

Univerza v Ljubljani
Fakulteta za elektrotehniko

Borut Kastelic

Močnostni audio ojačevalnik za v avto

Seminarska naloga

pri predmetu
Elektronska vezja

V Ljubljani, maj 2005

1 UVOD

1.1 ZAKAJ SAMOGRADNJA

Če povem po pravici še sam ne vem. Mogoče je za to krivo veselje do ojačevalnikov, ki izvira še iz mladih dni (s tem bi se najbrž mnogi strinjali), mogoče veselje do stikalnih napajalnikov. Mogoče pa kar oboje. Že dolgo tega sem si rekel, da bi rad naredil avto ojačevalnik, ki bi dejansko »dal od sebe to, kar piše«. Kot sem opazil, mnogo proizvajalcev rado napiše bajne številke, ko se govori o moči ojačevalnika, ko pa se zadevo posluša pa nekako ni to tisto pravo. In tako sem »odprl« tovarniški ojačevalec srednjega razreda in na moje presenečenje odkril, da je za začetek že napajanje ojačevalne stopnje prenizko, da bi lahko kaj resnega »prišlo ven«. Torej je bila ideja o izdelavi domačega ojačevalnika ravno pravšnja. Pa tudi moje znanje o stikalnih napajalnikih je bilo potrebno stestirati in tako je nastala ta seminarska naloga.

1.2 KRATEK OPIS VEZJA

Vezje je sestavljeno iz – grobo gledano – dveh delov:

- napajalni del – stikalni usmernik ter
- ojačevalni del.

Stikalni usmernik poskrbi, da ima ojačevalni del zadosti visoko napajalno napetost. Za ojačevalni del sem uporabil Philips-ov TDA7294, katerega izhodna moč naj bi dosegala 100W na 4Ω bremenu pri napajalni napetosti ±40V. Vendar, kot bomo videli kasneje, je ta moč bolj na papirju kot v realnosti – moč že je, samo popačenja izhodnega signala pri tej moči niso spejmeljiva. Kaj več o samem vezju na tem mestu ne bi pisal ampak bomo to naredili v naslednjem poglavju. Odločil sem se, da naj bi imel en kanal izhodno moč 40W pri 4E bremenu. Za to potrebujemo napajalno napetost vsaj ±26V vendar sem se odločil, da bom uporabil raje malenkost višjo in bom imel tako še nekaj rezerve. Vsak ojačevalec deluje bolje, če ga ne uporabljamo pri njegovi najvišji moči. Pri tej moči naj bi imel ojačevalec dokaj majhna popačenja in sicer THD naj bi bil manjši od 0,5%, kar je pa kar solidno za uporabo v avtu, kjer je še toliko

drugih motečih dejavnikov. Vendar naj bi z malenkst večjo napajalno napetostjo dosegel še manjši THD od napisanega.

