

Digitaalinen vahvistin

Pekka Ritamäki



Johdanto

- Vahvistinluokat
- Analogia ja digitaalivahvistimien erot
- digitaalivahvistimen peruskytkennät
- Prosessoriohjatut audiovahvistimet
- Keskustelu aiheesta

Aikataulu

- Vahvistin tekniikan perusteet ja historiallista taustatietoa
- A-luokan vahvistimet
- B-luokan ja AB-luokan vahvistimet
- C-luokan vahvistimet
- D-luokan vahvistimet

Analogia $\leftarrow \rightleftharpoons \rightarrow$ Digitaali

- Vahvistimet ja prosessoritekniikka eivät ole perinteisesti liittyneet yhteen
- Digitaalinen audiosignaalin käsittely on nykyaikaa
- VOIP
- GSM
- MP3
- kotiteatterijärjestelmä



Termit



- Analoginen signaalinkäsittely
- Digitaalinen tiedonsieppaus
- Digitaalinen tiedonsiirto
- Digitaalinen tiedonkäsittely
- Digitaalinen vahvistin
- Digitaalinen analogiaohjaus
- Aikadiskreettien ohjelmointi

Perinteiset audiovahvistimet

- Sir Ambrose Fleming keksi diodin eli koko elektroniikan peruskomponentin 1890-luvulla
- Teslan mekaaninen vahvistin Unkarin puhelinlaitoksella 1870-luvulla ja Chicagon maailman näyttelyssä New York 1893
- Vahvistavan elektroniputken keksi amerikkalainen Lee de Forest 1915. Hän virittelee kiittää tanskalaisen professorin Poulsenin ”taulava valokaari”-patentteja.
- Vahvistin otettiin käyttöön ensimmäisenä merikaapelilinjoissa



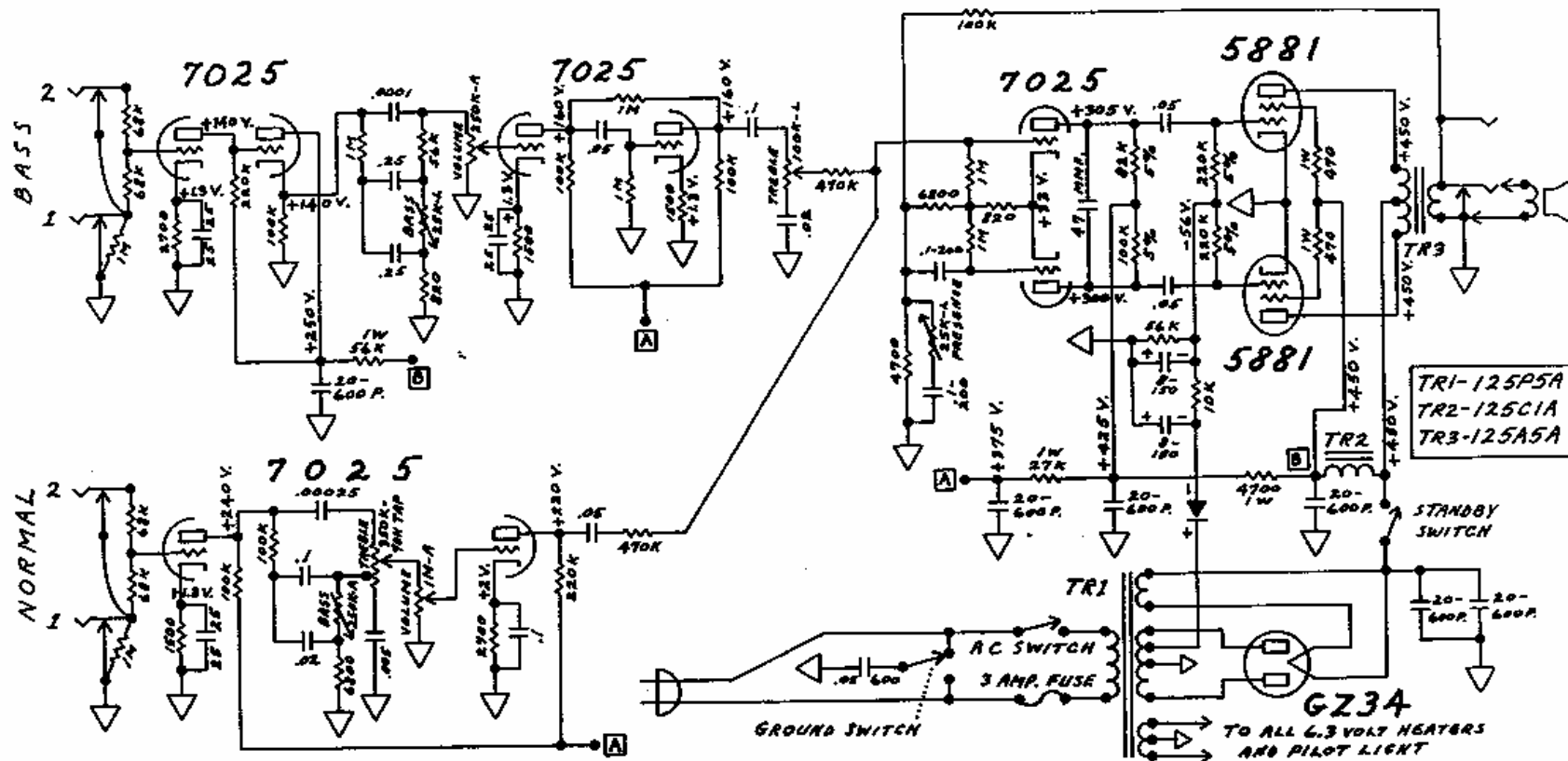
Fender Bassman kytkentäkaavio

FENDER "BASSMAN" SCHEMATIC MODEL 666

B-FA

NOTICE

- 1- VOLTAGES READ TO GROUND WITH ELECTRONIC VOLTMETER. VALUES SHOWN + OR - 20%
- 2- ALL RESISTORS 1/2 WATT, 10% TOLERANCE UNLESS SPECIFIED.
- 3- ALL CAPACITORS AT LEAST 400 VOLT RATING UNLESS SPECIFIED.



Fender kitaravahvistimien ulkonäkö on tunnettu tavaramerkki



- 2 * 25W pääteputkista sai ammattiorkesterin työkalun. 6L6 on Euroopassa EL37

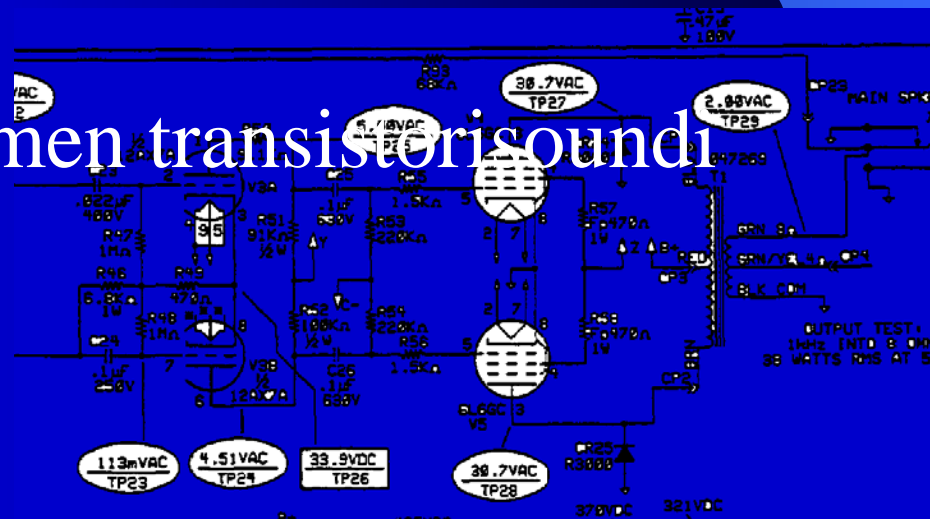
Aika: 1950-luku, 1960-luku

Fenderin vahvistin on asennettiin väärinpäin koteloon



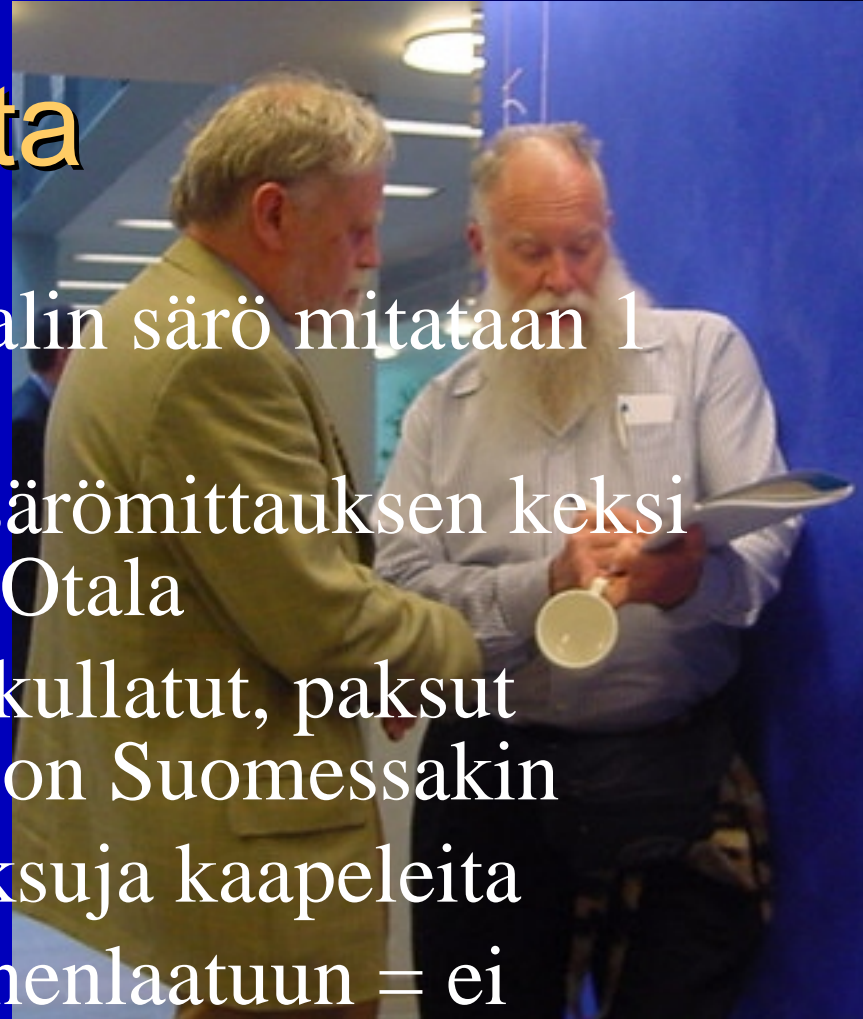
Putkivahvistimet

- 50 W putkivahvistin sähkökitarapojille
- Radioamatööri toveri avustivat: Seppo Sisättö OH1VR, ja Reino Anttonen OH1TN, Pekka Alhola OH3PP
- Rolling Stones "Satisfaction" levy
- 10W transistorivahvistin Hiukkasten lavalle.
- 10 Watin vahvistimen transistorisuuri suuressa salissa



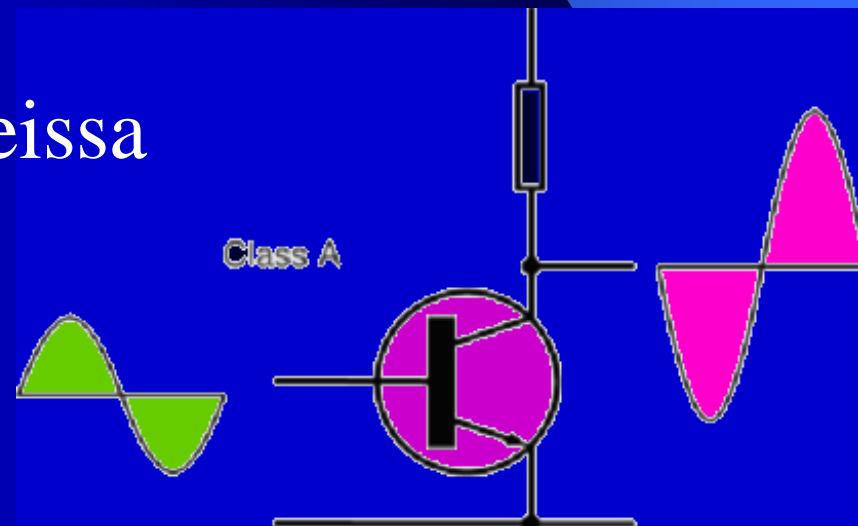
Särömittauksista

- Normaali yhden signaalin särö mitataan 1 kHz signaalilla.
- TIM, Ristimodulaatiosärömittauksen keksijä oululainen prof. Matti Otala
- ”Kaiutinkaapelisärö”, kullatut, paksut kaapelit, pakanauskoa on Suomessakin
- Bob Pease tutkinut paksuja kaapeleita
- Kaapelien vaikutus äänenlaatuun = ei mitään



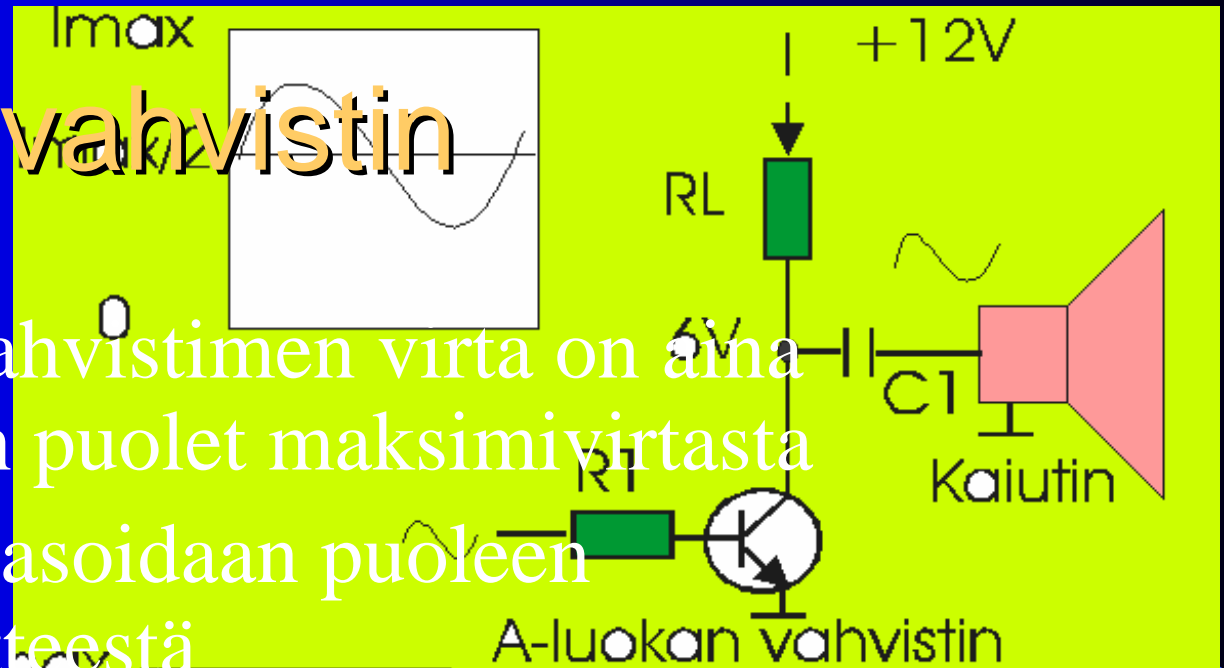
Audiovahvistimien luokkajako

- A-luokan vahvistimet yksinkertaisia
- Yli puolet tehosta jää vahvistimeen
- Vain pieni osa kuormaan
- Pieni särö
- Käytetään vain etuasteissa
- $< 1..5W$

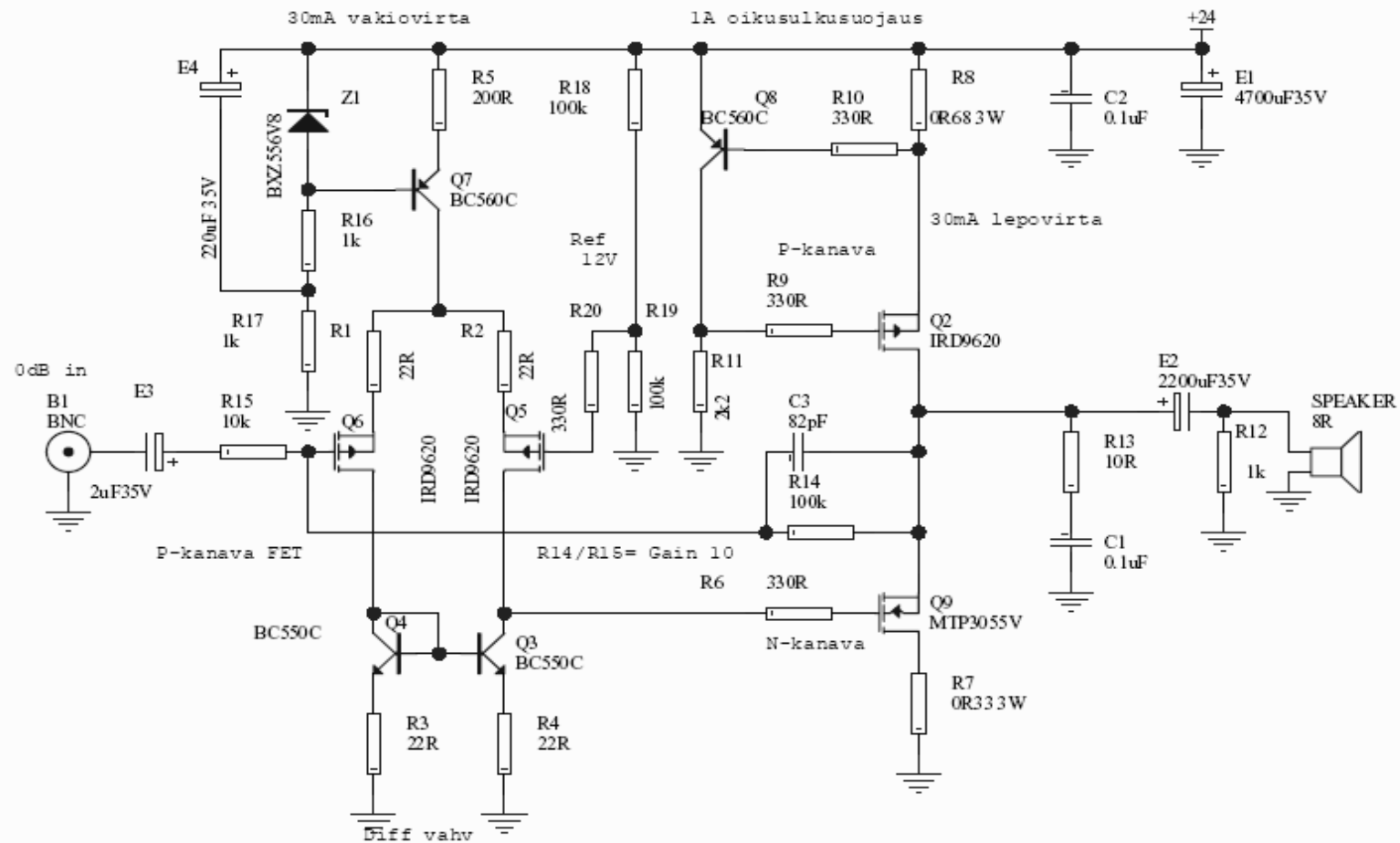


A-luokan vahvistin

- A-luokan vahvistimen virta on aina keskimäärin puolet maksimivirtasta
- Pääteaste biasoidaan puoleen käyttöjännitteestä
- Kapasitiivinen tai muuntajakytkentä kuormaan
- Esivahvistimissa paikallaan



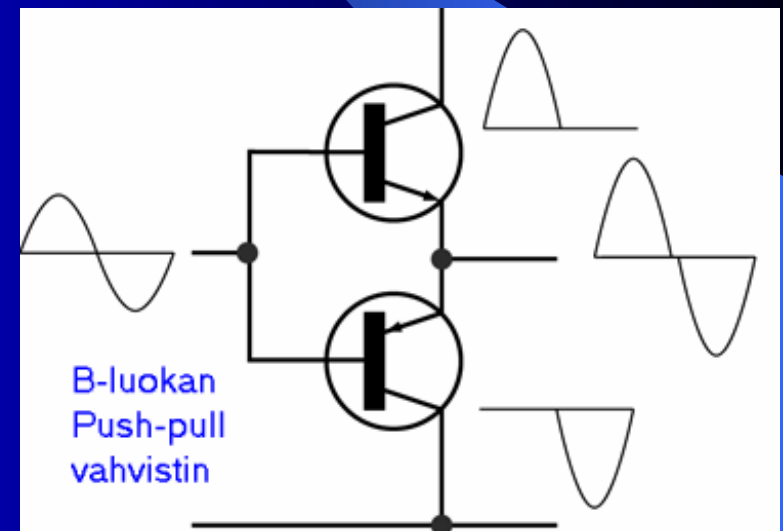
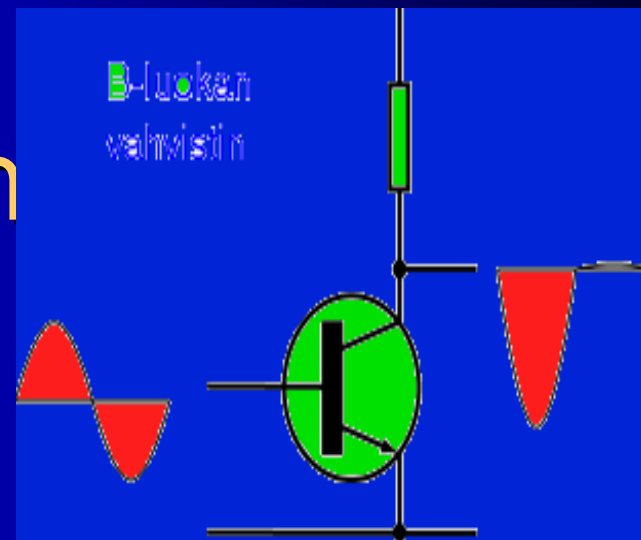
3 W hyvälaatuinen A-luokan vahvistin



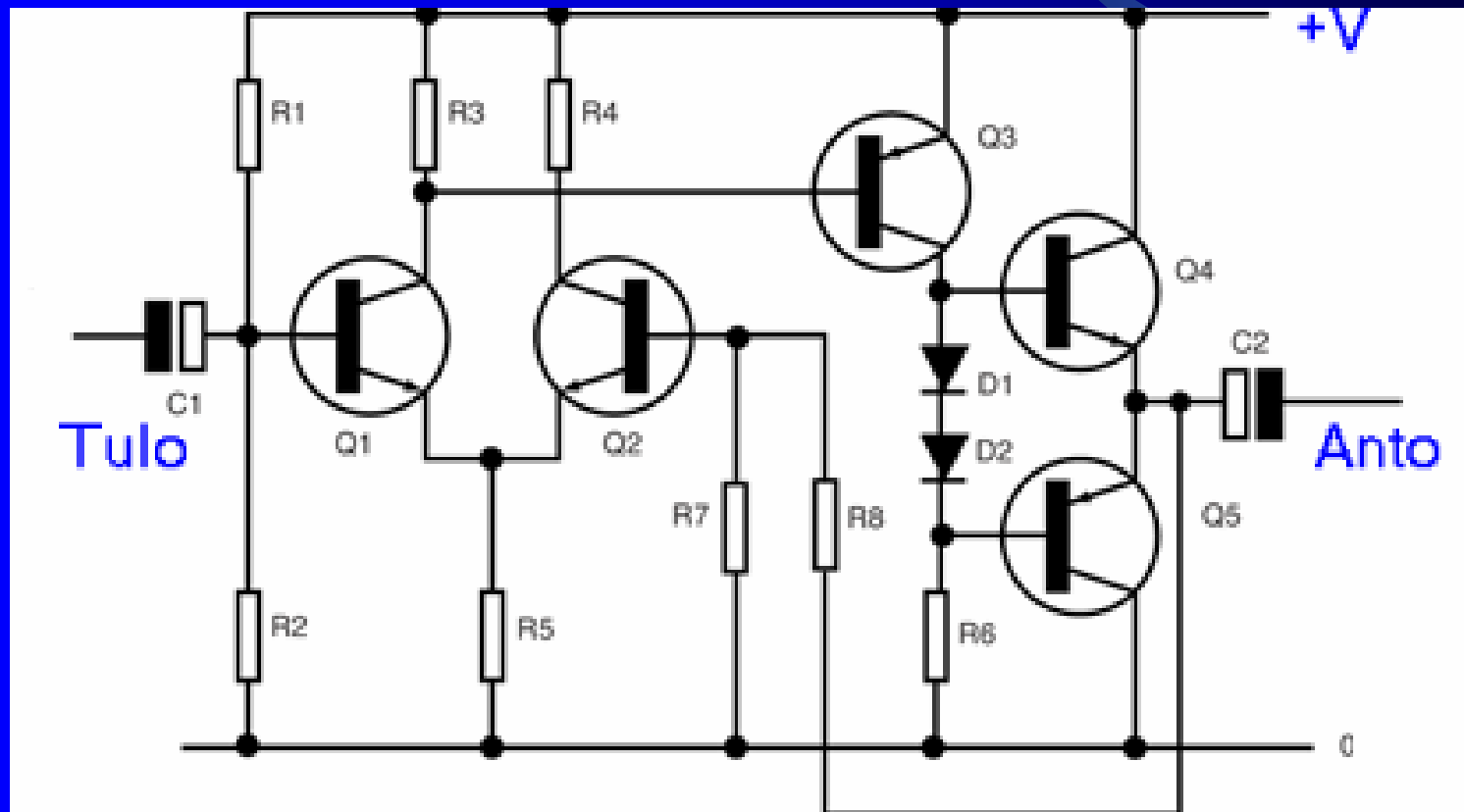
Q5/Q6 valittu sama treshold jann.

