

# UHF antenna analízátor - a csodálatos Wheatstone híd

Írta: Jim Tregellas VK5JST, [endsodds@internode.on.net](mailto:endsodds@internode.on.net)  
<http://www.users.on.net/~endsodds/pcb.htm>

Az „Amateur Radio” napján (2005 május) megjelent a rövidhullámú antenna analízátor tervem. Amatőr barátaim kérdezgetni kezdtek egy VHF/UHF egység megépítésének részleteiről. A sok öröm mellett rengeteget tanultam is, miközben próbáltam megfelelni ezekre a kérdésekre. Ezalatt kialakult egy elrendezés, ami már a kezdetben egyszerű volt és remekül működött. Ha Ön komolyabb alkatrész-készlettel rendelkezik, akkor már megvan a legtöbb, ami szükséges.

Bárki, aki részt vett egy hagyományos elektrotechnikai képzésen ismeri a Wheatstone hidat. Egy hajdani előadáson egy teljes ábrát rajzoltak az elemmel és az érzékeny galvanométerrel, gondosan elmagyarázták, hogyan mér ellenállást a híd kiegyenlítésével. Bonyolult matematikát használtak a bemutatásához, aztán gyorsan feledésbe merült, mivel a „modern” elektronika sokkal kényelmesebb eszközökkel képes ellenállást mérni. Ennek az elfeledésre ítélt 19. századi technikának mégis felmerül egy páratlanul különleges alkalmazása.

Váltakozó áramot alkalmazva, és némi további komplex matematikai analízissal (amiket e cikk írója is több helyen olvasott) a híd nagyon pontos SWR mérésre használható igen tág frekvencia tartományban, és a - szinte minden más fajta mérőhídra jellemző - frekvencia és teljesítmény érzékenységi problémák nélkül. Sőt, könnyen hozzáférhető alkatrészekből áll.

## Az elmélet

Képzeld el az 1. ábrán látható hídban a terhelés tisztán  $50\Omega$ . Az A és B pontokon ( $V_A$  és  $V_B$ ) fellépő feszültség egyaránt  $0,5V$  RMS lesz. Félhullámú egyenirányítás után  $V_A$ -ból  $V_1=707mV$  egyenfeszültség lesz. Ugyanígy  $V_B$ -ből lesz  $V_2=707mV$  DC tökéletes diódákat feltételezve (amikor nincs nyitófeszültség).  $V_3$  az A és B pontok közti feszültségkülönbség egyenirányítva és mivel  $V_A$  és  $V_B$  azonos fázisban van és egyenlő nagyságú, ezért  $V_3=0$ .

Tegyünk a terhelés helyére szakadást most!  $V_A$  még mindig  $0,5V$  (RMS) és  $V_1=707mV$ .  $V_B=1V$  (RMS) lesz és  $V_2=1414mV$  DC.  $V_3=707mV$  mivel a  $V_A$  és  $V_B$  közti különbség  $0,5V$  (RMS).

Végül zárjuk rövidre a terhelés kapcsait.  $V_1=707mV$  DC marad.  $V_B$  nulla lesz, miközben  $V_2$  és  $V_3$  egyaránt  $707mV$  DC mivel a  $V_A$  és  $V_B$  közti különbség  $0,5V$  (RMS).

Összefoglalva, az A pont és  $V_1$  feszültsége nem változik a terheléssel. Viszont a B pont, illetve  $V_2$  feszültsége 0-tól  $1414mV$ -ig növekszik, ahogyan a terhelés rövidzártól ( $0\Omega$ ) szakadásig (végtelen) változik. A  $V_3$  értéke  $707mV$ -ról (a terhelés rövidzár, az  $SWR=\infty$ ) nullára ( $50\Omega$  terhelés,  $SWR=1$ ) esik. Amit az imént leírtunk az az, ahogyan az SWR-mérők működnek.  $V_1$  a betáplált,  $V_2$  a visszaverődő teljesítménnyel arányos míg  $V_3$  a kettő különbsége, tehát az SWR-rel arányos.

Tovább haladva könnyű belátni, hogy ismert (generátor) bemenő feszültség esetén  $V_2$  használatával ellenállás beosztás és  $V_3$  segítségével SWR beosztás készíthető a műszer skálájára.

De idáig csak a tiszta valós ellenállásról beszéltünk. Mi történik, ha a terhelés az ohmikus ellenállás, induktancia és kapacitancia bármilyen keveréke? Ennek megválaszolása tényleg kemény matematikát igényel és túlmutat e cikk keretein.

Elég annyit mondani, hogy a matek tisztán mutatja, hogy függetlenül attól, hogy a terhelés bonyolult vagy tisztán ohmos, a feltüntetett SWR korrekt lesz, és a SWR skála egyszerűen előállítható a tisztán ohmos számításokkal.

Azoknak, akik saját maguk akarnak utánajárni a bizonyításnak, mellékeltem két vektor-ábrát, melyekből a szükséges matematika levezethető. A 2. ábra a komplex terhelés általános esete, míg a 3. ábra a tiszta kapacitív, illetve induktív terhelés speciális esete.

Az ábrák a következő módon készültek. Vin mindig az átmérő, és a valós és reaktív összetevők mindig  $90$  fokot zárnak be egymással. Egyszerű trigonometria alapján, a valós és képzetes vektorok metszéspontja mindig a  $V_{in}/2$

sugarú félköríven van. Tiszta reaktáns terhelés esetén ez azzal a jelentős következménnyel jár, hogy a VAB feszültségkülönbség állandóan a  $V_{in}/2$  pontból indul (függetlenül az induktív és kapacitív értékektől). Ez korrekt, mivel az SWR a tiszta reaktív terhelés esetén mindig végtelen lesz, amit  $V_{in}/2$  képvisel.

Nem meglepő, hogy a műszer V2-ből számított ellenállás beosztása nem pontos komplex terhelés esetén. De az is világos, hogy bármilyen valós ellenállást tartalmazó komplex terhelés tartalmaz egy megismerhető értékű ellenállást ami soros a reaktáns elemmel. A jelzett feszültség ezért mindig több lesz, mint egyedül a tiszta ellenállás esetén, mert a teljes impedancia nagyobb (Püthagorasz tétele miatt  $/a$  ford.). Másképpen. Ha az antenna rezonancián van és ezért tisztán ohmikus, a mutatott feszültség mindig a minimum, ezért az ellenállás skála helyes lesz. A rezonancia egyik hatása, hogy a feszültség nőni fog a reaktív tag miatt. Ezt a megfigyelést praktikus hasznosíthatjuk amikor a mérési frekvencia változtatása esetén nem változik a mért ellenállás és ez az ötlet mélyebb értelmet nyer a későbbiek során.

