

# Amaterska izdelava tiskanih vezij

Matjaž Vidmar, S53MV

## 1. Izdelava elektronskih vezij

V zlati dobi elektronk se nam s tiskanimi vezji res ni bilo treba ukvarjati. Elektronke jasno sodijo na pločevinasto šasijo, prav tako vsi ostali sestavni deli: elektrolitski kondenzatorji, omrežni transformator, žični upori in medfrekvenčni lonci. Preostalih nekaj malenkosti se da preprosto zaciniti med spajkalna ušesca podnožij elektronk in le redkokdaj so potrebna dodatna izolirana oporišča.

Ena in ista šasija je seveda uporabna za marsikaj, saj omrežni transformator, usmerjevalka, elektrolit in se nekaj podnožij za preostalo glaževino pridejo prav tako v radijskem sprejemniku, kot v radijskem oddajniku, nizkofrekvenčnem ojačevalniku ali kakšni drugi elektronski napravi. Od tod prepričanje, da se spleča kakršnokoli napravo predelati v tisto, kar bi pač radi imeli.

Huda pomanjkljivost nas radioamaterjev je starkopitnost. Pogosto preprosto nočemo priznati, da so se stvari spremenile (jasno na boljše) in da je povsem nesmiselno vztrajati na starih načelih gradnje naprav. Razvoj elektronike gre svojo pot naprej in kdor se ne namerava zakleniti v vitrino v muzeju, se mora razvoju čim prej prilagoditi. Radioamaterska literatura, napisana z miselnostjo izpred treh ali štirih desetletij, je sicer zanimivo zgodovinsko čtivo, a je pri gradnji sodobnih naprav kaj malo uporabno.

Glavne spremembe v elektroniki zadnjih par desetletij so velikoserijska proizvodnja, padec cen sestavnih delov za več velikostnih razredov in občuten dvig kvalitete izdelkov. Za nas radioamaterje sta pomembni še dve dejstvi. Prvo, danes lahko pridemo do vseh sestavnih delov, tudi takšnih, o katerih se nam pred par leti še sanjalo ni, tako, da jih kupimo nove v trgovini za smešno nizko ceno ali pa da razdremo odsluženo elektronsko napravo, ki smo jo našli na odpadu.

Drugo, prav tako pomembno dejstvo, je to, da se odsluženih naprav danes ne spleča več predelovati v kaj drugega. Dosti bolj pametno je napravo razdreti, pobrati ven koristne sestavne dele ter ohišje, šasijo, tiskana vezja in druge dele, ki so bili namensko izdelani, preprosto zavreči. Ker stara šasija ni več uporabna, bomo morali sami razmisliti, kako izdelati vezje s sodobnimi sestavnimi deli.

Vsi sodobni elektronski sestavni deli so prilagojeni za vgradnjo na tiskano vezje. Izdelava nekega vezja zato v večini slučajev pomeni najprej izdelavo tiskanine. Brez tiskanine skoraj ne gre. Naše radioamaterske naprave, sprejemniki in oddajniki, so razen redkih (neuporabnih) izjem zahtevna vezja z velikim ojačanjem na visokih frekvencah in skoraj vedno zahtevajo tudi oklapljanje posameznih delov, zato si pri izdelavi ne smemo privoščiti preveč svobode.

Zelo enostavna rešitev je nakup ustreznega tiskanega vezja ali kar celega kit-kompleta za določeno napravo. Avtorji uspešnih radioamaterskih gradenj se ponavadi potrudijo in nudijo ustrezne tiskanine ter včasih celo težje dobavljive elektronske sestavne

dele po neprofitnih cenah. Avtorji seveda niso bogovi in tudi oni morajo še kako eksperimentirati, preden pridejo do delujoče naprave. Isto bi moral početi vsak amaterski graditelj, jasno primerno stopnji svojega znanja, saj golo kopiranje naprav ne prinaša napredka.

V tem članku sem se zato odločil opisati različne vrste gradenj na tiskanih vezij: od gradnje prototipov na univerzalnih ploščicah, do jedkanja tiskanih vezij in nazadnje fotopostopka. Graditelj pravzaprav ne more izpustiti nobene od omenjenih stopenj: razvoj naprave se začne s preizkusom posameznih stopenj, zahtevnejše vezje zahteva že jedkanje ploščice za prototip, celotno vezje je pa tako komplicirano, da nas fotopostopek pripelje najhitreje do cilja. Končno, uspešno gradnjo je s fotopostopkom doma ali pri obrtniku najlažje razmnožiti in tako omogočiti drugim dostop do rezultatov našega truda.

## 2. Laminati za tiskana vezja

Tiskana vezja sestavljajo vodniki iz tanke kovinske plasti na izolirni podlagi. Tehnologija izdelave sicer omogoča pestro izbiro kovin, izolirnih materialov ter postopkov izdelave vezja. Od vseh možnih postopkov sta se najbolj obnesla podlaga iz cenениh umetnih snovi in vodniki iz bakrene folije. Izdelavo vezij nadalje poenostavijo laminati, ki imajo na eni ali obeh straneh že nanešeno bakreno folijo po celi površini.

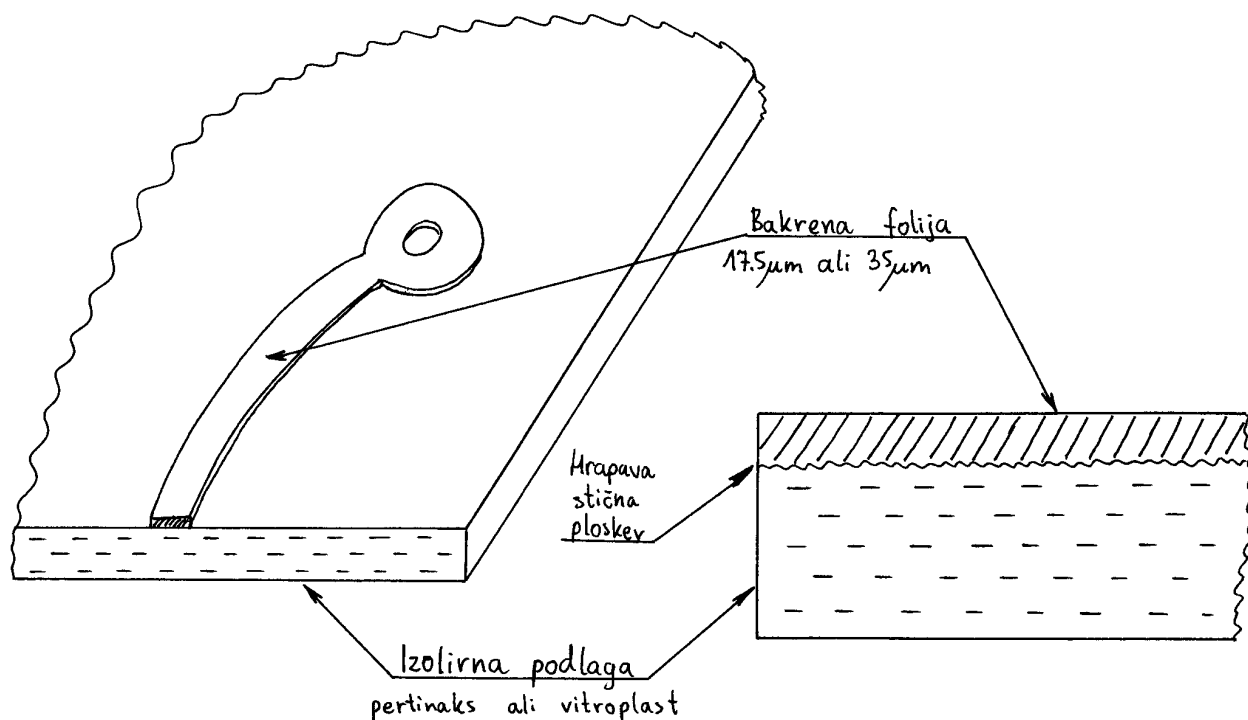
Najcenejši laminati imajo podlago iz papirja, prepojenega s fenolno smolo, in so znani pod imenom pertinaks (oznaka FR2). Večina tiskanih vezij ima verjetno podlago iz epoksidne smole, ojačane s steklenimi vlakni, ki je znana pod imenom vitroplast (oznaka G10 ali FR4). Razen pertinaksa in vitroplasta se uporablja še množica drugih laminatov glede na zahteve proizvodnje: čim nižja cena, mehanska trdnost, cena obdelave ali električne lastnosti. Zahtevna mikrovalovna vezja na primer izdelamo na laminatu iz teflona, ojačanega z vlakni ali tkanino, da ima čim manjše dielektrične izgube.

