

TAMPEREEN AMMATTIKORKEAKOULU

Konetekniikan koulutusohjelma

Kone- ja laiteautomaatio

Opinnäytetyö

Tapani Kudjoi

Teholedeillä valaistun automaattisen pienoiskasvihuoneen tuotekehittely

Työn ohjaaja

Diplomi-insinööri Mika Korpela

Tampere 2009

TAMPEREEN AMMATTIKORKEAKOULU

Kone- ja tuotantotekniikka

Kone- ja laiteautomaatio

Tekijä	Kudjoi Tapani Kalevi
Työn nimi	Teholedeillä valaistun automaattisen pienoiskasvihuoneen tuotekehittäminen
Sivumäärä	50 sivua + 23 liitesivua
Valmistumisaika	5/2009
Työn ohjaaja	diplomi-insinööri Mika Korpela
Hakusanat	Teholedit, kasvihuone, harrastus, vihreä teknologia, vesiviljely

TIIVISTELMÄ

Idea pienoiskasvihuoneesta syntyi ajatuksen ympärille, että tehokkaita ledejä voisi käyttää kasvien kasvattamiseen, vihreä teknologiahan on nykyään ajankohtainen aihe. Yhteyttävät kasvit eivät käytä näkyvän valon koko spektriä, vaan kasvien käyttämät valon aallonpituudet ovat spektrin punaisessa ja sinisessä päässä. Käytettäessä valoteholtaan sopivia punaisia ja sinisiä ledejä saadaan valaistuksesta irti kasvin kannalta enemmän tehoa vähemmällä virrankulutuksella kuin perinteisillä kasvatuslampuilla. Tavanomaisissa kasvatuslampuissa tehonhäviöt ovat suuret lämpenemisen ja kasvien kannalta liian laajan spektrin vuoksi. Pienoiskasvihuone on hyvä kohde myös automaatioosovellutukseksi, sillä se on ympäristö, jonka olosuhteet vaativat jatkuvaa valvontaa ja säätöä. Viime vuosien huima kehitys elektroniikan saralla on laskenut komponenttien hintoja siinä määrin, että automaatio on realistisessa hintaluokassa yksityisen käyttäjän näkökulmasta.

Prototyypin ohjausyksikkö on PIC-16F788 mikro-ohjain, joka on ohjelmoitu flowcode-kehitystyökalulla. Teholedien käyttö vaatii erillisen ajuripiirin, joka on valmistettu työssä avoimen rakennusprojektin ohjeiden mukaisesti.

Käytännössä pieni koko rajoittaa käyttökohteita ja on jopa hieman kyseenalaista, voiko tätä laatikkoa edes perustellusti kutsua kasvihuoneeksi. Harrastelijoille suunnatulle laitteelle nimi lienee kuitenkin sopiva.

Mahdollista tuotteistamista helpottaa se, että pienoiskasvihuoneille on jo olemassa harrastelijapuutarhureissa kohderyhmä. Ihmiset ovat valmiita panostamaan harrastuksiinsa suuriakin summia, jos tuntevat saavansa rahoilleen riittävää vastinetta. Kaikissa harrastuksissa tulee jossain vaiheessa vastaan se piste, jossa halutaan etsiä uusia haasteita ja kokeilla erilaisia asioita, jotta harrastus kehittyisi uudelle tasolle.

TAMK University of Applied Sciences
Department of Mechanical Engineering

Writer	Kudjoi, Tapani Kalevi
Engineering Thesis	Product development of high power led luminated miniature greenhouse
Pages	50 pages + 23 appendices
Thesis Supervisor	M.Sc. Mika korpela
Keywords	High power led, greenhouse, hobby, green tech, hydroponics

ABSTRACT

The concept of a miniature greenhouse is based on the notion that red and blue high power leds could be used as a source of lamination in the greenhouse. During the course of their evolution, plants have adapted to using the red and blue ends of the spectrum as an energy source of photosynthesis. When the green part of the spectrum is left away, the plants use the light intensity of high power leds very efficiently. High power leds are also more energy efficient than the conventional sources of lighting such as light bulbs, fluorescent light or high-pressure sodium lamps used in commercial greenhouses. The benefit ratio of a high power led can be up to 30%, when regular energy saving lamps usually have a benefit ratio of 12%.

The functions of the prototype of the miniature greenhouse are controlled by a PIC-16F788 micro-controller. Micro-controllers are versatile enough to handle the required tasks such as controlling the irrigation, lights and temperature. The micro-controller is programmed with FlowCode-programming tool, but there are also other programming tools for PIC-micro-controllers that are freeware.

The compact size of the miniature greenhouse sets limits for its usability. Tall plants are out of the question. Also, there is a doubt whether the contraption could be even called a greenhouse, because it is more like a green box. The target group of the miniature greenhouse is amateur gardeners. The project name “miniature greenhouse” feels appropriate for them.

In the future, miniature greenhouse might be commercially available. After all, people are willing to put money and effort in to their hobbies, and if the concept proves to be worth their while, there could be a market for this product.

ALKUSANAT

Opinnäytetyön tekeminen on ollut yksi opettavaisimpia prosesseja ammattikorkeakoulussa. Opinto-ohjelman mukainen sisältö ja tavoitteet ovat usein jo valmiiksi pitkälle mietittyjä ja niiden toivottu lopputuloskin on monesti ilmaistu. Ensimmäistä kertaa oppiminen, tiedonhaku ja työn suunta on ollut täysin omissa käsissä ja vaikka vapaus on ollut suuri, niin vähintään yhtä suuri on ollut vastuun painokin.

Aihe oli helppo keksiä, sillä maalaispoikana luonto ja kasvien kasvattaminen ovat aina kiinnostaneet minua. Jokainen maaseudulla asuva ymmärtää ihmisen riippuvuuden luonnosta - ainakin jollain tasolla - ja sen että teknologian avulla voimme parantaa asemiamme luonnonvoimien armoilla. Ylevä tavoitteeni olisi siirtää jotain tästä ymmärryksestä moderniin kaupunkielämään, niin että lapset näkisivät luonnon prosesseja muuallakin kuin televisiossa.

Työ on lähes kokonaisuudessaan toteutettu Tampereen ammattikorkeakoulun koneautomaatiolaboratoriossa, jonka varustelutaso riittäisi kunnianhimoisempiinkin töihin. Olen itse opinnäytetyöni tilaaja ja toteuttaja, joten kehityskeskustelut olen käynyt opettajien ja opiskelutovereiden kanssa. Kiitokset heille. Erityisesti on mainittava laboratorioinsinööri Seppo Mäkelä, joka on opastanut laboratorion laitteiden ja tietokoneohjelmien kanssa, kun jokin asia on ollut uusi.

Tapani Kudjoi

Sisällysluettelo

TIIVISTELMÄ	2
ABSTRACT	3
ALKUSANAT	4
1 JOHDANTO	8
2 TYÖN TAVOITTEET	9
3 TEORIA	10
3.1 Puolijohdevalaisimen toiminta.....	10
3.2 LED-valon ominaispiirteet.....	12
3.3 Ledivalo verrattuna vanhempiin valaisimiin.....	13
4 VESIVILJELY	15
4.1 Mitä on vesiviljely ja miksi sitä käytetään.....	15
4.2 Kasvun edellytykset	16
5 PIC MIKRO-OHJAIMEN ESITTELY	20
5.1 Mikro-ohjaimen valinta tähän projektiin	20
5.2 Pienoiskasvihuoneen äly-yksikkö	23
6 AUTOMAATIOJÄRJESTELMÄ TÄSSÄ TYÖSSÄ	25
7 TYÖN KUVAUS	27
7.1 Pienoiskasvihuoneen perusrakenne.....	27
7.2 Pienoiskasvihuoneen sähköiset laitteet	28
8 TEHOLEDIT PIENOISKASVIHUONEEN VALONLÄHTEENÄ	30
8.1 Valaistuksen säätö.....	30
8.2 Teholedien kirkkauden säätö	30
8.3 Pienoiskasvihuoneen valaisinmoduulit	31
9 OLOSUHTEIDEN HALLINTA	35
9.1 Lämpötilan säätö	35
9.2 Kastelun säätö	36
10 OLOSUHTEITA VALVOVA OHJELMA	40
10.1 Lämpötilan säätö	40
10.2 Kastelun säätö	41
10.3 Valaistuksen säätö.....	42

11 SÄHKÖJÄRJESTELMÄ.....	44
11.1 Virtalähde.....	44
11.2 Komponentit.....	45
12 YHTEENVETO	48
Lähteet.....	48
Liitteet	50

1 JOHDANTO

Tämä on Tampereen ammattikorkeakoulun kone- ja laiteautomaation suuntautumisvaihtoehdon opinnäytetyö. Työssä raportoidaan kotitalouksille tarkoitettun automatisoidun pienoiskasvihuoneen tuotekehitysprosessi, rakenne ja toiminta. Pääpaino on suunnittelutyöllä, mutta tarkoitus on koostaa kirjallisesta osuudesta sellainen, että sen avulla olisi myös mahdollista toteuttaa toimiva prototyyppi. Keskeistä työssä on teholedien käyttö valaisimina, jotta kasvien kasvattaminen kotioloissa olisi mahdollisimman energiatehokasta.

Työ on luonteeltaan yksityishenkilön yksityishenkilöille tekemä tuotekehitysprojekti. Tavoitteena oli suunnitella ja toteuttaa yksinkertainen automaatiosovellus, jonka avulla kotipuutarhurit voivat laajentaa osaamistaan vaativampiin kasveihin kuin Suomen oloissa normaalisti kasvaisi. Parhaiten pienoiskasvihuone soveltuu taimikasvatukseen, sillä tavallisesti kasvihuoneissa viljeltävät hyötykasvit, kuten tomaatti ja kurkku, vaativat kasvaakseen huomattavasti suuremman tilan.

Työssä käydään läpi puolijohdevalaisimien toimintaperiaate ja vertaillaan niitä perinteisiin valonlähteisiin. Työssä esitellään vesiviljely vaihtoehtona perinteiselle multaviljelylle ja pohditaan sen soveltuvuutta harrastuskäyttöön. Automaatiojärjestelmän suunnittelussa vertaillaan muutamaa pienikokoista ohjausyksikköä ja pohditaan millaisia ominaisuuksia ohjausyksiköltä halutaan.

Kirjoitustyö on tehty pääosin Tampereen Ammattikorkeakoulun koneautomaation laboratoriossa alkutalvesta 2008 kevääseen 2009. Muutamia työn teon ohessa tehdyt kokeet valaisinmoduulien prototyypeillä suoritettiin myös kone- ja laiteautomaation laboratoriossa, nämä kuitenkin jäivät suurelta osin lopputyön ulkopuolelle.

2 TYÖN TAVOITTEET

Kaupallisissa kasvihuoneissa kasvuolosuhteita säädellään jo automaattisesti. Lämpötilaa, kastelua ja ilmankosteutta voidaan hallita anturitietoa ja ohjausautomaatiikkaa yhdistelemällä. Pienoiskasvihuoneen ei ole tarkoituskaan pystyä kilpailemaan kaupallisten kasvihuoneiden tuotannon määrän kanssa eikä toisaalta kopioida suoraan ammattilaisten käyttämää laitteistoa pienemmässä mittakaavassa.

Keskeistä pienoiskasvihuoneessa ovat led-valaistus, vesiviljely ja automaattisuus. Työlle asetettuja tavoitteita ovat muun muassa ledivalojen ja mikro-ohjaimen kotikäyttöön soveltumisen tutkiminen. Perimmäisenä tavoitteena on suunnitella laite, jonka hinta ei huimaa päätä ja joka on niin helppokäyttöinen, että tekniikkaa tuntematon henkilökin osaa kasvattaa siinä kurkkuja ja tomaatteja. Toissijaisia tavoitteita ovat monipuolisesti säädettävissä olevan järjestelmän luominen, johon on mahdollista lisätä ominaisuuksia myös jälkepäin ja mahdollisesti opinnäytetyön jalostaminen kaupalliseksi tuotteeksi.

Järjestelmän alhainen käyttöjännite tarkoittaa, sitä että se on ainakin prototyypivaiheessa akkukäyttöinen. Mahdollisia lisäominaisuuksia ovat aurinkokennokäyttöisyys ja vesiviljelyalustojen lisääminen esimerkiksi hyllymäisinä komponentteina mansikanviljelyä varten. Pieni tuotantomäärä, käytännössä prototyyppi ja mahdollisesti pari kehiteltyä versiota, tarkoittaa sitä että elektroniikkaa varten hankitaan jokin standardikotelointi. Pieniä valmistusmääriä varten ei ole tehokasta suunnitella elektroniikan kotelointia erikseen. Sijoittamalla elektroniikkakomponentit siten, etteivät ne joudu tekemisiin kosteuden kanssa, voidaan käyttää hyvin alhaista IP-luokitusta.

Tavoitteena on kehittää tuote, joka olisi edullinen hankkia, helppo käyttää ja joka toimisi yleisen sähkön- ja vedenjakeluverkon ulkopuolella. Niin ikään tavoitteita ovat myös energiatehokkuus ja huoltovapaus.

3 TEORIA

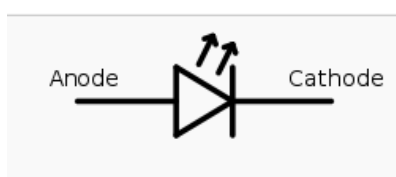
3.1 Puolijohdevalaisimen toiminta

LED (engl. light emitting diode) on puolijohdekomponentti, joka hohtaa valoa kun sen läpi kulkee sähkövirta. Ilmiötä kutsutaan nimellä elektroluminenssi, ja se on eri ilmiö kuin esimerkiksi hehkulamppussa hyödynnetty termoluminenssi, jossa vastuksena toimivaa hehkulankaa kuumennetaan, jolloin sen atomien lämpöliike vahvistuu ja atomit virittyvät. Vastuslangan atomien viritystilän purkautuminen tuottaa fotoneja ja lämpösäteilyä, jotka havaitaan valona ja hehkulamppuille tyypillisenä kuumenemisena.

Elektroluminenssissa fotoni syntyy elektronien liikkuesssa diodin puolijohderakenteessa, eikä lämpöliikkeellä ole tekemistä asian kanssa. Tehon häviö on ledeissä hehkulamppuja ja kaasunpurkauslamppuja vähäisempää, koska sitä ei katoa yhtä paljon lämpönä taivaan tuuliin /3; 6; 1/

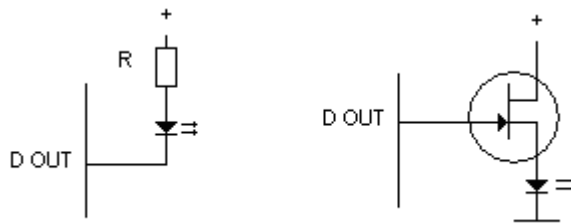
Perinteisen diodin tapaan myös led on tasasuuntaava, eli se päästää virran kulkemaan lävitseen vain yhteen suuntaan ja on toiseen suuntaan pysyvästi sulkutilassa. Ledin piirrosmerkki on esitetty kuvassa 1, josta käy ilmi, että se on lähes identtinen perinteisen diodin piirrosmerkin kanssa.

Diodi valmistetaan liittämällä P-tyyppinen ja N-tyyppinen puolijohdemateriaali yhteen. P-puolella virtaa kuljettavat positiiviset aukot, eli kiinteän aineen valenssivyössä oleva elektronille ”varattu” paikka, josta elektroni on poistunut, ja N-puolella negatiiviset elektronit. Virta kulkee komponentissa vain yhteen suuntaan.



Kuva 1, Ledin piirrosmerkki

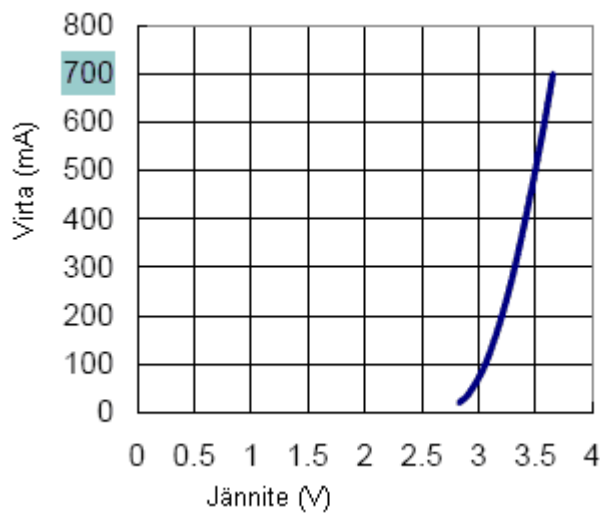
Toimiakseen moitteettomasti ledit tarvitsevat tasajännitteen, joka rajataan tyypillisesti sarjavastuksella ledille sopivaksi kynnysjännitteeksi. Tavallista lediä ja teholediä ohjataan hieman eri tavalla, kuvassa 2 on esitetty teholedin ja tavallisen ledin digitaaliohjaus piirikaaviossa, teholedin virtaa rajaa N-tyypin JFET transistori, joka toimii järjestelmässä kytkimenä.



Kuva 2. Tavallisen ledin binääriohjaus ja teholedin binääriohjaus.

Tässä työssä on käytetty sinisiä ja punaisia ProLight PG1N-3LXS teholedejä, joiden kynnysvirta on 700 mA, jota vastaava kynnysjännite on noin 3,75 V, kuten kuvassa 3 olevassa ominaiskäyrässä on esitetty. Teholedien ohjaamiseen käytetään JFET-transistoria, koska kyseisten teholedien tavallista suurempaa virtaa ei voida ohjata suoraan mikro-ohjaimella. Haluttu ominaisuus on myös himmennys, joka on mahdollista toteuttaa ajuripiirillä, jossa on mahdollista katkoa käyttöjännitettä PWM-tekniikalla. Tällöin teholedien suuri pintakirkkaus ei ole ongelma, koska ne voidaan himmentää tarvittaessa. Markkinoilla on kaupallisia ajuripiirejä, jotka ovat useimmiten hankalasti kotikonstein muokattavia pintaliitospiirejä. Erityistä syytä käyttää suhteellisen kalliita ajuripiirejä ei ole, sillä vastaavia tehoelektronikkapiirejä on mahdollista valmistaa melko tavanomaisista komponenteista. Ajuripiirin rakentamiseen palataan myöhemmin tässä työssä valaisinmoduuleja käsittelevissä kappaleissa.

/3; 10/



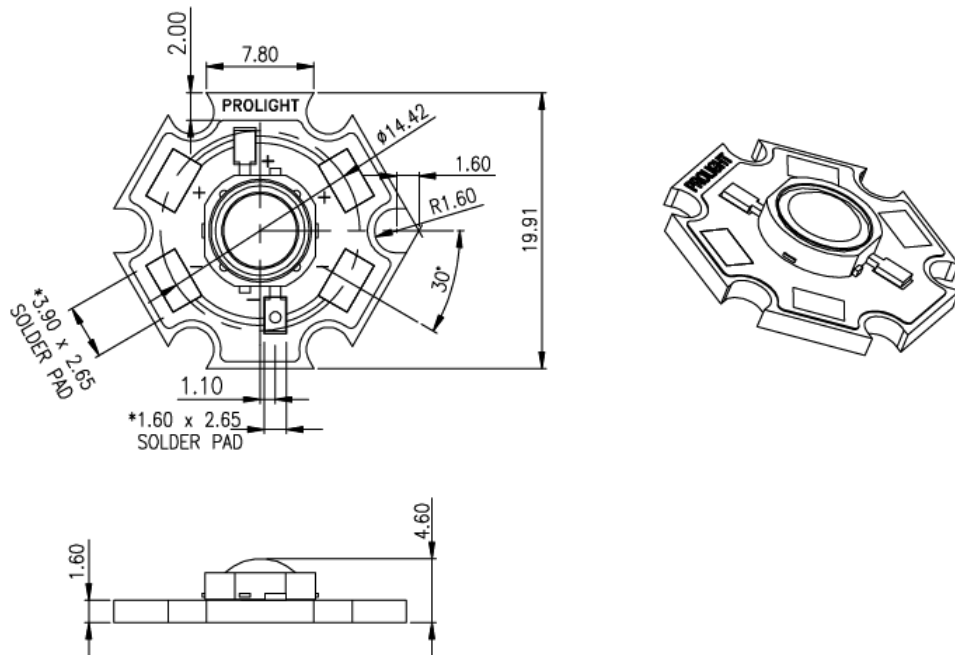
Kuva 3. Sinisten ja punaisten teholedien virran suhde jännitteeseen /10/

3.2 LED-valon ominaispiirteet

Ledien valmistusmateriaali määrää komponentin lähettämän valon värin, jota voidaan edelleen muokata ledin pintaan lisätyillä kalvoilla ja pinnoitteilla. Perusratkaisuiltaan teholedit eivät juuri eroa muista ledeistä, ne vain palavat kirkkaampina ja kestävät suurempia virtoja. Kuvassa 4 on esitetty teholedin fyysiset mitat, jotka poikkeavat jonkin verran pienitehoisista ledeistä, suurin ero on teholedin vaatima suhteellisen suurikokoinen jäähdytyslementti.

Ledin tuottama valo on lähes monokromaattista, eli siinä on lähes yksinomaan yhtä valon aallonpituutta ja silmä aistii sen yksivärisenä. Kapea spektri ei ole ongelma, koska erivärisiä ledejä voidaan pakata samaan koteloon yhdistelmävärien saamiseksi. Kasvit ovat erikoistuneet käyttämään muutenkin vain osaa näkyvän valon spektristä, joten mitään niistä riippuvaa syytä käyttää valkoista valoa ei ole. /6 /

Teholedit ovat periaatteessa samanlaisia kuin pienitehoiset ledit, niiden valoteho on vain suurempi ja ne lämpenevät enemmän. Niiden rakenteeseen kuuluu jäähdytyslementti, joka johtaa käytön aikana syntyvän lämmön pois. Käytännössä tarvitaan lisjäähdytystä optimaalisen käyttölämpötilan ylläpitämiseksi.



