

Lineaariteholähteen rakentaminen

Tämä johdantoartikkeli kannattaa lukea ehdottomasti, ennen kuin ryhtyy rakentelemaan näitä teholähteitä. Hyödyllistä on lukea vaikka kaikkien jännitelähteiden selostukset. Kaikkea en ole toistanut joka kohdassa.

Vaikka lineaarijännitelähteet ovatkin nykyään ensisijaisesti historiaa varsinkin niiden vaatimattoman hyötysuhteen takia, on niillä vieläkin käyttöä, jos halutaan, ettei jännitelähde tuota sähkömagneettisia häiriöitä ympäristöön. Häiriötaso on nykyään taajama-alueilla merkittävästi korkeampi kuin syrjäseuduilla, kun hakkuriteholähteet jyräävät tietokoneissa ja monissa muissa laitteissa. Siksi kauko- ja pientehoyhteysien jännitelähteen on syytä olla lineaarinen.

Muutama sana kytkentöjen nimityksistä. Jännitelähde on laite, joka tuottaa virtaa tietyissä rajoissa jännitteen pysyessä vakiona. Virtalähde on kytkentä, joka tuottaa vakiovirran ulostuloon jännitteestä riippumatta määrätyissä rajoissa. Virta voi olla säädettävä. Käytännössä siis jännitelähde on monin verroin yleisempi. Arkikielessä puhutaan yleensä vain virtalähteestä, vaikka tarkoitetaankin jännitelähdettä. Itse pyrin käyttämään oikeita nimityksiä.

Laitteet kytketään verkkovirtaan ja tämä toimenpide on taitamattoman ja tietämättömän rakentelijan tapauksessa hengenvaarallista. **Allekirjoittanut ei voi myöntää mitään lupia eikä turvakuuita. Jokainen joutuu vastaamaan itse omista tekemisistään.** Turvallisuusnäkökohtien riittäväksi huomioimiseksi kehotan lukemaan Tomi Helpiön, OH2ID ansiokkaan artikkelin Radioamatöörilehdestä numero 4 / 2016 alkaen sivulta 5 aiheena: Sähköturvallisuus radioamatööritoiminnassa". Viisasta on käyttää suojaerotusmuuntajaa, kunnes laite on täysin valmis ja testattu.

Allekirjoittanut on rakentanut kaikki esitellyt teholähteet ja ne toimivat piirikaavioiden mukaisella mitoituksella. Taajuuskompensointi toimii suoritetuilla kytkennöillä ja komponenttiarvoilla.

Laitteet edustavat osittain omaperäistä suunnittelua ja omia tarpeita. Kirjallisuutta ja internetiä on tietysti tutkittu ahkerasti. Suunnittelussa näkyy tekijän oma "käsiala". Ei ole yhtä tapaa suunnitella näitä laitteita, vaan näkemysten ja tarpeiden kirjo on moninainen. Piirikortin suunnittelu kerätarpeita varten on aika työlästä. Ellei siitä ole varta vasten kiinnostunut, kannattaa kytkennöistä jättää turhat pois ja piirikortista niiltä osin komponentit asentamatta. Esimerkiksi useampaan piirikorttiin on sisällytetty teholähde 12 V:in ja noin 0,5 A:in tuuletinta varten. Jos se ei ole tarpeellinen, sen voi muutta mutkitta jättää rakentamatta. Muutamissa teholähteissä on paikat komponenteille aina 40 A:iin saakka. Päätetransistoreita voi kuormittaa esimerkiksi 5 A:in virralla, jolloin häviöteho transistoria kohti ei vielä kohoa liian suureksi (luokkaa 50 W). Tällöin voi ulostulotehosta tinkiä 5 A:in portain jättämällä yksi tehotransistori kerrallaan pois, samoin ylikuormitusvahdista vastaava komponenttisarja. Päätetransistorien riittävästä jäähdytyksestä on kuitenkin huolehdittava. Suotokondensaattoreista joutaa karkeasti ottaen pois 1 mF / 1 A näissä kytkennöissä.

Tietysti ulostulovirtaa voi kasvattaa lisäämällä päätetransistoreita ja vastaavasti ylikuormituksen vahtipiirien määrää, jos niihin on tarvetta. On kuitenkin huolehdittava päätetransistorien riittävästä kantavirran saannista ja suotokondensaattorien riittävästä mitoitukselta. Siksi päätetransistoria syöttävä transistorin voi joutua korvaamaan darlingtontransistorilla. Liikaa vahvistusta on kuitenkin vältettävä, ettei syntyisi loisivärähtelyjä. Suositeltavinta olisi käyttää audiotaajuustransistoreita (f_T muutama MHz). Myös muuntajan mitoitus, sulakkeet yms. on kasvatettava tarvetta vastaavaksi.

Teholähteet on suunniteltu ensisijaisesti kotiverstaan tarpeita silmälläpitäen. Monet radioamatöörilaitteet ovat herkkiä ylijännitteille. Siksi piireihin on sisällytetty ylijännitetarkkailu. Useimmissa kytkennöissä olen säätänyt päätöksentekokynnyksen rajaksi + 5 %. Kovin pieneksi sitä ei kannata asettaa, sillä vertailupiirinä toimivan mikropiirin sisääntulon siirrosjännite (off set)

samoin kuin vertailujännite (referenssijännite) ryömivät lämpötilan funktiona. Epäedullisimmassa tapauksessa ryömintä saattaa tapahtua samaan suuntaan ja silloin virhearvioinnin mahdollisuus kasvaa ja voi seurata virhetoiminto. Kytkenät on suunniteltu niin, että ulostulojännite ajetaan silmänräpäyksessä nolleen. Käytän eräänlaisena kiikkuna tyristoria. Kun se liipaisaan, se jää johtavaan tilaan, jos läpikulkeva virta ylittää pitovirran rajan. Teholähde voidaan käynnistää tällöin vain sammuttamalla koko laite ja käynnistämällä se sitten uudelleen. Pidän tilannetta, jossa jännite ylittyy niin vakavana, että se antaa aiheita tarkempiin tutkimuksiin ja siis laitteen sammuttamiseen joka tapauksessa.

ARRL-Handbook:in kytkennöissä on käytetty suojaaman ylijännitteeltä kuormana olevaa laitetta tyristoripiirillä, joka vie ulostulon oikosulkuun ylijännitteen esiintyessä. Tällöin teholähteen pitää olla virtarajoitettu. Liipaisupiirinä on näissä kytkennöissä mikropiiri MC3423P. Tätä mikropiiriä näyttäisi myyvän Tele-Tukku Oy Järvenpäässä (SRAL:in yhteistyöyhteisö). (Kytkenä esim. ARRL Handbook 2014 s.7.62 "Overvoltage crowbar circuit").

