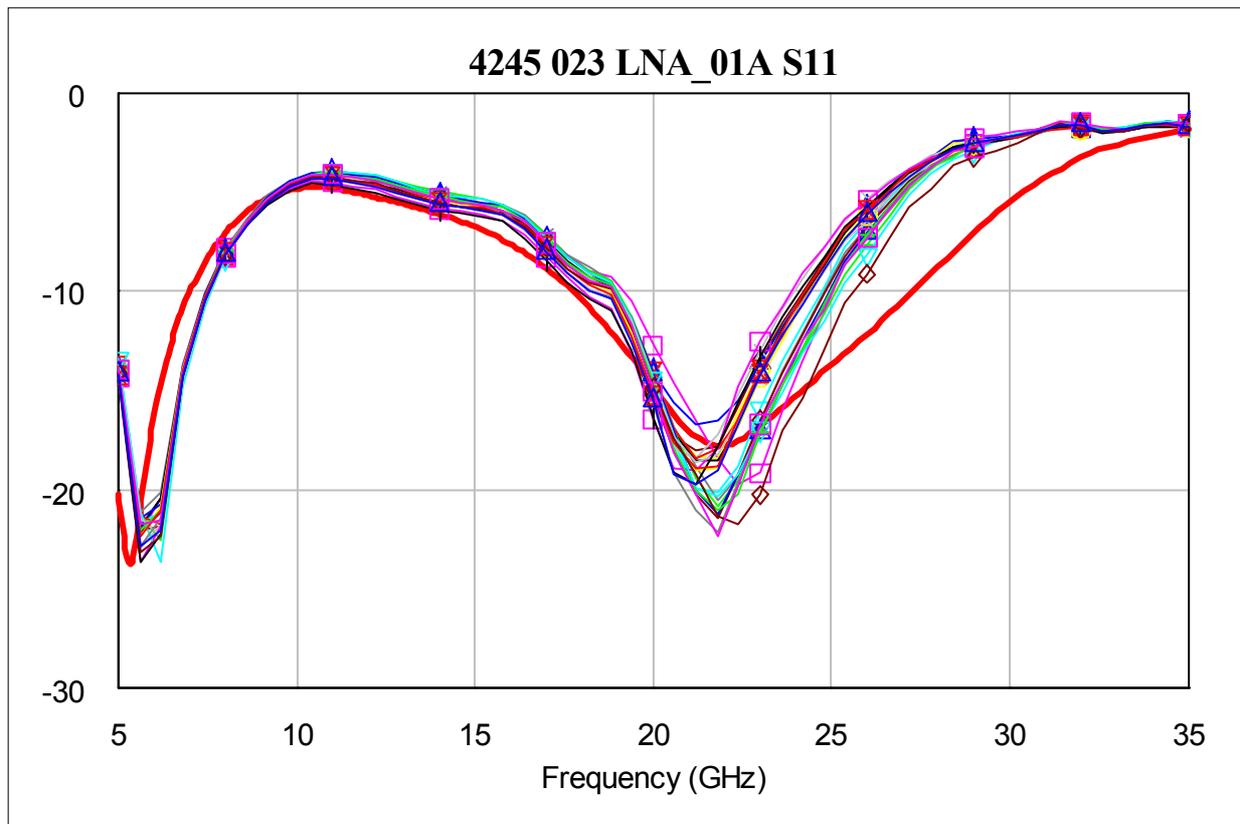
## 9. Conclusioni

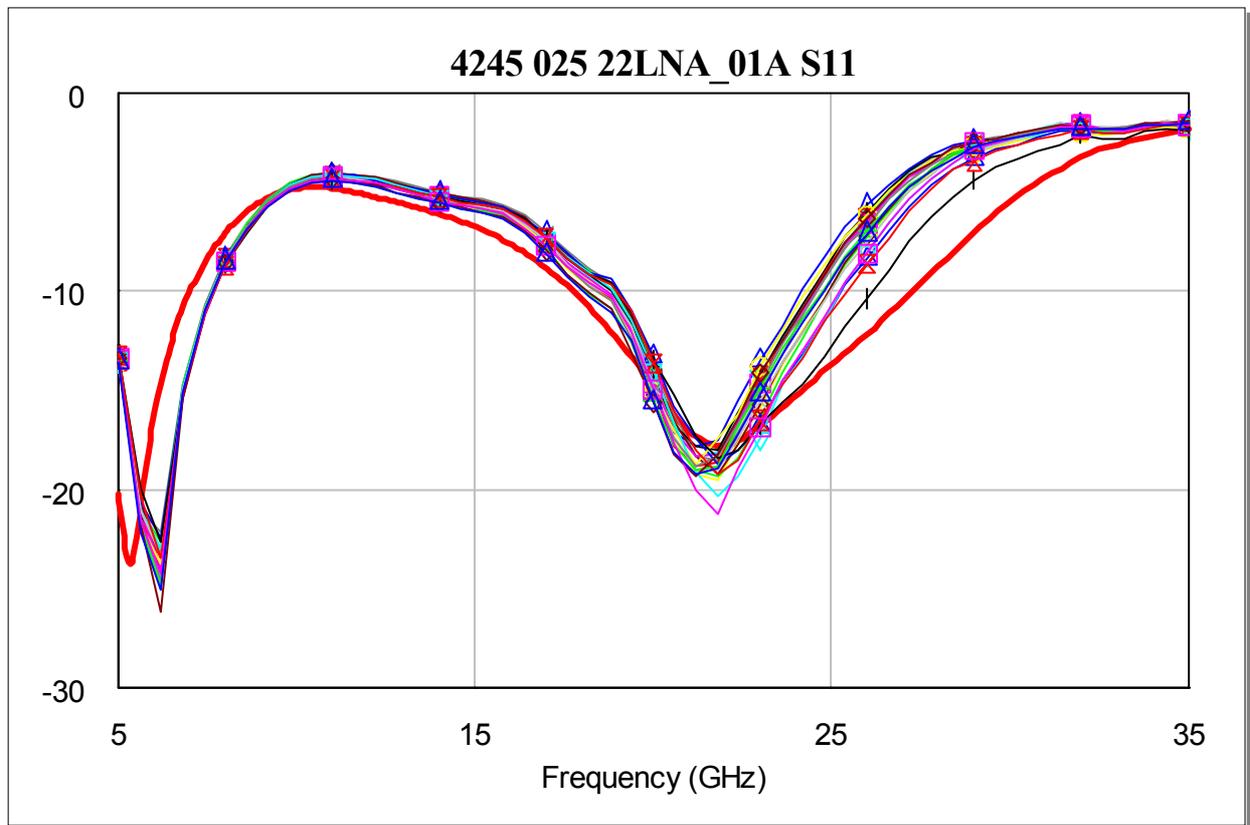
Dopo oltre 400 misure su dispositivi monolitici possiamo affermare che le prestazioni degli amplificatori, a questo stadio della realizzazione risultano soddisfacenti. Non sono evidenti oscillazioni ed il guadagno è risultato più elevato di quanto aspettato a causa della transconduttanza degli HEMT più alta di quanto definito come specifica di processo. Questo però, almeno alla temperatura ambiente non sembra aver compromesso la stabilità del dispositivo. Il rumore presenta, al di là di un valore superiore a quanto simulato, un offset (nella fattispecie è un ripple) che l'esperienza ci fa imputare ad un errore sistematico ma non individuato e quindi non correttamente detratto. La percentuale di dispositivi funzionanti è stata straordinariamente elevata, indicando un ottimo stadio di maturazione del processo di produzione dei dispositivi e dandoci la possibilità di avere molti più chip di quanto previsto per le prove di laboratorio e come componenti di ricambio.

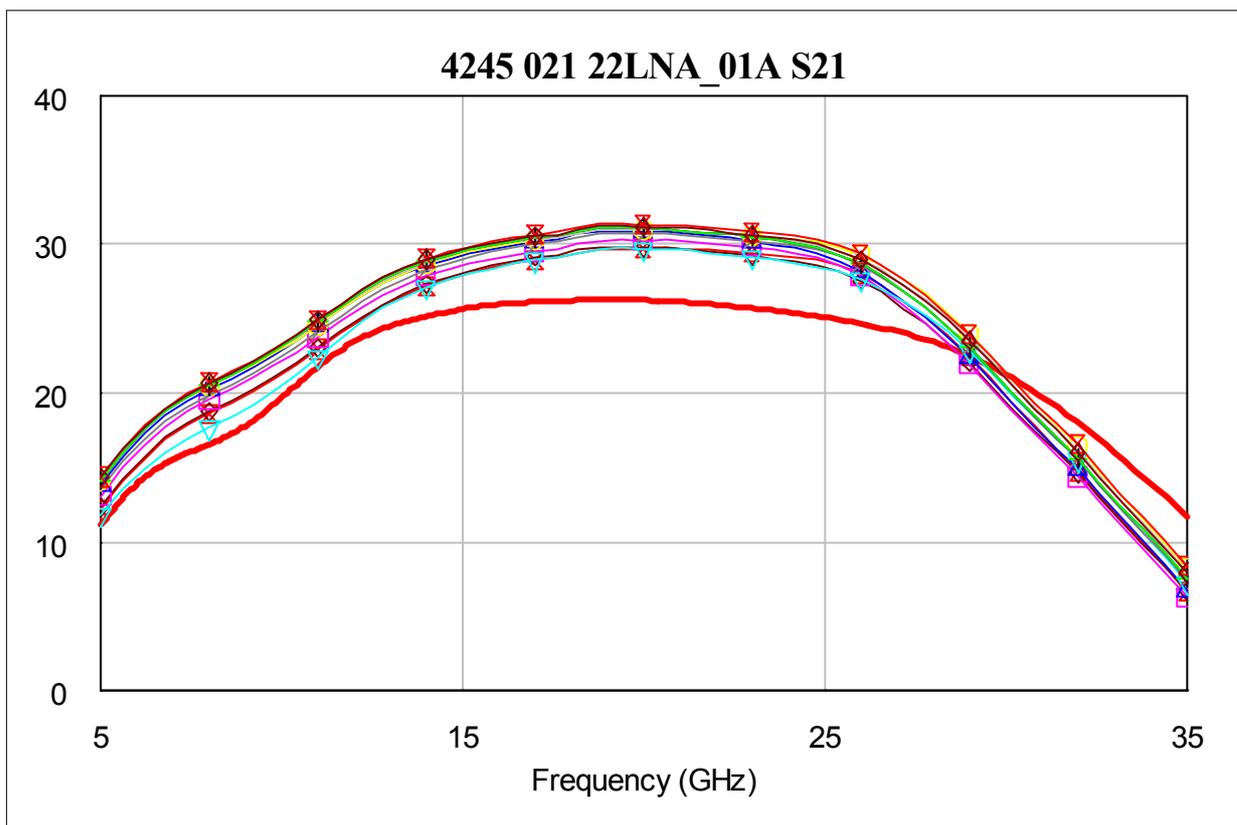
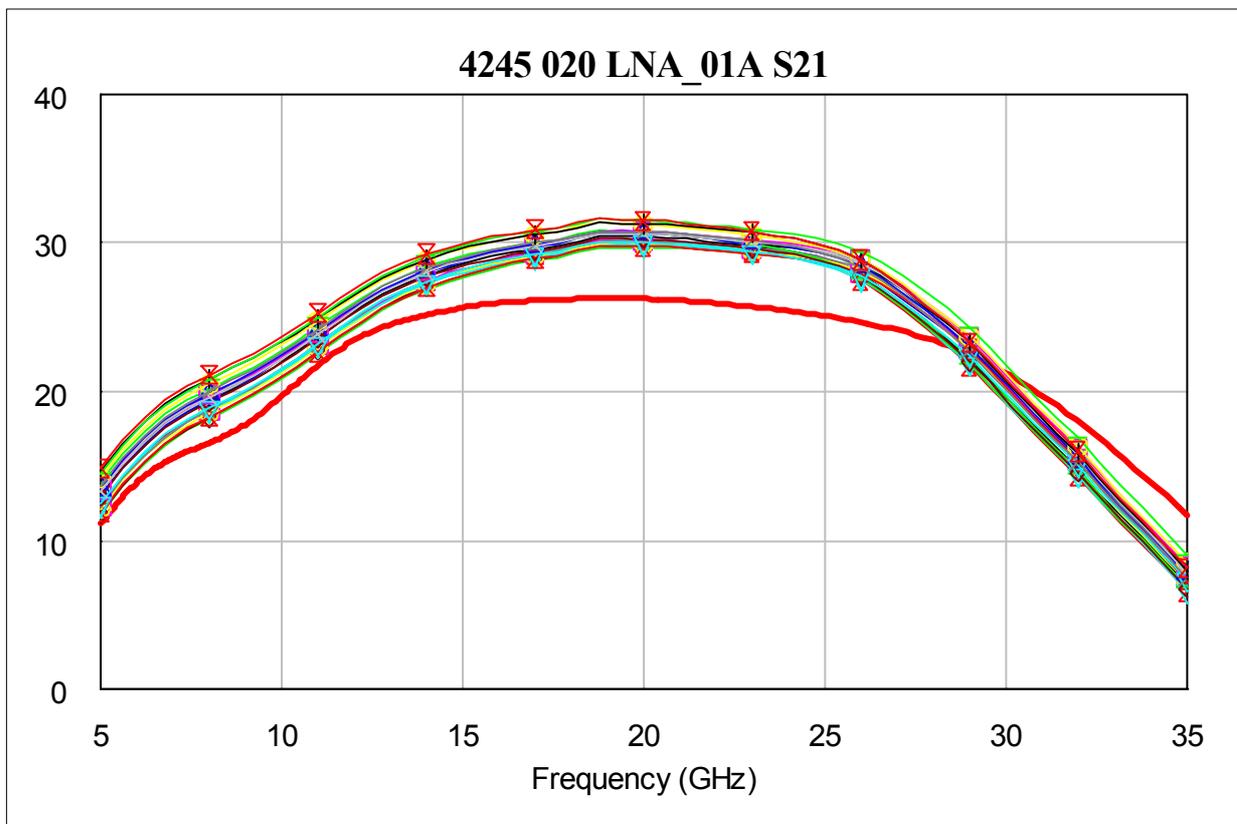
10. Appendice A – Parametri S (TRW™4245 – CSR17)

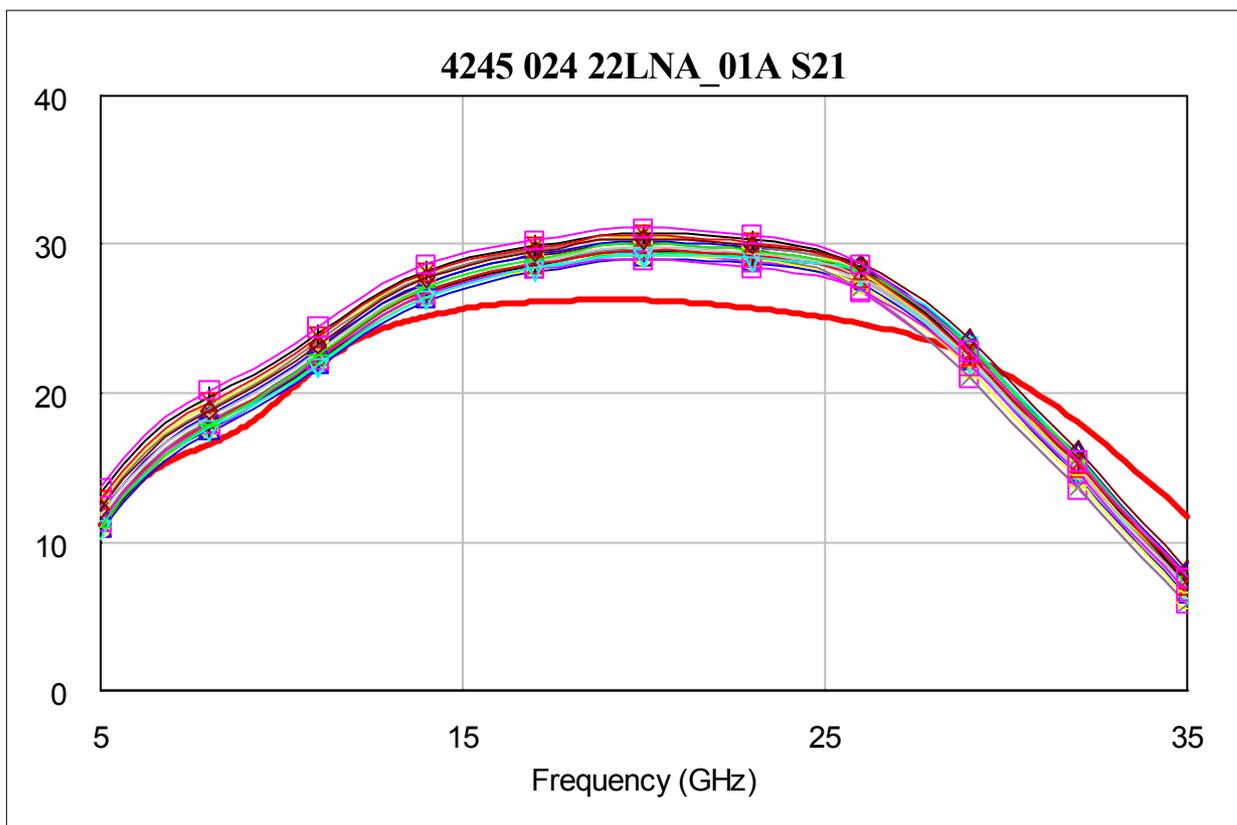
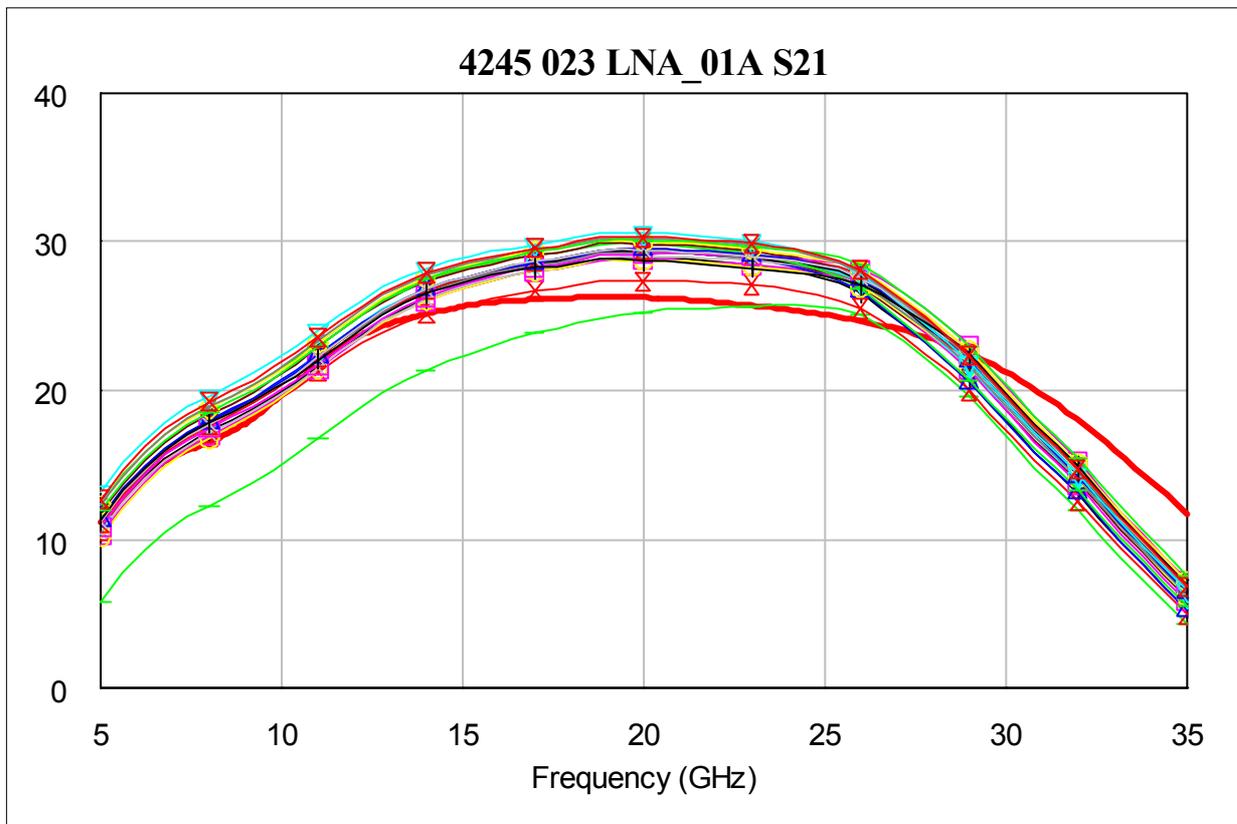
Grafici relativi alle misure di parametri S suddivisi per Progetto

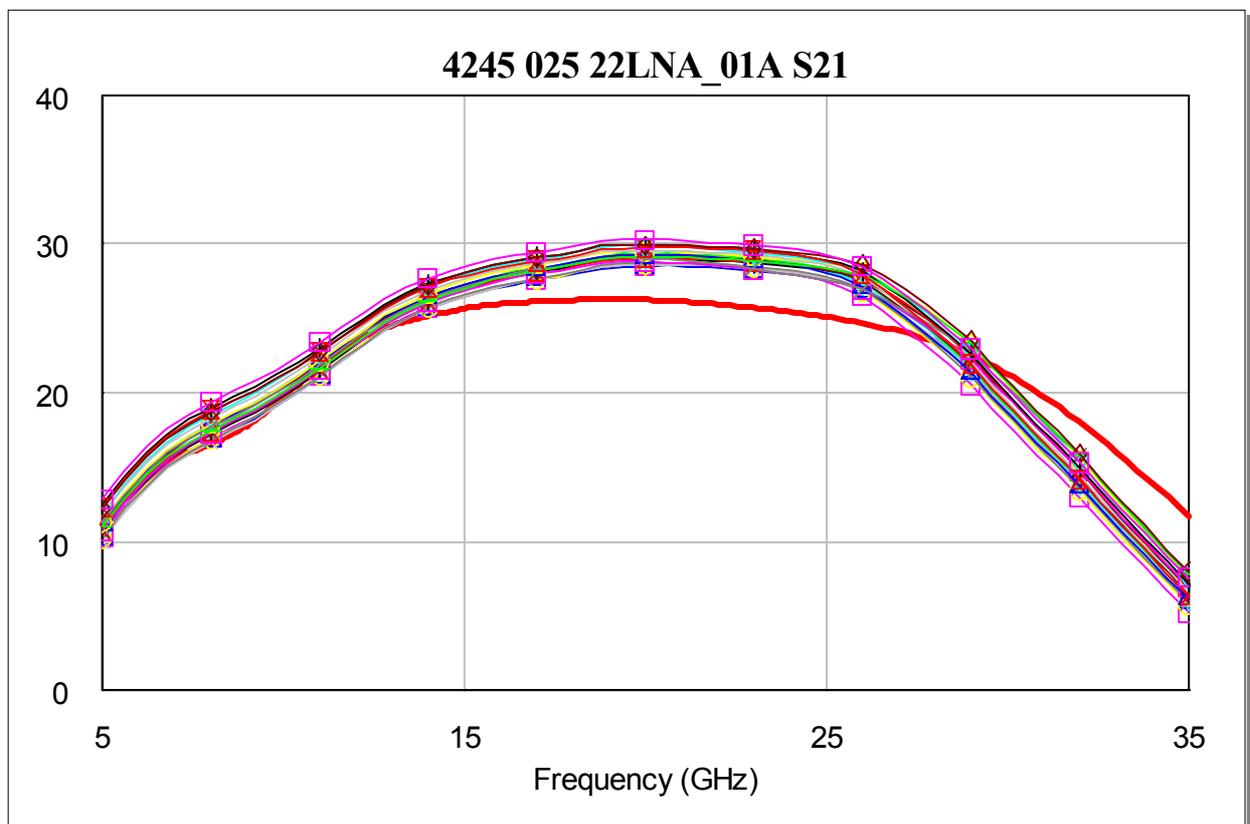


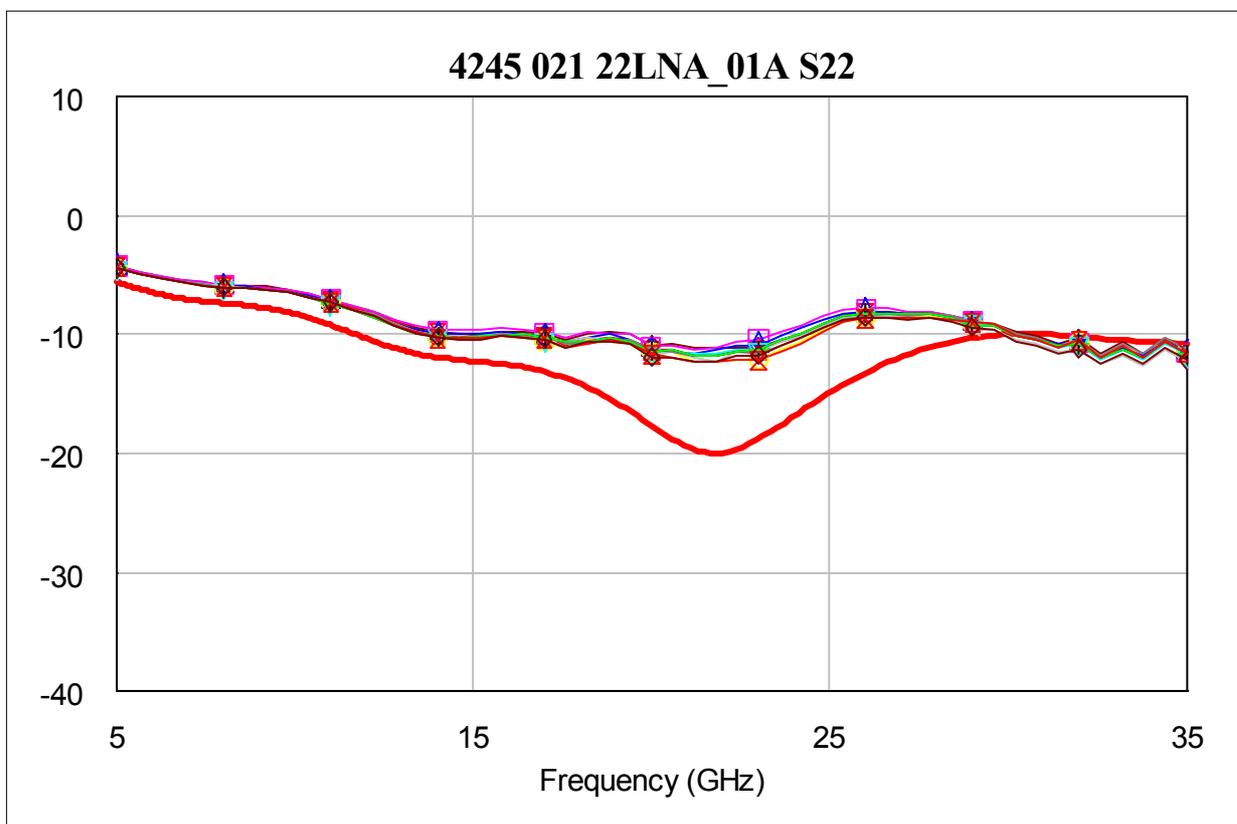
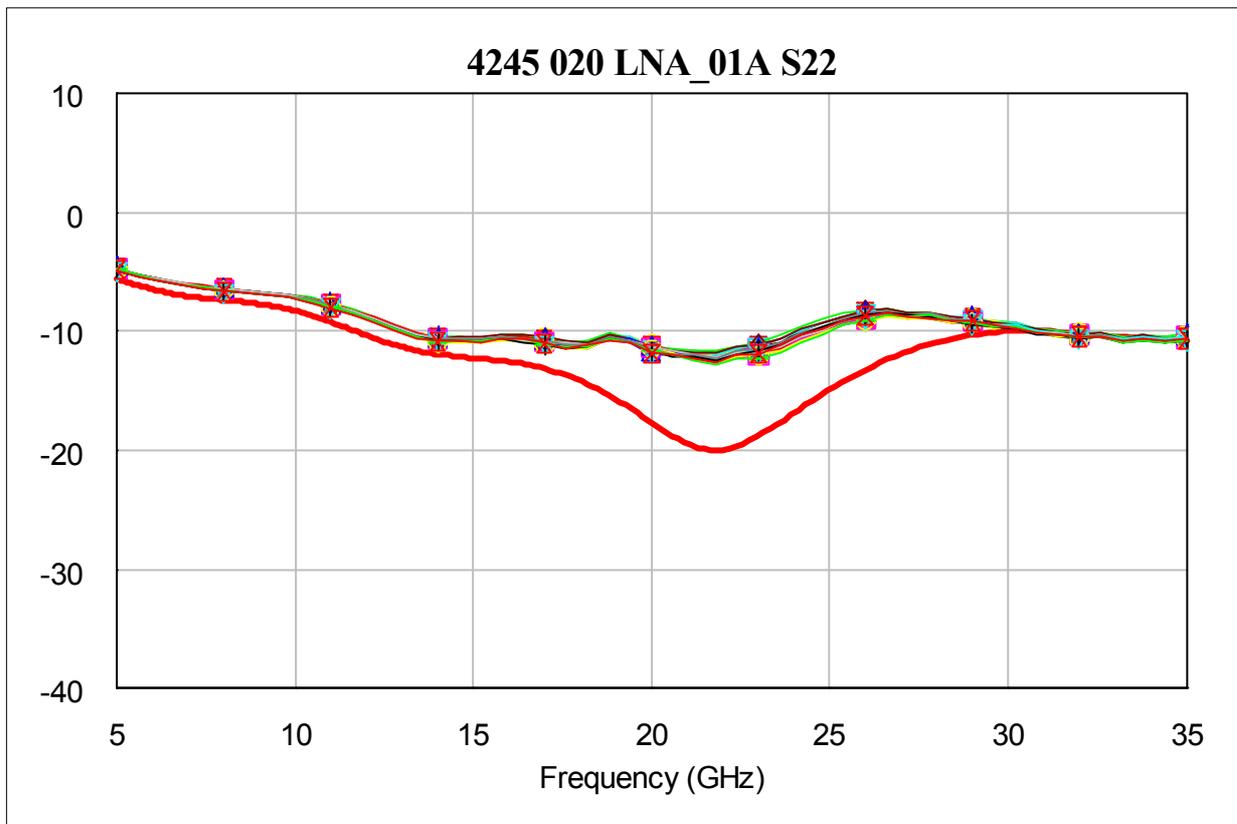


