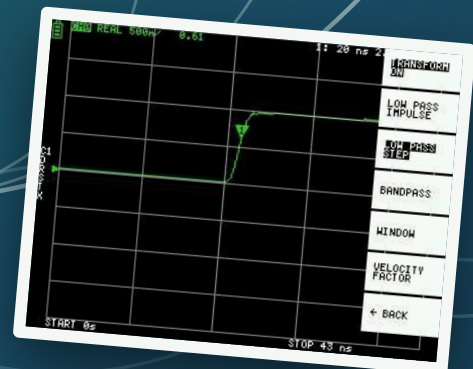
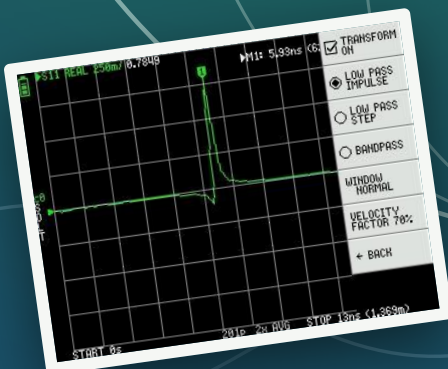
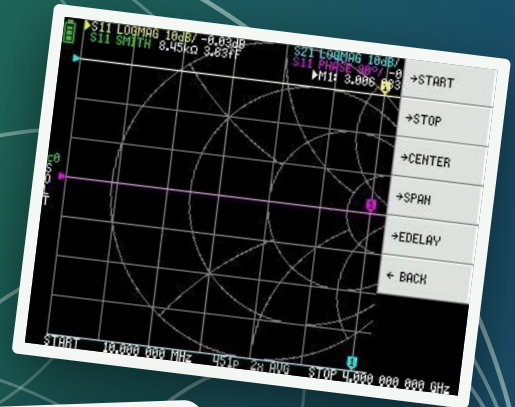


L I T E V N A

praktisk kurs

Kalibrering · matching · filtre · TDR · krystaller



LiteVNA — praktisk kurs

Måleoppgaver med detaljert fremgangsmåte, tilpasset LiteVNA-familien med Dislrd/LiteVNA-firmware.

UTSTYR OG FIRMWARE FORUTSATT I DETTE KURSET

Enhet	LiteVNA (LiteVNA62 / LiteVNA64), SMA-hunnskntakter på begge porter
Firmware	Dislrd/LiteVNA-firmware (menystruktur som i brukerhåndboken for v1.2–v1.4, samme kodebase som DiSlrd/NanoVNA-D)
Frekvensområde	50 kHz – 6,3 GHz
Målepunkter	21–1001 punkter på enheten (opptil 65535 over USB)
Kalibreringssett	Open/Short/Load/Thru med hann -SMA (portene er hunn)

Hovedmenyen åpnes ved å trykke på jog-hjulet, eller ved å trykke et sted på skjermen som ikke er en markør. Den viser syv faste hovedpunkter:

- **DISPLAY** — trace-format, kanal (S11/S21), skala, tidsdomene (TRANSFORM)
- **MARKER** — velg/flytt markører, sett START/STOP/CENTER/SPAN/E-DELAY fra markør
- **STIMULUS** — START/STOP/CENTER/SPAN/CW FREQ, antall punkter (CFG SWEEP)
- **CALIBRATE** — RESET, kalibreringssekvens (OPEN/SHORT/LOAD/ISOLN/THRU/DONE), SAVE, CORRECTION
- **RECALL** — last inn lagret kalibrering/oppsett (slot 0–6, eller fra fil på SD-kort)
- **SD CARD** — lagre skjermbilde (BMP) eller måledata (S1P/S2P) på MicroSD
- **CONFIG** — berøringsskjermbildegkalibrering, lysstyrke, versjon, firmware-oppdatering

Tallinntasting skjer på et numerisk tastatur med enhetstaster **G** / **M** / **k** / **×1** som multipliserer og bekrefter verdien i samme trykk (f.eks. **1** **4** **M** = 14 MHz).

INNHold

1. Kalibrering — refleksjon (S11) og transmisjon (S21) **Enkel**
2. Måling av SWR på en antenne **Enkel**
3. Måling av kabeldemping (tap) **Enkel**
4. Identifisere en ukjent komponent **Enkel**
5. Karakteristisk impedans til en kabel (kvartbølge-resonans) **Enkel**
6. Matching av en antenne **Middels**
7. Bygge og måle en «dummy-antenne» ($5/8\lambda$ 20 m) **Middels**
8. Resonansfrekvens og Q-verdi for en trap **Middels**
9. Karakterisering av et filter **Middels**
10. Måling av L/C-komponent og egenresonans **Middels**
11. Måling av balun/common-mode drossel **Middels**
12. Kabellengde via fasemåling **Middels**
13. Kabellengde og forkortningsfaktor (innebygd TDR) **Kompleks**
14. Feilsøking og avstandsmåling med TDR **Kompleks**
15. Måling av krystallparametere (R_m , L_m , C_m , Q) **Kompleks**

Oppgave 1 — Kalibrering (refleksjon og transmisjon)

Enkel

Mål: Lære å kalibrere LiteVNA korrekt for både 1-ports refleksjonsmålinger (S_{11}) og 2-ports transmisjonsmålinger (S_{21}), slik at etterfølgende målinger blir nøyaktige.

UTSTYR

- LiteVNA (62/64), SMA-hunnskntakter
- Kalibreringssett: Open, Short, Load (hann-SMA)
- Thru-adapter/kabel for transmisjonskalibrering
- Ev. korte kvalitetskabler/adaptore som skal brukes videre i kurset

A. Forberedelser

1. Slå på LiteVNA og la den varme opp/stabilisere seg i 1–2 minutter (viktig for stabil oscillator og nøyaktig kalibrering).
2. Bestem frekvensområdet du skal jobbe med i resten av kurset (f.eks. 1–30 MHz for HF). Kalibreringen gjelder *kun* innenfor det området den ble utført i.
3. Åpne hovedmenyen og sett `STIMULUS → START` og `STIMULUS → STOP` (eller `CENTER / SPAN`), gjerne med litt margin utover det du faktisk trenger.
4. Sett antall målepunkter høyt for god oppløsning: `STIMULUS → CFG SWEEP`. LiteVNA støtter 21–1001 punkter på enheten — bruk gjerne 401–1001, avveid mot sveipehastighet.
5. Bestem hvor "referanseplanet" skal være — dvs. hvilket punkt i kabelen som skal regnes som "0". Bruk samme kabler/adaptore i kalibreringen som du skal bruke i selve målingen etterpå.

Viktig prinsipp

Kalibreringen fjerner feilbidrag fra kabler og adaptore *opp til* punktet der kalibreringsstandardene kobles til. Bytter du kabel eller adapter etter kalibrering, er den ugyldig. LiteVNA regner interpolerte kalibreringsverdier hvis du endrer frekvensområdet i ettertids, men dette er mindre nøyaktig enn å rekalkibrere.

B. Refleksjonskalibrering (S_{11}) — OSL

1. Åpne `CALIBRATE → RESET` for å nullstille eventuell tidligere kalibrering.
2. Åpne `CALIBRATE` på nytt for å starte selve kalibreringssekvensen (undermenyen viser nå OPEN/SHORT/LOAD/ISOLN/THRU/DONE).
3. Koble **Open**-standarden til port 1 (CH0). Trykk `OPEN` og vent til steget er fullført — markøren flytter seg automatisk til neste steg.
4. Koble **Short**-standarden til port 1. Trykk `SHORT` og vent til steget er fullført.
5. Koble **Load** (50 Ω)-standarden til port 1. Trykk `LOAD` og vent til steget er fullført.
6. La Load stå tilkoblet port 1 og trykk `ISOLN` (isolasjonsmåling — reduserer feil fra lekkasje mellom portene og er viktig for nøyaktig S_{21} senere).

7. Hvis du *kun* skal gjøre refleksjonsmålinger: trykk **DONE** nå og gå til del D.

C. Transmisjonskalibrering (S21) — legg til Thru

1. Koble port 1 og port 2 sammen med Thru-adapteren/kabelen.
2. Trykk **THRU** og vent til steget er fullført.
3. Trykk **DONE** for å beregne og aktivere den fullstendige 2-ports kalibreringen.

D. Lagre og verifisere

1. Etter **DONE** dukker det opp en lagringsmeny — velg enten et minneslot (0–6, slot 0 lastes automatisk ved neste oppstart) eller lagre til fil på SD-kort med et selvvalgt filnavn. Filnavn på SD-kort er nyttig for å beskrive hva kalibreringen faktisk gjelder (f.eks. kabeltype eller måleoppsett), siden minneslottene bare viser start-/stoppprekvens. Noter/navngi tydelig hvilken lagring som gjelder for hvilket frekvensområde/oppsett.
2. Verifiser refleksjonskalibrering: koble Load til port 1 igjen. Sett **DISPLAY → FORMAT → SMITH** — punktet skal ligge samlet nær sentrum (50 Ω) over hele frekvensområdet.
3. Verifiser med Open/Short: punktene skal ligge helt ute i kanten av Smith-diagrammet (henholdsvis høyre og venstre side).
4. Verifiser transmisjonskalibrering: koble port 1 og port 2 sammen igjen med Thru. Sett **DISPLAY → CHANNEL → S21** og **DISPLAY → FORMAT → LOGMAG** — S21 skal nå vise ~0 dB flatt over hele båndet.
5. Senere i kurset: bruk **RECALL → RECALL n** for å hente tilbake riktig kalibreringsslot, eller **RECALL** fra SD-kort, for oppgaven du jobber med.