Kuva 4. Teholedin ulottuvuudet

3.3 Ledivalo verrattuna vanhempiin valaisimiin

Proessori-lehden numerossa 2/2009 vertaillaan teholedettä ja perinteisiä valaisimia.

Tavallisen hehkulampun hyötysuhde on noin 3 % ja elinkaari noin tuhat tuntia.

Halogeenilampuille luvataan käyttöikää noin 4000 tuntia ja niiden hyötysuhde on noin 5

%:n luokkaa. Loisteputkien hyötysuhde voi olla yli 20 % ja elinikä yli 10 000 tuntia, tosin

pienikokoisten energiansäästölamppujen hyötysuhde jää noin 12 %:een ja ne saavuttavat

normikirkkauden vasta hetken lämmentyään. Kylmässä energiansäästölamput eivät saavuta normikirkkautta lainkaan, ellei niiden anneta palaa miltei jatkuvasti ympäri vuorokauden.

Nykykaikaisten valkoisten teholedien tyypillinen hyötysuhde on yli 20 % ja käyttöikäksi

luvataan yli 50 000 tuntia. Etuna on valaisimen nopea ja ongelmaton sytytys sekä

sammutus. Lisäksi ledivalon pieni fyysinen koko avaa uusia mahdollisuuksia valaistuksen suunnitteluun. /1/

Pienoiskasvihuoneeseen teholedit ovat oikeastaan ainoa realistinen valaisinvaihtoehto.

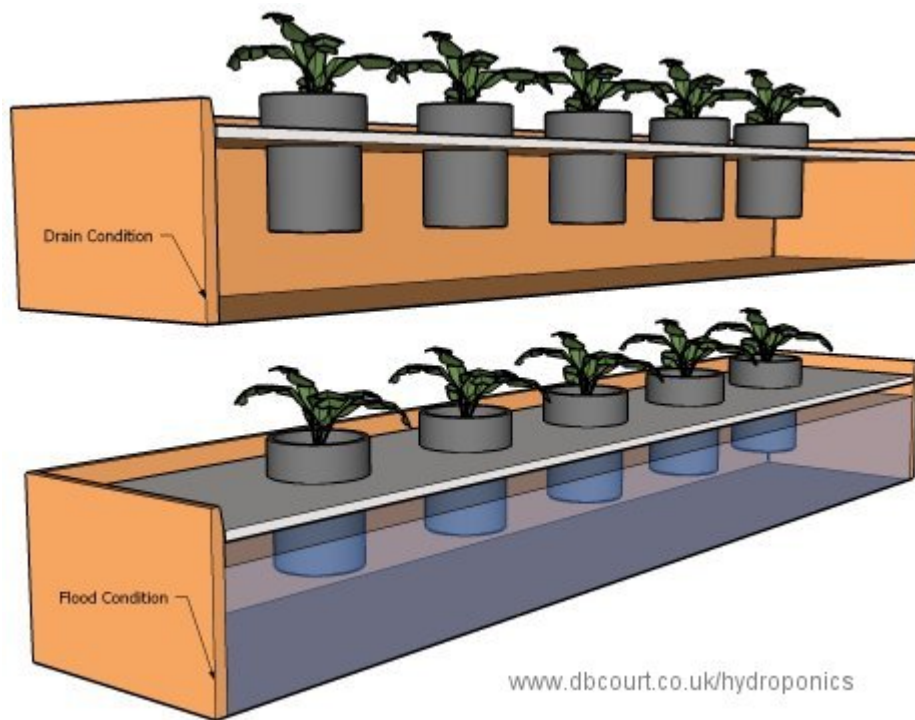
Pienen kokonsa vuoksi ne on mahdollista sijoittaa kasvihuoneeseen siten, että valo

saavuttaa viljeltävät kasvit joka puolelta, eikä vain ylhäältä päin, mikä olisi suurikokoisemman valaisimen kanssa ainoa vaihtoehto. Lähemmäs yhteyttäviä lehtiä sijoitetut valaisimet parantavat kasvin valonkäytön tehokkuutta, kun ylimmät lehdet eivät varjosta alimpia, kuten perinteisissä kokoonpanoissa.

4 VESIVILJELY

4.1 Mitä on vesiviljely ja miksi sitä käytetään

Vesiviljely on menetelmä, jossa hyötykasveja kasvatetaan ravinneliuoksessa ilman multaa. Kasvit eivät tarvitse orgaanisia yhdisteitä kasvaakseen, vaan tulevat toimeen pelkillä epäorgaanisilla yhdisteillä /13/. Vesiviljelyssä on aina perusosat, jotka näkyvät myös kuvassa 5, vesitila ravinneliuokselle, kasvien alusta, joka tukee varsia ja jokin järjestelmä, joka kierrättää jatkuvasti ravinneliuosta vesitilasta kasvin käyttöön. Vesiviljelyssä kasvien juuretkin voidaan tukea kiintoaineeseen, esimerkiksi kevytsoraan, mutta se ei ole välttämättä tarpeen, jos kasvi on tuettu jotenkin muuten sen kasvua rajoittamatta. Vesiviljelyn avulla on mahdollista kasvattaa vaikka kerrostaloasunnossa tomaatteja, kurkkuja ja muita hyötykasveja vaikka hedelmällinen maaperä olisikin kymmenien metrien päässä betonin ja asfaltin alla. Mullan sijaan kasvit saavat ravintoaineensa ravinneliuoksesta. Sitä saa kukkakaupoista ja puutarhaliikkeistä valmiiksi optimoituina seoksina, jotka tarvitsee vain laimentaa ohjeen mukaan ja huolehtia siitä että kasvi saa sitä tarpeeksi. Vesiviljelyssä ravinneliuosta joko kierrätetään kasvin juurelle pumpulla, jolloin on kyse aktiivisesta vesiviljelystä, tai kasvi kasvattaa juurensa liuokseen ja joko kasvatusruukun rakenne tai erillinen hapetuspumppu pitävät huolen siitä etteivät kasvin juuret mätäne. Tavanomaiset altakasteluruukut ovat hyvä esimerkki passiivisesta vesiviljelystä. Niissä ongelmana on usein liikakastelu ja jatkuvasti kosteassa mullassa viihtyvät kasvitautit ja tuholaiset. Vesiviljelyssä, jossa ei käytetä multaa, homeet ja tuholaiset eivät ole yhtä suuri ongelma, sillä niille ei ole kasvualustaa. Vesiviljelyssä kasvien sijoittelua eivät rajoita raskaat multapenkit, vaan ne voidaan asettaa puutarhurin työergonomiaa ja tehokasta tilankäyttöä ajatellen.



Kuva 5. Vesiviljelyjärjestelmä

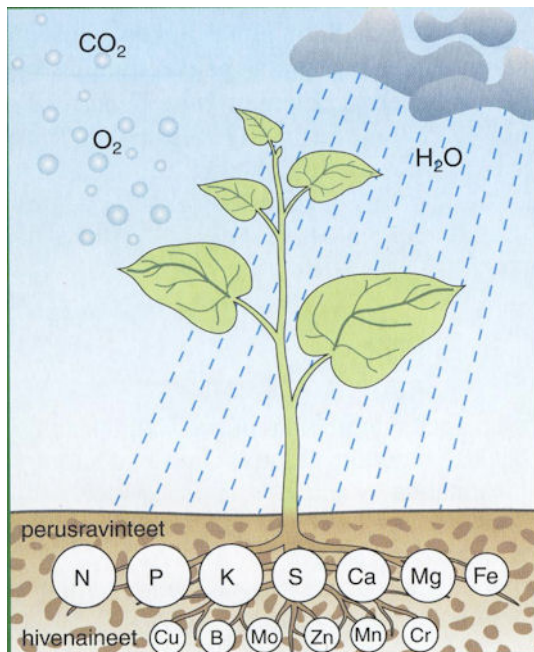
Luonnonoloissa multa pidättää vettä, johon liukenee ravinteita; niitä kasvin juuristo hyödyntää kasvin kasvaessa. Kasvit eivät kykene hyödyntämään maa-ainesta, ainoastaan siinä olevia veteen liuenneita ravintoaineita. Luonnonoloissa maa-aines tukee juuria ja suodattaa ravinteita. Vesiviljelyn perustana on havainto, jonka mukaan maa-aineksen läsnäolo ei ole kasvin kasvun kannalta elintärkeää. /14/

4.2 Kasvun edellytykset

Kaikki kasvit pyrkivät kasvamaan täyteen mittaansa ja tuottamaan satoa niissä rajoissa, jotka ympäristö sille asettaa. Mikäli kaikki oleelliset kasvutekijät pystytään saattamaan tasapainoon, kasvi menestyy ja tuottaa satoa. Kasvihuoneen kontrolloidussa ympäristössä kasvutekijöitä pystytään hallitsemaan ja tarpeen vaatiessa säätämään paremmin kuin ulkopuutarhoissa; jos aurinko ei paista, ei viljelijällä ole keinoja asian korjaamiseen ulkona.

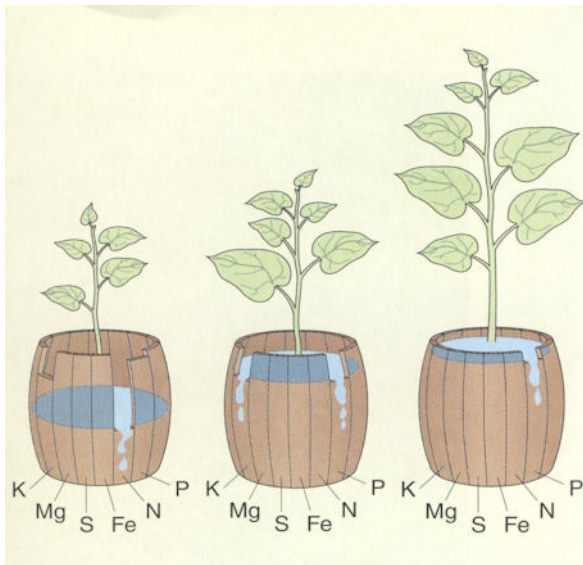
Jos ilma on liian kylmää tai kuumaa, ei sillekään mainittavasti voida luonnonoloissa mitään tehdä. Luonnollisesti vallitsevat olosuhteet rajoittavat myös kotipuutarhureiden harrastusta. Asuntojen olosuhteet on säädetty ihmisten tarpeiden mukaan eikä viljelykasvien vaatimuksia ajatellen. Lämpötilan poikkeama ihanearvosta + 24 C° aiheuttaa ihmisille epäviihtyvyyttä, korkeampi tai matalampi lämpötila voi aiheuttaa myös terveydellisiä haittoja. Talotekniikan terveydelliset ohjeet määräävät, ettei lämpötila asuinhuoneistossa saa nousta yli + 24 C°, ellei se johdu ulkolämpötilan noususta. Liian korkea lämpötila aiheuttaa epäpuhtauksien erittymistä rakennusmateriaaleista ja pienentää huoneilman suhteellista kosteutta, ts. lisää tyypillisiä sairusrakennusoireita. /4/ Useimmat viljeltävät kasvit menestyvät hieman huoneenlämpötilaa korkeammassa lämpötilassa; kasveille ihanteellinen lämpötila juontuu niistä luonnonoloista, joihin ne ovat sopeutuneet.

Kuvaan 6 on koottu ne tekijät, joita kasvit tarvitsevat menestyäkseen. Kasvit sitovat yhteyttämisessä eli fotosynteesissä valoenergiaa ensin sokeriksi ja valmistavat siitä edelleen muita orgaanisia yhdisteitä. Kasvin yhteyttämiseen kuuluu osana myös kaasujen vaihto ilmakehän kanssa. Kasvin kaikki osat, eivät vain lehdet, osallistuvat kasvin ”hengittämiseen”./13/ Monen innokkaan kotipuutarhurin kunnianhimoiset yritykset kasvattaa reheviä pelargonioita ovat kaatuneet liian tiiviiseen maa-ainekseen, joka käytännössä hukuttaa kasvin juuret. Vesiviljelyssä ravinneliuosta kierrättävä pumppu myös hapettaa liuoksen ja takaa kasvin juurille riittävästi ilmaa, kosteutta ja ravinteita. Ravinteiden tasapainoista saantia helpottaa se, että puutarhaliikkeet myyvät ravinneliuksia valmiiksi optimoituina seoksina, jotka käyttäjä vain laimentaa ja kaataa kasveille.



Kuva 6. Kasvun edellytykset

Kaikki kasvit tarvitsevat ilmaa, vettä, ravinteita, mineraaleja ja valoa. Kasvihuoneessa on mahdollista tarjota jokaista ja säätää olosuhteet kasvilajin mukaan, jos omat taidot vain siihen riittävät. Kasvutekijöiden välisiä suhteita määrää niin sanottu minimilaki, jota havainnollistetaan puutyynnyrillä, jonka laitalaudat ovat erimittaiset, kuten kuvassa 7 on esitetty. Jokainen lauta edustaa yhtä kasvutekijää. Paljonko vettä kiuluun mahtuu, riippuu siitä miten pitkä lyhin lauta on. Toisin sanoen kasvutekijät on kyettävä säätämään heikoimman tekijä mukaan: kastelun puute ei korjaannu lannoituksella eikä lannoituksen puute lisäämällä valoa. Kaikkien kasvutekijöiden on oltava tasapainossa, että kasvi voi menestyä.



Kuva 7. Minimilaki

Valitsemalla pienoiskasvihuoneeseen vesiviljely perinteisen multaviljelyn sijaan päästään eroon hankalasta ja aikaa vievästä mullanvaihdosta. Lisäksi säästytään raskaiden multapussien kanniskelulta ja säästetään rahaa. Vesiviljelyn etuja on myös se, että homeet ja tuholaiset eivät viihdy ravinneliuoksessa, toisin kuin mullassa. Yksi pienoiskasvihuoneen kantavia ideoita on huoltovapaus: vesiviljely on vaivaton tapa tarjota kasveille hyvät edellytykset kasvuun. Vesiviljelylaitoksessa on luonnostaan korkea suhteellinen ilmankosteus, mikä ehkäisee tehokkaasti esimerkiksi vihannespunkin lisääntymistä.

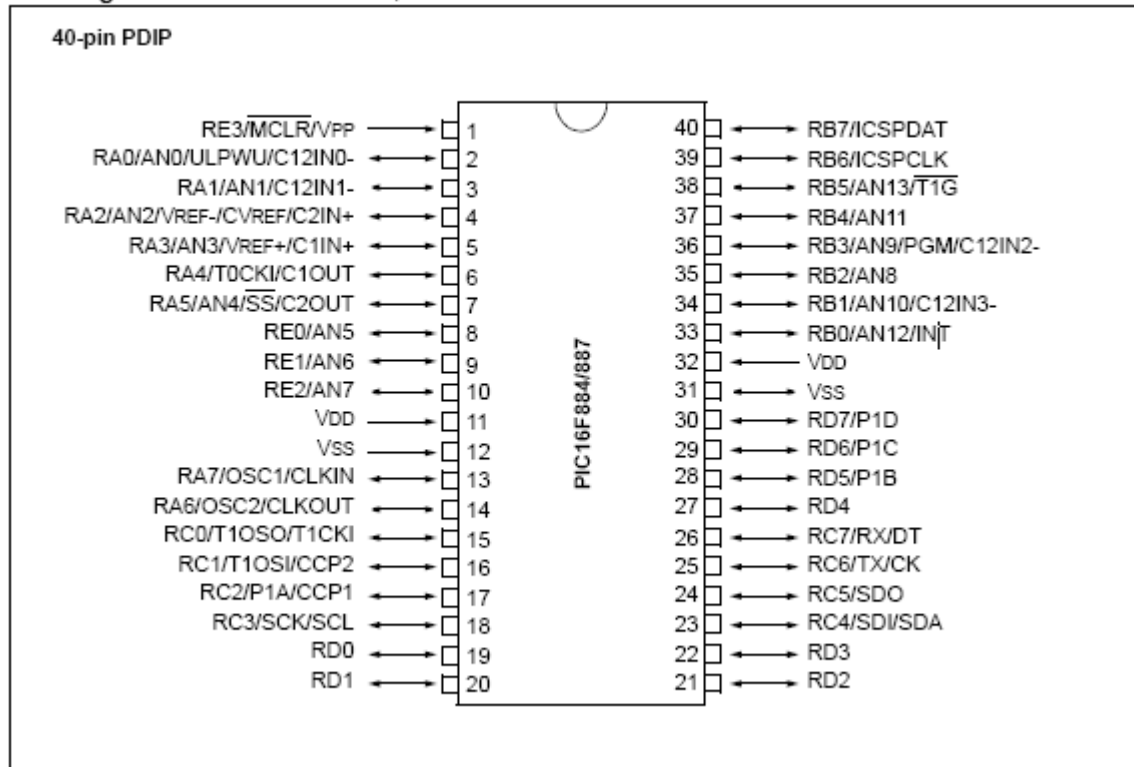
Vesiviljelyssä on mahdollista käyttää kerättyä sadevettä tai sulatettua lunta. Tämä ei kuitenkaan vaadi rakenteilta mitään erityistä. Luonnonveden käyttö mahdollistaa viljelyn vedenjakeluverkon ulkopuolella, mikä lisää tietysti järjestelmän ekologisuutta, edullisuutta ja autonomisuutta.

5 PIC-MIKRO-OHJAIMEN ESITTELY

5.1 Mikro-ohjaimen valinta tähän projektiin

PIC mikro-ohjaimia valmistaa Microchip Technology. Ne on kehittänyt jo toimintansa lopettanut General Instrument, jonka malliin PIC1640 nykyiset PIC-mikro-ohjaimet perustuvat. PIC-mikro-ohjaimet ovat helposti hankittavia, edullisia ja niitä varten on kehitetty useita ilmaisia kehitysohjelmia. Tässä työssä mikro-ohjaimen ohjelmoimiseen on käytetty FlowCode-ohjelmointityökalua. PIC-mikro-ohjain on helposti uudelleenohjelmoitavissa, minkä vuoksi sitä on helppo käyttää tuotekehittelyprojektin ohjainyksikkönä. PIC-16F887:n voi uudelleen ohjelmoida noin 1000 kertaa ilman mitään ongelmia /3/. Mikro-ohjain ei ole aivan yhtä monipuolinen kuin ohjelmoitava logiikka, mutta pienen kokonsa ja pienen hintansa vuoksi se soveltuu yksityiskäyttöön tarkoitettuun automaatio-sovellukseen ohjelmoitavaa logiikkaa paremmin. Suunniteltavan laitteen luonteen takia keveäkö mikro-ohjain PIC16F887 suoriutuu suunniteltujen toimintojen ohjaamisesta riittävän hyvin. Kuvassa 8 on valmistajan datalehdessä otettu PIC-16F887 mikro-ohjaimen I/O kaavio, josta nähdään kytkentänastojen määrä ja fyysinen sijainti. /7/

Pin Diagrams – PIC16F884/887, 40-Pin PDIP



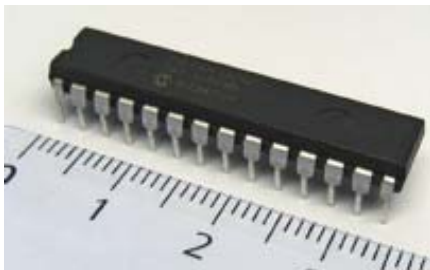
Kuva 8. PIC-mikro-ohjaimen I/O-kaavio

Taulukosta 1 nähdään että PIC-16F788 mikro-ohjaimessa analogisia i/o portteja ovat RA0 - 3, RA5, RB 0 – 5 sekä RE 0 – 2. Mikäli käytetään analogista lämpötila-anturia, on se kytkettävä analogiatuloon, jotta mikro-ohjain osaa käsitellä jännitesignaalia.

Pinnankorkeutta on tarkoitus tarkkailla rajakytkimillä, joiden antama tieto on 1 tai 0, joten porttiin, johon ne kytkekään on ohjelmallisesti alustettava ylösvetovastus, jotta niitä voidaan käyttää kytkiminä. Pinnankorkeuden varoitusvalo kytketään digitaaliseen linjaan, jonka kautta sen syttymistä ja sammumista ohjataan. Tuuletinta, vesipumppua ja teholedien ajuriipiiriä ohjataan kanavatransistoreilla, joiden ohjaamiseen riittävät digitaaliset lähtöasteet. Kanavatransistoria ohjataan pienellä ohjausjännitteellä, joka siirtää sen johtavaan- tai sulkutilaan. /3/

5.2 Pienoiskasvihuoneen äly-yksikkö

Ohjausyksiköksi valitaan tässä työssä PIC 16F887, koska siinä on tarpeelliset analogiset tulo- ja lähtöasteet, sekä tarpeeksi I/O-paikkoja, jotta sillä voidaan toteuttaa automaatiosovelluksen vaatima digitaalinen ohjaus. Kuvassa 9 on 8-bittinen PIC mikro-ohjain vieressään viivoitin, havainnollistamassa mikro-ohjaimen hyvin pientä kokoa. PIC-mikro-ohjaimet, joissa on useampia I/O paikkoja ja enemmän muistia, ovat kooltaan hieman suurempia, mutta niitäkään ei voi sanoa kookkaiksi.



Kuva 9. PIC-mikro-ohjain

AVR mikro-ohjaimet ovat ATMELin vastine PIC-ohjaimille, niiden haittapuolena on kuitenkin pelkästään C-kielinen ohjelmointi, mikä tekee sovellusten kehittämisestä hitaampaa ja työläämpää. PIC-mikro-ohjaimille löytyy sen sijaan useita ilmaisia kehitystyökaluja, joiden avulla ohjelmointi helpottuu. Pienoiskasvihuone on tarkoitettu harrastuskäyttöön, joten liian ammattimainen varustelu ei ole tarpeen.