Debelina izolirne podlage tiskanega vezja je običajno 1.6mm (ali 1/16 cole). Tej debelini so na primer prilagojeni konektorji, ki jih izjedkamo neposredno na tiskanem vezju. Miniaturizacija elektronike seveda zahteva čedalje tanjšo podlago in danes pogosto dobimo vezja na vitroplastu debeline komaj 0.8mm (ali 1/32 cole). Še tanjše laminatne uporabljamo le za večslojna vezja, saj sami zase mehansko niso zadosti trdni. Posebnost so spet mikrovalovna vezja, kjer mikrotrakasti vodi zahtevajo točno določeno debelino podlage. Debelino podlage tedaj izbiramo predvsem glede na željene električne lastnosti vezja.

Baker ni samo dober električni vodnik, pač pa je tudi mehansko dovolj trden in se lepo spajka z običajno zlitino kositra in svinca. Debelina bakrene folije na tiskanem vezju se giblje med 5 in 70 mikrometri. Najpogosteje dobimo laminat s 35-mikronsko bakreno folijo, kar ustreza eni unči bakra na kvadratni čevelj v ameriških merskih enotah. Zahtevnejša vezja ponavadi izdelamo na laminatu s folijo debeline 17.5 mikrona, ki omogoča jedkanje ožjih vezi ter ožje razmake med sosednjimi vodniki.

Bakrena folija je lahko nanošena na izolirno podlago na različne načine: tanko bakreno pločevino se zalepi na podlago med izdelavo same podlage ali pa se na že izdelano podlago kemično nanese tanek sloj bakra, ki se potem elektrolitsko še odebeli. Obema postopkoma je skupna razmeroma visoka hrapavost bakrene površine (slika 1), da

se čim boljše oprime izolirne podlage. Bakrena folija je zato na strani podlage temno-rjave ali celo mat-črne barve, hrapava površina pa poveča izgube zaradi kožnega pojava na visokih frekvencah.



Slika 1- Prerez laminata za enostransko tiskano vezje.

Postopek izdelave tiskanega vezja odvisi v glavnem od vrste izolirne podlage. Pertinaks ali lepenko, prepojeno s fenolno smolo, lahko obdelujemo kot trd les, se pravi žagamo, pilimo in vrtamo z običajnimi HSS jeklenimi orodji. V pertinaksu lahko celo izbijamo luknje, kar zelo poceni velikoserijsko proizvodnjo. Pertinaks se hitro razpoči in ga ponavadi ne moremo rezati s škarjami. Pertinaks tudi ne prenese višjih temperatur, saj lepenka hitro zogljeni.

Cenena tiskana vezja iz pertinaksa so namenjena širokopotrošnim izdelkom najnižjega kakovostnega razreda, kot so radijski sprejemniki, televizorji in "amaterske" radijske postaje z daljnega vzhoda, ki se morajo čim prej pokvariti, da industrija dela naprej. Radijska postaja s tiskanimi vezji iz lepenke ponavadi ne preživi izleta v naravo, kaj šele tekmovanja z gorskih vrhov.

Vitroplast je precej trši material od pertinaksa, v glavnem po zaslugi steklenih vlaken. Vitroplast zato vrtamo, rezkamo in žagamo z vidia orodji. Krhki vidia svedri imajo pri pravilni uporabi pri visokih vrtljajih življenjsko dobo komaj nekaj tisoč lukenj v vitroplastu, z navadnim HSS svedrom pa ne naredimo več kot sto lukenj brez ponovnega brušenja svedra. V vitroplastu ne moremo izbijati lukenj, ker je podlaga preveč trda. Vitroplast vseh debelin lahko vedno režemo s škarjami, vendar bo treba navadne škarje za pločevino pogosto brusiti.

Tiskana vezja iz vitroplasta se danes uporabljajo v večini elektronskih naprav, kjer potrebujemo res "gosta" vezja z velikim številom vodnikov, kot so to računalniki ali mobilni

telefoni. Vitroplast je dovolj trden, da lahko luknje metaliziramo ter na ta način med sabo povežemo vezja na obeh straneh tiskanine. Iz vitroplasta lahko izdelamo tudi večslojna vezja tako, da več dvostranskih tiskanin zlepimo skupaj. Med posamezne plošče vitroplasta vstavimo prepreg, to je stekleno tkanino prepojeno s še mehko epoksidno smolo, ki bo v preši pri povišani temperaturi polimerizirala in zlepila plasti v enoten kos vitroplasta.

Vitroplast je precej bolj odporen od pertinaksa na visoke temperature pri spajkanju ter na segrevanje močnostne elektronike. Pri visokih temperaturah seveda tudi epoksidna smola zogleni, še prej pa se odlepi bakrena folija vezja. Prav pri odpornosti vitroplasta na povišano temperaturo, predvsem pa pri kvaliteti lepljenja bakrene folije so standardizaciji navkljub med različnimi proizvajalci ogromne razlike.

Čprav ima vitroplast precej boljše električne lastnosti, predvsem pa manjše visokofrekvenčne izgube od pertinaksa, za zahtevna visokofrekvenčna vezja to še vedno ne zadošča. Zahtevna vezja zato izdelamo na laminatu iz teflona, ki ima precej manjše izgube od epoksidne smole. Tudi hrapavost površine bakrene folije je manjša, da se zmanjšajo izgube zaradi kožnega pojava.

Pri visokofrekvenčnih vezjih moramo seveda upoštevati dielektričnost podlage. Dielektrična konstanta vitroplasta se giblje med 4.3 in 4.8, glede na razmerje smola/vlakna. Dielektričnost teflonskih laminatov je precej manjša in se giblje med 2.2 in 2.6. Pri teflonskih laminatih lahko zato izbiramo med mehansko trdnostjo in električnimi lastnostmi. Laminati z dielektričnostjo nad 2.5 so trdnejši, ker vsebujejo več vlaken, imajo pa tudi večje VF izgube. Laminati z dielektričnostjo pod 2.3 imajo vrhunške električne lastnosti, ampak so tako mehki, da je z njimi res težko delati.

Vsi teflonski laminati so bistveno mehkejši od pertinaksa ali vitroplasta. Teflonske laminate lahko zato režemo s škarjami, izbijamo luknje ali vrtamo z običajnimi HSS svedri. Teflon vrtamo z nizkimi vrtljaji in ostrim (novim!) svedrom. Metalizacija lukenj in lepljenje teflona v večslojna vezja sta težavna, ker se večina snovi teflona ne oprijemlje. Industrija laminatov zato razvija nadomestke, ki se po električnih lastnostih precej približujejo teflonu, po mehanskih in kemičnih pa so povsem združljivi s postopkom izdelave večslojnih vezij iz vitroplasta.

Po tem dolgem uvodu o laminatih se moramo odločiti, kakšne materiale in orodja naj si radioamater privošči doma? Tiskanine iz pertinaksa imajo slabe mehanske in električne lastnosti ter jih hitro poškodujemo pri spajkanju (menjava sestavnih delov pri eksperimentiranju!), zato so za nas radioamaterje skoraj neuporabne. Pri izbiri laminata res nima smisla varčevati, če lahko za malenkost višjo ceno kupimo enostranski ali dvostranski vitroplast. Pri vitroplastu debeline 1.6mm izberemo 35 mikronski baker za visokofrekvenčna oziroma močnostna vezja ter 17.5 mikronski baker za gosta računalniška vezja. Na vitroplastu debeline 0.8mm običajno izdelamo manjša in gosta vezja, zato je tu 17.5 mikronski baker najbolj smiselna izbira.

Vitroplast debeline do vključno 1.6mm najenostavneje odrežemo na željeno mero z ročnimi škarjami za pločevino, ki jih bo treba občasno nabrusiti. Vrtanje vitroplasta zahteva zelo točen vrtalni strojček z visokimi obrati na stojalu. Vrtalni strojček brez stojala je skoraj neuporaben, prav tako vrtalni strojček z razmajano glavo, s katero so inštalaterji razbijali betonske stene v hiši. Tanki vidia svedri so zelo krhki in počijo ob prvem napačnem gibu ali pri razmajani glavi vrtalnika. HSS svedri so poceni in so sprejemljivi za amatersko uporabo,

če jih seveda sprti brusimo ali menjamo z novimi.

Nabor ostalega orodja je odvisen od tega, kakšna vezja bomo delali. Enostavno vezje lahko naredimo tudi z ostrim nožičkom, s katerim olupimo neželjeno bakreno folijo. Jedkanje tiskanih vezij zahteva kemikalije in primerne posode zanje. Končno, fotopostopek zahteva izdelavo filma, izvor UV svetlobe in dodatne kemikalije. O vsem tem več v naslednjih odstavkih.

Nekaterih postopkov si amaterji verjetno ne moremo privoščiti doma. Metalizacija lukenj v dvostranskih vezjih zahteva celo vrsto slabo obstojnih kemikalij in elektrolitski postopek. Še bolj zahtevna je izdelava večslojnih vezij, kjer potrebujemo prepreg in stiskalnico z vgrajeno pečjo za lepljenje vezij. Za vse te postopke je smiselno, da izdelavo vezij prepustimo opremljeni delavnici.

