

## Lineaarinen jännitelähde 24 V - 26 V - 28 V 40 A



### Lähtökohta

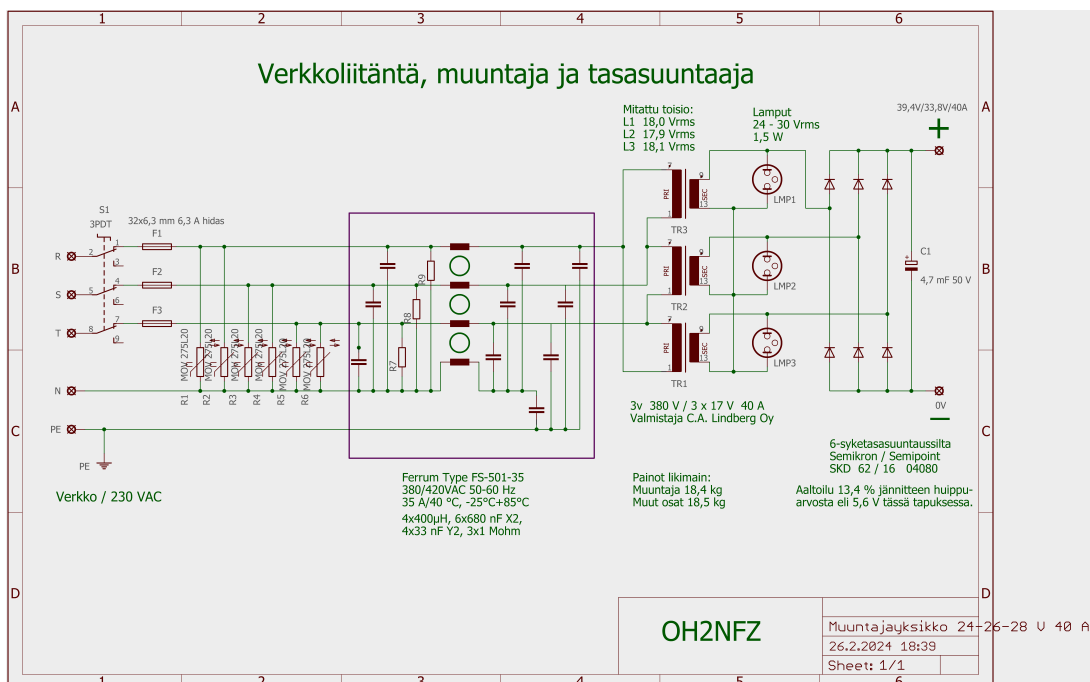
Osa RF-linukoista käyttää jännitteitä 24 V, 26 V ja 28 V ja siten syntyi tarve suunnitella ja rakentaa sellainen. Suunnittelussa komponentti- ja muutkin rakenneosavalinnat syntyivät tutkimalla, mikä oli kertynyt varastoihini vuosikymmenten aikana. Tehdyt valinnat eivät ole mitenkään ehdottomia. Keskeinen rakenneosa on muuntaja ja olin teetättänyt kolmivaiheisen kolmitolppamuuntajan joskus 80-luvulla, paino 18,4 kg, ensiöt 230 Vrms / toisiot 3 x 17 Vrms 40 A. Se oli tähän tarkoitukseen juuri sopiva. Se äänтелеe tyhjäkäynnillä jonkin verran, mutta ei häiritsevästi. Käyntiään vaimenee kuormitettaessa. Komivaiheisen syöttöjännitteen käytöstä on se etu, ettei tarvita jättimäisiä suodinkondensaattoreita. Kuusisyketasasuuntaus antaa aaltomuodon, jossa aaltoilu on vain 13,4 % huipusta laskeutuna. Tällöin myös hyötysuhde jää paremmaksi kuin suodinkondensaattoreilla. Kondensaattipatteriston kasvattaminen vaatii suurta huippuvirtaa ja siksi toisiokäämin ja tasa-suuntaajan on oltava tosi järeitä. Verkkoon aiheutuu voimakas virtapiikki ja siitäkään ei hyvää seuraa! Haittana kolmivaiheisessa on, että tarvitaan kolmivaiheinen verkkoliitäntä. Laitteesta tulee siis aika massiivinen ja kookas - tässä tapauksessa noin 40 kg ja mitat Leveys x Korkeus x Syvyys 19 x 44 x 52 cm. Vanha tietokonekotelo sai uuden elämän. Päätylevyt ja sisäinen rakenne menivät uusiksi. Kannattaa koota loppusijoituspaikalle!

