

Vrste kondenzatorjev in njihova uporaba

Matjaž Vidmar - S53MV

1. Vrste kondenzatorjev za elektronska vezja

Kondenzatorji so prav gotovo eden najbolj pogostih sestavnih delov elektronskih vezij in še posebno visokofrekvenčnih vezij. Navsezadnje moramo v visokofrekvenčnih vezjih skoraj vedno upoštevati kapacitivnosti med različnimi vodniki, ne glede na to, če so te kapacitivnosti zaželjene ali ne. V večini vezij kapacitivnosti med vodniki ne zadoščajo in za delovanje vezja moramo vgraditi kondenzatorje kot dodatne sestavne dele.

Glede na različne zahteve se lahko tehnične izvedbe kondenzatorjev močno razlikujejo med sabo. Vrsto kondenzatorja seveda izberemo glede na zahteve vezja: potrebujemo čim višjo kapacitivnost, čim manjše izgube ali čim bolj stabilno vrednost kapacitivnosti? Kaj pa parazitna induktivnost priključkov kondenzatorja? Morebitne notranje rezonance? Prebojna napetost kondenzatorja je verjetno samoumevna, vendar še ne pove vsega o načinu staranja in nazadnje uničenja kondenzatorja.

Žal je bila večina amaterske literature o kondenzatorjih napisana tremi ali štirimi desetletji. V zadnjih desetletjih se sicer ni dogodilo kaj bistveno novega na področju tehnologije izdelave kondenzatorjev, počasen razvoj pa je vendarle prinesel precej sprememb. Nova elektronska vezja tudi zahtevajo drugačne vrste kondenzatorjev in jih uporabljajo na drugačne načine. Naprimer, elektrolitski kondenzator je v switching napajalniku s frekvenco 30kHz dosti bolj obremenjen kot pa v običajnem napajalniku s 50Hz omrežno frekvenco.

V navodilih za gradnjo radioamaterskih radijskih postaj izgleda mogoče dolgočasno vsakokrat sproti opisovati potrebne vrste kondenzatorjev, vendar naredi večina radioamaterjev prav pri izbiri kondenzatorjev največ napak pri gradnji radijskih postaj. Še slabše je s trgovci z elektronskimi sestavnimi deli, ki se pogosto sploh nočejo ukvarjati z vrstami kondenzatorjev in imajo v predalčku z oznako 1000pF pomešanih 5 ali 6 različnih vrst kondenzatorjev.

Ker je napačna izbira vrste kon-

denzatorja najpogosteje usodna za delovanje visokofrekvenčne naprave, sem se odločil napisati tale članek o kondenzatorjih za elektronske naprave. Energetske in druge kondenzatorje sem seveda namenoma izpustil. Članek naj bi pojasnil, kakšne so prednosti in slabosti posameznih vrst kondenzatorjev ter kateri kondenzator izbrati pri gradnji določene naprave.

2. Keramični kondenzatorji

Keramika je snov, ki brez težav prenese višje temperature in marsikatero kemikalijo, industrijsko pa znamo izdelati veliko število različnih vrst keramike. Keramični kondenzatorji so zato danes verjetno najbolj pogosta vrsta kondenzatorjev v elektronskih napravah, saj jih lahko vgrajujemo (spajkamo) ročno ali strojno na različne načine. Danes obstaja cela vrsta med sabo različnih keramičnih kondenzatorjev z isto nazivno vrednostjo kapacitivnosti, izmed katerih je treba seveda izbrati najustreznejšega za naše vezje.

Najpomembnejša lastnost keramike za gradnjo kondenzatorjev je njena dielektrična konstanta. Relativna dielektričnost keramike se običajno giblje okoli 10 (čisti aluminijev oksid Al₂O₃), pri nekaterih vrstah keramike (barijev titanat) pa lahko preseže 10000. Od dielektričnosti keramike je odvisen tudi temperaturni koeficient kondenzatorja.

