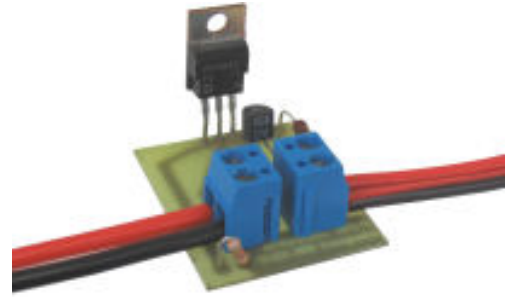


Vakiovirtaregulaattori P-kanava FET-transistorilla

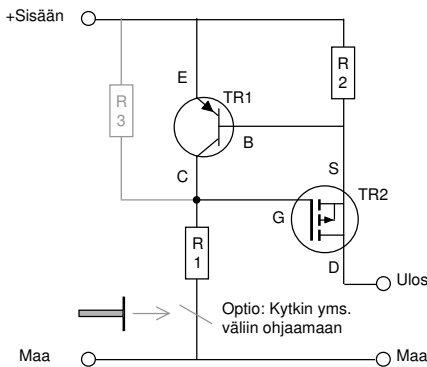
Markku Kauppinen

Monikäyttöinen vakiovirtaregulaattorikytkentä, jossa on käytetty FET-transistoria, mahdollisimman pienen häviöjännitteen saavuttamiseksi.



Vakiovirtaregulaattori reguloi DC-virtaa, eikä ota kantaa sen läpi menevään jännitteeseen. Regulaattori päästää lävitseen vain korkeintaan sen virran, joka siihen on ennalta asetettu. Virran maksimi asetetaan tietyn suurista vastusta käyttämällä ja kytkentä reagoi kun jännitehäviö vastuksessa nousee liipaisurajan yli.

Oheisessa kytkennässä vastus on R2. Kun vastuksen läpi menevä virta kasvaa, kasvaa myös vastuksessa syntyvä jännitehäviö. Kun vastuksen yli vaikuttava jännite nousee transistorin TR1 tarvitseman ohjausjännitteen yli, alkaa TR1:n läpi kulkeva virta nostamaan transistorin TR2 hilalla vaikuttavaa jännitettä. Tämä kuristaa TR2:n läpi kulkevaa virtaa ja takaisin kytkentä on syntynyt.



Toiminnan tarkka selostus

Kytkenäkaavion P-kanava fet-transistori TR2 johtaa silloin kun se saa hilalleen (G) miinusjännitteen. Sen se saa kytkennässä vastuksen R1 kautta, joka on kytketty maahan (mahdollisesti kytkimen kautta). Heti kun virrat kytketään sisään, johtaa TR2 virran ulostuloon.

Piirroksessa R2:n alapuolelta lähtee linja transistorin TR1 kannalle. TR1 on tavallinen PNP transistori, joka ei heti alussa johda, koska se tarvitsisi johtaakseen negatiivisen jännitteen kannalleen (B) emitteriinsä (E) nähden. Vain R2:ssa syntyvä jännitehäviö voi tuottaa tämän ohjauksen.

Oletamme nyt että ulostulo on laitettu oikosulkuun (kuten voi tehdä, ks. vain luku jäädytyksestä) ja jännitehäviö R2:n yli kasvaa yhdessä virran kasvun kanssa. Tietyissä virrassa jännite R2:n alapuolella on laskenut TR1:n emitteriin nähden yli 0.6 voltin. Tällöin TR1 saa tarvittavan ohjausjännitteen ja menee johtavaan tilaan.

Nyt käy niin että TR1:n läpi kulkeva virta nostaa R1:n yli vaikuttavaa jännitettä. Tämä aiheuttaa sen että TR2:n hilalta katoaa sen johtavaksi tekevä jännite ja TR2 alkaakin tässä pisteessä hillitsemään virtaa. Virran suuruus ei myöskään tipu, koska tämä aiheuttaisi R2:n häviöjännitteen laskun ja TR1:n kytkeytymisen johtamattomaksi. Tämä takaisin kytkentä reguloi kytkennän läpi menevää virtaa koko ajan ja R2:n määräämä virta ei voi ylittyä.

