

ISC0100 KÜBERELEKTROONIKA

Kevad 2025 Sekundaartoiteallikad

Martin Jaanus

NRG-308

martin.jaanus@ttu.ee 56 91 31 93

Õppetöö : <http://isc.ttu.ee>

Õppematerjalid : <http://isc.ttu.ee/martin>

Teemad

Toiteallikad

- Pingestabilisaatorid
- Seadmete toitmine elektrivõrgust
- Pingemuundurid
- Akude kasutamisest

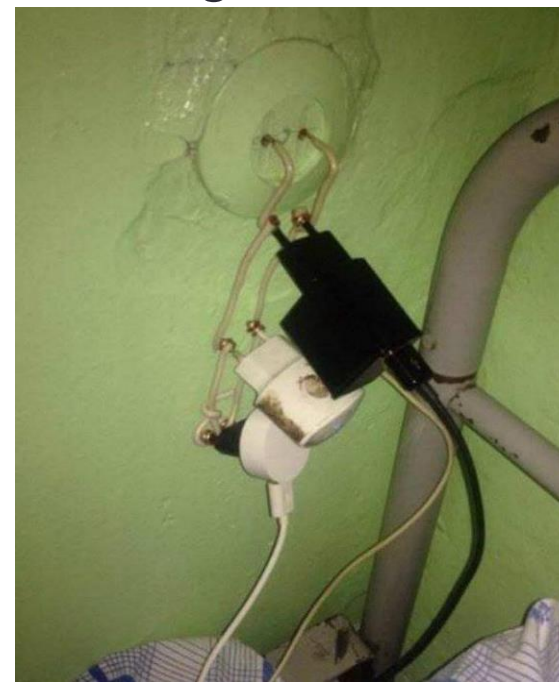
(laadimine, tühjendamine, tasakaalustamine)

Primaartoiteallikas

- Muudab elektrienergiaks mitteelektrilist energiat (keemiline, soojus, valgus, mehaaniline....)
- Patareid, akud, päikeseelemendid, generaatorid.
- Primaartoiteallikiaks loetakse ka elektrivõrku (kuigi oma olemuselt on tegu ülekande- ning muundusahelaga).

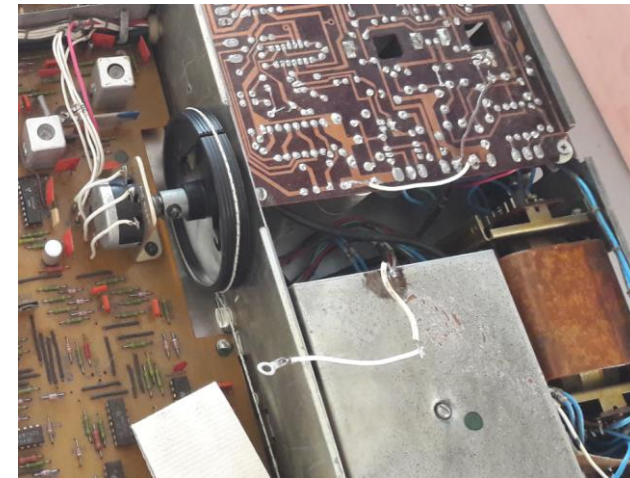


Primaatoiteallika puuduseks on sageli ebasobiv väljundpinge või -vool. Samuti nende kõikumine.



Sekundaartoiteallikas

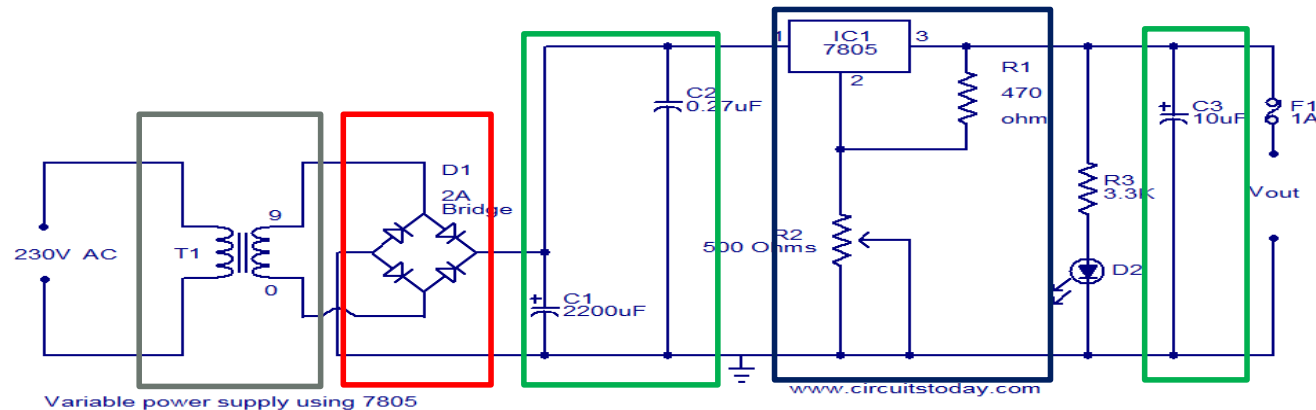
- Kasutavad primaartoiteallika poolt antud energiat, muundades selle sobivaks toidetavale seadmele.
- Pinge- või voolustabilisaator
- Pingemuundi
- Võrgutoiteplokk
- Võivad olla eradi seadmed või kuuluda põhiseadme koostisesse



Võrgutoiteploki koostis

Klassikaline toiteplokk

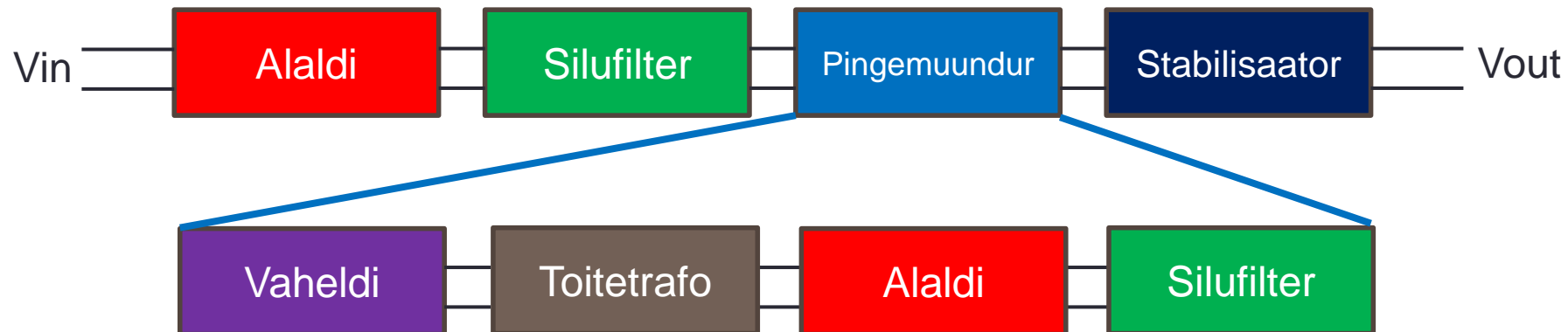
- Töökindel, lihtne
- **Häirevaba** (linearaastabilisaatori korral) !
- Suured mõõtmed (trafo, lineaarstabilisaator) võrreldes toidetava seadmega
- Üsna kallid (vask maksab !)
- Kasutatakse tänapäeval valdavalt analoogseadmete toites, masskasutus kadunud.



Võrgutoiteploki koostis

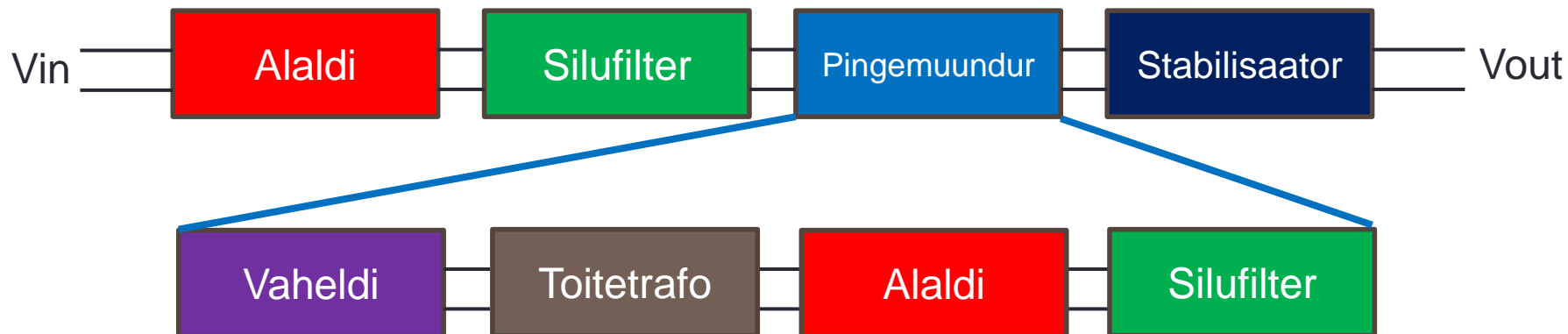
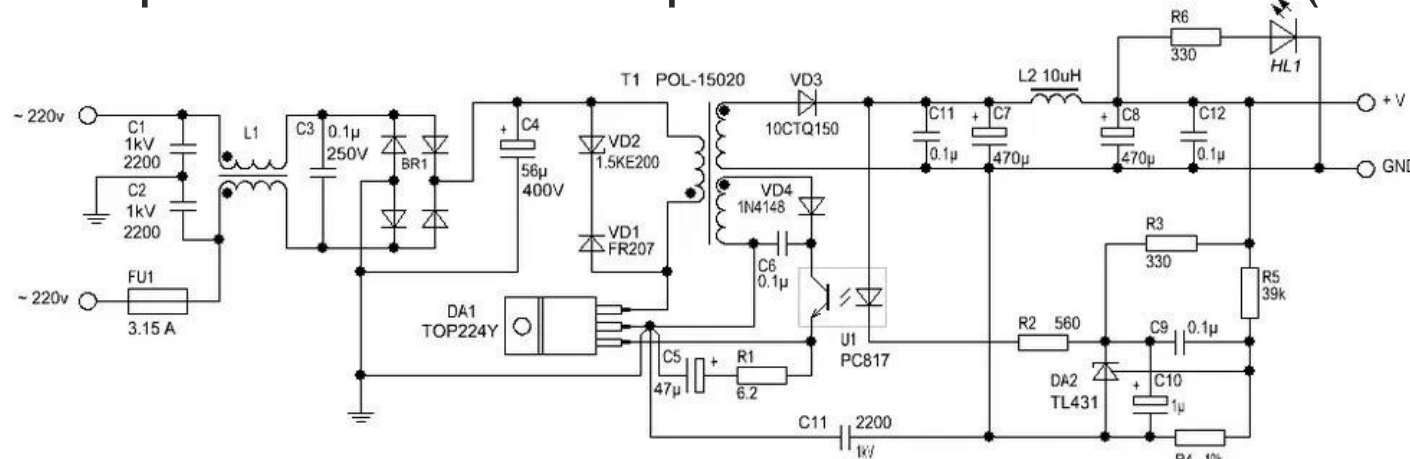
Impulsstoiteplokk

- Odav (muud komponendid maksavad vähem kui vask).
- Väikse massiga (toimub sageduse muundamine, mõõtmed vähenevad).
- **Kõrge kasutegur**, suur sisendpinge vahemik.
- Tekitab häireid, ei sobi tundlike analoogseadmete toitmiseks.
- Enamlevinud digitaaltehnikaga toitmiseks. – Tänapäeval masskasutus.



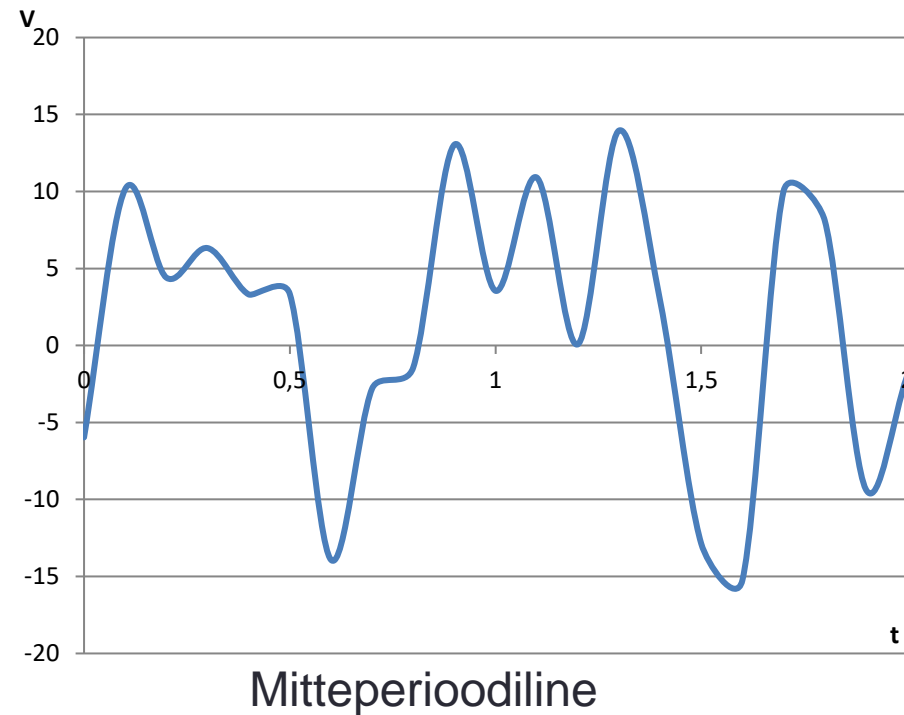
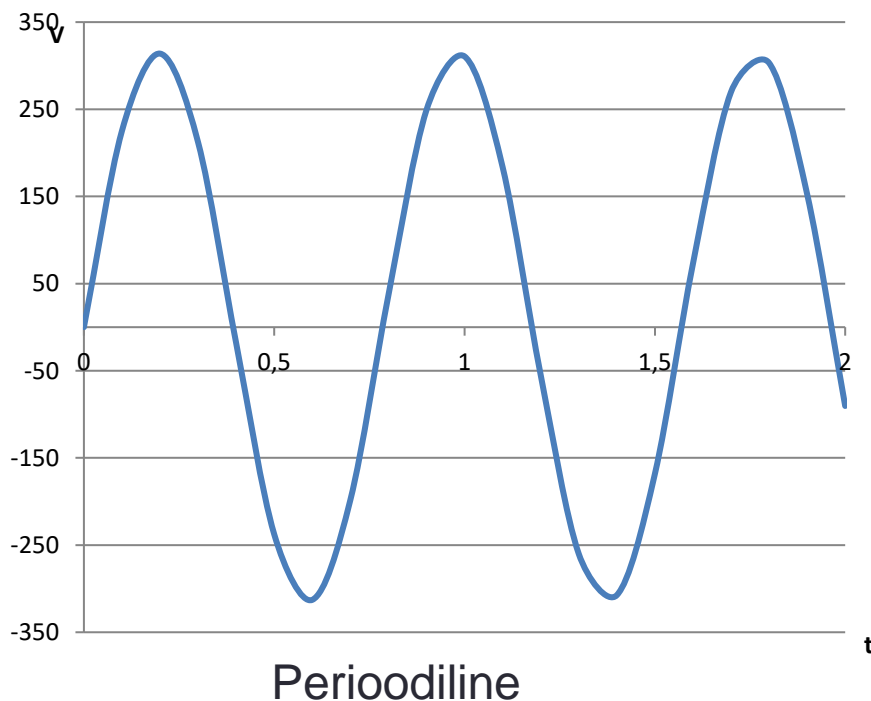
Võrgutoiteploki koostis

- 12 V , 2 A „seinakuubiku“ sisu (üldjuhul on need sarnased)
- Tänapäeval kasutusel spetsiaalmikroskeemid (näit. top224)



Vahelduvvool (ja – pinge)

Vahelduvsignaal (AC, Alternative current), (vool või pinge) –
Vaadeldava aja jooksul muutuv signaal. Muutub voolu suund
Erinevad väärtused.

