Lineaarinen jännitelähde 24 V 22 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 kaikkea sellaista, mikä oli kertynyt hyllyihini vuosikymmenten aikana. Tehdyt valinnat eivät ole mitenkään kriittisiä. Keskeisin rakenneosa on tietysti rengassydänmuuntaja ja sellainen löytyi varastostani, paino 10,4 kg, 230 Vrms / 2 x 24 Vrms. Koska muuntajassa ei lukenut suoritusarvoja, piti niitä arvioida sen koon mukaan. Tämän kokoluokan muuntajalle Muuntolaite ilmoittaa 1,3 kVA (toisiovirta olisi luokkaa 50 A, toisiot rinnankytkettyinä) ja Trafonic 1,9 kVA. Virtaa siis olisi nähtävästi riittämiin. Laitteesta tulee siis aika massiivinen ja kookas. Kannattaa koota loppusijoituspaikalle!

Suunnittelun tavoiteasettelu

24 V:ia suurempaa tasajännitettä on vaikea saavuttaa em. muuntajalla. Jännitteensuotopiirissä ovat 4 x 10 mF kondensaattorit. Niillä päästään noin 17-18 A:in virtaan. Tarvetta oli kuitenkin 20 A:lle eli 10 %:in varmistuksella 22 A:lle. Jouduin nostamaan toisiojännitettä ensiön väliulosotoilla kikkailemalla 26 Vrms:ään saakka kytkennän eri kohdissa syntyvien häviöiden kumoamiseksi.

Koska suurille virroille valmistetut kytkimet ovat kalliita, olen aina pyrkinyt suorittamaan kytkennän hienovirran ohjauspuolella. Samaa kytkentää voin sitten soveltaa laitteen automaattiseen seisauttamiseen ongelmatilanteessa. Tietysti voi käyttää fettikytkintä, mutta jos fet olisi miinuspuolella (N-kanava fet) , syntyisi sellainen tilanne, että teholähteen nollataso ja ulostulon nollataso eroaisivat toisistaan fetin ylimenojännitteen verran. Tästä voisi seurata outoja tilanteita esim. RF:llä. Fetin kytkeminen plus-puolelle kyllä sujuu, mutta suurivirtaisia p-kanava-fettejä on rajoitetusti saatavilla ja hinta on kova. Lisäksi käytännön rakenteesta tulee hankala. Datalehdillä kyllä luvataan virtaa esim. 50 A, mutta TO-220:n kotelon liittimien poikkipinta tuskin on 1,5 mm^2 :iä. Kytkentäjohtojen pitäisi olla vähintään 2,5 mm^2, mieluummin 6 mm^2 . Miten voi toteuttaa sellaisen rakenteen käytännössä? Lisäksi suojamaiden kautta voisi syntyä miinuspuolella olevalle fetille ohitustie ja se voisi johtaa ongelmiin.

Omassa rakenteessani en ole kytkenyt muuntajan toisiota ja suodinkytkentää ollenkaan laitteen runkoon ja suojamaahan. Kytkentä on "kelluva". Tällä on se etu, että jännitelähteen ulostulon miinuspää voidaan kytkeä nollatasoa korkeampaan potentiaaliin kokeiltavassa kytkennässä ja tuottaa siellä käyttöjännitettä korkeampi jännite. Esim. linukassa jännitelähde sitten kytkeytyy nollaan ja suojamaahan, mutta ei siitä synny mitään ongelmaa! 24 V:in jännite ei myöskään vaaranna ihmishenkeä.

Laitteen toiminta keskeytyy automaattisesti, jos jännite ulostulossa nousee yli 25 V:iin (4 %:in ylitys). Jännitteennousun voi aiheuttaa myös kuormana oleva laite. Ylikuormitus ja oikosulkusuojaus on 23 A:lla.
Jäähdytys on toteutettu jatkuvakäyntisellä tuulettimella, mutta sen melutasoon kannattaa kiinnittää huomiota. Jo 50 dBA:ta häiritsee ainakin minun korvaani. Seuraavaksi rakentamaani teholähteeseen tulee portaittain toimiva tuuletus: tuuletin ei pyöri, puoliteho ja täysteho ja lisäksi ylikuumenemissuojaus.