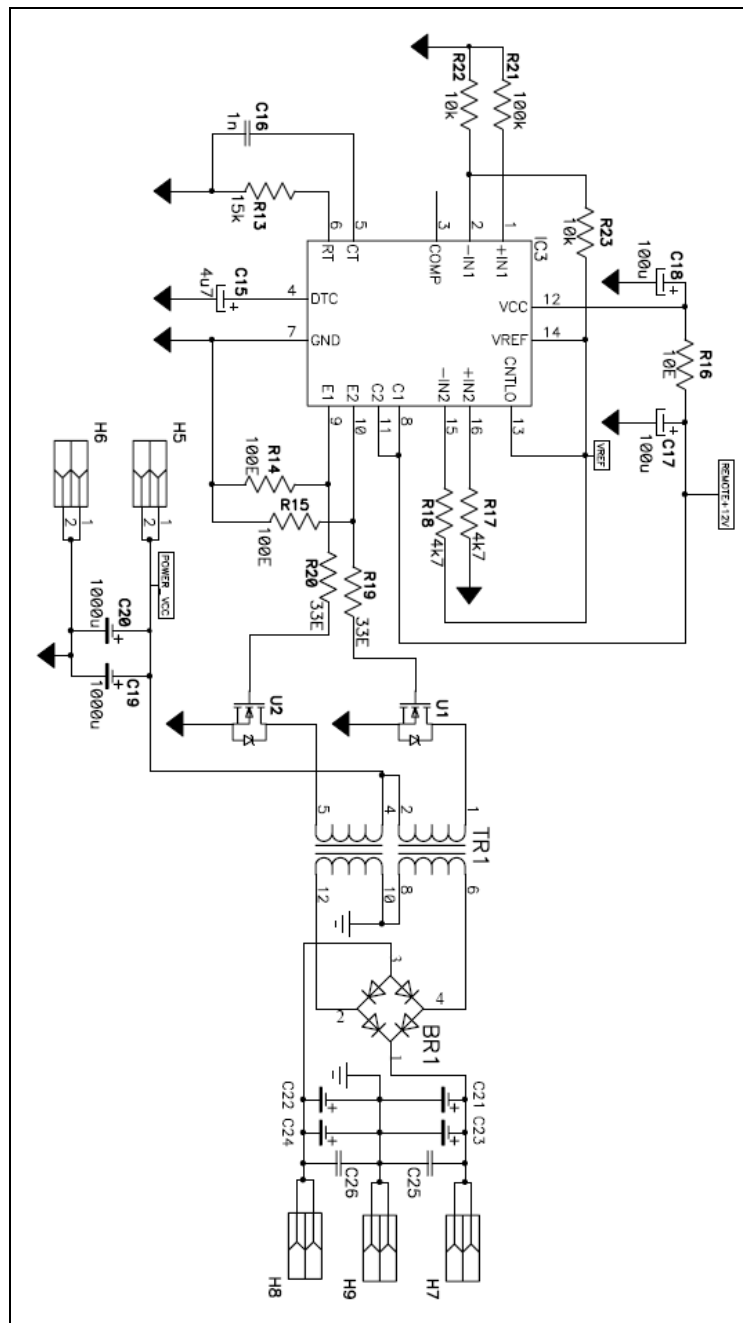
2 OPIS VEZJA TER PODSKLOPOV VEZJA S SHEMAMI

2.1 STIKALNI NAPAVALNIK

Naloga stikalnega napajalnika je pretvoriti napetost akumulatorja, ki je 12V, v napetost, ki bo primerna za napajanje ojačevalnika. Slika 1 prikazuje shemo stikalnega napajalnika. Napajalnik je BOOST pretvornik, kar pomeni, da vhodno napetost pretvori na višjo izhodno napetost. Je tipa PUSH-PULL, kar se vidi iz načina vezave stikalnega transformatorja in tranzistorjev U1 ter U2. Integrirano vezje UC494 skrbi za tvorbo signalov, ki krmilijo močnostna tranzistorja. V našem primeru imamo zaradi lažje realizacije vezja kar fiksno določeno širino impulza, in ta je 50%. Frekvenco notranjega oscilatorja vezja UC494 določata elementa R13 ter C16 po spodnji enačbi:

$$f = \frac{1.1}{R13 * C16}.$$

Vendar pa, ker napajalnik deluje v načinu PUSH-PULL je frekvenca, pri kateri deluje izhodni transformator polovica frekvence oscilatorja. Frekvenca oscilatorja je v našem primeru 73kHz, torej je frekvenca transformatorja približno 36kHz. Zakaj približno 36kHz? Ja, ker že tolerance uporov in kondenzatorjev ne omogočajo nastavitve tako natančne frekvence. Lahko bi uporabili kakšno metodo za natančnejšo nastavitvev frekvence vendar bi vse to podražilo in zakompliciralo celo vezje, prav tako kot sem zakompliciral tale stavek s pisanjem o tem. Kot sem napisal malo prej potrebujemo vsaj $\pm 26V$ za napajanje ojačevalnika. Vendar sem se odločil, da bom naredil napajalnik, ki bo imel izhodno napetost $\pm 33V$ pri vhodni napetost $V_{bat}=12V$ – V_{bat} je nazivna napetost akumulatorja v avtomobilu.