Temperaturno odvisnost vrednosti kondenzatorja opišemo v enotah ppm/C oziroma ppm/K, pač glede na Celzijeve oziroma Kelvinove stopinje. Kratica "ppm" pomeni parts-per-million. Temperaturni koeficient je pri majhnih dielektričnih konstantah obratno sorazmeren dielektričnosti. Keramični kondenzatorji najnižjih vrednosti (pod 10pF) imajo temperaturni koeficient +100ppm/K (oznaka P100 ali rdeča lisa na kondenzatorju).

Keramične kondenzatorje nekoliko višjih vrednosti (disk izvedbe med 3pF in 150pF) lahko izdelamo iz keramike, pri kateri je temperaturni koeficient skoraj nič (oznaka NPO ali črna lisa na kondenzatorju). Pri še višjih vrednostih postane tempe-

raturni koeficient negativen: -330 ppm/K (keramika N330 ali oranžna lisa na kondenzatorju) oziroma -750ppm/K (keramika N750 ali vijolična lisa na kondenzatorju).

Kaj praktično pomeni temperaturni koeficient -750ppm/K? Ko se naša naprava segreje, se notranja temperatura poviša za 20K. To pomeni spremembo vrednosti kondenzatorja iz keramike N750 za -1.5%. Če takšen kondenzator vgradimo v nihajni krog z nazivno frekvenco 10MHz, bi se rezonančna frekvenca zvišala za +75kHz.

Keramični kondenzatorji višjih vrednosti (diski nad 1nF) so izdelani iz barijevega titanata ali drugih vrst keramike, v katerih izkoriščamo ferroelektrični pojav. Ta pojav omogoča zelo visoke relativne dielektričnosti tudi nad 10000, kapacitivnost takšnega kondenzatorja pa je temperaturno zelo odvisna. Kapacitivnost takšnega kondenzatorja doseže maksimum pri povsem določeni temperaturi, pri 20 stopinj višji ali nižji temperaturi pa upade na polovico maksimalne vrednosti.

Proizvodne tolerance kondenzatorjev iz ferokeramike so zato zelo velike. Proizvajalci običajno zagotavljajo točnost v mejah od -20% do +100% nazivne vrednosti. Takšen keramični kondenzator zato ne sodi v nihajne kroge, sita ali oscilatorje. Kvečjemu ga lahko uporabimo kot temperaturni senzor. Za blokiranje motenj na napajalnih vodih pa so takšni kondenzatorji odlični, saj imajo majhno parazitno induktivnost, točna vrednost kapacitivnosti pa je v tem slučaju nepomembna.

Razen uporabe različnih vrst keramike lahko izdelamo tudi kondenzatorje različnih oblik, kar spet vpliva na električne lastnosti kondenzatorjev. Najenostavnejša oblika keramičnega kondenzatorja je ploščat disk, elektrodi pa predstavljata neparjeni metalizaciji na obeh straneh diska. Večjo površino dosežemo na cevastem kondenzatorju. Največjo površino elektrod omogočajo večslojni keramični kondenzatorji.

Ker radioamaterji kupujemo kondenzatorje v zelo majhnih količinah, se moramo sami potruditi poiskati vrsto keramike in način gradnje kondenzatorja. Včasih to ni enostavno,

še posebno, če se proizvajalec ne drži standardnih oznak in je kondenzator zaradi mehanske zaščite zalit v smolo, iz katere štrlijo le žični priključki.

Z malo izkušenj lahko ocenimo vrsto keramike iz nazivne vrednosti in oblike keramičnega kondenzatorja. Tanjši disk večjega premera je prav gotovo izdelan iz keramike z manjšo relativno dielektričnostjo in torej manjšim temperaturnim koeficientom. Tanjši in večji keramični kondenzator ima zato običajno nižji temperaturni koeficient od majhnega in debelega kondenzatorja.

Opisani način razmišljanja seveda povsem odpove pri večslojnih kondenzatorjih, saj tu nikakor ne moremo izvedeti, koliko posameznih elektrod je znotraj kondenzatorja. Večslojni keramični kondenzatorji se sicer ponavadi zelo slabo obnašajo pri visokih frekvencah. Elektrode so izdelane iz kovine, ki ima visoko upornost, kar pomeni izgube v visokofrekvenčnem vezju. Razen tega so elektrode pogosto nerodno prepletene med sabo, da imajo večslojni keramični kondenzatorji visoko parazitno induktivnost.