### Suunnittelun tavoiteasettelu

- merkkiledit kullekin vaiheelle, että voi helposti havaita kaikkien vaiheiden olemassaolon

- ylikuormitus- / oikosulkusuojaus 42 A:lla ja laitteen toiminnan automaattinen alasajo  
Laitteen virta pitää sammuttaa kokonaan ja suorittaa uudelleenkäynnistys toiminnan jatkamiseksi.
- ylikuumenemissuojaus - menettely kuten edellä
- ylijännitesuojaus kaiken varalta, ylityksen raja +5 % jos kytkentä vikaantuu - menettely kuten edellä
- Kun laite käynnistetään, se käynnistyy tyhjäkäynnille. Ulostulo saadaan painamalla käynnistuspainiketta. Vastaavasti ulostulo voidaan katkaista painamalla seis-painiketta. Pidän tätä menettelyä hyvänä siksi, että suurivirtainen laatukeytkin on kallis ja tällä menettelyllä tuota kytkintä ei tarvita. Kytkentä tapahtuu elektroniikan ohjauspuolella. Kytkentä voidaan tietysti tehdä fetilläkin, mutta sen tulisi olla + puolella ja siis p-kanavainen. Ratkaisu on hankala toteuttaa, koska johdoissa tarvitaan suurta poikkipintaa.
- Tuulettimen käyntiäänäni muodostuu helposti häiritseväksi. Siksi tuuletus tehdään kolmiportaiseksi: Tyhjäkäynnillä ja, jos ei ole tarvetta, tuulettimet ovat pysähdyksissä. Ne käynnistyvät anturin ollessa noin 40 °C lämpötilassa ja käyttöjännite on tällöin 12 V:in luokkaa. Kun lämpötila saavuttaa likimain 52 °C, tuulettimet käynnistyvät täydellä teholla eli noin 24 V:illa. Tuuletuskanavan puhallin asetetaan ilmanottopäähän, jottei se turhaan kuumenisi ja anturi vastakkaiseen eli kuumaan päähän. Jos tuuletuskanavan lämpötila saavuttaa 70 °C, laite ajetaan alas kuten ylikuormitustapauksessa. Tuulettinten tulee siis toimia vähintäänkin jännitealueella 12 V - 24 V. Tuulettimien ohjaukseen asetetaan hystereesiä. Ne sammuvat matalammissa lämpötiloissa kuin käynnistyvät!
- Muuntajan toisio ja siihen liittyvä tasasuuntaaja tehdään kelluvaksi eli ilman maadoitusta. Näin siksi, että ulostulojännitteen miinus voidaan kytkeä nollopotentiaalia korkeampaan jännitteeseen. Tästä on se etu, että koekytkentöjä rakenneltaessa voidaan käyttää useampaa jännitelähdettä ja on mahdollista tehdä koekytkentöihin mitauksia ja säätöjä helpommin. Jos maadoitusta tarvitaan, se voidaan tehdä kuormitavassa laitteessa itsessään aivan vapaasti.