Liipaisupiirin voi tietysti rakentaa itse erilliskomponenteista. Vaikka virta olisikin sääti-
men ulostulossa rajattu, mutta jos se ei laske merkityksettömän pieneksi, päätetran-
sistorit saattavat ylikuumentua ja tuhoutua, sillä niiden tehohäviö kasvaa oikosulku-
tilanteessa.

Olen tehnyt kytkentöihini ylijännitesuojauksen toisella tavoin. Jos itse säädin joutuu epäkuntoon tai jotain muuta hajoaa radikaalisti suurtehopuolelta, ei kytkentäni kykene suojaamaan kuormana olevaa laitetta. Suurivirtaisen sulakkeenkin asettaminen sarjaan ulostulon kanssa on ongelmallinen, eikä se suojaakaan kaikilta ongelmatilanteilta, vaan se taas puolestaan aiheuttaa vastuksensa takia pieniä jännitehäviöitä ulostuloon ja lisää säädön

virhettä. Tämä riippuu tietysti takaisinkytkennän paikasta, mutta pitkät johtimet lisäävät puolestaan loisivärähtelyvaaraa! Sulake ei ole kovin nopea.

Ylikuormitustapauksessa jännitelähde itse on vaarassa ja kuormassa saattaa olla oikosulku ja ulostulon katkaisu on siten aivan tarpeellista. Tilanne on mielestäni niin vakava, että tarve käynnistää jännitelähde uudelleen, ei ole mikään ongelma

Kytkennoissä on ulostulossa tehodiodi siltä varalta, että kytkettävä laite antaa ulostuloon vääränapaista sähköä. Näin voi käydä esimerkiksi, jos kytkettävässä laitteessa on varautuneita kondensaattoreita ja napaisuus on väärä.

Jotta ylijännite- ja ylikuormitussuojaus sekä niihin liittyvät merkkivalot toimisivat ulostulosta riippumatta, on niitä varten sisällytettävä kytkentään oma, ulostulosta riippumaton jännitelähteensä. Kahden ledin avulla käyttäjälle välitetään tieto, mikä on ulostulon alasajon syy.

Jos jännitelähde tulee osaksi muuta laitetta, voidaan ylijännite- ja ylikuormitussuojaus yleensä jättää pois samoin kuin tässä tapauksessa muukin tarpeettomaksi jäävä.

Jollekulle saattaa juolahtaa mieleen asentaa säätimen takaisinkytkentäketjuun kondensaattori/-reita mahdollisten radiohäiriöiden poistamiseksi. Niin ei saa menetellä kahdestakin syystä. Takaisinkytkentäketju on suhteellisen suuri-impedanssinen. Pienikin kondensaattori aiheuttaa säätöön viivettä ja siitä seuraa myös kuormituksen vaihdellessa jänniteylityksiä ja -piikkejä ulostuloon. Ne saattavat olla tuhoisia herkille puolijohdelaitteille.

Vielä turvallisuusnäkökohdista

Kun jännitelähde sammutetaan, jää suotokondensaattoriin/-reihin merkittävä varaus ja jännite voi olla hengenvaarallinenkin sen suuruudesta riippuen. Siksi suodatinkondensaattorin varauksen purkamista varten sen napoihin kytketään "vuotovastus" (bleeder resistor), samoin koko jännitesäätimen ulostuloon, missä sen tehtävänä on myös toimia minimikuormana ja siten parantaa ulostulon jännitesäätöä. Vuotovastuksen tehonkesto ja toiminnan luotettavuus ovat elintärkeitä varsinkin suurjännitelähteen tapauksessa. Siksi se kannattaa ylimitoittaa tehon kestoiltaan reilusti tai tehdä vaikka kahdesta rinnakkaisesta vastuksesta/vastusketjusta. Poikkipalanut vastus voi muodostua hengenvaaraksi.

ARRL Handbook 2006 kappale 17.20 antaa suurjännitelähteille suunnitteluohjeeksi, että ulostulojännitteen tulee laskea 30 V:iin tai alle kahden sekunnin kuluessa laitteen sammuttamisesta.

Vastuksen kautta purkautuvan kondensaattorin jännite noudattaa kaavaa: $v(t) = V_A e^{-t/(RC)}$, missä V_A on jännite alkutilanteessa. Jos halutaan laskea, minkä kokoinen vastus on kytkettävä, jotta kondensaattori saavuttaisi loppujännitteen V_L ajassa T (yksikkö sekunti), se saadaan kaavasta: $R = T / (C \times \ln(V_A/V_L))$ (e on ns. luonnollinen eli Neperin luku, $\ln$ on luonnollinen logaritmi ja tämä funktio löytyy tieteislaskimista.). Esimerkiksi jos $T = 2$ s, $C = 40$ mF, $V_A = 65$ V ja $V_L = 30$ V, saadaan $R = 65$ ohmia. Tämä merkitsisi 65 W:in tehohävikkiä laitteen toimiessa. Vertaa ratkaisuani jännitelähteessä 50 V 40 A.

Olen sisällyttänyt kunkin jännitelähteen rakenteeseen ison sinisen ledin, joka kertoo jännitteestä laitteen sisällä sammuttamisen jälkeenkin. Jännitettä on vielä jäljellä jonkin aikaa ledin sammuttuakin. Käyttökelpoinen ja samalla hyödyllinen ajatus on käyttää tasajännitetuuletinta, joka on kuormana suotokondensaattorille. Samalla, kun se purkaa kondensaattoria, saadaan laitteen sisälle jälkituuletusta, mikä voi olla ihan tarpeellis-

takin. Tuuletus loppuu, kun virta käy vähiin kondensaattorissa.

Valmiin laitteen säädöt ja testaus

Ulostulojännite kannattaa säätää ensin oikeaksi. Jänniterajoitus vain hämmentää ja ohjata ulostulon nollaan, jos säätö on "väärällä puolella" vertailujännitettä. Säädön saa oikeaksi vaikka vastusmittarilla. Ellei muuta keksi, voi tilapäisesti katkaista ylijännitevahdin ulostulon irrottamalla operaatiovahvistimen ulostulossa olevan vastuksen toisen pää. Sitten kannattaa katsoa oskilloskoopilla, esiintyykö loisvärähtelyjä. Tutkimus on syytä tehdä siten, että kasvat-
taa ulostulovirtaa esim. 20 prosenttiyksikön portain tai vielä tiheämmin portain maksimiinsa. Tiettyillä kuormituksen arvoilla voi esiintyä loisvärähtelyjä, vaikka niitä ei muilla kuormilla olisi-
kaan. Loisvärähtelyt on poistettava seuraavaksi.

