

Naslov naloge:

RAZSMERNIK – FREKVENČNI PRETVORNIK

Področje:

ELEKTROTEHNIKA

Vrsta naloge:

RAZISKOVALNA NALOGA

Dijaki:

Jure Vidovič, 3. letnik SPI

Matija Prešeren, 3. letnik SPI

Blagoja Ivanov, 2. letnik SPI

Mentor: Bojan Vuković

Somentor: Igor Žagar

Leto izdelave naloge: 2022

Ime šole: SŠTS Šiška, Litostrojska 51, Ljubljana

KAZALO

Povzetek	3
Uvod	4
Teoretični del.....	4
Delovanje mostičnega vezja.....	5
MOS FET in IGBT tranzistorji.....	5
Eksperimentalni del	5
Prvi poskus	6
Drugi poskus.....	7
Tretji poskus.....	8
Rezultati	10
Razprava – ugotovitve.....	11
Zaključek.....	11
Viri	12

PRILOGE: Naloga ne vsebuje prilog.

Povzetek

Osnovna teorija delovanja razsmernikov je relativno zelo preprosta. Razsmerniki in usmerniki delujejo inverzno. Pri poskusu izdelave razsmernika pa, za razliko od usmernika, ki ga je enostavno izdelati, zelo hitro naletimo na težave. Elektronska stikala, ki niso idealna, in prehodni pojavi pri preklopu onemogočajo impulzno širinsko modulacijo s preprostimi vezji in s tem tudi možnost formiranja želenega sinusnega signala.

Ključne besede: razsmernik, invertor, H-bridge

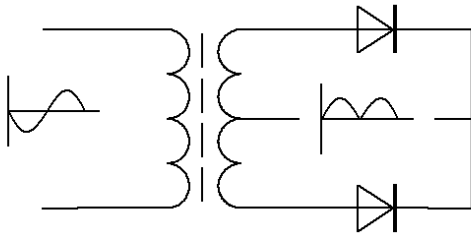
Uvod

Tema naloge nam je postala zanimiva, ko smo se pri modulu Obnovljivi viri energije spoznali z osnovnim principom delovanja razsmernikov. Po pregledu nekaterih konkretnih rešitev na spletu smo dobili občutek, da za povsem preprostim principom delovanja stoji zahtevna tehnologija izdelave.

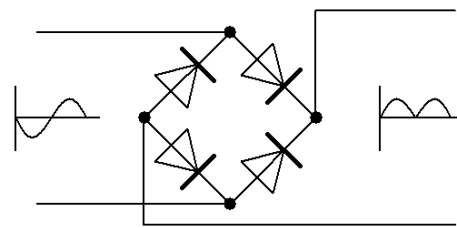
Prvotni načrt raziskovalne naloge je bil raziskati, kako tvoriti približek sinusne napetosti s pulzno-širinskim moduliranjem. Ker se je naše raziskovanje močno zapletlo že pri izdelavi uporabnega mostičnega razsmerniškega vezja, do tega pri raziskovalni nalogi nismo prišli. Spoznali pa smo kar nekaj težav pri izdelavi razsmerniškega vezja.

Teoretični del

Pri razlagi delovanja razsmernikov lahko izhajamo iz nam bolj znanih usmerniških vezij. Pri polnovalnih usmernikih poznamo dve osnovni vezji: vezje z dvema usmerniškim ventiloma (diodama) in transformatorjem z odcepom ter mostično vezje s štirimi diodami, t. i. Graetz spoj ali Graetzov mostič.