Osassa pienoiskasvihuoneen toimintoja mikro-ohjaimen käyttö ei olisi välttämätöntä, mutta eräs työn tavoitteista on tutkia, miten edullinen älykäs ohjausyksikkö soveltuisi harrastuskäyttöön tavallisessa kotiympäristössä. Suurempia sarjoja varten Siemensin valmistama kuvassa 10 oleva Logo-pieniohjain olisi myös varteenotettava vaihtoehto yksinkertaisen lohkokaaavio-ohjelmointinsa vuoksi, mutta sen hinta on kuitenkin mikro-ohjaimia huomattavasti korkeampi. Siinä missä PIC-mikro-ohjain maksaa noin 5 euroa, Logon hinta liikkuu luokassa 100 euroa.



Kuva 10. Siemensin Logo, ohjausyksikkö.

PIC-mikro-ohjain on ihanteellinen ohjausyksikkö, sillä digitaaliohjaus mahdollistaa keveämpien komponenttien käytön. Mikro-ohjain rajoittaa kuitenkin sitä, kuinka suurta jännitettä laitteisto voi käyttää, tai ainakin se asettaa haasteita laitteiston kokoonpanoon. On kyettävä ohjaamaan suurempia käyttöjännitteitä vaativia toimilaitteita ohjaimella, joka tarvitsee toimiakseen vaatimattoman määrän virtaa. Mikro-ohjain on helppo ohjelmoida, monipuolinen komponentti sekä käytännössä lähes ilmainen.

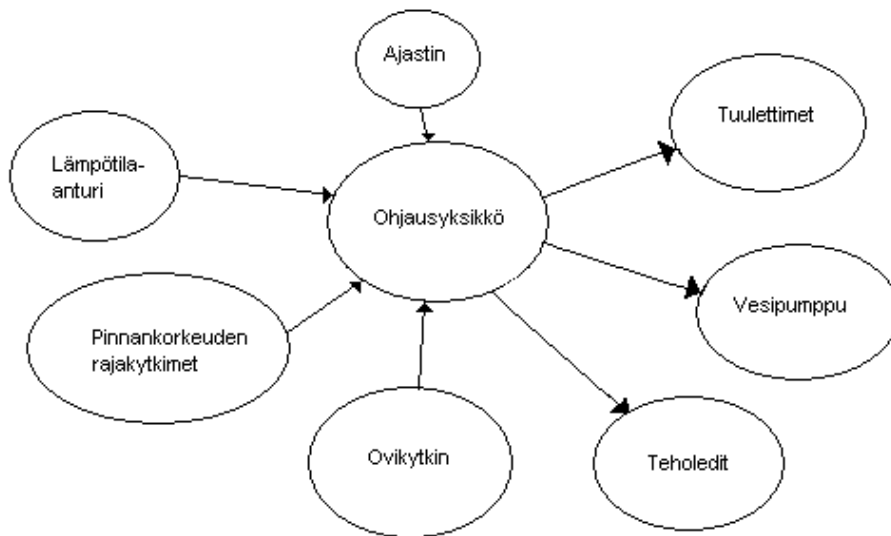
Aiottu tuotteen kohderyhmä ovat kotipuutarhurit, jotka tahtovat kasvattaa kotioloissa kasveja, jotka talvisaikaan tarvitsevat enemmän valoa ja lämpöä kuin yleensä on tarjolla. Kerrostaloasunnot ovat monesti talvisaikaan liian pimeitä ja kylmiä esimerkiksi mansikoiden kasvattamiseen. Yleensä tämä ei ole ongelma, koska useimmat kodin viherkasvit ja kukat ovat talvisaikaan lepotilassa eivätkä juuri vaadi valoa tai lannoitusta. Talvisaikaan moni kotipuutarhuri siirtyy lähikaupan antimisiin ja palaa pientuotantonsa pariin vasta keväällä. Saattaa olla, että useimpia kasvatuksen liika teknisyys kammottaa. Mikro-ohjain, kerran ohjelmituna, on luotettava laite, jota käyttäjän ei tarvitse enää kyetä ohjelmoimaan. Ihannetilanne olisi, että mikro-ohjain olisi valmiissa tuotteessa yhtä näkymätön kuin television kaukosäätimessä: käyttäjän ei tarvitse edes tietää, että tuotteessa sellainen on.

6 AUTOMAATIOJÄRJESTELMÄ TÄSSÄ TYÖSSÄ

Varsinainen pienoiskasvihuoneen automaatio koostuu olosuhteita valvovista antureista ja niitä säätävistä toimilaitteista. Osa säädöstä, kuten valojaksojen ajastus ja pienitehoisemman valon kytkeminen oven ollessa auki, on mahdollista hoitaa myös erillisillä järjestelmillä, joita mikro-ohjain ei ohjaa. Perusidea kasvihuoneessa olevista laitteista on esitetty kuvassa 11, anturit ja ajastin antavat mikro-ohjaimelle tulotietoja, joiden perusteella siihen ohjelmoitu säätöohjelma valvoo olosuhteita. Olosuhteiden hallinta tarkoittaa tässä tapauksessa lämpötilan, ravinneliuoksen ja valaistuksen säätöä.

Järjestelmän avulla on mahdollista säätää olosuhteet useampien kasvien tarpeisiin. Lähtökohta tässä työssä on kuitenkin eräänlaisten ”yleisasetusten” laatiminen, jotka sopivat monille kasvilajeille. Kaupallisissa kasvihuoneissa lämpötila on korkeampi kuin normaali huoneenlämpö, noin 28 °C mutta alle 30 °C. Ilmankosteus on huoneilman kosteutta suurempi ja valaistus kirkkaampaa. Säätöä helpottaa se, että ilmankosteutta, lämpöä ja valoa pitää useimmiten vain lisätä ja harvemmin poistaa. Vesiviljely poistaa muutamia ongelmia, kuten sen että multa saattaa homehtua kun lämpötila nousee yli 23 °C. Myös ilmankosteus lienee sopivalla tasolla pienoiskasvihuoneessa, pieni tilavuus saattaa kuitenkin vaatia jonkin verran tuuletusta, ettei ilmankosteus pääse nousemaan liian suureksi.

Suurin huolen aihe on sähköjärjestelmän rakenne, sillä mikro-ohjaimella ja laitteilla on eri käyttöjännitteet. Koko järjestelmän pitää myös toimia 12 V muunnetulla jännitteellä, jotta sähkötapaturman mahdollisuus olisi minimaalinen ja että kuka tahansa voisi koota laitteiston turvallisesti.



Kuva 11. Pienoiskasvihuoneen anturit ja toimilaitteet.

Rakenteen kokoa rajoittaa se, että sitä on tarkoitus käyttää kerrostaloasunnon parvekkeella tai sisätiloissa. Mikään ei kuitenkaan estä mitoittamasta järjestelmän kokoa ylöspäin siten että se soveltuisi käytettäväksi myös rivi- tai omakotitalon pihapuutarhassa.

Pienoiskasvihuone on kuitenkin ensisijaisesti suunniteltu kaupunkiympäristössä tapahtuvaan harrastus käyttöön, sillä maaseudulla ja kaupallisissa puutarhoissa tuotannon koko ja siihen investoitujen teknologisten ja rahallisten resurssien määrä on jo valmiiksi huomattavasti suurempi. Suuressa kasvihuoneessa keskeisten toimintojen automatisointi on jo valmiiksi pitkälle vietyä. Tämän tuotekehitysprojektin tarkoitus onkin siirtää osa siitä teknologiasta myös harrastelijapuutarhureiden kokeiltavaksi.

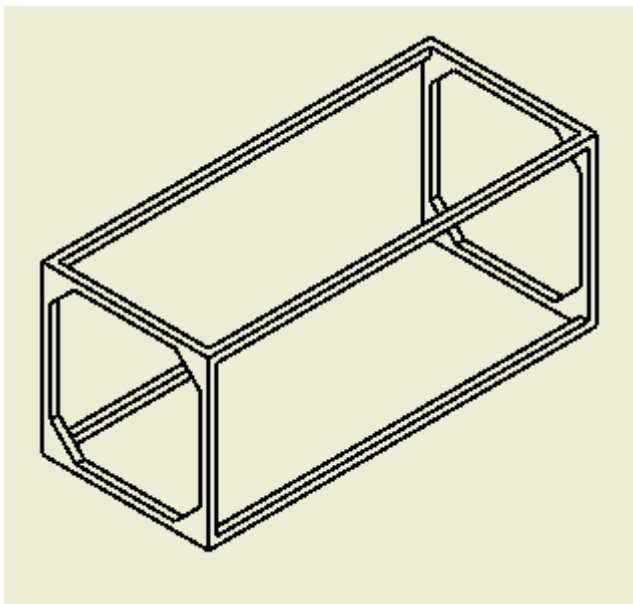
7 TYÖN KUVAUS

7.1 Pienoiskasvihuoneen perusrakenne

Pohjimmiltaan mikä tahansa kasvihuone on vedoton paikka, jossa on tehokas lamppu.

Pienoiskasvihuone on tiivis kaappi, jossa lämpötila, valaistus ja kastelu säädetään automaattisesti. Perusrakenteen muodostavat alumiinikehikko ja pleksikuoret, joista kasvihuoneen ”luurangon” muodostava kehikko on esitetty kuvassa 12.

Työlle on asetettu myös esteettisiä vaatimuksia, siinä ei ole yhtäkään summeria tai liian äänekästä toimilaitetta, eikä se lopullisessa muodossaan saa olla liian teknisen näköinen, vaan elektroniikan on oltava koteloitu tyylikkäästi. Tavoite on luoda levollinen ja toimiva kokonaisuus, joka sopii myös sellaisen ihmisen kotiin, joka ei välitä teknologiasta muuten kuin sen käyttöarvon vuoksi. Prototyypin tapauksessa ulkonäkövaatimuksista voi luonnollisesti tinkiä, koska sen olisi tarkoitus demonstroida pelkkää toimintaa.



Kuva 12. Mahdollinen kehikko

Pienoiskasvihuoneen vaatimuksiin kuuluu se, ettei se saa viedä liikaa tilaa. Mahdollisia rakenteita on useita: vesiviljelyn vesitilat voi esimerkiksi järjestää hyllyiksi, jolloin

matalana kasvavia kasveja, kuten mansikkaa, voidaan viljellä suuremmalla pinta-alalla kasvihuoneen korkeuden ja tilavuuden kuitenkin kasvamatta.

Prototyypin rakenteessa palvellaan kuitenkin yleisasetusten periaatetta, eli kasvihuoneen ulottuvuuksien tulee olla siten valittu, ettei niitä ole liian tarkasti optimoitu juuri tietyn tyyppisten kasvien vaatimuksia varten. Kooksi on suunniteltu 30x30x70 rakennetta, jossa vesitilan vetoisuus olisi noin 10 litraa ja korkeus kymmenisen senttiä, muun sisätilan tilavuus on noin 50 litraa. Prototyypillä on tarkoitus testata olosuhteiden säätöä ja tutkia teholedien käyttöä kasvatusvalona.

Pienoiskasvihuoneen runko valmistetaan kierrätetystä alumiinista, myös seinien ja katon pleksien on tarkoitus olla kierrätettyjä. Seiniä ja kattoa varten valitaan läpinäkymätön vaalea opal-pleksi, koska silloin teholedien suuri pintakirkkaus ei ole ongelma ja pienoiskasvihuone voidaan sijoittaa asuinhuoneistoon vailla pelkoa mahdollisista silmävaurioista. Kierrätetyn materiaalin käyttäminen on osittain materiaalikustannusten hallintaa ja osittain pyrkimystä valmistaa mahdollisimman ekologinen tuote.

Eräs vaatimus rakenteelle on esteettisyys. Prototyypin kohdalla jotkin tekniset ratkaisut ovat pakostakin sen verran karkeita, ettei kauneusvaatimus täyty. On kuitenkin pidettävä mielessä, että tarkoitus on kehittää tuote, jonka ihmiset tahtovat kotiinsa ja josta he ovat valmiita maksamaan.

7.2 Pienoiskasvihuoneen sähköiset laitteet

Pienoiskasvihuoneen automaattisia toimintoja ohjaa PIC-mikro-ohjain. Lämpötilaa säädetään lämpötila-anturilla ja tietokoneen 12 V tuulettimilla, jotka vastaavat jäädytyksestä tarpeen vaatiessa, lämmitys tulee teholedimoduulien lämpenemisen sivutuotteena. Kasveja varten on vesitila, jossa kierrätetään ravinneliuosta akvaariopumpulla. Pumppu huolehtii siitä, että ravinteet eivät saostu vesitilan pohjalle ja että kasvin juurilla on koko ajan myös happea, etteivät ne mätäne. Mahdollisia lisätoimintoja ovat ilmankosteusanturi ja ohjausnäyttö. Ilmankosteuden valvominen on suotavaa kasvitautien ja tuholaisten torjumisen vuoksi, mutta oletus on että pienoiskasvihuonetta käytetään asuinhuoneistossa, missä ilma on normaalisti liian kuivaa.

Käyttöliittymä on joko jonkinlainen ohjelmitava näyttö tai muutama ennalta ohjelmituja toimintoja ohjaava nappi tai säätönappi.

8 TEHOLEDIT PIENOISKASVIHUONEEN VALONLÄHTEENÄ

8.1 Valaistuksen säätö

Kasvihuoneen valaistus on tärkeimpiä säädön kohteita. Kasvatuslamppujen paikka on valittava siten, että mahdollisimman suuri osa valosta tavoittaa kasvien yhteyttävät lehdet. Kasvihuoneen sisätilojen pintamateriaalit käsitellään heijastaviksi, että valoteho tulisi käytettyä mahdollisimman tarkasti. Taloudellisuutta lisää myös valojakson säätö, sillä talvikasvatuksessa olevat hyötykasvit kuten kurkut ja tomaatit ovat lämpimän ilmanalan kasveja, joiden luonnollisella esiintymisalueella yöt ovat pimeitä kesälläkin. Ne ovat kehityksensä aikana sopeutuneet yhteyttämään vain vuorokauden valoisana aikana. Valojen polttaminen yötä päivää ei lisää kasvua, vaan valot on mielekkäämpää sammuttaa joksikin aikaa. Ledit eivät sytyttämisestä ja sammuttamisesta kulu ja ne ovat välittömästi päällä kun virta kulkee, sen sijaan teholedien ympärivuorokautinen käyttö saattaa lyhentää niiden käyttöikä.

Valojakson pituutta säädellään mikro-ohjaimella ohjelmallisesti tai ulkoisella ajastimella, jonka perusteella mikro-ohjain osaa antaa ohjaussignaalin valaistuksen kytkimille. Ulkoinen ajastin voisi olla vaikkapa RC-piiri FET-kytkimellä tai jokin kaupallinen ajastinkytkin, joita käytetään valaistuksen ohjaamiseen.

Prototyypin valaisinmoduuleja on tarkoitus asentaa kaksi kappaletta. Käytännössä moduulien määrää ei rajoita kuin kasvihuoneen koko. Useampien ledien käyttö on kuitenkin otettava huomioon sähköjärjestelmää suunniteltaessa; yhden ajuripiirin perään voi kytkeä vain rajallisen määrän ledejä, riippuen ajuripiiristä. Prototyyppiä varten valittu ajuripiiri kestää kahdeksan 3 W teholedin kuorman./1/

8.2 Teholedien kirkkauden säätö

Teholedien suuri pintakirkkaus aiheuttaa omat vaatimuksensa valaistuksen säädölle, sillä laite on voitava avata ilman silmävaurioiden pelkoa. Tätä tarkoitusta varten kasvatuslamput

sammutetaan automaattisesti kasvihuoneen oven avautuessa ja niiden sijaan sytytetään valkoisia pienitehoisia ledejä, joiden valossa kasvien kunto ja kasvun edistyminen voidaan turvallisesti tarkastaa.

Teholedien suuri pintakirkkaus saattaa aiheuttaa silmävaurioita, jotka tulevat ilmi vasta pitkän ajan jälkeen liiallisesta altistuksesta /1/. Jokainen harrastelijapuutarhuri tahtoo kuitenkin tarkastella kasvien kasvua ja esimerkiksi taimikasvatuksessa kasvien tilanteen tarkastaminen aika ajoin on tarpeen. On siis varmistettava, etteivät teholedit pääse aiheuttamaan vahinkoa. Ongelma on mahdollista ratkaista yksinkertaisella NC-kytkimellä, joka valvoo pienoiskasvihuoneen oven tilaa. Kun ovi on kiinni, teholedit saavat palaa normaalisti, mutta kun ovi avataan, mikro-ohjain sammuttaa teholedit ja sytyttää niiden sijaan pienitehoisemmat valaisimet, joiden valossa kasvien kunnon ja kasvuvaiheen voi tarkistaa ilman pelkoa silmävaurioista. Ohjelma on esitetty kuvassa. Tämä järjestelmän osa olisi mahdollista toteuttaa myös ilman älykästä säätöyksikköä, pelkästään kytkimen ja valaisimet sisältävällä piirillä. Mikro-ohjaimen ollessa kuitenkin oleellinen osa järjestelmää ei ole mitään erityisen painavaa syytä olla käyttämättä sitä myös tähän tarkoitukseen. Varsinaisessa ohjausohjelmassa oven tilaa valvova on vain yksi pieni aliohjelma muiden muassa.

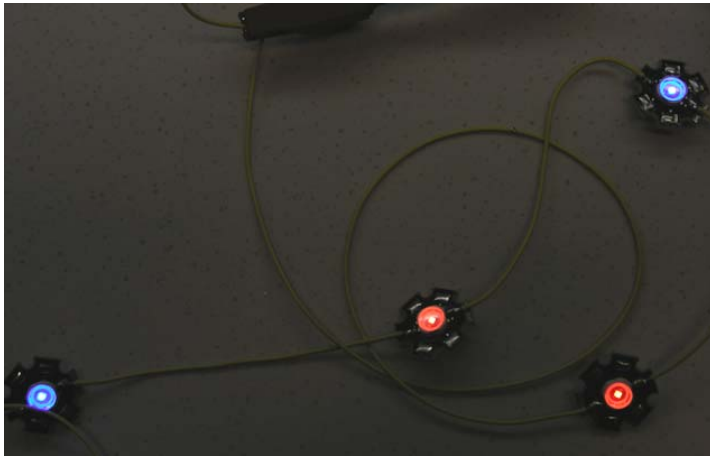
Kehittyneempi tapa olisi hyödyntää mikro-ohjaimen PWM-ominaisuutta ja ohjata sillä ajuripiiriä pudottamaan teholedien jännitetasoa kun ovisensori antaa tiedon oven avaamisesta. Mikäli teholedien käyttöjännitettä lasketaan, niiden kirkkaus laskee. Tällöin ylimääräisten lamppujen tarve poistuu, eikä järjestelmä monimutkaistu turhan takia.

8.3 Pienoiskasvihuoneen valaisinmoduulit

Teholedit ovat muuten vastaavia kuin tavanomaiset pienitehoiset ledit, mutta niiden valoteho on huomattavasti suurempi. Nyrkkisääntö on, että kun teholedin watteina ilmoitettu teho kerrotaan neljällä, saadaan likiarvo siitä kuinka suurta hehkulampputehoa se vastaa. Pienoiskasvihuoneen valaisimet on valmistettu kytkemällä sarjaan neljä 3 W:n teholedyä, kuten näkyy kuvassa 13. Yhden valaisinmoduulin ilmoitettu teho on silloin 4x3 W eli 12 W, joka vastaa 48 W:n hehkulampputehoa. Oletetaan että pienoiskasvihuoneen

pohjapinta-ala on noin 0,5 m², tällöin kahdella valaisinmoduulilla saadaan tuotettua 96 W hehkulampun tehoa vastaava valoteho, joka ylöspäin skaalattuna vastaa 192 W/ m² valotehoa. Valoteho jää pienemmäksi kuin kaupallisissa kasvihuoneissa, mutta tilannetta tasoittaa kasvien käyttöön paremmin soveltuva spektri, joka vähentää tehon tarvetta.

Pienoiskasvihuoneessa käytetään kasvatuslampuna sinisiä ja punaisia teholedejä, joiden antama valoteho on valmistajan mukaan 3 W. Koska teholedit lämpenevät enemmän kuin tavanomaiset merkkilamppuina käytettävät teholedit, on niitä jäähdytettävä. Aktiivinen jäähdytys ei ole tarkoituksenmukaista, sillä kasvihuoneen lämpötila saa nousta huoneenlämpötilaa korkeammaksi, kuitenkin teholedin lämpötila ei saa missään tapauksessa nousta yli 100 °C:n, optimaalinen käyttölämpötila on valmistajan mukaan noin 70 °C.

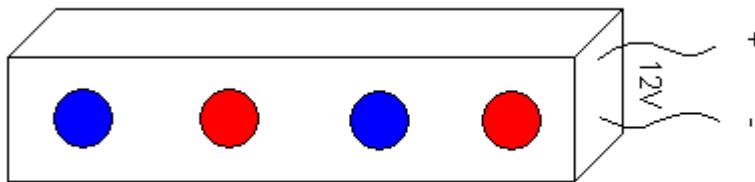


Kuva 13. Sarjaankytketyt teholedit

Alustavan suunnitelman mukaisesti ledit kiinnitetään lämpöä johtavalla alumiinioksidiliimalla, kuvan 14 mukaisesti, sarjaan kytkettyinä alumiiniseen jäähdytyslementtiin, jolloin liika lämpö lauhtuu alumiinia myöten pienoiskasvihuoneen ilmatilaan. Kasvihuoneen ilman lämpötilan säätö huolehtii ledien hukkalämmöstä ja siitä ettei lämpötila pääse nousemaan kasvien kannalta liian korkeaksi.