Jännitevahti kannattaa säätää ensin niin, että tarkkailujännite (potentiometrin liu'un jän-
nite) on reilusti yli vertailuarvon. Sitten säädetään ulostulojännite sille tasolle, jolla jänni-
terajoituksen halutaan toimivan. Sitten käännetään jännitevahdin potentiometriä, kunnes
jänniterajoitin toimii. Tällöin säätöarvo on oikein. Laitteen virta katkaistuna säädetään
ulostulojännitettä potentiometristä alaspäin jonkin matkaa niin, ettei jännitteenrajoitus
enää toimi. Potentiometrien kiertosuunta on muistettava, jos halutaan välttyä turhalta
puuhastelulta. Kytetään laitteen virta ja säädetään ulostulojännite oikealle tasolle. Säädöt
ovat nyt kohdallaan. Potentiometrien ruuveihin voi laittaa pisanan liimaa, jotta pysyvät
paikoillaan.

Virranrajoitusta ei näissä kytkennöissä voi säätää, vaan raja-arvo riippuu komponenttien
ominaisuuksista ja on siten kiinteä. Jos haluaa tarkemman säädön, voi sen toteuttaa esi-
merkiksi valitsemalla päätetransistorien emitterivastukset hiukan suuremmiksi ja asetta-

malla niiden rinnalle potentiometrin kuhunkin ja viemällä liu'ulta jännite vastaavalle virtaa tarkkailevalle transistoreille. Potentiometrejä säätämällä saadaan sitten tarkasti haluttu virranrajoitus.

Komponenttitietoa

Piirikorttien komponenttien tilanvarauksessa olen käyttänyt niiden komponenttien mittoja, joita on sattunut olemaan varastossani. Joitakin vastuksia olen käyttänyt samalla hyppylankoina. Tällöin johtimien katkaisupituus on tietenkin tavanomaista pitempi ja komponentin koko piirroksessa on täytynyt valita luonnollista kokoa suuremmaksi!

Jännitesäädinmikropiirit

Tällä hetkellä on tarjolla mm. seuraavia jännitesäädinmikropiirejä: säädettävä jännite: positiiviset säätimet LM 723 ja LM 317T ja negatiivinen säädin LM 337T. Kiinteälle jännitteelle on positiivinen säädin SG7800-sarja 5,0 V, 12 V ja 15 V. Motororalta löytyy positiivinen säädin MC7800-sarja 5 V - 24 V ja negatiivinen MC7900-sarja -5 V - -24V. Hakkurisäätimiä ovat esim. LM2575. Itse käytän edellä mainituista LM723 ja kiinteäjännitteisistä niitä, joiden antama virta täyttää käyttökohteen koko tarpeen. LM723 on siitä käytännöllinen, että sen ulostulo voidaan kytkeä pois ja päälle nastasta 13 (dualinline kotelo). Lisäksi taajuuskompensointi on helppo toteuttaa. Suunnittelussa on vain muistettava, että LM723:n ulostulossa on sekä avoin kollektori (open collector) tai emitteriseuraaja, mikä määrää ohjausvirran kulkusuunnan.

LM317T ja LM337T kyllä toimivat tyydyttävästi, mutta jos virtaa haluaa kasvattaa lisäkomponenteilla, muodostuu loisvärähtelyistä suuri ongelma. Tein kolme erilaista piirikorttia, eikä löytynyt mitään keinoa loisvärähtelyn (600 kHz - 2 MHz) poistamiseksi monista, erilaisista yrityksistä huolimatta. Olen luopunut kokonaan näiden piirien käytöstä.

Kokeeksi suunnittelin negatiivisen säätimen perinteisellä operaatiovahvistimella LM741. Piirin sisäinen kompensointi ei riittänyt torjumaan loisivärsähtelyjä, mutta sen jälkeen kun oikea lääke niihin löytyi, kytkentä toimii erinomaisesti. Säädön tarkkuus on aivan yhtä hyvä kuin LM723:lla. Jännitelähteen rakentaminen täysin erillisistä komponenteista, ei mikropiireistä on ihan harkinnan arvoinen asia. Pienempi vahvistus suojaa paremmin loisivärsähtelyiltä.

Kun käyttää LM 741:ä, on huomattava, että se on normaali kaksipuolisen käyttöjännitteen vaativa operaatiovahvistin. Sitä voi käyttää myös yksipuolisena, mutta on huomioitava, että ulostulo jää 3 V alemmas ylemmästä syöttöjännitteestä ja vastaavasti 3 V alemman yläpuolelle.

Liittimet ja suurten virtojen jakokiskot

Olen käyttänyt piirikortilla riviliittimiä, joita pidän kätevinä varsinkin tuotekehittelyssä. Kun virta ylittää 25 A, eivät monetkaan banaaniliittimen tapaiset liittimet kestä sulamatta. Powerpole -liittimet kestävätkin 30 A (Elgood Oy / Partco). 40 A:in virroilla olen turvautunut hitsauskoneen liittimiin ja niitähän saa alan tarvikeliikkeistä (Vakiopaine Oy).

Laitteen sisällä suurten virtojen kytkemiseen olen käyttänyt osista koottavia "nollakiskoja". Irto-osien saaminen voi olla pulmallista. Tuotemerkillä Electrogear on imestynyt sähkötarvikeliikkeisiin Din-kiskolle asennettavia, valmiiksi eristettyjä nollakiskoja (Maahantuoja Kaupahuone Harju Oy, Tampere, vähittäismyynti esim. Puuilon myymälöissä). Ne ovat ihan käteviä.

Ohitusvastukset (shunt resistors)

Ohitusvastuksia suuria virtoja varten voi ostaa esim. Takova Oy:ltä. Ne antavat 60 mV, 100 mV, 150 mV tai 300 mV täydellä virralla 1 ampeerista ylöspäin. Kaikkia kokoja ei tietysti ole varastotavarana. Takova Oy myy myös mittareita erityistarkoituksiin ja tekee tarvittaessa asteikkojakin. Itse olen käyttänyt 60 mV:n antureita kytkennöissäni ja säätänyt melkein kaikki käyttämäni mittarit itse.

Suotokondensaattorit ja tasasuuntaussillat

Suotokondensaattori kannattaa mielestäni valita siten, että jakson aikana purkautuva virta on 10 A. Kondensaattorilla on oma sisäinen vastuksensa ESR ja sen on syytä olla alhainen. Sisäisten häviöiden seurauksena kondensaattori lämpiää. Valmistaja antaa maksimivirran ja 10 mF:n kondensaattorissa se on esim. 10 A. Riippuen diodisillan virrankestosta saattaa käynnistysvastus olla tarpeen, jottei diodisilta kuormittuisi liikaa.

