

Considerazioni di calibrazione NanoVNA RF e Procedura-v1.1

Prefazione

Questo documento è un ampliamento del Messaggio # 233 dal gruppo “NanoVNA-users” sul sito groups.io. Si tratta di una continua discussione le procedure di taratura per la NanoVNA Vector Network Analyzer. Questo documento è in gran parte opera di Alan Victor, W4AMV e il suo collega Gary O'Neil, N3GO. Questa ri-scrittura e il materiale aggiuntivo è opera di Larry Goga, AE5CZ.

Non è nel campo di applicazione di questo documento per essere un tutorial di base sulla taratura e il funzionamento del vettore Network Analyzer o VNA. Un eccellente discussione di questi argomenti si possono trovare su Internet sul sito Wikipedia utilizzando la chiave di ricerca “analizzatore di rete (elettrica)”^[1]. L'utilizzo del qualificatore “elettrico” separa questo argomento da computer della LAN e WAN analizzatori di rete. Si tratta di due tipi completamente diversi di hardware. Diversi produttori di offerta ad alte prestazioni professionali di VNA ben scritto ed manuali progettati per informare ed educare il nuovo arrivato nel campo della VNA di illustrato. I manuali sono disponibili da Anritsu^[2], Rhode & Schwartz ^[3], Agilent / Keysight ^[4] e National Instruments ^[5]. I link a questi file si trovano nella sezione Riferimenti (pagina 10) alla fine di questo documento. Lo scopo di questo documento è quello di conoscere il nuovo utente con alcuni dei concetti di base dietro la VNA e come calibrare correttamente il dispositivo NanoVNA. Il nuovo proprietario di un NanoVNA è anche diretta al sito di YouTube, che contiene alcuni eccellenti video sull'argomento.

Questo documento è in tre parti. E 'pensato per essere una discussione preliminare dei vari tipi di procedure di calibrazione per un generale Vector Network Analyzer, poi una serie sequenziale di passaggi per eseguire queste calibrazioni procedure su un'unità NanoVNA e, infine, una raccolta di note che spiegano e definiscono il motivo per cui questi passi e il loro ordine sono particolarmente importanti nel caso del NanoVNA. Dal momento che il costo molto basso del NanoVNA porta le funzionalità di un Vector Network Analyzer nelle mani di una nuova gamma di utenti finali, compresi quelli che potrebbero non aver mai avuto l'opportunità di utilizzare un tale dispositivo, è importante che iniziamo con alcune definizioni e spiegazioni sul motivo per cui la calibrazione corretta è quindi molto importante quando si utilizza un VNA e interpretare i risultati.

Dispersione Parametri e il “DUT”

Alcuna conoscenza operativa di come utilizzare un VNA deve iniziare con almeno una conoscenza rudimentale di parametri S, altrimenti noto come Scattering

Parameters. Lo studio dei parametri S- esce lo studio di Ottica. È nello studio di ottica che possiamo osservare in prima persona il rapporto tra luce e il mezzo attraverso il quale viaggia. Quando i raggi luminosi da un'immagine incontrano un obiettivo fotografico, la maggior parte dei raggi di luce - ma non tutti - passano attraverso l'obiettivo. Alcuni dei raggi di luce sono "dispersi" indietro verso la sorgente. In Optics questo viene indicato come parametro di scattering S11. La luce che passa attraverso la lente può essere esaminato sul lato di uscita della lente e studiato come parametro di scattering S21^[6].

Questo stesso studio di "incidenza", "riflesso" e "trasmissione" può essere applicata l'energia RF che esce un circuito oscillatore o trasmettitore, viaggia attraverso uno spezzone di cavo coassiale come mezzo di trasmissione e termina ad un'antenna o qualche altro tipo di carico. Analogamente, amplificatori RF e filtri possono essere esaminate in questo stesso modo. Misurando i segnali trasmessi e ricevuti con precisione è possibile calcolare e visualizzare graficamente tutta una serie di

1

parametri elettrici compresi guadagno (o perdita), perdita di ritorno, Vswr tensione (VSWR), coefficiente di riflessione, stabilità dell'amplificatore, risposta in frequenza e molti altri.