### 3. Prototipi brez jedkanja

Dobrega inženirja vedno prepoznamo po tem, da zna veliko in komplicirano nalogo razdeliti na množico majhnih in enostavnih nalog. Majhne in enostavne naloge potem eno za drugo rešuje sam ali s svojimi sodelavci in končni rezultat je rešitev velike in komplicirane naloge. Vse to seveda drži pod pogojem, da se rešitve majhnih in enostavnih nalog sprti temeljito preverjajo, da kakršnekoli napake ne ogrozijo končnega rezultata velike in komplicirane naloge.

Dobremu inženirju zato ni škoda časa, da vsako stopnjo izdela kot prototip in temeljito preveri njeno delovanje, preden se loti sestavljanja stopenj v komplicirano napravo. Radioamaterji se tu pogosto obnašamo kot menadžerji: hočemo čimprej do rezultata in se po naši lastni neumnosti sramujemo prototipov. Pri tem pozabljamo na zlato pravilo elektronike: naprava, ki dobro deluje, izgleda lepa. Obratno skoraj nikoli ne velja: naprava, v katero smo vložili dosti truda, da bi izgledala čim lepša, skoraj zagotovo ne bo delala dobro!

Za razliko od inženirja imamo radioamaterji še dodaten razlog za gradnjo prototipnih vezij: naše naprave ne bomo gradili v milijonskih serijah, zato lahko nekatere stopnje ali pa kar cela naprava ostanejo prototipi. Prototip seveda pomeni precej večje ohišje od enakovrednega velikoserijskega izdelka, več ožičenja in več vtičnic. Zelo pogosta napaka radioamaterskih gradenj je "tlačenje" vezja v premajhno ohišje in potem nič več ne dela prav!

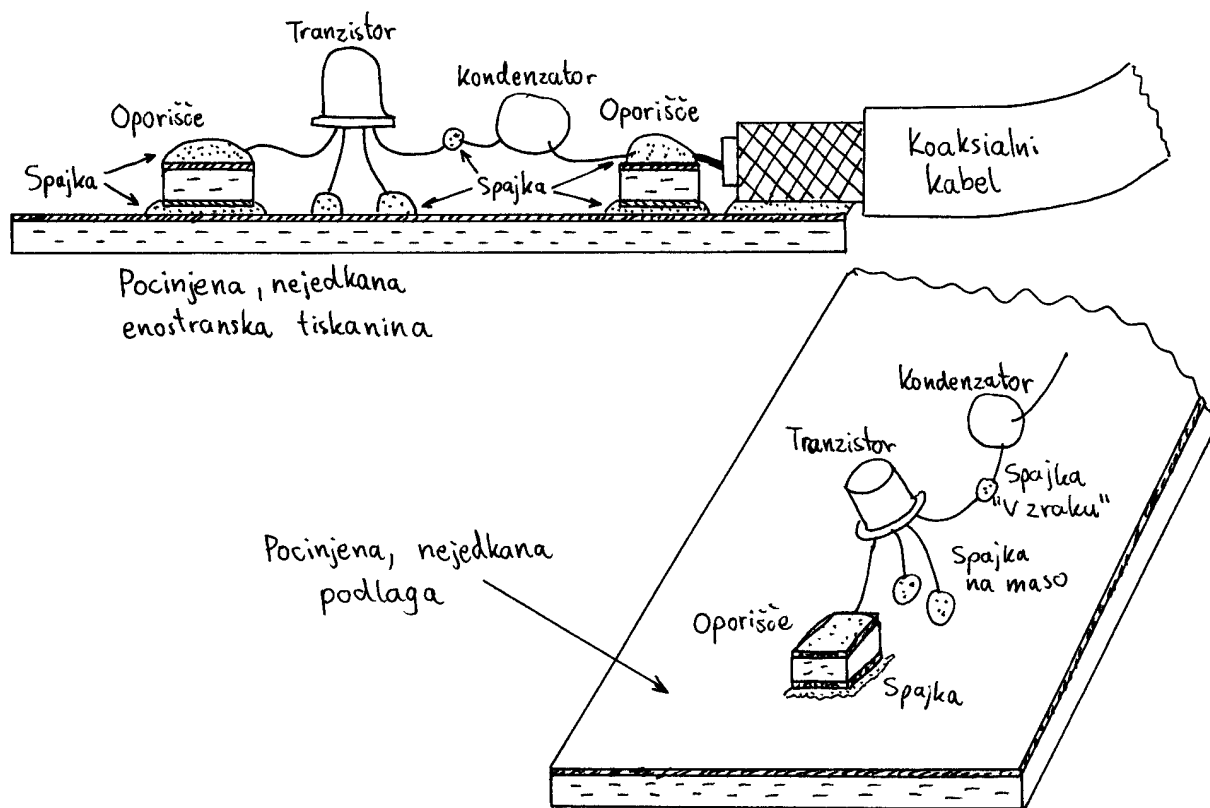
Gradnje prototipov se lahko lotimo na več različnih načinov in tudi trgovine so založene z različnimi pripomočki za izdelavo prototipov. Ker so vsi sodobni elektronski deli prilagojeni vgradnji za spajkanje, se mi razne prototipne plošče z vzmetmi ali drugačnimi mehanskimi kontakti ne zdijo najbolj posrečene. No mogoče sem preveč zahteven: za prestrašenega začetnika, ki se boji posmojenih prstov in bi rad sam sestavil utripalko z LEDiko, je ploščica z vzmetmi verjetno res prava stvar.

To seveda še ne pomeni, da začetniku ne bo treba čim prej obvladati spajkalnika. Ker sem o tem že nadolgo in naširoko pisal v CQ ZRS 4/1996 (1), opisa pravilnega in kvalitetnega spajkanja tu ne bi ponavljal. Kljub številnim poskusom zaenkrat še ne poznamo postopka izdelave elektronskih vezij, ki bi lahko v celoti nadomestil spajkanje.

Trajna vezja lahko seveda izdelamo le s spajkanjem na prototipnem tiskanem vezju. V trgovinah dobimo različne tiskanine za gradnjo prototipov: takšne z očesci v kvadratni mreži s korakom 2.54mm, takšne s trakovi in takšne, ki imajo zrisane vzorce za integrirana vezja na 7+7 ali 8+8 nožic. Sam imam najrajši preprosta očesca v rastru 2.54mm (kar ustreza razmaku nožic integriranih vezij), po možnosti pocinjena in z metaliziranimi luknjami, kar vse olajša spajkanje.

Žal izdelovalci prototipnih tiskatin pozabljajo, da radioamaterji gradimo tudi visokofrekvenčna in druga zahtevnejša vezja. Za takšna vezja bi potrebovali dvostransko prototipno tiskano, ki ima na eni strani običajna očesca v kvadratni mreži s korakom 2.54mm, na drugi strani pa po celi površini maso z izjemo ozkih kolobarjev okoli luknjic, da ne pride do kratkega stika z izvodi sestavnih delov. Takšna preprosta prototipna tiskana omogoča izdelavo vezij do vsaj 500MHz, je pa žal vse do danes še nisem našel v prodaji in sem si jo moral narediti sam oziroma jo posebej naročiti pri obrtniku, ki izdeluje tiskana vezja.

Še višje frekvence lahko dosežemo s prototipnimi vezji, ki so zgrajena kar na nejedkanem vitroplastu, kot je to prikazano na sliki 2. Enostranski vitroplast s čim debelejšo bakreno folijo (35 $\mu$ m ali več) najprej pocinimo po celotni površini s pomočjo stearina. Nato začnemo z vgradnjo sestavnih delov. Visokofrekvenčni sestavni deli imajo ponavadi kar nekaj priključkov za maso, ki v našem slučaju hkrati pritrdijo sestavni del na ploščico. "Vroče" visokofrekvenčne povezave naredimo kar "v zraku".



Slika 2 - Prototip na nejedkani tiskanimi z oporišči.

Le za vhod in izhod vezja, napajanje in še kakšno točko, ki rabi dodatno oporo, vgradimo izolirana oporišča. Izolirana oporišča izdelamo iz majhnih koščkov dvostranskega vitroplasta (recimo 5X5mm). Bakreno folijo na obeh straneh oporišča najprej dobro pocinimo. Nato kockico položimo na osnovno ploščo in s spajkalnikom segrejemo okolico. Površinska napetost povleče cin pod kockico in jo trdno pričvrsti na podlago.

Če pravilno upoštevamo širino oporišča, lahko celo izbiramo karakteristično impedanco vodov in izdelamo prototipna vezja do vsaj 3GHz! Končno, za kockice za oporišča potrebujemo res majhne količine laminata, zato si tu lahko mirno privoščimo koščke teflonskega laminata, ki so poleg odličnih električnih lastnosti tudi dosti bolj odporni na visoke temperature pri spajkanju kot pa vitroplast. Pri rezanju najrazličnejših laminatov zato nikoli ne zavržemo odrezkov, saj so kot nalašč za oporišča naših prototipov.

