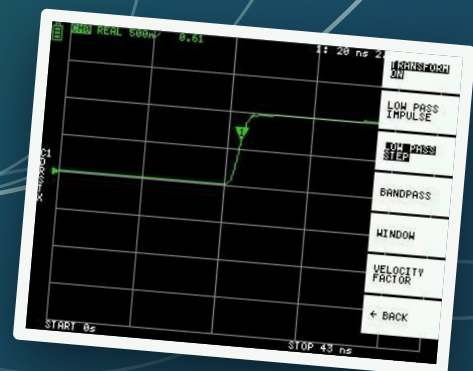
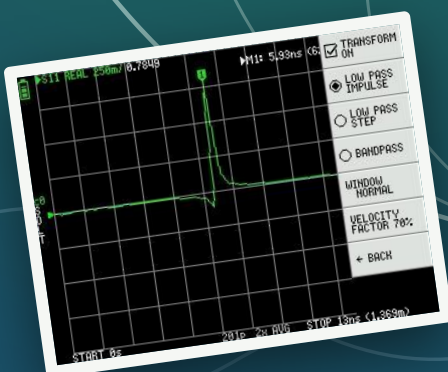
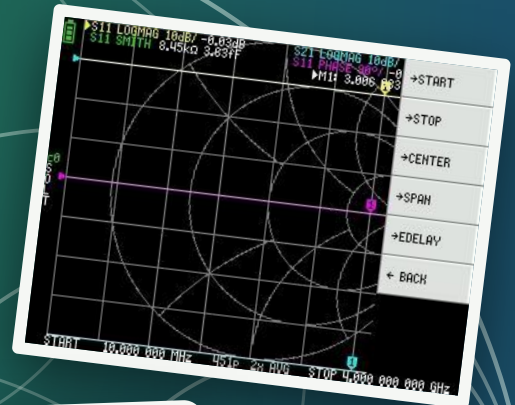


LITEVNA

curs practic

Calibrare · adaptare · filtre · TDR · cristale



LiteVNA — curs practic

Exerciții de măsurare cu procedură detaliată, adaptate familiei LiteVNA cu firmware Dislord/LiteVNA.

ECHIPAMENT ȘI FIRMWARE PRESUPUSE ÎN ACEST CURS

Dispozitiv	LiteVNA (LiteVNA62 / LiteVNA64), conectori SMA mamă pe ambele porturi
Firmware	Firmware Dislord/LiteVNA (structura meniurilor ca în manualul de utilizare pentru v1.2–v1.4, aceeași bază de cod ca DiSlord/NanoVNA-D)
Domeniu de frecvență	50 kHz – 6,3 GHz
Puncte de măsurare	21–1001 puncte pe dispozitiv (până la 65535 prin USB)
Set de calibrare	Open/Short/Load/Thru cu SMA tată (porturile sunt mamă)

Meniul principal se deschide apăsând roțița jog sau atingând un loc de pe ecran care nu este un marker. Acesta afișează șapte opțiuni principale fixe:

- **DISPLAY** — formatul trasei, canalul (S11/S21), scara, domeniul timp (TRANSFORM)
- **MARKER** — selectarea/mutarea markerelor, setarea START/STOP/CENTER/SPAN/E-DELAY pornind de la un marker
- **STIMULUS** — START/STOP/CENTER/SPAN/CW FREQ, numărul de puncte (CFG SWEEP)
- **CALIBRATE** — RESET, secvența de calibrare (OPEN/SHORT/LOAD/ISOLN/THRU/DONE), SAVE, CORRECTION
- **RECALL** — încărcarea unei calibrări/configurări salvate (slot 0–6 sau dintr-un fișier de pe cardul SD)
- **SD CARD** — salvarea unei capturi de ecran (BMP) sau a datelor de măsurare (S1P/S2P) pe cardul MicroSD
- **CONFIG** — calibrarea ecranului tactil, luminozitatea, versiunea, actualizarea firmware-ului

Numerele se introduc pe o tastatură numerică cu taste de unitate **G / M / k / ×1** care înmulțesc și confirmă valoarea în aceeași apăsare (de exemplu **1 4 M** = 14 MHz).

ACTUALIZAREA FIRMWARE-ULUI (RECOMANDATĂ ÎNAINTE DE A ÎNCEPE)

Asigură-te că LiteVNA rulează cel mai recent firmware înainte de a începe cursul — firmware-ul mai nou corectează erori și în unele cazuri are opțiuni de meniu diferite de cele descrise în acest document.

1. Descarcă și instalează programul pentru PC **NanoVNA-App** și descarcă cel mai recent fișier de firmware pentru modelul tău exact (LiteVNA62, LiteVNA64 sau LiteVNA67 — firmware-ul nu este comun pentru toate modelele). Ambele se pot descărca de la <https://www.zeenko.tech/litevna>.
2. Pornește NanoVNA-App pe PC.
3. Conectează LiteVNA la PC cu un cablu USB.
4. Ține apăsată roțița jog (comutatorul basculant) în timp ce pornești dispozitivul — aceasta pune LiteVNA în modul de actualizare. Ecranul rămâne negru; este normal și așteptat.
5. În Windows, în **Device Manager** (Manager dispozitive), verifică la ce port COM este conectat dispozitivul.
6. În NanoVNA-App: alege portul COM corect din meniul derulant din colțul din stânga sus al ferestrei.
7. Apare o fereastră care anunță că dispozitivul are un firmware mai vechi. Urmează instrucțiunile din fereastră pentru a încărca noul fișier de firmware și repornește dispozitivul după terminarea actualizării.
8. Confirmă noua versiune pe dispozitiv: `CONFIG → VERSION`.

Mod alternativ de a porni o actualizare

Dacă dispozitivul este deja pornit, poți merge în schimb la `CONFIG → BOOTLOAD → RESET AND ENTER` pentru a-l pune în modul de actualizare — astfel nu mai trebuie să-l oprești și să-l pornești cu roțița jog apăsată.

CUPRINS

1. Calibrare — reflexie (S11) și transmisie (S21) Ușor
2. Măsurarea SWR-ului unei antene Ușor
3. Măsurarea atenuării unui cablu (pierderi) Ușor
4. Identificarea unei componente necunoscute Ușor
5. Impedanța caracteristică a unui cablu (rezonanța în sfert de undă) Ușor
6. Adaptarea unei antene Mediu
7. Construirea și măsurarea unei „antene fictive” (vertical prea lung) pentru exerciții de adaptare Mediu
8. Folosirea datelor măsurate într-un program extern — diagrama Smith și adaptarea cu un fișier S1P Mediu
9. Frecvența de rezonanță și factorul Q al unui trap Mediu
10. Caracterizarea unui filtru Mediu
11. Măsurarea unei componente L/C și a rezonanței proprii Mediu
12. Măsurarea unui balun/șoc de mod comun Mediu
13. Lungimea cablului prin măsurarea fazei Mediu
14. Lungimea cablului și factorul de scurtare (TDR încorporat) Avansat
15. Depistarea defectelor și măsurarea distanțelor cu TDR Avansat
16. Măsurarea parametrilor unui cristal (R_m , L_m , C_m , Q) Avansat

Exercițiul 1 — Calibrare (reflexie și transmisie)

Ușor

Scop: Să înveți să calibrezi corect LiteVNA, atât pentru măsurători de reflexie cu 1 port (S11), cât și pentru măsurători de transmisie cu 2 porturi (S21), astfel încât măsurătorile următoare să fie precise.

ECHIPAMENT

- LiteVNA (62/64), conectori SMA mamă
- Set de calibrare: Open, Short, Load (SMA tată)
- Adaptor/cablu Thru pentru calibrarea de transmisie
- Opțional, cabluri/adaptoare scurte de bună calitate care vor fi folosite mai departe în curs

A. Pregătiri

1. Pornește LiteVNA și lasă-l să se încălzească/stabilizeze 1–2 minute (important pentru un oscilator stabil și o calibrare precisă).
2. Hotărăște domeniul de frecvență în care vei lucra în restul cursului (de exemplu 1–30 MHz pentru HF). Calibrarea este valabilă *doar* în domeniul în care a fost făcută.
3. Deschide meniul principal și setează **STIMULUS → START** și **STIMULUS → STOP** (sau **CENTER / SPAN**), de preferat cu o mică marjă peste ceea ce îți trebuie efectiv.
4. Setează numărul de puncte de măsurare la o valoare mare pentru rezoluție bună: **STIMULUS → CFG SWEEP**. LiteVNA acceptă 21–1001 puncte pe dispozitiv — folosește de preferat 401–1001, în echilibru cu viteza de baleiaj.
5. Hotărăște unde să fie „planul de referință” — adică care punct din cablu să fie considerat „0”. Folosește în calibrare aceleași cabluri/adaptoare pe care le vei folosi apoi în măsurătoarea propriu-zisă.

Principiu important

Calibrarea elimină contribuțiile de eroare ale cablurilor și adaptoarelor *până la* punctul în care se conectează standardele de calibrare. Dacă schimbi un cablu sau un adaptor după calibrare, aceasta devine nevalabilă. LiteVNA calculează valori de calibrare interpolate dacă schimbi ulterior domeniul de frecvență, dar acest lucru este mai puțin precis decât o recalibrare.

B. Calibrarea de reflexie (S11) — OSL

1. Deschide **CALIBRATE → RESET** pentru a șterge orice calibrare anterioară.
2. Deschide din nou **CALIBRATE** pentru a porni secvența de calibrare propriu-zisă (submeniul afișează acum OPEN/SHORT/LOAD/ISOLN/THRU/DONE).
3. Conectează standardul **Open** la portul 1 (CH0). Apasă **OPEN** și așteaptă până se termină pasul — markerul se mută automat la pasul următor.
4. Conectează standardul **Short** la portul 1. Apasă **SHORT** și așteaptă până se termină pasul.
5. Conectează standardul **Load** (50 Ω) la portul 1. Apasă **LOAD** și așteaptă până se termină pasul.

6. Lasă Load conectat la portul 1 și apasă **ISOLN** (măsurarea izolației — reduce erorile datorate scurgerilor dintre porturi și este importantă pentru un S21 precis mai târziu).
7. Dacă vei face *doar* măsurători de reflexie: apasă acum **DONE** și treci la partea D.

C. Calibrarea de transmisie (S21) — se adaugă Thru

1. Conectează portul 1 și portul 2 între ele cu adaptorul/cablul Thru.
2. Apasă **THRU** și așteaptă până se termină pasul.
3. Apasă **DONE** pentru a calcula și activa calibrarea completă cu 2 porturi.

D. Salvare și verificare

1. După **DONE** apare un meniu de salvare — alege fie un slot de memorie (0–6; slotul 0 se încarcă automat la următoarea pornire), fie salvarea într-un fișier pe cardul SD cu un nume ales de tine. Un nume de fișier pe cardul SD este util pentru a descrie la ce se referă de fapt calibrarea (de exemplu tipul de cablu sau configurația de măsurare), deoarece sloturile de memorie arată doar frecvența de start/stop. Notează/denumeste clar care salvare este valabilă pentru care domeniu de frecvență/configurație.
2. Verifică calibrarea de reflexie: conectează din nou Load la portul 1. Setează **DISPLAY → FORMAT → SMITH** — punctul trebuie să rămână grupat lângă centru (50 Ω) pe tot domeniul de frecvență.
3. Verifică cu Open/Short: punctele trebuie să se afle chiar pe marginea diagramei Smith (în dreapta, respectiv în stânga).
4. Verifică calibrarea de transmisie: conectează din nou portul 1 și portul 2 între ele cu Thru. Setează **DISPLAY → CHANNEL → S21** și **DISPLAY → FORMAT → LOGMAG** — S21 trebuie să arate acum ~0 dB, plat pe toată banda.
5. Mai târziu în curs: folosește **RECALL → RECALL n** pentru a readuce slotul de calibrare potrivit, sau **RECALL** de pe cardul SD, pentru exercițiul la care lucrezi.

E. Mutarea planului de calibrare (E-DELAY)

Dacă vei măsura o antenă printr-o linie de alimentare lungă, cel mai bine este să calibrezi la capătul cablului (la antenă). Dacă acest lucru nu este practic (de exemplu un cablu montat fix), poți muta în schimb electronic planul de referință cu **DISPLAY → SCALE → E-DELAY**.

Important: valoarea pe care o introduci este *timp* (secunde, cu prefixele tastaturii pentru n/p), nu milimetri sau centimetri direct — nu există o introducere separată a distanței pentru planul de calibrare. Pentru S11 (reflexie) aceasta este o întârziere **dus-întors**, deoarece semnalul merge înainte și înapoi prin bucata de cablu în plus:

$$\tau = 2 \cdot L \cdot VF / c$$

unde L este deplasarea dorită, într-un singur sens, a planului de referință (metri), VF este factorul de scurtare al bucății de cablu, iar c = 299 792 458 m/s. **Exemplu:** 15 mm de cablu RG58 în plus (VF = 0,66):

$$\tau = 2 \cdot 0,015 \cdot 0,66 / 299\,792\,458 \approx 66 \text{ ps}$$

Introdu atunci aproximativ **66p** (sau **0.066n**) în câmpul **E-DELAY**.