V visokofrekvenčnih vezjih se je zato pametno izogibati uporabi večslojnih keramičnih kondenzatorjev, saj radioamaterji običajno ne razpolagamo z merilniki, s katerimi bi lahko ovrednotili notranje uporovne izgube, parazitne induktivnosti in s tem v zvezi neželjene rezonance večslojnih keramičnih kondenzatorjev. V visokofrekvenčna vezja zato rajši vgrajujemo disk in cevaste keramične kondenzatorje ter skoznike.

Večslojne keramične kondenzatorje lahko uporabljamo edino za blokiranje napajanja v digitalnih in nizkofrekvenčnih vezjih. Visoka upornost elektrod in parazitne induktivnosti tu nimajo tako velikega vpliva. Kljub temu moramo paziti, da večslojnih kondenzatorjev ne poškodujemo pri spajkanju, saj se v notranjosti zelo radi prelomijo oziroma se rada odlomi zunanja metalizacija. Takšen polomljen kondenzator pa se obnaša kot odprte sponke in ga je z radioamaterskimi sredstvi težko poiskati v nedelujočem vezju.

3. Sljudni kondenzatorji

Sljuda je kristalna kamenina, ki se zelo lepo cepi v lističe. Ker zdrži visoko temperaturo in je razmeroma dober dielektrik, se je že zelo zgodaj začela uporabljati kot izolator v

elektrotehniki. Seveda lahko uporabimo sljudne lističe tudi kot dielektrik v kondenzatorju.

V zlati dobi elektroniki so se v visokofrekvenčni tehniki skoraj izključno uporabljali sljudni kondenzatorji. Na sljudne lističe lahko naperimo kovino (srebro) in tako izdelamo fiksne kondenzatorje. Sljudne lističe lahko uporabimo tudi kot dielektrik vrtljivih in trimer kondenzatorjev. Temperaturni koeficient sljude je zelo majhen.

Z uveljavitvijo polprevodniške tehnike in mikrovalovnih frekvenčnih področij so sljudni kondenzatorji utonili v pozabo. Sljudni kondenzatorji so razmeroma velikih izmer. Razen tega delajo težave tudi električni priključki na metalizirane površine sljudnih ploščic. Z izdelavo kvalitetnih sintetičnih keramičnih materialov je sljuda kot naravni material izgubila svoje mesto v visokofrekvenčni tehniki.

4. Papirni kondenzatorji

Papirne kondenzatorje bi pravzaprav morali imenovati oljni kondenzatorji, saj sestavlja glavnino dielektrika olje, v katerem je namočeno papir. Papir skrbi le za pravilno razdaljo med elektrodama iz tanke aluminijeve folije. Sloja papirja in aluminijevih folij sta namotana v svitek, ki je pri manjših kondenzatorjih zalit v smolo za zunanjo zaščito. V nekaterih vrstah papirnih kondenzatorjev so elektrode izdelane tudi kot tanek sloj kovine, ki je naperjen neposredno na površino papirja (metal-papirni kondenzatorji).

Papirni kondenzatorji imajo to slabo lastnost, da papir in olje počasi vpijata vlago. Izolacijska upornost papirnega kondenzatorja se zato s časom niža vse dokler ne pride do preboja. Papirni kondenzatorji so zato predstavljali pomemben vir zasluzka popraviljalcev radijskih in televizijskih sprejemnikov v zlati dobi elektroniki.

Papirni kondenzatorji imajo sicer zelo velike izmere in veliko parazitno induktivnost, zato so v sodobnih vezjih s polprevodniki skoraj povsem neuporabni. Papirne kondenzatorje zato danes srečamo le še v energetiki za zagon elektromotorjev in popraviljanje faznega kota toka.

5. Plastični folijski kondenzatorji

Z iznajdbo plastičnih umetnih sno-

vi so le te takoj poskusili uporabiti tudi za gradnjo kondenzatorjev. Ker je relativna dielektričnost večine plastičnih snovi razmeroma nizka oziroma podobna dielektričnosti impregniranega papirja, so kondenzatorji s plastičnim dielektrikom večinoma izdelani kot folijski kondenzatorji: elektrodi in dielektrik med njima so namotani v svitek, da so izmere kondenzatorja manjše.