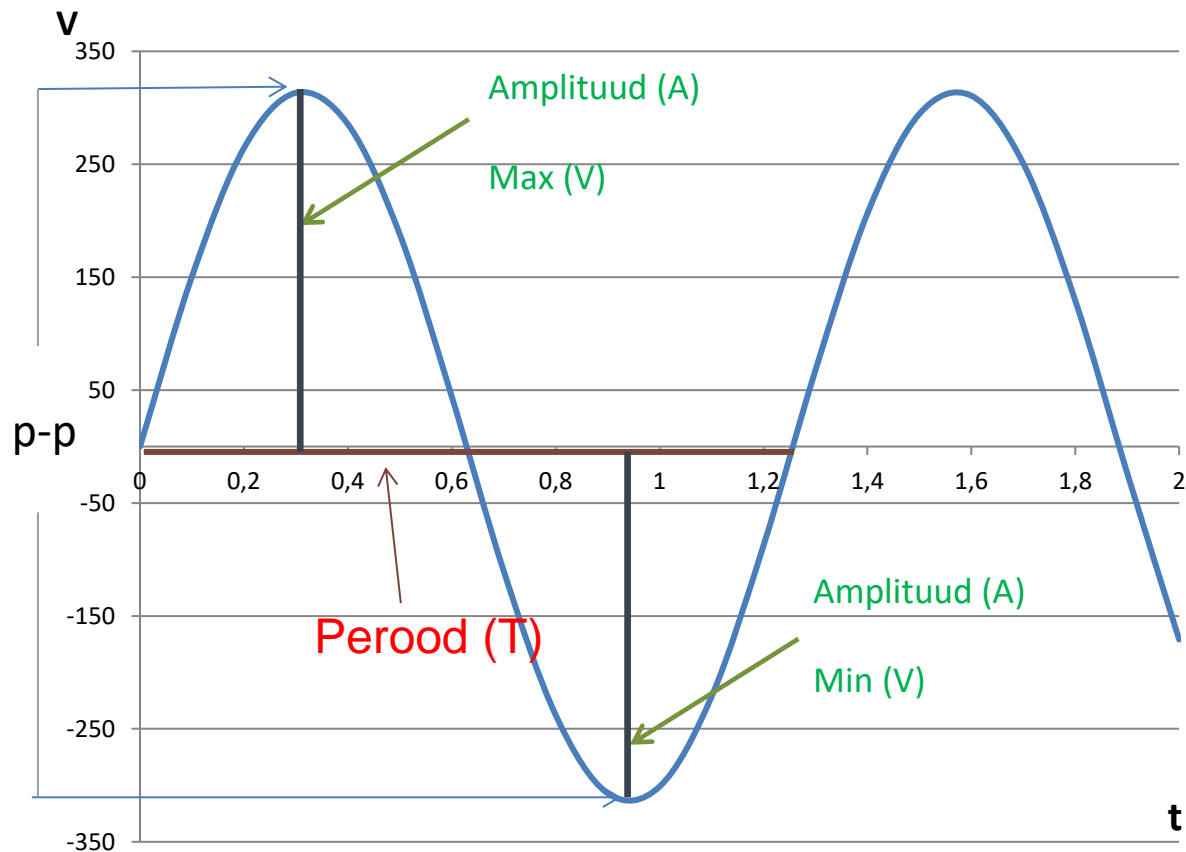


Vahelduvvool (ja – pinge)

Perioodiline signaal, amplituud, tipust tippu, periood

Näiteks:

$$u(t) = A \cdot \sin(2\pi t + \varphi)$$



Signaalil on mitu väärtust

- Amplituudväärtus
- Tippväärtus (max,min)
- Keskvärtus:

$$U_0 = \frac{1}{T} \int_0^T u(t) dt$$

- Mooduli keskvärtus

$$U_{mk} = \frac{1}{T} \int_0^T |u(t)| dt$$

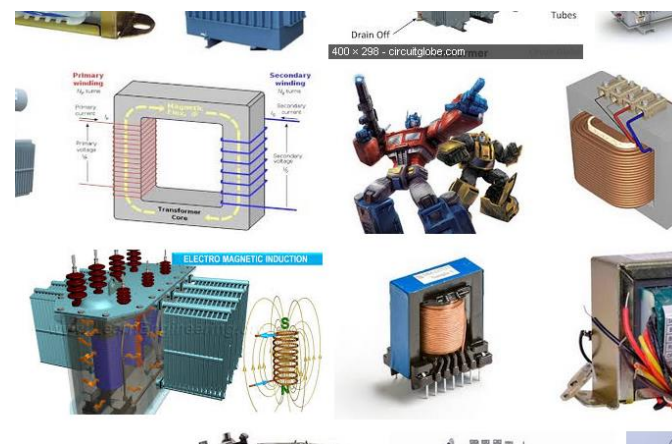
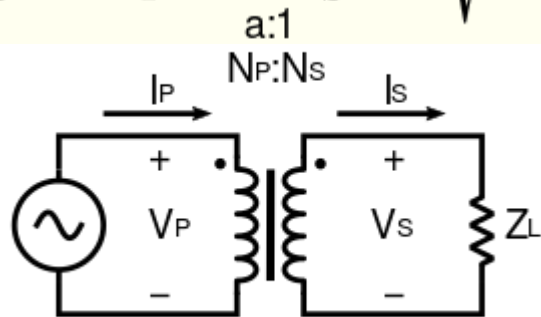
- Efektiivväärtus (rms, (root mean square)

$$U_{mk} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T u^2(t) dt}$$

Transformaator (trafo)

- Samas magnetväljas paiknevad induktorid.
- Energia ülekanne kasutades elektromagnetilist induktsiooni.
- **Kaksport** (või ka hulkport – rohkem kui kaks mähist).
- Mähist võib vaadelda kui **kaksklemmi**, induktorit.
- Toimib ainult vahelduvsignaaliga.
- Ideaalsel juhul:

$$\frac{V_P}{V_S} = \frac{I_S}{I_P} = \frac{N_P}{N_S} = \sqrt{\frac{L_P}{L_S}} = a$$



Google otsing : Transformer

Võrgutrafo

- Primaarallika külge (võrku) ühendatakse primaarmähis
- Tarbija poole sekundaarmähis (võib olla ka mitu).
- Südamik on terasest või permalloist (raua ja nikli sulam)
- **Arvutus on keerukas** (käsiraamatud), reeglina kasutatakse tööstuslikku toodet, aga saab ka käsitsi valmistada.

Tavakasutaja jaoks olulised parameetrid

- Sisendpinge (reeglina 230 V või 110 V)
- Väljundpinge (peab olema kõrgem lõpptulemusena soovitud alalispingest)
- Väljundvõimsustaluvus (väljundpinge ning – voolu korrutis) . Peab olema veidi suurem kui koormusel tarbitav võimsus + kaod stabiliseerimisel. Mitme sekundaarmähise puhul võimsused liituvad.
- Mõõtmed ja mass – otseses seoses võimsusega : 100 W ~ 1 kg

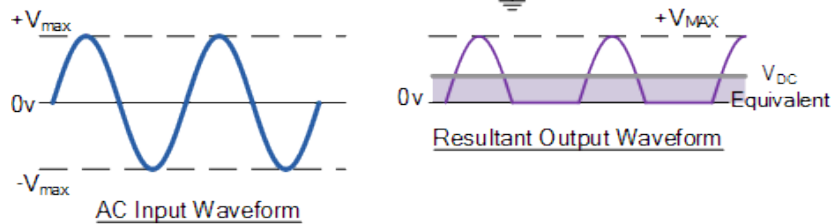
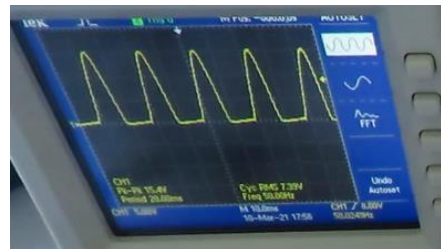
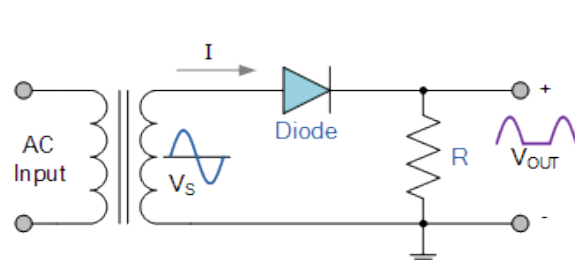
2x50 W väljundvõimsusega
helivõimendi toitetrafo. ~2 kg

3 sekundaarmähist.



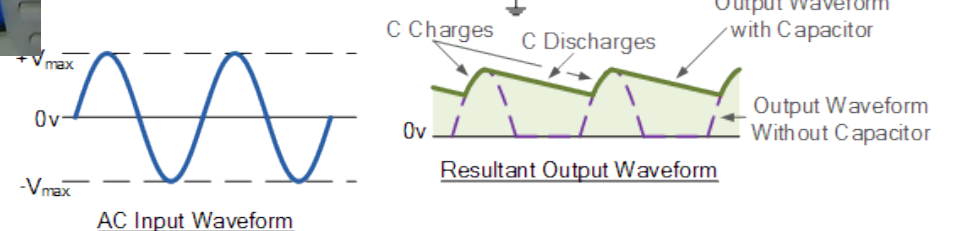
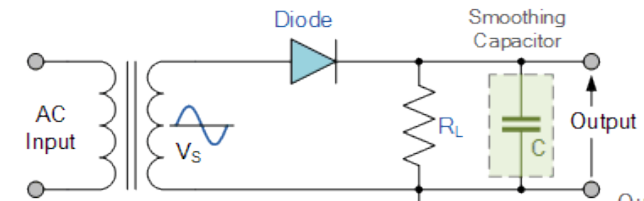
Poolperioodalaldi

- Kõige lihtsam.
- Ebapraktiline, madal kasutegur, trafot läbib **alaliskomponent**.
- **Eelis – ühine maaklemm** (alalispinge saamine kui teist võimalust pole).
- Reaalne kasutus nõrkade voolude korral (ja ka aladimensioneeritud kommertstooted , 3 diodi kokkuhoid).
- Impulsstoiteallikad



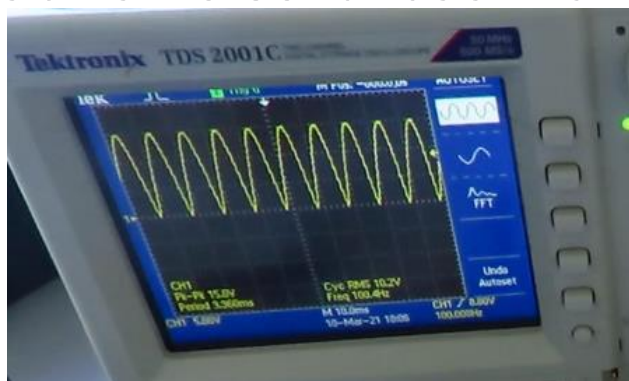
$$V_{d.c.} = \frac{V_{max}}{\pi} = 0.318V_{max} = 0.45V_S$$

https://www.electronics-tutorials.ws/diode/diode_5.html

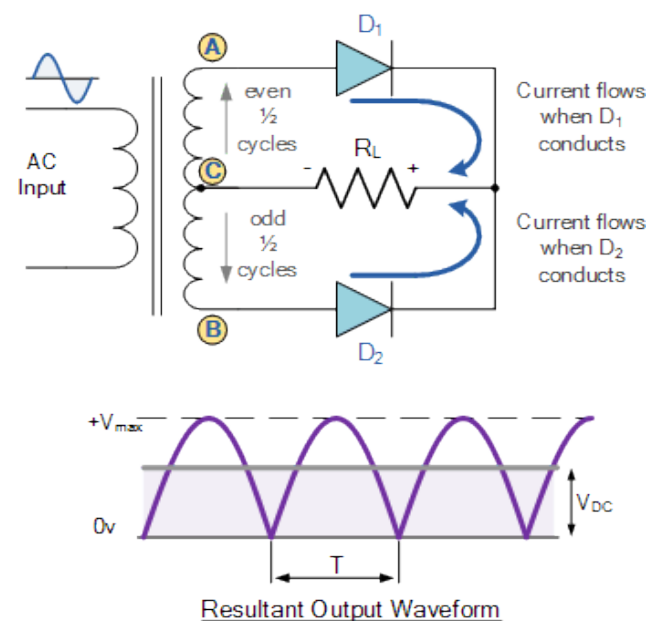


Täisperiodalaldi

- Kahe dioodiga skeem vajab trafo kaks sekundaarmähist (või keskväljavõtet).
- Tööpõhimõte sarnaneb poolperiodalaldiga, aga teise poolperioodi jaoks antakse pinge vastandfaasis .
- Kasutatakse madalate pingete ja suurte voolude korral.
- Eelis - Trafo sekundaarmähise keskpunkt on ühine klemm (saab kasutada maaklemmina)
-
- Puudus – vajab kahte sekundaarmähist.

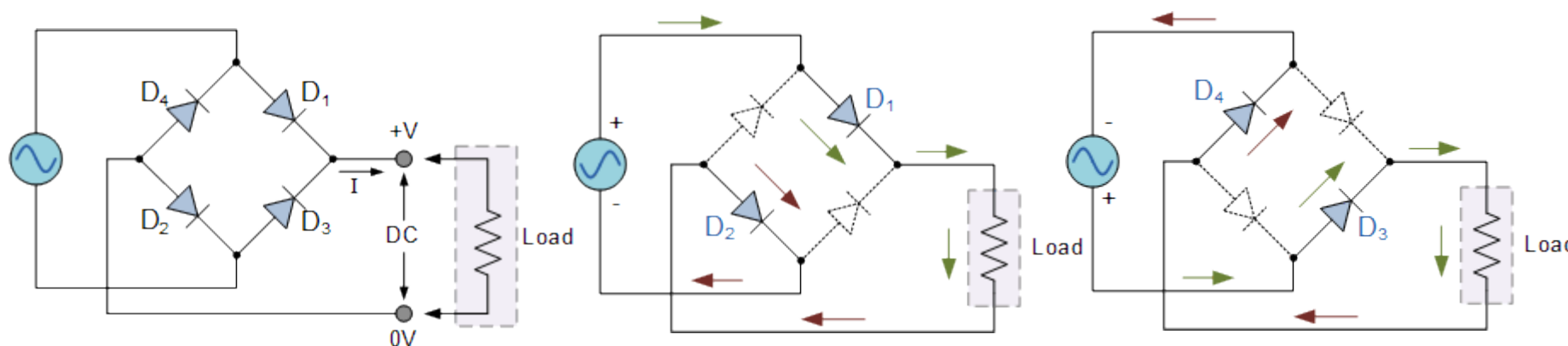
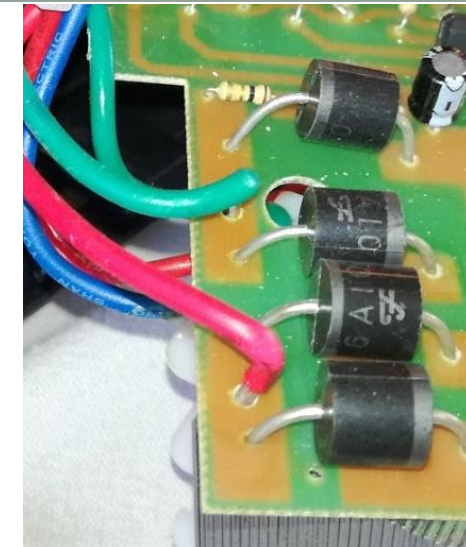
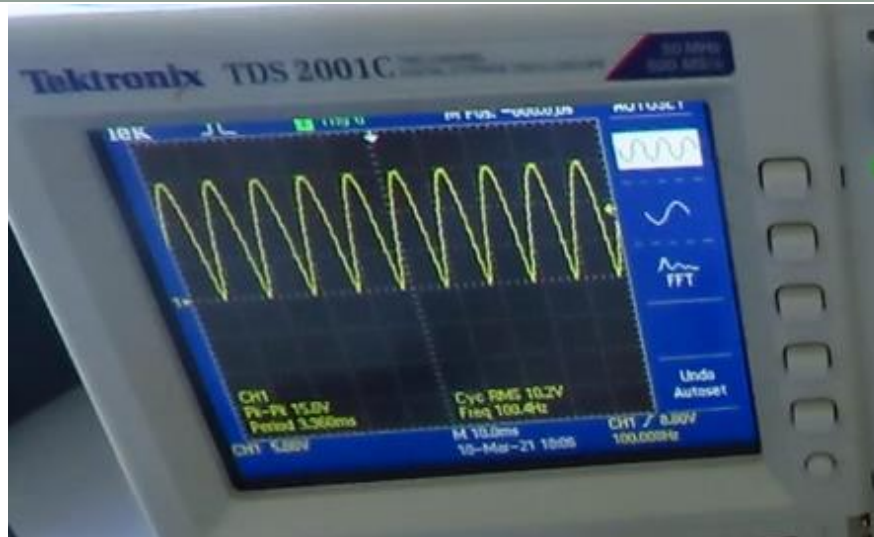


