

Pienitehoisen hakkurivirtalähteen rakentaminen ja toiminnan tutkiminen

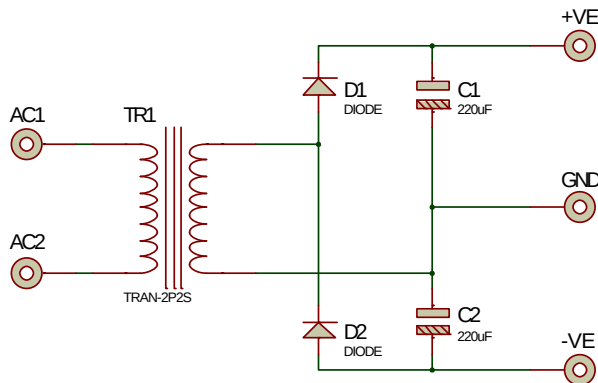
Kari Lavikka / T-Y1D

28. huhtikuuta 2004

Aion rakentaa kevään aikana GhettoBlasterin, eli kannettavan vahvistin ja kaiuttimet -yhdistelmän. Virtaa laite saa 12V moottoripyöräakusta, mutta se ei sovellu sellaisenaan kovin hyvin operaatiovahvistimille, jotka tarvitsevat varsin korkean ja mieluiten kaksipuolisen jännitteen. Sopivan jännitteen muodostamiseksi on lähinnä kaksi tapaa: kondensaattoripumppu ja hakkuuri. Kondensaattoripumpuissa syntyy helposti jännitehäviötä, ja muutenkaan jännitteet eivät ole kovin symmetrisiä. Lisäksi netistä löytyy enemmän mallikytkentöjä hakkurista, joten päätin kokeilla sellaisen rakentamista. Käyttämäni kytkentä löytyy Elliot Sound Products:n sivuilta nimellä Switchmode Preamp Supply For Cars¹. Kytkentäkaavioiden, kuvien ja tekstin kopiointi on kielletty sivuston disclaimerissa, joten en voi sisällyttää niitä tähän. Referoin kytkennän toiminnan kuitenkin lyhyesti.

Rakentaminen onnistui melko helposti, mutta vianhaku vei paljon aikaa. Varsinkin muuntaja oli yllättävän kova haaste erilaisista sydänmateriaaleista johtuen.

¹<http://sound.westhost.com/project69.htm>



Kuva 1: Jännitteentuplauspiiri

1 Kytken­nän esittely

Hakkuri on rakennettu mikropiirin SG3525A² ympärille. Piirillä on mahdollista rakentaa järeitä, reguloituja hakkureita. Käytetty kytkentä perustuu galvaanisesti erotettuun kokosilta-topologiaan (Full-bridge) ja muuntajaa syötetään suoraan ohjainpiiriin sisäisillä transistoreilla. Pulssinleveysmodulaatiota ei käytetä käynnistysvaihetta lukuunottamatta, vaan hakkuri syöttää jatkuvasti kanttiaaltoa 50/50 -suhteella. Minkäänlaista regulointia ei siis ole, vaan antojännite vaihtelee kuormituksen mukaan. Kytkentä on kuitenkin hyvin yksinkertainen, ja ohjainpiiriin lisäksi tarvitaan vain muuntaja, muutama vastus, kondensaattoreita ja tarpeeksi nopeat tasasuuntausdiodit.

Tasasuuntaus suoritetaan jännitteentuplauspiirillä, joten muuntajan toisiopuolelle ei tarvita väliulosottoa. Tämä osaltaan yksinkertaistaa kytkentää, koska kuormitus näkyy muuntajalle aina symmetrisenä. Epäsymmetrinen kuormitus ajaisi magneettivuon ääri­laitaan ja muuntajasydän kyllästyisi. Tästä seuraisia virran holtiton kasvu ja pahimmasa tapauksessa ohjainpiiriin kärehtäminen.