Prvi plastični folijski kondenzatorji so bili stirofleks kondenzatorji. Stirofleks kondenzatorji se odlikujejo z zelo nizkim temperaturnim koeficientom, kar omogoča izdelavo zelo točnih kondenzatorjev za nihajne kroge, sita in oscilatorje. Po drugi strani pa se dielektrik stirofleks kondenzatorjev zmečka in tali že pri zelo nizkih temperaturah. Tudi električna prebojna trdnost je nizka. Celoten kondenzator pa ima zaradi oblike svitka tudi znatno parazitno induktivnost.

Sodobni plastični folijski kondenzatorji uporabljajo celo vrsto različnih snovi kot dielektrik. Elektrode so običajno kar naperjene na plastično folijo, da se tako zmanjša premer svitka in s tem izmere kondenzatorja. Razen tega je pri večini sodobnih folijskih kondenzatorjev metalizacija pripeljana do roba svitka in tam zvarjena skupaj, da ima takšen kondenzator zelo majhno parazitno induktivnost.

Ne glede na vrsto dielektrika imajo plastični folijski kondenzatorji dosti manjše temperaturne koeficiente od večine keramičnih kondenzatorjev za kapacitivnosti večje od 1nF. V nizkofrekvenčnih vezjih, sitih in oscilatorjih zato izključno uporabljamo plastične folijske kondenzatorje. Neinduktivne izvedbe folijskih kondenzatorjev lahko tudi uspešno zamenjajo keramične blokirne kondenzatorje v visokofrekvenčnih vezjih.

Slaba lastnost plastičnih folijskih kondenzatorjev je bolj komplicirana izdelava in zato višja cena od keramičnih kondenzatorjev. Plastični folijski kondenzatorji so tudi manj odporni na visoke temperature pri spajkanju in jih zato težje uporabljamo v vezjih s površinsko vgradnjo sestavnih delov (SMD) in strojnimi spajkanjem.

6. Aluminijevi elektrolitski kondenzatorji

Ko potrebujemo kapacitivnosti višje od 1 μ F, postanejo izmere opisanih

vrst kondenzatorjev zelo velike. V področju kapacitivnosti od 1 μ F vse do 1F zato običajno uporabljamo elektrolitske kondenzatorje. V elektrolitskih kondenzatorjih predstavlja dielektrik kondenzatorja tanek sloj oksida, ki se tvori na pozitivni elektrodi.

Aluminijevi elektrolitski kondenzatorji imajo pozitivno elektrodo iz aluminijeve folije, negativno elektrodo pa tvori tekoči elektrolit. Na pozitivni elektrodi se nahaja tanek sloj aluminijevega oksida (Al₂O₃), ki je odličen dielektrik. Elektrolitski kondenzatorji dosegajo visoko kapacitivnost zato, ker je sloj aluminijevega oksida zelo tanek. Aluminijeva elektroda je namenoma hrpava, da ima večjo površino, kar omogoča višjo kapacitivnost kondenzatorja.

Sloj oksida na pozitivni elektrodi se tvori sam z elektrolitskim pojavom. Elektrolitski kondenzator torej sam gradi in obnavlja svoj dielektrik, ko je priključen na izvor enosmerne napetosti s pravilno polariteto. Povsem jasno bo obratna polariteta izvora uničevala sloj oksida, izolacijska upornost kondenzatorja se bo začela hitro nižati, kondenzator se bo začel segrevati in se bo nazadnje razpočil.

Izolacijska upornost elektrolitskih kondenzatorjev ni kdovekako visoka, saj tudi pri pravilni polariteti izvora še vedno teče skozi kondenzator majhen tok za obnavljanje dielektrika. Ker sta elektrodi naviti v svitek iz aluminijevih trakov in z elektrolitom prepojenega papirja, imajo aluminijevi elektrolitski kondenzatorji tudi visoko parazitno induktivnost ter nezanimljivo zaporedno izgubno upornost.