Ciò che rende il Vector Network Analyzer uno strumento unico è che non solo può misurare e confrontare l'ampiezza di uno qualsiasi di questi segnali, può anche confrontare la fase di relazione di questi segnali tra loro e ad un segnale di riferimento generato appunto. Questo è ciò che separa la VNA dal Scalar Network Analyzer (SNA, nessuna misurazione di fase disponibile) e l'analizzatore di spettro^[7].

È la funzione del VNA per generare accuratamente questi segnali RF, applicarli alla "dispositivo in prova" (DUT) e quindi acquisire, misurare e visualizzare l'incidente, riflessa e segnali trasmessi sia in ampiezza e fase. Sebbene un VNA sarà molto simile venire completamente calibrato dalla fabbrica, il collegamento del VNA al DUT può causare una propria serie di problemi che devono essere affrontati con dall'utente finale. Da qui la necessità di strumenti di calibrazione secondari e una procedura di calibrazione noto e ripetibile. Tale procedura è ciò che questo documento, spera di fornire.

Tipi di calibrazione secondari

Ci sono diversi tipi di calibrazione secondari, definiti da quali porte sono coinvolti e che livello di correzione è compiuto. Questi tipi di calibrazione includono^[8]:

- **Pieno 2-Port - Questa è la taratura più comunemente usato e più completa**

che coinvolge due porte. Tutti i quattro parametri S (S11, S12, S21, e S22) sono completamente corretti.

- **Pieno 1-Port** - In questo caso, un singolo parametro di riflessione è completamente corretto (sia S11 o S22). Entrambe le porte possono essere coperte ma solo misure di riflessione saranno corretti. Questo tipo di taratura è utile per misure di riflessione sola, compresa la possibilità di fare due misure di riflessione sola allo stesso tempo.
- **1-Path 2-Port (avanti o indietro)** - In questo caso, misure di riflessione su una porta vengono corrette e un percorso di trasmissione è parzialmente corretto, ma non è partita carico. Qui significa che in avanti S11 e S21 sono coperti, mentre inverso significa che S12 e S22 sono coperti.
- **Risposta in frequenza (risposta di riflessione e la risposta di trasmissione-frequenza)**
- **E ce ne sono altri. (Vedi riferimento punto 8 alla fine di questo documento per ulteriori informazioni.)**
- **Per scopi di riferimento NanoVNA, porta 1 è associato con CH0 e la porta 2 è associato ad CH1.**

A causa di limitazioni circuiti e di costo, la NanoVNA è solo in grado di misurare i parametri S11 e S21 e può essere ragionevolmente calibrato per queste misurazioni utilizzando gli strumenti di calibrazione forniti per una calibrazione tipo SOLT (short, Open, Load e Thru). Invertendo il DUT, i parametri S22 e S12 possono essere misurate come bene e con un grado equivalente di precisione di misura. L'atto di invertire l'oggetto in prova non però introduce un certo grado di incertezza dei risultati di misura, ma lo fa cedere un set completo di parametri S che la maggior parte dilettanti troveranno abbastanza adeguato per quasi tutte le applicazioni che sono suscettibili di incontrare nello spettro HF, e per molte applicazioni ben nello spettro VHF / UHF pure.

La qualità e la precisione della calibrazione è solo buono come gli strumenti forniti. La qualità dell'hardware NanoVNA è sufficiente a produrre misure stabili e ripetibili con buona precisione utilizzando il kit di calibrazione incluso, o un kit di qualità simile acquistato separatamente. Anche un insieme attentamente costruita di standard di calibrazione fai da te in grado di soddisfare le esigenze di molti utenti.

