



ZVEZA RADIOAMATERJEV SLOVENIJE

ASSOCIATION OF RADIO AMATEURS OF SLOVENIA

Nekaj malega o elektricnih sitih

Marko Cebokli S57UUU

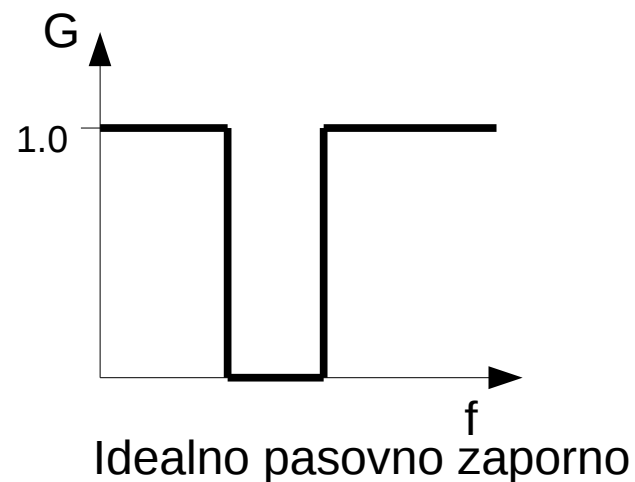
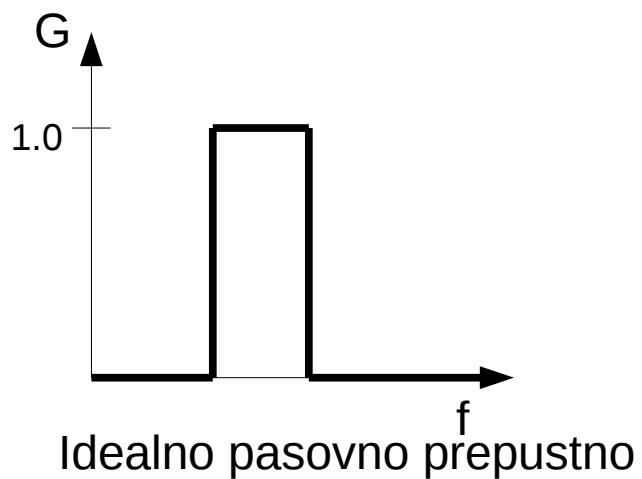
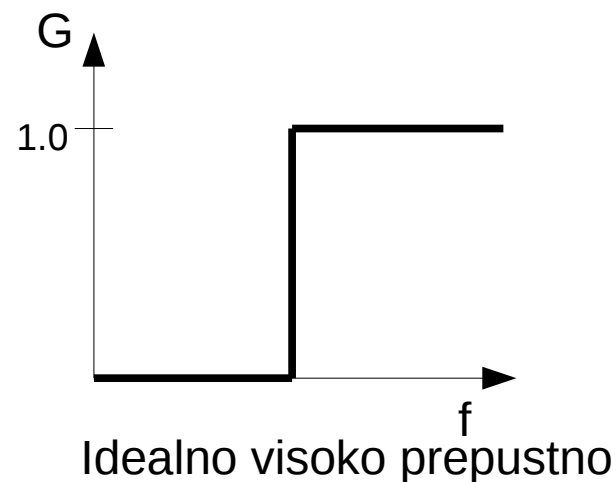
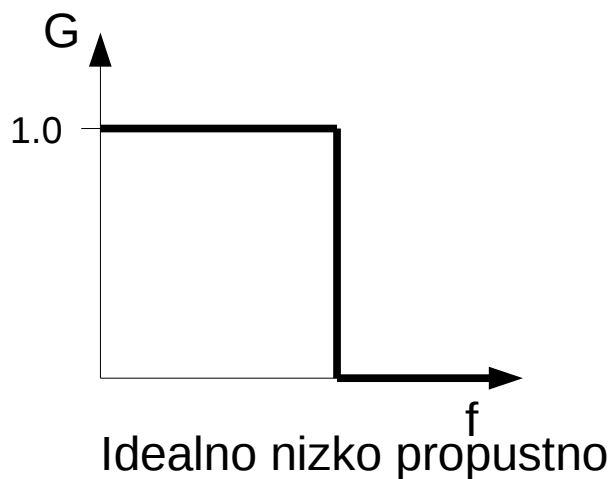
Gostitelj : Univerza v Ljubljani, Fakulteta za elektrotehniko,
<http://www.fe.uni-lj.si/>

(Laboratorij za telekomunikacije, Laboratorij za sevanje in optiko)

Organizator : Zveza radioamaterjev Slovenije, <http://www.hamradio.si>

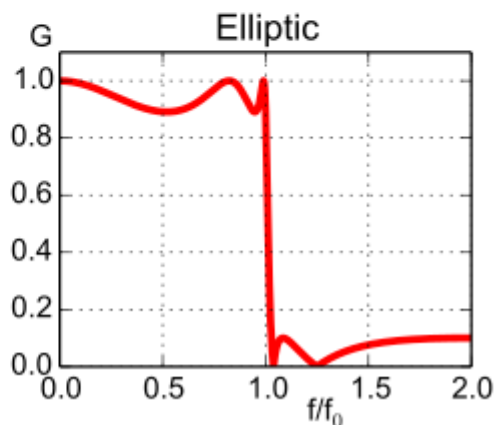
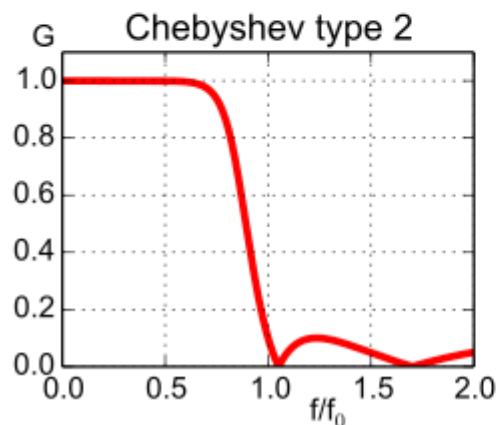
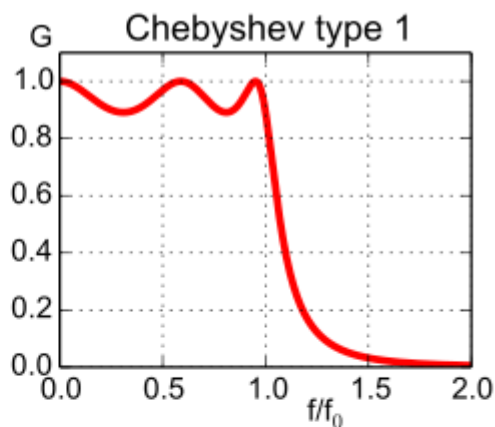
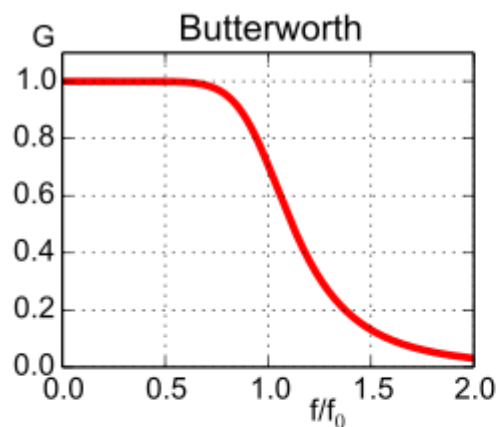
Vrste električnih sit glede na funkcijo

Predstavljena so samo frekvenčno selektivna sita, obstajajo pa tudi taksna, ki samo sučejo fazo, itd.



Vrste električnih sit glede na obliko odziva

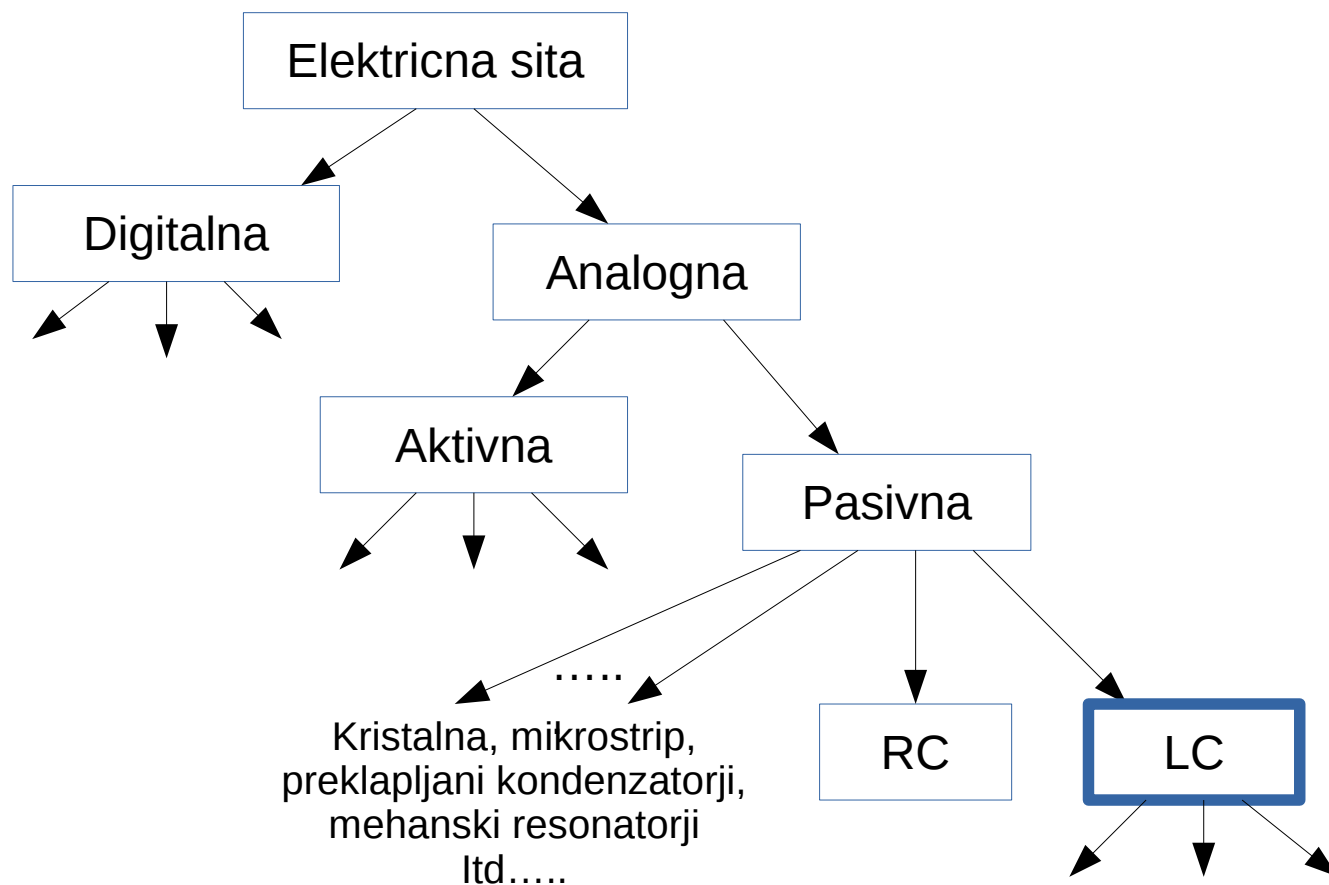
Idealnega sita se iz končnega števila realnih elementov ne da narediti, zato v praksi uporabimo razne približke idealne karakteristike.



Vir slike: wikipedia

Obstajajo tudi drugi tipi (Bessel, ...)

Vrste električnih sit glede na izvedbo



Zakaj L in C?

Frekvenca je časovna veličina (koliko časa poteče med zaporednima dogodkoma?). Da bi lahko locili frekvence, potrebujemo spomin (kdaj je bil zadnji dogodek?)

Upornost nima spomina, tok skozi njo je v vsakem trenutku sorazmeren napetosti (oz. napetost toku), neodvisno od toka v vseh prejšnjih trenutkih.

Kapacitivnost se upira spremembi napetosti na njej - da bi jo spremenili, moramo dovesti ali odvesti energijo (ima "spomin" za napetost).

Induktivnost se upira spremembi toka skozi njo, da bi ga spremenili, moramo dovesti ali odvesti energijo (ima "spomin" za tok).

Če povežemo induktivnost in kapacitivnost, dobimo nihalo, ki niha z določeno lastno frekvenco.