Kapacitivnost elektrolitskih kondenzatorjev zaradi vseh opisanih pojavov seveda ni stabilna. Običajne proizvodne tolerance znašajo -20% do +100% nazivne kapacitivnosti. Ob vseh navedenih slabih električnih lastnosti ne smemo pozabiti na zahtevo po hermetično zaprti posodi, ki vsebuje tekoči elektrolit aluminijevega elektrolitskega kondenzatorja.

Prav puščanje posode omejuje življensko dobo sodobnih elektrolitskih kondenzatorjev. Puščanje se povečuje pri višjih temperaturah, ker se takrat poveša parni tlak elektrolita. Elektrolitski kondenzatorji se pri pravilnem delovanju segrevajo predvsem zaradi izgub v zaporedni upornosti. Razen najvišje dopustne napetosti je zato dodatna omejitev tudi najvišja

dopustna izmenična komponenta toka, ki sme teči skozi elektrolitski kondenzator.

Aluminijevih elektrolitskih kondenzatorjev se običajno izogibljemo pri načrtovanju elektronskih naprav in jih uporabljamo le tam, kjer drugače ne gre: usmerniki omrežne napetosti, nizkofrekvenčni ojačevalniki in glajenje ter blokiranje napajalnih napetosti nasploh. Aluminijeve elektrolitske kondenzatorje torej uporabljamo tam, kjer potrebujemo visoko kapacitivnost, vse ostale lastnosti kondenzatorja pa so manj pomembne.

Razen opisanih, polariziranih kondenzatorjev obstajajo tudi nepolarizirani aluminijevi elektrolitski kondenzatorji. Nepolarizirani kondenzatorji imajo sloj aluminijevega oksida na obeh elektrodah iz aluminijeve folije. V bistvu je to zaporedna vezava dveh običajnih polariziranih elektrolitskih kondenzatorjev v istem ohišju. Nepolarizirane elektrolitske kondenzatorje uporabljamo v glavnem za zagon asinhronskih elektromotorjev. Obnavljanje dielektrika na obeh elektrodah zagotavlja pojav elektrolitskega usmerjanja, vendar kljub temu nepolarizirani elektrolitski kondenzatorji radi prebijejo.

7. Tantalovi elektrolitski kondenzatorji

Razen aluminijevih elektrolitskih kondenzatorjev poznamo še druge vrste elektrolitskih kondenzatorjev. Od ostalih so se najbolj obnesli tantalovi elektrolitski kondenzatorji s trdim dielektrikom. Elektrolitski pojavi v trdem dielektriku so počasnejši, zato naj bi imeli tantalovi elektrolitski kondenzatorji manjše izgubne tokove za obnavljanje dielektrika.

Tantalovi elektrolitski kondenzatorji imajo tudi majhno parazitno induktivnost in zaporedno izgubno upornost. Tudi vrednost kapacitivnosti je bolj stabilna kot pri aluminijevih elektrolitskih kondenzatorjih. Po drugi strani pa so tantalovi elektrolitski kondenzatorji zelo občutljivi na obratno polariteto izvora napajanja, kot tudi na napatostne sunke s pravilno polariteto.

Tantalovi elektrolitski kondenzatorji se običajno izdelujejo za območje vrednosti od 100nF do 100 μ F, ohišja pa imajo obliko kapljic, plastičnih valjev oziroma hermetičnih kovinskih valjev. Ker napetostni sun-

ki pogosto povzročijo preboj tantalovega kondenzatorja, se jih pri načrtovanju sodobnih elektronskih naprav skušamo izogibati. Vsaj v spodnjem delu območja kapacitivnosti jih uspešno zamenjujemo s keramičnimi večslojnimi oziroma plastičnimi folijskimi kondenzatorji.

Svojevrstni posebnosti so tudi tako imenovani elektrolitski "superkondenzatorji", ki dosegajo kapacitivnosti 1F pri zelo majhnih izmerah. Trik je v poroznih elektrodah z izredno veliko površino, vendar so na ta račun vse ostale lastnosti kondenzatorja slabše. Vsekakor pa so "superkondenzatorji" zanesljivo nadomestilo za male NiCd akumulatorje za držanje vsebine CMOS pomnilnikov.

