

Univerza v Ljubljani
Fakulteta za elektrotehniko

Gregor Ergaver

50 Ohmsko navidezno breme („dummy load“) z merjenjem moči

Seminarska naloga

pri predmetu
Elektronska vezja

V Ajdovščini, februar 2010

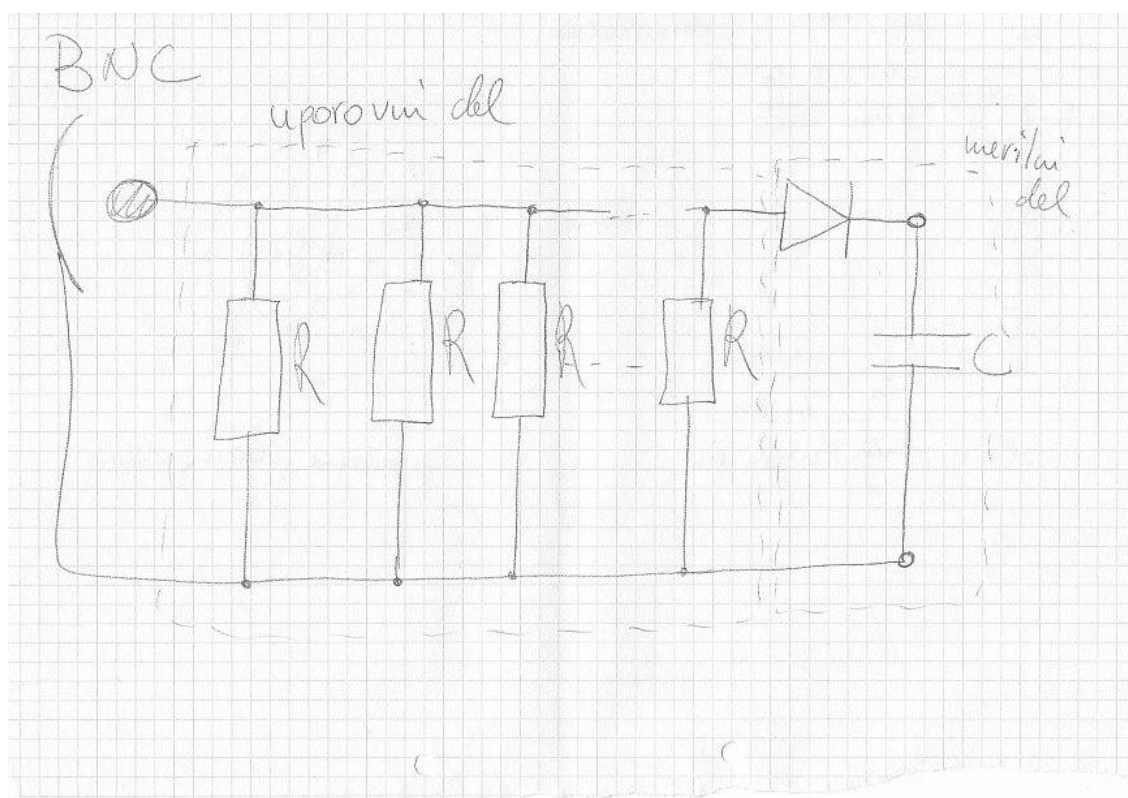
UVOD

Z gradnjo te naprave sem se lotil zato, ker jo potrebujem za nastavljanje parametrov oddajnikov ter meritve povezovalnih koaksialnih kablov in druge radioamaterske opreme. Zanimiva se mi je zdela ideja ameriškega kolega K4EAA, ki je gradnjo objavil na spletni strani [1]. Zadeve sem se lotil tudi zato, ker je izdelava enostavna, robustna in poceni.

Srce naprave predstavlja vzporedno vezanih dvajset 1 kOhmskih 3W@70°C metal plastnih uporov, datasheet najdete na tej spletni strani[2]. Poleg moči posameznega upora je pomembno predvsem to, da so metal plastni, torej frekvenčno neodvisnejši kot pa žični upori, ki kraljujejo v močnostnem razredu. Potreboval sem še 50 ohmski BNC konektor, ploščico vitroplasta, diodo, keramični kondenzator in izrabljeno pločevinko recimo barve, v mojem primeru medu.

