

Kremenčevi kristali, kristalna sita in oscilatorji

Matjaž Vidmar - S53MV

1. Uvod

O kremenčevih kristalih sicer vsak dan govorimo, vendar vemo radioamaterji o njihovi notranjosti in pravilni uporabi v vezjih bolj malo. Še slabše je z mladimi elektroinženirji in to ne nujno novopečenimi, ki o kremenčevih kristalih pogosto ne znajo povedati niti toliko kot povprečen radioamater. Ker kremenčevih kristalov ne uporablja samo Fred Kremenček, pač pa jih najdemo danes v skoraj vsaki elektronski napravi, kjer določajo strahansko pomembne reči za človeštvo, kot je številka megahercov na prednji plošči čarunalnika, se mi je zdelo smiselno napisati tale članek o kremenčevih kristalih.

Eden od sestavnih delov, ki ga potrebujemo v marsikateri elektronski napravi, je tudi rezonator ali po naše nihalo. V električno napravo je najenostavneje vgraditi povsem električni rezonator, to je nihajni krog sestavljen iz tuljave in kondenzatorja. Manj znana rešitev so votlinski in dielektrični rezonatorji ter rezonatorji iz delov prenosnih vodov, saj takšne električne rezonatorje uporabljamo predvsem na višjih frekvencah, v mikrovalovnem področju.

Kakovost nihala opišeno s časom oziroma številom nihajev, ki jih je sposobno nihalo narediti samo od sebe, preden mu je treba ponovno dovesti energijo. Kvaliteto nihala oziroma Q-faktor definiramo kot razmerje med energijo, ki je shranjena v nihalu, deljeno z močjo, ki se v tistem trenutku izgublja. Rezultat pomnožimo še s krožno frekvenco, da dobimo neimenovano število za kvaliteto rezonatorja.

Električni rezonatorji niso kdovekako dobra nihala. Navaden nihajni krog s tuljavo in kondenzatorjem razumljivih dimenzij ima Q kvečjemu okoli 100 in to predvsem po krivdi ohmskih izgub v žici, s katero je navita tuljava. Votlinski rezonatorji sicer dosežejo Q nekaj tisoč za ceno (nepraktično) velikih dimenzij in teže. Častna izjema električnih rezonatorjev je laserski rezonator, kjer gre Q v milijone, žal na nepraktično visokih frekvencah vidne svetlobe...

Mehanska nihala so lahko dosti

boljša od električnih. Kvaliteto Q nekaj sto lahko doseže že čisto navadna klavirska struna, pri bronastem cerkvenem zvonu pa gre Q v tisoče. Tovarna Collins je zaslovela po medfrekvenčnih sitih v svojih sprejemnikih, ki so uporabljala brušene jeklene ploščice kot mehanska nihala na frekvenci 455kHz.

Medfrekvenčno sito z brušenimi jeklenimi ploščicami seveda potrebuje na vходу pretvornik električne energije v mehansko ter obraten pretvornik na izhodu sita. Takšna rešitev ni niti enostavna niti poceni. Primernejša rešitev bi bila snov, iz katere se da izdelati dobro mehansko nihalo in hkrati pretvornik električne energije v mehansko in obratno.

Željene lastnosti imajo nekatere piezoelektrične snovi, naprimer kremen (s tujko kvarc) in piezokeramika. V piezoelektričnih snoveh se mehanski pritisk pretvori v električne naboje in obratno, zunanje električno polje povzroči mehanske pritiske v snovi. Od vseh razpoložljivih snovi ima najprimernejše lastnosti kremenčev kristal.

2. Kremenčev kristal kot rezonator

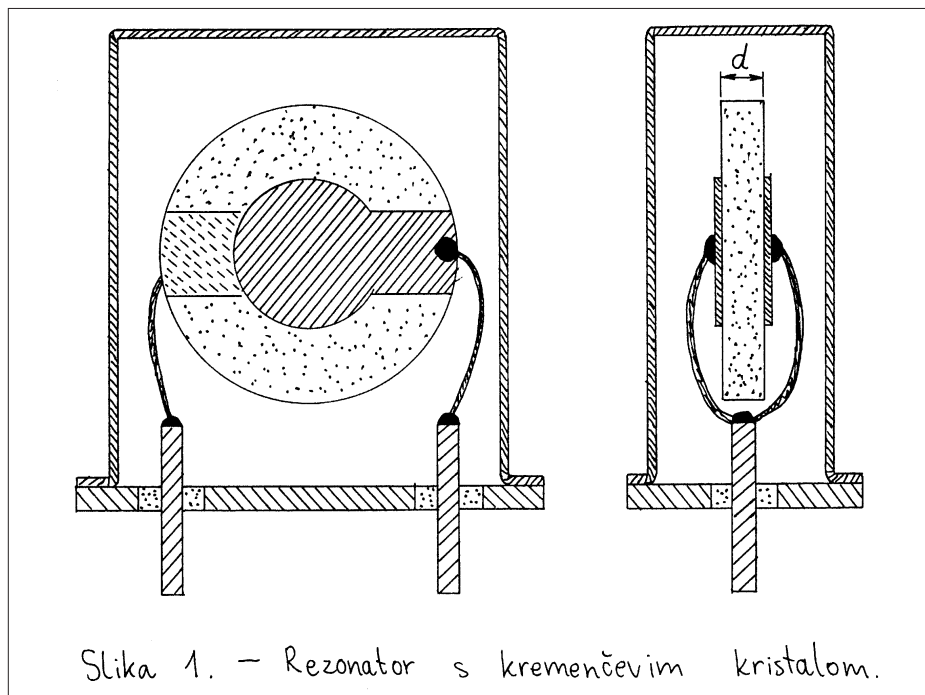
Ploščica iz kremenčevega kristala je mehansko nihalo, ki lahko niha na različne načine in ima torej kopico

rezonančnih frekvenc od slišnih zvočnih frekvenc pa vse do radijskih mikrovalov. Glede na željeni način nihanja si lahko tudi izberemo najugodnejšo obliko kristala: glasbene vilice, podolgovata ploščica, kvadratna ploščica ali okrogel disk. Miniaturni kremenčev kristal za 32768Hz, ki se uporablja v ročnih urah, ima naprimer obliko glasbenih vilic.

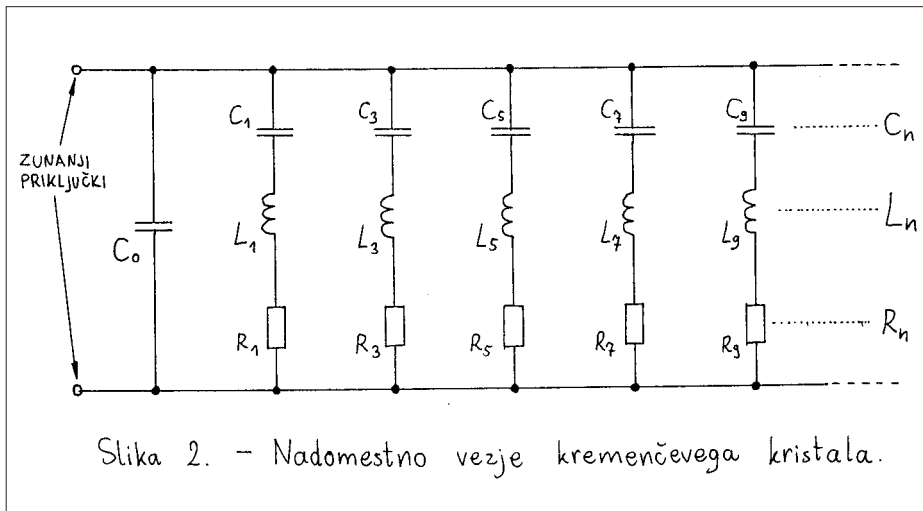
V elektronskih vezjih najpogosteje uporabljamo kristale za frekvenčno področje od 1MHz do 100MHz. Ti kristali imajo obliko okroglega diska premera 5mm do 15mm, na katerega so nparjene kovinske elektrode, vse skupaj pa je vgrajeno v hermetično zaprto kovinsko ohišje, kot je to prikazano na Sliki 1. Proizvajalci kristalov imenujejo takšno vrsto kremenčevega kristala AT kristal, ker se ploščica izreže iz kristala po AT rezu.