8. Kondenzatorji na tiskanem vezju

V visokofrekvenčnih in še posebno v mikrovalovnih vezjih pogosto potrebujemo kondenzatorje razmeroma majhnih vrednosti, ki jih lahko izdelamo kar na tiskanem vezju. Iz dvostranskega vitroplasta ali teflonskega laminata lahko tudi sami izdelamo disk kondenzatorje manjših vrednosti, če potrebne vrednosti slučajno nimamo pri roki.

Relativna dielektričnost vitroplasta FR4 (epoksidna smola in steklena vlakna) znaša nekje med 4 in 5. Relativna dielektričnost teflonskega laminata znaša nekje med 2.2 in 2.6 glede na vsebino steklenih vlaken. Praktično to pomeni, da predstavlja 1cm² dvostranskega vitroplasta debeline 1.6mm kondenzator s kapacitivnostjo približno 3pF. Iz tanjšega dvostranskega vitroplasta lahko dobimo še višje kapacitivnosti. Iz tankega teflonsekega laminata lahko na ta način izdelamo res kvalitetne mikrovalovne kondenzatorje, ki imajo običajno boljše lastnosti (nižje izgube) od keramičnih čip kondenzatorjev.

Pri načrtovanju tiskanih vezij pa ne smemo zanemariti (neželjenih?) kapacitivnosti med sosednjimi vodi na tiskanem vezju. Kapacitivnost med sosednjima vodoma se običajno giblje v razponu od 0.1pF/cm do 1pF/cm odvisno od razdalje med vodoma. V visokofrekvenčnih in mikrovalovnih vezjih hkrati ne smemo zanemariti induktivnih sklopov, ki so najpogosteje istega velikostnega razreda kot kapacitivni sklopi.

9. Kondenzatorji v integriranih vezjih

Monolitna integrirana vezja so običajno izdelana v tehnologijah, ki omogočajo izdelavo različnih vrst diod in tranzistorjev. Iz samih diod in tranzistorjev seveda običajno ne moremo sestaviti željenih vezij. Razen logičnih CMOS vezij potrebujejo vsa ostala vezja vsaj še upore. Upore nižjih vrednosti (nekje do 10kohm ali 100kohm) lahko izdelamo s podobnimi postopki kakor tranzistorje in diode.

Kondenzatorje lahko izdelamo na dva načina: kot MOS kondenzatorje, kjer je dielektrik silicijev oksid, in kot varikap (varaktorske) diode, kjer predstavlja dielektrik kondenzatorja izpraznjena plast v PN spoju v polprevodniku. Kapacitivnost obeh vrst kondenzatorjev je navzgor omejena na približno 100pF.

Eno prvih integriranih vezij, ki je uporabljalo MOS kondenzator, je bil operacijski ojačevalnik $\mu A741$. $\mu A741$ vsebuje MOS kondenzator s kapacitivnostjo 30pF za kompenzacijo frekvenčnega poteka ojačenja. Slaba lastnost MOS kondenzatorjev so razmeroma velike izmere na čipu, kvaliteten dielektrik (SiO_2) pa omogoča zelo majhne dielektrične izgube. S tehnologijo integriranih vezij lahko na ta način izdelamo zelo kvalitetne kondenzatorje za mikrovalovne frekvence. Tudi izgubni tok MOS kondenzatorjev je izredno majhen: MOS kondenzatorji v sodobnih EPROM pomnilnikih naj bi ohranili svojo vsebino za 10 let vnaprej!

Tehnologija integriranih vezij omogoča tudi izdelavo več MOS kondenzatorjev v istem čipu, ki imajo zelo točna razmerja kapacitivnosti. To izkoristimo za gradnjo A/D in D/A pretvornikov in za gradnjo frekvenčnih sit s preklapljaljivimi kondenzatorji (switched-capacitor filter). Najpogostejša uporaba opisanih sestavnih delov je v sodobnih digitalnih telefonskih centralah.