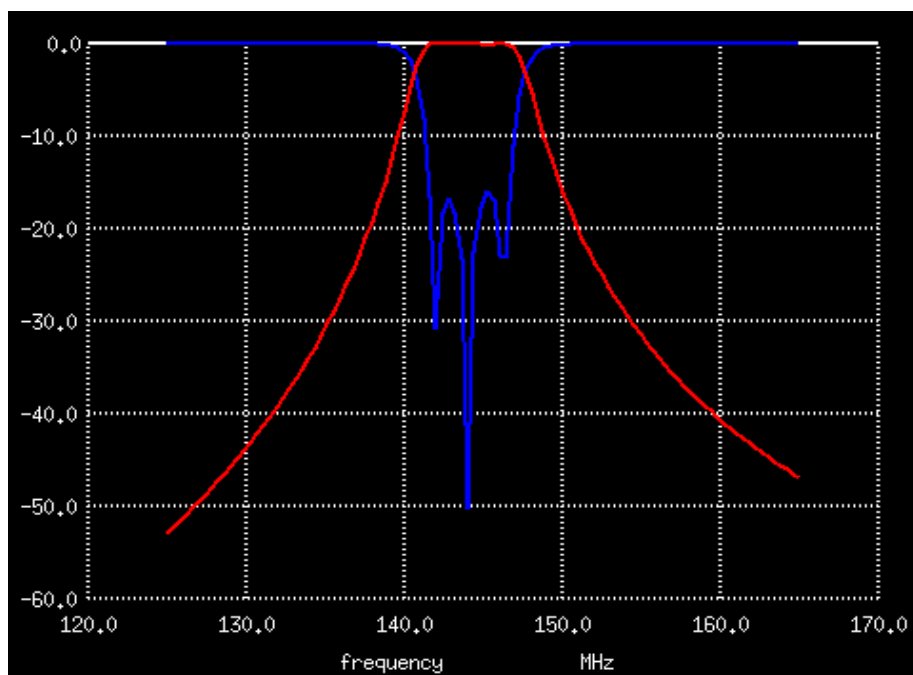
Idealni induktivnost in kapacitivnost sta brez izgub, energije ne trosita, jo samo shranjujeta in oddajata.

Brezizgubna sita

Brezizgubno sito ne more potrositi energije, lahko jo samo odbije nazaj proti viru, zato ima v zapornem pasu veliko odbojnost.

Tudi valovitost v prepustnem pasu (Cebisev) je v resnici odbojnost. Valovitosti 0.1dB ustreza prilagoditev dobrih 16dB.

Odbojnost v zapornem pasu lahko povzroca tezave s stabilnostjo ojaevalcev.



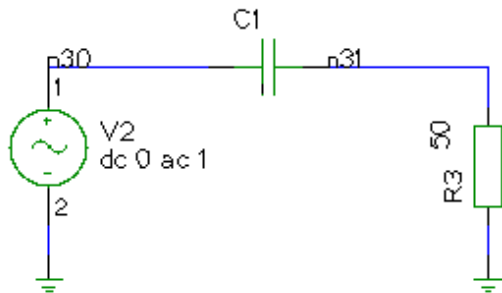
(simulacija easypice + ngspice)

Odbojnost v prepustnem pasu je odlicen indikator pri uglasevanju, 0.1 dB valovitosti v prepustu je na analizatorju tezko videti, 16dB prilagoditve pa zlahka.

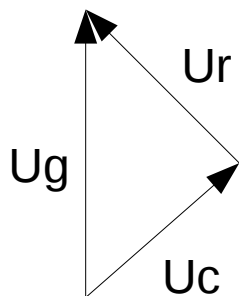
← Na sliki je pasovno sito tretjega reda tipa Cebisev z valovitostjo 0.1dB.

Viskokopreputno sito prvega reda (z enim kondenzatorjem)

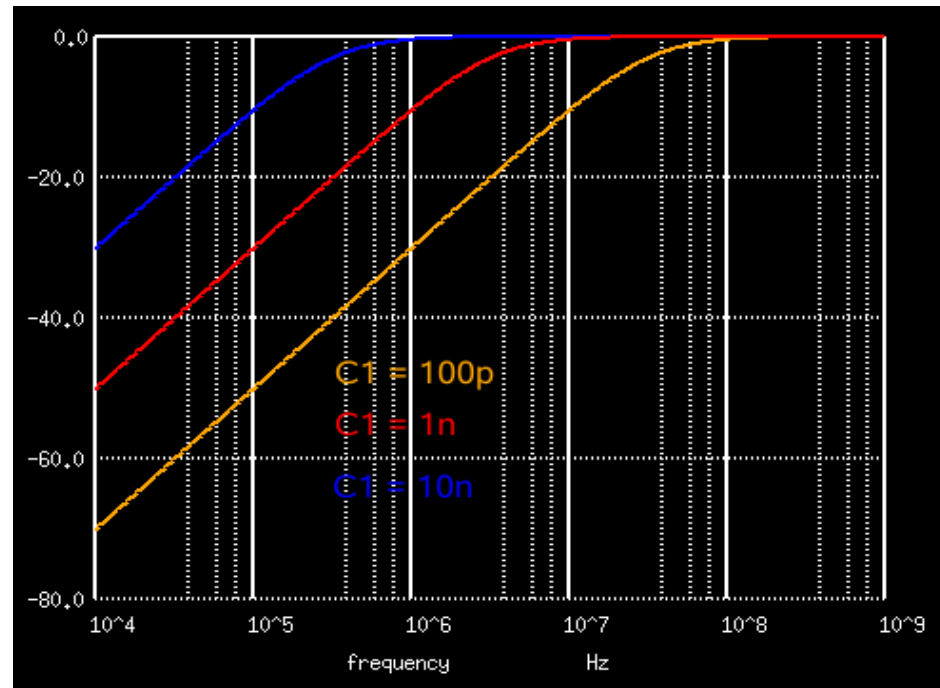
- 3dB mejna frekvenca je $1/(2\pi RC)$
- v zapornem pasu slabljenje narasca 20dB/dekako oz. 6dB/oktavo (v log-log diagramu je to ravna crta)



Spreminjamo kapacitivnost



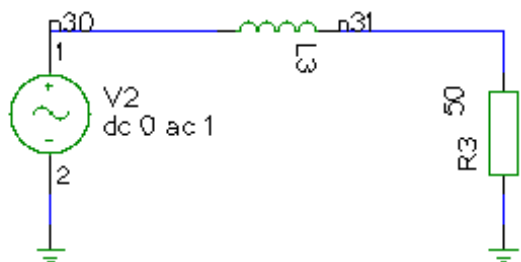
-3dB ($U_r = U_g \cdot \sqrt{2}$)
ko je $|U_r| = |U_c|$
 $R = 1/\omega C$



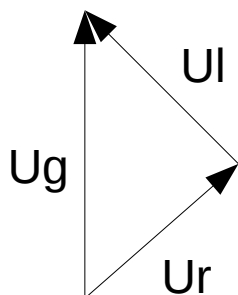
(easypice+ngspice simulacija)

Nizkopropustno sito prvega reda (z eno tuljavo)

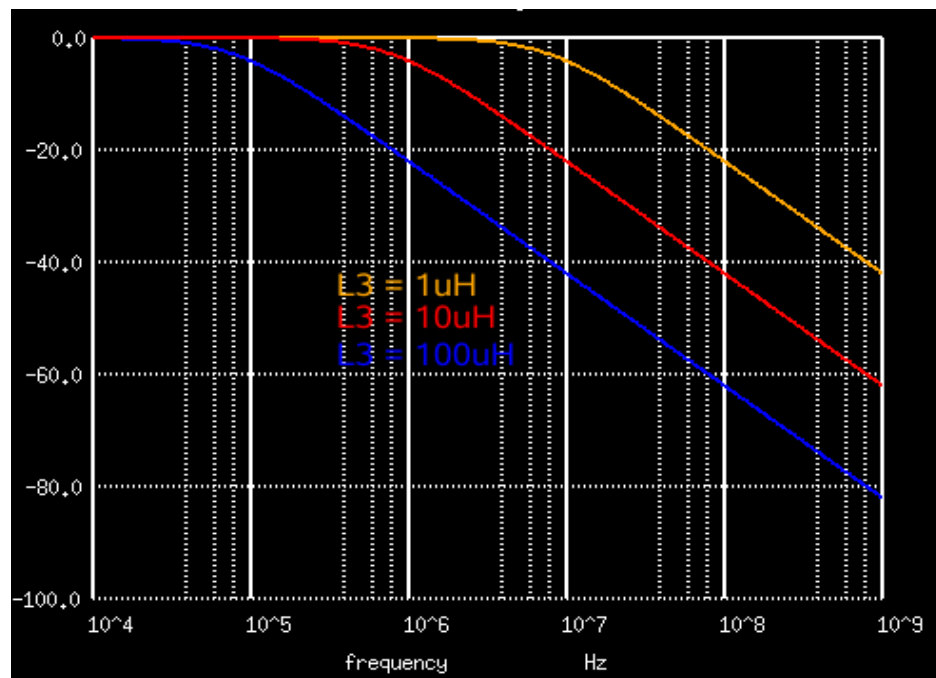
- 3dB mejna frekvenca je $L/(2\pi R)$
- v zapornem pasu slabljenje narasca 20dB/dekako oz. 6dB/oktavo



Spreminjamo induktivnost

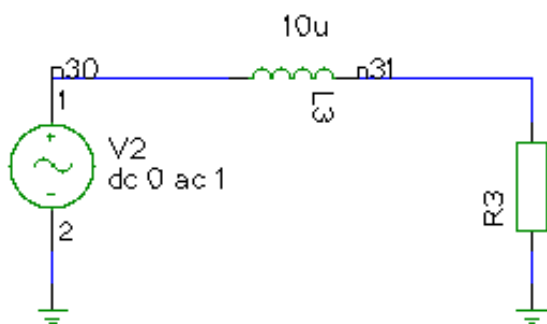


-3dB ($U_r = U_g \cdot \sqrt{2}$)
ko je $|U_r| = |U_I|$
 $R = \omega L$

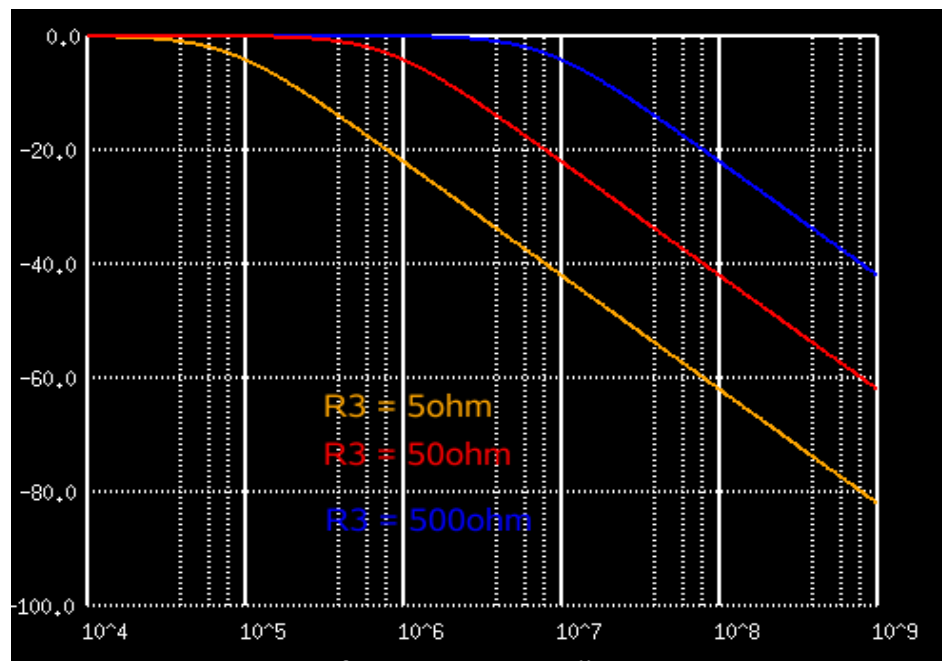


Nizkopropustno sito prvega reda (z eno tuljavo, vpliv bremena)

- Impedanca bremena ima velik vpliv na lastnosti (pasivnega) sita!
- zato sito vedno računamo za določeno impedanco