$$V_{d.c.} = \frac{2V_{max}}{\pi} = 0.637V_{max} = 0.9V_{RMS}$$



Täisperioodalaldi

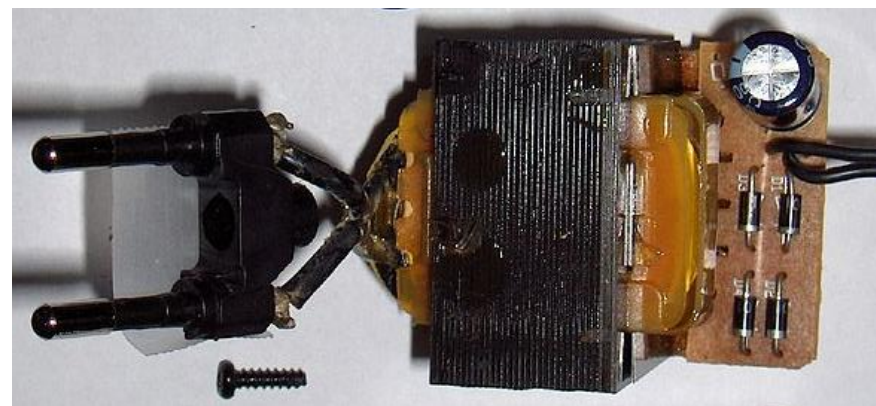
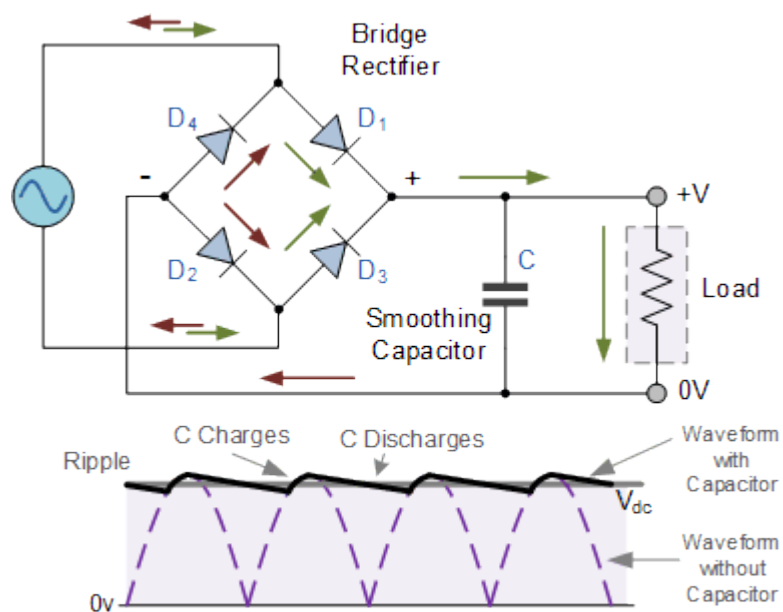
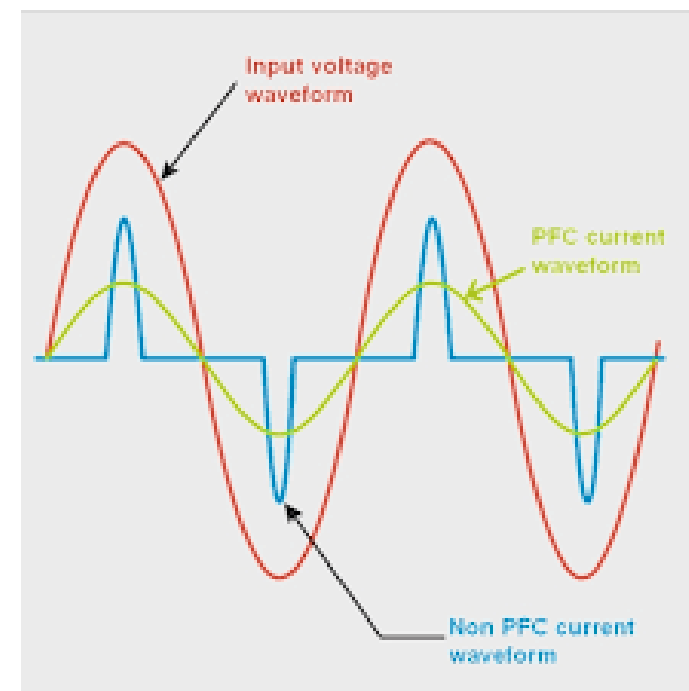
- Nelja diodiga skeem (sildalaldi)
- Üldkasutatav
- Puudused . Trafo väljundklemmi ei saa ühendada üldjuhtmega, alati on jadamisi kaks diodi (pingelang 1,4 V) . Madalatel pingetel kasutegur halb.



$$V_{d.c.} = \frac{2V_{\max}}{\pi} = 0.637V_{\max} = 0.9V_{RMS}$$

Silufiltriga alaldi

- Lihtsamal juhul piisab (elektrolüüt)kondensaatorist.
- Mahtuvus sõltub väljundi pulsatsioonitegurist ja tööpinge peab olema suurem kui alaldi väljundpinge !
- Väljundpinge sõltub koormusest ja sisendpingest.
- Probleem – diodid avanevad vaid hetkeks, tekitavad vooluimpulsid (häirete tekkimiskoht, eriti impulsstoiteplokkide korral – lahendus mõne slaidi pärast



Lihtsa „seinakuubiku“ sisu

Silufiltriga alaldi komponentide valik

- Lihtarvutus täisperioodalaldile
- Kondensaatori tööpinge peab olema uurem kui maksimaalne väljundpinge !
- Dioodi lubatav päriool peab olema suurem koormusvoolust (arvestada tuleb ka kondensaatori laadimisimpulsiga) ja vastupinge suurem kui alaldi väljundpinge
- Vajalik teada maksimaalset koormusvoolu, ja lubatud pulsatsiooni (ripple). Antakse kas protsentides

$$k_{pul} = \frac{V_{1harmooniline}}{V_{AVG}} * 100\%$$

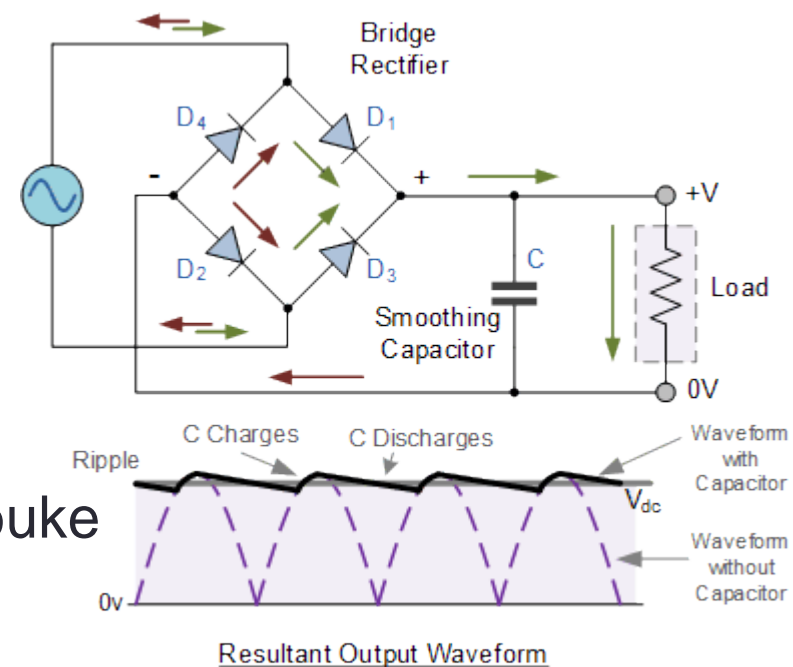
• või absoluutväärtusena ,

• näiteks $V_{pul} = 3 mV_{p-p}$

• Kondensaatori mahtuvus ligikaudu:

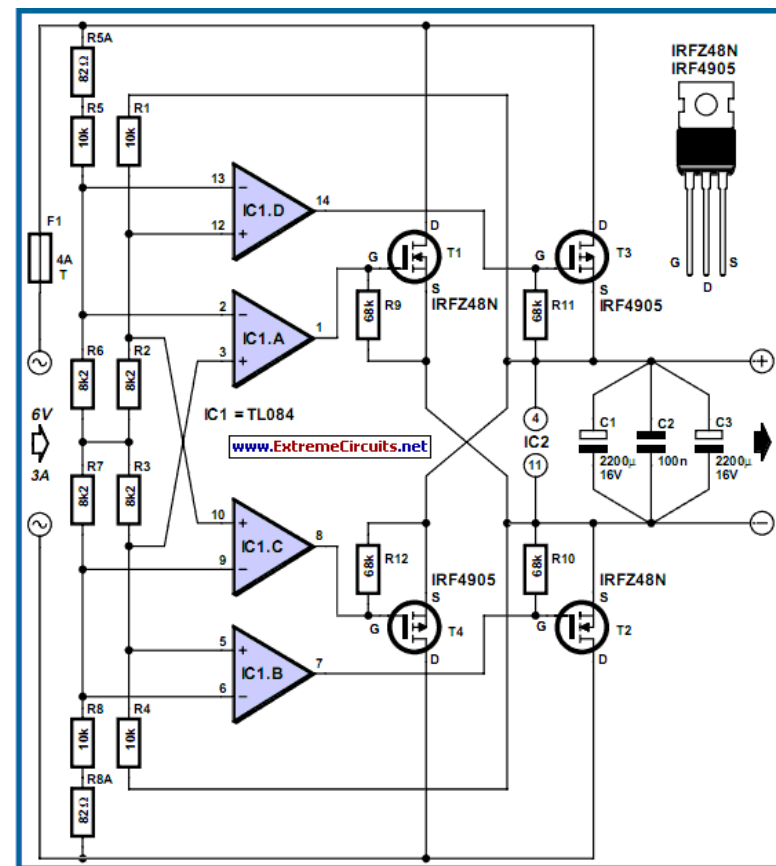
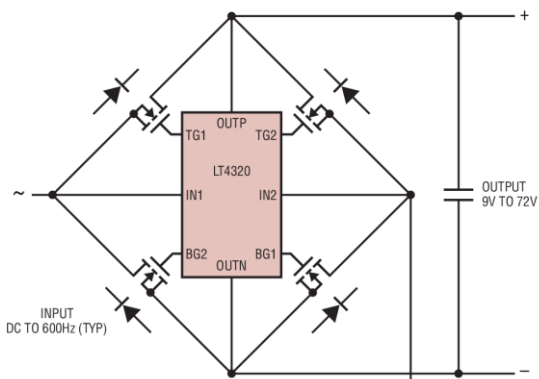
$$C(\mu F) \approx 2.5 * 10^5 * \frac{I_{load}}{V_{out} * k_{pul}}$$

• Suurem mahtuvus põhjustab sisselülitamisel suurema voolutõuke (siirdeprotsessi)



Tänapäevane, roheline, alaldi

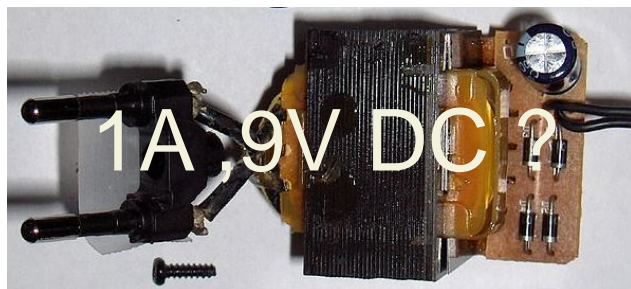
- Diodidega sildalaldi on suuritel võimsustel “ebasoovitav nähtus,”
- $0,7\text{ V} \times 2 = 1,4\text{ V}$ pingekadu ja **võimsuskadu** ! Vajalik kasuteguri suurendamine .
- Lahendus - kasutame diodide asemel transistore
- Juhtimiseks kuluv energiakulu väiksem.
- **“Rohepööre” elektroonikas**
- Skeemid keerulisemad, kasutatakse ka digitaaljuhtimist.
- Silufiltri kondensaator laetakse ikka impulssidega.



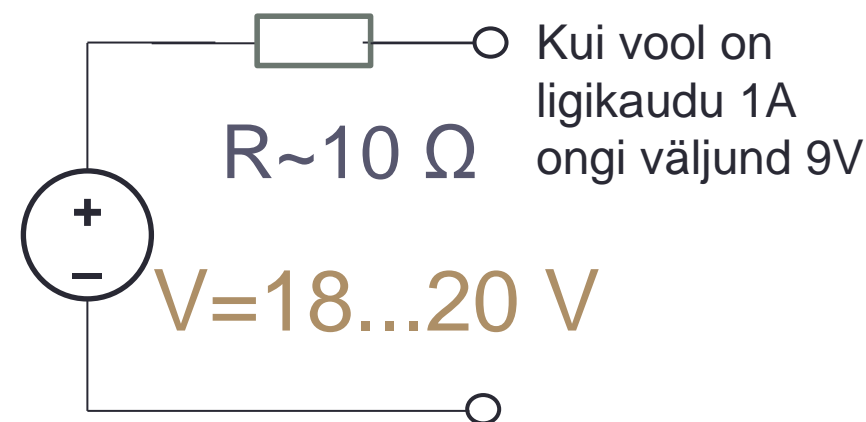
Stabilisaator

- (lubatud piires) muutuva sisendi teisendamine kindlaks pingeks või vooluks. Olemuselt **kaksport**.

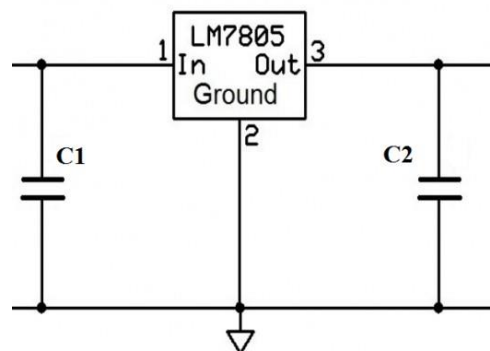
Odav "seinakuubik"



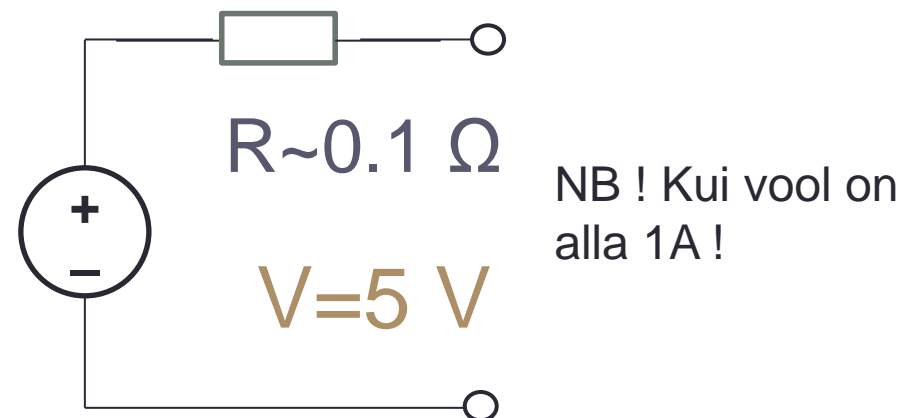
=



+

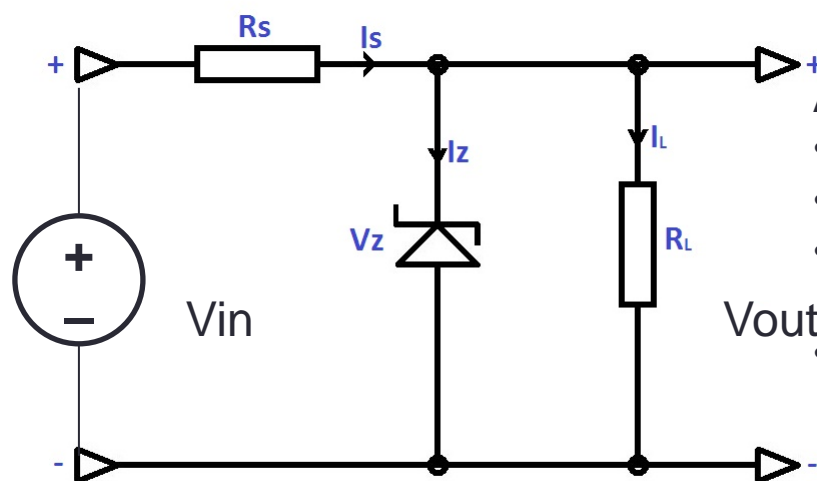


=



Parameetiline stabilisaator

- Olemuselt pingejagur, mille ühe elemendi V-A karakteristik on mittelineaarne (diod, stabilitron).
- Töökindel, kuid energia ülejääk muudetakse soojuseks ka siis kui väljundist voolu ei tarbita.
- Kasutatakse väga väikesel võimsusel või tugipingeallikana.
- Koormusvoolu muutus (takisti R_L muutus) võiks olla võimalikult väike