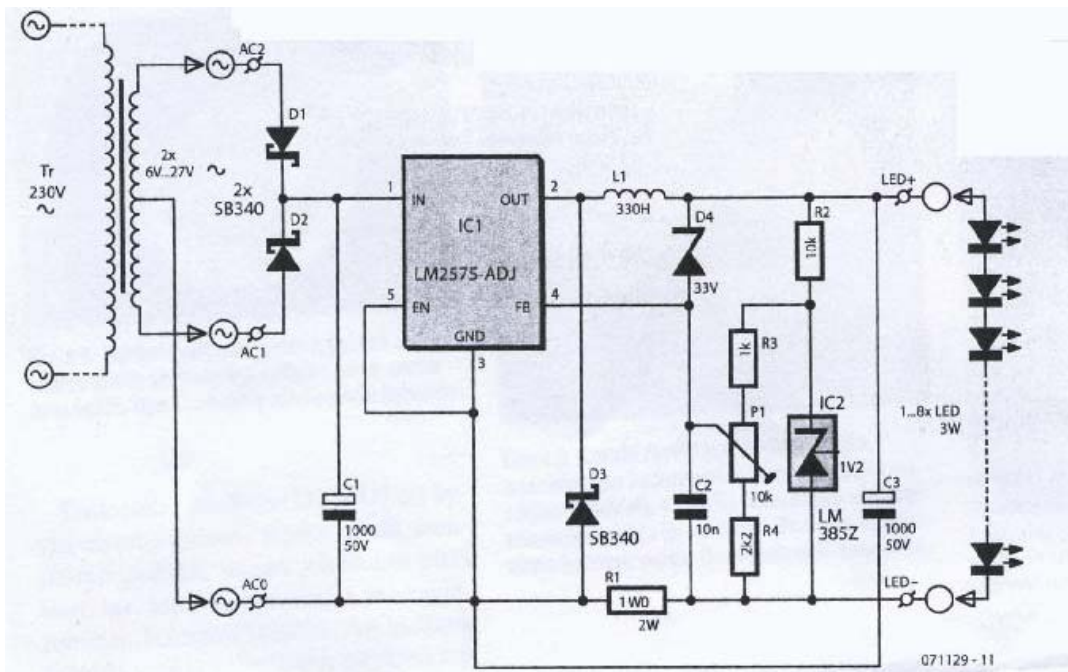
Alumiinikiskon käyttö mahdollistaa myös kasvatusvalojen sijoittamisen siten, että kasvi saa valoa koko pituudeltaan, toisin kuin perinteisiä kasvatuslamppuja käytettäessä, jotka valaisevat tehokkaimmin kasvien latvoja ja jättävät alimmaisets lehdet pimentoon.

Ledivalaisimien sijoittelussa on otettava huomioon se, että kasvien on saatava mahdollisimman paljon valoa mahdollisimman esteettä. Teholedejä ei pidä myöskään asentaa suoraan pienoiskasvihuoneen oveen päin, sillä silloin on olemassa mahdollisuus, että käyttäjä voi katsoa ohjelmallisista turvajärjestelyistä huolimatta suoraan teholedeihin, mistä saattaa aiheutua silmävaurioita. Turhat riskit on helppo poistaa sijoittelua miettiessä.



Kuva 14. Teholedit lämpöä haihduttavassa alumiinikiskossa

Teholedejä voidaan ohjata ajuripiirillä, jonka taakse voi kytkeä 8 teholedyä sarjaan. Ajuripiiri on käytännössä hakkuritasavirtalähde, joka rajoittaa teholedien ottaman virran määrää. Virranrajoituksella vähennetään teholedien teholedien kuumenemista, jolloin tehoa kuluu vähemmän hukkaan ja ledien käyttöikä pitenee. Ajuripiirejä ledejä varten valmistetaan kaupallisesti, kuitenkin ajuripiirin voi valmistaa myös itse. Tässä työssä on suunniteltu käytettävän Proessori-lehdessä 2/2009 olleita valmistusohjeita ajuripiirille, jonka piirikaavio on esitetty kuvassa 15.



Kuva 15. Ajuripiirin piirikaavio /1/

- Ajuripiirin tekniset ominaisuudet ovat:
- Yleiskäyttöinen vakiovirtalähde teholedeille
- Hyötysuhde jopa 87 %
- Syöttöjännite 2x6 V AC-2x27 V AC
- Maksimitulojännite 40 V DC
- Säädetty lähtövirta 0,1-1 A (max 2A)
- Maksimikuorma 8 lediä sarjassa
- Useita moduuleja samaan muuntajaan

9 OLOSUHTEIDEN HALLINTA

9.1 Lämpötilan säätö

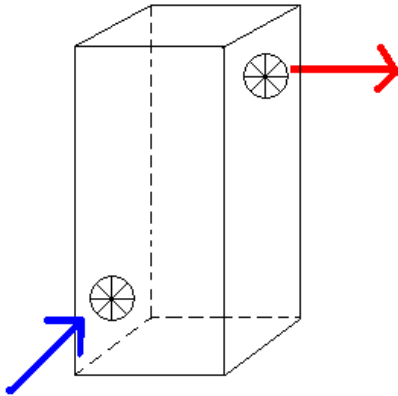
Lämpötilan säätely perustuu ohjauspiiriin, jossa mikro-ohjain lukee NTC-vastuksen antamaa jännitejakoon perustuvaa lämpötilatietoa ja säätää sen perusteella ilmanvaihtoa. Ilma vaihdetaan kahdella tietokoneen tuulettimella. Tietokoneen tuulettimet ovat ihanteellisia, koska niiden käyttöjännite on kokoonpanoon sopiva 12 V ja ne ovat sopivan kokoisia pienoiskasvihuonetta varten. Kuvassa 16 eräs malli, jonka mitat ovat 120x120x25 mm. Eräs tietokoneen tuulettimien edullisista ominaisuuksista ja niiden hiljaisuus, mikä tekee kokonaisuudesta levollisemmän ja paremmin asuintilaan sopivan.



Kuva 16. Tietokoneen tuuletin.

Toinen tuulettimista sijoitetaan rakenteen alaosaan tuloilmaa varten ja toinen yläosaan poistoilmaa varten, kuten kuvassa on havainnollistettu. Tarkoitus on saada ilma vaihtumaan tuulettaessa mahdollisimman tehokkaasti. Sisätiloissa käytettäessä ei lämmön talteenotolle ole tarvetta, lämmin ja kostea ilma saa poistua huonetilaan vapaasti. Varsinkin talvisaikaan se tekee huoneilman laadulle vain hyvää. Jonkinlaisen suodatuksen lisääminen mahdollisten

hajuhaittojen varalle voisi kokoonpanoon kuitenkin lisätä, vaikka vesiviljelyä käytettäessä niitä ei pitäisi tulla, koska ei ole multaa joka pilaantuisi ja alkaisi haista.



Kuva 17. Tuulettimien sijainti pienoiskasvihuoneessa.

Koska ilmanvaihto tehdään kahdella pienellä tuulettimella, joiden pitäisi liikuttaa ilmaa nopeasti, ratkaisu voisi olla kuvan 17 kaltainen sijoittelu, jossa korvausilma tuodaan alhaalta ja poistoilma ylhäältä. Kun ilmavirta kulkee läpi pienoiskasvihuoneesta, kasvien varret liikkuvat ilmavirran mukana, mikä vahvistaa niitä samalla tavalla kuin tuulien vaikutus luonnossa. Vahvasta varresta on etua esimerkiksi taimia koulittaessa, jos ne siirretään jossain vaiheessa luonnonolojen armoille. Haittapuoli pienissä tuulettimissa on niiden suhteellinen äänekkyyys: suuri pyörimisnopeus aiheuttaa korkeaa ääntä, joka joistakin on epämiellyttävää kuunneltavaa. Äänihaitta voidaan kuitenkin minimoida asettamalla säätörajat sellaisiksi, että tuulettimet ovat päällä mahdollisimman vähän ja mitoittamalla tuulettimet siten, että ne saavat pienoiskasvihuoneen jäähdytettyä mahdollisimman nopeasti.

9.2 Kastelun säätö

Aktiivisessa vesiviljelyjärjestelmässä vettä kierrätetään koko ajan kasvin juurille. Passiivisessa järjestelmässä kasvin juuret ovat koko ajan vedessä ja vettä vain hapetetaan. Molemmissa tapauksissa kastelun säätäminen on sen valvomista, että kierrätettävää tai hapetettavaa ravinneliuosta on tarpeeksi. Vettä tarvitsee lisätä jossain vaiheessa, koska sitä haihtuu koko ajan, mutta muuten käyttäjän toimenpiteitä ei juuri tarvita.

Kasteluveden pinnankorkeutta on valvottava, jotta käyttäjä voi puuttua ajoissa veden vähenemiseen. Pinnankorkeuden valvominen on mahdollista kapasitiivisella pinnankorkeusanturilla, mutta uimuriin kytketty mekaaninen rajakytkin lienee edullisempi ratkaisu, joka tässä tapauksessa toimii riittävän hyvin.

Olisi hyödyllistä, jos kasveja voisi myös suihkuttaa tarvittaessa. Tähän ei kuitenkaan käytettäisi erillistä vettä, vaan nostettaisiin pumpulla kasteluputkiin samaa ravinneliuosta, joka huuhtoo kasvin juuria. Lehdille suihkutetusta vedestä suurin osa valuu takaisin vesitilaan, jossa se muutenkin kiertää.

Ravinneliuosta voidaan siis pelkästään hapettaa, jolloin vesi ei kierrä kasvin juurilta minnekään. Hapettamiseen sopii hyvin jatkuvaan käyttöön tarkoitettu akvaarion ilmapumppu, esimerkiksi kuvassa 18 oleva Trixie-merkkinen yhden ulostulolinjan ilmapumppu, joka sopii noin 50 litran hapettamiseen.



Kuva 18. Trixie-ilmapumppu

Ravinneliuosta on myös mahdollista kierrättää kasvin juurille aktiivisesti, mikä mahdollistaa suuremman ravinneliuosmäärän. Myös tähän tarkoitukseen akvaariopumppu on omiaan. Esimerkiksi kuvassa 19 oleva australialainen Clear Pond Eden 104G pumppu.



Kuva 19. Akvaariopumppu

Pumpun avulla on mahdollista kierrättää jopa 250 litraa ravinneliuosta tunnissa. Tässä tapauksessa vähempikin riittää, koska prototyypissä ravinneliuosta ei kierrätetä niin paljon.

Taulukko 2. Akvaariopumpun tekniset tiedot

EDEN	104G
Koko [mm]	43x43x30
Käyttöjännite	230V/50Hz
Teho	5W
Tuotto l/h	240
Nostokorkeus [m]	0,45

Esimerkkipumppu ei ole kuitenkaan ihanteellinen tähän käyttötarkoitukseen, sillä se on tarkoitettu verkkovirralla toimivaksi. Jos käyttöjännitettä pudotetaan muun järjestelmän käyttämäksi 12 voltiksi, pumpun vaatima virta kasvaa kohtuuttomasti, jotta siitä saataisiin ulos ilmoitettu 5 W teho. Tämä voidaan todeta sijoittamalla ilmoitetut arvot tehon kaavaan.

$$P = UI$$

$$\text{jos } P = 5 \text{ W, } U = 230 \text{ V}$$

$$I = \frac{P}{U} \Rightarrow I = \frac{5\text{W}}{230\text{V}} \approx 21\text{mA}$$

$$\text{jos käyttöjännite olisi } 12 \text{ V}$$

$$I = \frac{5\text{W}}{12\text{V}} \approx 0,42\text{A}$$

Lienee kuitenkin mahdollista löytää paremmin tarkoitusta vastaava pumppu. Toisaalta, jos laitetta käytetään verkkovirralla, myös korkeampaa jännitettä vaativa pumppu kelpaa. Aquatic Eco-systems -nimisellä valmistajalla on tuotevalikoimassaan 12V käyttöjännitteellä toimivia pumppuja kuten kuvassa 20 oleva pumppu, joiden hinta tai toiminta eivät juuri eroa korkeamman jännitteen tarvitsevista pumpuista. Mahdollisuuksia on useita.



Kuva 20. 12 V vesipumppu

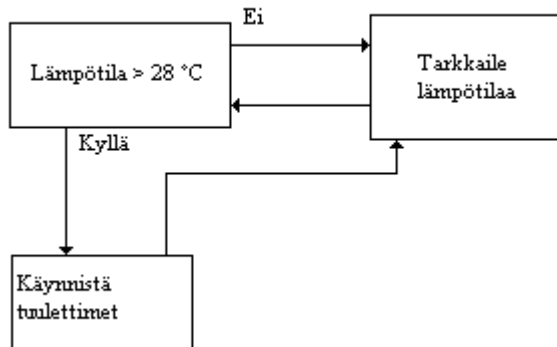
Ilmankosteuden valvonta on jätetty passiiviseksi ominaisuudeksi, sillä lähtöletuksella, ettei se pääse aiotussa käyttöympäristössä nousemaan liian korkeaksi.

10 OLOSUHTEITA VALVOVA OHJELMA

Olosuhteita ja valaisimien toimintaa valvova ohjelma koostetaan useammista aliohjelmista, joista jokainen valvoo yhtä tiettyä toimintoa. On mahdollista toteuttaa ohjaus myös hajautettuna siten, että eri toiminnot ovat toisistaan täysin riippumattomia. Valvottavia kohteita ovat lämpötila, ravinneliuoksen pinnankorkeus ja oven tila, jotta teholedejä voidaan himmentää oven ollessa auki katselijalle sopivalle tasolle silmävaurioiden välttämiseksi. On mahdollista valvoa myös ilmankosteutta, kaupallisissa kasvihuoneissa sitä valvotaankin. Pienoiskasvihuoneessa ilmankosteutta nostaa ravinneliuoksesta haihtuva vesi. Ilmankosteuden nostamisen sumuttamalla vettä estää pienten pumppujen rajallinen vedennostokyky, joka useimmissa malleissa rajoittuu noin puoleen metriin. Sumuttamisesta tulisi myös ongelmia lämpötilan säädön ja elektronisten komponenttien kannalta. Näiden ongelmien ratkaiseminen nostaisi pienoiskasvihuoneen hintaa ja toisaalta myös tekisi laitteesta ammattimaisemman kuin tässä konseptissa on tarpeen. Siksi ilmankosteuden säädöstä on luovuttu. Ohjausyksikköä ohjelmoidaan FlowCode-ohjelmointityökalulla, jossa järjestelmältä tahdotut toiminnot kuvataan vuokaavioon ja käännetään konekieliseksi ohjelmaksi, joka ladataan mikro-ohjaimen.

10.1 Lämpötilan säätö

Lämpötilan noustessa liiaksi ohjelma kytkee tuulettimet päälle, ohjelman rakenne on havainnollistettu kuvassa 21. Pienoiskasvihuoneen lämpötilan ylärajaksi valitaan 28 °C. Teholedeistä lauhtuva lämpö vastaa 24 W:n lämmitysvastusta, joka sisätiloissa käytettynä riittää pitämään lämpötilan huonelämpötilaa korkeampana. Pienoiskasvihuoneen ominaisuuksia suunniteltaessa on tehty tietoinen valinta olla välittämättä liian alhaiseksi laskevasta lämpötilasta, sillä se ei ole todennäköistä tarkoitettuun käyttöympäristössä.



Kuva 21. Lämpötilan säätö

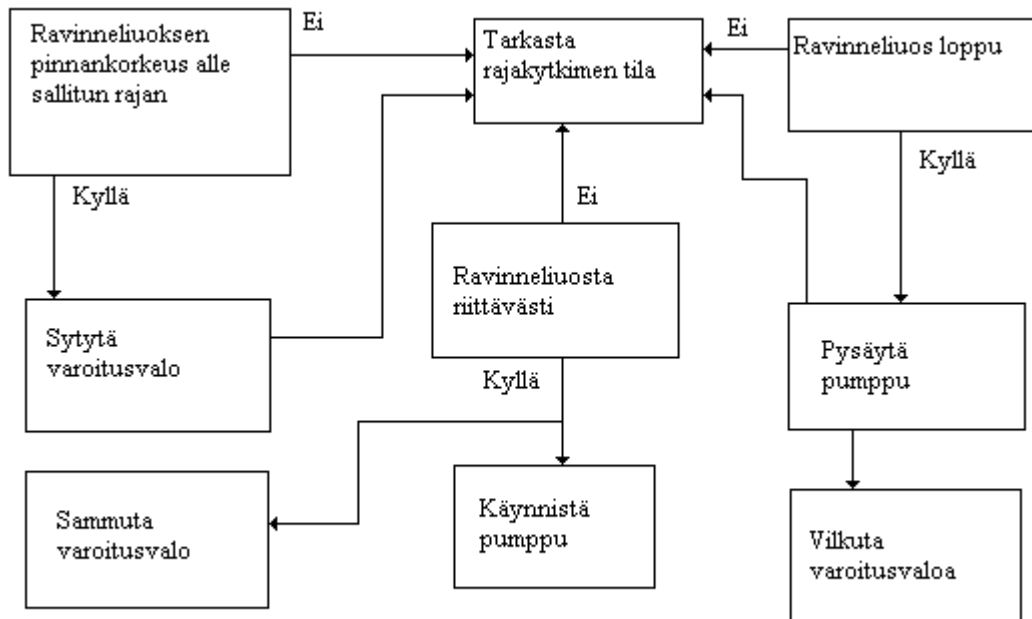
10.2 Kastelun säätö

Ravinneliuksen pinnankorkeutta tarkkaillaan jatkuvasti, vaikka vastuu sen koostumuksesta ja riittävydestä jätetään käyttäjälle. Olisi mahdollista myös lisätä kasteluvettä automaattisesti pinnankorkeuden laskiessa, mutta tässä työssä se on triviaali toiminto.

Vesiviljelyjärjestelmässä samaa ravinneliusta kierrätetään koko ajan, eikä se haihdu kovin nopeasti. Pinnankorkeuden valvominen on kuitenkin tarpeellinen toiminto jo senkin vuoksi, että sitä kautta epätodennäköiset mutta mahdolliset vesitilan vuodot havaitaan ennen katastrofia. Ohjelman rakennetta havainnollistetaan kuvassa 22.

Ravinneliuksen pinnankorkeudella on ohjelmassa kolme tilaa: riittävästi, vähän ja ei ollenkaan. Pinnankorkeuden laskiessa ensimmäiseen hälytysrajaan ohjelma sytyttää merkkivalon, jotta käyttäjä tietää että on aika ryhtyä toimenpiteisiin. Pinnankorkeuden laskiessa liian alas, eli kun ravinneliuos on käytännössä loppunut, ohjelma alkaa vilkuttaa

pinnankorkeuden laskun varoitusvaloa ja sammuttaa pumput, etteivät ne pyöri tyhjiällä.



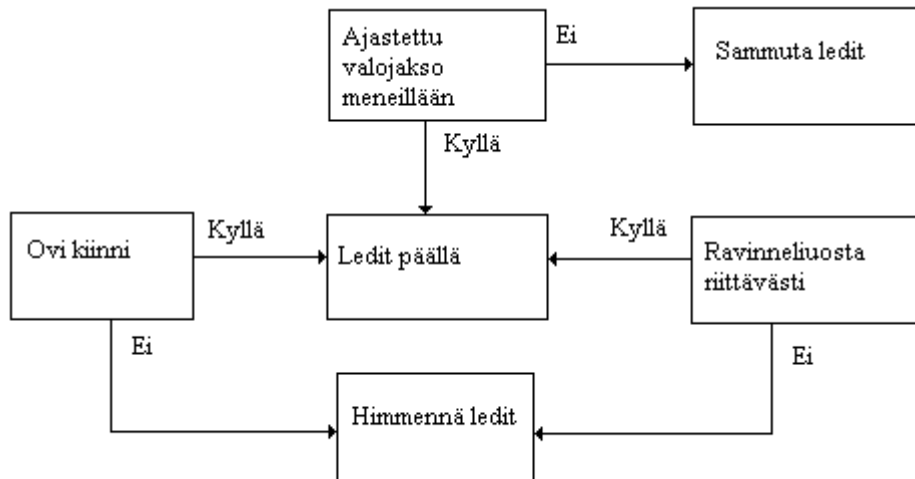
Kuva 22. Pinnankorkeuden valvonta

10.3 Valaistuksen säätö

Kasvit yhteyttävät tehokkaasti vain osan vuorokaudesta, riippuen niistä olosuhteista, joihin kasvi luonnonvaraisena on sopeutunut. Valojakson pituutta on voitava säätää ohjelmallisesti, koska on turha polttaa valoja silloin kun kasvi ei valoa tarvitse. Tällä tavalla hukkatetta saadaan vähennettyä entisestään. Tähän tarkoitukseen sopii parhaiten 24 tunnin ulkoinen ajastin, jossa on säädetty valojakson pituudeksi esimerkiksi 14 tuntia. Valot palavat joka päivä samaan aikaan yhtä kauan, eikä käyttäjän tarvitse asiaan puuttua. Mahdollisuus säätää valojakson pituutta sisällytetään järjestelmään.

Kuvassa 23 on havainnollistettu valojen säätö vuokaaviona. Oven ollessa auki teholedit himmennetään, etteivät ne aiheuta katsojalle silmävaurioita. Käytännössä himmentäminen tapahtuu laskemalla käyttäjännitettä PWM-tekniikalla. Ledit ovat päällä vain käyttäjän valitseman valojakson ajan; tällöin saadaan nipistettyä hieman vielä pois tehonkulutuksesta ja luodaan kasveille luonnollisemman kaltaiset kasvuolosuhteet. Ravinneliuksen tilaa valvotaan varokeinona. Kun ravinneliuksen pinta alkaa olla liian alhaalla, ledejä

himmennetään, koska valoisuuden vähetessä myös kasvien yhteyttäminen ja sitä kautta veden haihtuminen, hidastuu. Tavoite on aiheuttaa kasveille keinotekoinen lepotila, kunnes käyttäjä lisää ravinneliuosta.