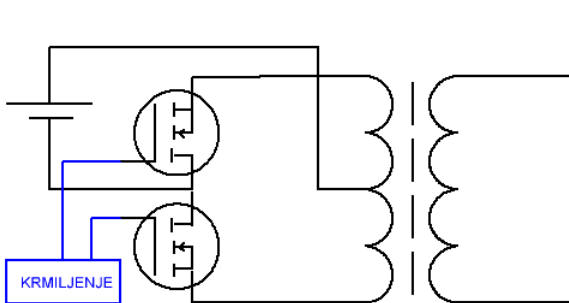


Slika 1: Usmernik z dvema diodama in transformatorjem z odcepom

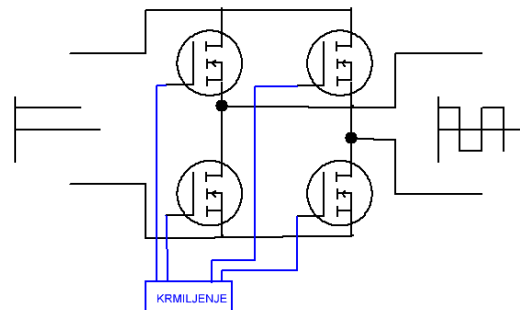


Slika 2: Usmernik z Graetzovim mostičem

Razsmerniško vezje deluje v obratni smeri (inverzno). Namesto usmerniških ventilov potrebujemo krmiljena stikala (tranzistorje).



Slika 3: Razsmernik z dvema tranzistorjema in trans. z odcepom



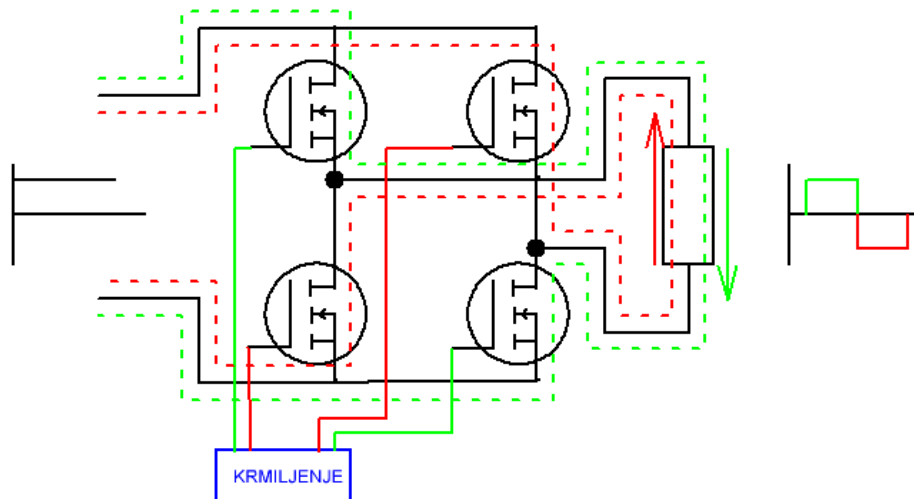
Slika 4: Razsmernik z mostičnim vezjem

Vezja z dvema tranzistorjema se uporabljajo predvsem v DC/AC pretvornikih, kjer želimo enosmerno napetost akumulatorja (12-24 V DC) pretvoriti v napetost za napajanje porabnikov, ki so izdelani za izmenično omrežno napetost (230 V AC).

V tako imenovanih invertorskih napravah, kjer se razsmernik uporablja za krmiljenje motorjev kot frekvenčni pretvornik ali mehki zagon, pa se uporablja mostična vezja.

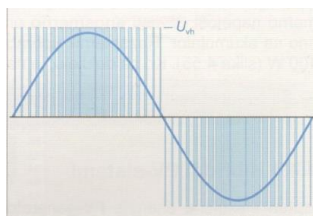
Delovanje mostičnega vezja

V mostičnem vezju polariteto napetosti menjamo tako, da izmenično sklenemo v mostiču diagonalno ležeči stikali.



Slika 5: Delovanje razsmernika

Tako dobimo pravokotno izmenično napetost. S pulzno-širinsko modulacijo (PWM) pa lahko pridemo do boljšega ali slabšega približka sinusne napetosti.



Slika 6: Pulzno moduliranje sinusa [4]

MOS FET in IGBT tranzistorji

V razsmerniških vezjih tečejo večji tokovi, zato je potrebno uporabiti MOS FET ali IGBT tranzistorje.