Karkeasti laskettuna jännitevaihtelu on tällaisessa kondensaattorissa 10 A:lla $\Delta U = \Delta Q / C = \Delta T \times I_o // C = 10 \text{ ms} \times 10 \text{ A} / 10 \text{ mF} = 10 \text{ V}$ (ΔU = jännitteen muutos jakson puolikkaan aikana, ΔQ = kondensaattorin varauksen muutos, C = kapasitanssi, $\Delta T = 50 \text{ Hz:n}$ jakson puolikkaan pituus = 10 ms, I_o = kuormitusvirta). Tämä kaava antaa mielestäni ihan riittävän laskentatarkkuuden.

Jos halutaan matemaattisesti tarkempaa mallia, laskenta mutkistuu huomattavasti ja tulos ei paljoa poikkea tuosta karkeasta tuloksesta. Lisäksi näillä komponenteilla ovat melkoiset toleranssit ja laskennan tulos on siis vain suuntaa-antava.

Tarkastellaan hiukan tasasuuntaussillan virrankestovaatimusta. Koska silta johtaa vain osan ajasta, virta kohoo suotokondensaattorien varautumisen aikana reilusti yli keskikuormituksen.

Sähköverkon ja tasasuuntaussillan ulostulon välille muodostuu sisäinen resistanssi muuntajan, johdotusten ja tasasuuntaussillan häviöiden yhteisvaikutuksesta. Jos suotokondensaattori on suuri, voidaan sen varautumisnopeutta joutua rajoittamaan erityisesti käynnistystilanteessa, jotta sulakkeet eivät palaishi ja itse silta kestäisi. Myös jokaisen vaiheen latautumisjakson virtaa voidaan joutua rajoittamaan sarjavastuksella.

Generaattorin, sarjavastuksen ja kondensaattorin sekä sen navasta lähtevälle kuormitusvirralle saadaan differentiaaliyhtälö:

$$e(t) = R_s (i(t) + I_L) + \int i(t) dt / C, \text{ missä } e(t) = \hat{u} \sin(\omega t), R_s = \text{sarjavastus}, I_L = \text{kuormitusvirta}$$

(oletettu vakioksi), $\hat{u}$ = sinikäyrän huippuarvo, $i(t)$ = kondensaattorin virta .

Differentiaaliyhtälön ratkaisu on:

$$i(t) = K e^{-at} + b \sin(\omega t + \arctan(a/\omega)) / \sqrt{a^2 + \omega^2}, \text{ missä } a = 1/(R_s C) \text{ ja } b = \hat{u}\omega/R_s$$

$$i(t) = K \times e^{-at} + \frac{b \times \sin(\omega t + \tan^{-1} \frac{a}{\omega})}{\sqrt{a^2 + \omega^2}}, \text{ missä } a = 1/R_s C \text{ ja } b = \omega \hat{u} / R_s$$

missä K on vakio.

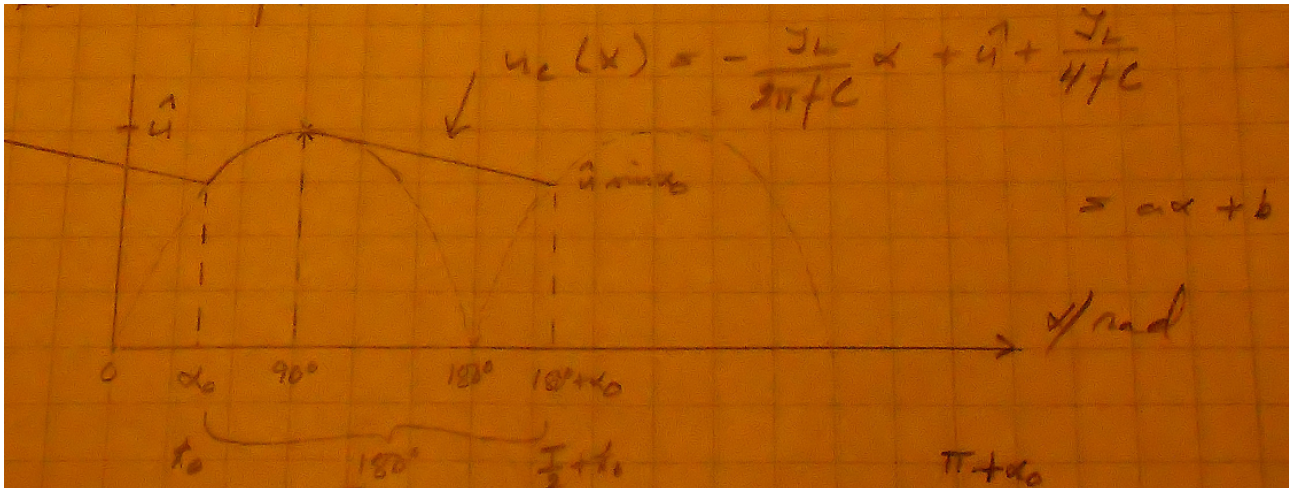
Aika kuluttaa pois ensimmäisen termin. Kondensaattorin kuormitussuora on laskettu alkavaksi sinin huipusta $\omega t = 90^\circ = \pi/2$, jolloin sen ja sinikäyrän seuraava leikkauspiste on likimain:

$$u(\alpha + \pi) = -I_L (\alpha + \pi) / (2\pi f C) + \hat{u} + I_L / (4f C)$$

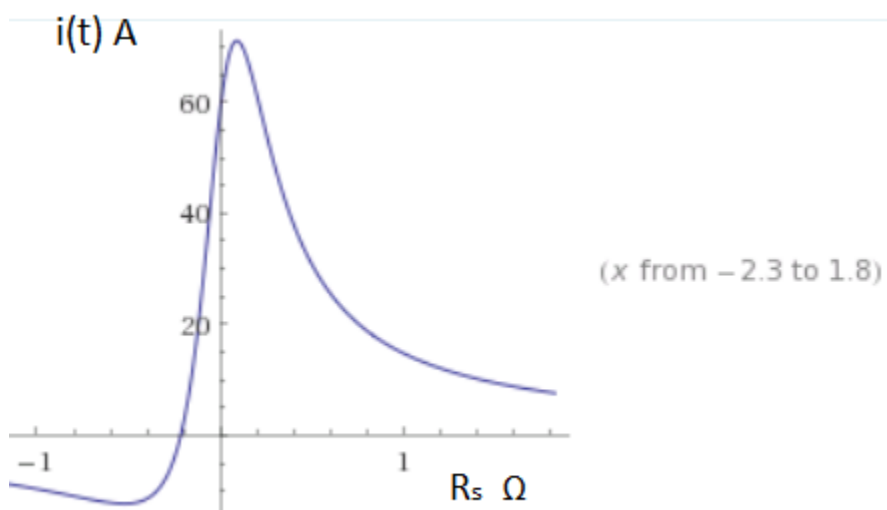
(vrt. kuva! Tarkan arvon yhtälön vakiotermille määrittäisi kuormitussuoran kohta, joka sivuaa sinikäyrrää. Tuossa pisteessä kuormitussuora eroaa sinikäyrästä ja kondensaattorin varaus alkaa purkautua, mutta laskuissa virhe jää tosi pieneksi.) Tämä laskelma koskee siis tilannetta, jolloin piirin tila on jo vakiintunut laitteen käynnistämisen jälkeen.