Virran kulkua ulostuloon voidaan ohjata R1:n yhteydellä maahan (ks. optio kytkentäkaaviossa). Käyttöjännite on tällöin koko ajan sisääntulossa ja virtaa voidaan kytkeä päälle ja pois heikkovirtakytkimillä, transistoreilla, logiikkapiireillä yms. kauko-ohjatuksi vain hilan hituvirtaa ohjaten. Tätä optiota käytettäessä pitää kytkennässä olla vastus R3, koska muuten TR2:n hilalle jää loukkuun aina varaus joka ei katkaisekaan ulostuloa.

Vakiovirtaregulaattorin yleisiä käyttökohteita

- Akkujen, latureitten ja virtalähteitten ylivirtasuojaus.
- Lamppujen (varsinkin halogeenilamppujen) käynnistysvirtapiikin eliminointi ja lamppujen eliniän pidentäminen
- Led-lamppujen virran rajoittaminen
- Käyttö releenä (suuri DC-virta polttaa nopeasti kytkimet)
- Erilaisten DC-käyttöisten laitteiden ohjaus/kauko-ohjaus päälle automaattikalla, logiikkapiireillä, heikkovirtakytkimillä tai antureilla

Miksi käyttää P-kanava fet-transistoria N-kanavaisen sijasta

Esimerkkinä fet-transistorin käytöstä vakiovirtaregulaattorissa käytetään useimmiten N-kanavaista kytkentää. Tällöin siis käytetään N-kanava fetettä ja kytkentäkaavio on lähes sama kuin oheinen, mutta peilikuva pystysuunnassa. N-kanavan transistorit ovat kylläkin yleisempiä ja ehkä hieman halvempia, mutta kytkennän käytettävyydessä tulee ongelmia.

Ongelma N-kytkennässä on se että kuorma tulee plusjännitteen ja fet-transistorin väliin ja kuorman maa on kelluva. Samoin R1 tulee plusjännitteestä TR2:n hilalle. Vakiovirtaregulaattorin käyttö osana laajempaa järjestelmää on tällöin hankalaa.

P-kanava fet transistoria käytettäessä maat voivat olla kytkettynä toisiinsa kuormassa, regulaattorissa sekä regulaattoria ohjaavassa laitteessa, kuten on yleensä tapana. Kuorma voidaan maadoittaa helpommin esim. kulkuneuvoissa ja isoissa metallikoteloissa ja metallirakenteissa.

Kytkenä häviöjännite

Yleensäkin fet transistoria käytettäessä koko kytkennän läpi menevä jännite tippuu minimissään vain hieman yli 0.6V, oli kytkentä N tai P-tyyppiä (jännitehäviöstä suurilla virroilla lisää jäljempänä). Käytettäessä germanium ohjaustransistoria TR1:n paikalla, saadaan tämäkin jännite vielä puolitettua! Pienin jännite-ero, joka kytkentään ainakin hukkuu riippuukin täysin kynnysjännitteestä, jolla TR1 ohjautuu johtavaksi.

Kytkenä pienen häviöjännitteen ansiosta pystytään esim. akut ja paristot niistämään loppuun asti tyhjiksi, samalla kun niiden perään kytketty laite saa aina tasaisen virran (tai korkeintaan asetetun virran), oli akku täysi tai tyhjä.

Kytkenän käyttöjännitealue

Kytkentä toimii varmimmin yli 4V jännitteellä. Koska Fet-transistorit ovat jännitetoimisia, ei hilalle muuten riitä tarpeeksi fetin johtavaksi tekevää jännitettä. Tämä riippuu hieman fettityypistä. Käyttöjännitteen ylärajan määrittävät tietenkin transistorin maksimiarvot.

Lisäjännitehäviö huomioitava suurilla virroilla

Jännitehäviötä tulee lisää fet-transistorin sisäisestä ohmimäärästä. Kannattaa pitää huoli siitä että valitsee pienen ohmisen fetin jos haluaa ohjata suuria virtoja ja pitää häviöjännitteen edelleen pienenä. Fet transistorin sisäisen ohmimäärän saa selville datakirjoista.

Jännitehäviö saadaan kertomalla tuo ohmimäärä fetin läpi kulkevalla virralla. Hyvin pienillä virroilla tämä häviö jää olemattomiin ja häviöjännite koostuu vain transistorin TR1 ohjaukseen tarvittavasta kynnyksjännitteestä.