B-luokan vahvistin

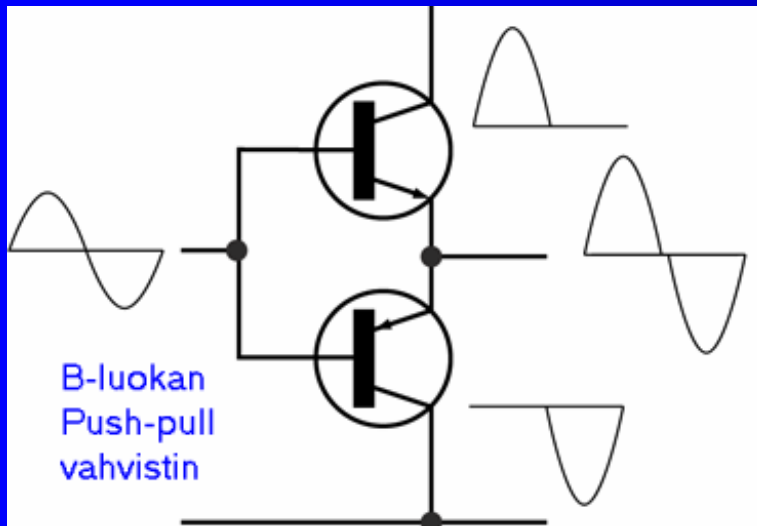
- B-luokan vahvistimessa käytetään vain toista puolijakso hyödyksi
- Kaksi komplementaarista B-luokan transistoria muodostaa PUSH-PULL pääteasteen
- Hyötysuhde alle 50%



B-luokan pääteasteen kytkentä

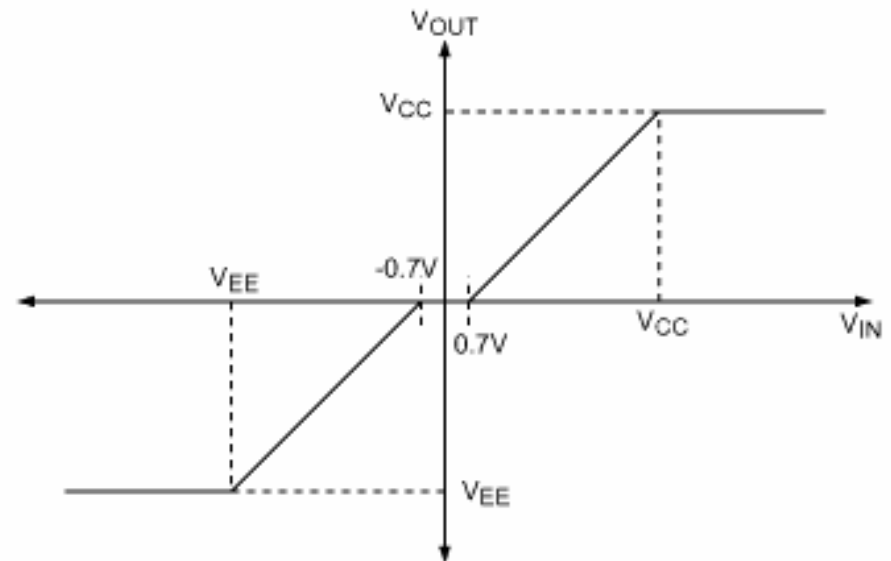
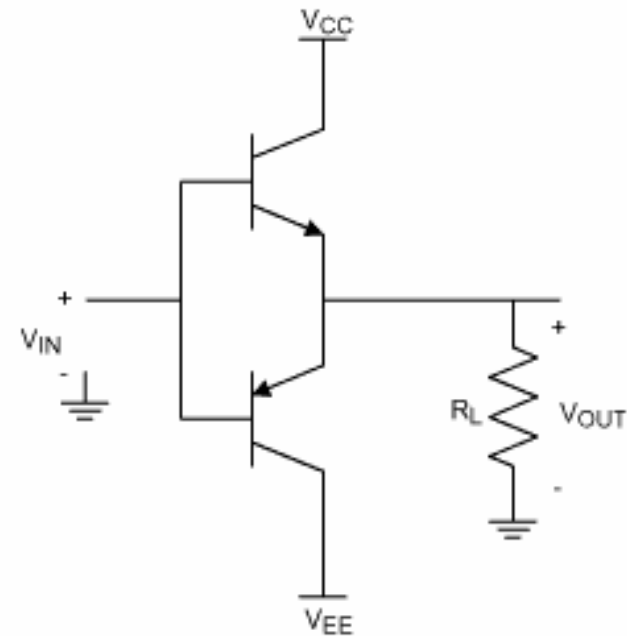


B-luokan biasointi



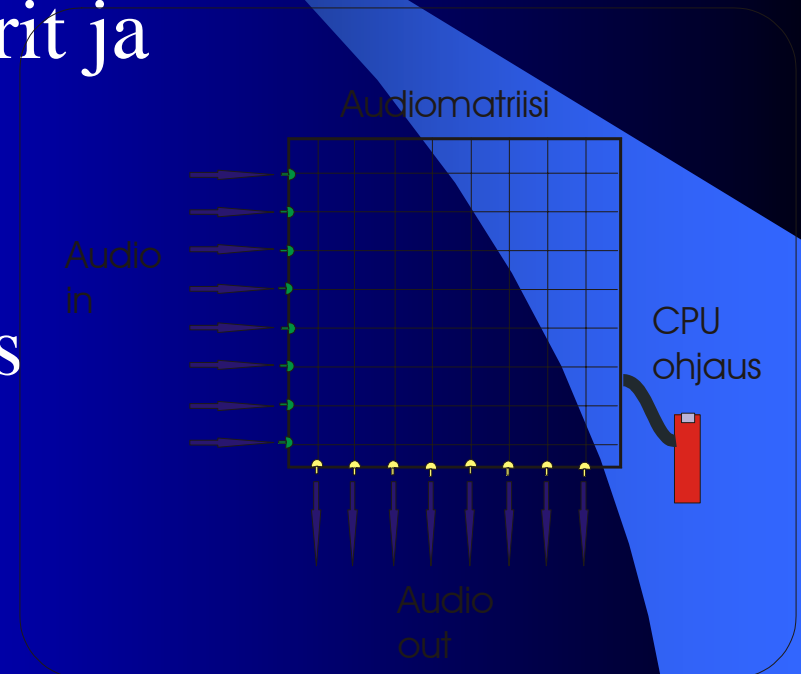
Puhtaalla B-luokan vahvistimella tulee säröä nolapisteen ympärillä Särö on niin paha, että käytännössä, ei puhdasta B-luokan vahvistinta ole käytössä

Aikadiskreettinen ohjelmointi

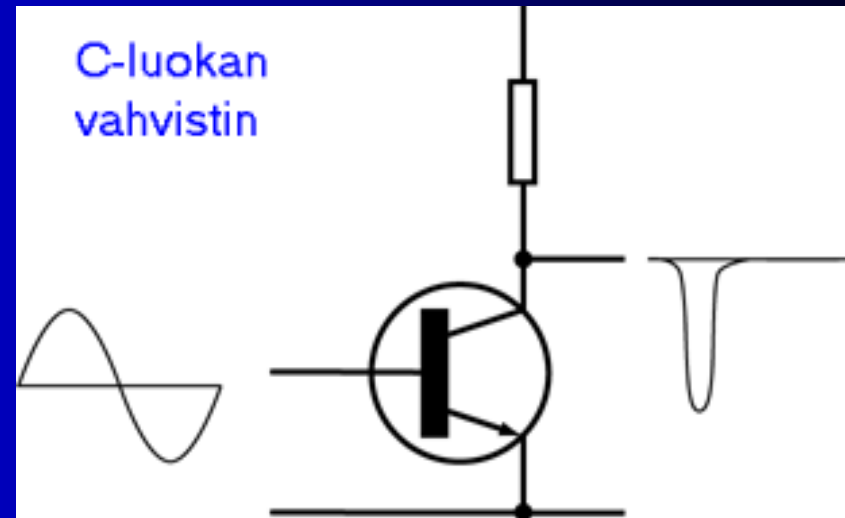


Tietokoneohjaus vahvistimissa

- Staattinen matriisiohjaus
- Digitaaliset potentiometrit ja äänensävysuotimet
- LCD-näytöllä asetukset
- Digitointipyörällä ohjaus
- Painonapit



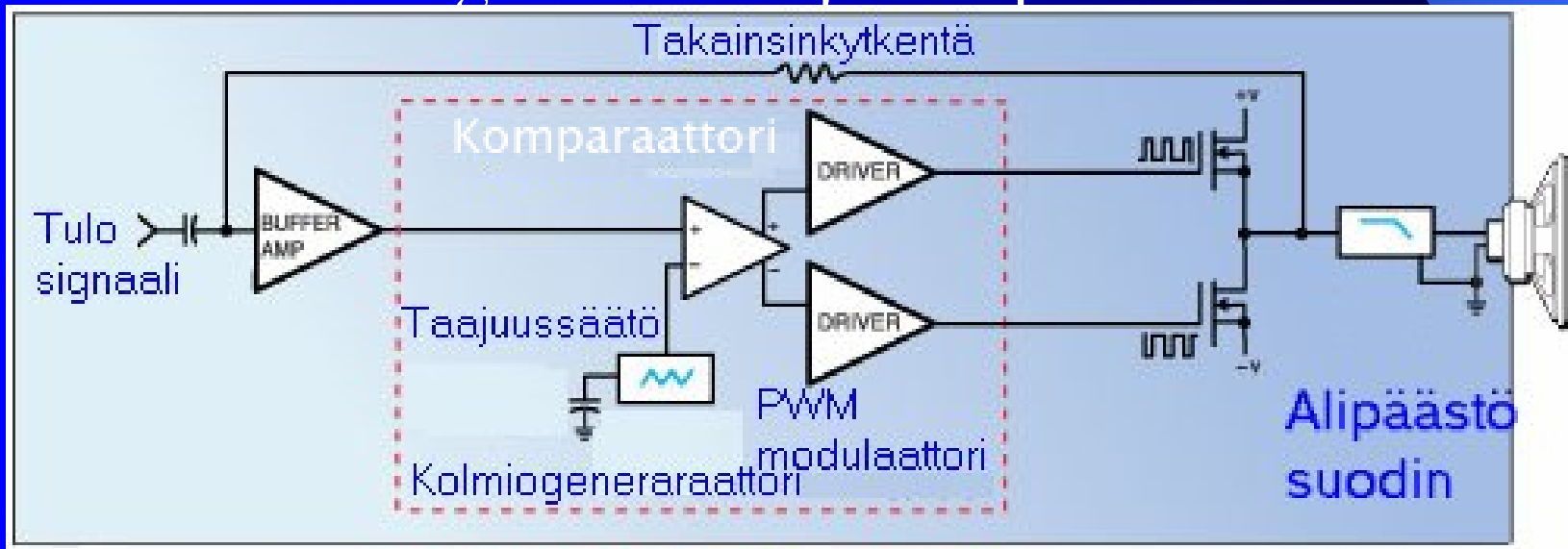
C-luokan vahvistin



- C-luokassa on vahvistin toiminnassa vain osa signaalin jaksoa
- Tämä luokka on harvinainen.
- C-luokkaa sitä käytetään radiotekniikassa kun halutaan erityisesti kehittää säröä. Sekoittajien yhteydessä tarvitaan taajuuskertoja
- Niissä kehitetään säröä eli harmonisia komponentteja. Näistä valitaan suodattimella haluttu komponentti

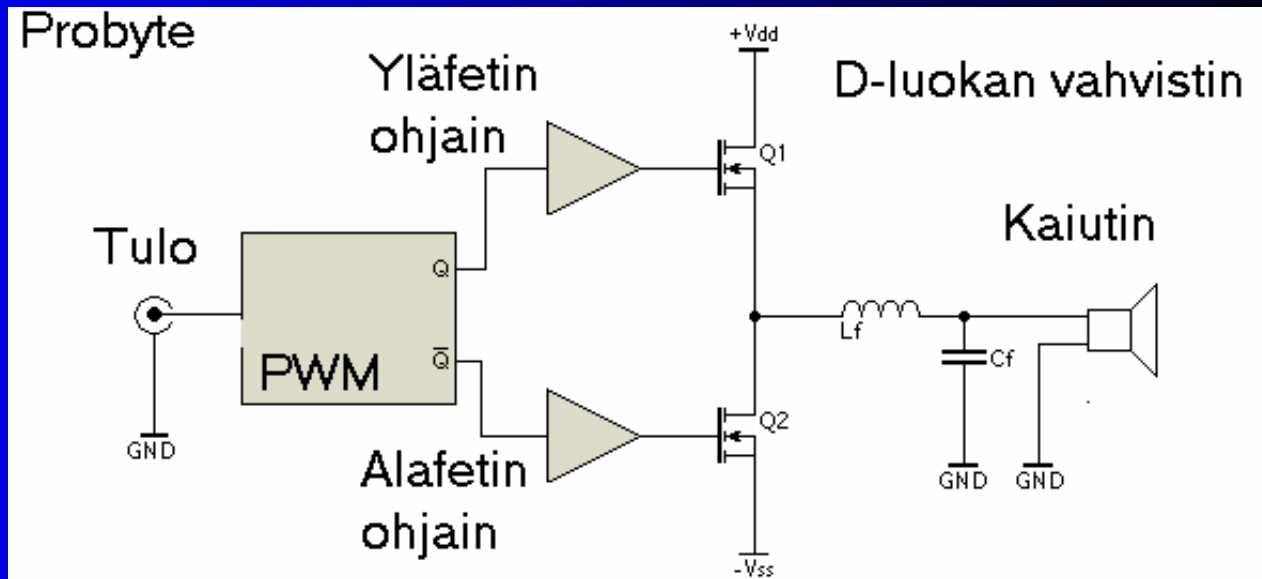
D-luokan vahvistin ja takaisinkytkentä

- D-luokassa päätteasteen komponentit toimiva ON/Ei kytkiminä, ei lineaarisella alueella
- Analoginen signaali digitoidaan vahvistetaan ja muutetaan taas analogiseksi
- D-luokan toimintaan liittyy oleellisesti kolmioaalto generaattori ja komparaattori



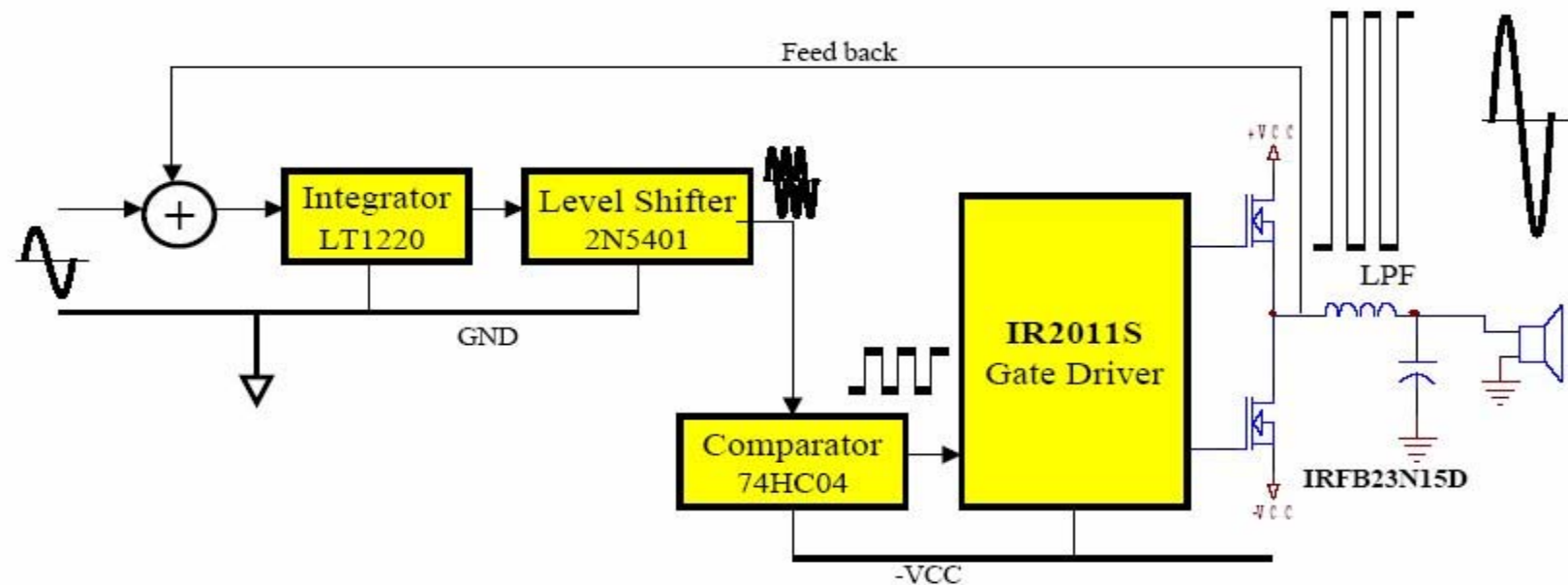
D-luokan toimintalohkokaavio

- Analogiatulo
- Digitointi
- FET-ohjaimet
- TehoFET pari tai kaksi paria
- Alipäästösuodin
- Kaiutin ja teholähde

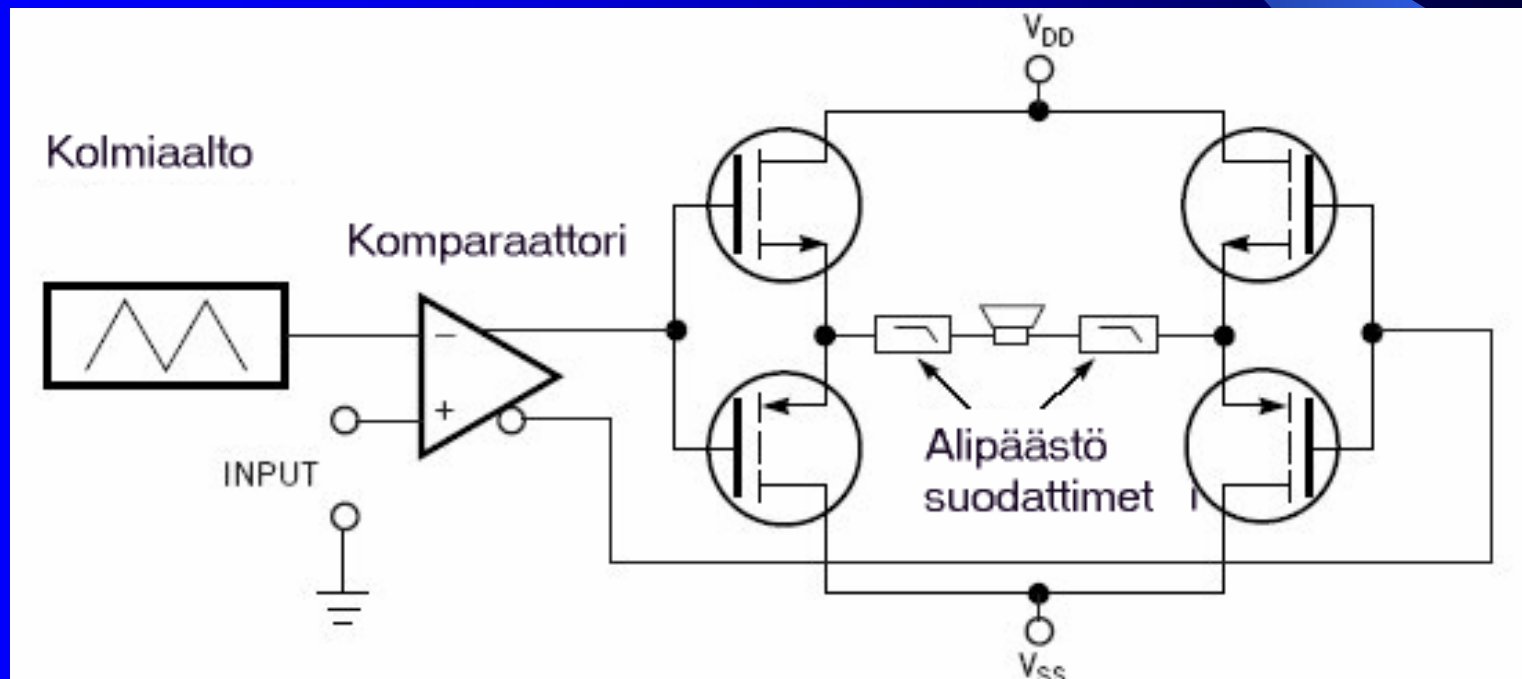


Täysin hardwarepohjainen D-luokan vahvistin

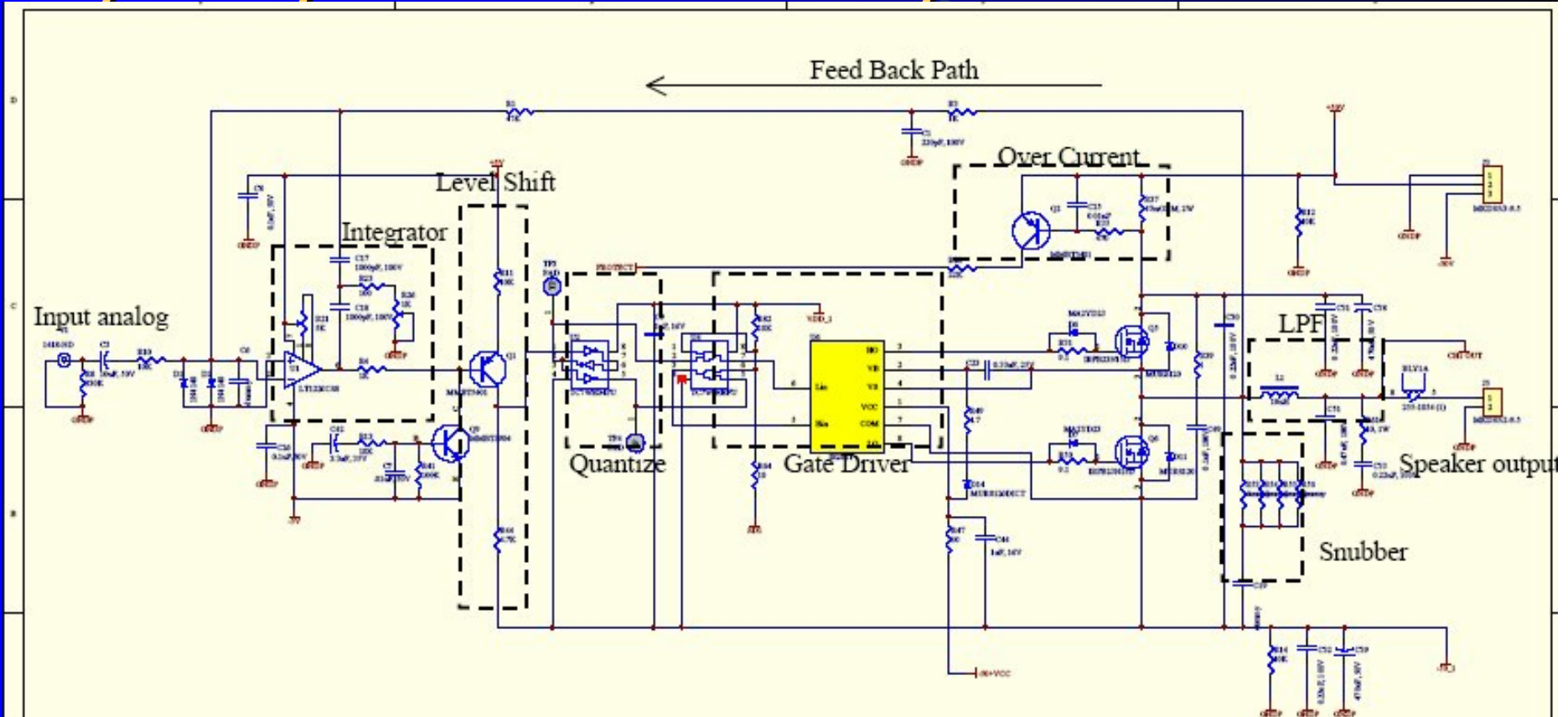
Ei kolmioaalto generaattoria, vaan integraattori ja analogiatason tunnistus, tasonsiirto, hiladriveri ja FET-pääteaste



Kahdella komplementaaripääteasteella varustettu D-luokan vahvistin

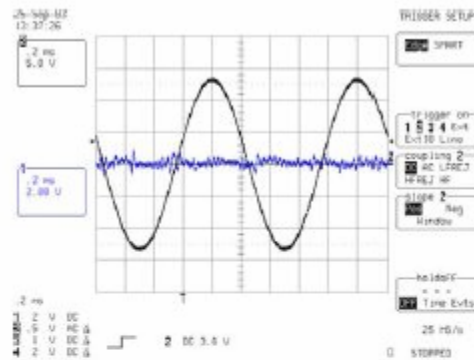


50 W D-luokan pääteaste yksityiskohtainen kytkentä

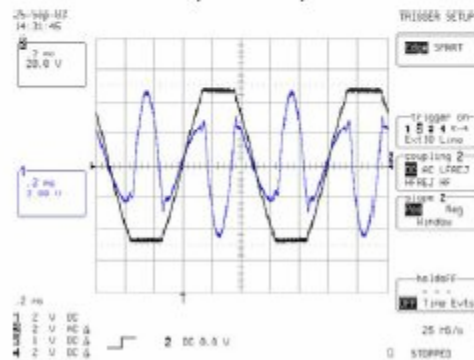


50W D-luokan särö/tehokäyrä

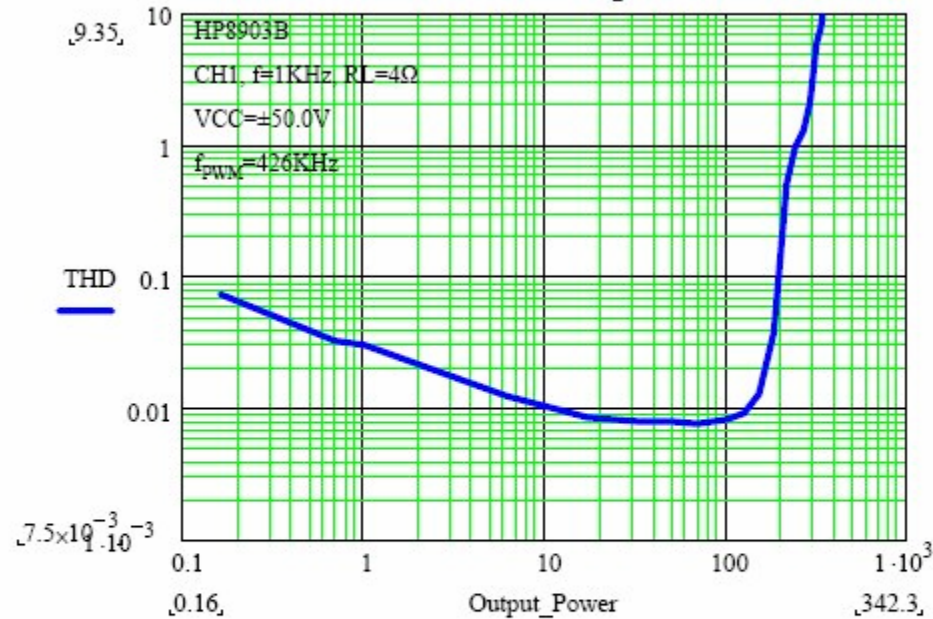
50W / 4Ω, 1KHz, THD+N=0.0078%



342W / 4Ω, 1KHz, THD+N=10%



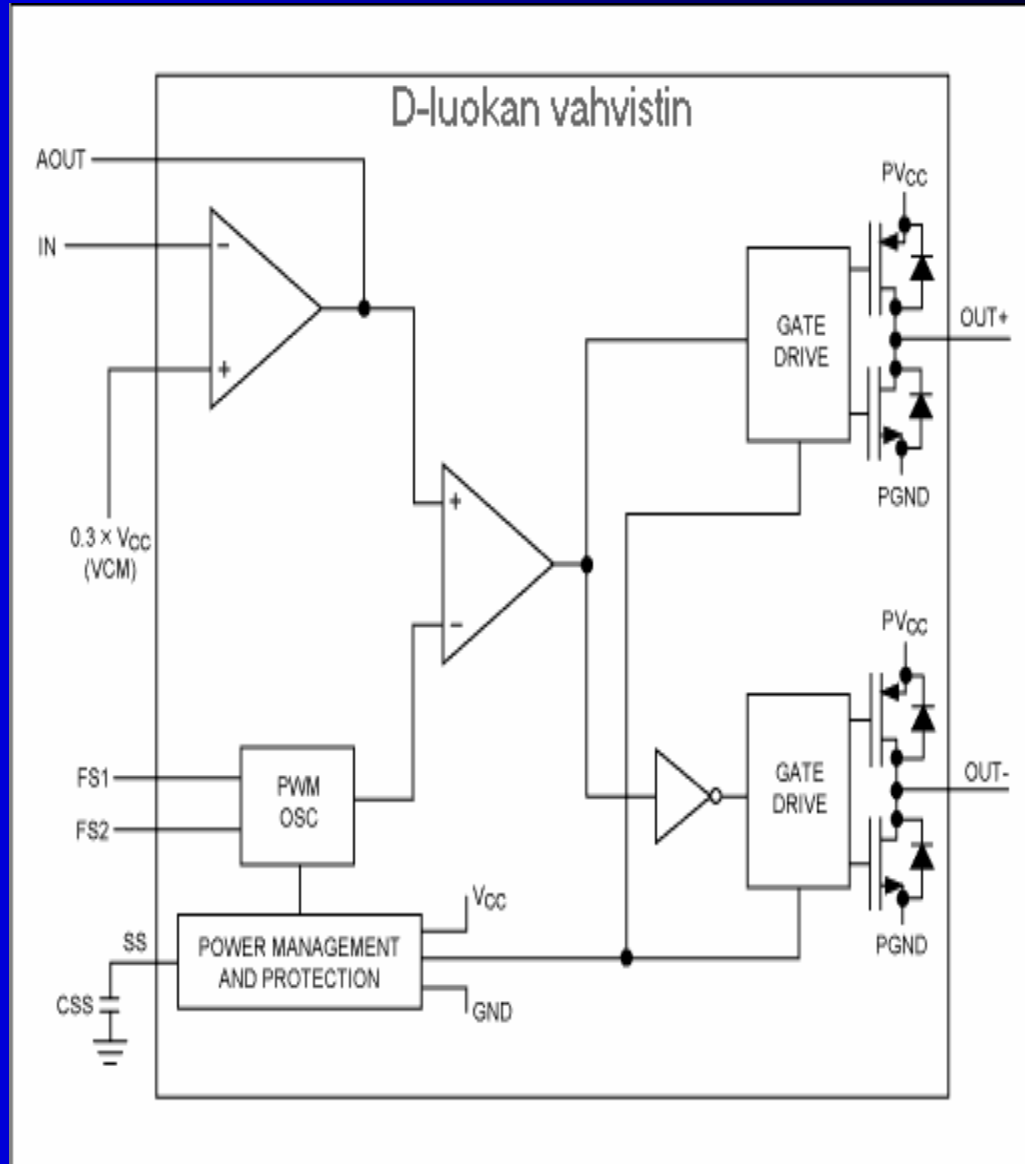
THD+N v.s. Output Power



- Peak Output Power (f=1KHz)
- 120W / 8Ω / ch, THD=1%
- 180W / 8Ω / ch, THD=10%
- 245W / 4Ω / ch, THD=1%
- 344W / 4Ω / ch, THD=10%

