

# Mérések VNA-val – Improvizált mérések

Jánosy János Sebestyén hőfizikus mérnök, irányítástechnikai szakmérnök, HA5GN

Először tíz éve, 2007-ben számoltam be a VNA-ról [1]. Írtam arról 2013-ban, négy folytatásban, hogy mi mindenre sikerült már használnom [2]. Tavaly próbáltam három elérhető árut összehasonlítani [3]. Most egy sorozatban megpróbálom összeszedni a számomra legérdekesebb méréseket. Minden folytatás önállóan is olvasható. A harmadik, befejező rész a improvizált mérésekről szól.

Egy tanult szakember tudja, hogy hol, mikor, mit, hogyan és mivel kell mérni. Ha profi, akkor a cége valószínűleg ellátja a szükséges műszerparkkal. Az amatőr mind a teljes tudásnak, mind a lehetséges műszereknek híjával van, meglévő eszközei, leleményessége, kreativitása segítségével oldja meg feladatait. Olyan dolgokra vetemedik, amelyet egy szakember sohase tenne, de ha ötleteit siker koronázza, annál nagyobb az öröm – és találmányosságának mások is hasznát vehetik.

Improvizált mérésnek neveztem, mert azzal mérünk, ami a kezünkbe akad. Nagyon sok ilyen esetre emlékszem: levakolt huzalok nyomvonalának sérülésmentes keresése a falon Sokol rádióval, vagy passzívra kapcsolt GDO-val, a huzal szabad végére valamilyen oszcillátort akasztva. Antenna iránykarakterisztikájának mérése forgatással, a kert sarkába letett GDO-val (akkor pontos, ha a végfokkal mindig azonos térerőt érünk el a GDO-n, hiszen a kimenőteljesítmény precízebben mérhető). A GDO sok ilyen improvizációnak volt a főszereplője. A VNA még a GDO-nál is sokoldalúbb eszköz, egészen váratlan feladatokra is használható, fényes jövő vár rá az amatőr gyakorlatban.

## Beforrasztott elkők vizsgálata

Rádióamatőr fórumon fordult elő az igény. Egyre több a kapcsolóüzemű táp, ami ha rossz, elsősorban a teljesítményt kapcsoló félvezetők iránt merül fel gyanú, ezek szakadását, zárlatát beforrasztva is ki lehet deríteni, még ha égésnyomok nem látszanak is. A következő lépés az elkők vizsgálata. Még ha nincsenek is zárlatban, talán kapacitásuk is megvan, de ha soros ellenállásuk kicsit is megnő, alkalmatlanná válhatnak az impulzusüzemre. Egy kondenzátor valamennyi vesztesége jellemezhető soros dinamikus ellenállásával. A mérést ESR mérésnek hívják (Equivalent Serial Resistance). A fórumon kiderült, hogy erre van szervizműszer is: kb. 100 kHz-es frekvenciájú, 0,1 V effektív értékű vizsgálójellel mérik a beforrasztott kondi impedanciáját. A 100 kHz-es jel számára már a kisebb elektrolit kondenzátorok is gyakorlatilag rövidzárt jelentenek, a kondenzátoron fellépő feszültség majdnem teljesen a soros ellenállás rovására írható.

Tápegységekben az energiatároló kondikkal párhuzamosan nem szokott kis impedancia lenni, így áram csak a kondin keresztül folyik. Az alacsony

vizsgálójelnek köszönhetően a félvezetős átmenetek sem nyitnak ki, még ha germániumból volnának is (?!), arra sem folyhat áram. A ráadott feszültség hatására kialakuló áramot így csak a soros ellenállás korlátozza, az határozza meg. De hát ezt egy VNA-val is tökéletesen meg lehet mérni!