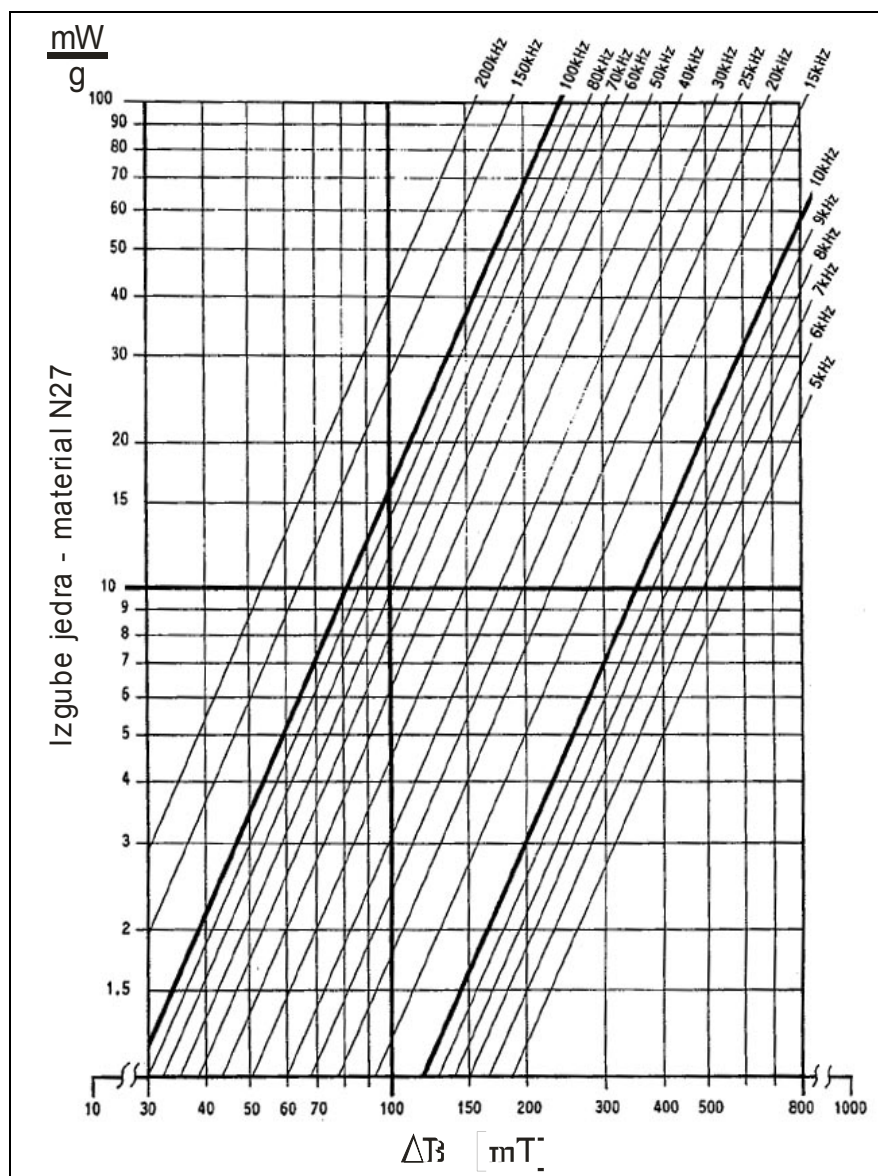


Slika 1: Shema stikalnega napajalnika

Sam izračun transformatorja je zelo enostaven, ker so enačbe za izračun ovojev izpeljane in lepo pripravljene za uporabo. Poleg tega bomo transformator izračunali za moč 160W. Ker sem imel jedro že določeno (to pa zato, ker sem imel ravno tega doma in sem se odločil, da ne bom kupoval novega) je izračun sledeč:

- računanje ovojev transformatorja:
na voljo sem imel jedro EC 41 19 12, ki ima efektivni presek jedra $A_e=121\text{mm}^2$, volumen jedra $V_e=1,08\text{ cm}^3$

ter maso jedra $M=52\text{g}$. In začnimo: najprej bomo določili optimalni ΔB , ki ga lahko uporabimo glede na izgube v jedru. To ga dobimo iz poznanih izgub v celotnem transformatorju, ki jih izračunamo s pomočjo podatka za R_{th} jedra ter dovoljeno temperaturo jedra pri določeni temperaturi okolice.



Slika 2: Nomogram izgube jedra proti gostoti mag. pretoka

$\Delta T = 40^\circ\text{C}$; dovolimo porast temperature za 40°C pri $T_a = 55^\circ\text{C}$

$$P_{i.d.} = \frac{\Delta T}{R_{th}} = \frac{40^\circ\text{C}}{15,5^\circ\text{C/W}} = 2,58\text{W}; \text{ celotne izgube transformatorja}$$

izgube jedra $P_C \leq 50\%P_{i.d.} = 1,29\text{W}$; da dosežemo kompromis

Izračunamo še izgube jedra na gram teže jedra:

$$P_M = \frac{P_C}{M} = \frac{1,29W}{52g} = 24,8mW/g$$

Iz slike 2 sedaj odčitamo pri frekvenci 40kHz $\Delta B=240mT$.

S tem lahko sedaj določimo primarne ovoje:

$$N_p = \frac{V \cdot t_{ON}}{\Delta B \cdot A_e} = \frac{12V \cdot 12\mu s}{0,24T \cdot 121mm^2} = 5,17ovojev$$

Ker ne moremo imeti za število ovojev decimalno število zaokrožimo število ovojev na 5. To nam edino prinese rahlo večji B v jedru. Sekundarne ovoje določimo preko enačbe:

$$\text{določimo število ovojev na 1 volt napetosti} - NV = \frac{12V}{5ovojev} = 2,4V/ovoj$$

od tukaj je pot do sekundarnih ovojev zelo hitra:

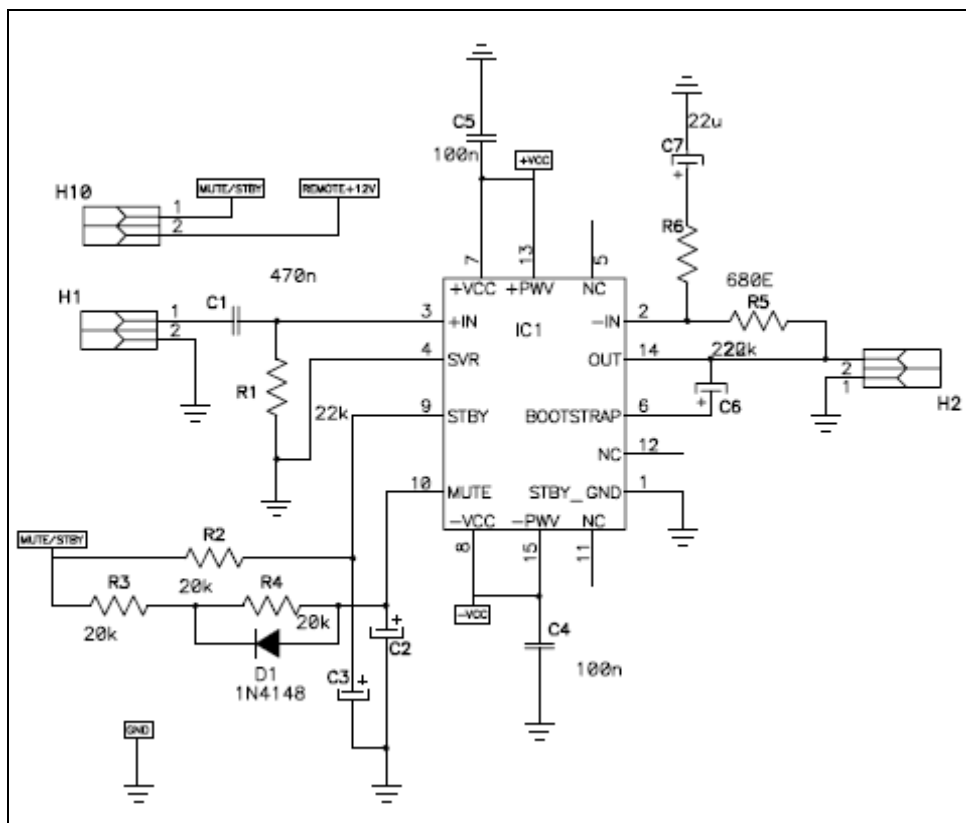
$$N_s = \frac{V_0}{NV} = \frac{34V}{2,4V/ovoj} = 14,16ovojev$$

