

## Merjenje moči

### Merilnik moči

Merjenje moči je ena od najbolj osnovnih visokofrekvenčnih meritev. Prvi visokofrekvenčni merilniki moči so bili kalorimetri, kjer se je voda uporabljala kot absorber valovanja, vpadna moč pa je bila izračunana glede na dvig temperature vode. Dandanes je na razpolago več tipov merilnikov moči, odvisno od merjenega signala (nemoduliran ali moduliran signal), vhodne občutljivosti merilnika ali pa vrste merjene moči (povprečna, pulzna ali vršna). V grobem se merilniki moči ločijo na bolometrične (moč se izračuna na podlagi spremembe temperature senzorja) in diodne merilnike. Diodni merilniki dosegajo višje občutljivosti (vhodno območje od -70 dBm do +20 dBm) in znajo izmeriti tudi pulzne in vršne moči. Bolometrični merilniki (termistorski in termočlenki) pa merijo izključno povprečno moč, ki je sklopljena na senzor. Vsem merilnikom moči je skupno dejstvo, da merilnik sestavljata močnostna senzorska glava in merilna enota s prikazovalnikom. Termistorska merilna glava uporablja senzorski upor (termistor), ki ima negativni temperaturni koeficient. Zato se mu ob vpadni moči in posledičnemu segrevanju (dvig temperature) zniža upornost. Termistor je vezan v mostično vezje, s katerim odčitamo izhodno napetost mostička. Ta je neposredno proporcionalna vhodni moči, ki jo troši termistor. Zato ima termistor kvadratični režim delovanja. Za kompenzacijo sprememb temperature senzorja ima termistorski merilnik moči en dodatni pomožni mostiček, s katerim odšteje vplive sprememb zunanjih dejavnikov (spremembe sobne temperature, segrevanja zaradi uporabnikove roke, itd.). Oba termistorja v obeh mostičkih sta seveda v dobrem temperaturnem stiku, vhodna moč pa je sklopljena le na termistor glavnega mostička. Občutljivost termistorskega merilnika moči je manjša od merilnika s termočlenom.



Slika 1: Merilna glava s termočlenom

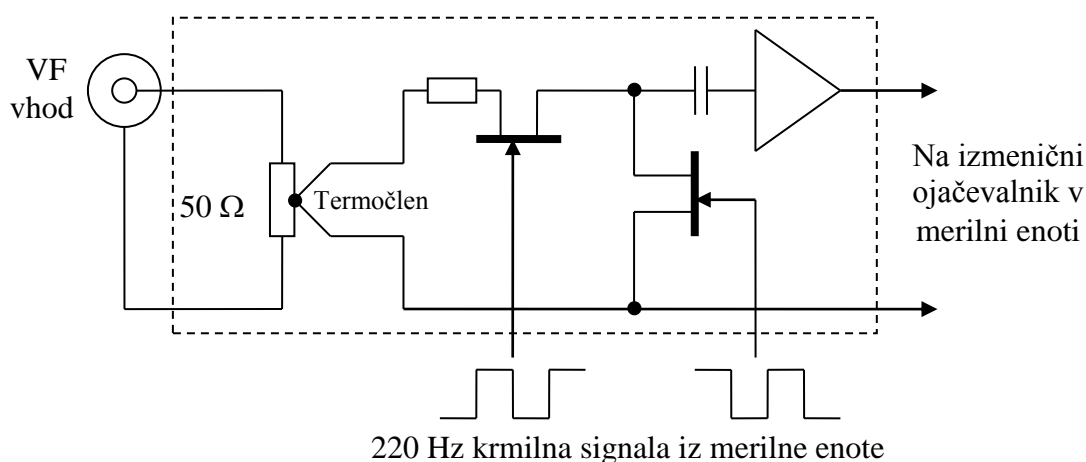
Merilna močnostna glava, ki uporablja kot senzor termočlen, deluje na principu segrevanja spoja dveh različnih kovin. Tak spoj proizvaja na svojih sponkah napetost, ki je

proporcionalna spremembi temperature in tako tudi vhodni visokofrekvenčni moči, ki je sklopljena na tak spoj. Zato ima tudi termočlen kvadratični režim delovanja. Merilniki moči s termočlenom so bolj občutljivi od termistorskih in njihovo vhodno območje moči znaša od -30 dBm navzgor (faktor občutljivosti okoli  $\sim 100 \mu\text{V}$  na 1 mW visokofrekvenčne moči), imajo manjšo merilno negotovost zaradi boljše vhodne visokofrekvenčne prilagoditve ter so manj občutljivi na spremembe sobne temperature. Frekvenčno območje znaša tipično od 100 kHz pa vse do 50 GHz, odvisno od izdelanega termočlena (ali verige več termočlenov). Merilne negotovosti oziroma točnosti merilnikov moči so dokaj različne glede na tip merilnika oz. inštrumenta. Tabela 1 prikazuje merilno negotovost raznih inštrumentov, ki so prisotni v laboratoriju.

