

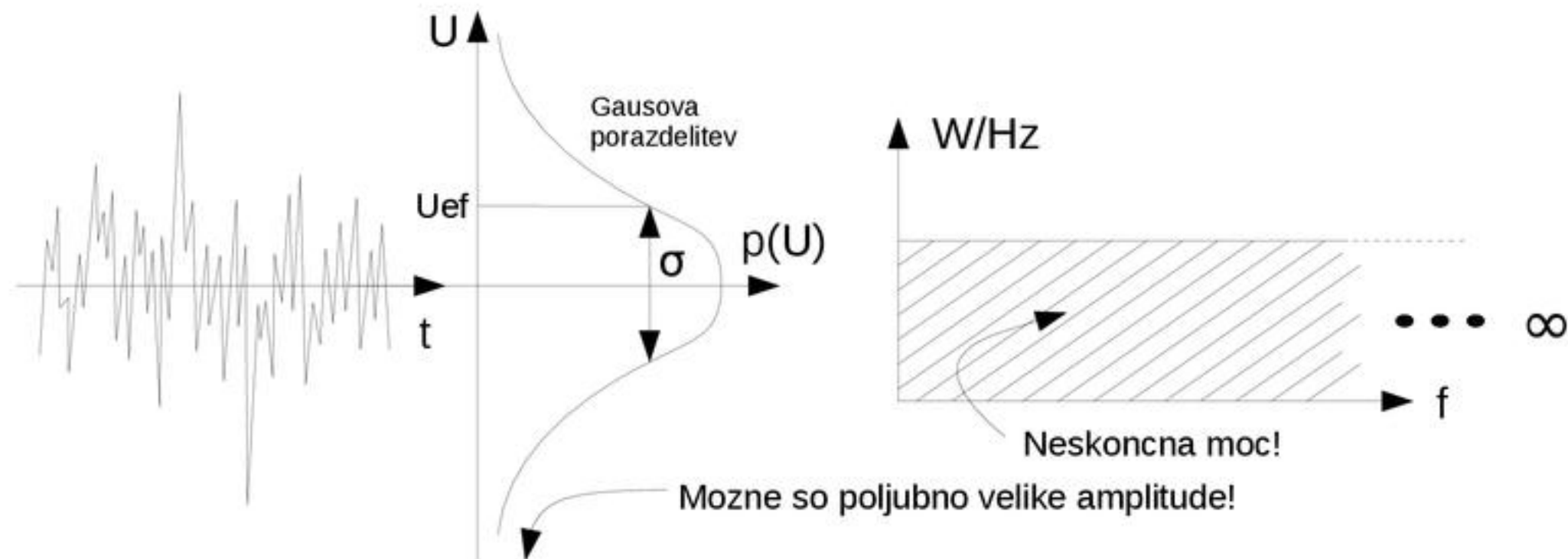
Meritev šunmih veličin z amaterskimi sredstvi

Marko Čebokli S57UUU

RIS 2016, Ljubljana

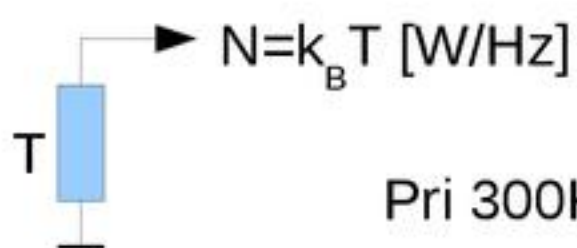
BELI SUM

»Matematična« definicija:
Spektralna gostota moci neodvisna od frekvence



»Tehnicna« definicija:
Konstantna spektralna gostota moci v pasu, ki nas zanima

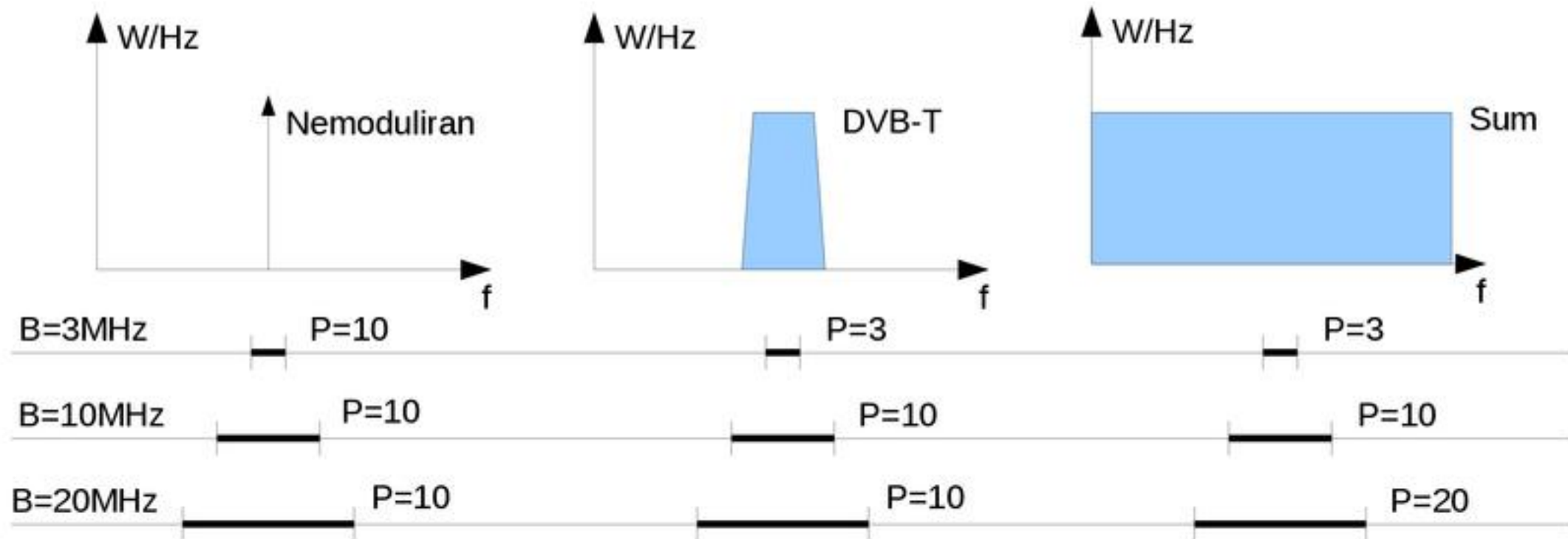
Primer: toplotni sum upora



Po Planckovi formuli prakticno konstanten (1%) do 100GHz,
vecji problem so parazitske induktivnosti in kapacitivnosti

Pri 300K je $N = -174\text{dBm/Hz}$

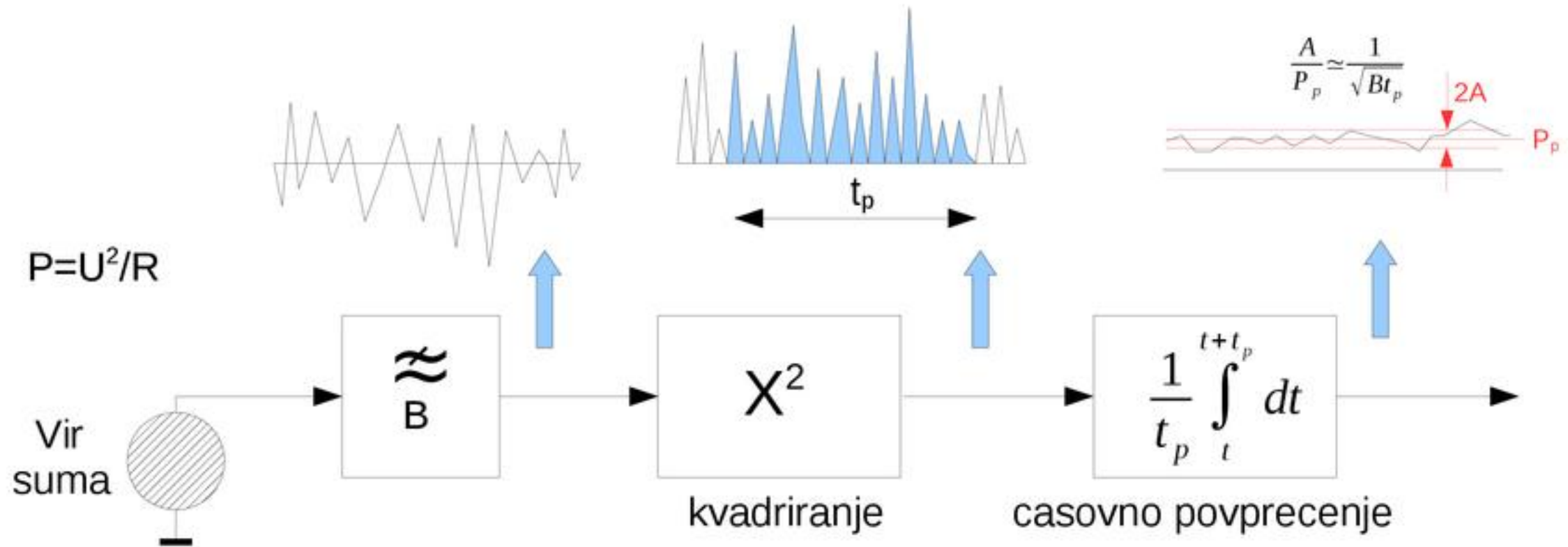
Meritev moci širokopasovnih signalov



Idealno: merilnik moci mora zajeti ves signal

Pri sumu to ni mozno, zato bo izmerjena moc vedno odvisna od pasovne sirine merilnika

Meritev moci suma (analogno)



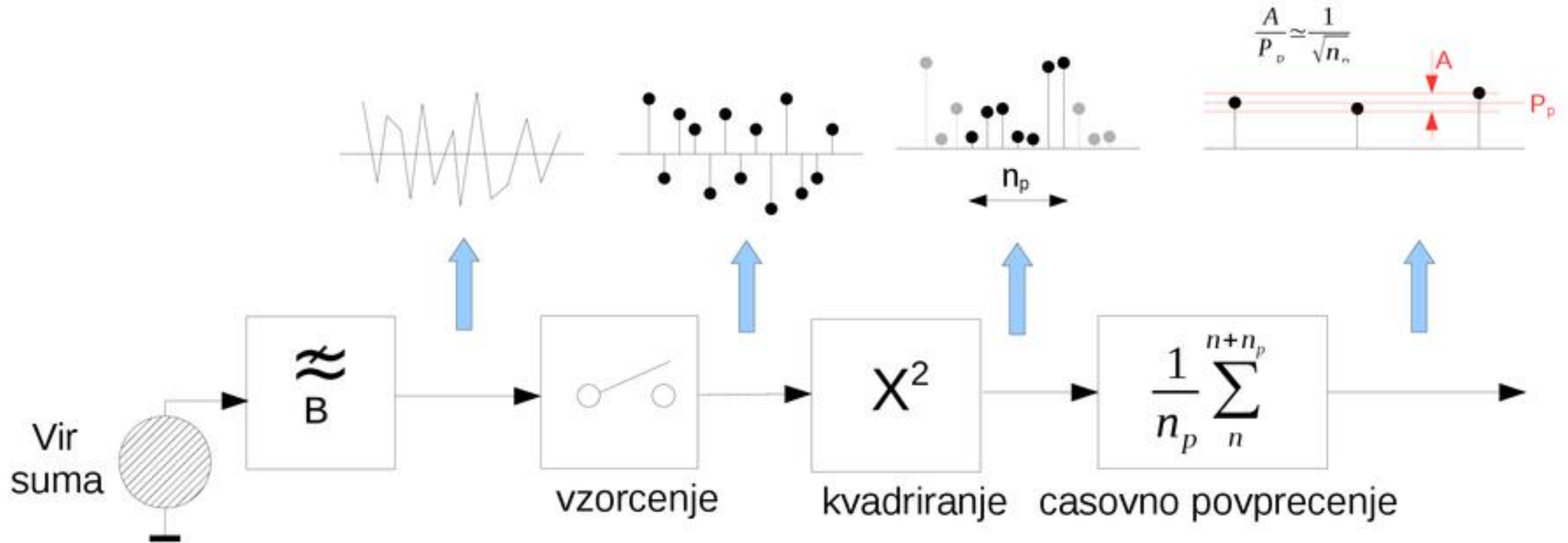
Funkcijo casovnega povprečenja v spektralnem analizatorju opravlja video filter: cim ozji je, tem daljsi je efektivni cas povprečenja.