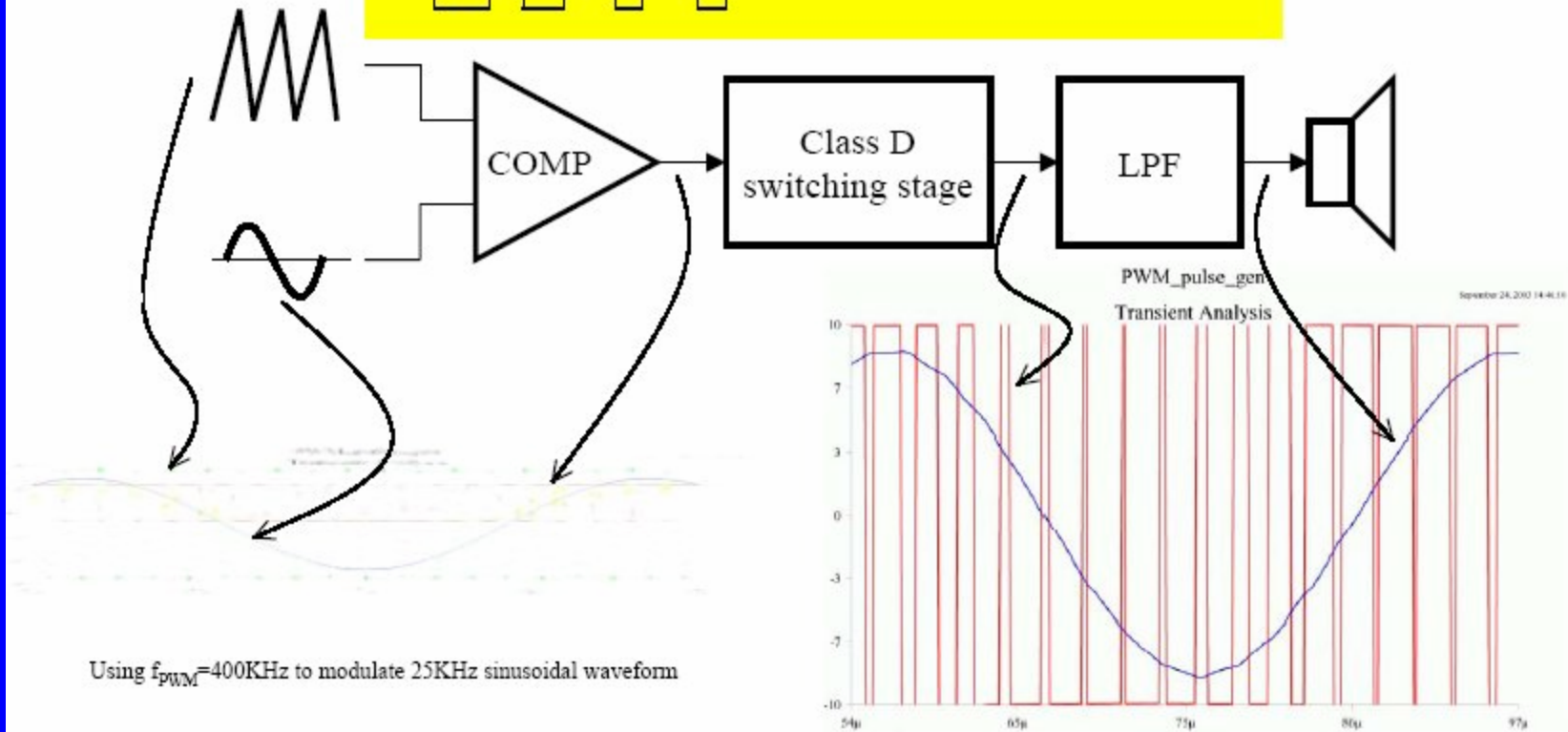
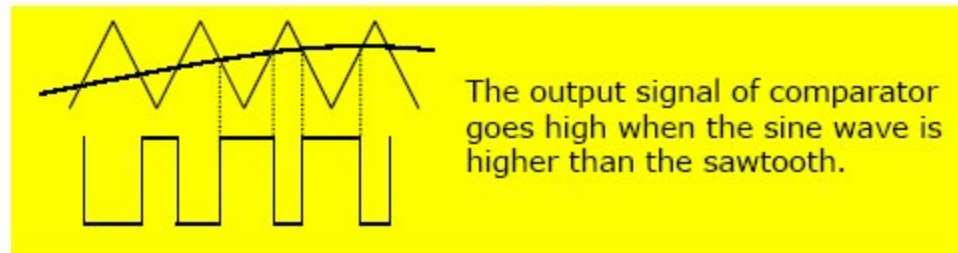
D-luokan vahvistimen lohkokaavio

- Valmis moduuli
- Push-pull-päätteaste
- Kolmioaalto-oskillaattori



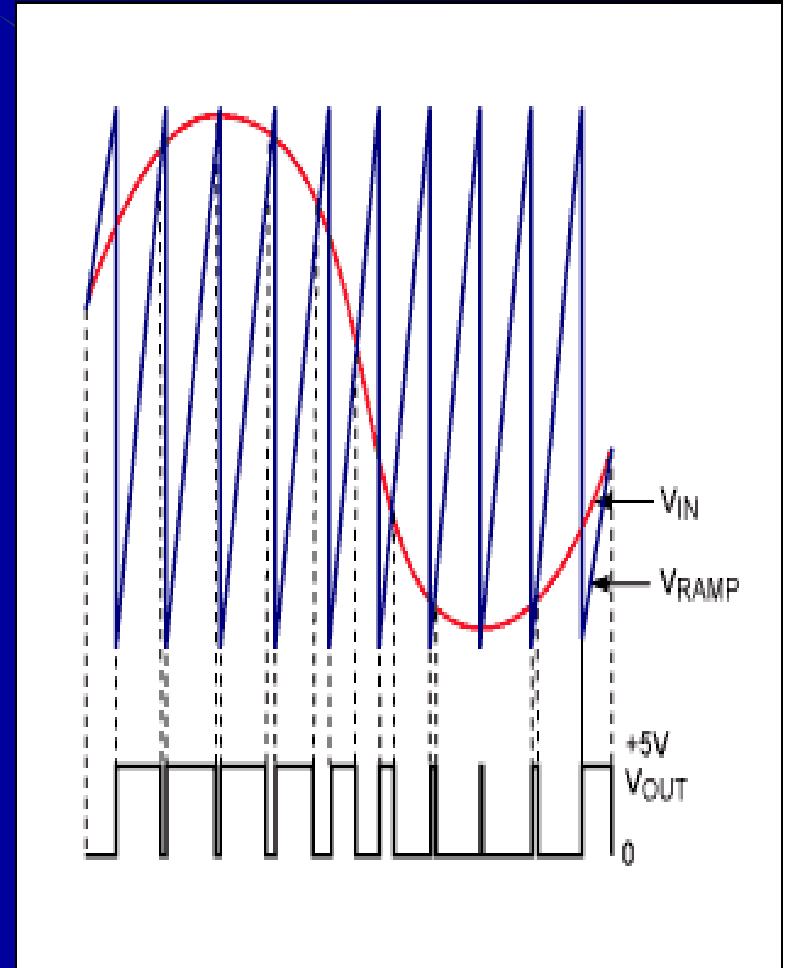
PWM/D-luokan toimintakaavio

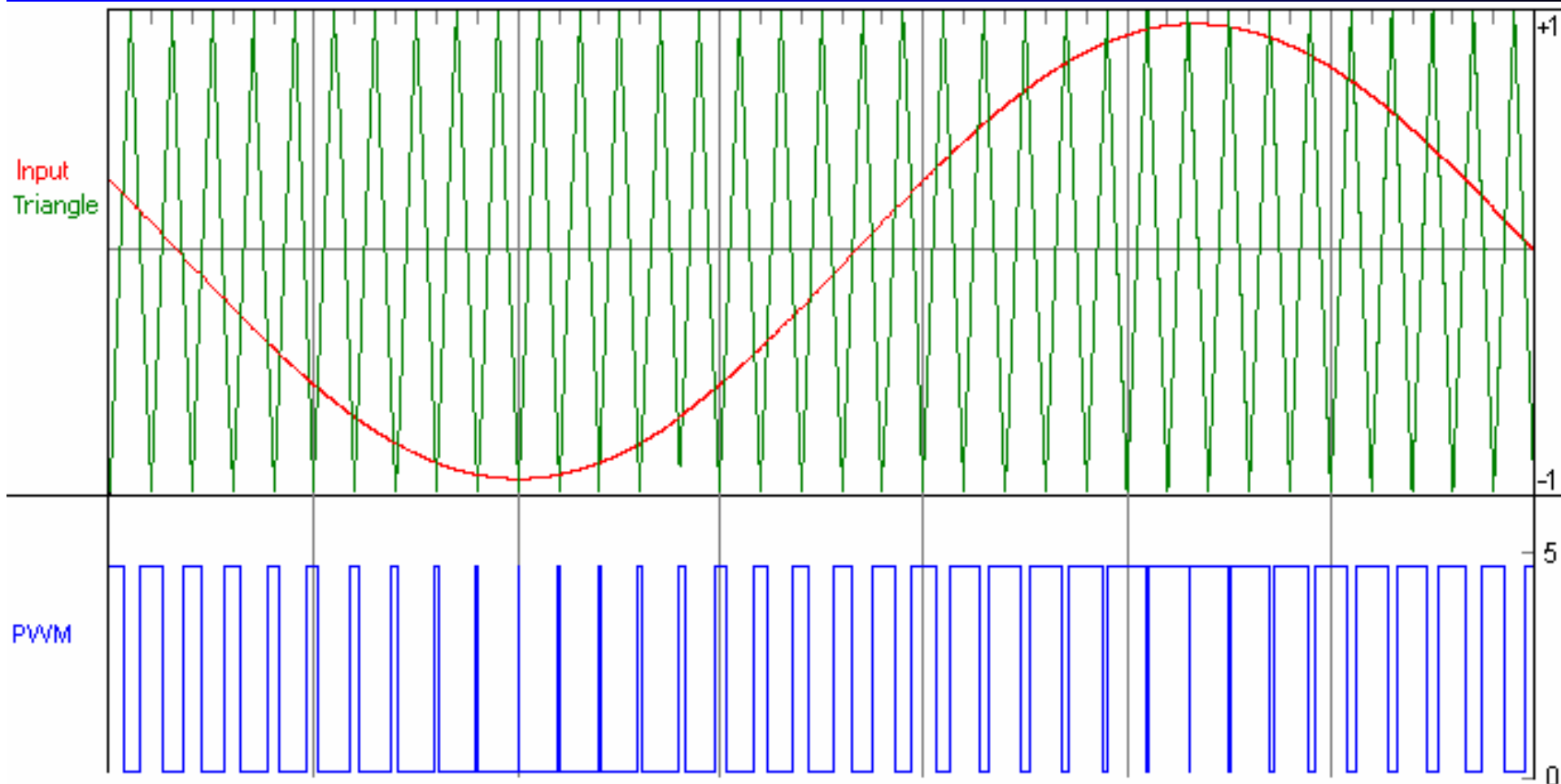
Basic PWM Operation



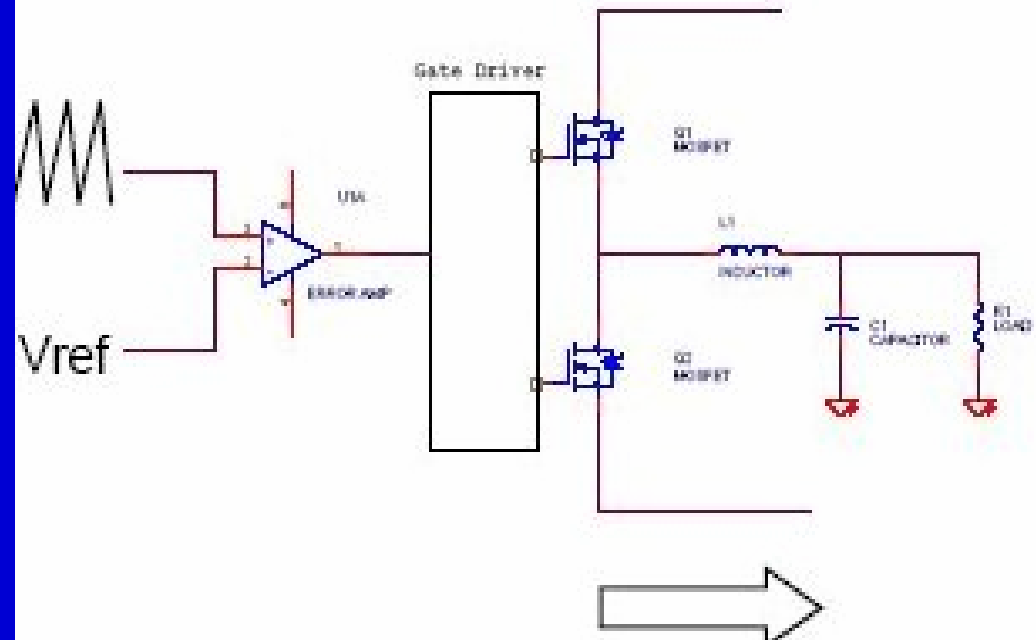
PWM luontiperiaate

- Audiosignaalia verrataan komiaaltoon
- Siitä luodaan päteastetta varten PWM-signaali

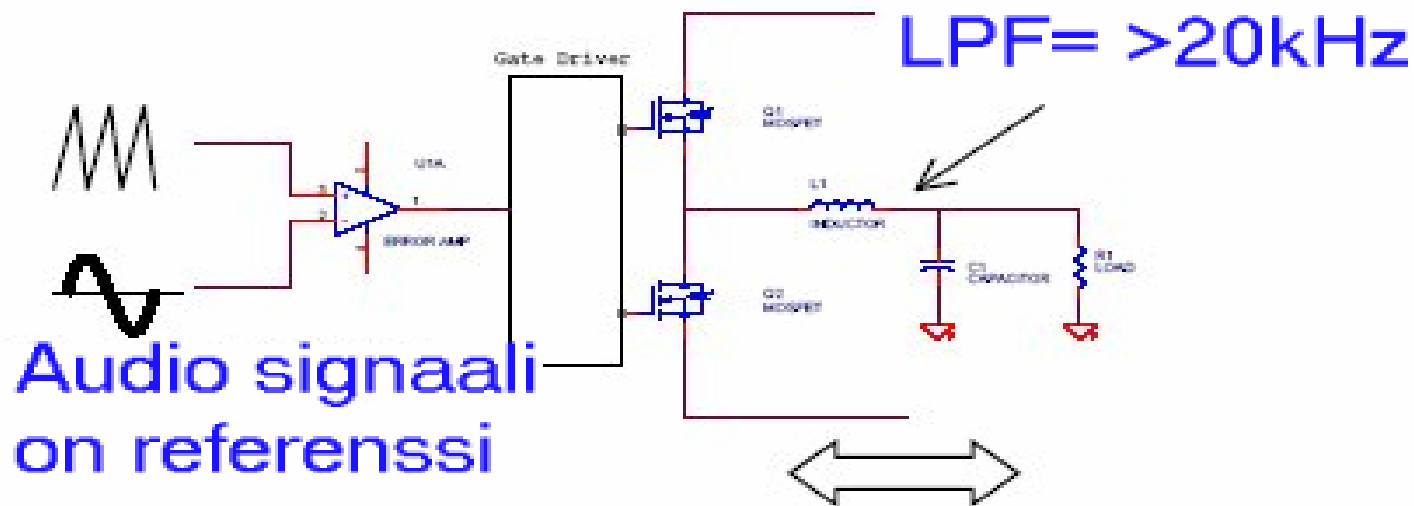




Buck converter



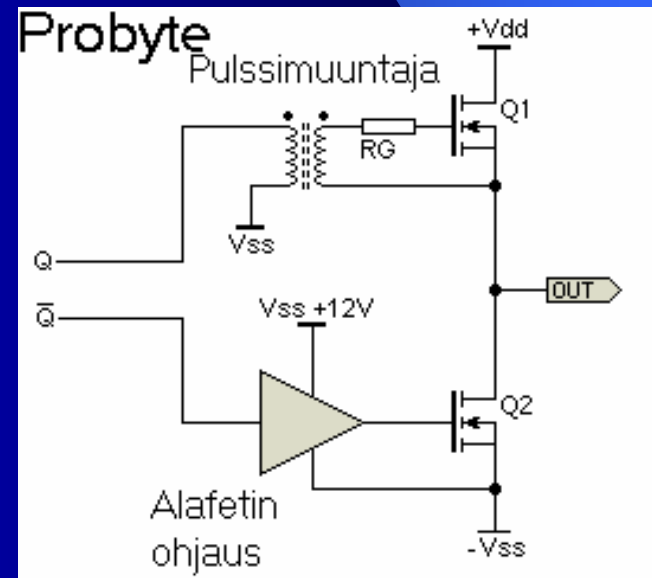
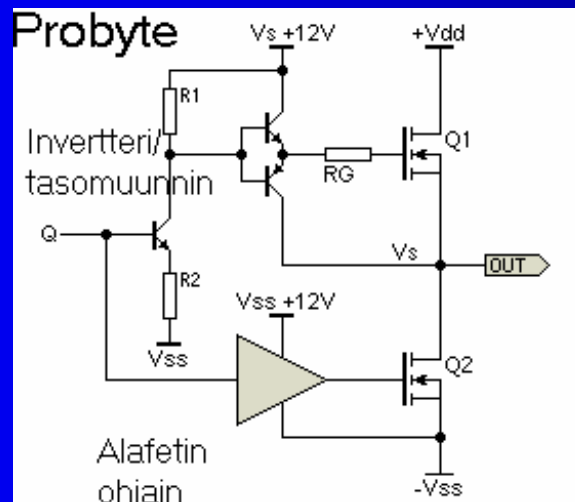
Teholähde \leftrightarrow
D-vahvistin



Aikadiskreettinen ohjelmointi

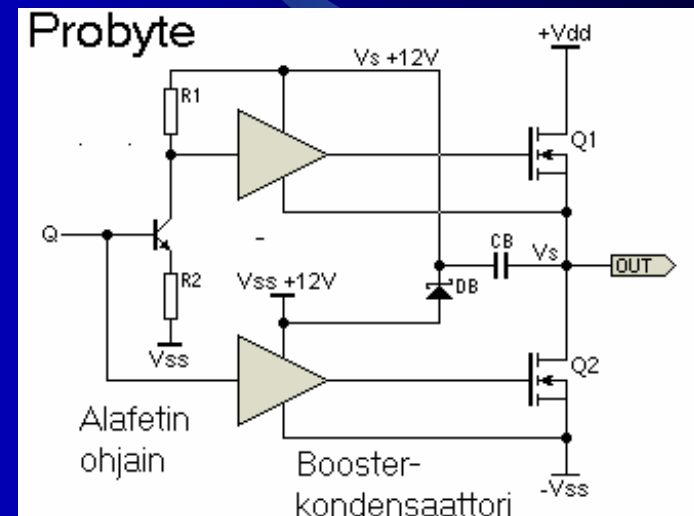
Yläfetin ohjausongelma

- Q1 FET:in ohjaus kelluu maata vasten
- Se vaatii enemmän käyttöjännitettä
- kuin on normaali,
- pääteasteen käyttöjännite



Yläfetin ohjausjännite kondesattoripumpulla

- C8-kondensaattori
- antaa enemmän jännitettä kuin käyttöjännite

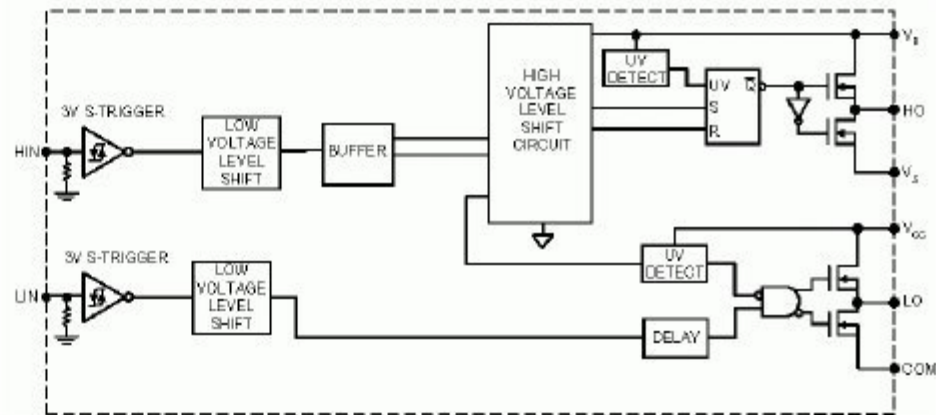


FET ohjain mikropiiri

D-luokan vahvistimen
FET-ohjain

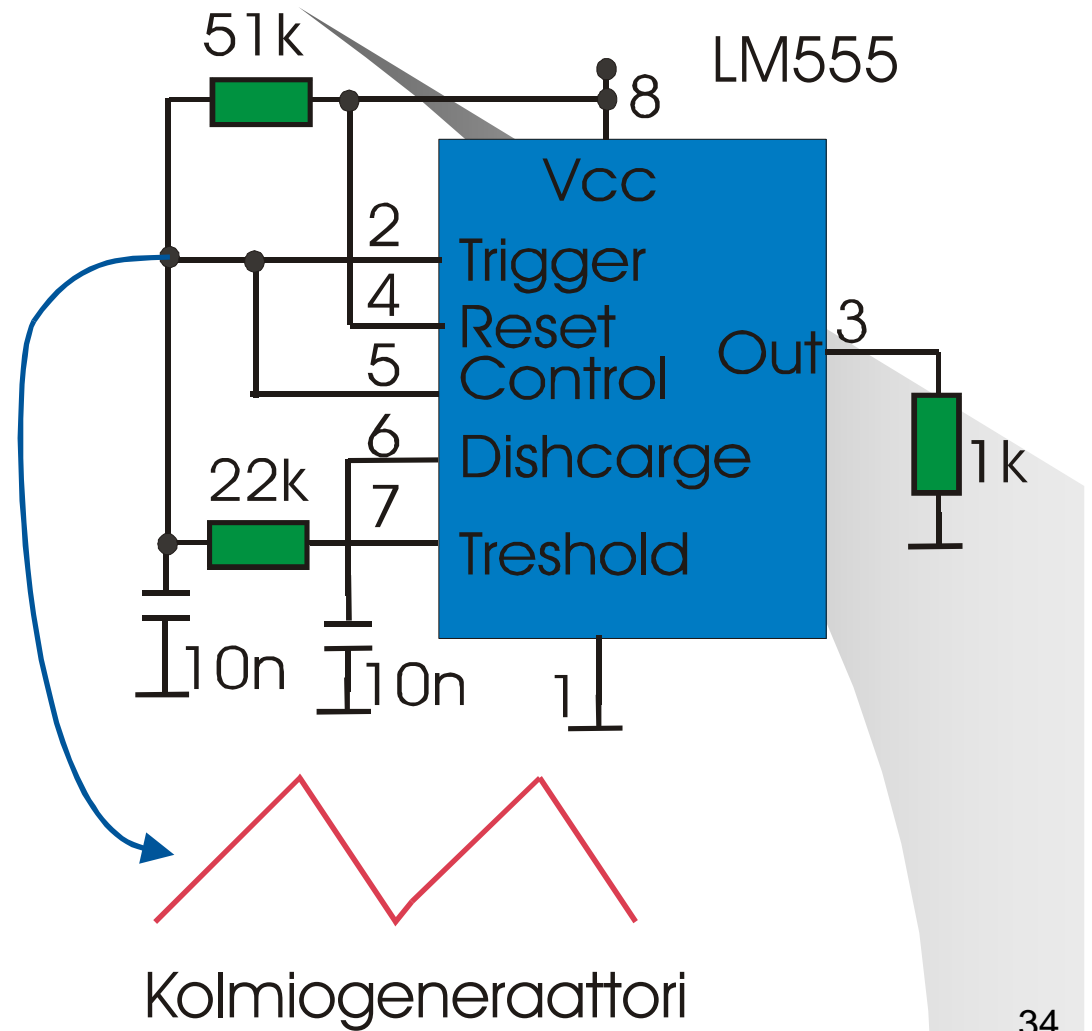
IR2011(S)

V_{OFFSET}	200V max.
$I_{O+/-}$	1.0A /1.0A typ.
V_{OUT}	10 - 20V
$t_{on/off}$ Viiveerot kanavien välillä	80 & 60 ns typ. 20 ns max.