További következtetések vonhatók le az áramkör vizsgálatokor:

- A generátor sosem lát 2:1-nél nagyobb SWR értéket (még szakadás esetén sem) ezért nem lehetséges, hogy tönkretégye a végfokozatot egy nagy SWR érték.
- Ez a mérő készülék nem SWR-mérő, mivel a betáplált teljesítmény háromnegyede elvész az ellenállásokon (az antennán történő lesugárzás ellenére). Továbbá az indukciószegény kis teljesítményű ellenállások alkalmazása miatt ez egy kis teljesítményű „állatfajta” (max. 2W bemenő teljesítmény), ezért nem hagyható a tápvonalon folyamatosan, monitorozási céllal.
- Azért, hogy a diódák nyitófeszültsége elhanyagolható legyen, viszonylag nagy meghajtó feszültséget kell használni. Továbbá ahhoz, hogy a híd 70cm-en is jól működjön, csak Schottky diódák használhatók a nagy sebességük és alacsony (kb. 200mV) nyitófeszültségük miatt. A (6. ábrán) látható tényleges műszerskála beosztása figyelembe veszi a dióda nyitófeszültségének hatását.

### **Analizátor a gyakorlatban**

A korábbi HF analizátorok konstruktőrei örülnének egy olyan készüléknek, mely átfogja a 6 méteres, a 2 méteres és remélhetően a 70cm-es sávokat és azonnal követelnék az instrukciókat a megépítéséhez. Olcsón és egyszerűen megépíthető is kell legyen. Brutális tervezési feladat. Egy csomó kutatás után két dolog kiderült. Először, hogy nehezen szerezhető be olyan frekvenciaosztó IC-k, melyek 500MHz-ig működnek, hacsak nem rendel valaki 1000 darabot belőle és így LCD-s mikrokontrolleres frekvenciamérő sem lehetne benne. Másodsor, egy lineáris, nagy teljesítményű végfokozat (mondjuk 1W 30-500MHz) megtervezése és megépítése drága rémálommá változna és (harmadik) nagyon súlyos lenne elemmel történő tápláláshoz.

Hogyan teljesíthető mégis e három követelmény? Egyszerű. Használjunk kézi (frekvencia kijelzős) amatőr adóvevőt meghajtó generátornak. Az eredmény egy olcsó, elem nélküli alapkészülék, amely mindent tud amire egy amatőrnek szüksége van rezonáns antennarendszerek tervezéséhez és hangolásához. Az utolsó gyakorlati dolog megtervezni a tisztán ohmos mérőhíd hálózatot. Ez nem egyszerű, mivel minden modern ellenállásfajtánál gyárilag beépített induktivitás van jelen, a spirális lézer-gravírozás miatt, amivel beállítják a tűrésnek megfelelő értéket.

Több gondos mérés zajlott normál negyed wattos fémréteg láb nélküli ellenállásokkal annak megállapítására, hogy azok induktivitása elhanyagolható-e 70cm-en. Sajnos nem, sőt az sem sokat segít, ha hármat kötünk párhuzamosan az induktivitás hatásos csökkentése és a teljesítmény növelése érdekében. De a módszer 2

méteren működik és ezért két fajta analizátor készült. Az első verzió pontosan mér 150 MHz-ig és a hagyományos negyed wattos fémréteg ellenállásokkal készült. A második verzió a 1206 típusú negyed wattos SMD ellenállásokkal 500 MHz-ig működött pontosan. N típusú csatlakozót használunk UHF felhasználás esetén. A SO239/PL259 csatlakozóknak nagy dielektromos veszteségük van, nagy a kapacitásuk, rossz 450MHz-en az impedancia illesztettség és még akkor is jelentős (15%) hibát visz az ellenállás skálába, ha nincs terhelés a készüléken! Még az N csatlakozó sokkal kisebb kapacitása is okoz némi hibát az ellenállás skálán 70 centiméteren, de ez a kapacitás elenyésző az 50 ohmos kábelben, amikor a terhelés az analizátorra csatlakozik. A veszteségek és hibák az SO239/PL259 esetében viszont nem elenyészők! Ha mégis SO239-et kell használni, keressünk olyan fajtát, aminek átlátszó műanyag a szigetelése és nem a világosbarna bakelit!

A tervezés utolsó lépése egy teljesítmény csillapító (attenuator), így rövidhullámú mérésekhez egy hagyományos rövidhullámú adóvevő is használható alacsony teljesítményű jelforrásként. Az megépítők el is hagyhatják ezt a

készülékből, ha készítették már, vagy van antenna analízátoruk.

Az elkészítés a NyÁK-kal kezdődik. A vasalós módszer amit a <http://www.users.on.net/~endsodds/pcb.htm> lapon is látni, remekül működik

A csatlakozókat tartalmazó NyÁK fúrat sablonja (11. ábra), az első és második változatok áramkörü NyÁK-jai (12. és 13. ábra) és szükség esetére a csillapító csatlakozóinak furat elrendezését (10. ábra) mellékeltem. Fúrjon ki minden lyukat és forrasztó pasztát is használva forrasztópákával vékonyan ónozza be a NyÁK rézfelületeit! Minden felületet denaturált szesszel tisztítson le!

Elkészült minden mechanikai munka a dobozon. Az áramkör normális rögzítéséhez néhány esetben a doboz (belső) rögzítő bordáiból el kell távolítani (egy véső erre megfelel). Az előlap fúrat sablonja a 7. ábrán látható. Használjuk az áramkört sablonként (11. ábra) az összes csatlakozó lukjának meghatározásához a doboz fedelén és ha a csillapító is van, akkor a doboz oldalán a NyÁK-lemez 10. ábrán jelzett felénél fúrjuk ki a csatlakozó számára a lukat.

Készítsük el a NyÁK-ot! Ha felületszerelt (SMD) ellenállásokat használ a hídhoz, forrassza be először azokat! A forrasztó pasztával vékonyan bevont felületre csipesszel szorítsa rá az ellenállást a helyén! Az ellenállást pontosan a helyére illesztve annak egyik végénél pötytentsen kevés ónt rögzítésnek. Ismétlje ezt meg mind a kilenc ellenállásnál, majd rendesen forrassza meg a másik oldalukat. Utána normálisan forrassza meg a rögzített végeket is. Alkohollal mossa le a maradék forrasztó pasztát és hagyja megszáradni. A kapcsolási rajz (5. ábra) és a beültetési rajz (9. ábra) ültesse be a többi alkatrészt is! Ugye nem is volt nagy ügy?