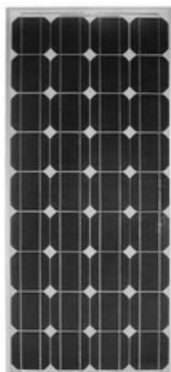
Kuva 23. Valaistuksen säätö

On myös mahdollista tehdä ilmankosteuden valvonta ohjelmallisesti. Ohjain lukee ilmankosteusanturin tietoa ja tuulettaa pienoiskasvihuoneen ilmankosteuden noustessa liian suureksi. Homeet ja jotkin kasvitautit menestyvät liian kosteassa ilmassa. Toisaalta huoneilma on normaalisti liian kuivaa kasveille, joten ilmankosteuden on oltava hieman tavallista suurempi. Lisäksi monen viherkasviharrastajan riesana ovat vihannespunkit voidaan kätevästi hävittää luonnonmukaisesti nostamalla ilman suhteellinen kosteus viiden päivän ajan 70 %:iin, koska lyhytikäiset vihannespunkit tarvitsevat kuivan ilman lisääntyäkseen eivätkä ehdi tuossa ajassa tuottaa uutta sukupolvea.

11 SÄHKÖJÄRJESTELMÄ

11.1 Virtalähde

Sähköjärjestelmän käyttöjännitteeksi on valittu +12 V, tarkemmin määrittelemättä mikä jännitelähde on käytössä. Prototyypin käyttötestaus tehdään 12 V autonakulla, mutta valmiin tuotteen jännitelähteenä voi yhtä hyvin olla verkkovirtamuuntaja. Akkukäyttöisyys palvelee paremmin alkuperäistä ideaa tehdä pienoiskasvihuoneesta mahdollisimman pieniruokainen ja omavarainen. Verkkovirtakäyttöinen laite olisi kuitenkin helpommin myytävissä, sillä sen käyttäminen ei vaatisi käyttäjältä minkäänlaista teknistä osaamista. Nykyään markkinoilla on myös aurinkopaneeleja, joilla on mahdollista tuottaa 12 V käyttöjännite akun ja sopivan lataussäätimen avulla. Aurinkopaneelia käyttämällä olisi mahdollista pidentää kasvukautta sen alku- ja loppupäästä, mutta varsinkaan hyvin pohjoisessa ympärivuotinen käyttö ei olisi mahdollista. Aurinkopaneeli olisi ihanteellinen virtalähde siksi, että sen kanssa pienoiskasvihuone olisi riippumaton sähköverkosta ja fossiilisista polttoaineista. Riittävän tehokkaat aurinkopaneelit ovat suhteellisen kalliita, kuvassa 24 oleva YE-Internationalin valmistama 80 W aurinkopaneeli maksaa ilman alv:a 385 euroa, ja hintaa lisäävät vielä lataussäädin ja akku. Hintaa mietittäessä on kuitenkin hyvä ottaa huomioon, että aurinkopaneelin käyttämisestä ei enää aiheudu kustannuksia ja se maksaa lopulta itsensä takaisin tuottamallaan sähköllä.

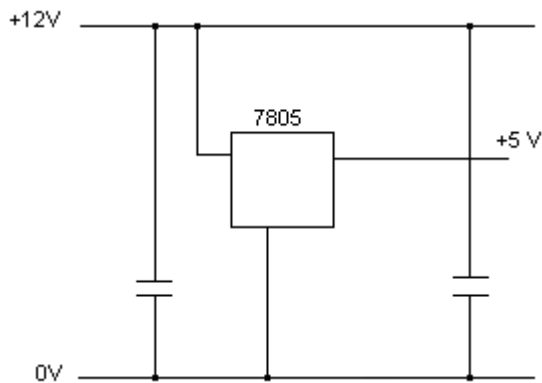


Kuva 24. Aurinkopaneeli

11.2 Komponentit

Teholedit tarvitsevat toimiakseen oikein muunnettua tasavirtaa, sillä ne ovat johtosuuntaan käytännössä oikosulussa ja ilman virranrajoitusta ottavat vastaan kaiken saatavilla olevan virran. Tasasähkön kanssa komponenttien valinta on yksinkertaisempaa, sillä millä tahansa tarkastellulla ajanhetkellä sähkö käyttäytyy suurin piirtein samalla tavalla. Teholedien käyttöä varten järjestelmässä on erillinen ajuripiiri, joka toimii käytännössä hakkurivirtalähteenä, joka varmistaa teholedien optimaalisen toiminnan. Sähköjärjestelmä on jaettu lohkoiksi, koska esimerkiksi lämpötila-anturi on sijoitettava kauemmas regulaattoripiiristä, jotta ohjauspiirin lämpeneminen ei aiheuta vääristymistä lämpötilatiedossa.

Automaattisten toimintojen ohjaus toteutetaan mikro-ohjaimella, jonka käyttöjännite on + 5 V. Jännitettä on laskettava mikro-ohjainta varten. Mikro-ohjaimen tarvittava + 5 V saadaan aikaan kytkemällä virtalähteen perään regulaattori kuvan 25 mukaisesti. Regulaattori varmistaa sen, että jännite mikro-ohjaimelle on koko ajan tasainen + 5 V eikä ylitä missään vaiheessa.



Kuva 25. +5 V Regulaattoripiiri, joka pudottaa jännitteen mikro-ohjainta varten

Mikro-ohjaimen on kyettävä ohjaamaan toimilaitteita, jotka vaativat 12 V käyttöjännitteen. Kytkenässä toimilaitteita ohjataan käyttämällä kanavatransistoreja kytkiminä. Niiden avulla suurempaa virtaa voidaan ohjata käytännössä nollavirralla. Ohjausjännitettä sopivasti katkomalla saadaan aikaan PWM-ohjaus siellä missä sitä tarvitaan.

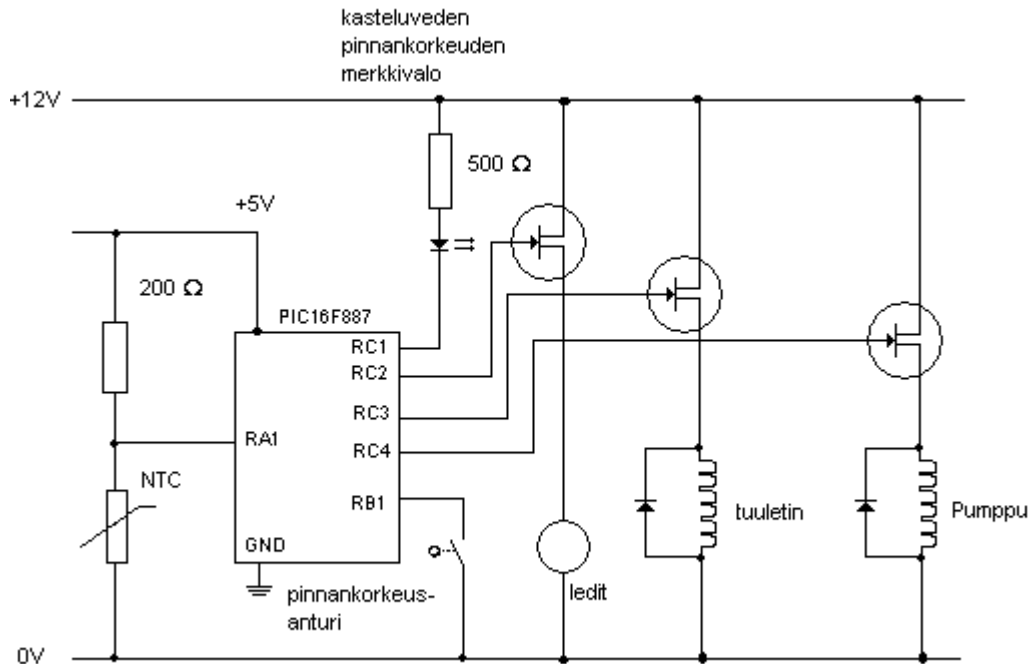
Lämpötila-anturi on toteutettu NTC-vastuksella, jonka resistanssi muuttuu lämpötilan funktiona, ja tavallisella vastuksella, johon NTC-vastuksen resistanssia verrataan. Tieto jännitteenjaoista tulee mikro-ohjaimen analogiseen nastaan ja ohjaa tuulettimia päälle ja pois päältä ohjelmoitujen rajojen mukaan. NTC-vastuksen sijoittamisessa on otettava huomioon muutamia seikkoja; jos se on piirilevyllä, sitä ei saa sijoittaa liian lähelle lämpenevää regulaattoria. NTC-vastuksen voi johdottaa myös kauemmas piirilevystä pienoiskasvihuoneen sisään, mutta silloin on jännitearvoja mietittäessä otettava huomioon myös johtojen resistanssi.

Kasteluveden pinnankorkeusanturiksi sopii tässä tapauksessa uimuriin liitetty mekaaninen rajakytkin. Se antaa tiedon alarajoista, joiden jälkeen käyttäjän toimenpiteitä tarvitaan.

Pinnankorkeuden alaraja asetetaan siten, että käyttäjällä on aikaa lisätä vettä ennen kuin se loppuu. Sen varalta, ettei käyttäjä huomaa ajoissa pinnankorkeuden alarajan varoitusvaloa, järjestelmään on laitettu toinen pinnankorkeuden raja, johon saavuttaessa mikro-ohjain sammuttaa vettä kierrättävän pumpun, himmentää valot ja vilkuttaa varoitusvaloa.

Järjestelmä palaa normaalitilaan, kun rajakytkimet nollautuvat. Järjestelmän piirikaavio on luonnosteltu kuvassa 26, ja siitä käy ilmi miten ohjaus olisi mahdollista toteuttaa.

Pinnankorkeusanturi on kytketty linjaan RB1, johon täytyy alustaa ohjelmallisesti ylösvetovastus niin, että se pystyy lukemaan kosketinviestiä. Analoginen lämpötilatieto tuodaan mikro-ohjaimen portin A linjaan RA1, koska se analogiatulona kykenee käsittelemään lämpötilan mukana muuttuvaa jänniteviestiä. Toimilaitteita ohjaavat kanavatransistorit on kytketty binäärilähtöihin portissa C, pinnankorkeuden varoitusvalo on kytketty linjaan RC1, koska sitä ohjataan ”alhaalta käsin” ja binäärilähdöt kykenevät nielemään enemmän virtaa kuin antamaan.



Kuva 26. PIC-16F887 kytkentä

Otetaan oletukseksi, että avomaan kurkku tarvitsee valotehoa 250 W/m^2 menestyäkseen /5 / ja suhteutetaan se siihen että prototyyppi on kooltaan pieni, siinä käytetään kahdeksaa 3 W teholedyä, joista neljä on punaisia ja neljä sinisiä. 3 W teholedi vastaa valoteholtaan 12 W hehkulamppua, nyrkkisäännön mukaan, jossa ledin teho kerrotaan neljällä, jotta saadaan selville miten suurta hehkulampputehoa se vastaa. Karkeasti arvioiden kahdeksan 3 W teholedyä antaa valotehon, joka vastaa 96 W hehkulampputehoa. Koska spektri soveltuu paremmin kasvien käyttöön, saadaan ledien lähes koko valoteho hyödynnettyä tehokkaasti. Ledejä varten tarvitaan virtalähde, joka syöttää 12 V:n tasajännitettä /1/.

Ongelmaksi tässä suunnitelmassa muodostuu se, että mikro-ohjaimen käyttöjännite on 5 V, eikä sen kautta voi syöttää suurempaa käyttöjännitettä toimilaitteelle. Vaihtoehtoisessa toteutuksessa automaatiolaitteita ohjaa ohjelmoitava logiikka, jossa on jo valmiiksi soveltuvan jännitetason relelähdet. Mikro-ohjainta käytettäessä on hoidettava ohjaus erillisen kytkimen kautta, jonka kautta valaistuksen voi kytkeä päälle tai pois päältä halutun valojakson mukaisesti. Valojakson ajastus hoidetaan ohjaimen sisäisellä laskurilla tai vaihtoehtoisesti erillisellä ajastimella, jonka signaalia ohjausyksikkö lukee.

12 YHTEENVETO

Työn tarkoitus oli suunnitella yksinkertainen automaatiosovellus yksityishenkilön kotikäyttöön. Suunnitelman alkumuoto oli vedoton laatikko, jossa on valaistus. Pieni koko asettaa vaatimuksia olosuhteiden säädölle ja toisaalta rajoittaa mahdollisia käyttökohteita. Pienois kasvihuone, joka mahdollistaa vaativampien kasvien kasvattamisen kotiooloissa, tarjoaisi monille mahdollisuuden kasvattaa myös talvisaikaan kasveja, jotka muuten eivät kotiooloissa menesty. Esimerkiksi mansikoita on mahdollista kasvattaa vesiviljelyssä ympäri vuoden, jos kasvatuslaitteisto on tarpeeksi monipuolinen. Parhaiten pienois kasvihuone soveltuu taimien ja matalien kasvien kuten mausteyrttien viljelyyn.

Teholedit ovat hyvä vaihtoehto perinteisille kaasunpurkauslamputille, joita kasvihuoneet käyttävät yhä yleisesti, koska ne kuluttavat vähemmän virtaa. Periaatteessa pienois kasvihuonetta on mahdollista käyttää viikkokausia täydellä auton akulla. Ihannetilanne olisi, että pienois kasvihuonetta voisi käyttää täysin aurinkokennoilla, jolloin se olisi todella autonominen järjestelmä, jota voisi käyttää sähkön- ja vedenjakeluverkon ulkopuolella.

Työtä tehdessä vastaan tulleet haasteet ovat osoittaneet tekijälle, että nöyryys oman ammattialan edessä on tarpeen. Mahdollisia tapoja tehdä asiat on useita, eikä yksi aina nouse ylitse muiden. Suunnittelun ja jatkuvan oppimisen merkitystä ei voi vähätellä. Tulevaisuudessa pienois kasvihuone on kenties kaupallistettavissa. Toivon ainakin, että ajattelutapa, jossa ihmiset ovat enemmän omavaraisia ja vähemmän markkinoista riippuvia kuluttajia, yleistyy tulevaisuudessa.

Lähteet

/1/ Scherer Thomas, Proessori 2/2009 artikkeli: teholedien ohjausmoduuli

- /2/ Åberg Secher, Marie. Kasvihuone, Otava, 1999
- /3/ Aaltonen Juha, Kousa Seppo, Stor-pellinen Jyrki. Elektroniikan perusteet, Limes ry, 2004
- /4/ Haapalainen Esko, Vepsäläinen Teuvo, LVI Lämmitystekniikka, Painatuskeskus Oy Helsinki 1994
- /5/ Kallioharju Kari, opinnäytetyö:LED-valaistuksen soveltaminen kasvihuoneympäristössä, Tampereen ammattikorkeakoulu, sähkötekniikan koulutusohjelma, talotekniikka, 2007, 53 sivua.
- /6/ <http://electronics.howstuffworks.com/led2.htm> (5.5.2009)
- /7/ pic-16f887 datasheet, Microchip
- /8/ http://www.petshop.fi/aquarium_accessories/pumps/trixie_air_pump_ap_120.html
- /9/ <http://www.clearpond.com.au/go/our-products&catID=76&subCatID=33&mode=productListing> (28.4.2009)
- /10/ ProLight PG1N-3LXS datasheet (liite 2.)
- /11/ LOGO introduction, www.automation.siemens.com/salesmaterial-as/catalog/en/st70k1ae.pdf (5.5.2009)
- /12/ <http://www.aquaticeco.com/subcategories/1018/12V-Air-Pumps> (6.3.2009)
- /13/ Tast Johan, Tyrväinen Heikki, Nyberg Teuvo, Leinonen Matti, Koulun biologia lukio 1-2, Otavan kirjapaino Oy, Porvoo 2003 ISBN 951-1-15276-9
- /14/ <http://home.howstuffworks.com/hydroponics.htm> (29.4.2009)
- /15/ <http://www.dbcourt.co.uk/hydroponics/> (5.5.2009)

Liitteet

1. ProLight PG1N-3LXS datasheet
2. Driver-piirin datasheet

High Power LED Buck Driver PR4101

The PR4101 is a LED buck driver for driving one or several high power LEDs in series. The supply voltage can be up to 40V, with an output current of more than 1A using an external N-channel MOSFET switching transistor. The PR4101A with additional PWM and power down input is delivered SOP14 packaged, while the PR4101B is offered SO8 packaged.

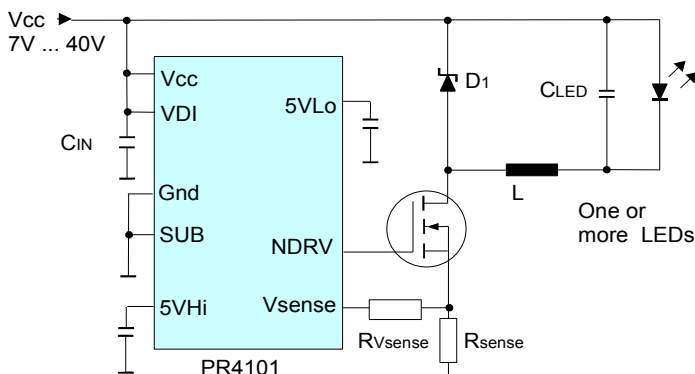
Features

- Adjustable output current of 1A and more
- Supply voltage up to 40V
- Dimming with phase-cut dimmer
- Brightness control with PWM (PR4101A only)
- Output current temperature compensation
- Delayed start possible (PR4101A only)
- Over temperature protection
- Frequency spreading for improved EMI
- Low standby current of <math>< 35 \mu\text{A}</math>
- Under voltage lockout

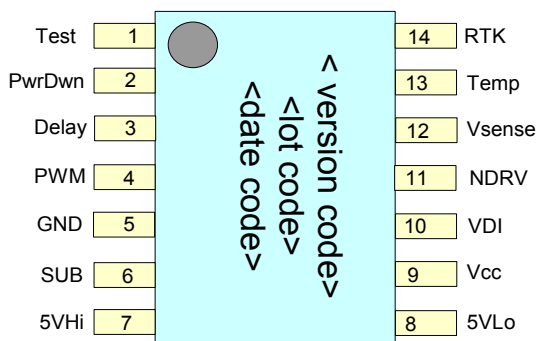
Applications

- Halogen lamp or filament bulb replacement by LEDs
- General illumination
- Warning lights
- Automotive lighting
- Indicator signs
- LCD backlighting

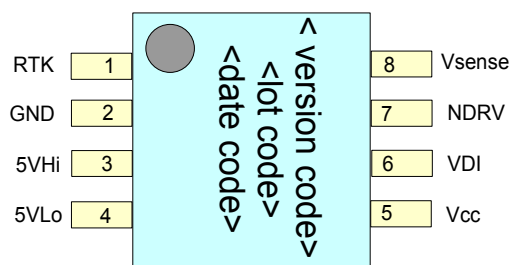
Typical Application



Pin Configurations



PR4101A: Package SOP14
Topside marking: version code "PR4101"



PR4101B: Package SOP8
Topside marking: version code "PR4101B"

Pin Description

Pin No. PR4101A	Pin No. PR4101B	Pin Name	Pin Function Description
1	n.c.	Test	For test and internal use only
2	n.c.	PwrDwn	Power Down, sleep mode for min. power consumption. When connected to GND, NDRV is clamped to GND.
3	n.c.	Delay	Not connected: Delay Start is disabled connected to GND: Delay Start is enabled
4	n.c.	PWM	If $V_{PWM} < V_{refPWM}$ the buck converter is switched off. If $V_{PWM} > V_{refPWM}$ the buck converter is switched on.
5	2	GND	Ground
6	2	SUB	Substrate has to be connected to GND for PR4101A (internally connected to GND for PR4101B)
7	3	5VHi	Internal 5V linear regulator output for high currents. Connect a capacitor of 100 nF to GND. Voltage is not for external use.
8	4	5VLo	Internal 5V linear regulator output for low currents. Connect a capacitor of 100 nF to GND. Voltage is not for external use.
9	5	Vcc	Supply voltage
10	6	VDI	Undervoltage detection pin. If unused, connect to Vcc. For use with phase fired controllers (see application notes).
11	7	NDRV	Gate connection for an external n-channel MOSFET.
12	8	VSense	Feedback for controlling the output current. Connect this pin to the series resistor R_{VSENSE} and the sense resistor R_{SENSE} . The external MOSFET is switched off when the voltage at this pin is higher than V_{SENSE} .
13	n.c.	Temp	Voltage output of the internal chip temperature sensor (over temperature protection). Please see „Electrical Characteristics“ for relationship between V_{TEMP} and the chip temperature T_{CHIP} .
14	1	RTK	Softstart feature and temperature compensation of the output current. By connecting for example a NTC resistor from RTK to GND the sensing threshold voltage V_{sense} will be decreased depending on the NTC's temperature. A capacitor C_{SOFT} connected to GND offers a soft ramp up of the LED current.