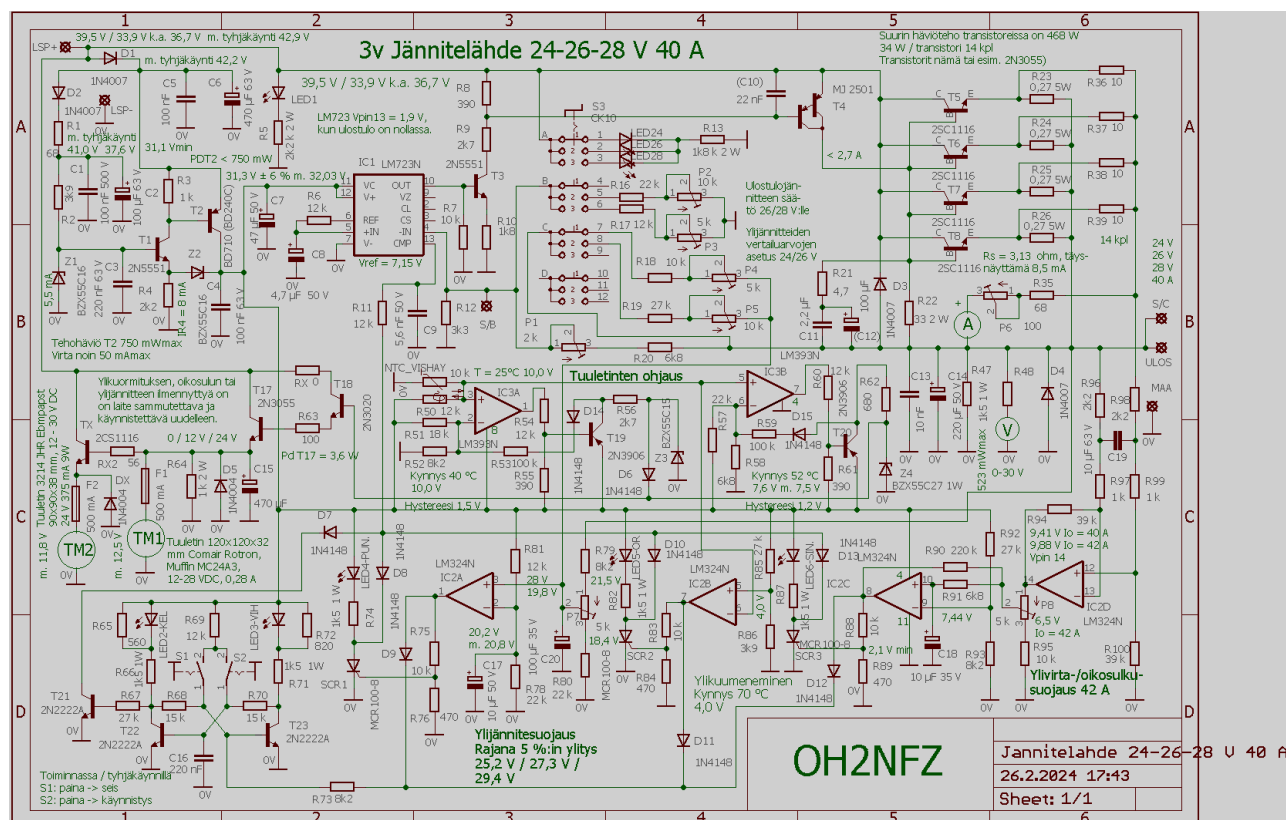
## KytKentäkaaviot



Verkko-osassa on suojauksena VDR- eli jänniteriippuvia vastuksia kaksi rinnan kuskakin vaiheessa suojaamassa sähköverkon jännitepiikeiltä. Seuraavana on kaupallinen kolmivaiheverkkosähkösuodin (järea, mutta tällainen löytyi) suojaamassa laitetta verkkohäiriöiltä ja myös sähköverkkoon kulkevilta rf-häiriöiltä.

Esim. tasasuuntaus on epälineaarista, mikä synnyttää radiohäiriöitä.

Tasasuuntaussillalla tapahtuu myös merkittävä tehohäviö, luokkaa 80 W:ia täydellä kuormalla. Siksi silta on varustettava tehokkaalla jäähdytyksellä.



Vasemmassa yläkulmassa on jännitesäädin laitteen omia tarpeita varten. Virhetilanteessa on sisäisten kytkentöjen virran jäätävä päälle, jotta mahdollinen virheilmoitus jäisi näkyviin. Diodeilla D1 ja D2 ja niihin liitetyillä kondensaattoreilla pyritään muodostamaan mahdollisimman korkea jännite tälle säätimelle. Ylimääräistä varaa ei ole. Mikropiirien jännitekestot ovat IC1 LM723 40 V, IC2 LM324 32 V ja IC3 LM393N 36 V (avoin kollektori). Jännitteen takia kriittiset kohdat ovat IC1 ja IC2D. Tasasuunnattu jännite voi tyhjäkäynnillä nousta aina 43 V:iin ja se on IC1:lle liikaa. Jännitetason korotus tehdään transistorilla T3.

Ulostulojännite on enimmillään 28 V lisättynä emitterivastusten jännitehäviöllä luokkaa 0,8 V. LM324 tarvitsee pelivaraa vähintään 1,5 V alle käyttöjännitteen. 32 V riittää siten rimaa hipoen ja antaa luotettavan toiminnan. Differentialivahvistimen IC2D sisäänmenossa oleva jännitteenjakaja R98, R99 ja R100 lisää vähän tätä marginaalia, mutta näillä mitoituksilla syntyi luotettava toiminta. Kuormitusvirran tarkkailussa differentiaalivahvistimella on se etu, että se on tunnoton yhteismuotoiseen signaaliin nähden (ainakin tässä kytkennässä riittävällä tarkkuudella) ja kytkentä ei edellytä lisäkomponentteja.. Ulostulon jännitehän vaihtelee välillä 24 V - 28 V, eikä differentiaalivahvistimen ansiosta tarvit-

se tehdä siis erikoisjärjestelyjä. Mitattava virta on jännitetasolla 24 V tai yli ja mittaus on tehtävä pienillä jännite-eroilla, koska virta on suuri. 40 A ja 1 V merkitsee 40 W:in häviötehoa!

Laitteelta vaaditaan myös tyhjäkäyntiominaisuus eli toiminta ilman kuormaa. Se on tärkeä vaatimus laitteelle, jossa ei ole jatkuvaa kuormitusta. Asia saattaa vaikuttaa itsestään selvyydeltä, mutta sitä se ei ole!

### **Sisäinen jännitelähde** (osien numerointi kytkentäkaavion mukaan)

Siinä on vielä toinen huippuarvon tasasuuntaus D2 ja C1,C2. Vastus R1 rajoittaa kondensaattorien varausvirtaa käynnistyksen yhteydessä. Transistorit T1 ja T2 suorittavat suodatuksen zenerien Z1 ja Z2 ohjaamana. Lämpötilakompensointia siinä ei ole, mutta mikropiiri LM 723N:ssä on oma, lämpötilakompensoitu referenssijännitteensä ja kompensointi ei tässä ole siksi niin tarpeellinen.

Kaksoistransistorilla T4 (MJ 2501, darlington) vahvistetaan ohjausvirta tehotransistorien kannoille. Ne on varustettava tehokkaalla jäähdytyksellä, maksimihukkateho 34 W:ia transistoria kohti. Emitterivastuksilla tasataan transistorien virtoja ( $V_{BE}$ :t aina vähän poikkeavat toisistaan). Samalla niistä saadaan melko tarkka tieto kuormitusvirrasta. Keskiarvo muodostuu vastusten R36 - R49 avulla.

Takaisinkytkentäreitti muodostuu vastuksesta R22 ja sen rinnalla olevasta sarjavastuksesta R21 ja kondensaattoreista C11 ja C12. Päätetransistorien kautta kulkeva takaisinkytkentätie IC1:lle on liian pitkä. Sitä lyhennetään vastuksella R22. Se toimii samalla ohitustienä päätetransistorien kollektori-kantavuotovirroille, jotka huonojen transistorien tapauksessa saattavat käynnistää ne itsestään.