Scurtătură practică (adesea mai precisă decât un calcul bazat pe riglă, deoarece compensează lungimea electrică reală în loc de un VF presupus): conectează un standard **OPEN** sau **SHORT** chiar la noul plan dorit, setează **DISPLAY → FORMAT → SMITH**, plasează un marker și folosește **MARKER → OPERATIONS → E-DELAY** — aceasta setează automat E-DELAY astfel încât faza la frecvența markerului să fie anulată. Ajustează până când întreaga curbă se strânge într-un singur punct pe marginea diagramei Smith (pur rezistiv/fără reactanță pe toată banda). Ai compensat astfel exact lungimea electrică reală, indiferent de inexactitățile VF-ului indicat sau de efectele conectorilor.

Sfat

CALIBRATE → CORRECTION îți permite să activezi/dezactivezi temporar corecția de erori pentru a compara o măsurătoare necalibrată cu una calibrată.

Exercițiul 2 — Măsurarea SWR-ului unei antene

Ușor

Scop: Să măsoari raportul de unde staționare (SWR/VSWR) al unei antene pe banda de frecvență dorită și să găsești frecvența de rezonanță.

ECHIPAMENT

- LiteVNA, calibrat pentru reflexie (S11) în domeniul de frecvență potrivit (vezi Exercițiul 1)
- Antena de măsurat, cu linia de alimentare/cablul ei
- Opțional, balun/unun dacă antena are nevoie de unul

1. Adu calibrarea potrivită cu **RECALL → RECALL n** sau recalibrează din nou special pentru această bandă, cu rezoluție mai fină (vezi Exercițiul 1).
2. Conectează linia de alimentare a antenei direct la portul 1 (CH0) al LiteVNA.
3. Setează **STIMULUS → START / STOP** astfel încât să acopere întreaga bandă de interes, plus o mică marjă de fiecare parte (de exemplu $\pm 10\text{--}20\%$).
4. Setează **DISPLAY → CHANNEL → S11** și **DISPLAY → FORMAT → SWR**.
5. Ajustează scara axei SWR prin **DISPLAY → SCALE**, de exemplu 1–5 sau 1–10, astfel încât curba să devină lizibilă.
6. Caută punctul minim (valea) din curba SWR — aceasta este frecvența de rezonanță a antenei.
7. Folosește **MARKER → SELECT MARKER** pentru a plasa un punct la marginea inferioară a benzii, unul la frecvența centrală dorită și unul la marginea superioară a benzii. Citește valoarea SWR în fiecare punct în linia de stare din partea de sus.
8. Compară SWR-ul citit cu limita acceptabilă pentru scopul tău (de obicei $\text{SWR} \leq 2:1$, adesea se dorește 1,5:1 sau mai bine).
9. Dacă se poate, mută antena/montajul de test (înălțime, distanță față de sol/obiecte) și repetă măsurătoarea pentru a vedea cât de sensibilă este rezonanța la mediul înconjurător.
10. Salvează rezultatul din meniul **SD CARD**: o captură de ecran (BMP) și/sau datele măsurate ca fișier S1P pentru analiză ulterioară într-un program de calculator (de exemplu NanoVNA-Saver sau NanoVNA-App).

Capcană: cablu lung

O linie de alimentare lungă și/sau cu pierderi între LiteVNA și antenă poate „masca” un SWR slab și poate arăta o valoare mai bună decât cea care există de fapt la antenă. Măsoară cât mai aproape de antenă din punct de vedere practic sau corectează pentru pierderile/lungimea cablului (vezi Exercițiul 3).

Sfat

Dacă valea se află în afara benzii dorite, antena trebuie scurtată (valea prea jos în frecvență → scurtează) sau prelungită (valea prea sus în frecvență → prelungeste) — vezi mai departe Exercițiul 6.

Exercițiul 3 — Măsurarea atenuării unui cablu (pierderi)

Ușor

Scop: Să determini atenuarea (pierderile) unui cablu coaxial la o frecvență dată, pentru a aprecia dacă cablul este potrivit scopului (de exemplu o linie de alimentare lungă către o antenă).

ECHIPAMENT

- LiteVNA, calibrat pentru reflexie (S11) și/sau transmisie (S21)
- Cablul de testat
- Standard de scurtcircuit, plus adaptoare potrivite pentru conectorii cablului

A. Metoda simplă (1 port, capăt deschis/în scurtcircuit)

1. Calibrează LiteVNA pentru reflexie (S11) la capătul apropiat al cablului.
2. Conectează cablul de testat la portul 1 și lasă capătul îndepărtat deschis sau în scurtcircuit.
3. Setează **DISPLAY → FORMAT → LOGMAG** și citește S11 în dB la frecvența dorită. De preferat, fă măsurătoarea atât cu capătul deschis, cât și cu cel în scurtcircuit și folosește media, pentru o precizie mai bună.
4. Calculează atenuarea într-un singur sens: semnalul trece de două ori prin tot cablul (la dus și reflectat

înapoi), deci $A(\text{dB}) = -S11(\text{dB}) / 2$

5. Împarte la lungimea cablului în metri pentru a obține atenuarea în dB/m și compară-o cu fișa tehnică a tipului de cablu.

B. Metoda precisă (2 porturi, măsurătoare thru)

1. Calibrează pentru transmisie (S21) fără cablul de testat (thru cu adaptoare scurte direct între portul 1 și portul 2), vezi Exercițiul 1.
2. Introdu cablul de testat între portul 1 și portul 2.
3. Setează **DISPLAY → CHANNEL → S21**, **FORMAT → LOGMAG** și citește S21 direct în dB — aceasta este atenuarea totală pe toată lungimea cablului la această frecvență.
4. Împarte la lungime pentru dB/m și compară cu metoda A și cu fișa tehnică.

Capcană

Metoda A poate da zgomot/ondulație la cabluri scurte, deoarece semnalul direct și cel reflectat interferează — fă o medie pe o mică fereastră de frecvență dacă este nevoie. Asigură-te și că mufele sunt curate și bine strânse; un contact slab dă atenuare suplimentară, falsă.

Exercițiul 4 — Identificarea unei componente necunoscute

Ușor

Scop: Să stabilești dacă o componentă necunoscută, neinscripționată, este un rezistor, o bobină sau un condensator și să estimezi o valoare aproximativă — doar urmărind cum se comportă reactanța în funcție de frecvență.

ECHIPAMENT

- LiteVNA, calibrat pentru reflexie (S11)
- Un dispozitiv/adaptor simplu de test pentru conectarea unei componente în paralel (shunt) la masă pe portul 1 (ca în Exercițiul 11)
- Câteva componente necunoscute/neinscripționate (rezistor, bobină, condensator)

1. Calibrează **CALIBRATE** pentru S11.
2. Conectează componenta ca shunt la masă pe portul 1.
3. Setează **DISPLAY → FORMAT → REACTANCE** ca trasă activă, de preferat cu **RESISTANCE** pe o trasă suplimentară.
4. Setează un domeniu larg de frecvență (de exemplu 1–30 MHz pentru componente HF).
5. Urmărește cum se comportă reactanța X:
 - $X \approx 0$ pe toată banda, R aproximativ constant → **rezistor**
 - X pozitivă și crescând cu frecvența → **bobină**
 - X negativă și devenind mai negativă (scăzând în valoare absolută) cu frecvența → **condensator**
6. Confirmă cu două markere la frecvențe diferite f_1 și f_2 (de exemplu cu $f_2 = 2 \cdot f_1$): dacă $|X|$ se dublează aproximativ când frecvența se dublează, componenta este inductivă ($X \propto f$); dacă $|X|$ se înjumătățește aproximativ când frecvența se dublează, este capacitivă ($X \propto 1/f$).
7. Calculează o valoare aproximativă a componentei din X citit la una dintre frecvențe:

Bobină: $L = X / (2\pi f)$

Condensator: $C = 1 / (2\pi f \cdot |X|)$

8. Compară cu eventualul cod de culori sau cu valoarea imprimată pe componentă, dacă există, ca răspuns de control.

Sfat

Adaptează domeniul de frecvență la mărimea componentei: un condensator mic (câțiva pF) poate arăta aproape „deschis” ($|X|$ foarte mare) pe tot domeniul HF, în timp ce o bobină mare (mulți μH) poate arăta aproape ca un scurtcircuit la frecvențe joase. Extinde domeniul de frecvență în sus dacă reactanța pare suspect de constantă lângă un capăt.

Capcană

Lângă frecvența de autorezonanță (SRF), atât bobinele, cât și condensatoarele își schimbă aparent „tipul” (vezi Exercițiul 11 pentru motiv) — fă acest test la o frecvență mult sub SRF-ul așteptat pentru un rezultat de încredere.

Exercițiul 5 — Impedanța caracteristică a unui cablu (rezonanța în sfert de undă)

Ușor

Scop: Să determini impedanța caracteristică (Z_0) a unui cablu — util pentru a identifica un tip de cablu necunoscut/neinscripționat sau pentru a verifica dacă un cablu este într-adevăr de $50\ \Omega$.

ECHIPAMENT

- LiteVNA, calibrat pentru reflexie (S11)
- Cablul de testat, cu un capăt liber (deschis) — plus posibilitatea de a scurtcircuita același capăt (Metoda B)

Metoda A: Rezonanța în sfert de undă (frecvență înjumătățită)

Context

Un cablu deschis se comportă ca o reactanță pură care alternează între capacitivă și inductivă odată cu frecvența. La un sfert de lungime de undă (și la multiplii impari ai acesteia) cablul devine rezonant, iar impedanța scade până la un *minim* local — o valoare mică, aproape pur rezistivă (în funcție de pierderile cablului),

nu

impedanța caracteristică. Această frecvență este totuși utilă ca punct de referință: dacă o înjumătățești, cablul are acum doar

1/8 din lungimea de undă

, iar acolo impedanța devine aproape pur reactivă, cu o valoare absolută foarte apropiată de Z_0 :

$$Z_0 \approx \sqrt{R^2 + X^2} \quad (\text{măsurată la jumătate din frecvența de rezonanță în sfert de undă, nu la rezonanța însăși})$$

1. Calibreză **CALIBRATE** pentru S11.
2. Conectează cablul la portul 1 și lasă celălalt capăt deschis.
3. Setează **DISPLAY → FORMAT → |Z|** (sau afișează RESISTANCE și REACTANCE pe trase separate).
4. Setează un domeniu de frecvență suficient de larg pentru a prinde cel puțin o rezonanță clară în sfert de undă — pentru un cablu obișnuit de 20–30 m ea se află adesea undeva în domeniul HF; încearcă de exemplu 1–30 MHz și caută o vale clară în $|Z|$.
5. Găsește frecvența f_1 la care $|Z|$ are un minim local clar (aproape de zero, pur rezistiv) — aceasta este rezonanța în sfert de undă. Nu trebuie să cunoști lungimea fizică a cablului sau VF pentru aceasta; este pur și simplu 1/4 din lungimea de undă la exact această frecvență.
6. Setează un marker (sau **STIMULUS → CW FREQ**) exact la **jumătate**: $f_2 = f_1 / 2$. La f_2 cablul are doar 1/8 din lungimea de undă.

7. Citește R și X la f_2 și calculează: $Z_0 = \sqrt{R^2 + X^2}$

8. Compară rezultatul cu valorile standard cunoscute — 50 Ω (RG-58, RG-213 și majoritatea cablurilor de radioamatori) sau 75 Ω (RG-59, RG-6, cablu TV) — pentru a identifica tipul cablului.

Exemplu (din măsurătorile lui PA3A pe RG-58, sursa: [Measurements-With-The_nanoVNA.pdf](#)): la f_2 (1/8 din lungimea de undă) se citește $R = 5 \Omega$, $X = 53 \Omega$:

$$Z_0 = \sqrt{5^2 + 53^2} = \sqrt{2834} \approx 53,2 \Omega \quad (\text{Belden RG-58/U este specificat la } 53,9 \Omega - \text{foarte aproape})$$

Capcană

Nu citi R/X la frecvența de rezonanță f_1 însăși — acolo impedanța este mică și dă un Z_0 complet greșit (prea mic). Măsurătoarea trebuie făcută exact la frecvența *înjumătățită* f_2 . La cabluri lungi, f_2 poate ajunge sub frecvența minimă de 50 kHz a LiteVNA (vezi Exercițiul 1) — în acest caz folosește o bucată de cablu mai scurtă sau măsoară în schimb la 3/8, 5/8 etc. din lungimea de undă (multiplii impari ai lui 1/8 dau același rezultat; găsește pur și simplu rezonanța corespunzătoare în sfert de undă mai sus și înjumătățește-o).