GLAVNI DEL

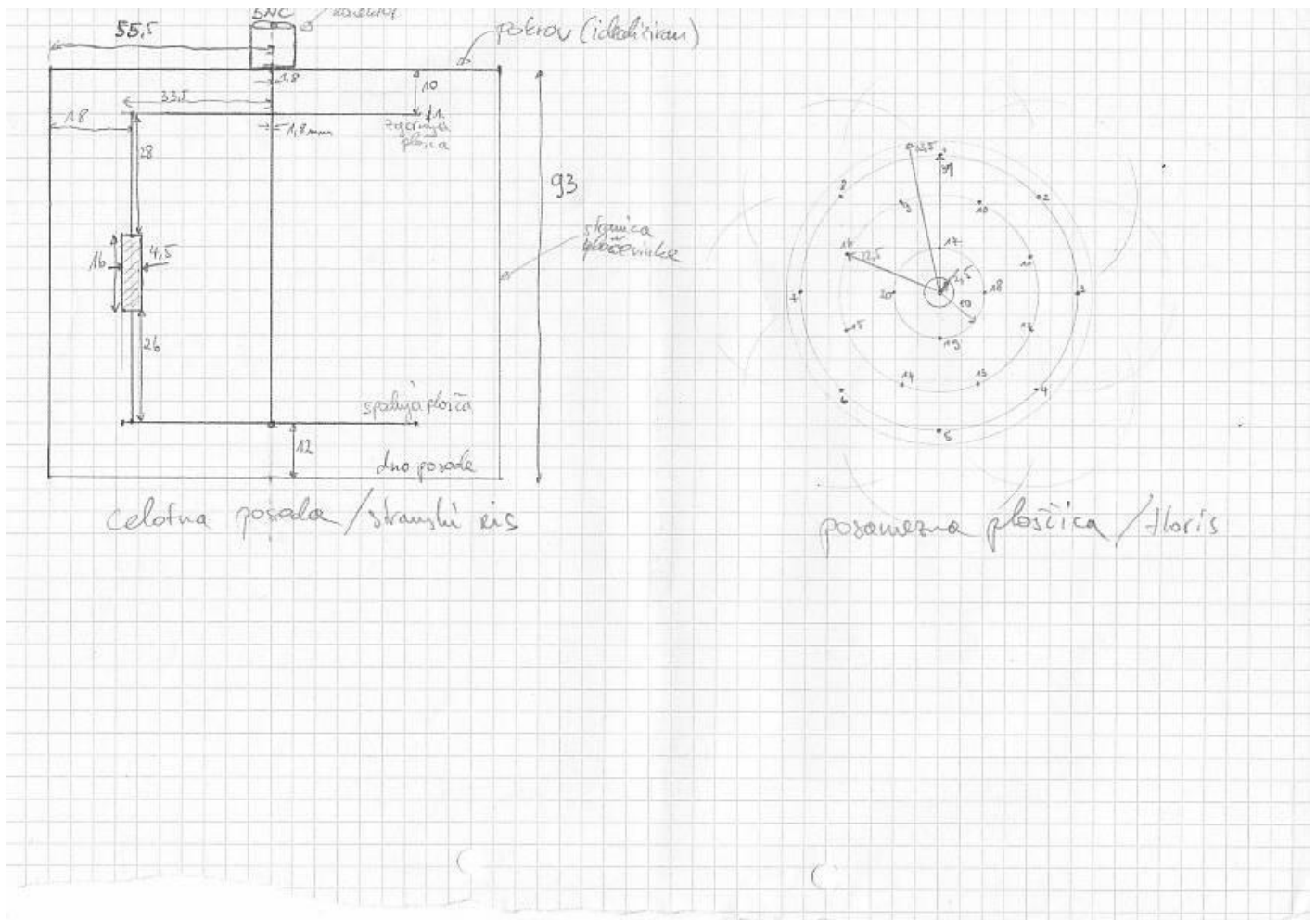
Shema celotnega vezja:



Naprava je sestavljena iz uporovnega dela, na katerem se troši vsa moč in ima 50 ohmsko impedanco ter merilnega dela, njegovo sestavo bom opisal pozneje.

Uporovni del:

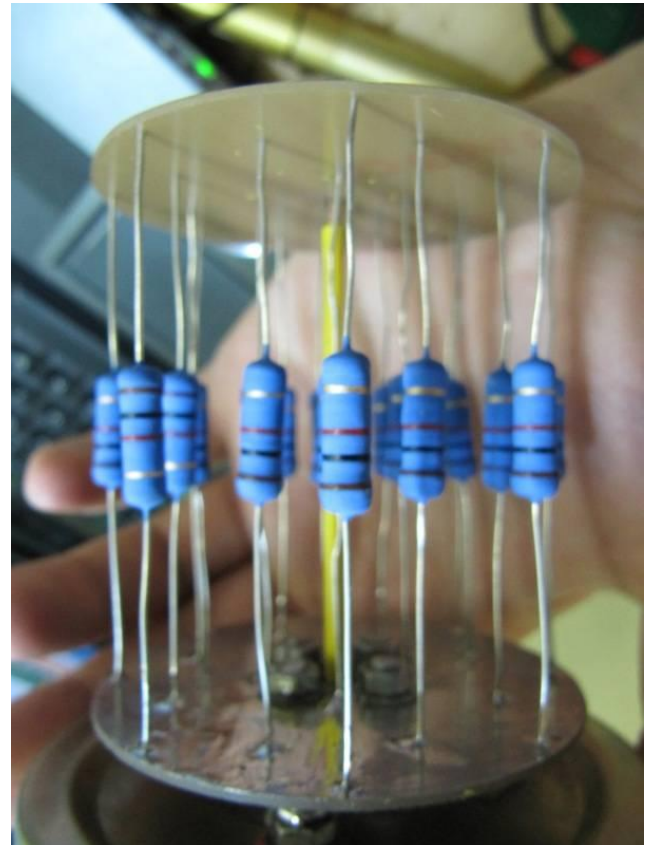
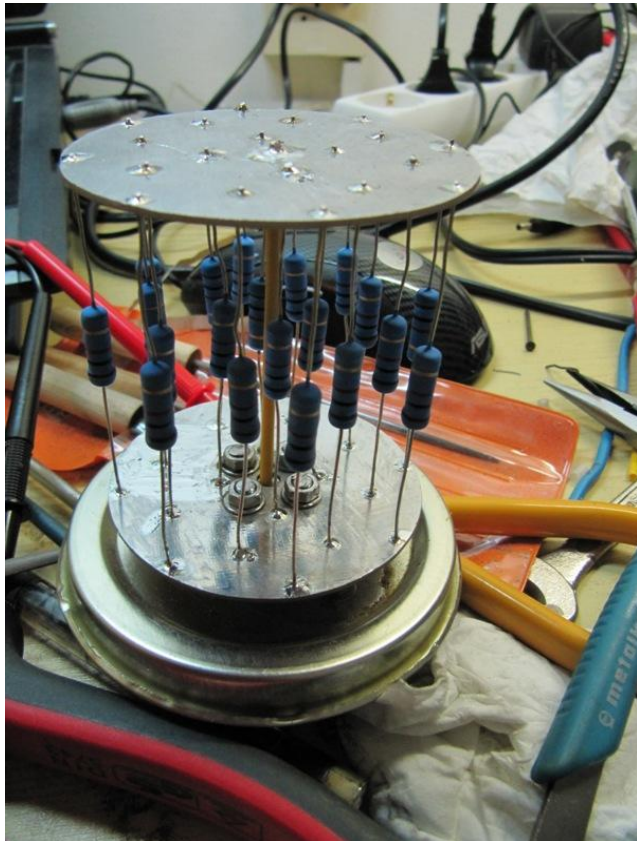
Uporovni del sestavlja že prej omenjenih 20 metal plastnih uporov 1kOhmskih nazivne moči 3W pri 70°C in 5% tolerance. Zakaj ravno 1kOhm? Ker nam vezava dvajsetih uporov vzporedno da ravno 50 Ohmov, ki jih tako željno potrebujemo in da nam tudi 60W moči celotnega „upora“. Ohišje za upore sem izbral pločevinko medu, ki bo varovala upore pred zunanji vplivi in s pomočjo transformatorskega olja prenašala toploto z uporov v okolico. Že z dizajnom sem želel čimbolj optimalno prenašanje toplote z uporov na ohišje, tako sem prišel na tole idejo:



Shema je v razmerju 1:1. Na levi strani vidimo stranski ris pločevinke in sestavljenega vezja. Pri načrtovanju sem pazil, da bi bili elementi čim bolj stran od ohišja pločevinke, ki je na masi, zaradi parazitnih kapacitivnosti in induktivnosti, po drugi strani pa sem moral paziti, da so bili elementi karseda narazen, zaradi boljšega toplotnega prevajanja na ohišje. Tako se ubral nekakšen optimum izvedbe. Želel pa sem tudi dokaj preprosto geometrijo za kasnejše numerično izračunavanje električnega in magnetnega polja ter preračunavanje L in C parametrov. Na desni strani vidimo tloris posamezne ploščice, ki so dve in so si medseboj enake. Če bi podrobno pogledali kako so si upori razmaknjeni, bi opazili, da so uporovi najbližji sosedi oddaljeni za enako dolžino od njega. Po sredini celotne strukture poteka napajalna žica $2,5\text{mm}^2$, ki se začne na sredici BNC konektorja in poteka do spodnje ploščice, katera ima tako pritisnjeno napetost zunanjega vira. Žica je najbolje če je trda (zaradi tega da pripomore k stabilnejši strukturi) in debela (zaradi manjše induktivnosti). Izdelane ploščice, katere sem zaradi boljšega spajkanja, izgleda in vzdržljivosti prevlekel s slojem lota, so spodaj:



Na levi ploščici sem kasneje dodal še štiri luknje za vijake, s katerimi sem privil BNC konektor na pokrov pločevinke in preko teh vijakov še celotno uporovno strukturo. Tukaj je možno tudi drugačno pritrjevanje, zdelo se mi je, da bi bila tako celotna zadeva bolj trda, odporna na padce in fiksna. Najbolje je, da najprej izvrtate luknjo v pokrovu procevinke, vstavite BNC konektor, ga privijete in na sredico prispajkate trdo žico. Nato privijete vrhno ploščico in se lotite spajkanja uporov na to vrhno ploščico. Z dolžino uporov nastavljate induktivnost celotnega bremena in posledično višjo frekvenčno mejo. Zveza je takšna, čimkrajše vezne povezave manjša induktivnost, višja frekvenčna meja in slabše odvajanje temperature na breme in obratno. Ko prispajkate vse upore na vrhno ploščico se malo potrudite ter vstavite spodnjo ploščico tako, da gredo upori v prave luknje in vse prispajkate. Sestavljena in privijačena struktura na pokrov pločevinke je spodaj:



Merilni del:

Merilni del naprave sestavljata dve diodi BAY80 (datasheet [6]) in kondenzator na zunanjih sponkah. Dioda mora imeti dovolj veliko zaporno napetost (za 100W moči vsaj 100V – gledamo maksimalno vrednost sinusa, ki ga diodi usmerita) in čimnižjo kapacitivnost recimo 2-6pF ter čim manjšim reverznim tokom diode. Dve diodi sem dodal za varnost, če bi breme obremenjeval z višjimi močmi. Merilni del deluje tako, da se oddana napetost s pomočjo dveh diod usmeri, stabilizira s pomočjo kondenzatorja in izmeri z voltmetrom. Zaradi majhnega popačenja izhodne stopnje je ponavadi drugi harmonik vsaj 40 dB nižji od osnovnega, zato je merilni sistem usmerjanje nosilnega sinusa (3Mhz, 7Mhz, 10Mhz, 14Mhz...) odvisno od radioamaterskega frekvenčnega območja. Izračun moči je enostaven:

$$U_{izmrms} = U_{rfrms} - 2U_k; 2U_k \approx 1.4V$$

$$P_{RF} = \frac{U_{rfrms}^2}{R} = \frac{(U_{izmpp} + 1.4)^2}{2 \cdot 50}$$

Celoten izdelek pa izgleda takole:



Analiza delovanja:

V uporovnem delu je dvajset 1k ohmskih uporov tolerance 5% vezanih vzporedno. Tako dobim teoretično $(50 \pm 2,5)\Omega$. Toleranca 2,5 ohmov pride iz 5% tolerance uporov. Torej v najboljšem primeru je breme 50 ohmsko, v najslabšem pa 47,5 ali pa 52,5 ohmsko. Posamezen upor zdrži 3W in se lahko segreje 230°C . Skupina dvajset vzporedno vezanih uporov za zdrži 60W (brez dodatnega hlajenja), saj se pri vzporedni vezavi uporov moči seštevajo, če so upornosti enake.

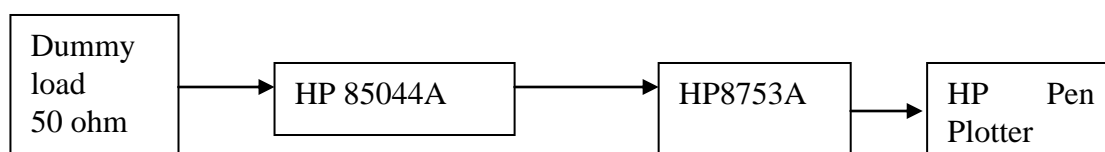
Najtežja naloga merilnega dela je bila določitev merilnega kondenzatorja, ki mora biti dovolj velik, da zadrži na sebi čimveč dane napetosti generatorja. Zavedati se moramo, da realna dioda, ki ima paralelno nase vezano neko kapacitivnost, predstavlja pri višjih frekvencah (Mhz področje) frekvenčno odvisno impedanco, ki močneje prazni kondenzator kot pa zaporni tok diode. Zaporedno vezani dve diodi impedanco teoretično podvojijo, če so seveda enaki. Pri določevanju sem si pomagal s simulatorjem vezij Spice Opusom, saj analitično z izračuni nisem prišel daleč od 25pF kondenzatorja, ki pa bi bil občutno premajhen.

Kondenzator naj bi torej bil keramični okrog kapacitivnosti 10nF in vsaj 200V nazivne napetosti. Ne smemo uporabiti elektrolitov, ker se lahko na sponkah kondenzatorja pojavi negativna napetost, ravno zaradi prevajanja diode pri višjih frekvencah, kar privede do uničenja kondenzatorja. Uporabil sem 50nF keramični kondenzator z nazivno napetostjo 250V, ker sem ga imel ravno pri roki.