Za natančno meritev suma potrebujemo cim vecjo pasovno sirino (vec informacije) pred detekcijo, in cim manjso (daljse povprečenje) po njej

Spektralni analizator ima ponavadi logaritemski (dB) prikaz: pred povprečenjem je se logaritmiranje, ki poreze vrhove in s tem zmanjsa povprecije.

Vrednosti suma, odcitani na logaritemskem prikazu, moramo zato pristeti 2.5dB.

Meritev moci suma (digitalno)



Za stabilno meritev moramo povprečiti cim vec vzorcev (velik n_p)

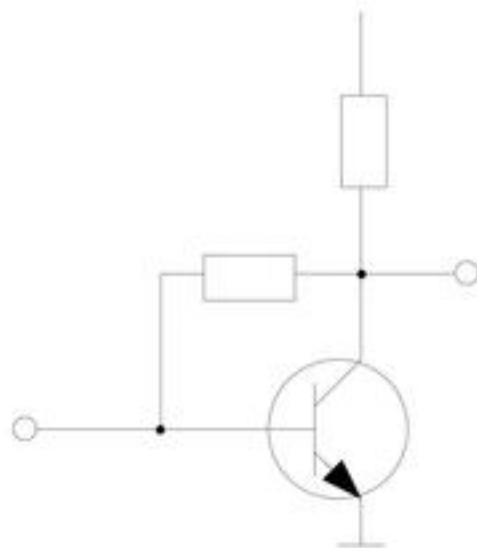
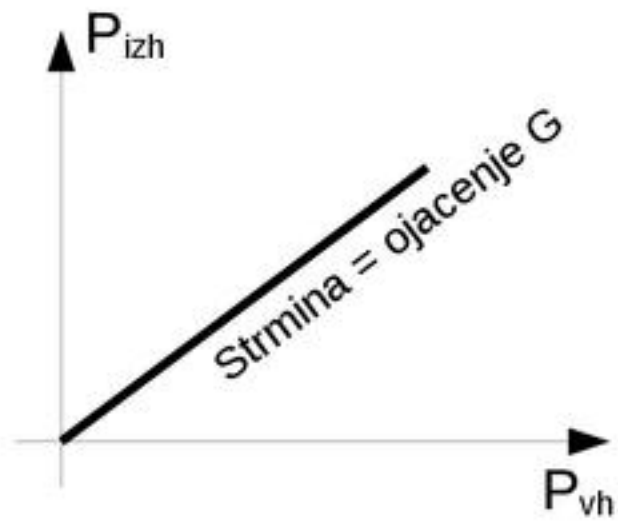
Visja frekvenca vzorčenja nam da vec vzorcev v casovni enoti – zazeljeno je vsaj kak milijon vzorcev na sekundo.

Seveda pa mora imeti signal na vhodu zadostno pasovno sirino B , da dobimo neodvisne vzorce. (Nyquist: $B > 2f_s$)

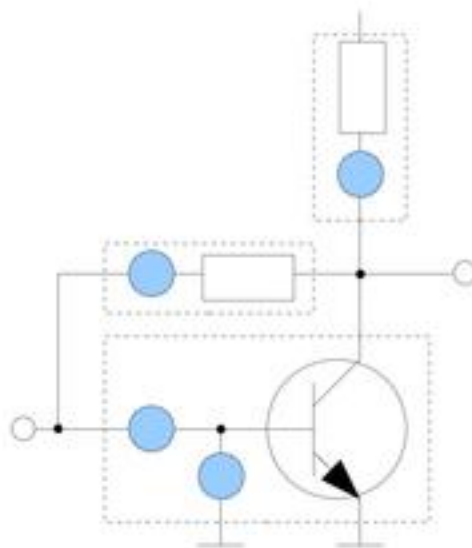
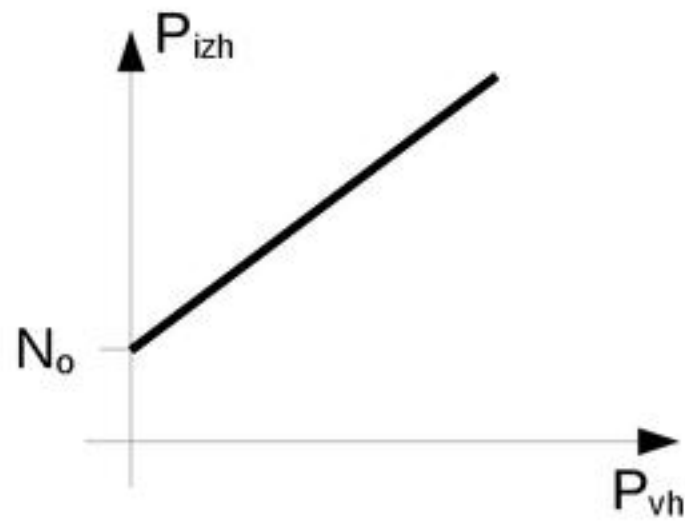
Zato vzorčenje izhoda SSB sprejemnika z zvocno kartico ni posebno ucinkovita metoda merjenja suma.

Sum v ojačevalniku

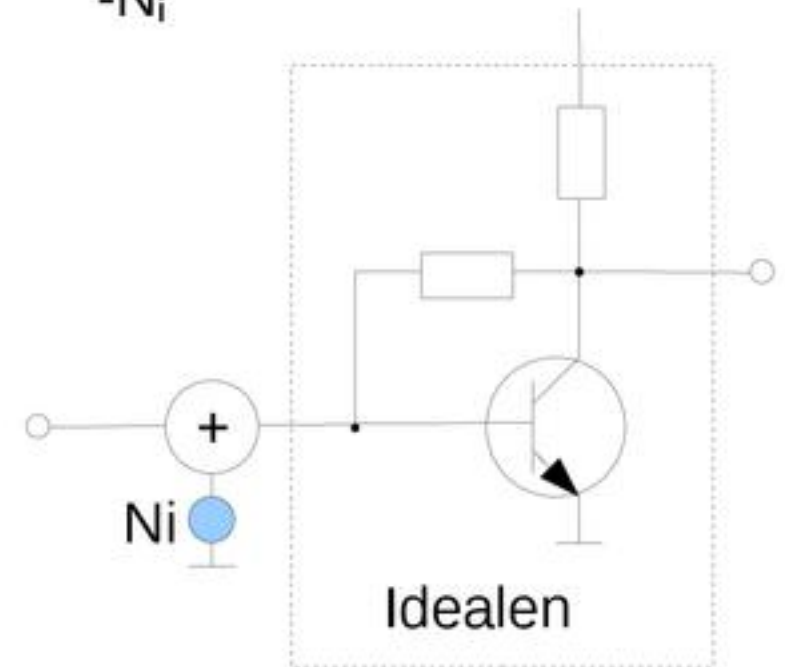
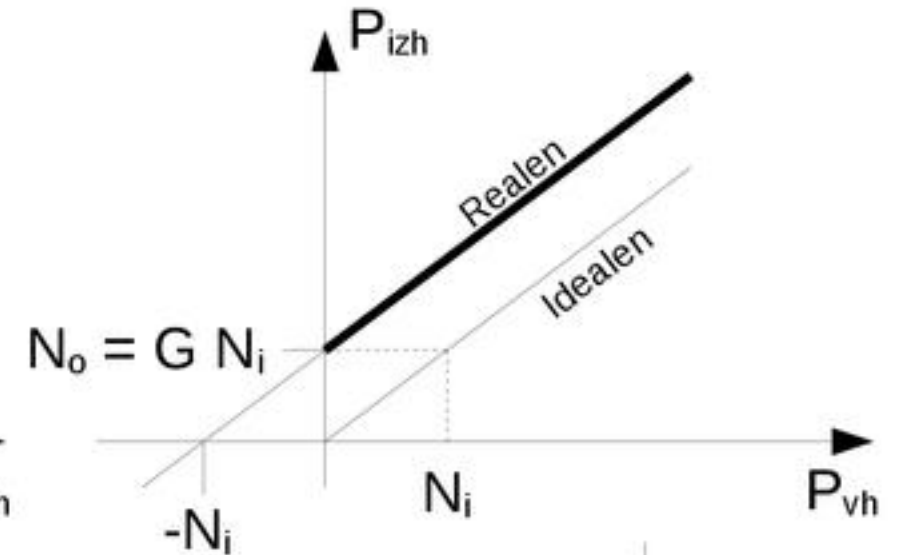
Idealen



Realen



Model



Vse vire preracunamo na vhod, da lahko skupni sum primerjamo s koristnim vhodnim signalom

Absolutna meritev nivoja suma



1. Natančno moramo poznati ojačenje merjenca
2. Tочnost meritve nivoja pri spektralnih analizatorjih je ± 1 dB do ± 3 dB in slabše
3. Tочna pasovna sirina analizatorja? (Tipično 1.2×3 dB sirina)
4. Sirokopasovna preobremenitev analizatorja?