La precisione del NanoVNA è stabilito dal processo di calibrazione. Questo processo comprende le misurazioni di un insieme ben definito di standard di calibrazione, che caratterizzano l'ambiente di misura e normalizzando le misurazioni ad un'impedenza di terminazione Complex ohm $50 + j0$. Il numero complesso contiene informazioni sia

l'ampiezza e la relazione di fase del segnale misurato. Un'eccellente discussione della teoria alla base di numeri complessi si possono trovare su Internet.[9]

Dovrebbe essere ovvio che gli errori nelle norme utilizzate dovrebbe essere noto e rappresentato nel processo di calibrazione. In questo modo sarà ottenere una precisione ottimale e precisione in tutte le misure VNA. Non vi sono disposizioni noti per farlo nel NanoVNA, e come tale, la precisione è delimitata dalla precisione assoluta degli standard in uso. Nonostante questa limitazione, la precisione è impressionante, e generalmente adeguati per tutto il campo operativo.

Insieme; stabilità hardware, ripetibilità, kit di taratura incertezze e gli algoritmi di correzione utilizzati, contribuiscono a incertezza di misura del NanoVNA. Anche così, la precisione ottenuta è ragionevole ma non è preciso come un high-end laboratorio grade VNA. Eppure, per la maggior parte delle applicazioni radio amatoriali, il livello di precisione in dotazione è sufficiente per la maggior parte dei requisiti di test all'inizio e sarà più che soddisfare la maggior parte degli utenti.

Calibrazione di un NanoVNA 4-trace

Questo è l'inizio della procedura per calibrare un NanoVNA. Alla consegna, il NanoVNA è venuto con un set di dati di calibrazione memorizzati nella posizione di memoria 0 (zero) e per impostazione predefinita che dati vengono usati durante il processo di accensione. Questo è indicato dal display di "C0" nell'area "Cal Status" del display. E' possibile per che i dati di calibrazione per diventare danneggiato o perso. Le seguenti fasi procedurali consentiranno all'utente finale di ricreare quei dati. Inoltre, se il firmware nel nanoVNA è sempre aggiornato, tutti i dati di calibrazione iniziale (in Memory0) andranno persi e l'unità richiederanno ritaratura usando questo metodo.

Nota 1: Prima di iniziare questa procedura si consiglia di esaminare il documento "NanoVNA Struttura del menu". Esso può essere trovato alla <https://groups.io/g/NanoVNA-utenti/attachment/560/0/NanoVNA%20Menu%20Structure%20v1.1.pdf>

Nota 2: La seguente procedura di calibrazione è per una NanoVNA che ha firmware che supporta il funzionamento a 4 tracce (giallo, blu, verde e magenta). Un display a due tracce è consigliato ma non necessaria durante la calibrazione per ridurre al minimo le distrazioni e confusione sul display.

Nota 3: utilizzati in questa procedura sono due cavi coassiali approssimativamente

della stessa lunghezza, SMA-Maschio a breve, aperti e 50 connettori di terminazione ohm e un adattatore femmina-femmina SMA. Questi componenti avrebbero dovuto essere fornito con il NanoVNA. Se non sono presenti, allora si

3

sarà necessario acquistare o acquistare separatamente. Un secondo SMA-Maschio 50 ohm di terminazione e l'adattatore femmina-femmina semplificherà ulteriormente la procedura. Tali componenti possono essere ottenuti per meno di \$ 10 USD da Amazon, eBay o altri fornitori.

Nota 4: Accendere il NanoVNA e notare la colonna verticale di personaggi lungo il bordo sinistro del display. Questi caratteri identificare lo stato CAL dei dati visualizzati e le prime caratteri (in alto) mostra la posizione di memoria degli attuali parametri di calibrazione in uso. I dati di calibrazione di default è sempre visualizzato all'accensione e viene memorizzato in posizione "SAVE0". **C0 indica i dati di calibrazione predefinito è abilitato.** Nessuna colonna di dati verticale alla sinistra del display indica che i dati di calibrazione è memorizzato nella locazione di memoria (C0 all'accensione), ed i dati visualizzati sul display è corretta.