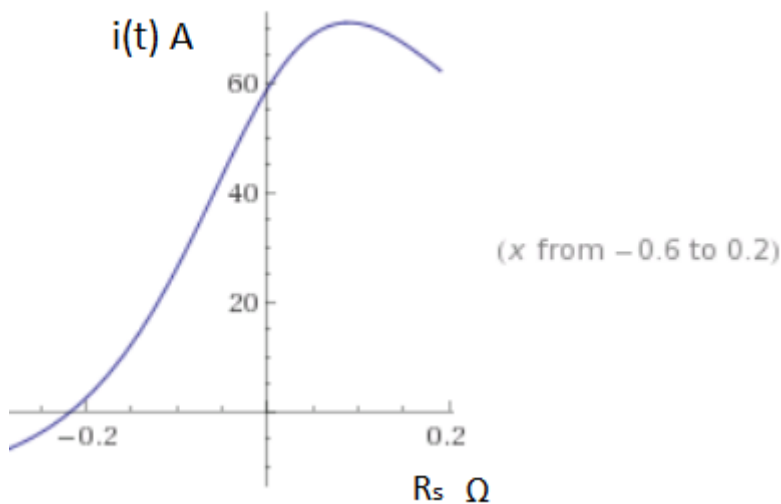
Tällöin kondensaattorin ensi ensivarautuminen johtaa vielä paljon suurempaan virtaan.

Valmistaja antaa tilapäisen syöksyvirran suuruuden ja keston. Tämä virtapiikki ei siis saa toistua esim. verkkovirran sykkeen mukaisesti..



Virta erilaisilla piirin sisäisen vastuksen arvoilla siinä pisteessä, missä suotokondensaattorin purkautumissuora kohtaa sinikäyrän :





(Huom. piirroksissa on matemaattisen funktion kuvaaja. R_s ei voi todellisuudessa olla negatiivinen.)

Esimerkki: $\hat{u} = 18,2 \text{ V}$ (Jos $R_s = 0$, on virta teoreettisesti 84 A, kun sinikäyrä ylittää nollatason $dq(t)/dt = i_c(t) = d/(C\hat{u}\sin(\omega t))/dt = C\hat{u}\omega\cos(\omega t) = 84 \text{ A}$ kun $(\omega t) = 0$).

Kuormituskuorma kohtaa nousevan sinikäyrän nollakohdasta laskettuna 10 A:in kuormalla ja 14,7 mF:in suotokondensaattorilla kulmalla $\alpha = \omega t \approx 45^\circ = 0,783 \text{ rad}$. Tällöin käyrästä

voidaan lukea, että sillan virta nousee suurimmillaan $70 \text{ A} + 10 \text{ A} = 80 \text{ A}$:iin hetkellisesti, jos verkko-osan sisäinen vastus on 0,1 Ω luokkaa. 0,6 ohmin vastus riittää pudottamaan virtapiikin $20 \text{ A} + 10 \text{ A} = 30 \text{ A}$:iin.

Diodeille samoin kuin tieteenkin silloille ilmoitetaan toistuva sekä tilapäinen myötäsuntaisen virran maksimiarvo (aikarajattu) ja maksimi jatkuva, resistiiviseen kuormaan syötetty virta. Esim. Fagorin sillalle FB 5002 ilmoitetaan 150 A, 500 A 10 ms ja työvirta 50 A eli esim. tämä kestää hyvin tässä kytkennässä. Häviötehoa muodostuu $2,4 \text{ V} \times 10 \text{ A} = 24 \text{ W}$.

Virtapiikki jokaisen jakson alussa aiheuttaa lisää jännitehäviötä tasasuuntaussilta ja kuumentaa keskiarvoa enemmän, joten myös tasasuuntaussillan jäädytykseen on kiinnitettävä huomiota. Virtapiikkiä voi tieteenkin rajoittaa sarjavastuksella, mutta pitää huomioida, että siinä tapahtuu jännitehäviöitä, mikä on sisällytettävä jännitebudjettiin. Jännitehäviö on

huomattavasti suurempi kuin kuormitusvirta kertaakaan sarjavastus, sillä kondensaattori varautuu vain lyhyellä jakson osalla.

Taulumittarit

Tietyn valmistajan taulumittarisarja, jossa on mittareita monille virroille ja jännitteille, näyttää ainakin minun kokemuksen mukaan olevan rakenteeltaan sellainen, että koko sarja on valmistettu samalla koneistolla (virta esim. vähän alle 1 mA täysnäyttämällä, $R_s < 60 \Omega$). Mitta-alueet saadaan aikaan ohitusvastuksilla (virta) ja sarjavastuksilla (jännite) ja varustamalla mittari halutun mittausalueen asteikolla. Vastus on helppo ottaa mittarin sisältä pois ja lisätä sopivan suuruusena vaikka piirikortille suurempiohmisen potentiometrin kanssa sarjaan -/ rinnankytkettynä, jolloin mittarin voidaan muokata osoittamaan haluttua mittausaluetta.

Ongelmana ovat asteikot. Netistä ja ARRL-Handbook:in mukana tulevalta CD:ltä löytyy asteikonpiirto-ohjelmia, mutta sopivan asteikkomateriaalin löytäminen on minusta ongelma. Sen pitäisi soveltua tavalliseen mustesuihkutulostimeen (tai laaseriin) ja lisäksi kestää kosteutta sekä mieluiten ruuvikiinnityksen. Itse olen valinnut mittarin lähinnä sopivan asteikon mukaan ja kirjoittanut helppokäyttöisen korjauskertoimen etulevyyn. Mittausalueen olen sitten räätälöinnyt ulkopuolisilla vastuksilla.

