

RF umetno breme 50 Ω - 1 kW

Janez Červek, S57J

Ob gradnji raznih komponent antenskih sistemov, še posebej pa pri optimizaciji ojačevalca moči sem vedno bolj potreboval tudi solidno umetno breme za malo večje moči. Za majhne moči sem si ga naredil iz 20 kosov 0,5 W uporov. Ko se je pojavila možnost relativno poceni kupiti 50 Ω 100 W upor sem se odločil, da si naredim solidnega »dummya«. Brskanje po literaturi me je privedlo do opisa Super Dummyja v ARRL-ovem Handbooku. V naslednjem članku bom prevedel nekaj teorije in opisal izgradnjo svojega Dummyja. Ta se od opisanega malo razlikuje, narejen je pač po meni dosegljivih možnostih.

Super Dummy je RF breme za uporabo ojačevalcev moči do 1,5 kW. Zdrži 10 minut polne obremenitve. Pri konstrukciji se je avtor posvetil predvsem RF prilagojenosti, hlajenju upora in izbiri primerne hladilnega sredstva.

Zgraditi umetno breme za zelo visoke moči ni ravno enostavno. Toplota z upora mora biti varno odvedena, ob tem pa je potrebno obdržati dobro prilagoditev na 50 Ω. Preizkušeno je bilo zračno hlajenje in hlajenje z antifrizom za hlajenje avtomobilskih motorjev. Oboje se je izkazalo kot neprimerno, zato so bila preizkušena olja. Tako je nastal Dummy, ki je primeren za delo na HF in nižjih VHF področjih z močjo 1,5 kW.

Birdov dummy/watmeter Model 612 ima konstrukcijo, kot je na sliki 1.

Ta dizajn zagotavlja pravo karakteristično impedanco (Z_0) po celi strukturi. Začne se s koaxialnim konektorjem, konična struktura pa uporu zagotavlja konstantno impedanco (50 Ω). Koaxialni oklop se nato širi, kar zagotavlja pravo impedanco po celi dolžini upora. Impedanca koaxialne linije se izračuna po formuli:

$$Z_0 = \frac{138}{\sqrt{\epsilon}} \log \frac{D}{d}, \text{ kjer je:}$$

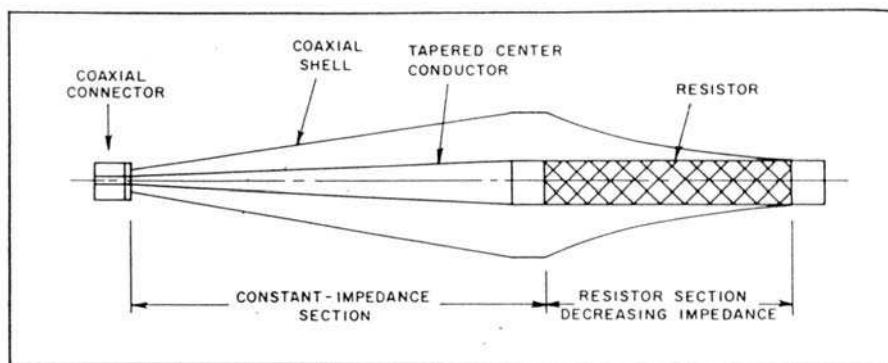
Z_0 karakteristična impedanca koaxialne linije,

Dnotranji premer koaxialne cevi,

dzunanji premer koaxialnega prevodnika in

ϵdielektrična konstanta hladilnega sredstva (transform. olje = 2,0 do 2,5).

Ta enačba kaže na to, da se impedanca na uporu zmanjšuje linearno, oblika koaxialnega oklopa ali cevi pa sledi blagi logaritemski krivulji. Oboje je prikazano na sliki 1.

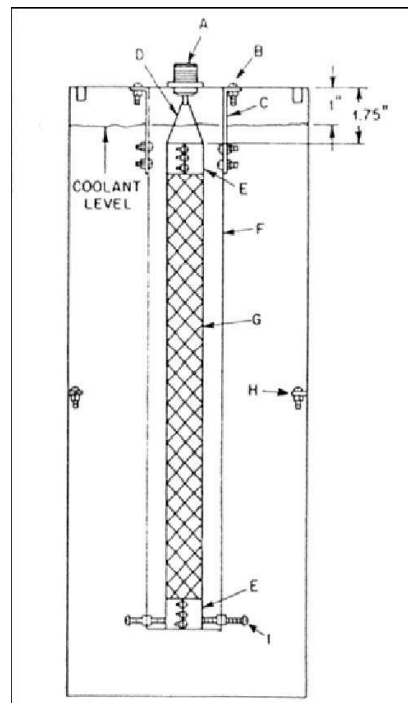


Slika 1: RF breme mora imeti pravo karakteristično impedanco vzdolž cele strukture, kar zagotovi delovanje na širšem frekvenčnem območju