Se vengono visualizzati alcuni caratteri, ma la posizione di memoria (C0) non è, un file di calibrazione è stato salvato in "SAVE0", ma "correzione" è stato disabilitato. Se si desidera avere questo abilitato (non richiesto per la calibrazione), passare a CAL>CORREZIONE, e alternare CORREZIONE fino C0 appare nella parte superiore della colonna a sinistra del display.

Se la calibrazione è stata eseguita ed è disponibile, lo stato CAL sarà visualizzato come Cx. C * indica una calibrazione è stata eseguita ed è attualmente attiva; ma non è stato salvato. Le misurazioni effettuate in questa modalità saranno validi e corretti, ma la calibrazione sarà scartato quando il NanoVNA è spento o scartato e sostituito se una posizione salvata viene richiamato. C0 a C4 sono i file 5 di calibrazione che possono essere salvate e richiamate.

Ci sono diversi modi che gli utenti possono trovare conveniente per salvare i dati di calibrazione di uso frequente. Alcuni utenti potrebbero preferire per mantenere i dati di calibrazione predefinite in C0 e quindi selezionare posizioni C1-C4 per altre gamme di interesse. Altri utenti potrebbero voler mantenere i dati di calibrazione per i loro attuali esperimenti in C0 in modo che sia immediatamente disponibile al potere- up. Il set di

dati di default potrebbe poi essere trasferito (C1-C4) o scartato e ricreato, se necessario. Le scelte sono varie quanto le applicazioni per il NanoVNA.

Le lettere sotto C indicano che i seguenti termini di errore sono state applicate. D: direttività, R: Tracking Riflessione, S: Fonte Match, T: trasmissione di monitoraggio e X: isolamento.

Nota 5: salvati o non salvati parametri di calibrazione possono essere attivati e disattivati, spostando il pulsante di rettifica ai sensi del menu CAL. Il carattere di stato CAL superiore sul display commuta per riflettere lo stato corrente dei dati visualizzati. Questo serve come un utile strumento diagnostico a seguito di una procedura di calibrazione per verificare il successo e la qualità della calibrazione appena completato prima di effettuare misurazioni su un DUT sconosciuto o salvando il risultato in una posizione di memoria per l'uso in futuro.

4

Nota 6: collegare i due maschio-maschio cavi coassiali di lunghezza pari a CH0 e CH1 del NanoVNA con la SMA femmina-femmina collegata all'estremità libera del cavo collegato al CH0. Vesti questi cavi lontano dal NanoVNA in una linea parallela e non lasciare che si incrociano.

Nota 7: Ciascuno dei seguenti elementi numerati rappresentano una semplice pressione di un tasto sullo schermo del Nano VNA. Toccare il touchscreen o deprimere la rotellina per visualizzare il menu Home. Se si utilizza uno stilo, toccare e tenere premuto sulle opzioni del menu fino a quando l'opzione selezionata diventa verde in flash per confermare la sua selezione.

Selezionare e menù azionare gli elementi nel modo seguente:

1. DISPLAY
2. TRACE
3. TRACE 0
4. SINGLE semplice tocco nuovo lo schermo e continuare (se necessario).
5. BACK
6. FORMAT
7. LOGMAG Toccare lo schermo di nuovo e continuare (se necessario).
8. BACK
9. TRACE
10. TRACE 1 Toccare lo schermo di nuovo e continuare (se necessario).
11. FORMAT
12. LOGMAG

Nota 8: A questo punto non ci dovrebbero essere solo due tracce sullo schermo: TRACE0 in giallo e Traccia1 in blu. TRACE0 dovrebbe indicare "CH0 LOGMAG" e Traccia1 dovrebbe indicare "CH1 LOGMAG". Ora stiamo mostriamo S11 e S21 come CH0 e CH1, rispettivamente.