Jäähdytys

Transistori TR2 ei tarvitse jäähdytystä alle 2W hukkathehoilla (TO-220 kotelossa). Hukkathehon laskemiseksi pitää tietää paljonko ylimääräistä jännitettä kytkentään hukkuu suurimmillaan, esim. akkukäytössä kun akku on täynnä tai silloin kun käytetään reguloimatonta virtalähdettä, jonka antama jännite voi olla huomattavasti suurempi kuin speksissä kerrotaan.

Onkin hyvä laskelmien lisäksi ihan käytännössä mitata transistorin yli vaikuttava jännite-ero, kun kuorma on päällä. Asetettu vakiovirtamäärä kerrotaan fet-transistoriin hukkuvalle jännitteellä ja näin saadaan hukkatheho. Mittauspisteet ovat sisääntuleva plusjännite vastuksen R2 langasta ennen transistoria TR2 (sijoittelupiirroksessa R2:n yläpuolinen lanka) ja ulostuleva plusjännite ulostulosta.

Jos transistoriin hukkuu yli 2W, pitää transistori jäähdyttää.

Vastuksen R2 ohmimäärän laskeminen

$$R(\text{ohm}) = 0.6(\text{V}) / I(\text{A}) \quad (I = \text{haluttu virta})$$

Esim. tehdään valaisin kolmella rinnan kytketyllä valkoisella ledillä ja rajoitetaan virta näille á 30mA = yhteensä 90 mA:

$$0.6\text{V} / 0.09\text{A} = 6.666\dots\text{ohmia}$$

Valitaan yleinen saatavissa oleva lähiarvo 6.8 ohmia. Koska vastus on hieman isompi kuin laskentakaava antoi, niin virta rajoittuu hieman alle 90mA:n.

Vastuksen R2 tehonkeston laskeminen

$$P(\text{W}) = 0.6(\text{V})^2 / R(\text{ohmia})$$

$$\Leftrightarrow P = 0.36 / R$$

R:n paikalle sijoitetaan edellä laskettu R2:n ohmiarvo. Esim. kun käytetään edellä laskettua arvoa 6.8 ohmia:

$$0.36 / 6.8 = 0.0529\dots(\text{W})$$

Eli 0.25W kestää mainiosti.

Osaluettelo

Piirilevylle tulevat osat

R 1 ----- 47k Ohm 1/4W

R 2 * ----- Katso laskentakaavat

R 3 ----- 1 M - 10M Ohm 1/4W (R3 tarvitaan vain kaukosäätö-/hilaa ohjaavassa kytkennässä)

TR1 ----- PNP transistori BC557B

TR2 ----- P-kanava Fet transistori
esim. IRF95nn ... 96nn sarja, IRF9Z34N

- ks tiedot datakirjoista tai internetistä

- esimerkissä käytimme pienille alle 1A virroille halpaa IRF 9622 tyyppiä

Muut osat

Ruuviliittimet 5mm rasterilla tulo- ja lähtöjännitteille (johdot voidaan kyllä juottaakin piirilevylle)

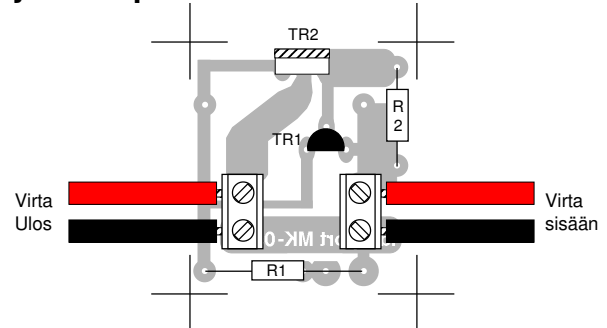
Jäähdytyslevyt hukkathehon mukaan:

- Jäähdytyslevy °C/W < 8 @ 5W asti

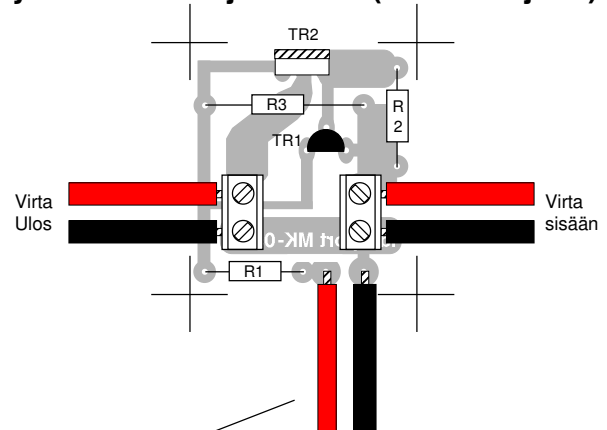
- Jäähdytyslevy °C/W < 4 @ 10W ""