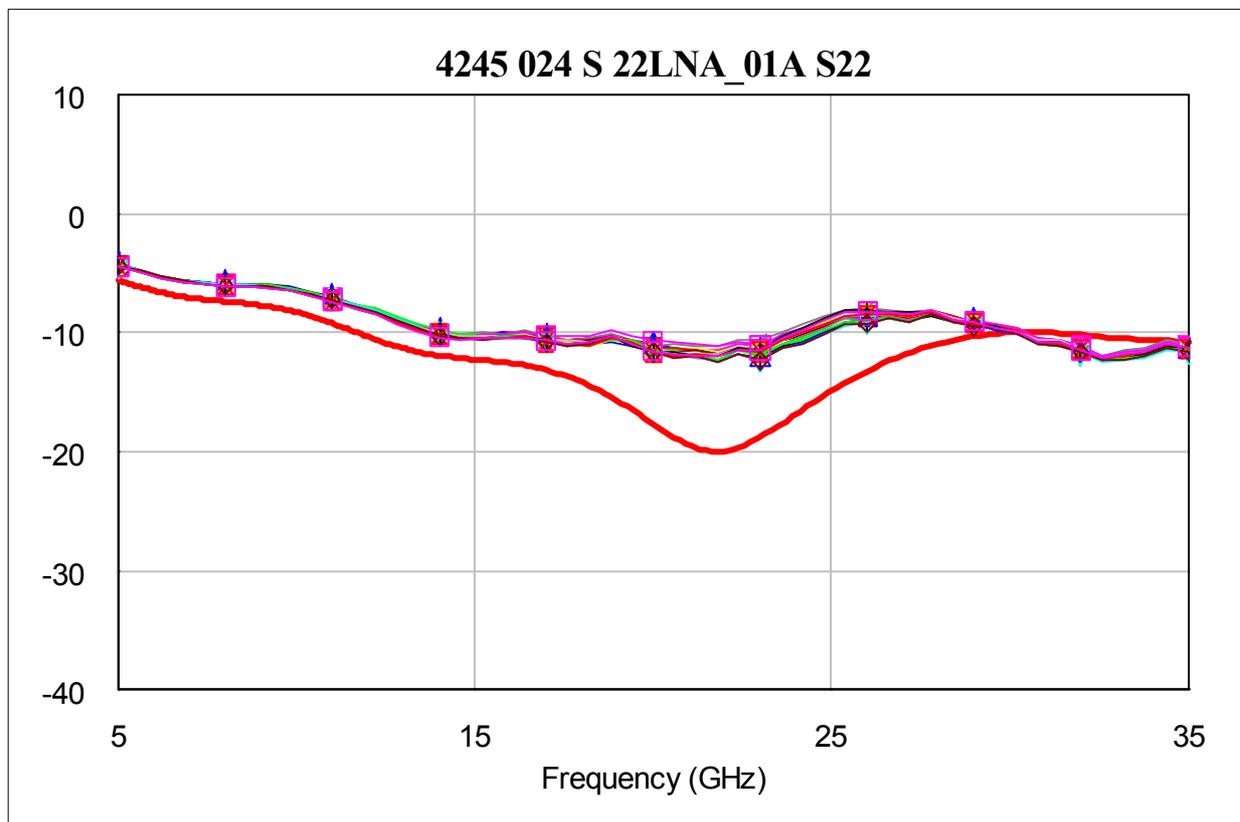
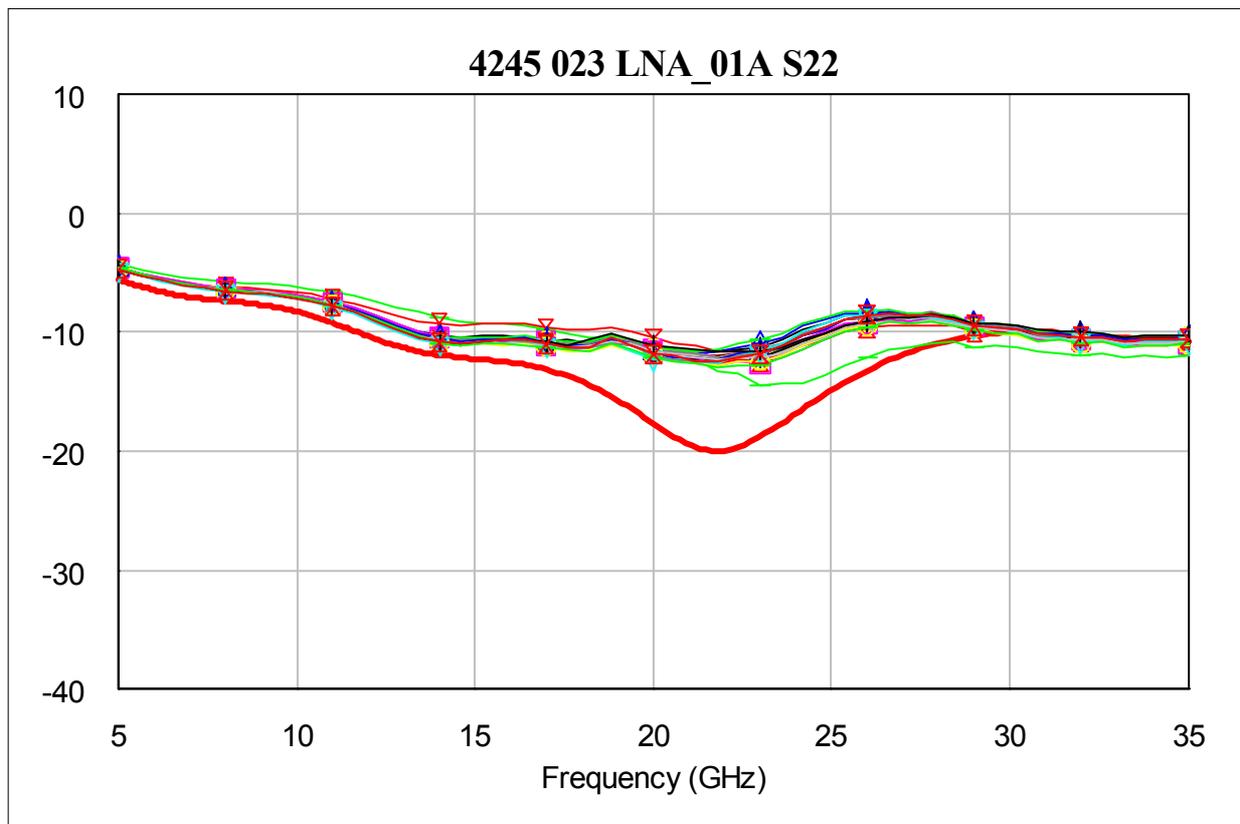


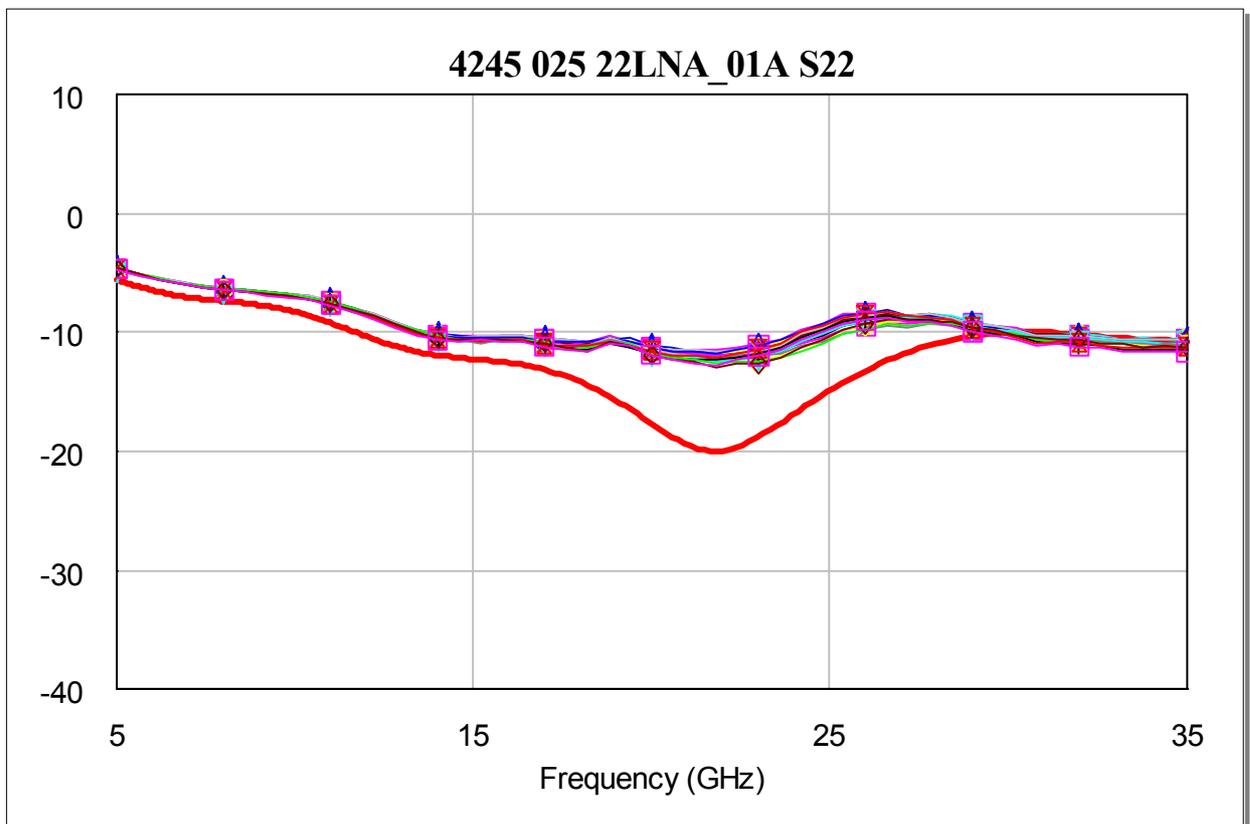


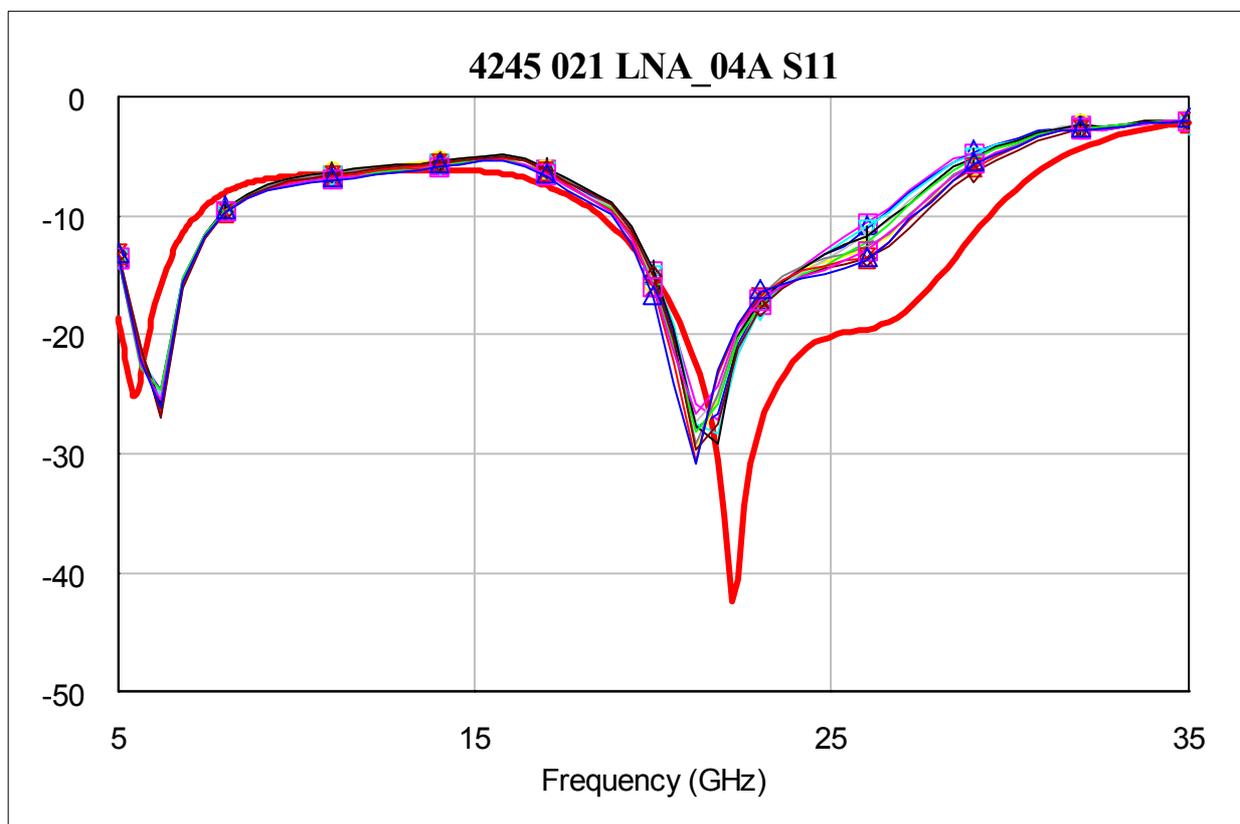
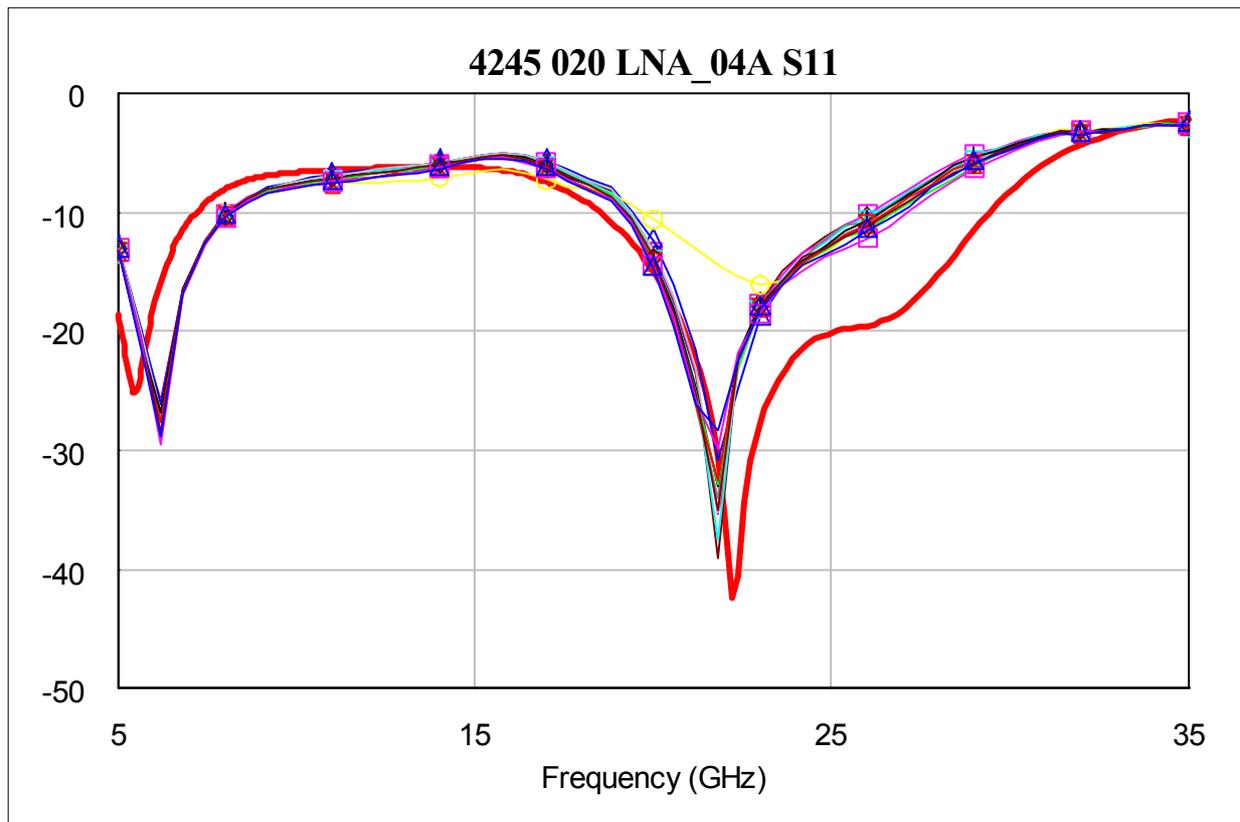


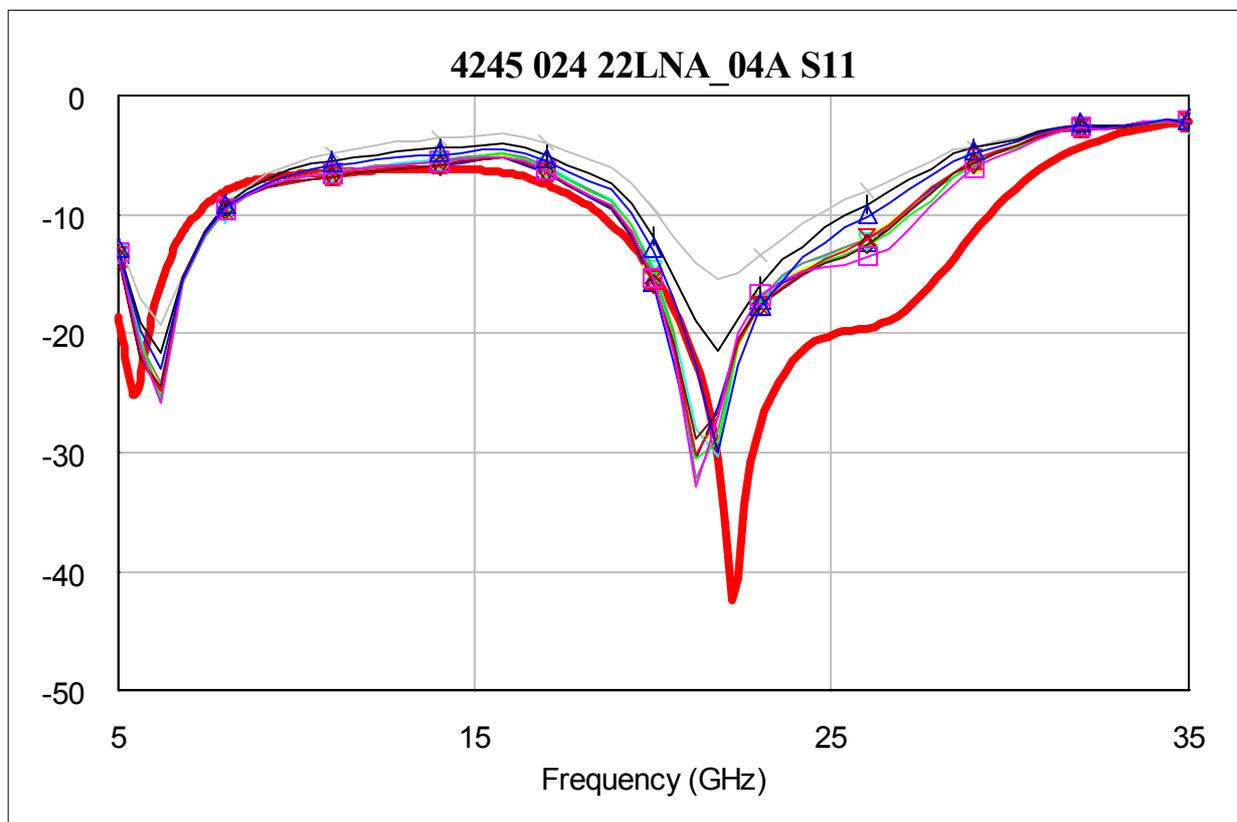
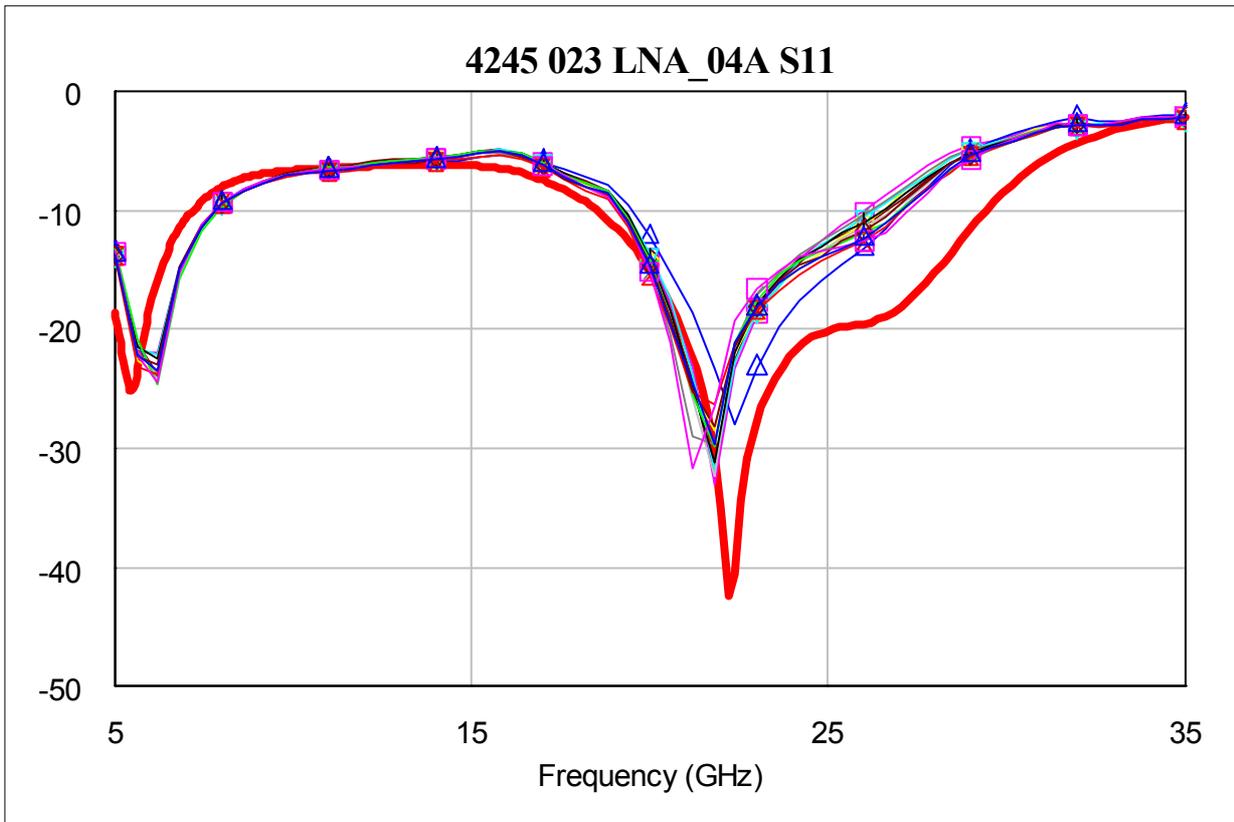