Jollekulle saattaa juolahtaa mieleen käyttää operaatiovahvistinta valmiin mittarin asteikon ja mittauskohteen yhteensovittamiseksi. Koska virtamittauksessa ohivirtausvastus antaa maksimissaan vain esim. 60 mV, muodostuu mikropiirin sisääntulon siirrosjännite (off set) ongelmaksi. Se voi olla näillä jännitetasoilla kymmenisen prosenttia mitattavasta suureesta. Sehän voidaan säätää pois, mutta se ryömii joka tapauksessa lämpötilan funktiona ja mitaustulos jää epätarkaksi. Ryöminnälle valmistaja ilmoittaa vain jotkin äärirajat tai ylärajan. Mittaustarkkuus jää siten komponenttikohtaiseksi. Kaikki, mitä lisätään kytkentään, lisää aina mittauksen epätarkkuutta. Tekemilläni järjestelyillä tämä lisäongelma vältetään

täysin.

Elämme digitaaliaikaa ja joku voi kysyä, miksi näin vanhoillinen ratkaisu - miksi ei digitaalinäyttöä. Jos mittauksen huojuu, kuormitusmuutoksen tapauksessa syntyy jännitepiikki jne, se näkyy osoitinmittarin näytössä vaikkei tarkasti mutta suuntaa-antavasti. Sen olemassaolo joka tapauksessa paljastuu. Digitaalinäyttö taas menee ihan sekaisin nopeassa muutostilanteessa ja vaikka ei menisikään, ei sitä ehditä lukea nopeiden muutosten tapauksessa. Siksi vanhassa analogianäytössä on vara parempi!

Huomioitavaa

KytKentäjohtojen jännitteenkeston kanssa on oltava tarkkana. Autojohdinten jännitteenkesto saattaa olla alle 40 V. Suositteisin Muuntajan toisiopuolelle vähintään 100 V:in jännitekesto. Riittävä poikkipinta on tärkeä siksi, etteivät johtimet lämpenisi, mutta myös siksi, että jännitehäviöt aiheuttavat virhettä ulostulojännitteeseen, jos ulostulojännitteen tarkkuus on tärkeää. Jos pienikin jännitehäviö osuu säätimen "ohjausreitille", syntyy helposti virhettä. 40 A:lla vastus 0,01 ohmia tarkoittaa 0,4 voltia!

Muuntajan ensiöpuolelle asetettavat häiriönpoistokondensaattoreille ja niiden kytkemiselle on aivan omat laatuvaatimukset ja kytkentämääräykset, jotka on huomioitava säädösten mukaan, jos niitä käyttää. Niiden luokkamerkinnot ovat X1, X2, Y1 ja Y2 (saatavuus esim. Elgood Oy / Partco).

Vahinkojen välttämiseksi laitteen ulostuloa ei mielestäni kannata kytkeä sen runkoon varsinkaan, jos tehölähdettä käytetään kotiverstaan tarpeisiin ja rakentelukokeiluihin. Eri asia on, jos tehölähteestä tulee osa jotain laitetta. Verkkovirtaosan suojamaadoitus on tietenkin tehtävä säädösten mukaiseksi.

Tehovastus esim. 50 wattinen voi oikeasti räjähtää, jos siihen syötetään äkillisesti liian

suuri teho. Näin kävi minullekin kahdesti, kun en ensimmäisellä kerralla ottanut opiksi. Varovaisuutta! Myös elektrolyyttikondensaattori, jossa on suuri sisäinen vastus (ESR), voi kuumentua nopeasti ja voimakkaasti, jos sitä rasittaa loisvärähtely. Volttikin riittää kuumenemiseen ja kondensaattori voi huonoimmassa tapauksessa kärkehtää. Tällainen suurehko elektrolyyttikondensaattori on kaikissa näissä kytkennöissä ulostulossa ta-
saamassa mahdollisia kuormituspiikkejä. Kuumenemisen voi havaita sormikosketuk-
sella. Älä kosketa kondensaattoria suurilla jännitteillä, kun virta on kytkettynä. 40 V on jo hengenvaarallinen.

Kaikkiin piirustuksiini olen sisällyttänyt ison sinisen ledin merkkivaloksi. Kun jänniteläh-
dettä kuormitetaan täydellä teholla, voi ledin valo hiukan himmentyä. Ilmiössä ei ole
mitään huolestuttavaa. Ledin syöttöjännite vain putoaa ja siksi se palaa himmeämmin.
Tämä ison sinisen ledin valo on myös merkinä siitä, että suurissa suotokondensaatto-
reissa on vielä jännitettä verkkovirran katkaisun jälkeen. Tällä voi olla merkitystä kyt-
kettäessä laitteita ulostuloon. Kaksijännitelähteessä ± 15 V on tuuletin kytketty posi-
tiiviseen virtalähteeseen omassa laitteessani. Siksi positiivisen puolen led sammuu ne-
gatiivista paljon nopeammin.

Piirikortille ei pidä ohjata "suuria" virtoja (esim. tuuletin). Ne aiheuttavat säätövirhettä.
Virhettä aiheuttaa yhtä hyvin "plus- kuin nollapuolenkin" virta.

On syytä muistaa, että transistorin kanta-emitterijännite, diodin yli vaikuttava jännite
ja zener-jännite ovat olemassa vasta sitten, kun niissä kulkee virtaa. Jos virta on heikko
(zenerissä alle nimellisvirran), jännite riippuu voimakkaasti virrasta. Näissä komponent-
teissa ylimenojännite on myös lämpötilariippuvainen. Transistorin kunnon voi testata
karkeasti yleismittarilla, jossa on diodinmittausmahdollisuus. Transistorissahan on kak-

si diodia "selikkäin". Esim. kytkemällä npn-transistoriin plusnapa kannalle saadaan emitteriltä ja kollektorilta mitattua diodien ylimenojännitteet piitransistoreille luokkaa 0,5 V - 0,7 V , jos transistori on kunnossa.

Tuulettimen valintaan kannattaa kiinnittää huomiota ja käyttää jonkin verran rahaakin. Käyttämäni tuulettimet pitävät melkoista meteliä, mikä on epämiellyttävää. Peltikotelo antaa kaikupohjaa ja vielä lisää hälyääntä. Syöttämällä esim. 12 Vdc tuuletinta vain 11 - 12 V:in jännitteellä tilanne on hiukan parempi. 80 mm:in halkaisijan tuulettimella melutaso on pienempi.. Esimerkiksi tuotemerkillä NMB (230 Vac, Yleiselektroniikka Oy) ovat melutasot kuulalaakereilla varustettuna 80 mm:llä vain 24 dB(A) ja 120 mm:llä 34 dB(A), joka on jo häiritsevyyden rajamailla. Esimerkiksi tuotemerkillä Sunon (12 VDC 120 mm) melutaso on 44,5 dB(A), mikä on mielestäni aivan liikaa.