E. Flytte kalibreringsplanet (E-DELAY)

Skal du måle på en antenne via en lang mateledning, bør du helst kalibrere ved enden av kabelen (ved antennen). Er det upraktisk (f.eks. fastmontert kabel), kan du i stedet flytte referanseplanet elektronisk med **DISPLAY → SCALE → E-DELAY**.

Viktig: verdien du taster inn er *tid* (sekunder, med tastaturprefiks for n/p), ikke millimeter eller centimeter direkte — det finnes ingen egen distanse-inntasting for kalibreringsplanet. For S11 (refleksjon) er dette en **rundtur**-forsinkelse, siden signalet går fram og tilbake gjennom den ekstra kabelbiten:

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

der L er ønsket enveis forskyvning av referanseplanet (meter), VF er forkortningsfaktoren til kabelbiten, og c = 299 792 458 m/s. **Eksempel:** 15 mm ekstra RG58-kabel (VF = 0,66):

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

Tast da inn ca. **66p** (eller **0.066n**) i **E-DELAY**-feltet.

Praktisk snarvei (ofte mer nøyaktig enn en linjal-basert beregning, siden den kompenserer for faktisk elektrisk lengde i stedet for en antatt VF): koble en **OPEN** - eller **SHORT** -standard rett ved det nye ønskede planet, sett **DISPLAY → FORMAT → SMITH**, plasser en markør, og bruk **MARKER → OPERATIONS → E-DELAY** — dette setter automatisk E-DELAY slik at fasen ved markørfrekvensen nulles ut. Juster til hele kurven kollapser til ett punkt ute i kanten av Smith-diagrammet (rent resistiv/reaktansfri over hele båndet). Da har du kompensert nøyaktig for den faktiske elektriske lengden, uavhengig av unøyaktigheter i oppgitt VF eller konnektor-effekter.

Tips

CALIBRATE → CORRECTION lar deg midlertidig slå feilkorreksjon av/på for å sammenligne ukalibrert og kalibrert måling.

Oppgave 2 — Måling av SWR på en antenne

Enkel

Mål: Måle stående bølgeforhold (SWR/VSWR) på en antenne over ønsket frekvensbånd, og finne resonansfrekvensen.

UTSTYR

- LiteVNA, kalibrert for refleksjon (S11) i riktig frekvensområde (se Oppgave 1)
- Antennen som skal måles, med mateledning/kabel
- Ev. balun/unun hvis antennen krever det

1. Hent frem riktig kalibrering med `RECALL → RECALL n`, eller kalibrer på nytt for akkurat dette båndet med finere oppløsning (se Oppgave 1).
2. Koble antennens mateledning direkte til port 1 (CH0) på LiteVNA.
3. Sett `STIMULUS → START` / `STOP` til å dekke hele båndet av interesse, pluss litt margin på hver side (f.eks. $\pm 10\text{--}20\%$).
4. Sett `DISPLAY → CHANNEL → S11` og `DISPLAY → FORMAT → SWR`.
5. Juster skalaen på SWR-aksen via `DISPLAY → SCALE`, f.eks. 1–5 eller 1–10, slik at kurven blir lesbar.
6. Se etter dalpunktet (minimum) i SWR-kurven — dette er antennens resonansfrekvens.
7. Bruk `MARKER → SELECT MARKER` til å plassere ett punkt på båndkant nedre, ett på ønsket senterfrekvens, og ett på båndkant øvre. Les av SWR-verdien ved hvert punkt i statuslinjen øverst.
8. Sammenlign avlest SWR med akseptabel grense for formålet (typisk $\text{SWR} \leq 2:1$, ofte ønsket $\leq 1,5:1$).
9. Flytt om mulig antennen/testoppsettet (høyde, avstand til bakke/gjenstander) og gjenta målingen for å se hvor følsom resonansen er for omgivelsene.
10. Lagre resultatet via `SD CARD`-menyen: skjermbilde (BMP) og/eller måledata som S1P-fil for videre analyse i dataprogram (f.eks. NanoVNA-Saver eller NanoVNA-App).

Fallgrube: lang kabel

En lang og/eller tapsbelastet mateledning mellom LiteVNA og antenne kan "maskere" en dårlig SWR og vise et bedre tall enn det som faktisk finnes ved antennen. Mål så nært antennen som praktisk mulig, eller korreger for kabeltap/lengde (se Oppgave 3).

Tips

Hvis dalpunktet ligger utenfor ønsket bånd, betyr det at antennen bør kortes inn (dalpunkt for lavt i frekvens → forkort) eller forlenges (dalpunkt for høyt i frekvens → forleng) — se videre i Oppgave 6.

Oppgave 3 — Måling av kabeldemping (tap)

Enkel

Mål: Bestemme dempningen (tapet) i en koaksialkabel ved en gitt frekvens, for å vurdere om kabelen egner seg til formålet (f.eks. lang mateledning til en antenne).

UTSTYR

- LiteVNA, kalibrert for refleksjon (S11) og/eller transmisjon (S21)
- Kabelen som skal testes
- Kortslutning-standard, samt adaptere som passer kabelens kontakter

A. Enkel metode (1 port, åpen/kortsluttet ende)

1. Kalibrer LiteVNA for refleksjon (S11) ved kabelens nære ende.
2. Koble testkabelen til port 1 og la den fjerne enden være åpen eller kortsluttet.
3. Sett `DISPLAY → FORMAT → LOGMAG` og les av S11 i dB ved ønsket frekvens. Gjør gjerne målingen med både åpen og kortsluttet ende og bruk gjennomsnittet, for bedre nøyaktighet.
4. Beregn enveis-dempning: signalet går gjennom hele kabelen to ganger (inn og reflektert tilbake), så

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

5. Del på kabelens lengde i meter for å få dempning i dB/m, og sammenlign med databladet for kabeltypen.

B. Presis metode (2 port, thru-måling)

1. Kalibrer for transmisjon (S21) uten testkabelen (thru med korte adaptere direkte mellom port 1 og port 2), se Oppgave 1.
2. Sett testkabelen inn mellom port 1 og port 2.
3. Sett `DISPLAY → CHANNEL → S21`, `FORMAT → LOGMAG` og les av S21 direkte i dB — dette er den totale dempningen gjennom hele kabelens lengde ved denne frekvensen.
4. Del på lengden for dB/m og sammenlign med metode A og databladet.

Fallgruve

Metode A kan gi støy/ripple i korte kabler fordi direkte og reflekterte signaler interfererer — bruk gjennomsnitt over et lite frekvensvindu ved behov. Sørg også for at kontaktene er rene og godt skrudd til; dårlig kontakt gir ekstra, falsk demping.

Oppgave 4 — Identifisere en ukjent komponent

Enkel

Mål: Avgjøre om en ukjent, umerket komponent er en motstand, spole eller kondensator, og anslå en omtrentlig verdi — kun ved å se på hvordan reaktansen oppfører seg med frekvensen.

UTSTYR

- LiteVNA, kalibrert for refleksjon (S11)
- Enkel testjigg/adapter for å koble en komponent som shunt mot jord på port 1 (som i Oppgave 10)
- Noen ukjente/umerkede komponenter (motstand, spole, kondensator)

1. Kalibrer **CALIBRATE** for S11.
2. Koble komponenten inn som shunt mot jord på port 1.
3. Sett **DISPLAY → FORMAT → REACTANCE** som aktiv trace, gjerne med **RESISTANCE** på en ekstra trace.
4. Sett et bredt frekvensområde (f.eks. 1–30 MHz for HF-komponenter).
5. Se på hvordan reaktansen X oppfører seg:
 - $X \approx 0$ over hele båndet, R tilnærmet konstant → **motstand**
 - X positiv og øker med frekvensen → **spole**
 - X negativ og blir mer negativ (avtar) med frekvensen → **kondensator**
6. Bekreft med to markører ved ulike frekvenser f_1 og f_2 (f.eks. med $f_2 = 2 \cdot f_1$): dobler $|X|$ seg omtrent når frekvensen dobles, er komponenten induktiv ($X \propto f$); halveres $|X|$ omtrent når frekvensen dobles, er den kapazitiv ($X \propto 1/f$).
7. Beregn en omtrentlig komponentverdi ut fra avlest X ved én av frekvensene:

$$\text{Spole: } L = X / (2\pi f)$$

$$\text{Kondensator: } C = 1 / (2\pi f \cdot |X|)$$

8. Sammenlign med evt. fargekode eller påtrykt verdi på komponenten, hvis tilgjengelig, som fasit.

Tips

Tilpass frekvensområdet til komponentstørrelsen: en liten kondensator (noen få pF) kan se nesten "åpen" (svært høy $|X|$) ut i hele HF-området, mens en stor spole (mange μH) kan se nesten kortsluttet ut ved lave frekvenser. Utvid frekvensområdet oppover hvis reaktansen virker mistenkelig konstant nær et ytterpunkt.

Fallgruve

Nær egenresonansfrekvensen (SRF) bytter både spoler og kondensatorer tilsynelatende "type" (se Oppgave 10 for hvorfor) — gjør denne testen ved en frekvens godt under forventet SRF for et pålitelig resultat.

Oppgave 5 — Karakteristisk impedans til en kabel (kvartbølge-resonans)

Enkel

Mål: Bestemme en kabels karakteristiske impedans (Z_0) — nyttig for å identifisere en ukjent/umerket kabeltype, eller verifisere at en kabel faktisk er $50\ \Omega$.