- izmerjene karakteristike

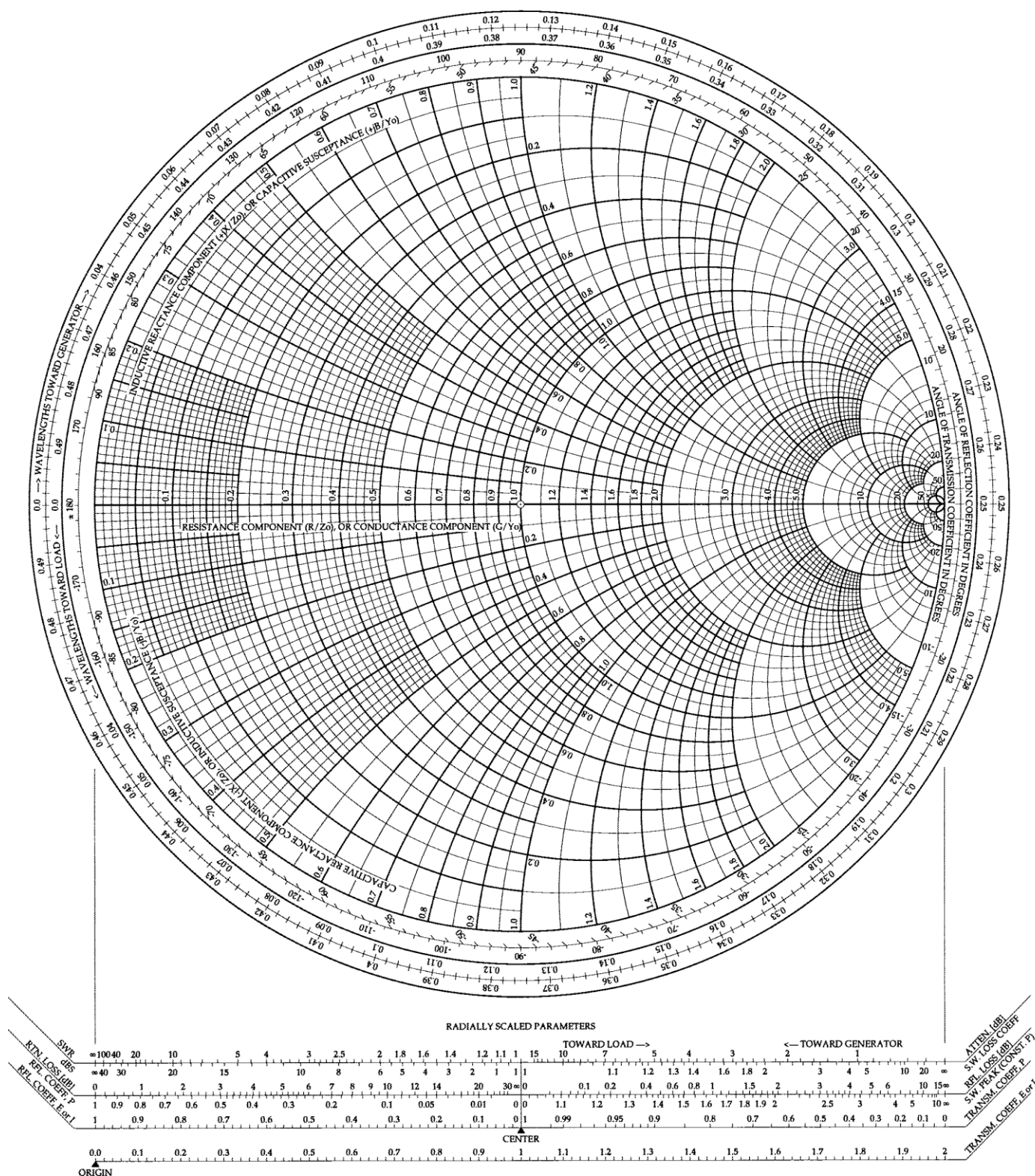
Meritve je izvedel dr. Leon Pavlovič v laboratoriju za sevanje in optiko na Fakulteti za elektrotehniko v Ljubljani s HP 8753A[4], ki je Hewlett Packardov analizator vezij frekvenčnega razpona 300kHz – 3GHz in HP 85044A[3], ki je mostič za merjenje 50 ohmskih oddanih in odbitih. Rezultate meritev Smithov graf in SWR(f) brez transformoskega olja v pločevinki in z njim je izrisal HP Pen Plotter.

Shema meritve:



The Complete Smith Chart

Black Magic Design



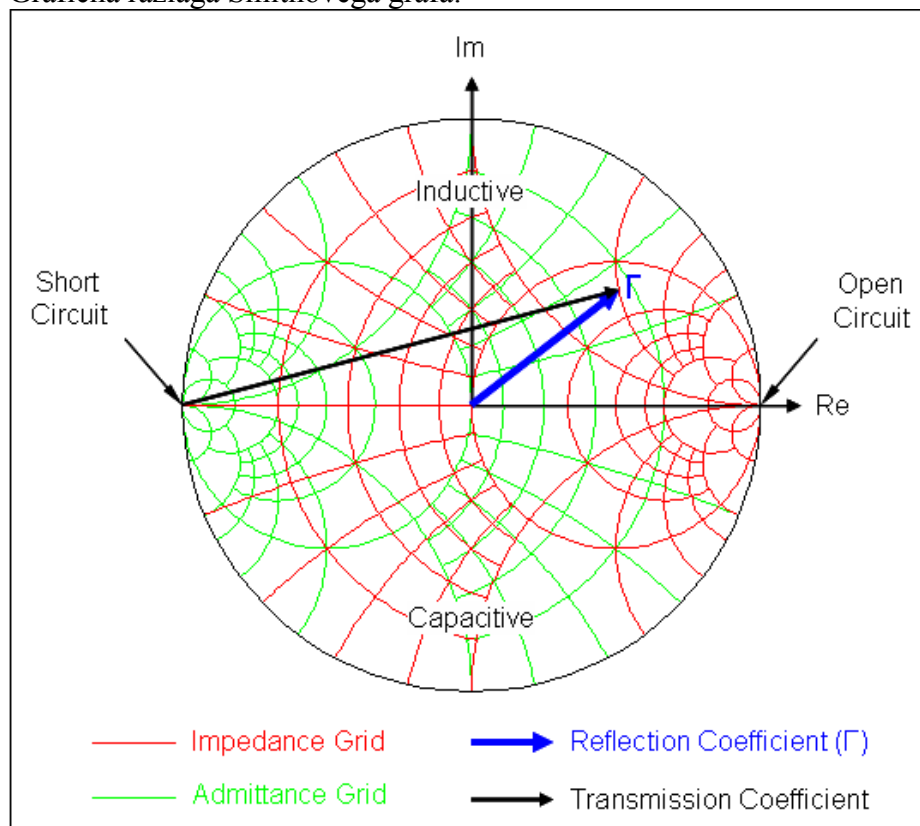
Najprej moramo povedati kaj je Smithov graf? Je grafični prikaz parametrov naprave (impedančnih, admitančnih, refleksijskih koeficientov, s parametrov...) pri različnih frekvencah in je nepogrešljiv pri reševanju problemov v radijskem spektru. Smithov graf je izrisan v kompleksni ravnini refleksijskih koeficientov (odbojnih) z normirano impedanco ali admitanco ali oboje. Smithov graf se prične na x-osi, če

izberemo risanje od DC in gre v smeri urinega kazalca. Če je merjenec v kratkem stiku smo na levi strani grafa, če odprte sponke na desni, drugače pa nekje vmes. Ker je moje breme v DC 50 ohmsko in je instrument HP8753A bil pred meritvijo kalibriran na 50 ohmov (sredina Smithovega grafa), se krivulja prične na x-osi malo levo od sredine, kar pomeni, da je impedanca bremena pri 300kHz (spodnja meja instrumenta) realna in nižja od 50 ohmov. Bolj kot se krivulja oddaljuje od središčne točke (tu sta realni in imaginarni refleksijski koeficient enaka nič), bolj se merjenec razlikuje od željenih 50 ohmov.

Če se s točko nahajamo v:

- 1. kvadrantu je merjenec induktivnega značaja realni refleksijski koeficient je pozitiven pravtako tudi imaginarni, zato je impedanca bremena večja od 50 ohmov ($\Gamma_r > 0, \Gamma_i > 0, |Z_L| > 50$, induktivni značaj)
- 2. kvadrantu ($\Gamma_r < 0, \Gamma_i > 0, |Z_L| < 50$, induktivni značaj)
- 3. kvadrantu ($\Gamma_r < 0, \Gamma_i < 0, |Z_L| < 50$, kapacitivni značaj)
- 4. kvadrantu ($\Gamma_r > 0, \Gamma_i < 0, |Z_L| > 50$, kapacitivni značaj)

Grafična razlaga Smithovega grafa:



Reaktanco ali imaginarno in realno komponento impedance odčitamo iz Smithovega grafa na sledeči način: Postavimo se v točko, ki jo želimo izmeriti. Pogledamo induktivne ali kapacitivne krivulje in odberemo koeficient krivulje na katerem leži naša točka (recimo $k_L = 0,2$ (induktivni značaj)). Tako je $X_L = \omega L = k_L * Z_0 = 0,2 * 50 = 10 \Omega$. Pogledamo še uporovne realne krivulje in odčitamo koeficient krivulje na katerem leži naša točka (recimo $k_R = 0,9$). Sledi analogija od prej: $R = k_R * Z_0 = 0,9 * 50 = 45 \Omega$. SWR odberemo tako, da vzamemo dolžino točke do središča (1,0) in pogledamo v spodnji trak koliko je? SWR je 1.3 za naš primer. To pomeni, da breme pobere 98,23% ter 1,70% pa se odbije nazaj h generatorju. Večji kot je SWR več moči, ki jo odda generator se od bremena odbije nazaj k njemu. Definicija SWR ali standing wave ratio (razmerja stoječih valovanj) in reflektivnega koeficienta:

$$SWR = \frac{V_{\max}}{V_{\min}} = \frac{V_f + V_r}{V_f - V_r} = \frac{\sqrt{P_f} + \sqrt{P_r}}{\sqrt{P_f} - \sqrt{P_r}} = \frac{1 + \Gamma}{1 - \Gamma}$$

$$\Gamma = \frac{V_{\text{ref}}}{V_{\text{inc}}} = \frac{Z_L - Z_0}{Z_L + Z_0} = \Gamma_r + j\Gamma_i$$