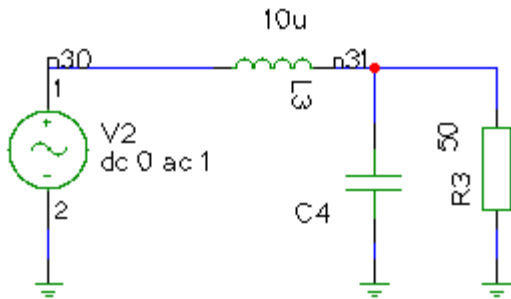


Spreminjamo upornost bremena →

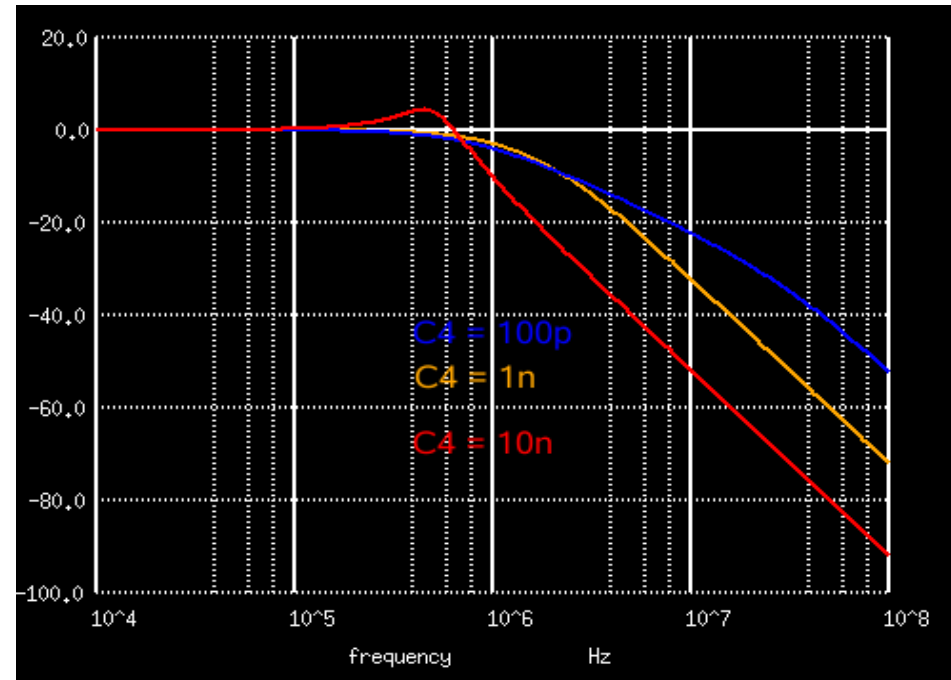


Nizkoprepustno sito drugega reda (kondenzator in tuljava)

- Red sita je enak številu (pravilno vezanih) L in C elementov
- v situ drugega reda ze lahko izbiramo valovitost z razmerjem L/C
- v zapornem pasu slabljenje narasca 40dB/dekado oz. 12DB/oktavo

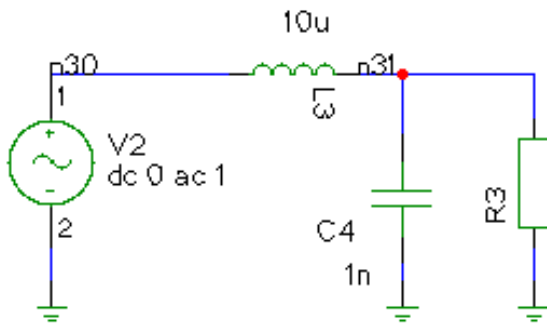


Spreminjamo kapacitivnost →

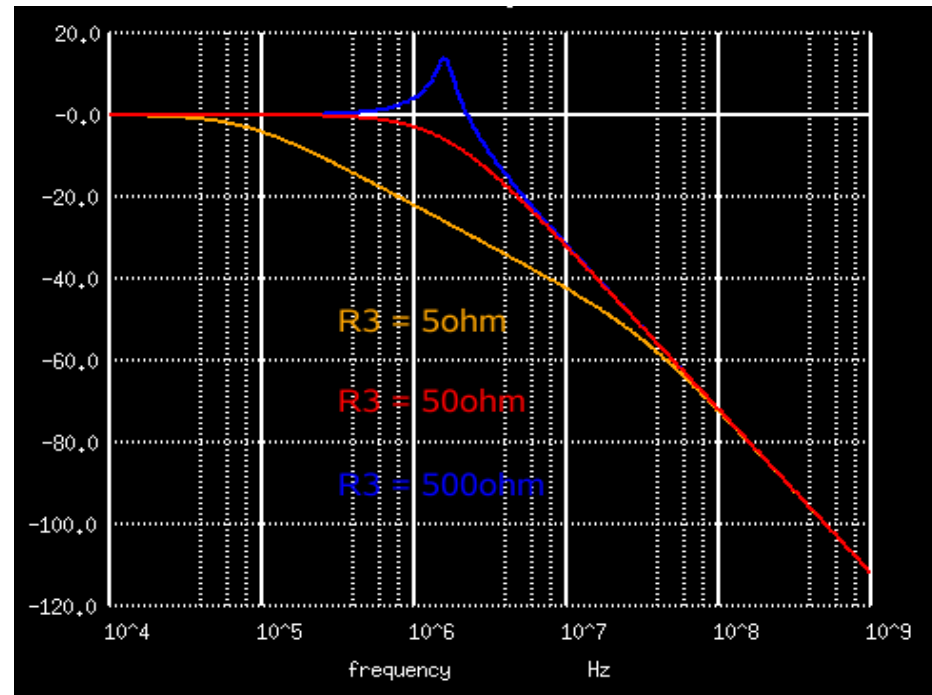


Nizkoprepustno sito drugega reda (kondenzator in tuljava, vpliv bremena)

- impedance bremena ima velik vpliv na obliko odziva sita
- breme "dusi" LC krog ("Q" faktor)
- L in C morata biti impedancno "uglasena" z bremenom



Spreminjamo upornost bremena →



Izracun nizkopropustnega sita visjega reda

Mejna frekvenca = 30MHz
Cebisev, valovitost = 0.1dB
Impedanca = 50 ohm
Red sita = 5 (30db/okt, 100dB/dek)

Klasicni postopek:

- glede na tip sita po danih formulah izracunamo elemente sita za frekvenco 1 Hz in impedanco 1 ohm (vcasih so imeli za to tudi tabele)
- elemente preračunamo na zeljeno frekvenco in impedanco

Obstaja kup programov za izracun elektricnih sit, zato dolgocasno delo raje prepustimo racunalniku:

```
CEDILO by S57UUU

Kaksno cedilo rabis (LP, HP, BP, Notch)
daj L, H, B ali N 1

Kaksen tip (Butterworth, Chebyshev)
daj B ali C c

Daj red cedila 5

Daj ripple [dB] .1

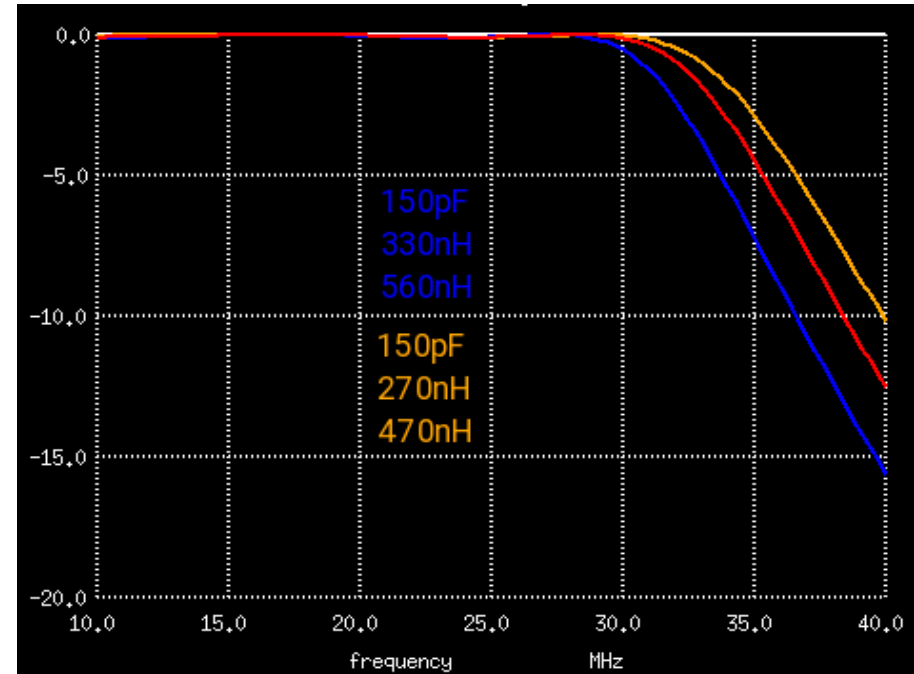
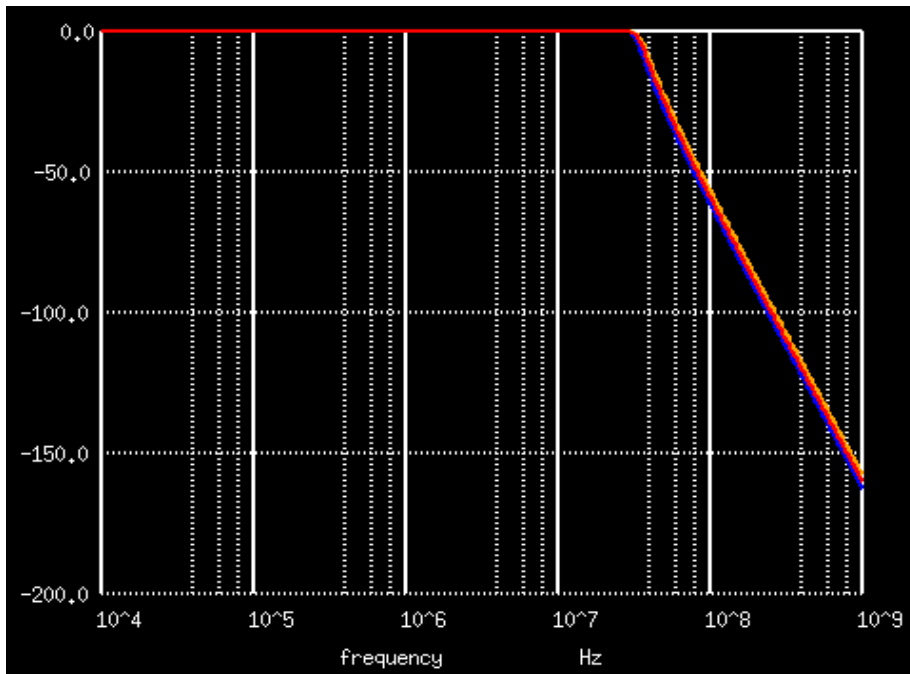
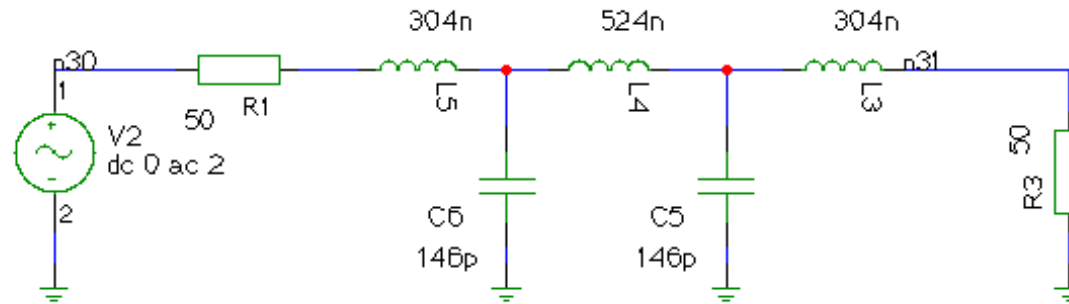
Daj mejno frekvenco [MHz] 30

Daj impedanco 50

Kaksno izvedbo zelis:
  1. LC-T
  2. LC-PI
Daj 1..2 1

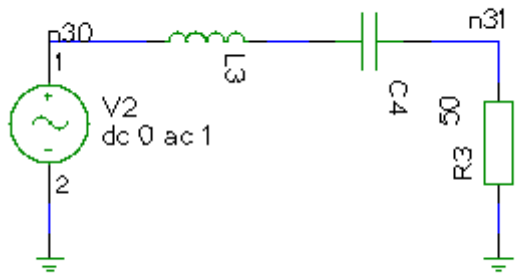
L1 = 3.042e-07 H
C2 = 1.455e-10 F
L3 = 5.239e-07 H
C4 = 1.455e-10 F
L5 = 3.042e-07 H
```