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!
Verkkomuuntaja tuottaa tyhjäkäynnillä myös kymmenisen prosenttia ylijännitettä. Kytkennän on kestettävä myös se. Säädinpiirinä toimii LM 723N, jonka jatkuva ottojännite on enintään 40 V. Tämä mutkistaa omalta osaltaan suunnittelua.
Virhe- ja vikatilanteesta pitää jäädä käyttäjälle pysyvä viesti tapahtuneesta, toisin sanoen merkkivalo palamaan. Vikatilanteen synnyttyä on tietysti ulkopuolisen kytkennän vika korjattava ja käynnistettävä jännitelähde sitten uudelleen. Laitteen sisäinen vikatilanne on sitten eri asia.

Verkkoyksikkö

Alkupäässä on suojauksena VDR- eli jänniteriippuvia vastuksia kaksi rinnan suojaamassa sähköverkon jännitepiikeiltä. Seuraavana on kaupallinen verkkosähkösuodin suojaamassa laitetta verkkohäiriöiltä ja myös sähköverkkoon kulkevilta rf-häiriöiltä. Esim. tasasuuntaus on epälineaarista, mikä synnyttää radiohäiriöitä.

Toisiopuolella olevat kondensaattorit muodostavat hetkellisen oikosulun teholähdettä käynnistettäessä. Siksi kytkennässä oleva sulake on hidas ja käynnistyskuormitusta pehmennetään Finderin releellä. Aluksi on muuntajan kanssa sarjassa 47 Ω:in sarjavastus. Kun kondensaattorien varausvirta pienenee ja jännite muuntajan ensiössä saavuttaa rajan, jolloin rele vetää, rele kytkee ohituksen sarjavastukselle ja kondensaattorit jatkavat varautumista lopulliseen jännitteeseensä. Koska laitteen ulostulojännite on kytkettävä erikseen, saavutetaan se etu, ettei ulkoinen kuorma ole lisärasituksena käynnistettäessä, koska varautuvat kondensaattorit ovat jo sinänsä merkittävä kuorma. Laitteen käynnistys aiheuttaa vain vähäisen ja hetkellisen valojen vilahduksen. Tasasuuntaussillassa tapahtuu myös merkittävä tehohäviö, yli 44 W:ia täydellä kuormalla. Lisäksi kun silta avautuu uuden kondensaattorien varausjakson alussa, on virta keskiarvoa paljon suurempi ja myös käynnistystilanteessa. Koska muuntajassa on kaksi toisiokäämiä, olen jakanut tasasuuntauksen kahdelle sillalle ja samalla tehohäviö ja huippuvirta puolittuvat yhden sillan osalta. Sillat on varustettava jäähdytyslevyillä. Verkko-osassa on lisäksi diodi D1 ja kondensaattori C6, joiden avulla saadaan hiukkasen korkeampi jännite ohjauspiireille. C6 varautuu kunkin vaihtojännitejakson hetkelliseen huippujännitteeseen. Ohjauspiirien virrantarve on pieni, luokkaa 60 mA kaikenkaikkiaan.

Sisäinen jännitelähde (osien numerointi kytkentäkaavion mukaan)

Siinä on vielä toinen huippuarvon tasasuuntaus D1 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 tarpeen.
Transistorilla T3 siirretään säätöjännite korkeammalle, mitä IC1 (LM 723N) antaa. Kaksoistransistorilla T4 (MJ 2501, darlington) vahvistetaan ohjausvirta tehotransistorien T5 - T8 kannoille. Ne on varustettava tehokkaalla jäähdytyksellä, maksimihukkateho 25 W:ia transistoria kohti. Emitterivastuksilla R16 - R19 tasataan transistorien virtoja (V_{BE}:t aina vähän poikkeavat toisistaan). Samalla niistä saadaan melko tarkka tieto kuormitusvirrasta. Keskiarvo muodostuu vastusten R20 - R23 avulla. R24 ja P6 sovittavat virran käy-

tettävissä olevalle ampeerimittarille. Itse otan yleensä mittarien sisäiset ohitusvastukset pois ja teen säädön ulkopuolisilla komponenteilla kuten kaaviostakin ilmenee.