Metoda B: Capăt deschis și capăt în scurtcircuit, aceeași frecvență

Context

Aceasta este o altă tehnică clasică și o identitate exactă — funcționează la *orice* frecvență, nu doar la puncte speciale de rezonanță ca în Metoda A. Pentru un cablu deschis impedanța de intrare este $Z_{\text{deschis}} = Z_0 \cdot \coth(\gamma L)$, iar pentru un cablu în scurtcircuit este $Z_{\text{scurt}} = Z_0 \cdot \tanh(\gamma L)$ (γ este constanta de propagare, L lungimea cablului). Deoarece $\coth(x) \cdot \tanh(x) = 1$ oricare ar fi x , termenii de lungime și de pierderi se anulează complet când le înmulțești pe cele două:

$$Z_{\text{deschis}} \cdot Z_{\text{scurt}} = Z_0^2 \Rightarrow Z_0 = \sqrt{Z_{\text{deschis}} \cdot Z_{\text{scurt}}}$$

Despre regulile de calcul — este diferența de pătrate?

Nu, nu pentru înmulțirea propriu-zisă. Identitatea diferenței de pătrate, $(a+b)(a-b) = a^2 - b^2$, se aplică atunci când înmulțești un număr complex cu *propriul conjugat* — și exact asta se întâmplă când calculezi

$$|Z| = \sqrt{R^2 + X^2} \quad \text{în Metoda A și în alte locuri din curs: } (R+jX)(R-jX) = R^2 - (jX)^2 = R^2 + X^2,$$

deoarece $j^2 = -1$. Dar Z_{deschis} și Z_{scurt} sunt două măsurători *independente*, nu conjugate una alteia, deci trebuie să folosești regula generală de înmulțire a numerelor complexe (desfacerea obișnuită a parantezelor, cu $j^2 = -1$):

$$(R_1+jX_1)(R_2+jX_2) = (R_1R_2 - X_1X_2) + j(R_1X_2 + R_2X_1)$$

Extragerea rădăcinii pătrate din acest rezultat complex cere conversia prealabilă în formă polară (modul și unghi) — mai multă muncă decât este necesar când de fapt ne interesează doar valoarea numerică $|Z_0|$.

Scurtătură: sari peste calculul complex

Pentru numere complexe, $|A \cdot B| = |A| \cdot |B|$ este întotdeauna valabil. Deoarece $Z_{\text{deschis}} \cdot Z_{\text{scurt}} = Z_0^2$ exact, rezultă că:

$$|Z_0| = \sqrt{(|Z_{\text{deschis}}| \cdot |Z_{\text{scurt}}|)}$$

Poți deci calcula separat $|Z_{\text{deschis}}| = \sqrt{R_1^2 + X_1^2}$ și $|Z_{\text{scurt}}| = \sqrt{R_2^2 + X_2^2}$ (exact ca în Metoda A) și să extragi rădăcina pătrată din produsul lor — fără să trebuiască să înmulțești sau să extragi rădăcini din numere complexe.

1. Calibrează **CALIBRATE** pentru S11.
2. Alege o frecvență **f oarecare** — această metodă nu cere nicio rezonanță specială, spre deosebire de Metoda A.
3. Conectează cablul la portul 1 cu capătul deschis. Citește R_1 și X_1 la f și calculează

$$|Z_{\text{deschis}}| = \sqrt{R_1^2 + X_1^2}.$$

4. Pune în scurtcircuit același capăt al cablului (fără a schimba lungimea cablului sau restul montajului) și măsoară din nou la **aceeași** frecvență f . Citește R_2 și X_2 și calculează $|Z_{\text{scurt}}| = \sqrt{R_2^2 + X_2^2}$.

5. Calculează impedanța caracteristică: $Z_0 = \sqrt{(|Z_{\text{deschis}}| \cdot |Z_{\text{scurt}}|)}$

6. Compară cu valorile standard cunoscute (50Ω / 75Ω), ca în Metoda A.

Exemplu (valori ilustrative, nu dintr-o măsurătoare reală): la f se citesc $R_1=15 \Omega$, $X_1=-40 \Omega$ (deschis) și $R_2=20 \Omega$, $X_2=65 \Omega$ (în scurtcircuit):

$$|Z_{\text{deschis}}| = \sqrt{15^2 + 40^2} \approx 42,7 \Omega$$

$$|Z_{\text{scurt}}| = \sqrt{20^2 + 65^2} \approx 68,0 \Omega$$

$$Z_0 = \sqrt{42,7 \cdot 68,0} \approx 53,9 \Omega$$

Capcană

Lungimea/conectarea cablului trebuie să rămână complet neschimbată între cele două măsurători — doar scurtcircuitază/deschide capătul însuși, nu reconectează restul montajului. Planul de referință al calibrării trebuie să fie, de asemenea, același pentru ambele măsurători. Metoda B este cea mai precisă când cablul nu este prea scurt (câteva lungimi de undă sau mai mult), deoarece un cablu foarte scurt dă o diferență mică între Z_{deschis} și Z_{scurt} și, prin urmare, o sensibilitate mai mare la erorile de citire.

Exercițiul 6 — Adaptarea unei antene

Mediu

Scop: Să folosești LiteVNA pentru a găsi impedanța antenei, să înțelegi abaterea față de $50\ \Omega$ și să ajustezi/adaptezi antena astfel încât SWR-ul să devină acceptabil la frecvența dorită.

ECHIPAMENT

- LiteVNA, calibrat pentru reflexie în banda respectivă
- Antena care trebuie adaptată
- Unelte pentru ajustare fizică (tăierea/prelungirea elementului radiant) și/sau componente pentru o rețea de adaptare (condensator variabil, bobină, eventual un tuner de antenă)

1. Calibrează LiteVNA pentru reflexie (S11) în domeniul de frecvență din jurul frecvenței de lucru dorite (vezi Exercițiul 1).
2. Conectează antena la portul 1. Setează două trase: `DISPLAY → TRACES → TRACE 0` cu `FORMAT → SMITH` și `TRACE 1` cu `FORMAT → SWR`, ambele pe canalul S11.
3. Plasează un marker pe frecvența de lucru dorită. Citește impedanța direct ca rezistență și reactanță comutând trasa activă pe `FORMAT → RESISTANCE` și `FORMAT → REACTANCE` (ohmi pe diviziune; valoarea numerică este afișată în linia de stare pentru markerul activ).
4. Interpretează rezultatul:
 - Reactanță pozitivă (+jX, inductivă) → antena este electric prea lungă
 - Reactanță negativă (-jX, capacitivă) → antena este electric prea scurtă
 - R departe de $50\ \Omega$ → rezistența de radiație/montajul în sine produce dezadaptarea (înălțimea față de sol, planul de masă, punctul de alimentare etc.)
5. Cea mai simplă măsură — ajustarea fizică a lungimii:
 - Dacă antena este prea lungă (inductivă): taie puțin din elementul radiant (câțiva cm o dată) și măsoară din nou.
 - Dacă antena este prea scurtă (capacitivă): prelungeste elementul radiant și măsoară din nou.
 - Repetă în pași mici — impedanța se poate schimba rapid pe cm, mai ales pe benzile mai înalte.
6. Dacă ajustarea fizică nu este posibilă sau nu este suficientă, folosește o rețea de adaptare (celulă L) între emițător/cablu și antenă:
 - Folosește diagrama Smith pentru a stabili dacă ai nevoie de o componentă serie (bobină/condensator) și de o componentă paralel pentru a „muta” punctul de impedanță spre centru ($50\ \Omega$).
 - Introdu un condensator variabil și/sau o bobină (sau un tuner de antenă) în calea semnalului.
7. Ajustează componentele urmărind SWR-ul/diagrama Smith în timp real, până când punctul de impedanță se află cât mai aproape de centrul diagramei Smith la frecvența de lucru.
8. Verifică SWR-ul pe întreaga bandă după adaptare — o adaptare bună într-un singur punct poate da o bandă mai îngustă decât se dorește.
9. Documentează valorile finale ale componentelor (sau lungimea fizică) pentru antenă, astfel încât montajul să poată fi reprodus.
10. Ține cont că o rețea de adaptare poate introduce pierderi, mai ales cu componente cu Q mic — o lungime fizică corectă este întotdeauna de preferat acolo unde este practic posibil.

Bonus: calculează analitic rețeaua L (în loc de simple încercări)

Pasul 6 de mai sus se poate face mai repede calculând în prealabil valorile de pornire ale componentelor, în loc să treci direct la încercări cu un condensator variabil/o bobină. Procedura, cu R și X citite la pasul 3:

1. Mai întâi neutralizează reactanța X cu o componentă serie de semn opus, astfel încât să rămână o rezistență pură R:

- X pozitivă (inductivă): condensator serie cu $X_C = X$

- X negativă (capacitivă): bobină serie cu $X_L = |X|$

2. Apoi calculează celula L care trebuie să transforme rezistența rămasă R în 50 Ω. Varianta trece-jos (bobină serie + condensator paralel) este în mod normal de preferat, deoarece atenuează și armonicile/zgomotul:

$$Q = \sqrt{(Z_{\text{mare}} / Z_{\text{mic}} - 1)}$$

unde Z_{mare} este cea mai mare dintre R și 50 Ω, iar Z_{mic} este cea mai mică. Bobina serie se plasează pe partea cu impedanță mică, condensatorul paralel pe partea cu impedanță mare:

$$\begin{aligned} X_L &= Q \cdot Z_{\text{mic}} \\ X_C &= Z_{\text{mare}} / Q \end{aligned}$$

3. Convertește în valori de componente la frecvența de lucru f: $L = X_L / (2\pi f)$ și

$$C = 1 / (2\pi f \cdot X_C)$$

4. Folosește aceste valori ca punct de plecare la pașii 6–7 de mai sus — apoi reglează fin urmărind diagrama Smith, deoarece R/X citite și valorile reale ale componentelor au întotdeauna o mică abatere față de cele ideale.

Exemplu: antenă cu $R = 25 \Omega$, $X \approx 0$ (deja rezonantă) la 14,2 MHz. $Z_{\text{mare}} = 50 \Omega$, $Z_{\text{mic}} = 25 \Omega$:

$$\begin{aligned} Q &= \sqrt{(50/25 - 1)} = \sqrt{1} = 1 \\ X_L &= 1 \cdot 25 = 25 \Omega \rightarrow L \approx 280 \text{ nH} \\ X_C &= 50 / 1 = 50 \Omega \rightarrow C \approx 224 \text{ pF} \end{aligned}$$

Sfat

LiteVNA baleiază continuu în funcționarea normală, deci vezi schimbarea în timp real în timp ce rotești un condensator variabil/o bobină. Folosește **PAUSE SWEEP** (caseta de bifat din partea de jos a meniului principal) dacă vrei să îngheți o imagine pentru citire.

Exercițiul 7 — Construirea și măsurarea unei „antene fictive” (vertical prea lung) pentru exerciții de adaptare

Mediu

Scop: Să construiești o sarcină artificială compactă și reproductibilă (DUT — Device Under Test) care la 14,2 MHz prezintă o impedanță inductivă reprezentativă în punctul de alimentare, așa cum se vede de obicei la o antenă verticală electric prea lungă, să o măsoari cu LiteVNA și să o folosești ca obiect de test fix pentru proiectarea rețelelor de adaptare (cf. Exercițiul 6) — fără a trebui să construiești/ajustezi o antenă reală.

ECHIPAMENT

- LiteVNA, calibrat pentru reflexie (S11) în jur de 14 MHz
- Conector SMA tată destinat lipirii directe (nu montat pe cablu), deoarece porturile LiteVNA sunt mamă
- Un rezistor SMD neinductiv (carbon/peliculă groasă, 0603/0805), aprox. 47–56 Ω
- O bobină mică fără miez sau cu pierderi mici, aprox. 2,2–3,3 μH (bobinată de tine sau șoc cu valoare fixă și capacitate proprie mică)
- Echipament de lipit, eventual sârmă subțire de cupru pentru a bobina singur bobina
- Opțional: o carcasă metalică mică (de exemplu o bucată de țevă de cupru sau o cutie turnată sub presiune) pentru protecție mecanică/ecranare

Context

Așa cum s-a explicat la Exercițiul 6: o antenă care este electric *prea lungă* (mai lungă decât lungimea rezonantă) arată în punctul de alimentare o reactanță pozitivă (inductivă), în timp ce rezistența se află adesea tot undeva aproape de 50 Ω . Acest DUT reprezintă exact o astfel de situație — o antenă verticală generică, moderat prea lungă — cu valori tipice de exemplu

$R \approx 50 \Omega$, $X \approx +250 \Omega$

, simulate cu un circuit serie simplu format dintr-un rezistor și o bobină.