UTSTYR

- LiteVNA, kalibrert for refleksjon (S11)
- Kabelen som skal testes, med fri (åpen) ende

Bakgrunn

En åpen kabel oppfører seg som en ren reaktans som veksler mellom kapazitiv og induktiv med frekvensen. Ved kvartbølgelengde (og oddetalls multipler derav) blir kabelen resonant, og impedansen faller til et lokalt minimum — omtrent som en seriesvingekrets. På ekte (tapsbelastede) kabler går $|Z|$ ikke helt til null ved resonans, og verdien der er en god tilnærming til selve karakteristiske impedansen:

$$Z_0 \approx \sqrt{R^2 + X^2}$$

(målt ved resonansfrekvensen, der $|Z|$ er lavest).

1. Kalibrer **CALIBRATE** for S11.
2. Koble kabelen til port 1, la den andre enden være åpen.
3. Sett **DISPLAY → FORMAT → $|Z|$** (eller vis RESISTANCE og REACTANCE på hver sin trace).
4. Sett et bredt nok frekvensområde til å fange minst én tydelig kvartbølge-resonans — for en typisk 20–30 m kabel ligger den ofte et sted i HF-området; prøv f.eks. 1–30 MHz og se etter en tydelig dal i $|Z|$.
5. Finn frekvensen der $|Z|$ har et lokalt minimum.
6. Les av R og X ved denne frekvensen, og beregn: $Z_0 = \sqrt{R^2 + X^2}$
7. Sammenlign resultatet med kjente standardverdier — $50\ \Omega$ (RG-58, RG-213 og de fleste amatørradio-kabler) eller $75\ \Omega$ (RG-59, RG-6, TV-kabel) — for å identifisere kabeltypen.

Eksempel: avlest $R = 51\ \Omega$, $X = 8\ \Omega$ ved resonans:

$$Z_0 = \sqrt{(51^2 + 8^2)} = \sqrt{2665} \approx 51,6\ \Omega \rightarrow \text{sannsynligvis en } 50\ \Omega\text{-kabel}$$

Fallgruve

Dempning i kabelen gjør at $|Z|$ aldri går helt ned til den sanne Z_0 ved resonans — resultatet blir alltid en anelse for høyt, og avviket øker med kabelens lengde/tap og med resonansordenen. Bruk helst den *laveste* (første) resonansfrekvensen for best nøyaktighet, og forvent noen få ohm avvik fra den nominelle verdien.

Oppgave 6 — Matching av en antenne

Middels

Mål: Bruke LiteVNA til å finne antennens impedans, forstå avviket fra $50\ \Omega$, og justere/matche antennen slik at SWR blir akseptabelt på ønsket frekvens.

UTSTYR

- LiteVNA, kalibrert for refleksjon i aktuelt bånd
- Antennen som skal matches
- Verktøy for fysisk justering (kutte/forlenge radiator) og/eller komponenter til matchenettverk (variabel kondensator, spole, evt. antennetuner)

1. Kalibrer LiteVNA for refleksjon (S11) i frekvensområdet rundt ønsket driftsfrekvens (se Oppgave 1).
2. Koble antennen til port 1. Sett to traces: `DISPLAY → TRACES → TRACE 0` med `FORMAT → SMITH`, og `TRACE 1` med `FORMAT → SWR`, begge på kanal S11.
3. Plasser en markør på ønsket driftsfrekvens. Les av impedansen direkte som resistans og reaktans ved å bytte aktiv trace til `FORMAT → RESISTANCE` og `FORMAT → REACTANCE` (ohm per divisjon, vist tallverdi i statuslinjen for aktiv markør).
4. Tolk resultatet:
 - Positiv reaktans (+jX, induktiv) → antennen er elektrisk for lang
 - Negativ reaktans (-jX, kapasitiv) → antennen er elektrisk for kort
 - R langt fra $50\ \Omega$ → strålingsmotstanden/oppsettet i seg selv gir mismatch (høyde over bakke, jordplan, matepunkt osv.)
5. Enkleste tiltak — fysisk lengdejustering:
 - Er antennen for lang (induktiv): kutt litt av radiatoren (noen cm av gangen) og mål på nytt.
 - Er antennen for kort (kapasitiv): forleng radiatoren og mål på nytt.
 - Gjenta i små steg — impedansen kan endre seg raskt per cm, spesielt på høyere bånd.
6. Hvis fysisk justering ikke er mulig eller ikke er nok, bruk et matchenettverk (L-ledd) mellom sender/kabel og antenne:
 - Bruk Smith-diagrammet til å bestemme om du trenger en seriekomponent (spole/kondensator) og en parallellkomponent for å "bevege" impedanspunktet inn mot sentrum ($50\ \Omega$).
 - Sett inn en variabel kondensator og/eller spole (eller en antennetuner) i signalveien.
7. Juster komponentene mens du overvåker SWR/Smith-diagram i sanntid, til impedanspunktet ligger nærmest mulig sentrum av Smith-diagrammet ved driftsfrekvensen.
8. Kontroller SWR over *hele* båndet etter matching — en god matching i ett punkt kan gi smalere båndbredde enn ønsket.
9. Dokumenter de endelige komponentverdiene (eller den fysiske lengden) for antennen, slik at oppsettet er reproduuserbart.
10. Vær oppmerksom på at et matchenettverk kan introdusere tap, spesielt med komponenter med lav Q — en fysisk korrekt lengde er alltid å foretrekke der det er praktisk mulig.

Bonus: beregn L-nettverket analytisk (i stedet for ren prøving)

Trinn 6 over kan gjøres raskere ved å regne ut start-komponentverdiene på forhånd, i stedet for å gå rett på prøving med en variabel kondensator/spole. Fremgangsmåte, med R og X avlest fra trinn 3:

1. Nøytraliser først reaktansen X med en seriekomponent av motsatt fortegn, slik at det som er igjen er en ren resistans R:

- X positiv (induktiv): seriekondensator med $X_C = X$

- X negativ (kapasitiv): seriespole med $X_L = |X|$

2. Beregn deretter L-leddet som skal transformere den gjenværende resistansen R til 50 Ω. Lavpass-varianten (seriespole + parallellkondensator) er normalt å foretrekke, siden den også demper harmoniske/støy:

$$Q = \sqrt{(Z_{\text{høy}} / Z_{\text{lav}} - 1)}$$

der $Z_{\text{høy}}$ er den største av R og 50 Ω, og Z_{lav} er den minste. Seriespolen plasseres på lavimpedans-siden, parallellkondensatoren på høyimpedans-siden:

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

3. Regn om til komponentverdier ved driftsfrekvensen f: $L = X_L / (2\pi f)$ og $C = 1 / (2\pi f \cdot X_C)$.

4. Bruk disse verdiene som utgangspunkt i trinn 6–7 over — finjuster deretter mens du overvåker Smith-diagrammet, siden avlest R/X og reelle komponentverdier alltid har litt avvik fra det ideelle.

Eksempel: antenne med $R = 25 \Omega$, $X \approx 0$ (allerede resonant) ved 14,2 MHz. $Z_{\text{høy}} = 50 \Omega$, $Z_{\text{lav}} = 25 \Omega$:

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

Tips

LiteVNA sveiper kontinuerlig i normal drift, så du ser endringen i sanntid mens du dreier på en variabel kondensator/spole. Bruk **PAUSE SWEEP** (avkrysningsboks nederst i hovedmenyen) hvis du vil fryse et bilde for avlesning.

Oppgave 7 — Bygge og måle en «dummy-antenne» (5/8λ 20 m) for matchingøvelse

Middels

Mål: Bygge en kompakt, reproduserbar kunstbelastning (DUT — Device Under Test) som ved 14,2 MHz presenterer omtrent samme komplekse impedans som fødepunktet på en 5/8λ vertikalantenne for 20 m-båndet, måle den med LiteVNA, og bruke den som fast testobjekt for matchenettverk-design (jf. Oppgave 6) — helt uten å måtte bygge en 13 m høy antenne.

UTSTYR

- LiteVNA, kalibrert for refleksjon (S11) rundt 14 MHz
- SMA-hannkontakt beregnet for direkte lodding (ikke kabelmontert), siden LiteVNAs porter er hunn
- Én ikke-induktiv SMD-motstand (karbon-/tykkfilm, 0603/0805), ca. 47–56 Ω
- Én liten luftkjerne- eller lavtapsspole, ca. 2,2–3,3 μH (egenviklet eller fastverdi-drossel med lav egenkapasitans)
- Loddeutstyr, ev. tynn kobbertråd til egenvikling av spolen
- Valgfritt: et lite metallhus (f.eks. kobberrørstykke eller diecast-boks) til mekanisk beskyttelse/skjerming

Bakgrunn

En 5/8λ (0,625λ) vertikal er lengre enn en resonant kvartbølge og ligger derfor ikke i resonans i seg selv — fødepunktet har typisk $R \approx 40\text{--}60\ \Omega$ og en betydelig induktiv reaktans, ofte oppgitt til $X \approx +200$ til $+300\ \Omega$ i litteraturen. Dette er nettopp hvorfor kommersielle 5/8λ-vertikaler har en matche-/faseskiftespole ved foten. Denne DUT-en simulerer nettopp denne typen fødepunktsimpedans med en enkel seriekrets av én motstand og én spole.