Integrirana vezja z mnogo priključki ponavadi vgradimo na nejedkano podlago tako, da štrlijo vse nožice v zrak kot pri crknjenem hrošču, zato Američani takšno gradnjo ponavadi imenujejo "dead bug". Druga možnost je vgradnja integriranega vezja na profesionalno podnožje z okroglimi kontakti, ki ga moramo postaviti pokonci, se pravi pravokotno na nejedkano podlago, da lahko sploh zamenjamo integrirano vezje v njem.

Enostavna ampak prava tiskana vezja lahko sicer izdelamo tudi brez jedkanja tako, da mehansko odstranimo bakreno folijo tam, kjer je nezaželjena. Če je folija dovolj debela, 35um ali več, obrise povezav najprej zarezemo z ostro konico in nato folijo preprosto olupimo z nezaželenih površin. Pri lupljenju folije si pomagamo z ostrim nožičkom, da dvignemo vogal in potegnemo folijo. Žal je ta postopek prezamuden za malo bolj komplicirana vezja in povsem odpove v slučaju tanke folije 17.5um ali manj, ki se rajši strga kot pa lupi.

Profesionalci včasih uporabljajo male rezkalne stroje za izdelavo prototipnih tiskanin. Odstranjevanje bakrene folije z rezkarjem je natančno in zamudno opravilo, ki zahteva točen in drag računalniško-krmiljeni rezkalni stroj, pa tudi obraba malih in dragih rezkalnih orodij ni zanemarljiva. V amaterskih razmerah pridemo hitreje do tiskanine s pravim fotopostopkom in jedkanjem, pa tudi naložba v vse kemikalije in ostale pripomočke za fotopostopek in jedkanje je bistveno manjša od cene rezkalnega stroja.

#### 4. Jedkanje tiskanih vezij

Pri gradnji naših naprav pridemo prej ali slej do točke, ko bomo morali tiskano vezje, bolj točno bakreno folijo na izolirnem laminatu, izjedkati v željeni vzorec sami. Industrijski postopki poznajo sicer različne načine jedkanja oziroma nanašanja bakrene plasti na izolirno podlago, ki pa so za amatersko uporabo prekomplicirani. V tem odstavku bom zato opisal le preprost postopek jedkanja bakra, ki si ga lahko privoščimo tudi doma.

Pred jedkanjem moramo na bakreno folijo na laminatu narisati vzorec, ki bi ga radi izjedkali. Ker je bakrena folija razmeroma tanka (35um) glede na izmere našega vzorca, bo jedkalo v glavnem učinkovalo v smeri pravokotno na ploščico. Površine, kjer hočemo ohraniti bakreno folijo, prekrijemo s primerno snovjo, ki je odporna na jedkalo. Risbo vezja torej narišemo z vodoodpornim flomastrom, s preslikači, z vodoodpornim lepilnim trakom ali jo fotografsko prenesemo na fotolak.

Preden prenesemo risbo željenega vezja na laminat, moramo laminat temeljito očistiti. Nekatere nečistoče so lahko odporne na jedkalo in tam bi brez predhodnega čiščenja ostala bakrena folija nedotaknjena. Po drugi strani vsa znana jedkala dosti hitreje jedkajo bakrove okside kot pa čisti baker. Če je površina ploščice preveč oksidirana, si bo jedkalo hitro utrla pot pod našo zaščitno prevleko in izjedkalo celotno površino ploščice.

Ploščico laminata najlažje mehansko očistimo s finim brusnim papirjem ali še boljše z radirko - elastičnim brusnim kamnom proizvajalca "Swaty": 100 za grobo čiščenje in 240 za fino čiščenje. Organsko umazanijo odstranimo z organskimi topili: alkohol, aceton oziroma trikloretilen, vendar moramo pri tem paziti, da nam organsko topilo ne pusti na ploščici tanek sloj umazanije, ki je bila raztopljena v topilu. Oksidirano površino najlažje očistimo s krpico, namočeno v čisto solno kislino (HCl).

Če smo ploščico čistili z organskimi topili ali s solno kislino, ploščice ne spiramo v vodi, pač pa jo zdrgnemo s papirjem. Pri vsem skupaj pazimo, da na ploščici ne puščamo prstnih odtisov ali druge umazanije. Kot končno čiščenje je vsekakor najzanesljivejše mehansko čiščenje s finim brusnim papirjem ali radirko "Swaty".

Zaščitno masko za jedkanje preprostega tiskanega vezja je najlažje narisati z vodoodpornim flomastrom. Najboljše rezultate dobimo seveda s flomastrom "Dalo 33", ki je namensko izdelan za risanje tiskanih vezij za neposredno jedkanje in ga ne kupimo v knjigarni, pač pa v trgovini z elektronskimi sestavnimi deli. Kakovostni flomaster za risanje tiskanih vezij prepoznamo po tem, da ima nov povsem belo konico in modrozeleno barvilo priteče v konico šele, ko s konico prvič pritisnemo na ploščico.

Če do pravega flomastra ne moremo, gre za silo tudi z navadnimi vodoodpornimi flomastri iz knjigarne, ki pa niso povsem odporni na jedkala. Še najbolj odporni so flomastri modre barve. Črni so precej manj odporni, a za silo gre tudi z njimi. Rdečo, rumeno in zeleno barvo vodoodpornih flomastrov jedkala običajno takoj prežrejo. Dober flomaster za risanje tiskanih vezij je pametno imeti pri roki tudi v slučaju fotopostopka, saj nam retuš lahko prihrani veliko dela.

Preden sploh začnemo čistiti ploščico, je smiselno razmisliti o vrstnem redu opravil: bomo ploščico najprej jedkali in potem vrtali ali obratno? Oboje je možno in odgovor je odvisen od postopka, ki ga obvladamo. Pri risanju vezja s flomastrom je najbolj pametno ploščico najprej vrtati, da določimo točen položaj vseh elektronskih sestavnih delov. Za integrirana vezja si je pametno pripraviti šablono iz neke stare tiskanine, da gre vrtanje hitreje od rok.

Nato ploščico temeljito očistimo ter se lotimo risanja vezja s flomastrom. Izvrtine so nam pri tem v veliko pomoč pri risanju s flomastrom, še posebno pri dvostranskih tiskaninah, kjer morata obe strani vezja sovpadati na očescih!

Za jedkanje tiskanih vezij potrebujemo nekaj kemikalij in primernih posod zanje, predvsem pa se moramo naučiti varno in varčno ravnati z njimi. Varčno ravnanje s kemikalijami pomeni predvsem manj neželjenih odpadkov, ki se jih bo treba znebiti. Baker je precej odporna kovina in se ga ne loti prav vsaka kislina. Jedkala za baker so zato ponavadi slabo obstojna in močno korozivna tudi za druge snovi.

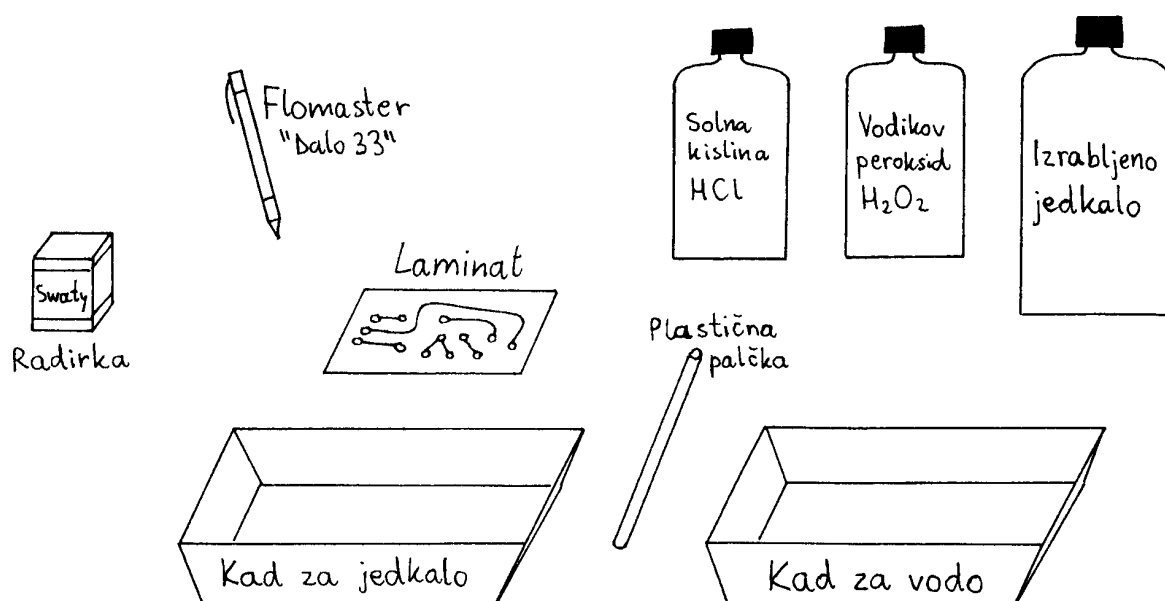
V trgovinah z elektronskimi sestavnimi nam kot jedkalo ponavadi ponujajo železov



triklorid  $\text{FeCl}_3$  v obliki rjavkaste zgoščene raztopine ali rumenega zrnja. Jedkanje gre hitreje od rok z uporabo zmesi solne kisline  $\text{HCl}$  in vodikovega peroksida  $\text{H}_2\text{O}_2$  ter hkrati naredimo manj odpadkov in manj umazanije kot z železovim trikloridom. Žal zmes ni obstojna, vodikov peroksid v zmesi hitro razpade. Po drugi strani je prav to velika prednost zmesi  $\text{HCl}+\text{H}_2\text{O}_2$ : hitrost kemične reakcije urejamo z dodajanjem majhnih količin peroksida, ločene kemikalije pa imajo daljšo življenjsko dobo od ostalih enokomponentnih jedkal.