De reținut:

aceasta *nu* este menită să reprezinte în mod special un vertical $5/8\lambda$. Un vertical real $5/8\lambda$ ($0,625\lambda$) este de fapt

capacitiv

în punctul de alimentare (de obicei $R \approx 40\text{--}60 \Omega$, $X \approx -200$ până la -300Ω) — confirmat în articolul ARRL/QST „Constructing a Simple $5/8$ -Wavelength Vertical Antenna for 2 Meters” (E. J. Bauer, W9WQ): „The feed-point impedance of a $5/8\text{-}\lambda$ vertical antenna exhibits a resistive component in the vicinity of 50 ohms. It requires a suitably chosen series inductor [...] to cancel the capacitive reactance which also exists at that point.” Tocmai de aceea verticalele $5/8\lambda$ comerciale au o bobină inductivă de adaptare la bază. Acest DUT (cu reactanța lui inductivă) este în schimb foarte potrivit pentru a exersa adaptarea unei antene care a fost pur și simplu montată *puțin prea lungă* — o situație practică foarte frecventă.

A. Calculează impedanța țintă și valorile componentelor

1. Alege o frecvență de proiectare, de exemplu **14,20 MHz** (la mijlocul părții din banda de 20 m care te interesează).

- Folosește ca țință un exemplu reprezentativ de impedanță în punctul de alimentare al unei antene verticale moderat prea lungi: $R \approx 50 \Omega$, $X \approx +250 \Omega$ (inductivă).
- Calculează inductanța necesară pentru reactanța dorită la frecvența de proiectare:

$$L = X / (2\pi f)$$

$$L = 250 / (2\pi \cdot 14,2 \cdot 10^6) \approx 2,8 \mu\text{H}$$

- Alege cele mai apropiate valori realizabile ale componentelor, de exemplu $R = 50 \Omega$ (sau cea mai apropiată valoare din seria E12, $47 \Omega/56 \Omega$) și $L \approx 2,7\text{--}3,3 \mu\text{H}$.

Reactanța dorită X	L necesar la 14,2 MHz
+200 Ω	$\approx 2,2 \mu\text{H}$
+250 Ω	$\approx 2,8 \mu\text{H}$
+300 Ω	$\approx 3,4 \mu\text{H}$

Capcană: acesta este un exemplu ilustrativ, nu o specificație

Valorile de mai sus au fost alese ca exemplu reprezentativ, rotunjit, al unei antene verticale moderat prea lungi — ele *nu* provin de la o anumită lungime sau un anumit tip documentat de antenă, iar impedanța reală din punctul de alimentare al unei antene reale depinde puternic de lungimea exactă, planul de masă/radiale, diametrul catargului și înălțimea de montaj. Dacă ai nevoie de o cifră precisă pentru propria antenă, ar trebui s-o modelezi într-un program bazat pe NEC (de exemplu 4NEC2) sau s-o măsoari direct, în loc să te bazezi pe acest tabel.

B. Construirea DUT-ului (Device Under Test)

Pinul central SMA —[R]—[L]— ecran/flanșă SMA (masă)
(lanț serie scurt și drept — fără bucle)

- Folosește un conector SMA tată la care pinul central este liber accesibil pentru lipire directă (nu un conector gata montat pe cablu).
- Lipește rezistorul direct pe pinul central, cu cel mai scurt terminal posibil de lipit — de preferat sub 3 mm de la vârful pinului până la piciorul rezistorului. Aceasta este partea R a lanțului serie.
- Lipește bobina în serie imediat după rezistor și termină celălalt capăt al bobinei direct pe ecranul/flanșa (masa) conectorului, tot cu distanța cea mai scurtă posibilă.
- Asigură-te că întregul lanț R–L formează o „punte” dreaptă și scurtă între pinul central și ecran — evită buclele sau bucățile lungi și îndoite de fir, deoarece acestea adaugă inductanță/capacitate parazită care deplasează impedanța DUT-ului față de valoarea calculată.
- De preferat, montează ansamblul într-o carcasă metalică mică în jurul conectorului SMA (de exemplu o bucată scurtă de țevă de cupru sau o cutie mică turnată sub presiune) — aceasta oferă protecție mecanică și împiedică mâna ta să dezacordeze măsurătoarea când ții DUT-ul.
- Marchează clar DUT-ul cu valorile componentelor și frecvența de proiectare, de exemplu $R=50\Omega$, $L=2,8\mu\text{H}$ → 14,20 MHz, vertical fictiv prea lung, astfel încât să poată fi reutilizat mai târziu fără să trebuiască

să-l măsoari din nou ca să-ți amintești ce simulează.

C. Măsurarea DUT-ului cu LiteVNA

1. Calibrează **CALIBRATE** pentru S11 cu un span care acoperă cel puțin 13–15 MHz și o densitate mare de puncte (vezi Exercițiul 1).
2. Conectează DUT-ul **direct** la portul 1 — evită adaptoarele/cablurile suplimentare unde este posibil, deoarece mută planul de referință departe de componente și introduc erori.
3. Setează două trase: **DISPLAY → FORMAT → RESISTANCE** și **DISPLAY → FORMAT → REACTANCE**, ambele pe S11.
4. Plasează un marker la 14,20 MHz și citește R și X în linia de stare.
5. Compară cu valorile țintă de la partea A ($R \approx 50 \Omega$, $X \approx +250 \Omega$). Abaterile mici sunt normale din cauza toleranțelor componentelor și a inductanței parazite proprii a conectorului SMA.
6. Reglează fin dacă este nevoie: ajustează numărul de spire al bobinei (schimbă L, deci X) sau treci la cea mai apropiată valoare standard de rezistor (schimbă R) și măsoară din nou până când DUT-ul atinge impedanța dorită cu suficientă precizie pentru scop.

D. Folosirea DUT-ului într-un exercițiu de adaptare

1. Folosește acest DUT direct ca obiect de test în procedura de la Exercițiul 6, pentru a proiecta o rețea L care transformă impedanța în 50Ω pur rezistivi la 14,20 MHz.
2. Avantajul față de o antenă reală: DUT-ul este o sarcină fixă, cunoscută și rezistentă la vreme — poți repeta exercițiul de adaptare identic de câte ori vrei, în interior.
3. Compară rețeaua de adaptare găsită experimental cu diagrama Smith, ca verificare a propriei înțelegeri a transformării.

Sfat: alte tipuri de antene

Același principiu poate fi folosit pentru a construi sarcini fictive pentru alte antene/benzi. Dacă reactanța dorită este în schimb capacitivă (tipică pentru o antenă electric prea scurtă sau, de exemplu, pentru un vertical real $5/8\lambda$ — vezi Contextul de mai sus), înlocuiește bobina cu un condensator serie (

$$C = 1 / (2\pi f \cdot |X|)$$

). Dacă vrei o sarcină fictivă pur rezistivă, fără reactanță (de exemplu pentru un vertical rezonant în sfert de undă, $R \approx 36 \Omega$), este suficient un singur rezistor neinductiv.

Capcană: valabil doar la frecvența de proiectare

DUT-ul simulează corect impedanța antenei doar într-o fereastră îngustă de frecvență în jurul frecvenței de proiectare. Un circuit serie simplu R–L are o dependență de frecvență diferită de reactanța unei antene reale, așa că nu folosi acest DUT pentru a studia forma curbei SWR sau lățimea de bandă — ci doar pentru a exersa adaptarea impedanței într-un punct, la o anumită frecvență.

Exercițiul 8 — Folosirea datelor măsurate într-un program extern: diagrama Smith și adaptarea cu un fișier S1P

Mediu

Scop: Să exporti datele de măsurare S11 ale DUT-ului din Exercițiul 7 ca fișier S1P, să importi fișierul în instrumentul web <https://onlinesmithchart.com/>, să proiectezi acolo o rețea de adaptare și să vezi cât devine SWR-ul pe întreaga bandă de 20 m cu celula de adaptare montată — și să înțelegi de ce o astfel de adaptare devine perfectă doar la o singură frecvență anume.

ECHIPAMENT

- LiteVNA, calibrat pentru reflexie (S11), cu DUT-ul din Exercițiul 7 (sau o antenă/sarcină reală pe care vrei s-o analizezi)
- Card MicroSD (FAT/FAT32, < 32 GB)
- PC cu browser web și conexiune la internet
- Un editor de text simplu (de exemplu Notepad) pentru a vedea conținutul fișierului S1P
- Adresă web: <https://onlinesmithchart.com/> (instrument web gratuit pentru diagrama Smith)

Context: fișierele S1P și S2P (formatul Touchstone)

Formatul „Touchstone” este un standard industrial pentru stocarea parametrilor S mășurați sau simulați și este formatul de fișier folosit de LiteVNA când salvezi date de măsurare din meniul **SD CARD** (vezi Exercițiul 2).

- **.s1p**
— date pentru *un* port: doar S11 (coeficientul de reflexie). Se folosește pentru dispozitive cu un singur port, cum ar fi o antenă, o sarcină sau DUT-ul din acest exercițiu.
- **.s2p**
— date pentru *două* porturi: S11, S21, S12 și S22. Se folosește pentru dispozitive cu două porturi, cum ar fi filtre, cabluri sau șocuri (de exemplu Exercițiul 9 și Exercițiul 10), unde te interesează și transmisia prin componentă.

Fișierul este text simplu: o linie de comentariu poate începe cu **!**, o linie de antet începe cu **#** și descrie unitatea de frecvență, formatul datelor și impedanța de referință (de exemplu **# MHz S RI R 50** — frecvență în MHz, date de parametri S, RI = formă dreptunghiulară real/imaginar, impedanță de referință 50 Ω), urmată de o linie de date pentru fiecare frecvență de măsurare. Formatul numerelor poate varia între RI (real/imaginar), MA (modul/unghi) sau dB (dB/unghi), iar unitatea de frecvență poate varia între Hz/kHz/MHz/GHz — linia de antet stabilește întotdeauna ce convenție folosește fișierul respectiv, așa că verifică această linie înainte de a interpreta numerele.

A. Măsoară și salvează S11 al DUT-ului ca fișier S1P

1. Configurează și calibrează exact ca în Exercițiul 7 partea C: S11, cu un span care acoperă cel puțin 13–15 MHz.
2. Conectează DUT-ul din Exercițiul 7.

3. Mergi în meniul **SD CARD** și salvează datele măsurate ca fișier S1P pe cardul MicroSD, de exemplu cu numele **dut_exercitiul7.s1p**.
4. Introdu cardul MicroSD în PC și copiază fișierul (alternativ: folosește „Export Data” din NanoVNA-App direct prin USB, vezi partea introductivă).

B. Privește conținutul fișierului

1. Deschide fișierul S1P în Notepad (clic dreapta pe fișier → Open with → Notepad).
2. Găsește linia de antet (începe cu **#**) și citește ce unitate de frecvență, ce format de date și ce impedanță de referință folosește fișierul.
3. Reține că fiecare linie următoare reprezintă o frecvență de măsurare, cu două numere pentru S11 (conform formatului din linia de antet).

Exemplu (ilustrație)

Mai jos este un exemplu calculat al aspectului unui fișier S1P pentru DUT-ul din Exercițiul 7, calculat direct din valorile nominale ale componentelor DUT-ului ($R = 50\ \Omega$, $L \approx 2,80\ \mu\text{H}$) — *nu* sunt date măsurate real. Folosește-l doar ca să recunoști structura; în practică trebuie să folosești propriul fișier de la partea A.

```
# MHz S RI R 50
13.000 0.839700 0.366884
13.400 0.847691 0.359320
13.800 0.855132 0.351967
14.200 0.862069 0.344828
14.600 0.868543 0.337899
15.000 0.874593 0.331179
```

C. Importă fișierul S1P în <https://onlinesmithchart.com/>

1. Deschide <https://onlinesmithchart.com/> în browser.
2. Fă clic pe componenta **S-Parameter** din partea de sus a listei de componente — aceasta adaugă în circuit un bloc separat de parametri S (marcat „DP1”), cu un buton „**ENTER S-PARAM FILE**”.
3. Fă clic pe buton și lipește întregul conținut text brut al fișierului S1P (copiat din Notepad) în caseta de text care apare („Paste .s1p or .s2p file contents below”).
4. Fă clic pe **Save**. Instrumentul interpretează automat fișierul și confirmă tipul de fișier, unitatea de frecvență, formatul datelor și impedanța de referință — o dublă verificare utilă față de ce ai citit tu însuși la partea B.
5. Diagrama Smith afișează acum curba S11 a DUT-ului/antenei tale pe întregul domeniu de frecvență măsurat.

D. Proiectează rețeaua de adaptare direct în instrument

1. La „Settings & Features” setezi **Frequency** la frecvența de proiectare (14,20 MHz) și **Frequency Span** ± la de exemplu 1 MHz, astfel încât să poți citi ușor punctul pe care vrei să-l adaptezi.