A. Beregn målimpedans og komponentverdier

1. Bestem designfrekvens, f.eks. **14,20 MHz** (midt i den delen av 20 m-båndet du er interessert i).
2. Bruk en representativ litteraturverdi for fødepunktet til en 5/8λ vertikal over godt jordplan som mål: **$R \approx 50\ \Omega$, $X \approx +250\ \Omega$** (induktiv).
3. Beregn nødvendig induktans for ønsket reaktans ved designfrekvensen:

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

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

4. Velg nærmeste oppnåelige komponentverdier, f.eks. $R = 50\ \Omega$ (eller nærmeste E12-verdi, 47 Ω/56 Ω) og $L \approx 2,7\text{--}3,3\ \mu\text{H}$.

Ønsket reaktans X	Nødvendig L ved 14,2 MHz
+200 Ω	≈ 2,2 μH
+250 Ω	≈ 2,8 μH

+300 Ω

$\approx 3,4 \mu\text{H}$

Fallgrube: dette er en tommelfingerverdi, ikke en spesifikasjon

Den faktiske fødepunktsimpedansen til en ekte $5/8\lambda$ -vertikal avhenger sterkt av jordplan/radialer, mastdiameter og monteringshøyde. Verdiene over er representative litteraturtall (tilsvarende typen tall du finner i ARRL Antenna Book), ikke en verifisert måling for en konkret antenne. Trenger du et presist tall for din egen geometri, bør du modellere antennen i et NEC-basert program (f.eks. 4NEC2) fremfor å stole på denne tabellen.

B. Bygge DUT-en (Device Under Test)

SMA senterpinne —[R]—[L]— SMA skjerm/flens (jord)
(kort, rett seriekjede – ingen løkker)

1. Bruk en SMA-hannkontakt der senterpinnen er fritt tilgjengelig for direkte lodding (ikke en ferdig kabelmontert kontakt).
2. Lodd motstanden direkte på senterpinnen, med kortest mulig loddetråd — helst under 3 mm fra pinnetupp til motstandens ben. Dette er R-leddet i seriekjeden.
3. Lodd spolen i serie rett etter motstanden, og avslutt den andre spoleenden direkte på kontaktens skjerm/flens (jord), også med kortest mulig avstand.
4. Sørg for at hele R–L-kjeden danner en rett, kort «bro» mellom senterpinne og skjerm — unngå løkker eller bøyde, lange ledningsstumper, siden disse gir ekstra parasittisk induktans/kapasitans som forskyver DUT-ens impedans bort fra beregnet verdi.
5. Monter gjerne oppkoblingen inne i et lite metallhus rundt SMA-kontakten (f.eks. et kort stykke kobberrør eller en liten diecast-boks) — dette gir mekanisk beskyttelse og hindrer at hånden din detunerer målingen når du holder i DUT-en.
6. Merk DUT-en tydelig med komponentverdier og designfrekvens, f.eks. $R=50\Omega$, $L=2,8\mu\text{H} \rightarrow 14,20 \text{ MHz}$, $5/8\lambda$ -20m dummy, slik at den er gjenbrukbar senere uten at du må måle den på nytt for å huske hva den simulerer.

C. Måle DUT-en med LiteVNA

1. Kalibrer **CALIBRATE** for S11 med et span som dekker minst 13–15 MHz og høy punkttetthet (se Oppgave 1).
2. Koble DUT-en **direkte** til port 1 — unngå ekstra adaptere/kabler der det er mulig, siden de flytter referanseplanet vekk fra komponentene og introduserer feil.
3. Sett opp to traces: **DISPLAY → FORMAT → RESISTANCE** og **DISPLAY → FORMAT → REACTANCE**, begge på S11.
4. Plasser en markør på 14,20 MHz og les av R og X i statuslinjen.
5. Sammenlign med målverdien fra del A ($R \approx 50 \Omega$, $X \approx +250 \Omega$). Mindre avvik er normalt pga. komponenttoleranser og SMA-kontaktens egen parasittiske induktans.
6. Fintrim ved behov: juster spolens antall vendinger (endrer L, dermed X) eller bytt til nærmeste standard-motstandsverdi (endrer R), og mål på nytt til DUT-en treffer ønsket impedans nøyaktig nok for formålet.

D. Bruk DUT-en i matchingøvelse

1. Bruk denne DUT-en direkte som testobjekt i fremgangsmåten fra Oppgave 6, for å designe et L-nettverk som transformerer impedansen til $50\ \Omega$ rent resistivt ved 14,20 MHz.
2. Fordelen fremfor en ekte antenne: DUT-en er en fast, kjent og værsikker last — du kan gjenta matchingøvelsen identisk så mange ganger du vil, innendørs.
3. Sammenlign matchenettverket du finner eksperimentelt med Smith-diagrammet, som en kontroll på egen forståelse av transformasjonen.

Tips: andre antennetyper

Samme prinsipp kan brukes til å bygge dummy-laster for andre antenner/bånd. Er ønsket reaktans kapazitiv (typisk for en elektrisk kort antenne), bytt spolen ut med en seriekondensator (

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

). Ønsker du en ren resistiv dummy-last uten reaktans (f.eks. for en resonant

kvartbølge-vertikal, $R \approx 36\ \Omega$), er det nok med en enkelt ikke-induktiv motstand.

Fallgrube: kun gyldig ved designfrekvensen

DUT-en simulerer antennens impedans korrekt kun i et smalt frekvensvindu rundt designfrekvensen. En enkel seriekrets av R og L har en annen frekvensavhengighet enn en ekte antennes reaktans, så ikke bruk denne DUT-en til å studere SWR-kurveform eller båndbredde — kun til å øve på punktimpedans-matching ved én bestemt frekvens.

Oppgave 8 — Resonansfrekvens og Q-verdi for en trap (80 m/60 m)

Middels

Mål: Måle en frittstående trap (parallell LC-krets brukt i "trap"-antennner) for å bestemme dens resonansfrekvens og Q-verdi, før den monteres i antennen.

UTSTYR

- LiteVNA, kalibrert for transmisjon (S21) — se Oppgave 1
- Metode A: en enkel testfixtur/jigg: to korte kabler/adaptore fra port 1 og port 2 som møtes i et punkt der trappen kan kobles inn i serie med signallederen, med skjermen (jord) koblet gjennom kontinuerlig
- Metode B: to små koblingsspoler (ca. 2 vindinger, omtrent samme diameter som trappen selv) koblet til kabel/adapter fra henholdsvis port 1 og port 2, samt en enkel anordning i treverk (eller annet ikke-ledende materiale med liten innvirkning på målingen) for å holde trap og spoler i fast, løs avstand fra hverandre
- Trappen(e) som skal testes (f.eks. for 80 m og 60 m)

Bakgrunn

En trap er en parallell LC-krets. Ved sin resonansfrekvens har den svært høy impedans (nesten åpen krets) og "kutter av" resten av antennen elektrisk, slik at kun den innerste delen er aktiv. Satt direkte i serie i en transmisjonsmåling (S21, Metode A) vil trappen derfor gi en tydelig demping ("dip") i S21 nettopp ved resonansfrekvensen. Kobles trappen i stedet induktivt/løst til begge porter (Metode B), oppfører den seg som et løst koblet båndpassfilter og gir i stedet en tydelig

topp

i S21 ved resonans.

Metode A: Direkte serietest (trappen belastet)

1. Bygg/koble til testjiggen slik at trappen kan seriekobles rett inn i signalveien mellom port 1 og port 2, med kort og konsistent jordforbindelse.
2. Gjør en **thru-kalibrering** (S21) med testjiggen *uten* trap innsatt (evt. med en rett ledningsbit i stedet), slik at riggens eget tap og evt. lekkasje nulles ut. Bruk gjerne også en OSL-refleksjonskalibrering samtidig (se Oppgave 1).
3. Sett frekvensområdet bredt nok til å fange forventet resonans, f.eks. 3,0–5,5 MHz for å dekke både en 80 m- og en 60 m-trap.
4. Sett antall målepunkter høyt (`STIMULUS → CFG SWEEP`) for god oppløsning rundt selve resonansdippen.
5. Sett inn trappen i testjiggen (seriekoblet i signalveien, jord gjennomgående).
6. Sett `DISPLAY → CHANNEL → S21` og `DISPLAY → FORMAT → LOGMAG`, finn frekvensen med størst demping — dette er trappens parallelle resonansfrekvens f_0 .
7. Noter dempingen ved dippens bunn (i dB).
8. Bruk markører til å finne -3 dB-punktene *relativt til dippens bunnverdi* (ikke relativt til 0 dB) på hver side av resonansen: nedre frekvens f_1 og øvre frekvens f_2 .

9. Beregn Q-verdien med formelen: $Q = f_0 / (f_2 - f_1)$

10. **Snarvei:** i stedet for å finne -3 dB-punktene og beregne Q manuelt (de to trinnene over), kan du bruke **MEASURE → FILTER (S21)** i hovedmenyen — LiteVNA finner da automatisk f_0 , -3 dB/-6 dB-båndbredden og Q, og viser dem direkte på skjermen.
11. Sammenlign f_0 med ønsket design-frekvens for trappen. Er f_0 for lav: reduser induktans/kapasitans (færre vindinger eller mindre kondensator). Er f_0 for høy: øk induktans/kapasitans. Mål på nytt etter justering, og gjenta for hver trap som skal brukes.