R22 muodostaa myös väylän tyhjäkäynnille ja pienille kuormitusvirroille ilman, että tehotransistorit avautuvat ollenkaan. C12:lle on paikkavaraus, mutta sitä ei tarvittu. Sitä voidaan käyttää, jos syntyy matalataajuisia värähtelyä. C11 = 2,2  $\mu$ F muovikondensaattori riitti turvaamaan sen, ettei kytkentä kertaakaan lähtenyt värähtelemään. Johdot T4:lle tulee pitää mahdollisimman lyhyinä värähtelyn estämiseksi.

R35 ja P6 sovittavat virran käytettävissä olevalle ampeerimittarille. Itse otan yleensä mittarien sisäiset ohitusvastukset pois ja teen säädön ulkopuolisilla komponenteilla kuten kaaviostakin ilmenee. Mittarin asteikon sovitus helpottuu.

Takaisinkytkentä IC1:een muodostetaan jännitteenjakajalla  $(P1 + R20)/R12$ . Takaisinkytkentäreitille R20, P1, R12 ei missään tapauksessa saa laittaa minkäänlaista kondensaattoria, sillä se aiheuttaa viivettä ulostulon säätöön! C9 hoitaa säätimen taajuuskompensoinnin. Kytkentä alkaa monesti olla aivan valmistumaisillaan, kun sen huomataan värähtelevän. Värähtely on melkein sääntömääräistä, sillä mikropiirissä on suuri vahvistus. Jos näin käy, T4:n kannalle voi kokeilla suoraan transistoriin juotettuna kondensaattoria C10 esim. 22 nF tai jotain muuta kokoa.

C13 ja C14 tasaavat nopeita kuormituksen vaihteluita. R47 purkaa nämä kondensaattorit laitetta sammutettaessa, jos ei ole ulkopuolista kuormaa. Jännitemittarille on varattu piirikortille paikka sarjavastukselle, jos mittarin näyttöalue ei sovi suoraan ulostulojännitteelle. D4 suojaaa ulostuloa, jos ulkoapäin tulee jostain syystä vääränapaista jännitettä. Diodi D3 suojaaa säätöpiirejä negatiiviselta jännitteeltä siinä tapauksessa, että ulostulos-

ta käsin purkautuu tasasuuntaajaan päin virtaa esim. kuormana olevasta laitteesta, sen suotokondensaattoreista (sielläkin voi olla suuria kondensaattoreita sisäänmenossa!).

## Tyhjäkäynnistä toimintaan ja sitten seis

Asia on toteutettu kaksiasentoisella vipalla (bistabiililla multivibraattorilla) transistorit T22 ja T23. Kondensaattori C16 pitää huolen siitä, että laitetta käynnistettäessä se asettuu tyhjäkäynnille. Vastukset R65 ja R72 pitävät huolen siitä, etteivät ledit LED2 ja LED3 enemmälti hehku, kun ei ole sen aika. Transistori T21 ohjaa laitteen ulostulon nollaan. LM 723N:ssä on virranrajoitukseen käytettävä sisäinen transistori. Se olisi houkutteleva mahdollisuus ajaa ulostulo nollaan myös vikatilanteissa. Käytettävillä jännitteillä se ei kuitenkaan onnistu, sillä silloin joudutaan kytkemään sisäisen transistorin emitteri nolla-potentiaaliin. Sitä se ei kuitenkaan siedä, sillä tuon transistorin sisäinen vuotovirta sotkee koko säätömekanismiin! Käytetty ratkaisu toimii moitteettomasti.

## Ylijännite

Tarkkailupiiriksi on valittu 4:n operaatiovahvistimen mikropiiri IC2A LM 324N. Kytkenässä tarvitaan yksi operaatiovahvistin differentiaalivahvistimeksi ja kolme vertailupiiriä (comparator). Operaatiovahvistinta voidaan käyttää vertailupiirinä, mutta vertailupiiriä ei voi puolestaan käyttää operaatiovahvistimena. Em. valinnalla tarve selvitetään yhdellä mikropiirikomponentilla.

Jänniterajoitus tehdään IC2A:lla. Vertailujännite luodaan vastusketjulla R81 ja R78, pin2. Tällöin ylijännitteen rajaksi tulee 28 V:n tapauksessa 20,2 V (mitattu 20,8 V). Sitä vaka-voitetaan kondensaattorilla C17. Ulostulon jännite ohjataan pinnille 3 vastusketjulla R79, P7 ja R80. Tilapäisten jänniteheilahtelujen vakauttamiseksi tarvitaan kondensaattori C20. Kun raja-arvo + 5% on ylitetty, pin 1:n jännite hyppää maksimiinsa ja se liipaisee tyristorin SCR1 ja LED4 syttyy. Diodi D8 huolehtii siitä, että ulostulo menee nollaan ja pysyy siellä. Tyristori "muistaa" tilansa ja johtaa, kunnes läpimenevä virta alittaa pitovirran tason. Se vaatii laitteen sammuttamisen ja uudelleenkäynnistämisen.