Takaisinkytkentä IC1:een muodostetaan jännitteenjakajalla (P1 + R13)/R12. Takaisinkytkentäreitille R13, 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. T4:n kannalle voi kokeilla suoraan transistoriin juotettuna kondensaattoria C10 esim. 22 nF tai jotain muuta kokoa.

Päätetransistorien kautta kulkeva takaisinkytkentätie IC1:lle on liian pitkä. Sitä lyhennetään vastuksella R14. Se toimii samalla ohitustienä transistorienT5 - T8 kollektori-kantavuotovirroille, jotka huonojen transistorien tapauksessa saattavat käynnistää ne itsestään. R14 muodostaa myös väylän tyhjäkäynnille ja pienille kuormitusvirroille ilman, että tehotransistorit avautuvat ollenkaan.
Lisäksi on piirikortille varattu paikat kahdella kondensaattorille C11 ja C12. C11 (muovikondensaattorikin käy) on syytä laittaa joka tapauksessa ja ehkä kokeilla eri kapasitanssiarvoja. Jos värähtely on matalataajuista, voi kokeilla eri arvoja C12:lle. Muuten se on tarpeeton.

C13 ja C14 tasaavat nopeita kuormituksen vaihteluita. R25 purkaa nämä kondensaattorit laitetta sammutettaessa, jos ei ole ulkopuolista kuormaa. Jännitemittarille on varattu piirikortille paikka sarjavastukselle, jos mittarin näyttöalue ei sovi suoraan ulostulojännitteelle. D3 suojaa ulostuloa, jos ulkoapäin tulee jostain syystä vääränapaista jännitettä. Diodi D2 suojaa säätöpiirejä negatiiviselta jännitteeltä siinä tapauksessa, että suuret suotokondensaattorit purkautuvat nopeammin kuin C13 ja C14 tai jännitettä tulee kuormasta käsin (sielläkin voi olla suuria kondensaattoreita sisäänmenossa!).

Tyhjäkäynnistä toimintaan ja sitten seis

Asia on toteutettu kaksiasentoisella vipalla (bistabiililla multivibraattorilla) transistorit T12 ja T13. Kondensaattori C17 pitää huolen siitä, että laitetta käynnistettäessä se asettuu tyhjäkäynnille. Vastukset R32 ja R37 pitävät huolen siitä, etteivät ledit LED2 ja LED3 enemmälti hehku, kun ei ole sen aika. Transistori T11 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 nollapotentiaaliin. Sitä se ei kuitenkaan siedä, sillä tuon transistorin sisäinen vuotovirta sotkee koko säätömekanismin! Käytetty ratkaisu toimii moitteettomasti.

Ylijännite

Tarkkailupiiriksi on valittu 4:n operaatiovahvistimen mikropiiri LM 324N. Kytkennässä tarvitaan yksi operaatiovahvistin differentiaalivahvistimeksi kaksi vertailupiiriä (comparator). Operaatiovahvistinta voidaan käyttää vertailupiirinä, mutta vertailupiiriä ei voi puolestaan käyttää operaatiovahvistimena. Em. valinnalla tarve selvitetään yhdellä mikropiirikomponentilla yhden yksikön, IC2B:n jäädessä toimettomaksi.
Jänniterajoitus tehdään IC2A:lla. Vertailujännite luodaan vastusketjulla R47, P7 ja R48. Hienosäätö tehdään potentiometrillä P7 20,0 V:iin (pin 2). Tällöin ylijännitteen rajaksi

tulee 25 V. Ulostulon jännite ohjataan pinnille 3 vastusketjulla R46 R45. Tilapäisten jänniteheilahtelujen vakauttamiseksi tarvitaan kondensaattori C18. Vastus R44 muodostaa vertailulle hystereesin, ettei päätöksenteko jää rajalla häilyväksi. Kun raja-arvo on ylitetty, pin 1:n jännite hyppää maksimiinsa ja se liipaisee tyristorin SCR1 ja LED4 syttyy. Diodi D6 huolehtii siitä, että ulostulo menee nollaan ja pysyy siellä. Tyristori "muistaa" tilansa ja johtaa, kunnes läpimenevä virta alittaa pitovirran tason.