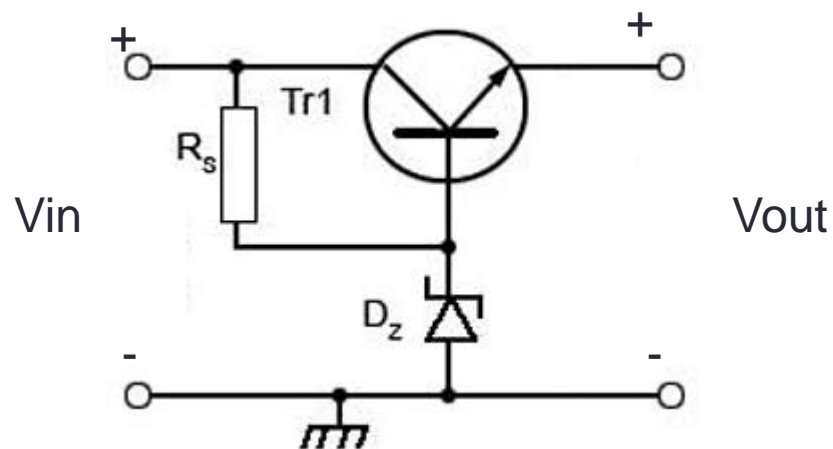
Arvutusel on oluline

- Väljundpinge $V_{out} = V_z$ (võrdne stabilitroni pingega)
- Koormusvoolu I_L miinumum- ja maksimumväärtus
- Kui kasutatakse ahelat tugipingeallikana, siis $I_L \rightarrow 0$

• Stabilisaatori normaalseks toimimiseks peab olema täidetud tingimus $V_{in} > V_{out} * \frac{R_L}{R_s + R_L}$

Parameetriline stabilisaator

- Vajadusel (lihtuses mõttes sageli tehaksegi nii) saab väljundvoolu suurendada , kasutades emitterjärgurit.
- Stabiliseerimispingele liitub transistori emittersiirdepinge 0.7V (ränitansistori korral) ,liittransistori puhul rohkem.
- Reaalselt koormusvoolule <100 mA

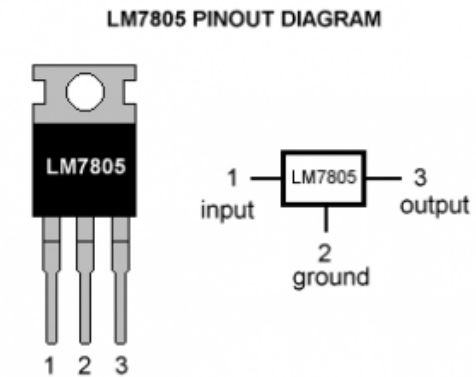
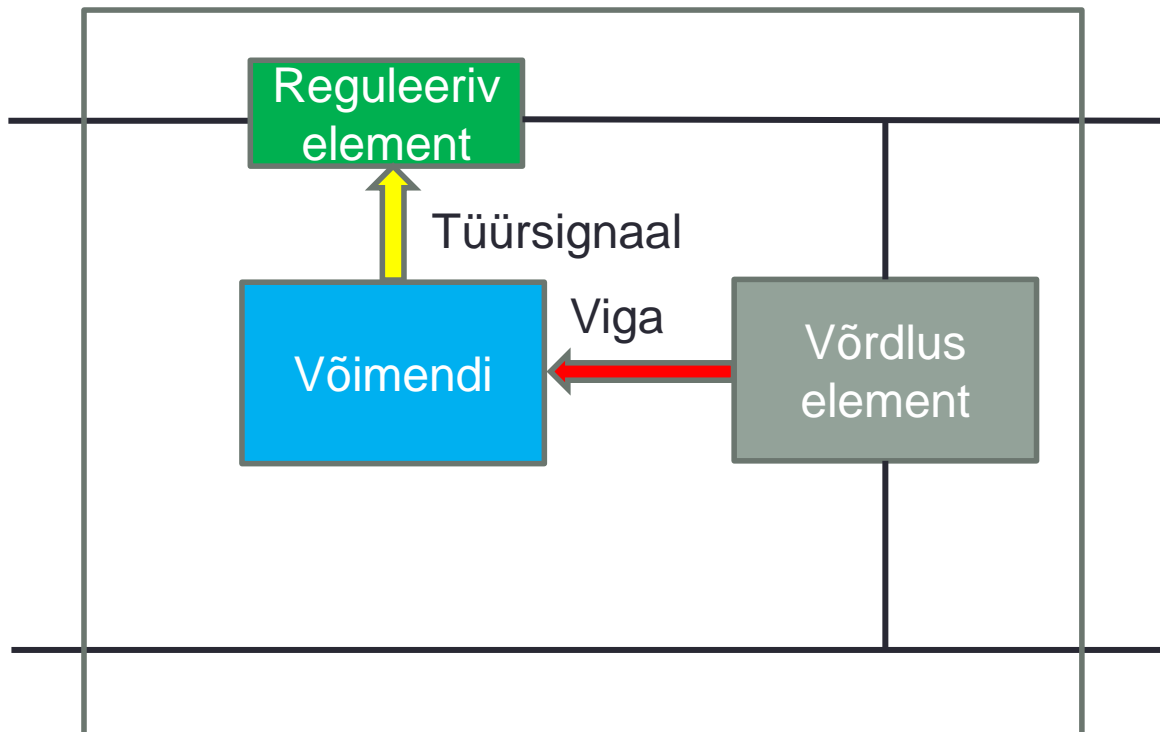


$$V_{out} = V_z + V_{BE}$$

$$V_{in(min)} \gg V_{out}$$

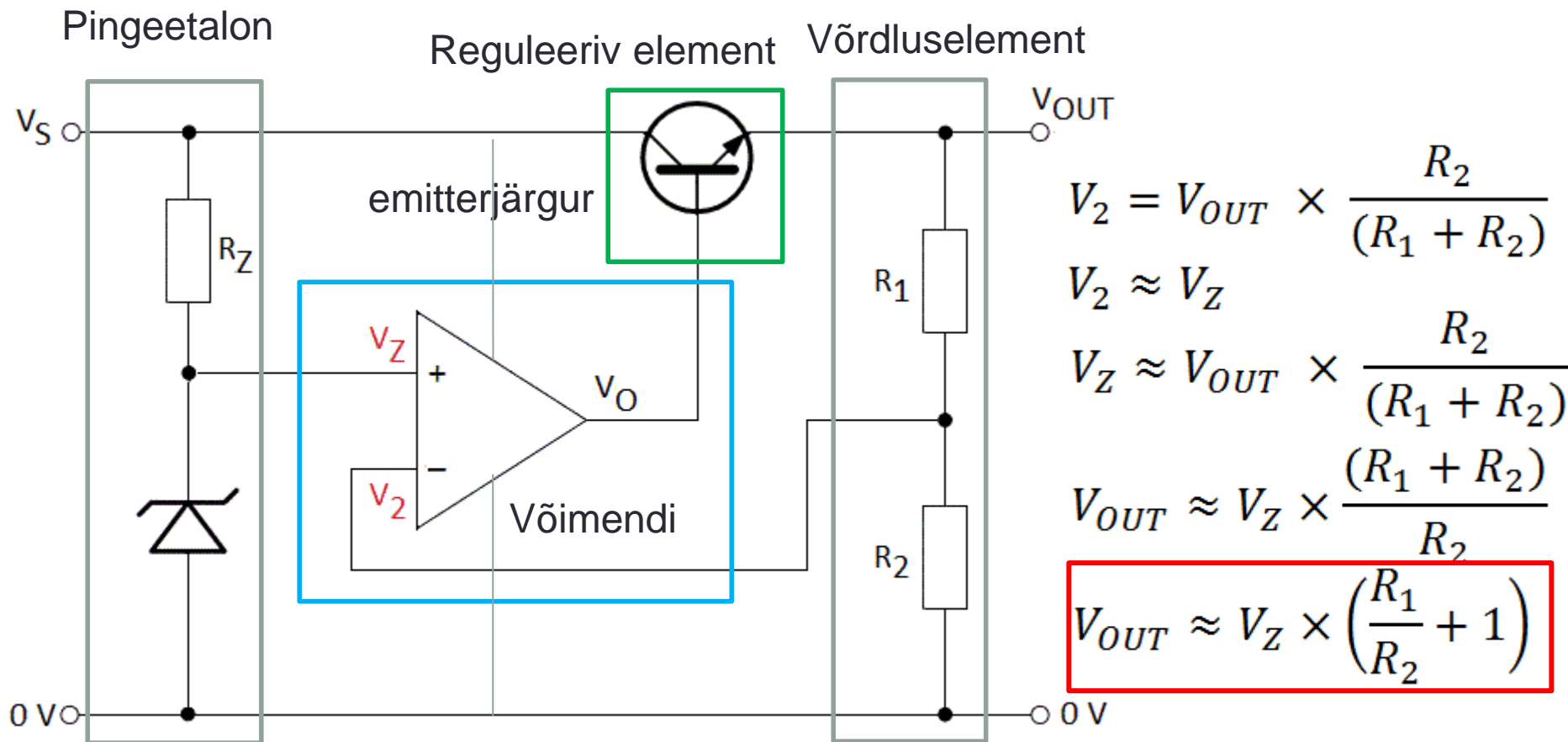
Kompensatsioonistabilisaator

- Enamlevinud lineaarstabilisaator (sageli ka impulsstoiteallikate väljundis)
- Võrreldakse väljundpinget etalonpingega, reguleeriva elemendi takistus muutub.
- Toodetakse kindla väljundpingega kolme väljastusega stabilisaatoreid.



Kompensatsioonistabilisaator

- Näide ,kuidas teha operatsioonvõimendiga, emitterkoormusega.
- Vajadusel transistor asendada littransistoriga.
- Väga hea stabiilsus, kuid suur pingekadu stabilisaatoril $V_{out} \ll V_{in} - V_{BE}$

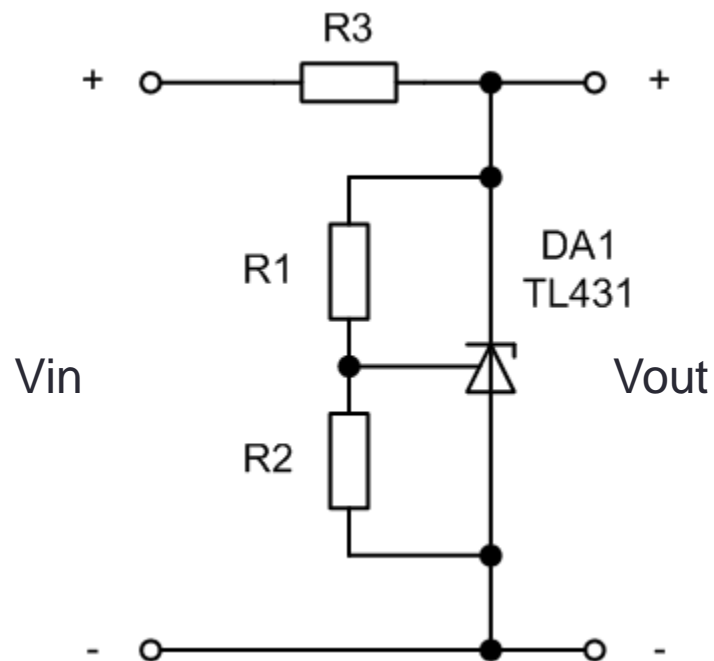


TL431

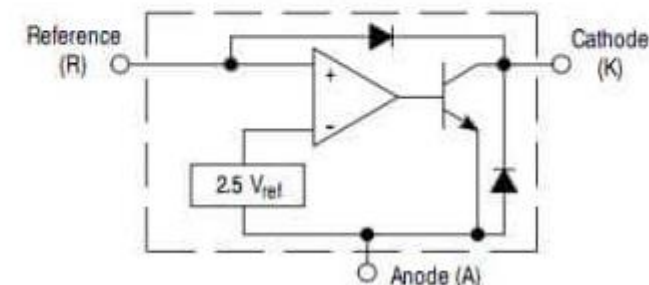
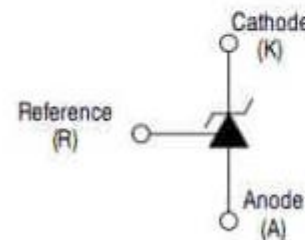
- „programmeeritav (kahe takistiga) stabiltron“
- Tegelikuses sisaldab endas kompensoonistabilisaatorit
- Levinud tänapäeval tugipingeallikana.

$$V_Z = \frac{R1 + R2}{R2} * V_{ref}$$

www.bristolwatch.com



Pin 1. Reference
Pin 2. Anode
Pin 3. Cathode

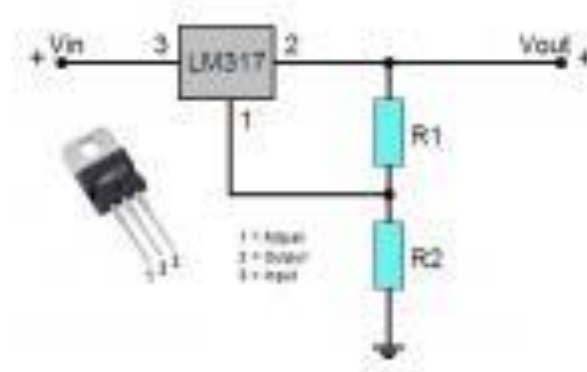


TL431A programmable shunt regulator diode.

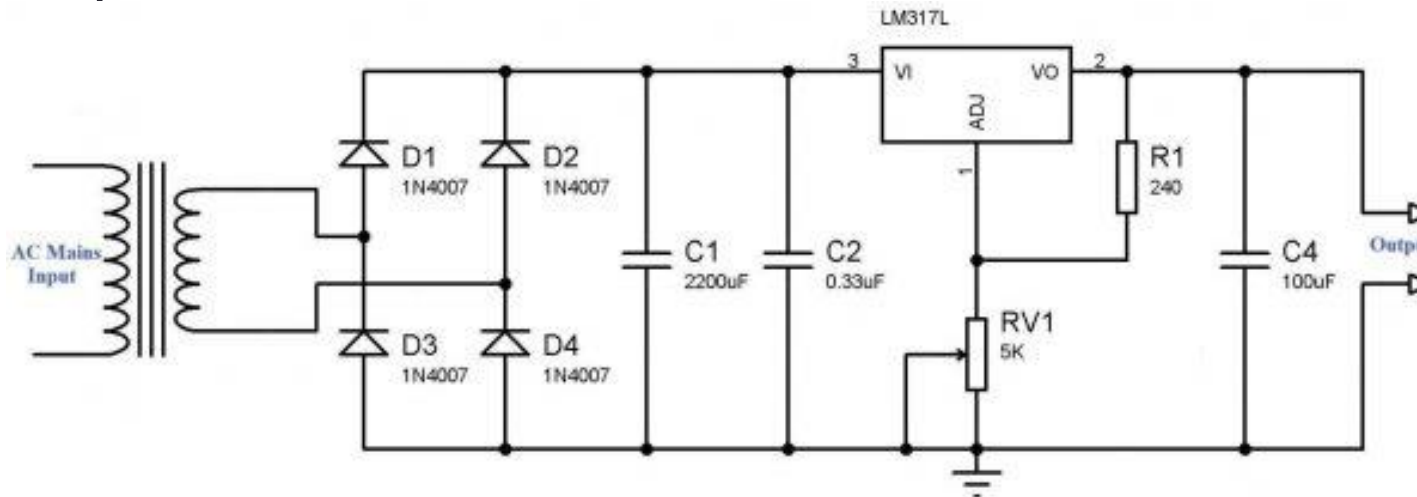
Integraalstabilisaatorid

Näited . Saab lihtsalt ja odavalt.