Solno kislino  $\text{HCl}$  lahko kupimo v drogeriji kot čistilno sredstvo za sanitarije. Vodikov peroksid  $\text{H}_2\text{O}_2$  dobimo v koncentraciji do 30% v boljše založeni drogeriji (pri še večjih koncentracijah je  $\text{H}_2\text{O}_2$  eksploziven). V skrajnem slučaju si lahko pomagamo tudi s peroksidom za blondinke, ki ga dobimo v koncentraciji 10-12%. Obe kemikaliji sta za razliko od drugih jedkal razmeroma nenevarni človeškemu zdravju: v zmes  $\text{HCl}+\text{H}_2\text{O}_2$  lahko brez skrbi pomočimo prst.

Pripomočki za jedkanje tiskanih vezij so prikazani na sliki 3. Za jedkanje tiskanih vezij si moramo priskrbeti tudi primerne posode. Najprimernejše so plastične kadi za razvijanje fotografij, ki jih najdemo v vsaki trgovini s pripomočki za fotografe. Za samo jedkanje potrebujemo najmanj dve takšni kadi: manjšo za jedkalo in večjo za vodo, v kateri splaknemo izjedkano ploščico in ostale pripomočke, da lahko v kateremkoli trenutku prekinemo kemično reakcijo.



Slika 3 - Pripomočki za jedkanje tiskanih vezij.

Za jedkanje potrebujemo tudi primeren prostor. Hitrost kemičnih reakcij je močno odvisna od temperature. Kad z jedkalom mora stati na ravni podlagi, zato umivalnik v kopalnici niti zdaleč ni primeren za to delo. Končno si moramo pripraviti še steklenico za odrabljeno jedkalo, ki ga bomo vsaj delno uporabili spet pri naslednjem jedkanju. Na ta način porabimo najmanj kemikalij in si s tem nakoplujemo najmanj težav, kako se znebiti izrabljenih kemikalij.

Za prvo jedkanje nalijemo v kad polovico vode in polovico solne kisline. V kad za jedkanje nalijemo čimmanj tekočine: dovolj je, da razredčena kislina tvori kapljo čez celotno dno posode. Z večjo količino jedkala je jedkanje samo bolj nerodno!

Kemično reakcijo sprožimo z dodatkom peroksida. Peroksida dodamo zelo malo, manj kot 5% celotnega volumna tekočine, če imamo 30% peroksid. Če nimamo izkušenj, peroksid dodajamo počasi in sproti opazujemo, kako napreduje jedkanje.

Potek kemične reakcije opazujemo na izpostavljeni površini bakrene folije. Pri pravilnem poteku jedkanja je površina folije zrcalno-rjave barve in na površini celotne ploščice se tvorijo mali mehurčki kisika. Solna kislina je zaradi primesi rumenkasta, bakrene soli pa jedkalo takoj obarvajo zeleno. Če postane površina bakra mat-rjave barve in se v jedkalu delajo črnikasti oblaki, v zmesi primanjkuje peroksida. Če se tvori dosti mehurčkov, zmes skuša zavreti ter površina bakra postane bela, je v jedkalu peroksida preveč.

Bakrene soli sploh igrajo veliko vlogo pri jedkanju: čisti baker jedka namreč bakrov diklorid  $\text{CuCl}_2$  tako, da skupaj z bakrom tvori bakrov klorid  $\text{CuCl}$ . Peroksid potem poskrbi za oksidacijo in solna kislina vrne manjkajoči klor, da iz  $\text{CuCl}$  nastane nazaj  $\text{CuCl}_2$ , ki spet jedka baker. Z novimi kemikalijami: kislino  $\text{HCl}$  in peroksidom  $\text{H}_2\text{O}_2$ , zato reakcija štarta počasi. Pri naslednjem jedkanju namesto vode uporabimo izrabljeno jedkalo prejšnjega jedkanja, ki vsebuje že veliko bakrenih soli in reakcija štarta hitreje! Kislino in peroksid dodajamo za vsako naslednje jedkanje po potrebi, pač glede na hitrost reakcije in barvo izpostavljene bakrene folije.

Med jedkanjem moramo stalno opazovati dogajanje v kadi s kemikalijami. Potek jedkanja bistveno pospešimo in hitrost jedkanja izenačimo po celotni površini tiskanega vezja tako, da kad z jedkalom ves čas jedkanja ziblujemo. Jedkalo se mora lepo pretakati čez naše tiskano vezje. Pri jedkanju dvostranskih tiskanin moramo sproti preverjati, kaj se dogaja na drugi strani tiskanega vezja, ki je obrnjena v dno posode. Jedkanje 35um debele bakrene folije naj bi s pomočjo zibanja trajalo nekje od dveh do petih minut, glede na temperaturo in izrabljenost jedkala.

Dvostranska tiskanina med zibanjem ne sme drgniti v dno posode, saj bi to poškodovalo sledi flomastra ali premaz fotolaka in uničilo naše vezje. Zelo koristen pripomoček je v tem slučaju plastična palčka, s katero dvignemo in obrnemo tiskanino v jedkalni kadi. Samo kad za jedkanje izberemo seveda brez izboklin ali utorov na dnu, na kar moramo paziti že pri nakupu v trgovini s fotomaterialom.

Učinek jedkanja najprej opazimo na robovih ploščice, saj je tam jedkalo še najmanj izrabljeno in gre reakcija najhitreje. Jedkanje poteka zelo hitro tudi na tistih delih tiskanine, kjer je izpostavljene bakrene površine malo. Problem zase je jedkanje velikih bakrenih površin. Tu gre jedkanje tako počasi, da jedkalo v drugih predelih ploščice že ogroža željene vodnike. Pri risanju tiskanine moramo zato paziti, da je gostota vodnikov v vezju približno enaka po celotni površini ploščice.

Jedkanje tiskanine moramo v vsakem slučaju pravočasno prekiniti. Jedkalo namreč ne deluje samo v smeri pravokotno na ploščico, pač pa v vseh smereh, vključno pod zaščitni sloj flomastra ali fotolaka. Čeprav jedkanje pravočasno ustavimo, moramo še vedno računati na izpodjedkanje pod zaščitnimi površinami, ki je istega velikostnega

razreda kot debelina bakrene folije (35um).

Izjedkano ploščico splaknemo v vodi in posušimo. Če jedkamo več tiskanin, potem takoj nadaljujemo z jedkanjem naslednje. Po končanem jedkanju preostalo zelenkasto jedkalo spravimo v primerno plastično ali stekleno posodo. Posode ne smemo takoj zamašiti, ker preostali vodikov peroksid  $H_2O_2$  še naprej razpada v kisik in vodo vsaj še nekaj ur. Čez en dan lahko steklenico z izrabljenim jedkalom zamašimo. Uporabili ga bomo spet za naslednje jedkanje, seveda z dodatkom sveže solne kisline HCl in vodikovega peroksida  $H_2O_2$ .

Vse kemikalije vedno hranimo v hladnem in temnem prostoru. Še posebno je to pomembno za vodikov peroksid, ki na svetlobi razpada. Steklenice ali plastenke s kemikalijami je pametno zložiti v večjo plastično kad, ki zadrži izliv ene ali več kemikalij iz njihovih posod.

## 5. Fotopostopek pri izdelavi vezij

Radioamaterji se lotimo gradnje čedalje zahtevnejših naprav, ki vsebujejo veliko število sestavnih delov na tiskanini in delajo na zelo visokih frekvencah. Risanje številnih povezav na tiskanini mikroračunalnika je težko izvedljivo s še tako dobrim flomastrom. S flomastrom je s prosto roko še težje narisati mikrotrakaste vode točne širine in na točnih razmakih, ki so opisani v CQ ZRS 1/1997 (2), da bojo mikrovalovna sita in sklopniki delovali tako, kot smo si zamislili.