Rezonančna frekvenca AT kristala zavisi le od debeline diska "d". Kristal niha tako, da se v disku razširja ultrazvočni val, ki se odbija od obeh ravnih površin diska. Najnižjo rezonanco diska dobimo takrat, ko debelina diska ustreza polovici valovne dolžine ultrazvoka. Ker znaša hitrost ultrazvoka v kremenčevem kristalu približno 3.5km/s, bo 1mm debel disk nihal na frekvenci približno 1.75MHz.

Podobno kot struna lahko tudi



Slika 1. - Rezonator s kremenčevim kristalom.



Slika 2. - Nadomestno vezje kremenčevega kristala.

kremenčev disk niha na poljubnem celoštevilskem mnogokratniku osnovne frekvence, ko debelina diska ustreza celoštevilskemu mnogokratniku polovice valovne dolžine ultrazvoka. Pri struni so višje rezonančne frekvence točni mnogokratniki osnovne frekvence le v slučaju, ko je struna povsem togo vpeta na obeh koncih. Tudi višje rezonančne frekvence kristala bi bili točni mnogokratniki le v slučaju, če bi se nahajal kremenčev disk v popolnoma praznem prostoru.

Resnični kremenčev kristal se seveda ne nahaja v vakuumu, pač pa v zraku. Razen tega so ravno na občutljive ravne površine diska neparjene kovinske elektrode. Končno, tudi razna umazanija, ki se nabira na površini kristala, ima svoj učinek na rezonančne frekvence.

Višje rezonančne frekvence kristala imenujemo s tujko overtone. Overtone rezonance so približni, ampak v NOBENEM slučaju točni mnogokratniki osnovne frekvence kristala iz zgoraj omenjenih razlogov. Overtone rezonanc nikakor ne smemo zamešati z električnimi harmoniki osnovne frekvence, ki so vedno točni celoštevilski mnogokratniki osnovne frekvence.

Kristal sam lahko sicer mehansko niha na poljubnem overtone, zaradi simetrične namestitve elektrod na površini kristala pa obstaja električni sklop samo z lihimi overtone sklopi: osnovno, tretjo, peto, sedmo, deveto itd! Z neparjenima kovinskima elektrodama torej nikakor ne moremo vzbuditi nihanja kristala na drugi, četrti, šesti, osmi in ostalih sodih overtone rezonancah.

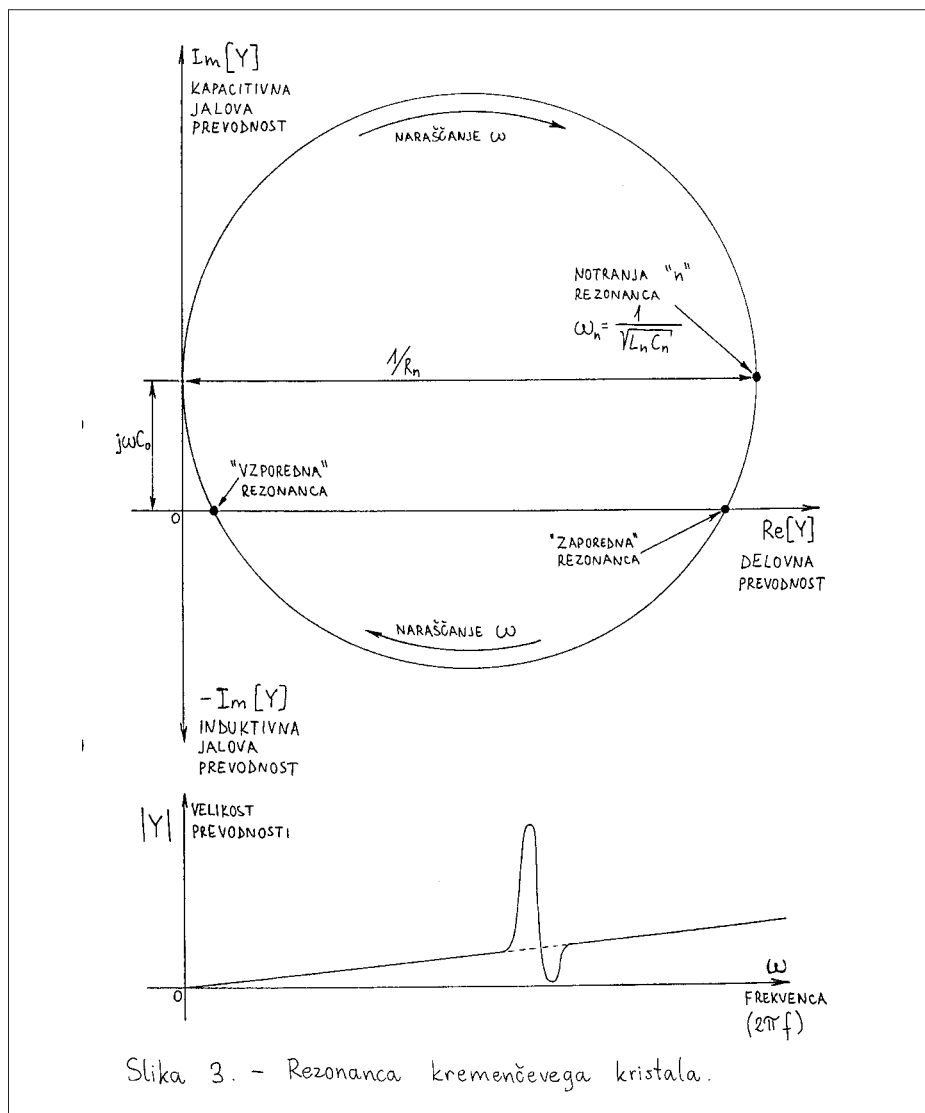
Električno nadomestno vezje kremenčevega kristala je prikazano na Sliki 2. Daleč proč od rezonančnih

frekvenc se kristal obnaša kot čisto navaden kondenzator s kapacitivnostjo C_0 , ki zajema kapacitivnost elektrod in ohišja. C_0 je v velikostnem razredu od 5pF do 10pF za običajne kristale.

Električno sklopljene mehanske rezonance kristala opišemo z zaporednimi nihajnimi krogi: C1-L1-R1, C3-L3-R3, C5-L5-R5, C7-L7-R7 itd.

Povsem jasno, ker sode overtone rezonance nimajo električnega sklopa, jih tudi v nadomestnem vezju ni. Velikostni razredi za sestavne dele nihajnih krogov so naslednji: L_n je v velikostnem razredu nekaj milihenrijev, R_n je neke med 20ohmi in 100ohmi ter C_n je takšen, da skupaj z L_n rezonanco na ustrezni frekvenci.