Metode B: Løst koblet måling (trappen ubelastet)

Vi bruker for så vidt samme måleprinsipp som i Metode A. Forskjellen er imidlertid at vi kobler en liten spole (2 vindinger, med omtrentlig diameter som trappen) til på port 1 og port 2. Vi ønsker et måleoppsett hvor trappen ikke belastes, slik at vi kan måle trapens Q-verdi uten særlig belastning fra selve måleoppsettet. Det hele henges opp i en anordning laget i treverk som har liten innvirkning på målingen.

1. Lag de to koblingsspolene (ca. 2 vindinger hver, omtrent samme diameter som trappen) og koble dem til kabel/adapter fra henholdsvis port 1 og port 2.
2. Monter trappen og de to koblingsspolene i treverksanordningen, slik at de holdes i fast, men *løs* avstand fra hverandre — ingen galvanisk kontakt, kun induktiv kobling. Jo løsere kobling, jo mindre belaster oppsettet trappens egen Q, men jo svakere blir også signalet gjennom.
3. Gjør en **thru-kalibrering** (S21) med spolene i oppsettet, men uten trap til stede (eller med trappen langt nok unna at koblingen er neglisjerbar), slik at oppsettets eget bidrag nulles ut.
4. Sett frekvensområdet og antall målepunkter som i Metode A.
5. Sett trappen på plass i treverksanordningen mellom spolene.
6. Sett **DISPLAY → CHANNEL → S21** og **DISPLAY → FORMAT → LOGMAG**. Du vil nå se en tydelig **topp** i S21 ved trappens resonansfrekvens (motsatt av dalen i Metode A), siden trap og spoler nå danner et løst koblet resonanskretsfilter.
7. Bruk samme menyvalg som i Metode A, **MEASURE → FILTER (S21)**, for å la LiteVNA automatisk finne toppen, -3 dB/-6 dB-båndbredden og Q.
8. Sammenlign Q-verdien med resultatet fra Metode A — Metode B gir normalt en høyere (mer realistisk) Q, siden trappen belastes mindre av selve måleoppsettet.

Bonus

DISPLAY → TRANSFORM → BANDPASS (tidsdomene) kan vise impulsresponsen til trappen som et supplement — nyttig for å se om det er ekstra resonanser fra testjiggen.

Fallgruve

Testjiggen egen parasittiske kapasitans/induktans og kabling kan forskyve målt f_0 i forhold til hvordan trappen oppfører seg montert i selve antennen. Bruk kortest mulig og mest mulig konsistent oppkobling. I Metode B: for tett kobling belaster trappen (gir for lav Q og forskjøvet f_0 , som i Metode A), mens for løs kobling gir svakt signal og mer støy i avlesningen — søk en fornuftig mellomting.

Oppgave 9 — Karakterisering av et filter

Middels

Mål: Måle innsettingstap, grensefrekvens(er), sperrebåndsdemping og eventuell rippel for et lavpass-, høypass- eller båndpassfilter.

UTSTYR

- LiteVNA, kalibrert for transmisjon (S21) og refleksjon (S11)
- Filteret som skal testes

1. Kalibrer thru (S21) og OSL (S11) over et bredt frekvensområde som dekker både passbånd og sperrebånd godt utenfor filterets forventede grensefrekvenser (se Oppgave 1).
2. Sett filteret inn i signalveien mellom port 1 og port 2.
3. Vis `DISPLAY → CHANNEL → S21`, `FORMAT → LOGMAG` på én trace, og S11 (`SMITH` eller `LOGMAG`) på en annen.
4. Identifiser passbåndet (lavt tap, typisk nær 0 dB) og sperrebåndet (høyt tap).
5. Bruk markør til å finne -3 dB-grensefrekvensen(e) — der S21 har falt 3 dB fra passbåndsnivået.
6. For båndpass-/sperrefilter: finn både øvre og nedre grensefrekvens, beregn båndbredde og eventuelt Q som i Oppgave 8.
7. **Snarvei:** i stedet for å gjøre trinnene over manuelt, kan du bruke `MEASURE → FILTER (S21)` i hovedmenyen. LiteVNA gjenkjenner da selv om filteret er lavpass, høypass, båndpass eller sperrefilter, og beregner automatisk Q-verdi, -3 dB- og -6 dB-punktene (med tilhørende frekvenser), samt tap i passbånd og sperrebånd.
8. Noter demping i sperrebåndet ved spesifikke frekvenser av interesse (f.eks. harmoniske eller naboband som skal undertrykkes).
9. Sjekk return loss (S11) i passbåndet — høy return loss (lav S11) indikerer god tilpasning; kraftig rippel kan indikere feil terminering eller skade i filteret.
10. Sammenlign resultatene med databladets spesifikasjon hvis tilgjengelig.

Bonus

`DISPLAY → TRANSFORM → BANDPASS` (tidsdomene, format LINEAR/LOGMAG/SWR) simulerer filterets respons på en impulssignal og kan gi et raskt visuelt inntrykk av gruppeforsinkelse/ringing i filteret.

Tips

Mange kompakte filtre er følsomme for kildeimpedans. Bruk korte, godt tilpassede kabler mellom LiteVNA og filteret for å unngå ekstra rippel i målingen som ikke skyldes filteret selv.

Oppgave 10 — Måling av L/C-komponent og egenresonans

Middels

Mål: Bestemme den faktiske induktansen eller kapasitansen til en komponent, og finne dens egenresonansfrekvens (SRF) — viktig kunnskap før komponenten brukes ved HF/VHF.

UTSTYR

- LiteVNA, kalibrert for refleksjon (S11)
- Komponent som skal testes (spole eller kondensator)
- Enkel testfixtur med kort, konsistent oppkobling

1. Kalibrer LiteVNA for refleksjon med referanseplanet så nært komponentens tilkoblingspunkt som mulig.
2. Koble komponenten inn som shunt mot jord på port 1 (eller i serie i et to-ports oppsett med S21, som i Oppgave 8).
3. Sett et frekvensområde som dekker forventet driftsfrekvens, men ikke helt opp mot forventet egenresonans ennå.
4. Sett **DISPLAY → FORMAT → REACTANCE** for å lese reaktansen X direkte i ohm — vis gjerne en ekstra trace med **FORMAT → RESISTANCE** for tpskomponenten R.
5. Plasser markøren ved en frekvens godt under forventet SRF, der komponenten fortsatt oppfører seg "rent" induktiv/kapazitiv (fasevinkelen til Z bør ligge nær $\pm 90^\circ$, se snarveien under), og les av X i statuslinjen for aktiv trace.
6. Beregn komponentverdien:
 - Spole: $L = X / (2\pi f)$
 - Kondensator: $C = 1 / (2\pi f \cdot |X|)$
7. **Snarvei:** i stedet for å beregne L/C manuelt fra X, kan du la LiteVNA gjøre det direkte. Sett **DISPLAY → FORMAT → SMITH**, trykk deretter på traceformatet en gang til for å få opp flere presentasjonsvalg, og velg **R+L/C** — markørverdien vises da direkte i μH eller pF, ferdig regnet ut. Les av verdien ved en frekvens der faseavlesningen (vis gjerne **Z PHASE** som ekstra trace) ligger nær $\pm 90^\circ$: det er nettopp kriteriet for at komponenten fortsatt oppfører seg "rent" reaktivt (tapsresistansen R er neglisjerbar i forhold til X); nærmere SRF vil fasen bevege seg bort fra 90° og L/C-avlesningen blir mindre pålitelig.
8. Utvid frekvensområdet oppover og flytt markøren mot der REACTANCE-kurven krysser null (skifter fortegn fra induktiv til kapazitiv for en spole, eller omvendt for en kondensator) — dette er komponentens egenresonansfrekvens (SRF). **Tips:** bruk gjerne **Z PHASE** som trace i stedet for/i tillegg til REACTANCE — fasen skifter fortegn (fra ca. $+90^\circ$ til ca. -90° , eller omvendt) nøyaktig ved SRF, samme informasjon som nullgjennomgangen i X, men fortegnsskiftet er ofte lettere å få øye på tydelig siden faseskalaen alltid går $\pm 180^\circ$ uansett hvor liten $|X|$ er akkurat der.
9. Vurder om komponenten er egnet for tiltenkt bruksfrekvens; den bør normalt ligge godt under SRF for forutsigbar oppførsel.

Tips

RF-drosler med mange vindinger kan ha overraskende lav SRF på grunn av viklingskapasitans — dette er spesielt viktig å sjekke for choker og drosselspoler brukt ved HF/VHF.

Fallgruve

Testfixturens egen parasittiske induktans/kapasitans påvirker målingen. Hold ledningene til komponenten så korte som mulig, og kalibrer så nær komponenten som mulig.

Oppgave 11 — Måling av balun/common-mode drossel

Middels

Mål: Måle common-mode-impedansen til en balun eller drossel over frekvens, for å bekrefte at den demper feedline-strømmer tilstrekkelig i det aktuelle båndet.