V zahtevnejših slučajah je zato smiselno, da sliko tiskanega vezja prej pripravimo na neki drugi podlagi in jo potem s fotografskim postopkom prenesemo na ploščico tiskanega vezja. Prve filme za tiskana vezja smo risali s tušem v povečanem merilu in jih pred uporabo fotografsko pomanjšali. Priročni preslikači za očesca in črni samolepljivi trakci za povezave so omogočili bolj preprosto risanje filmov v končni velikosti.

Film za tiskano vezje danes še bolj preprosto narišemo z računalnikom, saj dobimo risarske programe prav za vse okuse in vse operacijske sisteme. Vzporedno z računalniki je napredovala tudi tehnologija tiskalnikov in danes lahko s cenenim laserskim tiskalnikom izrišemo uporaben film za tiskano vezje kar doma. Če naročamo izdelavo večje količine enakih tiskanih vezij, je seveda smiselno naročiti tudi izdelavo kakovostnega filma na fotostavnem stroju iz našega računalniškega zapisa.

Kakršnokoli risarsko pot uberemo, končni rezultat mora biti prosojna slika (film) željenega vzorca na tiskanem vezju v merilu 1:1, saj sliko prenesemo na tiskanino s kontaktno preslikavo. Na laminat za tiskano vezje moramo seveda prej nanesti fotoobčutljiv sloj. Sloj nato osvetlimo, razvijemo in končno tiskano vezje jedkamo po običajnem postopku, kot je to opisano v prejšnjem odstavku.

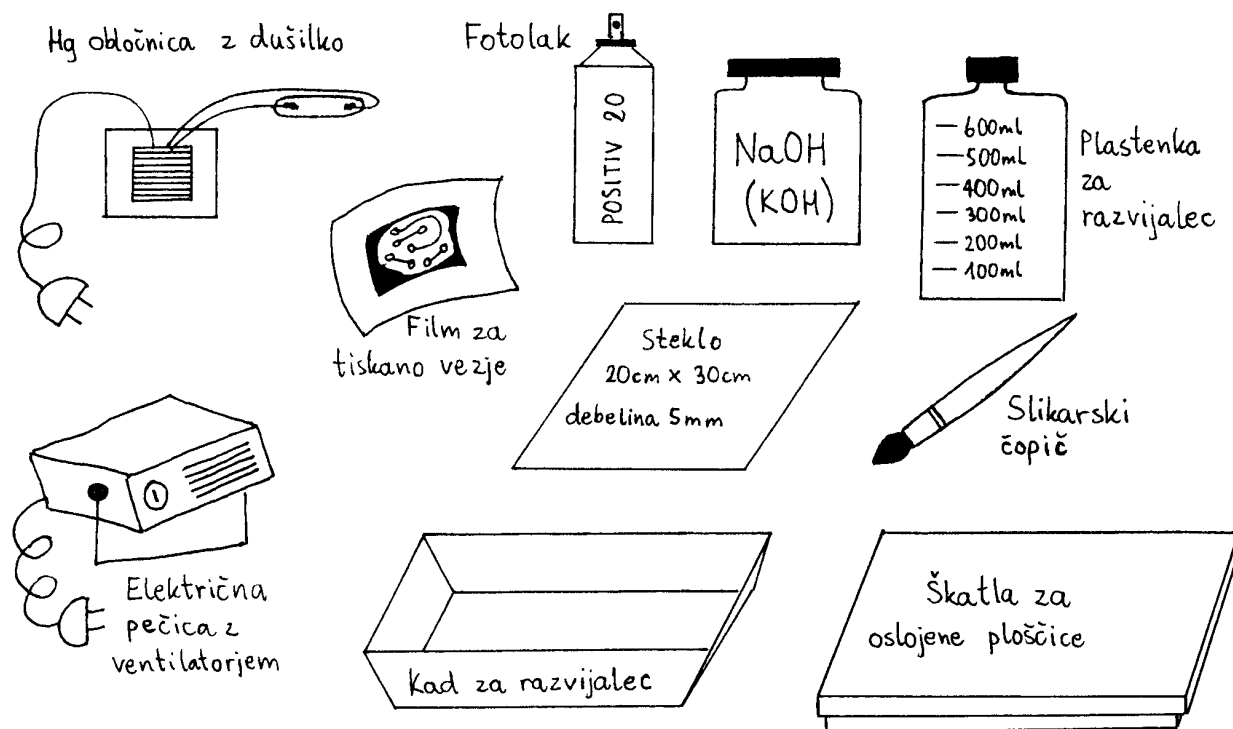
Fotoobčutljiv sloj je lahko pozitiven ali negativen. Pozitiven fotoobčutljiv sloj pri osvetlitvi razpade. Fotografski razvijalec odstrani osvetljena mesta, na neosvetljenih mestih pa ostane sloj nedotaknjen in varuje bakreno folijo pred jedkalom. Obratno negativen fotoobčutljiv sloj pri osvetlitvi polimerizira. Fotografski razvijalec odstrani neosvetljena mesta, osvetljena mesta se v razvijalcu ne raztapljajo več in varujejo bakreno folijo pred jedkalom.

Pri industrijski izdelavi tiskanih vezij se v glavnem uporabljajo negativni fotoobčutljivi sloji, ker so kemikalije bolj obstojne od pozitivnih fotoobčutljivih slojev. Obratno se za izdelavo prototipov ter med amaterji pogosteje uporablja pozitivne fotoobčutljive sloje, ker je lažje narisati ustrezen film za tiskano vezje.

Prve fotoobčutljive sloje so izdelovali v obliki fotolaka, ki ga je moral uporabnik sam nanesti na površino laminata in posušiti. V industriji so se kasneje uveljavili vnaprej pripravljene fotosloji v trdnem stanju na polivinilasti podlagi, ki jih pod pritiskom pri povišani temperaturi prenesemo na površino laminata. Fotosloje v trdnem stanju lahko naneseemo na tiskano z izvrtinami, kar poenostavi postopek metalizacije lukenj v tiskanem vezju.

Ker si amaterji ustrezne opreme ne moremo privoščiti, še vedno uporabljamo fotolake oziroma moramo kupiti že oslojene ploščice laminatov za tiskano vezja. Vezja, ki jih izdelamo doma po fotopostopku, seveda vrtamo šele po jedkanju. Tudi metalizacije lukenj si ponavadi ne moremo privoščiti doma, ker zanjo potrebujemo celo vrsto slabo obstojnih kemikalij.

Če hočemo izdelovati tiskana vezja po fotopostopku doma, potem moramo najprej nabaviti vse potrebne kemikalije. Potrebni pripomočki za fotopostopek so prikazani na sliki 4. Cinkarna Celje je naprimer že pred več kot dvajsetimi leti izdelovala dva različna fotolaka, primerna za izdelavo tiskanih vezij: C-500 CPR-negativni kopirni lak in C-501 CPO-pozitivni fotokopirni lak. Zaradi nerazumevanja tedanjih (in današnjih) trgovcev pa so bile te kemikalije radioamaterjem skoraj nedostopne.



Slika 4 - Dodatni pripomočki za fotopostopek.

Sam sem dosegel najboljše rezultate s C-500 CPR-negativnim kopirnim lakom, ki pa

je potreboval kot fotografski razvijalec večjo količino strupenega in hlapljivega trikloretilena. Proizvajalci fotoslojev so kemijo svojih izdelkov iz naravovarstvenih razlogov spremenili tako, da se danes večina fotoslojev razvija v lugih, naprimer C-501 CPO- pozitivni fotokopirni lak ali kemično povsem enak nemški izdelek Kontakt Chemie POSITIV 20.

POSITIV 20 lahko danes kupimo v razpršilcu (spray) v vseh trgovinah z elektronskimi sestavnimi deli. Pri nakupu fotolaka obvezno preverimo datum izdelave, odtisnjen na razpršilcu, in način hranjenja izdelka v trgovini. Življenjska doba fotolaka je načeloma eno leto, v hladilniku precej več, v vroči izložbi trgovine, na soncu in po možnosti še zraven radiatorja centralne kurjave pa bistveno manj! Fotolak, ki nam ga trgovec prinese iz izložbe, je zagotovo povsem neuporaben!

Tanek sloj fotolaka moramo čimbolj enakomerno nanesti na bakreno folijo naše tiskanine. Razpršilec je v tem slučaju zelo ponesrečena rešitev, saj med nanašanjem poseja in zalepi na površino naše tiskanine prav vse prašne delce iz ozračja naše sobe. Pri nanašanju fotolaka moramo zato imeti pri roki manjši slikarski čopič, s katerim pobere večje smeti, razmažemo fotolak tja, kamor slučajno razpršilec ni pljunil ničesar, predvsem pa na robovih ploščice odstranimo višek fotolaka.

Fotolak na svetlobo še zdaleč ni tako občutljiv kot fotografski filmi ali papirji. Pri oslojevanju ploščice pazimo le na to, da na ploščico ne vpada neposredno sončna svetloba. Fotolak na ploščici takoj (ena minuta) posušimo z curkom vročega zraka, najboljše z električno pečico z vgrajenim ventilatorjem. Pri tem držimo ploščico v roki in jo vrtimo, da se na robovih ploščice ne tvorijo velike kaplje fotolaka.