2. Citește impedanța la frecvența de proiectare în câmpul de rezultat ($Z = \dots$) — trebuie să corespundă cu ce ai măsurat pe LiteVNA în Exercițiul 7 partea C ($R \approx 50 \Omega$, $X \approx +250 \Omega$).
3. Deoarece R este aici deja $\approx 50 \Omega$, rețeaua L din Exercițiul 6 ($Q = \sqrt{(Z_{\text{mare}}/Z_{\text{mic}} - 1)}$) se simplifică la $Q = 0$ — trebuie doar să anulezi reactanța cu o singură componentă serie, nu cu o rețea L completă din două componente.
4. Fă clic pe **Series Capacitor** în lista de componente pentru a introduce un condensator serie în lanțul dintre sursă (50Ω) și blocul tău de parametri S.
5. Ajustează valoarea condensatorului în câmpul care apare până când coeficientul de reflexie/S11 la frecvența de proiectare devine cât mai mic — punctul Smith se mută atunci spre centru, iar VSWR spre 1,00.

Capacitate necesară: $C = 1 / (2\pi f \cdot X) = 1 / (2\pi \cdot 14,2 \cdot 10^6 \cdot 250) \approx 44,8 \text{ pF}$

În practică vei folosi adesea cea mai apropiată valoare standard (de exemplu 47 pF) sau un mic condensator trimmer pentru reglaj fin, în același mod ca în Exercițiul 6.

E. Vezi cât devine SWR-ul pe întreaga bandă de 20 m

1. Extinde **Frequency** la mijlocul benzii (14,175 MHz) și **Frequency Span** $\pm$ la 0,175 MHz, astfel încât să fie afișată întreaga bandă de 20 m (14,000–14,350 MHz).
2. Citește curba VSWR din grafic pe acest domeniu.

Frecvența	Z după adaptare	VSWR
14,000 MHz	$50 - j7,1 \Omega$	1,15
14,100 MHz	$50 - j3,5 \Omega$	1,07
14,200 MHz (proiectare)	$50 + j0,0 \Omega$	1,00
14,300 MHz	$50 + j3,5 \Omega$	1,07
14,350 MHz	$50 + j5,3 \Omega$	1,11

Capcană: adaptarea este perfectă doar la o singură frecvență

Observă că VSWR este exact 1,00 doar exact la 14,20 MHz — la marginile benzii a urcat deja spre 1,1–1,15. Aceasta nu este o slăbiciune a instrumentului sau a acestui DUT în special, ci o proprietate fundamentală a *tuturor* rețelelor de adaptare construite din componente fixe: o bobină și un condensator își schimbă reactanța diferit cu frecvența (X_L crește, X_C scade), deci anularea este exactă doar într-un singur punct. Cu cât curba de impedanță a sarcinii este mai abruptă, cu atât mai îngustă devine fereastra de frecvență în care adaptarea este „suficient de bună”. Acesta este și motivul pentru care antenele cu domeniu larg de lucru au adesea nevoie de un tuner de antenă (adaptare reglabilă) în loc de o rețea fixă.

Amintește-ți totodată capcana de la Exercițiul 7: acest DUT (un simplu circuit serie R–L) nu are exact aceeași dependență de frecvență ca o antenă reală, așa că valorile exacte de VSWR de mai sus nu trebuie interpretate ca o afirmație despre lățimea de bandă a unei antene reale — dar principiul în sine („adaptare perfectă doar la frecvența de proiectare”) este universal și se aplică la fel de bine unei antene reale.

Sfat: folosește-ți propriile date

Această procedură funcționează cu orice fișier S1P — încearcă și cu o antenă reală pe care o ai la îndemână, în loc de DUT. Dacă ai și un fișier S2P (de exemplu din Exercițiul 9 sau Exercițiul 10), același instrument poate fi folosit pentru a reprezenta grafic S21 și a analiza componente cu două porturi în același mod.

Exercițiul 9 — Frecvența de rezonanță și factorul Q al unui trap (80 m/60 m)

Mediu

Scop: Să măsoare un trap de sine stătător (un circuit LC paralel folosit în antenele „trap”) pentru a-i determina frecvența de rezonanță și factorul Q, înainte de a-l monta în antenă.

ECHIPAMENT

- LiteVNA, calibrat pentru transmisie (S21) — vezi Exercițiul 1
- Metoda A: un dispozitiv simplu de test: două cabluri/adaptoare scurte de la portul 1 și portul 2 care se întâlnesc într-un punct unde trap-ul poate fi conectat în serie cu conductorul de semnal, cu ecranul (masa) conectat continuu
- Metoda B: două bobine mici de cuplaj (aprox. 2 spire, cam același diametru cu trap-ul însuși) conectate la un cablu/adaptor de la portul 1, respectiv portul 2, plus un dispozitiv simplu din lemn (sau alt material neconductor cu influență mică asupra măsurătorii) pentru a ține trap-ul și bobinele la distanță fixă și slabă una de alta
- Trap-ul (trap-urile) de testat (de exemplu pentru 80 m și 60 m)

Context

Un trap este un circuit LC paralel. La frecvența sa de rezonanță are o impedanță foarte mare (aproape circuit deschis) și „taie” electric restul antenei, astfel încât este activă doar partea cea mai interioară. Plasat direct în serie într-o măsurătoare de transmisie (S21, Metoda A), trap-ul va da deci o atenuare clară („o vale”) în S21 tocmai la frecvența de rezonanță. Dacă trap-ul este în schimb cuplat inductiv/slab la ambele porturi (Metoda B), se comportă ca un filtru trece-bandă slab cuplat și dă în schimb un

vârf

clar în S21 la rezonanță.

Metoda A: Test direct în serie (trap încărcat)

1. Construiește/conectează dispozitivul de test astfel încât trap-ul să poată fi conectat în serie direct în calea semnalului dintre portul 1 și portul 2, cu o conexiune de masă scurtă și consistentă.
2. Fă o **calibrare thru** (S21) cu dispozitivul de test *fără* trap introdus (eventual cu o bucată dreaptă de fir în loc), astfel încât pierderile proprii ale montajului și eventualele scurgeri să fie anulate. De preferat, fă simultan și o calibrare de reflexie OSL (vezi Exercițiul 1).
3. Setează domeniul de frecvență suficient de larg pentru a prinde rezonanța așteptată, de exemplu 3,0–5,5 MHz pentru a acoperi atât un trap de 80 m, cât și unul de 60 m.
4. Setează numărul de puncte de măsurare la o valoare mare (`STIMULUS → CFG SWEEP`) pentru rezoluție bună în jurul văii de rezonanță propriu-zise.
5. Introdu trap-ul în dispozitivul de test (conectat în serie în calea semnalului, masa continuă).
6. Setează `DISPLAY → CHANNEL → S21` și `DISPLAY → FORMAT → LOGMAG` și găsește frecvența cu cea mai mare atenuare — aceasta este frecvența de rezonanță paralelă a trap-ului f_0 .
7. Notează atenuarea din fundul văii (în dB).

8. Folosește markere pentru a găsi punctele de -3 dB *relativ la valoarea din fundul văii* (nu relativ la 0 dB) de ambele părți ale rezonanței: frecvența inferioară f_1 și frecvența superioară f_2 .

9. Calculează Q cu formula: $Q = f_0 / (f_2 - f_1)$

10. **Scurtătură:** în loc să găsești punctele de -3 dB și să calculezi Q manual (cei doi pași de mai sus), poți folosi **MEASURE → FILTER (S21)** din meniul principal — LiteVNA găsește atunci automat f_0 , lățimea de bandă la -3 dB/ -6 dB și Q și le afișează direct pe ecran.

11. Compară f_0 cu frecvența de proiectare dorită pentru trap. Dacă f_0 este prea mică: redu inductanța/capacitatea (mai puține spire sau un condensator mai mic). Dacă f_0 este prea mare: mărește inductanța/capacitatea. Măsoară din nou după ajustare și repetă pentru fiecare trap care va fi folosit.

Metoda B: Măsurătoare slab cuplată (trap neîncărcat)

Folosim în esență același principiu de măsurare ca la Metoda A. Diferența este însă că conectăm o bobină mică (2 spire, cu diametru aproximativ egal cu al trap-ului) la portul 1 și la portul 2. Vrem un montaj de măsurare în care trap-ul să nu fie încărcat, astfel încât să putem măsura Q-ul trap-ului fără încărcare semnificativă din partea montajului de măsurare însuși. Totul este suspendat într-un dispozitiv din lemn care are influență mică asupra măsurătorii.

1. Fă cele două bobine de cuplaj (aprox. 2 spire fiecare, cam același diametru cu trap-ul) și conectează-le la un cablu/adaptor de la portul 1, respectiv portul 2.
2. Montează trap-ul și cele două bobine de cuplaj în dispozitivul din lemn astfel încât să fie ținute la distanță fixă, dar *slabă* una de alta — fără contact galvanic, doar cuplaj inductiv. Cu cât cuplajul este mai slab, cu atât montajul încarcă mai puțin Q-ul propriu al trap-ului, dar cu atât și semnalul care trece este mai slab.
3. Fă o **calibrare thru** (S21) cu bobinele în montaj, dar fără trap prezent (sau cu trap-ul suficient de departe încât cuplajul să fie neglijabil), astfel încât contribuția proprie a montajului să fie anulată.
4. Setează domeniul de frecvență și numărul de puncte de măsurare ca la Metoda A.
5. Pune trap-ul la locul lui în dispozitivul din lemn, între bobine.
6. Setează **DISPLAY → CHANNEL → S21** și **DISPLAY → FORMAT → LOGMAG**. Vei vedea acum un **vârf** clar în S21 la frecvența de rezonanță a trap-ului (opusul văii de la Metoda A), deoarece trap-ul și bobinele formează acum un filtru cu circuit rezonant slab cuplat.
7. Folosește aceeași opțiune de meniu ca la Metoda A, **MEASURE → FILTER (S21)**, pentru ca LiteVNA să găsească automat vârful, lățimea de bandă la -3 dB/ -6 dB și Q.
8. Compară Q-ul cu rezultatul de la Metoda A — Metoda B dă în mod normal un Q mai mare (mai realist), deoarece trap-ul este încărcat mai puțin de montajul de măsurare însuși.

Bonus

DISPLAY → TRANSFORM → BANDPASS (domeniul timp) poate arăta răspunsul la impuls al trap-ului ca supliment — util pentru a vedea dacă există rezonanțe suplimentare provenite de la dispozitivul de test.

Capcană

Capacitatea/inductanța parazită proprie a dispozitivului de test și cablajul pot deplasa f_0 măsurată față de comportamentul trap-ului montat în antena propriu-zisă. Folosește o conectare cât mai scurtă și cât mai consistentă. La Metoda B: un cuplaj prea strâns încarcă trap-ul (dă un Q prea mic și o f_0 deplasată, ca la Metoda A), în timp ce un cuplaj prea slab dă un semnal slab și mai mult zgomot la citire — caută un compromis rezonabil.

Exercițiul 10 — Caracterizarea unui filtru

Mediu

Scop: Să măsoari pierderile de inserție, frecvența/frecvențele de tăiere, atenuarea în banda de oprire și eventuala ondulație a unui filtru trece-jos, trece-sus sau trece-bandă.

ECHIPAMENT

- LiteVNA, calibrat pentru transmisie (S21) și reflexie (S11)
- Filtrul de testat

1. Calibrează thru (S21) și OSL (S11) pe un domeniu larg de frecvență care acoperă atât banda de trecere, cât și banda de oprire, mult în afara frecvențelor de tăiere așteptate ale filtrului (vezi Exercițiul 1).
2. Introdu filtrul în calea semnalului dintre portul 1 și portul 2.
3. Afișează `DISPLAY → CHANNEL → S21`, `FORMAT → LOGMAG` pe o trasă și S11 (`SMITH` sau `LOGMAG`) pe alta.
4. Identifică banda de trecere (pierderi mici, de obicei aproape de 0 dB) și banda de oprire (pierderi mari).
5. Folosește un marker pentru a găsi frecvența/frecvențele de tăiere la -3 dB — acolo unde S21 a scăzut cu 3 dB față de nivelul din banda de trecere.
6. Pentru filtre trece-bandă/oprește-bandă: găsește atât frecvența de tăiere superioară, cât și pe cea inferioară, calculează lățimea de bandă și, dacă este cazul, Q ca în Exercițiul 9.
7. **Scurtătură:** în loc să faci manual pașii de mai sus, poți folosi `MEASURE → FILTER (S21)` din meniul principal. LiteVNA recunoaște atunci singur dacă filtrul este trece-jos, trece-sus, trece-bandă sau oprește-bandă și calculează automat factorul Q, punctele de -3 dB și -6 dB (cu frecvențele respective), precum și pierderile în banda de trecere și în banda de oprire.
8. Notează atenuarea din banda de oprire la anumite frecvențe de interes (de exemplu armonici sau benzi vecine care trebuie suprimate).
9. Verifică pierderile de întoarcere (return loss, S11) în banda de trecere — un return loss mare (S11 mic) indică o adaptare bună; o ondulație puternică poate indica o terminare incorectă sau o defecțiune a filtrului.
10. Compară rezultatele cu specificația din fișa tehnică, dacă este disponibilă.