Absolute Maximum Ratings

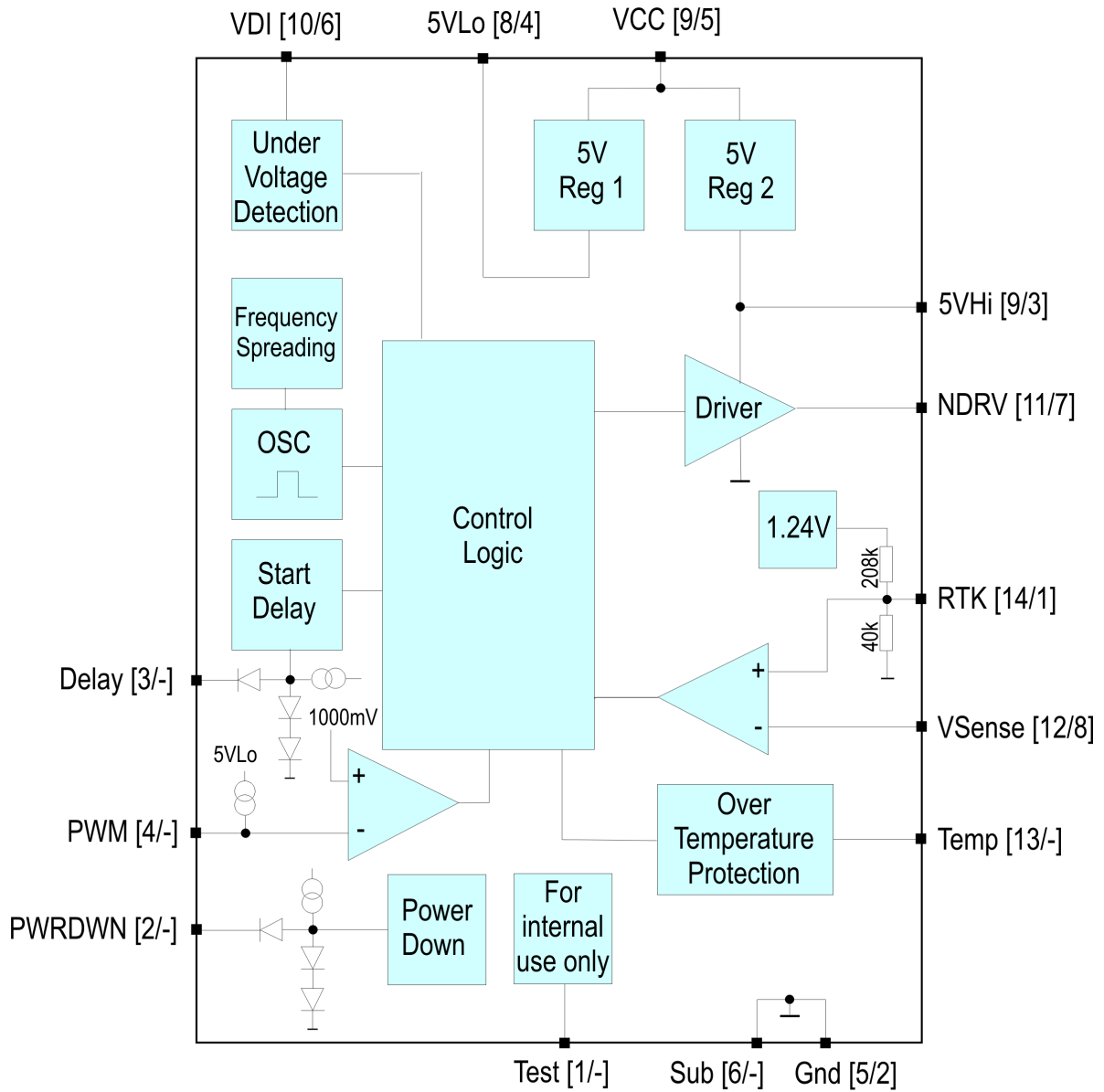
Parameter	Min	Typ	Max	Units
VCC, VDI (no damage)	-0.3		50	V
All other pins			14	V
Operating Chip Temperature Range (over temperature protection)	-20		125	°C
Storage Temperature Range	-55		150	°C
Electrostatic Discharge (ESD) Protection	2			kV

Electrical Characteristics

V_{CC}=12VDC, T_a = 25°C, L=470 µH (unless otherwise noted)

Symbol	Parameter	Conditions	Min	Typ	Max	Units
V _{CC}	Supply voltage		7		40	V
VDI	Undervoltage detection Start-up Shut-off		6.0	7.0	9.0	V V
I _{suppOFF}	Supply current, PwrDwn=0V			30		µA
I _{suppON}	Supply current, PwrDwn=open			3.0		mA
V _{NDRV}	Gate output voltage HIGH		3.0	3.8		V
I _{OUTsource}	Output source current at NDRV				50	mA
I _{OUTsink}	Output sink current at NDRV				20	mA
f _{OP}	Operating center frequency			125		kHz
f _{SP}	Frequency spreading			5		%
V _{SENSE}	Threshold voltage at R _{SENSE}	Pin RTK not connected		200		mV
t _{DELAY}	Delay start period (PR4101A only)			250		µs
V _{RefPWM}	Threshold voltage PWM input (PR4101A only)			1000		mV
f _{PWM}	Frequency of external PWM signal (PR4101A only)				500	Hz
t _{PWM}	Min. pulse duration of PWM (PR4101A only)		2			µs
V _{TEMP}	Output voltage of internal temperature sensor at pin TEMP (PR4101A only)	T _{chip} = 100°C T _{chip} = 0°C		1.60 2.15		V V
T _{OT}	Overtemperature protection junction temperature Shut-off Resume			125 90		°C °C

Block Diagram



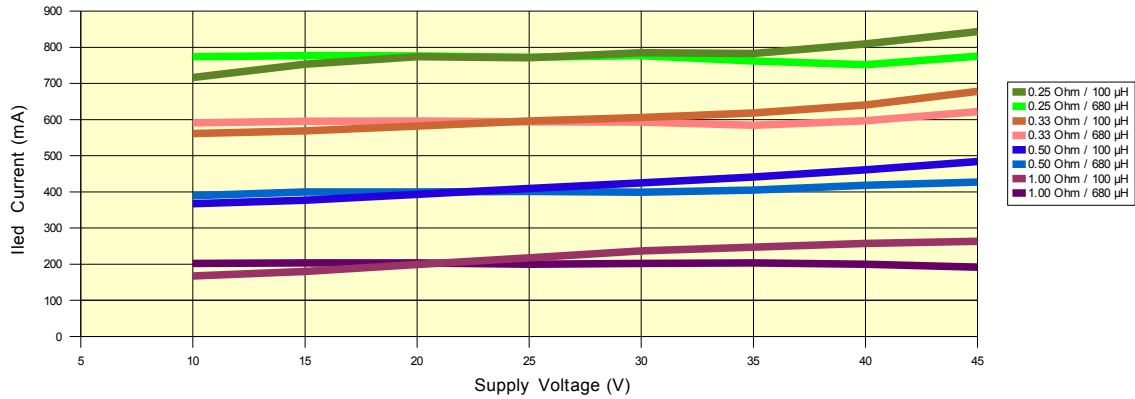
[... / ...]: Pin numbers for PR4101A / PR4101B

PR4101 data

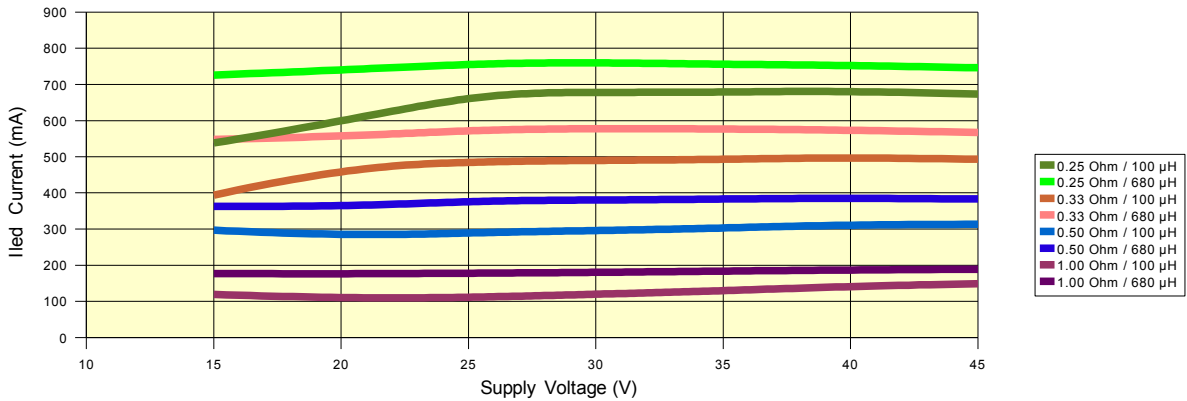
LED current vs. Supply Voltage for different values of R_{SENSE} and inductances with one and three LEDs in series, respectively.

$C_{IN}=470\mu F$, $R_{VSENSE} = 1k\Omega$, $C_{LED} = 100\mu F$, $C_{5VHi/Lo} = 220nF$, $T_a = 25^\circ C$ (unless otherwise noted)

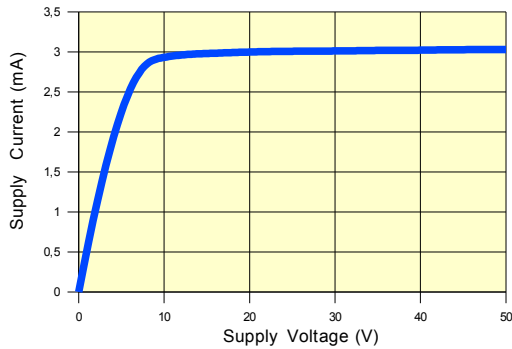
1x3W LED Current vs. Vcc @ L=100μH / 680μH



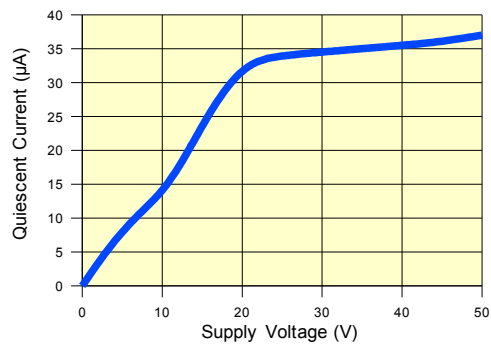
3x3.5W series LED Current vs. Vcc @ L=100μH / 680μH



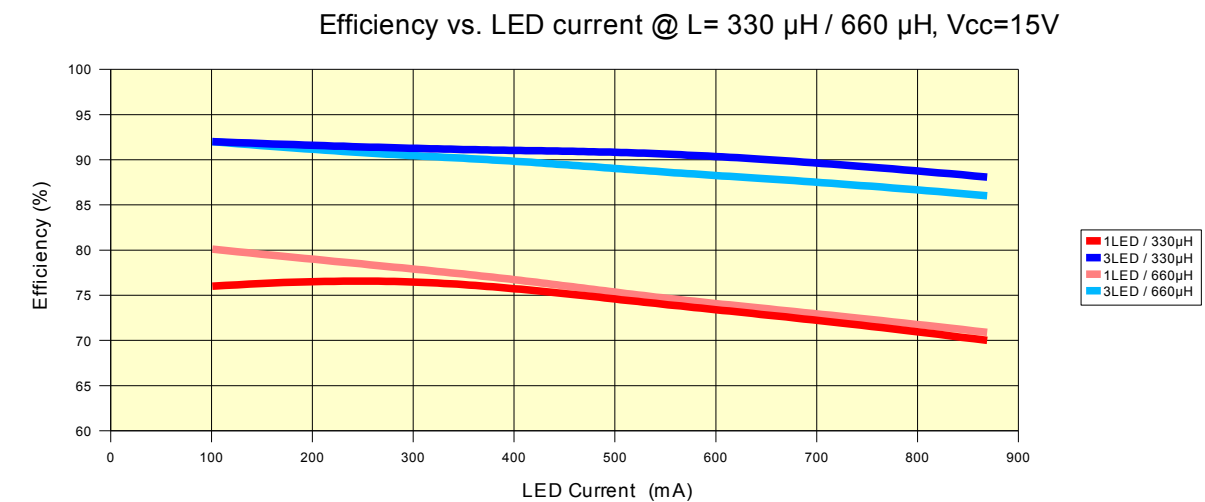
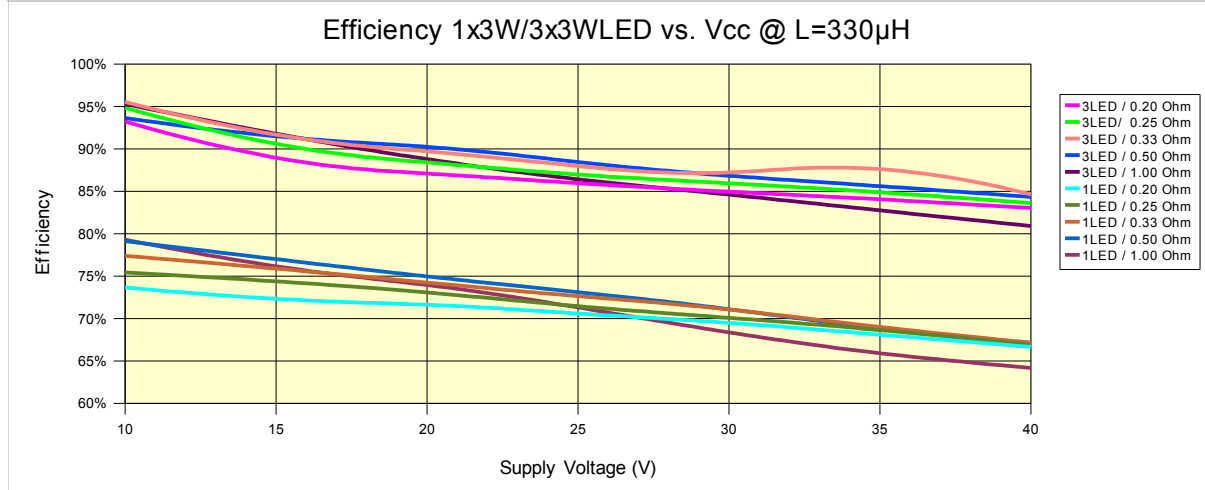
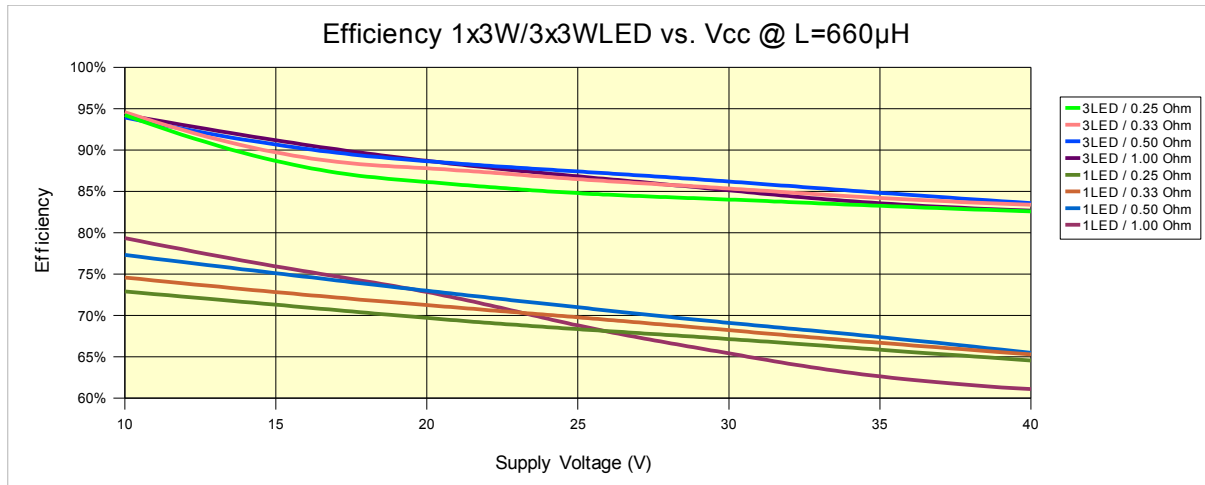
Supply Current vs. Supply Voltage



Quiescent Current vs. Supply Voltage



Conversion Efficiency vs. Supply Voltage and LED current



Application Notes

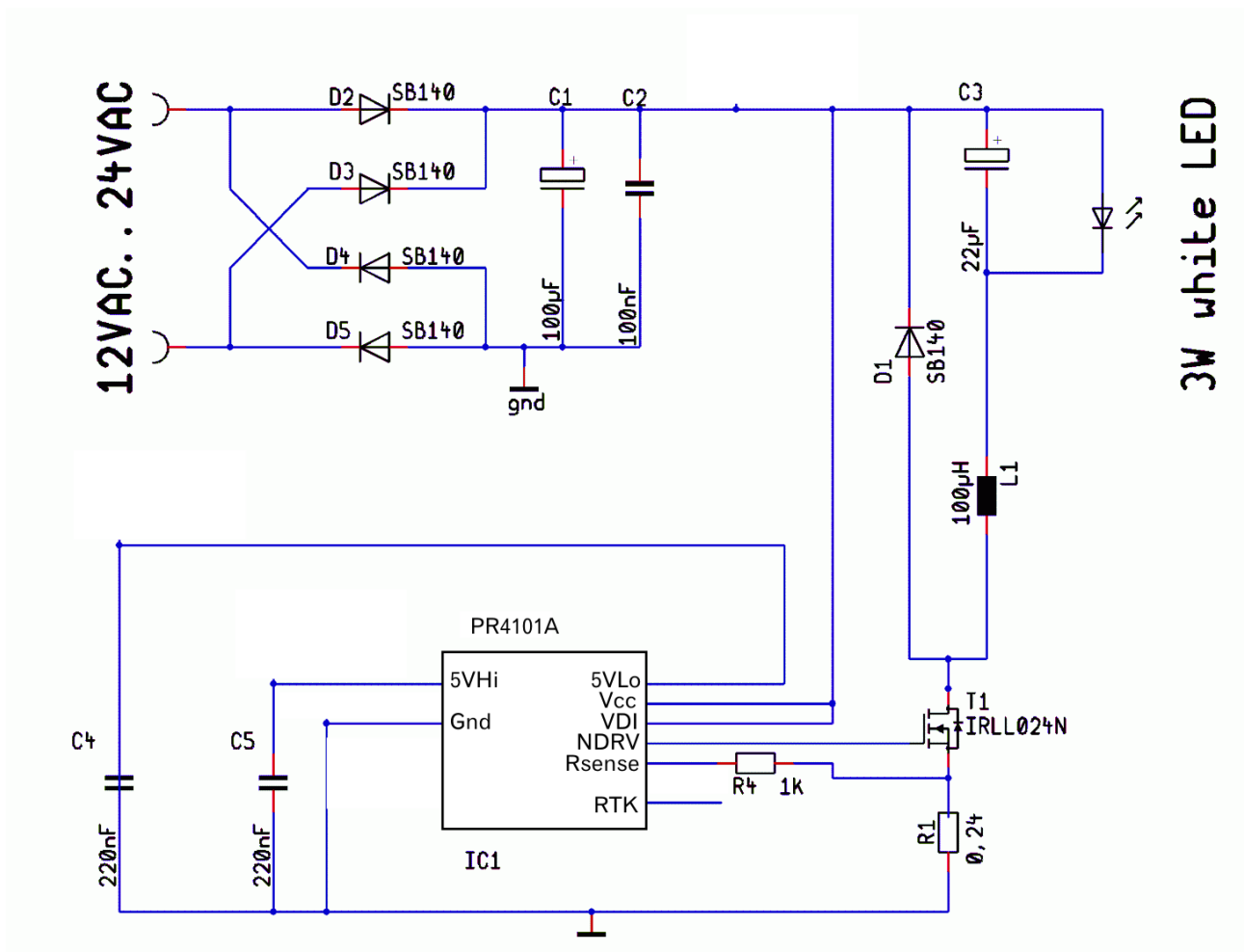
Typical application with 12/24VAC supply for a minimum board size

The following circuit drives one LED from a 12...24VAC supply. This circuit uses the PR4101B in SOP8 package and is optimized for a low number of small-sized external components to have a small PCB.

LED and driver are supplied from the full-wave rectified and smoothed voltage.

Ripples on the supply should be small enough to avoid a period in which the voltage becomes lower than the LED forward voltage, or below the undervoltage shut-off (see specification of VDI).

The undervoltage detection pin VDI is connected to Vcc.



With $R_{SENSE} = 0.24\Omega$ as in the diagram, the LED current is approx. 850mA. For other currents see below **Selection of R_{SENSE}** .

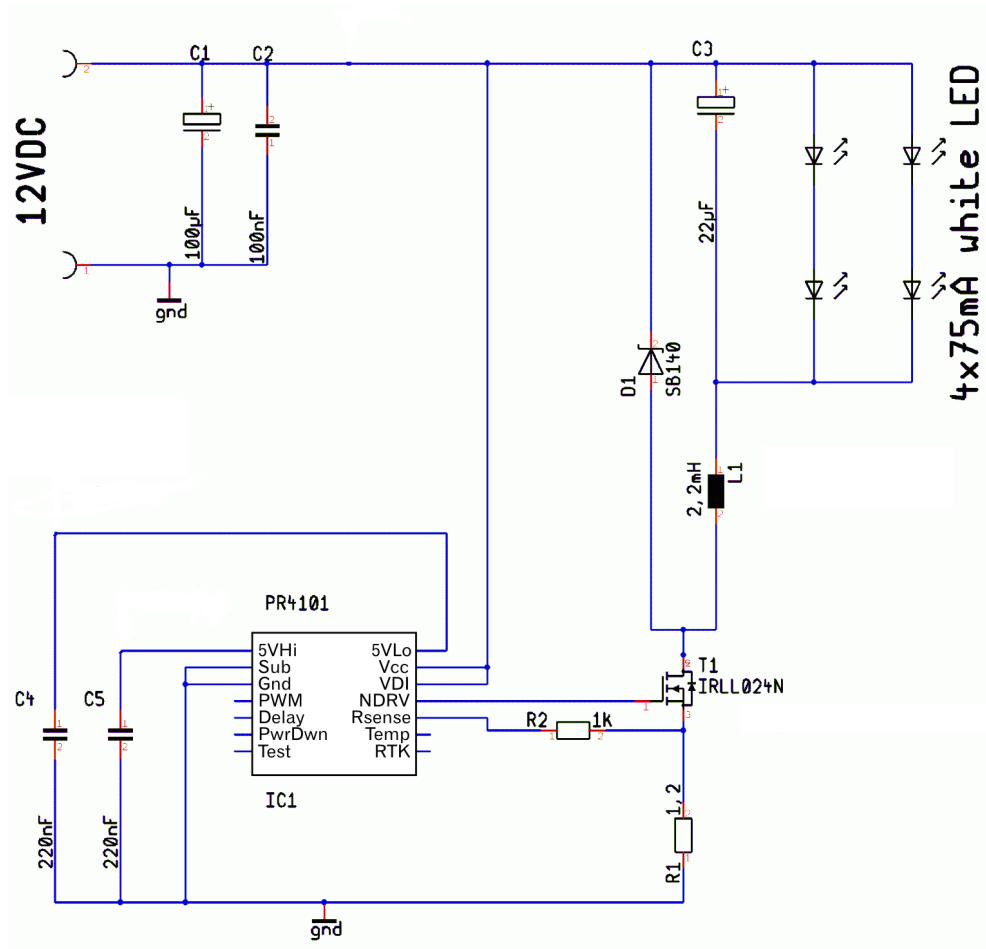
Typical application with 12VDC supply

The circuit shown drives 2 strings of 2 LEDs in series from a 12 VDC supply.