Posušeno ploščico shranimo v ploščato kartonasto škatlo (najboljša je škatla formata A4 za folije za grafoskop) in jo pustimo v temi na toplem mestu še kakšne pol ure, da iz navidez suhega sloja fotolaka izhlapijo še zadnji ostanki topila. Opisani postopek sušenja je sicer v nasprotju s tistim, kar piše v navodilih za fotolak, vendar daje bistveno bolj enakomeren sloj fotolaka. Z njim lahko naredimo tiskanino celo s starejšim fotolakom, ki mu je rok uporabnosti že potekel.

Ploščico oslojimo tik pred uporabo. Hranjenje oslojenih ploščic več kot en dan ni smiselno, ker se kemične lastnosti fotolaka hitro slabšajo kljub temu, da ploščico hranimo v zaprti škatli v popolni temi. Pravilno oslojena ploščica s pozitivnim fotolakom C-501 ali POSITIV 20 mora biti rumenozelene barve, če jo gledamo v dnevni svetlobi oziroma svetlobi fluorescentne svetilke. Pozor, v svetlobi žarnice z nitko ne vidimo prave rumenozelene barve in ne moremo oceniti uporabnosti fotosloja!

Dvostranskih tiskanin se lotimo tako, da v kos laminata najprej izvrtamo dve pilotski luknji, na kateri bomo nastavili oba filma na obeh straneh ploščice. Pilotski luknji morata biti izven koristne površine ploščice, saj bo nanos fotolaka v okolici lukenj zelo neenakomeren. Pilotske križe si moramo zato pripraviti na obeh filmih izven koristne površine tiskanine, kot to naprimer prikazano na strani 32 v CQ ZRS 4/2000 (3).

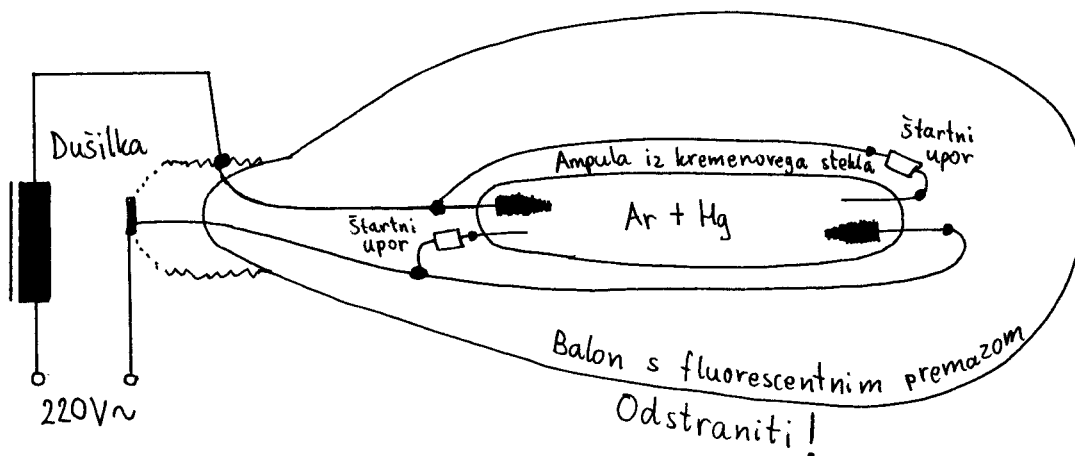
Dvostranski laminat najprej oslojimo na eni strani, posušimo z vročim zrakom iz pečice in pustimo še minuto pri miru, da se ploščica ohladi nazaj na sobno temperaturo. Ploščico nato takoj oslojimo še na drugi strani, fotolak spet posušimo z vročim zrakom ter shranimo za pol ure v kartonasto škatlo, da ostanki topila izhlapijo iz slojev na obeh

straneh ploščice.

Za osvetlitev fotosloja potrebujemo primerno svetilo. Večina fotolakov sicer ne potrebuje prave UV svetilke, saj je občutljiva že na modro-vijolično svetlobo z valovno dolžino 300-400nm. Fotosloj osvetlimo v približno dveh minutah kar z neposredno sončno svetlobo, žal pa se Sonce kaj rado skriva za oblak ravno takrat, ko bi mi radi osvetljevali tiskana vezja. Za osvetlitev fotosloja je pametno izbrati čim manjše svetilo, da dobimo ostre sence tudi v slučaju, ko se film povsem ne prilega površini fotosloja na tiskanini.

Od vseh razpoložljivih svetil je najbolj uporabna živosrebrna obločnica, ki jo dobimo v notranjosti VTFE žarnic za cestno razsvetljavo. Pri VTFE žarnici moramo seveda odstraniti zunanji stekleni balon s fluorescentnim premazom, ki duši UV svetlobo in povečuje izmere svetlobnega izvora, kar nam daje neostre sence.

Vezava živosrebrne obločnice je prikazana na sliki 5. Svetilka vsebuje v svoji notranjosti dva upora za vžigalni elektrodi, zunaj pa moramo zaporedno z žarnico vezati primerno dušilko. Živosrebrna obločnica doseže polno svetilnost šele minuto po vžigu, ko temperatura znotraj male ampule iz kremenovega stekla naraste ter z njo naraste tlak živosrebrnih hlapov. Prav tako moramo počakati minuto po izklopu obločnice, preden bo obločnica spet vžgala.

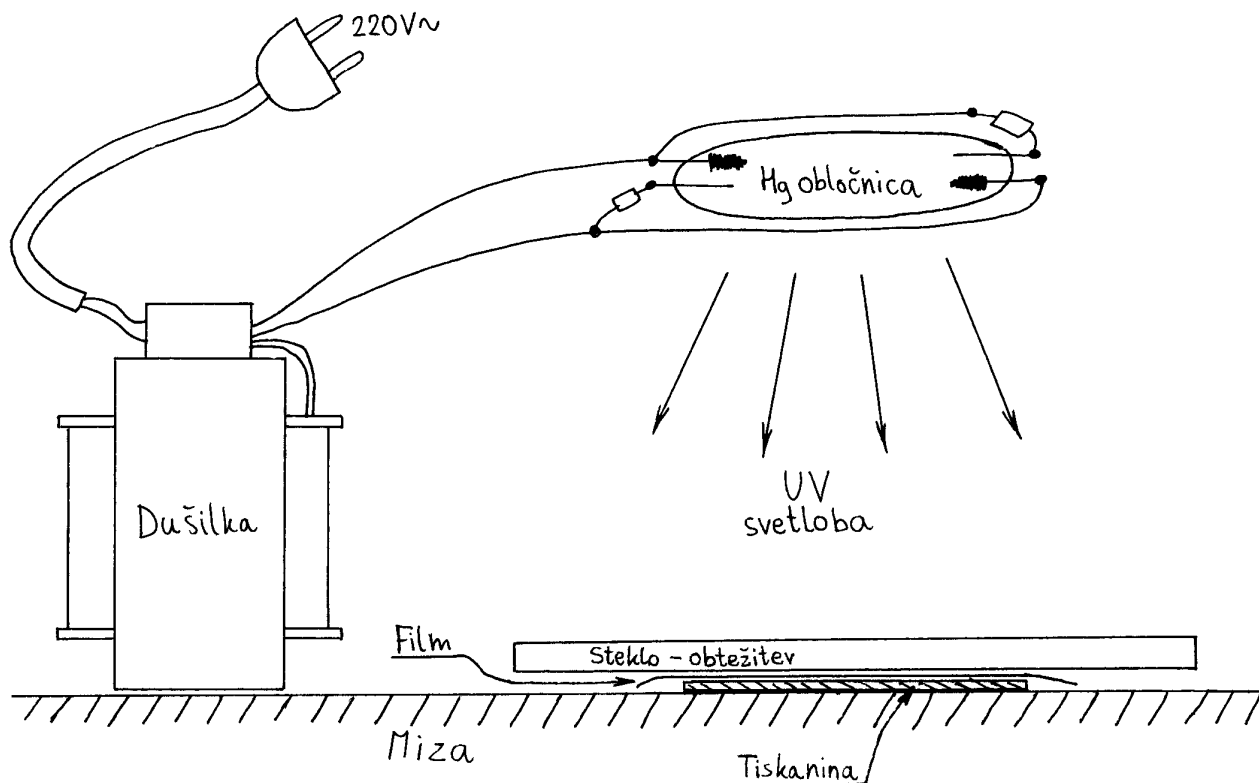


Slika 5 - Vezava visokotlačne živosrebrne obločnice.

