



Tee itse

Tehokas vakiovirtalähde ledeille

Jukka Hietala 2008

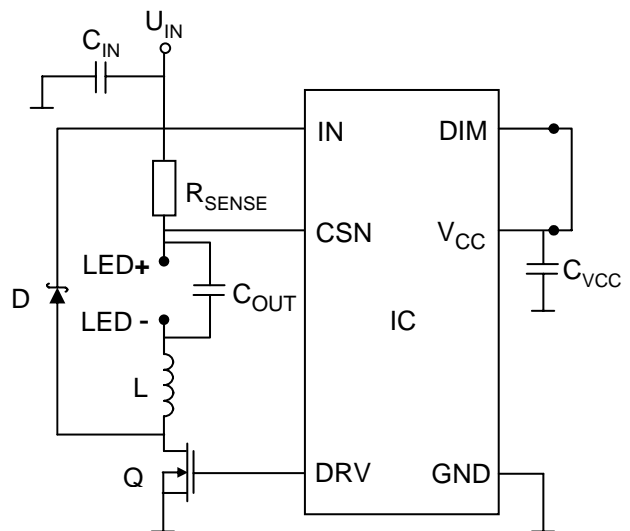
Teholedin käyttäminen suurella teholla vaatii vakiovirtalähteen, joka nimensä mukaisesti pitää ledin virran samansuuruisena riippumatta käyttöjännitteen, lämpötilan ja lediyksilöiden välisistä vaihteluista. Hyötysuhteeltaan paras topologia vakiovirtalähteen toteuttamiseksi on ns. step-down-hakkuri¹, jossa käyttöjännite on suurempi kuin ledien jännite. Toiminnaltaan step-down-hakkuri on yksinkertainen eikä se vaadi paljon komponentteja. Hyvän hyötysuhteen ansiosta erityistä jäähdytystarvetta ei ole ja siksi koko voidaan pitää pienenä.

Tässä esiteltävä step-down-tyyppinen vakiovirtalähde perustuu MAX16820-ohjainpiiriin. Ohjainpiirin lisäksi vakiovirtalähde sisältää fet-transistorin, kelan, diodin, vastuksen ja kolme kondensaattoria. Vakiovirtalähteen käyttöjännite voi olla 5 – 28 volttia ja vakiovirta voidaan asettaa enintään kahden ampeerin suuruiseksi. Vakiovirtalähteeseen voidaan kytkeä jopa seitsemän teholedyä sarjaan, jolloin ledeille saadaan noin 50 watin teho. Tämä vakiovirtalähde soveltuukin myös suuritehoisiin sovelluksiin.

Toiminta

Kytkenän toiminta on hyvin yksinkertaista. Ohjainpiiri IC nostaa DRV-nastan +5 volttiin, jolloin fet Q kytkeytyy ja virta alkaa kulkemaan käyttöjännitteestä R_{SENSE} -vastuksen, ledien, kelan L ja fetin läpi käyttöjännitteen miinukseen. Kelan induktanssista vaikutuksesta virta ja sitä kautta myös R_{SENSE} -vastuksen yli jäävä jännite kasvaa tasaisesti. Kun ylijäävä jännite saavuttaa arvon 0,21 volttia, ohjainpiirin DRV-nastan jännite tippuu noltaan volttiin ja fet ei enää johda. Silloin kelaan varastoitunut energia purkautuu shcottky-diodin D, R_{SENSE} -vastuksen ja ledien kautta. Kelan induktanssin vaikutuksesta virta pienenee tasaisesti. Kun R_{SENSE} -vastuksen yli jäävä jännite pienenee 0,19 volttiin, kytkee ohjainpiiri fetin jälleen johtamaan ja virta alkaa taas kasvamaan.

¹ Step-down-hakkuria kutsutaan myös buck-hakkuriksi.



Vakiovirtalähteen kytkentäkaavio. Ledit kytketään pisteisiin LED+ ja LED-.

Virta kulkee vuorotellen fetin ja schottkydiodin kautta, mutta ledien läpi virta kulkee jatkuvasti. Näin piiri värähtelee taajuudella, joka riippuu käyttöjännitteen lisäksi ledien jännitteestä. Ohjainpiirin maksimitaajuus on 2 MHz.