The minimum supply voltage is given by the forward voltage of the LEDs, the DC resistance of the inductor, and the R_{DSon} of the FET.

As a rule of thumb, in most cases the supply voltage should be at least 2V higher than the forward voltage of the LEDs.

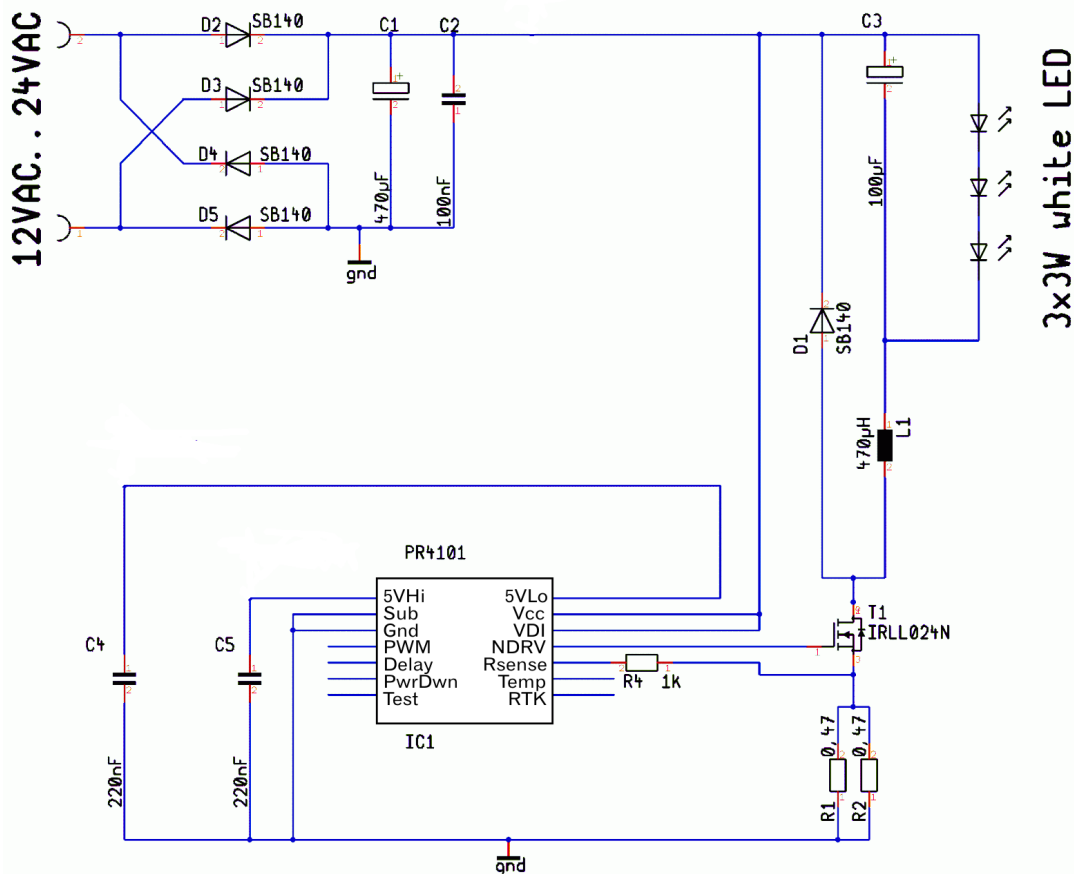
Assuming a V_F of 3.5V per LED, this means that the circuit will work with a supply of 9V and higher.



As there are two strings of LEDs in parallel, the forward voltage of the LEDs must be matching to avoid an unequal current distribution.

Typical application with 12VAC supply

The following circuit drives three LEDs in series from a 12...24VAC supply. LED and driver are supplied from the full-wave rectified and smoothed voltage. Ideally, after the full-wave rectifier, V_{cc} is $V_{AC} \times \sqrt{2}$, which is sufficient to drive three LEDs in series from $V_{AC}=12V$. Ripples on the supply should be small enough to avoid a period in which the voltage becomes lower than the LED forward voltage, or below the undervoltage shut-off (see specification of VDI). The undervoltage detection pin VDI is connected to V_{cc} .

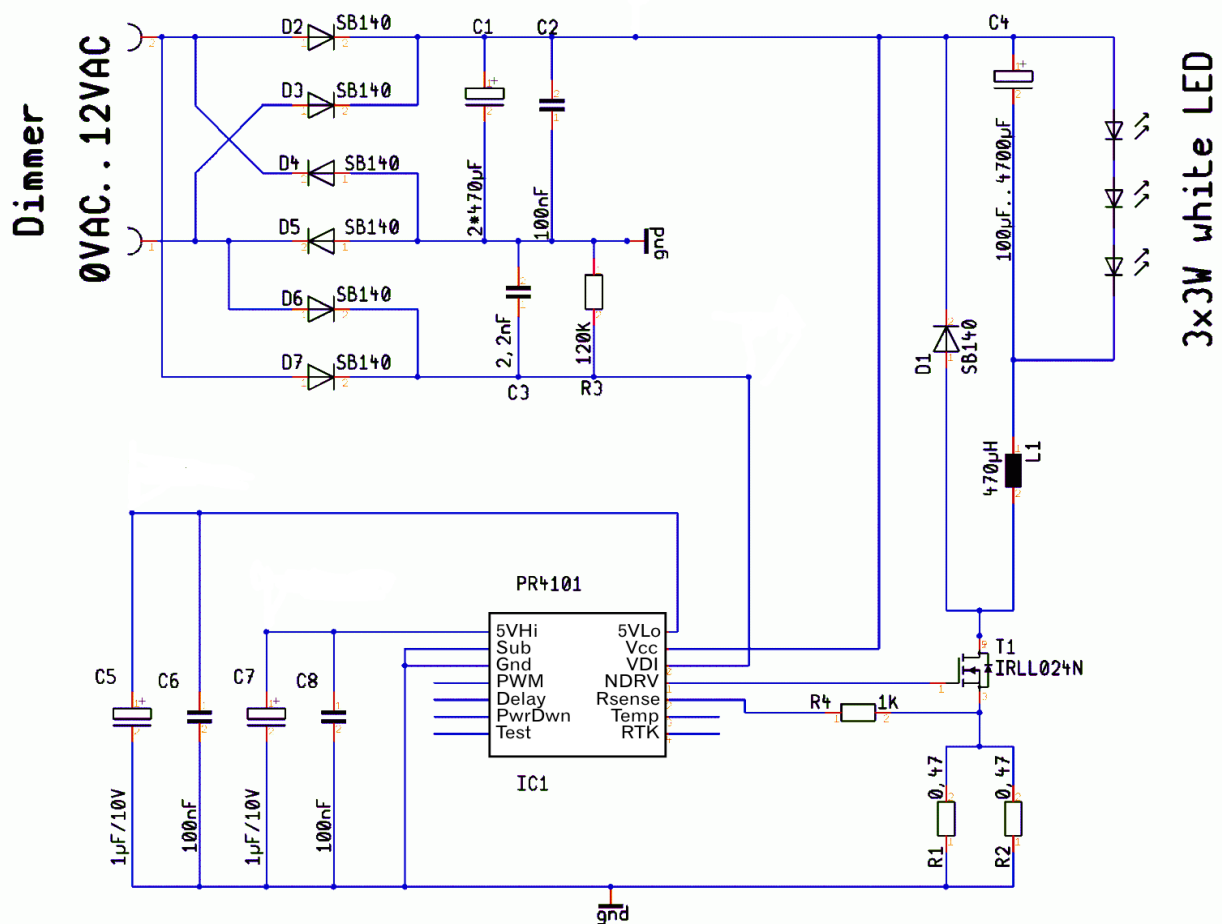


With $R_{SENSE} = (0.47/2) \Omega$ as in the diagram, the LED current is approx. 850mA. For other currents see below **Selection of R_{SENSE}** .

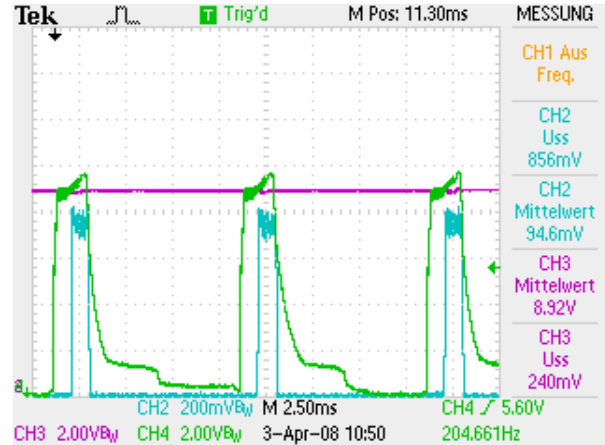
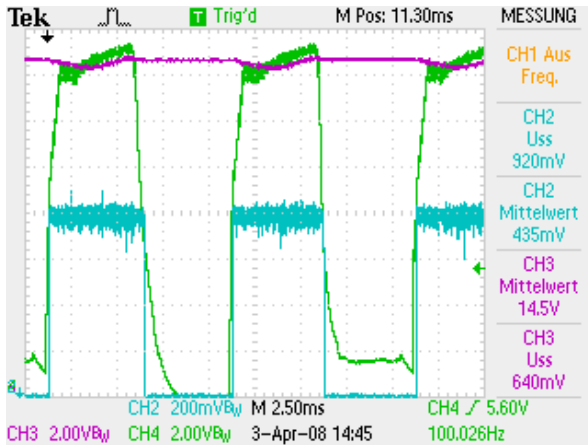
Typical application with 12VAC supply and phase cut dimmers

The circuit shown next allows dimming with phase-fired control by a conventional thyristor dimmer, operation with electronic dimmers and electronic transformers is also possible. The PR4101 is dimmable with leading and trailing edge phase control. In this application the undervoltage detection pin VDI is connected to the rectified, but unsmoothed AC, allowing to sense the pulse width of the phase-cut supply. In this way the converter is shut off in the phase cut out by the phase fired controller, even if the smoothed supply at Vcc holds a sufficient voltage level, and the LED brightness is dimmed in a way similar to that of a conventional filament bulb.

Even without phase cutting, there is a period in which VDI falls below the undervoltage shut-off threshold, shutting the LED down in this period until the voltage reaches the startup threshold again. Therefore in the application shown the effective LED current is reduced against the circuit with VDI connected to the smoothed DC supply, e.g. at 12VAC/ 50Hz it is 68% of the nominal brightness (theoretical value).



C3/R3 serves as a filter for high frequencies, e.g. from power supplies with switching regulators, that would interfere with the regulator loop of PR4101.



Supply from phase-fired SCR dimmer. Different duty cycles on VDI signal.

-- Vcc, --- VDI signal, --- LED current, voltage at a 1Ω resistor

Measured with $V_{CC}=12VAC$, $C_{LED}=C4=100\mu F$, $C_{5VH/LO}=220nF$, $C3=2,2nF$, $R3=100k\Omega$, $C_{IN}=C1=2000\mu F$, $L=470\mu H$, $R_{SENSE}=0.25\Omega$, LED:1x3W Luxeon

Cutting at large phase angles reduces both the average supply voltage V_{CC} and also the VDI voltage. If it falls below the forward voltage of the LEDs, or below the undervoltage threshold, the circuit stops working.

The right diagram shows the case at which the supply voltage and therefore also the VDI signal is close to the VDI threshold.

PWM Control (PR4101A only)

Brightness can also be controlled by an external PWM (pulse width modulation) signal via the PWM pin.

In this way a wide dimming range can be achieved. The device will be turned off and on depending on the duty cycle of the control signal resulting in a proportional average output current. The PWM pin can be driven directly from a micro controller output or with a NPN transistor. The average output current will be

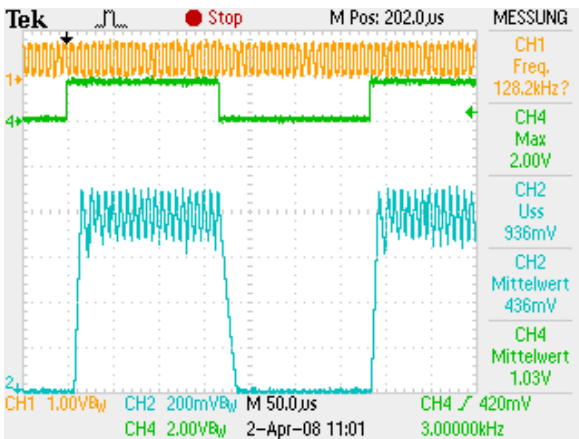
$$I_{LED\,AVG} = I_{LED\,nom} \cdot D \quad \text{with the duty cycle } D: \quad D = \frac{T_{OFF}}{(T_{ON} + T_{OFF})}$$

A PWM frequency of 500 Hz, or lower is recommended, to minimize linearity errors due to the rise and fall times of the converter output.

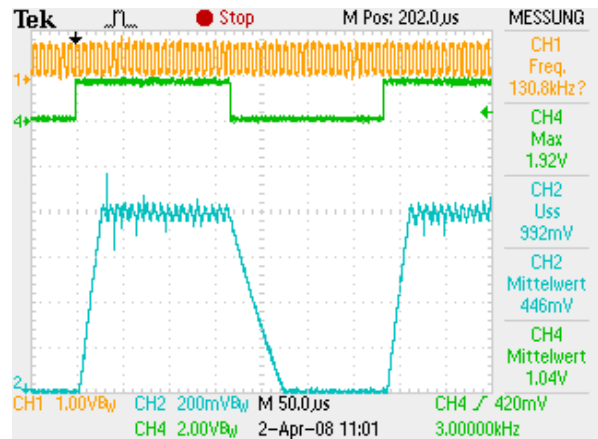
1x3W LED current vs. PWM @ Vcc=40V



Mean LED current vs. PWM duty cycle at a PWM frequency of 500 Hz at different values of Rsense.



PWM controlled with L=100µH, duty cycle=50%



PWM controlled with L=330µH duty cycle=50%

--- PWM, --- LED current, voltage at a 1Ω resistor, --- clock signal (test pin)

Measured with $C_{IN}=470\mu F$, $C_{LED}=100\mu F$, $C_{SVHI/LO}=220nF$, $V_{CC}=15V$, $R_{SENSE}=0.25\Omega$, LED: 1x3W Luxeon

Behaviour at a PWM frequency of 3000Hz with two different inductors.

The slow reaction, especially with the 330µH inductance, causes a nonlinearity in brightness vs. PWM duty cycle, limiting the recommended PWM frequencies to <500Hz, depending on the duty cycle range required.

For operation with PWM control the inductance should be as small as possible, but on the other hand, also the LED current ripple will increase, as can be seen by comparison of the two graphs.

Therefore it is important to find a compromise between current ripple, PWM frequency and duty cycle range.

Selection of the input capacitor C_{in}

The input capacitor is necessary in case of AC supply voltages to smooth the supply voltage. A value between $100\mu\text{F}$ and $4,700\mu\text{F}$ for normal AC and of $470\mu\text{F}$ up to $10,000\mu\text{F}$ for phase-cut supply voltages is recommended.

In parallel a 100nF capacitor should be placed close to the IC supply pins.

Step-down regulators draw current from the input supply in pulses with very fast rise and fall times. The input capacitor is also required to reduce the resulting voltage ripple at the PR4101 input and to force this switching current into a tight local loop, minimizing EMI.

The input capacitor must have a low impedance at the switching frequency to do this effectively, and it should have an adequate ripple current rating.

Selection of inductor and C_{LED}

Selection of the inductor value depends a lot on the supply voltage, the number of connected LEDs, but also on the allowed current ripple and the desired efficiency. For a smaller LED current higher values above $660\mu\text{H}$ should be used. In case that a minimized board size is desired inductor values around $100\mu\text{H}$ may be selected but efficiency and LED current ripple are not optimized in this case. The saturation current of the inductors must be higher than the LED peak current. A low DC resistance of the coil avoids additional loss of efficiency.

A capacitor value of C_{LED} between $22\mu\text{F}$ and $1000\mu\text{F}$ in parallel to the LED is recommended to reduce the LED current ripple and avoid exceeding the LED current rating.

Selection of external MOSFET

The n-channel MOSFET must have a gate threshold voltage of less than 3V and a low ON resistance. A recommended transistor is the International Rectifier IRL024N.

To improve the behaviour of the module, long lines between the IC and the transistor should be avoided.

Selection of the external diode

A Schottky diode with fast recovery is needed to reduce the voltage drop. The diode must be able to carry the LED current flowing during the OFF time of the driver. The reverse voltage of the diode should be higher than the input voltage.

Selection of R_{VSENSE} and R_{SENSE}

The input V_{SENSE} needs a series resistor $R_{VSENSE} = 1 \text{ k}\Omega$ while the LED current is defined by the selection of R_{SENSE} .

The nominal value of the current sense resistor can be calculated with the following formula:

$$R_{SENSE} = \frac{V_{SENSE}}{I_{LED}}$$

The value of V_{SENSE} can be found in the „Electrical Characteristics“.

For example: With an LED current of 1A and $V_{SENSE} = 200\text{mV}$, R_{SENSE} has a value of $200\text{m}\Omega$. The following table gives some resistor values

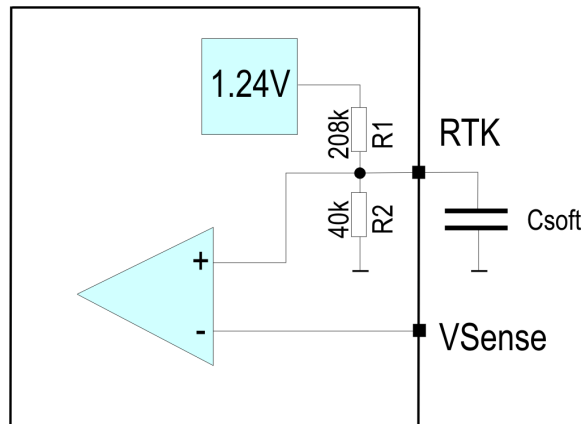
<i>LED Current</i>	<i>R_{SENSE}</i>
350 mA	0.571 Ω
700 mA	0.286 Ω
1A	0.200 Ω

Delay start feature (Delay, PR4101A only)

A delayed start is possible by connecting the pin Delay to Gnd. Within the delay start period the output current is switched off. After the delay start period the output current rises to 100% of the nominal current. The delay start period is fixed and cannot be changed by external components.

Soft Start

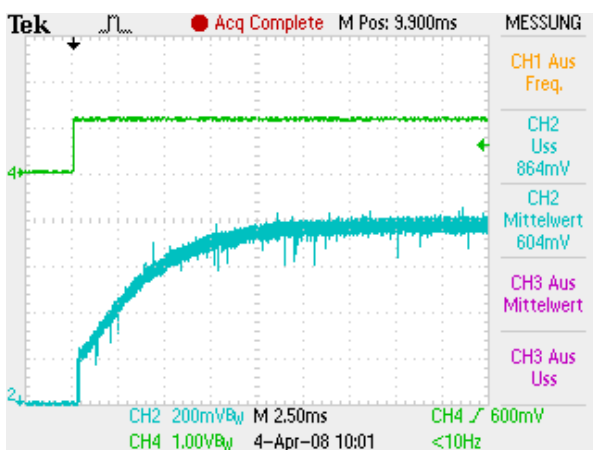
With an external capacitor at RTK the output current can ramp up continuously within a programmable period.



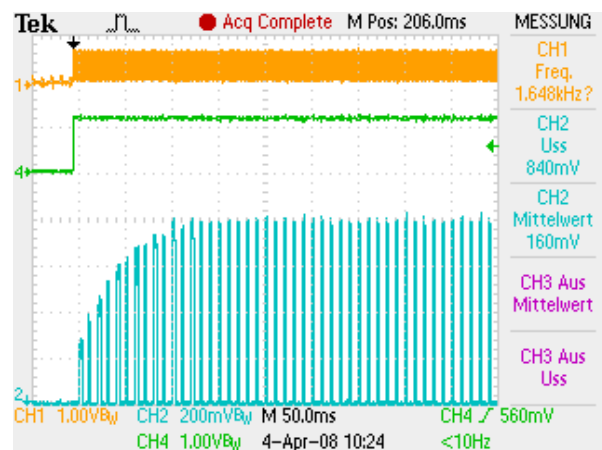
The following table gives some capacitor values

Soft Start Time	C_{SOFT}
10 ms	100 nF
100 ms	1 μ F
3 s	22 μ F

It is possible to combine temperature compensation and softstart functionality. A soft start is triggered by a reset that is initiated either by applying the supply voltage, or by starting the IC up with the PWRDWN signal. Passing the threshold at VDI does not trigger the soft start however, therefore supply by a phase-cut voltage from a dimmer does not interfere with soft start - see oscilloscope diagram.