Tabela 1: Merilne negotovosti

Tip merilnika oz. inštrumenta	Negotovost [%]	Negotovost [dB]	Pogoji
Termočlenska glava (HP 8481A)	+2..3	+0,09..0,13	-20...20 dBm
Diodna glava (HP 8481D)	+3..4	+0,13..0,17	-55...-20 dBm
Spek. analizator (AG 8565EC)	+26/-21	+1	
Spek. analizator (AG E4445A)	+4,4/-4,3	+0,19	
Signalni izvor (AG E4438C)	+12/11	+0,5	
Ref. izhod 50 MHz (HP 435A)	+0,6	+0,026	

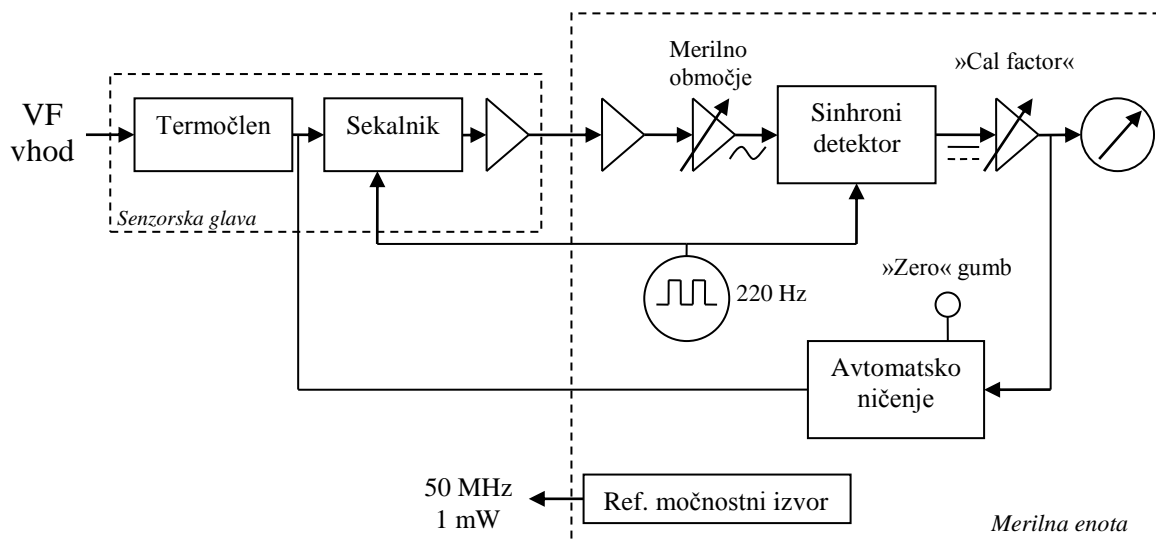
Pri vaji bomo uporabili merilnik moči s termočlensko senzorsko glavo, zato opis delovanja merilnika ni odveč. Sam senzor daje komaj okoli 100 nV za 1  $\mu\text{W}$  vhodne moči (spodnje merilno območje). Tako nizko enosmerno napetost težko ojačujemo brez škodljivih pojavov (temperaturno lezenje aktivnih komponent), zato uporabimo napetostni sekalnik (ang. »chopper«) iz dveh poljskih (FET) tranzistorjev. Pridobljeno izmenično napetost pravokotne oblike, proporcionalno izhodni enosmerni napetosti iz termočlena, ojačimo že v sami senzorski glavi, glavno ojačenje pa se naredi v merilni enoti. Poenostavljeno vezje močnostne senzorske glave s termočlenom prikazuje slika 2. Napajalne in krmilne signale dobi glava iz merilne enote. Kjerkoli v glavi bi lahko zaradi uporabe komponent iz različnih kovin nastali novi termočleni, ki bi vnašali znatne pogreške k meritvi, zato je celotno vezje (od vhodnega termočlena do izhodnega ojačevalnika) narejeno iz ene kovine, po navadi zlata.