Nihanje kremenčevega kristala dušijo predvsem izgube ultrazvoka v zraku, v neparjenih elektrodah, predvsem pa v umazaniji na površini kristala. Slab oziroma len kristal, ki noče nihati v oscilatorju, se da pogosto popraviti tako, da odcinimo pokrovček ohišja in operemo kristal v trikloretilenu ali kašnem drugem podobnem organskem topilu. Pri ponovnem zapiranju ohišja kristala seveda pazimo, da na površino kristala ne nanesemo nove umazanije, naprimer v obliki hlapov kolofonije, ki jo uporabljamo pri spajkanju. Tudi en sam prstni odtis na površini kristala popolnoma pokvari kvaliteto ali Q-faktor kristalnega rezonatorja!



Slika 3. - Rezonanca kremenčevega kristala.

Q-faktor kristala resnega proizvajalca doseže vrednost 10000 (desettisoč) na osnovni resonanci in tudi do 100000 (stotisoč) na višjih overtonskih resonancah. Žal se na višjih overtonskih resonancah hkrati manjša sklop med mehanskim nihanjem kristala in električnim vezjem, tako da ugodnosti overtonskih resonanc ne moremo enostavno izkoristiti.

Električno obnašanje kremenčevega kristala najboljše opiše diagram prevodnosti Y (obratna vrednost impedance, $1/Z$) na Sliki 3. Daleč proč od rezonance se kristal obnaša kot kondenzator s kapacitivnostjo C_0 , njegova prevodnost je torej povsem imaginarna (jalova). V okolici rezonance pa diagram prevodnosti nariše krožno pentljo. Premer pentlje je natančno obratna vrednost zaporedne upornosti R_n za dano resonanco "n".

Pentlja seka realno os diagrama prevodnosti v dveh točkah, ki ju imenujemo vzporedna in zaporedna resonanca kristala. Vzporedno resonanco dobimo pri višji frekvenci od zaporedne rezonance, resnična notranja resonanca pa se zgodi pri še nižji frekvenci. V frekvenčnem področju med zaporedno in vzporedno resonanco se kristal obnaša kot tuljava z izgubami.

Rezonance prikaže tudi diagram velikosti prevodnosti v odvisnosti od frekvence. V bližini zaporedne rezonance doseže prevodnost največjo vrednost, v bližini vzporedne rezonance pa najnižjo vrednost.

Ko naročamo izdelavo kremenčevega kristala, moramo proizvajalcu seveda povedati, kaj bi radi. Najlažje je opisati in izmeriti zaporedno resonanco kristala, vendar ta resonanca ni nujno tisto, kar potrebujemo v vezju. Dobri proizvajalci nas bodo zato vprašali, kakšne vrste resonanco želimo na navedeni frekvenci. Razen zaporedne rezonance nam bodo ponudili tudi vzporedno resonanco, pa ne samega kristala, pač pa z določenim zunanjim kondenzatorjem (vezje našega oscilatorja!) vezanim vzporedno kristalu, običajno 20pF ali 30pF. Končno bo resen proizvajalec navedel tudi upornost R_n pri željeni resonanci "n", ki jo je sposoben doseči s svojim proizvodnim postopkom. Izdelke neresnih proizvajalcev kremenčevih kristalov opazimo prav po odstopanju R_n od enega primerka do drugega oziroma preveliki vrednosti R_n , ki pomeni, da v tovarni nekdo pušča na kristalih svoje prstne odtise...

3. Pasovna sita s kremenčevimi kristali

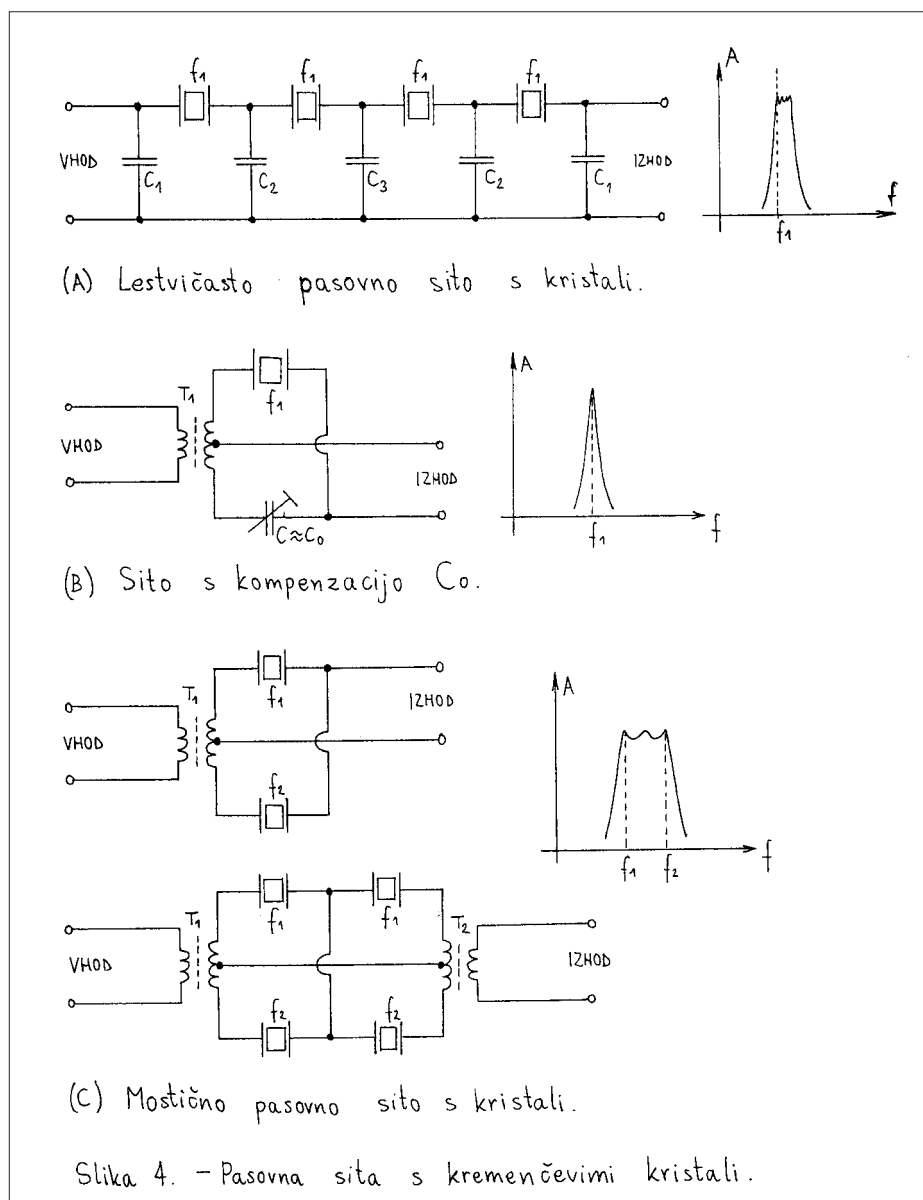
V kremenčevem kristalu sicer opazimo opisane rezonance pojave, vendar je celotno dogajanje precej bolj komplicirano kot v običajnem LC nihajnem krogu. Rezonančne pojave seveda skušamo izkoristiti za gradnjo pasovnih ali zapornih sit oziroma za stabilizacijo frekvence oscilatorjev. Osnovne načine uporabe kremenčevih kristalov v pasovnih sitih prikazuje slika 4.