A sárgaréz csavar anyákat (azokat acél csavarokkal átmenetileg a helyükön rögzítve) forrassza rá a csatlakozók NyÁK-lemezére! Rögzítsen minden csatlakozót. Majd az áramkör és a csatlakozók NyÁK-jait forrassza az élükön merőlegesen egymáshoz! A teljesen kész összeszerelés a 9. ábrán látható. A végleges összeköttetést a bemenő csatlakozó és az áramkör közt vékony teflonszigetelésű 50Ω koaxiális kábeldarabbal végezze el! Ha csillapító is van, azt is rögzítse a 10. ábrán látható helyen! Szereljen mindent a dobozba be és fejezze be a vezetékvezetéseket a 9. ábrán és a 2. képen láthatók szerint!

Majd módosítsa a deprez műszert! Tiszta felületen óvatosan távolítsa el a műanyag előlapot, majd a skálát rögzítő 2 csavart! Vegye ki a skálát és ragasszon annak hátoldalára kétoldalas ragasztószalagot! Fénymásolja (nyomtatni is lehet / a ford.) a 6. ábrán lévő műszerskálát nehéz fotópapírra és egy nagyon éles késsel vágja körbe a szélén a skálát! Ragassza fel azt a skálalemez hátoldalára (a skálalemez másik oldalán az eredeti skála marad meg / a ford.). Vágja körül az éles késsel, majd szerelje össze a műszert!

A legutolsó lépés a 8. ábrán mellékelt előlap felrakása. Alkalmazza a műszerskálánál is használt módszert!

## Beállítás

Kapcsolja az analízátort a „CHECK INPUT” (bemenő szint ellenőrzés / a ford.) állásba. Az alkalmazott frekvencia 1-30MHz, fokozatosan növelve a teljesítményt az 1 wattos szintig („INPUT OK” skála közepéig).

Kapcsoljon a „SET FSD” állásba (és zárja le a műszert a frekvencián is valós 50Ω terheléssel / a ford.), majd az előlapi potméterrel óvatosan állítsa a műszert teljes kitérésre! A következőkben pedig (az 50Ω lezárás nélkül / a ford.) a megfelelő trimmer potméterekkel (a NyÁK-on / a ford.) állítsa teljes kitérésre az „SWR” és „R or Z” kapcsolóállásokban is! Ezzel elkészült minden beállítás (az 5-30MHz közti frekvencia használat egyszerűen azért ajánlatos, hogy elhanyagolható legyen a csatlakozók kapacitív hatása az ellenállás skálán – UHF változatnál a frekvencia 146MHz-re növelhető).

Ha van egy tényleg jó minőségű 50Ω műterhelése, ellenőrizze vele a készüléket, hogy jól mutatja-e az SWR 1:1 értékét és a terhelés 50Ω ellenállását a teljes névleges frekvenciatartományban (1-500MHz / a ford.). Sajnos sok műterhelés gyászosan leszerepel ezen a teszten és olyan műterhelést, ami helyesen működik VHF-en, vagy UHF-en (SWR<1,05) nagyon bonyolult készíteni. Az analízátor 2 méteren és 70 centiméteren egyaránt gondosan tesztelve lett egy kölcsönvett precíziós 50Ω műterheléssel (hála VK5ZBQ-nak). A felületszerelt ellenállás-híd 1,05 SWR értékre 470 MHz-en lett tesztelve. Az első verziónál normál negyed wattos ellenállásokat használva a hídban 470MHz-en 1,3-as SWR érték adódott és 1,03 146MHz-en. Viszont az ellenállást is helytelenül 70 ohmosnak mérte 470MHz-en.