- 78 seeria + toide , 79 seeria – toide
- LM317 + toide , LM337 – toide
- <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/lm317.pdf>
- Erinevad korpused

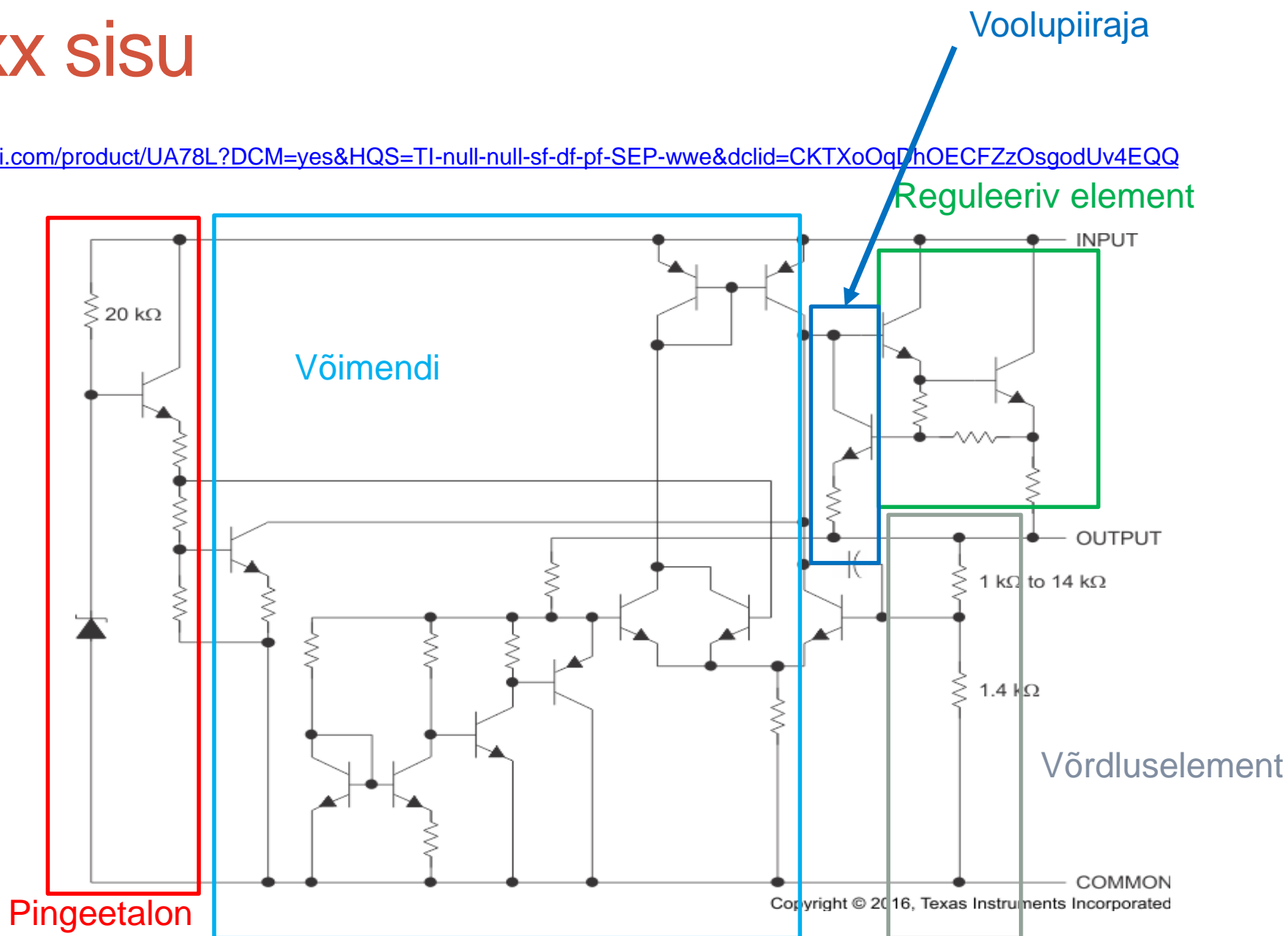


$$V_{out} = \frac{R1 + R2}{R2} * V_{ref}$$



78xxx sisu

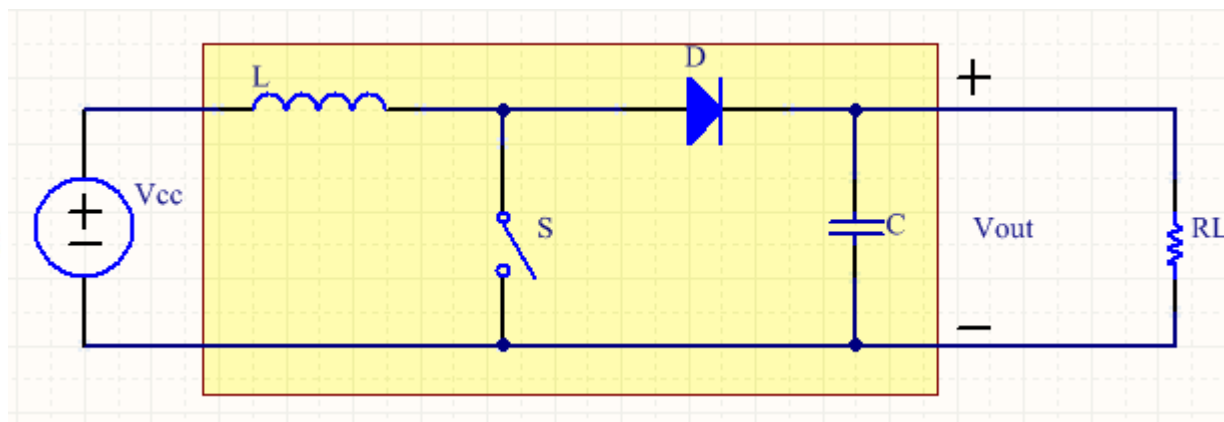
- <http://www.ti.com/product/UA78L?DCM=yes&HQS=TI-null-null-sf-df-pf-SEP-wwe&dclid=CKTXoOqDhOECFZzOsgodUv4EQQ>



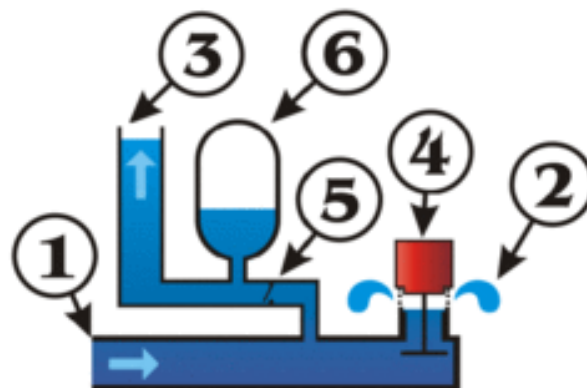
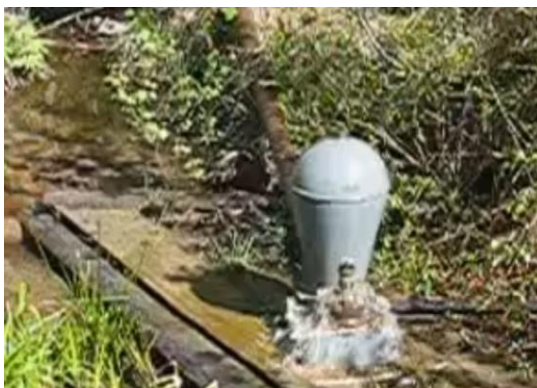
Alalispingemuundur



Pilt:ebay.com



Pinget tõstev skeem
(boost converter)



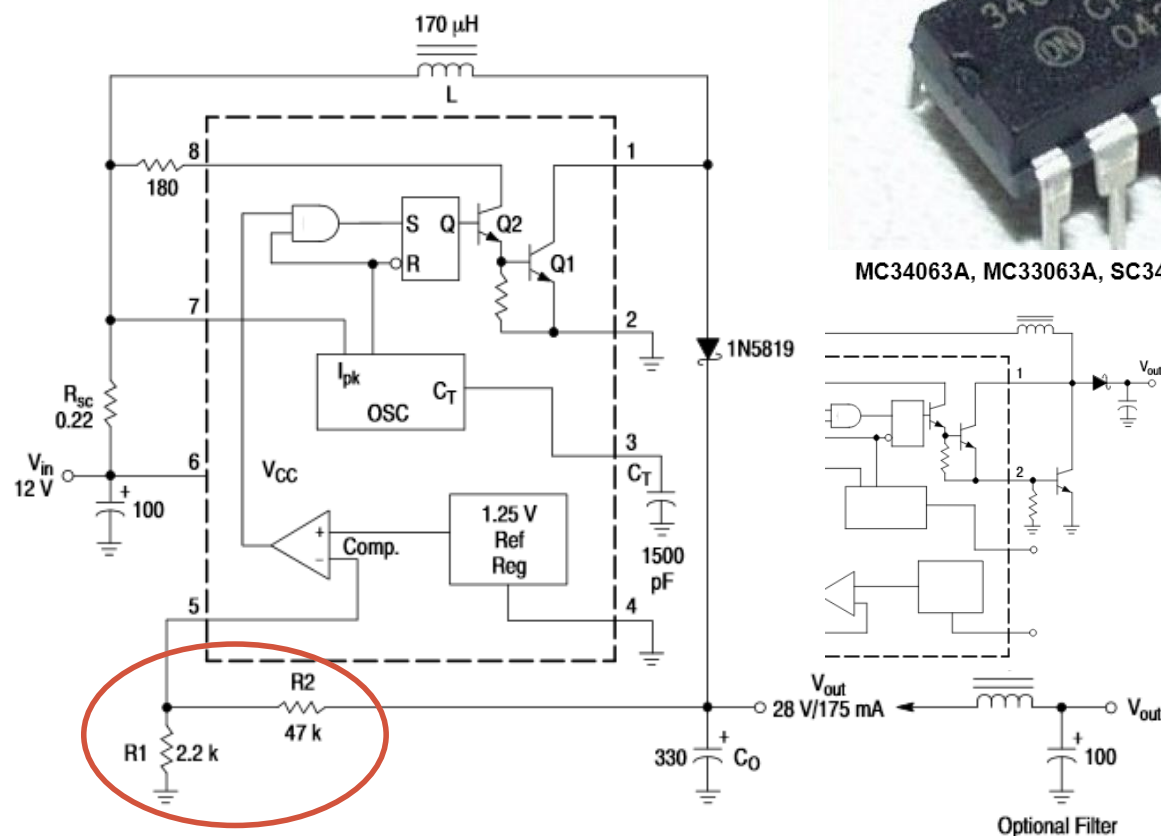
Kasutatakse ära voolu inertsi.

- **Hüdraulika analoog – vesioinas**
- Lülituselement - transistor
- Kõrge kasutegur
- Keeruline juhtida
- **Kriitilised montaažinõuded**
- **Tekitab häireid !**
- Valdavalt digiseadmetes

<https://www.youtube.com/watch?v=XdB0iH9ZhYU>

Alalispingemuundur

- Skeeminäide (MC34063A)
- Odav
- Levinud hobielektronikas
- Internetis komponentide arvutused
- Vajadusel saab lisada väljaspoole juurde lülitustransistore.

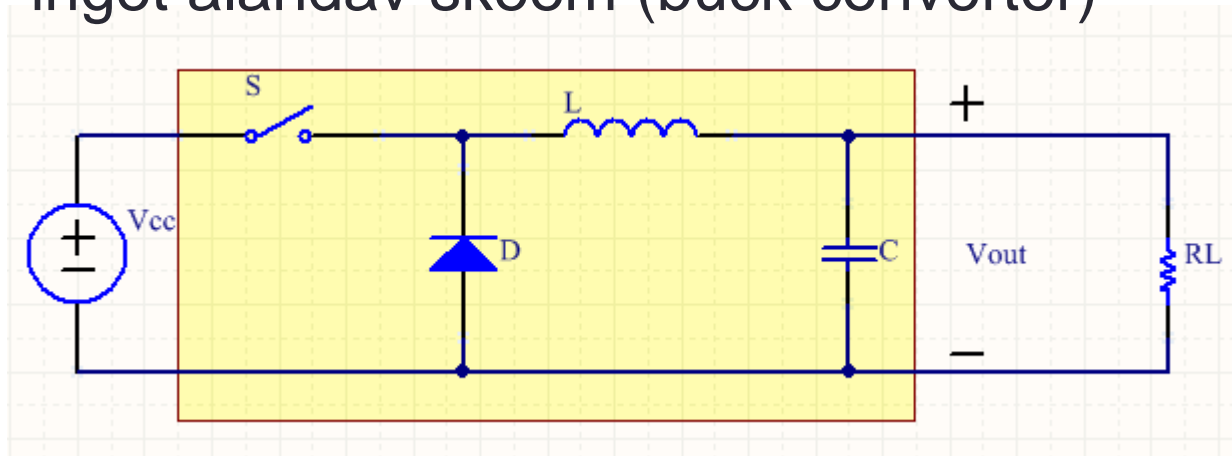


<https://www.onsemi.com/pub/Collateral/MC34063A-D.PDF>
<https://www.youtube.com/watch?v=qGp82xhybs4>

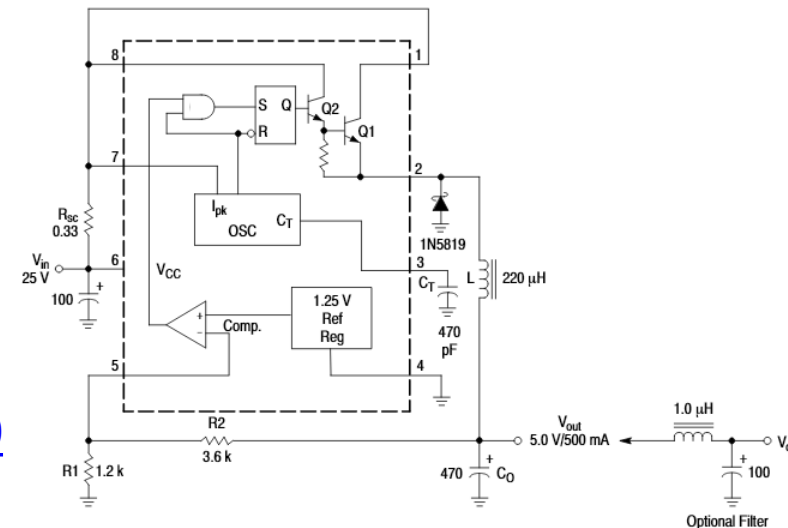
$$|V_{out}| = 1.25 \left(1 + \frac{R2}{R1} \right)$$

Alalispingemuundur

- Pinget alandav skeem (buck converter)



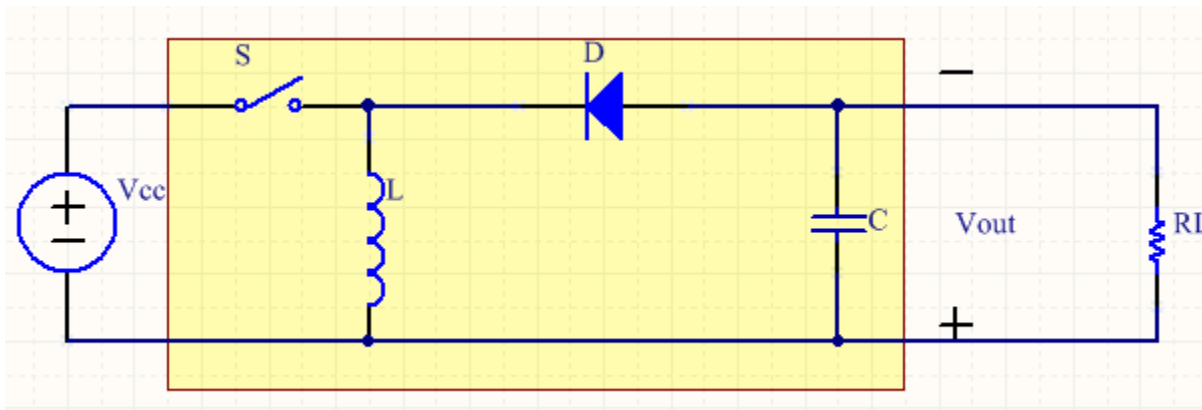
MC34063A, MC33063A, SC34063A, SC33063A, NCV33063A