Softstart on RTK, $C_{SOFT}=100\text{nF}$



Softstart on RTK, $C_{SOFT}=1\mu\text{F}$, phase-cut input voltage

--- Vcc, --- PwrDwn, --- LED current, voltage at a 1 Ω resistor, --- clock signal (test pin)

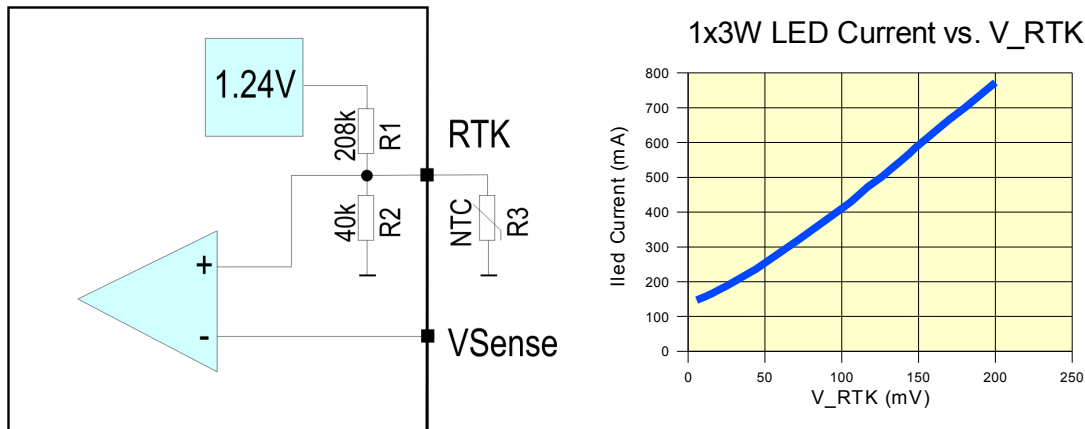
Measured with $C_{IN}=470\mu\text{F}$, $C_{LED}=100\mu\text{F}$, $C_{5VHI/LO}=220\text{nF}$, $L=470\mu\text{H}$, $V_{CC}=15\text{V}$, $R_{SENSE}=0.25\Omega$, LED:1x3W Luxeon

Supply by a phase-cut voltage from a dimmer does not interfere with soft start - see right diagram.

Temperature compensation of the output current

High brightness LEDs often need to be supplied with a temperature compensated current in order to get a stable and reliable operation also at higher temperatures. This is normally achieved by reducing the LED current proportionally from its nominal set value when the LED temperature rises above a predefined threshold. For this thermal compensation an NTC resistor at the RTK pin can be used to sense the temperature.

The NTC value has to be selected according to the application requirements. For many purposes a nominal value around 470 k Ω is suitable.



The NTC changes the voltage at RTK, thus influencing the VSense threshold and the LED current. The diagram on the right shows the relationship between the voltage at RTK and the LED current for $R_{Sense}=0.25 \Omega$. The nominal RTK voltage without NTC is 200mV

Over Temperature Protection (PR4101 only)

An internal temperature sensor detects the chip temperature. Over temperature is detected at T_{OFF} , then the NDRV and the 5VHi-regulators are switched off and switched on again at a chip temperature of T_{ON} . The voltage V_{TEMP} at the pin TEMP relates to the internal chip temperature, please see „Electrical Characteristics“.

Operation with insufficient voltage

In operation with several LEDs in series, it is possible that the supply voltage is higher than the undervoltage detection threshold, but insufficient to drive the programmed LED current because of the LED forward voltage. Then the desired LED current can obviously not be reached.

In this case the MOSFET is permanently switched through, allowing the maximum LED current possible, but always less than the current setpoint.

PWM control does not work in this mode.

When the supply rises, the converter will resume normal operation.

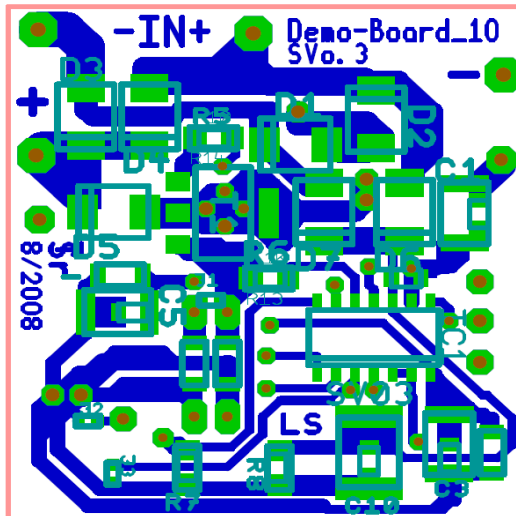
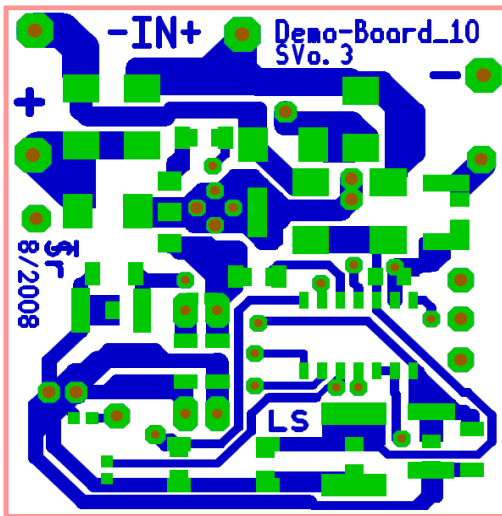
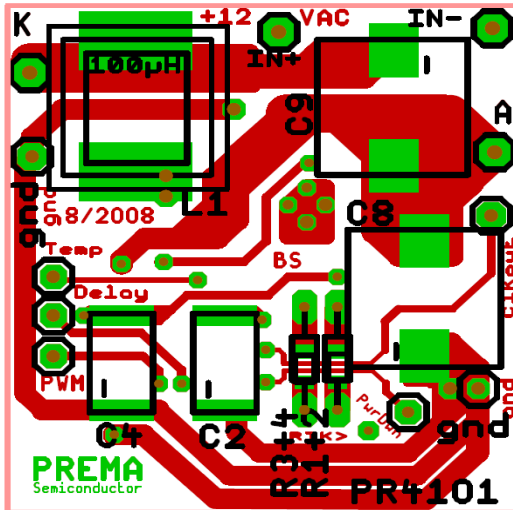
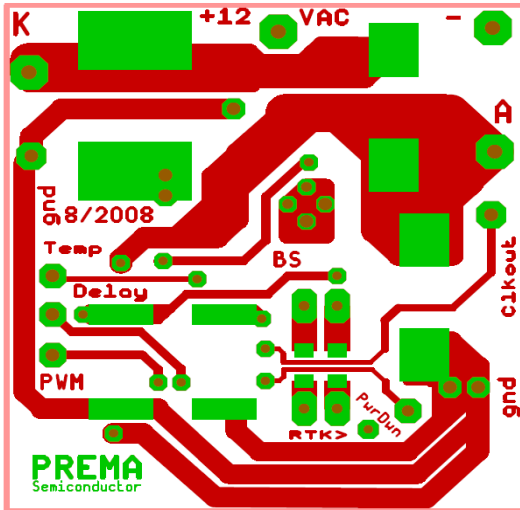
In any mode the converter can be safely switched off with the PwrDwn signal.

Frequency Spreading

To reduce the EMI of the converter the switching frequency is varied in a range around the center frequency. This decreases the EMI power density that is otherwise concentrated at a single clock frequency.

Demoboard with PR4101A

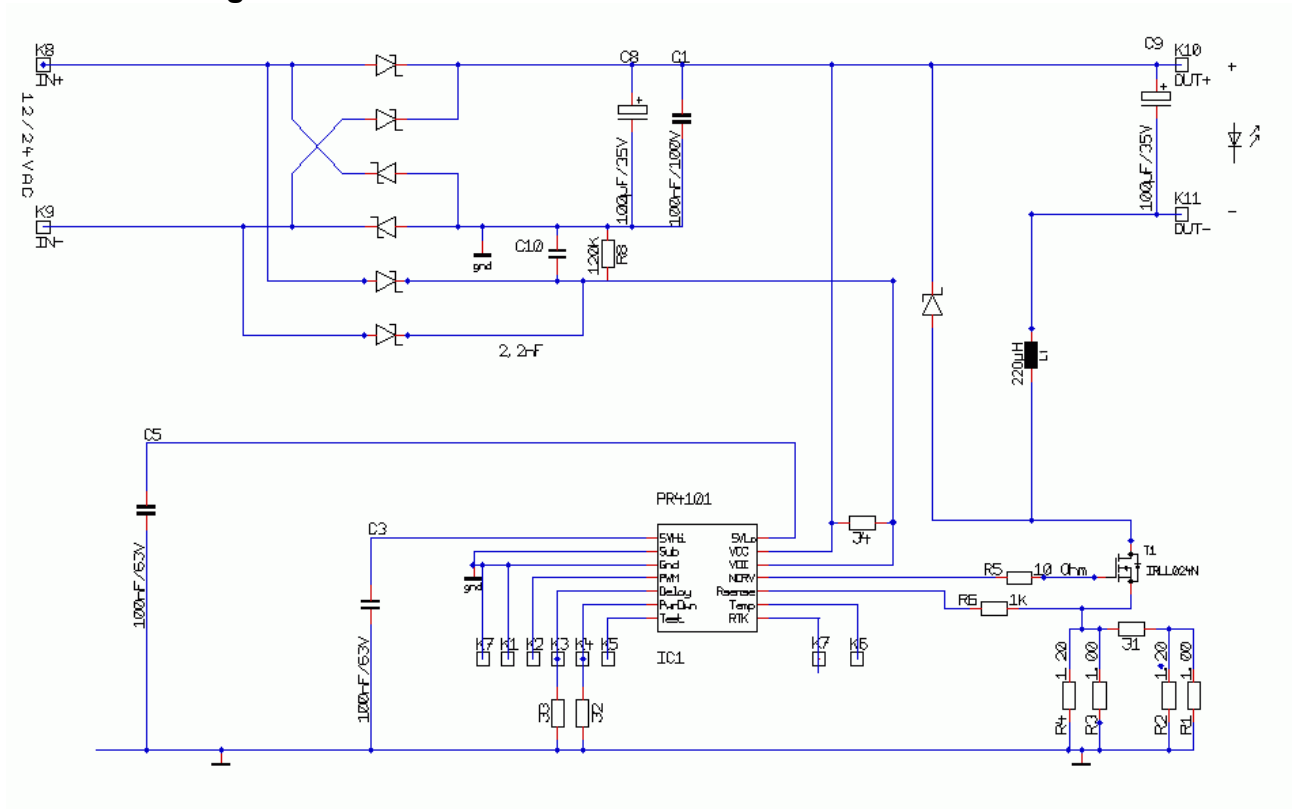
A demoboard is available for the PR4101 that shows the operation of the component, here for a LED driver replacing halogen lamps by several power LEDs. At the pins IN+ and IN- an AC voltage up to 24V or a DC voltage from 9V up to 35V can be supplied. Several LEDs can be connected, the possible number depends on the input voltage. The demo board offers the bridge rectifier, the necessary capacities, the external MOS transistor, the sense resistor and the inductor. The size of the board is 35 x 35 ± 2 mm.



Connections

Name	Description
IN + / IN -	Connect Vac up to 24V or Vdc from 9V up to 35V
LED + / A	Connect the anode of the LED
LED - / K	Connect the cathode of the LED

Schematic Diagram

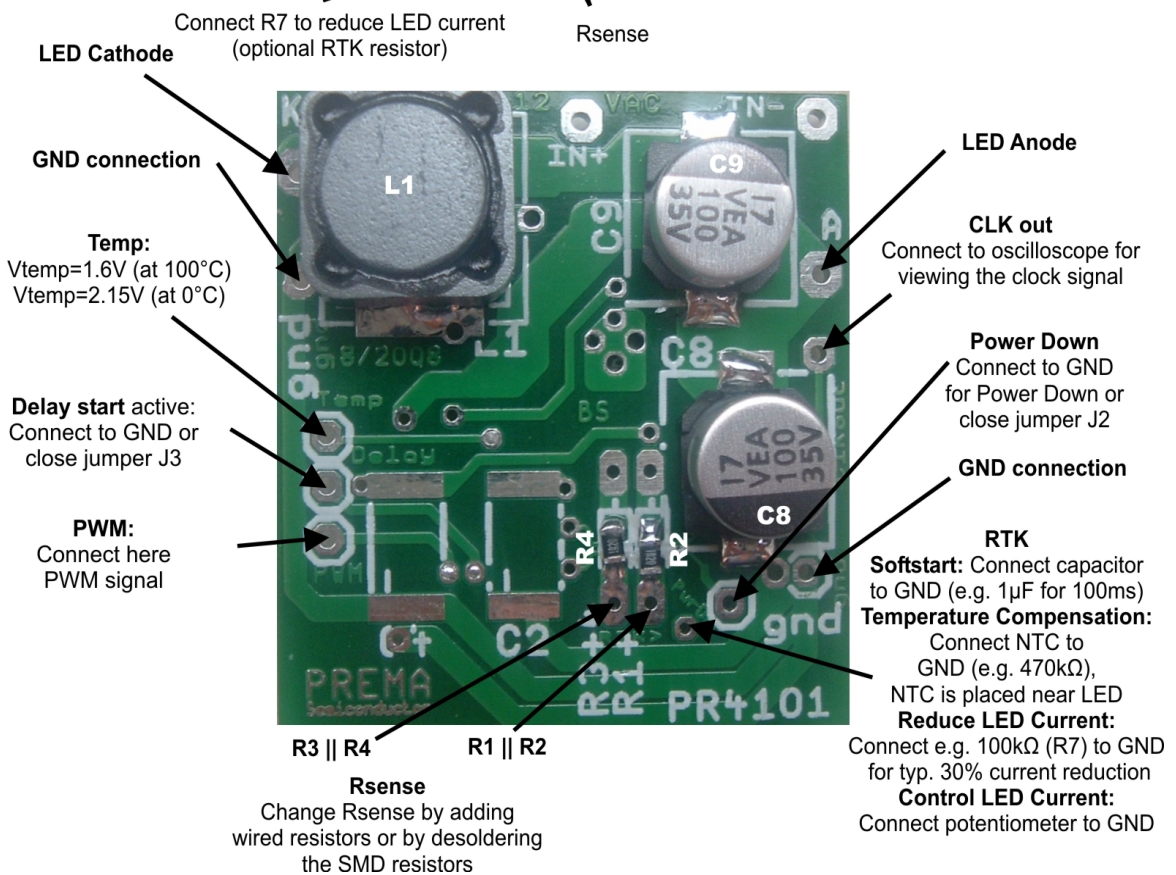
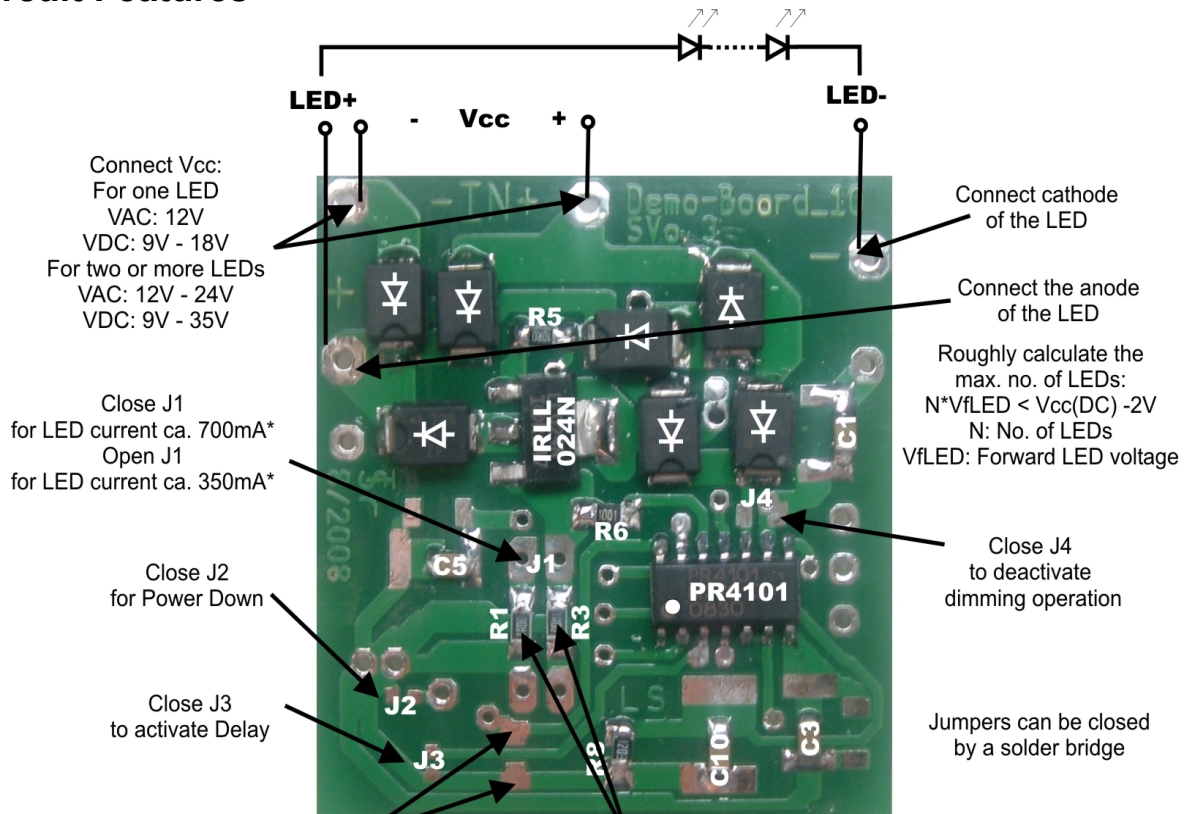


List of components

Name	Value	
D1 – D7	40V / 1A Schottky diode MBRS140	
C1	100nF /100V	Cin
C3 / C5	100nF/63V	
C8 / C9	100uF/35V electrolytic capacitors	if higher current ripples are allowed, C9 (Cled) is not needed
C10	2.2nF	
R2 / R4	1.2 Ohm / 1%	Rsense
R1 / R3	1 Ohm / 1%	
R5	10 Ohm	10 Ohm resistor as a shunt for current measurements
R6	1k Ohm	Rvsense
R8	120k Ohm	Together with C10 a low pass filter for operation with electronic transformers
L1	220uH, WE-PD Type L (Würth)	
IC1	PR4101A (PREMA)	SO14 package
T1	IRLL024N (International Rectifier)	External NDMOS switch
J1	Sets Rsense	Solder bridge (open) Open: Iled around 350mA* (Rsense= 0.54 Ohm) Closed: Iled around 700 mA* (Rsense=0.27 Ohm)
J2	Activates PwrDwn	Solder bridge (open)
J3	Activates Delay	Solder bridge (open)
J4	Dimming operation	Solder bridge (open), close for deactivate dimming operation

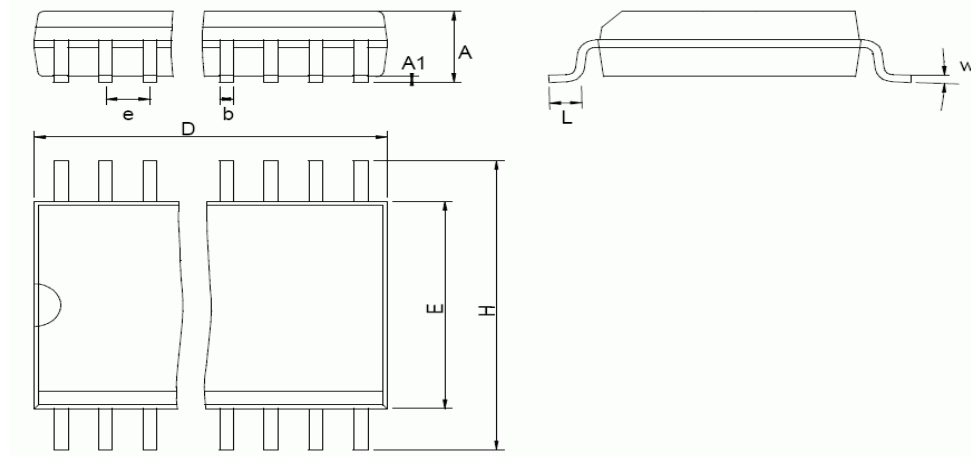
* LED current can vary and depends on supply voltage and number of LEDs

Circuit Features



Available Packages

SOP 08L (PR4101B) or SOP 14L package (PR4101A)



Package		D	E	H	A	A1	e	b	L	Copl.	w
SOP 08L PR4101B	No m max	4.90	3.90	6.00	1.75	0.15	1.27	0.41	0.72	0.10	4°
SOP 14L PR4101A	No m max	8.65	3.90	6.00	1.75	0.15	1.27	0.41	0.72	0.10	4°

Delivery in die form upon request.
All parts delivered comply with RoHS. Finish is pure tin.



Disclaimer

Information provided by PREMA is believed to be accurate and correct. However, no responsibility is assumed by PREMA for its use, nor for any infringements of patents or other rights of third parties which may result from its use. PREMA reserves the right at any time without notice to change circuitry and specifications.

Life Support Policy

PREMA Semiconductors products are not authorized for use as critical components in life support devices or systems without the express written approval of PREMA Semiconductor. As used herein:

1. Life support devices or systems are devices or systems which, (a) are intended for surgical implant into the body, or (b) support or sustain life, and whose failure to perform when properly used in accordance with instructions for use provided in the labeling, can be reasonably expected to result in a significant injury to the user.
2. A critical component is any component of a life support device or system whose failure to perform can be reasonably expected to cause the failure of the life support device or system, or to affect its safety or effectiveness.

PREMA Semiconductor GmbH

Robert-Bosch-Str. 6

55129 Mainz Germany

Phone: +49-6131-5062-0

Fax: +49-6131-5062-220

Email: prema@prema.com Web site: www.prema.com