Primer: Merjenec $NF=1$ dB (75K), $G=30$ dB

Breme 300K, analizator $NF=30$ dB (290kK)

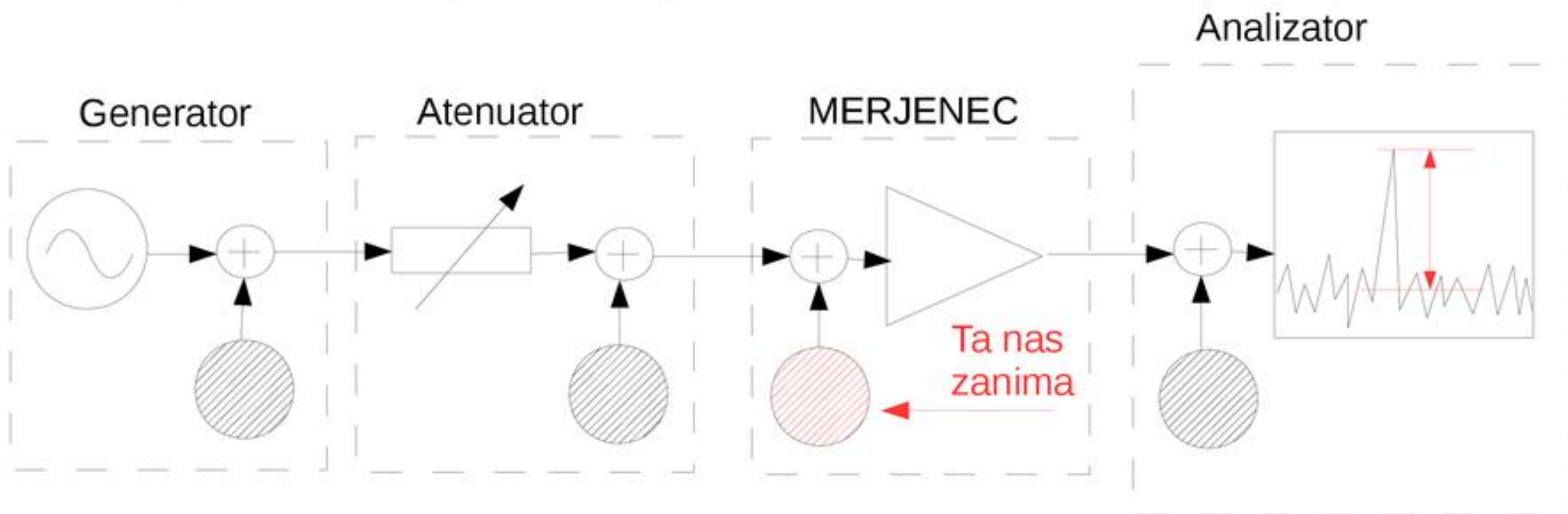
Merjeni nivo = $1000 \cdot (300 + 75) + 290000 = 665000$ K

Prispevek merjenca je $1000 \cdot 75 = 75000$, to je 11% oz. 0.5 dB

Za meritev malih nivojev suma metoda ni kaj prida

Meritev preko razmerja S/N (obcutljivosti)

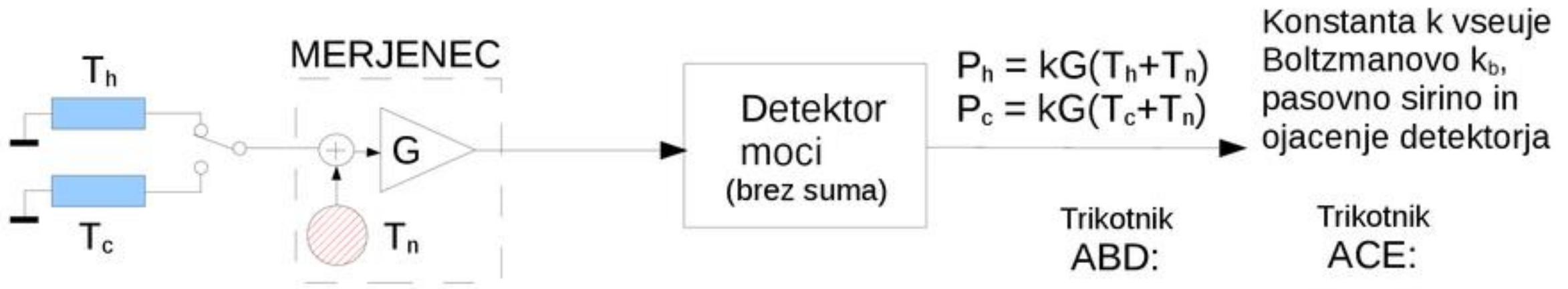
Ni treba poznati ojačenja merjenca
Absolutna kalibracija analizatorja ni vazna



1. Koliksen del suma v resnici izhaja iz merjenca?
2. Pri velikem S/N, tocnost logaritemskega detektorja?
3. Pri veliki atenuaciji, tocnost atenuatorja, presluhi?
4. Koliksna je točna pasovna sirina analizatorja?

Metoda je uporabna za grobi preizkus, dela / ne dela, »smo gluhi ali ne?«

Meritev s sumnim virom kot referenco



Trikotnik ABD: $\frac{T_c + T_n}{P_c} = \frac{T_h + T_n}{P_h}$
 Trikotnik ACE:

$$T_n = \frac{P_c T_h - P_h T_c}{P_h - P_c}$$

Spodaj in zgoraj delimo s P_c :

$$T_n = \frac{T_h - \frac{P_h}{P_c} T_c}{\frac{P_h}{P_c} - 1} = \frac{T_h - Y T_c}{Y - 1} \quad Y = \frac{P_h}{P_c}$$

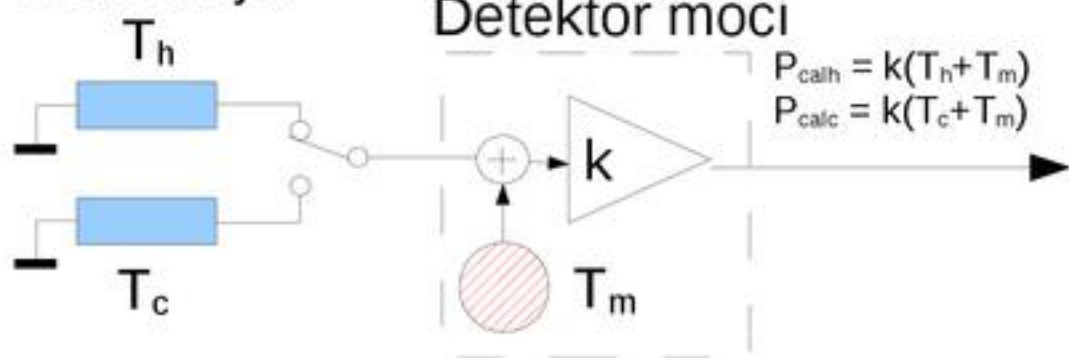
- v T_n je skrit tudi prispevek suma realnega detektorja moci
- ne izvemo ojačenja G (izvemo lahko samo produkt kG)

Za meritev T_n zadosca, da poznamo razmerje P_h/P_c

Sumno stevilo: $NF = 10 \log\left(\frac{T_n}{290} + 1\right) \quad T_n = 290\left(10^{\frac{NF}{10}} - 1\right)$

Kalibrirana meritev s sumnim virom

Kalibracija:



S to kalibracijo izvemo vrednosti T_m in k :

$$T_m = \frac{P_{calc} T_h - P_{calh} T_c}{P_{calh} - P_{calc}} \quad k = \frac{P_{calh} - P_{calc}}{T_h - T_c}$$

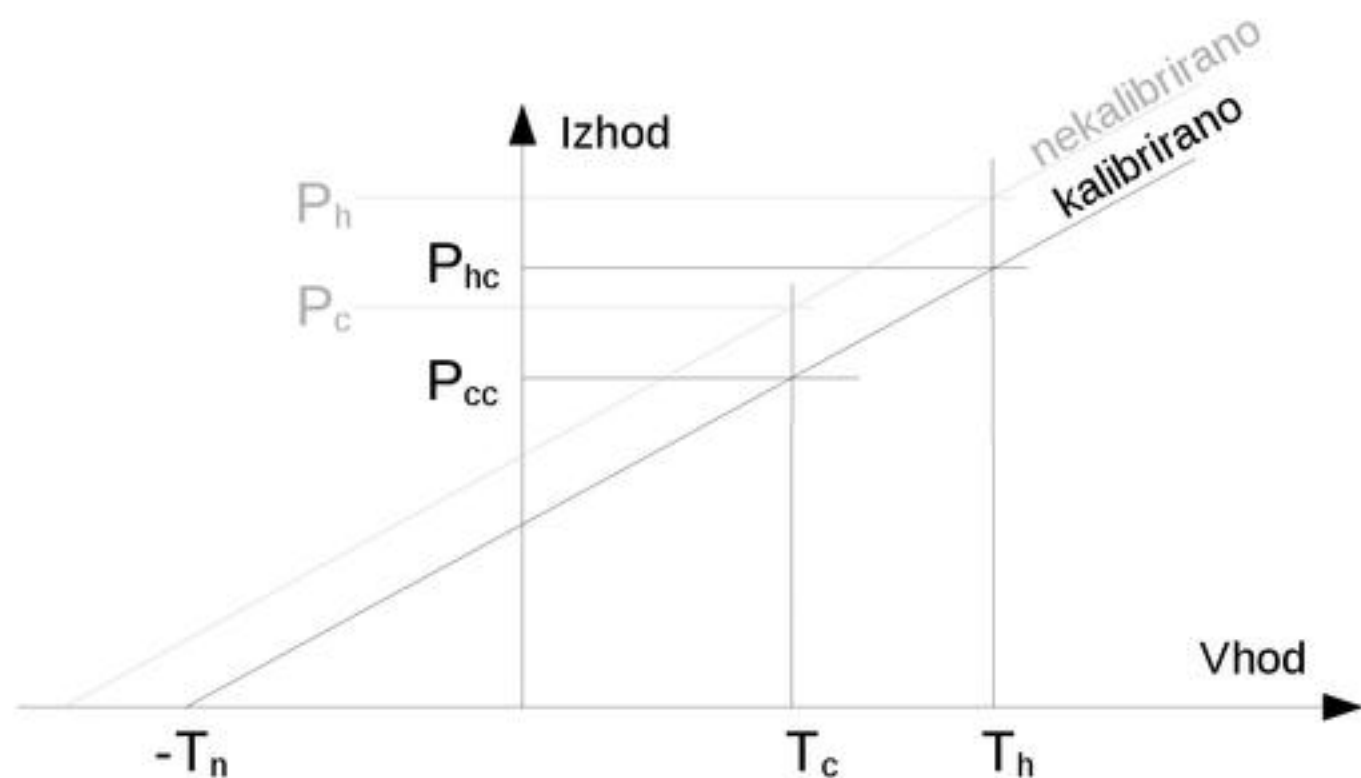
Pri meritvi potem računamo:

$$P_{hc} = P_h - k T_m$$

$$P_{cc} = P_c - k T_m$$

$$T_n = \frac{P_{cc} T_h - P_{hc} T_c}{P_{hc} - P_{cc}}$$

$$G = \frac{1}{k} \frac{P_h - P_c}{T_h - T_c}$$



Popravki zaradi slabljenj

Slabljenje med virom suma in merilnikom pri kalibraciji:

namesto T_h in T_c na vhodu upostevamo T_{ha} in T_{ca} , ki vsebujeta slabljenje a in prispevek suma $(1-a)T_a$, kjer je T_a fizicna temperatura slabilca

$$T_{ha} = aT_h + (1-a)T_a$$

$$T_{ca} = aT_c + (1-a)T_a$$

Slabljenje med virom suma in merjencem:

popravimo T_h in T_c enako kot pri kalibraciji

Slabljenje med merjencem in detektorjem moci:

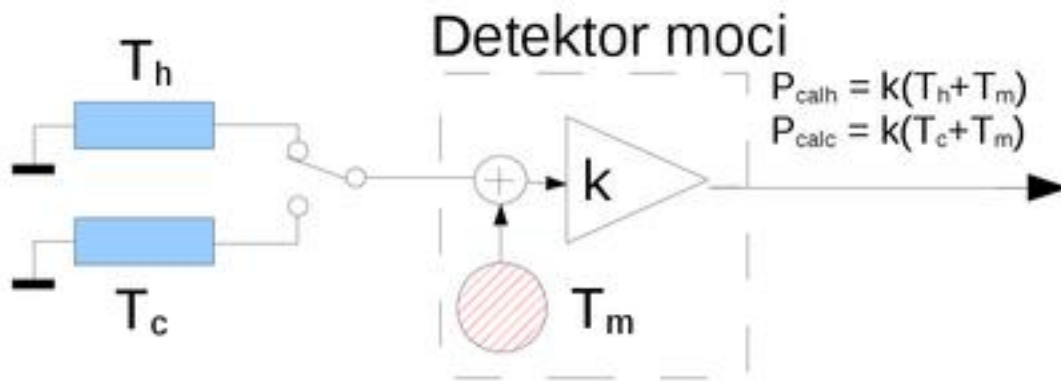
lahko upostevamo samo pri kalibrirani meritvi, in sicer tako, da:

- T_m povecamo za $(1-a)T_a$
- izmerjeno ojacenje delimo z a

Meritev moci sumnega vira

(za kalibracijo virov, meritev sumne temperature antene...)