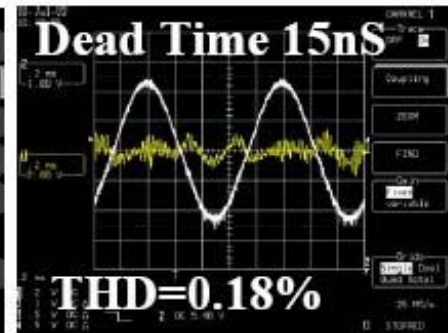
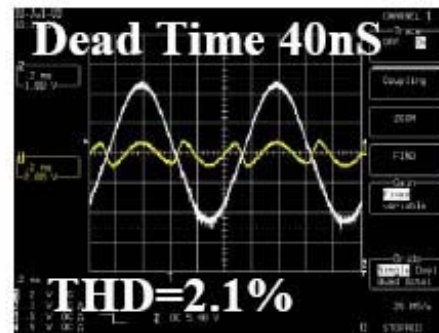
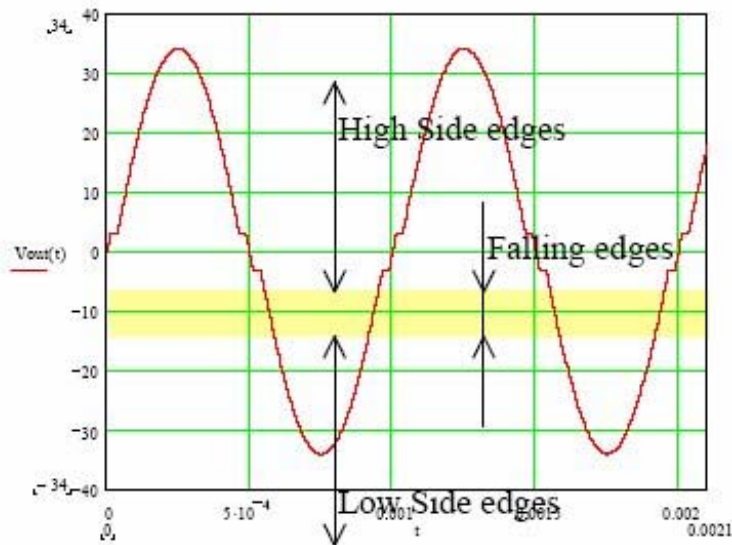
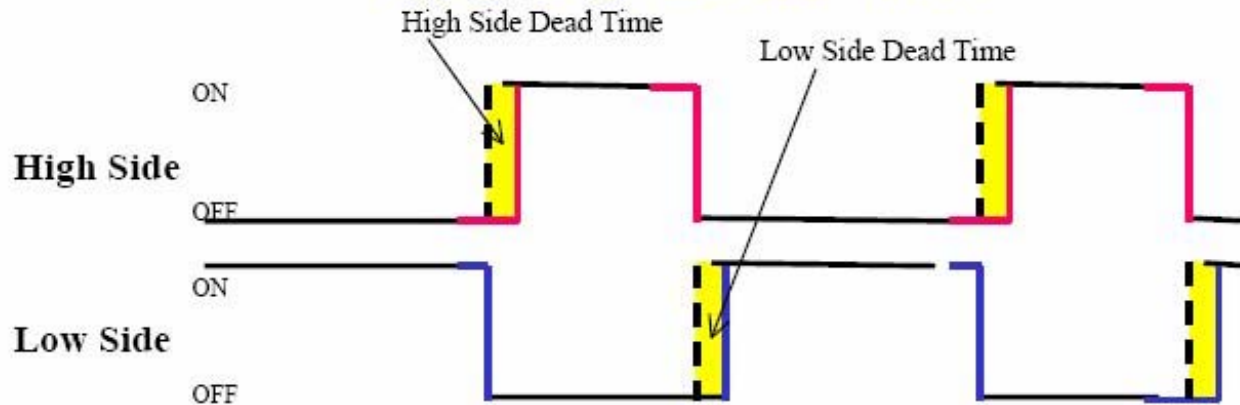
Kolmioaaltogeneraattori

- Perinteinen (= hyvin toimiva)
- kolmiaaltogeneraattori



D-luokan särö ja Deadtime

THD and Dead Time

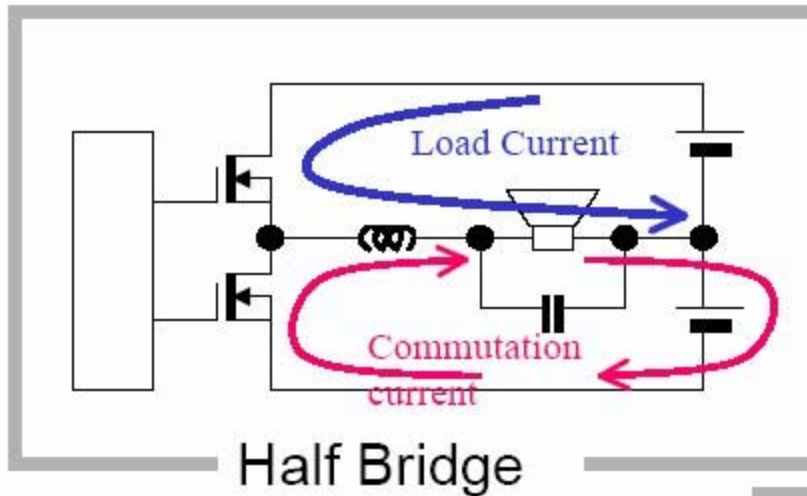


Note: THD (Total Harmonic Distortion) is a means to measure linearity with sinusoidal signal.

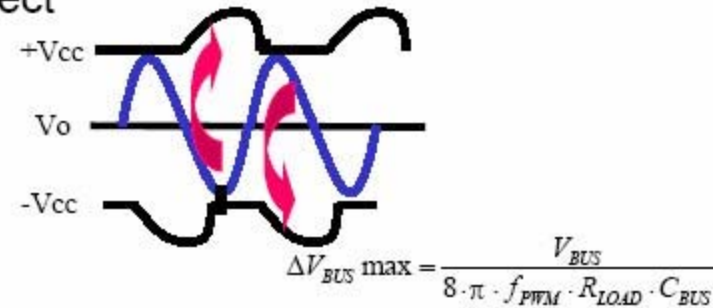
$$THD = \frac{\sqrt{V_2^2 + V_3^2 + \dots}}{V_{fundamental}}$$

Teholähteen pumppaus kuorman mukana

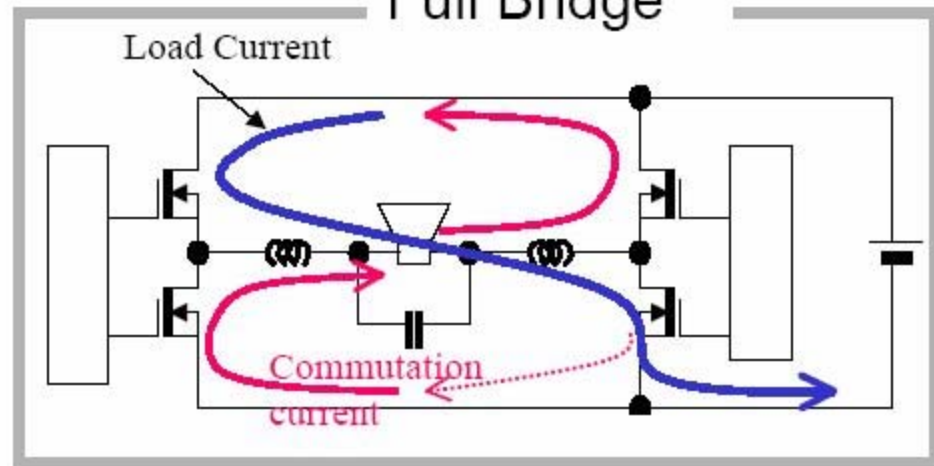
Power Supply Pumping



Supply voltage Pumping effect



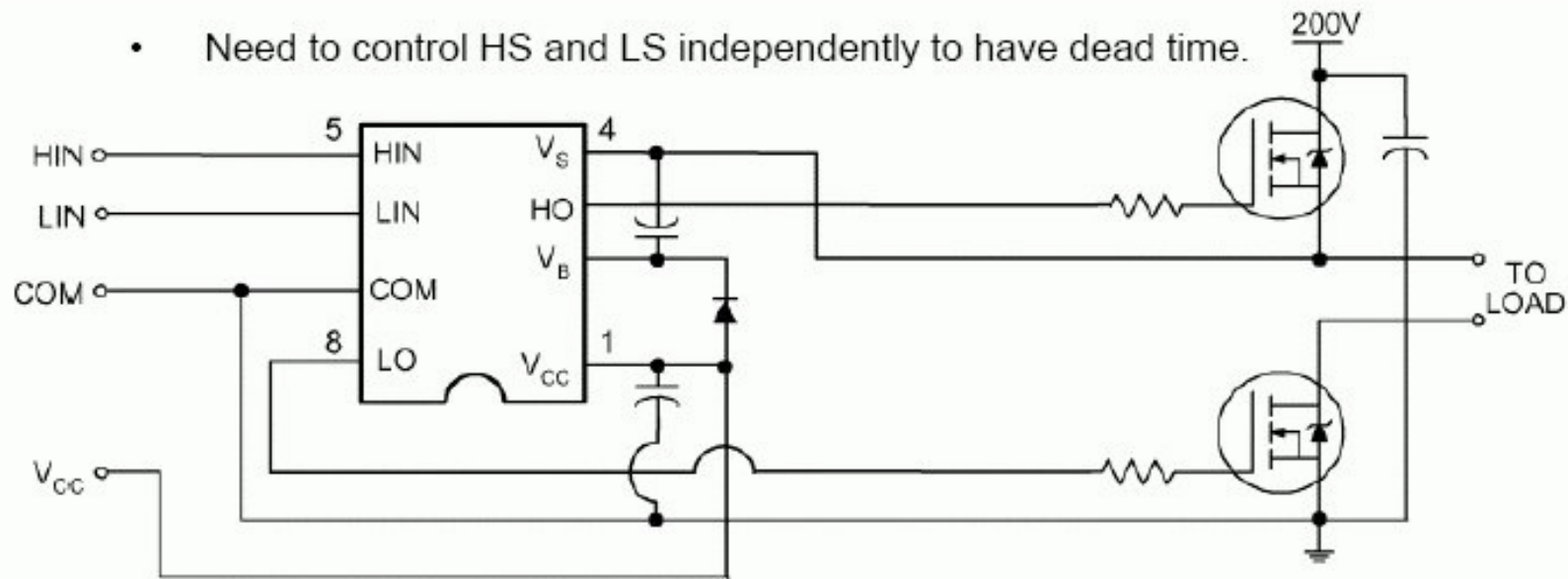
Full Bridge



- Significant at low frequency output
- Significant at low load impedance
- Significant at small bus capacitors
- Largest at duty = 25%, and 75%

Fetin ohjainpiiri

- High side needs to have a gate voltage referenced to it's Source.
- Gate voltage must be 10-15V higher than the drain voltage.
- Need to control HS and LS independently to have dead time.

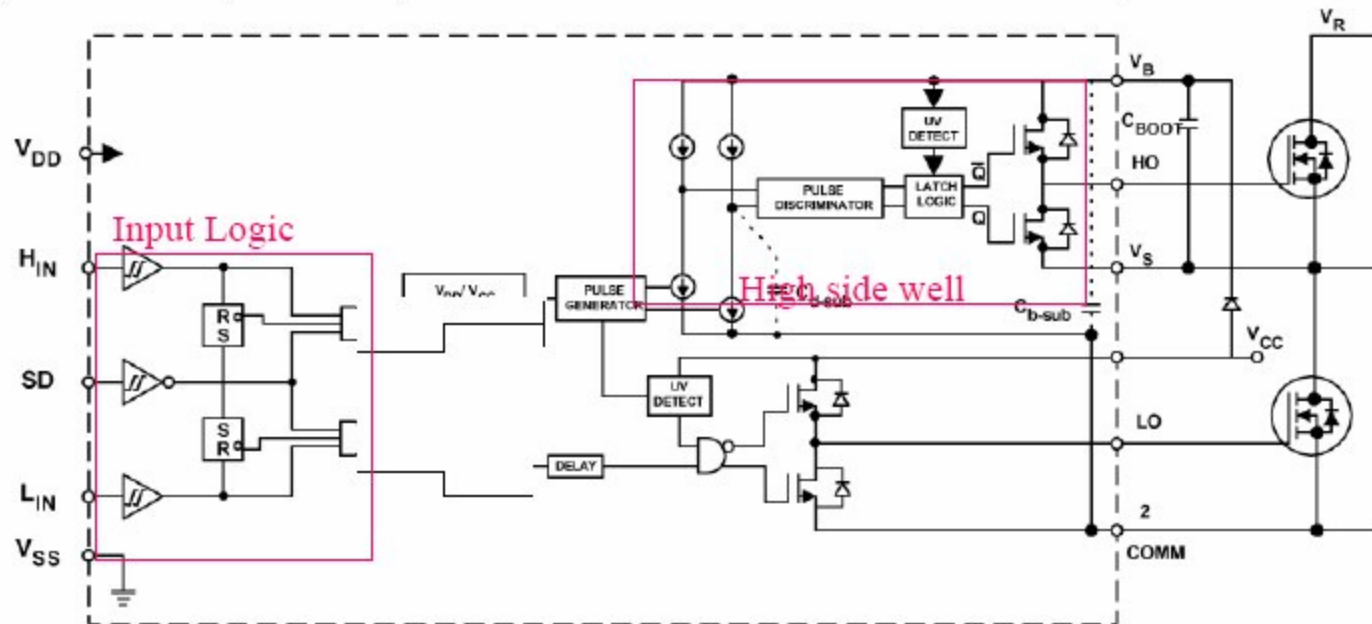
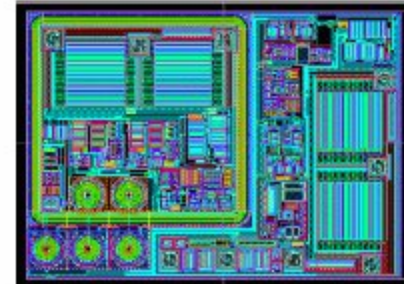


Fetin ohjanpiirin toimintakaavio

Functional Block Diagram Inside Gate Driver

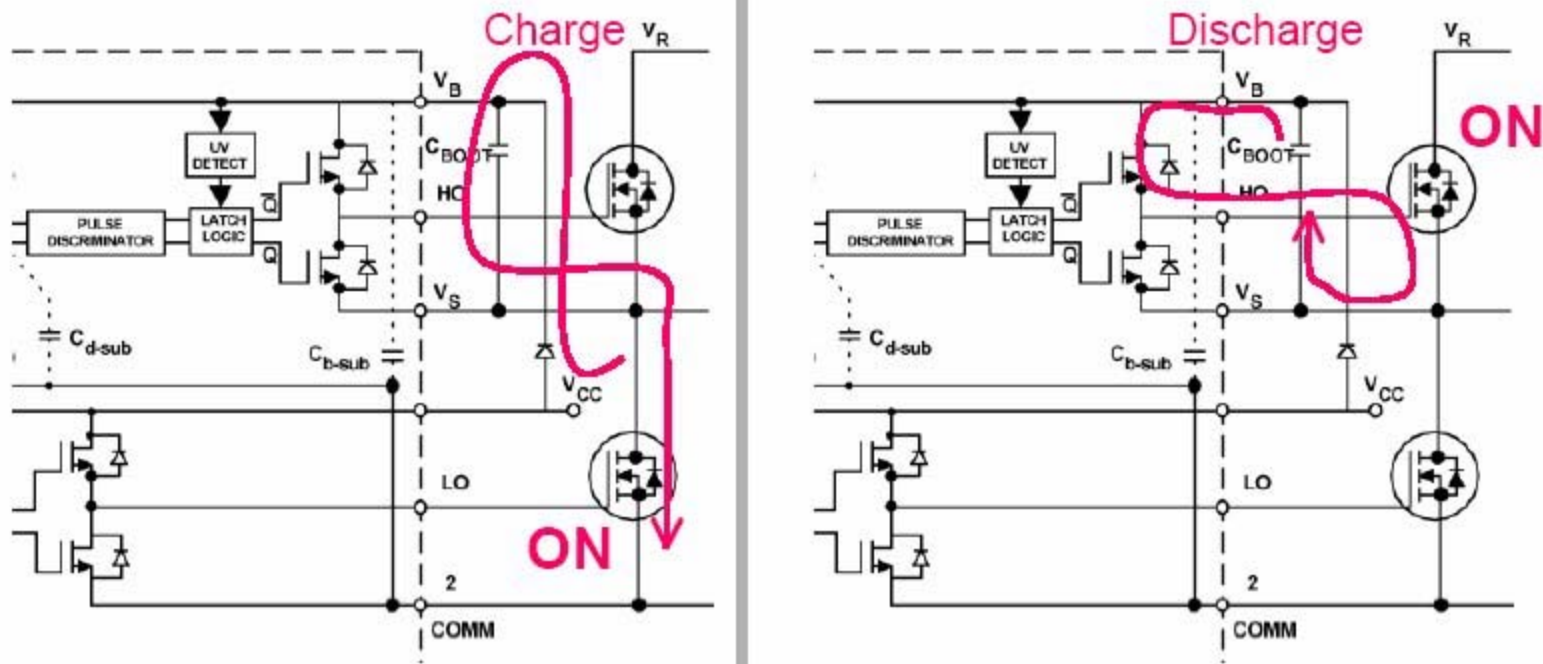
International Rectifier's family of MOS gate drivers integrate most of the functions required to drive one high side and one low side power MOSFET in a compact package.

With the addition of few components, they provide very fast switching speeds and low power dissipation.



FET pääteasteen Bootstrap periaate

Boot Strap High Side Power Supply



When V_S is pulled down to ground through the low side FET, the bootstrap capacitor (C_{BOOT}) charges through the bootstrap diode (D_{bs}) from the V_{CC} supply, thus providing a supply to V_{bs} .

200 W, +/-50V D-luokan pääteaste



Topology: Half Bridge

IR Devices: IR2011S, IRFB23N15D

Switching frequency: 400kHz (Adjustable)

Rated Output Power: 200W+200W / 4 ohm

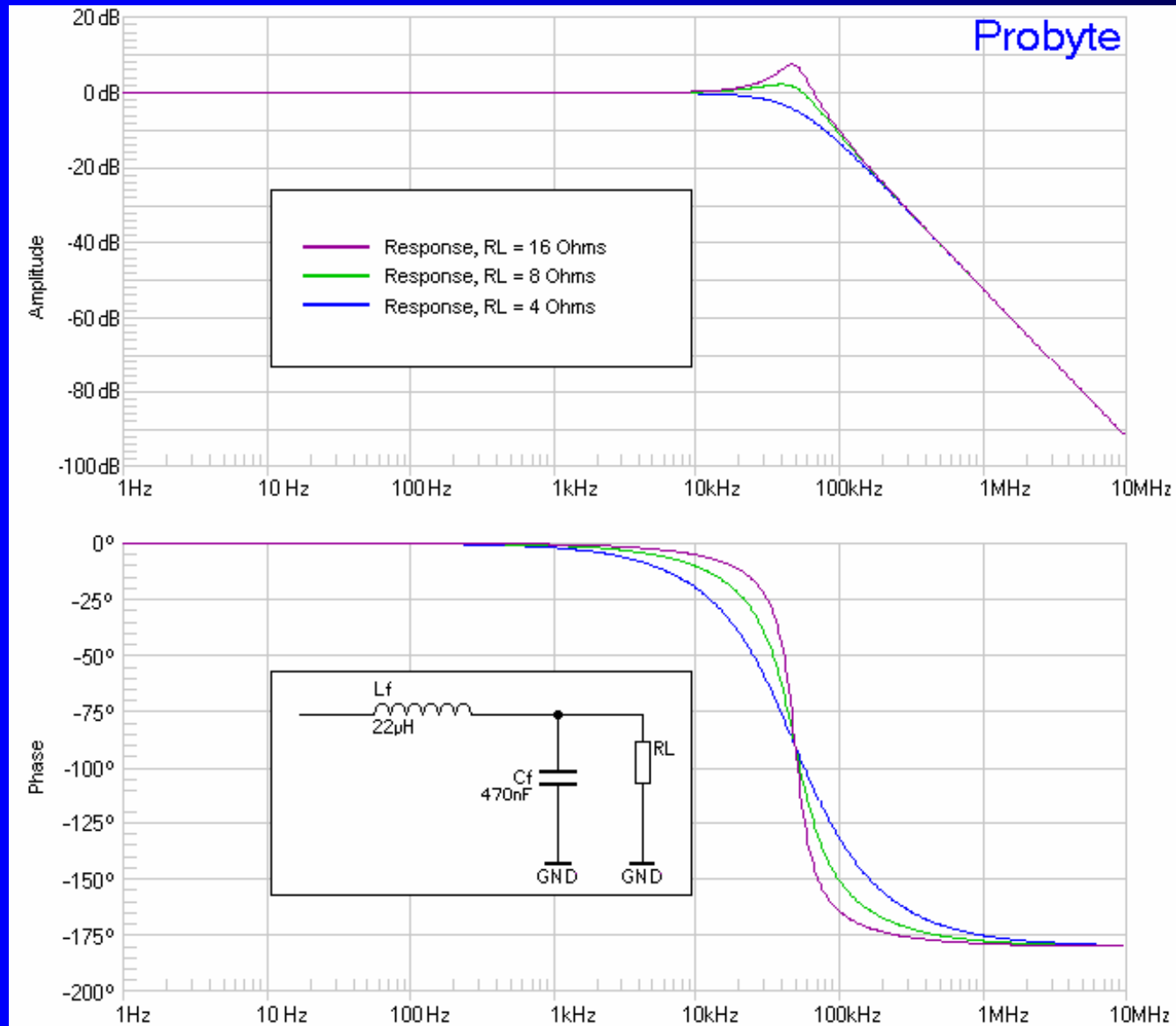
THD: 0.03% @1kHz, Half Power

Frequency Response: 5Hz to 40kHz (-3dB)

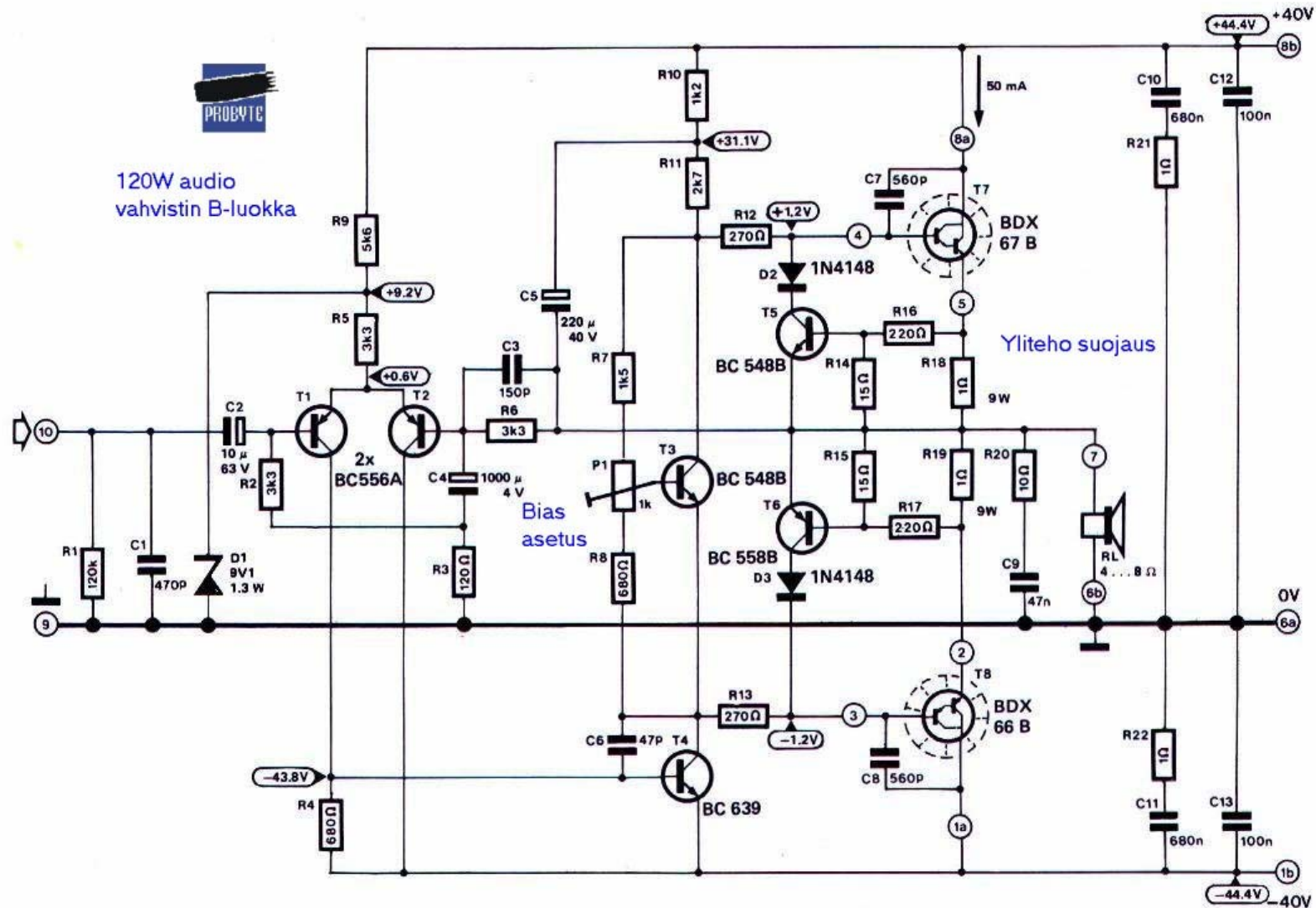
Power Supply: ~ $\pm 50V$

Size: 4.0" x 5.5"