Eksperimentalni del

Ker naš cilj ni bil narediti zgolj preprostega razsmernika, smo se takoj odločili za izdelavo mostičnega razsmernika. V prvih razmišljanjih, kako pristopiti k nalogi, smo takoj ugotovili, da naše osnovno znanje o tranzistorju v stikalnem področju ne bo zadostovalo. Ker se dva zaporedno vezana tranzistorja izmenično odpirata, bi vsi štirje tranzistorji svoje galvansko ločeno krmilno napajanje. Taka rešitev se nam ni zdela prav nič elegantna, zato smo boljšo rešitev iskali med znanimi rešitvami z gonilniki (driverji, H-bridge).

Po pregledu samograditeljskih vezij na spletu, nam je bilo najbolj všeč vezje [1], ki nas je pritegnilo že zaradi provokativnega naslova in uporabe mikrokrmilnika Arduino, ki smo ga tudi mi želeli uporabiti v krmilnem delu.

Prvi poskus

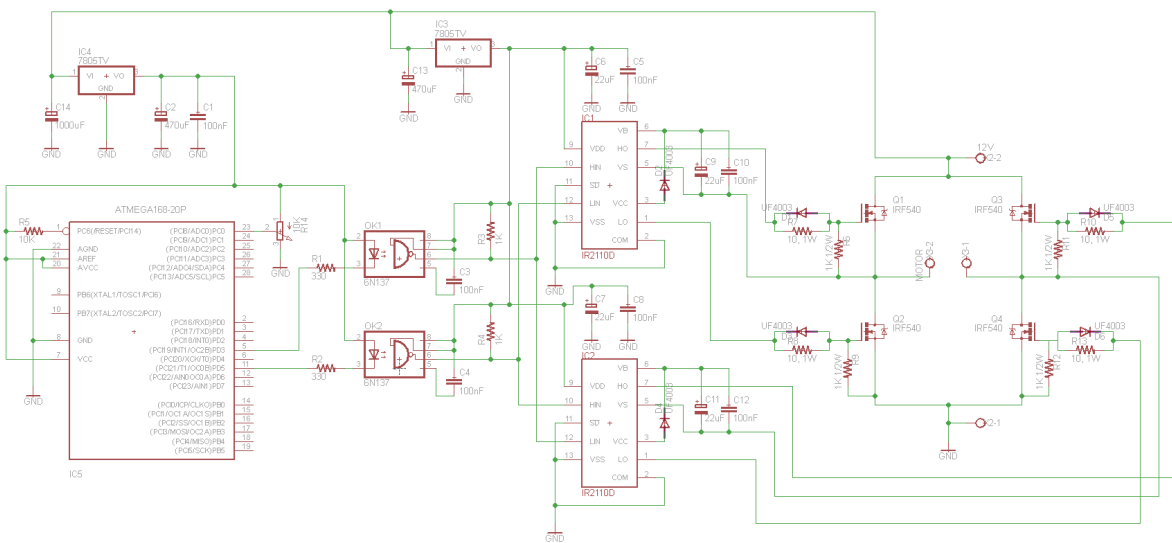
Ker nismo želeli, da bi imeli težave s stiki med elementi, smo se že na samem začetku odločili za izdelavo tiskanega vezja. Kljub pomoči mentorjev nam je to vzelo veliko časa. Po priporočilu mentorjev, da so pri jedkanem vezju razdalje med vezmi večje in s tem manjša možnost za neželene stike, smo se odločili zanj in ne za rezkano vezje.

Navkljub veliko vložnemu delu in dobri pripravi, smo imeli z vezjem kopico težav.