Kun kiertokytkintä S3 kierretään, sen kontaktit avautuvat. Tällöin turvallisinta on virhetoimintojen näkökulmasta, että ulostulon jännite kulkee suurimman vaimennuksen omaavan vastusketjun läpi katkeamattomasti eli ulostulon 28 V arvolla ja sitä vakavoidaan lisäksi kondensaattorilla C20. Lisäksi on tärkeätä, ettei vertailukynnykseen kosketa. Ulostuloja 24 V ja 26 V varten tuodaan kiertokytkimen S3 kautta lisää virtaa ulostulosta vastusten R18, P4 ja R19, P5 kautta, jolloin saadaan jännitteenjakosuhte kohdalleen.

## Ylikuormitus / oikosulku

Differentiaalivahvistimen "tuntohaarat" on toteutettu kahden vastuksen sarjakytkentänä, jotta saadaan niiden ja C19:n kanssa syntymään differentiaalisisäänmenoon differentiaalista aikavakiota. Kondensaattoria ei voi kytkeä suoraan operaatiovahvistimen ottoon. Muovikondensaattori C19 (jännitteen napaisuus voi vaihdella, siksi muovikondensaattori tai bipolaari elektrolyytti) on kytkimen S3 aiheuttamien jänniteheilahtelujen tasaamiseksi.

Ulostulossa, pin 14:ssä olevalla potentiometrillä P8 säädetään pin10 7,44 V:iin 42 A:lla. Tällöin IC2D:n ulostulo on 9,88 V. IC2C toimii vertailupiirinä. Viitejännite saadaan vastusketjusta R92, R93 pinnille 9. Vastus R91 tasaa operaatiovahvistimen bias-virtojen vaikutusta ja kondensaattori C18 vakauttaa tilapäisiä jännitevaihteluita. Vastus



R90 muodostaa hystereesin päätöksentekokynnyksellä. Kun 42 A saavutetaan, pinnan 8 jännite hyppää ylös ja se liipaisee tyristorin SCR3 ja LED6 syttyy. Diodi D13 huolehtii siitä, että ulostulo menee nolnaan ja pysyy siellä.

## Tuuletus ja ylikuumeneminen

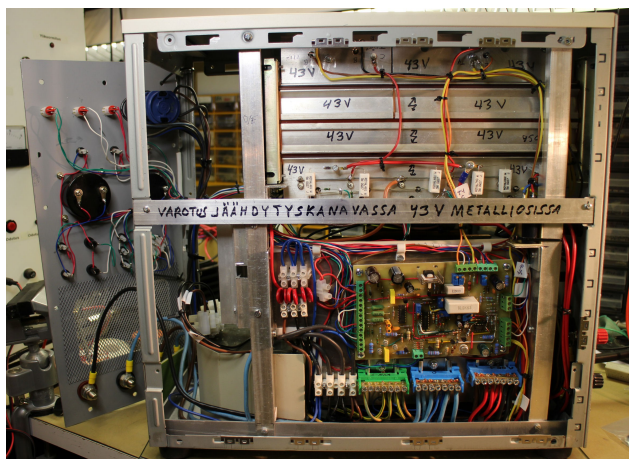
Tuulettusta ohjaavat mikropiirit IC3A, IC3B ja IC2B. Lämpötilaa tarkkaillaan Vishayn NTC-vastuksella 10 k, kun lämpötila on 25 °C. Sen kanssa sarjassa on R50, joka on kytketty 32 V:iin. Alin vertailukynnys muodostetaan vastusketjulla R51 ja R52 10,0 V ja se vastaa 40 °C:ta. Kun kynnysjännite alittuu, IC3A:n ulostulo menee nolnaan, transistori T19 alkaa johtaa ja diodin D6 kautta ohjaa transistoreja T18, T17 sekä Tx ja tuulettimet käynnistyvät alemmalla tehotasolla. Vastus R53 muodostaa 1,5 V:in hystereesin eli tuulettimet sammuvat vasta, kun lämpötila on laskenut alle 40 °C:een. Hystereesi on tarpeellinen, koska lämpötilan muutos on hidaskäynnistyminen ja taas sammuttaen tuulettimet. Mikropiirissä on suuri vahvistus ja jo kohinaakin saattaa vaikuttaa päätöksentekoon.

Seuraava päätöksentekokynnys on noin 52 °C:ta 7,6 V. Vertailujännite muodostetaan R57 ja R58 jännitteenjakajalla ja päätöksenteko tapahtuu IC3B:llä. Kynnysjännitteen alitus käynnistää tuulettimet suuremmalla teholla. Tällöin diodi D6 joutuu estosuuntaan ja erottaa transistorin T19 virtapiiristä. Tuulettimen aiheuttama melu oli siedettävää.