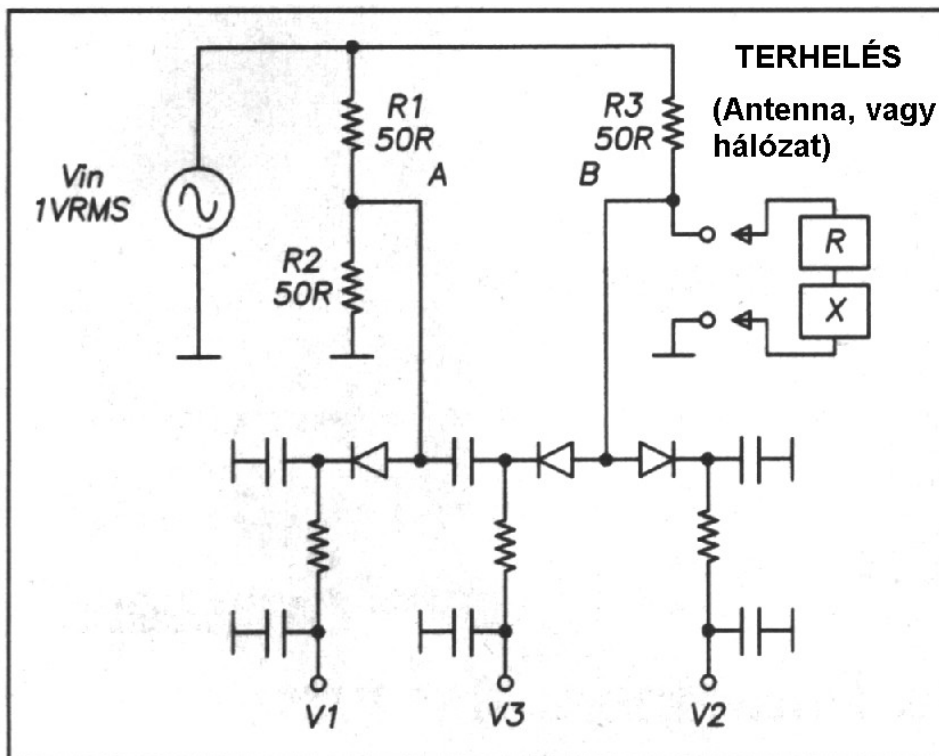
## Az analízátor használata

Állítsa be a vizsgálati frekvenciát a kézi rádión (1. kép) és állítsa a bemenő szintet 1 wattra (vagy a beépített csillapítón keresztül állítsa elő a 0,4-2 wattot a rövidhullámú adóvevőjével)! Kapcsoljon a „SET FSD”-re és állítson be teljes kitérést és mérjen „SWR-t”. Mérjen látszólagos impedanciát ( $Z$ ) az „R or Z” skálán. Most állítsa a rádiót kissé magasabb frekvenciára újrakalibrálva a készüléket jegyezze meg a megváltozott SWR-t és impedanciát! Ha csökkent az impedancia, akkor az antenna túl rövid, hosszabbítást igényel. Ha növekszik az impedancia, akkor Ön a rezonancia fölött mér, rövidítés szükséges. Megjegyzem, frekvenciát változtatni viszonylag kis mértékben szabad csak (1-2%). Nagyon könnyen elveszthető az antenna rezonanciapont egy nagy frekvenciaváltoztatással (mondjuk a 4. ábrán F2-ről F3-ra) és ezzel félre is vezette magát. Ez különösen igaz lehet több elemes Yagi-k esetén, ha a kis elemátmérők miatt a sáv szélesség igen keskeny. Ha Ön egyszer tudja azt, hogy melyik irányban van a rezonancia, akkor kidolgozhatja, hogy hosszabbítani kell vagy rövidíteni az antennát, induktivitást, vagy kapacitást kell beiktatni, az illesztő hálózatot kell jobb illesztettségre állítani, más tápvonalat kell használni, vagy balunt, vagy alkalmazhat egyet az ezer egyéb lehetséges megoldásból ideértve az antenna közeli kerítésre függesztését is. És a tevékenység során Ön végül majd igazából megtanul valamit az antennák titokzatos világáról.

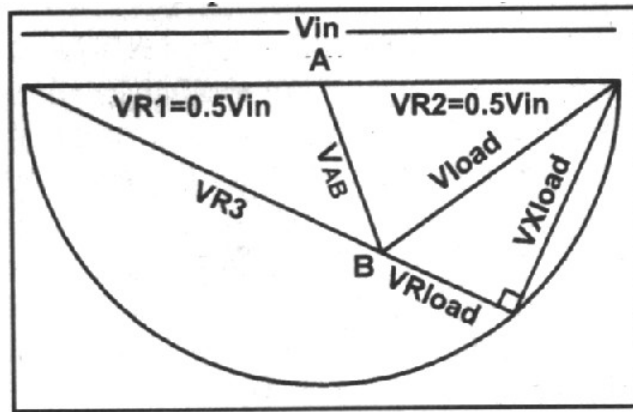
Jó szórakozást!

ar

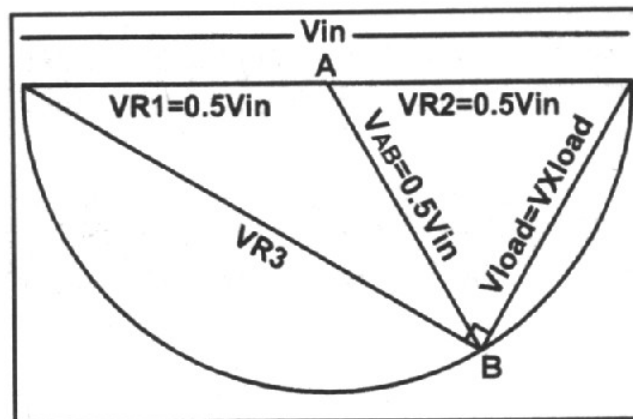
Fordította: Joubert Attila, 2011-10-19



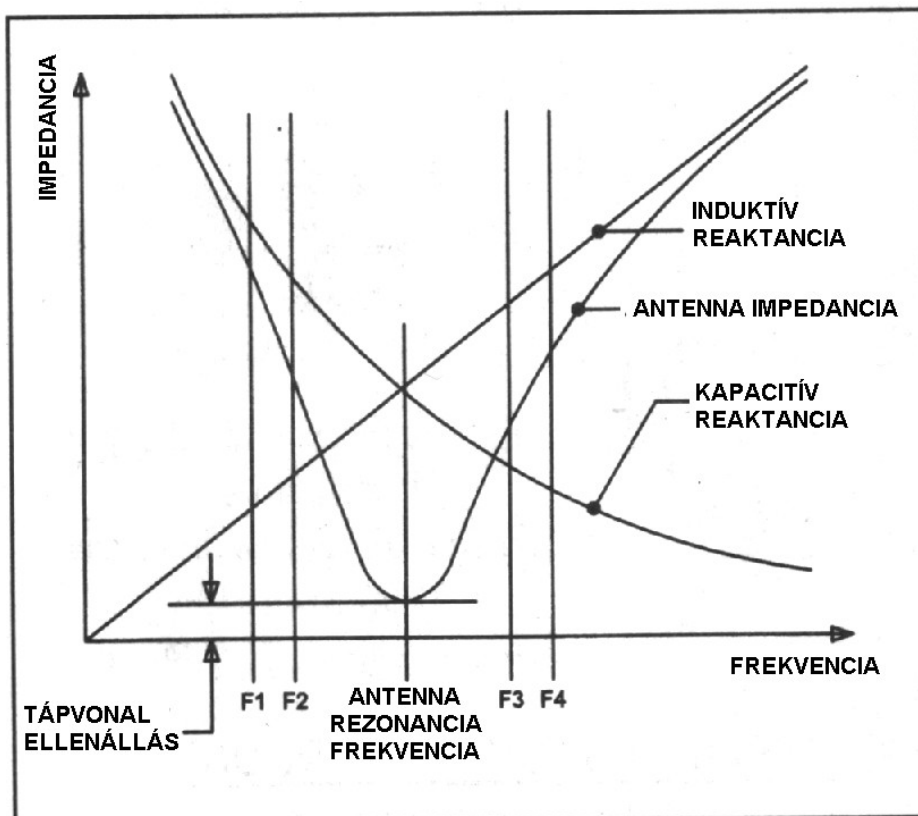
1. ábra - Wheatstone híd váltakozó áramú használata