Bonus

`DISPLAY → TRANSFORM → BANDPASS` (domeniul timp, format LINEAR/LOGMAG/SWR) simulează răspunsul filtrului la un semnal impuls și poate da o impresie vizuală rapidă despre întârzierea de grup/oscilațiile (ringing) din filtru.

Sfat

Multe filtre compacte sunt sensibile la impedanța sursei. Folosește cabluri scurte, bine adaptate, între LiteVNA și filtru, pentru a evita o ondulație suplimentară în măsurătoare care nu se datorează filtrului însuși.

Exercițiul 11 — Măsurarea unei componente L/C și a rezonanței proprii

Mediu

Scop: Să determini inductanța sau capacitatea reală a unei componente și să găsești frecvența ei de autorezonanță (SRF) — cunoștință importantă înainte ca componenta să fie folosită la HF/VHF.

ECHIPAMENT

- LiteVNA, calibrat pentru reflexie (S11)
- Componenta de testat (bobină sau condensator)
- Un dispozitiv simplu de test cu conectare scurtă și consistentă

1. Calibrează LiteVNA pentru reflexie cu planul de referință cât mai aproape de punctul de conectare al componentei.
2. Conectează componenta ca shunt la masă pe portul 1 (sau în serie într-un montaj cu două porturi cu S21, ca în Exercițiul 9).
3. Setează un domeniu de frecvență care acoperă frecvența de lucru așteptată, dar care încă nu urcă până aproape de autorezonanța așteptată.
4. Setează **DISPLAY → FORMAT → REACTANCE** pentru a citi direct reactanța X în ohmi — de preferat afișează o trasă suplimentară cu **FORMAT → RESISTANCE** pentru componenta de pierderi R .
5. Plasează markerul la o frecvență mult sub SRF-ul așteptat, unde componenta se comportă încă „pur” inductiv/capacitiv (unghiul de fază al lui Z trebuie să fie aproape de $\pm 90^\circ$, vezi scurtătura de mai jos) și citește X în linia de stare pentru trasa activă.
6. Calculează valoarea componentei:
 - Bobină: $L = X / (2\pi f)$
 - Condensator: $C = 1 / (2\pi f \cdot |X|)$
7. **Scurtătură:** în loc să calculezi manual L/C din X , poți lăsa LiteVNA să o facă direct. Setează **DISPLAY → FORMAT → SMITH**, apoi apasă încă o dată pe formatul trasei pentru a afișa mai multe opțiuni de prezentare și alege **R+L/C** — valoarea markerului este atunci afișată direct în μH sau pF , deja calculată. Citește valoarea la o frecvență la care citirea fazei (de preferat afișează **Z PHASE** ca trasă suplimentară) este aproape de $\pm 90^\circ$: acesta este exact criteriul că componenta se comportă încă „pur” reactiv (rezistența de pierderi R este neglijabilă față de X); mai aproape de SRF faza se va îndepărta de 90° , iar citirea L/C devine mai puțin de încredere.
8. Extinde domeniul de frecvență în sus și mută markerul spre locul în care curba REACTANCE trece prin zero (schimbă semnul de la inductiv la capacitiv pentru o bobină sau invers pentru un condensator) — aceasta este frecvența de autorezonanță (SRF) a componentei. **Sfat:** folosește de preferat **Z PHASE** ca trasă în loc de/pe lângă REACTANCE — faza își schimbă semnul (de la aprox. $+90^\circ$ la aprox. -90° sau invers) exact la SRF, aceeași informație ca trecerea prin zero a lui X , dar schimbarea de semn este adesea mai ușor de observat clar, deoarece scara fazei merge întotdeauna $\pm 180^\circ$ oricât de mic ar fi $|X|$ exact acolo.

9. Apreciază dacă componenta este potrivită pentru frecvența de utilizare dorită; în mod normal ea trebuie să se afle mult sub SRF pentru un comportament previzibil.

Sfat

Șocurile RF cu multe spire pot avea o SRF surprinzător de mică din cauza capacității înfășurării — acest lucru este deosebit de important de verificat pentru șocuri și bobine de șoc folosite la HF/VHF.

Capcană

Inductanța/capacitatea parazită proprie a dispozitivului de test influențează măsurătoarea. Păstrează firele către componentă cât mai scurte posibil și calibrează cât mai aproape de componentă.

Exercițiul 12 — Măsurarea unui balun/șoc de mod comun

Mediu

Scop: Să măsoari impedanța de mod comun a unui balun sau șoc în funcție de frecvență, pentru a confirma că atenuează suficient curenții de pe linia de alimentare în banda respectivă.

ECHIPAMENT

- LiteVNA, calibrat pentru transmisie (S21)
- Balunul/șocul de testat
- Un dispozitiv de test în care ambii conductori sunt scurtcircuitați între ei la fiecare capăt, pentru a forța curentul de mod comun prin miez

1. Construiește dispozitivul de test astfel încât înfășurarea care trebuie să funcționeze ca șoc de mod comun să fie conectată în serie în calea semnalului dintre portul 1 și portul 2, cu ambii conductori (conductorul interior și ecranul sau cele două capete ale înfășurării) scurtcircuitați între ei la fiecare capăt.
2. Fă o calibrare thru cu dispozitivul fără șoc introdus (folosește în loc un scurtcircuit direct), astfel încât contribuția proprie a dispozitivului să fie anulată.
3. Introdu șocul/balunul în dispozitiv.
4. Setează **DISPLAY → CHANNEL → S21**, **FORMAT → LOGMAG** și măsoară S21 în dB pe domeniul de frecvență dorit.

5. Calculează impedanța de mod comun cu aceeași formulă folosită pentru un rezistor serie măsurat prin pierderile de inserție într-un sistem de 50 Ω (vezi și Exercițiul 16):

$$Z = 2 \cdot 50 \, \Omega \cdot (10^{(-S21_{dB}/20)} - 1) \quad (\text{Folosește un } S21_{dB} \text{ negativ astfel încât exponentul să}$$

devină pozitiv, deoarece S21 se măsoară în mod normal ca valoare negativă.)

6. Compară impedanța de mod comun cu valoarea minimă recomandată pentru scop (regulă empirică: $\geq 500 \, \Omega$ în banda HF pentru un balun/șoc eficient).
7. Repetă pentru mai multe tipuri de miez/numere de spire dacă compari alternative și notează care combinație dă cea mai bună impedanță în banda dorită.

Sfat

Acest test măsoară doar proprietatea de mod comun (impedanța de blocare, „choking impedance”), nu capacitatea balunului de a transforma impedanța în mod diferențial — acestea sunt două proprietăți separate care trebuie apreciate fiecare în parte.

Capcană

Asigură-te că scurtcircuitele din dispozitiv sunt scurte și solide. Conexiunile slabe dau pierderi/rezonanțe suplimentare în măsurătoare care nu se datorează șocului însuși.

Exercițiul 13 — Lungimea cablului prin măsurarea fazei

Mediu

Scop: Să determini lungimea fizică a unui cablu măsurând cum se schimbă faza reflexiei (S11 PHASE) cu frecvența — o metodă mai simplă, independentă de TDR, care folosește o măsurătoare obișnuită în domeniul frecvență în loc de domeniul timp bazat pe IFFT (vezi Exercițiul 14 pentru metoda TDR și o verificare încrucișată între cele două).

ECHIPAMENT

- LiteVNA, calibrat pentru reflexie (S11)
- Cablul de măsurat, cu factor de scurtare (VF) cunoscut
- Capăt deschis sau în scurtcircuit la sfârșitul cablului (ambele funcționează la fel pentru această metodă)

Context

Coeficientul de reflexie la intrarea cablului este:

$$\Gamma_{in}(f) = \Gamma_{sarcin\acute{a}} \cdot e^{-j \cdot 2\beta \cdot L}, \quad \beta = 2\pi f / (c \cdot VF)$$

Faza lui Γ_{in} scade liniar cu frecvența f . Dacă faza merge de la -90° la $+90^\circ$ (prin punctul de înfășurare de la $\pm 180^\circ$ pe o scară de fază obișnuită), ea s-a rotit exact 180° — aceasta corespunde faptului că lungimea electrică într-un singur sens a cablului s-a schimbat cu exact un sfert de lungime de undă ($\lambda/4$) pe acel interval de frecvență. Rezolvând pentru lungime:

$$L = c \cdot VF / (4 \cdot \Delta f)$$

unde Δf este distanța în frecvență dintre punctul în care faza este -90° și punctul în care este $+90^\circ$, iar $c = 299\,792\,458$ m/s. Avantajul acestor două puncte tocmai este că se citesc ușor vizual (diviziunile de sfert ale unei scale de fază $\pm 180^\circ$) și că contează doar *diferența* Δf — referința absolută de fază din calibrare nu are nicio importanță.

1. Calibrează **CALIBRATE** pentru S11.
2. Conectează cablul la portul 1 și lasă capătul îndepărtat deschis sau în scurtcircuit (notează care — nu influențează calculul, dar este bine de știut pentru interpretare).
3. Setează **DISPLAY → FORMAT → PHASE** pe S11.
4. Setează un domeniu larg de frecvență și privește linia de fază — ea trebuie să scadă constant odată cu creșterea frecvenței și să se „înfășoare” (să sară de la -180° la $+180^\circ$) la intervale regulate. Îngustează intervalul în jurul *unei* căderi continue de la -90° la $+90^\circ$ (prin cel mai apropiat punct de înfășurare).
5. Plasează markerul 1 exact acolo unde faza este -90° și notează frecvența f_1 .

6. Plasează markerul 2 acolo unde faza (după înfășurare) ajunge la $+90^\circ$ și notează frecvența f_2 .

7. Calculează $\Delta f = f_2 - f_1$ și apoi lungimea cablului: $L = c \cdot VF / (4 \cdot \Delta f)$

8. Compară cu lungimea măsurată fizic sau fă o verificare încrucișată cu rezultatul metodei TDR din Exercițiul 14.

Exemplu: un cablu RG58 ($VF = 0,66$) cu lungime fizică de 20 m trebuie să dea:

$$\Delta f = c \cdot VF / (4 \cdot L) = 299\,792\,458 \cdot 0,66 / (4 \cdot 20) \approx 2,47 \text{ MHz}$$

Capcană

Asigură-te că markerul 1 și markerul 2 sunt puncte de trecere *vecine* (un singur punct de înfășurare între ele), nu două puncte mai îndepărtate în baleiaj. Dacă sari din greșeală peste o rotație întreagă sau jumătate în plus, Δf va fi greșit, iar L va fi calculat prea scurt. Această metodă este, de asemenea, mai ușor de folosit la cabluri scurte până la mijlocii, unde este ușor să urmărești vizual faza printr-o singură rotație — pentru cabluri foarte lungi (multe cicluri rapide de înfășurare) metoda TDR din Exercițiul 14 este mai robustă.

Exercițiul 14 — Lungimea cablului și factorul de scurtare (TDR încorporat)

Avansat

Scop: Să folosești funcția de domeniu timp încorporată a LiteVNA (TDR/DTF, calculată cu IFFT direct pe dispozitiv) pentru a determina lungimea fizică și factorul de scurtare (velocity factor, VF) al unui cablu sau pentru a găsi distanța până la o ruptură/defecțiune — complet fără software pe PC. (Vezi Exercițiul 13 pentru o metodă mai simplă, bazată pe fază, fără TDR — utilă ca verificare încrucișată rapidă.)

ECHIPAMENT

- LiteVNA, calibrat pentru reflexie (S11)
- Cablul de testat (lungime/VF cunoscute sau necunoscute)

1. Calibrează **CALIBRATE** pentru S11. Setează **STIMULUS → START** exact la **50 kHz** (cerut de firmware pentru TDR trece-jos) și **STOP** în funcție de distanța de măsurare dorită — cu cât frecvența de oprire este mai mică/spațierea punctelor mai deasă, cu atât distanța maximă este mai mare; cu cât frecvența de oprire este mai mare, cu atât rezoluția spațială este mai bună.
2. Setează cel mai mare număr posibil de puncte (**STIMULUS → CFG SWEEP** , până la 1001) pentru cea mai bună rezoluție.
3. Conectează cablul de testat la portul 1 și lasă capătul îndepărtat deschis (dă adesea un vârf clar) sau în scurtcircuit.
4. Deschide **DISPLAY → TRANSFORM → TRANSFORM ON** .
5. Alege **LOW PASS IMPULSE** (arată reflexia ca un puls clar) sau **LOW PASS STEP** .
6. Setează formatul trasei la **REAL** (**DISPLAY → FORMAT → REAL**) — acesta este formatul în care trebuie afișat modul trece-jos.
7. Setează factorul de scurtare la **DISPLAY → TRANSFORM → VELOCITY FACTOR** . Introdu numărul ca întreg *fără* punct zecimal (de exemplu **67** pentru $VF = 0,67$).
8. Dacă lungimea fizică a cablului este **cunoscută**: ajustează VELOCITY FACTOR până când markerul de pe vârful reflexiei arată distanța corectă (distanța este afișată împreună cu valoarea de timp în afișajul markerului). Notează această valoare VF pentru utilizare ulterioară cu același tip de cablu.
9. Dacă VF este **cunoscut** (din fișa tehnică) și cauți în schimb lungimea sau un defect: citește distanța direct la marker pe vârful reflexiei — aceasta este distanța până la capătul cablului sau până la un eventual defect (ruptură, scurtcircuit, deteriorare prin umezeală) dacă acesta se află mai aproape decât capătul fizic al cablului.
10. Folosește **WINDOW** (MINIMUM/NORMAL/MAXIMUM) pentru a echilibra rezoluția cu zgomotul: MINIMUM dă vârful cel mai ascuțit și rezoluția cea mai mare, MAXIMUM atenuează cel mai bine zgomotul/oscilațiile (ringing), dar dă un vârf mai lat.
11. Interpretare: un vârf ascuțit și clar înseamnă o discontinuitate bruscă (deschis/scurtcircuit/ruptură). O schimbare treptată a liniei de bază înainte de punctul final așteptat poate indica umezeală sau deteriorare treptată a cablului. O discontinuitate capacitivă/inductivă pe parcurs (de exemplu o îmbinare proastă) apare ca o mică scădere/un mic vârf în mijlocul liniei.