Najenostavnejši slučaj je gradnja ozkopasovnih sit, naprimer za morzejevo telegrafijo ali SSB govorno modulacijo. V tem slučaju lahko kapacitivnost med priključki kristala C_0 preprosto zanemarimo in uporabimo kristal kot zaporedni nihajni krog. Vezje pasovnega sita ima obliko lestvice, kot je to prikazano na Sliki 4.(A) za slučaj sita s štirimi kristali. Prenosni pas takšnega sita določimo

s pravilno izbiro kondenzatorjev in zaključitvene vhodne in izhodne impedance. Sito sicer uporablja med sabo enake kristale z isto nazivno rezonančno frekvenco.

Pri uporabi kristalnega sita se je treba zavedati, da imajo vgrajeni kristali kopico rezonančnih frekvenc in ne samo željene rezonance frekvence. Kristalno sito v vezju sprejemnika zato nujno potrebuje še nekaj običajnih LC nihajnih krogov, da z njimi izberemo željeni overton kristalov in zadušimo neželjene odzive kristalnega sita.

Pri gradnji sit z nekoliko večjo pasovno širino, naprimer za ozkopasovno FM govorno modulacijo, parazitne kapacitivnosti kristala C_0 ne moremo več zanemariti. To kapacitivnost je treba kompenzirati, naprimer v mostični vezavi s trimmerjem, kot je to prikazano na Sliki 4.(B). Odziv sita z enim kristalom in kompenzacijo kapacitivnosti C_0 postane



zelo podoben odzivu običajnega LC nihajnega kroga, z enim samim špičastim vrhom in ne preveč strmimi boki.

V sprejemniku bi želeli sito s ploščatim prenosnim pasom in strmimi boki, kar lahko dosežemo z mostično vezavo dveh kristalov za nekoliko različne frekvence f_1 in f_2 , kot je to prikazano na Sliki 4.(C). Še večjo selektivnost dosežemo z uporabo štirih kristalov. Z mostično vezavo zlahka dosežemo prenosni pas 15kHz ali celo 30kHz pri vrednosti srednje frekvence 10.7MHz za uporabo v medfrekvenci FM govornih sprejemnikov. K mostični vezavi kristalov z različnimi rezonančnimi frekvencami se moramo zateči tudi pri gradnji SSB sit pri srednjih delovnih frekvencah pod 6MHz.

Zadnji krik mode so monolitna kristalna sita. Takšno sito vsebuje popolnoma enak kremenčev kristal v obliki diska, le da ima tri nparjene elektrode: vhod, izhod in maso. Tudi na zunaj se monolitno kristalno sito loči od navadnega kristala le po tem, da ima ohišje tri nožice namesto dveh. Monolitno kristalno sito vsebuje dva mehansko sklopljena rezonatorja in se na zunaj obnaša kot sito z dvema nihajnima krogoma. Tudi monolitno kristalno sito lahko uporabljamo na osnovni oziroma na overtonskih rezonancah, kar moramo določiti sami z dodatnimi zunanji LC nihajnimi krogi.

4. Oscilatorji na osnovni rezonanci kristala

Visoka kvaliteta oziroma Q-faktor kremenčevega kristala kot rezonatorja narekuje njegovo uporabo za stabilizacijo frekvence oscilatorjev. Kremen je sicer mehansko trden material ter kemično in časovno zelo obstojen, saj mu pride do živega le fluorovodikova kislina. Kremenčev kristal zato lahko zagotovi dolgoročno stabilizacijo frekvence oscilatorja.

Vsak oscilator vsebuje ojačevalnik in frekvenčno odvisno pozitivno povratno vezavo, ki določa frekvenco nihanja. Kristalni oscilator naredimo tako, da kremenčev kristal vgradimo v vezje povratne vezave. Najenostavnejši slučaj je prikazan na Sliki 5., ko kristal uporabimo kot del nihajnega kroga. Bolj točno, kristal uporabimo kot tuljavo v nihajnem krogu. Kremenčev kristal se nazunaj obnaša kot tuljava v zelo ozkem frekvenčnem področju med zaporedno in vzporedno rezonanco, kot je to prikazano na diagramu prevodnosti na Sliki 3.

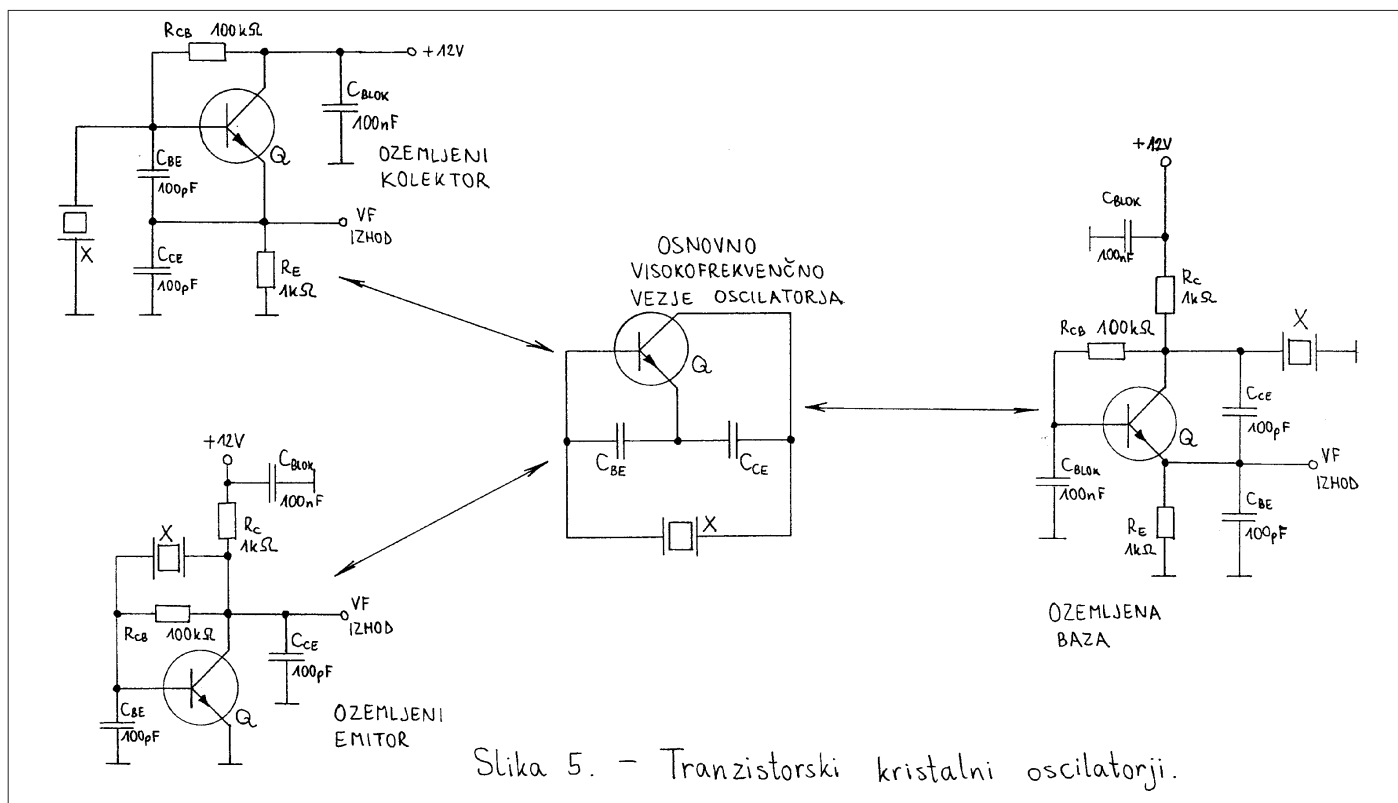
S pomočjo kondenzatorjev Cbe in Cce dosežemo pozitivno povratno vezavo iz izhoda tranzistorja nazaj na vhod. Glede na to, katero točko ozemljimo, dobimo kristalni oscilator z ozemljenim kolektorjem, z ozemljenim emitorjem ali pa z ozemljeno bazo. Od vseh treh oscilatorjev se

najpogosteje uporablja spoj z ozemljenim kolektorjem, manj pogosto z ozemljenim emitorjem in skoraj nikoli z ozemljeno bazo.