Predelava na standardne vrednosti elementov

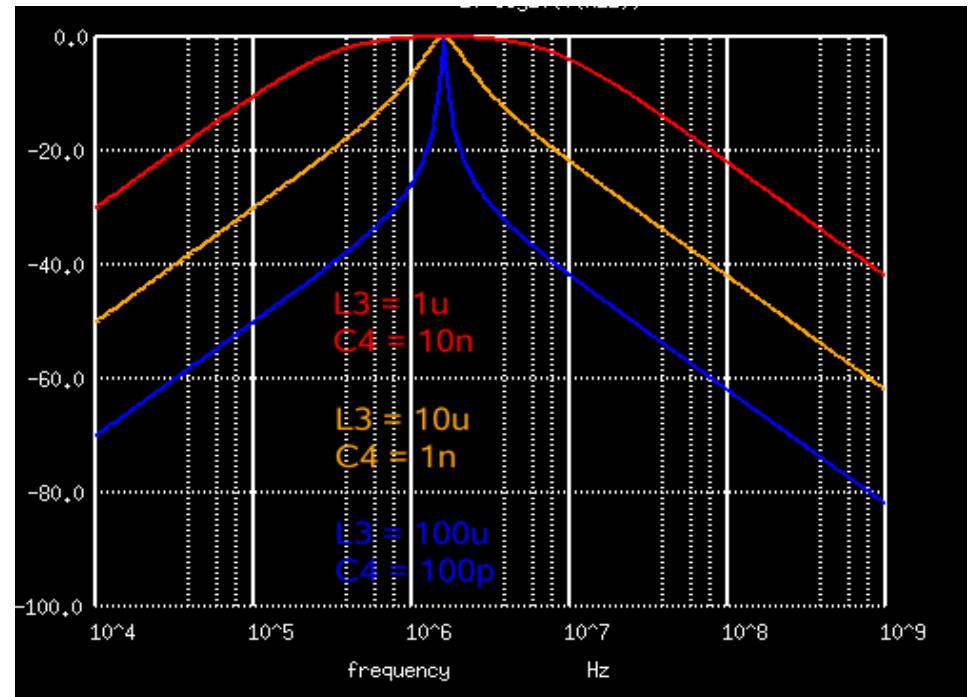


Pasovno sito prvega reda (en zaporedni nihajni krog)

- Srednjo frekvenco določa produkt LC
- Sirino določa razmerje L/C glede na impedanco bremena
"obremenjeni Q" (loaded Q) = $|X_c|/R_b = |X_l|/R_b$ na resonančni fr.
- Za zelo majhne obremenjene Q se obnaša kot loceni VP in NP siti
- Pri Q obremenjeni $\gg 1$ dobimo resonančni pojav
- Dalec od resonance slabljenje v zapornem pasu narasča 20dB/dekado oz. 6DB/oktavo (sito prvega reda)

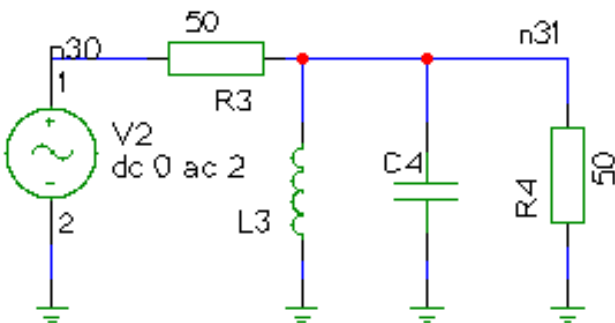


Spreminjamo razmerje L/C →

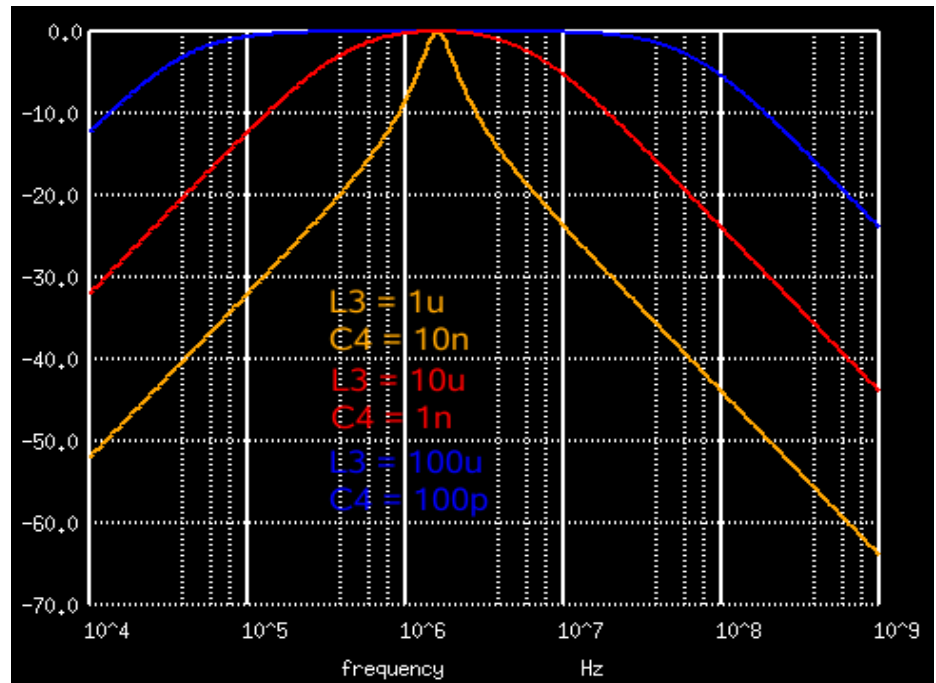


Pasovno sito prvega reda (en vzporedni nihajni krog)

- Srednjo frekvenco določa produkt LC
- Sirino določa razmerje L/C glede na impedanco bremena
"obremenjeni Q" (loaded Q) = $|B_c|/G_b = |B_l|/G_b$ na resonančni fr.
- Za zelo majhne obremenjene Q se obnaša kot loceni VP in NP siti
- Pri Q obremenjeni $\gg 1$ dobimo resonančni pojav
- Dalec od resonance slabljenje v zapornem pasu narasča 20dB/dekado oz. 6DB/oktavo (sito prvega reda)

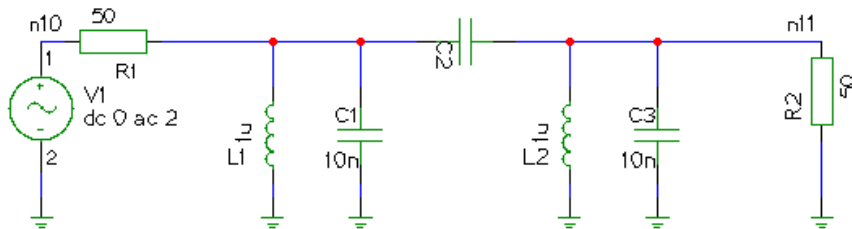


Spreminjamo razmerje L/C →

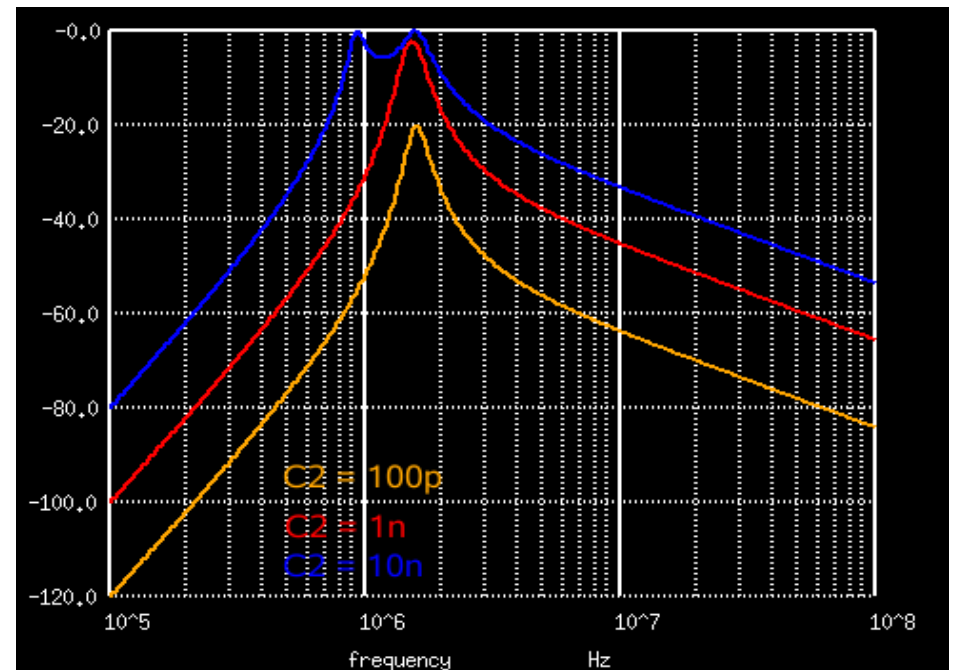


Pasovno sito drugega reda (Sklopljena nihajna kroga)

- Red sita je enak številu LC nihajnih krogov
- sklop med krogi določa sirino sita
- razmerje L/C v primerjavi z bremenom vpliva na valovitost in sirino



Spreminjamo sklopno kapacitivnost C2 →



Izracun pasovnega sita visjega reda

Srednja frekvenca = 144MHz

Sirina = 5MHz

Cebisev, valovitost = 0.1dB

Impedanca = 50 ohm

Red sita = 3

Klasicni postopek:

- izhajamo iz nizkopropustnega sita
- zaporedne elemente (tuljave) zamenjamo z zaporednimi nihajnimi krogi
- vzporedne elemente (kondenzatorje) zamenjamo z vzporednimi nihajnimi krogi
- izracunamo vrednosti elementov po danih formulah

Obstaja kup programov za izracun elektricnih sit, zato dolgocasno delo raje prepustimo racunalniku:

CEDILO by S57UUU

Kaksno cedilo rabis (LP, HP, BP, Notch)
daj L, H, B ali N b

Kaksen tip (Butterworth, Chebyshev)
daj B ali C c

Daj red cedila 3

Daj ripple [dB] .1

Daj centralno frekvenco [MHz] 144

Daj sirino [MHz] 5

Daj impedanco 50

Kaksno izvedbo zelis:

1. Klasicna LC-PI
2. Klasicna LC-T
3. Kapacitivno sklopljeni nihajni krogi
4. Interdigitalni z okroglimi palicami
5. Valovodni
6. Izvedba v podkriticnem valovodu

Daj 1..6 2

L1 = 1.642e-06 H

C1 = 7.440e-13 F

L2 = 1.672e-09 H

C2 = 7.305e-10 F

L3 = 1.642e-06 H

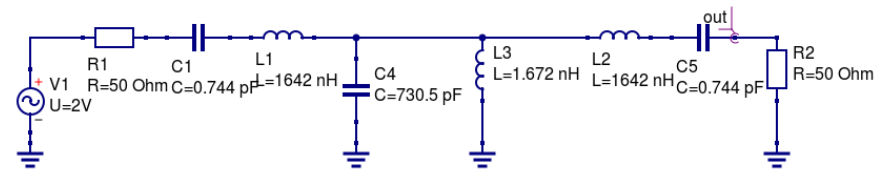
C3 = 7.440e-13 F

Kanonicna in izvedba s sklopljenimi nihajnimi krogi

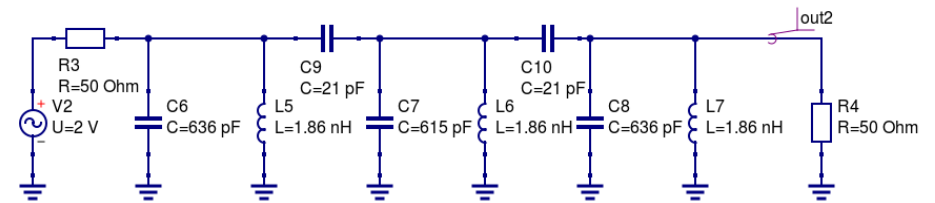
- Zelimo, da bi bili uglasevalni elementi z eno stranjo na masi
- Na visjih frekvencah, kjer vrednosti induktivnosti in kapacitivnosti postanejo neprakticne, pasovna sita vedno gradimo s sklopljenimi resonatorji

Lahko v knjigah poiscemo formule, ampak kot ponavadi, delo raje prepustimo racunalniku:

Kanonicna izvedba:



Izvedba s sklopljenimi krogi:



Kakšno izvedbo zelis:

1. Klasicna LC-PI
2. Klasicna LC-T
3. Kapacitivno sklopljeni nihajni krogi
4. Interdigitalni z okroglimi palicami
5. Valovodni
6. Izvedba v podkriticnem valovodu

Daj 1..6 3

Vhod in izhod direktno na prvi in zadnji krog

Vse spulce so $1.861e-09$ H

Sklopni kondenzatorji:

C1 2 = $2.096e-11$

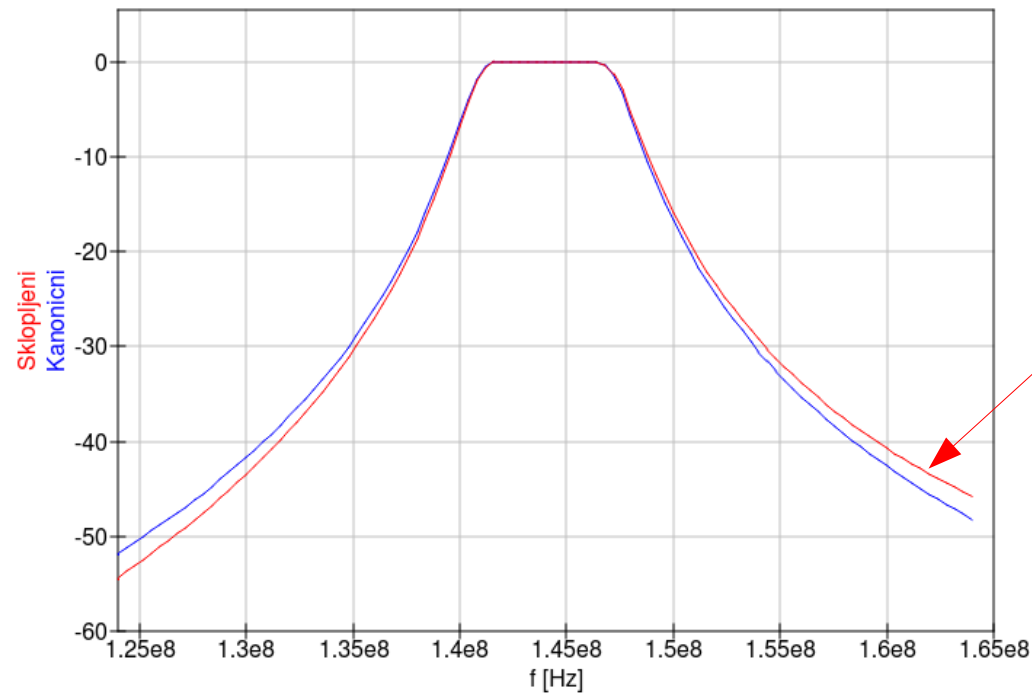
C2 3 = $2.096e-11$

Kondenzatorji v LC krogih:

C 1 = $6.358e-10$

C2 = $6.148e-10$

C3 = $6.358e-10$



Na visjih frekvencah je slabljenje manjše, ker imamo pot skozi same kondenzatorje!

Zato za sirsa sita (vecji sklopni kondenzatorji) ta vezava ni dobra.

QUCS simulacija

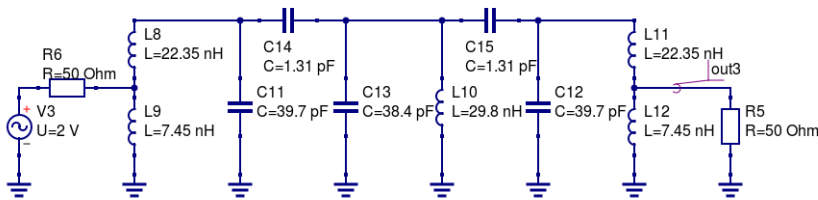
Izracun za visjo impedanco in posledice izgub v realnih elementih

Pasovno sito s sklopljenimi krogi, izracunano za impedanco 50 ohm pogosto vsebuje elemente z neprakticno velikimi ali malimi vrednostmi elementov (n. pr. majhne induktivnosti).

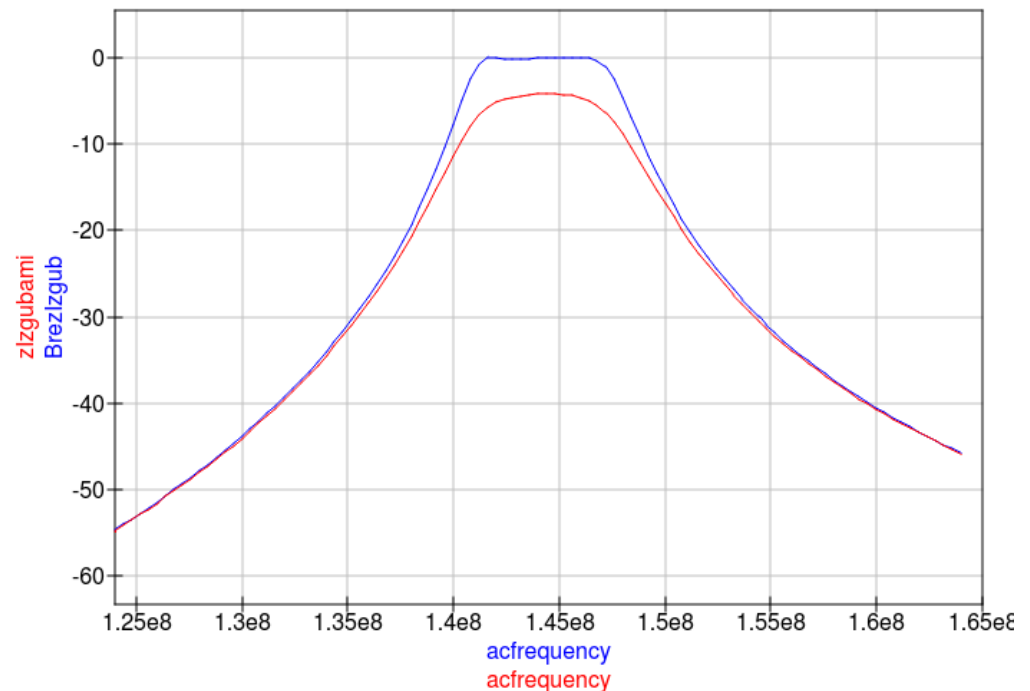
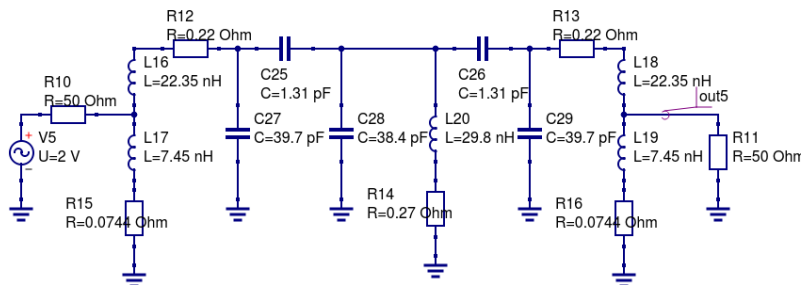
izracun ponovimo za visjo impedanco, vhod in izhod pa prilagodimo z odcepi na tuljavah oz. z zaporedno vezavo tuljav.

Impedanca se spreminja s kvadratom napetostnega prestavnega razmerja. V našem primeru smo uporabili 16X visjo impedanco (800/50), torej moramo odcepe dati na cetrtno tuljavo, oz. induktivnost razdeliti na $\frac{1}{4}$ in $\frac{3}{4}$ originalne vrednosti (7.45nH + 22.35nH namesto 29.8nH)

Sito izracunano za impedanco 800 ohm:



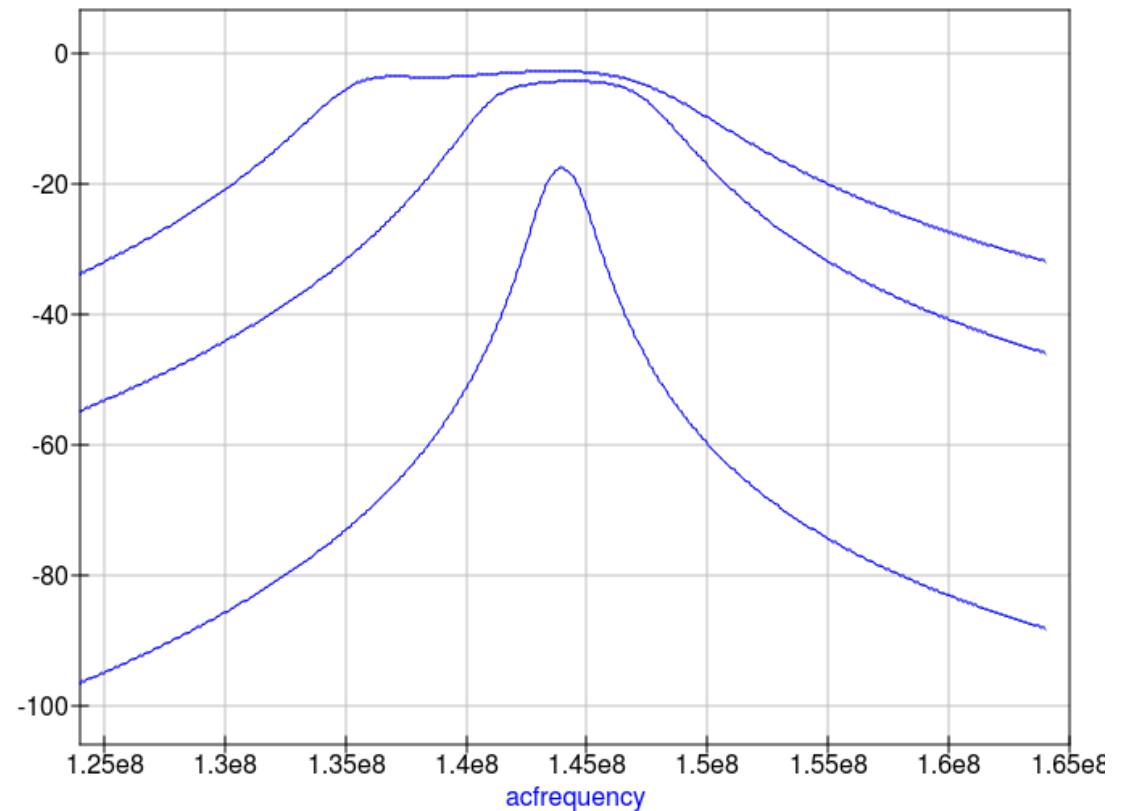
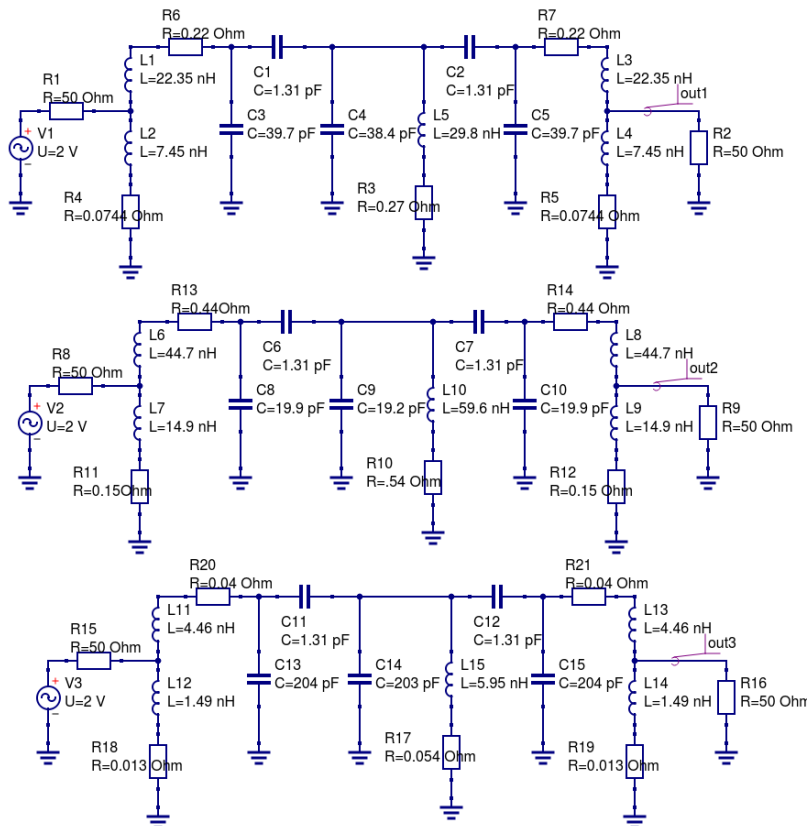
Tuljave z izgubami (Q=100)



Se o izgubah 1.

Tri pasovna sita na 144MHz, sirine 1, 5 in 10MHz, vsa s tuljavami $Q=100$

- Izgube povecajo slabljenje v prepustnem pasu, "zaobljijo" robove prepustnega pasu, ga malo razsirijo in rahlo znizajo srednjo frekvenco
- Ozja sita so bolj občutljiva na izgube
- Slabljenje doloca razmerje Q obremenjeni / Q neobremenjeni
- Q neobremenjeni je odvisen samo od izgub v L in C elementih



Se o izgubah 2.