Slika 2: Poenostavljeno vezje močnostne senzorske glave s termočlenom.

Merilna enota se sestoji iz nadaljnjih ojačevalnikov, sinhronega detektorja in enosmernega ojačevalnika za prikaz na analognem prikazovalniku. Poleg tega ima enota vezje za

avtomatsko ničenje lezenja ojačevalne verige. Poenostavljeni blokovni načrt celotnega merilnika moči z glavo je prikazan na sliki 3.



Slika 3: Poenostavljen blokovni načrt merilnika moči s termočlensko senzorsko glavo.

Izmenično napetost iz senzorske glave merilna enota najprej ojači in nato vodi na ojačevalnik z nastavljivim ojačenjem (izbira merilnega območja). Sledi sinhroni detektor, ki spremeni ojačani izmenični signal v enosmerno napetost (sinhrono s frekvenco napetostnega sekalnika), in nato še enosmerni ojačevalnik, ki krmili analogni prikazovalnik. Frekvenčni odziv termočlena lahko kompenziramo z enosmernim ojačenjem z izbiro nastavitve »Cal factor«. Temperaturno lezenje ojačevalnih stopenj (spremembe ojačenja) se lahko kompenzira z vezjem avtomatskega ničanja, ki ga priključimo v povratno vezavo s pritiskom na gumb za ničanje. Vezje avtomatskega ničanja prišteje k vhodnemu signalu signal s prikazovalnika v protifazi. Tako se odklon prikazovalnika s pritiskom na ničelni gumb postavi na ničlo, če na visokofrekvenčnem vhodu ni signala ter prikazovalnik kaže nek (napačen) odklon. Referenčni izvor s kalibriranim močnostnim nivojem 1 mW (0 dBm) s frekvenco 50 MHz uporabimo za preverjanje delovanja senzorske glave in ostale merilne naprave, ki nimajo kalibriranih močnostnih nivojev.

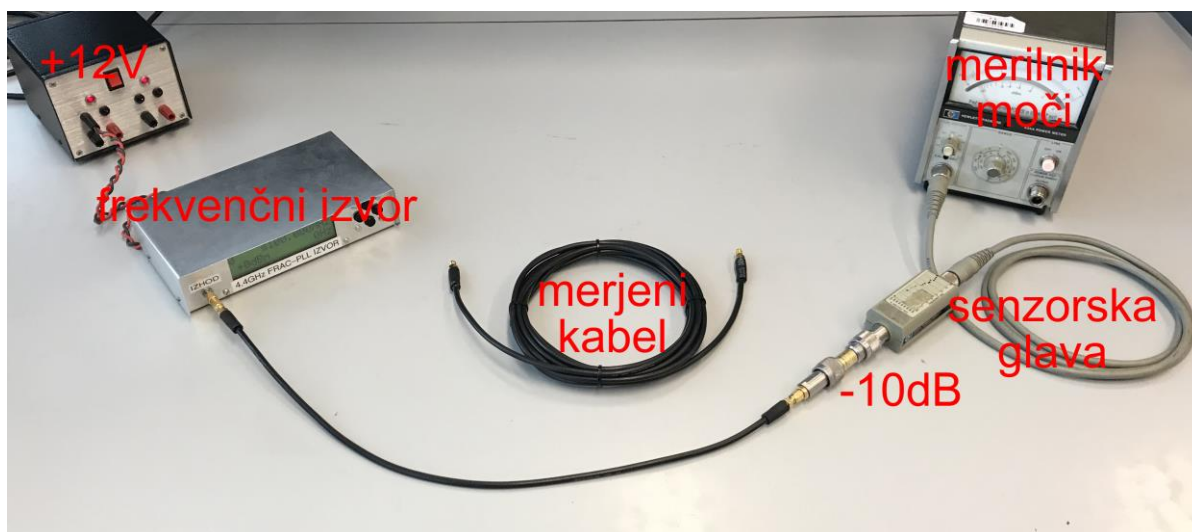
Močnostno senzorsko glavo s termočlenom največkrat (dokončno) poškodujemo s **preveliko vhodno močjo** (ta je vedno označena na sami glavi, običajno pa znaša +20 dBm povprečne moči ali ustrezno več pri pulzih signalih), **elektrostatiko** (zato se pred meritvijo vedno razelektrimo, tako da se najprej dotaknemo ohišja merilne enote in šele nato senzorske glave) ali pa **mehansko poškodujemo vhodni konektor** (zato vedno vrtimo matico in nikoli same glave).