Tudi tukaj zaokrožimo število ovojev na 14, kar pa pomeni rahlo manjšo napetost na izhodu. 34V smo pa vzeli zato, da smo upoštevali še izgube na usmerniških diodah. In tako je določen transformator.

- za tranzistorje sem izbral IRF540, ki prenesejo $I_d=33A$, napetost 100V ter imajo $R_{ds(on)}=44m\Omega$.
- za izhodne diode sem izbral hitre preklopne diode MUR460, ki prenesejo po 4A in 600V reverzne napetosti.
- gladilni kondenzatorji $C_{21}-C_{24}$ so rahlo boljše kvalitete, in sicer imajo manjšo serijsko upornost.
- z upori $R_{21} - R_{23}$ ter R_{17} in R_{18} določimo, da ima vezje UC494 konstantno širino impulzev in sicer 50% periode.
- ostali elementi so potrebni za samo delovanje vezja UC494.

2.2 OJAČEVALNO VEZJE

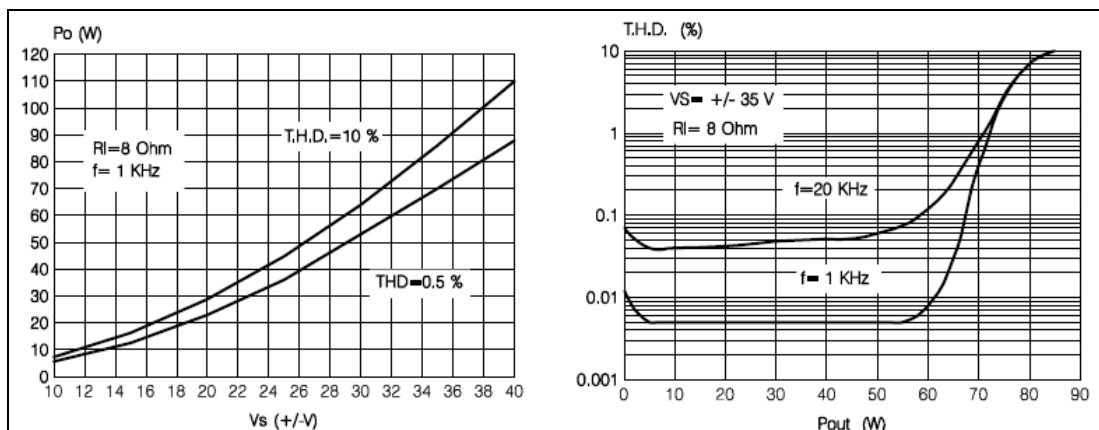
Srce ojačevalnega vezja je, kot sem že omenil, integrirano vezje TDA 7294, ki za svoje delovanje potrebuje zelo malo zunanjih elementov.