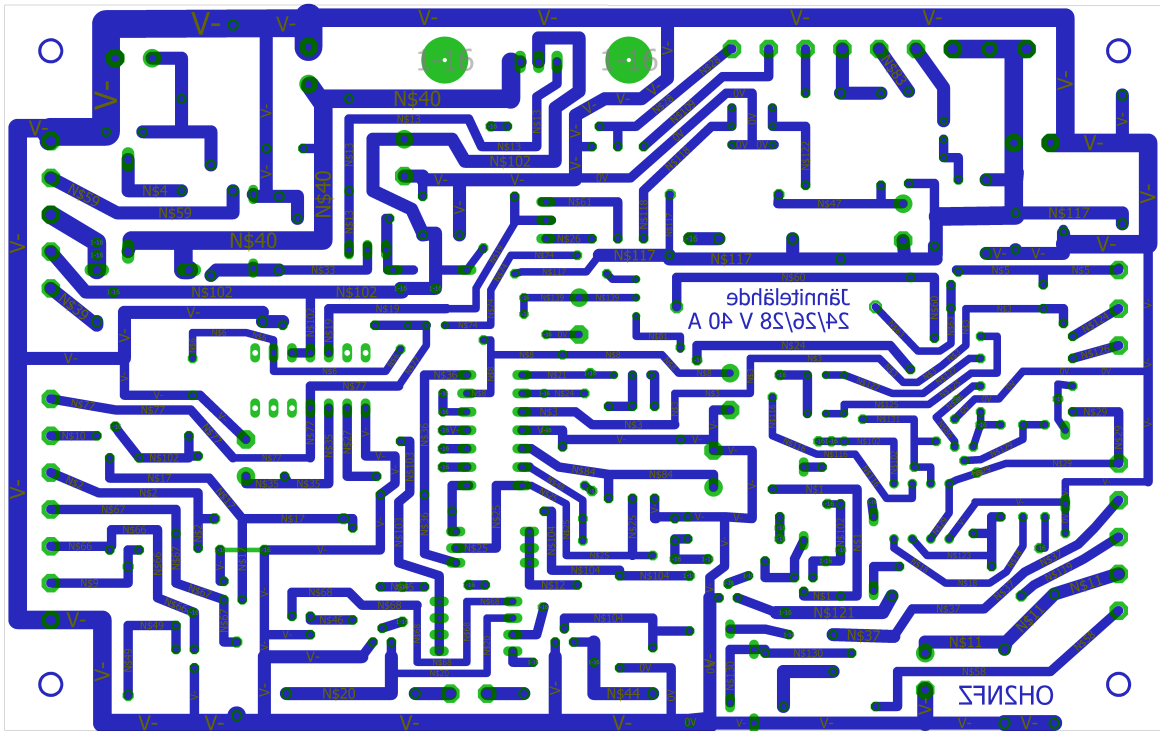
Mikropiiri IC2B tekee sitten päätöksen ylikuumenemisestä. Kynnysjännite muodostetaan jännitejakajalla R85 ja R86 ja se on 4,0 V vastaten 70 °C:ta. Diodin D10 kautta toiminta ajetaan alas. Diodit D7, D8, D10 ja D13 keskenään toimivat tai-elimenä ja ohjaavat laitteen alasajon. Samoin diodit D9, D11 ja D12 kääntävät vipan tyhjäkäyntiasentoon.

## Yleisiä huomioita

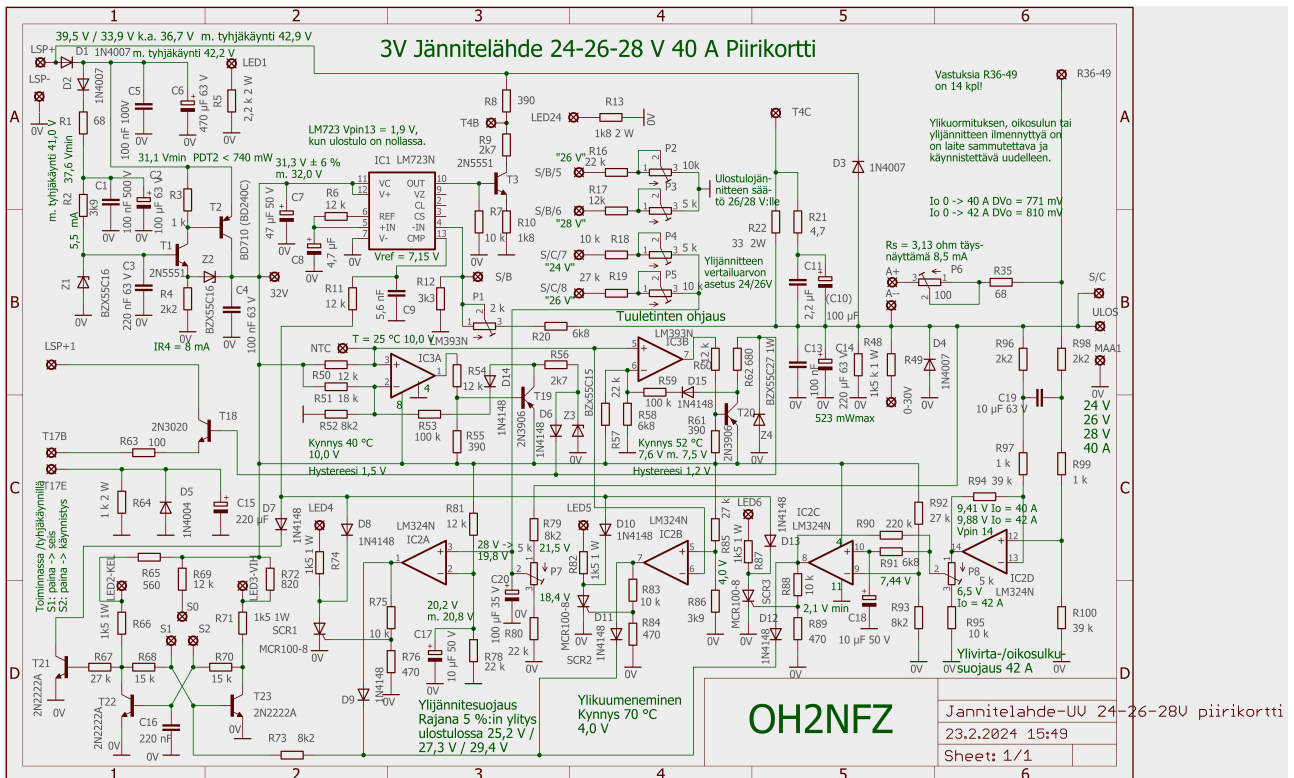
Jos johtimen virta on 40 A, pitäisi kytkentäjohtojen poikkipinnan olla vähintään 6 mm<sup>2</sup>. Tarkkaavainen lukija huomaa, ettei kaikkia komponenttinumeroita löydy kytkentäkaavioista eikä numerointi ole täydellisesti juokseva. Päällekkäisyyttä ei kuitenkaan ole. Jos ulostulovirtaa haluaa vähentää, se tapahtuu päätetransistorien lukumäärää vähentämällä 2,9 A / kpl häviötehon ollessa tällöin luokkaa 34 W / transistori. Sitä voi tietysti jonkin verran korottaa jäähdytyksen tehokkuudesta riippuen.