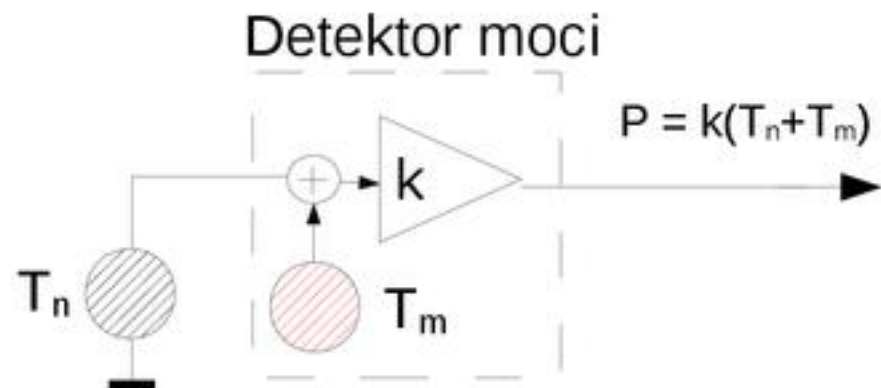
Kalibracija:



S to kalibracijo izvemo vrednosti T_m in k :

$$T_m = \frac{P_{calc} T_h - P_{calh} T_c}{P_{calh} - P_{calc}} \quad k = \frac{P_{calh} - P_{calc}}{T_h - T_c}$$

Meritev:



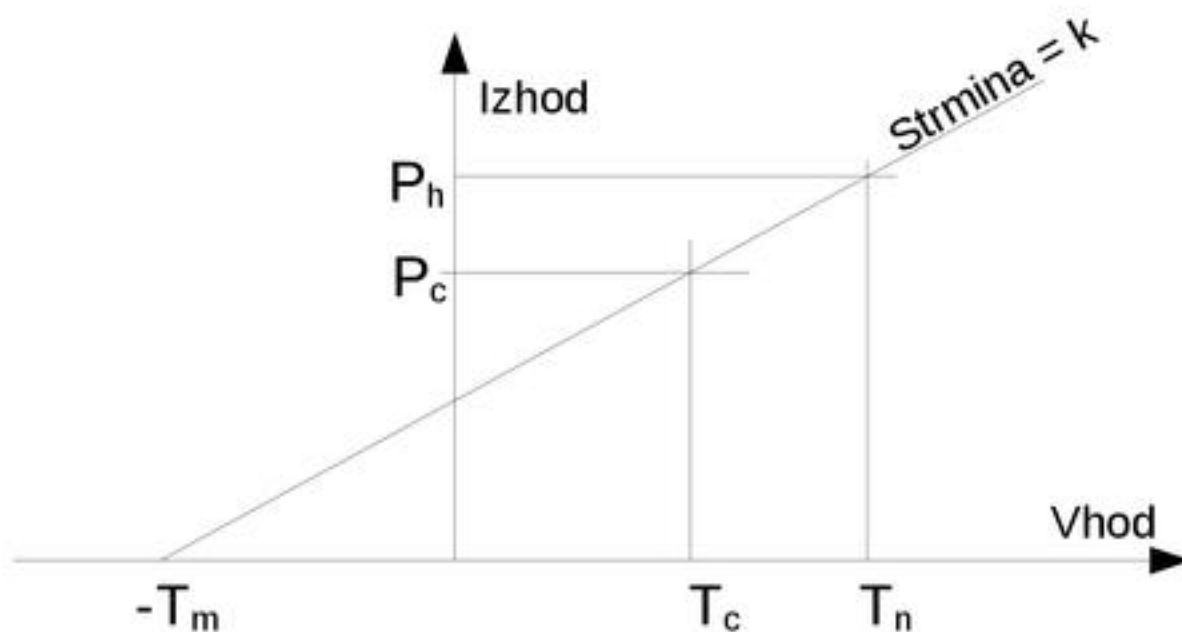
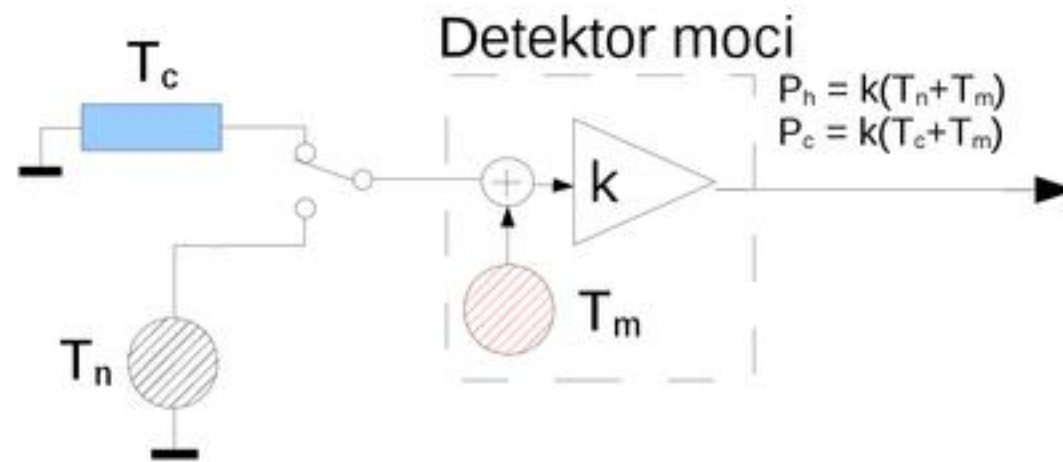
$$T_n = \frac{P}{k} - T_m$$

Pretvorba med temperaturo in ENR:

$$ENR = 10 \log\left(\frac{T_n - 290}{290}\right) \quad T_n = 290\left(10^{\frac{ENR}{10}} - 1\right)$$

Meritev moci suma s predpostavljeno sumno temperaturo merilnega sistema

Ce zelo dobro poznamo sumno temperaturo merilnega sprejemnika, jo lahko uporabimo za umerjanje neznanega vira suma



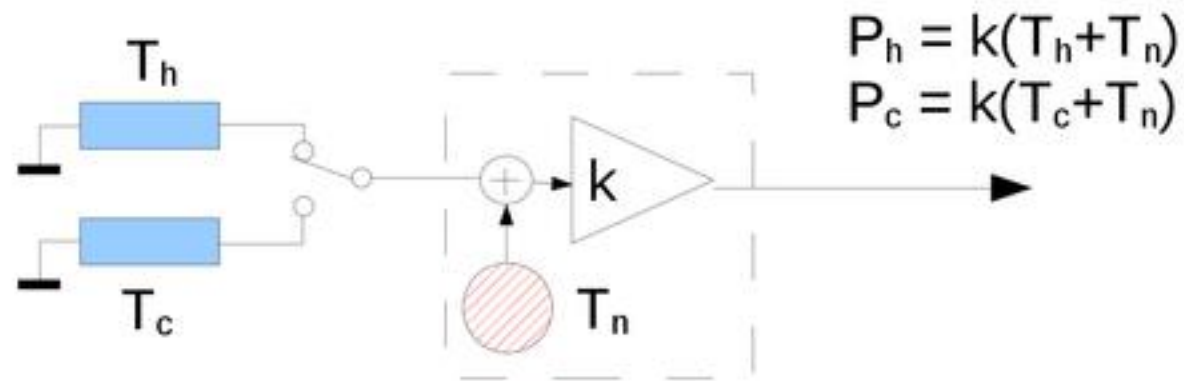
Poznam T_c in T_m :

$$k = \frac{P_c}{T_c + T_m} \quad T_n = T_c + \frac{P_h - P_c}{k}$$

Prednosti meritev s sumnim virom

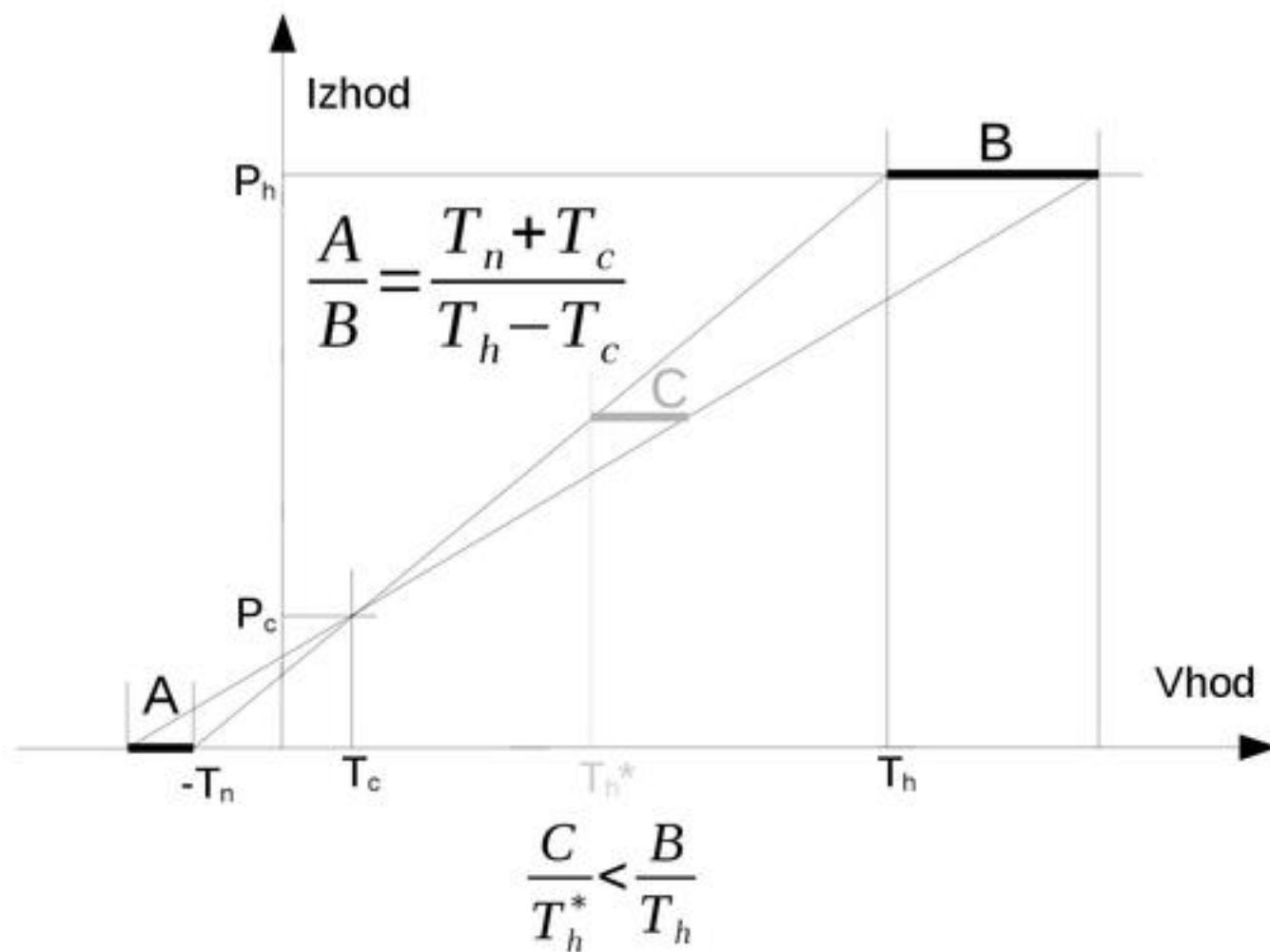
- nivo signala primerljiv z nivojem suma merjenja
- sumni viri so poceni
- sumni viri so širokopasovni, uporabni od MHz do GHz
- pasovna sirina merjenja ne vpliva na rezultat
- ni potrebna absolutna kalibracija detektorja moci
- improvizirani viri (nebo/zemlja)