Izgube v kondenzatorjih

Kondenzatorji navadno ne predstavljajo hude omejitve kvalitete, saj lahko uporabimo zračne, ki imajo Q tudi več tisoc.

Vendar pa tudi zračni trimmerji niso brez greha, zlasti ce jih kupujemo na Ebayu, ker so originalni pri distributerjih predragi...

Vcasih se splaca pogledati v notranjost!



Dober

slab



dober

slab (plastika)

Se o izgubah 3.

Izgube v tuljavah

Vpliv frekvence na Q tuljave:

Kozni pojav (skin efekt): debelina tokovnega sloja pada (upornost raste) s kvadratnim korenem frekvence, reaktanca tuljave pa raste linearno s frekvenco.

Q tuljave zato s frekveno raste.

Vpliv stevila ovojev na Q tuljave:

Ce bi vse magnetne silnice sle skozi vse ovoje, bi induktivnost rasla s kvadratom stevila ovojev. V praksi raste malo počasneje, vendar se vedno hitreje kot linearno. Upornost (dolzina zice) narasca linearno s stevilom ovojev.

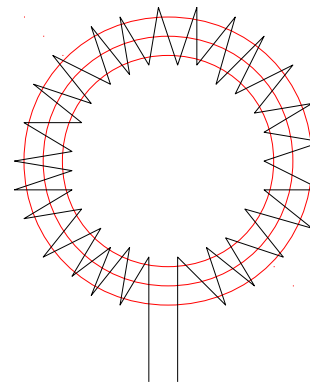
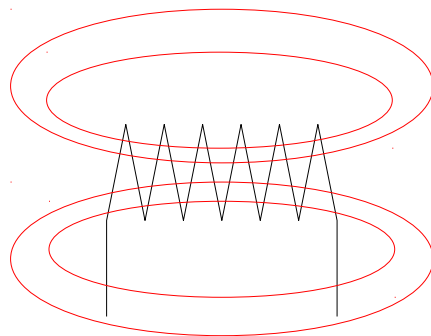
Q tuljave zato s stevilom ovojev raste.

Vpliv debeline zice na Q tuljave:

Zaradi koznega pojava upornost pada samo linearno s premerom Zice in ne s kvadratom (povrsino)

Vpliv skatle na Q tuljave:

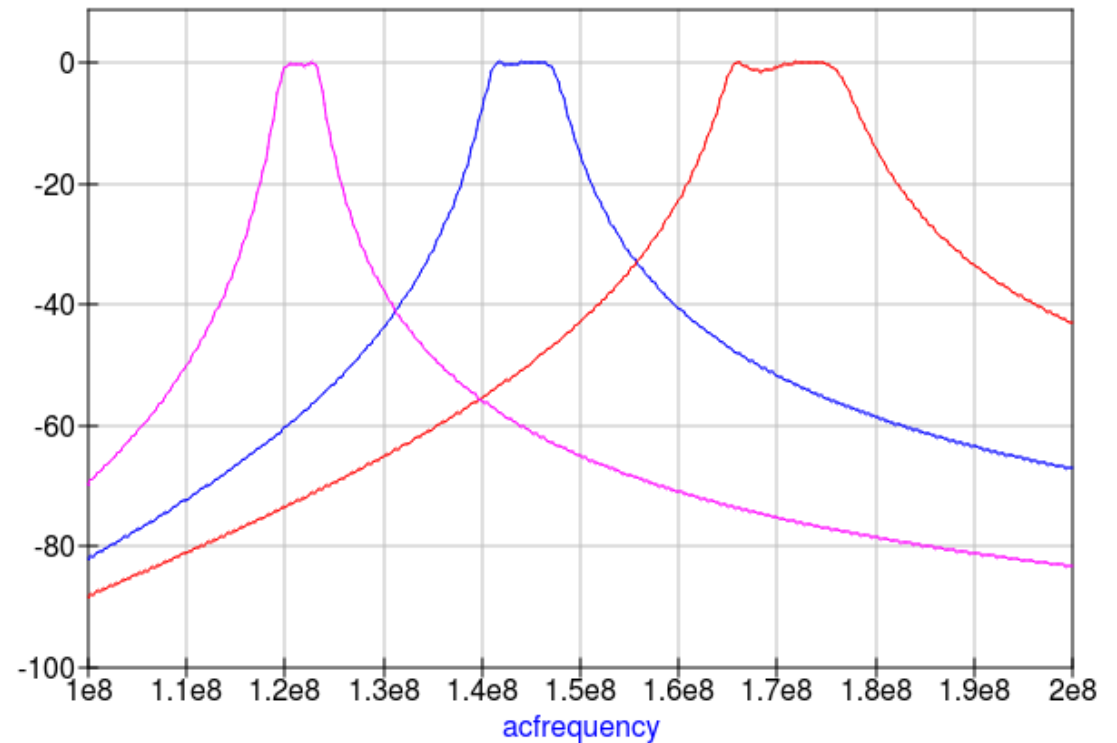
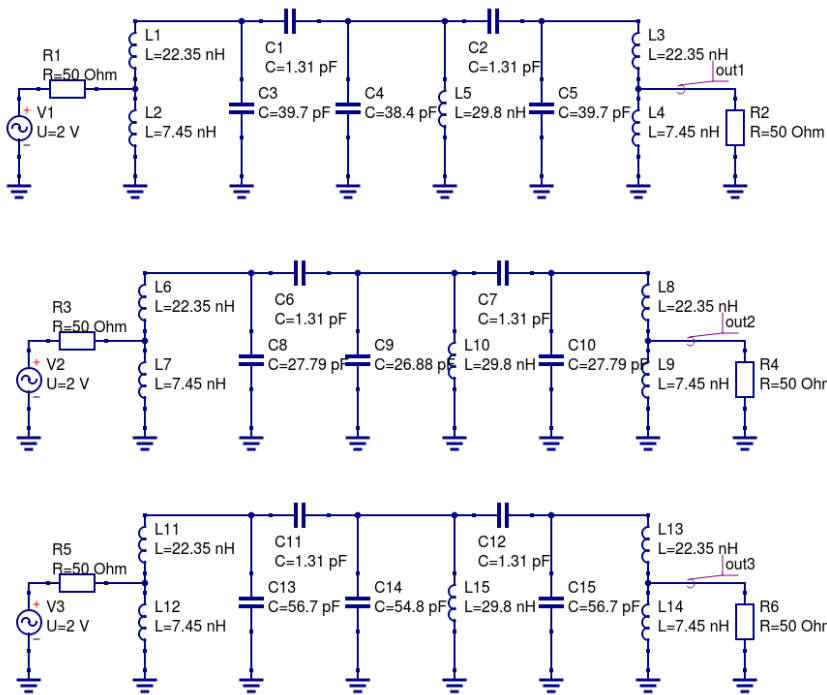
Ce se magnetno polje, ki "strli" iz tuljave, dotika prevodnih sten, v njih inducira tokove in s tem povzroca izgube. Zato se vcasih tudi zracno tuljavo splaca naviti v obliki toroida, v miniaturnih "cvisnih" pa je okrog tuljave feritni "zvon".



Vpliv uglasevanja

N. pr. spreminjamo samo kondenzatorje v nihajnih krogih

- Spreminja se impedanca krogov, zato enaki sklopni kondenzatorji pomenijo drugacen sklop in dobimo drugacno sirino sita
- Spremeni se tudi valovitost, ker vhodna in izhodna transformacija ne ustreza novi impedanci krogov

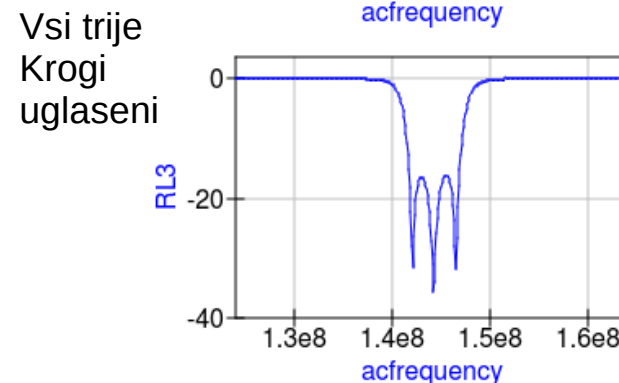
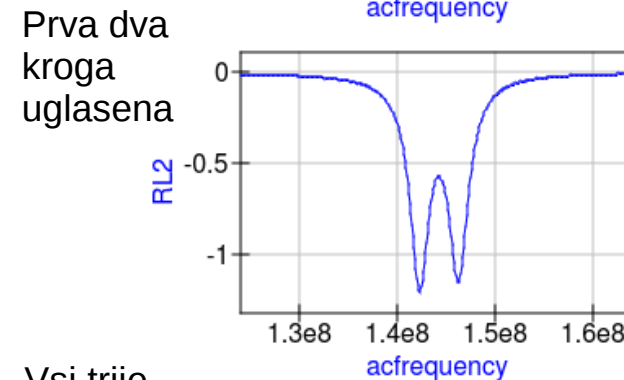
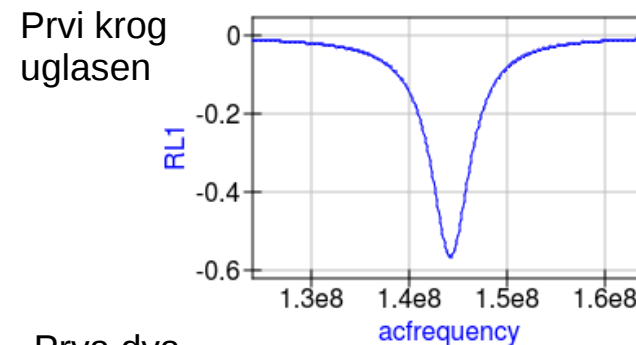


Uglasevanje pasovnega sita

- Predpostavimo, da so sklopi ze pravilni
- Merimo vhodno odbojnost, z bremenom na izhodu sita

Ce merimo samo na eni (srednji) frekvenci, prvi krog uglasujemo na minimum odbojnosti (najboljso prilagoditev), drugega na maksimum odbojnosti, tretjega spet na minimum, itd.

Pri situ z malimi izgubami bo zmanjsanje odbojnosti po uglasitvi prvega kroga zelo majhno, ker so ostali krogi se razglaseni, in energija nima kam iti. Pomagamo si tako, da povecamo izgube na drugem krogu (prst, crna guma, upor).



Slike za neobremenjeni $Q = 1000$

Razlicna merila!

Vhodni in izhodni sklop (transformacija)

Ce "na pamet" iscemo odcepa na prvi in zadnji tuljavi (vhodni in izhodni sklop), si tudi lahko pomagamo z meritvijo odbojnosti.

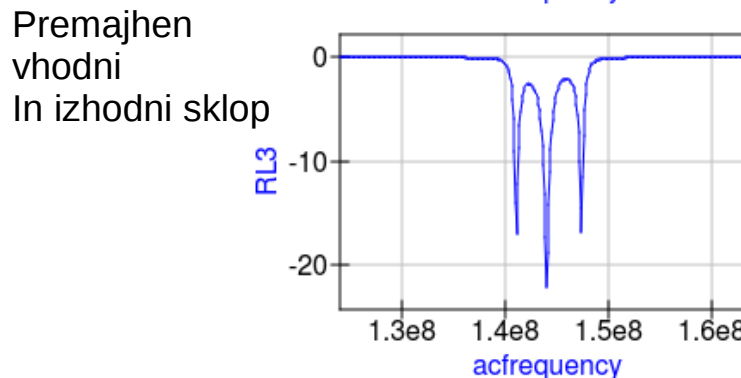
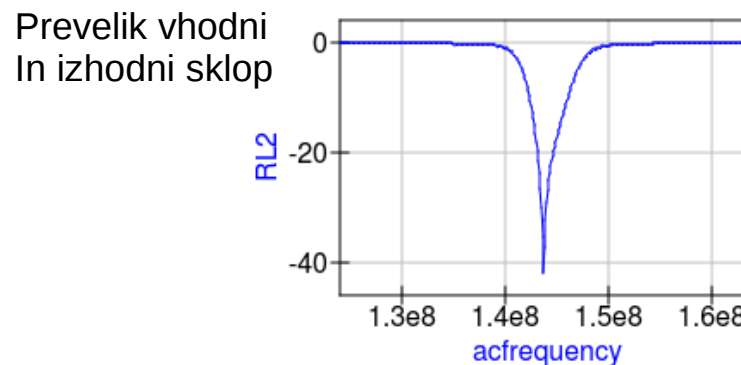
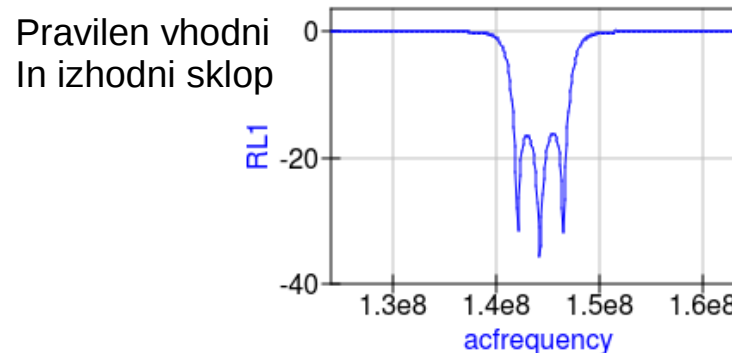
Poskusimo uglasiti nihajne kroge, in opazujemo krivuljo odbojnosti.