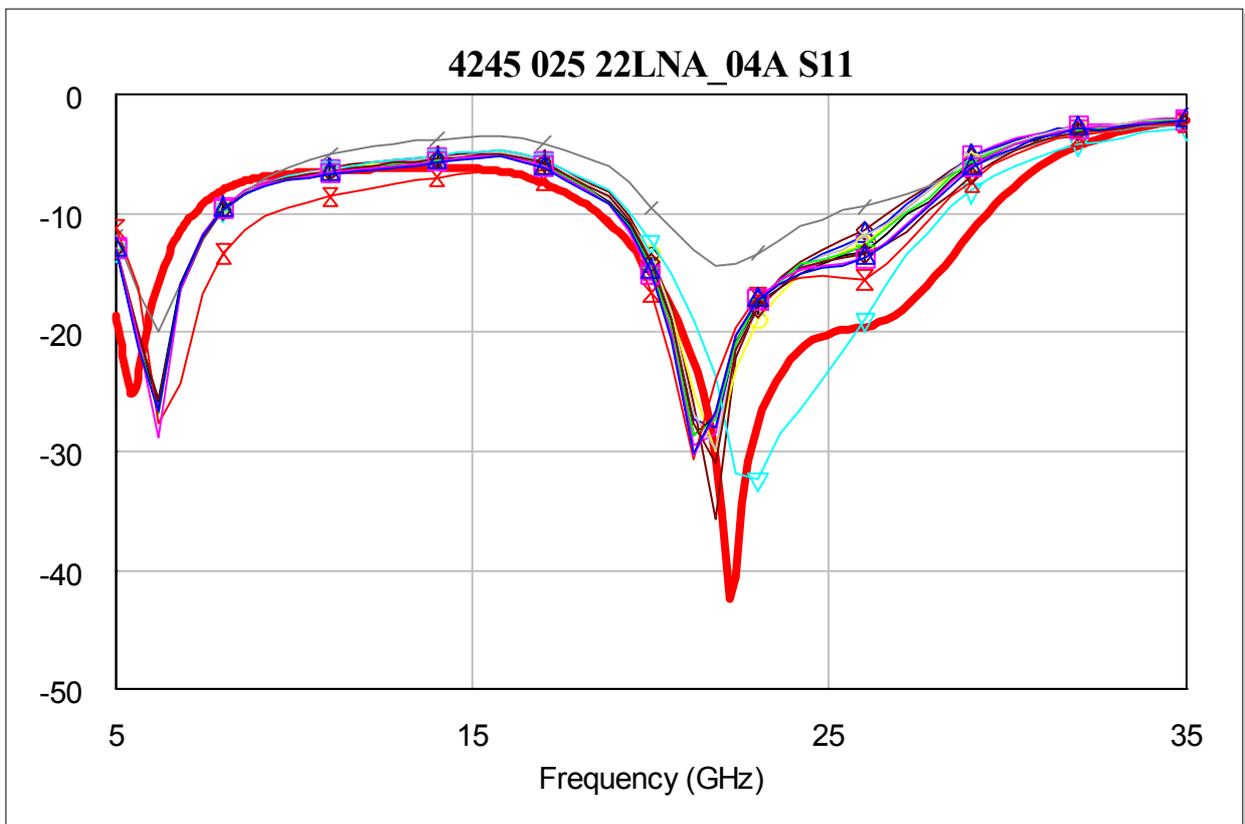


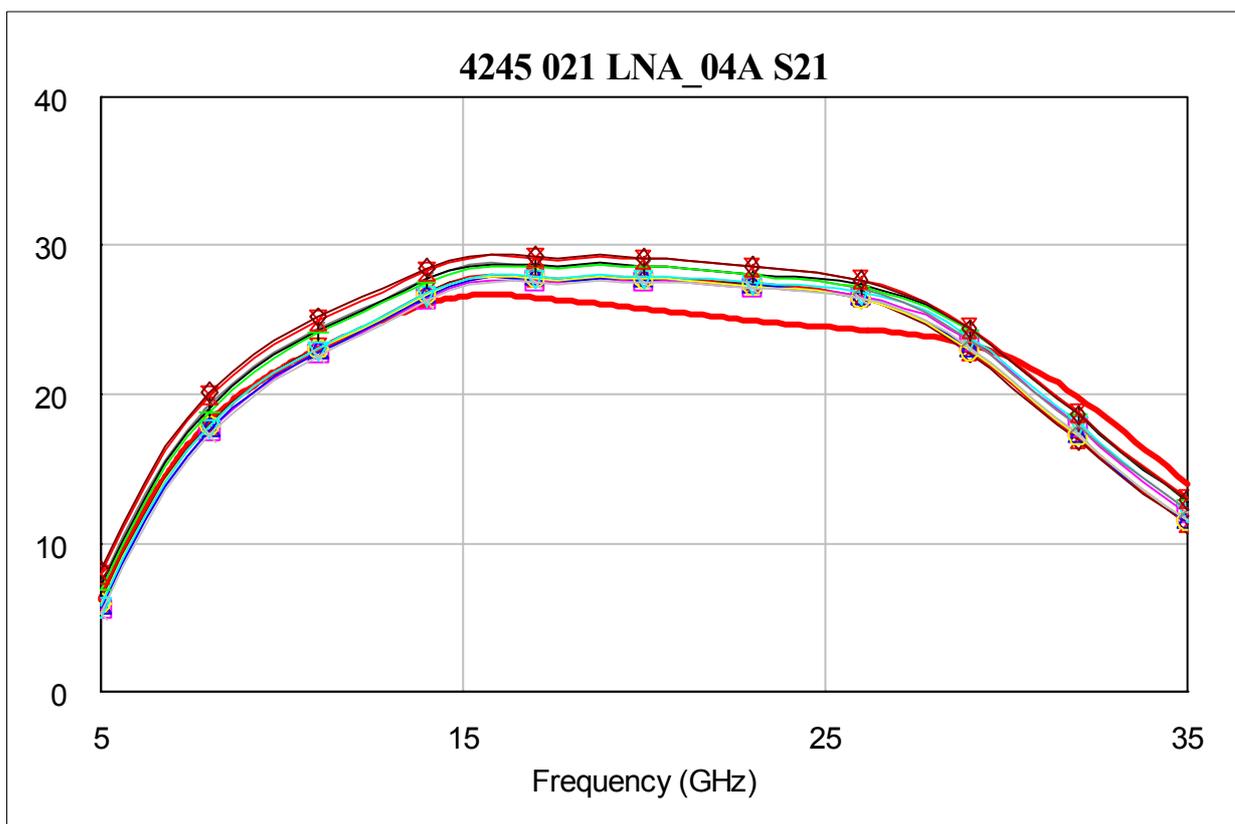
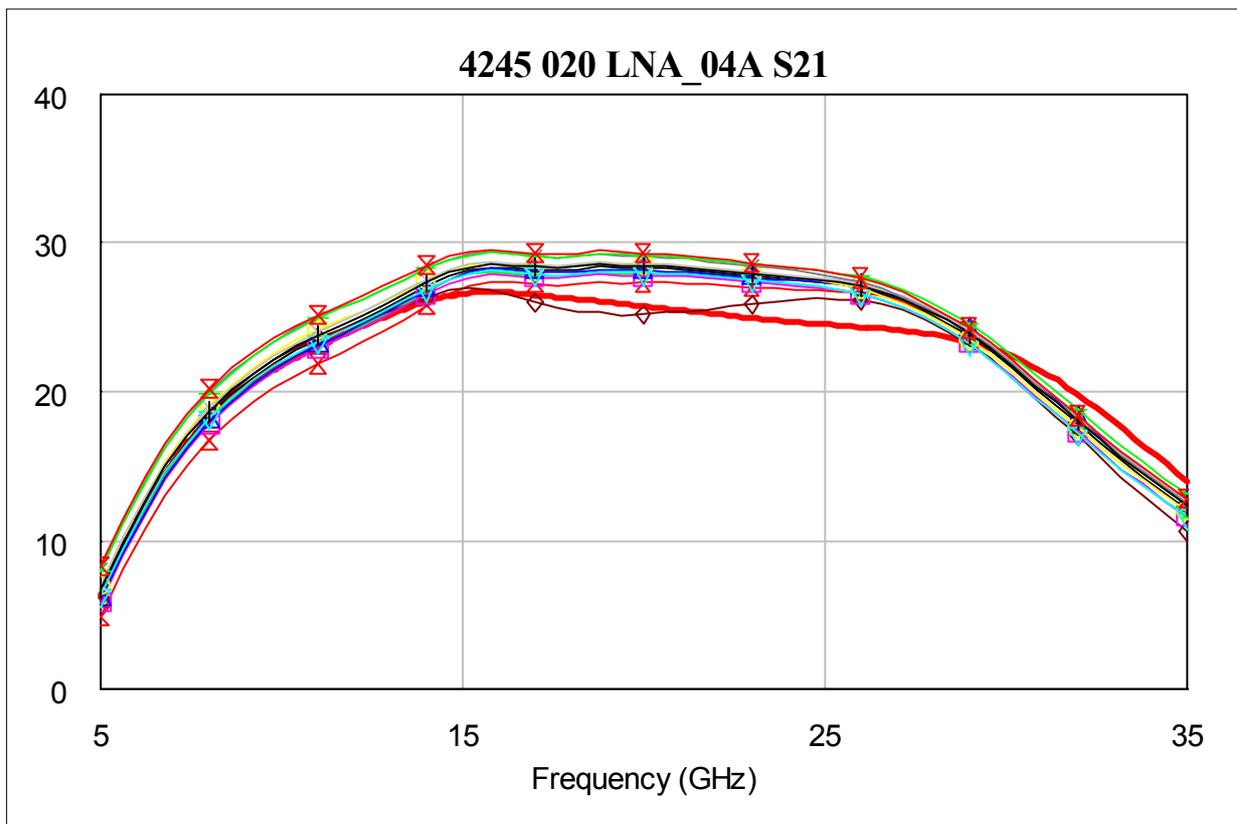


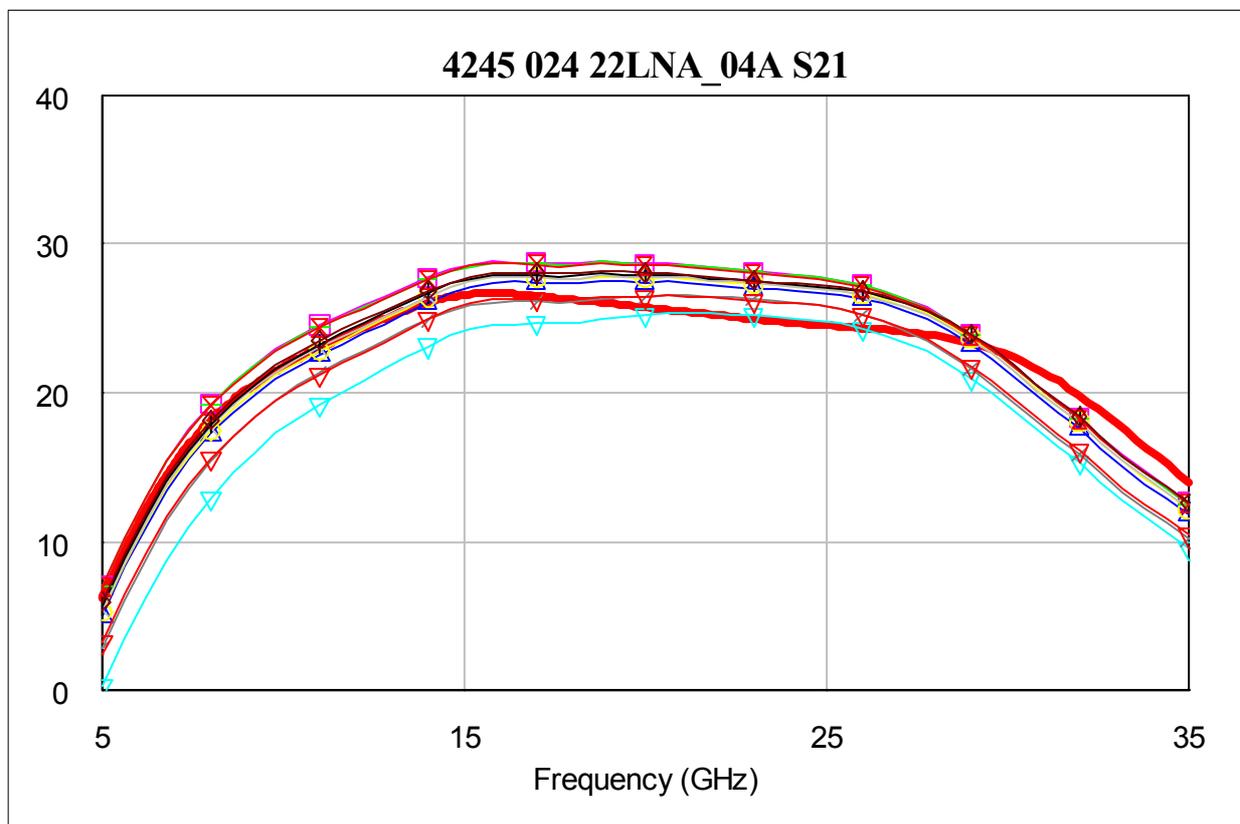
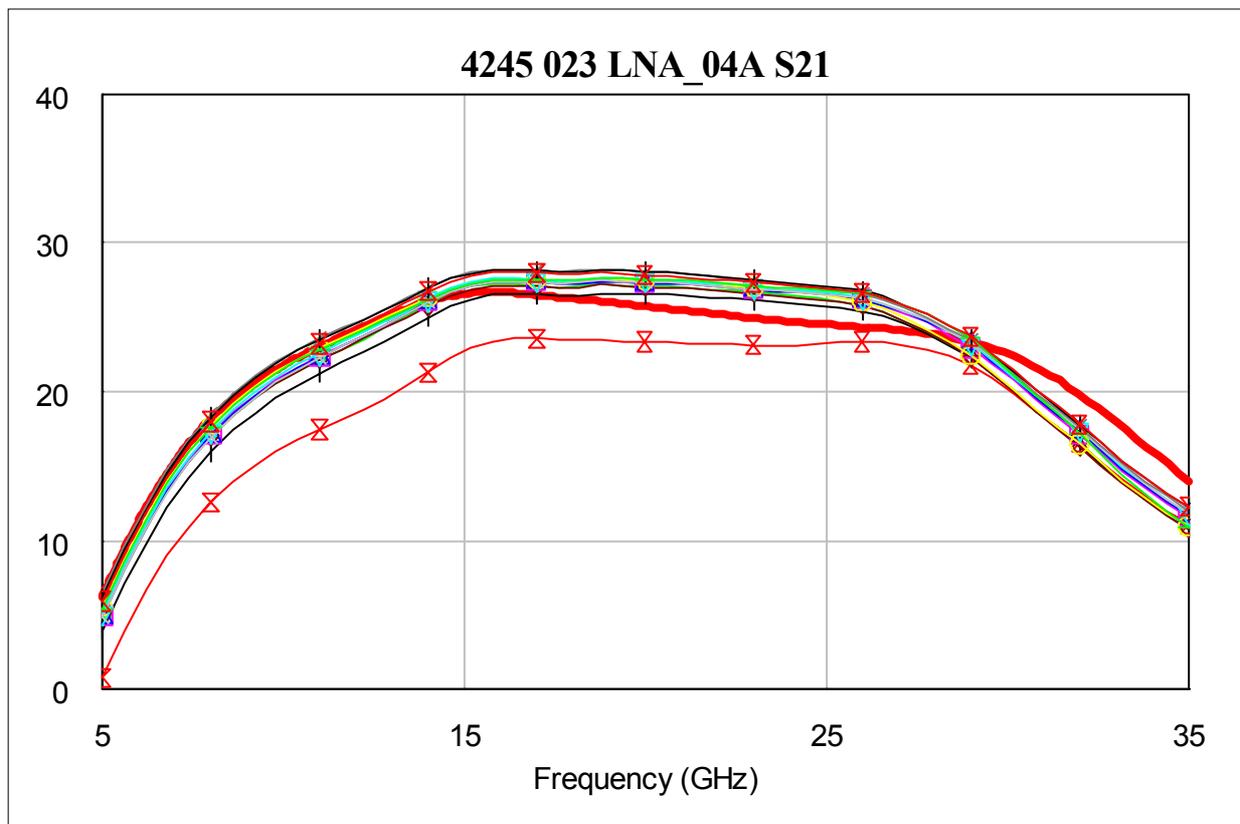


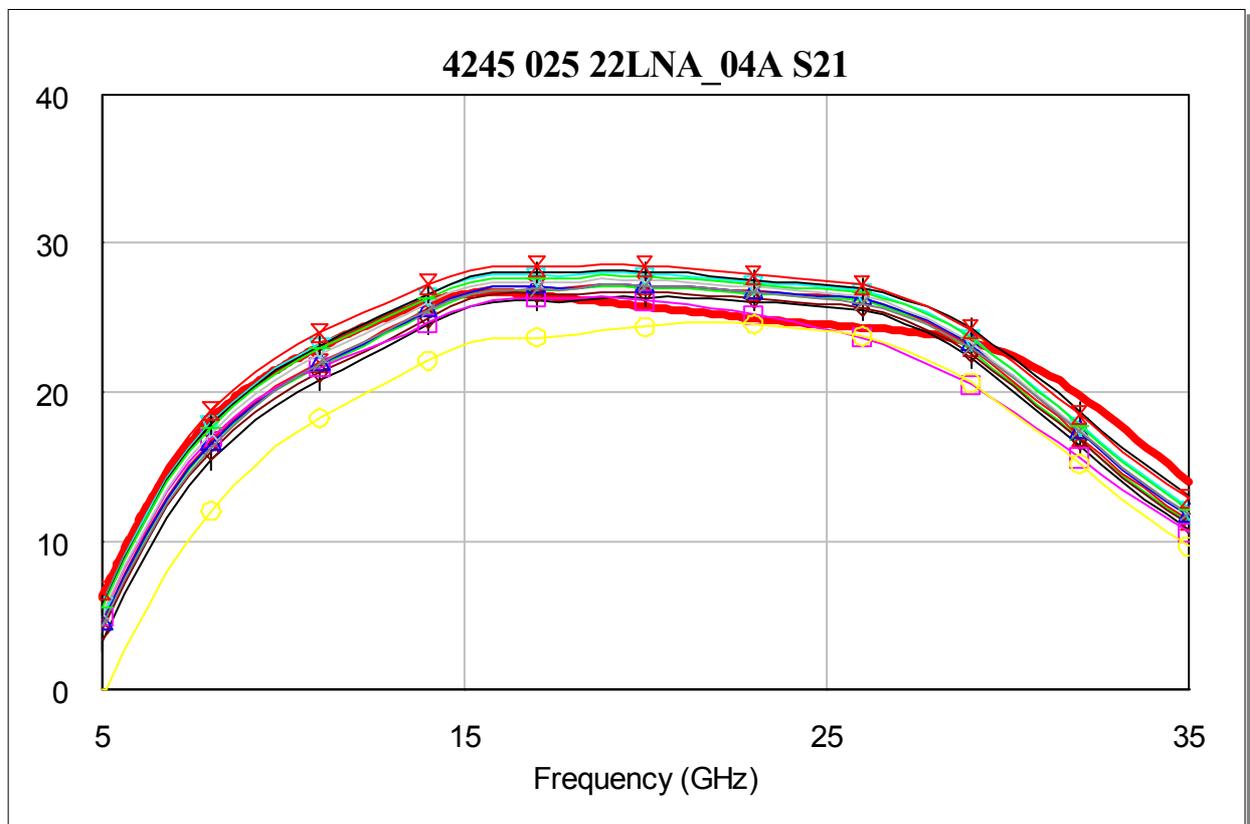


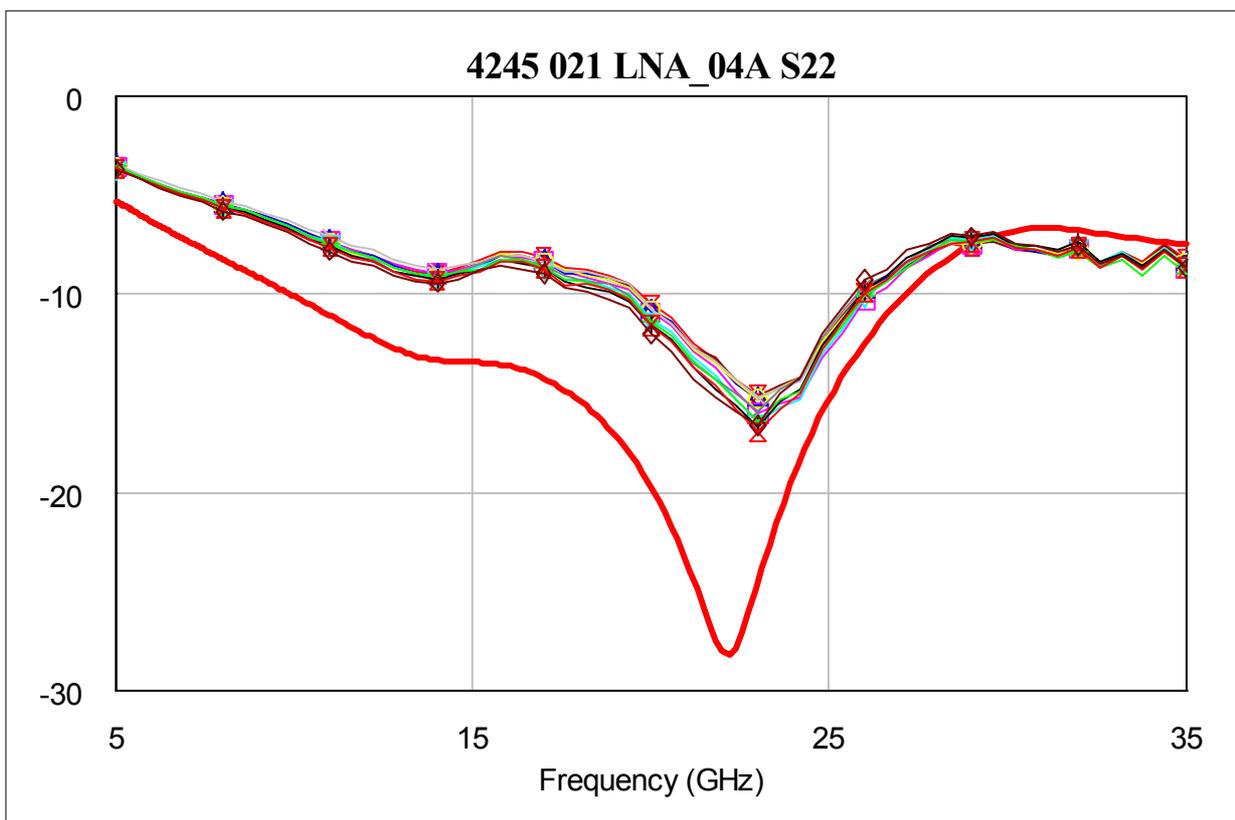
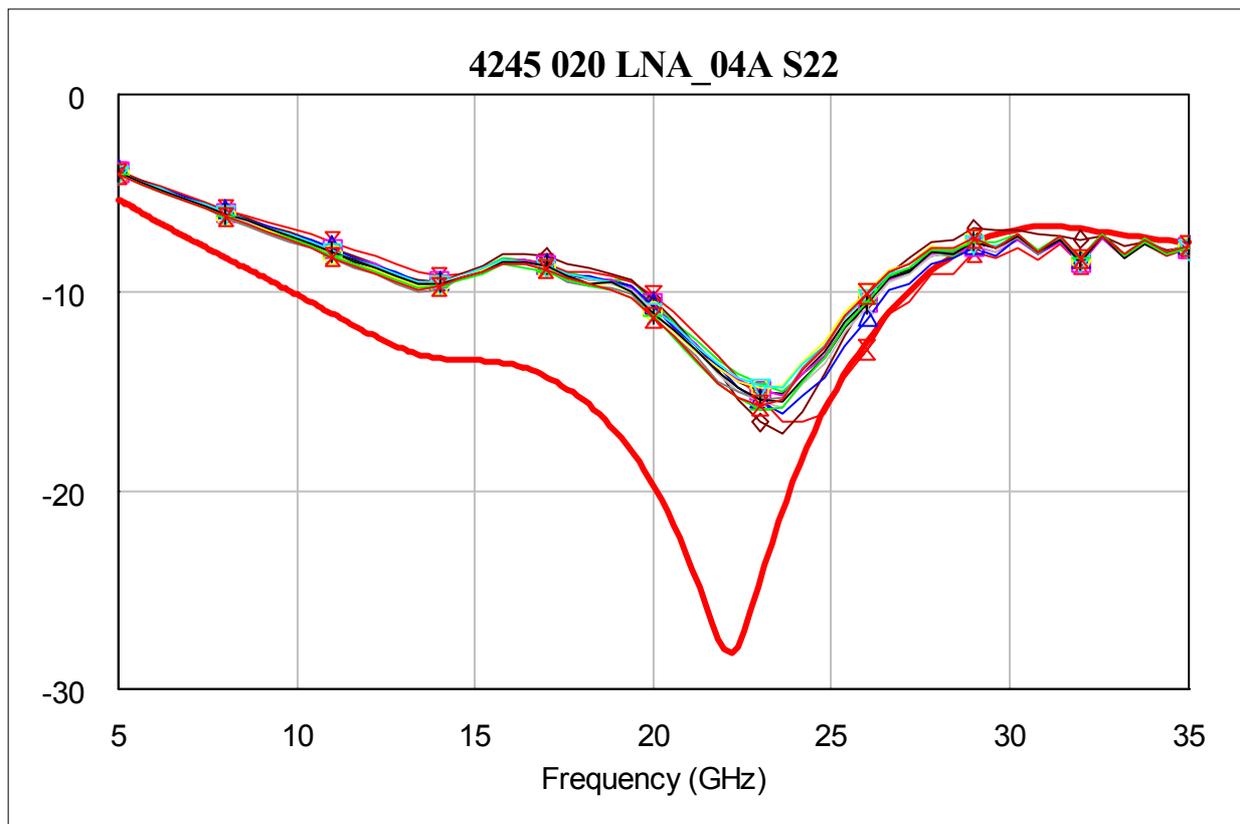


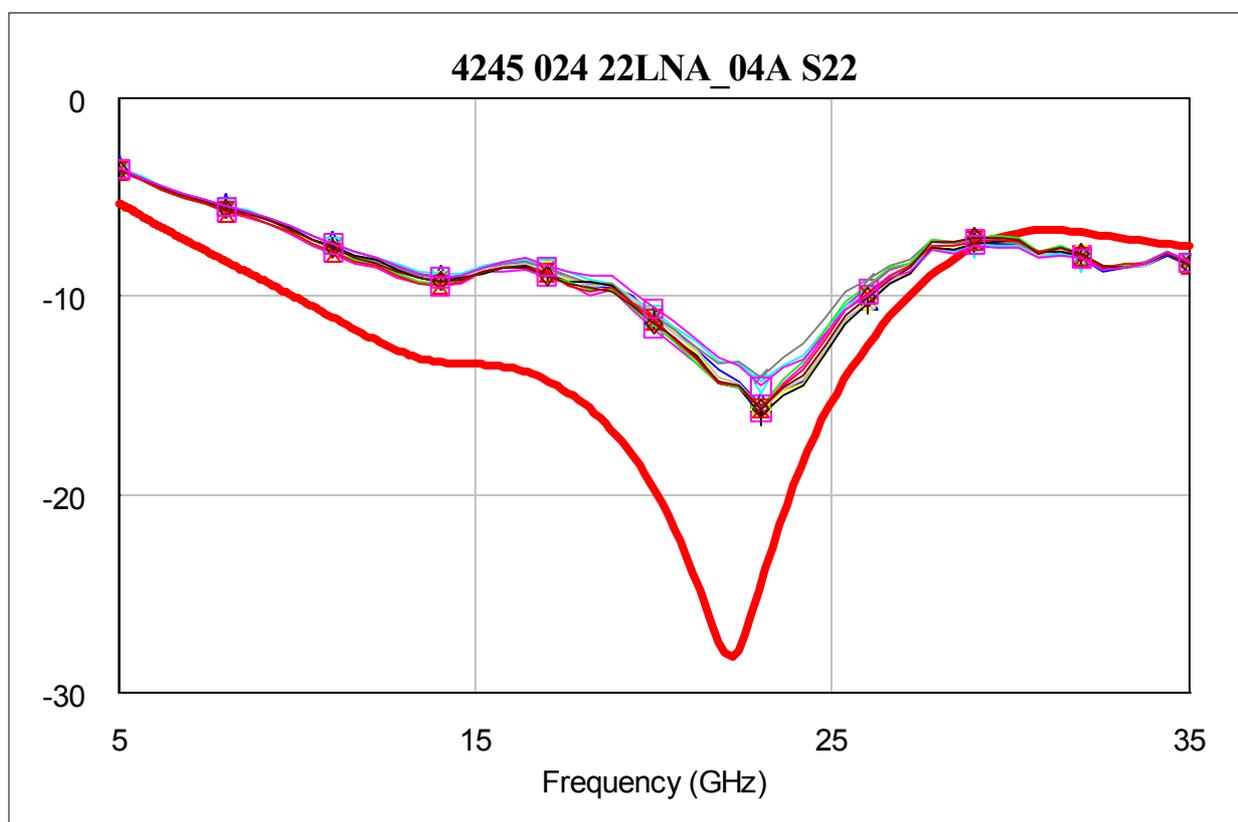
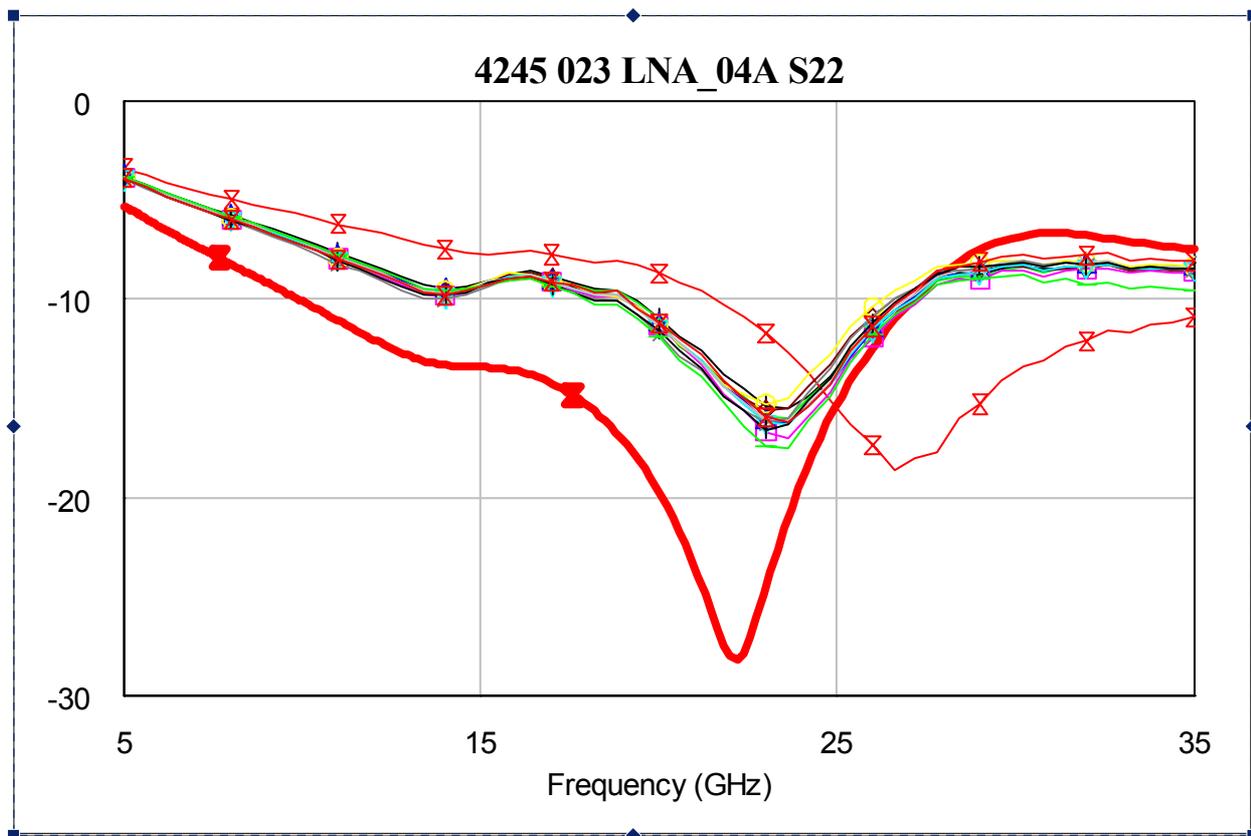