Slika 3: Shema enega kanala ojačevalnika

Slika (Slika 3) prikazuje shemo enega kanala ojačevalnega vezja – drugi kanal je popolnoma enak. Vezje je popolnoma določeno že v tehničnih podatkih na strani proizvajalca kot udi opis posameznih elementov:

- R1 ter C1 določata vhodni filter,
- R6 in C7 določajo zaprtizančno ojačanje, ki je približno 30dB,
- C2 in C3 določata časovno konstanto za MUTE\STAND BY funkcijo s pomočjo uporov R2, R2 in R4,
- C6 je za BOOTSTRAP funkcijo, kar pomeni, da pri manjših vrednostih tega kondenzatorja signal degradira pri nižjih frekvencah.

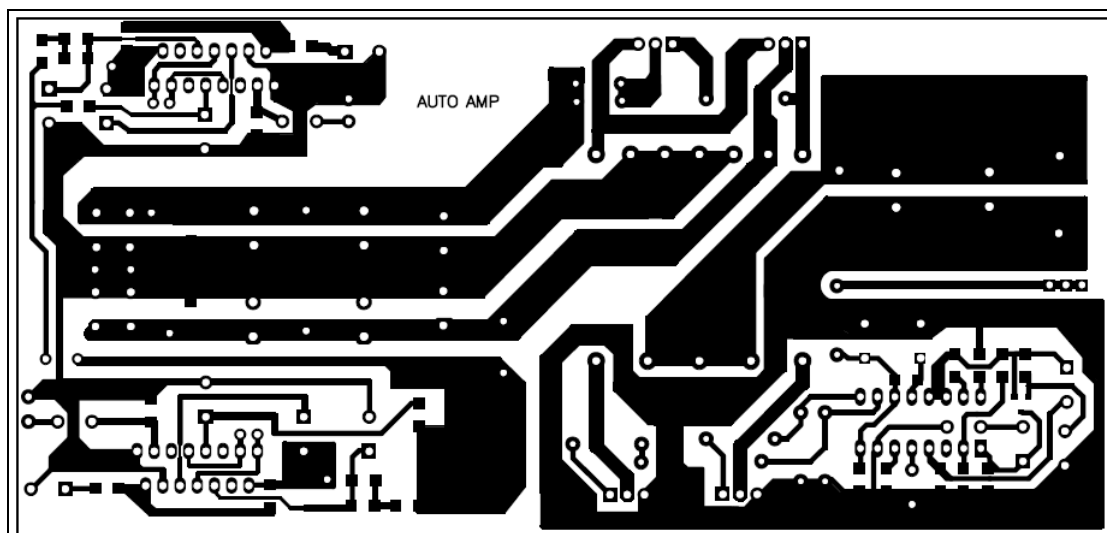


Slika 4: Grafa prikazujeta odvisnost izhodne moči od napajalne napetosti in popačenje izhodnega signala v odvisnosti od izhodne moči.