Virran suuruus

Ledien läpi kulkevan virta on saman suuruisen kuin R_{SENSE} -vastuksen läpi kulkeva ja ohmin lain mukaan virta vaihtelee kahden arvon välillä:

$$I_{MAX} = \frac{0,21V}{R_{SENSE}} \quad I_{MIN} = \frac{0,19V}{R_{SENSE}}$$

Keskimääräinen virta on siis

$$I = \frac{0,2V}{R_{SENSE}}$$

Ledien läpi kulkevan virta I voidaan asettaa halutun suuruiseksi mitoittamalla vastus R_{SENSE} kaavan

$$R_{SENSE} = \frac{0,2V}{I}$$

mukaisesti. Vastuksessa syntyy tehohäviö

$$P = \frac{(0,2V)^2}{R_{SENSE}}$$

mikä muuttuu lämmöksi. Tehohäviö ei kuitenkaan ole kovin merkittävä. Suurin häviöteho syntyy ohjainpiirissä. Kondensaattori C_{OUT} tasaa ledien jännitettä ja virtaa, mutta sen tärkein tehtävä on suojata kytkentää jännitepiikiltä virtapiirin katketessa ledien kohdalta.

TAULUKKO 1. Esimerkkejä R_{SENSE} -vastusarvoista (RETMA E6 –sarja) ja vastuksen tehohäviöstä.

R_{SENSE} / Ω	I / mA	P / mW
0,1	2 000	400
0,15	1 300	270
0,22	910	180
0,33	610	120
0,47	430	85
0,68	290	59
1	200	40
1,5	130	27
2,2	91	18

Ledien jännite riippuu ledien tyypistä, määrästä, virran suuruudesta ja ledien lämpötilasta. Tasavirtalähde nostaa ledien jännitteen niin suureksi, että haluttu virransuuruus saavutetaan, kuitenkin enintään vakiovirtalähteen tulojännitteen suuruiseksi, koska step-down-topologia ei mahdollista jännitteen nostamista.

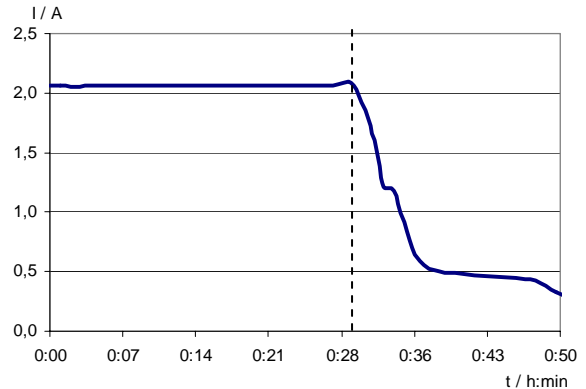
Käyttöjännite

Käyttöjännitteen on oltava vähintään n. 0,35 voltia suurempi kuin ledien jännite, jotta vakiovirtalähde toimii halutulla tavalla. Kun käyttöjännite tippuu liian pieneksi esimerkiksi akun tyhjentymässä, siirtyy vakiovirtalähde ns. lineaaritilaan ja fet johtaa jatkuvasti. Tämä on erittäin tärkeä ominaisuus akkukäytön yhteydessä, koska lineaaritilan ansiosta ledien äkillistä pimenemistä ei tapahdu. Jännitteen tippuessa ledien virta tippuu huomattavasti, minkä ansiosta ledit palavat vielä moninkertaisen ajan, mutta himmeämmin.