Za izdelavo tiskanih vezij uporabljamo obločnico iz 125W VTFE svetilke, ki na razdalji 12cm od fotosloja potrebuje od 100 sekund (nova obločnica) do 200 sekund (stara, že počrnela ampula) za pravilno osvetlitev fotosloja POSITIV 20. V omenjenem času je upoštevan vžig in čas doseganja delovne temperature obločnice ter vpliv 5mm debelega stekla, s katerim stisnem film ob fotosloj na tiskanem vezju.

Namestitev svetilke, stekla, filma in oslojenega laminata je prikazana na sliki 6. Film z risbo tiskanega vezja moramo pripraviti tako, da sloj filma nalega na fotosloj na laminatu. Če film obrnemo, dobimo razen zrcalne slike tudi manj ostre sence. Manj ostre sence so včasih koristne, naprimer pri filmih, ki smo jih stiskali z laserskim tiskalnikom na

folijo za grafoskop. Svetloba, ki pronica med zrnca tonerja, se v tem slučaju razprši in naredi manj škode na fotosloju. Vse filme seveda pred uporabo pregledamo ter po potrebi naredimo retuš z rdečim flomastrom.



Slika 6 - Namestitev tiskanine in filma pod svetilko.

Učinek osvetlitve mora biti viden na fotosloju še pred razvijanjem. Neosvetljen pozitivni fotosloj ostane zeleno-rumen, pravilno osvetljen pozitivni fotosloj pa je vijolično-modre. V dnevni svetlobi ali svetlobi fluorescentne svetilke po pravilni osvetlitvi že vidimo oblike našega vezja na tiskanini, le v svetlobi žarnice z nitko ne vidimo ničesar.

Za razvijanje pozitivnega fotosloja potrebujemo raztopino močnega luga v vodi in še eno plastično kad za razvijanje. Kot lug lahko uporabimo natrijev hidroksid NaOH ali kalijev hidroksid KOH. Oba dobimo v obliki zrn ali tabletk. Oba v dotiku z ozračjem vežeta CO<sub>2</sub> v karbonate in postaneta neuporabna za razvijanje fotoslojev.

Za pripravo razvijalca potrebujemo plastenko z zmaškom, ki ima na steni označeno skalo v mililitrih. S pomočjo skale nalijemo v plastenko vedno enako količino tople vode (150-200ml je za razvijanje naših vezij povsem dovolj) in si zapomnimo, kolikšno število zrn ali tabletk luga moramo dodati. V mojem slučaju sem si pribeležil 35 tabletk KOH premera približno 5mm za 200ml vode. Zrnca luga se v topli vodi hitro raztopijo, razvijalec pa še dodatno dobro premešamo s tresenjem plastenke.

Hitrost razvijanja fotosloja je odvisna od najmanj treh spremenljivk: temperatura razvijalca, koncentracija luga in starost fotosloja, bolj točno čas od oslojevanja do razvijanja. Učinek razvijalca mora biti viden v nekaj sekundah, ko se začne osvetljeni,

vijolično-modri sloj raztapljati v razvijalcu. Koncentracijo in temperaturo razvijalca je smiselno izbrati tako, da osvetljene predele na ploščici popolnoma očisti v 30-45sekundah.

Razvijanje moramo pravočasno prekiniti, saj bi sicer lug razžrl tudi neosvetljeni fotosloj. Poleg kadi z razvijalcem moramo imeti pripravljeno še večjo kad z vodo, kjer ploščico splaknemo in prekinemo reakcijo. Preostali rumeno-zeleni, neosvetljeni fotosloj mora biti prozoren in zrcalen. Če postane mat, to pomeni, da je bilo sušenje fotolaka nezadostno in je v fotosloju ostalo še nekaj topila.

Ploščico z razvitim fotoslojem spet posušimo z vročim zrakom iz električne pečice z ventilatorjem. Nato vzorec na tiskanini natančno pregledamo v svetlobi fluorescentne svetilke. Vse napake popravimo: luknjice v fotosloju prekrijemo s flomastrom za tiskana vezja, neželjene packe fotolaka pa odstranimo z ostro konico.

Ploščico z risbo iz pozitivnega fotosloja čim prej izjedkamo, ker je sam pozitivni fotosloj kemično nestabilen in bo čez čas sam razpadel. Med razvijanjem, sušenjem, popraviljanjem risbe in jedkanjem ploščice ne smemo izpostavljati močni svetlobi (na primer neposredni sončni svetlobi), sicer bo fotosloj razpadel in ne bo več ščitil bakrene folije pred jedkalom.

Po končanem razvijanju lužino čim prej zlijemo v plastenko in plastenko zamašimo, da razvijalec v dotiku s CO<sub>2</sub> iz ozračja ne razpada. Kad za razvijalec umijemo, za jedkanje pa uporabimo rajši drugo kad. Na ta način kadi za razvijanje (lužina) in kadi za jedkanje (kislina) ne mešamo med sabo in se naše kemikalije med sabo ne uničujejo.

## 6. Zaključek

Po končanem jedkanju moramo ploščico tiskanega vezja še primerno obdelati. Pri fotopostopku vedno pustimo okoli vezja rob širine vsaj 5mm, saj razporeditev fotolaka na robovih ni enakomerna. Pri neposrednem risanju vezja s flomastrom lahko rob izpustimo, če ga dodatno zaščitimo. Robove tiskanin najlažje obrežemo z škarjami za pločevino.

Obrezovanju ploščice sledi vrtanje, če tega nismo storili še pred jedkanjem. Pri fotopostopku je zato smiselno narisati očesca z luknjico v sredini, ki nam pomaga voditi sveder na pravi položaj. Hkrati vrtanje pokaže na napake, ki smo jih naredili pri risanju filma: očesca so izgledala na zaslonu računalnika celo prevelika, potem pa je sveder skoraj vse pobral!

Po jedkanju in vrtanju moramo ploščico temeljito očistiti. Ostanke fotolaka učinkovito odstranjuje aceton, ostanke vodoodpornih flomastrov pa alkohol. Ker se pri vrtanju v okolici lukenj bakrena folija zgrbanči, še posebno z izrabljenimi HSS svedri, površino tiskanine najprej izravnamo z veliko fino ploščato pilo. Končno celotno površino zbrusimo z radirko "Swaty", da olajšamo spajkanje.

Površino mikrovalovnih vezij je najboljše pustiti takšno, kot je, se pravi bakreno, in jo s fino radirko zbrusiti do visokega sijaja. Srebrenje ni smiselno, ker ponavadi naredi površino bolj hrapavo in v resnici poveča visokofrekvenčne izgube. Iz istega razloga ni smiselno nanašanje drugih kovin.



Površino vseh ostalih tiskanin je seveda zaželeno pociniti, saj je na pocinjeno tiskanino dosti lažje vgraditi sestavne dele. Industrijsko izdelana tiskana vezja sicer dobimo že pocinjena iz drugačnega razloga: cin nanesejo elektrolitsko še pred jedkanjem tako, da cin služi kot maska za jedkanje z jedkalom, ki jedka baker in ne jedka cina. Industrijsko izdelane ploščice na koncu še pretalijo, da se elektrolitski cin lepo razlije in oprime bakrenih vezi.

Doma izdelana tiskana vezja moramo seveda dodatno pociniti sami. Po končnem čiščenju ploščice z radirko nanesimo nekaj zrnč stearina, jih stalimo s spajkalnikom in razmažemo po celotni površini tiskanine. Tiskanino lahko nato pocinimo z res majhno količino cina, saj stearin poskrbi zato, da se cin zelo lepo razvleče. Končno še toplo tiskanino obrišemo s krpo, da odstranimo večino stearina.

Končni izdelek bi moral biti primerljiv s tistim, kar nam lahko ponudi industrija. Jasno so nekateri postopki, naprimer metalizacija lukenj ali izdelava večslojnih tiskanin, zelo zahtevni in se investicija v vse potrebne kemikalije in stroje za amatersko delavnico ne izplača. Če takšno zahtevno tiskano vezje potrebujemo, se je verjetno pametno obrniti na bližnjo obrtniško delavnico.

Na srečo večina tiskanin vsaj zaenkrat še ni tako zahtevna in jih lahko z malo dobre volje izdelamo sami doma. V tem članku sem zato skušal strniti lastne izkušnje pri izdelavi vseh vrst tiskanih vezij, od prototipov brez jedkanja do fotopostopka. Izdelava delujočega vezja v prvem poskusu ni verjetno uspela še nikomur, saj pregovor pravi, da edino vaja dela mojstra. Upam pa, da bo ta članek marsikomu vsaj malo skrajšal naporno pot do mojstra...

## 7. Viri

- (1) Matjaž Vidmar, S53MV: "Mehko spajkanje v elektroniki", CQ ZRS 4/1996, strani 19-23.
- (2) Matjaž Vidmar, S53MV: "Tehnika mikrotrakastih vodov", CQ ZRS 1/1997, strani 25-33.
- (3) Matjaž Vidmar, S53MV "Megabitni TNC za packet-radio", CQ ZRS 4/2000, strani 29-35.

\* \* \* \* \*