Ce smo odcepa "zadeli", bo prilagoditev v vsem prepustnem pasu dobra (slika desno zgoraj).

Ce je sklop prevelik (odcepa "previsoko"), se bodo "cuclji" zlili med seboj, in moramo odcepa pomakniti proti masi.

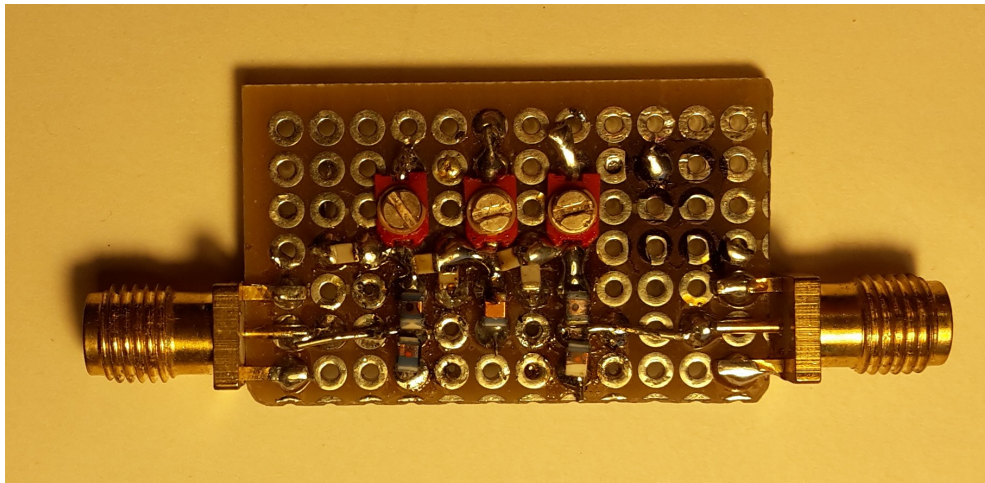
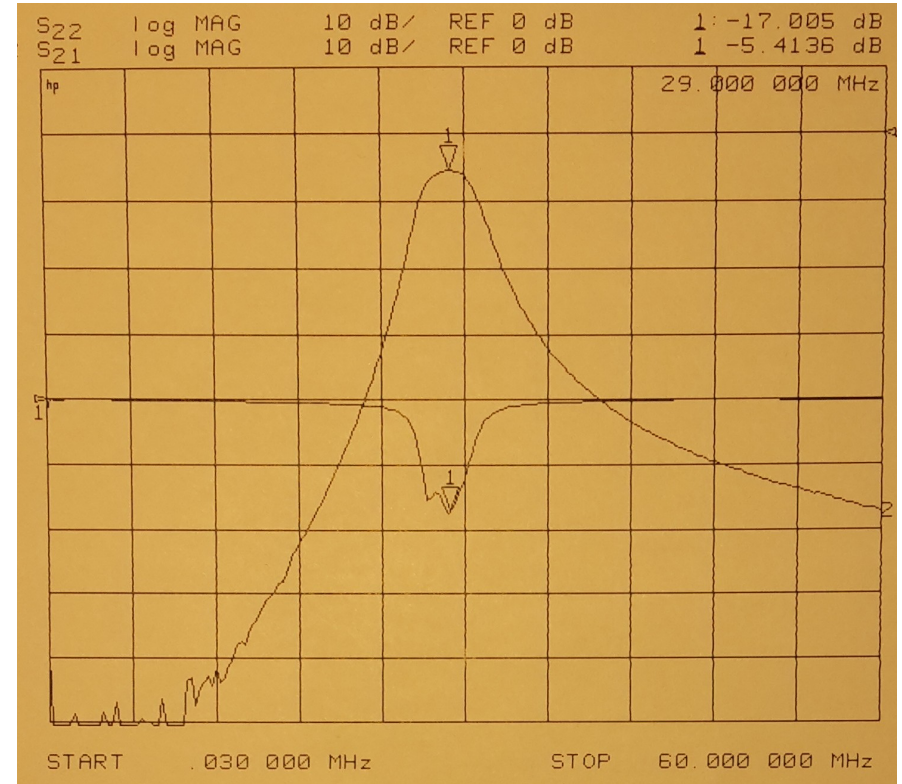
Ce je sklop premajhen (odcepa "prenizko"), bodo "cuclji" prevec razmaknjeni, med njimi pa pasovi prevelike odbojnosti, in moramo odcepa premakniti stran od mase.

Ce pri pravilnem sklopu sirina ne ustreza zeljeni, spremenimo sklopne kondenzatorje med krogi In ponovimo vajo.



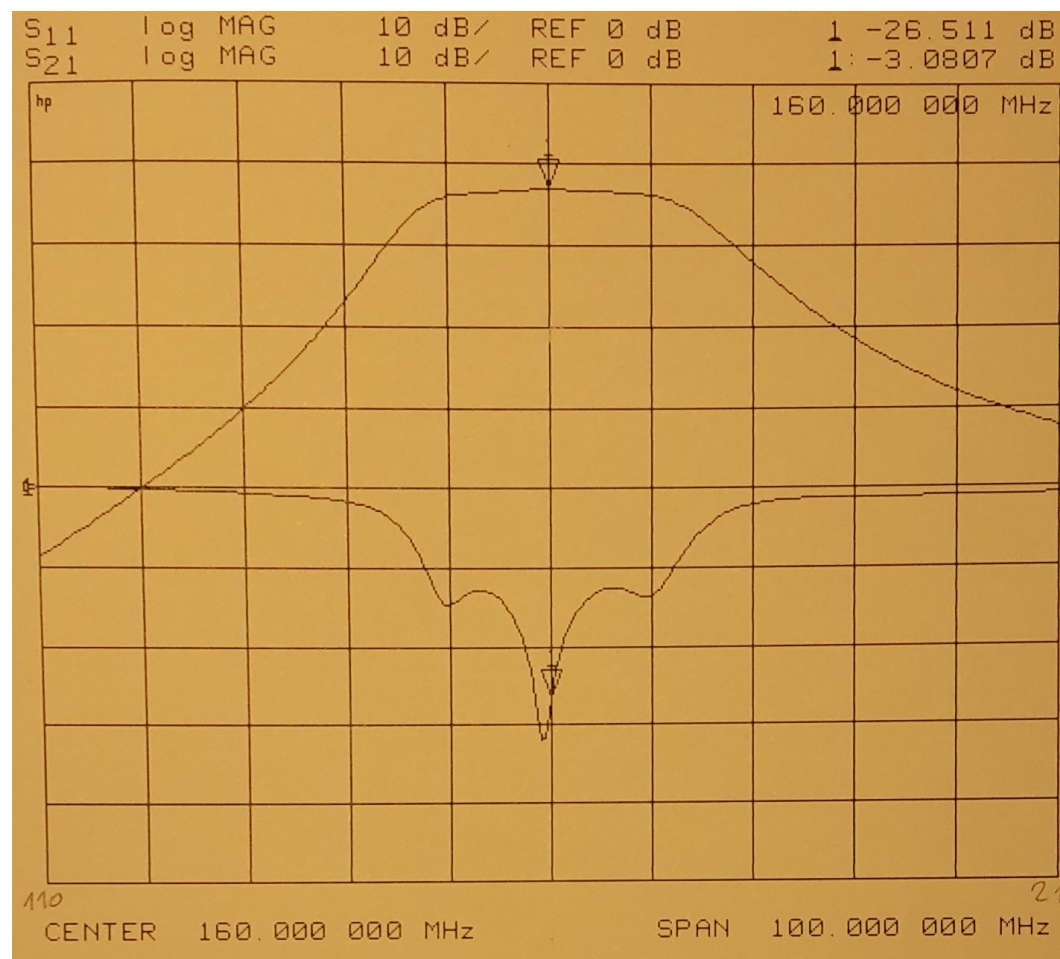
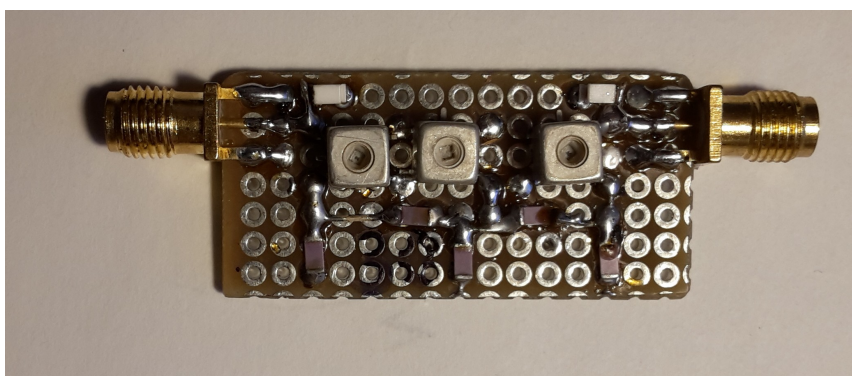
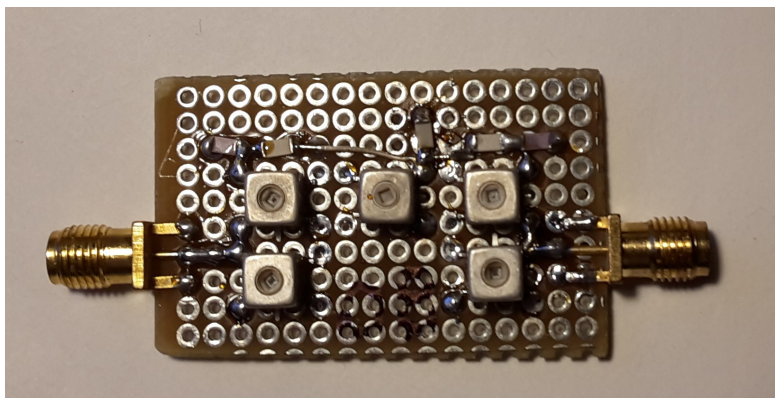
29MHz pasovno sito s SMD tuljavami

- Racunano kot Cebisev 0.1dB 3. reda, sirina 4MHz
- Prevelike izgube v tuljavah, slabljenje >5dB in slaba oblika