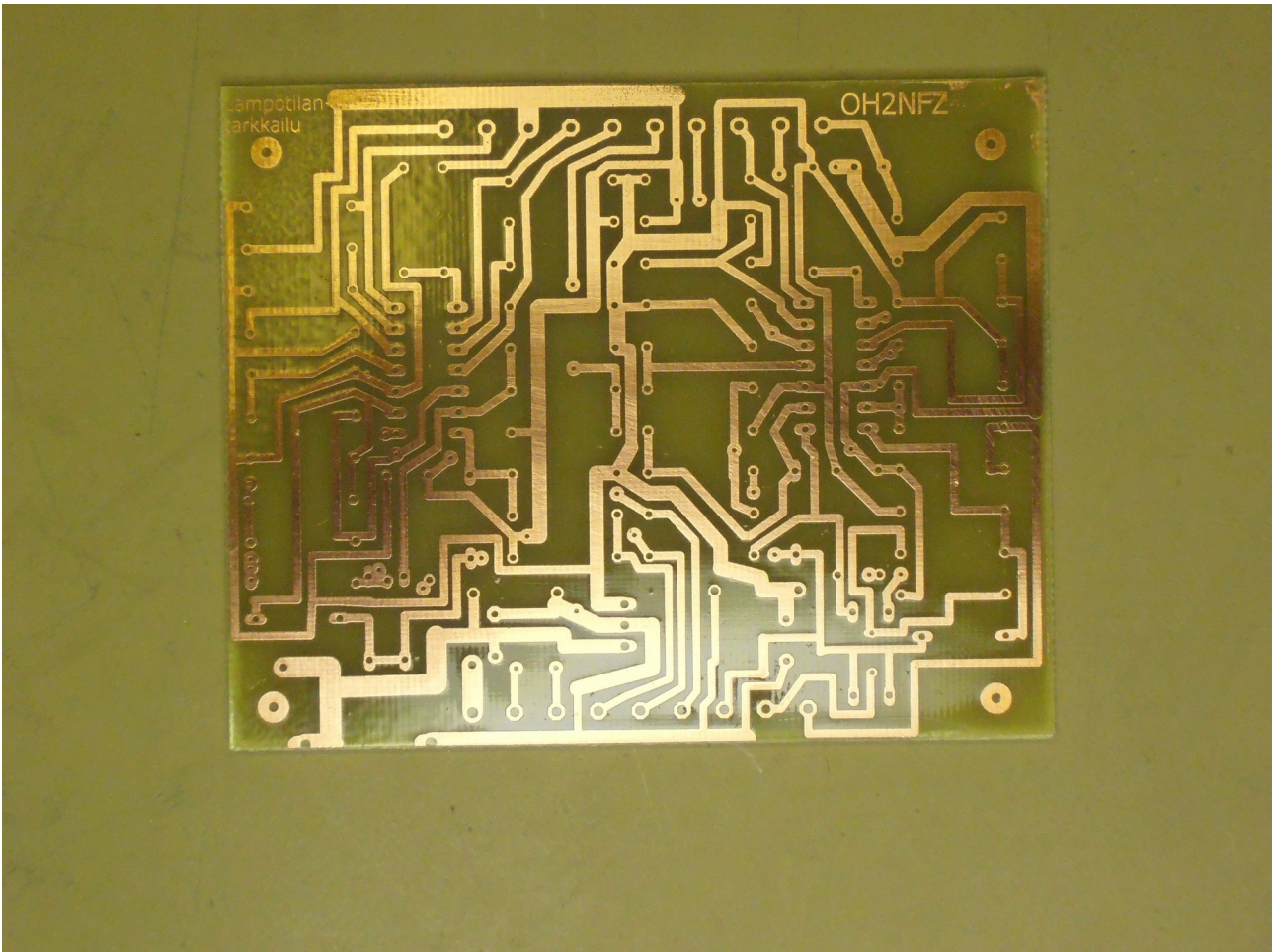
Oheistiedostot

Kaikkien jännitelähteiden yhteydessä on koko laitteen kytkentäkaavio, piirikortin kytkentäkaavio (kaikkia komponentteja ei asenneta piirikortille), komponenttien sijoittelukuva (hyppylangat on piirretty keltaisella) sekä valotusmaski. Valotusmaski on tulostettava ilman suurennusta tai pienennystä. Tällöin ainakin yksi sivu on vakiomittainen eli eurokortin mitat ovat 100 mm x 160 mm. Joissakin maskeissa saattaa olla pari millia ylimääräistäkin. Lisäksi on mukana valokuvia rakennetusta laitteesta.

Piirilevyn valmistus kotioloissa

Kotiverstaan toimivuudelle on piirikortin valmistustaito tuiki tärkeä. Tämänkin aiheen tiimoilta löytyy varmasti runsaasti besserwissereitä, mutta hyvään lopputulokseen vie var-

maan useampikin tie. Itse olen löytänyt osittain kokeilemalla toimivan ratkaisun. Siihen vaikuttavat myös eri valmistajien materiaalit. Kotioloissakin pääsee helposti millin murtoosan tarkkuuksiin.



Kuvassa esimerkki kotona syövyttämästäni piirikortista, koko 80 x 100 mm. Kapeimpien johteiden leveys on 0,05" eli 1,25 mm. Teksti on vielä paljon hennompaa.

Piirikaavion piirtämiseen ja valotusmaskin suunnitteluun olen käyttänyt Eagle-ohjelmaa. Se on ihan kätevä työkalu. Ilmaisversiolla voi suunnitella piirikortin 80 mm x 100 mm. Liittämällä kaksi kalvoa yhteen, voi täyttää koko eurokortin 100 mm x 160 mm. Alle 200 eurolla saa maksullisen version, jolla voi suunnitella koko eurokortin täyteen. Kun

hiukan tottuu johdotuksen suunnitteluun, ei tietokoneavusteista johdotusta (autorouter) kannata käyttää. Kyllähän se pyörittelee johdotusta, mutta se ei osaa sijoitella eikä vaikuttaa komponenttien sijoitteluun. Siksi lopputulos ei ole kovinkaan häävi. Tulee hyppy-lankoja runsaasti. Alkuun voi kokeilla sitä ja jatkaa johdotuksen kehittelyä sitten käsipöydällä tietokoneen ehdotuksen pohjalta.

Tulostus kalvolle pitää tehdä karhealle puolelle ja tarkoitukseen täytyy olla oikeanlainen kalvo. Tulostus kaikenlaisille kalvoille ei onnistu, muste leviää hallitsemattomasti. Laser ei tarkoitukseen sovellu. Sen tulostusjälki ei ole riittävän tumma. Ainut on mustesuihkutulostin. Siinäkin on kaikki asetukset: musteen määrä ja tulostustarkkuus viettävä aivan äärimmilleen niin, että tulostus tapahtuu todella hitaasti. Tulostetta on käsiteltävä varoen. Se vahingoittuu helposti. Sen on annettava kuivua kunnolla. Tulostus kannattaa tehdä positiivikuvana ja asettaa tulostusjälki valoherkkää kalvoa vasten. Tällöin muodostuu negatiivikuva ja valotus tapahtuu kalvon paksuuden verran lähempänä kohdetta. Valotustarkkuuden terävyydessä voitetaan näin jonkin verran.