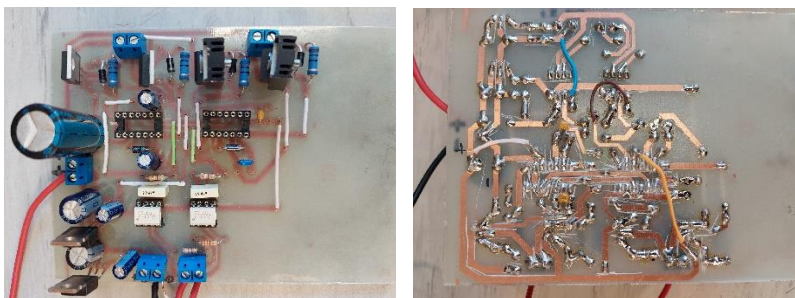
Pri prvem vezju smo spoznali, da oba kanala vezja, čeprav sta identična, ne delujeta simetrično. Med kanaloma smo poskusili zamenjati elemente oz. smo jih povsem zamenjali z novimi elementi, a se je vezje, iz nam nejasnih in neraziskanih vzrokov, še vedno v vsakem kanalu obnašalo drugače. Lahko bi rekli, da se je en kanal odzival pričakovano, drugi pa ne.

Pri prvem vezju smo prvič naredili usodno napako, katere posledica nas je zelo razžalostila, nismo pa bili dovolj pozorni na vzrok napake in smo pri tretjem poskusu napako še enkrat ponovili.

Če Arduino 'zataji' in ne proži nobenega vhoda, so vsi štirje tranzistorji odprti, kar pomeni kratek stik med + in – in s tem polom ter posledično uničenje vseh štirih tranzistorjev.



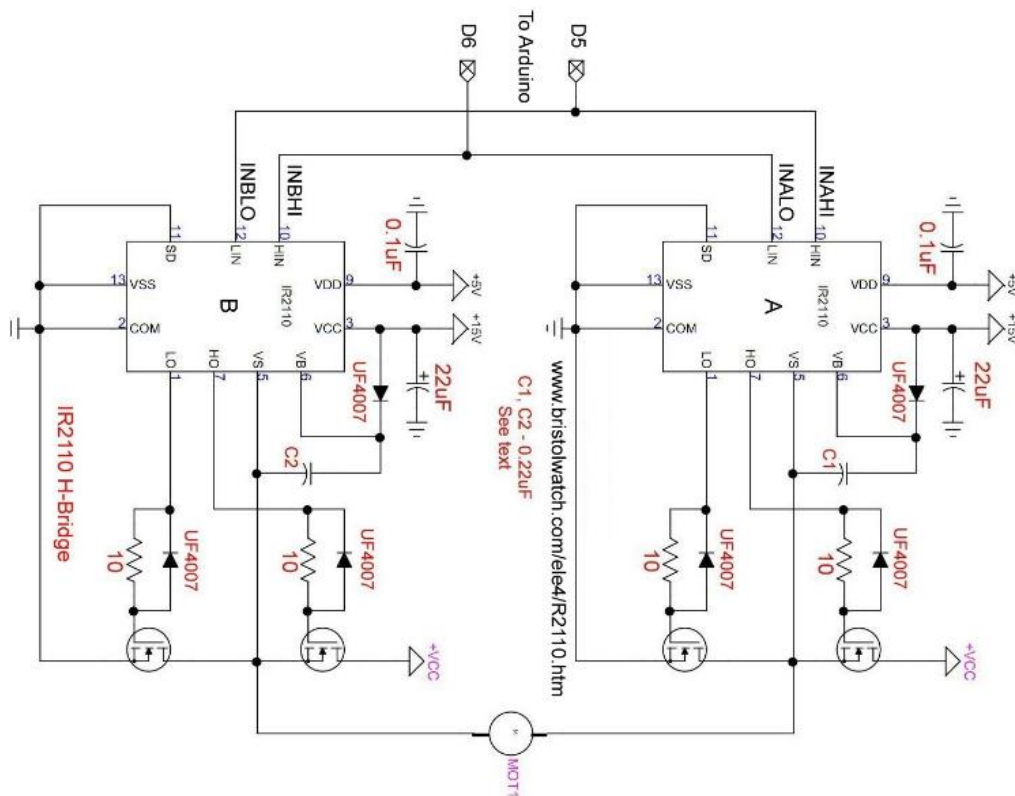
Slika 7: Vezje prvega poskusa [1]