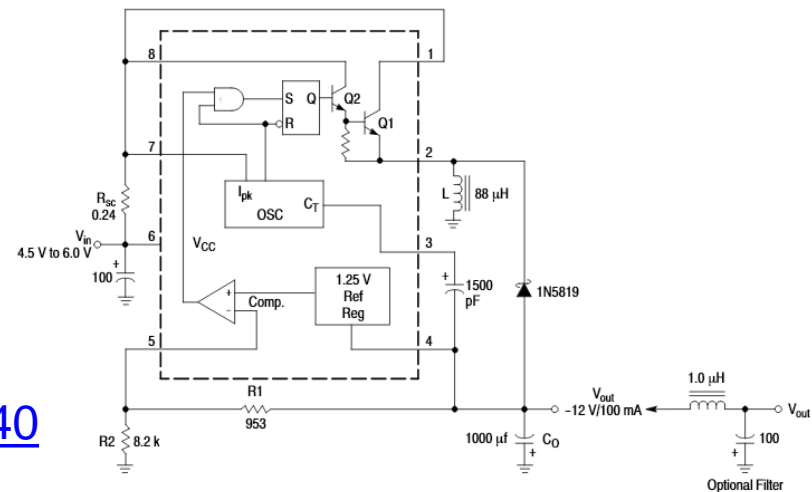
<https://www.onsemi.com/pub/Collateral/MC34063A-D.PDF>

Alalispingemuundur

- Pinge inverter (vastandpolaarsusega väljundpinge)



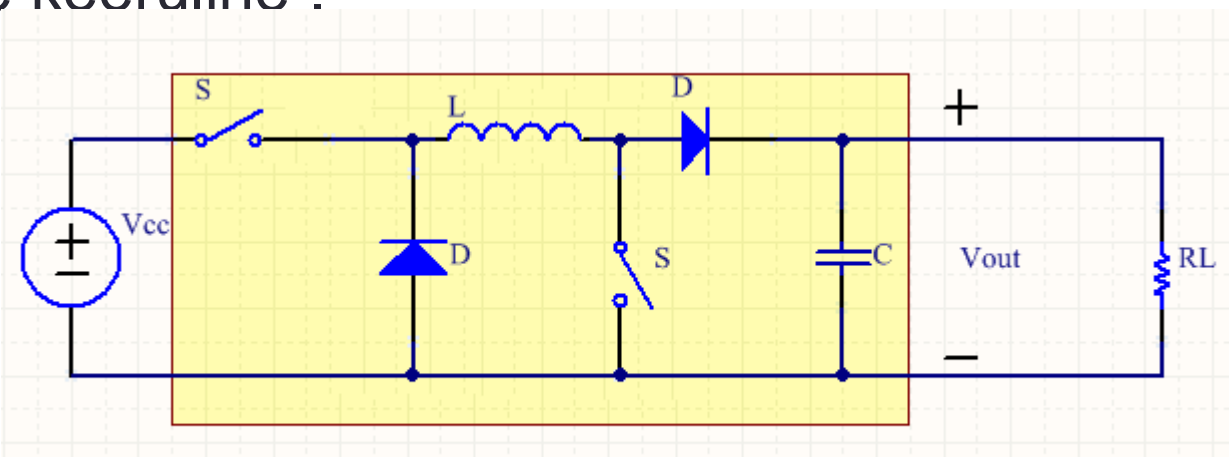
MC34063A, MC33063A, SC34063A, SC33063A, NCV33063A



<https://www.onsemi.com/pub/Collateral/MC34063A-D.PDF>

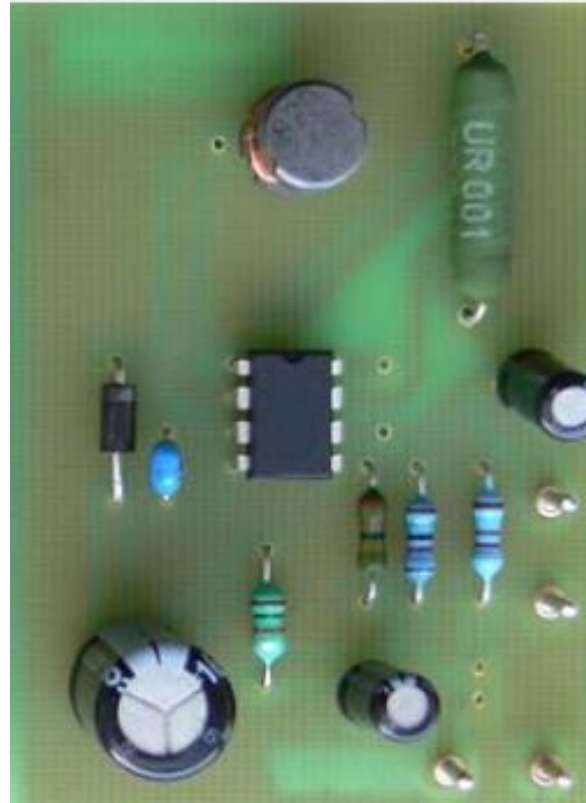
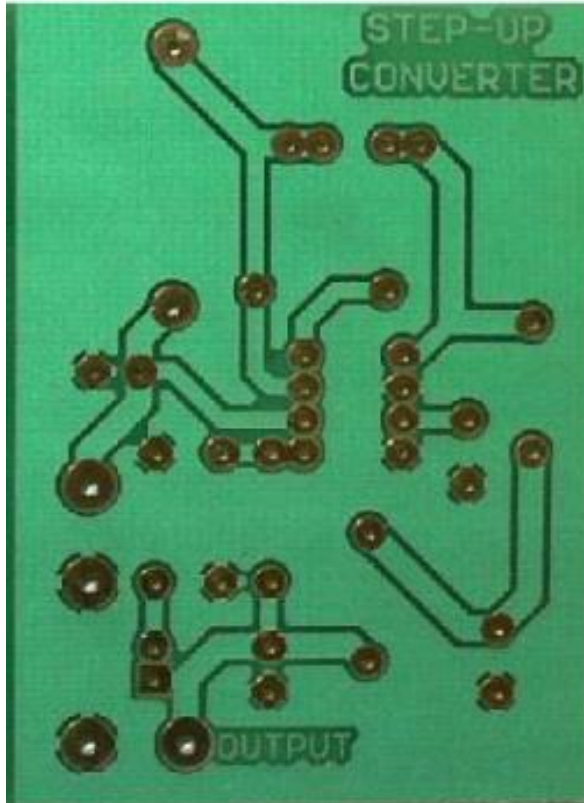
Alalispingemuundur

- Tõstev ja alandav skeem (buck-boost).
- Koostatakse kahest eelnevast.
- Vaja kasutada kui sisendpinge võib olla väljundist kõrgem ja ka madalam (näiteks stabiilse 12 V saamine 12 V pliikust (selle tööpinge on 10,8 V kuni 14,1 V)).
- Ilma otsese vajaduseta ei ole soovitatav (liigsed kaod)
- Juhtimine keeruline .



Alalispingemuundur

- Trükkplaadi tegemisel rangelt soovituslik jälgida andmelehe soovitusi.
- <https://www.onsemi.com/pub/Collateral/MC34063A-D.PDF>

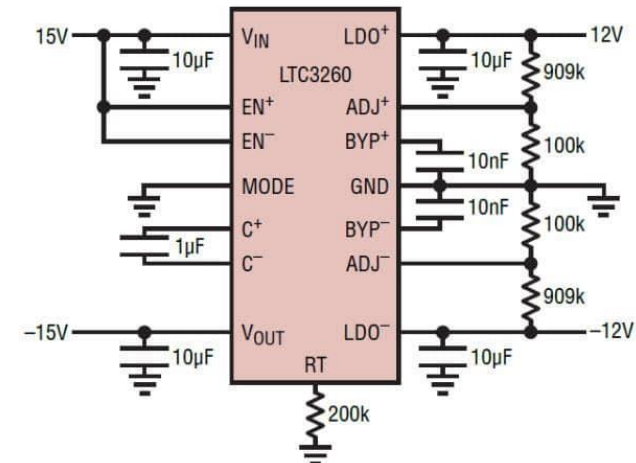
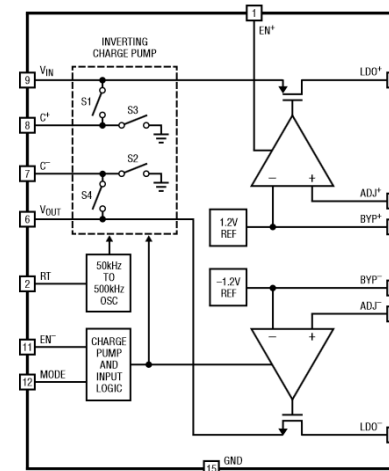
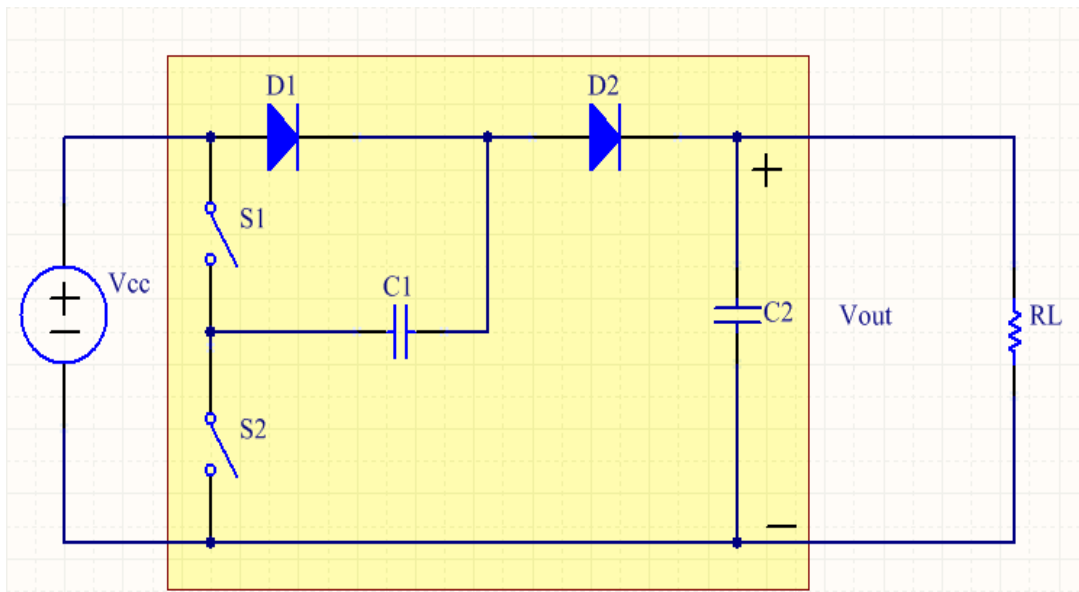


Disainisoovitused

- Reguleerelement eraldab soojust (pingelang x läbiv vool)
- Vajadusel tuleb arvutada ja paigutada radiaator
- Tugevvooluahelad tuleb trükkplaatidel eraldada nõrkvooluahelatest.
- **Austa Kirchhoffi** seaduseid ja komponentide andmelehti .
- Võrdluselemendi (reeglina kaks takistit) sisend tuleb paigutada võimalikult tarbija lähedale ja vältida läbi nendega seotud trükiradade muude voolude liikumist.
- (Lineaarne) stabilisaator on oma olemuselt võimendi, mis võib halva juhuse kokkulangemisel muutuda generaatoriks.

Laengupump (charge pump)

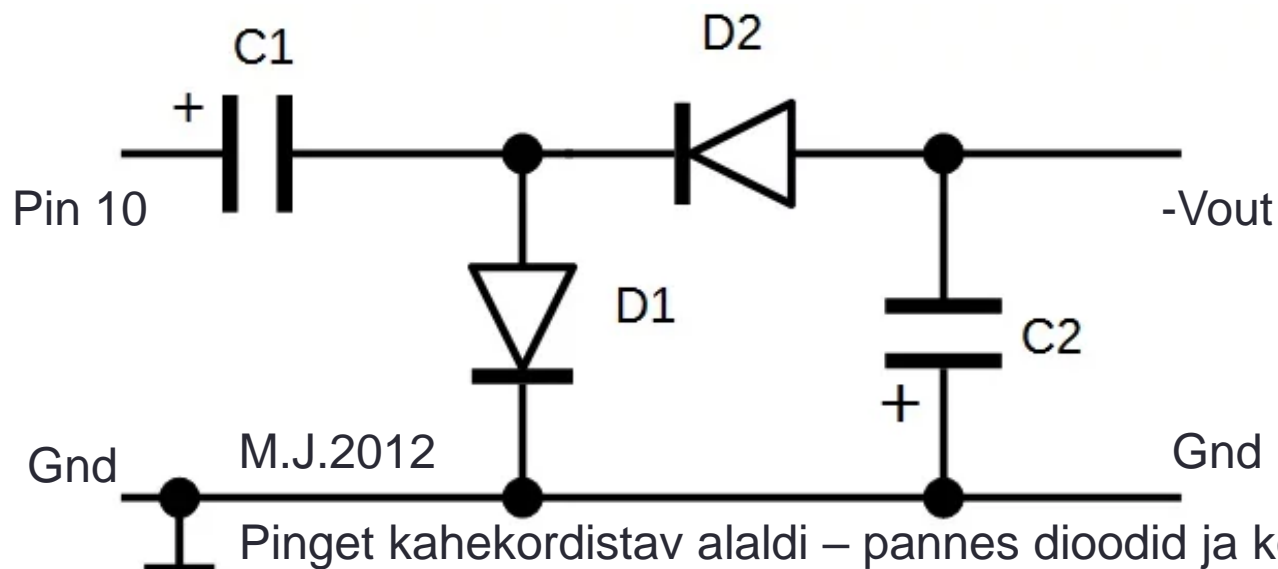
- Ei pea kasutama induktorit !
- Pingekordisti, saab ka negatiivset pinget.
- Kasutatav täielikult mikroskeemisesena.
- Piiratud võimsus.



<http://cds.linear.com/docs/en/datasheet/3260fa.pdf>

Laengupump (lihtne näide)

- Järgneva skeemi võib ühendada Arduino mõne PWM klemmi (näiteks 10) väljundisse ja käivitada järgnev kood.
- **analogWrite** (10,128);
- Vajadusel suurendada kontrolleri andmelehte kasutades väljundsagedust.
- Sobib kohtadesse, kus voolitarve on väiksem kui 10 mA
- Arvestada tuleb kontrolleri maksimaalse lubatud väljundvooluga



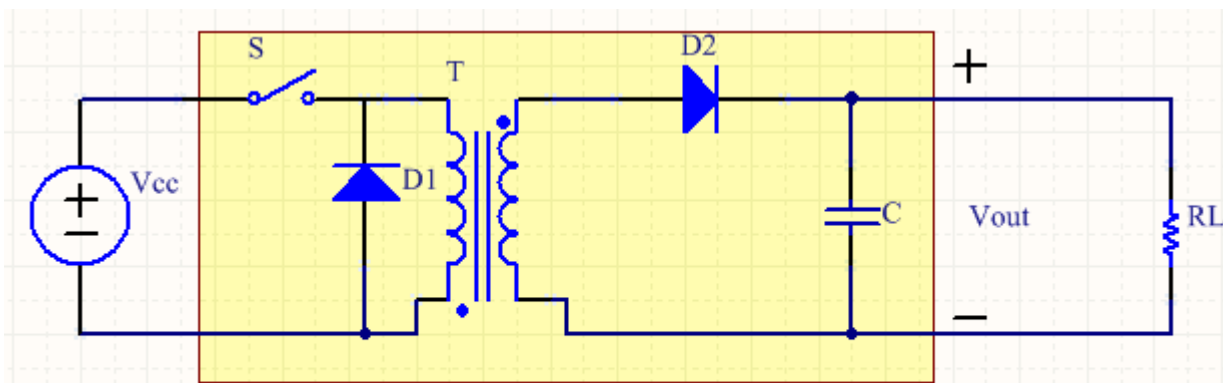
- D1,D2 1N4148
- C1,C2 22 uF

Pinget kahekordistav alaldi – pannes diodid ja kondensaatorid teistpidi, on võimalik toitepingest kõrgem väljundpinge.