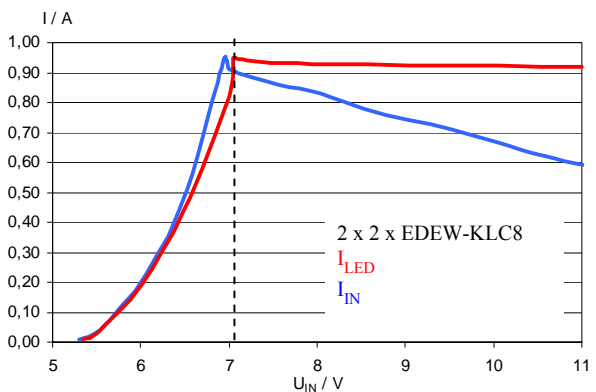
Jos käyttöjännite tippuu 4,5 volttiin, sammuu vakiovirtalähde kokonaan. Käyttöjännitteen nostaminen esimerkiksi akkukennojen määrää lisäämällä pienentää vakiovirtalähteen ottamaa virtaa ja siten lisää toiminta-aikaa. Vastaavasti akkujännitteen tippuessa vakiovirtalähteen ottama virta kasvaa.

Käyttöjännitteen noustessa piirin toiminta-aika kasvaa. Erityisen voimakasta taajuuden kasvu on silloin, kun ledejä on useita sarjassa eli niille menevä jännite on suuri. Tämä

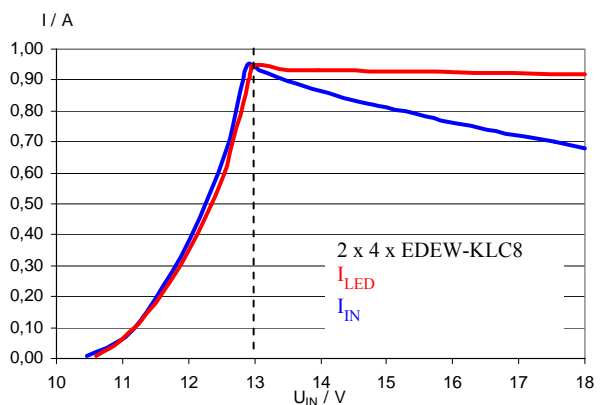
on syytä ottaa huomioon siksi, että toiminta-aikauuden kasvaminen huonontaa vakiovirtalähteen hyötysuhdetta ja lisää erityisesti ohjainpiirin lämpenemistä. Kahden ledin sarjakytkennällä käyttöjännite kannattaa pitää alle 11 voltissa ja neljällä ledillä alle 17 voltissa.



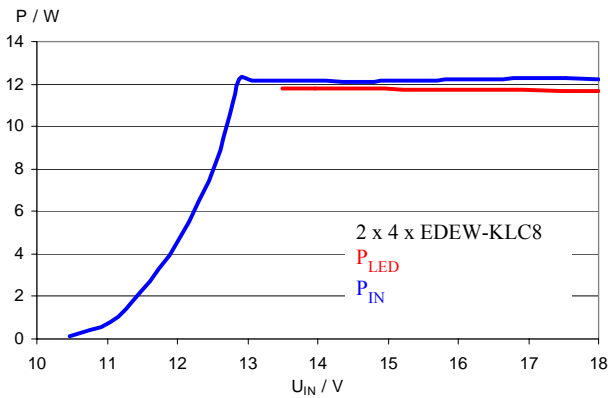
Ledien virta 2 A:n mitoituksella. AA-kokoiset pikaladut NiMH-kennot hyytyvät puolen tunnin käytön jälkeen ja vakiovirtalähde siirtyy lineaaritilaan. (2 x 2 kpl EDEW-KLC8, 8 x NiMH 1,2 V 2500 mAh). $R_{SENSE} = 0,1 \Omega$.



Tasavirtalähteen ottama virta ja ledin virta käyttöjännitteen funktiona. Lineaaritilan yläraja on tässä n. 7,1 voltia. $R_{SENSE} = 0,22 \Omega$.



Tasavirtalähteen ottama virta ja ledin virta käyttöjännitteen funktiona. Lineaaritilan yläraja on tässä n. 13 voltia. $R_{SENSE} = 0,22 \Omega$.



Tasavirtalähteen ottama teho ja ledien teho käyttöjännitteen funktiona. $R_{SENSE} = 0,22 \Omega$. Hyötysuhde on n. 95%.