Slika 8: Sliki prvega poskusa

Drugi poskus

Pri iskanju vzroka za naš neuspehi poskus oz. rešitve zanj smo našli podobno vezje z istim gonilnikom (IR2110)[2]. Avtor drugega vezja sicer ni naredil razsmernika, temveč pulzno krmiljenje močnejšega enosmernega motorja z možnostjo zamenjave smeri vrtenja, kar pa je s praktičnega vidika povsem isto vezje, a z drugačnim krmilnim programom.



Slika 9: Vezje drugega poskusa [2]

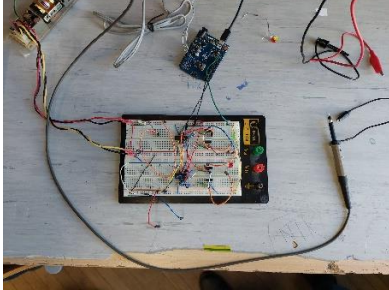
Pri drugem poskusu smo, tako kot avtor, opustili galvansko ločitev z optocouplerji. Tveganje, da uničimo Arduino, se nam ni zdel tako velik, kot nevarnost, da z galvansko ločitvijo vnesemo dodatne možnosti za napake. Bistvena razlika med prvim in drugim vezjem je v napajanju gonilnika (H-Bridge IR2110). V prvem vezju sta napajalni napetosti VDD in VCC 5 V, v drugem vezju pa je VDD 5 V, VCC pa 15 V.

Najprej smo poskusili z napetostmi VDD 5 V in VCC 5 V, a nam vezje ni delovalo niti toliko kot v prvem poskusu. Ko smo VDD pustili na 5 V, VCC pa smo priključili na 12 V, je vezje pričelo delovati oz. je delovalo navidezno. Na posamezen kanal smo imeli proti masi priključene LED diode s predupori, ki so pričakovano izmenično utripale. Ko smo diodi v protiseriji zvezali kot breme med oba kanala, se ni zgodilo nič.

Osciloskop je pokazal podobne rezultate kot pri prvem vezju. Kanala sta nepojasnjeno delovala nesimetrično. Tranzistorji se kljub zadostni napetosti na gate-u niso povsem odprli, tako da na kanalu ni bilo 12 V.

Ker smo vezje sestavili na protobordu, smo imeli veliko več možnosti medsebojnih menjav in zamenjav elementov, ki pa nas niso pripeljale do boljših rezultatov.

Avtor drugega vezja [2] v razlagi svojega vezja prav posebej opozarja, da mora biti napajanje gonilnika VCC višje kot napajanje porabnika VCC (na tranzistorjih), kar se nam zdi zelo čudno, saj bi želeli porabnik (motor) v končni fazi napajati z veliko višjo napetostjo (do 600 V). Seveda smo zadevo preverili, a se naše vezje s 15 V na VCC priključku gonilnika ni obnašalo nič drugače kot prej.