150...170MHz pasovno sito z NEOSID tuljavami

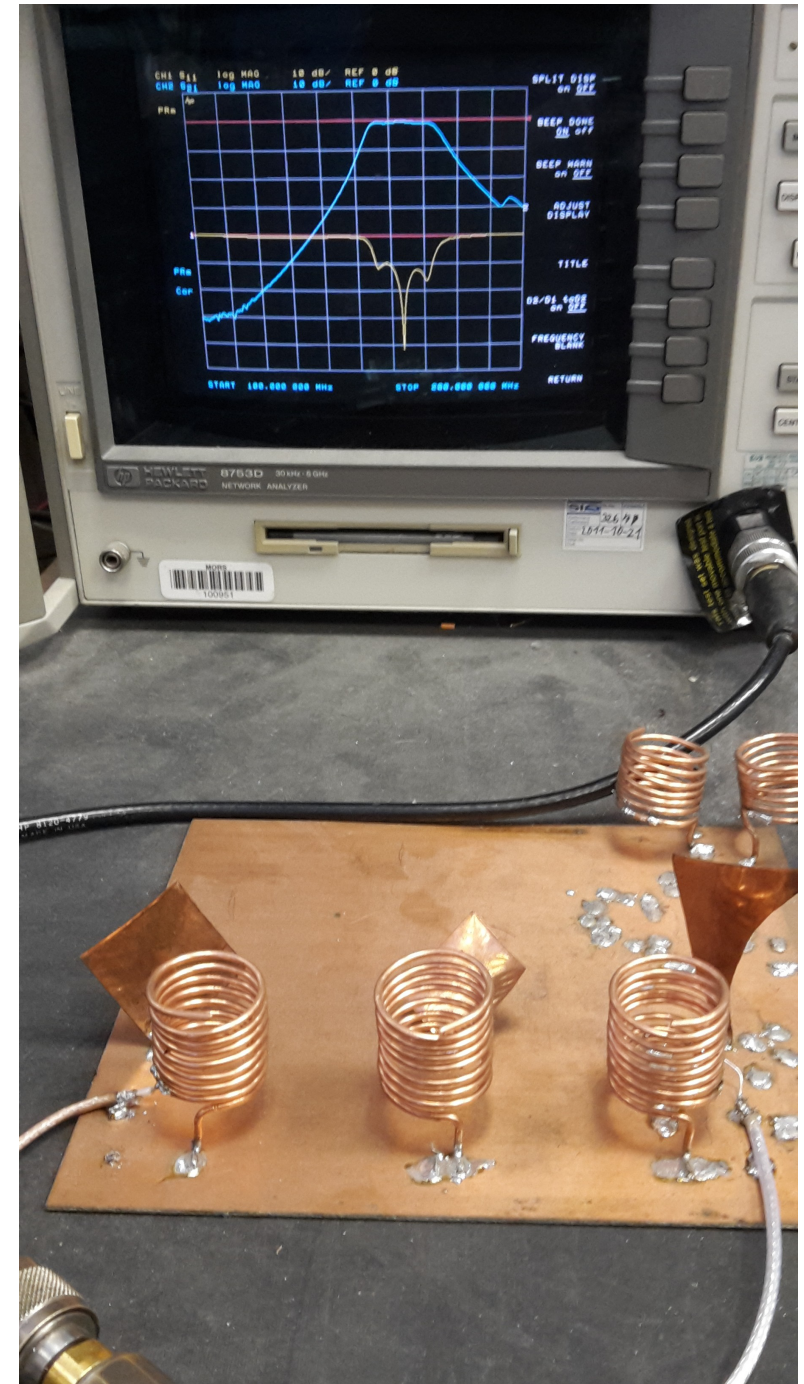
Kljub precejšnji sirini se vedno 3dB izgub



S fiksnimi "spodnjimi" tuljavami sklop ni cisto pravi, ampak sito je se uporabno.

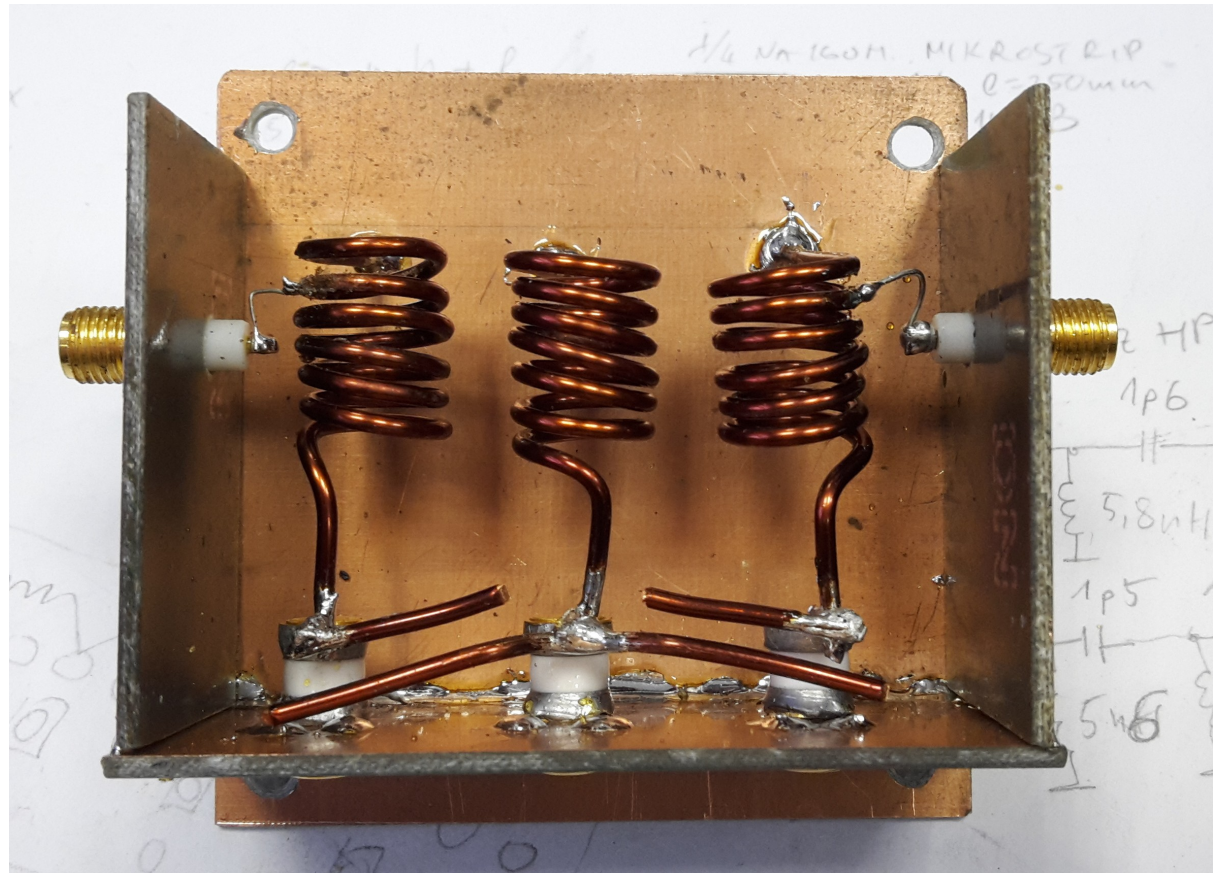
Podobno sito s “prasicjimi repki”

- Da bi zmanjšali izgube (cim vecji Q tuljav), sito racunamo na cim visjo impedanco.
 - Zgornja meja je, ko “zmanjka” kondenzatorjev, oz. tuljave postanejo cca $\lambda/4$ resonancne.
 - Sklop med krogi doloca kar razdalja med njimi.
 - Vhod in izhod z odcepi
 - Uglasevanje s scipalkami in koscki bakrene plocevine
-
- Prakticno ni uprabno zaradi velikosti in občutljivosti na okolico.
 - Kljub odprti gradnji (sevanje) so izgube dokaj male – očitno “gumi repek” antene res zelo slabo sevajo....



Podobno sito z zracnimi trimerji in valjastimi tuljavami

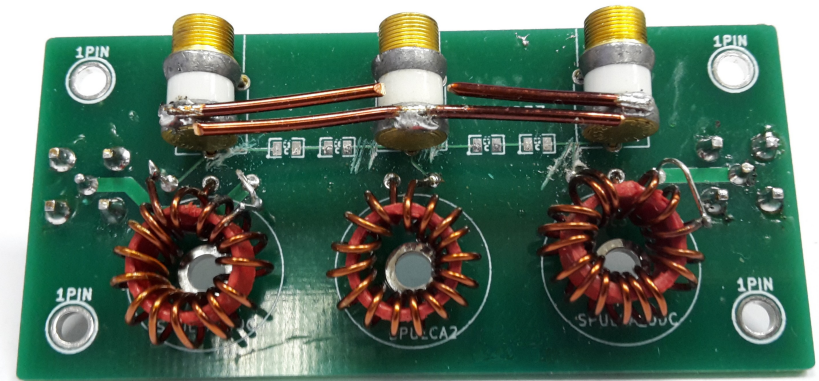
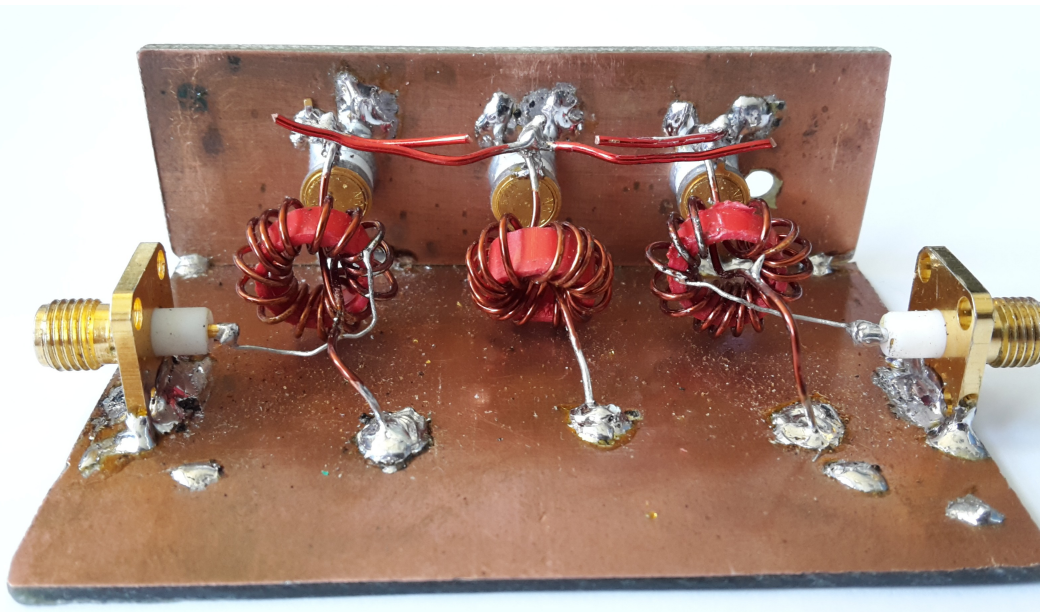
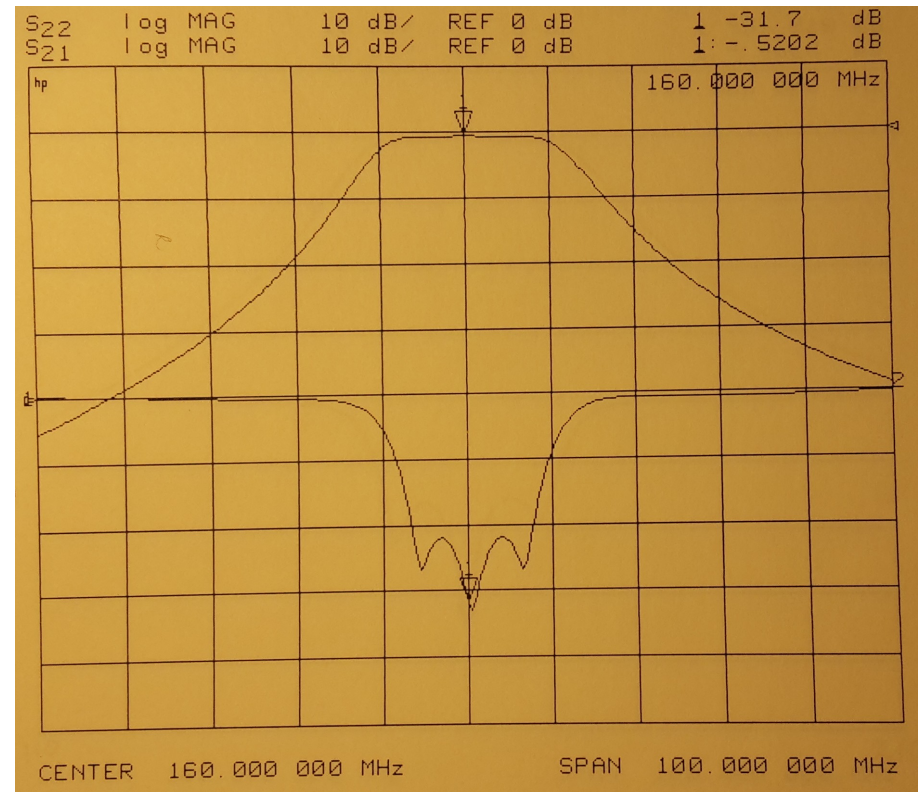
- Izracunano za impedanco 2000 ohm, prilagoditev z odcepi
- Kondenzatorji za sklop med krogi so narejeni iz koskov zice
- Slabljenje brez pokrova 0.6dB, s pokrovom 1.7dB



Podobno sito s toroidnimi tuljavami

- Ni občutljivo na zapiranje v skatlo
- Rdeca "jedra" so na "salamo" narezan star flomaster (plastika)

Na tiskanini je slabljenje cca 1dB



KONEC.

VPRASANJA?

Prosojnice in simulacijski fileti so na voljo na:

lea.hamradio.si/~s57uuu/s5/RIS/index.html