Izdelava koaxialnega oklopa po logaritemski krivulji pa je zelo zahtevna in komplicirana. Na HF področju oblika koaxialnega oklopa ni kritična, zato jo lahko realiziramo kar z ravno cevjo, kot je prikazano na sliki 2. Raven oklop se izkaže uporaben tudi na VHF področju. Pri 50 Ω uporu mora biti koaxialni oklop dimenzioniran za $Z_0 = 25 \Omega$.

Konstrukcija

Potrebujemo kantico za barve, ki je najmanj 190 mm visoka (standardna 3 l) in ima ročaj. V pokrov izvrtamo luknje za pritrditev konektorja in koaksialne cevi. Na pokrovu mora biti tudi varnostni ventil, ki sprosti zračni tlak, ki nastane ob segrevanju in širjenju hladilnega olja. Ta ventil je lahko kar vijak, ki ga vzmet med pokrovom in matico pritiska navzdol. Cev mora biti od pokrova oddaljena najmanj 30 mm, kar zagotavlja hladilnemu sredstvu, ki se zaradi segrevanja ob uporih dviga, da na vrhu nemoteno izteka. S tem efektom dimnika se zagotovi tudi hitrejše kroženje hladilnega sredstva in s tem boljši odvod toplote od upora. Na vsakem koncu upora moramo narediti objemko iz pločevinastega traku (baker, medenina,...). Objemka na zgornjem koncu k uporih pritiska tudi v U oblikovan pločevinast trak, ki zagotavlja spoj med uporom in žilo konektorja SO-239. Objemka na spodnjem koncu pa zagotavlja spoj z vijaki, ki so priviti v koaksialno cev. Z njimi centriramo upor v sredino cevi. Ko upor vstavimo v cev moramo paziti, da se izvrtina na U traku nasadi na sredinski pin konektorja. Ta spoj na koncu tudi zalotamo.



Slika 2: Prerez

- A.... SO-239 koax konektor
- B... vijaki M3
- C..... montažna konzola
- D.....bakren trak pločevine
- E.....bakreni objemki na uporih
- F.....cevi \varnothing 50 mm
- G....upor Carborundum
- H...v mojem primeru ni uporabljeno
- I....vijak M3 za vpetje upora

Da zagotovimo pravilno hlajenje, mora biti nivo hladilnega sredstva višji od vrha cevi.

Za izdelavo umetnega bremena sem kupil 100 vatni upor Carborundum, ki ima 1 col premera in je 6 col dolg. Izdelan je po postopku napanjanja. Z izračunom po formuli sem določil koaksialno cev:

$$Z_0 = \frac{138}{\sqrt{\epsilon}} \log \frac{D}{d} = \frac{138}{\sqrt{2,1}} \log \frac{47}{26} = \underline{\underline{24,47\Omega}}$$

Uporabil sem cev z zunanjim premerom 50 mm, notranjim 47 mm in dolžine 150 mm.