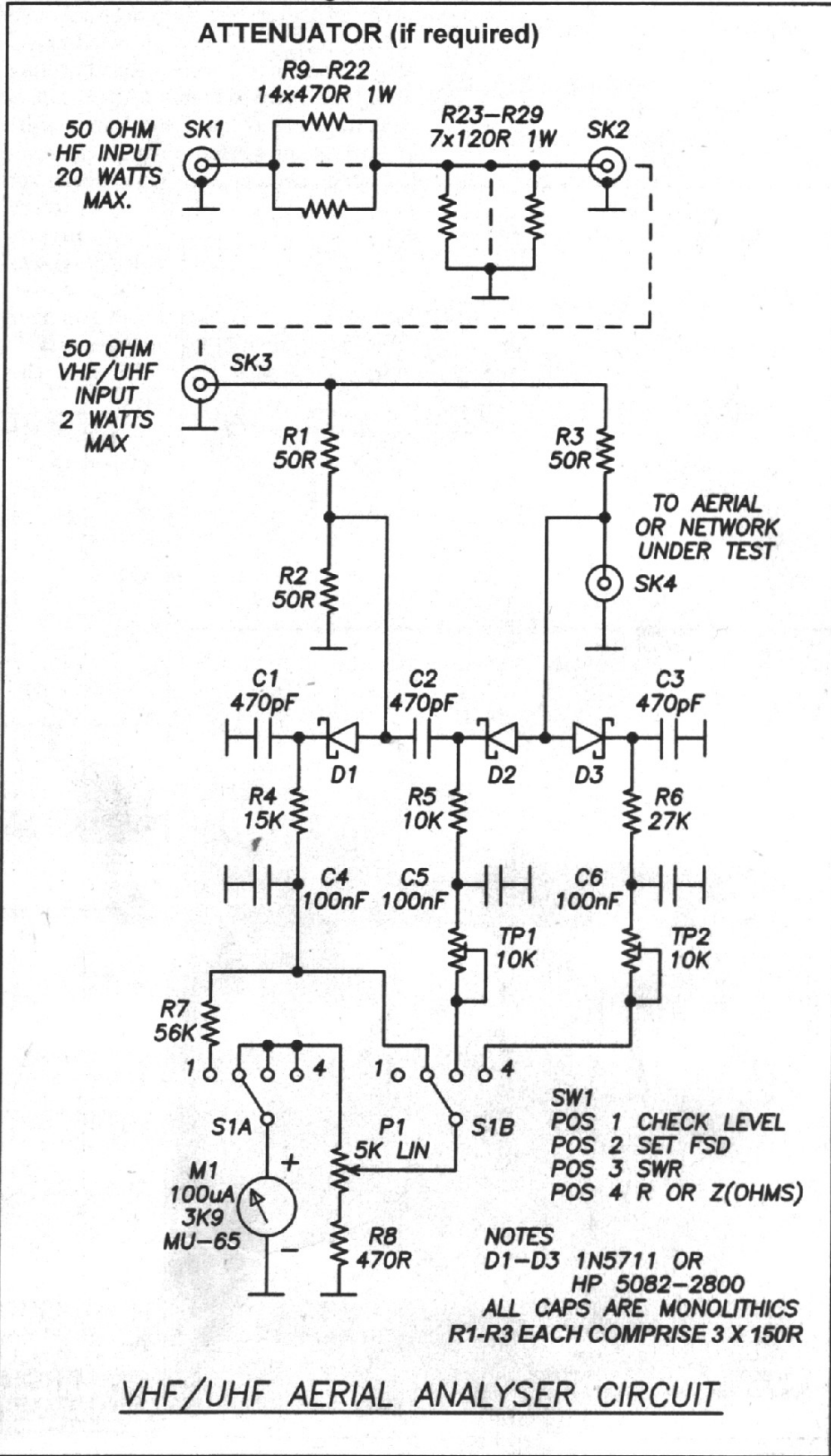
2. ábra - Vektor ábra normál esetben



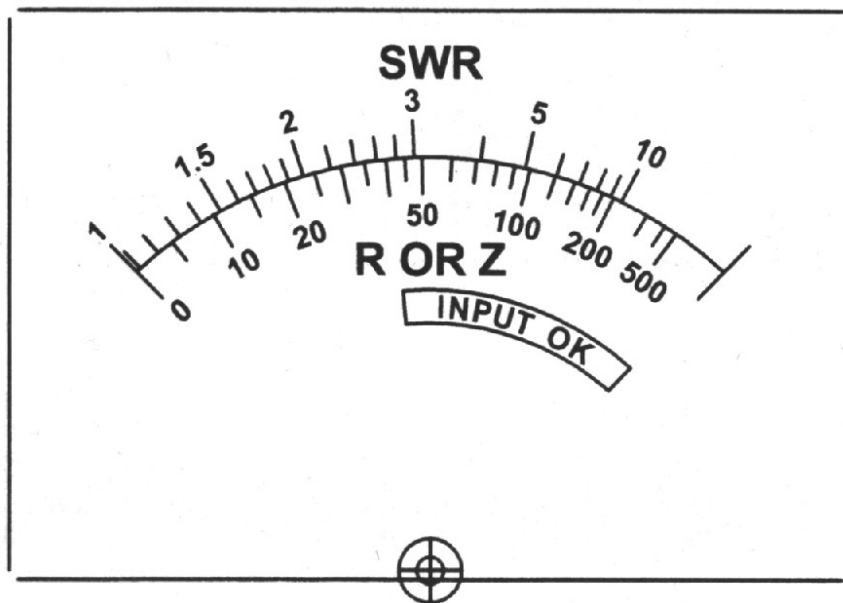
3. ábra - Vektor ábra tisztán reaktív terhelés esetén



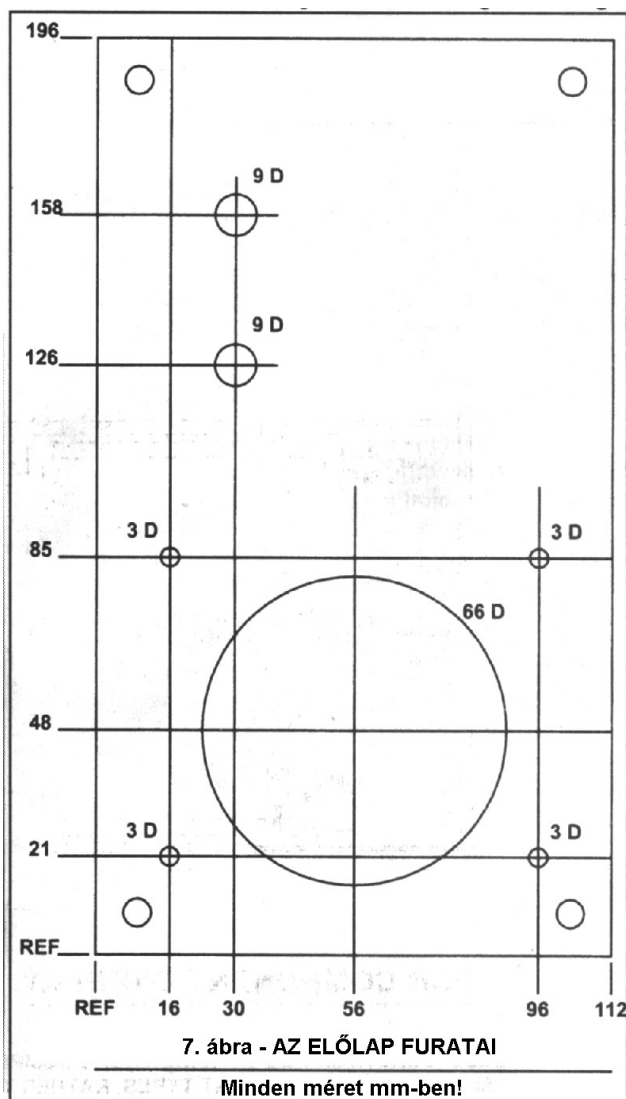
4. ábra - induktív, kapacitív reaktancia és impedancia