Računanje z reflektivnima koeficientoma zahteva nekaj izpeljave, da pridemo do končnih formul, ki nam povezujejo realno in imaginarno komponento impedance z realno in imaginarno komponento refleksijskih koeficientov. Če koga zanima izpeljava[5]. Enačbi:

$$R = rZ_0 = Z_0 \frac{1 - \Gamma r^2 - \Gamma i^2}{1 + \Gamma r^2 - 2\Gamma r + \Gamma i^2}$$

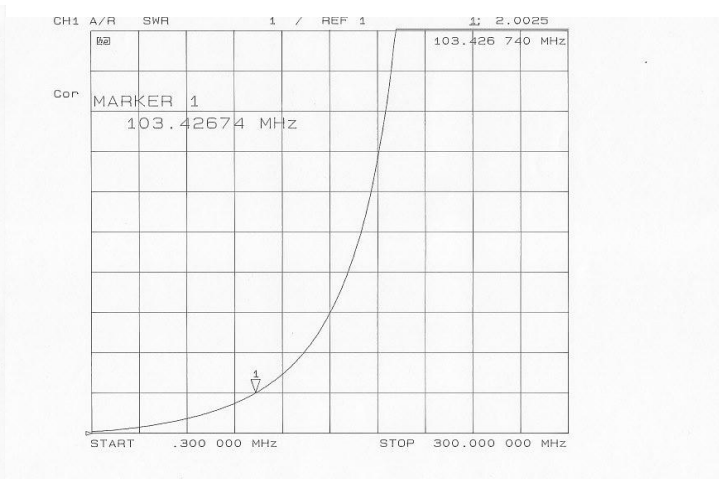
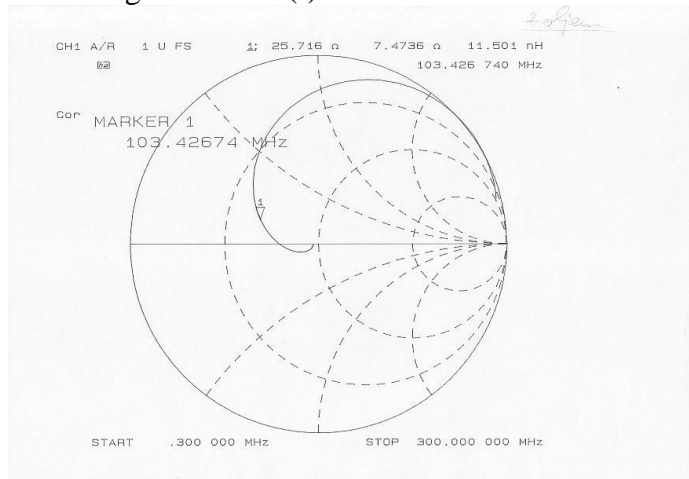
$$X_L \text{ ali } X_C = Z_0 \frac{2\Gamma i}{1 + \Gamma r^2 - 2\Gamma r + \Gamma i^2}$$

Rezultati meritev so sledeči:

Kurzor je na vseh grafih nastavljen na SWR=2. Pri takem SWR-ju se 11,11% oddane moči odbije nazaj k oddajniku (viru). Pri 100W oddajniku je to 11W odbite moči, kar pa oddajnik ne bi prenesel, zato imajo moderni oddajniki na izhodu zaščito, ki zniža oddajno moč do takega nivoja, da odbita moč ne poškoduje izhoda oddajnika. Na meritvah si bomo ogledali pri katerih frekvencah nastopi SWR=1.2, saj je takrat odbita moč 0.83% in kar je že dobra izhodna zaključitev.