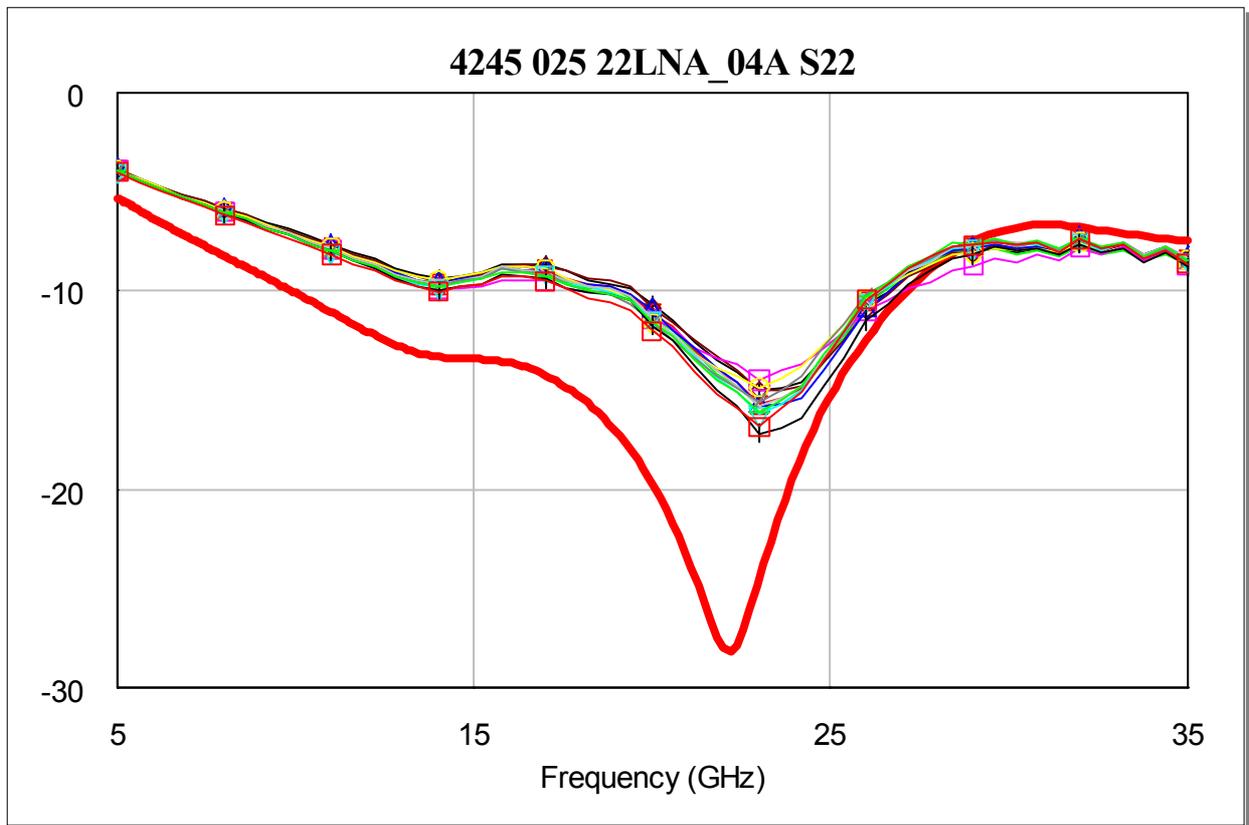


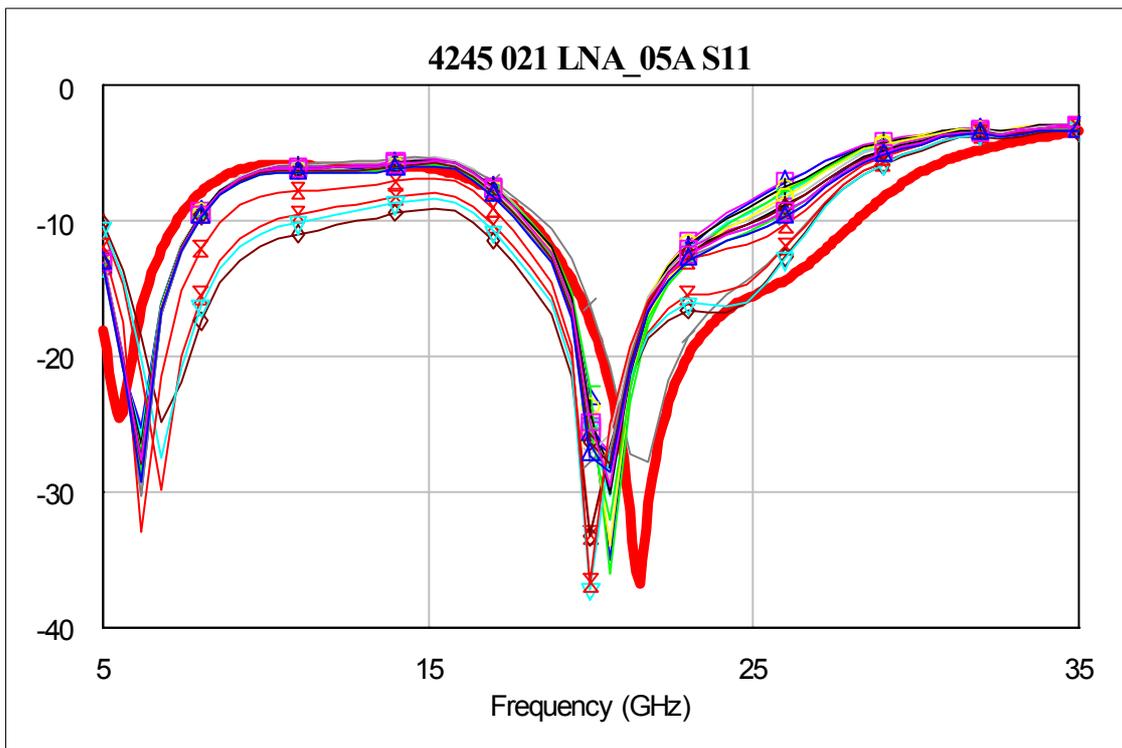
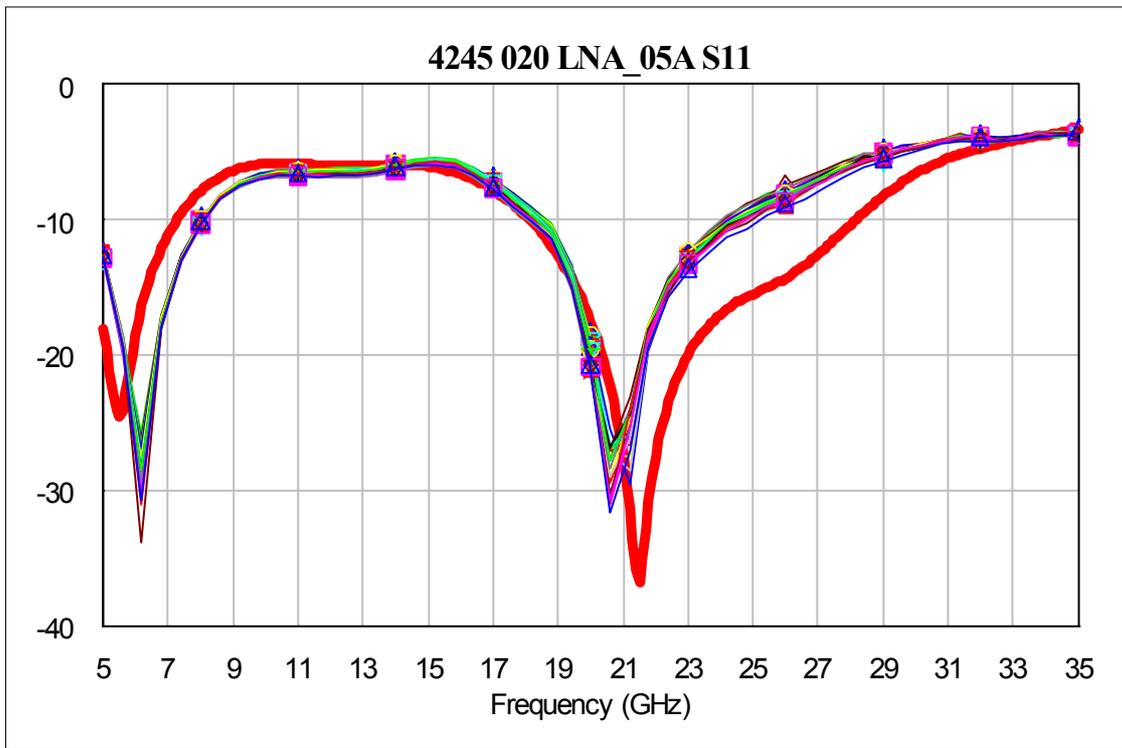


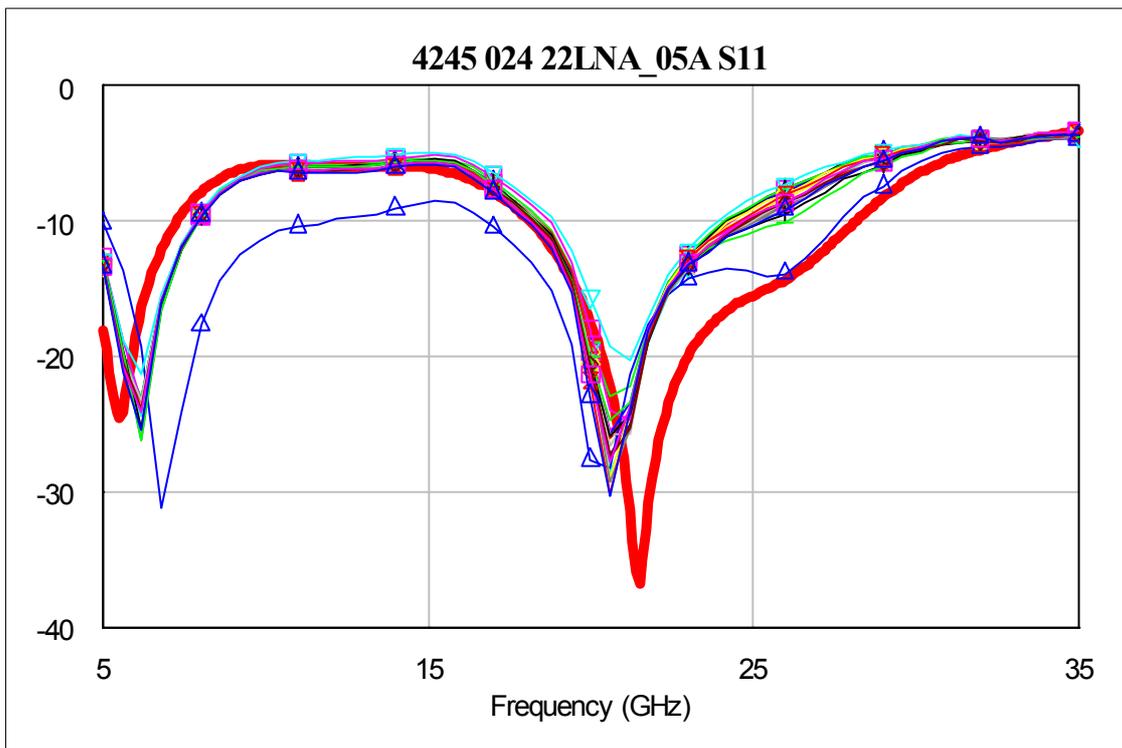
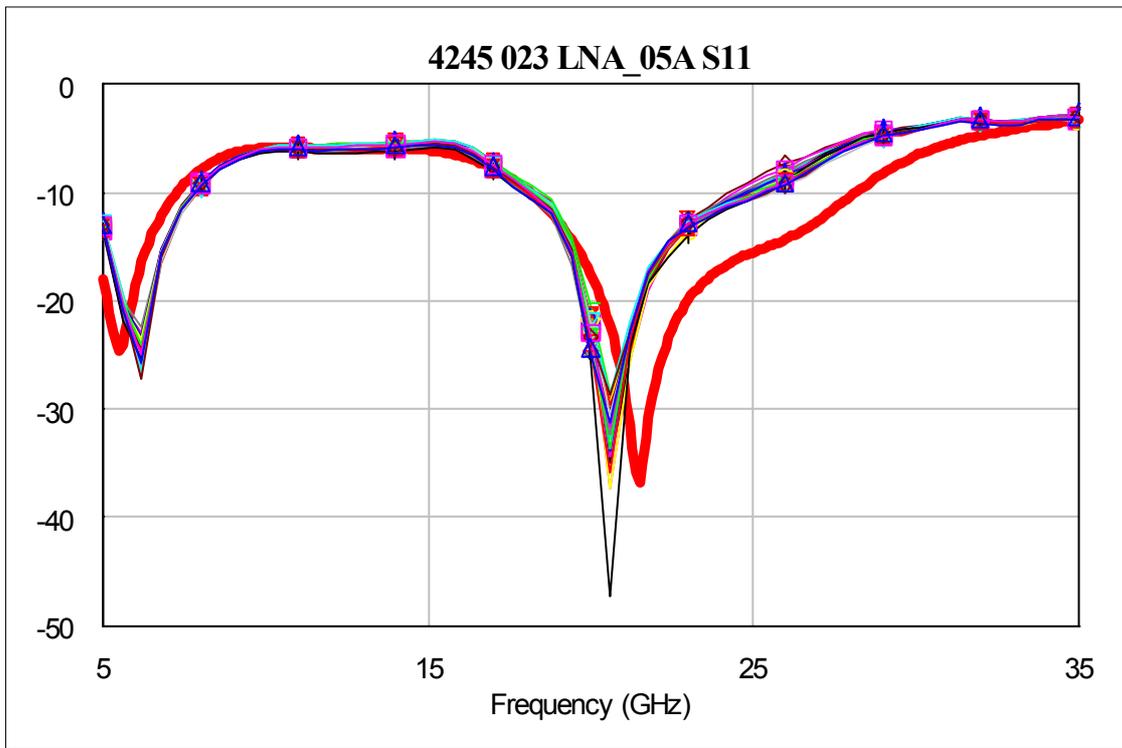


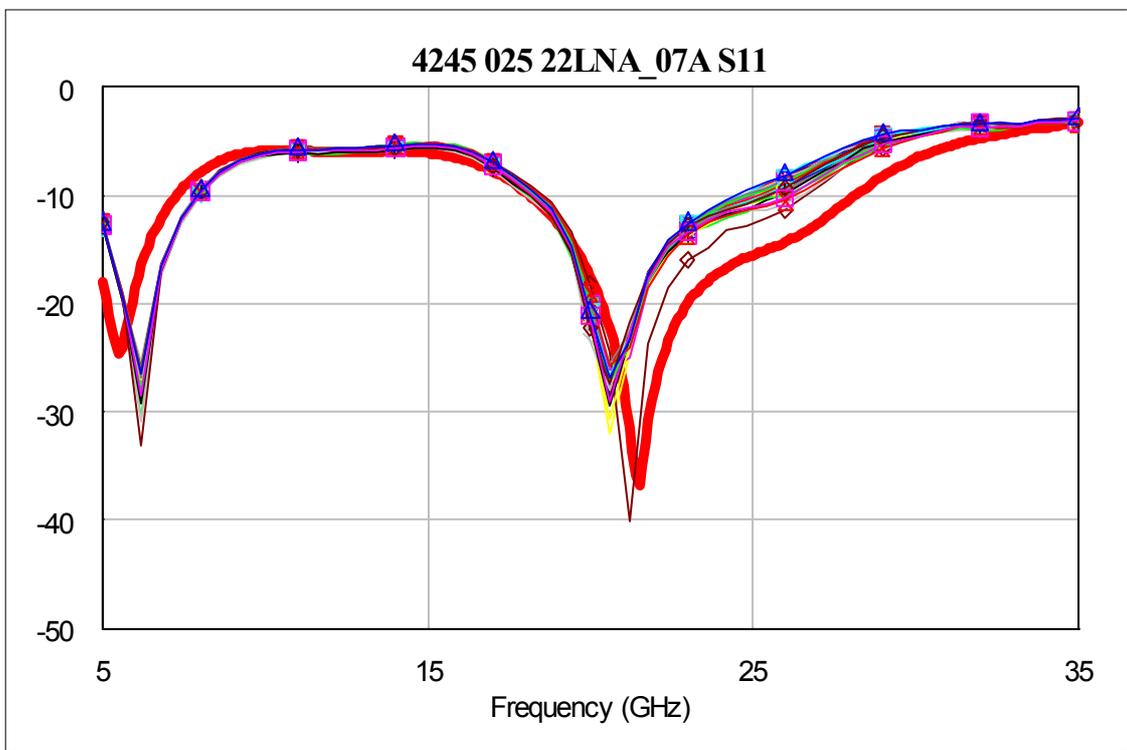


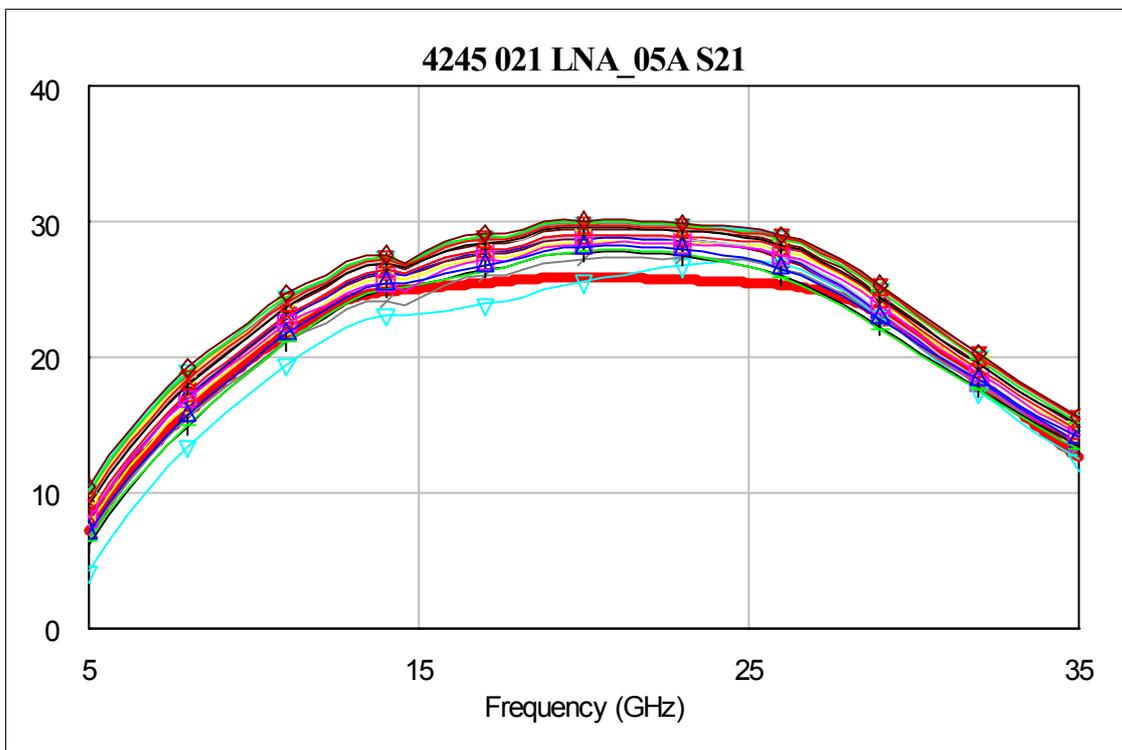
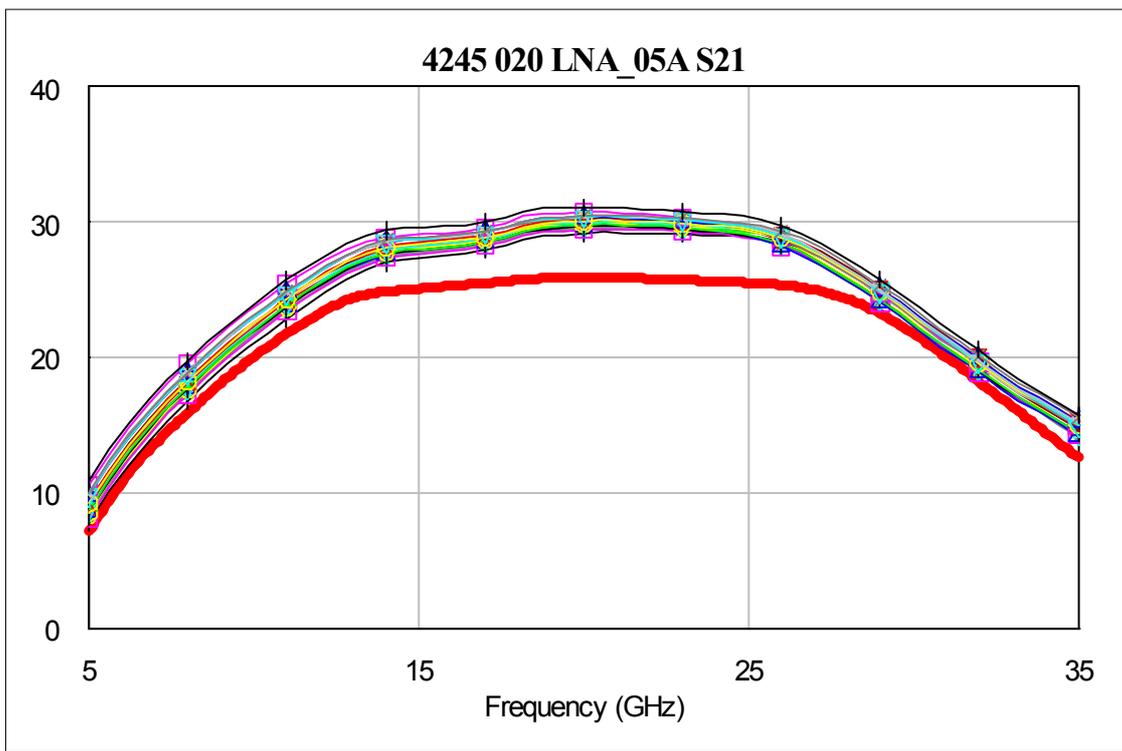


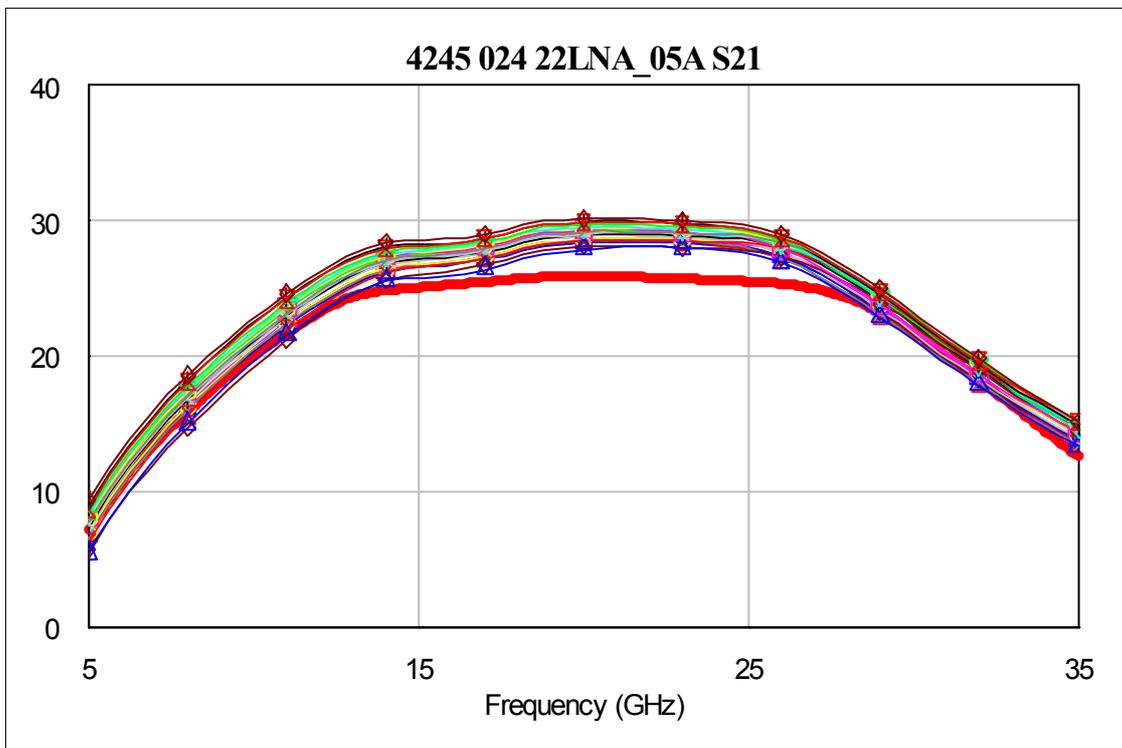
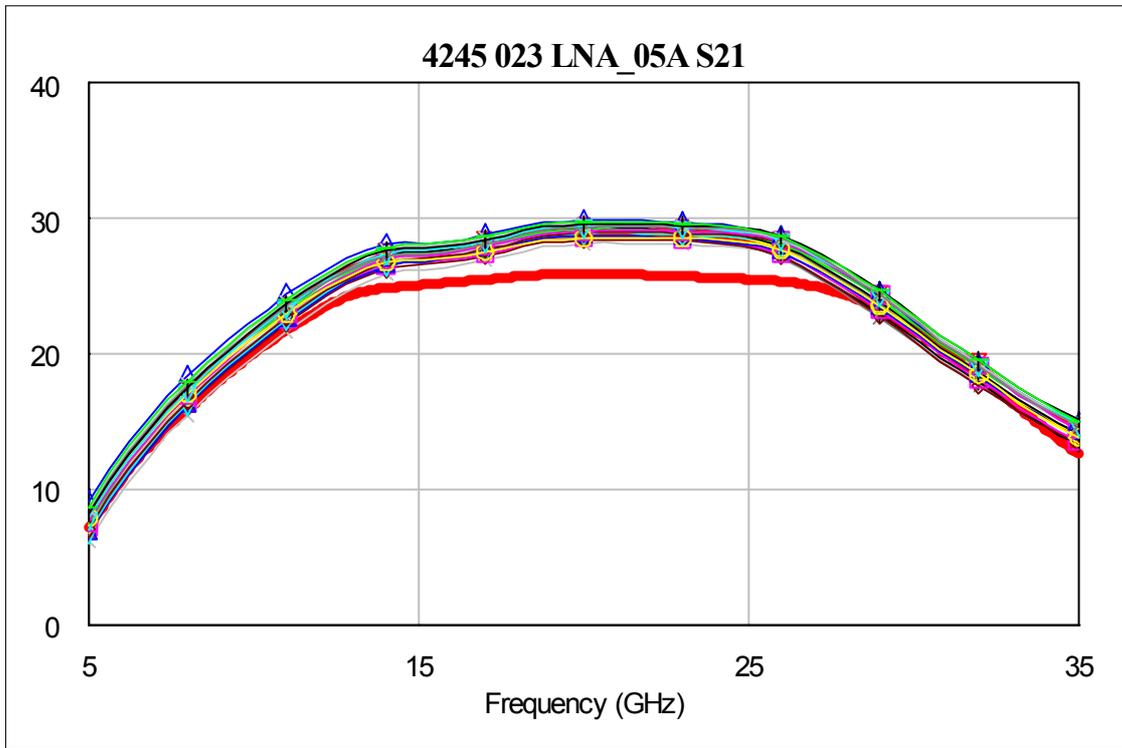