5. ábra - Az analízátor kapcsolási rajza

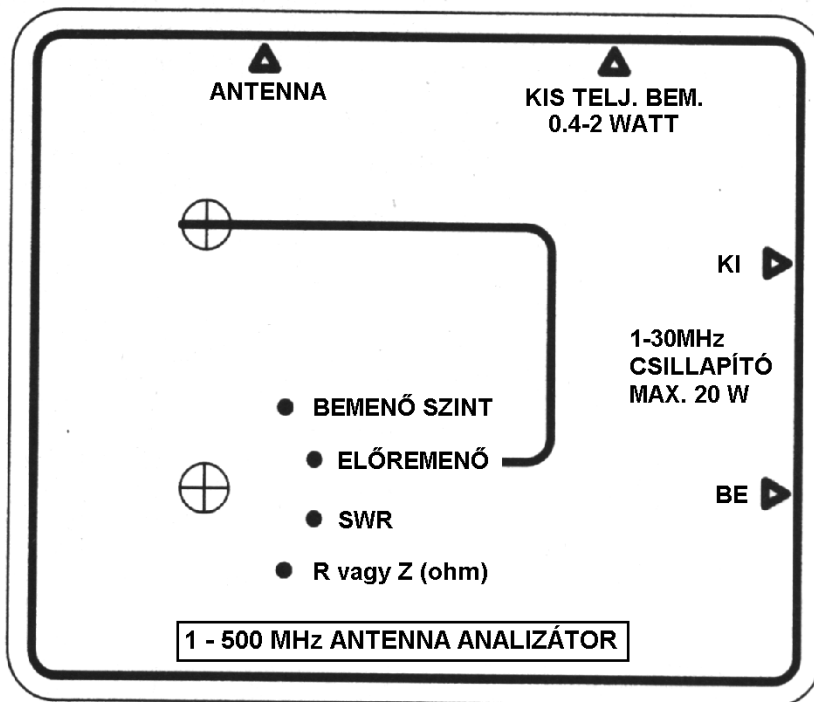


6. ábra - A műszer skálája (arányos kép)