Impulsstoiteplokk

- Toitetrafo mõõtmete ning elektrolüütcondensaatorite mahtuvuse vähendamiseks tõstetakse sagedust.
- Tööpõhimõte sarnaneb alalispingemuunduriga, induktori asemel on trafo (galvaanilise lahtisidestuse tagamiseks)

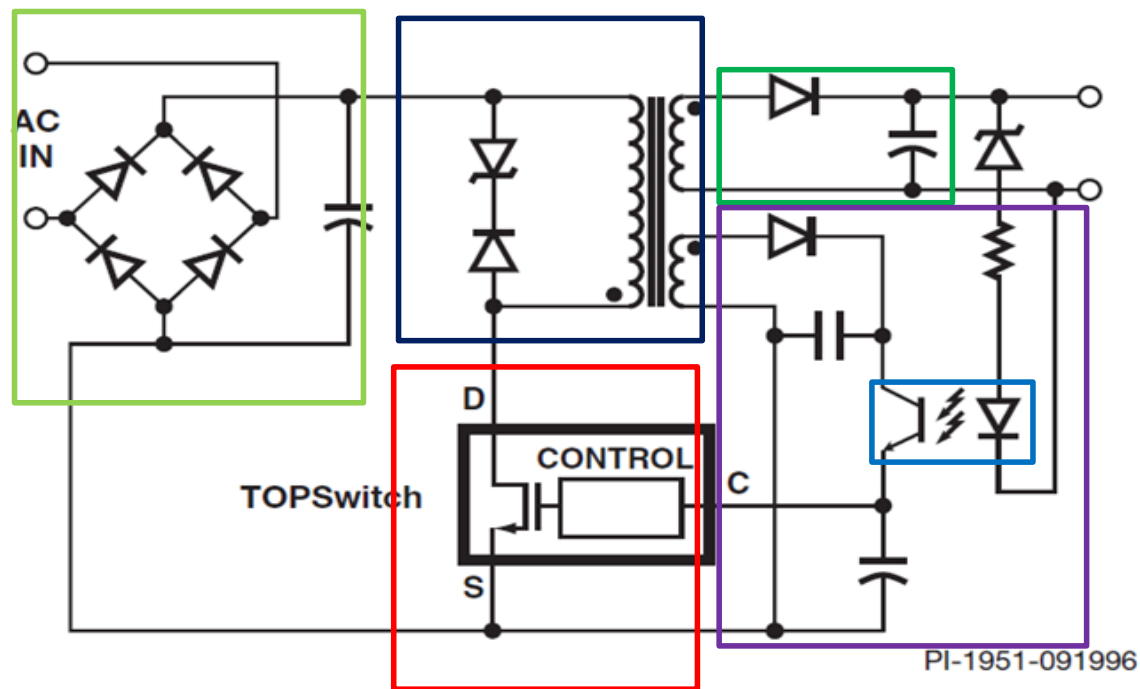
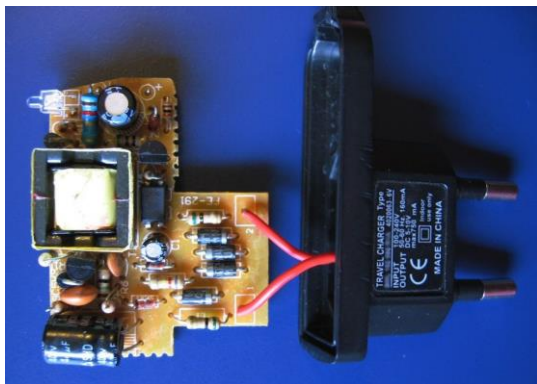
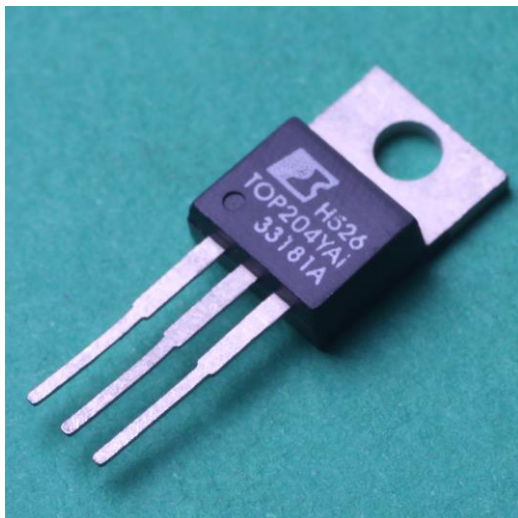
Lihtsaim tööpõhimõtet seletav skeem:



- Töötab tüüriva transistori lahutamisel (tagasikäigul-flyback)
- Olemas ka pärikäigul (flyforward) töötavad muundid (või kombineeritud)

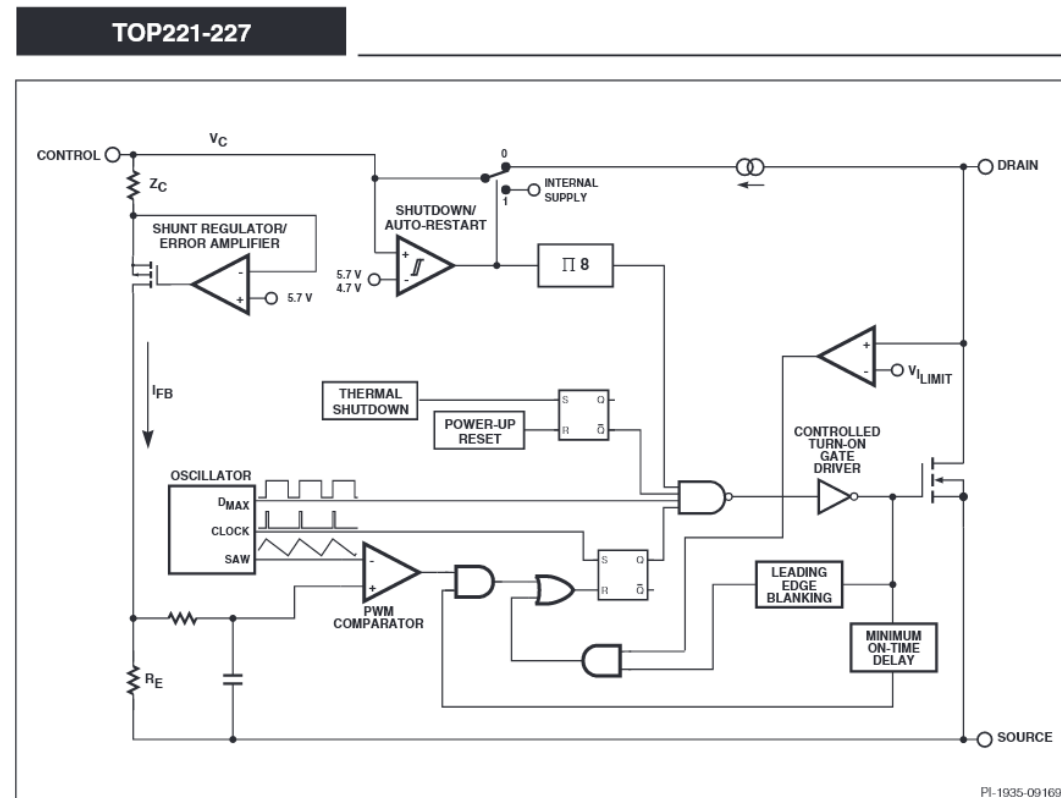
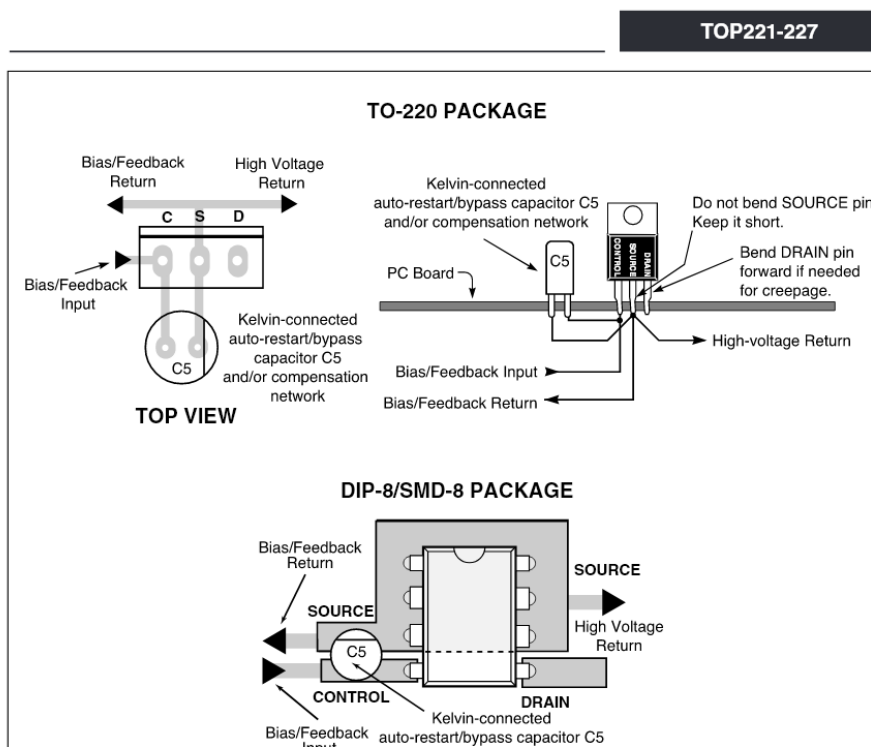
Impulsstoiteplokk

- Sildalaldi
- Toitetrafo
- Juhtelektroonika
- Poolperioodalaldi
- Väljundpinge võrdlusahel



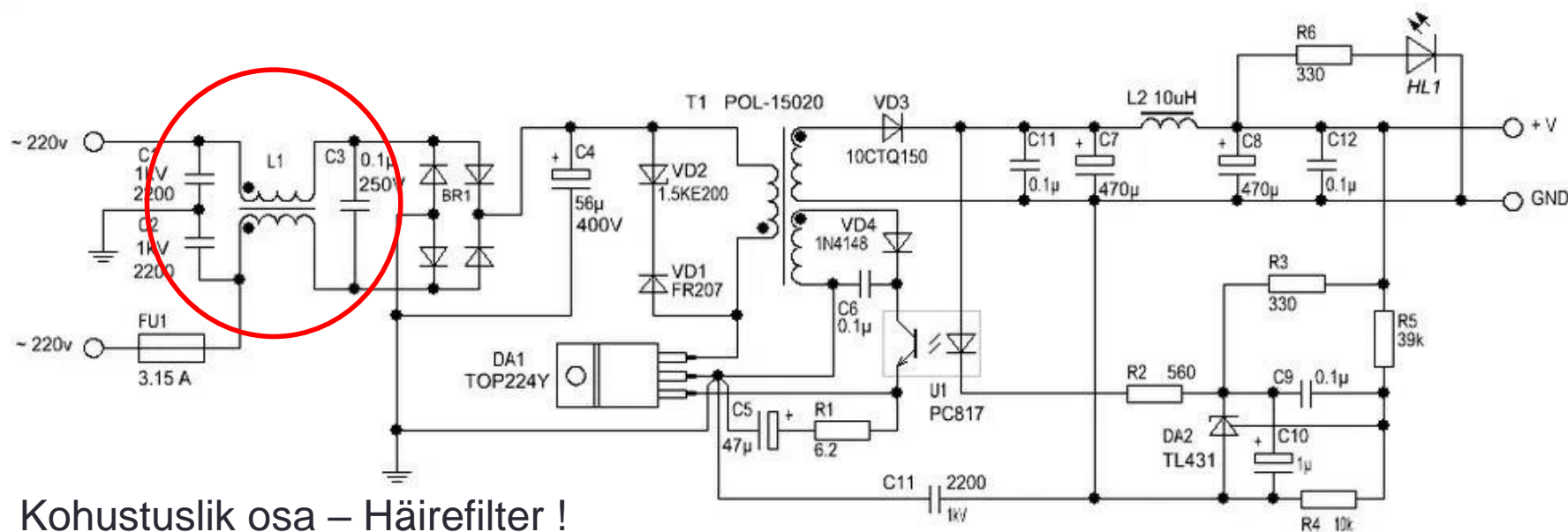
Impulsstoiteplokk

- Top22x mikroskeemiseeria, väljast kolm klemmi, seest keeruline
- Masskasutus olmeelektronikas
- <https://www.power.com/sites/default/files/product-docs/top221-227.pdf>



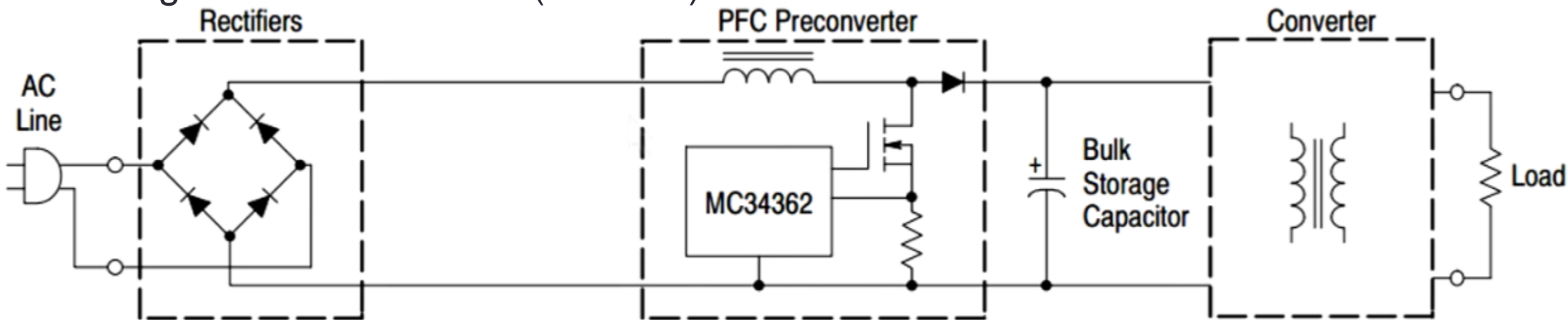
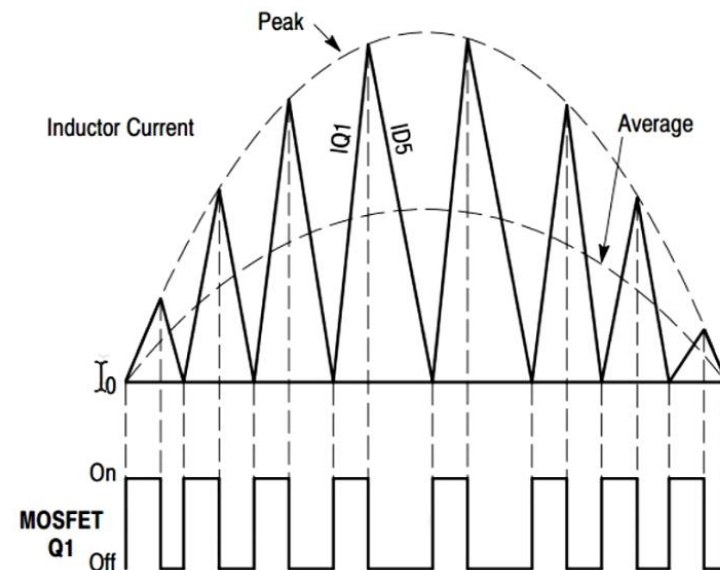
Impulsstoiteplokk

- Top22x mikroskeemiseeria.
- Masskasutus olmeelektronikas.
- <https://www.power.com/sites/default/files/product-docs/top221-227.pdf>



Alaldi kvaliteedi parandamine

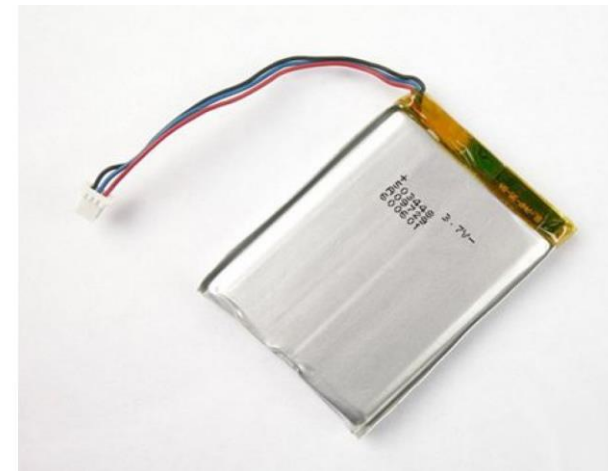
- Elektrivõrku ühendatava seadme voolu tarbimine võiks olla harmooniline (siinus)
- Vähendab elektrivõrku kiirgavaid häireid
- Suurematel võimsusustel kohustuslik
- Idee – salvestame elektrivõrgust tuleva energia muudel hetkedel (induktor)



Näide - <https://www.onsemi.com/pdf/datasheet/mc34262-d.pdf>

(Liitium)akude kasutamisest

- Li-Ion ja Li-Po akud on tänapäeval masskasutuses.
- Nõuavad kasutamisel ranget režiimi.
- Vajavad kaitselülitusi !
- Tuleohtlikud !
- Kõige parem massi ning salvestatava energia suhe.