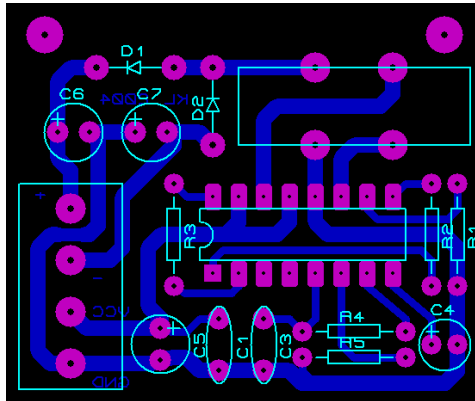
2 Rakentaminen

2.1 Piirilevyn suunnittelu

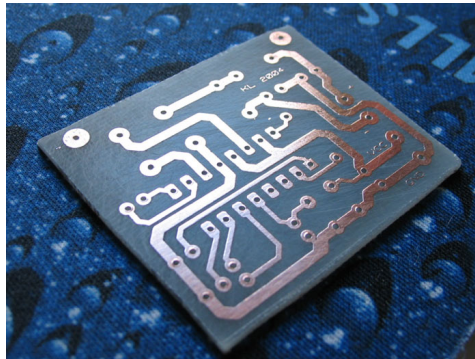
Ohjesivulla ei ollut kytkentäkaavion lisäksi kuvaa piirilevystä, joten jouduin suunnittelemaan sen itse. Käytin apuna Proteus ARES Lite -nimistä ohjelmaa³. Komponenteissa oli melko paljon pyörittelmistä, jotta piirilevystä tulisi mahdollisimman pieni ja vedoista lyhyitä. Automaattireitittäjästä oli jonkin verran apua, mutta osan vedoista jouduin kuitenkin reitittämään käsipelillä.

²SG3525A Datasheet <http://www.st.com/stonline/books/pdf/docs/4286.pdf>

³Proteus Lite <http://www.proteuslite.com>



Kuva 2: Piirilevy suunnitteluohjelmassa



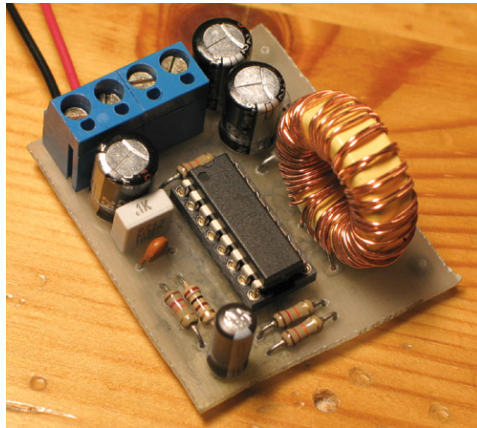
Kuva 3: Valmis piirilevy

2.2 Piirilevyn valmistaminen

Olen tehnyt joitain piirilevyjä valotusmenetelmällä, ja käytin sitä myös tällä kertaa. Tulostin piirilevyn kuparipuolen laser-tulostimella kuultopaperille. Yleensä olen käyttänyt kalvoja, mutta kuulin vihjeen että väri tarttuu kuultopaperiin paremmin. Käytin valmiiksi lakattuja piirilevyjä, joten säästyin melkoiselta hampaidenkiristelyltä. Lakan levittäminen tasaisesti ja sen kuivattaminen uunissa on mielestäni melko työlästä.

Valottamiseen käytin runsaasti UV:ta säteilevää alppiaurinkolamppua. Reilun parin minuutin annos osoittautui sopivaksi. Valotettu levy kehitettiin laimeassa natriumhydroksidiliuoksessa, johon valottunut lakka liukeni. Lämpötilalla tuntui olevan paljon vaikutusta liukenemiseen. Kylmässä liuoksessa ei tuntunut tapahtuvan yhtään mitään.

Kehitetty levy päätyi tämän jälkeen ferrikloridi-liuokseen, johon suojaamaton kupari liukeni. En omista lämmitettyä ja kuplivaa syövytysallasta, joten syöpyminen kesti todel- la kauan. Loppuvaiheessa laitoin liuoksen lämpenemään keittolevylle, jolloin syöpyminen tuntui nopeutuvan reippaasti.



Kuva 4: Osat juotettuna

2.3 Muuntajan tekeminen

En ollut aikaisemmin tehnyt mitään hakkureihin liittyvää, joten olin ns. pallo hukassa muuntajan kanssa. Ohjeissa mainittua muuntajasydäntä ei löytynyt mistään komponenttikaupasta. Kokeilin lopulta pyöritellä muuntajan vanhasta häiriöpoistokelasta saadun toroidin ympärille. Puihinhan se meni, mutta siitä enemmän myöhempanä...