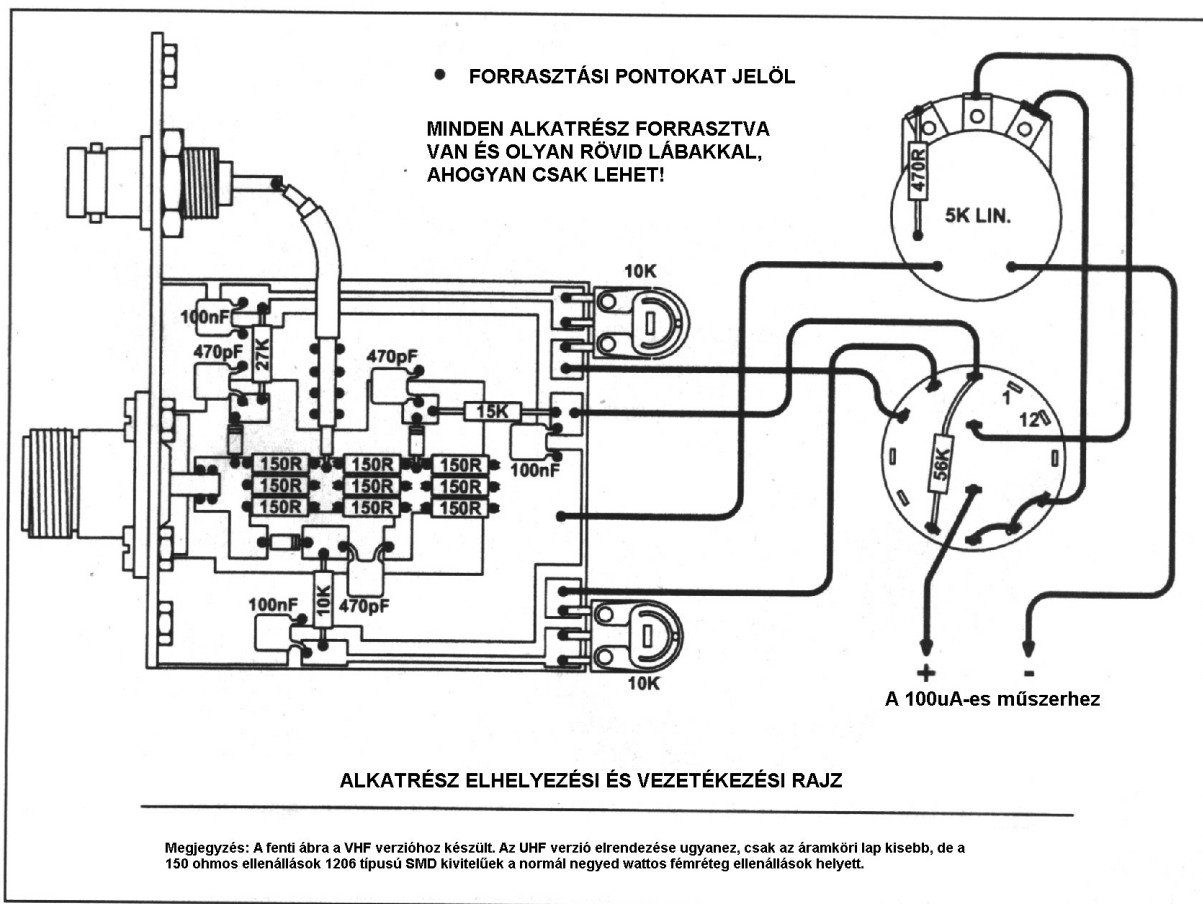


7. ábra - AZ ELŐLAP FURATAI

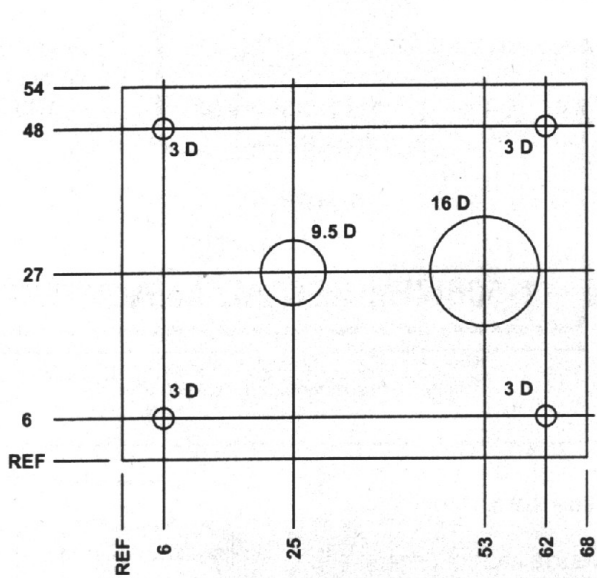
Minden méret mm-ben!



8. ábra - Az előlap feliratai

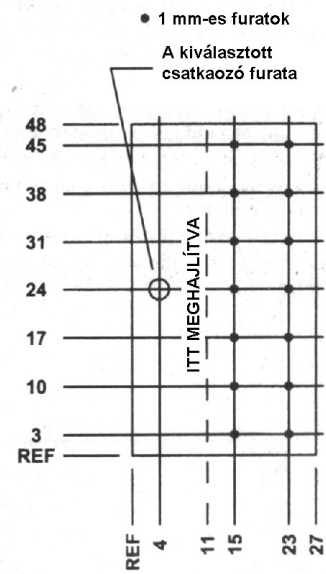


9. ábra - A VHF verzió beültetési és vezetékézési rajza



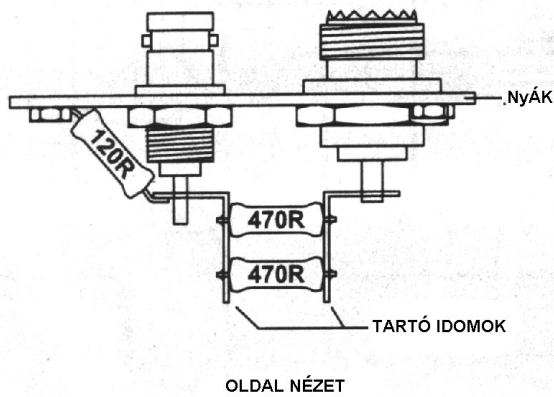
**NYÁK RÉSZLETEK**

ANYAGA: 1,6mm-es FR4 egy oldalas fólia nézetben



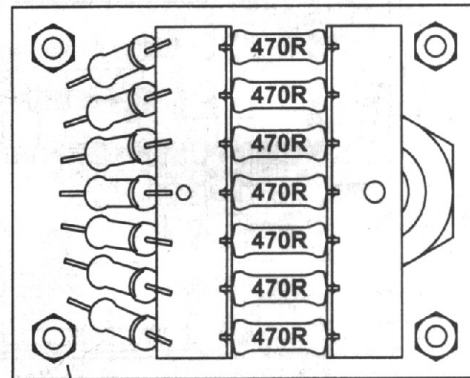
**TARTÓ IDOMOK**

ANYAGA: 0.8mm vastag horgany, vagy vörösréz lemez meghajlítva (2 darab kell)



**OLDAL NÉZET**

3mm-es sárgaréz anyák a NyÁK-ra forrasztva

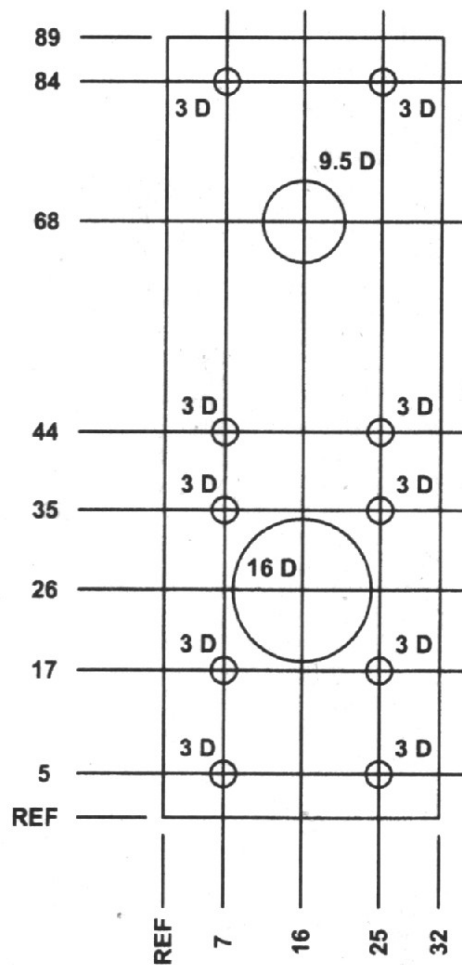


**FELÜL NÉZET**

TELJESÍTMÉNY CSILLAPÍTÓ FELÉPÍTÉS

MINDEN MÉRET mm-ben!  
COPYRIGHT VK5JST 2005

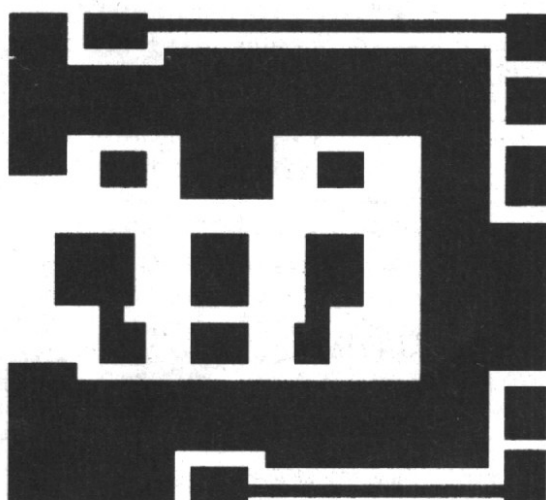
10. ábra - A teljesítmény csillapító (attenuator) felépítése