A korábbi cikkekben felsorolt három VNA közül csak a MetroVNA indul 1 MHz-en – ami elektrolitok számára már egy kicsit magas – a másik kettő számára a 100 kHz nem probléma. A legnagyobb teljesítménye a miniVNA vizsgáló oszcillátorának van, ez 0 dBm, azaz 1 mW. Ezzel sorosan van kötve egy 50 ohm, majd a vizsgált objektum, ami legyen akár 50 ohmos (ilyen soros ellenállású elkő már használhatatlan). Erre a külső ellenállásra esik a teljesítmény fele, és a rajta mérhető feszültség ekkor:

$$U = \sqrt{N \cdot R} = \sqrt{0,001 \cdot 50} = 0,223 \text{ V}$$

ami bőven a félvezetők nyitása alatt van, és ha az ellenállás (remélhetőleg) kisebb, a feszültség is kisebb lesz. Tehát beállítjuk a VNA-t, hogy vizsgáljon mondjuk 100 és 101 kHz között, és mérjen kétpólust. Egy régebbi előadásomból idemácsolom a mérési eredményeket:

Az irodalmi adatok szerint egy 22 µF-os alumínium elkő tipikus soros ellenállása (ha jó) 0,1...3 Ω közé esik, egy 100 µF-os elkőé 0,05...0,5 Ω közé. Ha az ellenállás ennél lényegesen magasabb, akkor a kondi hibás. Előkotortam néhány működés-

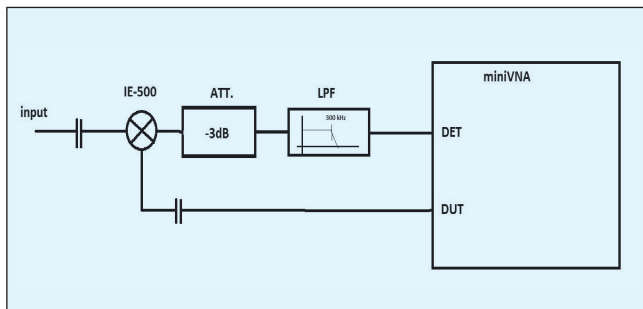
1. táblázat

Az elkő	A mért ESR, VNA-n „Rs”
5 db 4,7 µF 400 V	0,38 Ω, 0,81 Ω, 0,97 Ω, 1,30 Ω és 1,47 Ω – elfogadhatók
1 db 2,2 µF 400 V	0,63 Ω - rendben
1 db 10 µF 400 V	2,15 Ω – ez kicsit soknak tűnik, de még belefér
1 db 47 µF 400 V	0,81 Ω - rendben

képtelen takarékos izzó bontani eltett paneljét, és rámértem a VNA-val a beforrasztott kondenzátorokra. Összesen 5 db 4,7  $\mu\text{F}$ , 1–1 db 2,2  $\mu\text{F}$ , 10  $\mu\text{F}$ , 47  $\mu\text{F}$  kondit mértem meg, 100 kHz-en, a mérési eredmény a **táblázatban** található.

Ennél kisebb ellenállásokat már csak azért sem tudnék mérni, mert ebbe a nagyságrendbe esik már egy „mérőszinór” minőségű csatlakozás ellenállása. A mérések során még az is szép volt, hogy  $|Z|$ -re és  $R_s$ -re ugyanazt a (1. táblázatban) látható számot hozta ki,  $X_s$ -re pedig teljesen nullát, ami 100 kHz-en ekkora kondikra érhető is. Érdekes volna azt is megnézni, hogy az elkók „megformáltsága” hogyan hat erre az ellenállásra. A takarékos izzók nemrég még üzemben voltak, elkóiknak ilyen problémájuk nem lehet.

Előkotortam tehát a fiókból egy 1969-ben gyártott, sohasem használt 100  $\mu\text{F}$  50 V orosz elektrolit kondit. Ezeket korábban hangerősítő csövek katódjának „hidegítésére” használtuk, ugyanúgy, ahogy most az emitter ellenállást szoktuk blokkolni. Először 100 kHz-en mértem,  $X_s = 0$ ;  $|Z| = R_s = 2,48 \Omega$ , ez sok, talán meg kellene az elkót „formázni”. A vesztség így is 0 db. Aztán hirtelen ötlettől hajtva megmértem 10 MHz-en is! A veszteség itt 0,43 dB,  $R_s = 1,29 \Omega$ ,  $X_s = 11,64 \Omega$ , de induktív! Ki is számolta a program, mekkora (veszteséges) induktivitást jelent ez az elkó 10 MHz-en: 0,2  $\mu\text{H}$ . Ez a mérés legfeljebb érdekes, de értelme nem sok van.