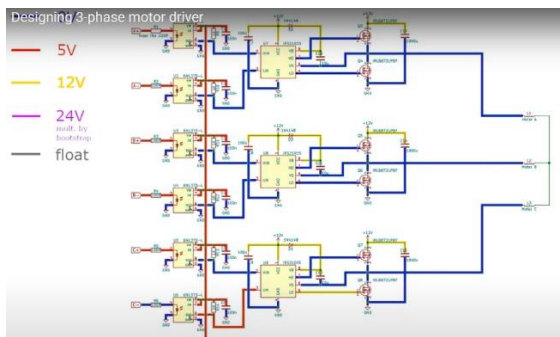


Slika 10: Slika drugega poskusa

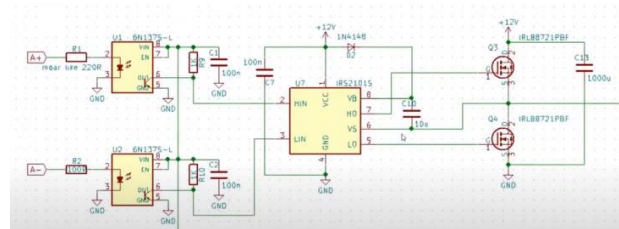
Tretji poskus

V tretjem poskusu smo opustili vezja z uporabo IR2110. Razlog ni bil v tem, da smo obupali, temveč to, da smo tri primerke gonilnikov, ki smo jih uspeli kupiti, priključili že na toliko načinov, da nismo bili več prepričani, da še vedno delujejo tako, kot si je zamislil njihov proizvajalec, novih pa v preostalem času nismo uspeli dobiti.

Vzor za tretji poskus smo dobili pri avtorju trifaznega razsmernika [3], ki nam je bil vseh že na začetku, a nismo želeli začeti s trifaznim razsmernikom. K sreči smo nabavili H-bridge gonilnike, ki so v vezju uporabljeni.

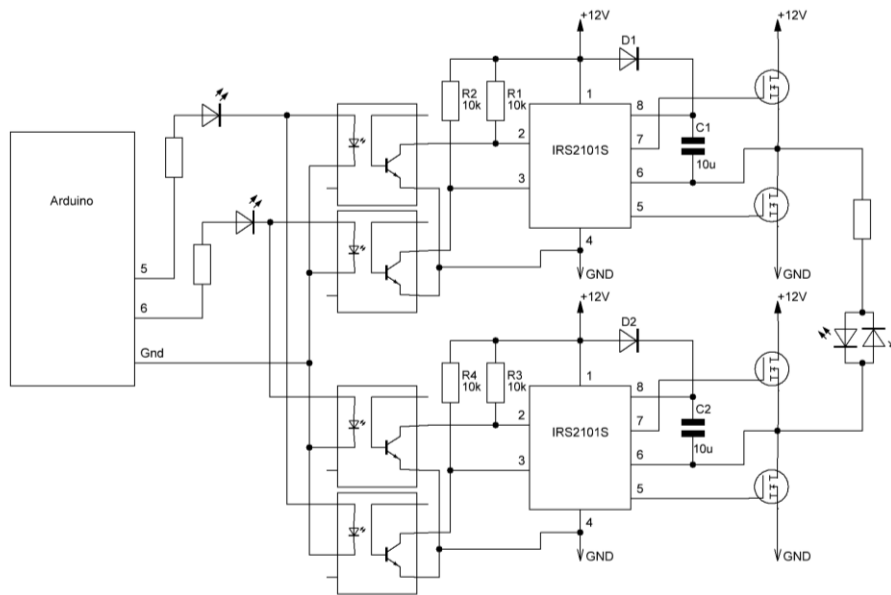


Slika 11: Trifazni razsmernik [3]



Slika 12: En kanal razsmernika [3]

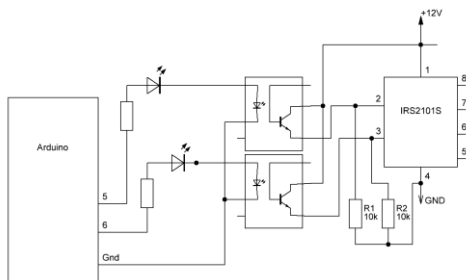
Vezje smo minimalno priredili za naše potrebe.



Slika 13: Tretja vezava

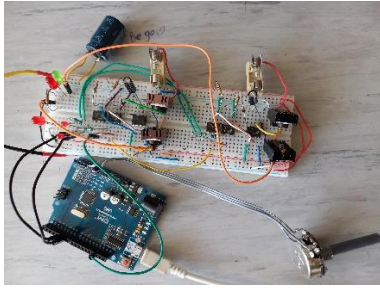
Tretja vezava je pri prvem poskusu z LED diodami delovala pravilno in simetrično. To so potrdile tudi meritve na osciloskopu. Pri izklopu in ponovnem vklopu pa je prišlo do napake, ki smo jo zagrešili že pri prvem poskusu. Arduino je zatajil, kar nismo opazili takoj in pojavil se je dim in smrad. Uničili smo še štiri tranzistorje.