Napaka zaradi netocne vrednosti T_h



$$T_n = \frac{P_c T_h - P_h T_c}{P_h - P_c}$$

$$\frac{\partial T_n}{\partial T_h} = \frac{P_c}{P_h - P_c} = \frac{T_n + T_c}{T_h - T_c}$$



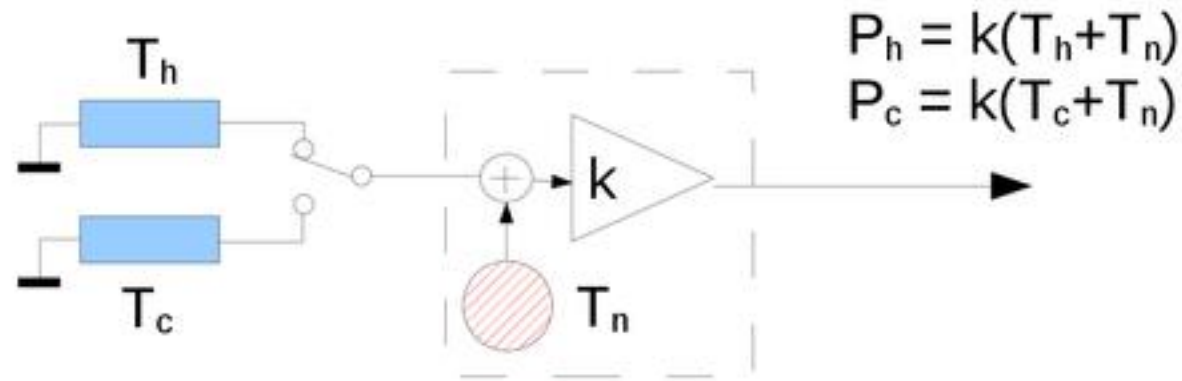
Napaka zaradi netocne vrednosti T_h

Primeri: $\epsilon_{th} = \pm 0.1\text{dB}$

Resnicna $T_n = 3000\text{K}$;	pri $T_c=30\text{K}$, $T_h=300\text{K}$	izmerimo	2921....3078K
Resnicna $T_n = 3000\text{K}$;	pri $T_c=290\text{K}$, $T_h=1200\text{K}$	izmerimo	2902....3101K
Resnicna $T_n = 3000\text{K}$;	pri $T_c=290\text{K}$, $T_h=9000\text{K}$	izmerimo	2922....3079K
Resnicna $T_n = 300\text{K}$;	pri $T_c=30\text{K}$, $T_h=300\text{K}$	izmerimo	291....308K
Resnicna $T_n = 300\text{K}$;	pri $T_c=290\text{K}$, $T_h=1200\text{K}$	izmerimo	282....318K
Resnicna $T_n = 300\text{K}$;	pri $T_c=290\text{K}$, $T_h=9000\text{K}$	izmerimo	286....314K
Resnicna $T_n = 75\text{K}$;	pri $T_c=30\text{K}$, $T_h=300\text{K}$	izmerimo	72.3....77.7K
Resnicna $T_n = 75\text{K}$;	pri $T_c=290\text{K}$, $T_h=1200\text{K}$	izmerimo	64.1....86.2K
Resnicna $T_n = 75\text{K}$;	pri $T_c=290\text{K}$, $T_h=9000\text{K}$	izmerimo	66.4....83.8K
Resnicna $T_n = 25\text{K}$;	pri $T_c=30\text{K}$, $T_h=300\text{K}$	izmerimo	23.5....26.4K
Resnicna $T_n = 25\text{K}$;	pri $T_c=290\text{K}$, $T_h=1200\text{K}$	izmerimo	15.6....34.7K
Resnicna $T_n = 25\text{K}$;	pri $T_c=290\text{K}$, $T_h=9000\text{K}$	izmerimo	17.6....32.6K

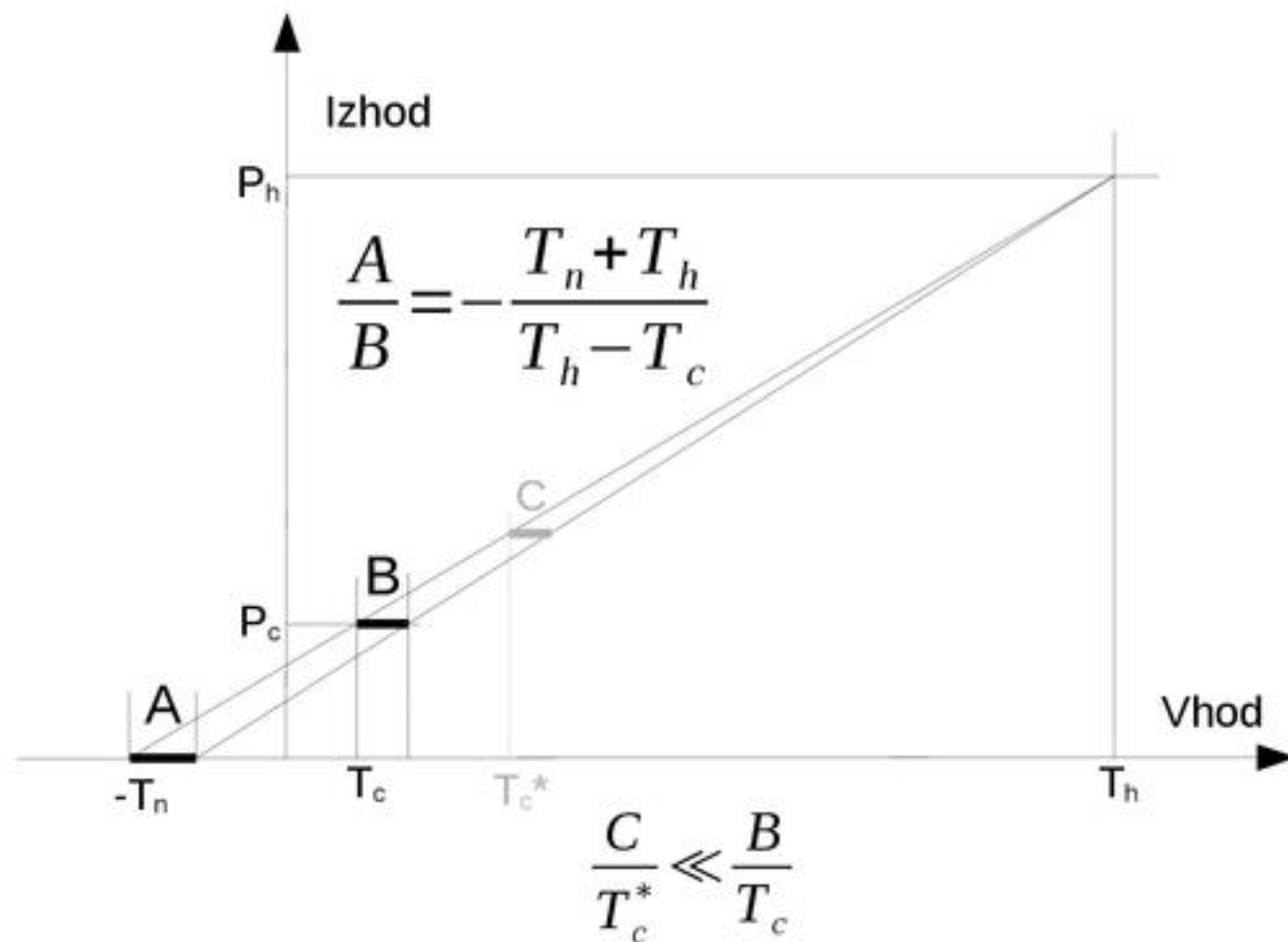
Opomba: $1200\text{K} \approx 5\text{dB ENR}$, $9000\text{K} \approx 15\text{dB ENR}$
 $\pm 0.1\text{dB}$ pri 300K je cca $\pm 7\text{K}$
 $30\text{K}, 300\text{K} = \text{nebo/zemlja}$

Napaka zaradi netocne vrednosti T_c



$$T_n = \frac{P_c T_h - P_h T_c}{P_h - P_c}$$

$$\frac{\partial T_n}{\partial T_c} = \frac{-P_h}{P_h - P_c} = -\frac{T_n + T_h}{T_h - T_c}$$



Napaka zaradi netocne vrednosti T_c

Primeri za $\varepsilon_{T_c} = \pm 10K$

Resnicna $T_n = 3000K$;	pri $T_c=30K, T_h=300K$	izmerimo	2878....3122K
Resnicna $T_n = 3000K$;	pri $T_c=290K, T_h=1200K$	izmerimo	2953....3046K
Resnicna $T_n = 3000K$;	pri $T_c=290K, T_h=9000K$	izmerimo	2986....3014K
Resnicna $T_n = 300K$;	pri $T_c=30K, T_h=300K$	izmerimo	278....322K
Resnicna $T_n = 300K$;	pri $T_c=290K, T_h=1200K$	izmerimo	284....316K
Resnicna $T_n = 300K$;	pri $T_c=290K, T_h=9000K$	izmerimo	289....311K
Resnicna $T_n = 75K$;	pri $T_c=30K, T_h=300K$	izmerimo	61.1....88.9K
Resnicna $T_n = 75K$;	pri $T_c=290K, T_h=1200K$	izmerimo	61.0....83.0K
Resnicna $T_n = 75K$;	pri $T_c=290K, T_h=9000K$	izmerimo	64.5....86.4K
Resnicna $T_n = 25K$;	pri $T_c=30K, T_h=300K$	izmerimo	13.0....37.0K
Resnicna $T_n = 25K$;	pri $T_c=290K, T_h=1200K$	izmerimo	11.5....38.4K
Resnicna $T_n = 25K$;	pri $T_c=290K, T_h=9000K$	izmerimo	14.6....35.4K