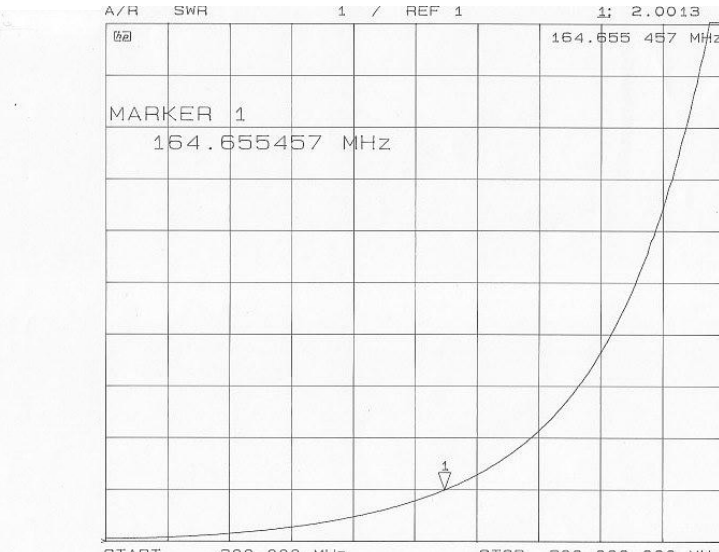
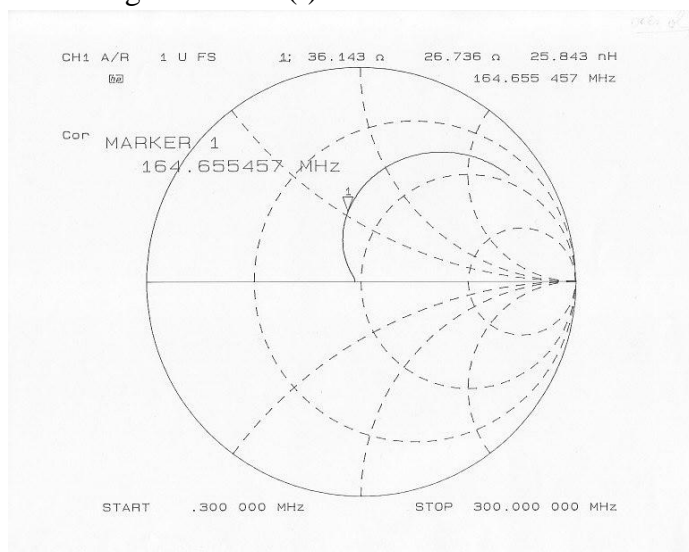
z oljem:

Smithov graf in SWR(f)



brez olja:

Smithov graf in SWR(f)



Analiza rezultatov:

Kurzorja na obeh grafih sta postavljena na SWR=2, če bi izmerili frekvenco pri kateri je SWR=1.2, bi izmerili:

- za primer brez olja:
 $f(\text{SWR}=1.2)=82\text{Mhz}$, pri tej frekvenci ima induktivni značaj $Z=r+jX_L=(42+j6)\Omega$
- za primer z oljem:
 $f(\text{SWR}=1.2)=41\text{Mhz}$, pri tej frekvenci ima kapacitivni značaj $Z=r-jX_L=(41,5-j3)\Omega$

Breme je dovolj dobro za kratkovalovno področje (do 30MHz). Olje kot opazimo že iz Smithovega grafa poslabša frekvenčno mejo bremena, prav tako pa tudi njegov značaj pri nižjih frekvencah.

Meritev moči pa ne prilagam zraven, ker sem meritve izvajal s postajo Icom IC-726 in POWER metrom Zetagi TM535 za katerega ne vem napake pri merjenju moči. Lahko pa zagotovim, da sta izmerjeni moči na bremenu v primerjavi s TM535 podobni oz. enaki. Tudi najbolj kvalitetni in profesionalni merilci moči imajo toleranco pri polnem odklonu kazalca $\pm 5\%$. Primer takega merilca moči je BIRD 43p.

ZAKLJUČEK

Prva težava je bila dobavljivost metal plastnih uporov takšnih moči, saj sem na dostavo čakal dober mesec. Drugače pa so se težave vrstile ena za drugo in sem jih reševal sproti. Na primer: nisem dobil dovolj dolgih vijakov z majhno glavo. Zato sem moral glavo vijaka zbrusiti in povrtati luknje za vijake na BNC konektorju. Veliko je bilo mehničarskega dela in moral sem biti natančen. Še največjo težavo so mi predstavljale usmerniške diode. 1N5402, ki je bila odlična v smislu zaporne napetosti in toka v prevodni smeri, pa je bila za nič zaradi velike kapacitivnosti v zaporni smeri. 1N4148, ki sem jo uničil ob preklapljanju kondenzatorja, saj ima ta dioda premajhen nazivni tok v prevodni smeri, vendar pa najmanjšo kapacitivnost izmed diod, ki sem jih našel doma 2pF. Na koncu sem se odločil za dve bay80, ki bodo upam zdržale.

Breme bi lahko nadgradil tako, da bi dobil mineralno olje, ki je boljše od transformatorskega pri višjih frekvencah in tako da bi merilec moči vgradil v pokrov bremena.

VIRI IN LITERATURA

- [1] <http://www.k4eaa.com/dummy.html>
 [2] http://www.tycoelectronics.com/commerce/DocumentDelivery/DDEController?Action=showdoc&DocId=Data+Sheet%7F1773271%7FD%7Fpdf%7FEnglish%7FENG_DS_1773271_D.pdf
 [3] http://www.valuetronics.com/vt/assets/pdfs/HP_85044A.PDF
 [4] http://www.teknetelectronics.com/DataSheet/HP_AGILENT/HP__8753A.pdf
 [5] <http://www.maxim-ic.com/app-notes/index.mvp/id/742>
 [6] <http://www.datasheetcatalog.org/datasheet/vishay/85553.pdf>