Himmennys

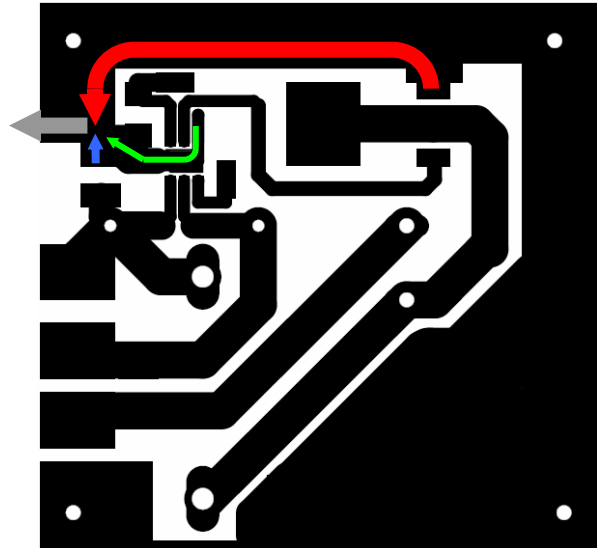
Vakiovirtalähde on mahdollista käynnistää ja sammuttaa DIM-nastan avulla jopa 20 000 kertaa sekunnissa, kun käyttöjännite pidetään koko ajan kytkettynä. Tätä ominaisuutta on mahdollisuus käyttää ledien kirkkauden säätämiseen PWM-signaalilla. PWM-signaali kytketään ohjainpiiriin DIM-nastan ja pulsinleveyden avulla määrätään kuinka suuren osa ajasta ledit palavat. Jos himmennystä ei käytetä, kytketään DIM-nasta piiriin V_{CC} -nastan eristetyllä hyppylangalla.

V_{CC} -nastassa on 5 voltin suuruinen ohjainpiiriin sisäinen käyttöjännite ja siksi tähän nastaan kytketään kondensaattori. Sisäisestä regulaattorista voi V_{CC} -nastan kautta ottaa ulkoiseen käyttöön virtaa enintään 10 mA esimerkiksi PWM-piirille. DIM-nastan avulla voidaan toteuttaa myös litiumakkua liialta purkautumiselta suojaava sammutus. Käyttöjännitteeltä tuodaan DIM-nastalle jännite sellaisella jännitejaolla, että akkujännitteen laskeutumisesta vältetään pisteytyminen ohjainpiiriin sammuu. Vakiovirtalähteen kuluttama virta ilman ledejä, mutta DIM-signaali aktiivisena on 0,8 mA.

Piirilevy

MAX16820 on 6-napaisessa TDFN-kotelossa, jonka pohjassa on jäähdytyspinta. Kotelo on pintaliitostyyppinen ja kooltaan 3 mm x 3 mm. Yksinkertaisuuden vuoksi kaikki komponentit juotetaan 1-puolisen piirilevyn kuparipuolelle. Piirilevyn koko on 38 mm x 37 mm. TDFN-kotelon alla on piirilevyn maataso johtamassa lämpöä pois kotelosta. Maadoitukset on tehty tähtipisteperiaatteella eli jokaisen komponentin maadoitus muodostaa oman haaransa, joka päättyy yhteiseen pisteeseen.

Näin komponenttien virrat eivät vaikuta toistensa maadoituspisteiden potentiaaliin.



Fetin virta (punainen)

IC:n virta (vihreä)

C_{IN} -kondensaattorin virta (sininen)

Vakiovirtalähteen paluuvirta (harmaa).

Piirilevyn tähtipistemaadoitus.

Komponentit

Käyttöjännitteen häiriöt suodatetaan kondensaattorilla C_{IN} , jonka kapasitanssi on 1 μF ja jännitekestoisuus 50 V. Periaatteessa tämän tyyppinen vakiovirtalähde ei tarvitse lähtöjännitteen suodatuskondensaattoria ja kondensaattorin C_{OUT} voi siksi jättää pois, mutta silloin ledeille menevien johtimien katkeaminen vakiovirtalähteen toimiessa aiheuttaa kelalta tulevan korkeajännitepiikin, joka tuhoaa komponentteja. Näin voi käydä esimerkiksi silloin, kun ledit on kytketty liittimellä vakiovirtalähteeseen ja käyttäjä irrottaa ledit "lennossa". Kondensaattori C_{OUT} on samanlainen kuin C_{IN} , mutta sen arvoa ei kannata turhaan kasvattaa, varsinkin jos käytetään korkeataajuisia PWM-himmennystä. IC:n sisäinen käyttöjännite suodatetaan kondensaattorilla C_{VCC} , jonka kapasitanssi on 1 μF ja jännitekestoisuus 25 V. Kaikki kondensaattorit ovat keraamisia johtuen suuresta toimintataajuudesta.