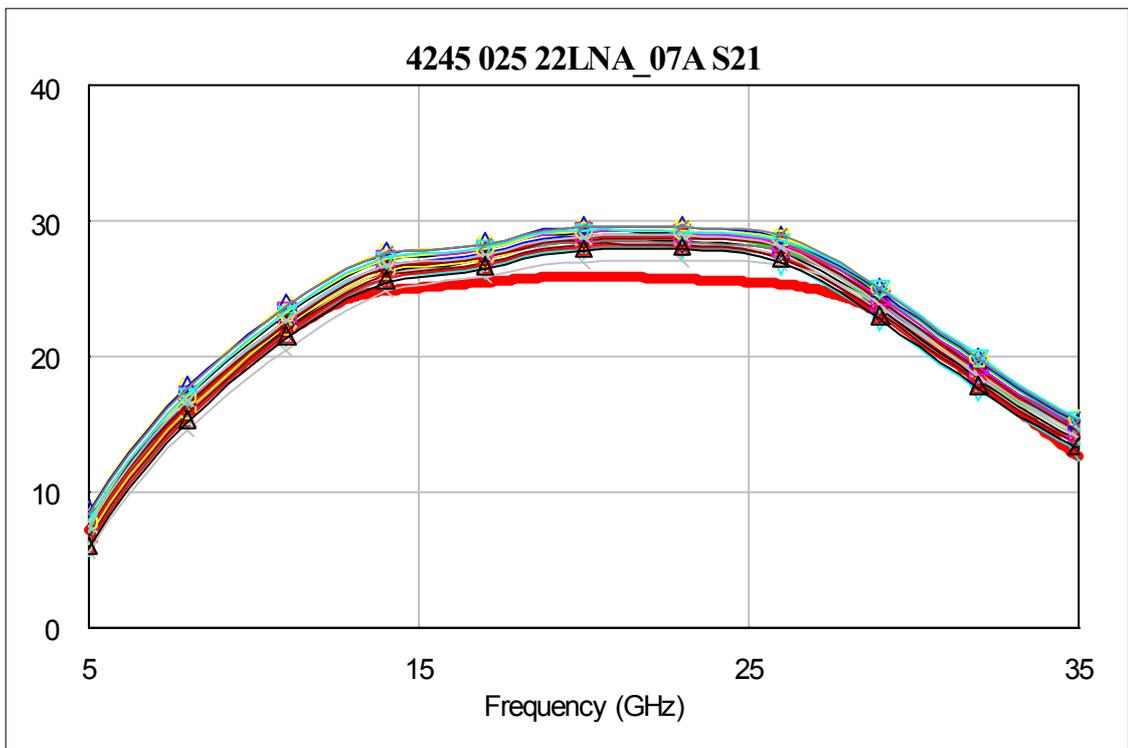


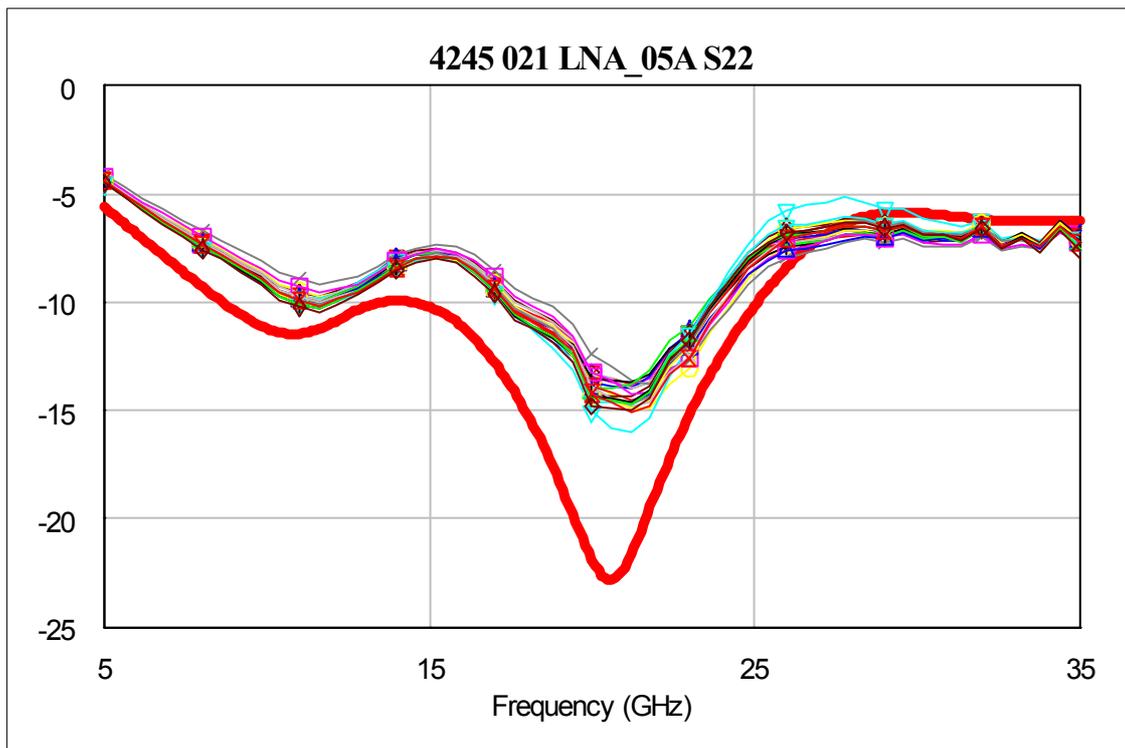
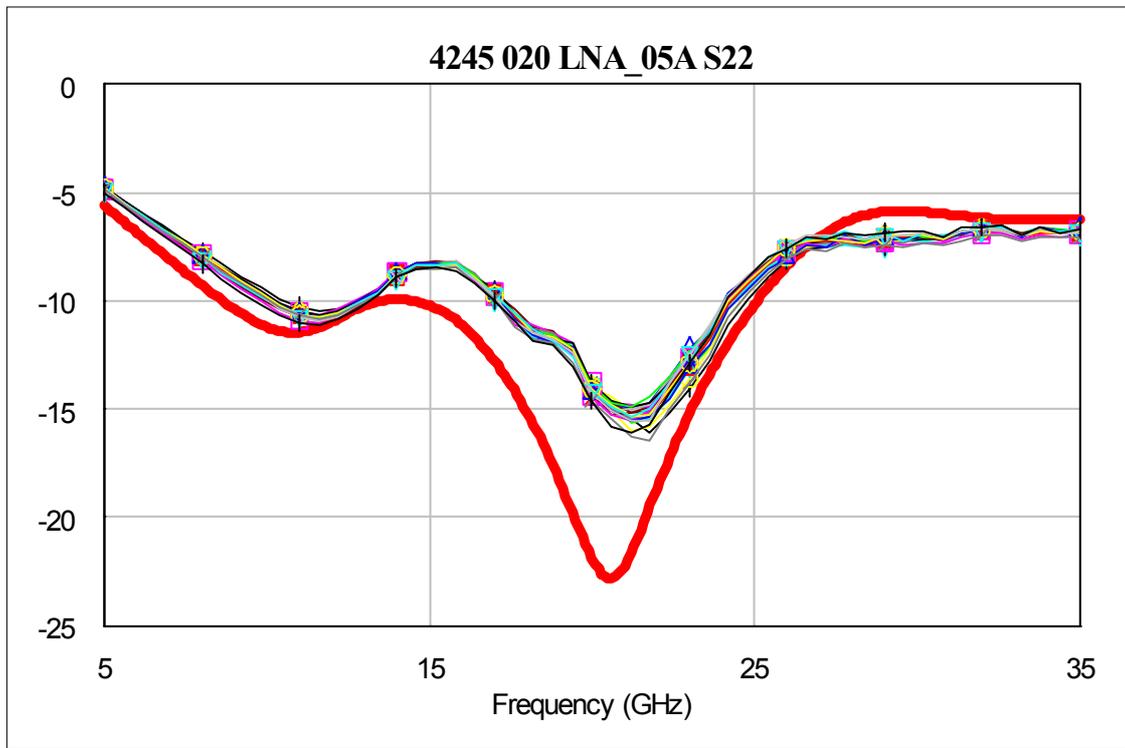


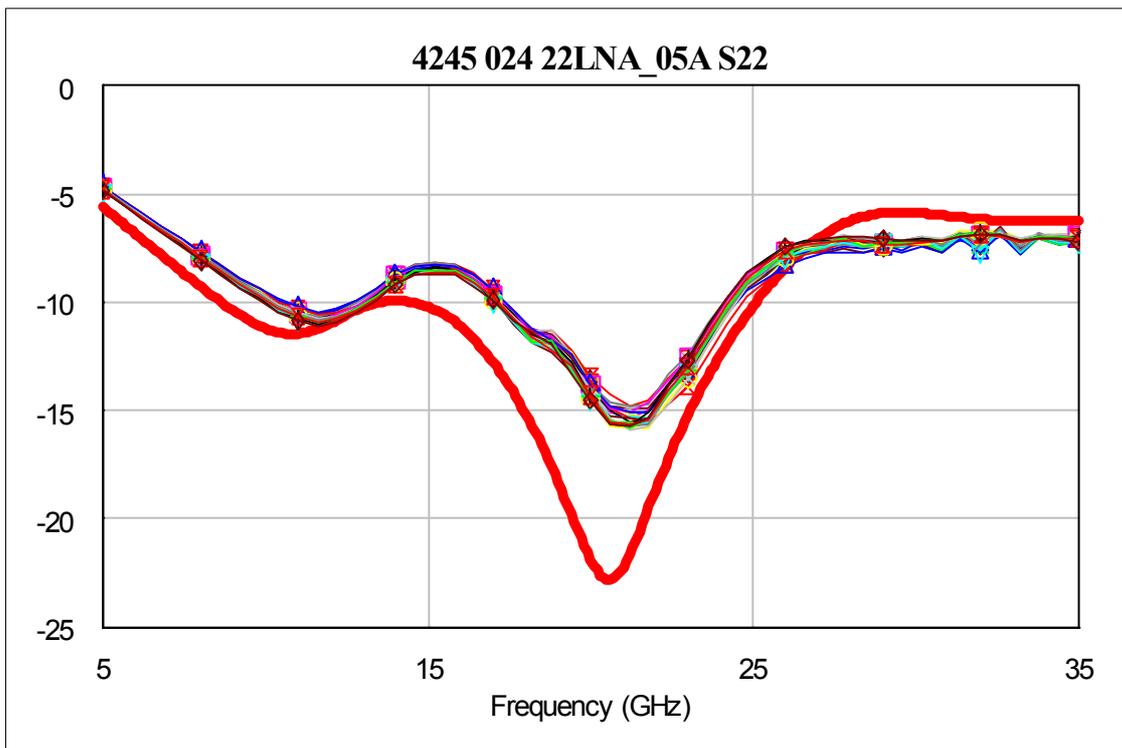
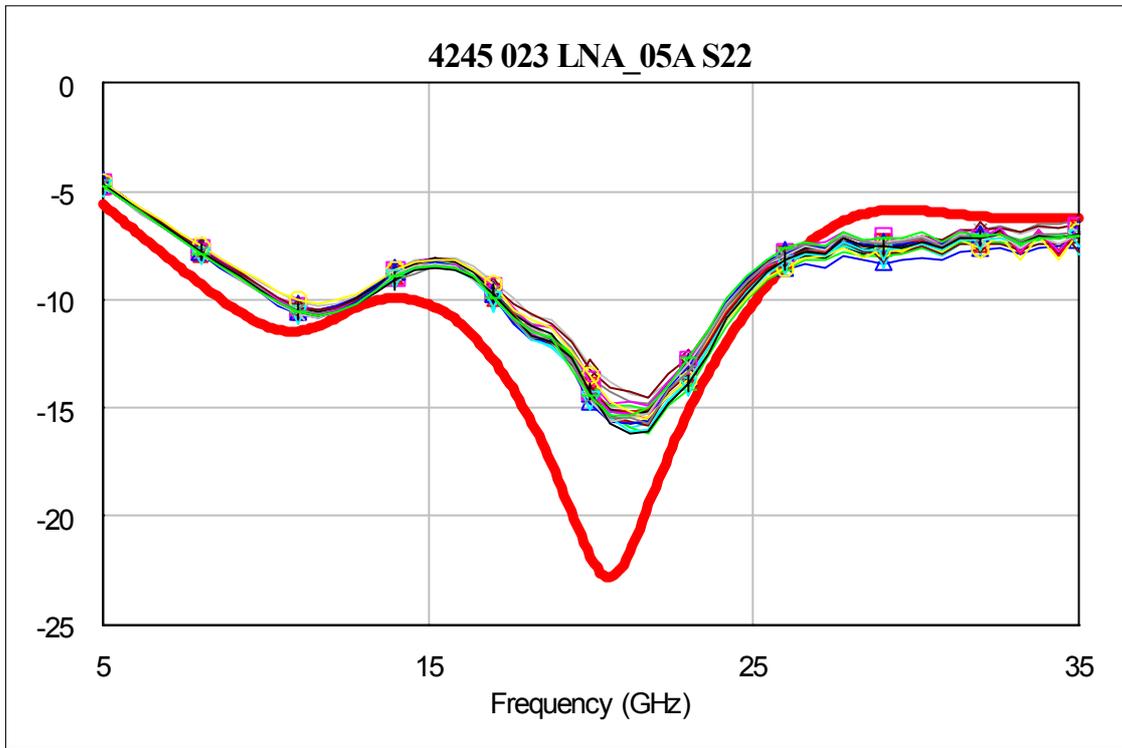


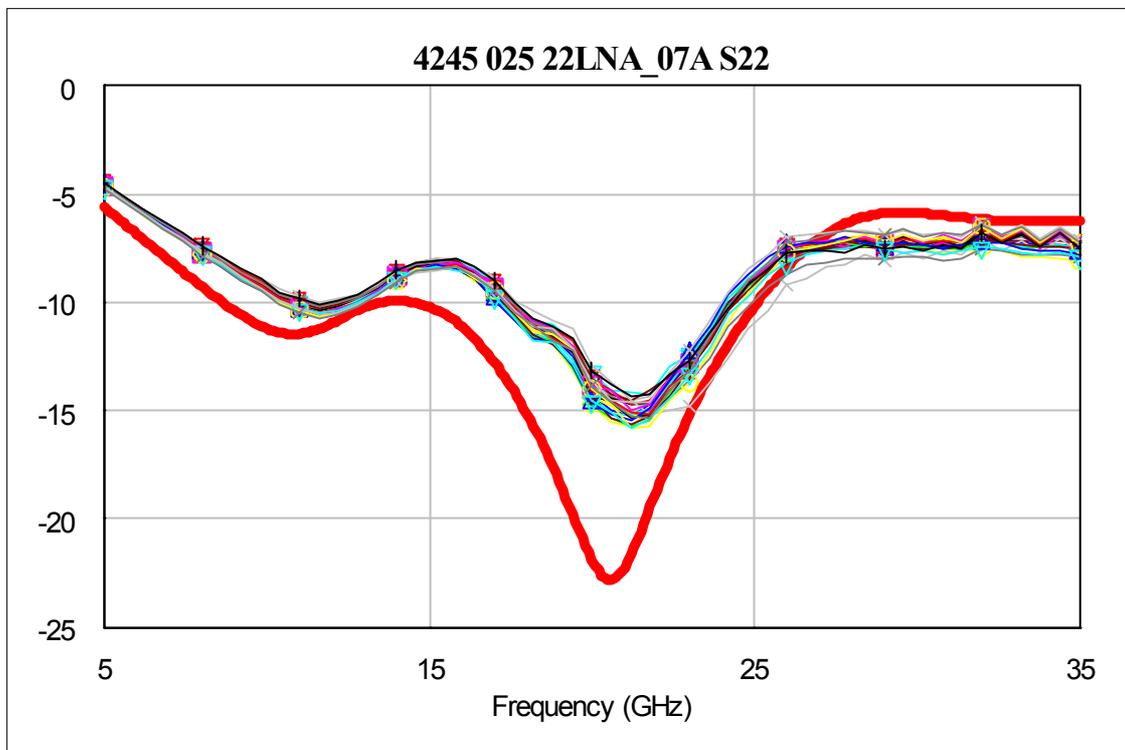


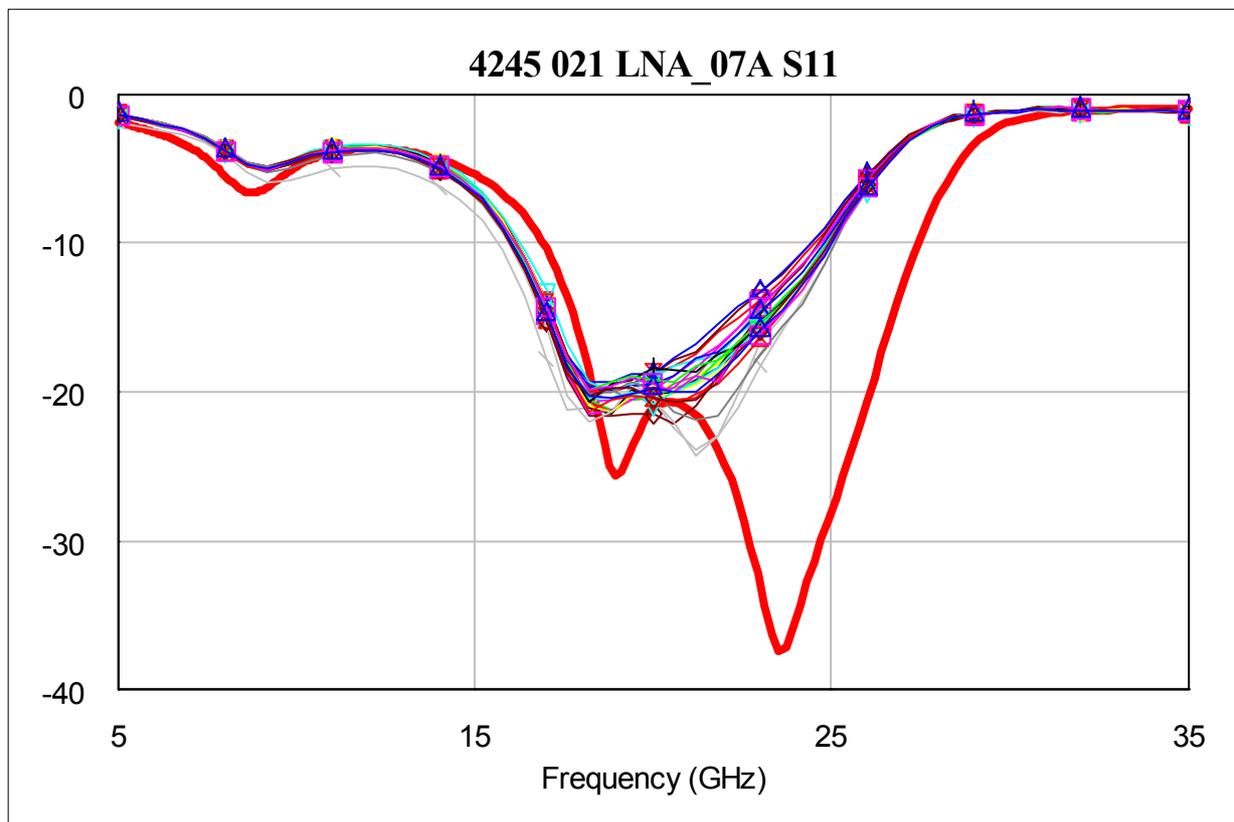
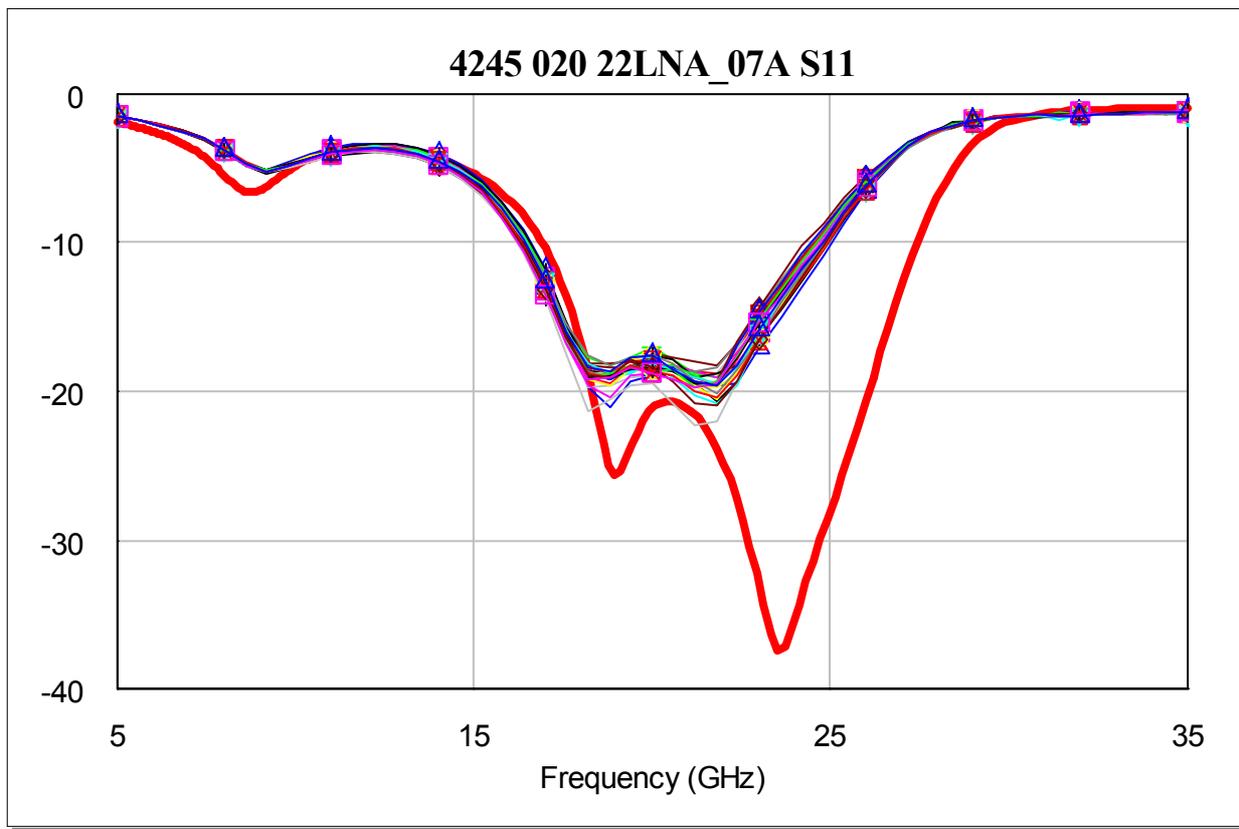


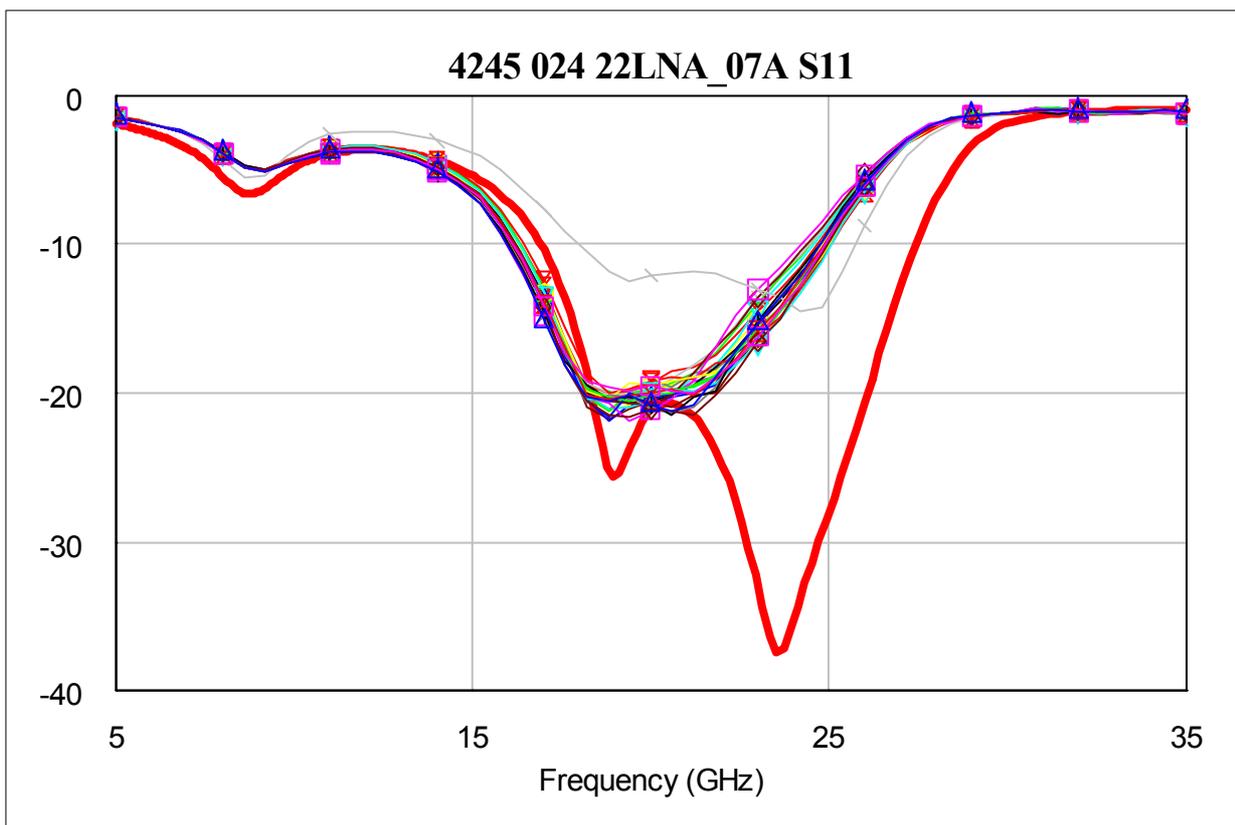
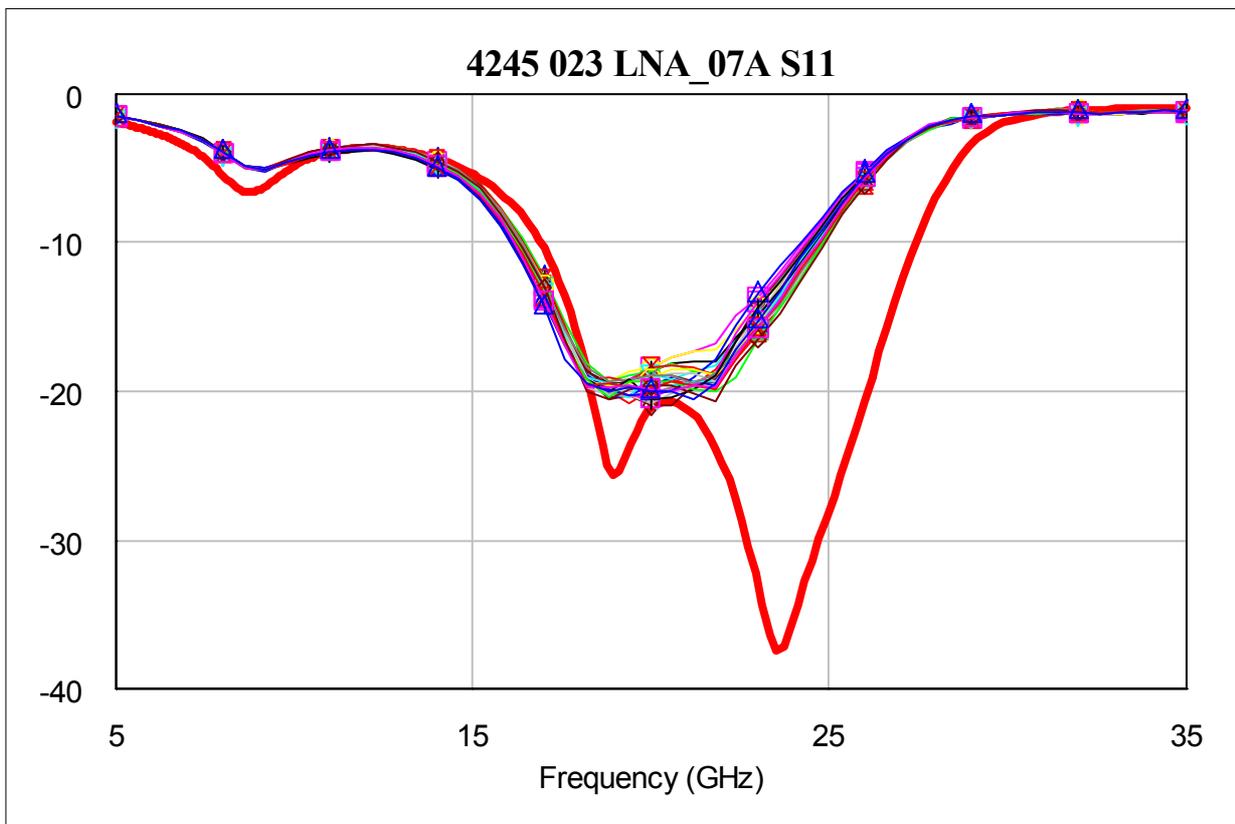