- Jäähdytyslevy °C/W < 2 @ 20W ""

Kytkentä päävirtaa katkottaessa



Kytkentä hilaohjauksella (kauko-ohjaus)



Kauko-ohjaus: virta alkaa kulkemaan regulaattorin läpi vain kun nämä yhdistetään. Mikä tahansa kytkin riittää. Käytä kierrettyä parikaapelia tai koaksiaalista kaapelia pitkillä matkoilla, häiriöiden eliminoimiseksi

KytKentä päävirtaa katkottaessa

Tätä kytKentää suositellaan vain kun ei ole muuta mahdollisuutta. Kytkin on virran syötössä (sisääntulossa), tai esimerkkinä lisävalojen asennus ledeillä auton tavaratilaan; kytkimenä pidetään auton oma luukkukytkin ja virta otetaan vakiovirtaregulaattorille yksinkertaisesti auton omien valojen rinnalta. Vastusta R3 ei tarvita ja vastus R1 kytketään kuten ylempässä kuvassa.

Huonoja puolia on se että suurempaa DC-virtaa kytkettäessä kytkimet kuluvat nopeasti.

KytKentä hilaa ohjattaessa

Tämä kytKentä on siinä mielessä suositeltavampi että kytkimen läpi kulkee vain hituvirtaa. Myös aivan pienimmätkin liukukytkimet kestävät erinomaisesti. Hilaa voi ohjata myös monilla muillakin menetelmillä kuten vaikkapa antureilla, logiikkapiireillä ja prosessoreilla on mahdollista ja ilman pelkoa esim. jännitepiikeistä, joita releet aiheuttavat vastaavassa käytössä.

Testaaminen

KytKentää ensimmäistä kertaa testattaessa kannattaa käyttää virtalähdettä joka näyttää virran. Tai sitten yleismittaria virta-alueella välissä. Ei kannata luottaa siihen että esim. ledlampu toimii kun ledit palavat, koska ledien läpi saattaa kulkea ylisuuri virta joka tuhoaa ne varsin pian. Yksi pidempi valaisukerta tai vain parempi paristo voi aiheuttaa tuhoa.

Vaihda siksi kuorman tilalle ensin varmuuden vuoksi jokin vastus, jonka läpi pitäisi mennä ainakin 25% suurempi virta kuin mitä virran rajoitukseksi on asetettu.

Eli jos syötät kytKentään 6V jännitetä ja olet asettanut virranrajoitukseksi 350mA: $6V/0,35A=17,14$ Ohmia
Valitaan reilusti pienempi eli 12 Ohmin tehovastus, jonka läpi pitäisi mennä kuitenkin korkeintaan 6V/12 Ohm = 0,5 A virta. Vastuksen tehonkeston pitäisi olla $0.5A \times 6V = 3W$ eli 5W kestää testeissä hyvin.

Vianhaku

Sekä juottaessa että kytKentää koekiltaessa voi syntyä erilaisia vikoja. Juottaessa vikoja syntyy pääsääntöisesti komponentin ja piirilevyn liitoksiin kylmäjuotoksista johtuen.

Puolijohteetkin voivat kuumetessaan tuhoutua toimimattomiksi.

Testattaessa puolijohteet joko palaavat toimimattomiksi tai fuusioituvat täysin johtaviksi.

Vakiovirtaregulaattorissa vioittuvat osat ovat transistorit, mutta transistorin tuhoutuminen voi johtua myös vastuksen kylmäjuotoksesta. Seuraavassa muutamia ohjeita vikojen hakuun.

Jos regulaattori ei anna virtaa

Varmistetaan ensin ohmimittarilla TR2:n hilalta G maata vasten oleva ohmimäärä, jonka pitäisi olla (ON-asennossa olevan kytkimen kautta) sama kuin R1:n eli 47k.

Sitten laitetaan virrat päälle ja mitataan jännite TR2:n hilalta G maata vasten.

Mikäli jännite on sama kuin plusjännite, on TR1 tuhoutunut täysin johtavaksi. Tarkista että R2 on hyvin juotettu, koska kylmäjuotos (katkos) aiheuttaa kaiken virran kulkemisen vain TR1:n läpi ja johtaa yleensä TR1:n tuhoutumiseen. Tällöin myös testin alussa voidaan huomata hetkellinen virtapulssi ja jopa savuefekti.