1. ábra

## Rögtönzött spektrum analízátor

A VNA detektora (DET) azért lehet olcsó meg egyszerű, mert kialakítása egy nagyon fontos feltételezésen alapul: minden jel, ami a detektorra érkezik, az csak és kizárólag a VNA vizsgálójeléből (DUT) származik. Tehát nincs szükség a frekvencia mérésére (azt a DUT-ról tudjuk), és szelektivitásra sem. Ez okozza, hogy a zavarjel a frekvenci tengelyen vándorol: a megjelensécek mindig az akkor aktuális DUT frekvenciához van rendelve. A DET bemenet elég, ha a DUT jelszintjét el tudja viselni, nem megy telítésbe és nem megy tönkre tőle: könnyű tönkretenni a bemenetet, mert nincs rajta védelem és óvatosnak kell lenni egy rezgőkör vagy erősítő vizsgálata során.

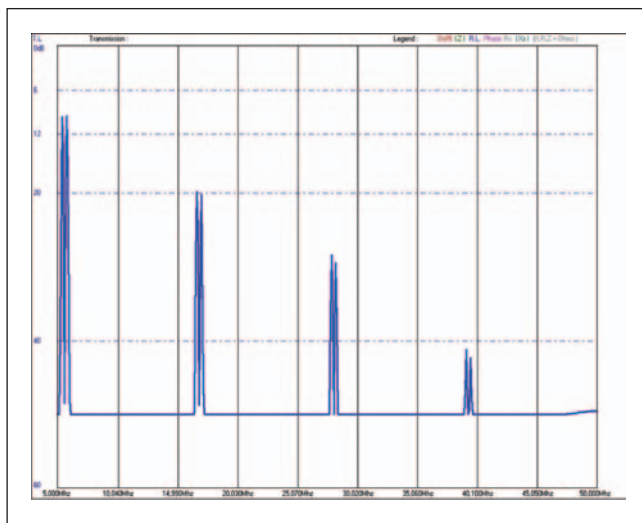
A továbbiakban HA8DH Lóri ötletét és az általa készített mérési elrendezést ismertetem. A DET bemenetre egy szinkrodin bevőt kapsolt, keverővel és 300 kHz-es felülvágó szűrővel. A mérési elrendezés a miniVNA-hoz készült, blokkvázlata az **1. ábrán** látható.

Az IE-500-as egy kétszeresen kiegyenlített keverő. Ez így elvben egy 600 kHz felbontású spektrum analízátort ad, hiszen a szélessávú bemenőjelet a DUT segítségével végigpásztázva egy adott frekvencián lévő jel 600 kHz szélesen hat a DET bemenetre.

A baj csak az, hogy a miniVNA DET-je csak 100 kHz felett érzékeny, így egy adott jel – ha át is jut a felülvágó szűrőn – csak a -300...-100 kHz és +100...+300 kHz között látszik majd, „kétpúpú” lesz. Azért így is használható mondjuk egy négyszög-oszcillátor felharmonikus tartalmának vizsgálatára (pl. **2. ábra**). A jel és 3., 5. és 7. felharmonikusa is jól láthatóan „kétpúpú”. A koncepciót lehetett volna tovább finomítani, de időközben Lóri vásárolt egy VNWA-t, amiben már gyárilag van egy 100 MHz-ig is jól működő spektrumanalízátor (jól láthatóan hasonló elveken működve), így az egész okafogyottá vált. A VNWA spektrum analízátor üzemmódja egy 5 MHz-es oszcillátor mérésére a **3. ábrán** látható.

## Mobil mérések

Bárhol járunk, ha találunk egy helyet, ahol letelepedhetünk a velünk vitt lappal és bármely VNA-val, elvégezhetjük a szükséges méréseket ugyanúgy, mint otthon, főleg, ha hálózati feszültséget is találunk (a VNA-k azért az USB porton keresztül hamar leszívják a laptop akkumulátort). Börzéken sétálgatva igen hasznos lehet a cigarettásdoboznál alig nagyobb méretű MetroVNA, amelynek saját érintőképernyős kezelő felülete és áramforrása is van. Egy androidos



2. ábra