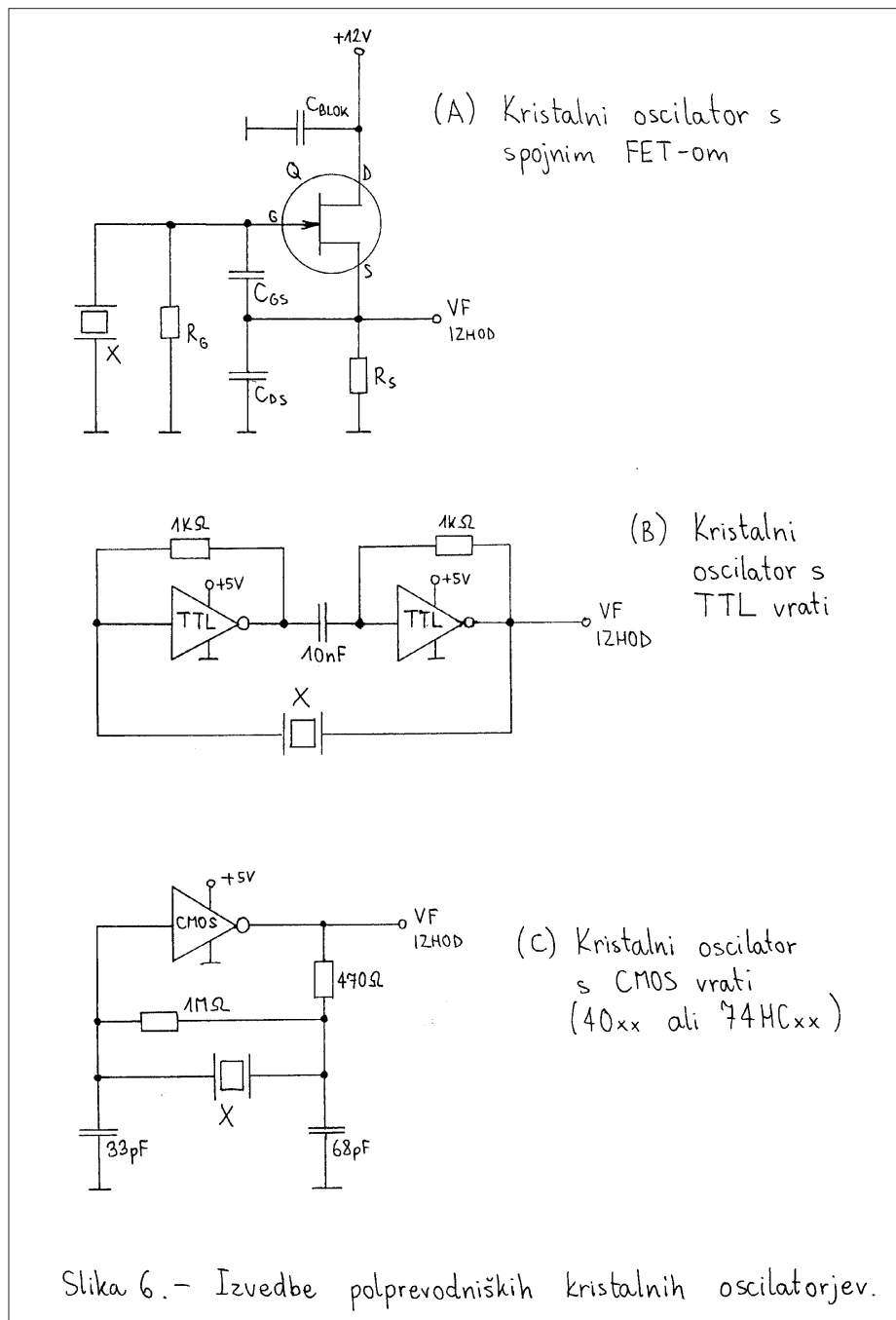
Namesto bipolarnega tranzistorja lahko uporabimo tudi kakšen drug polprevodnik, ki je sposoben ojačevati signale željene frekvence. Zelo podoben spoj oscilatorja prikazuje Slika 6.(A) z uporabo spojnega FET-a z ozemljenim ponorom. Oscilatorju z ozemljenim emitorjem ustreza oscilator s CMOS logičnimi vrati, kot je prikazan na Sliki 6.(C).

Od vseh teh oscilatorjev se razlikuje edino oscilator s TTL logičnimi vrati, ki je prikazan na Sliki 6.(B). TTL logična vrata imajo majhno ojačenje in neprimerne ter nestabilne vhodne in izhodne impedance za uporabo v linearnih vezjih. Od tod povsem drugačen načrt oscilatorja, ki po stabilnosti frekvence daleč zaostaja za drugimi vrstami opisanih oscilatorjev.

Pri načrtovanju vseh teh oscilatorjev smo seveda pozabili, da kremenčev kristal nima ene same rezonančne frekvence, pač pa kopico overtonskih rezonanc. Na kateri oziroma na katerih frekvencah bo potem nihal oscilator? Električni sklop z mehansko rezonanco je največji za osnovno frekvenco in upada z redom rezonance. Če nismo zagrešili hujših napak pri načrtovanju oscilatorja, bo ta zagotovo nihal izključno na osnovni rezonančni



Slika 5. - Tranzistorski kristalni oscilatorji.



Slika 6. - Izvedbe polprevodniških kristalnih oscilatorjev.

frekvenci kristala. Stabilno nihanje na overtonskih rezonancah dosežemo le v slučaju, če nihanje na osnovni frekvenci načrtno preprečimo.

V radijskih sprejemnikih in oddajnikih je treba pri uglasovanju nastaviti tudi natančno frekvenco kristalnih oscilatorjev, saj imajo tudi kristali svoje tolerance izdelave. Frekvenco kristalnega oscilatorja premaknemo tako, da zaporedno s kristalom vežemo nastavljalni kondenzator ali tuljavo, kot je to prikazano na Sliki 7. Zaradi kapacitivnosti kristala Co učinek ni simetričen: tuljava dosti bolj učinkovito niža frekvenco kristala, kondenzator pa jo je sposoben zvišati le za malenkost. Naprimer, osnovno frekvenco kristala 10.000

MHz lahko zvišamo z zaporednim kondenzatorjem kvečjemu za +10kHz, s tuljavo pa jo lahko znižamo za -50kHz ali celo več.