Valotuslaitteeksi olen rakentanut viritelmän, missä noin 12 cm:in etäisyydellä valaistavasta kohteesta (yläpuolella) on kaksi 18 W:in ultraviolettiloisteputkea ja niiden takana pätkä loistevalaisimen heijastinta. Valaisinrungot ovat tavallisista valaisimista (Biltema) ja loisteputket valotuslaitteen varaputkia (Partco).

Olen käyttänyt Bungard-merkkisiä piirikortteja (Partco, eurokortti 100 mm x 160 mm). niissä on valmiina valoherkkä kalvo suojakalvon alla. Suojakalvo poistetaan "hämärissä" olosuhteissa. Valotusmaski asetetaan sen päälle ja tämän päälle vielä vähintään piirikortin kokoinen lasinpala, jotta valotusmaski painautuisi suoraksi ja tarkasti kiinni piirikorttiin. Sopiva valotusaika näillä järjestelyillä on 7 minuuttia. Aika ei ole hirveän tarkka.

Pitempi aika tekee tuhoa sillä tavoin, että mustesuihkun tulostusjäljessä on hiushalkeamia. Nämä välittyvät piirikortille ja johdinkohtiin tulee runsaasti hiuksenhienoja katkoja.

Kehitys tapahtuu nesteessä, joka valmistetaan seuraavasti. Lisätään natriumhydroksidia NaOH 10 g yhteen litraan puhdasta vettä, lämpötila maksimissaan 25 °C (annospussi 10 g / Partco). Käyttölämpötilan tulisi olla noin 30 °C. Kehitysaika on noin 2 minuuttia. Piirikorttia kannattaa huljutella nesteessä käsin käyttäen suojakäsineitä (nitrili). Oikea lämpötila on tärkeä ja sitä on kätevintä mitata tässä hankkeessa infrapunalämpömittarilla. Kehityksen jälkeen tulee piirikortti huuhdella puhtaalla vedellä.

Syövytysneste valmistetaan puolestaan seuraavasti. Natriumpersulfaattia lisätään 250 g (myydään esim. annospussissa 250 g / Partco) yhteen litraan puhdasta vettä. Syövytystä varten kannattaa rakentaa / ostaa lasi tms. astia, johon piirikortin voi asettaa pystyyn niin, että tuo nestemäärä riittää peittämään koko kortin. On tärkeää voida tarkkailla ulkopuolelta syöpymisen edistymistä. Olisi hyvä, jos astiassa olisi termostaattiohjattu vastus. Nesteen voi kyllä lämmittää ennakoon vaikka vähän yli tavoitelämmön. Se ei ehdi jäähtyä liikaa syövytyksen aikana. Oikea syövytyslämpötila on sekin tärkeä ja sen tulisi olla noin 50 °C. Syöpymisen tasaisuutta ja nopeutta auttavat merkittävästi syövytysastian pohjalle puhallettavat ilmakuplat. Ne saadaan aikaan akvaarioilmapumpulla (20 - 30 €). Ellei ole käytettävissä ilmapumppua tulee korttia huljutella syövytysnesteessä suojakäsineitä käyttäen ja tarkkailla samalla syöpymisen edistymistä. Riippuen nesteen iästä (Montako korttia sillä on jo syövytetty?) ja lämpötilasta, syövytys kestää luokkaa 5 - 15 minuuttia.

Kehitys- ja syövytysnestettä voidaan parhaimmassa tapauksessa käyttää noin kymmenen eurokortin valmistamiseen. Pitkäaikainen nesteitten säilytys syö niiden tehoa. Kehitysnesteen raja tulee vastaan silläkin tavalla, että sen läpinäkyvyys käytössä heikkenee merkit-

tävästi.

Kun syövytysaika lähestyy 15 minuuttia, alkaa syövytysneste olla tiensä päässä. Kumpikin liuos ovat ongelmajätettä ja ne on toimitettava niille tarkoitettuun jätteidenkeräykseen.

Kun piirikortti on syöpynyt, se huuhdellaan puhtaalla vedellä. Jäljellä oleva valotusmaski poistetaan hiomalla kortin pintaa juoksevan, lämpimän veden alla samalla hiomalla sitä teräsvillalla ja saippualla. Sitten kortti kuivataan. Lopuksi se kannatta peittää suojalakalla korroosion estämiseksi. Esimerkiksi Plastic spray PRF 202 (Partco) soveltuu hyvin tähän tarkoitukseen. Sen läpi voi juottaa ongelmitta.

Piirikortin kiinnitys alustaan sujuu esimerkiksi neljällä neljän millin koneruuvilla kortin kulmista. Piirilevy saadaan eristettyä alustastaan käyttämällä ruuvien ympärillä lieriönmuotoisia piirilevytukia esim. 10 mm pitkiä (Kitagawa KK4-10, Yleiselektroniikka Oyj).

Piirikortin valmistamisesta ja pintaliitospiirien rakentelusta aloittelija voi saada hyviä ohjeita kirjasta Tauno Rupponen: Pintaliitoskomponenttien kytkentöjä, WSOY.

Joitakin vinkkejä kokemattomalle rakentelijalle

Laitteen kotelointia ajatellen ahtaus on pahimpia vihollisia, sillä se teetättää sekä asennuksen että korjauksen yhteydessä paljon työtä. Olisi hyvä päästä joka paikkaan käsiksi purkamatta mitään. Vanhan tietokoneen kotelo voisi olla aika hyvä ratkaisu. Painavat osat pohjalle, jolloin painopiste jäisi alas ja kotelo pysyisi paremmin pystyssä.

Kiinnitys sujuu mainiosti 3 ja 4 millin koneruuveilla. Jenka on monesti parempi ratkaisu kuin mutteri. 1,5 mm:in teräspeltiin jengan teko sujuu aivan mainiosti. Mutterin asentaminen kulman taakse tai sormien ulottumattomiin kyllä monesti onnistuu, mutta on vaivalloista

ja hidasta. Apuna voi käyttää mieluummin lievästi magnetoituneita työkaluja. Kun jousiprikan asentaa mutterin alle, jousiprikka yleensä riittää kiristämään ilman lisätyökalua mutterin, kunhan kiristymisen saa ensin lievästi alkuun vaikka pitämällä aluksi sormella vastaan.

OH2NFZ Kari Sirén