Fet on pienikokoinen IRL2705-MOSFET, jonka virrankesto on 3,8 A ja jännitekesto 55 V. Se on pintaliitosmallisessa SOT-223-kotelossa ja sen metallilapalle on varattu ylimääräinen kuparialue piirilevyllä lämmönsiirron parantamiseksi. Erilaisia fetiä

käytettäessä on huomioitava fetin riittävä nopeus ja pieni hilakapasitanssi, koska piirin toimintataajuus voi nousta jopa kahteen megahertsiin. Liian hitaalla fetillä hyötysuhde kärsii ja ohjainpiiri voi jopa ylikuormittua ja tuhoutua. Fetin on oltava Logic-tyyppinen ohjautuakseen oikein ohjainpiiriltä tulevalla 5 voltin ohjaussignaalilla. V_{CC} ja DIM-nastoilta on vedetty padeihin päättyvät kuparivedot hyppylangan juottamiseksi.

Kela on ferriittisydäminen toroidi, jonka hajakenttä on pieni. Induktanssin suuruus on 40 μ H ja DC-resistanssi vain kymmeniä milliohmeja. Virrankesto 3 A. Kela juotetaan piirilevyn läpi.

Diodina käytetään nopeaa 1N5822-schottky-diodia, jonka virrankesto on 3 A ja estosuuntainen jännitteenkesto 40 V.

TAULUKKO 2. Komponenttlista

Komponentti	Arvo	Ostopaikka	Koodi
R _{SENSE} (mitoitetaan halutun virran mukaan)	0,1 Ω ½ W	Partco Oy	FRES 1/2W 0,10 ohm
	0,22 Ω 0,6 W	Partco Oy	VASTUS 0,22 OHM
	Muut arvot (E48)	Partco Oy	VASTUS + ARVO OHM
L	40 μ H 3 A	Partco Oy	KELA 40uH 3A
C _{VCC}	1 μ F 25 V X7R	Partco Oy	CHIPC 0805 1uF
C _{IN} , C _{OUT}	1 uF 50 V X7R	Elfa	65-900-04
D	1N5822	Partco Oy	1N5822
Q	IRLL2705	Partco Oy	IRLL2705
IC	MAX16820	Maxim	Tilaa näytteenä www.maxim-ic.com
Ferriitit	\varnothing 7/12 mm N27	Partco Oy	RIK 12
Liitinpari	AMP Mini-MATE	Partco Oy	AMP MM 2 U+N

Lisäksi tarvittavat piirilevytarvikkeet, työkaluja, juottokolvin, tinainimusukkaa, juotospastaa ja johtoa. Piirilevyn oikea koko on 38 mm x 37 mm. IC voi olla myös MAX16819, jossa on suurempi ripplivirta.

Kokoonpano

Piirilevy pitää tinata ennen kokoonpanoa. IC:n, kondensaattorien ja fetin kohdalta ylimääräinen tina imetään pois tinainimusukalla. Piirilevyn kokoaminen on syytä aloittaa juottamalla ensin IC. Tässä vaiheessa on erittäin suositeltavaa käyttää juotostinan sijaan juotospastaa. Juotospasta on harmaata tinaa ja juoksetta sisältävää tahnaa, joka on usein pakattu ohuella neulalla varustettuun ruiskuun.