Calcul: frecvența de oprire pentru distanța de măsurare dorită

LiteVNA calculează domeniul timp din baleiajul de frecvență cu o FFT inversă (IFFT). Pasul de frecvență dintre punctele de măsurare, Δf , determină cât de mare este fereastra de timp neambiguă (și deci distanța maximă):

$$\Delta f = F_{\text{stop}} / (N - 1)$$

($F_{\text{start}} = 50 \text{ kHz}$ este neglijabilă față de F_{stop} , deci intervalul $\approx F_{\text{stop}}$)

Fereastra de timp neambiguă este $T = 1/\Delta f$. Reflexia merge înainte și înapoi în cablu (dus-întors), deci distanța maximă neambiguă de măsurare D_{max} (distanța până la capătul cablului sau până la un defect) devine:

$$D_{\text{max}} = c \cdot VF \cdot (N - 1) / (2 \cdot F_{\text{stop}})$$

Rezolvând pentru frecvența de oprire — pentru o distanță de măsurare dorită D_{max} , un număr de puncte N (**STIMULUS** → **CFG SWEEP**) și un factor de scurtare VF — se obține:

$$F_{\text{stop}} = c \cdot VF \cdot (N - 1) / (2 \cdot D_{\text{max}})$$

unde $c = 299\,792\,458 \text{ m/s}$. **Exemplu:** vrei să măsoari un cablu RG58 ($VF = 0,66$) până la 50 m, cu $N = 1001$ puncte (maximum LiteVNA):

$$F_{\text{stop}} = 299\,792\,458 \cdot 0,66 \cdot 1000 / (2 \cdot 50) \approx 1,98 \text{ GHz}$$

Reține că rezoluția spațială (cea mai mică distanță dintre doi reflectori pe care îi poți deosebi) este determinată doar de întregul interval de frecvență ($\approx F_{\text{stop}}$), nu de numărul de puncte:

$$\Delta D = c \cdot VF / (2 \cdot F_{\text{stop}})$$

Numărul de puncte N decide deci doar câte celule de rezoluție încap în D_{max} ($D_{\text{max}}/\Delta D = N - 1$): mai multe puncte nu dau o rezoluție mai bună prin ele însele, dar îți permit să păstrezi o rezoluție bună împreună cu o rază lungă — fără mai multe puncte, F_{stop} trebuie coborâtă pentru a ajunge departe, iar rezoluția se înrăutățește în același timp.

Valori de măsurare valabile

Conform tabelului de specificații din manualul oficial de utilizare LiteVNA, aceste limite se aplică pentru N și F_{stop} în formulele de mai sus:

- **Numărul de puncte N :** 21–1001, reglabil pe dispozitivul însuși (**STIMULUS** → **CFG SWEEP**). Prin USB/software pe PC se pot seta până la 65 535 de puncte, dar transformarea TDR încorporată folosește baleiajul propriu al dispozitivului (maximum 1001).

- **Domeniul de frecvență:** 50 kHz – 6,3 GHz. F_{start} este fixată la 50 kHz în TDR trece-jos (pasul 1), iar F_{stop} nu poate fi setată mai sus de 6,3 GHz.

Aceasta stabilește o limită superioară practică pentru cât de bine poate face LiteVNA TDR: cu numărul maxim de puncte ($N=1001$) și cu frecvența maximă de oprire ($F_{\text{stop}}=6,3$ GHz), cea mai bună rezoluție realizabilă pentru un cablu cu $VF=0,66$ este

$$\Delta D_{\min} = c \cdot 0,66 / (2 \cdot 6,3 \cdot 10^9) \approx 1,6 \text{ cm}$$

dar atunci distanța maximă neambiguă de măsurare este în același timp limitată la

$$D_{\max} = c \cdot 0,66 \cdot 1000 / (2 \cdot 6,3 \cdot 10^9) \approx 15,7 \text{ m}$$

Dacă vrei să măsoari cabluri mai lungi decât atât, F_{stop} trebuie coborâtă corespunzător (vezi formula de mai sus), în detrimentul rezoluției.

Bonus: citirea impedanței fiecărui segment de cablu la îmbinări

Dacă îmbini mai multe tipuri de cablu cu impedanțe caracteristice diferite (de exemplu trei segmente cu trei Z diferite), TDR poate în principiu arăta impedanța fiecărui segment — dar LiteVNA *nu* afișează direct ohmi în domeniul timp. Formatul **REAL** folosit în modul trece-jos (vezi pasul 6) arată partea reală a coeficientului de reflexie Γ (o valoare între -1 și $+1$) în fiecare punct, iar conversia în impedanță trebuie să o faci singur.

1. Folosește **LOW PASS STEP** (nu **IMPULSE**) — răspunsul la treaptă arată un platou plat pentru fiecare segment de cablu, cu o tranziție la fiecare îmbinare. **IMPULSE** arată doar un vârf/o vale la tranziții și este mai puțin potrivit pentru citirea nivelurilor absolute.
2. Citește nivelul platoului (Γ) cu un marker în mijlocul fiecărui platou plat — *nu* în tranziția propriu-zisă dintre platouri.
3. Primul segment (cablul 1) este în mod normal un cablu de 50Ω adaptat la port, deci platoul dinaintea primei îmbinări se află la $\Gamma \approx 0$. Coeficientul de reflexie la prima îmbinare, Γ_1 , este atunci pur și simplu

nivelul platoului *după* prima tranziție, ρ_1 :

$$\Gamma_1 = \rho_1$$

$$Z_2 = Z_1 \cdot (1 + \Gamma_1) / (1 - \Gamma_1)$$

4. Pentru îmbinarea nr. 2 (și următoarele) **nu** poți folosi direct nivelul platoului ρ_2 ca Γ_2 — semnalul și-a pierdut deja o parte din amplitudine prin transmisia prin prima îmbinare (și din nou la întoarcere).

Coeficientul de reflexie local corect la îmbinarea 2 este:

$$\Gamma_2 = (\rho_2 - \rho_1) / (1 - \rho_1^2)$$

$$Z_3 = Z_2 \cdot (1 + \Gamma_2) / (1 - \Gamma_2)$$

5. Repetă același tipar (folosește impedanța calculată a segmentului anterior ca nouă referință Z_{n-1}) pentru eventualele alte îmbinări mai departe pe cablu.

Rezervă

Aceasta este o aproximație de ordinul întâi („single-bounce”) care ignoră reflexiile interne multiple dintre îmbinări (reflexiile „fantomă”). Este suficient de precisă când dezadaptările sunt moderate, iar cablul are o oarecare atenuare care amortizează reflexiile secundare — de obicei acest lucru este valabil suficient de bine pentru cablurile coaxiale obișnuite de radioamatori. Echipamentele TDR profesionale folosesc un algoritm de deconvoluție pentru precizie deplină cu multe/mari salturi de impedanță; nici LiteVNA, nici acest calcul manual simplu nu au așa ceva. Segmentele trebuie să fie și suficient de lungi pentru ca platourile să apuce să se aplatizeze între îmbinări (vezi rezoluția spațială ΔD de mai sus) — la segmente prea scurte tranzițiile se contopesc și nu mai pot fi deosebite.

Sfat

Această tehnică este utilă pentru a verifica lungimea unor linii de alimentare gata cumpărate, pentru a descoperi îmbinări ascunse sau pentru a localiza o ruptură într-un cablu îngropat/ascuns fără a trebui să-l dezgropi. Poți folosi și NanoVNA-App sau NanoVNA-Saver pe PC pentru un ecran mai mare și presetări VF încorporate pentru tipuri de cablu uzuale, dar calculul TDR propriu-zis se face oricum în LiteVNA.

Capcană

Frecvența START trebuie să fie exact 50 kHz în modul trece-jos pentru ca IFFT să fie calculată corect. Reține că distanța maximă de măsurare și rezoluția se află într-o relație de compromis — folosește o frecvență mai mică pentru distanță mai lungă și o frecvență mai mare pentru rezoluție mai fină la distanțe scurte.

Exercițiul 15 — Depistarea defectelor și măsurarea distanțelor cu TDR

Avansat

Scop: Să folosești TDR-ul încorporat al LiteVNA (ca în Exercițiul 14) pentru a identifica tipul defectului/discontinuității dintr-un cablu — scurtcircuit, ruptură, impedanță greșită sau o componentă reactivă (bobină/condensator) — după forma și semnul reflexiei, precum și pentru a localiza o ramificație (joncțiune în T) într-un cablu.

ECHIPAMENT

- LiteVNA, calibrat pentru reflexie (S11)
- O bucată de cablu coaxial cu factor de scurtare (VF) cunoscut, conectată la portul 1
- Un adaptor/dispozitiv de test simplu, interschimbabil, la capăt (ca în Exercițiul 11) pentru a testa diferite terminări la capătul cablului: scurtcircuit, deschis, un rezistor $> 50 \Omega$ (de exemplu 150Ω), un rezistor $< 50 \Omega$ (de exemplu $18\text{--}22 \Omega$), un condensator (de exemplu $100\text{--}470 \text{ pF}$) și o bobină (de exemplu $1\text{--}4,7 \mu\text{H}$)
- Un adaptor T (BNC/SMA) și o scurtă bucată suplimentară de cablu, pentru partea D (localizarea unei ramificații)
- Ruletă/metru pliant pentru a verifica distanțele fizice față de citirea TDR

A. Calculează frecvența de oprire pentru distanța de măsurare și rezoluția dorite

Așa cum s-a dedus în Exercițiul 14:

$$F_{\text{stop}} = c \cdot VF \cdot (N - 1) / (2 \cdot D_{\text{max}})$$

unde $c = 299\,792\,458 \text{ m/s}$, N este numărul de puncte de măsurare și D_{max} distanța maximă de măsurare dorită în metri. Tabelul de mai jos dă constanta $c \cdot (N - 1) / 2$ (în $\text{MHz} \cdot \text{m}$) pentru numerele de puncte cele mai uzuale ale LiteVNA, astfel încât $F_{\text{stop}}(\text{MHz}) = \text{constantă} \cdot VF / D_{\text{max}}(\text{m})$:

Număr de puncte (N)	Formula pentru F_{stop} (MHz)
101 puncte	$14\,990 \cdot VF / D_{\text{max}}$
201 puncte	$29\,979 \cdot VF / D_{\text{max}}$
401 puncte	$59\,958 \cdot VF / D_{\text{max}}$
1001 puncte (maximul LiteVNA)	$149\,896 \cdot VF / D_{\text{max}}$

Reține că rezoluția $\Delta D = c \cdot VF / (2 \cdot F_{\text{stop}})$ depinde doar de F_{stop} (nu de N) — mai multe puncte nu dau o rezoluție mai fină prin ele însele, dar îți permit să ajungi mai departe fără a coborî F_{stop} (vezi Exercițiul 14 pentru deducerea completă și „Valori de măsurare valabile”).

B. Configurează măsurătoarea

1. Calibrează **CALIBRATE** pentru S11. Setează **STIMULUS → START** exact la 50 kHz și **STOP** după tabelul de la partea A, pornind de la $D_{\max}$ dorit și de la VF-ul cablului.
2. Setează numărul de puncte de măsurare (**STIMULUS → CFG SWEEP**) în acord cu alegerea de la partea A.
3. Conectează cablul principal la portul 1, cu adaptorul/dispozitivul de test de la capăt pregătit la celălalt capăt pentru schimbarea rapidă a terminării.
4. Deschide **DISPLAY → TRANSFORM → TRANSFORM ON**, alege **LOW PASS STEP** (cel mai clar pentru citirea nivelului/direcției fiecărei terminări), formatul trasei **REAL** și setează **VELOCITY FACTOR**.
5. Măsoară lungimea fizică a cablului cu ruleta/metru pliant — folosește-o ca răspuns de control cu care compari citirea markerului.