UTSTYR

- LiteVNA, kalibrert for transmisjon (S21)
- Balunen/drosselen som skal testes
- Testfixtur der begge ledere kortsluttes sammen i hver ende, for å tvinge fellesmodus-strøm gjennom kjernen

1. Bygg testfixturen slik at viklingen som skal fungere som common-mode drossel kobles i serie i signalveien mellom port 1 og port 2, med begge ledere (indre leder og skjerm, eller de to viklingsendene) kortsluttet sammen i hver ende.
2. Gjør en thru-kalibrering med fixturen uten drossel innsatt (bruk en rett kortslutning i stedet), slik at fixturens eget bidrag nulles ut.
3. Sett drosselen/balunen inn i fixturen.
4. Sett **DISPLAY → CHANNEL → S21**, **FORMAT → LOGMAG**, og mål S21 i dB over ønsket frekvensområde.
5. Beregn common-mode-impedansen med samme formel som brukes for en seriemotstand målt via innsettingstap i et 50 Ω-system (se også Oppgave 15):
$$Z = 2 \cdot 50 \, \Omega \cdot (10^{(-S21_{dB}/20)} - 1)$$

(Bruk negativ S21_{dB} slik at eksponenten blir positiv, siden S21 normalt måles som en negativ verdi.)
6. Sammenlign common-mode-impedansen med anbefalt minimumsverdi for formålet (tommelfingerregel: ≥ 500 Ω i HF-båndet for en effektiv balun/drossel).
7. Gjenta for flere kjernetyper/vindingstall hvis du sammenligner alternativer, og noter hvilken kombinasjon som gir best impedans i ønsket bånd.

Tips

Denne testen måler kun common-mode-egenskapen (choking impedance), ikke balunens evne til å transformere impedans i differensialmodus — dette er to separate egenskaper som bør vurderes hver for seg.

Fallgruve

Sørg for at kortslutningene i fixturen er korte og solide. Løse forbindelser gir ekstra tap/resonanser i målingen som ikke skyldes selve drosselen.

Oppgave 12 — Kabellengde via fasemåling

Middels

Mål: Bestemme den fysiske lengden av en kabel ved å måle hvordan refleksjonsfasen (S11 PHASE) endrer seg med frekvensen — en enklere, TDR-uavhengig metode som bruker vanlig frekvensdomene-måling i stedet for IFFT-basert tidsdomene (se Oppgave 13 for TDR-metoden og en kryssjekk mellom de to).

UTSTYR

- LiteVNA, kalibrert for refleksjon (S11)
- Kabelen som skal måles, med kjent forkortningsfaktor (VF)
- Åpen eller kortslutning i enden av kabelen (begge fungerer likt for denne metoden)

Bakgrunn

Refleksjonskoeffisienten ved kabelinngangen er:

$$\Gamma_{\text{inn}}(f) = \Gamma_{\text{last}} \cdot e^{-j \cdot 2\beta \cdot L}, \quad \beta = 2\pi f / (c \cdot VF)$$

Fasen til Γ_{inn} avtar lineært med frekvensen f . Går fasen fra -90° til $+90^\circ$ (gjennom wrap-punktet ved $\pm 180^\circ$ på en vanlig faseskala) har den rotert nøyaktig 180° — dette tilsvarer at kabelens *enveis* elektriske lengde har endret seg med nøyaktig en kvart bølgelengde ($\lambda/4$) over det frekvensspennet. Løser man for lengden:

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

der Δf er frekvensavstanden mellom punktet der fasen er -90° og punktet der den er $+90^\circ$, og $c = 299\,792\,458$ m/s. Fordelen med akkurat disse to punktene er at de er lette å lese av visuelt (kvart-skalastrekene på en $\pm 180^\circ$ -faseskala), og at bare *differansen* Δf teller — den absolutte fasereferansen fra kalibrering spiller ingen rolle.

1. Kalibrer **CALIBRATE** for S11.
2. Koble kabelen til port 1, og la den fjerne enden være åpen eller kortsluttet (noter hvilken — påvirker ikke beregningen, men er greit å vite for tolkning).
3. Sett **DISPLAY → FORMAT → PHASE** på S11.
4. Sett et bredt frekvensområde og se på faselinjen — den skal synke jevnt med økende frekvens og "wrappe" (hoppe fra -180° til $+180^\circ$) med jevne mellomrom. Smalne inn spennet rundt *ett* sammenhengende fall fra -90° til $+90^\circ$ (gjennom nærmeste wrap-punkt).
5. Plasser markør 1 nøyaktig der fasen er -90° , og noter frekvensen f_1 .
6. Plasser markør 2 der fasen (etter wrap) når $+90^\circ$, og noter frekvensen f_2 .

7. Beregn $\Delta f = f_2 - f_1$ og deretter kabellengden: $L = c \cdot VF / (4 \cdot \Delta f)$

8. Sammenlign med fysisk oppmålt lengde, eller kryssjekk mot resultatet fra TDR-metoden i Oppgave 13.

Eksempel: en RG58-kabel ($VF = 0,66$) med fysisk lengde 20 m skal gi:

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

Fallgruve

Sørg for at markør 1 og markør 2 er *nabo*-krysningspunkter (kun ett wrap-punkt mellom dem), ikke to punkter lenger fra hverandre i sveipet. Hopper du over en ekstra hel eller halv rotasjon ved en feiltakelse, blir Δf feil og L blir beregnet for kort. Denne metoden er dessuten enklere å bruke på korte til middels lange kabler, der det er lett å følge fasen visuelt gjennom kun én rotasjon — for svært lange kabler (mange raske wrap-sykluser) er TDR-metoden i Oppgave 13 mer robust.

Oppgave 13 — Kabellengde og forkortningsfaktor (innebygd TDR)

Kompleks

Mål: Bruke LiteVNAs innebygde tidsdomenefunksjon (TDR/DTF, beregnet med IFFT direkte på enheten) til å bestemme fysisk lengde og forkortningsfaktor (velocity factor, VF) på en kabel, eller finne avstanden til et brudd/en skade — helt uten PC-programvare. (Se Oppgave 12 for en enklere, fasebasert metode uten TDR — nyttig som rask kryssjekk.)

UTSTYR

- LiteVNA, kalibrert for refleksjon (S11)
- Kabelen som skal testes (kjent eller ukjent lengde/VF)

1. Kalibrer **CALIBRATE** for S11. Sett **STIMULUS → START** til nøyaktig **50 kHz** (påkrevd av firmware for lavpass-TDR) og **STOP** etter ønsket måleavstand — jo lavere stoppfrekvens/tettere punktavstand, jo lenger maks avstand; jo høyere stoppfrekvens, jo bedre romlig oppløsning.
2. Sett høyest mulig antall punkter (**STIMULUS → CFG SWEEP**, opptil 1001) for best oppløsning.
3. Koble testkabelen til port 1 og la den fjerne enden være åpen (gir ofte en tydelig topp) eller kortsluttet.
4. Åpne **DISPLAY → TRANSFORM → TRANSFORM ON**.
5. Velg **LOW PASS IMPULSE** (viser refleksjonen som en tydelig puls) eller **LOW PASS STEP**.
6. Sett trace-format til **REAL** (**DISPLAY → FORMAT → REAL**) — dette er formatet lavpassmodus skal vises i.
7. Sett forkortningsfaktoren under **DISPLAY → TRANSFORM → VELOCITY FACTOR**. Skriv inn tallet som heltall uten desimalpunkt (f.eks. **67** for $VF = 0,67$).
8. Er kabelens fysiske lengde **kjent**: juster VELOCITY FACTOR til markøren på refleksjonstoppen viser riktig avstand (avstanden vises sammen med tidsverdien i markørvisningen). Noter denne VF-verdien for senere bruk med samme kabeltype.
9. Er VF **kjent** (fra datablad) og du heller leter etter lengde eller en feil: les av avstanden direkte ved markøren på refleksjonstoppen — dette er avstanden til enden av kabelen, eller til en eventuell feil (brudd, kortslutning, fuktskade) hvis den ligger nærmere enn kabelens fysiske ende.
10. Bruk **WINDOW** (MINIMUM/NORMAL/MAXIMUM) til å avveie oppløsning mot støy: MINIMUM gir skarpest topp og høyest oppløsning, MAXIMUM demper støy/ringing best men gir bredere topp.
11. Tolkning: en skarp, tydelig topp betyr en brå diskontinuitet (åpen/kort/brudd). En gradvis endring i baseline før forventet endepunkt kan indikere fuktighet eller gradvis skade i kabelen. Kapasitiv/induktiv diskontinuitet underveis (f.eks. en dårlig skjøt) vises som et lite dropp/topp midt på linjen.

Beregning: stoppfrekvens for ønsket måleavstand

LiteVNA regner tidsdomenet ut fra frekvenssveipet med en invers FFT (IFFT). Frekvenstrinnet mellom målepunktene, Δf , bestemmer hvor stort det utvetydige tidsvinduet (og dermed maks avstand) er:

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

($F_{\text{start}} = 50 \text{ kHz}$ er neglisjerbar mot F_{stopp} , så spennet $\approx F_{\text{stopp}}$)

Det utvetydige tidsvinduet er $T = 1/\Delta f$. Refleksjonen går fram og tilbake i kabelen (rundtur), så maks entydige måleavstand D_{maks} (avstanden til kabelens ende eller en feil) blir:

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

Løser man med hensyn på stoppfrekvensen — for en ønsket måleavstand D_{maks} , antall punkter N (**STIMULUS** → **CFG SWEEP**) og forkortningsfaktor VF — får man:

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

der $c = 299\,792\,458 \text{ m/s}$. **Eksempel:** du vil måle en RG58-kabel ($VF = 0,66$) opp til 50 m, med $N = 1001$ punkter (LiteVNAs maks):

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

Merk at den romlige oppløsningen (minste avstand mellom to reflektorer du kan skille) bestemmes av hele frekvensspennet alene ($\approx F_{\text{stopp}}$), ikke av antall punkter:

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

Antall punkter N avgjør altså kun hvor mange oppløsningsceller som får plass innenfor D_{maks} ($D_{\text{maks}}/\Delta D = N - 1$): flere punkter gir ikke bedre oppløsning alene, men lar deg beholde god oppløsning samtidig med lang rekkevidde — uten flere punkter må F_{stopp} senkes for å nå langt, og oppløsningen blir dårligere i samme slag.