Juotospastaruisku

Juotospastaa annostellaan pienet nokareet piirilevyn padeille ja IC:n alle jäävälle kuparipinnalle. Tämän jälkeen IC painetaan varovasti paikalleen ja oikea paikka tarkastetaan suurennuslasin avulla. Lopuksi piirilevyjohtimia lämmitetään kolvilla mahdollisimman lähellä IC:tä n. 10 sekunnin ajan, jolloin pasta sulaa ja muuttuu kirkkaaksi tinaksi. Tinan ja juoksetteen seoksen pintajännitys vetää tinan pois IC:n nastojen välistä. Juotokset tarkastetaan suurennuslasin ja yleismittarin avulla. Jos juotoksissa on oikosulku, kannattaa lämmittää kyseistä kohtaa uudelleen, kunnes tina sulaa uudestaan. Katkoksen voi korjata lisäämällä juotospastaa aivan IC:n nastan viereen ja lämmittämällä sitä sitten kolvilla. Maatason lämmitystäkään ei saa unohtaa, ettei IC jää ilman jäähtytystä. IC:n juotokset puhdistetaan alkoholiin kastetulla pumpulipuikolla.

IC:n jälkeen juotetaan vastus, kondensaattorit, diodi, kela ja käyttöjännitteen johdot. Kela on syytä jättää hieman irti piirilevystä ja tukea piirilevyyn kovalla kuumaliimalla, koska se on piirilevyjohtimien päällä. Kuumaliimauksen voi siistiä varovasti kuumailmapuhaltimen pienimmällä teholla.

Käyttöjännitteen plussa kytketään pisteeseen U_{IN} ja miinus pisteeseen GND. nämä johdot kannattaa kiertää pariksi ja pujottaa kierros ferriitin ympärille johdoista säteilevien sähkömagneettisten häiriöiden vähentämiseksi. Samalla vakiovirtalähteen suojaus häiriöitä vastaan paranee. Ferriitin oikea paikka on mahdollisimman lähellä piirilevyä.

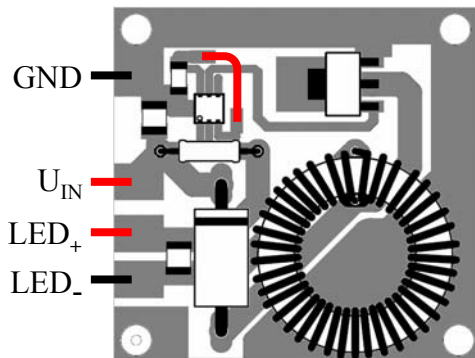
Nyt piirilevylle voidaan kytkeä käyttöjännite ja tarkastaa, että V_{CC} -nastassa on 5 voltin (esim. 5,36 V) jännite ja DRV-nastan jännite on nolla. Kytke lyhyt eristetty hyppylanka V_{CC} -nastalta DIM-nastalle. Nyt DRV-nastassa pitäisi olla 5 voltin jännite. Juota fet ja tarkasta, että sen hilalle tulee 5 voltin jännite. LED+ ja LED- -nastojen välillä tulee olla yhtä suuri jännite kuin käyttöjännite.

TAULUKKO 3. Vianhaku

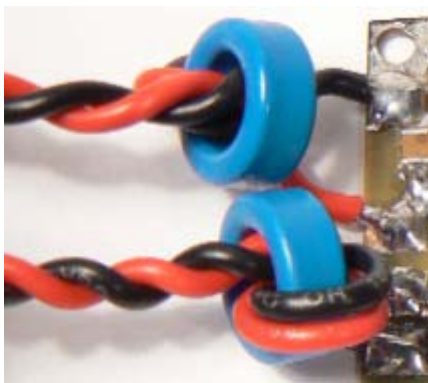
Vika	Tarkasta IC:n juotokset:
V _{CC} on nolla	V _{CC} ja IN
V _{CC} yli 5 voltia ja lähes yhtä suuri kuin käyttöjännite	GND
DRV on nolla	DRV
Piirin antama virta on on liian suuri, mutta vakio	IN ja CSN (pastaa juotoksissa)
Piirin antama virta on liian suuri ja nousee nostettaessa käyttöjännitettä	CSN

Jos IC:n alle jää oikosulku, jota ei voi korjata, irrota IC esimerkiksi lämmittämällä sitä kuuma ilmapuhallimen ykkösteholalla.