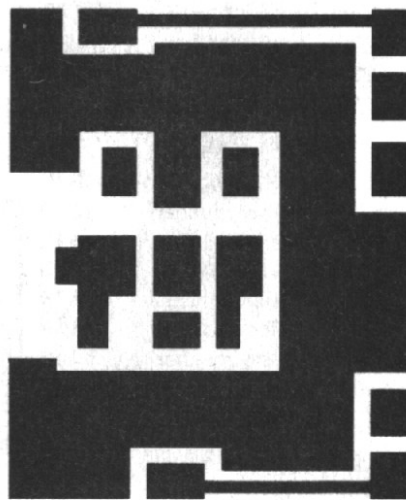
**CSATLAKOZÓ NYÁK ELRENDEZÉS**

Anyaga: 1,6mm FR4 egyoldalas  
méretek mm-ben

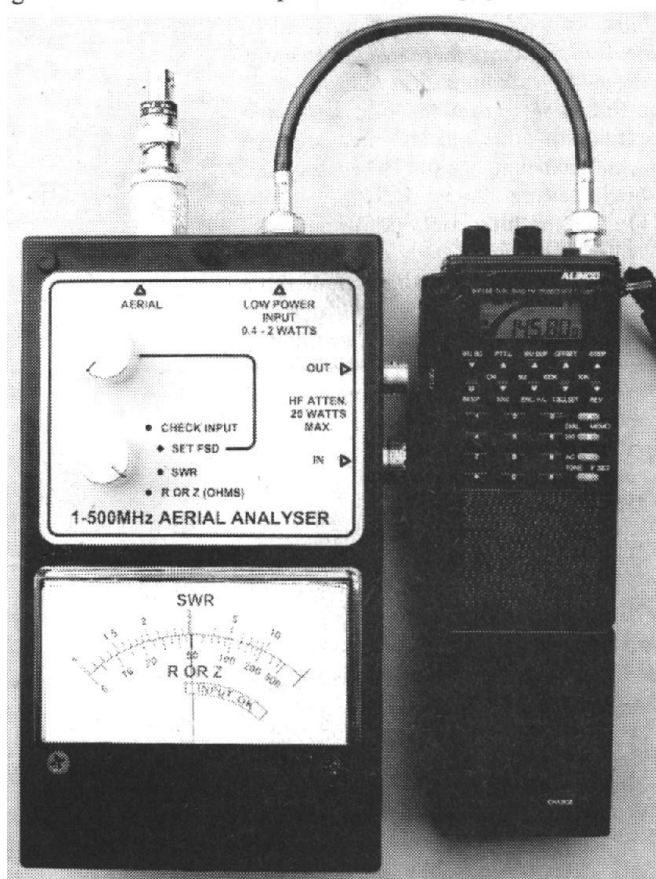
11. ábra - Csatlakozó NYÁK elrendezés



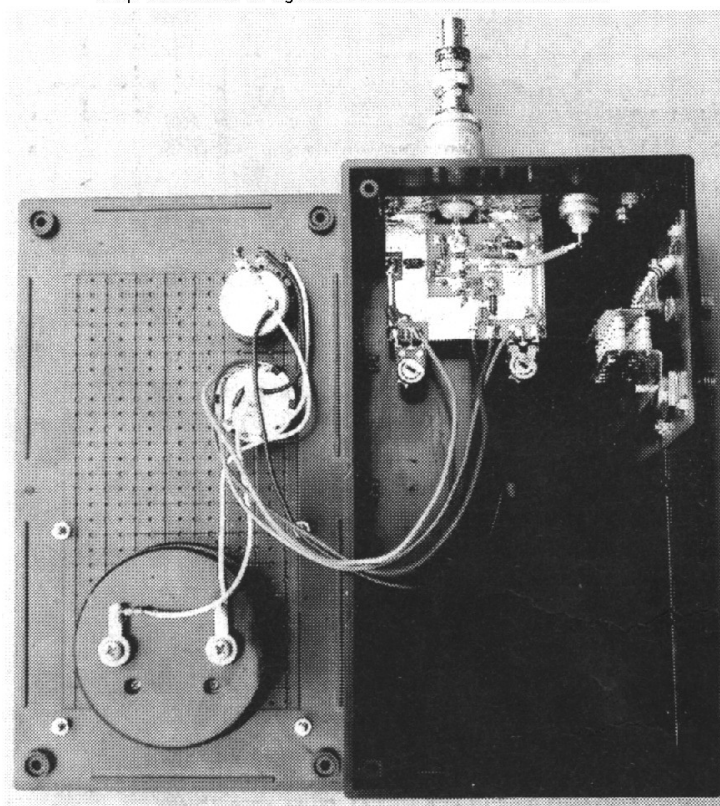
12. ábra - VHF sablon



13. ábra - UHF sablon



1. kép - Az analízátor és a generátorként csatlakozó kézi rádió adóvevő



2. kép - Elrendezés a nyitott dobozban

## Alkatrész lista

d b	megnevezés
9	150 Ω 1/4 wattos fém réteg (VHF esetén)
9	150 Ω 1/4 wattos 1206 SM (UHF esetén)
7	120 Ω 1 watt fém réteg
1	470 Ω 1/4 wattos fém réteg
1	
4	470 Ω 1 wattos fém réteg
1	10 kΩ 1/4 wattos fém réteg
1	15 k Ω 1/4 wattos fém réteg
1	27 kΩ 1/4 wattos fém réteg
1	56 k Ω 1/4 wattos fém réteg
2	10 kΩ trimpots Jaycar RT4016
1	5 kΩ linear pot
3	470 pF 50 V NPO monolit kondenzátor
3	100 nF 50 V monolit kondenzátor
	1N5711 (HP 5082-2800) Schottky dióda DSE
3	Z3231
2	BNC csatlakozó Altronics P0516
1	SO239 csatlakozó Altronics P0510
1	N csatlakozó DSE P2410
3	nyomtatott áramköri lemez (ld. a szövegben)
	2 érintkezősoros 6 állású forgó kapcsoló Jaycar
1	SR1212
2	forgató gombok
1	100 uA műszer MU-65 Altronics Q0550
1	doboz 197 x 113 x 63mm Jaycar HB6012
1	
4	3 mm sárgaréz anya
1	
4	3 mm csavar