C. Testează și interpretează semnăturile reflexiei la capătul cablului

Schimbă terminarea de la capătul cablului și observă cum se comportă curba **LOW PASS STEP** în punctul de reflexie:

Terminare	Nivel în LOW PASS STEP	Aspect
Deschis ($\infty \Omega$)	+1	Sare instantaneu în sus și rămâne acolo
Scurtcircuit (0Ω)	-1	Sare instantaneu în jos și rămâne acolo
Rezistor $R > 50 \Omega$	între 0 și +1	Salt pozitiv mai mic decât la deschis, nivel plat (fără formă variabilă în timp)
Rezistor $R < 50 \Omega$	între 0 și -1	Salt negativ mai mic decât la scurtcircuit, nivel plat
Rezistor $R = 50 \Omega$	0	Invizibil — adaptat, nu se vede nicio reflexie
Condensator (C)	pornește de la -1, urcă spre +1	Sare instantaneu în jos, apoi își revine <i>treptat</i> în sus (condensatorul „se încarcă” — la urmă arată ca un circuit deschis la frecvență joasă/timp lung)
Bobină (L)	pornește de la +1, coboară spre -1	Sare instantaneu în sus, apoi coboară <i>treptat</i> în jos (bobina „acumulează curent” — la urmă arată ca un scurtcircuit la frecvență joasă/timp lung)

În **LOW PASS IMPULSE** același lucru este afișat ca un vârf în loc de o treaptă de nivel: deschis/scurt/R dau un singur vârf (pozitiv, respectiv negativ), în timp ce L și C dau un vârf **pe două părți** — un vârf ascuțit într-o direcție urmat imediat de un vârf mai lat și mai slab în direcția opusă (pozitiv-apoi-negativ pentru bobină, negativ-apoi-positiv pentru condensator). Acest tipar pe două părți este tocmai semnătura care deosebește un defect reactiv (dependent de frecvență) de un simplu defect rezistiv sau de o ruptură/un scurtcircuit pur.

Folosește markerul pentru a citi distanța până la reflexie la fiecare terminare și compară-o cu lungimea fizică a cablului de la partea B.

Capcană

Aceste semne și forme sunt valabile când componenta se află

la capătul

cablului (un test pur cu 1 port, ca aici și în Exercițiul 11) — *nu* neapărat pentru o componentă introdusă în mijlocul unei linii care continuă mai departe (vezi partea D de mai jos). Asigură-te și că adaptorul/dispozitivul de test de la capăt are o conectare scurtă și consistentă; inductanța/capacitatea parazită proprie a adaptorului poate deplasa semnătura, în special la testele cu R și C.

D. Localizează o ramificație (joncțiune în T) în cablu

Conectează adaptorul T în mijlocul cablului, cu scurta bucată de cablu continuând pe una dintre ramuri (termină această bucată în gol sau în scurtcircuit, ca o referință fixă, cunoscută). Lasă a treia conexiune a piesei T deschisă.

Context

O piesă T este o joncțiune cu 3 căi. Privită de la portul 1, impedanța pe care o vezi în T este combinația *paralelă* dintre impedanța proprie a cablului de derivație (50 Ω, deoarece reflexia de la capătul lui nu a apucat încă să se întoarcă) și ce este conectat la a treia conexiune. O combinație paralelă nu poate fi niciodată mai mare decât cea mai mică dintre cele două valori — de aceea punctul T însuși *nu* poate da niciodată o reflexie pozitivă când derivația este adaptată la 50 Ω, ci doar zero (invizibil, dacă al treilea port este deschis) până la negativ (spre -1, dacă al treilea port este scurtcircuitat). Acesta este și motivul pentru care divizoarele T simple, rezistive, nu sunt niciodată perfect adaptate la toate cele trei porturi în același timp — o lecție practică utilă pentru folosirea divizoarelor în instalațiile de antene.

1. Cu al treilea port deschis: caută punctul T în curba TDR. Va fi adesea aproape invizibil (aproape de 0), deoarece un al treilea port deschis nu încarcă sensibil joncțiunea.
2. Scurtcircuitează al treilea port: punctul T va arăta acum o reflexie negativă clară, deoarece joncțiunea este acum trasă spre 0 Ω.
3. Indiferent la ce este setat al treilea port: caută o *a doua* reflexie fixă mai departe — aceasta este capătul scurtei bucăți de cablu de derivație (deschis sau în scurtcircuit, așa cum a fost configurat la început). Folosește un marker pentru a citi distanța până la ambele puncte și compară cu lungimile măsurate fizic.

Bonus

Dacă trebuie să găsești impedanța mai multor îmbinări/segmente succesive într-un cablu îmbinat (nu o ramificație, ci mai multe tipuri de cablu în serie), vezi secțiunea Bonus din Exercițiul 14 pentru procedură și formule ($\Gamma_n = (\rho_n - \rho_{n-1}) / (1 - \rho_{n-1}^2)$, $Z_n = Z_{n-1} \cdot (1 + \Gamma_n) / (1 - \Gamma_n)$).

Exercițiul 16 — Măsurarea parametrilor unui cristal (Rm, Lm, Cm, Q)

Avansat

Scop: Să determini circuitul electric echivalent al unui cristal de cuarț — rezistența motională (Rm), inductanța (Lm), capacitatea (Cm) și capacitatea suportului (C0) — precum și frecvența de rezonanță serie/paralel și factorul Q. Util la construirea filtrelor cu cristale sau la verificarea cristalelor înainte de a le folosi în oscilatoare.

ECHIPAMENT

- LiteVNA, calibrat pentru reflexie (S11) și transmisie (S21)
- Un dispozitiv simplu de test cu două porturi în care cristalul este conectat în serie în calea semnalului dintre portul 1 și portul 2 (ca în Exercițiul 9/12)
- Cristalul (cristalele) de măsurat

Context

Un cristal se modelează electric ca o ramură „motională” (Rm în serie cu Lm și Cm) în paralel cu capacitatea suportului C0. Lm/Cm determină frecvența serie f_s (pierderi minime, transmisie maximă). Puțin mai sus apare o rezonanță paralelă f_p , la care Lm/Cm în combinație cu C0 dă o impedanță foarte mare (atenuare adâncă în S21). Cristalele au de obicei un Q extrem de mare (multe mii).

A. Măsurarea C0 (capacitatea suportului)

1. Conectează cristalul direct la portul 1 ca shunt la masă (S11) — încă nu în dispozitivul de test serie.
2. Setează domeniul de frecvență mult sub frecvența specificată a cristalului (de exemplu cu o zecime de decadă mai jos), astfel încât proprietățile motionale să nu influențeze măsurătoarea.
3. Setează `DISPLAY → FORMAT → REACTANCE` și citește X la o frecvență joasă f.
4. Calculează $C0 = 1 / (2\pi f \cdot |X|)$ (aceeași procedură ca în Exercițiul 11).

B. Găsirea rezonanței serie și paralel (f_s și f_p)

1. Construiește dispozitivul de test astfel încât cristalul să stea în serie în calea semnalului dintre portul 1 și portul 2, ca în Exercițiul 9.
2. Fă o calibrare thru (S21) cu dispozitivul fără cristal (o bucată dreaptă de fir în loc).
3. Setează o fereastră de frecvență în jurul frecvenței specificate a cristalului, de obicei un span de 50–150 kHz, cu cel mai mare număr posibil de puncte de măsurare (`STIMULUS → CFG SWEEP`).
4. Introdu cristalul în dispozitiv.
5. Afișează două trase pe canalul S21: una cu `FORMAT → LOGMAG` și una cu `FORMAT → PHASE`.
6. f_s (rezonanța serie) este frecvența cu un **vârf** clar în S21 (pierderi minime), la care faza trece prin 0°.

- f_p (rezonanța paralel) este o frecvență puțin mai mare, cu o **vale** clară în S21 (pierderi mari). Mărește (span mai îngust) în jurul fiecărui punct, dacă este nevoie, pentru o rezoluție mai bună.
- Notează cu exactitate f_s și f_p cu un marker.

C. Măsurarea R_m (rezistența motională) la f_s

- Redu span-ul la o fereastră îngustă în jurul f_s (de obicei 5–10 kHz).
- Citește S21 în dB exact la f_s (unde faza este 0°) — numește valoarea $S21_s$.
- Calculează: $R_m = 2 \cdot R_L \cdot (10^{(-S21_s/20)} - 1)$ unde $R_L = 50 \Omega$ (folosește un $S21_s$ negativ astfel încât exponentul să devină pozitiv, deoarece $S21_s$ este în mod normal negativ, de exemplu $-0,6$ dB).

D. Calcularea C_m și L_m — două metode pentru verificare încrucișată

D1. Metoda serie/paralel (din baleiajul larg de la partea B):

$$C_m = (f_p/f_s - 1) \cdot 2 \cdot (C_0 + C_{\text{parazită}})$$

$$L_m = 1 / ((2\pi \cdot f_s)^2 \cdot C_m)$$

($C_{\text{parazită}}$ este capacitatea parazită proprie a dispozitivului de test — setează-o la 0 ca primă aproximație sau măsoară-o separat cu dispozitivul gol.)

D2. Metoda defazajului (mai fină, din span-ul îngust din jurul f_s de la partea C):

- Găsește frecvența f_L la care faza este $+45^\circ$ și f_H la care faza este -45° (f_s este acolo unde faza este 0°).

- Calculează: $R_{\text{eff}} = 2 \cdot R_L + R_m$ și $\Delta f = f_H - f_L$

- $C_m = \Delta f / (2\pi \cdot f_s^2 \cdot R_{\text{eff}})$

- $L_m = R_{\text{eff}} / (2\pi \cdot \Delta f)$

E. Calcularea lui Q

Folosește același Δf ca la D2 (punctele de $\pm 45^\circ$) sau găsește punctele de -3 dB din S21 relativ la vârf (ca în Exercițiul 9):

$$Q_{\text{încărcat}} = f_s / \Delta f$$

Important: deoarece Δf este dedus din $R_{\text{eff}} = 2 \cdot R_L + R_m$ (adică include cei 100 Ω de la cele două porturi ale montajului de măsurare), acesta este Q-ul *încărcat* al exact acestui montaj de test de 50 Ω — nu Q-ul propriu, intrinsec, al cristalului. Q-ul **neîncărcat** al cristalului (ceea ce se înțelege în mod normal când se indică „Q-ul cristalului”, de exemplu la proiectarea filtrelor/oscilatoarelor) folosește doar R_m de la partea C:

$$Q_{\text{neîncărcat}} = 2\pi \cdot f_s \cdot L_m / R_m$$

Deoarece R_m este în mod normal mult mai mic decât R_{eff} (R_m se află de obicei la câțiva până la câteva zeci de ohmi, față de $R_{\text{eff}} \approx 100+ \Omega$), $Q_{\text{neîncărcat}}$ este de obicei de 10–20 de ori mai mare decât $Q_{\text{încărcat}}$ — ambele cifre sunt „corecte”, doar că descriu două lucruri diferite.

Mărime	Valoare tipică (exemplu, HC-49 ~18,7 MHz)
C0	$\approx 3,7\text{--}3,8 \text{ pF}$
R_m	$\approx 7 \Omega$
C_m	$\approx 14,5\text{--}15,3 \text{ fF}$
L_m	$\approx 4,7\text{--}5,0 \text{ mH}$
$Q_{\text{încărcat}}$	≈ 5000
$Q_{\text{neîncărcat}}$	$\approx 80\,000$

Sfat

Compară rezultatele de la D1 și D2 — ele trebuie să se potrivească rezonabil de bine (tabelul de exemplu de mai sus arată dispersia tipică între metode). Abaterile mari indică f_s/f_p citite imprecis, o densitate prea mică de puncte sau un $C_{\text{parazită}}$ prea mare. Există și o a treia metodă („metoda G3UUR”) care folosește un circuit oscilator comutat extern și un frecvențmetru în loc de un VNA — utilă dacă ai un asemenea echipament la îndemână, dar nu cere deloc LiteVNA pentru calculul propriu-zis.

Capcană

Cristalele au un Q extrem de mare — folosește cel mai îngust span posibil și cel mai mare număr posibil de puncte în jurul f_s pentru o citire de încredere a fazei și amplitudinii. Capacitatea/inductanța parazită proprie a dispozitivului de test poate deplasa semnificativ C0 și C_m ; păstrează montajul scurt și cât mai consistent între calibrare și măsurătoare.

Realizat ca material de curs pentru instruirea practică cu LiteVNA (firmware Dislord/LiteVNA). Curs complet, Exercițiile 1–16.

Versiunea 1.8 (ediția în limba română) — 8 octombrie 2026

© 2026 LA3FY