Ledit kytketään piirilevyn padeihin LED+ ja LED- pariin kierrettyillä johdoilla, joita pujotetaan kierros ferriitin ympäri. Johtojen pituus voi olla useita metrejä, kun johdinpinta-ala on vähintään n. 0,75 mm². Väliin voi laittaa liittimen, jos on tarve vaihtaa led-yksikköä, mutta silloin kondensaattoria C_{OUT} ei saa jättää asentamatta. Tämä kondensaattori mahdollistaa ledien turvallisen irrottamisen vakiovirtalähteestä sitä sammuttamatta. Nämäkin



Johdotus ja V_{CC} – DIM-hyppylanka



Ferriitit

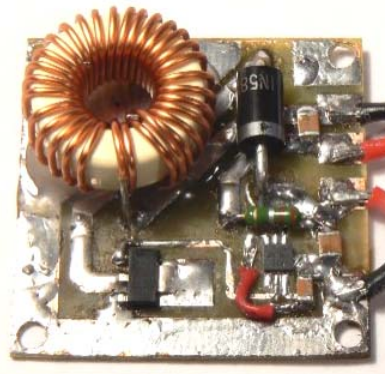
Kytke virtamittari ledien kanssa sarjaan ja tarkasta, että ledeille menevä virta on halutun suuruinen. Pidä ledejä päällä noin minuutti ja kokeile, ettei IC kuumene polttavan kuumaksi.

Kotelointi

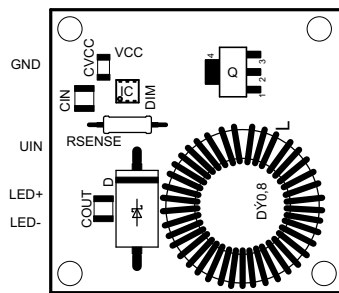
Korkean toimintataajuuden ja nopeiden virta- ja jännitemuutosten takia vakiovirtalähde säteilee sähkömagneettista häiriötä laajalla taajuusalueella. Säteilystä lähtee pääasiassa johdoista. Johtojen kiertäminen pariin ja ferriitit vähentävät johdoista säteilevää häiriötä sen verran, että ULA-alueen häiriöt ovat merkittäviä n. 10 - 30 senttimetrin etäisyydellä vakiovirtalähteestä. Paras häiriösuoja saadaan koteloidulla vakiovirtalähde tiiviiseen metallikoteloon, joka kytketään käyttöjännitteen miinukseen. Vakiovirtalähde ei tarvitse jäähdytystä. Ulkokäytössä on lisäksi huomioitava koteloinnin riittävä vesitiiviys.

Nyt vakiovirtalähde on valmis ja sen ansiosta teholedeistä voidaan ottaa kaikki irti, kun vain niiden riittävästä jäähdytyksestä huolehditaan.

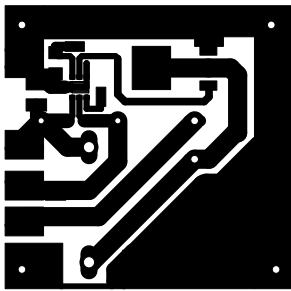
Vakiovirtalähde ledeille



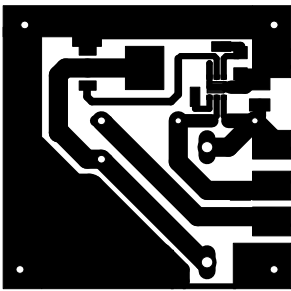
Käyttöjännite	5 – 28 VDC (min V _{led} +0,35 V)
Max lähtövirta	2 A (aseteltavissa)
Hyötysuhde (mitattu 0,93 A:n virralla)	95%
Topologia	Step-down
Max kytkentätaajuus	2 MHz
Komponenttien lukumäärä	8 kpl
Ohjainpiiri	Maxim MAX16820
Koko (L x S x K) mm	38 x 37 x 13
Toimintalämpötila	-40...+80°C
Suunnittelu	Jukka Hietala 2008



Led Driver
Jukka Hietala 2008



Led Driver 38 mm x 37 mm
Jukka Hietala 2008



Led Driver 38 mm x 37 mm
Jukka Hietala 2008