2.4 Osien juottaminen

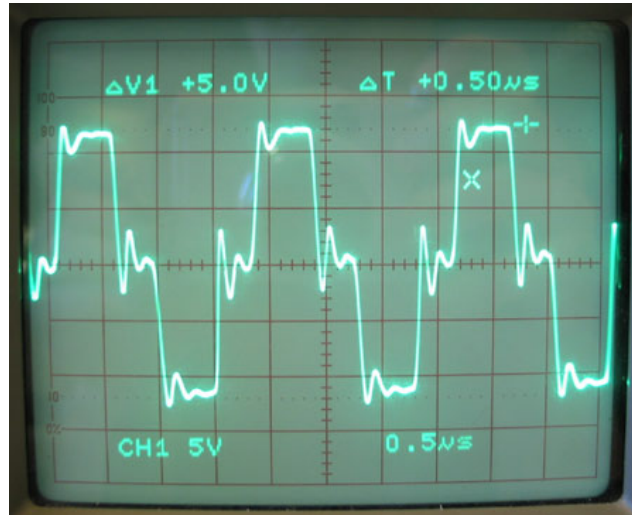
Juottamista olen tehnyt melko paljon, joten tässä vaiheessa ei ollut mitään ihmeellistä. Puhdistin juotospuolen lopuksi vielä hartsin irrottavalla puhdistusaineella, jolloin tuloksesta tuli hivenen siistimpi.

3 Toiminnan tutkiminen

Valmista laitetta täytyi päästä tietysti heti kokeilemaan. Kytin laitteen virtalähteeseen ja nostin jännitteen 8V tuntumaan. Muuntajan toisiopuolella, tasasuuntausdioiden ja suotokondensaattoreiden perässä olevissa liitännöissä tuntui olevan jännitettä kuten pitäisikin. Hakkurissa oleva mikropiiri kuitenkin kuumeni todella kuumaksi. 12V jännitteellä laite haukkasi tyhjäkäynnillä lähes 200mA virtaa ja kuumeni niin että piiriä ei voinut edes hipaista.

3.1 Ongelmia muuntajan kanssa

Mahdollisia syitä huonoon toimivuuteen tuli mieleen heti kaksi kappaletta: Muuntajassa on jotain vikaa, tai sitten miljoonalaatikosta ottamani 1nF kondensaattori on oikeasti jotain muuta kuin 1nF. Päätin käydä tutkimassa laitetta koulun elektroniikan labrassa tarkemman diagnoosin suorittamiseksi. Muuntajan ensiön induktanssin olisi tullut olla



Kuva 5: Jännite muuntajan toisiopuolelta, tasasuuntausdioidien välistä. Taajuus 10x liian korkea.

ohjeen mukaan luokkaa 2-3mH. Induktanssimittari kertoi induktanssin olevan kuitenkin jossain $40\mu H$ tuntumassa. Tässä vaiheessa opin miten suuri merkitys muuntajasydämen materiaalilla on induktanssiin ja mikä on magneettikentän vahvistuksesta kertova A_L -arvo. Kelan induktanssi lasketaan seuraavalla kaavalla, jossa n on kierrosten lukumäärä:

$$L = A_L * n^2$$

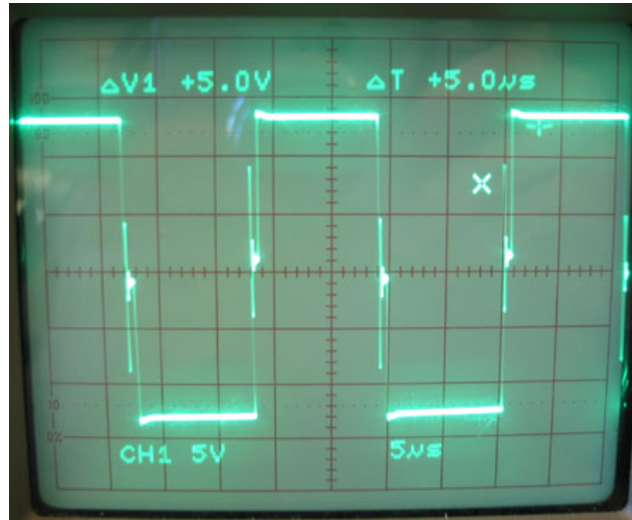
Sydämen materiaali paljastui rautajauheeksi, jonka A_L -arvo on hyvin pieni: 55nH. Toroidin ympärille olisi pitänyt sopivan induktanssin saavuttamiseksi käämiä yli 200 kierrosta lankaa. Tähän vielä toisiopuoli niin kyllä olisi ollut melkoinen munkki kasassa.

Ankaran metsästyksen jälkeen sain käsiini ferriittirenkaan, jonka A_L -arvo oli laskelmieni mukaan todella paljon suurempi: 1400nH. Ensio puolelle tuli 46 kierrosta ja toisiopuolelle 60. Tällöin suhteeksi tuli noin 1:1.3 ja ensiön induktanssiksi noin 3mH.