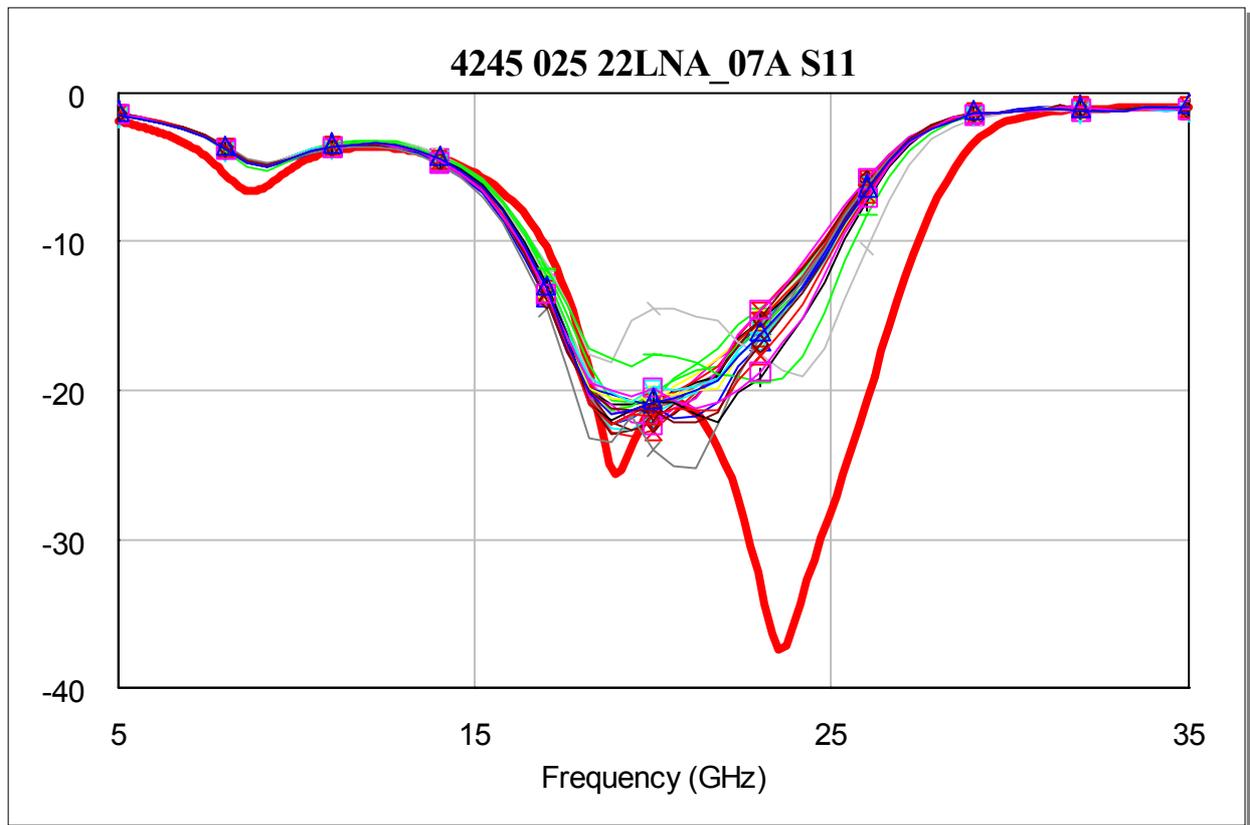


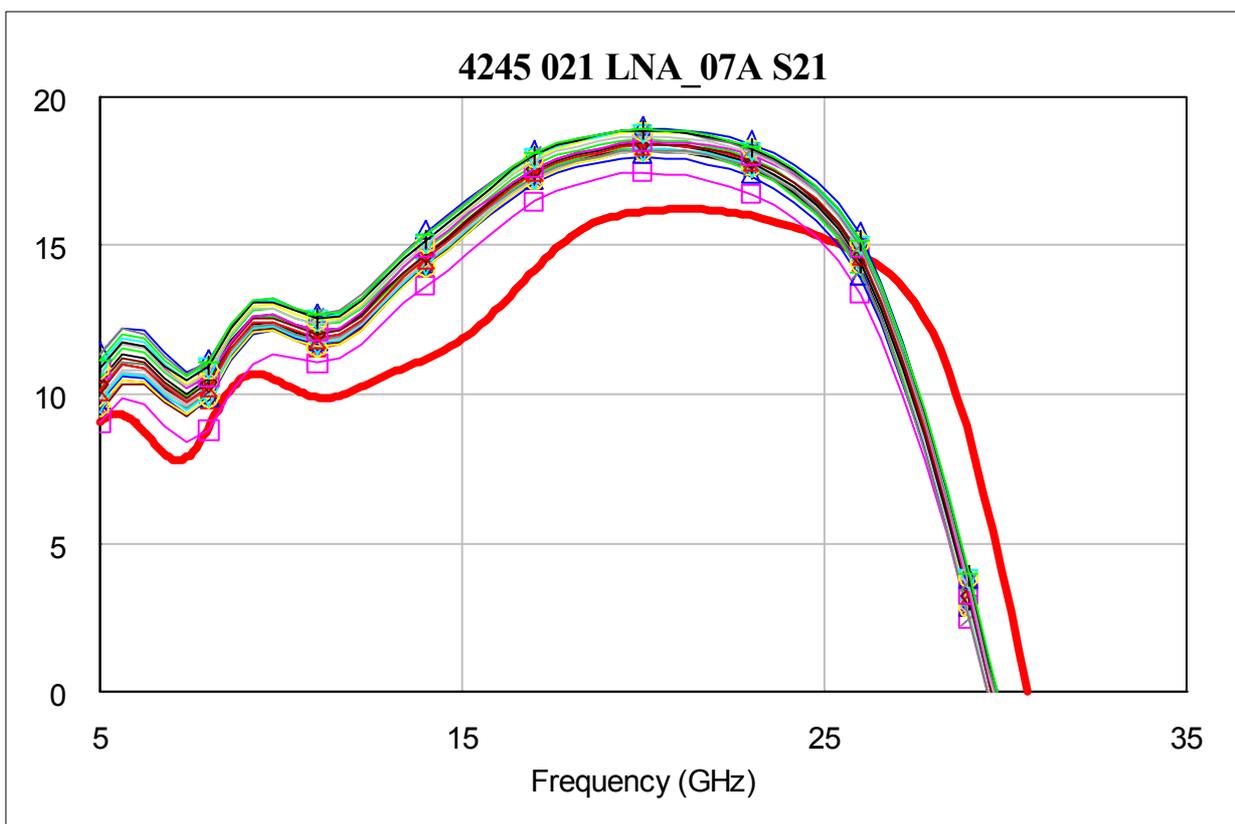
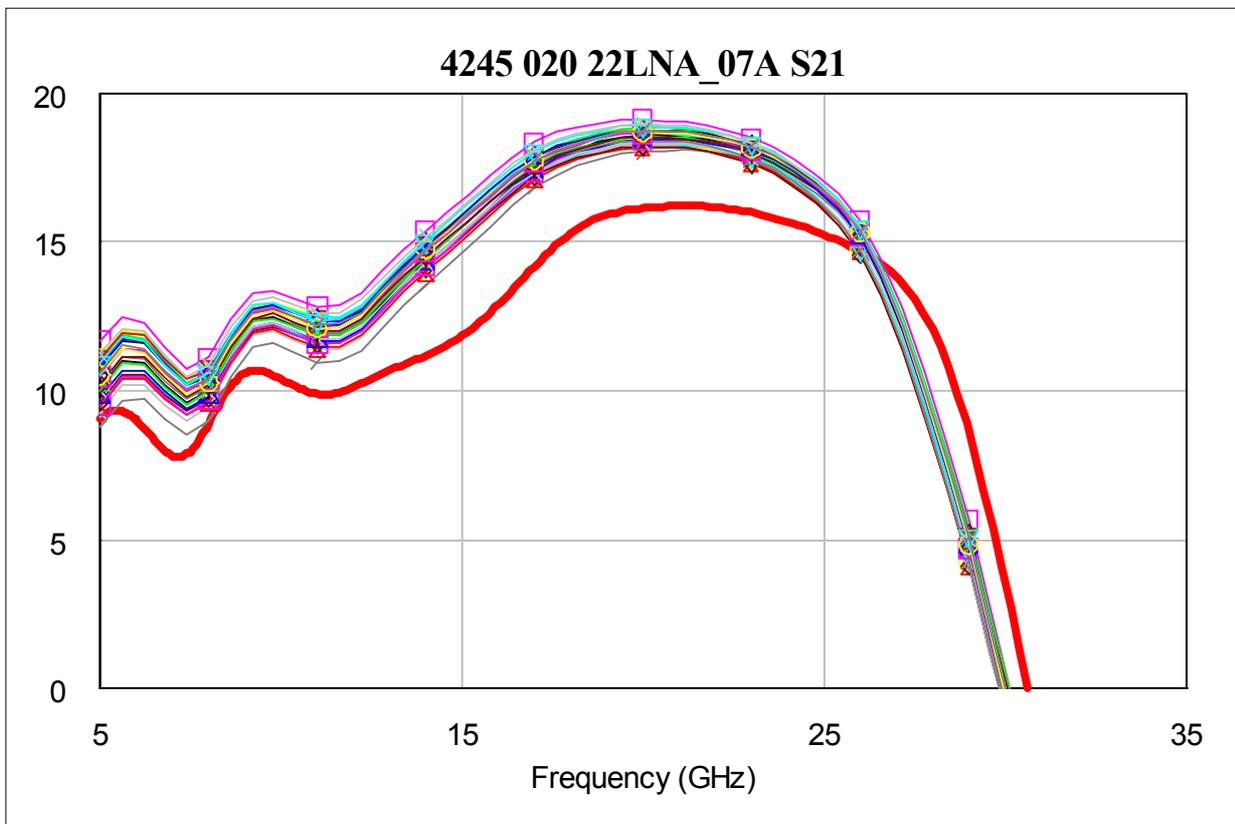


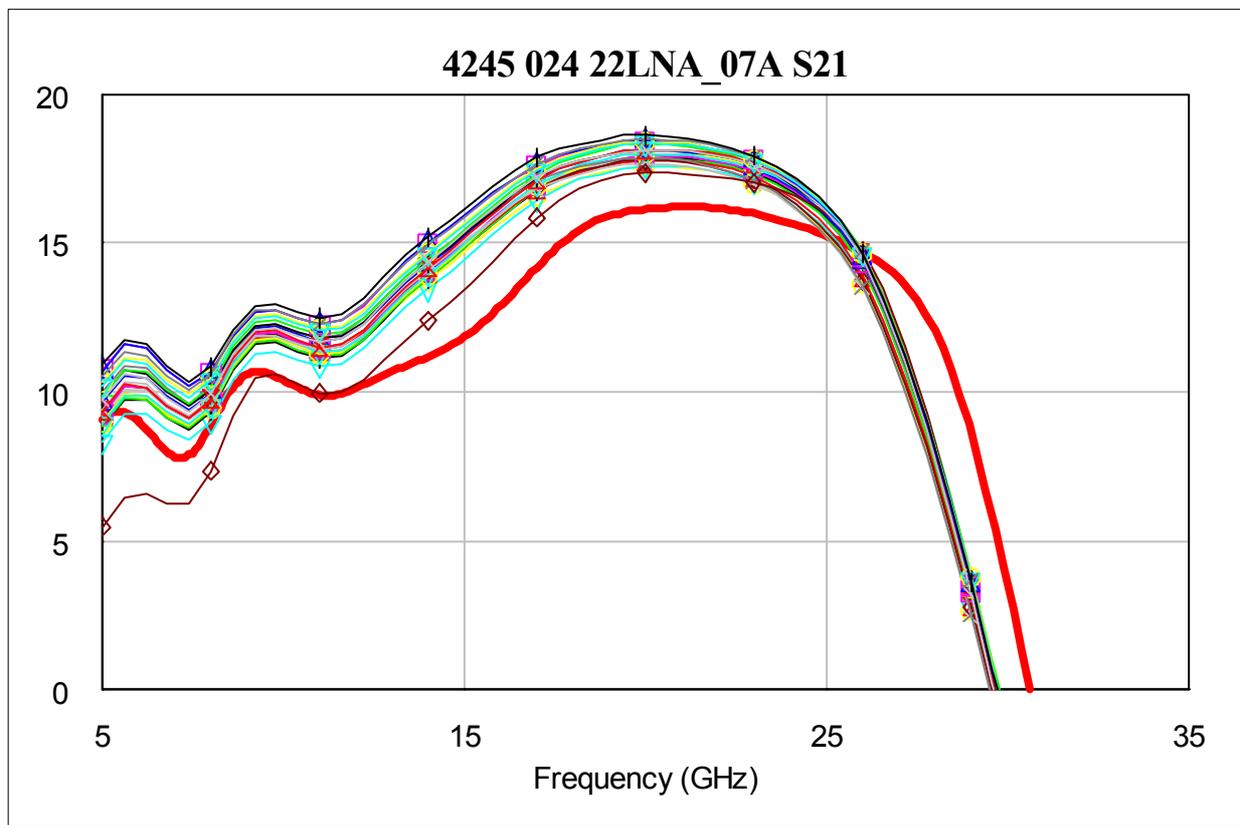
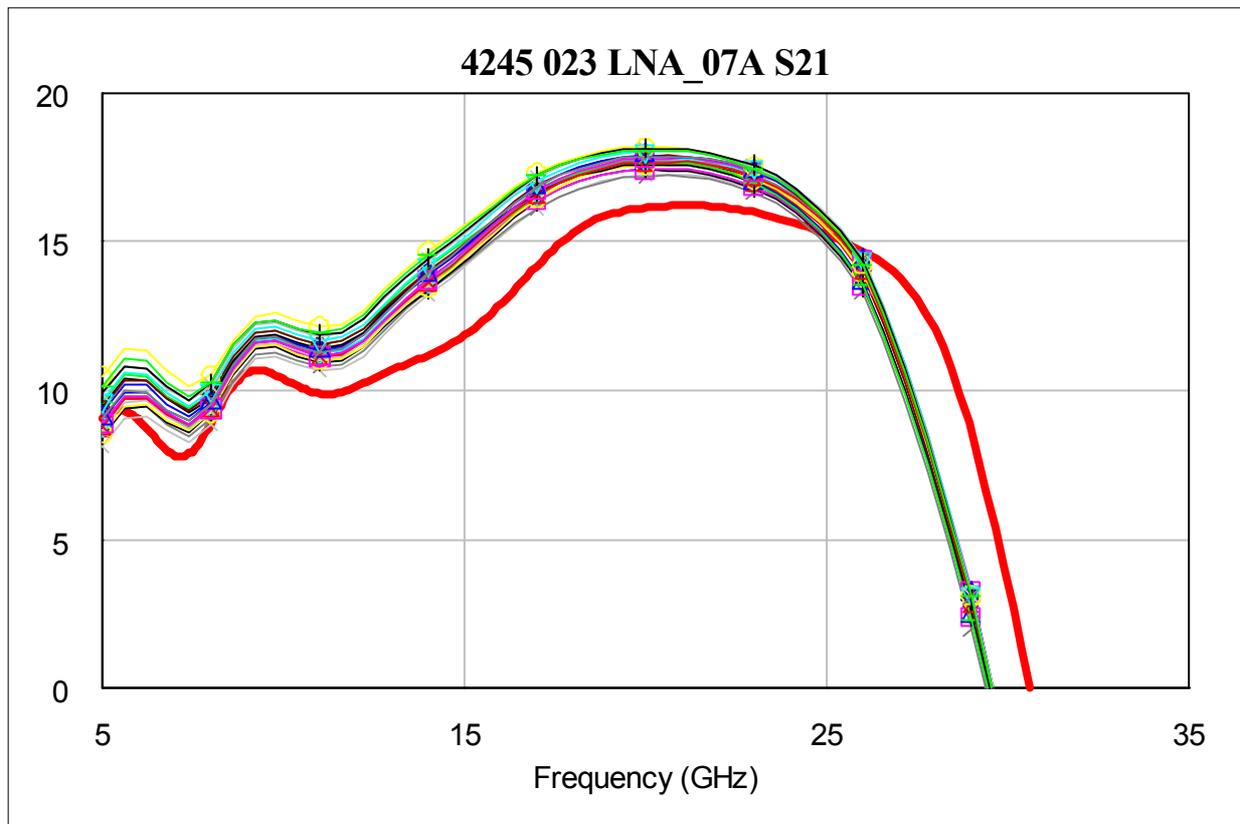


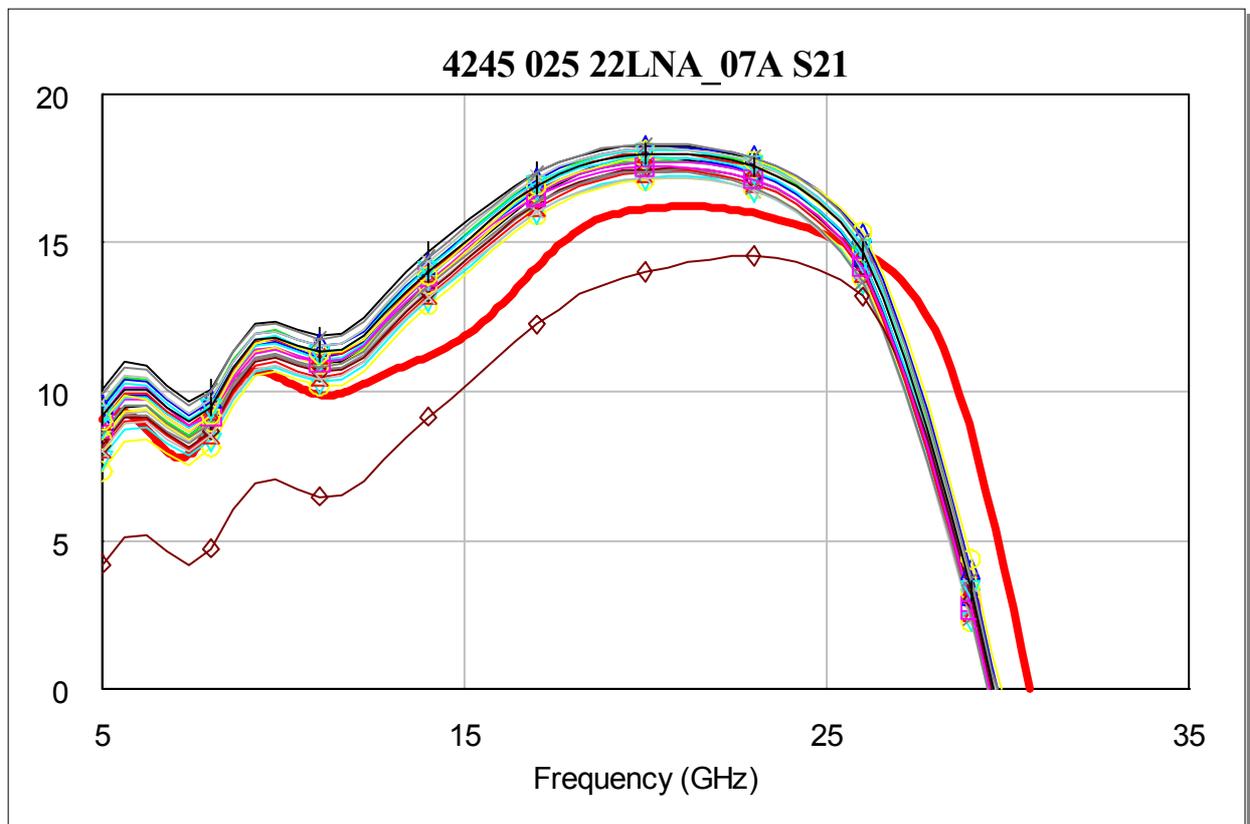


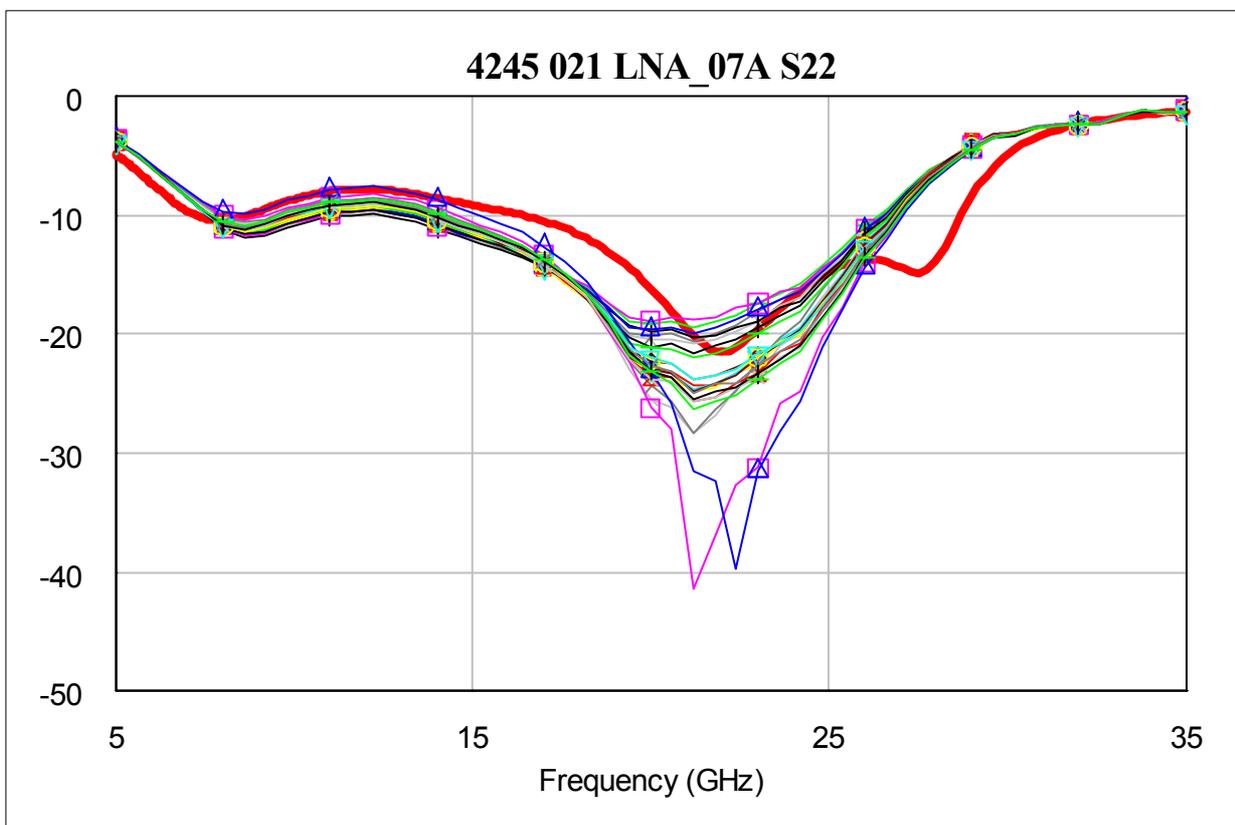
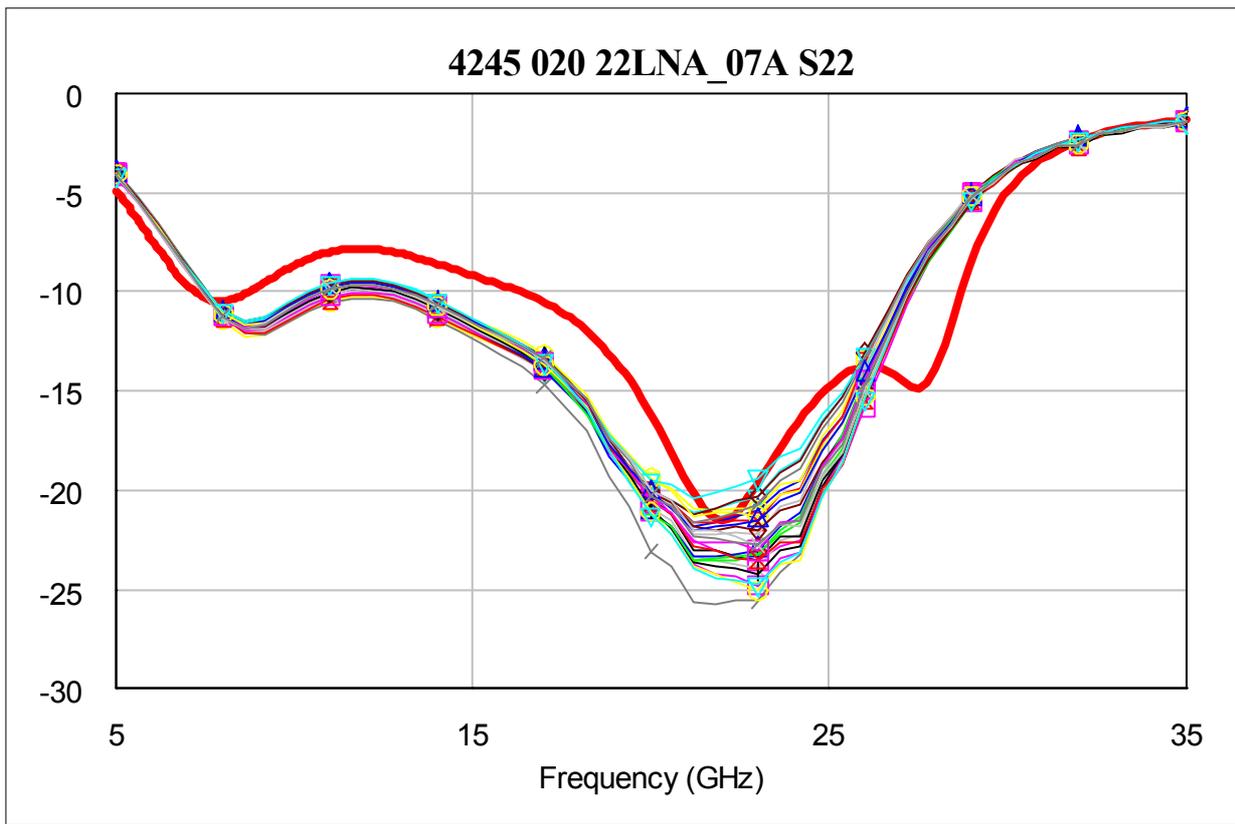