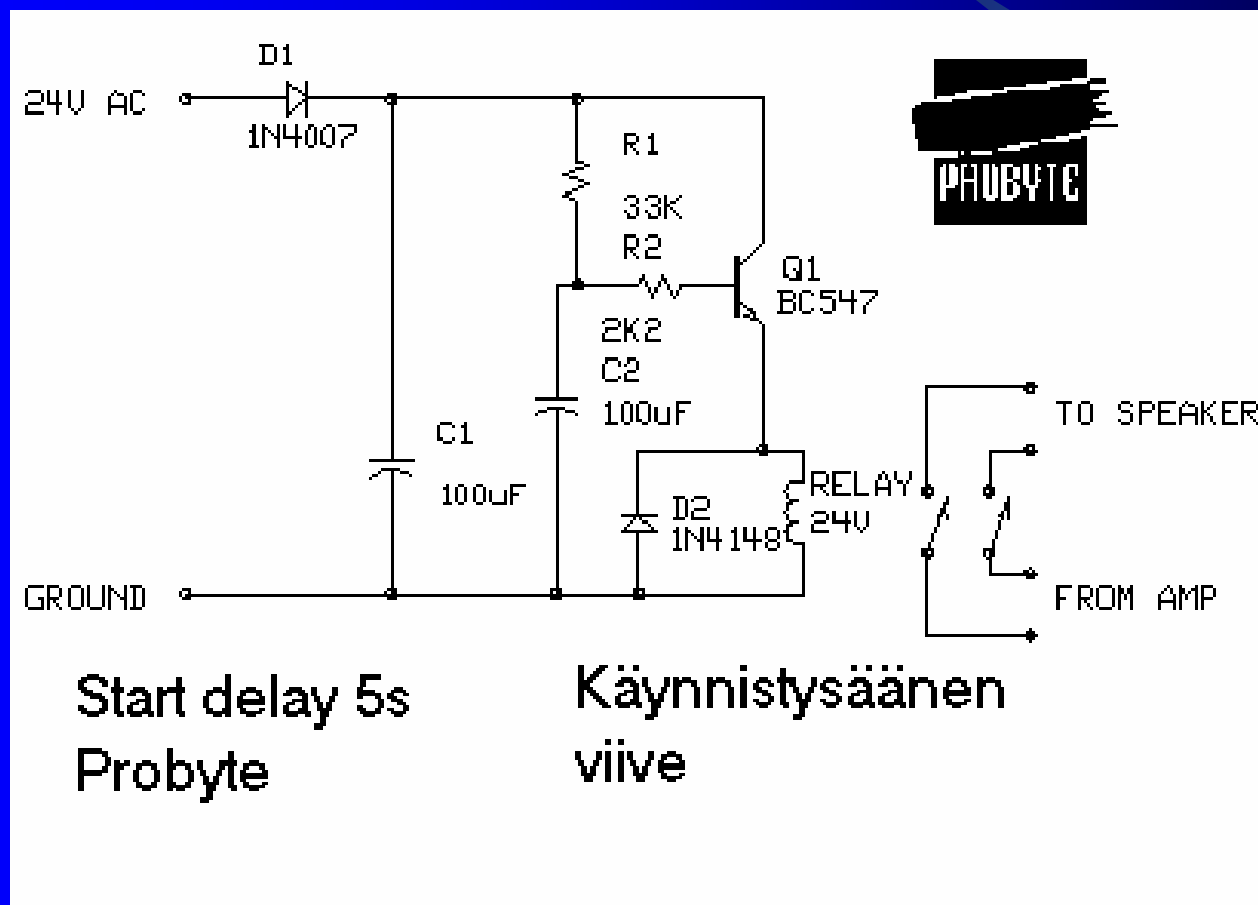
D-luokan vahvistimen taajuusvaste



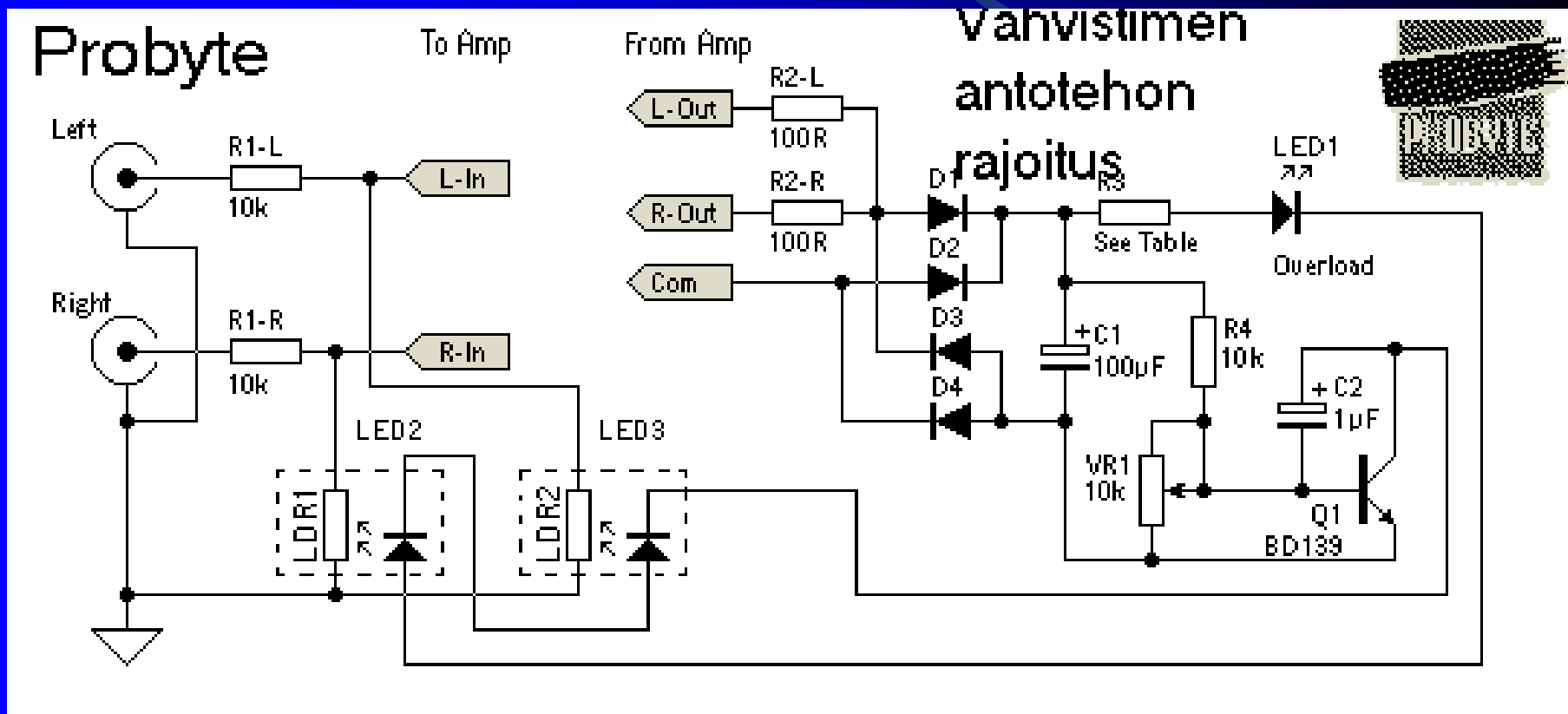
120W tehosuojattu B-luokan push-pull pääteaste