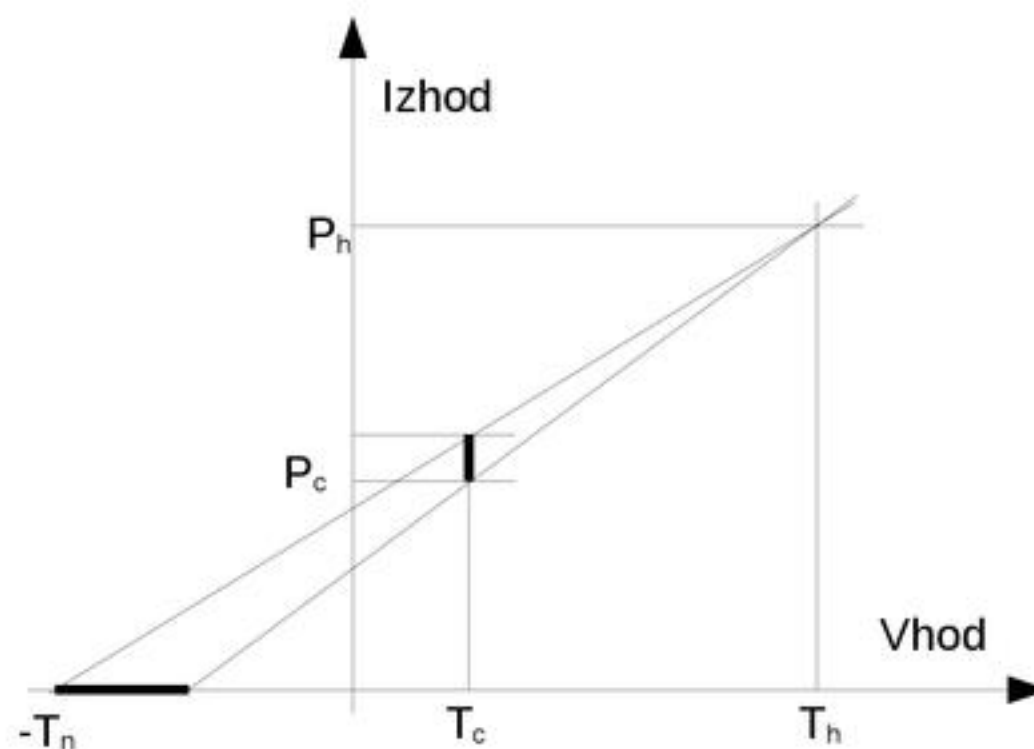
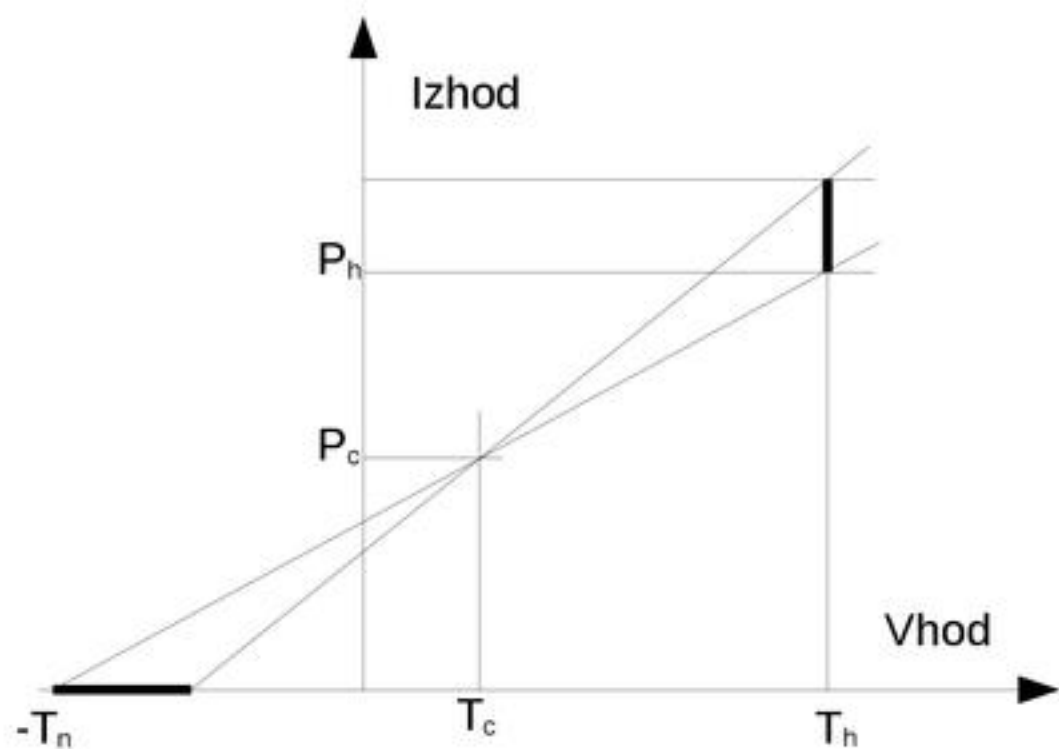
Opomba: $1200K \approx 5dB$ ENR, $9000K \approx 15dB$ ENR
 $\pm 0.1dB$ pri $300K$ je cca $\pm 7K$
 $30K, 300K =$ nebo/zemlja

Napaka zaradi netocne meritve moci

$$T_n = \frac{P_c T_h - P_h T_c}{P_h - P_c}$$

$$\frac{\partial T_n}{\partial P_h} = \frac{P_c(T_c - T_h)}{(P_h - P_c)^2}$$

$$\frac{\partial T_n}{\partial P_c} = \frac{P_h(T_h - T_c)}{(P_h - P_c)^2}$$



Napaka zaradi netocne meritve moci

Primeri: $\varepsilon_p = \pm 0.1\text{dB}$

Resnicna $T_n = 3000\text{K}$;	pri $T_c=30\text{K}$, $T_h=300\text{K}$	izmerimo	2328....4167K
Resnicna $T_n = 3000\text{K}$;	pri $T_c=290\text{K}$, $T_h=1200\text{K}$	izmerimo	2680....3386K
Resnicna $T_n = 3000\text{K}$;	pri $T_c=290\text{K}$, $T_h=9000\text{K}$	izmerimo	2897....3106K
Resnicna $T_n = 300\text{K}$;	pri $T_c=30\text{K}$, $T_h=300\text{K}$	izmerimo	284....317K
Resnicna $T_n = 300\text{K}$;	pri $T_c=290\text{K}$, $T_h=1200\text{K}$	izmerimo	287....323K
Resnicna $T_n = 300\text{K}$;	pri $T_c=290\text{K}$, $T_h=9000\text{K}$	izmerimo	285....314K
Resnicna $T_n = 75\text{K}$;	pri $T_c=30\text{K}$, $T_h=300\text{K}$	izmerimo	71....78K
Resnicna $T_n = 75\text{K}$;	pri $T_c=290\text{K}$, $T_h=1200\text{K}$	izmerimo	63....87K
Resnicna $T_n = 75\text{K}$;	pri $T_c=290\text{K}$, $T_h=9000\text{K}$	izmerimo	66....84K
Resnicna $T_n = 25\text{K}$;	pri $T_c=30\text{K}$, $T_h=300\text{K}$	izmerimo	23.5....26.4K
Resnicna $T_n = 25\text{K}$;	pri $T_c=290\text{K}$, $T_h=1200\text{K}$	izmerimo	15.6....34.7K
Resnicna $T_n = 25\text{K}$;	pri $T_c=290\text{K}$, $T_h=9000\text{K}$	izmerimo	17.6....32.6K

Opomba: $1200\text{K} \approx 5\text{dB ENR}$, $9000\text{K} \approx 15\text{dB ENR}$
 $\pm 0.1\text{dB}$ pri 300K je cca $\pm 7\text{K}$
 $30\text{K}, 300\text{K} = \text{nebo/zemlja}$

Napaka zaradi pasovne sirine merjenca

1. Če je pasovna sirina merjenca manjša od pasovne sirine merilnika

- pri nekalibrirani meritvi ni sistematske napake, poveča pa se stresanje rezultatov (potrebujemo daljše povprečenje).
- pri kalibrirani meritvi pride do sistematske napake, ker je med kalibracijo pasovna sirina drugačna kot med meritvijo. Če merilnik to omogoča, izberemo ozjo merilno pasovno sirino, kot je merjenca. Če to ne gre, in ne poznamo točnega razmerja pasovnih sirin, je to napako težko popraviti, zato se izogibamo takšni situaciji.

2. Če merjenec vsebuje mesalnik brez sita za zrcalno frekvenco

- pri nekalibrirani meritvi ni težav
- pri kalibrirani meritvi je med meritvijo pasovna sirina dvojna, popravek pa je preprost: izmerjeni P_{cc} in P_{hc} prepolovimo.

Napake zaradi neprilagoditev

Za izračun prenosa moci med virom in bremenom moramo poznati kompleksne vrednosti njunih odbojnosti, in razdaljo med njima. Ponavadi ne poznamo faze odbojnosti, zato iz absolutnih vrednosti izračunamo min in max, da ocenimo velikost napake:

$$\min = (1 - \rho_1 \rho_2)^2$$

$$\max = (1 + \rho_1 \rho_2)^2$$

Primer 1: vir in breme sta prilagojena 20dB, ($\rho_1 = \rho_2 = 0.1$) napaka je ± 0.088 dB max

Primer 2: vir 20dB ($\rho_1 = 0.1$), breme 10dB ($\rho_2 = 0.32$) napaka je ± 0.28 dB max

Primer 3: vir 20dB ($\rho_1 = 0.1$), breme 5dB ($\rho_2 = 0.56$) napaka je ± 0.5 dB max

Primer 4: vir 30dB ($\rho_1 = 0.032$), breme 10dB ($\rho_2 = 0.32$) napaka je ± 0.08 dB max

Napake zaradi neprilagoditev

Napake zaradi konstantnih neprilagoditev

- Pri nekalibrirani meritvi je rezultat odvisen samo od razmerja $Y=P_h/P_c$, zato konstantna neprilagoditev ne vpliva na rezultat, razen spremembe sumne temperature merjenca zaradi neprilagoditve.
- Pri kalibrirani meritvi povzroci napako v meritvi ojačenja, ta pa pomeni napako pri odštevanju T_m . To je problem, če je T_m velika.

Napake zaradi spremenljive neprilagoditve sumnega vira (▲Γ)

Impedanca sumnega vira je različna med stanjema »hladno« in »vroce«, kar direktno povzroci napako v meritvi razmerja $Y=P_h/P_c$.