Slika 3: Izdelana koaxialna cev z uporom

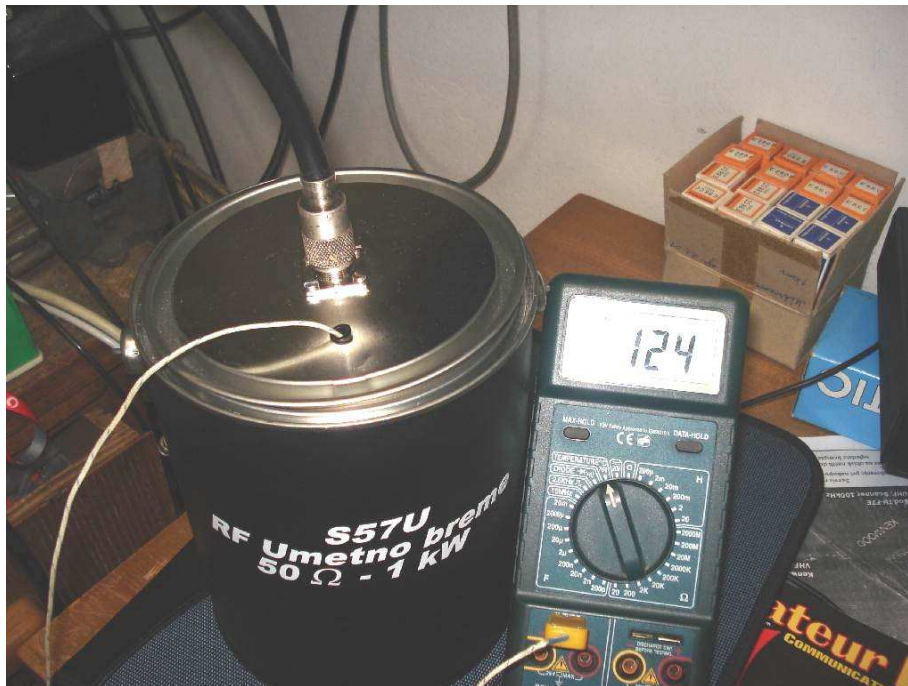
Hladilno sredstvo

Izboru hladilnega sredstva je avtor v ARRL-ovem Handbooku posvetil veliko pozornosti. Uporaba transformatorskega olja, ki vsebuje PCB-je je zdravju škodljiva. V raziskavi je bilo zajeto več modernih transformatorskih in hladilnih olj, ki pa jih ni možno kupiti v količinah manjših od 200 l (cel sod). Transformatorsko olje ima nizko viskoznost, kar zagotavlja dober odvod toplote z upora. Tako olje pa ima temperaturo vžiga (plamenišče) pri 140 – 150 °C. Izračuni hladilnega učinka tekočin kažejo, da se pri določenih pogojih pojavi konvekcijski tok. Uporaba olj z manjšo viskoznostjo posledično pomeni višjo temperaturo upora, imajo pa višjo temperaturo vžiga. V našem primeru z višjim plameniščem olja pridobimo več, kot izgubimo z malo slabšim hlajenjem. Omenjena hladilna olja imajo plamenišče med 230 in 250 °C. Sestavljena so v glavnem iz mineralnih olj. Visoko rafinirana ali medicinska olja imajo zelo uporabno visoko plamenišče, vendar so tudi zelo draga in jih ni možno kupiti v majhni količini, ki jo rabimo v našem primeru. Hladilna olja vsebujejo majhne količine zaviralcev rjavenja in oksidacije. Uporaba avtomobilskih in transmisijjskih olj ni priporočljiva. Sestavljena so iz široke mešanice olj, ki imajo različna plamenišča. Razni aditivi v motornih oljih lahko poškodujejo kovinske prevleke na RF uporih. Problematična je predvsem dolgotrajna uporaba takih olj. V našem primeru pa načrtujemo ravno to, saj bomo umetno breme naredili, zaprli posodo in se ne bomo več ukvarjali z vsebino. Tudi cenovno taka olja nimajo prednosti pred hladilnimi. Jaz sem obiskal znanca, ki je zaposlen kot vzdrževalec transformatorskih postaj in ga prosil za nekaj litrov transformatorskega olja.



Testiranje temperature

Upor, ki sem ga uporabil ima relativno zadovoljivo gostoto moči (1 W/cm^2), kar zagotavlja zmerne temperature in zanemarljivo spremembo upornosti ob krajših obremenitvah. Naredil sem tudi nekaj testov brez koaksialne cevi. Ob tem se je občutno zmanjšalo kroženje in mešanje hladilnega olja. Temperatura pri vrhu je bila po nekaj minutah zelo visoka, medtem ko je bila kantica spodaj še hladna. Za merjenje temperature mi je Polde posodil svoj digitalni termometer. Po eni minuti na oddaji z 1 KW moči je bila temperatura na vrhu $160 \text{ }^\circ\text{C}$, spodaj pa le $40 \text{ }^\circ\text{C}$. Koaksialna cev torej zagotavlja tok olja od dna proti vrhu in s tem boljše mešanje toplega in hladnega olja. Po malo daljšem času uporabe velike moči se kljub efektu dimnika v koaksialni cevi poveča temperaturna razlika med vrhom in dnom posode. Jaz v takem slučaju malo pretresem vse skupaj in tako dodatno premešam vroče in hladnejše olje.



Meritve SWR-a

SWR sem meril z več različnimi SWR metri in MFJ antena analyzerjem. Končna ugotovitev je, da instrumenti po celem HF področju SWR komaj zaznajo, tudi na 144 MHz je pod 1,1. Ker so dummy s podobnim uporom v ARRL-u merili s profesionalnimi inštrumenti, sem se odločil, da priložim kar diagram z njihovimi rezultati.