Vezje smo poskusili popraviti tako, da bi bila vhoda v gonilnik na pull-down upor, optocoupler pa bi spajal nanj + 5 V. Vezje ni delovalo. Eksperimentov z manjšimi pull-down upori si nismo mogli privoščiti, ker nismo imeli dovolj rezervnih gonilnikov oz. časa, da bi priskrbeli nove, v kolikor bi te uničili. Če bi bila takšna vezava možna, bi jo verjetno uporabili tudi avtorji vseh vezij, ki smo jih pregledali, a je ni nihče.



Slika 14: Nedelujoč poizkus s stalno maso na vhodu gonilnika

V izogib uničenja zadnjih IGBT tranzistorjev smo zaporedno k LED diodi optocouplerja vezali signalni LED diodi, da smo lahko v vsakem trenutku preverili delovanje Arduina. Zaporedno s tranzistorjem pa smo vezali varovalko (1 A).



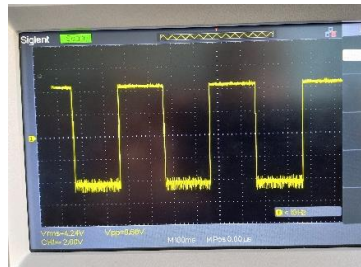
Slika 15: Slika tretjega poskusa

Rezultati

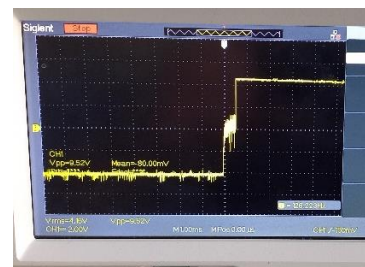
Vežje smo najprej krmilili z izmeničnimi pravokotnimi impulzi iz Arduina. Opazovali smo napetost na bremenu (upor in LED diodi v protismeri).



Slika 16: Impulzi na izhodu Arduina



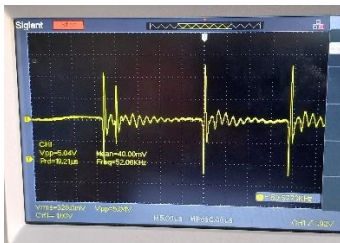
Slika 17: Napetost na bremenu



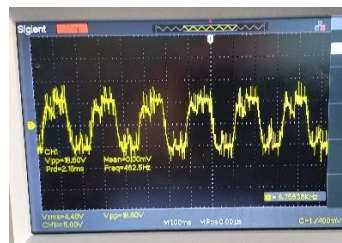
Slika 18: Detajl menjave polaritete

Pričakovano je bil na negativni polariteti (GND) večji šum. Pri menjavi polaritete je prihajalo do večkratnega vmesnega prenehanja. Razlika napetosti U_{pp} (od U_m do $-U_m$) je bila 9,6 V, kar pomeni, da smo na tranzistorjih imeli padec več kot 2 V.

Razsmernik smo poskusili obremeniti še induktivno. Kot breme smo vezali primar transformatorja s prestavnim razmerjem 1. Osciloskop smo priključili na sekundar.