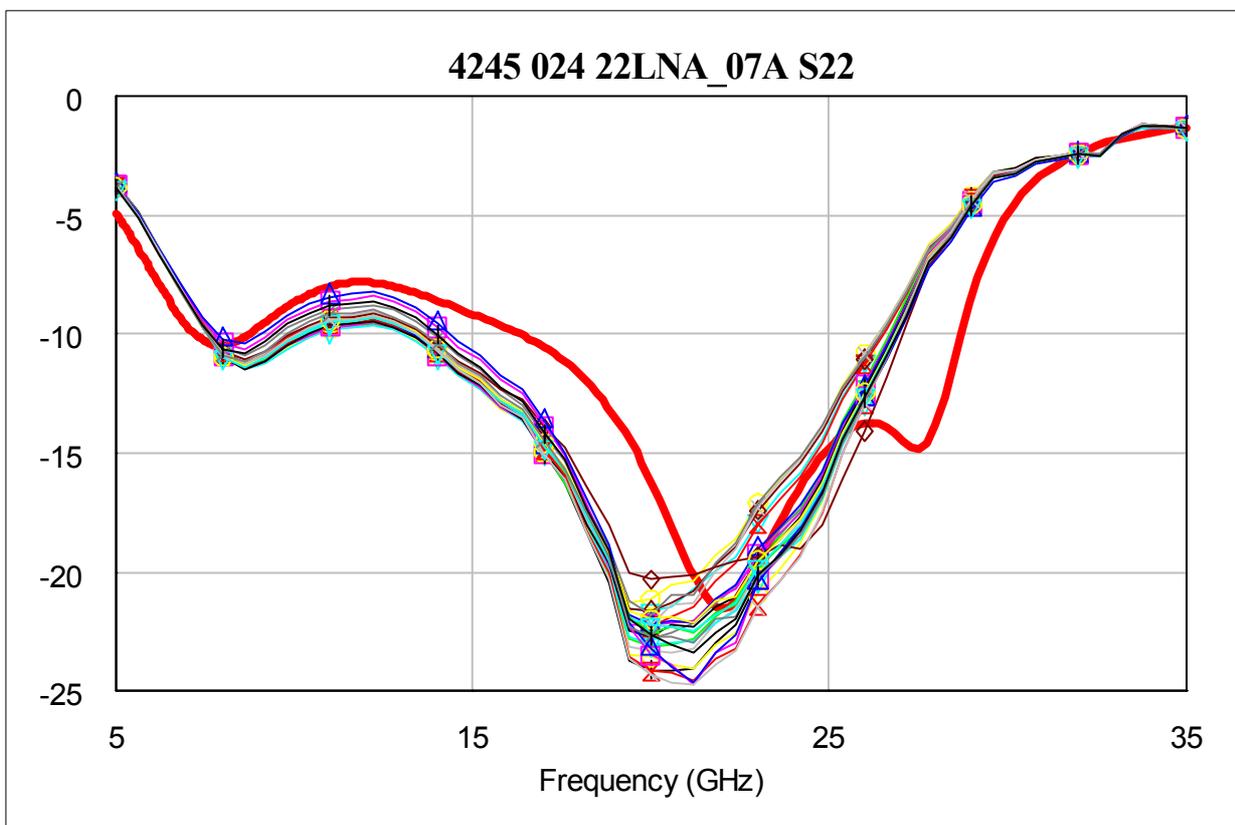
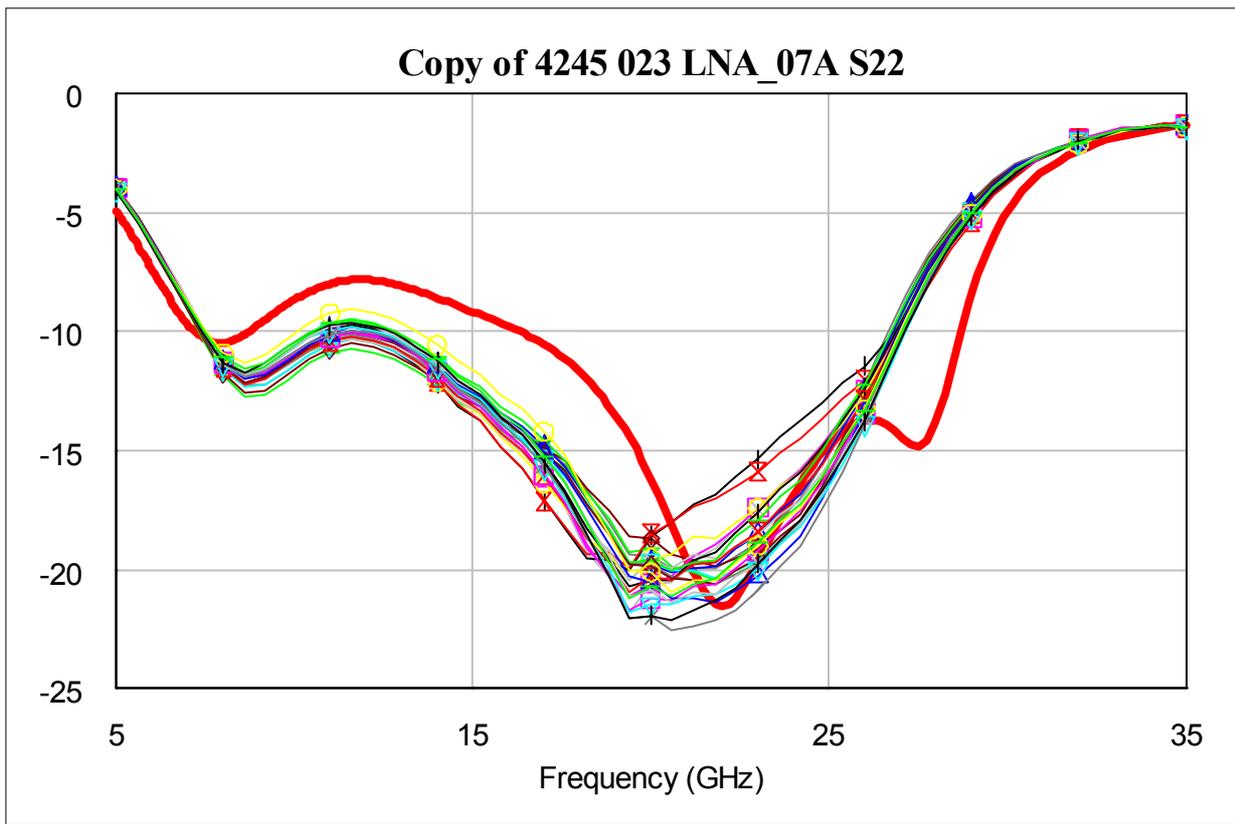


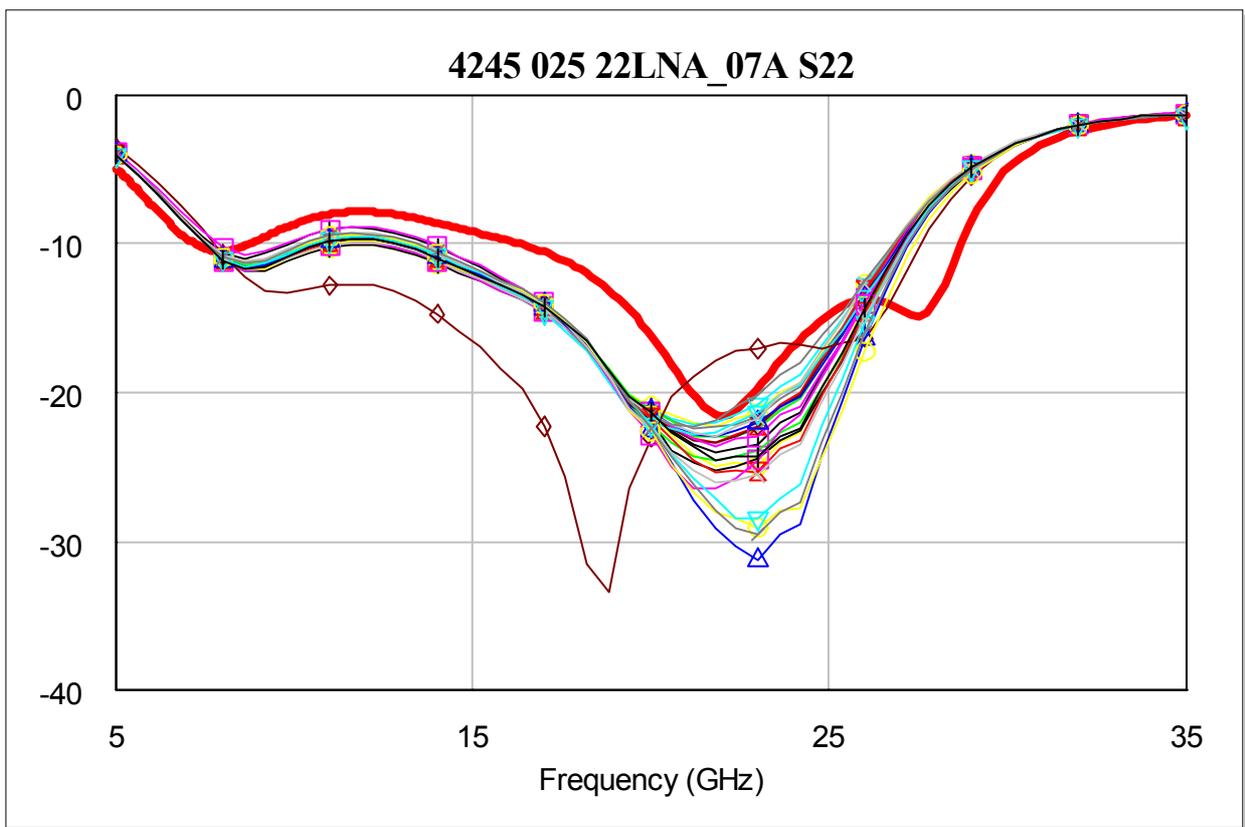






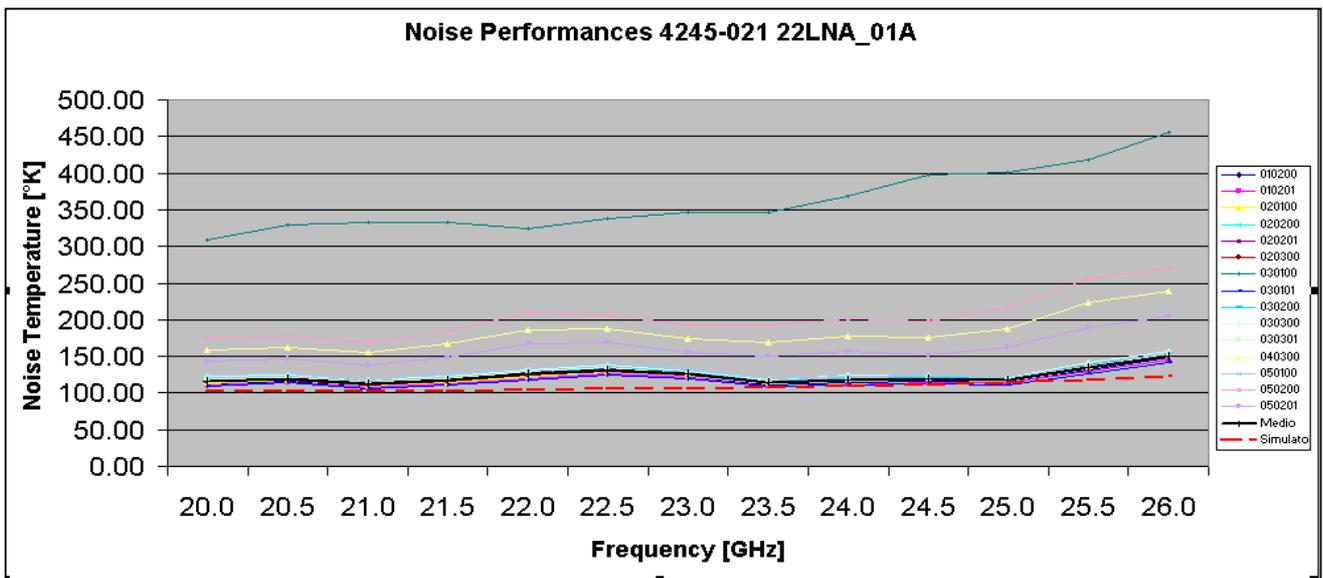
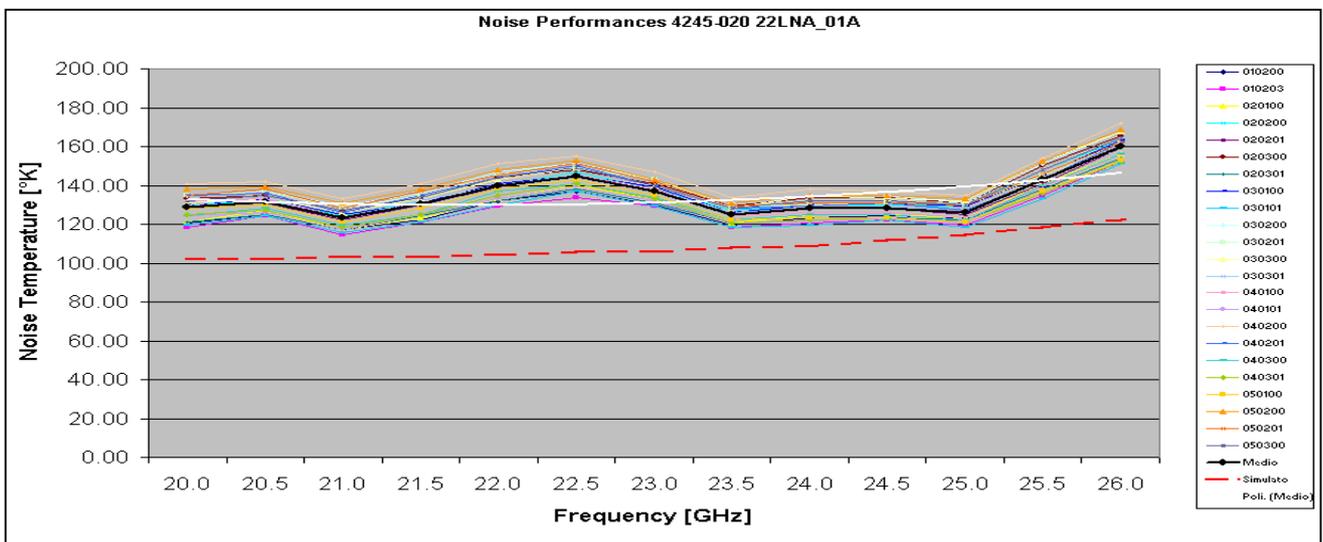


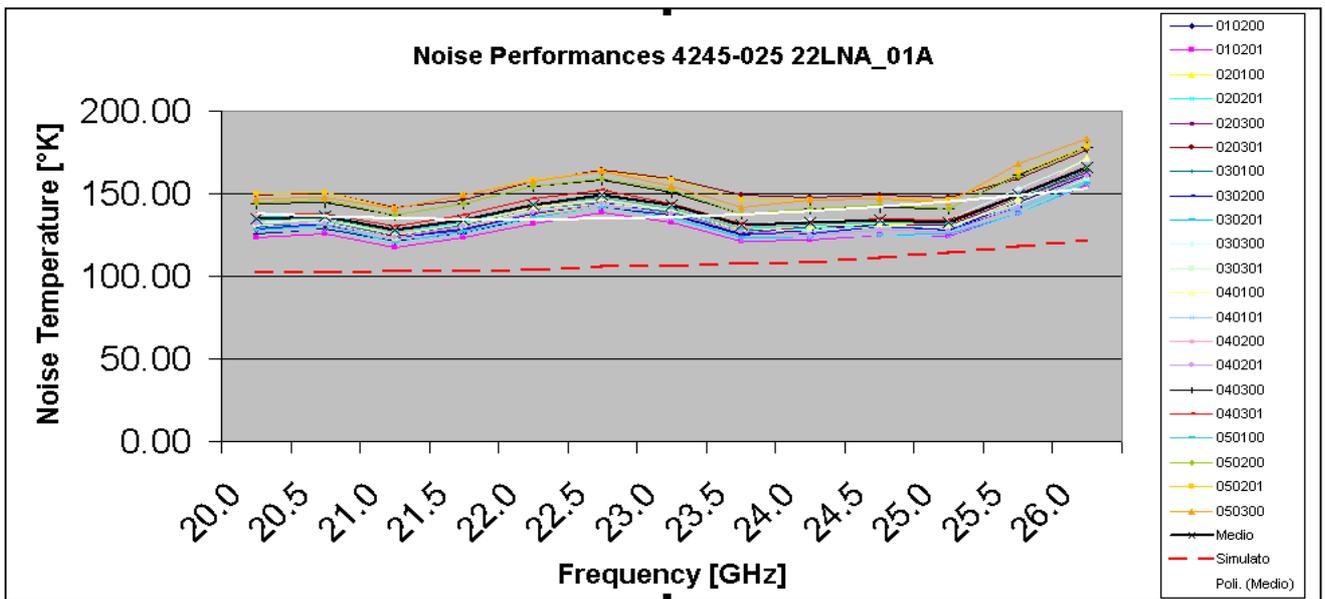
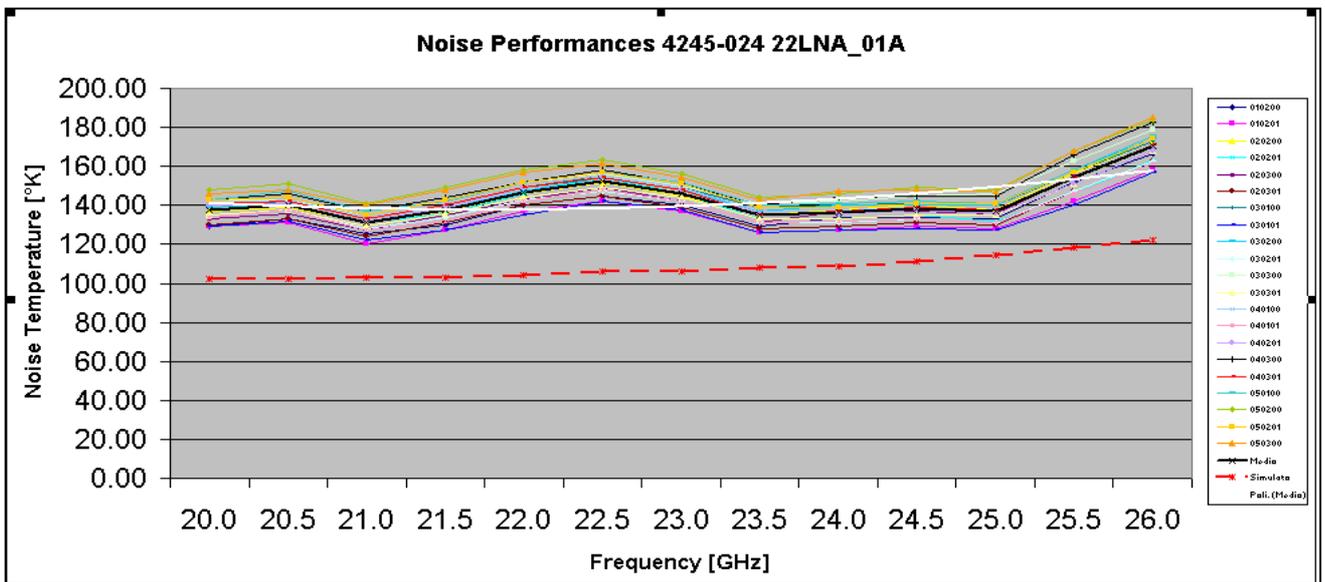
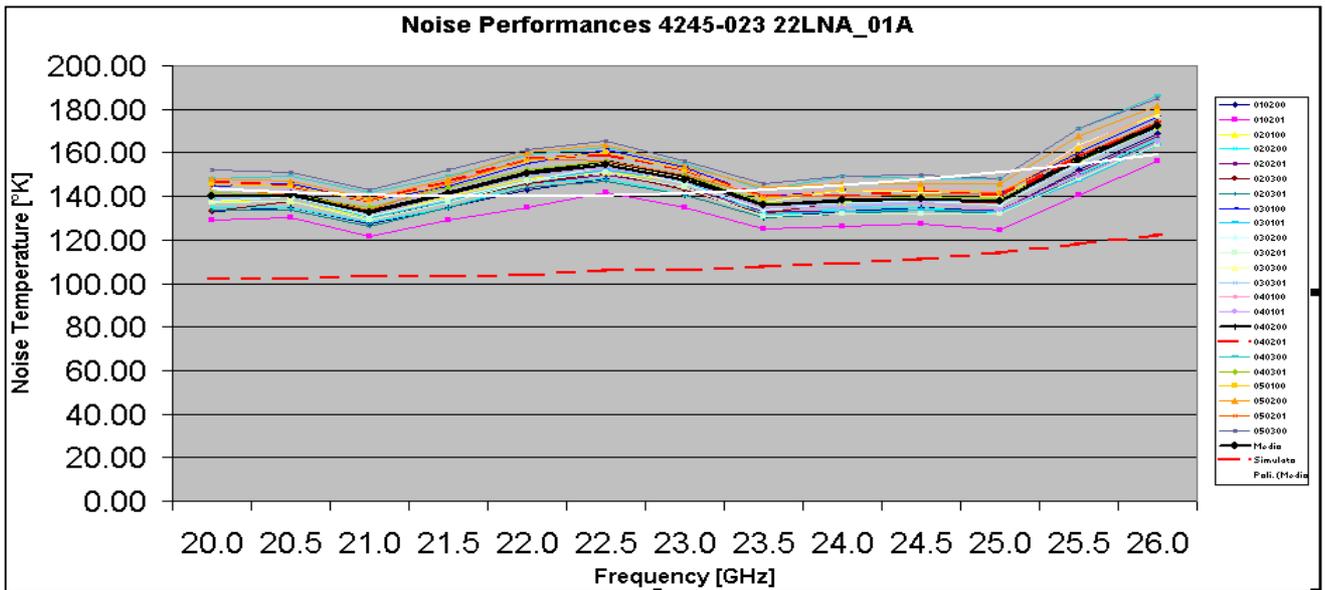


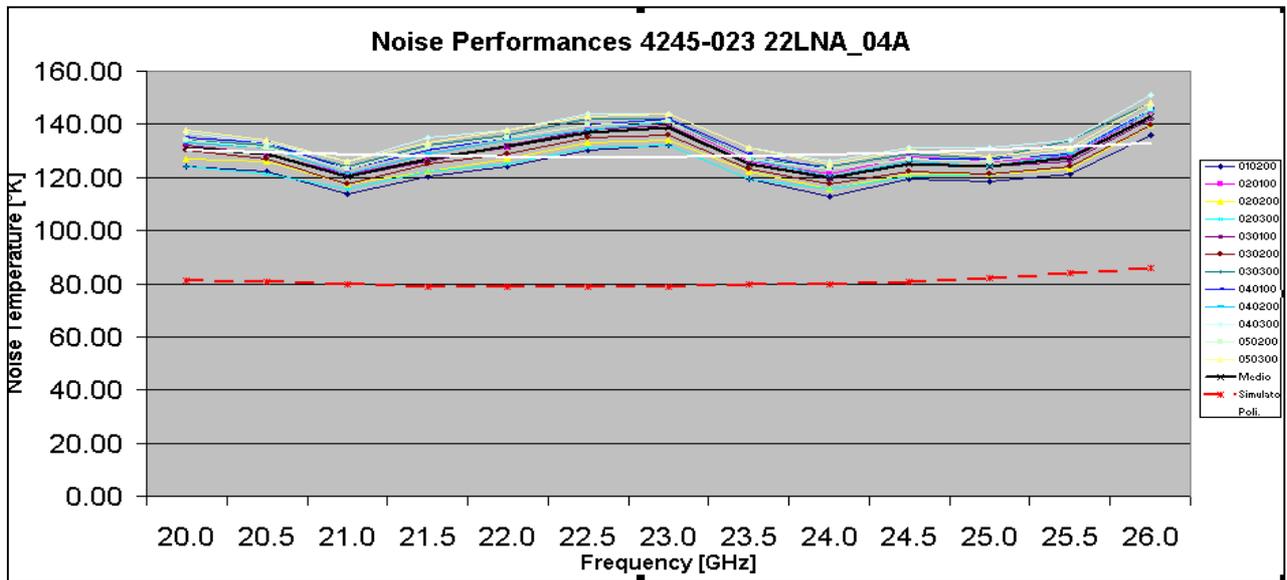
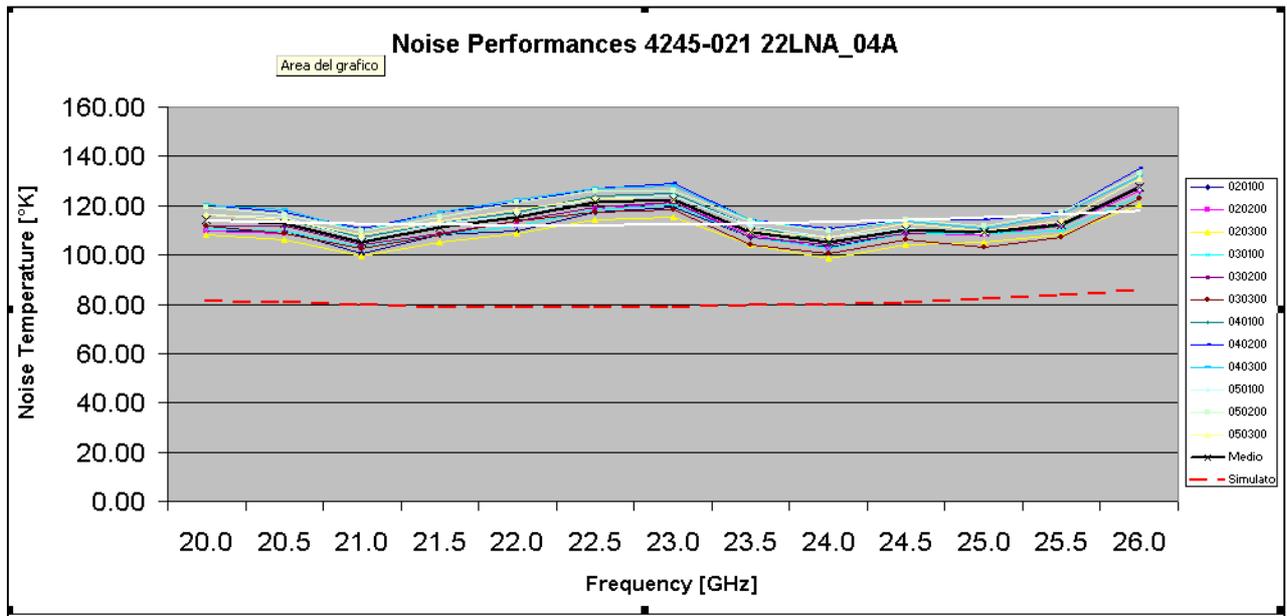
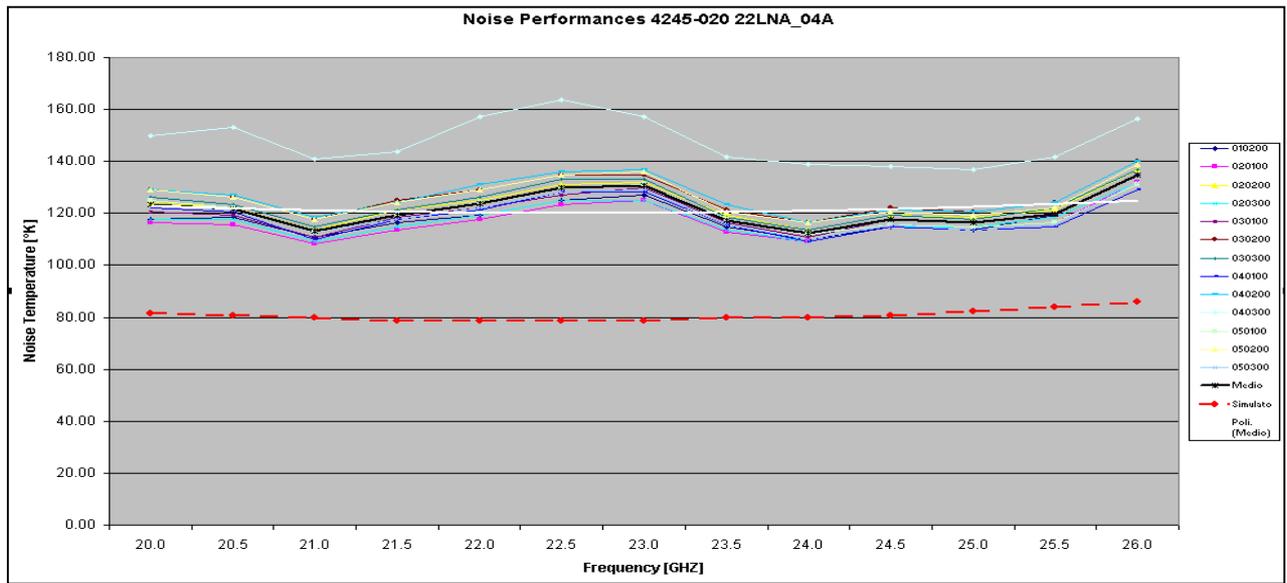