Problem so ojačevalniki z nizko sumno temperaturo in s slabo vhodno prilagoditvijo (n.pr. HEMT na 2m, 70cm)

Resitev je uporaba dodatnega atenuatorja med virom suma in merjencem, ali pa uporaba vira, ki ima tak atenuator že vgrajen (taksna z nizkim ENR, n.pr. HP364A)

Napake zaradi vdora zunanjih signalov

Sovrazniki:

- RTV oddajniki, bazne postaje, radioamaterji, policaji ...
- vse v hisi, kar vsebuje oddajnik (mobitel, WIFI, PMR, droni, kljuci od avta...)
- fluoescentne (varcne) svetilke
- racunalniki, routerji, ...
- stikalni napajalniki
- oscilatorji v merjencu, produkti mesanja ...
-

Porblem so lahko tudi mocni signali izven merjene pasovne sirine, ce povzrocajo nasicenje ali tvorbo mesalnih produktov v merjencu ali merilniku!

Napaka zaradi casovne spremenljivosti merilnega sistema

Komponentam merilnega sistema se lastnosti pocasi spreminjajo, predvsem zaradi segrevanja in hlajenja
Problem je tudi neponovljivost konektorjev

- Pred uporabo pocakamo, da se sistem ogreje (30 minut min)
- Meritev izvajamo hitro (cim manj casa med kalibracijo in meritvijo, pri rocni meritvi tudi med meritvama hladno/vroce)
- Po meritvi preverimo kalibracijo (vir na merilnik kot za kalibracijo, meritev mora pokazati cim blize $T=0$ in $G=1$ (0dB))
- Ce je mozno uporabljamo samo konektorje z navojem (N, SMA, TNC), taksnim brez navoja (BNC, MCX) se izogibamo

Dinamichni obseg meritve

- Merilniki z 8 bitnim A/D imajo relativno malo dinamike (ampak se vedno vec kot nekoc diodni detektorji)
- Sum je naključen signal, vrhovi dosejajo mnogokratnike povprecne vrednosti
- Na vhodu merilnika je lahko prisoten sum v zelo širokem pasu

Potreben dinamični obseg:

- pri minimalnem nivoju (ce ima merjenec ojačenje, bo to kalibracija pri T_c) naj sum »miga« vsaj spodnja dva bita.
- pri maksimalnem nivoju (ce ima merjenec ojačenje, bo to meritev pri T_n) naj bo povprecna vrednost suma vsaj 10dB pod nivojem nasicjenja

Problematicni so predvsem merjenci z velikim ojačenjem, ker pride do velikih razlik nivojev med kalibracijo in meritvijo.

Pomagamo si z atenuatorjem na izhodu merjenca, ki skupno ojačenje zmanjša na 10...20dB

Napaka zaradi nelinearnosti merilnika:

Ce imamo velik Y (velik T_n in mali T_c), lahko zaradi nelinearnosti merilnika pride do napak.

Meritev nebo / zemlja

Na frekvencah med 300MHz in 18GHz je nebo lahko zelo »radijsko hladno«, kar lahko izkoristimo za realizacijo zelo nizke T_c



$$T_{ant} = 10...50K$$

$$T_{ant} \approx 300K$$

Antena naj ima čim nižje stranske snope, zazveljen pa je tudi glavni snop ozji od 60 stopinj

Varianta: meritev nebo / upor

Problem je različna impedanca antene in upora!

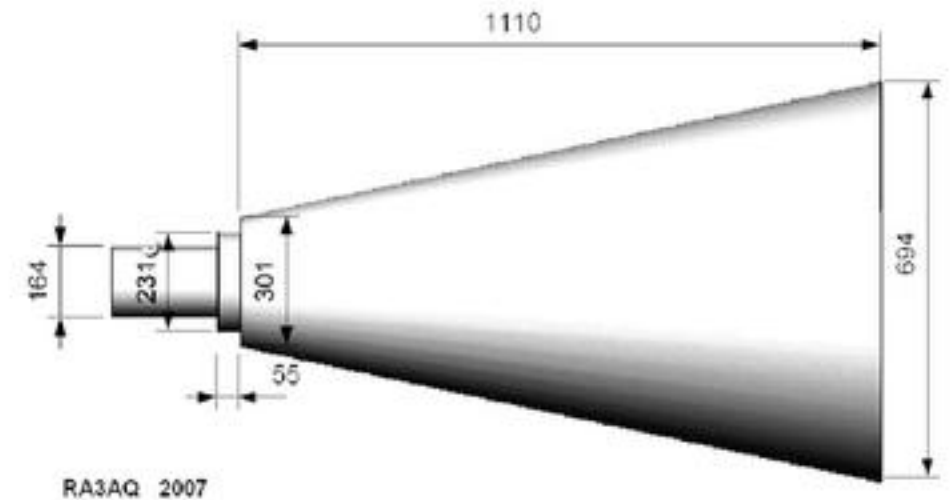
Meritev nebo + umetni vir suma

Sergei RW3BP:

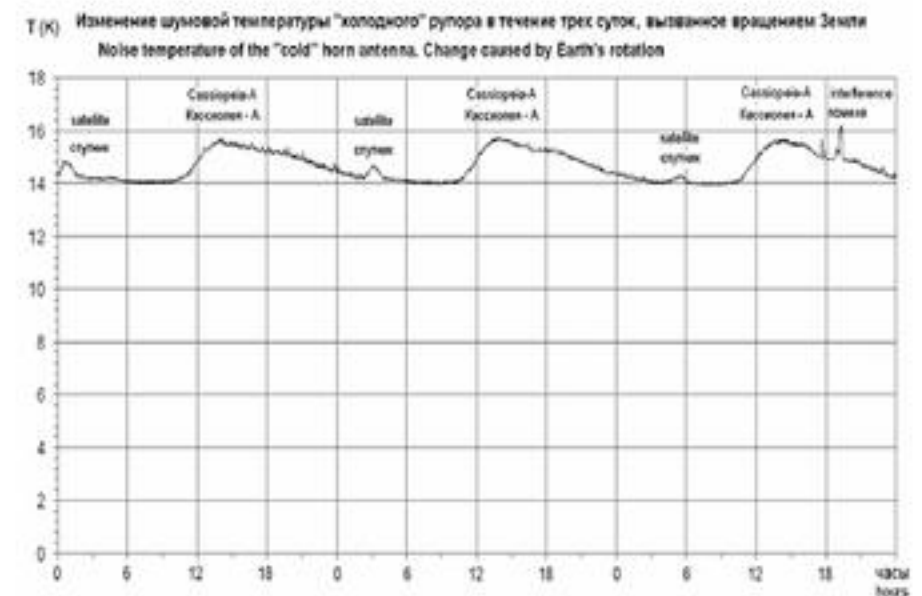
Antena
v nebo



Двухмодовый рупор Скобелева
Skobelev's DMH-3WL Diameter



RA3AQ 2007



RTLSDR donglji

Ti donglji so originalno namenjeni sprejemu DVB-T (zemeljske digitalne televizije). V njih sta dve glavni komponenti: VF tuner cip in pa cip za demodulacijo in dekodiranje DVB-T, MPEGx itd. Kot demodulator/dekoder je v vecini donglov uporabljen Realtek RT2820, tunerskih cipov pa v donglih najdemo vec razlicnih.

Kitajci sicer podatke o svojih cipih drzijo v tajnosti, vendar pa je hekerjem z rikrazvojem (reverse engineering) uspelo ugotoviti vecino funkcij RT2820. Najzanimivejse je bilo odkritje, da ima ta cip tudi »debug« nacin, v katerem deluje samo kot A/D pretvornik, in posilja na USB surove I/Q vzorce, s hitrostjo do 2Ms/s.

Ko so podobno razvozljali se nekaj tuner cipov, so se na internetu kmalu pojavile programske knjiznice, ki so omogocale uporabo teh donglov kot univerzalnih sprejemnikov za frekvenco podrocje od priblizno 40MHz do 1500 in vec MHz. Ob ceni kakih 10 eur za kos, je njihova popularnost seveda eksplodirala.

RTLSDR donglji

Slabe strani:

- samo 8 bitni A/D (v praksi se izkaze, da je to dovolj za mnogo stvari!)
- lazni signali (predvsem harmoniki internega clock oscilatorja)
- nestabilnost (pregrevanje)
- slab oklop (vdor BC, GSM...)

Vrste donglov (tuner cipi)

V praksi sta se kot najbolj uporabna izkazala tunerja **E4000** in **R820T**

E4000:

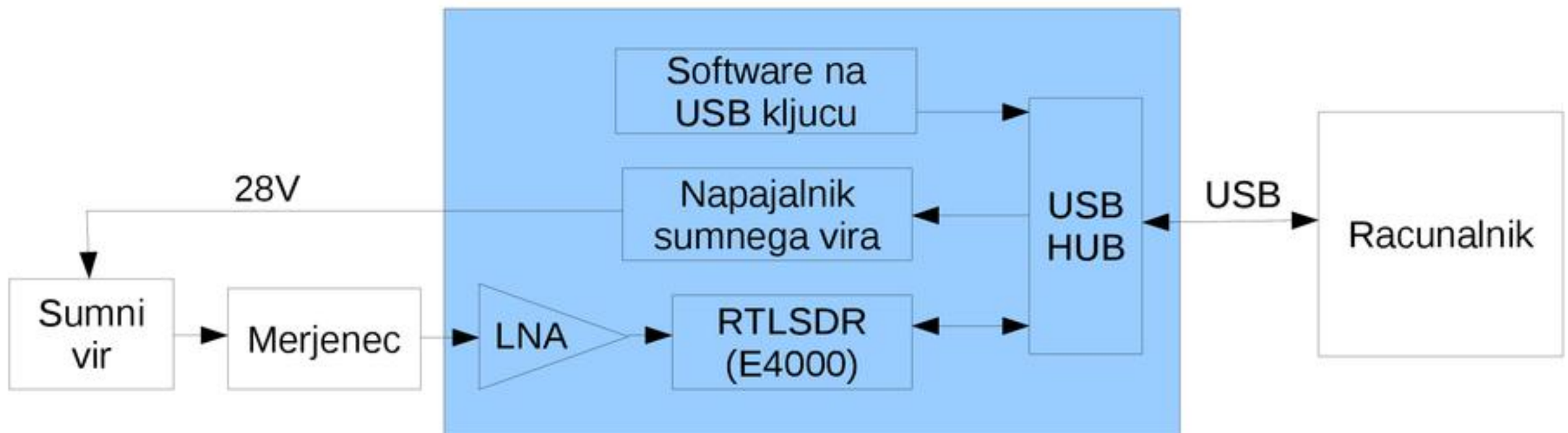
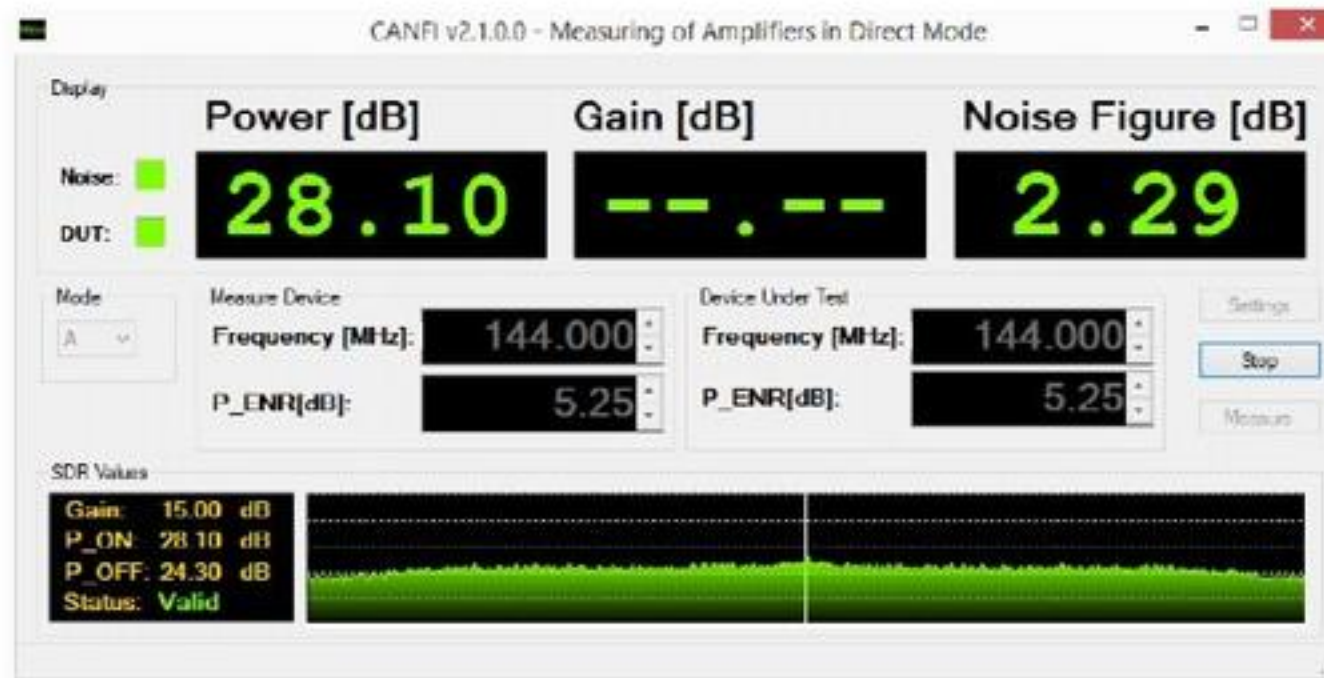
- pokriva 40 do 2000MHz, vendar z luknjo okrog 1200MHz
- sum cca 2000K
- na voljo je »presvercan« datasheet
- vcasih zelo popularen, vendar cip ni vec v proizvodnji