Käynnistysäänen poistorele



Maksimitehon dynaaminen rajoitin

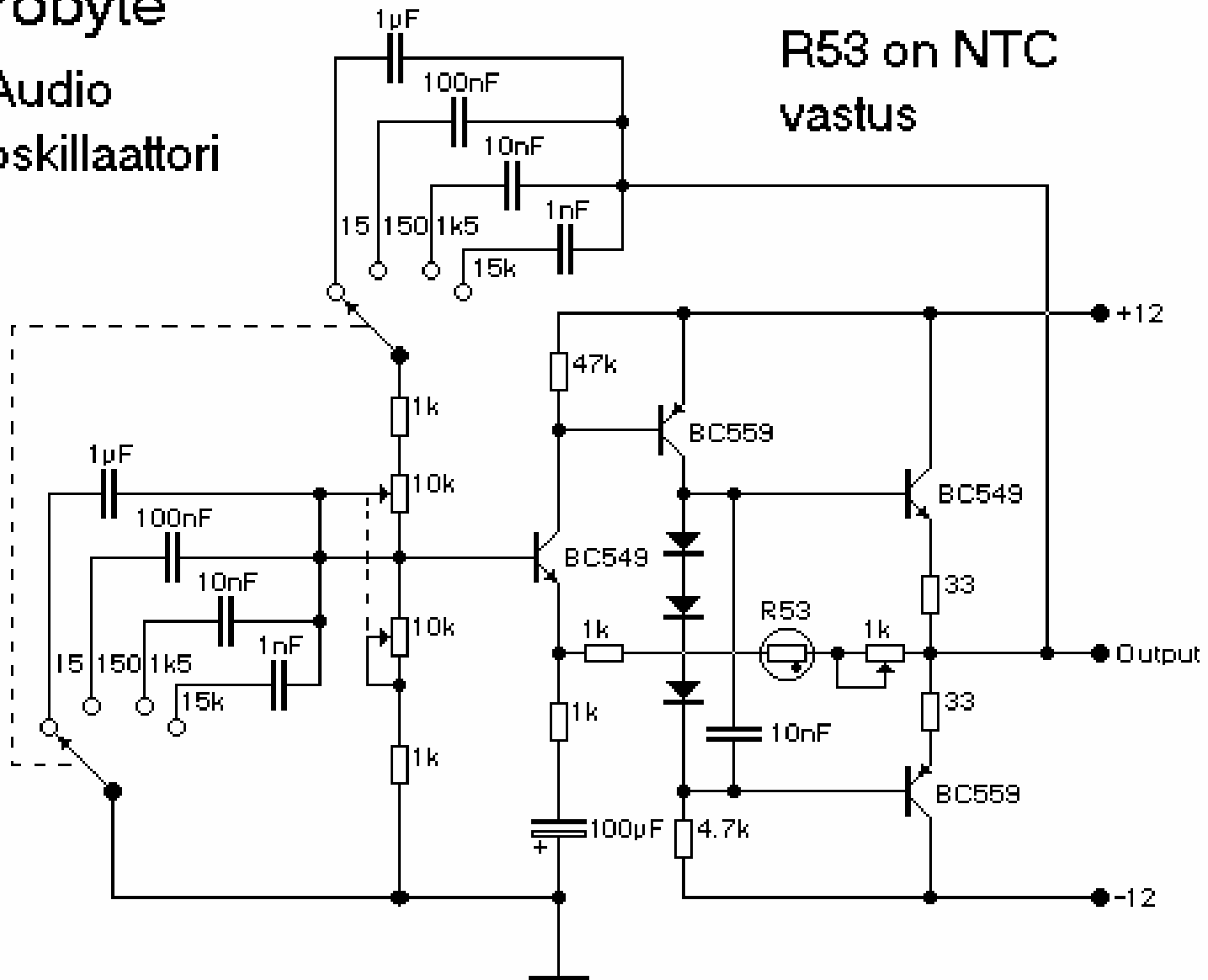


Audiogeneraattori NTC-

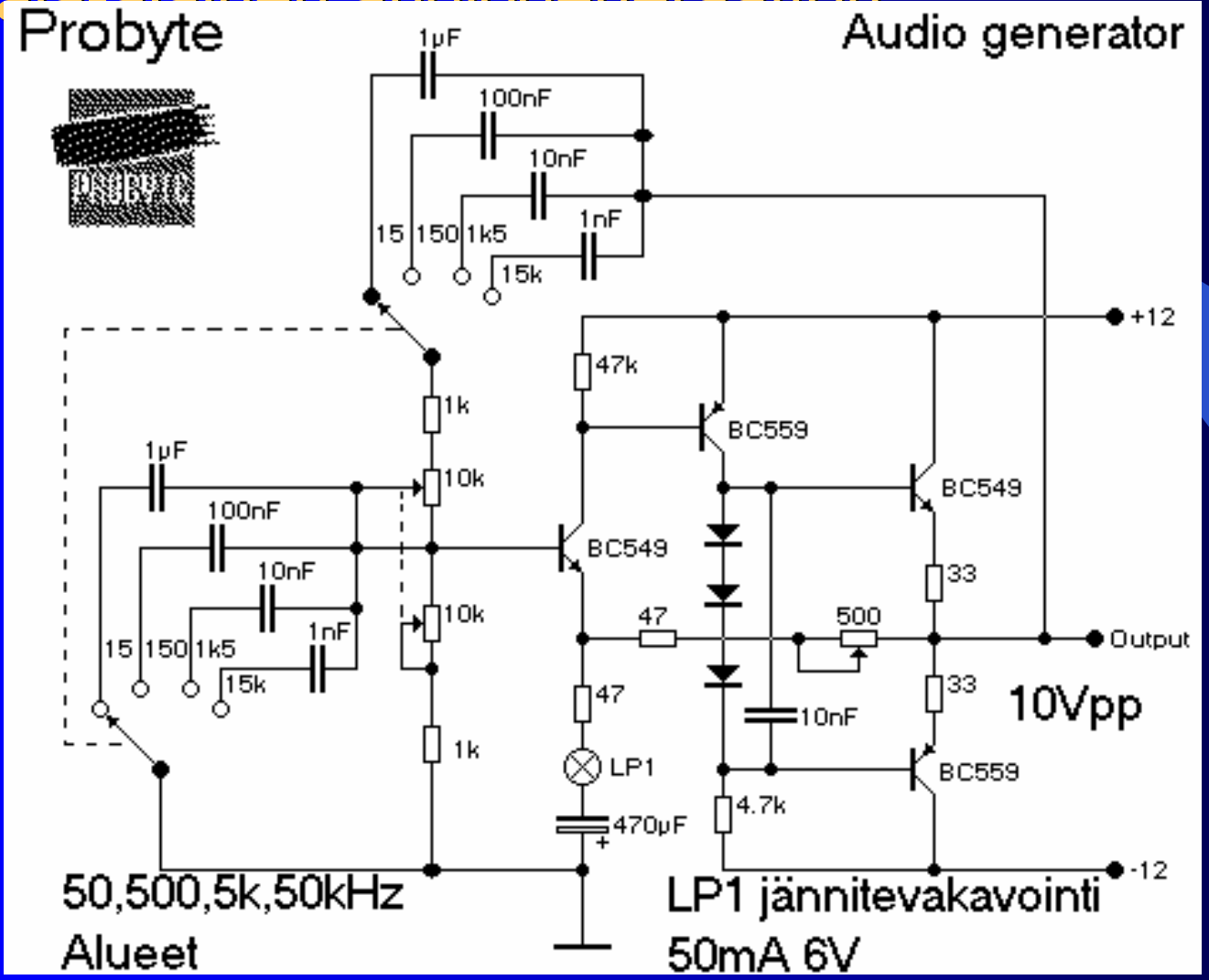
Probyte

Audio
oskillaattori

R53 on NTC
vastus

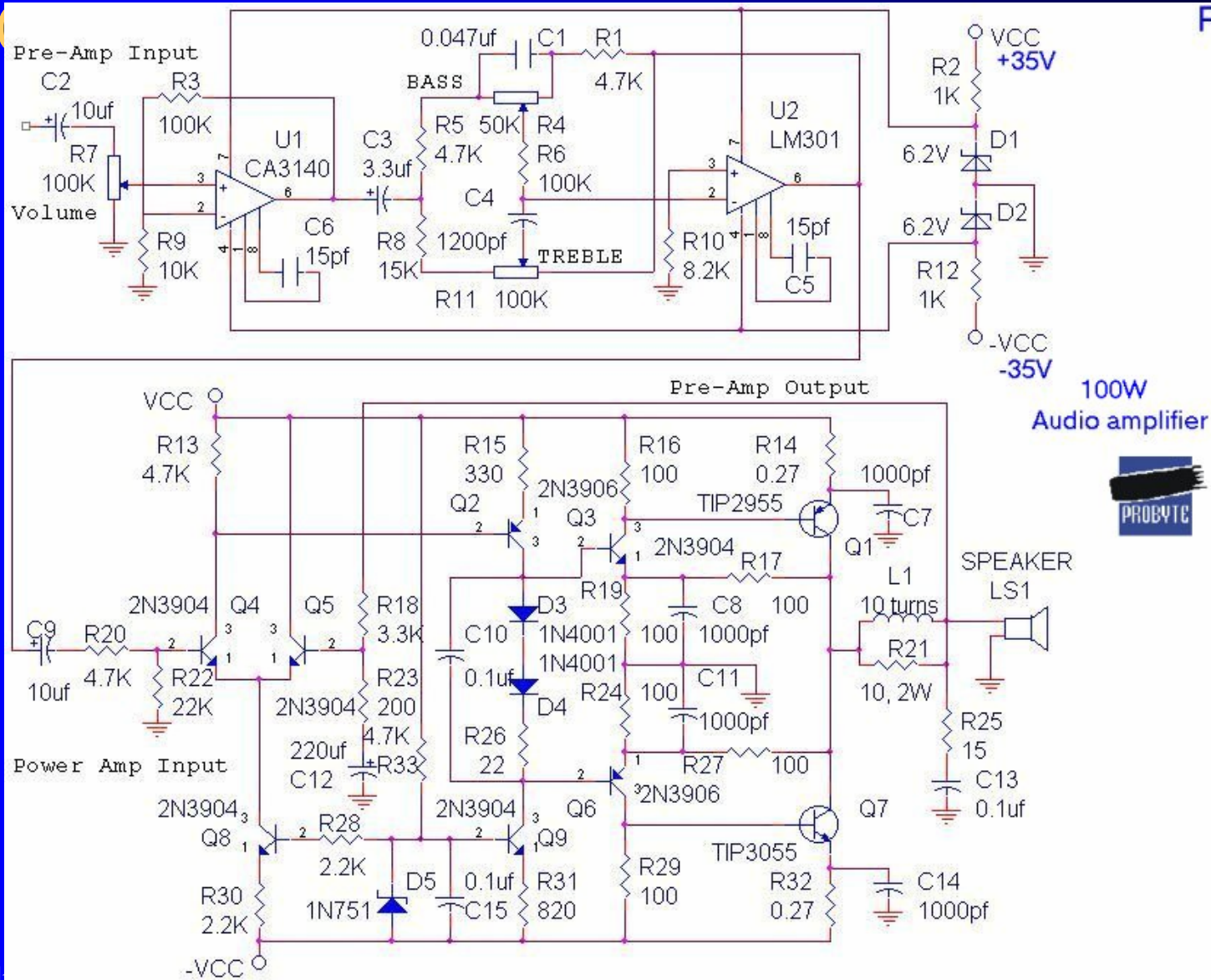


Laaja-alainen audiogeneraattori

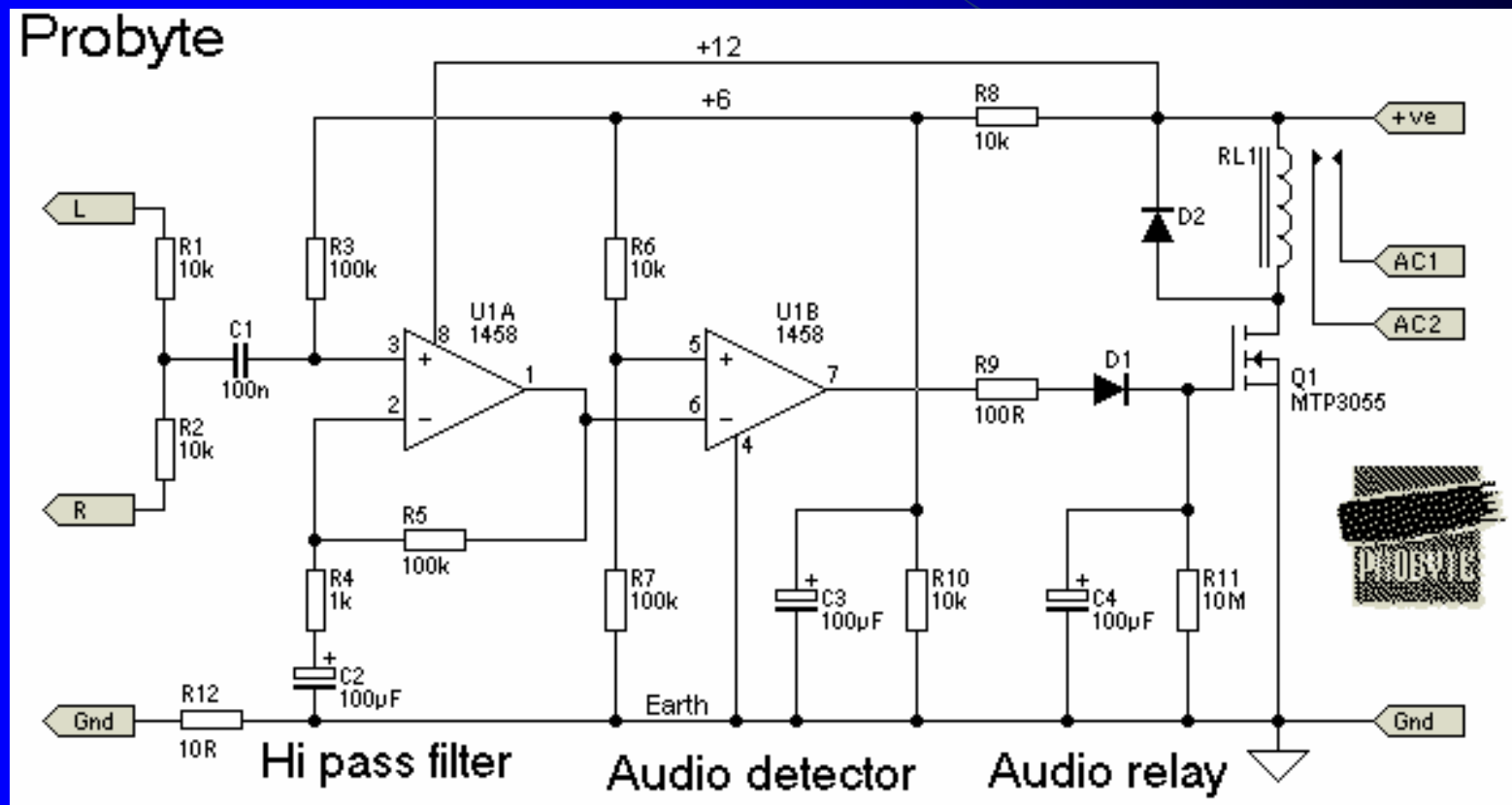


100

Probyte

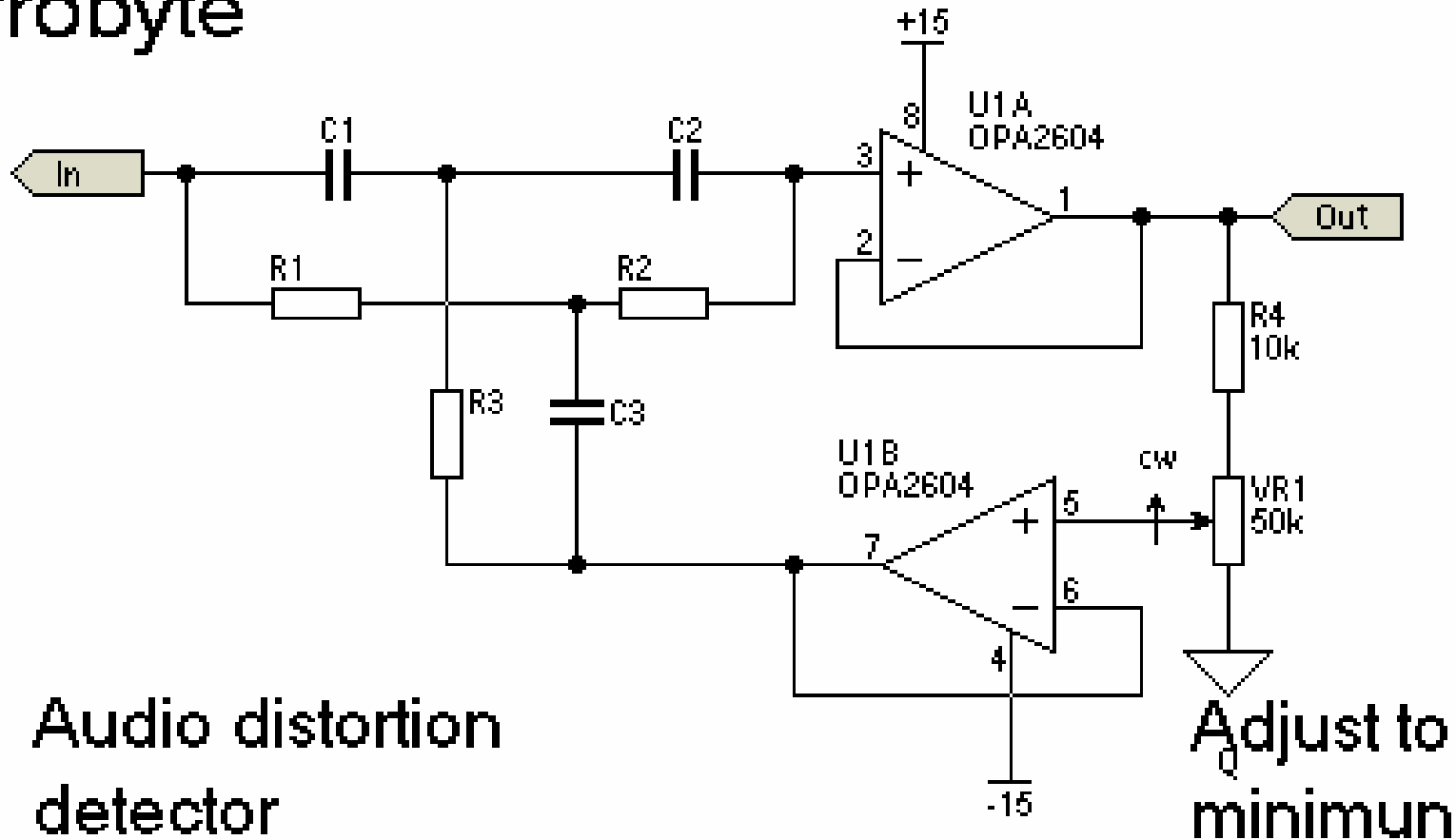


Stereo äänirele



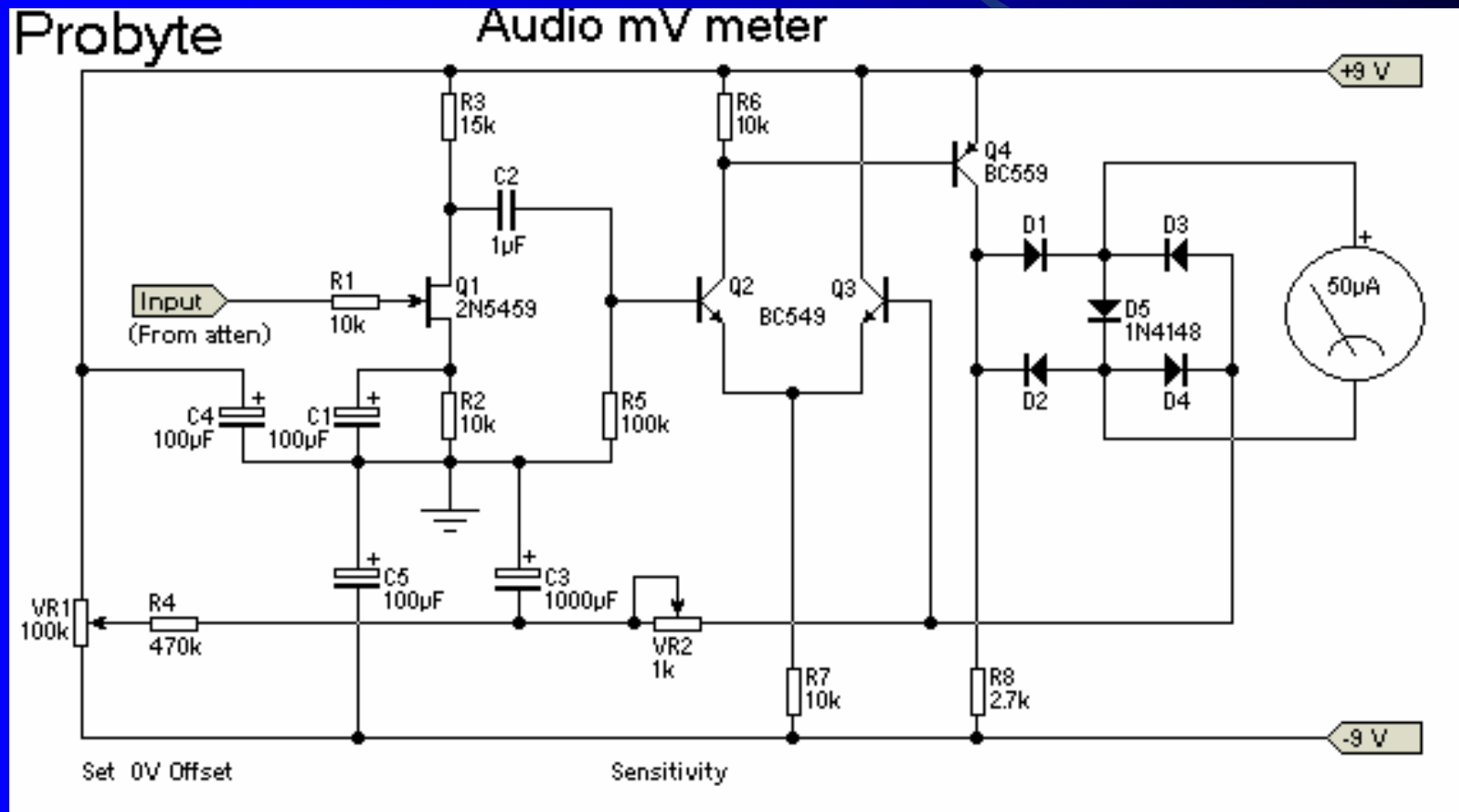
Särömittarin anturi

Probyte

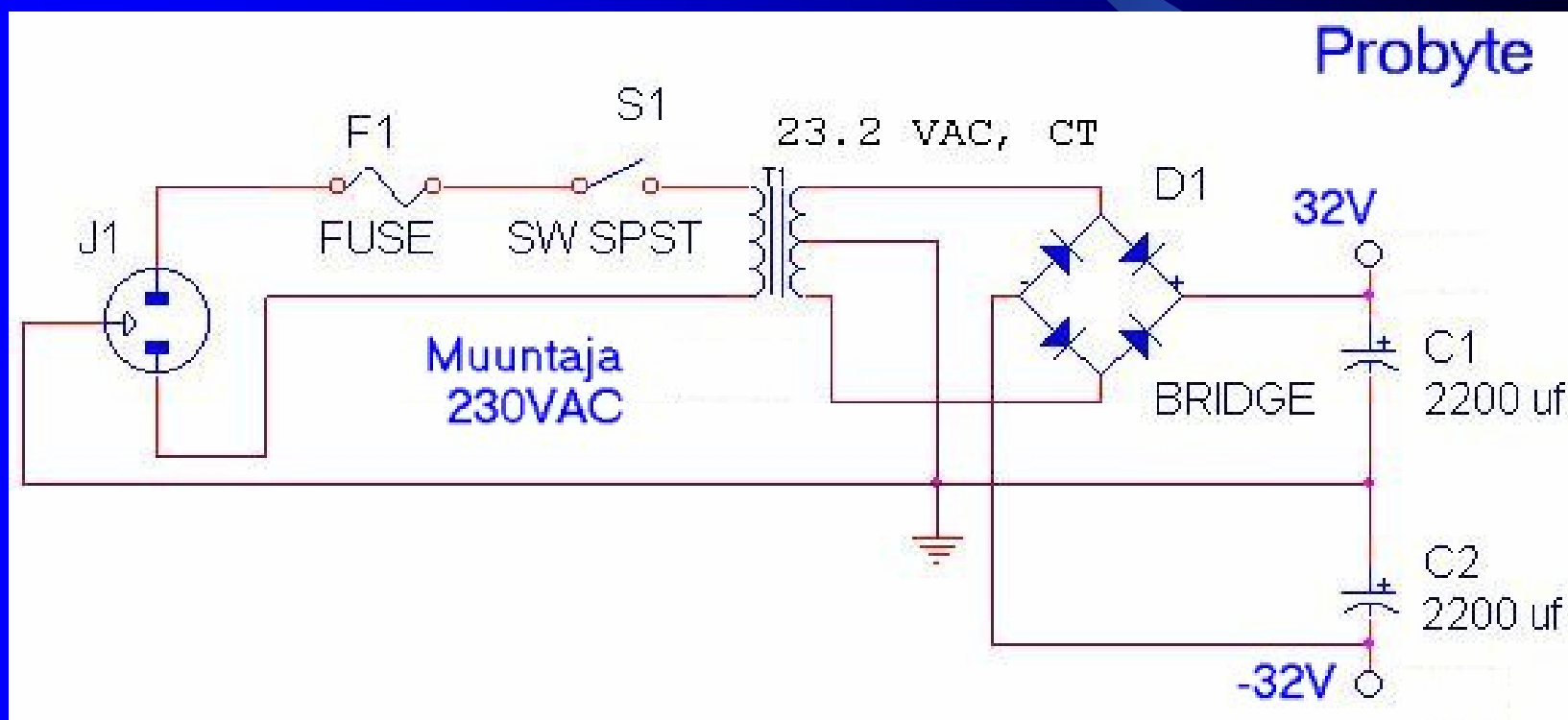


Audio distortion
detector

Audio mV mittari särön mittausta varten

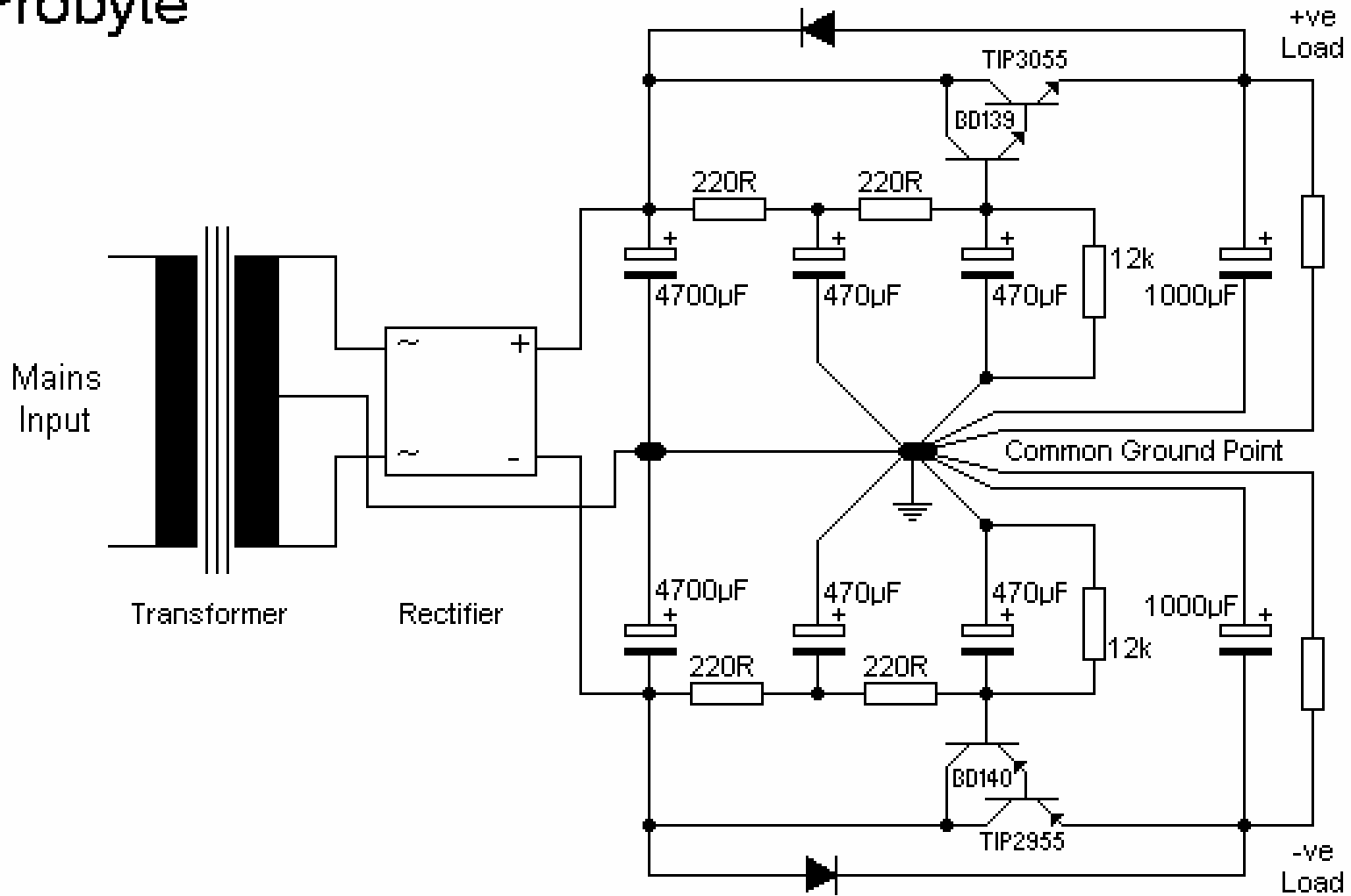


Audiovahvistimen +/--teholähde

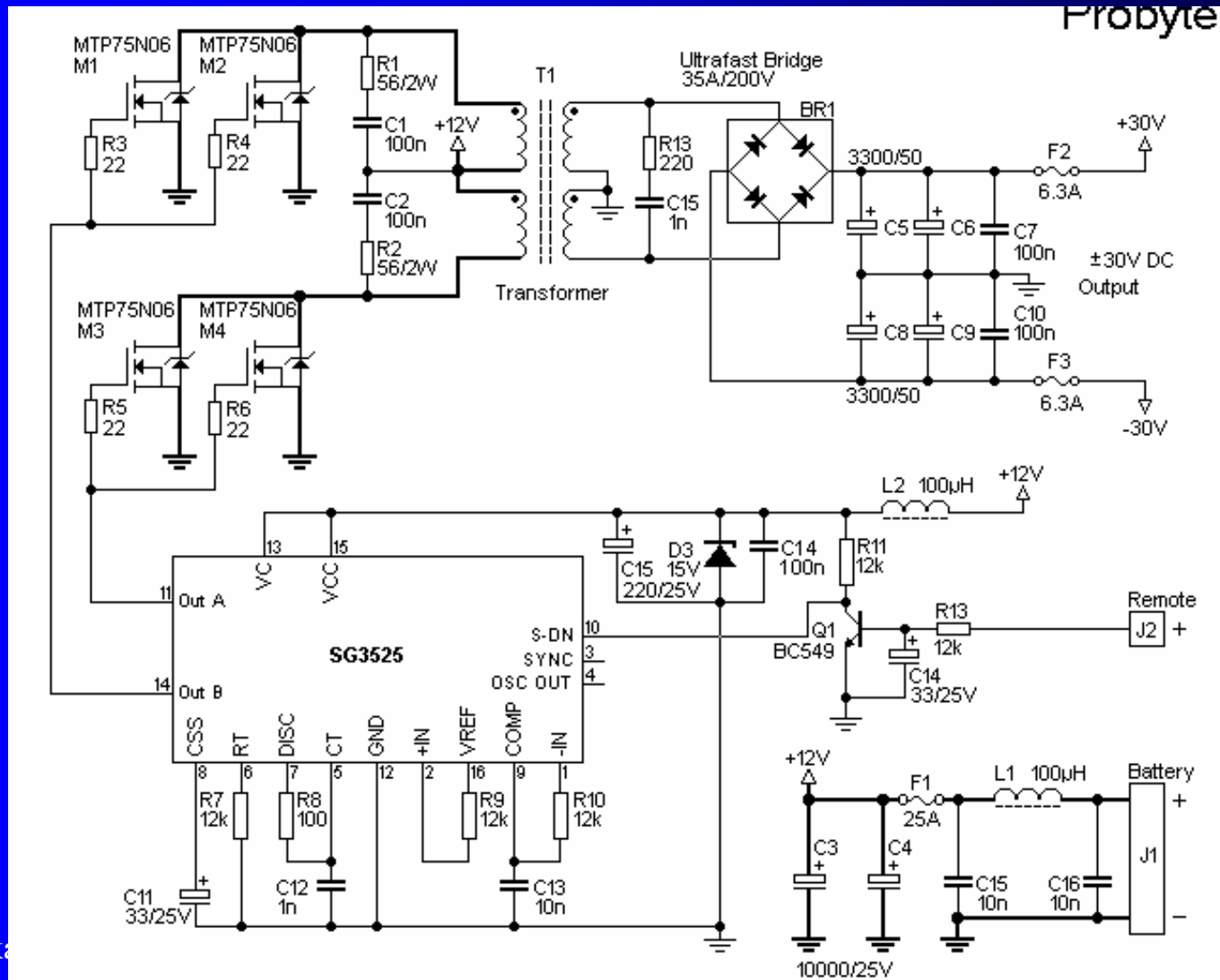


Teknolöytöön mahdollisuudet

Probyte

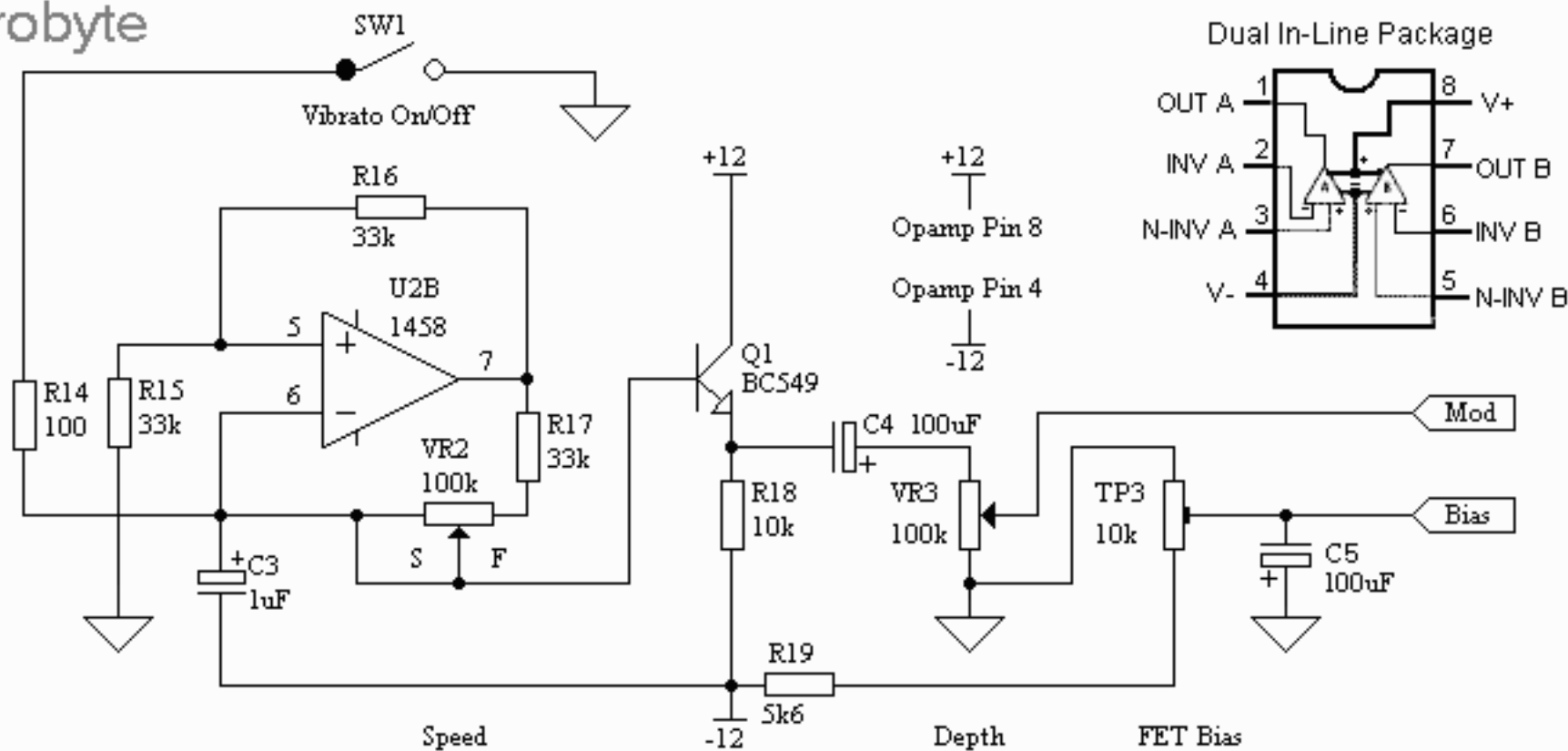