### Seznam potrebnih pripomočkov

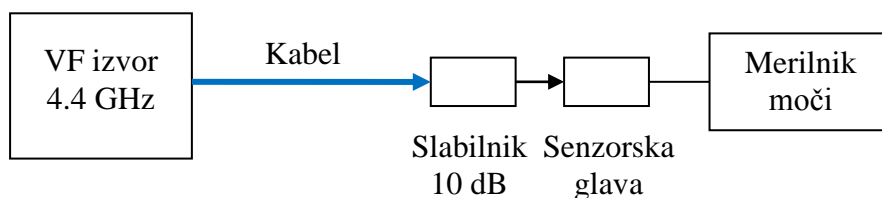
Za izvedbo vaje potrebujemo:

- Visokofrekvenčni izvor do 4.4 GHz
- Merilnik moči s pripadajočo senzorsko glavo s termočlenom (HP 8481A)
- Priključni kabli
- Zaščitni slabilnik 10 dB za frekvenčno območje do 4.4 GHz
- Različni visokofrekvenčni kabli

Postavitev merilnih pripomočkov prikazuje slika 4.



Slika 4: Slika vezave merilnih pripomočkov



Slika 5: Skica vezave merilnih pripomočkov

### Opis poteka vaje

Zanima nas odstopanje izhodne moči, ki je prikazana na zaslonu visokofrekvenčnega izvora v njegovem celotnem frekvenčnem območju. Za merjenje moči uporabimo senzorsko glavo s termočlenom in merilnim območjem od -30 do +20 dBm. Seveda privzamemo, da ima merilna senzorska glava merilnika moči dosti manjšo merilno negotovost, kot pa ima signalni izvor negotovost izhodne jakosti moči.

Preden začnemo z meritvijo moči merjenega izvora, poskrbimo za pravilne nastavitve samega merilnika moči, v kolikor to še ni bilo storjeno. Če je merilnik ugasnjen, preverimo, da je kazalec na ničli. Merilnik moči nato prižgemo in ga ne ugašamo tekom meritev niti med celotnimi vajami. Senzorsko glavo priključimo na referenčni izhod. Referenčni izvor zaenkrat pustimo ugasnjen. Preverimo morebitni odklon kazalca pri nižjih merilnih območjih (npr. pri -20 dBm ali -25 dBm). Če ta obstaja, pritisnemo tipko za ničenje (»zero«) in počakamo, da se kazalec postavi na ničlo. Merilno območje nato nastavimo na 0 dBm (1 mW) in nastavitvev »Cal factor« na 100 % (brez kompenzacije frekvenčnega odziva termočlena). Vklopimo referenčni močnostni izvor. Preverimo, ali kazalec kaže točno 0 dBm. Če ne, nastavimo »Cal adjust« potenciometer tako, da kazalec kaže točno 0 dBm oz. 1 mW. Sedaj je merilnik moči pravilno nastavljen in pripravljen za meritve.

Senzorsko glavo priključimo na zaščitni slabilnik, ki je že priključen na merjeni izvor. Vrednost slabilnika seveda poviša merilno območje merilnika moči za vrednost slabljenja. Gumb za kompenzacijo frekvenčnega odziva termočlena nastavimo na ustrezno vrednost, ki je označena na senzorski glavi ob nastavljeni frekvenci izvora. Izvor nastavimo na -10dBm,

izklopimo amplitudno modulacijo (0Hz), ter pri vsaki nastavljeni frekvenci izmerimo dejansko moč, ki jo frekvenčni izvor daje na svojem izhodu. Pri spremembi frekvence pazimo, da ponovno nastavimo kompenzacijo frekvenčnega odziva senzorja.



Slika 6: Signalni generator do 6 GHz

### Naloga

1. Izmerite odstopanje izhodne moči visokofrekvenčnega izvora, kadar je njegova moč na celotnem frekvenčnem območju nastavljena na -10dBm, ter je modulacija izklopljena 0Hz. Meritve zapišite v zbirno tabelo in jih narišite na graf.
2. Povezovalni kabel iz izvora do senzorske glave zamenjajte s slabšim kablom (slabši oklop, drugačen dielektrik, daljši kabel), ponovite meritve in ugotovite slabljenje kabla. Rezultat vrišite na isti graf. Komentirajte ugotovitve.