Ylikuormitus / oikosulku

Halusin tehdä virran mittaamisesta tarkan. Ajatus lähti liikkeelle siitä, että ulostulojännite olisi ollut säädettävissä kolmelle tasolle 24 V, 26 V ja 28 V, mutta sehän ei tällä muuntajalla onnistunut ainakaan näille virroille. Differentiaalivahvistin on "tunnoton" yhteismuotoiselle jännitteelle ja kytkentä ei edellytä lisäkomponentteja. Differentiaalivahvistimen "tuntohaarat" on toteutettu kahden vastuksen sarjakytkentänä, jotta saadaan niiden ja C20:n kanssa syntymään differentiaalisisäänmenoon differentiaalista aikavakiota. Kondensaattoria ei voi kytkeä suoraan operaatiovahvistimen ottoon. Muovikondensaattori C20 (jännitteen napaisuus voi vaihdella, siksi muovikondensaattori tai sitten bipolaari elektrolyytti) on jänniteheilahtelujen tasoittamiseksi.

IC2D toimii differentiaalivahvistimena. Vastukset R59 - R62 huolehtivat myös siitä, etteivät operaatiovahvistimen ottojen jännite ylitä mikropiirin käyttöjännitettä 25 V. Ulostulo, pin 14 säädetään potentiometrillä P8 9,50 V:iin 23 A:lla. IC2C toimii vertailupiirinä. Viitejännite saadaan vastusketjusta R53, R56 pinnille 9. Vastus R55 tasaa operaatiovahvistimen biasvirtojen vaikutusta ja kondensaattori C19 vakauttaa tilapäisiä jännitevaihteluita. Vastus R54 muodostaa hystereesin päätöksentekokynnyksellä. Kun 23 A saavutetaan, pinnin 8 jännite hyppää ylös ja se liipaisee tyristorin SCR2 ja LED5 syttyy. Diodi D7 huolehtii siitä, että ulostulo menee nollaan ja pysyy siellä.

Tuuletus

Valitsin 24 VDC:in tuulettimen. Koska käytettävissä oleva jännite soutaa maksimikuorman pohjalta 28 V aina tyhjäkäynnin 40 V:iin, pitää sekin sovittaa 24 V:iin. Jännitteen alarajalla pitää kulkea riittävä virta transistorin T9 ohjaamiseksi sekä zenerdiodissa Z5 noin 5 mA. Tämä johtaisi sarjavastukseen luokkaa 680 Ω. Jos tämä liitettäisi suoraan tasasuuntaajaan, tulisi zeenerille virraksi 24 mA, mitä se ei kestäisi. Pitäisi valita järeämpi zeeneri, joka puolestaan tarvitsisi ohjejännitteellä enemmin virtaa kuin 5 mA. Ratkaisin pulman kaavion mukaan kahdella apuzeenerillä, jotka ohjaavan tyhjäkäynnillä ja vähäisellä kuormalla virran osaksi ohi Z5:en ja lakkaavat johtamasta matalammilla jännitteillä. Ratkaisu tuntuu toimivan hyvin, koska suurta tarkkuutta ei vaadita. Transistori T10 tarvitsee jäähdytyslevyn. Diodi D4 on sitä varten, että sammuessaan tuuletin voi antaa negatiivista jännitettä mallista riippuen. C16 tasaa tuulettimen jännitettä ja vastus R31 purkaa sen sammutettaessa. Tuuletin purkaa myös suuret suotokondensaattorit ja se kestää jonkin aikaa.