Gyldige måleverdier

Ifølge spesifikasjonstabellen i den offisielle LiteVNA-brukerhåndboken gjelder disse grensene for N og F_{stopp} i formlene over:

- **Antall punkter N :** 21–1001, justerbart på selve enheten (**STIMULUS** → **CFG SWEEP**). Over USB/PC-programvare kan opptil 65 535 punkter settes, men det er enhetens eget sveip (maks 1001) den innebygde TDR-transformasjonen bruker.
- **Frekvensområde:** 50 kHz – 6,3 GHz. F_{start} er fast 50 kHz i lavpass-TDR (trinn 1), og F_{stopp} kan ikke settes høyere enn 6,3 GHz.

Dette setter en praktisk øvre grense for hvor godt LiteVNA kan gjøre TDR: med maks punkter ($N=1001$) og maks stoppfrekvens ($F_{\text{stopp}}=6,3 \text{ GHz}$) er beste oppnåelige oppløsning for en $VF=0,66$ -kabel

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

men da er samtidig maks entydige måleavstand begrenset til

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

Skal du måle lengre kabler enn dette må F_{stopp} senkes tilsvarende (se formelen over), på bekostning av oppløsningen.

Bonus: lese av impedansen til hvert kabelsegment ved skjøter

Hvis du skjøter sammen flere kabeltyper med ulik karakteristisk impedans (f.eks. tre segmenter med tre forskjellige Z), kan TDR i prinsippet vise impedansen til hvert segment — men LiteVNA viser *ikke* ohm direkte i tidsdomenet. **REAL**-formatet som brukes i lavpassmodus (se trinn 6) viser reell del av refleksjonskoeffisienten Γ (verdi mellom -1 og $+1$) ved hvert punkt, og du må selv regne om til impedans.

1. Bruk **LOW PASS STEP** (ikke **IMPULSE**) — stepresponsen viser et flatt platå for hvert kabelsegment, med en overgang ved hver skjøt. **IMPULSE** viser bare en topp/bunn ved overgangene og egner seg dårligere til å lese av absolutte nivåer.
2. Les av platånivået (Γ) med markør midt på hvert flate platå — *ikke* i selve overgangen mellom platåene.
3. Første segment (kabel 1) er normalt 50Ω -kabel matchet til porten, så platået før første skjøt ligger på $\Gamma \approx 0$. Refleksjonskoeffisienten ved første skjøt, Γ_1 , er da rett og slett platånivået *etter* første overgang, ρ_1 :

$$\Gamma_1 = \rho_1$$

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

4. For skjøt nr. 2 (og senere) kan du **ikke** bruke platånivået ρ_2 direkte som Γ_2 — signalet har allerede mistet litt amplitude i transmisjon gjennom første skjøt (og igjen på vei tilbake). Riktig lokal refleksjonskoeffisient

ved skjøt 2 er:

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

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

5. Gjenta samme mønster (bruk forrige segments beregnede impedans som ny referanse Z_{n-1}) for eventuelle flere skjøter lenger ut på kableen.

Forbehold

Dette er en førsteordens ("single-bounce") tilnærming som ignorerer flerfoldige interne refleksjoner mellom skjøtene ("gjenferd"-refleksjoner). Den er nøyaktig nok når mismatchene er moderate og kableen har litt demping som demper sekundærrefleksjonene — typisk stemmer det greit for vanlige amatørradio-koaksialkabler. Profesjonelt TDR-utstyr bruker en dekonvolusjonsalgoritme for full nøyaktighet ved mange/store impedanssprang; det har verken LiteVNA eller denne enkle håndberegningen. Segmentene må også være lange nok til at platåene rekker å flate seg ut mellom skjøtene (se romlig oppløsning ΔD over) — for korte segmenter smelter overgangene sammen og kan ikke skilles.

Tips

Denne teknikken er nyttig for å verifisere lengden på ferdigkjøpte mateledninger, avdekke skjulte skjøter, eller lokalisere brudd i en gravd/skjult kabel uten å måtte grave den opp. Du kan også bruke NanoVNA-App eller NanoVNA-Saver på PC for et større display og innebygde VF-forvalg for vanlige kabeltyper, men selve TDR-beregningen skjer uansett i LiteVNA.

Fallgruve

START-frekvensen må være nøyaktig 50 kHz i lavpassmodus for at IFFT-beregningen skal bli korrekt. Husk at maks måleavstand og oppløsning står i et trade-off-forhold — bruk lavere frekvens for lengre avstand, høyere frekvens for finere oppløsning på korte avstander.

Oppgave 14 — Feilsøking og avstandsmåling med TDR

Kompleks

Mål: Bruke LiteVNAs innebygde TDR (som i Oppgave 13) til å identifisere typen feil/diskontinuitet i en kabel — kortslutning, brudd, feil impedans, eller en reaktiv komponent (spole/kondensator) — ut fra form og fortegn på refleksjonen, samt å lokalisere en forgrening (T-kobling) i en kabel.

UTSTYR

- LiteVNA, kalibrert for refleksjon (S11)
- En lengde koaksialkabel med kjent forkortningsfaktor (VF), koblet til port 1
- En enkel byttbar endeadapter/testjigg (som i Oppgave 10) for å teste ulike termineringer i enden av kabelen: kortslutning, åpen, en motstand $> 50 \Omega$ (f.eks. 150Ω), en motstand $< 50 \Omega$ (f.eks. $18\text{--}22 \Omega$), en kondensator (f.eks. $100\text{--}470 \text{ pF}$) og en spole (f.eks. $1\text{--}4,7 \mu\text{H}$)
- Et T-adapter (BNC/SMA) og en kort ekstra kabelstump, til del D (lokalisere en forgrening)
- Målebånd/tommestokk for å verifisere fysiske avstander mot TDR-avlesningen

A. Beregn stoppfrekvens for ønsket måleavstand og oppløsning

Som utledet i Oppgave 13:

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

der $c = 299\,792\,458 \text{ m/s}$, N er antall målepunkter og D_{maks} ønsket maks måleavstand i meter. Tabellen under gir konstanten $c \cdot (N - 1) / 2$ (i $\text{MHz} \cdot \text{m}$) for LiteVNAs vanligste punktantall, slik at $F_{\text{stopp}}(\text{MHz}) = \text{konstant} \cdot VF / D_{\text{maks}}(\text{m})$:

Antall punkter (N)	Formel for F_{stopp} (MHz)
101 punkter	$14\,990 \cdot VF / D_{\text{maks}}$
201 punkter	$29\,979 \cdot VF / D_{\text{maks}}$
401 punkter	$59\,958 \cdot VF / D_{\text{maks}}$
1001 punkter (LiteVNA maks)	$149\,896 \cdot VF / D_{\text{maks}}$

Husk at oppløsningen $\Delta D = c \cdot VF / (2 \cdot F_{\text{stopp}})$ kun avhenger av F_{stopp} (ikke N) — flere punkter gir ikke finere oppløsning alene, men lar deg nå lenger uten å måtte senke F_{stopp} (se Oppgave 13 for full utledning og "Gyldige måleverdier").

B. Sett opp målingen

1. Kalibrer **CALIBRATE** for S11. Sett **STIMULUS → START** til nøyaktig 50 kHz og **STOP** etter tabellen i del A, ut fra ønsket D_{maks} og kabelens VF.

2. Sett antall målepunkter (`STIMULUS` → `CFG` `SWEEP`) i tråd med valget i del A.
3. Koble hovedkabelen til port 1, med endeadapteren/testjiggen klar i den andre enden for rask bytte av terminering.
4. Åpne `DISPLAY` → `TRANSFORM` → `TRANSFORM ON` , velg `LOW PASS STEP` (klarest for å avlese nivå/retning på hver terminering), trace-format `REAL` , og sett `VELOCITY FACTOR` .
5. Mål kabelens fysiske lengde med målebånd/tommestokk — bruk dette som fasit å sammenligne markøravlesningen mot.

C. Test og tolk refleksjonssignaturene ved kabelenden

Bytt terminering i enden av kabelen og observer hvordan `LOW PASS STEP` -kurven oppfører seg ved refleksjonspunktet:

Terminering	Nivå i <code>LOW PASS STEP</code>	Utseende
Åpen ($\infty \Omega$)	+1	Hopper momentant til og blir stående i toppen
Kortslutning (0Ω)	-1	Hopper momentant til og blir stående i bunnen
Motstand $R > 50 \Omega$	mellom 0 og +1	Mindre positivt hopp enn åpen, flatt nivå (ingen tidsvarierende form)
Motstand $R < 50 \Omega$	mellom 0 og -1	Mindre negativt hopp enn kort, flatt nivå
Motstand $R = 50 \Omega$	0	Usynlig — matchet, ingen refleksjon å se
Kondensator (C)	starter ved -1, stiger mot +1	Hopper momentant ned til bunnen, gjenoppretter deretter <i>gradvis</i> oppover (kondensatoren "lades opp" — ser til slutt ut som åpen ved lav frekvens/lang tid)
Spole (L)	starter ved +1, synker mot -1	Hopper momentant til toppen, synker deretter <i>gradvis</i> nedover (spolen "bygger opp strøm" — ser til slutt ut som kortslutning ved lav frekvens/lang tid)

I `LOW PASS IMPULSE` vises det samme som ett spik i stedet for et nivåsprang: åpen/kort/R gir ett enkelt spik (positivt hhv. negativt), mens L og C gir et **tosidig** spik — et skarpt spik i én retning umiddelbart etterfulgt av et bredere, svakere spik i motsatt retning (positiv-så-negativ for spole, negativ-så-positiv for kondensator). Dette tosidige mønsteret er selve signaturen som skiller en reaktiv (frekvensavhengig) feil fra en enkel resistiv feil eller et rent brudd/kortslutning.