https://www.youtube.com/watch?v=A6mKd5_-abk

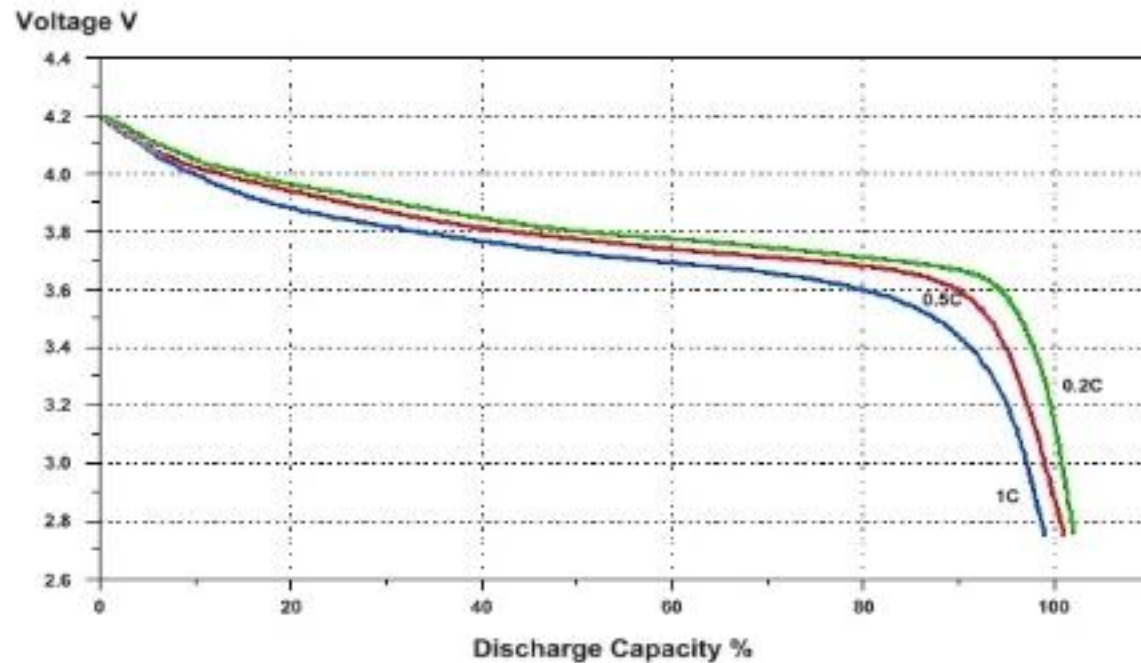
Liitiumaku

- Tööpinge (2,6) 3 V...4.2 V
- Temperatuurivahemik 0...45 C⁰ (laadimine)
- Maksimaalne lubatav vool võib olla kuni 100 C (C on aku mahutavus A*h)
- Režiimi tuleb rangelt jälgida !



Liitiumaku tühjendamine

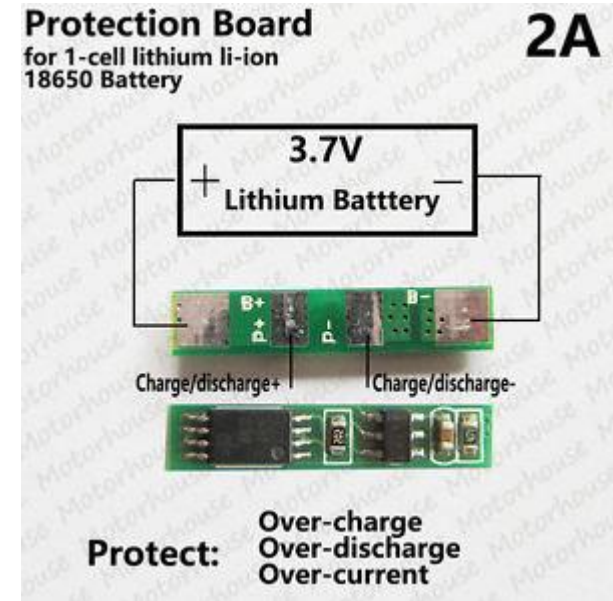
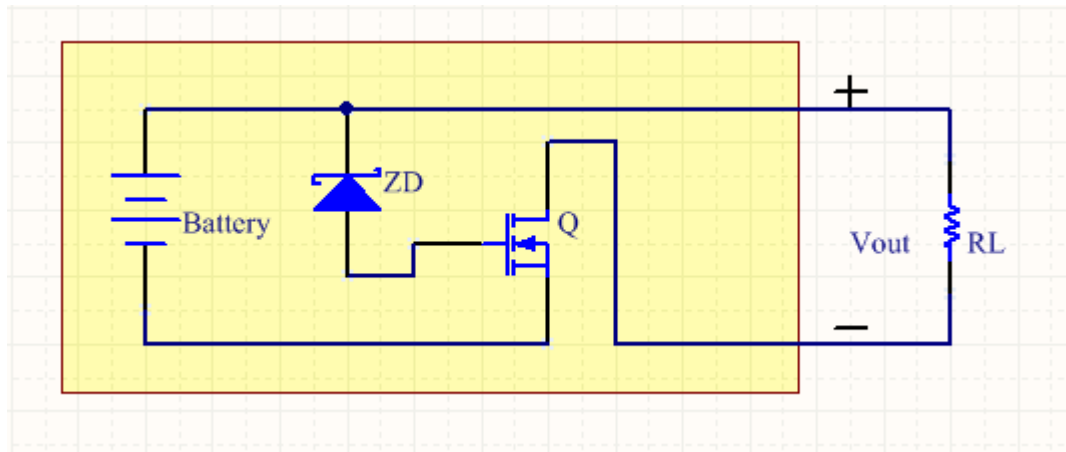
- Tuleb kontrollida, et aku pinge >2.6 V, igaks juhuks >3 V .
- Graafik toatemperatuuril.



http://www.ibt-power.com/Battery_packs/Li_Ion/Lithium_ion_tech.html

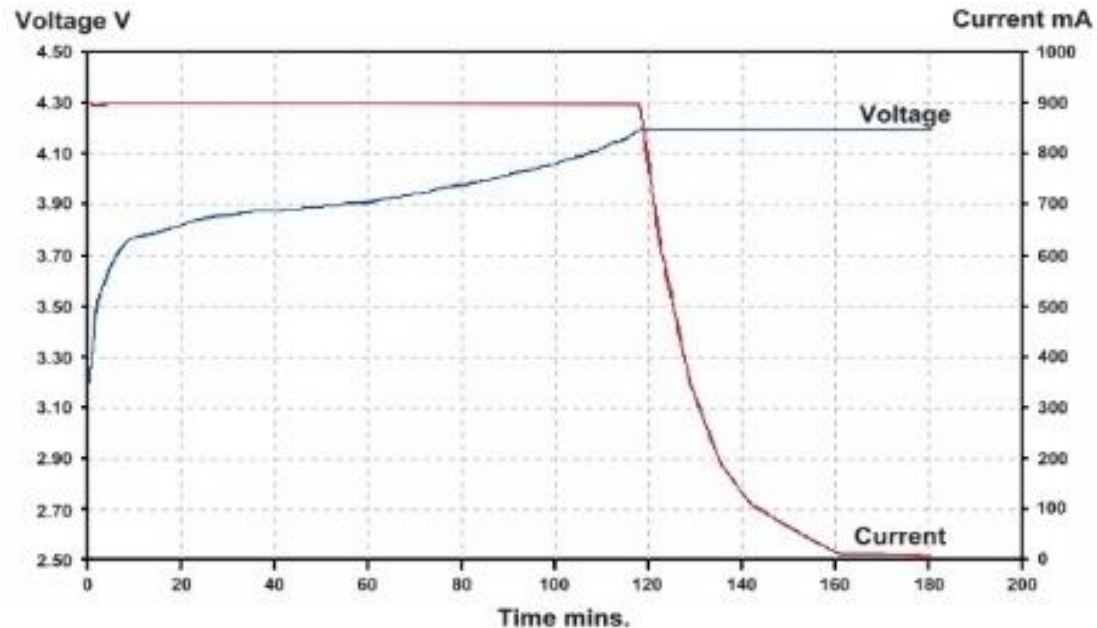
Liitiumaku tühjendamine

- Aku vajab kaitseelektronikat !
- Lihtne liigtühjenemiskaitse.
- See skeem ei kaitse ülelaadimise eest ! !



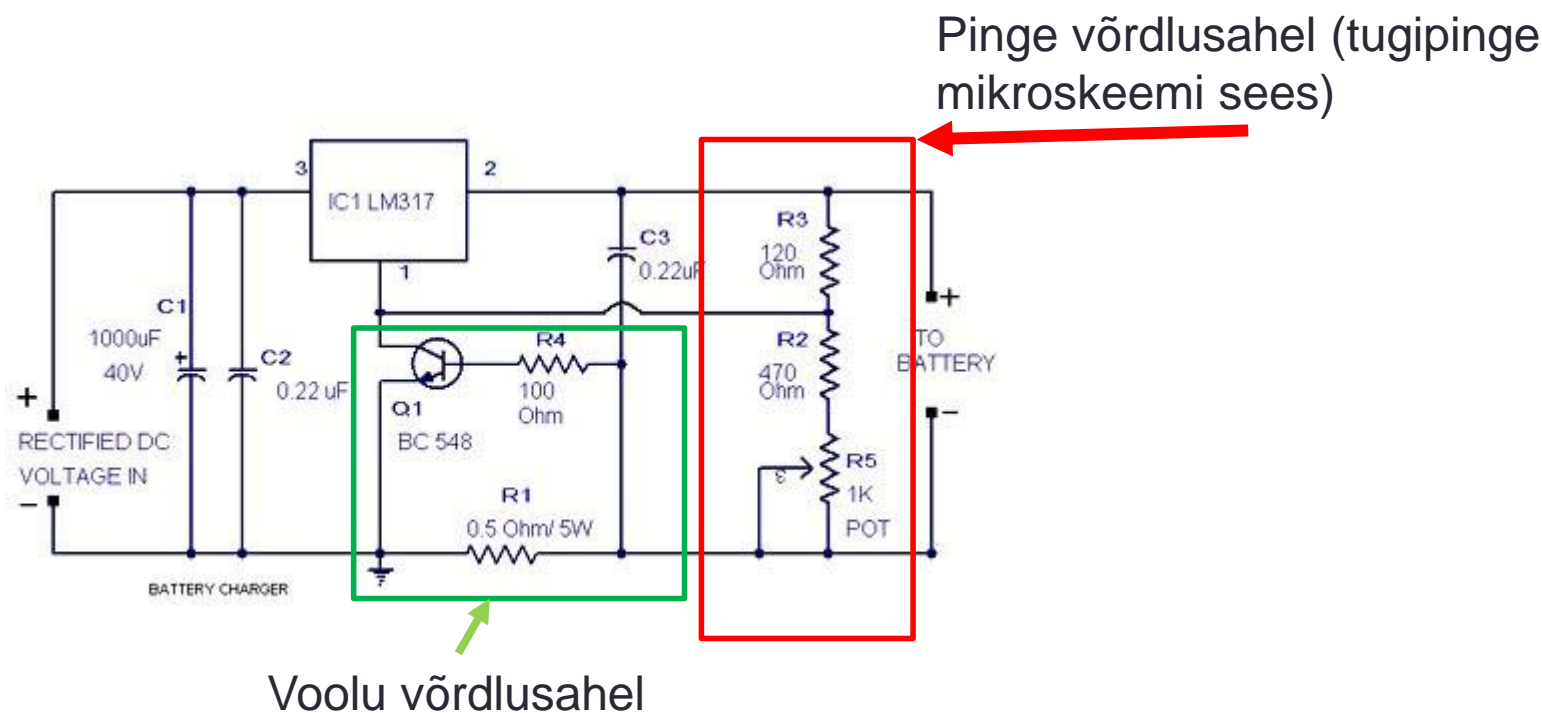
Liitiumaku laadimine

- Kui pinge $< 2.6\text{ V}$, laadida hästi väikese vooluga .
- Laadida konstantse vooluga (vooluallikas)
- **Pinge ei tohi kasvada üle 4.2 V !**
- **Kontrollida tuleb aku temperatuuri !**



Liitiumaku laadimine

- Skeem vaid illustratiivsel eesmärgil. Puudub temperatuuri kontroll.
- Ei soovita algajal ise teha vaid kasutada tööstuslikku laadijat !



Liitiumakude tasakaalustamine

- Akupatarei koostises olevate akuelementide mahutavused on erinevad ! Alati !
- Akude jadaühendusel väheneb akuelementide laetus erinevalt.
- Võib tekkida ka olukord ,kus mõne elemendi pinge muutub negatiivseks !
- Näide. 10 Li-Ion elementi jadamisi, aku pingevahemik 26 V – 42 V.
- Oletame, et aku on „pooltäis“, ehk kogupinge 36 V
- Ideaaljuhtum $36\text{ V} = 10 \times 3.6\text{ V}$
- Aga sageli juhtub sedasi:

$3\text{V} + 3.7\text{V} + 3.5\text{V} + \mathbf{2.1\text{V}} + 4.1\text{V} + 4\text{V} + 3.9\text{V} + 3.6\text{V} + 4\text{V} + 4.1\text{V} = 36\text{ V} \text{ !!!!}$

Tegelikkus: aku on tasakaalust väljas,
üks element on liigtühjenenud !



Akupatarei vajab tasakaalustamist (BMS – Battery Management System).

Liitiumakude tasakaalustamine

- Akudes oleva energia ümberjaotamine
- Üks võimalik variant.
- Reaalne BMS süsteem kasutab mikroprotsessorjuhtimist.

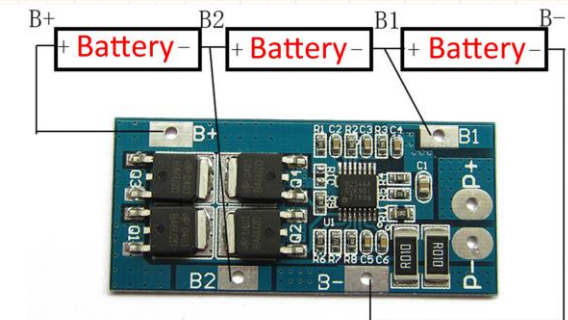
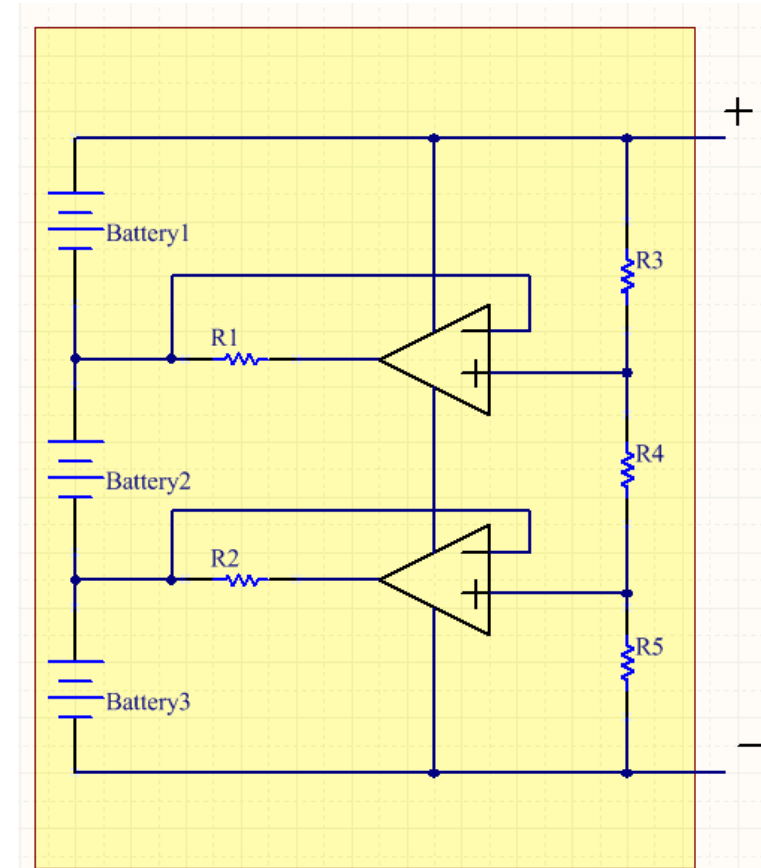
Mõõdetakse

- Eraldi iga elemendi pinget
- Temperatuuri
- Tarbitavat voolu

Juhitakse

- Laadimisvoolu
- Väljundahelaid

Kogutakse ja jagatakse infot aku tervise kohta.



P+: Input Out +
P- : Input Out -

Charge activation with 12.6V voltage

Pilt: ebay.com