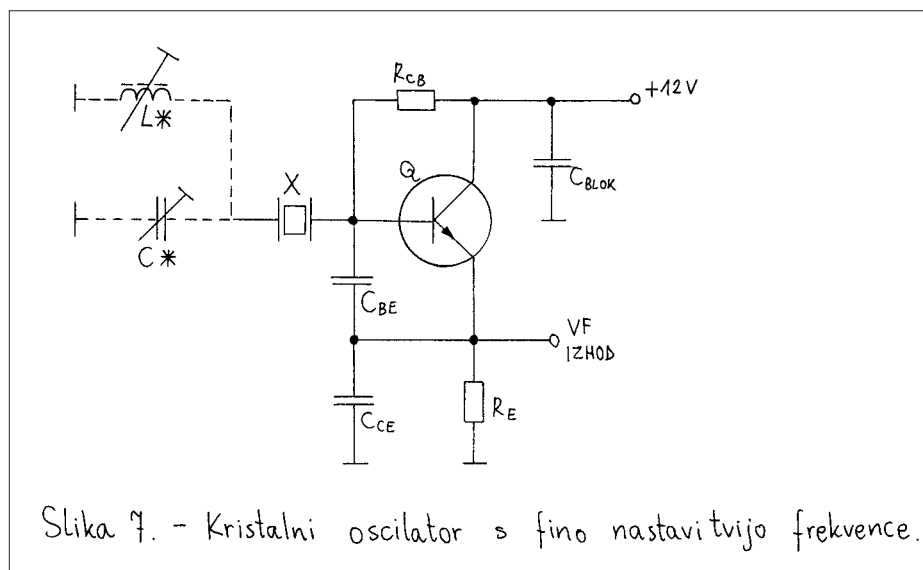
Razlago spet najdemo v diagramu prevodnosti na Sliki 3. Oscilator uporablja kristal kot navidezno induktivnost, ko se nahajamo v najnižjem delu pentlje pod realno osjo. Z zaporednim kondenzatorjem se lahko kvečjemu približujemo lastni vzporedni rezonanci kristala, ki je razmeroma blizu. Z zaporedno tuljavo pa lahko prehodimo v obratni smeri skoraj tričetrt pentlje.

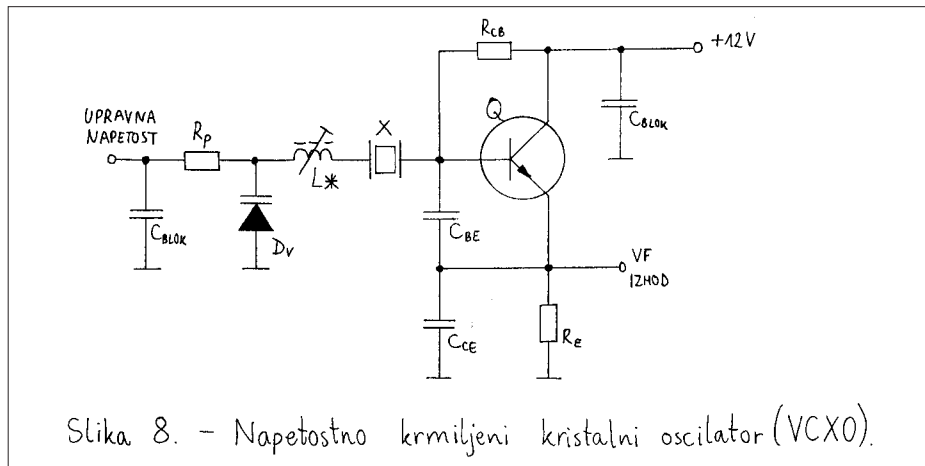
To spoznanje uporabimo tudi pri načrtovanju napetostno krmiljenega kristalnega oscilatorja, kot je prikazan na Sliki 8. S samo varikap diodo D_v ne bi mogli kaj bistveno vplivati na frekvenco kristalnega oscilatorja. Na pomoč zato priskoči tuljava L^* , ki pomakne režim delovanja kristala v bolj ugodno področje rezonančne pentlje in omogoča precej večjo spremembo frekvence kristalnega oscilatorja z isto varikap diodo.

5. Oscilatorji na overtonskih rezonancah

Delovanje oscilatorja na overtonskih rezonancah kristala je v vezjih lahko zaželeno iz različnih razlogov. Z višanjem osnovne rezonančne frekvence kristala se kremenčev disk tanjša in postaja mehansko vse bolj občutljiv, saj se lahko prelomi. Smiselna mejna frekvenca za osnovno rezonanco kristala je okoli 20MHz, ko postane disk tanjši od 0.1mm.

Uporaba overtonske rezonance omogoča debelejši rezonator, ki je





Slika 8. - Napetostno krmiljeni kristalni oscilator (VCXO).

mehansko trdnější in se tudi manj stara, pa še Q-faktor rezonatorja je pri overtonski rezonanci višji kot pa pri osnovni rezonanci kristala. Višji Q-faktor pomeni manjši fazni šum kristalnega oscilatorja, to je podatek, ki postane zelo pomemben naprimer v UHF ali mikrovalovnem transverterju.

Enostaven overtonski oscilator naredimo tako, da v običajnem vezju kristalnega oscilatorja preprečimo nihanje na osnovni frekvenci kristala oziroma na vseh overtonih, ki so nižji od željenega overtona. To najlažje storimo z dodatno tuljavo v vezju, kot je to prikazano na Sliki 9. Rezonančna frekvenca nihajnega kroga Lce-Cce oziroma L-C2 je izbrana tako, da se nihajni krog obnaša kot tuljava za neželjene rezonance kristala in kot kondenzator za željeno rezonanco kristala. Na ta način postane povratna vezava za neželjene frekvence negativna in tam oscilator ne more nihati.