Kapacitivnost zaporno polariziranega PN spoja je močno odvisna od napetosti, zato tu ne moremo izkoriščati točnega razmerja kapacitivnosti. Razen varikap (varaktorskih) diod v visokofrekvenčnih vezjih uporabljajo takšne kondenzatorje tudi dinamični pomnilniki, ki jih danes srečamo v skoraj vsakem računalniku. Zaporno polarizirani PN spoji so sicer nekoliko manjši od MOS kondenzatorjev, toda izgubni tokovi so dosti večji. Vsebinsko dinamičnega

pomnilnika moramo zato obnavljati vsakih nekaj milisekund.

Višjih vrednosti kapacitivnosti, nekje nad 100pF, ne moremo več vgraditi v monolitno integrirano vezje, pač pa je treba takšne kondenzatorje dodati od zunaj. Pri načrtovanju integriranih vezij se zato izogibljemo uporabi kondenzatorjev. Kljub temu potrebuje večina integriranih vezij vsaj dobro blokiranje zunanjih napajalnih napetosti. Za stabilno delovanje večine integriranih vezij je nujno, da vgradimo 100nF blokirne kondenzatorje na napajalnih vodih čim bližje ustreznih nožic integriranega vezja.

10. Vrtljivi kondenzatorji in trimerji

V visokofrekvenčnih vezjih moramo uglasiti nihajne kroge na povsem določeno frekvenco, kar lahko storimo s spreminjanjem vrednosti kondenzatorja, tuljave ali obeh sestavnih delov nihajnega kroga. Kapacitivnost kondenzatorja spreminjamo s spreminjanjem površine plošč, spreminjanjem razmaka med ploščama oziroma vstavljanjem dielektrika med plošči kondenzatorja.

Najpogostejša izvedba vrtljivih kondenzatorjev in trimerjev uporablja prav spreminjanje površine plošč, kar dosežemo z vrtenjem ene plošče ali skupine plošč. Razen nerodne mehanske konstrukcije predstavljajo težavo tudi drseči kontakti. Vrtljivi kondenzator se zato danes skoraj ne uporablja več in tudi kapacitivnim trimerjem se skušamo izogibati pri načrtovanju visokofrekvenčnih vezij.

Ker povsem brez trimerjev običajno ne gre, moramo izmed razpoložljivih izdelkov izbrati najzanesljivejše za našo gradnjo. Kapacitivni trimerji se izdelujejo iz keramike in iz plastike. Keramični trimerji imajo eno samo vrtljivo in eno samo nepomično ploščo. Plastični trimerji so bolj podobni starim vrtljivim kondenzatorjem in imajo lahko več vrtljivih in več nepomičnih plošč, zato so manj občutljivi na majhne mehanske premike in se nastavljena vrednost kapacitivnosti s časom manj spreminja.

Če se le da, skušamo izvesti uglaševanje nihajnih krogov brez drsečih kontaktov, ki so izvor slabih in prekinjajočih spojev. Kapacitivni trimerji s prožno gornjo elektrodo in vijakom za nastavljanje razdalje med ploščama so nerodno veliki in se v praksi niso obnesli. Boljša rešitev so nas-

tavljive tuljave s pomičnim feritnim jedrom. V mikrovalovnih frekvenčnih področjih lahko uporabimo tudi pomična jedra iz dielektrika, s pomočjo katerih spreminjamo kapacitivnost med stenama rezonatorja.

Kot spremljive kondenzatorje lahko uporabimo tudi varikap (evropsko ime) oziroma varaktorske (ameriški izraz) diode. Pri vsakem polprevodniškem PN spoju lahko spreminjamo debelino zaporne plasti preko pritisnjene enosmerne zaporne napetosti. Varikap (varaktor) diode so izdelane tako, da so spremembe debeline zaporne plasti in s tem kapacitivnosti čim večje.