Akku/vahvistin muuttaja +/-30V 6.3A

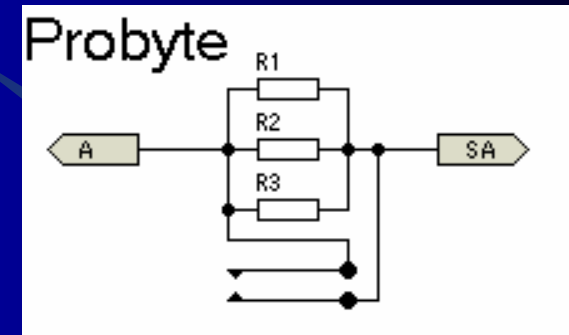


Vibraaton ohjauskytekntä

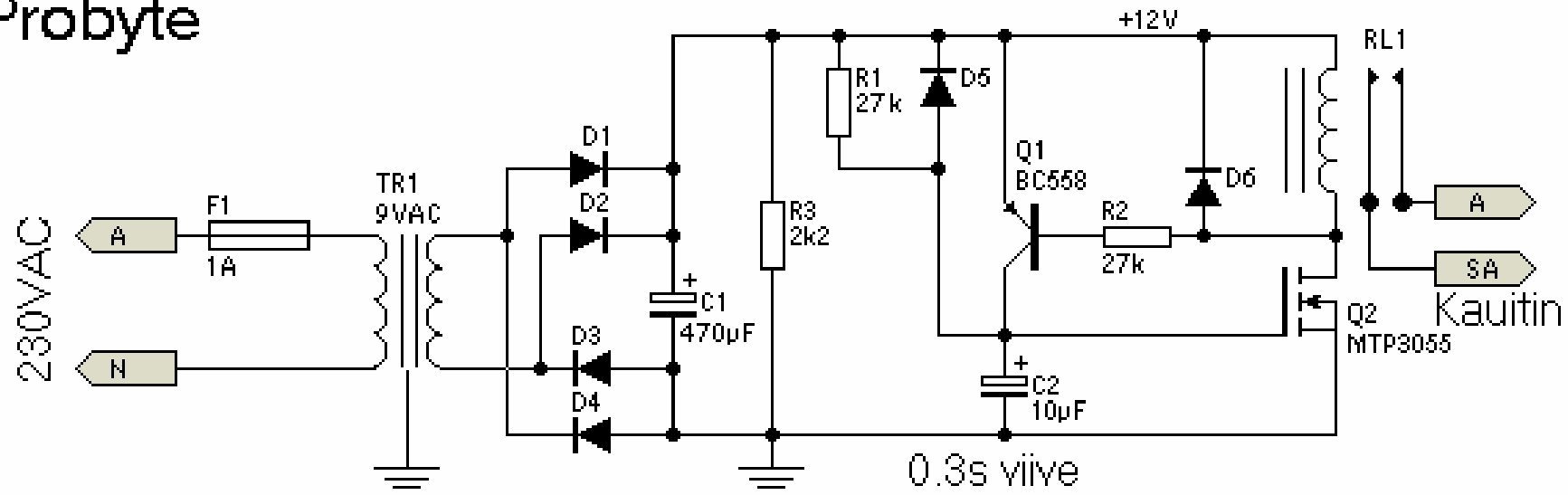
Probyte



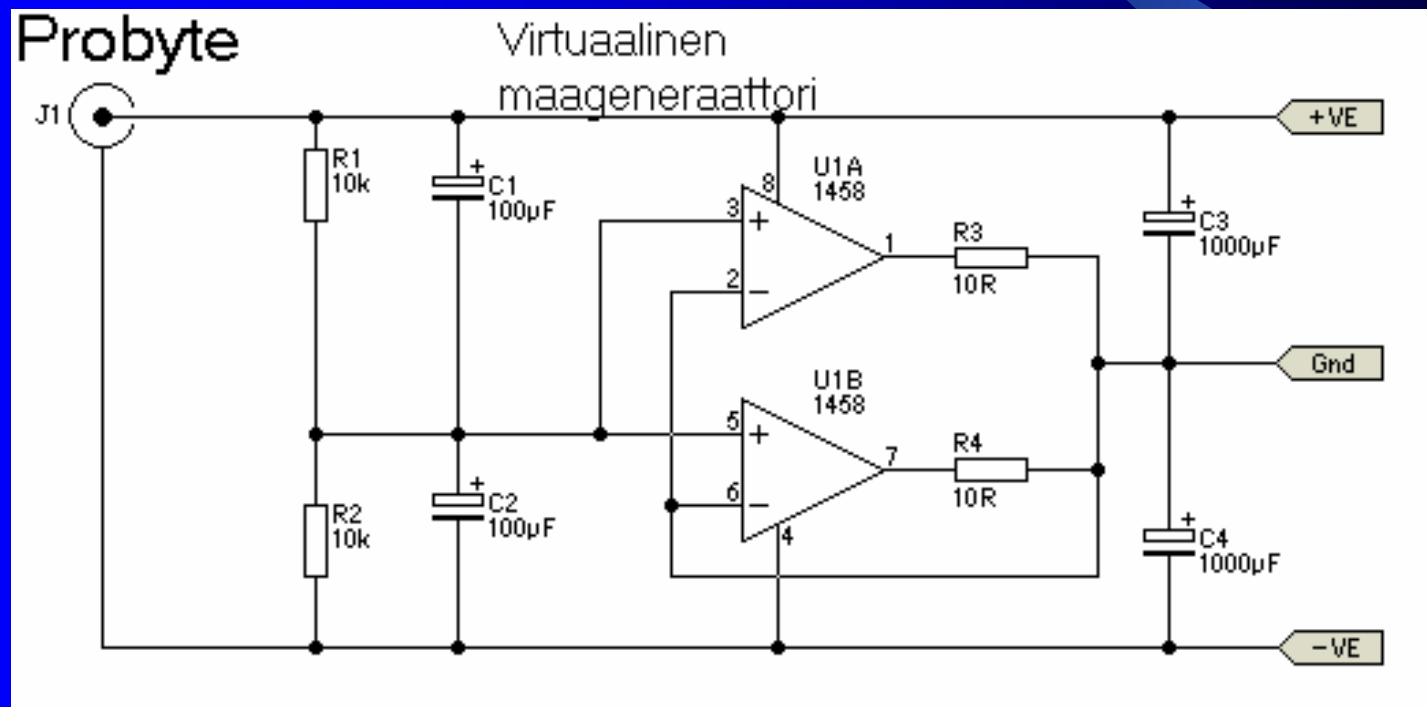
Alkukäynnistysviive



Probyte

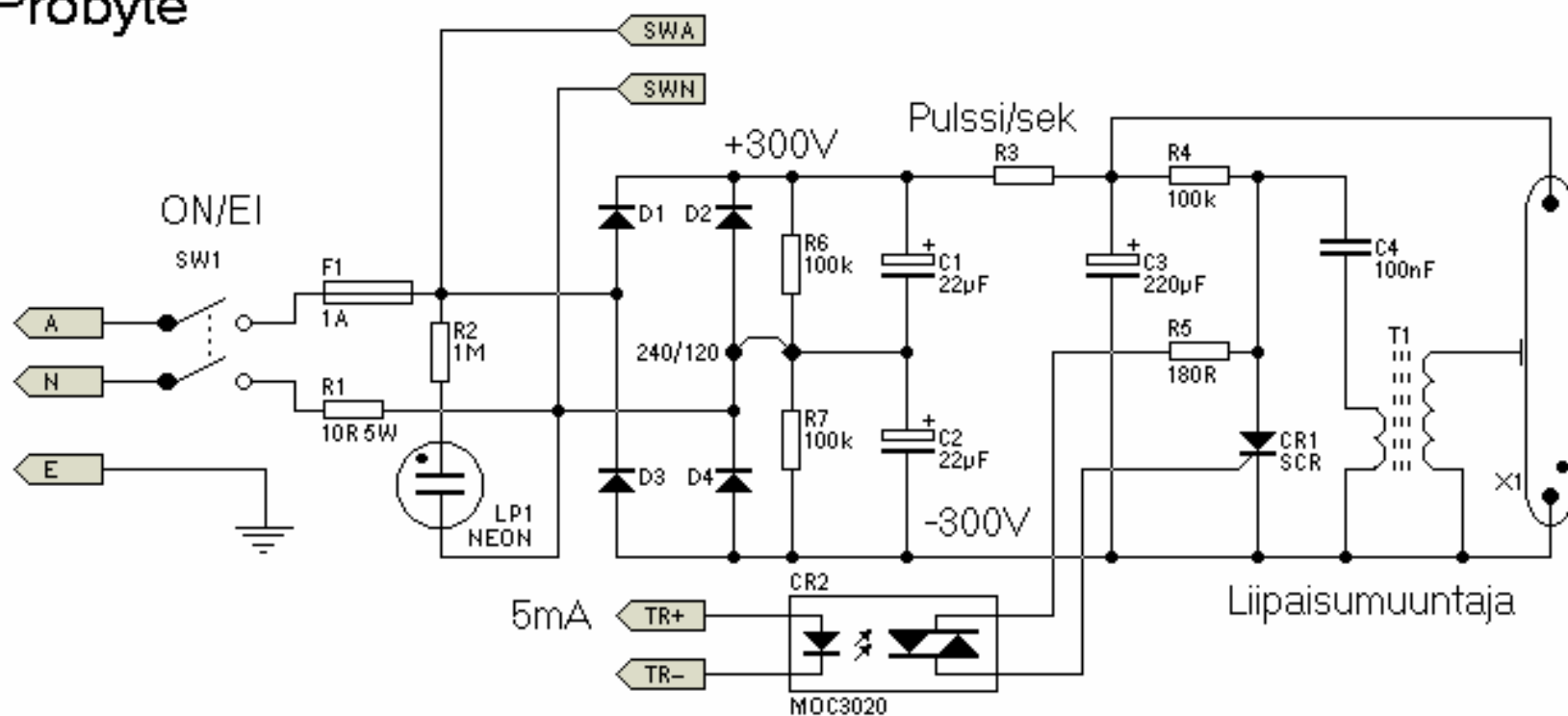


Virtuaalinen maageneraattori

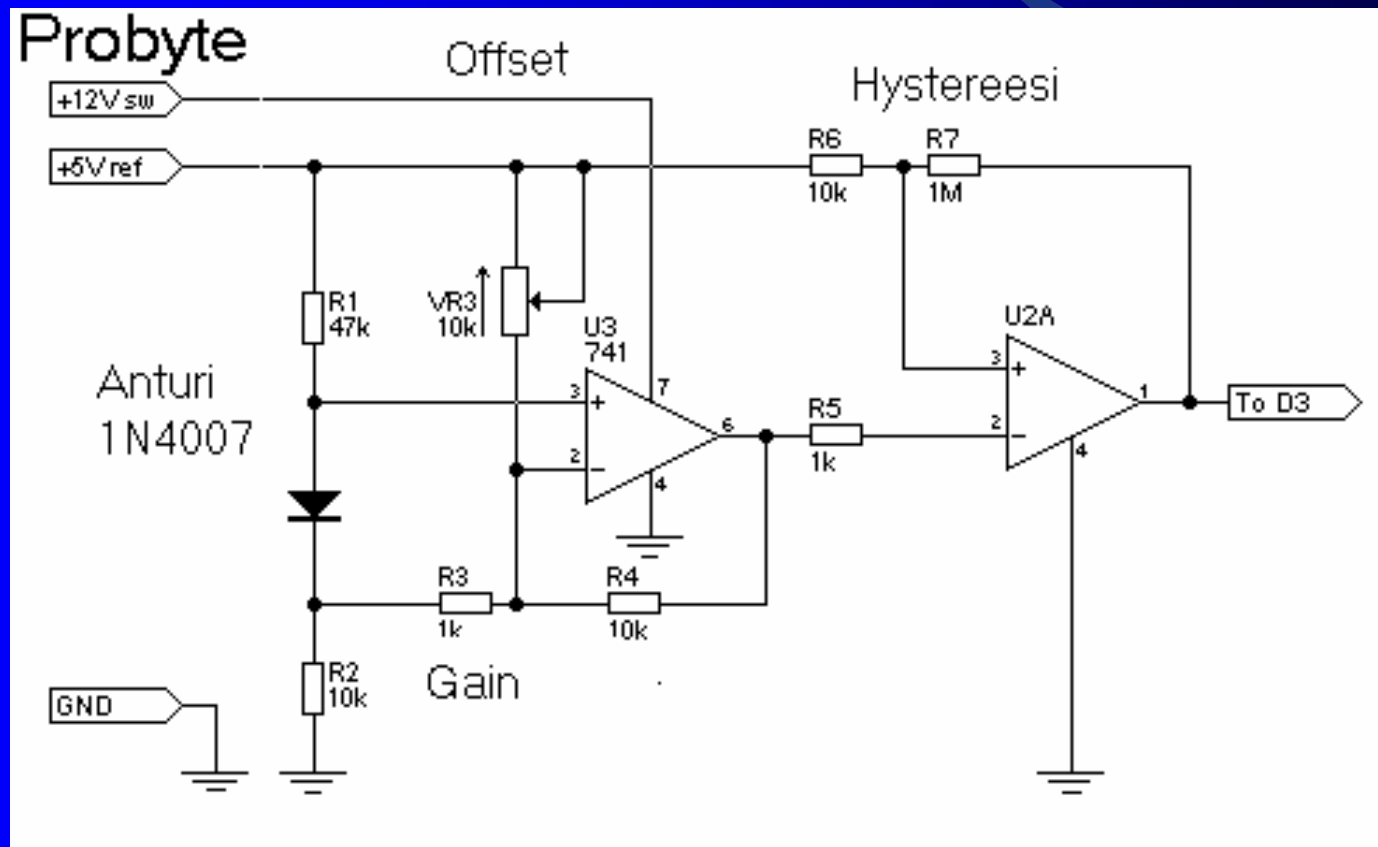


Ohjattava, eristetty strobo

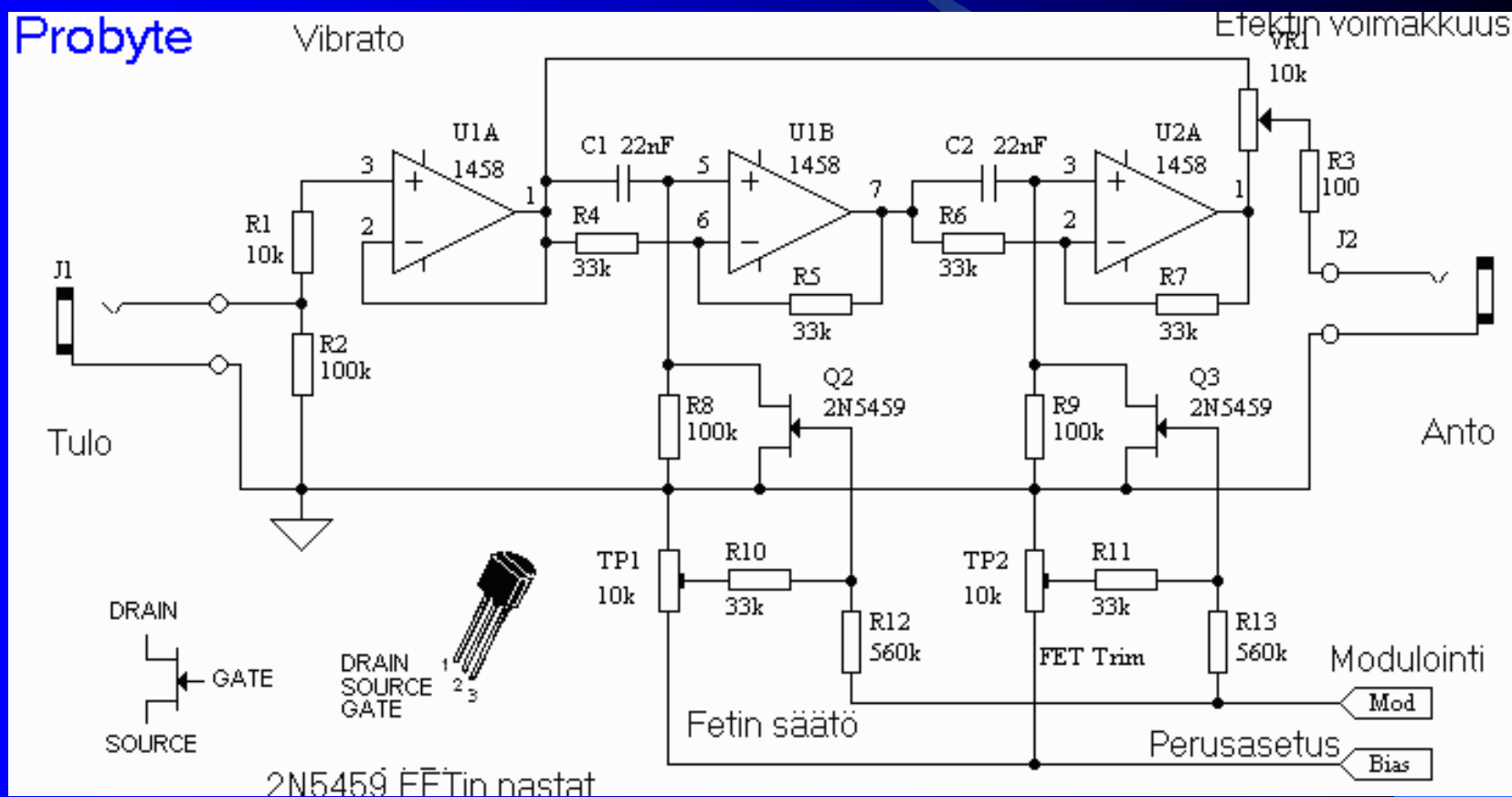
Probyte



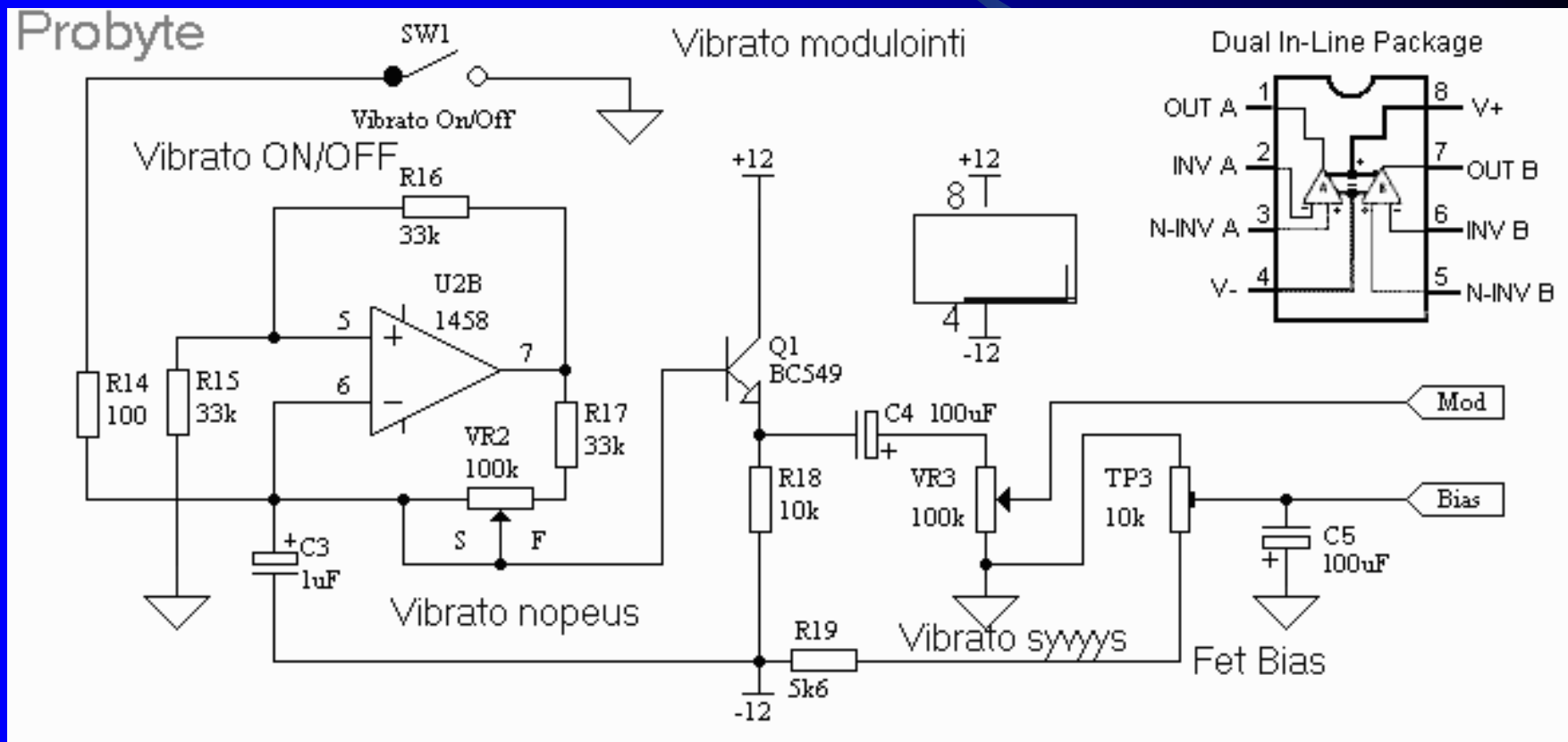
Pääteasteen lämpötilasuojaus



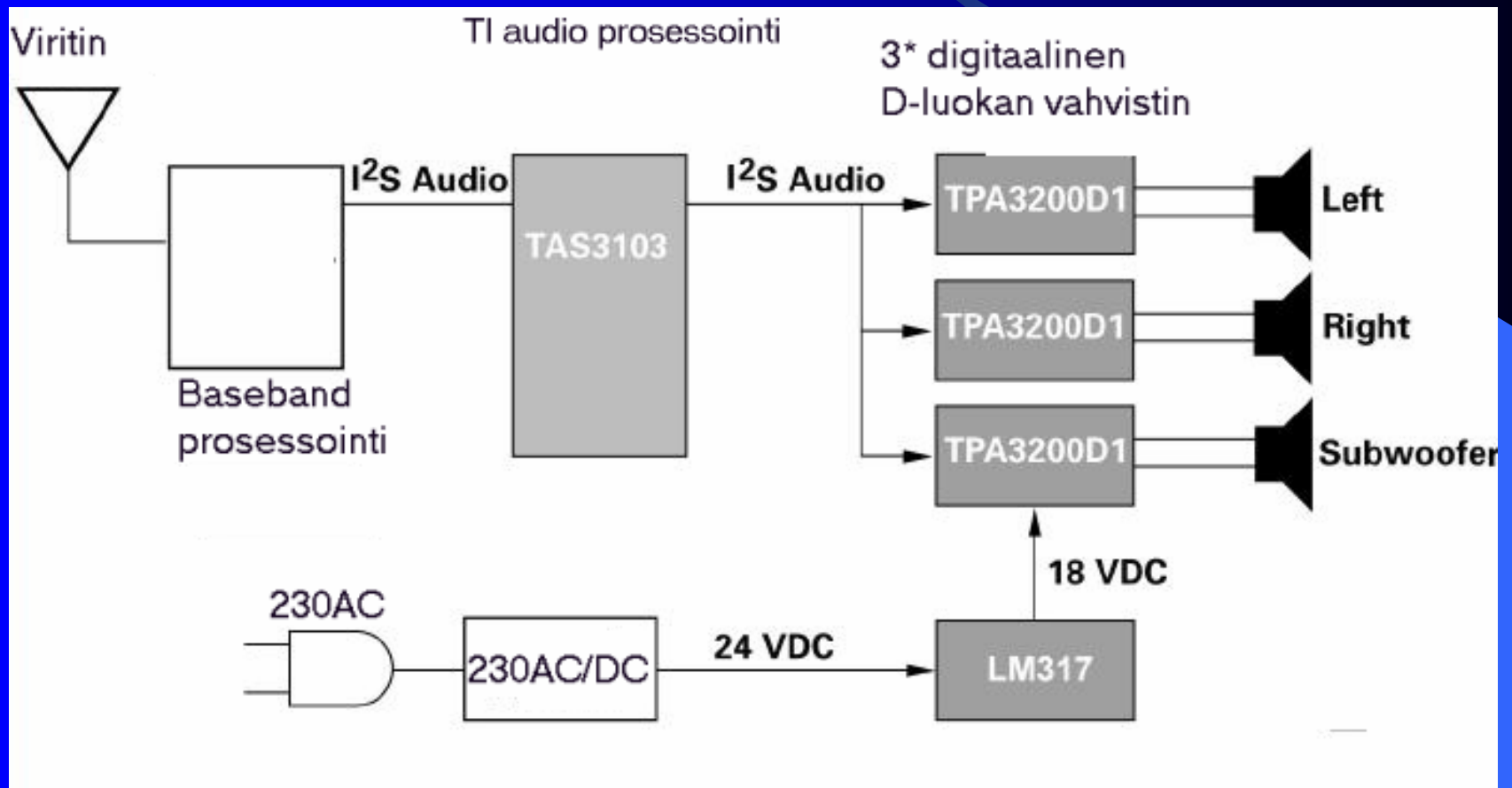
Vibrato



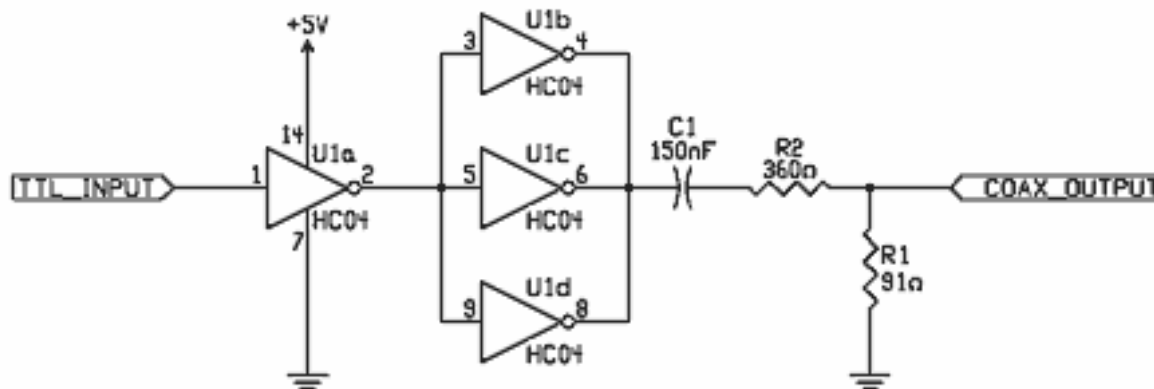
Vibrato modulointi



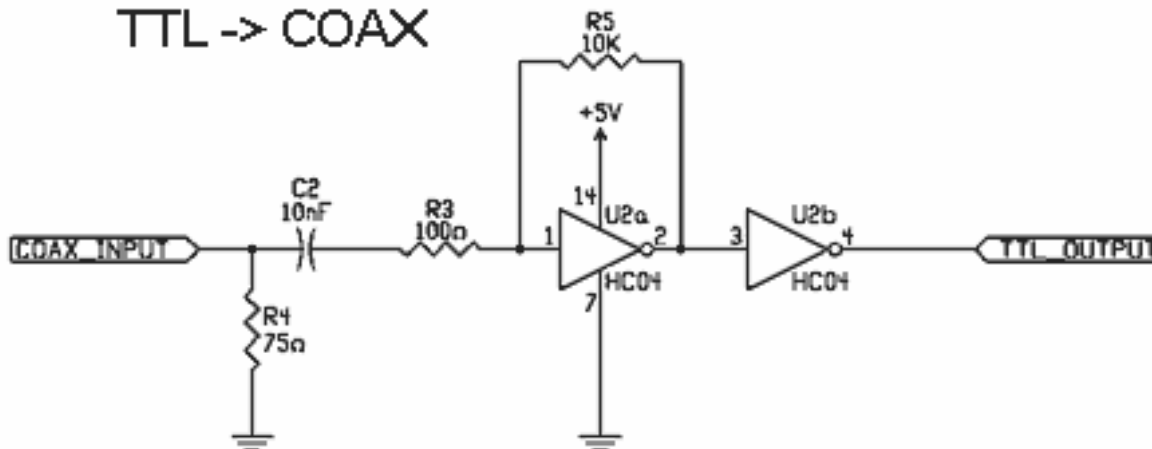
Digitaalinen kotiteatterijärjestelmä



SPDIF koaksiaaliliitäntä



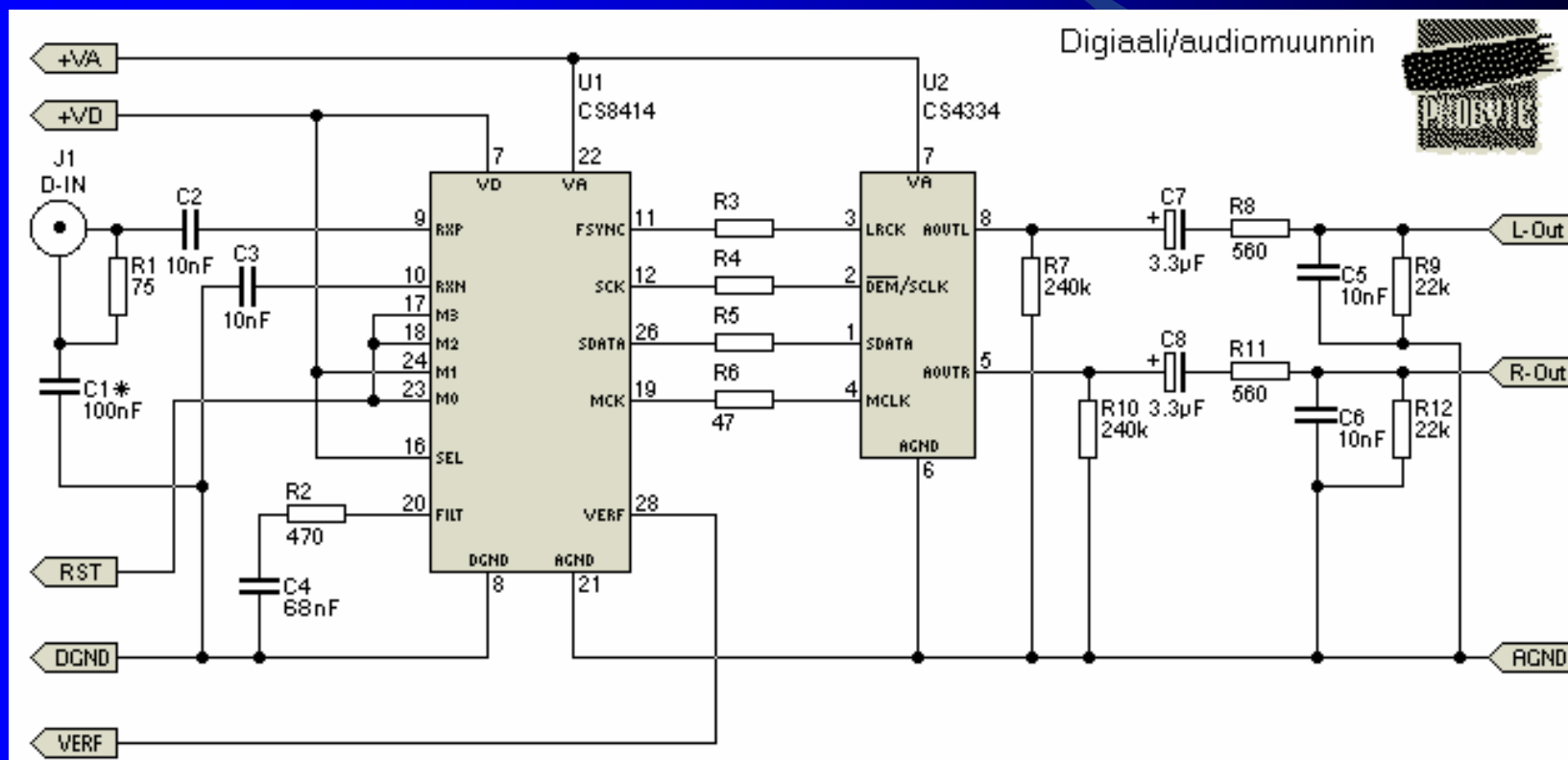
TTL -> COAX

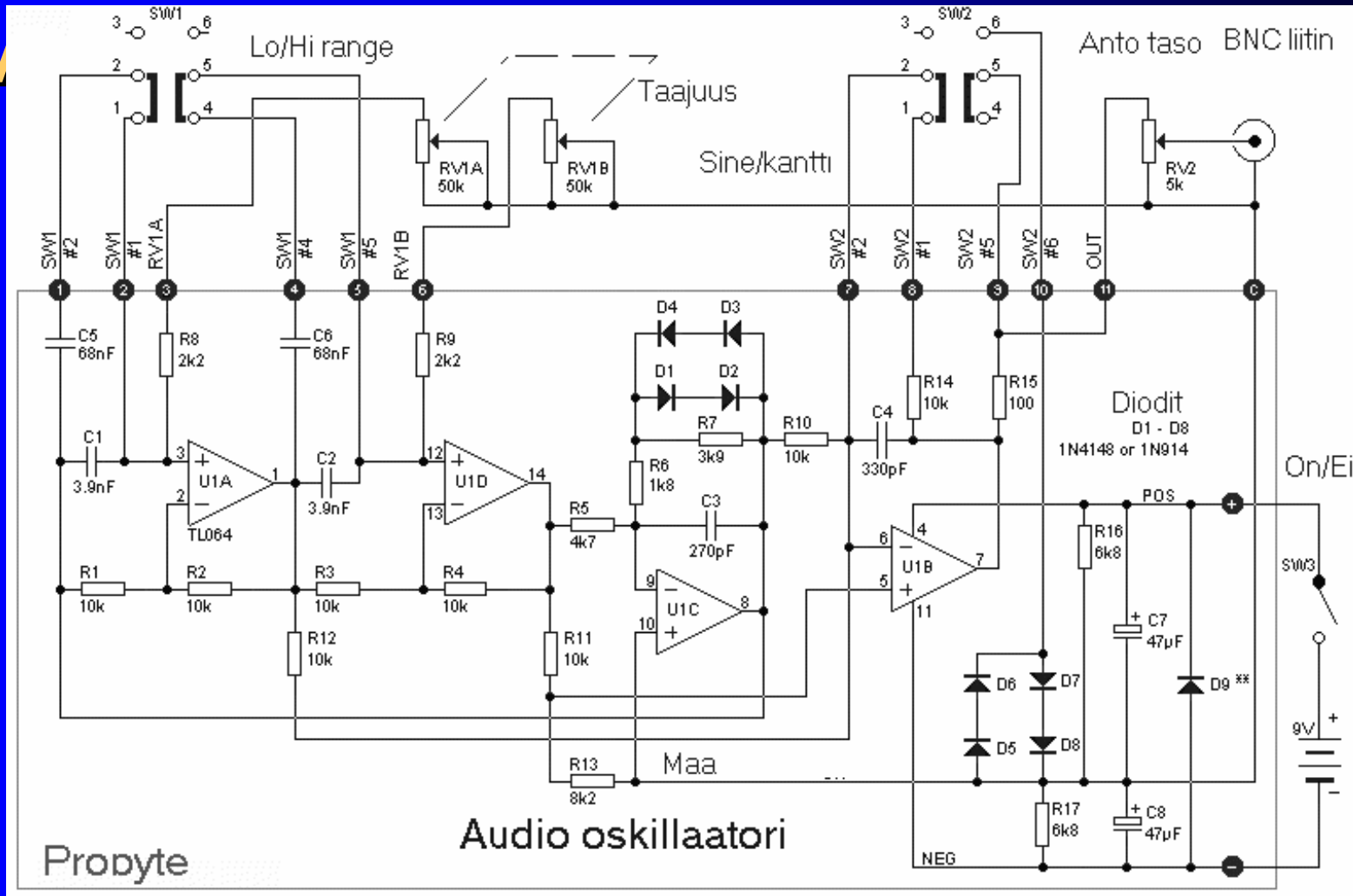