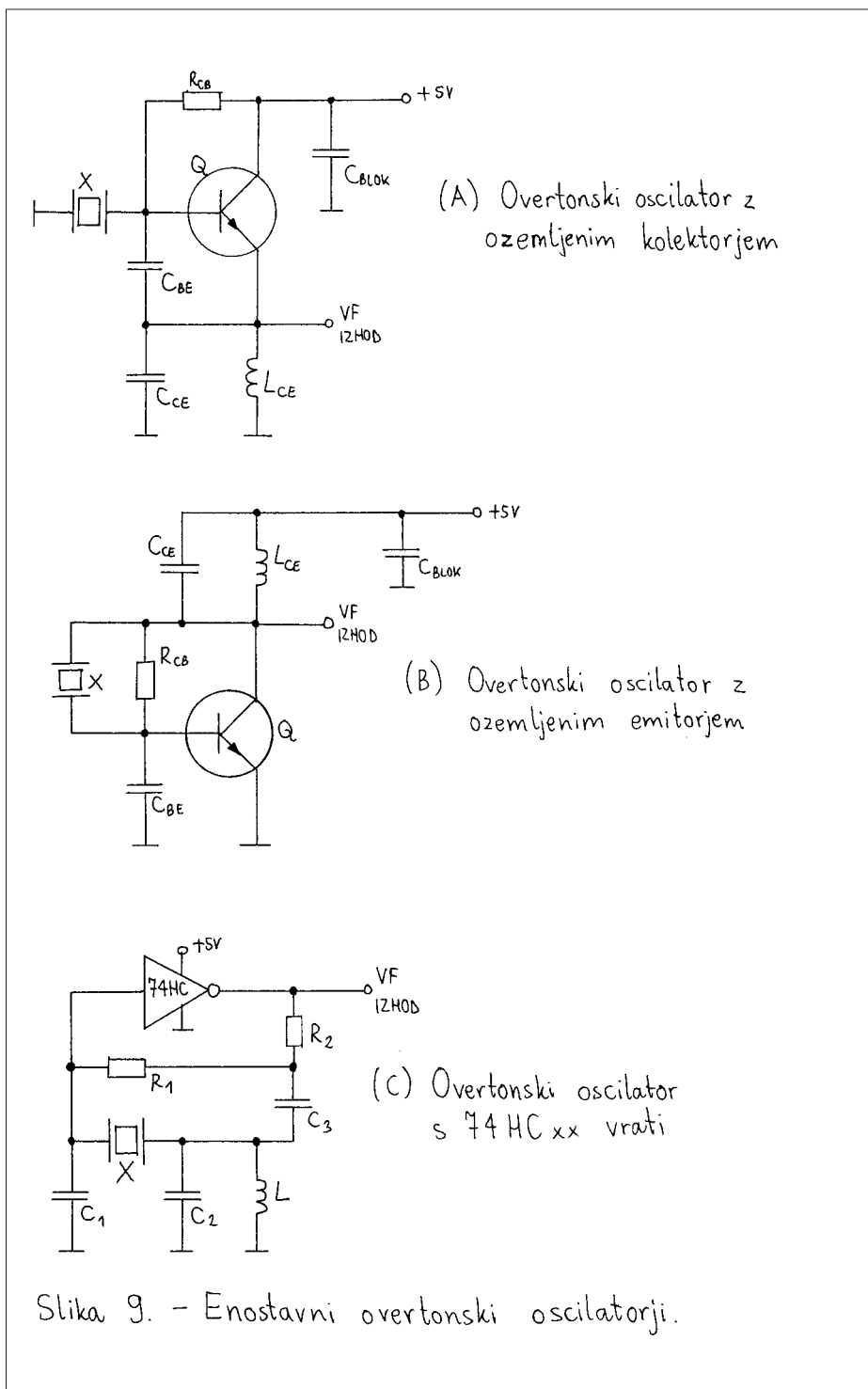
Na opisani način se da doseči nihanje skoraj vseh kristalov na tretjem overtonu. Žal na petem overtonu ne bo več nihalo vsak kristal v takšnem enostavnem vezju, višje overtone pa je še težje doseči. Tudi uporaba polprevodnikov z večjim ojačenjem, naprimer mikrovalovnih tranzistorjev, prav nič ne pomaga. Pomaga edino zamenjava kristala: oscilator z nekaterimi kristali deluje odlično, z drugimi pa sploh noče nihati.

Razlago za težave enostavnih oscilatorjev na visokih overtonskih rezonancah prinaša Slika 10. Na visokih frekvencah postane jalova kapacitivna prevodnost C_0 tako visoka, da rezonančna pentlja sploh ne seka realne osi v diagramu prevodnosti. Takšen kristal potem sploh nima nobene rezonance, če rezonanci definiramo kot presečišči pentlje z realno osjo. Prevodnost takšnega kristala je kapacitivnega značaja za vse frek-

vence, zato z njim ne moremo narediti tuljave v oscilatorju!

Na zunaj enaki kristali se običajno razlikujejo vsaj po izgubni upornosti željene overtonske rezonance R_n . Kristal z manjšim R_n ima rezonančno pentljo večjega premera, ki še vedno seka realno os in ima rezonance. Kristal z večjim R_n pa ima manjšo pentljo, ki realne osi ne seka, nima rezonanc in s takim kristalom oscilator noče nihati.

Najenostavnejša rešitev naloge izgleda uporaba kristalov resnih proizvajalcev z majhnim R_n . Tako bi mogoče dosegli stabilno delovanje vez-



Slika 9. - Enostavni overtonski oscilatorji.

ja na petem overtone. Kako pa doseči sedmi, deveti ali enajsti overtone, če naprava to zahteva? Tu tudi najboljši kristali ne pomagajo, saj za R_n obstaja spodnja meja, ki se jo s še tako izpopolnjeno tehnologijo in utečeno proizvodnjo ne da preseči.

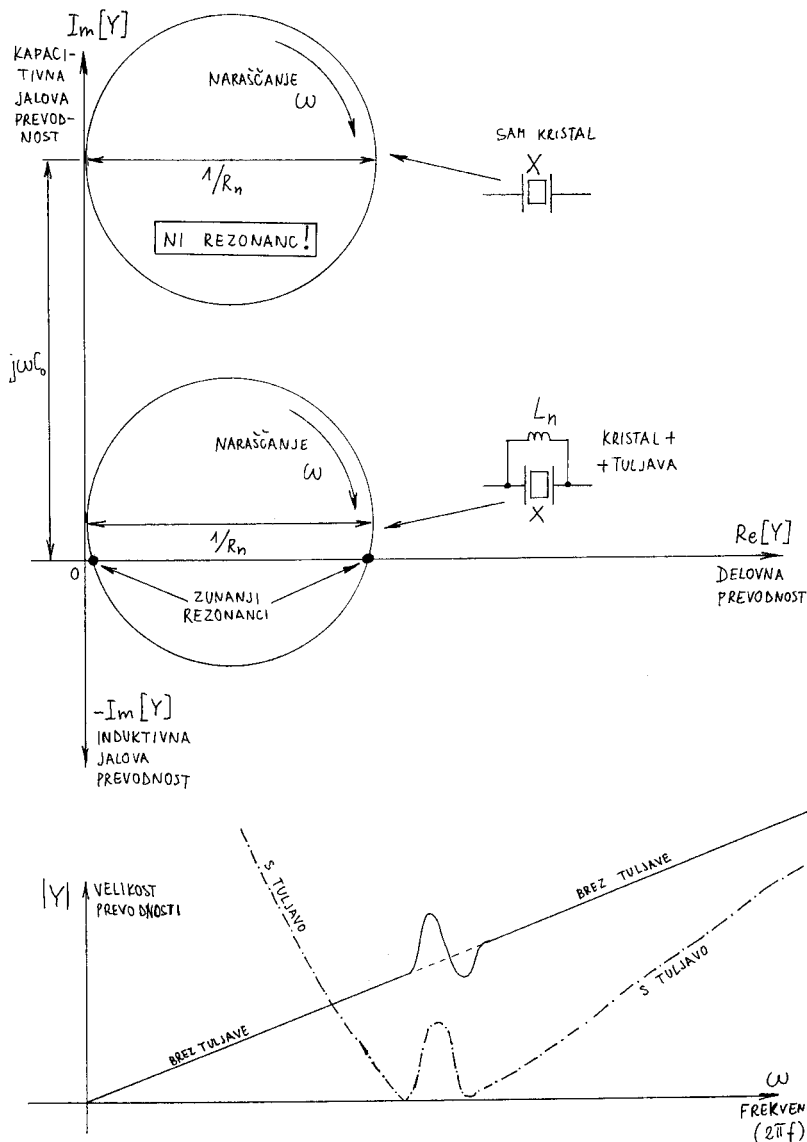
Najslabša tehnična rešitev je oscilator, ki vedno zaniha, po možnosti celo takrat, ko ni kristala v podnožju... Takšen oscilator je prikazan na Sliki 11. Način nihanja tega oscilatorja sploh ni jasen: če upoštevamo še neizogibne parazitne kapacitivnosti tranzistorja, lahko takšen oscilator niha na osnovni frekvenci kristala in na poljubnem overtone hkrati. Rezultat je vse prej kot ponovljiv: če vam oscilator dela, ni rečeno, da bo z istimi sestavnimi deli delal tudi vašemu prijatelju na malenkostno spremenjenem tiskanem vezju.