Jos taas jännite on hilalla lähes nolla, tarkistetaan myös jännite TR1:n kannalla (B). Jos jännite kannalla on nolla, on R2:n kohdalla varmasti kylmäjuotos ja myös TR1 on jo hyvin todennäköisesti tuhoutunut. Jos taas jännite TR1:n kannalla on sama kuin käyttöjännite, on TR2 jostain syystä vioittunut tai väärin päin.

Jos regulaattori antaa liikaa virtaa

Mitataan ensin jännite TR2:n hilalta (=TR1:n kollektori C) maata vasten.

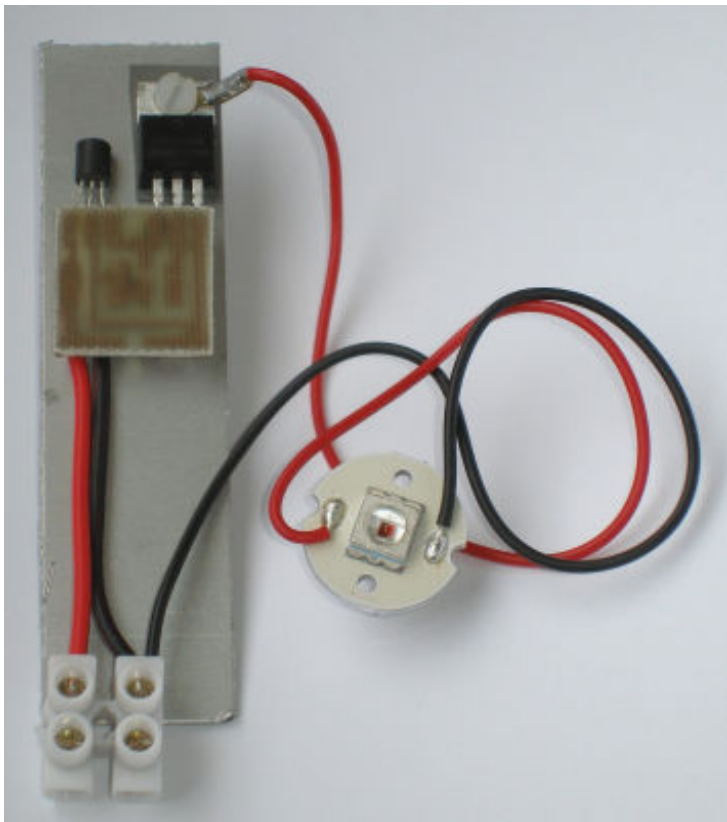
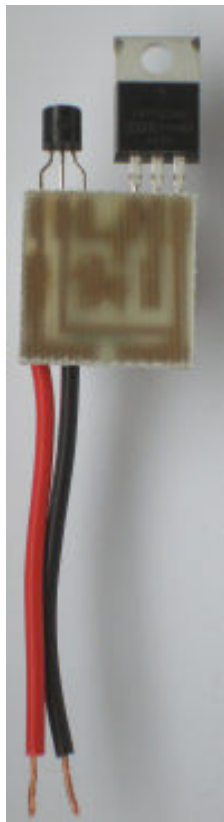
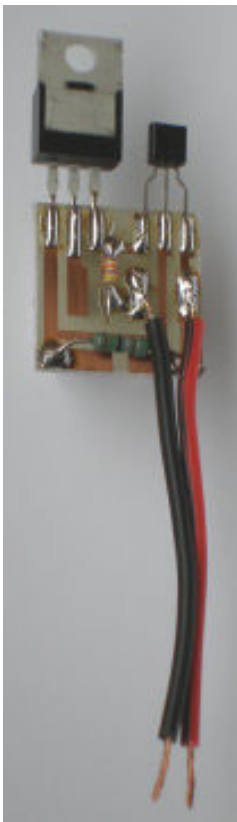
Mikäli jännite on lähes nollassa, on vika transistori TR1:n alueella (kylmäjuotos) tai transistori on tuhoutunut johtamattomaksi. Tämä on yleensä juotettaessa liian kuumana käyneen transistorin vika. TR1 ei tällöin johda virtaa TR2:n hilalle jotta TR2 sammuisi.