3.2 Väärä toimintataajuus

Uusi muuntaja paransi tilannetta jonkin verran. 10mA kuormituksella ja 9V käyttöjännitteellä hakkuri näytti toimivan, mutta hyötysuhde oli todella keho. Nostin jännitettä 12 volttiin, mutta jo tyhjäkäynnillä virrankulutus oli jälleen 200mA ja piiri kuumeni todella paljon. Tässä vaiheessa päätin tutkia toimintaa tarkemmin oskilloskoopilla.

Yksi ruutu on 0,5ms ja jaksonaika noin 3,7 ruutua. Hakkurin toimintataajuus on siis jaksonajan käänteisluku: $1/(3,7 * 0,5s * 10^{-6})$ eli 540kHz. Elliotin ohjeteksteissä laitteen kerrottiin toimivan noin 50kHz taajuudella, mutta oman yksilöni taajuus on siis yli kymmenkertainen! Taajuuden määräävä kondensaattori C3 on siis väärän kokoinen. Vaihdettuani tilalle kondensaattorin, jonka arvo oli varmasti 1nF, alkoi hakkuri toimia kunnolla ja taajuus asettui noin 55kHz kohdille.



Kuva 6: Kuormitettu hakkuri 55KHz taajuudella

3.3 Hyötysuhde

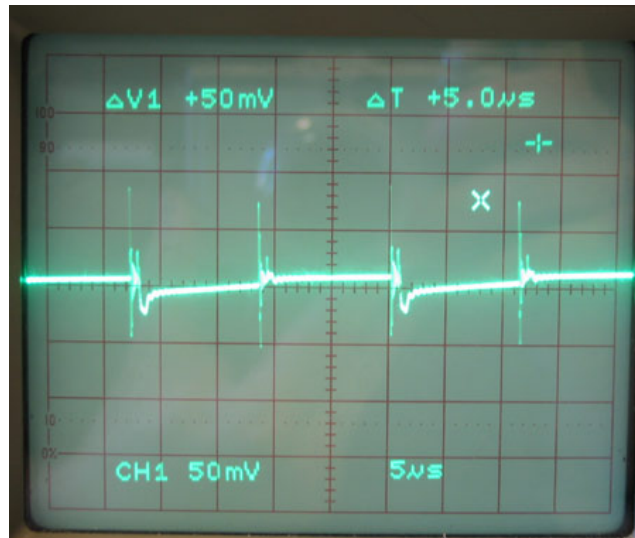
Kokeilin hakkuria erilaisilla kuormilla ja jännitteillä. Elliotin ohjeissa maksimivirraksi suositellaan 45mA ja hyötysuhteeksi luvataan noin 60%. Oma yksilöni pääsi lopulta melko lähelle tätä. Vajaan watin hukkaaminen tulevassa 140W Ghetoblasterissa ei kuitenkaan merkitse käytännössä mitään.

3.4 Rippeli

Hakkurissa on tällä hetkellä suodatuksena vain 2kpl 220μF elkoja, joten sillä on turha kuvitellakaan syöttävänsä jännitettä opareille. Keloilla, toisella elkoparilla ja keraamisilla

Taulukko 1: Mittaustulokset

Sisään			Ulos				
U / V	I / mA	P / mW	U / V	I / mA	R / Ω	P / mW	Hyötysuhde
12,3	27,8	342	33	0	Ääretön	0	0
12,3	45,1	556	24,8	11,0	2200	273	0,49
12,3	77,4	952	23,8	24,0	1000	566	0,59
12,3	128	1570	20,8	41,5	500	863	0,55
9,0	92,0	828	14,8	29,5	500	437	0,53
14,0	141	1970	23,6	46,9	500	1110	0,56



Kuva 7: Rippeli kuormitetussa lähdössä

kondensaattoreilla suodatettuna rippelin pitäisi kuitenkin laskea kelvolliselle tasolle.

4 Yhteenveto

Rakentamani hakkuri tuntuu soveltuvan GhettoBlasterin esivahvistimen virtalähteeksi. Vajaa watin teho ei ole mitenkään päätähuimaava, mutta yksi TL072-opari ottaa noin 2,5mA virtaa. 16 oparilla saa tehtyä jo melko monipuolisen esivahvistimen.

Hakkuria tutkiessani tutustuin myös paremmin elektroniikan labrasta löytyvään induktanssimittariin ja oskilloskooppiin. Lisäksi opin käytännön kautta, että myös fysiikan kursseilla opetetavista aiheista voisi olla hyötyä elektroniikassa.