Nota 9: Siamo ora in procinto di impostare i parametri di frequenza per questo particolare taratura. Possono essere impostati sia con i comandi START e STOP o CENTER e SPAN comandi. Dovrebbe essere

5

notare qui che il NanoVNA è stato progettato con un numero fisso di passaggi tra l'inizio e le frequenze di STOP. Quel numero di passi è 101 (centouno). Si deve rilevare che, con una gamma estremamente ampia di frequenza (per esempio, il valore predefinito di 50 kHz. A 900 MHz.) E solo 101 passi che i dati di calibrazione saranno estremamente corso e fornire una taratura molto "sgranate".

La C0 calibrazione di default (50k a 900M) è destinato ad essere così - granuloso. E 'pensato per essere un punto di partenza per iniziare l'esame di un dispositivo di "scatola nera". Una volta manufatti interessanti si osservano sul display, allora il VNA può essere ricalibrato e "ingrandita" a determinati intervalli di frequenza di interesse.

Un altro modo per utilizzare la VNA è creare e memorizzare diversi dati di taratura per differenti porzioni dello spettro radio. In questo caso sarebbe C0 calibrazione banda

larga e difetto e C1 potrebbe essere per le bande HF e C2 per la banda VHF e C3 per la banda UHF e così via. Questo lascerebbe ancora un altro ricordo di calibrazione per un look ancora più da vicino una particolare banda (per esempio 6 MHz a 8 MHz per 40 metri o 144 MHz. A 148 MHz. Per 2 metri). Come l'operatore del VNA è vostra responsabilità di impostare correttamente e calibrare lo strumento per garantire che le misurazioni si ottengono sono di precisione più alto che si può realizzare con gli strumenti a portata di mano.

Tocca di nuovo lo schermo e continuare.

- 13. STIMULUS
- 14. START 50 kHz.
- 15. STOP 900 MHz.
- 16. BACK
- 17. CAL
- 18. RESET

Nota 10: Richiamo del comando RESET a questo punto è fondamentale per una corretta sequenza di calibrazione. Il tasto RESET metterà in evidenza e rimane evidenziato. Invocando la funzione RESET distruggerà tutti i dati di calibrazione precedentemente salvati. E' ora fondamentale che questa procedura fino al completamento di generare nuovi dati. Ora continuare.

19. CALIBRAZIONE

Nota 11: A questo punto nessuno dei sette tasti funzione sul lato destro del display sono evidenziati. Posizionare un connettore APERTO SMA-Maschio sulla estremità del cavo CH0. Ciò richiederà utilizzando l'adattatore FF SMA. Il connettore APERTO non ha un perno centrale. Lasciare solo il cavo CH1.

6

Alcuni utenti finali suggeriscono che il connettore SMA APERTO non è buono come il semplice collegamento nulla alla estremità del cavo CH0. La scelta è tua. Provare a sperimentare per vedere se è possibile rilevare alcuna differenza.

20. OPEN (APERTO)

Nota 12: sostituire il connettore SMA APERTO con un connettore SMA in corto. Anche in questo caso, lasciare il cavo CH1 solo.

21. SHORT (BREVE)

Nota 13: terminazioni Luogo 50 ohm SMA-Maschio alle estremità di entrambi CH0 e CH1 cavi. Ciò richiederà una seconda terminazione 50 ohm ed un secondo adattatore FF.

22. LOAD (CARICO)

Nota 14: Se si dispone di due terminazioni 50 Ohm SMA; lasciarli collegati come descritto nella Nota 13. Se viene utilizzato un solo terminazione; posizionarlo sulla estremità del cavo CH1 utilizzando l'adattatore femmina-femmina.

23. ISOLATION (ISOLAMENTO)

Nota 15: Rimuovere i due terminatori 50 ohm e collegare i due cavi insieme. Ciò richiederà l'uso di una sola scheda di FF SMA.