On huomautettava että kytKentä ei ole mikään huipputarkka ja virta voi hyvin heittää 10% ohjearvoilla laskestusta mutta on aina turvallisemmalla puolella eli virta on varmasti pienempi kuin laskemalla saatu. Tarkempi arvo saadaan kun 0.6V jännitteen sijasta käytetään arvoa 0.55V vastuksen R2 laskennassa. Se on kokemusten mukaan jo hyvin tarkka arvo vastuksen R2 määrittämiseen. Vastusta R2 on kokeiltava ja trimmattava aivan käytännössä jos haluaa tarkemman tuloksen ja silti esim. lämpötila vielä vaikuttaa tulokseen. Jos siis virtalähteellä kokeilee ja nostaa jännitettä ja virran nousu pysähtyy tiettyyn kohtaan, kytKentä varmasti toimii. R2:n arvoa korottamalla virran pitäisi tipua ja päinvastoin.

Jos trimmauksen jälkeen samoilla komponenteilla (sama valmistuserä) tekee regulaattoria useamman, hajoonta onkin sitten jatkossa jo hyvin pientä.

SMD-malli

Varsinkin 1W valkoisella ledillä varustettavan lippalakin kohdalla tuli tarve kehittää aivan oma ja mahdollisimman pienikokoinen vakiovirtasäädin joka mahdollistaisi myös pintaliitoskomponenttien käytön. Kyseisellä smd-piirilevyllä voi käyttää myös perinteisiä läpijuotettavia komponentteja, kuten on tehty kuvien piirilevyllä. Niilläkin saavuttiin tärkein ominaisuus eli litteys lippalakkia varten. Sen avulla säädin on helppo piilottaa pienen alumiinipellin alle, joka toimii samalla jäähdytyspintana. Fet-transistori voidaan jäähdyttää hyvin yksinkertaisesti siten että alumiinipellin reuna taitetaan siten että Fet-transistorin korva puristuu kiinni. Väliin laitetaan joko silikonilevy tai piitahnaa.

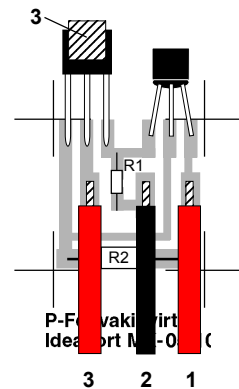


Ylläolevissa kuvissa on mallikytkentä jossa jännite otetaan ledeille ulos Fet-transistorin korvasta eikä piirilevyiltä. Kyseessä on 1W oranssia lediä käyttävä jatkänkynttiläsovellus, jossa tehokas oranssi led tuottaa hyvin aidon tuntuksen tulen loimun. Ledin kytkeminen (isossa kynttilässä kaksi sarjassa) oli helpompaa juotoskorvan avulla, samaan ruuviin millä Fet-transistori kiinnitettiin jäähdytys/suojapeltiin. Eli led saa plusjännitteensä korvasta ja ledin miinusnapa on kytketty yhteen piirilevyiltä tulevaan miinus-/maanapaan. Järjestely voi olla esim. jossain ajoneuvossa sellainenkin että plusjännite lähtee jonnekin kauemmas ledien luo ja ledien miinusnapa kytketään määränpäässä koriin.

Osaluettelo

Piirilevyille tulevat osat

R 1 ----- 47k Ohm 1/4W
R 2 * ----- Katso laskentakaavat
TR1 ----- PNP transistori BC557B
TR2 ----- P-kanava Fet transistori
esim. pienikokoinen IRFU9024 (kotelo TO-251, kuvattu 1:1 oheisessa piirroksessa) tai kuvien "isossa" TO-220 kotelossa IRF95nn ... 96nn sarja, IRF9Z34N...



1 = plusjännite sisään
2 = miinus/maa
3 = plusjännite ulos

Huomaa että jäähdytyslevyyn kytkeytyy ulostuleva jännite mikäli Fet-transistoria ei eristetä (kuvissa on käytetty Nylonruuvia ja silikonilevyä).

Ideaport - 21.3.2010
www.ideaport.edu.hel.fi



Teksti ja kuvat: Markku Kauppinen
Piirilevyn valotusmaski pdf-muodossa:
www.welcome.to/ideaport

21.3. 2010 Lisätty SMD-piirilevymalli
10.5.2010 pienennetty regulaattorin piirilevykokoa