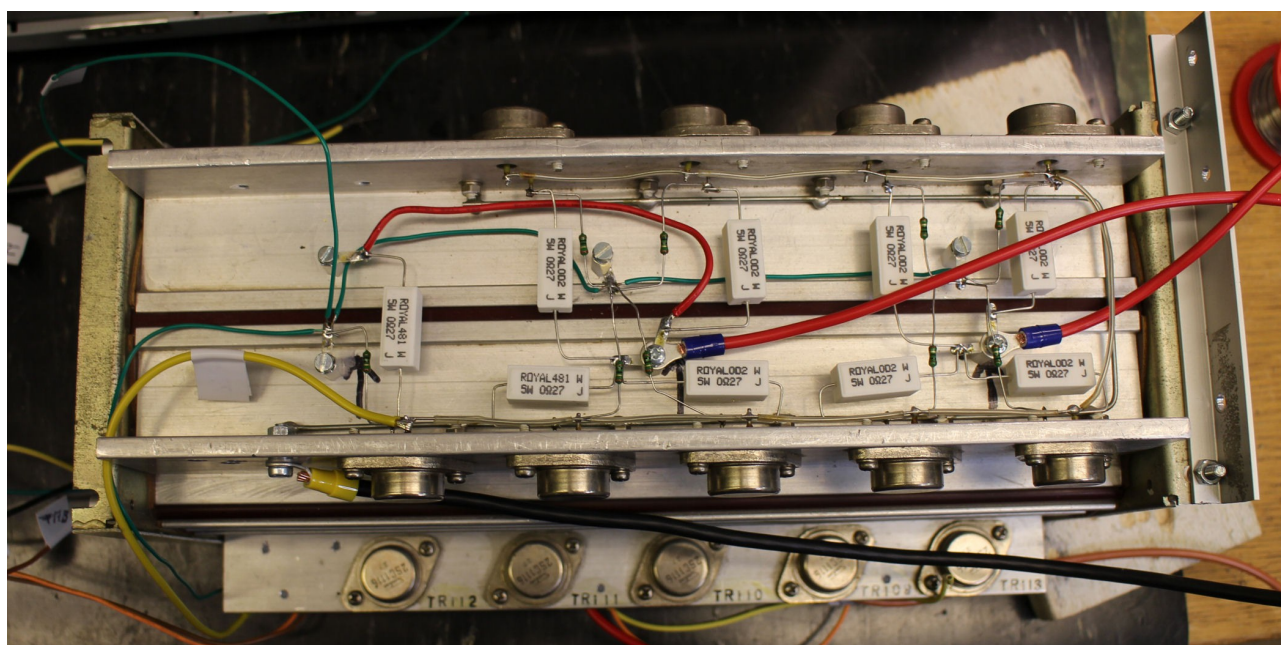
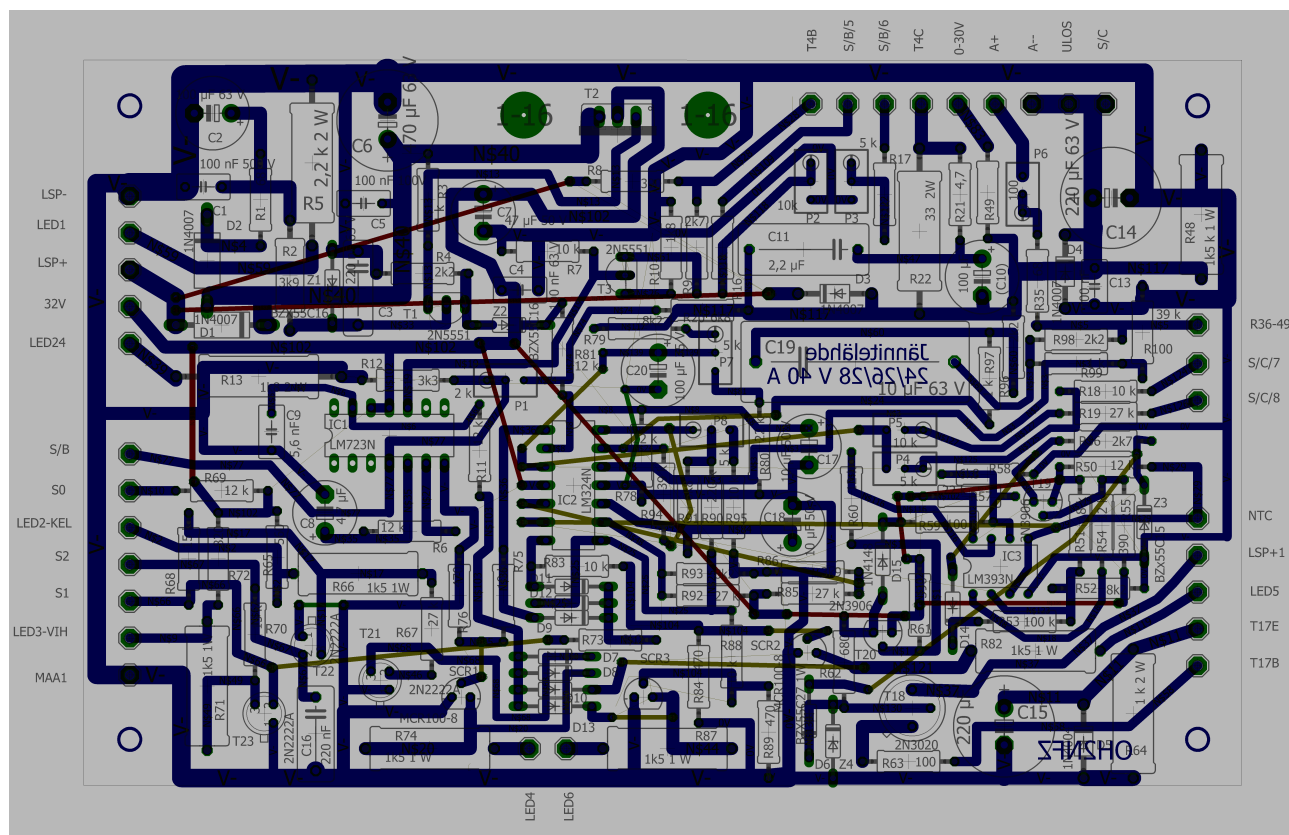
**Valotusmaski** (Jos tästä tulostaa, pitää pienentää kokoon 100 x 160 mm)