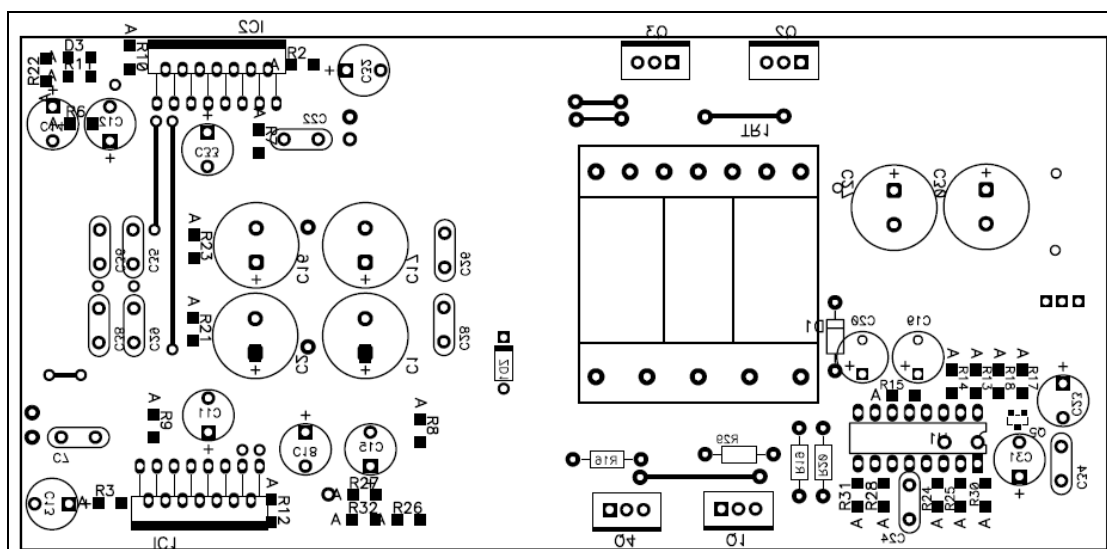
Pri moči 40W, kot je v našem primeru, vidimo iz slike (Slika 4), da je popačenje pri frekvenci 20kHz pod 0.1%, kar je zelo dobro za ojačevalnik, ki bo deloval v avtomobilu, ki pa ni ravno najboljši prostor za testiranje kvalitete ojačevalnika. In tako je samo načrtovanje ojačevalca pri koncu. Ravno zato sem se odločil za ojačevalno vezje TDA 7294, ker je tako preprosto za uporabo.

3 MERITVE IN ZAKLJUČEK

Slika (Slika 5) kaže tiskano vezje ojačevalnika s stikalnim napajalnikom. Tiskano vezje sem za prvo različico ojačevalnika naredil v domači delavnici. Vendar imam v glavi že ideje o izboljšavah, ker tak ojačevalnik kot je ni popolnoma primeren za v avto. Vendar več o tem v zaključku.



Slika 5: Slika tiskanega vezja ojačevalnika z napajalnikom



Slika 6: Montažna shema vezja

Vezje se je na testih kar dobro izkazalo – pokazalo se je le rahlo pomanjkanje moči vendar je bila to krivda mojega preslabega (beri nikakor ni hotel dajati dovolj toka) 12V vira, s katerim sem napajal vezje. Drugače je pa vsak kanal oddal v breme 41W pri napajalni napetost $\pm 30,6V$. Napetost na bremenu je znašala 51,2 Vpp pri vhodnem sinusnem signalu frekvence 1kHz. Za to moč sem na vходу potreboval napetost 1,7 Vpp. Izmeril sem še kako se izhodna moč spreminja pri konstantem vходу in kako se pri tem spreminja napajalna napetost. Naš napajalnik namreč ni PWM reguliran in zato izhodna napetost ni stabilizirana. Vse meritve so bile narejene na 4 Ω realnem bremenu (zvočnik).

f [hz]	20	50	100	200	500	1k	2k	5k	10k	15k	20k
Po [W]	2,8	4,1	4,6	4,6	4,8	4,96	4,8	4,8	4,7	4,8	4,6
Vo [V]	33,1	33,5	33,6	33,6	33,7	33,7	33,6	33,8	33,8	34	34

Kot vidimo napajalna napetost z vpadanjem frekvence pada, ker so tokovne zahteve pri teh frekvencah večje. To bi se dalo odpraviti s PWM regulacijo, pri čemer bi transformator dimenzionirali za nižjo vhodno napetost. s tem bi dosegli izhodno napetost kot je predpisana pri nižji vhodni napetosti. Pri nižji pa zato, ker tudi v avtu napetost s časom vpada – razen seveda če nam motor in s tem alternator polni akumulator.

Za zaključek lahko napišem, da sem z delovanjem vezja povsem zadovoljen, vendar bi vseeno vnesel nekaj sprememb – prva je PWM regulacija, druga je zaščita pred prenizko napetostjo na vhodu (akumulator), tretja je zaščita pred prevelikim tokom na izhodu napajalnika.