24. THRU

25. DONE

Nota 16: È giunto il momento di salvare i dati di calibrazione. È possibile salvare i dati in uno qualsiasi dei cinque registri di memorizzazione disponibile (SAVE0 attraverso SALVA4). Dal momento che questa è stata una banda larga (end-to-end) di calibrazione che si potrebbe desiderare di tornare regolarmente, si raccomanda che questi dati essere salvato in C0 e, forse, una delle altre memorie a lungo termine (C1 - C4). La scelta è tua.

26. SAVE 0

Nota 17: I dati di calibrazione è stata salvata. Spegner e riaccendere il NanoVNA e verificare che il display di stato CAL sul lato sinistro dello schermo contiene la stringa verticale pieno di carattere. Si potrebbe anche voler verificare che i dati sono stati salvati nella memoria a lungo termine desiderato.

27. RECALL / SAVE

28. RECALL

29. RECALL n (laddove in precedenza salvati i dati)

Nota 18: Noi ora verificare il successo di calibrazione utilizzando un display grafico Smith e alimentandola con una BREVE, aperto e da 50 ohm. Inizieremo ricreando la traccia carta di Smith.

Toccare lo schermo per far apparire il
menu Home
30: DISPLAY
31: TRACE
32: TRACE 2

Nota 19: Ora ci dovrebbero essere tre tracce visibili sullo schermo NanoVNA: giallo, che è TRACE0 ed etichettati come CH0 LOGMAG, blu che è Traccia1 ed etichettati come CH1 LOGMAG e verde che è trace2 ed etichettati come CH0 SMITH. Se il display non sono presentati come descritto quindi passare ogni traccia trovato in errore e modificarli per riflettere il canale corretto e FORMATO sopra indicato.

Nota 20: Collegare un Ohm SMA terminatore 50 al cavo collegato al CH0. Il display Grafico Smith dovrebbe mostrare dati (punti) al centro del grafico. Quindi sostituire l'ohm terminatore 50 con un connettore SMA BREVE. Questo rappresenta 0 ohm e il display Grafico Smith dovrebbe mostrare i dati (punti) sul lato all'estrema sinistra dello schermo. Infine, eliminare il corto e lasciare il cavo di APERTO (non terminato). Si dovrebbe vedere dati (punti) sul lato di estrema destra dello schermo.

*Se questo non è quello che si osserva è, allora la procedura di calibrazione ha **FALLITA!** Ritorno a Nota 7 sopra e ripetere l'intera procedura di calibrazione.*

8

Nota 21: La prova finale consiste nel collegare insieme i cavi da CH0 e CH1. Ciò richiederà l'uso di un adattatore SMA FF. Quando collegato osservare Traccia1 (traccia blu) mostra i dati LOGMAG da CH1. Si dovrebbe vedere una linea retta in tutto lo schermo. Dovrebbe essere una divisione basso dalla parte superiore dello schermo e la lettura digitale dovrebbe indicare essenzialmente 0,00 dB.

A questo punto il "piano di riferimento" (punto di taratura) è in corrispondenza dell'estremità aperta delle due cavi coassiali con l'adattatore SMA femmina-femmina installato all'estremità del cavo CH0. Questa è l'interfaccia in cui è installato e misurato il DUT. Se è necessario rimuovere i cavi e sostituirli con cavi più lunghi (o più brevi), uso di adattatori solo che invece di cavi o collegare l'oggetto in prova in qualsiasi

posizione diversa rispetto al piano di riferimento, allora la calibrazione non è più valido e errori di misura si tradurrà.^[10] Per garantire la massima precisione, è indispensabile che la posizione e collegamento al DUT stabilire prima della calibrazione e la NanoVNA successivamente calibrate rispetto all'interfaccia DUT (s) che vengono così stabilito come piano di riferimento per le misurazioni del DUT che segue. Mancato rispetto dei criteri di riferimento del piano sopra descritti può essere tollerabile in basso (HF e sotto) frequenze ma presenterà considerevoli errori a frequenze vicine al limite superiore del NanoVNA.