R820T: (in novejsa verzija R820T2)

- pokriva 30 do 1700MHz
- sum cca 500K
- ce se pregreje, neha delati nad 1200MHz

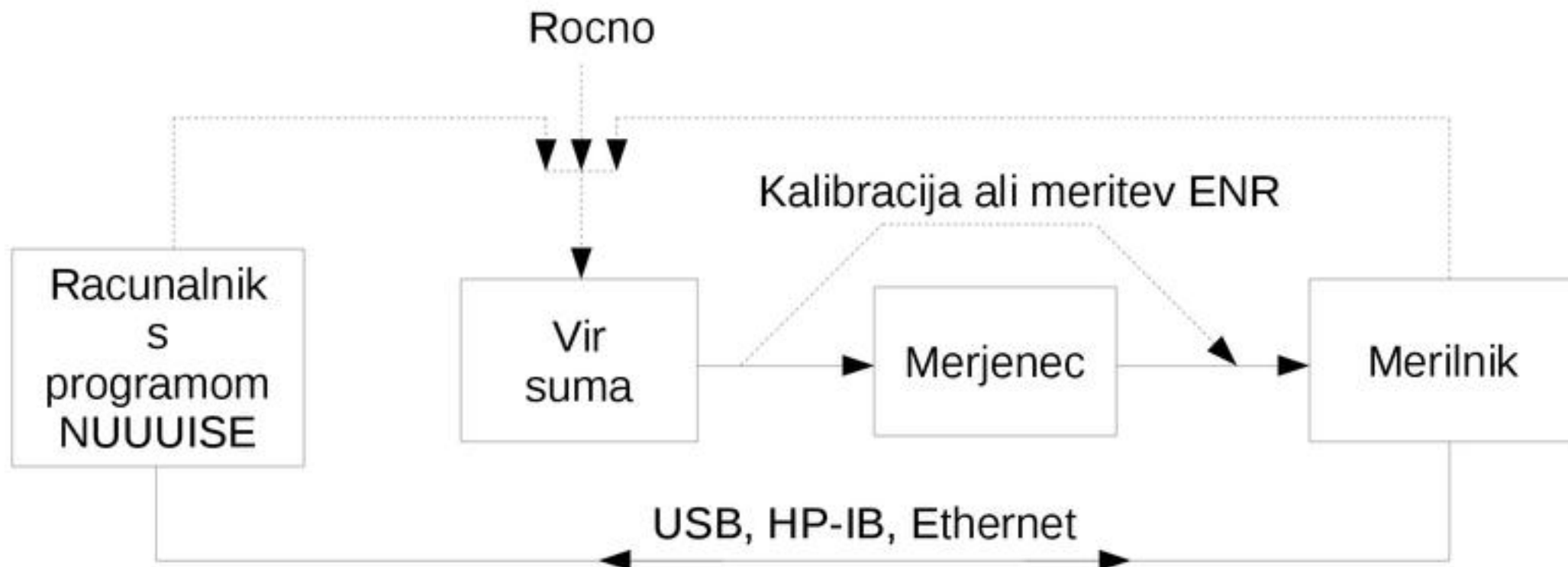
CANFI

Resitev »na ključ«: hardver in softver. Avtorji DL2ALF, DF9IC, DL8AAU



Program NUUUISE

Cilj: dati uporabniku možnost, da se znajde in uporabi, kar ima



Vir suma:

- polprevodniski
- vroce/hladno
- nebo/zemlja
-

Upravljanje:

rocno ali auto na
razlicne nacine

Merilnik:

- RTLSDR dongle
- USRP-1
- HP 859x, 856x...
- Anritsu MS2721A
- Keysight n9344c

Meritve:

- moc suma (ENR)
- sumna temperatura
- moc suma iz predpostavljenih sumnih temperature merilnika

lea.hamradio.si/~s57uuu/nuuuise

GNU GPL open source

Domaca izdelalva virov suma

- **»tazaresne« sumne diode:**

tezko dobavljive, ker se ne uporabljajo v nobeni masovno proizvajani napravi

- **Zener diode:**

Dobre strani: poceni, masovno dostopne, robustne, velik nivo suma

Slaba stran: mocnostni element, velika površina spoja/kapacitivnost, nad GHz ali dva sum hitro pada

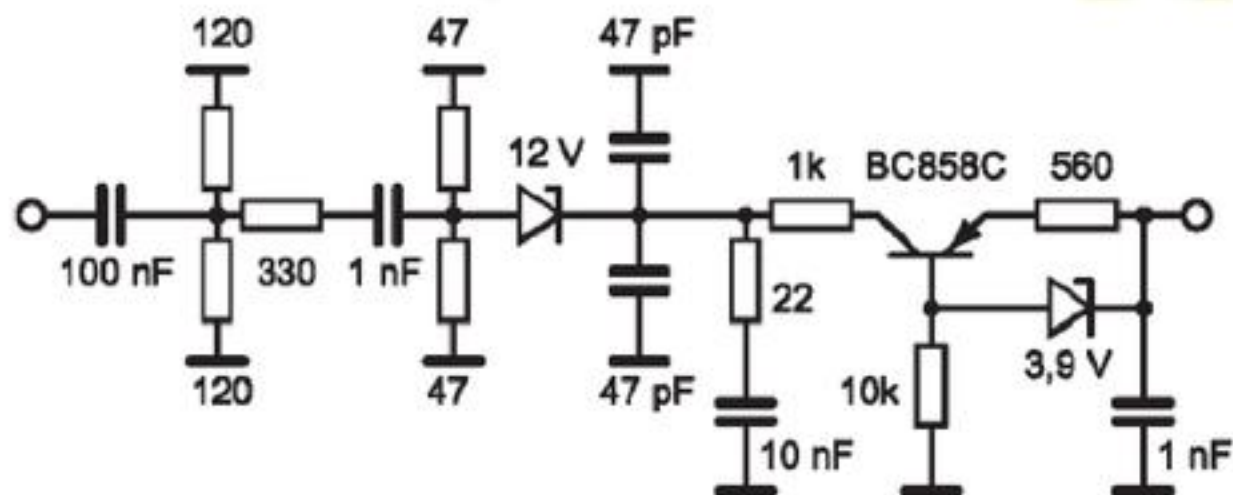
- **preboj B-E spoja v VF tranzitorjih:**

Dobra stran: uporaben sum do 15GHz in vec

Slaba stran: malo nizji nivo suma, vprasljiva zivljenska doba tranzistorja pri taksni »zlorabi«

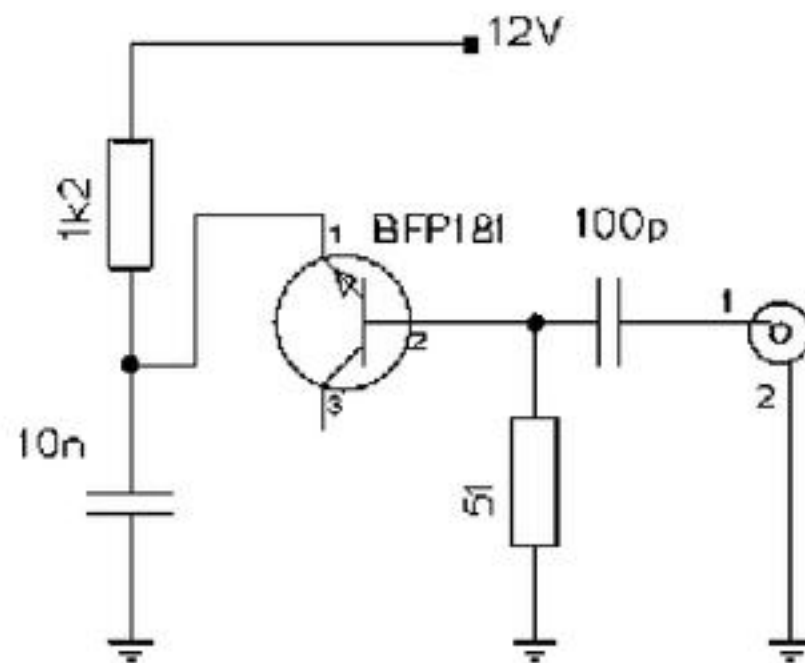
Domaca izdelalva virov suma

DF9IC (CANFI)



- zener dioda BZV55-12
- napajanje 28V
- do 2.5GHz
- 9000K Z ATENUATORJEM
- majhen $\Delta\Gamma$

S57UUU



- VF tranzistor v B-E preboju
- 12V napajanje
- do >10GHz
- 20000K BREZ ATENUATORJA
- velik $\Delta\Gamma$, potrebuje zunanji atenuator