**Piirikortin kytkentäkaavio**



## Osien sijoittelu



Kuvassa näkyy emitterivastuksia  $0,27 \Omega$  ja R36 - R49  $10 \Omega$ :in vastuksia tasaamassa virranmittausta. Huom: tuuletuskanavassa on eri lohkot eristetty toisistaan. Siksi transistorien kollektoreja ei tarvitse eristää kiilleliuskoilla, mutta **metalliosissa voi olla enimmillään 43 V:in jännite!**



## Lopputulos

Laitte toimii moitteettomasti. Ulostulo jännitteellä 28 V:ia pysyi tarkasti vakiona: tyhjäkäynnin 0 A kuormasta 42 A:iin ja oli 28,04 V.

Ulostulon aaltoilu + kohina oli luokkaa 40 - 70 mV huipusta huippuun kaikilla kuormituksen arvoilla.

Jännitesäädin LM723N toimii erittäin tarkasti ja on lämpötilakompensoitu. Lineaaritehonlähteiden hyötysuhde on kuitenkin vaatimaton, ehkä luokkaa 3/4 ja hakkureihin verrattuna (voi olla 95 %) alhainen. Radiohäiriöitä ne eivät kuitenkaan aiheuta ainakaan siinä mittakaavassa, mitä hakkurit tekevät. Lisäksi lineaarisäätimissä oleva muuntaja tekee niistä raskaita ja huono hyötysuhde lämmittää hamsäkkiä helteellä. Lisäksi värähelytaipumus vaatii rakentajalta taitoja. Myös tarvikkeet maksavat reilusti enemmän verrattuna kaupallisiin hakkurisäätimiin. Toisaalta vähähäiriöisen hakkurin rakentaminen on paljon vaativampi hanke. Näinpä perinteinen LM723N on joutunut sivuraiteelle.

Minulla on tarkempikin kytkentäkaavio piirilevystä, osiensijoittelusta sille ja kuva valotusmaskista. Jos joku haluaisi rakentaa tällaisen, voin antaa kopiot. Kytkentäkaavio ja valotusmaski eivät ole jännitesidonnaisia. Henkilö, joka osaa laskea komponenttiarvoja voi soveltaa saman kytkennän muillekin virroille ja jännitteille.

OH2NFZ, Kari