Ker je pritisnjena enosmerna napetost na varikap (varaktorski) diodi vedno nižja od 100V, običajno pa je nekje med 5V in 10V, lahko uporabljamo takšne diode kot spremljive kondenzatorje le v nihajnih krogih sprejemnikov pri nizkih signalih, saj mora biti visokofrekvenčna napetost dosti nižja od enosmerne prednapetosti. Že v oscilatorjih lahko opazimo pojav, da dodatna visokofrekvenčna napetost razglasi nihajni krog z varikap diodo. V oddajnikih so varikap diode neuporabne za uglaševanje nihajnih krogov, saj se pri visokih VF napetostih obnašajo povsem nelinearno. Nelinearnosti pa lahko po drugi strani izkoristimo za množenje ali mešanje frekvenc.

11. Izbira najustreznejšega kondenzatorja

Gradnja vsakršne elektronske naprave bo uspešna edino v slučaju, če se je lotimo s pametjo, nikakor pa ne s silo ali z denarnico! Samo najbolj neumni časopisi s področja elektronike zato objavljajo neskončne liste sestavnih delov brez ustrežnejših opisov, kaj objavljeno vezje sploh potrebuje. Tudi neumni časopisi imajo seveda svoje zveste bralce, ki z neskončnimi listami pridno hodijo od trgovine do trgovine in nabirajo kup bolj ali manj (ne)primerne šare. Pri takšnem brezglavem nabiranju sestavnih delov je neuspeh pri gradnji skoraj zagotovljen.

Pameten graditelj se bo lotil nove gradnje povsem drugače. Najprej bo temeljito preštudiral načrt naprave in delovanje posameznih vezij. Pri tem pogosto ne zadoščajo le objavljeni načrti in priloženi opis gradnje v članku, pač pa je treba preštudirati tudi druge podobne članke iz drugih časopisov. Predvsem pa mora biti

povsem jasna vloga vsakega sestavnega dela posebej.

Pri večini dobro načrtovanih naprav je vsaj 95% sestavnih delov povsem nekritičnih. Kaj pomagajo 1% upori za polarizacijo tranzistorjev, ko je zagotovljeno tokovno ojačenje tranzistorja v mejah $\pm 50\%$? Podobno velja za elektrolitske in keramične blokirske kondenzatorje, ki imajo običajno tolerance -20% do $+100\%$ nazivne vrednosti. Če v vezju zamenjamo 150 μ F elektrolit z 220 μ F elektrolitom, te razlike niti izmeriti ne moremo!

Pri kondenzatorjih je seveda pomembna še kakšna druga lastnost. Kot blokirske kondenzatorje v visokofrekvenčnem vezju nikakor ne smemo vgraditi induktivnih folijskih kondenzatorjev. Pri vseh vrstah kon-

denzatorjev je sploh pametno žrtvovati nekaj sestavnih delov, vzeti klešče ščipalke v roke in razmesariti vzorce kondenzatorjev, da si natančno ogledamo tehnologijo izdelave teh sestavnih delov. Le tako se lahko izognemo večini grobih napak, saj se pri množici sodobnih sestavnih delov tudi strokovnjaku lahko zgodi, da najde znotraj "keramičnega" kondenzatorja svitek plastične folije ali obratno.

V visokofrekvenčnih vezjih so točne vrednosti blokirnih kondenzatorjev pogosto nepomembne. Na primer, kondenzator 100nF ima pri frekvenci 145MHz reaktivno kapacitivno upornost komaj 0.011ohm. Povsem jasno je induktivna reaktivna upornost žičnih priključkov kondenzatorja vsaj stokrat večja od te

številke. Pri vgradnji takšnega kondenzatorja je torej najpomembnejša dolžina priključnih žic, potem izmere telesa samega kondenzatorja, sama vrednost kapacitivnosti pa je povsem nepomembna.

Pameten graditelj bo torej pobrskal po svojih predalih in tam našel večino sestavnih delov, ki so povsem primerni za opisano gradnjo, čeprav mogoče nimajo povsem enakih nazivnih vrednosti. Po preostalih nekaj sestavnih delov pa bo treba v trgovino, kjer bo treba trgovcu lepo razložiti, kaj potrebujemo. Malo brskanja po predlačkih v trgovini ne more škoditi, saj bo kmalu skočil ven ravno takšen kondenzator z natančno takšnim temperaturnim koeficientom, kot je to predpisal avtor naprave v svojem članku.