Bruk markøren til å lese av avstanden til refleksjonen ved hver terminering, og sammenlign med kabelens fysiske lengde fra del B.

Fallgruve

Disse fortegnene og formene gjelder når komponenten sitter

i enden

av kabelen (ren 1-ports test, som her og i Oppgave 10) — *ikke* nødvendigvis for en komponent satt inn midt på en linje som fortsetter videre (se del D under). Sørg også for at endeadapteren/testjiggen har kort, konsistent oppkobling; egen parasittisk induktans/kapasitans i adapteren kan forskyve signaturen, spesielt for R- og C-testene.

D. Lokaliser en forgrening (T-kobling) i kabelen

Koble inn T-adapteren midt på kabelen, med den korte kabelstumpen videre på den ene grenen (avslutt denne stumpen åpen eller kortsluttet som en kjent, fast referanse). La den tredje tilkoblingen på T-stykket stå åpen.

Bakgrunn

Et T-stykke er et 3-veis knutepunkt. Sett fra port 1 er impedansen man ser inn i T-et den *parallelle* kombinasjonen av stubbekabelens egen impedans ($50\ \Omega$, siden refleksjonen fra dens ende ennå ikke har rukket tilbake) og hva som er koblet til tredje tilkobling. En parallellkombinasjon kan aldri bli høyere enn den laveste av de to verdiene — derfor kan selve T-punktet *aldri* gi en positiv refleksjon når stubben er $50\ \Omega$ -matchet, kun null (usynlig, hvis tredje port er åpen) til negativ (mot -1 , hvis tredje port kortsluttes). Dette er også grunnen til at enkle, resistive T-splittere aldri er perfekt tilpasset alle tre porter samtidig — en nyttig praktisk lærdom for bruk av splittere i antenneanlegg.

1. Med tredje port åpen: se etter T-punktet i TDR-kurven. Det vil ofte være nesten usynlig (nær 0), siden en åpen tredje port ikke belaster knutepunktet nevneverdig.
2. Kortslutt tredje port: T-punktet vil nå vise en tydelig negativ refleksjon, siden knutepunktet nå trekkes mot $0\ \Omega$.
3. Uansett hva tredje port er satt til: se etter en *andre*, fast refleksjon lenger ute — dette er enden av den korte kabelstumpen (åpen eller kortsluttet, som satt opp innledningsvis). Bruk markør til å lese av avstanden til begge punktene, og sammenlign med fysisk oppmålte lengder.

Bonus

Skal du finne impedansen til flere skjøter/segmenter etter hverandre i en sammenskjøttet kabel (ikke en forgrening, men flere kabeltyper i serie), se Bonus-avsnittet i Oppgave 13 for fremgangsmåte og formler ($\Gamma_n = (\rho_n - \rho_{n-1}) / (1 - \rho_{n-1}^2)$, $Z_n = Z_{n-1} \cdot (1 + \Gamma_n) / (1 - \Gamma_n)$).

Oppgave 15 — Måling av krystallparametere (R_m , L_m , C_m , Q)

Kompleks

Mål: Bestemme en kvartskrystalls elektriske ekvivalentkrets — motional-resistans (R_m), -induktans (L_m), -kapasitans (C_m) og holderkapasitans (C_0) — samt serie-/parallellresonansfrekvens og Q -verdi. Nyttig ved bygging av krystallfiltre eller verifisering av krystaller før bruk i oscillatorer.

UTSTYR

- LiteVNA, kalibrert for refleksjon (S_{11}) og transmisjon (S_{21})
- Enkel to-ports testfixtur der krystallen kobles i serie i signalveien mellom port 1 og port 2 (som i Oppgave 8/11)
- Krystallen(e) som skal måles

Bakgrunn

En krystall modelleres elektrisk som en "motional"-gren (R_m i serie med L_m og C_m) parallelt med holderkapasitansen C_0 . L_m/C_m bestemmer seriefrekvensen f_s (lavest tap, høyest transmisjon). Litt høyere oppstår en parallellresonans f_p , der L_m/C_m i kombinasjon med C_0 gir svært høy impedans (dyp damping i S_{21}). Krystaller har typisk ekstremt høy Q (mange tusen).

A. Måle C_0 (holderkapasitans)

1. Koble krystallen direkte til port 1 som shunt mot jord (S_{11}) — ikke i serie-testjiggen ennå.
2. Sett frekvensområdet godt under krystallens spesifiserte frekvens (f.eks. en tidels dekode lavere), slik at de motional-egenskapene ikke påvirker målingen.
3. Sett `DISPLAY → FORMAT → REACTANCE`, les av X ved en lav frekvens f .
4. Beregn $C_0 = 1 / (2\pi f \cdot |X|)$ (samme fremgangsmåte som i Oppgave 10).

B. Finne serie- og parallellresonans (f_s og f_p)

1. Bygg testjiggen slik at krystallen sitter i serie i signalveien mellom port 1 og port 2, som i Oppgave 8.
2. Gjør en thru-kalibrering (S_{21}) med fixturen uten krystall (rett ledningsbit i stedet).
3. Sett et frekvensvindu rundt krystallens spesifiserte frekvens, typisk 50–150 kHz span, med høyest mulig antall målepunkter (`STIMULUS → CFG SWEEP`).
4. Sett inn krystallen i fixturen.
5. Vis to traces på kanal S_{21} : én med `FORMAT → LOGMAG` og én med `FORMAT → PHASE`.
6. f_s (serieresonans) er frekvensen med en tydelig **topp** i S_{21} (lavest tap), der fasen krysser 0° .

- f_p (parallellresonans) er en litt høyere frekvens med en tydelig **dipp** i S_{21} (høyt tap). Zoom inn (smalere span) rundt hvert punkt ved behov for bedre oppløsning.
- Noter f_s og f_p nøyaktig med markør.

C. Måle R_m (motional-resistans) ved f_s

- Reduser spennet til et smalt vindu rundt f_s (typisk 5–10 kHz).
- Les av S_{21} i dB nøyaktig ved f_s (der fasen er 0°) — kall verdien S_{21_s} .
- Beregn: $R_m = 2 \cdot R_L \cdot (10^{(-S_{21_s}/20)} - 1)$ der $R_L = 50 \Omega$ (bruk negativ S_{21_s} slik at eksponenten blir positiv, siden S_{21_s} normalt er negativ, f.eks. $-0,6$ dB).

D. Beregne C_m og L_m — to metoder for kryssjekk

D1. Serie-/parallellmetoden (fra det brede sveipet i del B):

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

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

(C_{stray} er testjiggens egen parasittiske kapasitans — sett til 0 som første tilnærming, eller mål separat med tom fixtur.)

D2. Faseskift-metoden (finere, fra det smale spennet rundt f_s i del C):

- Finn frekvensen f_L der fasen er $+45^\circ$ og f_H der fasen er -45° (f_s er der fasen er 0°).

$$\text{Beregn: } R_{\text{eff}} = 2 \cdot R_L + R_m \quad \text{og} \quad \Delta f = f_H - f_L$$

$$3. \quad C_m = \Delta f / (2\pi \cdot f_s^2 \cdot R_{\text{eff}})$$

$$4. \quad L_m = R_{\text{eff}} / (2\pi \cdot \Delta f)$$

E. Beregne Q

Bruk samme Δf som i D2 ($\pm 45^\circ$ -punktene), eller finn -3 dB-punktene i S_{21} relativt til toppen (som i Oppgave 8):

$$Q = f_s / \Delta f$$

Størrelse	Typisk verdi (eksempel, HC-49 ~18,7 MHz)
C0	$\approx 3,7\text{--}3,8 \text{ pF}$
Rm	$\approx 7 \Omega$
Cm	$\approx 14,5\text{--}15,3 \text{ fF}$
Lm	$\approx 4,7\text{--}5,0 \text{ mH}$
Q	≈ 5000

Tips

Sammenlign resultatene fra D1 og D2 — de bør stemme rimelig godt overens (eksempeltabellen over viser typisk spredning mellom metodene). Store avvik indikerer unøyaktig avlest f_s/f_p , for lav punkttetthet, eller for stor C_{stray} . Det finnes også en tredje metode ("G3UUR-metoden") som bruker en ekstern svitsjet oscillatorkrets og en frekvensteller i stedet for VNA — nyttig hvis du har slikt utstyr tilgjengelig, men krever ikke LiteVNA i det hele tatt for selve beregningen.

Fallgruve

Krystaller har ekstremt høy Q — bruk smalest mulig spenn og høyest mulig punktantall rundt f_s for pålitelig avlesning av fase og amplitude. Testjiggens egen parasittiske kapasitans/induktans kan forskyve C0 og Cm betydelig; hold oppkoblingen kort og mest mulig konsistent mellom kalibrering og måling.

Utarbeidet som kursmateriell for praktisk LiteVNA-opplæring (Dislord/LiteVNA-firmware). Fullstendig kurs, Oppgave 1–15.

© 2026 LA3FY