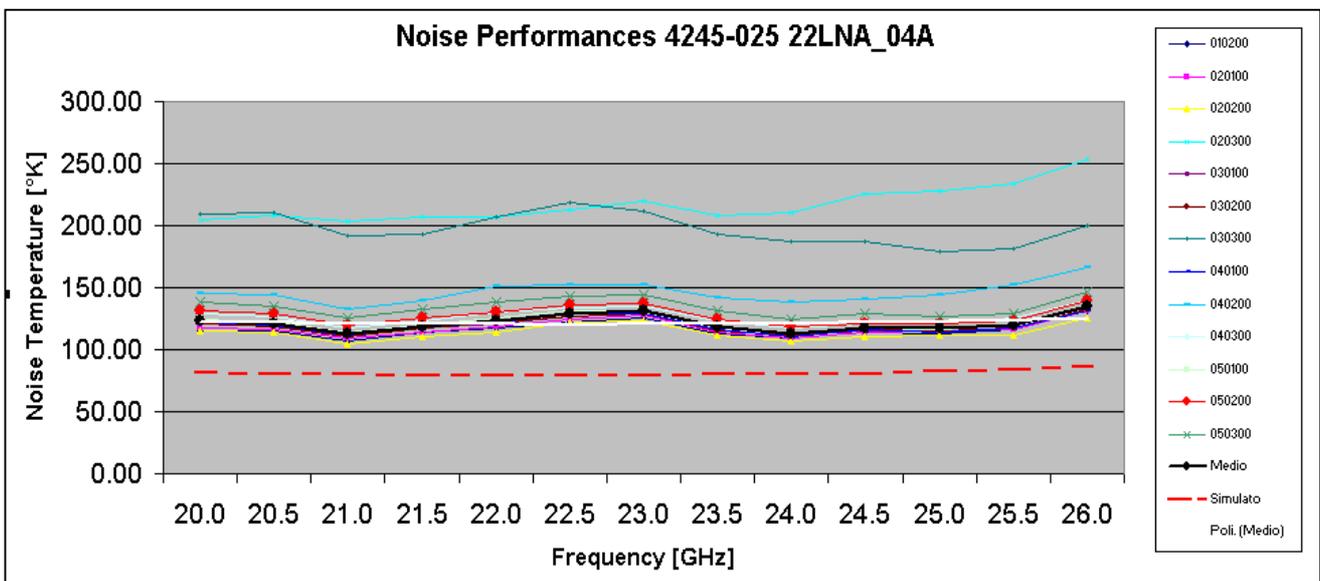
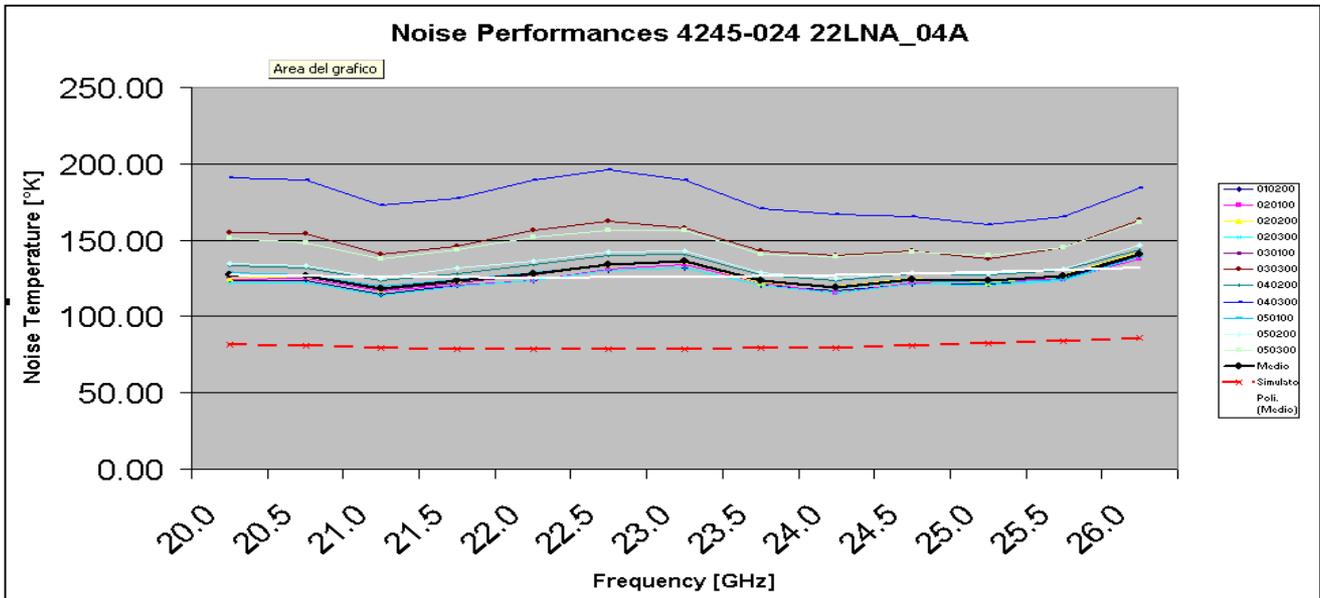
## 11. Appendice B – Misure di Rumore (TRW™4245 – CSR17)

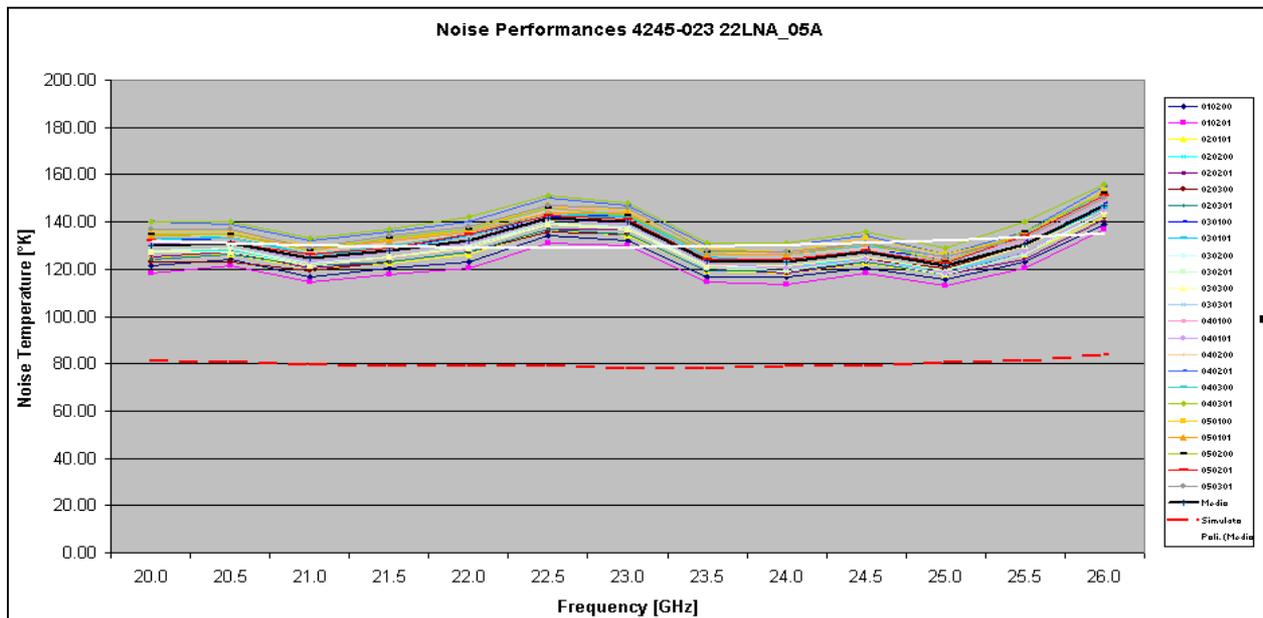
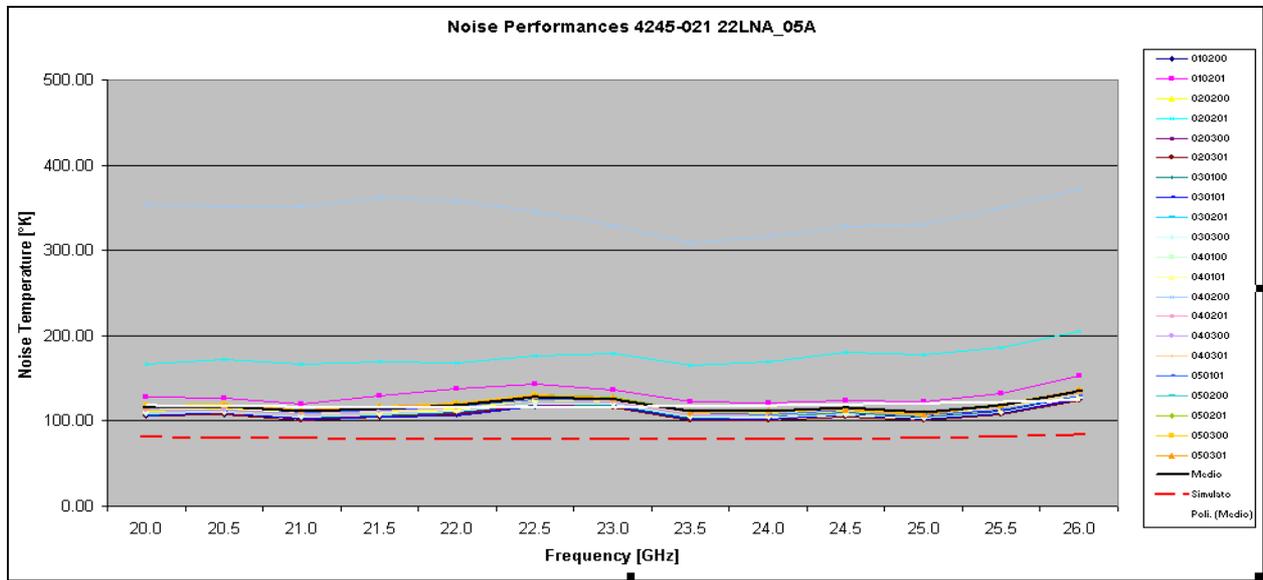
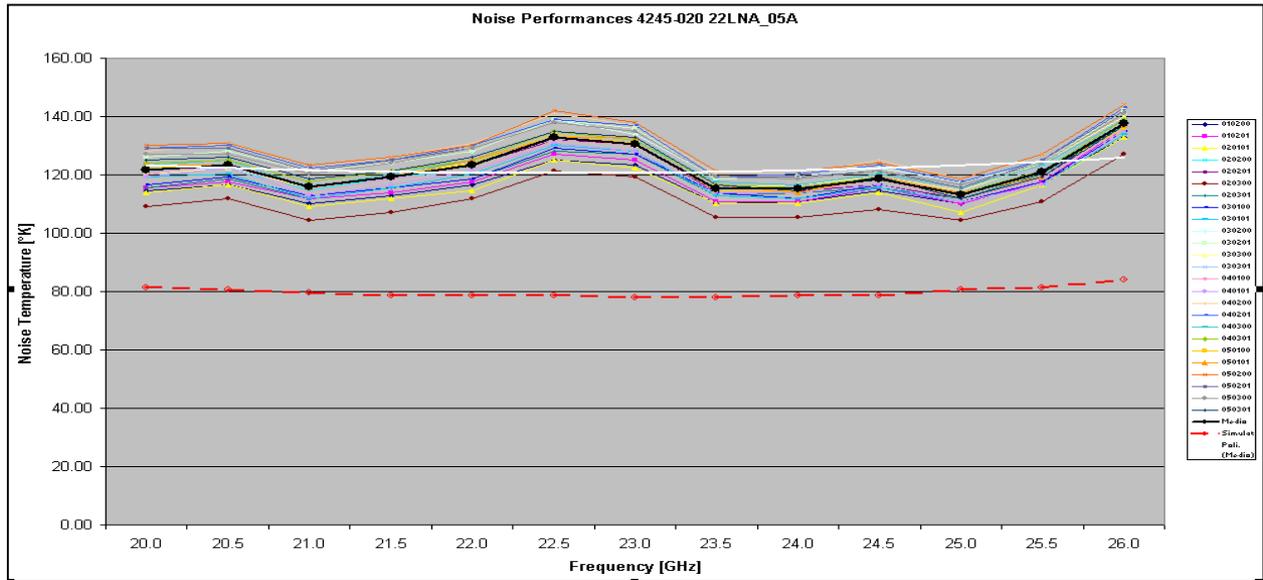
I seguenti grafici riportano le misure di rumore. Sono suddivisi per progetto ed ogni grafico riporta il comportamento dei diversi chip sullo stesso wafer. Inoltre nei suddetti grafici sono anche riportati il comportamento simulato (linea rossa tratteggiata ingrossata) il valore medio (linea nera ingrossata), ed una linea di tendenza, polinomiale di secondo ordine (bianca ingrossata) basata sull'andamento medio. Questa linea di tendenza è significativa per evidenziare il contributo del ripple dovuto al disadattamento della testina di rumore. In realtà, una risposta reale esente da ripple passerebbe dai punti di minimo della risposta stessa. Tutti i grafici sono stati normalizzati alla temperatura ambiente pari a 290 K.

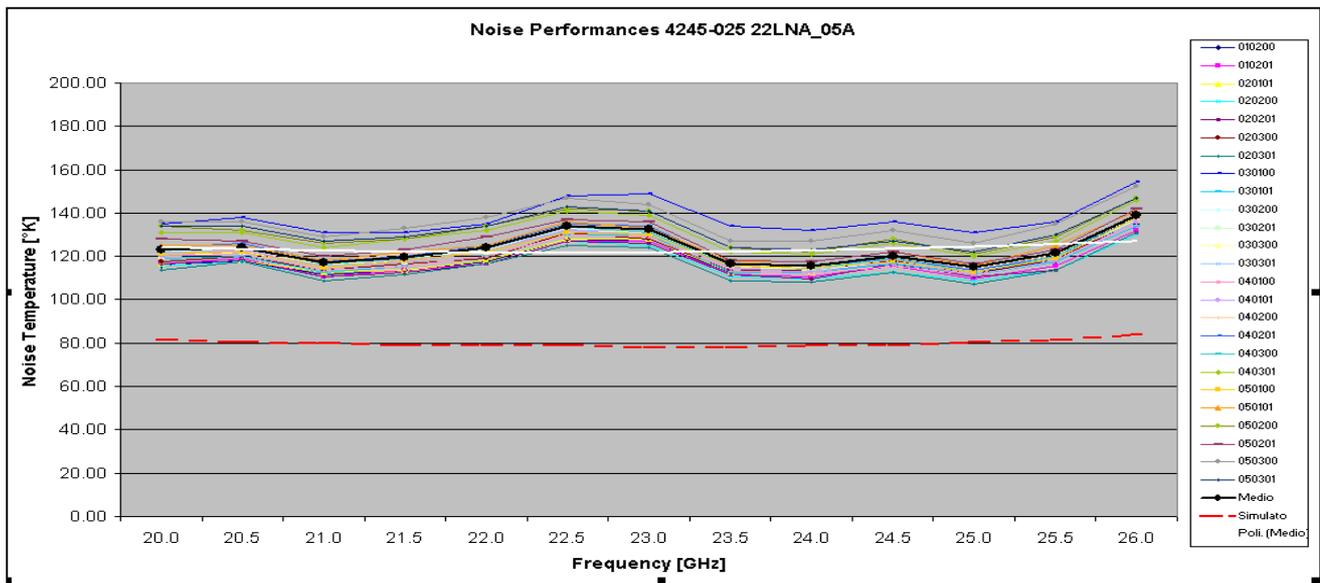
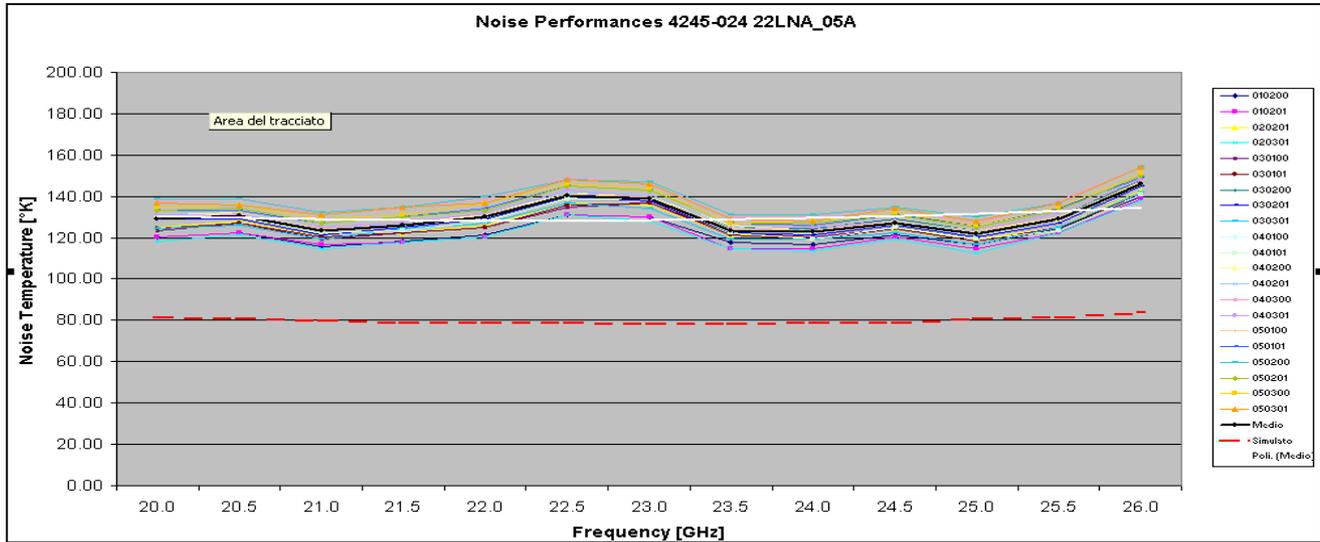


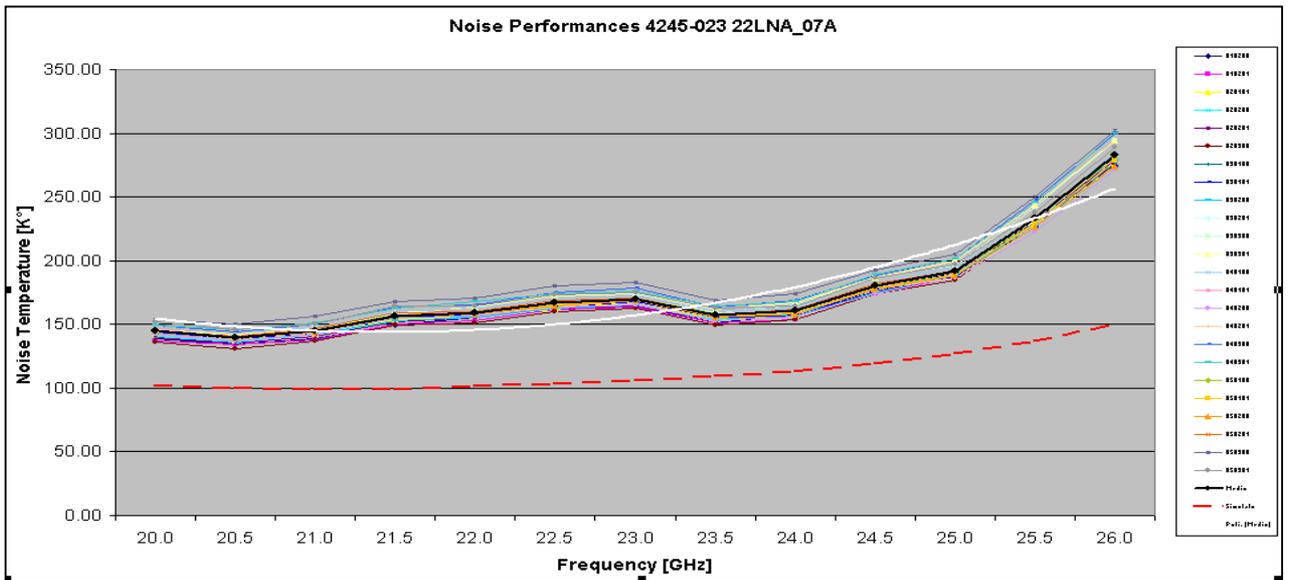
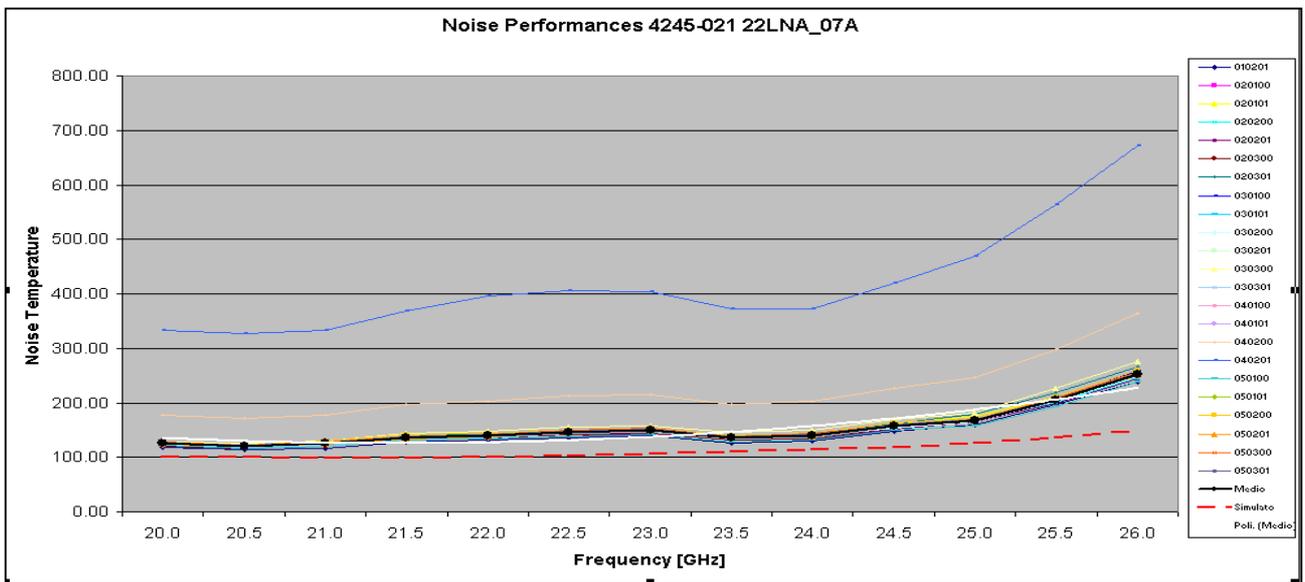
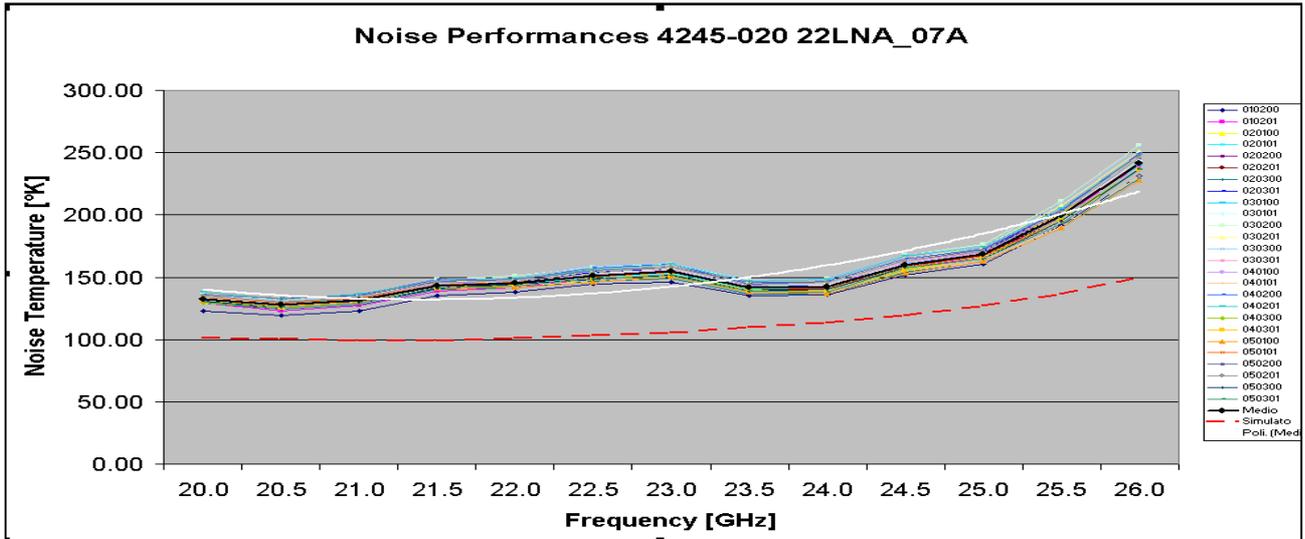


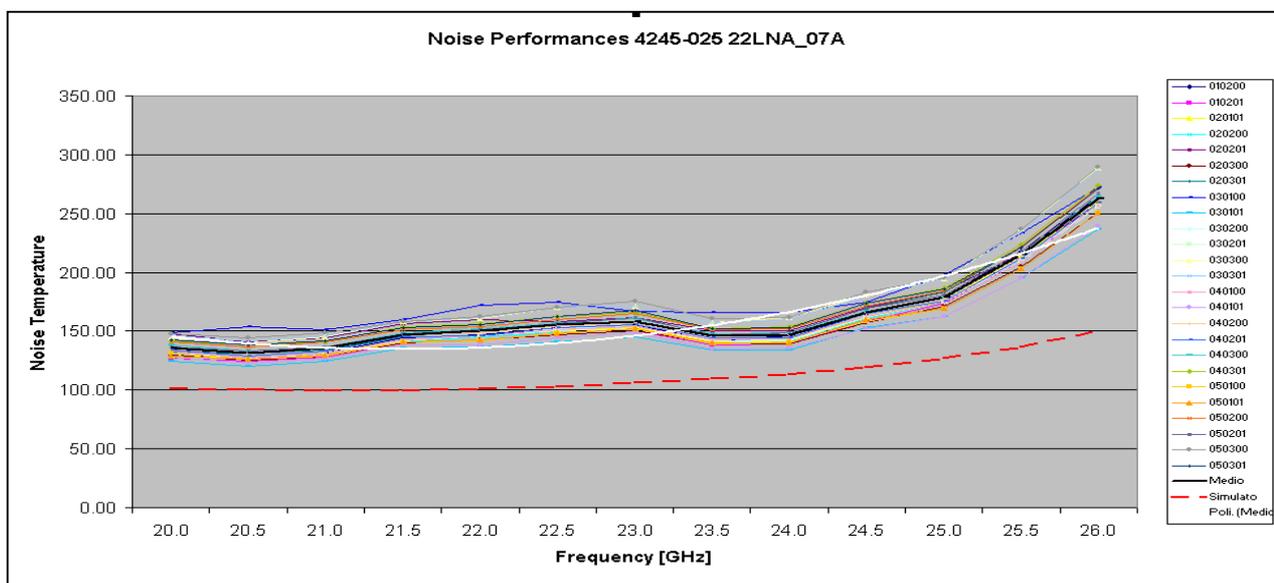
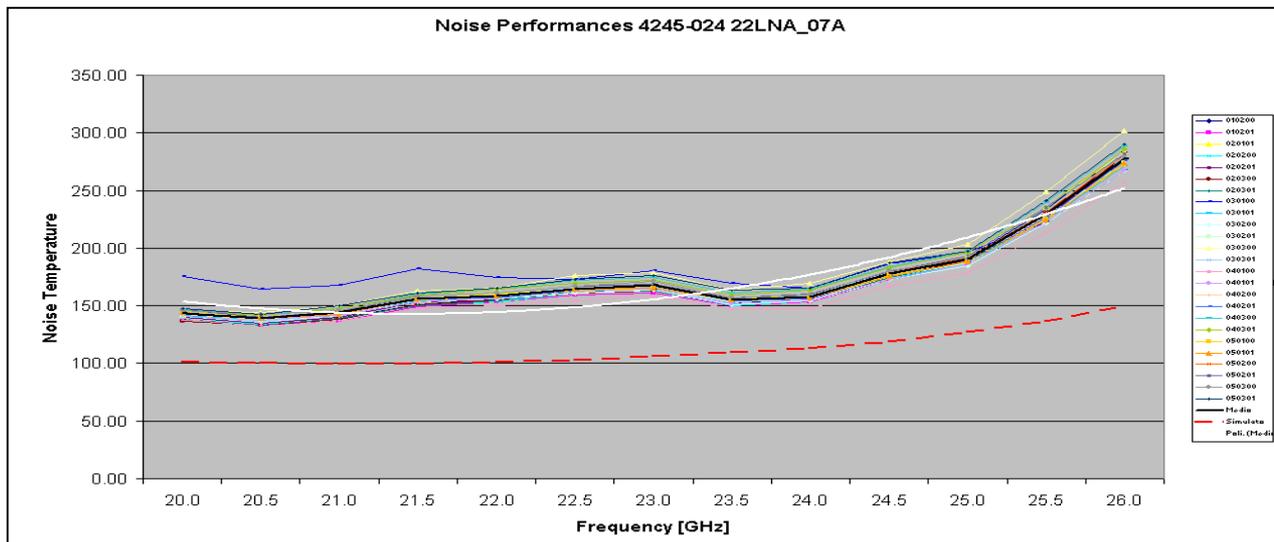












### 13. Appendice C – Distribuzioni statistiche delle prestazioni di rumore

La distribuzione statistica di rumore individua in questo caso, per una determinata frequenza (22 GHz) il comportamento, in termini di temperatura di rumore, della totalità dei dispositivi su tutti i cinque wafer che compongono il wafer run. Quanto più questa distribuzione si articola in un intervallo ristretto di valori, quanto più il processo tecnologico può ritenersi affidabile.