Nota 22: Un sottoinsieme di questa procedura può essere utilizzata se soltanto misurazioni singola porta di riflessione sono desiderati. Basta stabilire se si desidera collegare il DUT direttamente al NanoVNA (solo la porta CH0 è utilizzato) o se si desidera collegare il DUT a CH0 tramite un cavo. Questo definisce la posizione fisica del piano di riferimento dove saranno collegati gli standard del kit di calibrazione durante la calibrazione. Procedere eseguendo la procedura di calibrazione come descritto sopra, ignorando i passaggi per l'isolamento e del attraverso.

Congratulazioni! Hai completato con successo una completa procedura di calibrazione della larghezza di banda per il NanoVNA. Si suggerisce che ora torna alla nota 9 di cui sopra e creare altri file di calibrazione per le diverse porzioni dello spettro radio.

(Vedi Bibliografia a pagina 10) 9

RIFERIMENTI

[1] "Network Analyzer (elettrica)"

[https://en.wikipedia.org/wiki/Network_analyzer_\(electrical\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Network_analyzer_(electrical))

Vedere anche "link esterni" a fine articolo per ulteriori informazioni.

[2] "Primer su Vector Network Analysis" un Anritsu Application Note

<https://web.archive.org/web/20070710174350/http://www.us.anritsu.com/downloads/files/11410-00387.pdf>

[3] "Rohde & Schwarz presenta nozioni di base per l'analisi della rete vettore a cinque video indipendenti e completi." [https://www.youtube.com/playlist?](https://www.youtube.com/playlist?list=PLF5DA69583F0DDAC2)

[list=PLF5DA69583F0DDAC2](https://www.youtube.com/playlist?list=PLF5DA69583F0DDAC2)

[4] "di base di rete Analyzer" Agilent / Keysight

https://www.keysight.com/upload/cmc_upload/All/BTB_Network_2005-1.pdf

Guarda anche:

“Comprendere i principi fondamentali della Vector Network Analysis” <https://literature.cdn.keysight.com/litweb/pdf/5965-7707E.pdf>

E vedi anche: “spazzolatura su Network Analyzer Fundamentals” microonde e RF Magazine <https://www.mwrf.com/print/18192>

[5] “Introduzione al Network Analyzer Misure: Fondamenti e Background”

<http://download.ni.com/evaluation/rf/>

[Introduction_to_Network_Analyzer_Measurements.pdf](http://download.ni.com/evaluation/rf/Introduction_to_Network_Analyzer_Measurements.pdf)

[6] “parametri di diffusione”

https://en.wikipedia.org/wiki/Scattering_parameters

[7] “Scalar Network Analyzer vs basi analizzatore vettoriale di rete” Wireless World RF

<https://www.rfwireless-world.com/Terminology/SNA-Scalar-Network-Analyzer-vs-VNA-Vector-Network-Analyzer.html>

[8] “Understanding VNA Calibration” PDF, Pagina 6 di 36,

http://anlage.umd.edu/Anritsu_understanding-vna-calibration.pdf

[9] “numero complesso”

https://en.wikipedia.org/wiki/Complex_number

[10] “Calibrazione VNA Understanding”

http://anlage.umd.edu/Anritsu_understanding-vna-calibration.pdf

Vedi anche “Calibrazione VNA: il Basics” un Rhode e Schwartz Libro bianco

<https://pdfs.semanticscholar.org/2497/8e60b68a24a4169eecd0763d4a9287037e4.pdf>

(Fine del documento)

Un errore di tipografica nella nota 6 è stato corretto nella versione 1.1 di questo documento. Un riferimento al canale 1 è stato modificato al canale 0.10