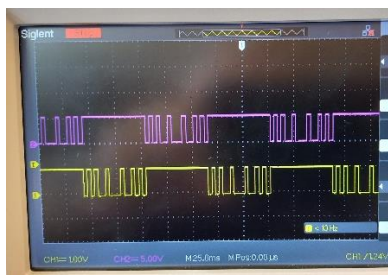
Slika 19: Sek. tr. pri majhni frekvenci



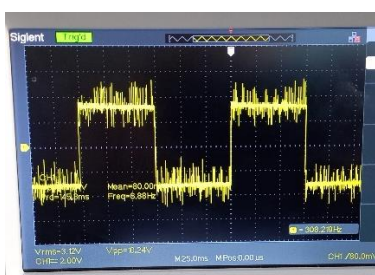
Slika 20: Sek. tr. pri večji frekvenci

Pri majhni frekvenci smo na sekundarju transformatorja dobili pričakovane konice s prenehaji, ki jih verjetno povzročajo prenehaji ob menjavi polaritete. Ko smo zmanjšali periodo krmilnega impulza in s tem povečali frekvenco, pa smo dobili na sekundarju transformatorja bolj zanimiv rezultat (Slika 20).

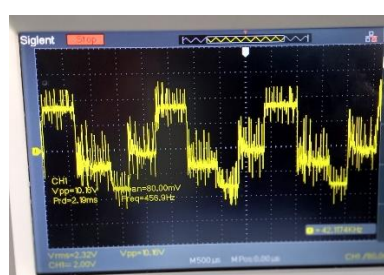
Čeprav je bilo že takoj jasno, da je naše vezje preveč grobo (nefiltrirano), smo poskusili še s spremembo širine impulzov.



Slika 21: Širinsko modulirani impulzi



Slika 22: Napetost na bremenu pri mali frek.



Slika 23: Napetost na bremenu pri večji frek.

Naše vezje ni sledilo hitrosti krmilnih impulzov. Do impulzne modulacije ni prišlo, ker vezje ne poskrbi za hitro zapiranje tranzistorja brez zamenjave polaritete. To bi bilo prej pričakovati od prvih dveh vezij, ki pa žal nista delovali.

Razprava – ugotovitve

Naše predvidevanje, da za relativno zelo preprosto teorijo stoji zelo zahtevna tehnologija, se je izkazalo za povsem pravilno. Prve potrditve za to smo dobili že ob iskanju delujočega vezja na spletu, ko dejansko nismo našli preprostega amaterskega vezja, ki že na prvi pogled ne bi vzbujal dvoma, da deluje oz. da ne deluje stabilno.

Naše tretje vezje bi s še malo truda povsem funkcioniralo kot frekvenčni pretvornik za motor, katerega delovanje bi zaradi motenj zaznali vsi radijski sprejemniki v bližini. Lahko rečemo, da vezje deluje v okviru in za namen, za katerega ga je avtor razvil.

Pogledali smo tudi bolj profesionalne rešitve razsmernikov, ki pa vsebujejo veliko bolj obsežna in kompleksna vezja. Verjetno nima smisla več poizkušati z diskretnimi rešitvami frekvenčnih pretvornikov, temveč uporabiti hibridna vezja, ki so na trgu.

Zaključek

Na koncu lahko rečemo, da je pri teoriji oz. tehnologiji razsmernikov, tako kot je rekel mali princ: »Bistvo je očem skrito.« Čeprav smo delali s srcem, ne moremo reči, da smo bistvo videli, lahko pa trdimo, da smo ga zaslutili.

Prvotni cilj vsekakor ni bil dosežen, zato se bomo k izzivu poskusili še vrniti.

Viri

- [1] Arduino forum (več avtorjev). Tahmid's H Bridge – Does it work?
Dostopno na spletu (14.3.2022): <https://forum.arduino.cc/t/tahmids-h-bridge-does-it-work/545100>
- [2] Lofin, Lewis. Arduino Controlled IR2110 Based H-Bridge HV Motor Control
Dostopno na spletu (14.3.2022): <https://www.bristolwatch.com/ele4/RI2110.htm>
- [3] Ilusys Systems (YouTube). Designing 3-phase motor driver
Dostopno na spletu (14.3.2022): <https://www.youtube.com/watch?v=TAFDX301Qrk&t=123s>
- [4] Žalar, Zdravko. Obnovljivi viri energije: Učbenik za Srednje strokovne in poklicne šole. Ljubljana: BookStore.si, 2016