COAX -> TTL

SPDIF-interface

SPDIF- audiomuunnin

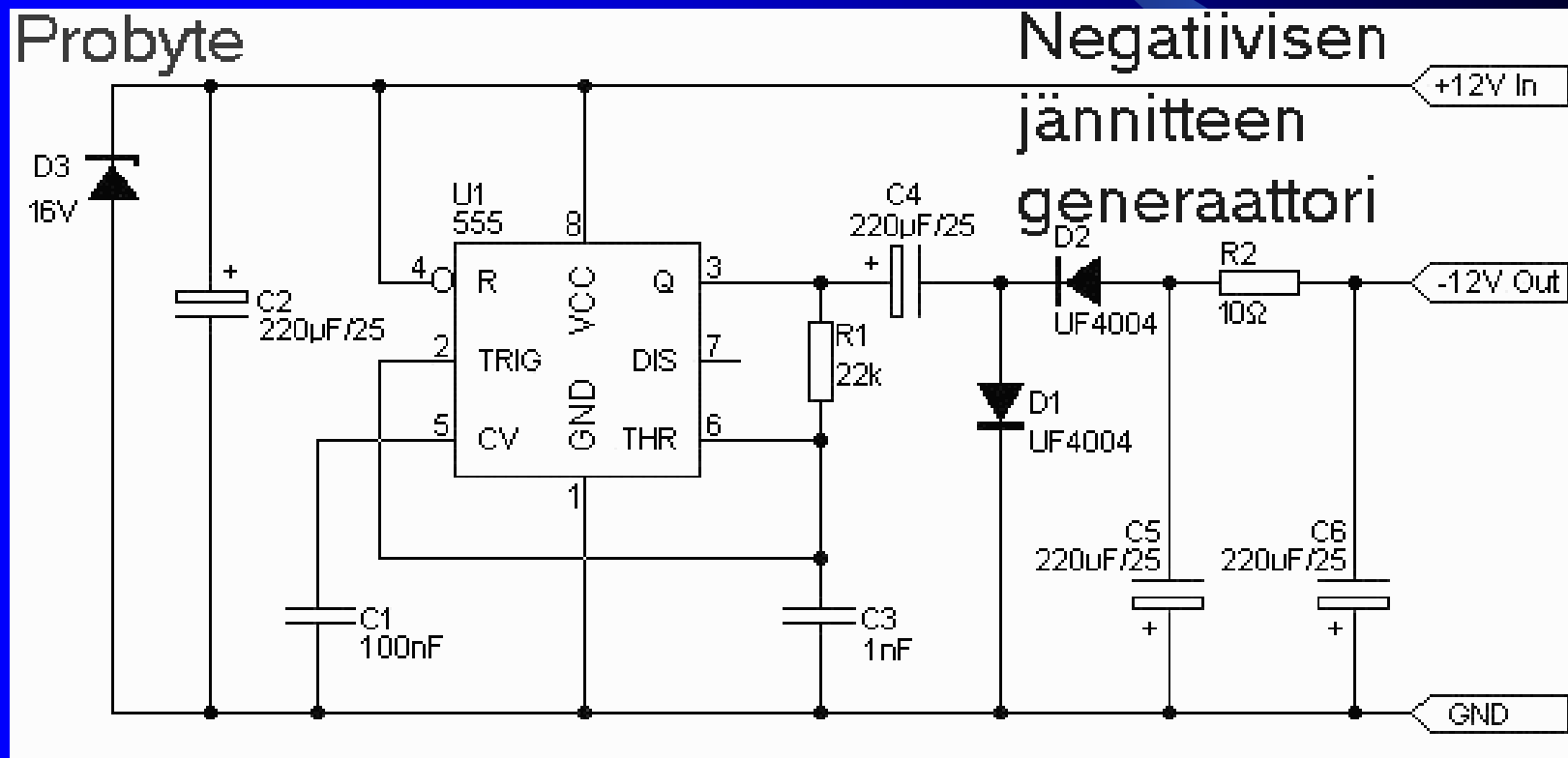




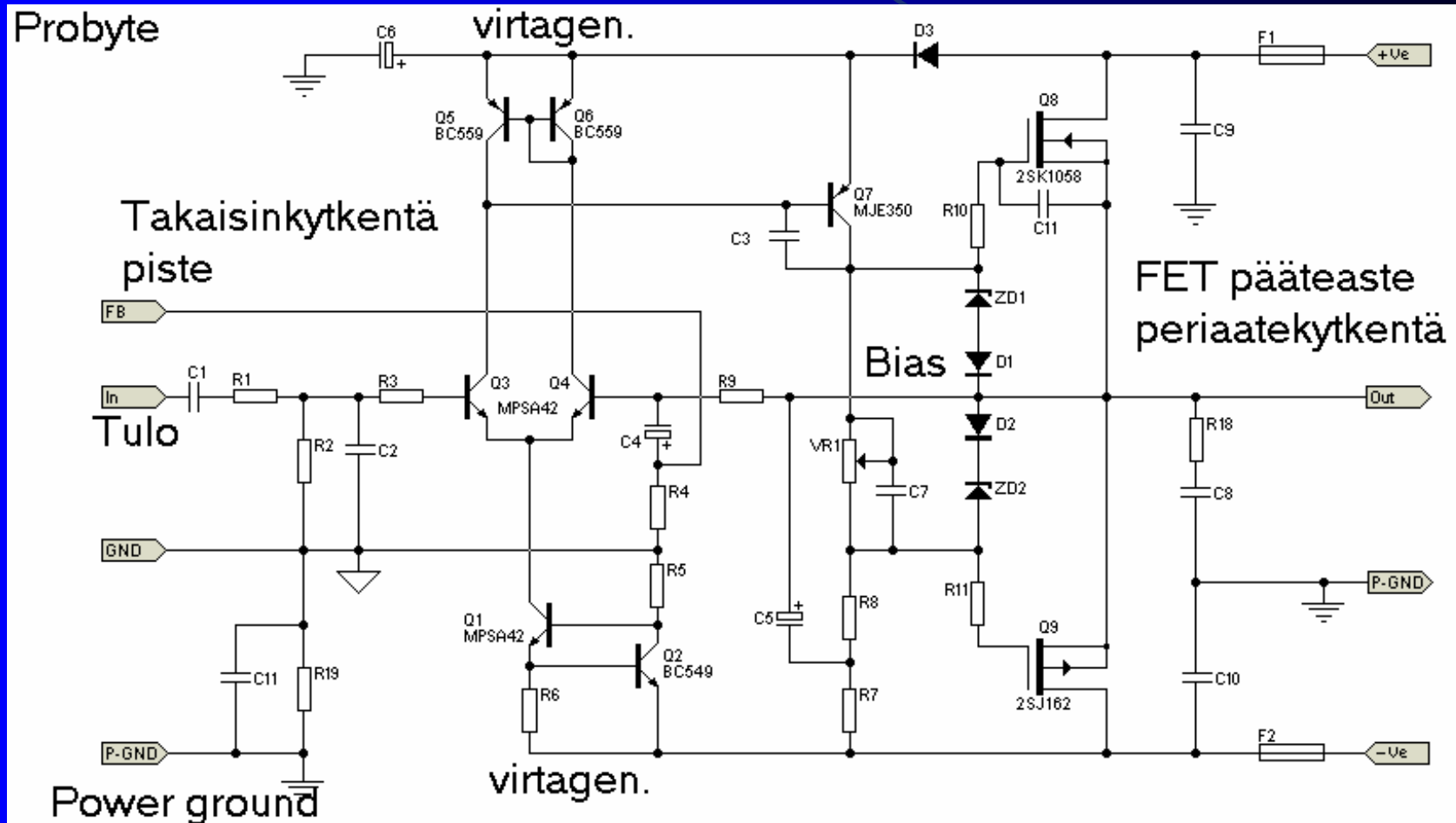
Probyte

Audio oskillaattori

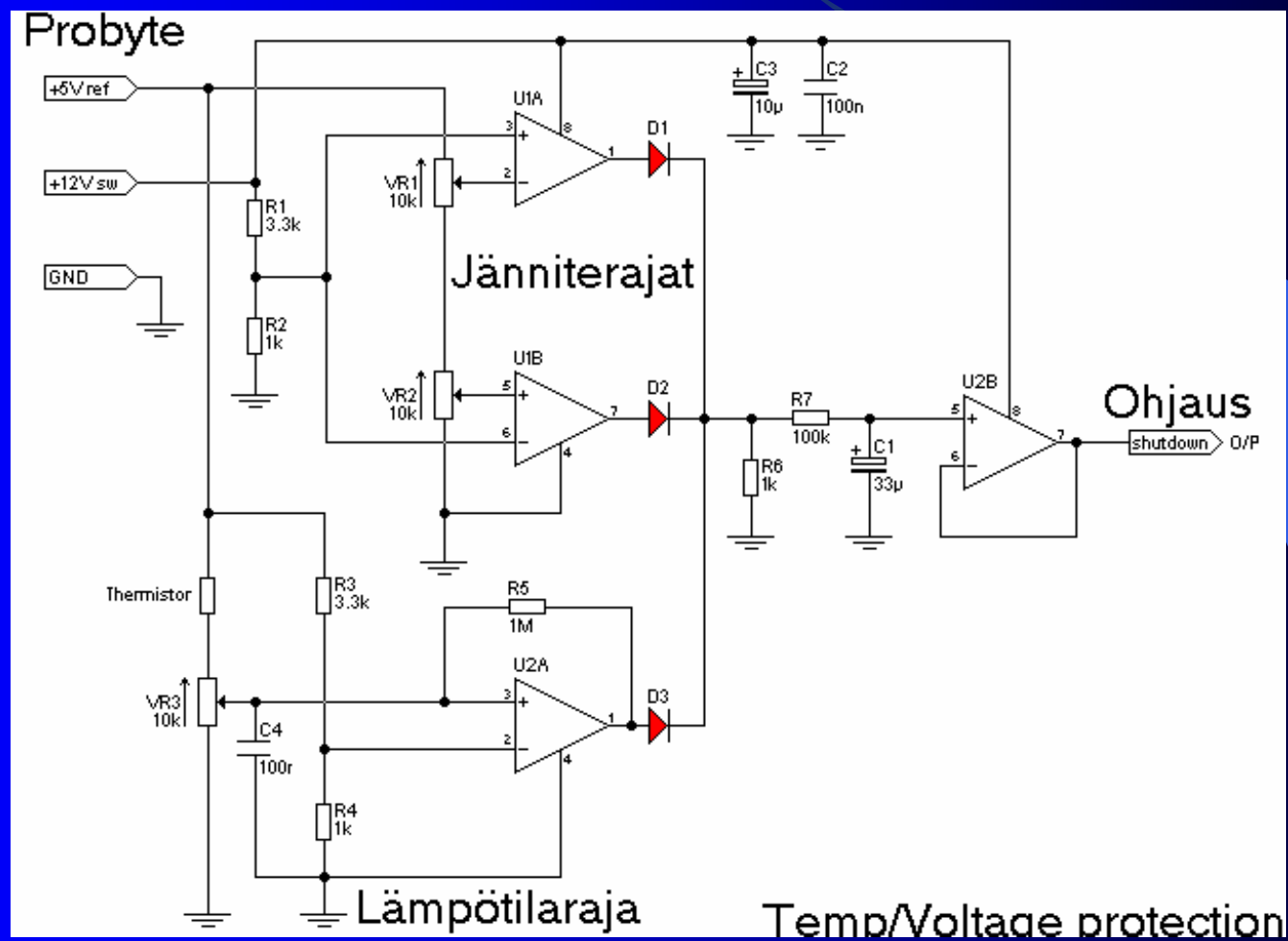
Negatiivisen jännitteen generaattori



Fet audiopääteaste



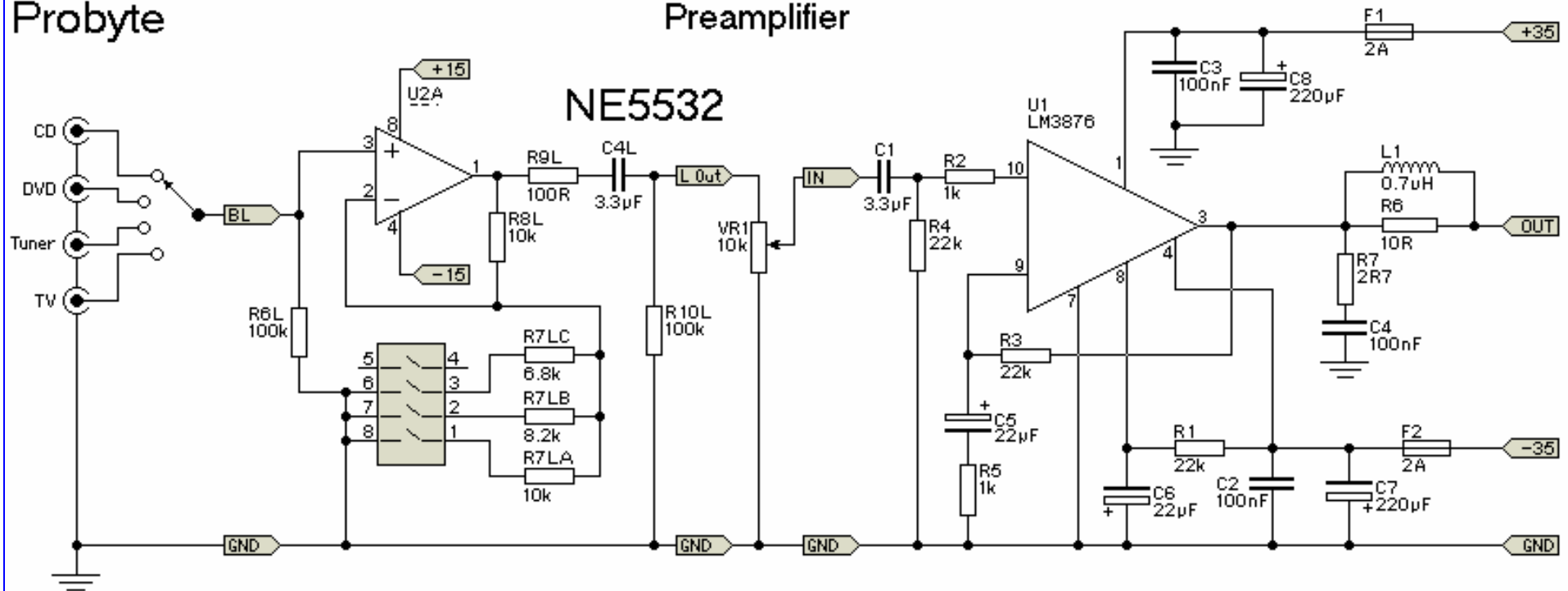
Suojausyksikkö



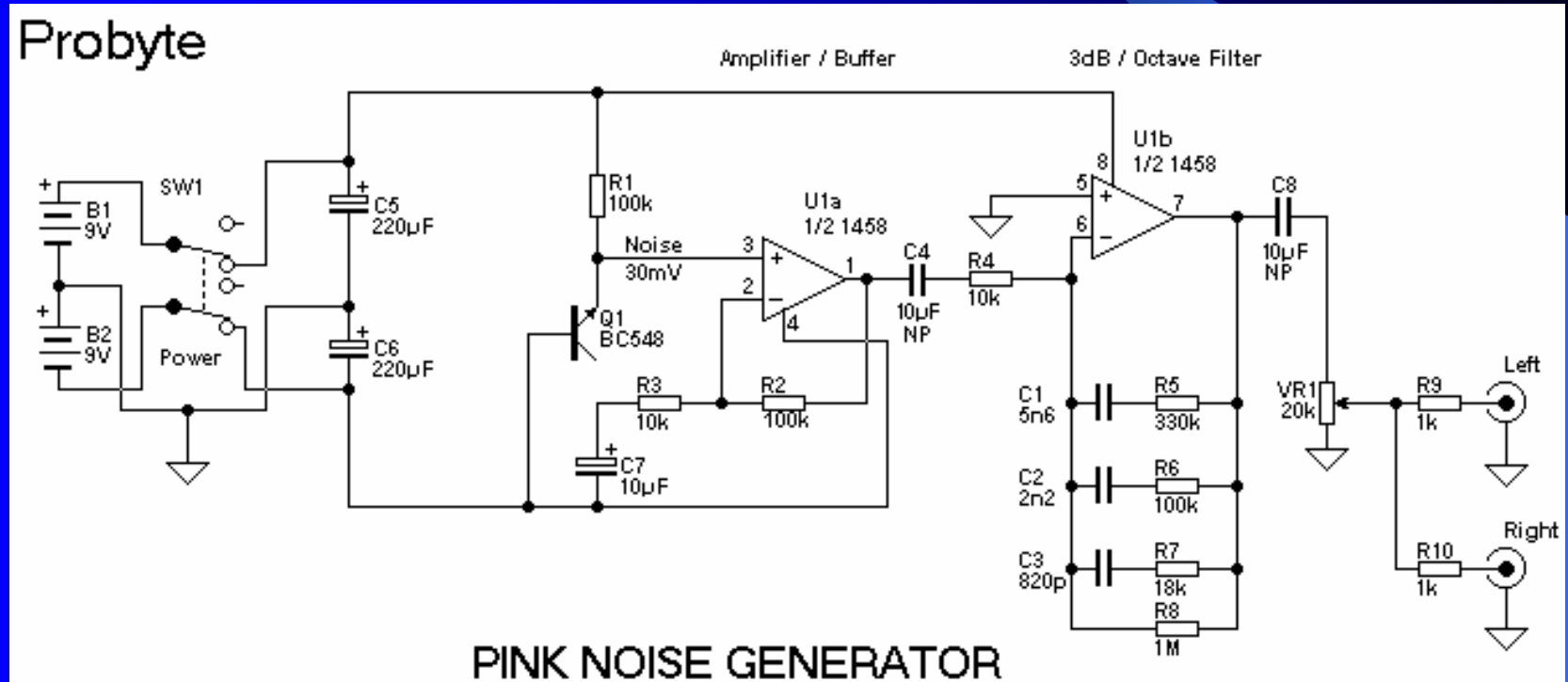
Pienikohinainen esivahvistin

Probyte

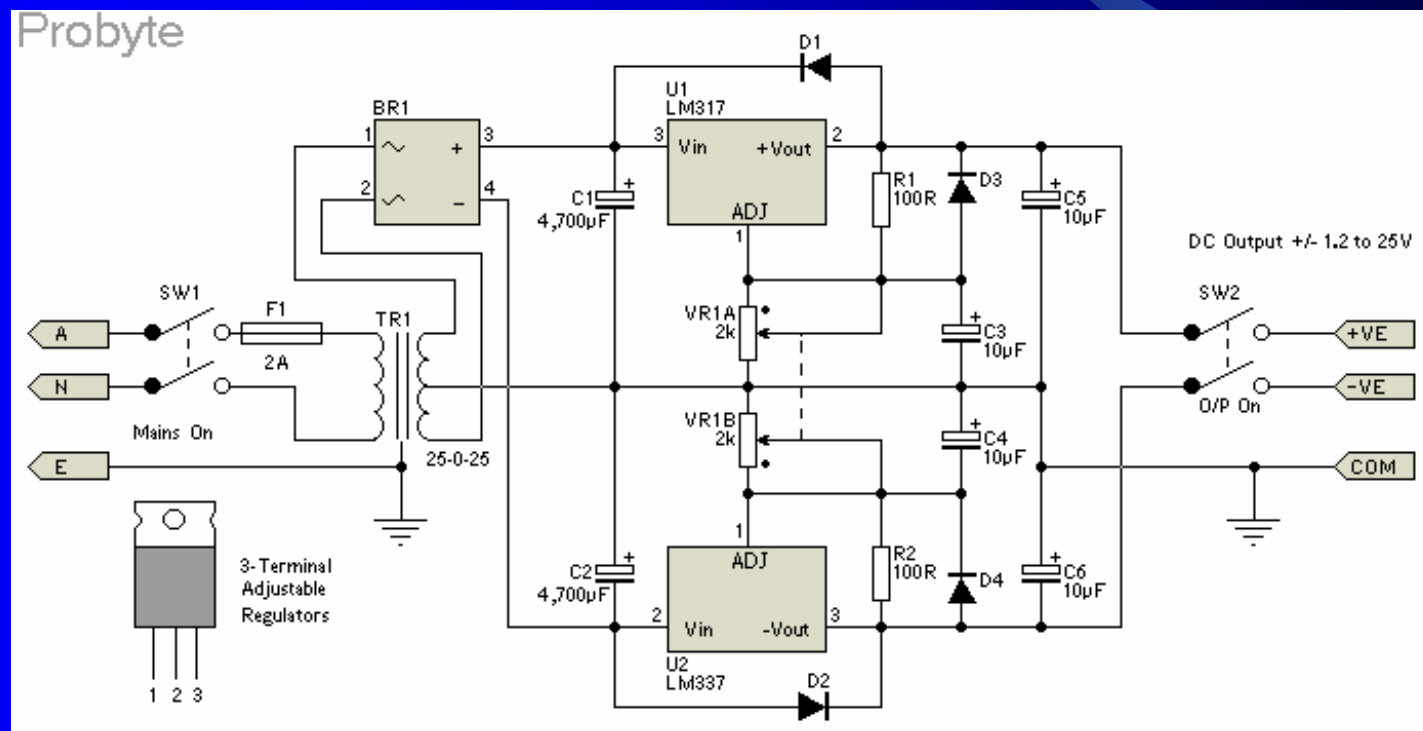
Preamplifier



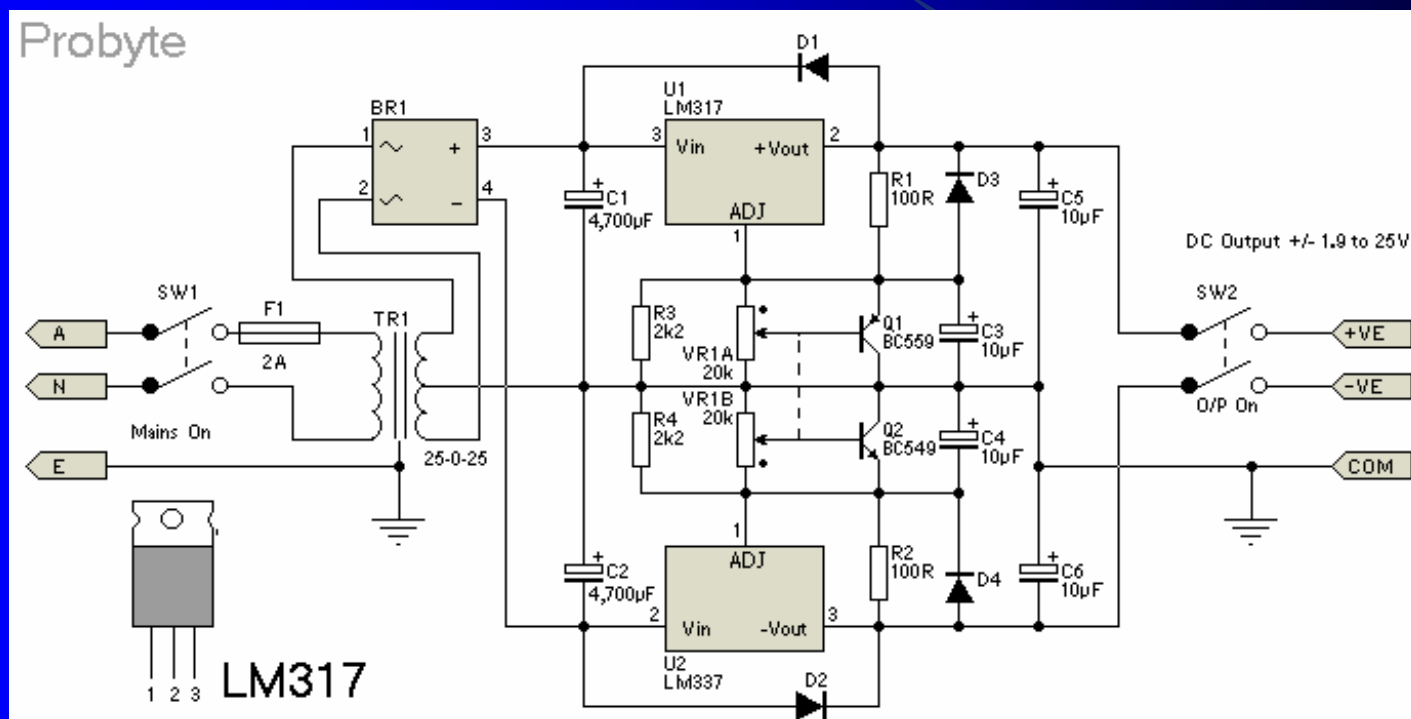
Vaaleanpunainen kohina



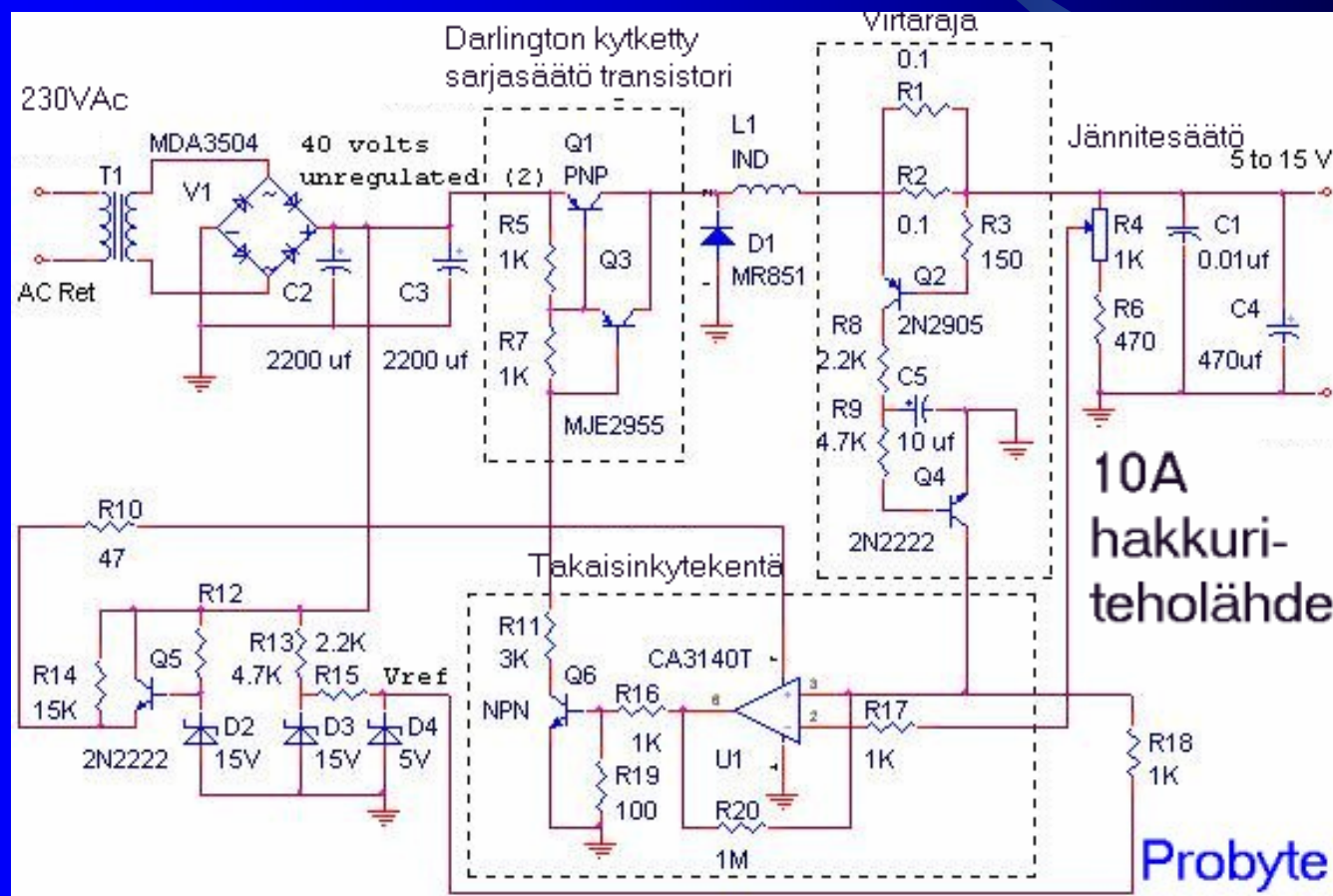
Säädettävä teholähde +/-1.2-25V



Parempi teholähde +/-1.9V-25V



Hakkuriperiaatteella toimiva säädettävä teholähde



Lisätietoja

- DSP kirjat
- Internet
- Digital Signal Processing, E.C.Ifeachor,
B.W.Jervis