Resen načrtovalec se bo naloge lotil drugače. Najprej bo s tuljavo L_n poskušal "neutralizirati" vpliv kapacitivnosti kristala C_0 . Na ta način sicer dobimo presečišča pentlje z realno osjo na Sliki 10. a žal hkrati tudi neželjene rezonance tuljave L_n z ostalimi kondenzatorji v vezju oscilatorja. Oscilator moramo zato načrtovati kar se da previdno, da bo nihal le na rezonanci kristala in ne na rezonanci tuljave.

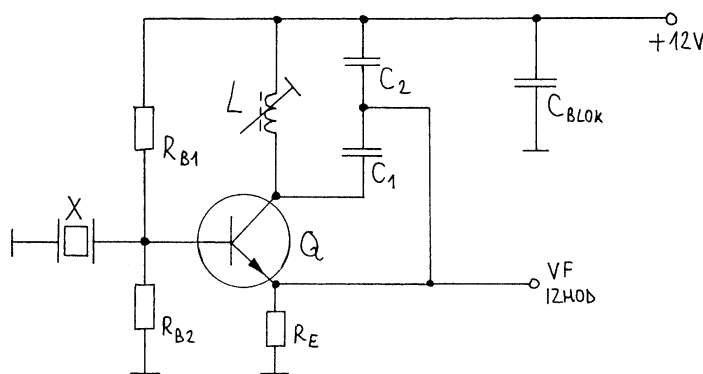
Oscilatorji za visoke overtone so prikazani na Sliki 12. Takšni oscilatorji vsebujejo nihajni krog L-C1-C2, ki določa povratno vezavo oscilatorja v zelo omejenem frekvenčnem področju. Na ta način zagotovimo, da oscilator ne more nihati na neželjenih rezonancah kristala niti na rezonancah tuljave L_n s kondenzatorji v vezju. Od vseh rezonanc preostane edino željeni overtone kristala, ki ga izberemo z uglasitvijo tuljave L .

Oscilator na visokem overtone ima torej svojo ceno: točen izračun sestavnih delov, natančno uglasitvijo in občutljivost na spremembe in staranje sestavnih delov. Kdorkoli je sestavljal mikrovalovni transverter s kristalnim oscilatorjem okoli 100 MHz, prav gotovo ve, da je pravilna uglasitev tega oscilatorja vse prej kot enostavna.

Pri visokem overtone oscilatorju je še posebno težko nastaviti točno frekvenco oscilatorja in hkrati doseči stabilno in zanesljivo delovanje. Z višanjem reda overtone se manjša električni sklop z mehanskim nihalom, zato se manjšajo tudi možnosti premikanja frekvence kristala z



Slika 10. - Rezonanca kristala na visokem overtone.

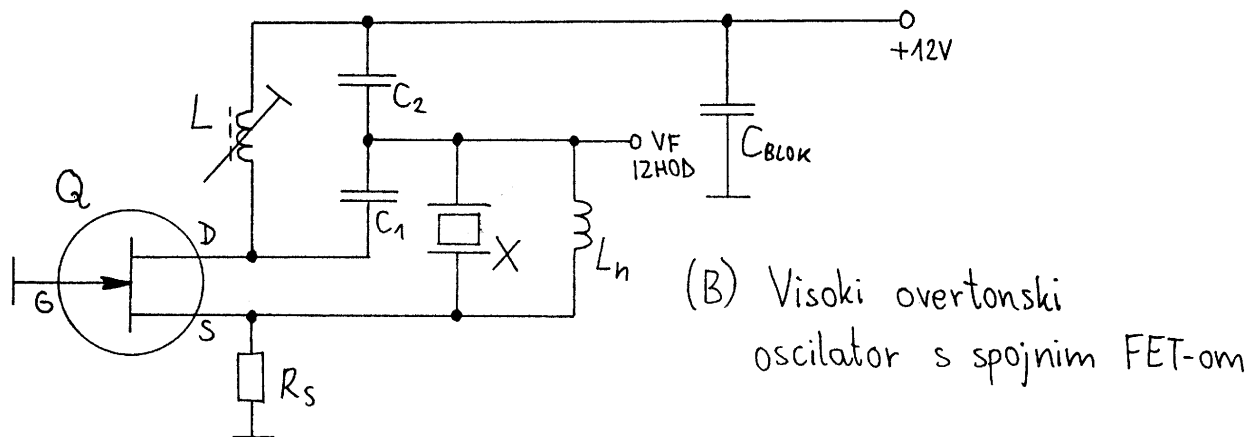
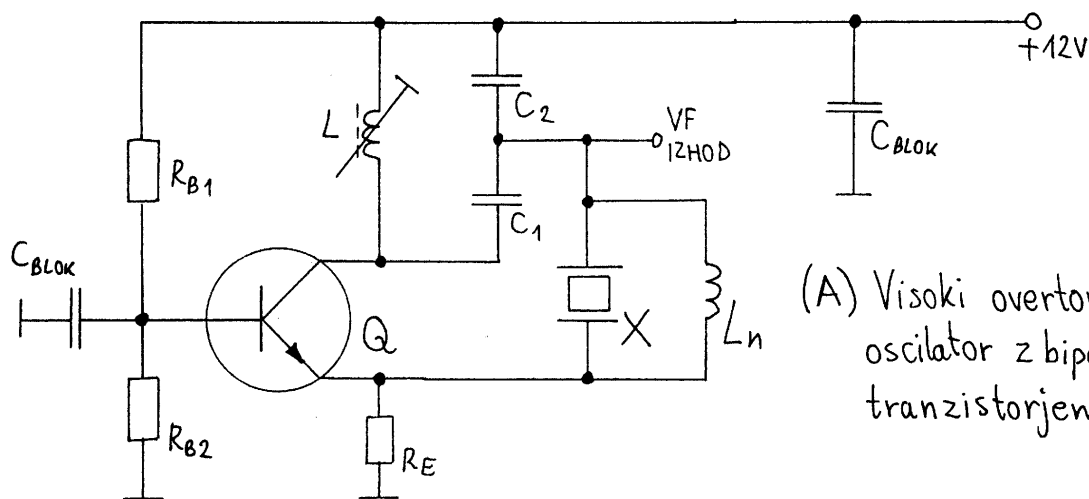


Slika 11. - Oscilator, ki vedno zaniha..... samo kje niha?

zunanjsimi sestavnimi deli. Naprimer, CBjaški kristal, ki nosi oznako 27.xxxMHz, lahko na osnovni rezonančni frekvenci v okolici 9MHz

premikamo v pasu $-50\text{kHz}/+10\text{kHz}$. Na svoji nazivni frekvenci tretjega overtona ga lahko premikamo le $-5\text{kHz}/+1\text{kHz}$, na peti overtonski

rezonanci v okolici 45MHz pa ga ne moremo premakniti za več kot kakšen kHz.



Slika 12. - Pravilno načrtovani oscilatorji za visoke overtone.