Lopputulos

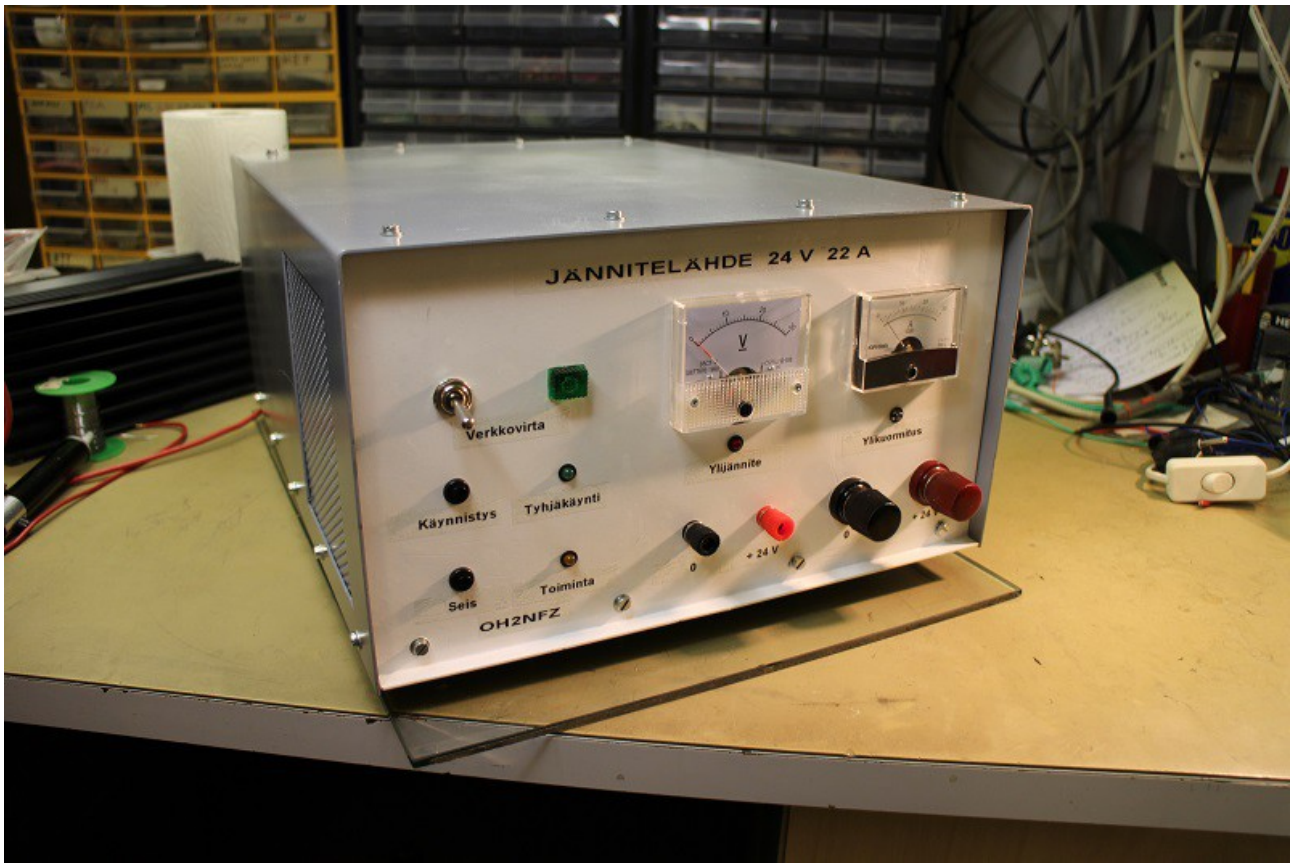
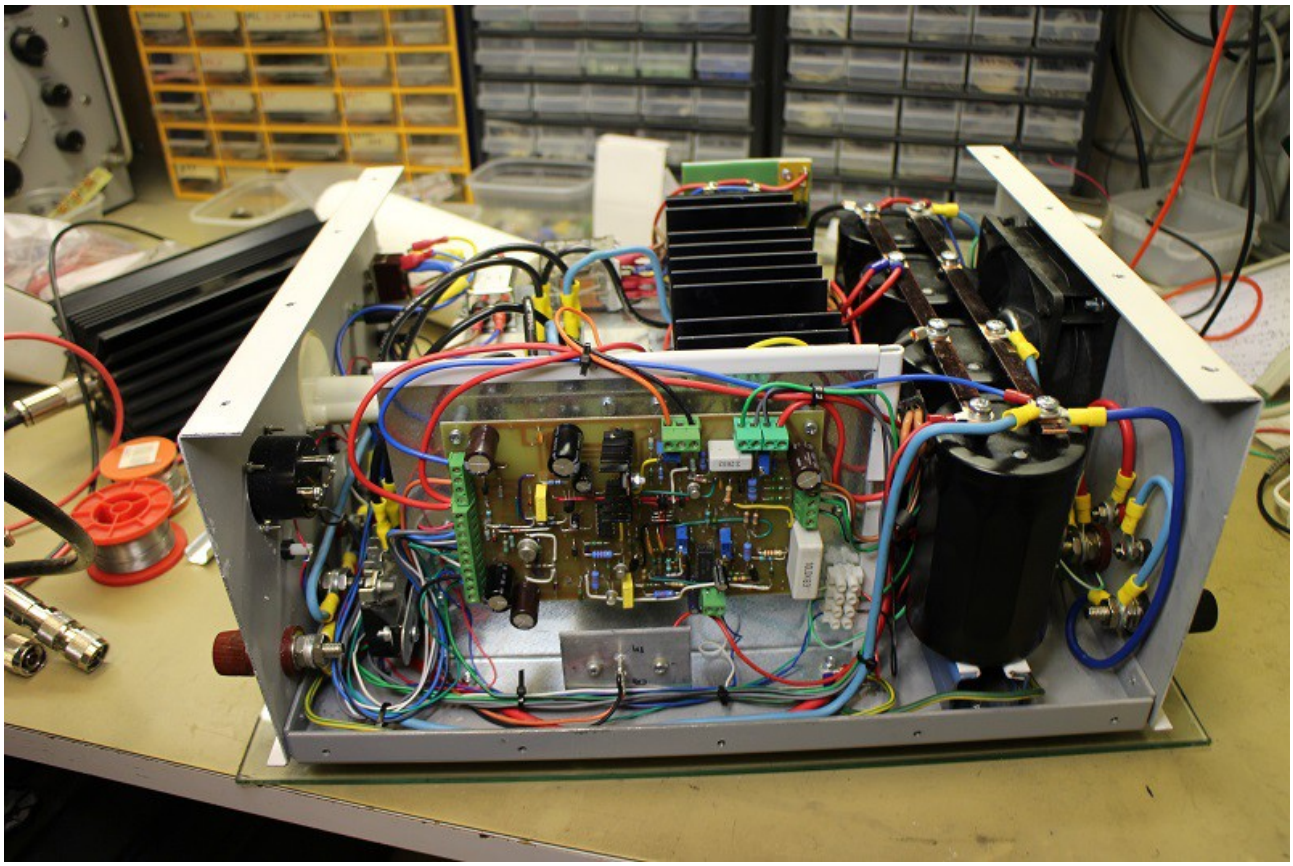
Laite toimii moitteettomasti. Ulostulon jännite laski tyhjäkäynnin 0 A kuormasta 24,03 V 24,00 V:iin 23 A:in kuormalla eli pysähtymisen rajalla. Ulostulon aaltoilu + kohina oli luokkaa 40 - 70 mV huipusta huippuun kaikilla kuormituksen arvoilla.

Minulla on 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.

Kaksi, ei sähköistä minua häiritsevää ongelmaa ilmeni. Sijoitin ison rengassydänmuuntajan laajahkon peltilevyn päälle. Mitä suurempi on kuormitusvirta, sitä suuremman hurinan muuntaja tuottaa. Toinen oli se, että tuulettimen ääni häiritsee minua. Siksi varustan seuraavan jännitelähteen kolmiportaisella tuuletinohjauksella: Tuuletin ei käy, jos ei ole tarvetta, käy puolella teholla ja lopuksi täydellä teholla, laite varustettuna ylikuumenemisrajoittimella. Uusi teholähde on jo rakenteilla.

OH2NFZ, Kari



100 mA hidas
6.3 A hidas