

»Mladi za napredek Maribora 2019«

36. srečanje

Zaščita povratne napetosti

Raziskovalno področje: **ELEKTROTEHNIKA, ELEKTRONIKA**

Raziskovalna naloga

Prostor za nalepko

Avtor: GAŠPER DOBRAJC, MARTIN FERENEC

Mentor: BOJAN DEŽMAN

Šola: SREDNJA ELEKTRO-RAČUNALNIŠKA ŠOLA MARIBOR

Število točk: 141

Mesto: 11

Priznanje: srebrno

Maribor, januar 2019

»Mladi za napredek Maribora 2019«

36. srečanje

Zaščita povratne napetosti

Raziskovalno področje: **ELEKTROTEHNIKA, ELEKTRONIKA**

Raziskovalna naloga

Prostor za nalepko

Maribor, januar 2019

KAZALO VSEBINE

1.	POVZETEK	1
2.	UVOD	1
3.	VSEBINSKI DEL	2
3.1	Polprevodniška dioda	2
3.2	Zenerjeva dioda	3
3.3	MOSFET	3
3.4	Zaščita povratne napetosti z uporabo navadne polprevodniške diode	4
3.5	Zaščita povratne napetosti z uporabo N-tipa MOSFET	6
3.6	Zaščita povratne napetosti z uporabo P-tipa MOSFET	8
3.7	Povzetek	10
4.	Zaključek	11
5.	Družbena odgovornost	11
6.	VIRI	12

KAZALO GRAFOV

Graf 1: Tokovna karakteristika MOSFETA glede na napetost (Vir: Google Slike)	4
Graf 2: Učinkovitost diode (Vir: Google Slike)	5
Graf 3: Učinkovitost N-tipa MOSFETA (Vir: Google Slike)	7
Graf 4: Učinkovitost P-tipa MOSFETA (Vir: Google Slike)	9
Graf 5: Primerjava izgubnih moči v W vseh treh zaščitnih vezij (Vir: Google Slike)	10
Graf 6: Primerjava učinkovitosti v % vseh treh zaščitnih vezij (Vir: Google Slike)	11

KAZALO SLIK

Slika 1: Predstavitev polprevodniške diode (Vir: Google Slike)	2
Slika 2: Prevodna smer diode (Vir: avtorji naloge)	2
Slika 3: Zaporna smer diode (Vir: avtorji naloge)	2
Slika 4: Predstavitev Zenerjeve diode (Vir: Google Slike)	3
Slika 5: Shema MOSFETA (Vir: Google Slike)	3
Slika 6: Shema zaščitnega vezja z Schottkyjevo diodo (Vir: Google Slike)	4
Slika 7: Shema zaščitnega vezja z uporabo N-tipa MOSFET (Vir: Google Slike)	6
Slika 8: Shema zaščitnega vezja z uporabo P-tipa MOSFET (Vir: Google Slike)	8
Slika 9: Primerjava P in N tipa MOSFETA (Vir: Google Slike)	8

1. POVZETEK

V tej raziskovalni nalogi bomo raziskali več možnih načinov zaščite pred povratno napetostjo. To zaščito uporabljamo predvsem, da zaščitimo vezje oziroma elemente, ki so »občutljivi« na polariteto. Vezje prepušča električno energijo, ko je polariteta napajanja pravilno povezana, v primeru, da bi se zmotili in obrnili pozitivni in negativni pol napajanja, vezje ne bi prepuščalo električne energije.

Najpogostejši primer rabe je pri laboratorijskih napajalnikih (usmernikih). Če bi polnili baterijo in pomotoma zamenjali pozitivno in negativno sponko bi uničili baterijo in odvisno od baterije bi tudi uničili usmernik (večina usmernikov ima samo preprosto diodno zaščito). Usmernik bi bil neprestano v kratkem stiku, kratki stik na bateriji pa se ne bi prekinil. To zaščitno vezje pa prekine tok na izvoru in porabniku.

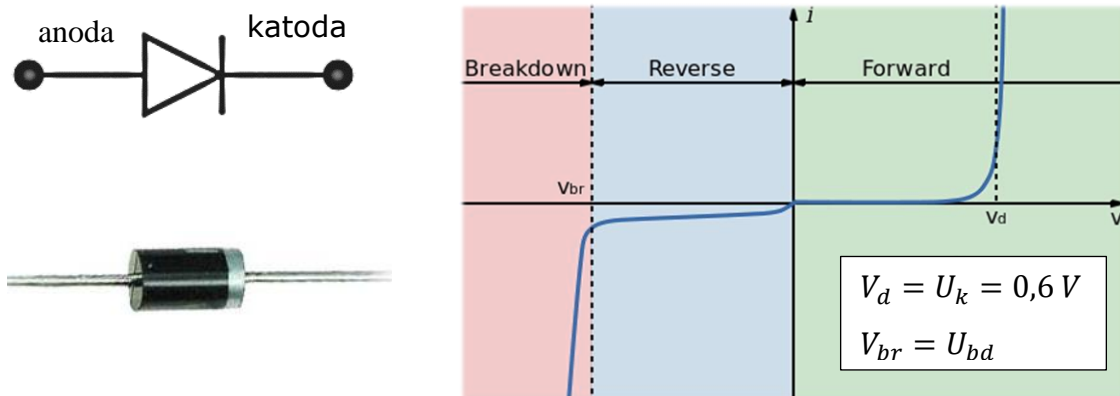
2. UVOD

Namen te naloge je raziskati in primerjati načine zaščite povratne napetosti med seboj. V življenju elektronika ali entuziasta elektronike se velikokrat srečamo z situacijo, v kateri moramo neko elektronsko vezje priključiti na laboratorijski napajalnik za diagnostične oziroma prototipne namene. Tudi tekom šolanja smo se že večkrat srečali s problemom napačne priključitve napajanja vezja, ki ga je tudi uničila. Z namenom, da bi to preprečili smo se odločili izdelati to raziskovalno nalogo, ki nudi dodaten sloj zaščite vezja pred napačno priključitvijo polaritete. Gledano iz perspektive ekologije, bi s tem načinom zaščite vezja bistveno zmanjšali število uničenih elektronskih elementov po celotnem svetu. Posledično bi to zmanjšalo količino nepotrebnih odpadkov in bistveno zmanjšalo onesnaževanje našega zraka (zaradi manjše potrebe po proizvodnji elementov).

3. VSEBINSKI DEL

Preden začnemo opisovati možne načine zaščite vezij pred povratno napetostjo je pomembno, da spoznamo osnovne elemente, ki se nahajajo v zaščitnih vezjih.

3.1 Polprevodniška dioda

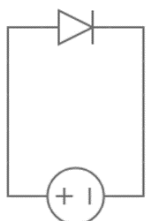


Slika 1: Predstavitev polprevodniške diode (Vir: Google Slike)

Če PN spoju pritrdimo kontakte dobimo diodo. Namenjena je predvsem za usmerjanje. Močnostne diode so običajno v kovinskem ohišju.

Dioda lahko deluje na dva načina:

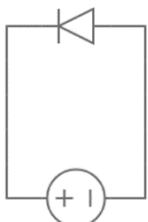
1.) Prevaja (prevodna smer)



Pozitivni pol napajalne napetosti priključimo na anodo, negativni pol pa na katodo. Ko napetost preseže kolensko napetost (U_k), začne teči prevodni tok.

Slika 2: Prevodna smer diode (Vir: avtorji naloge)

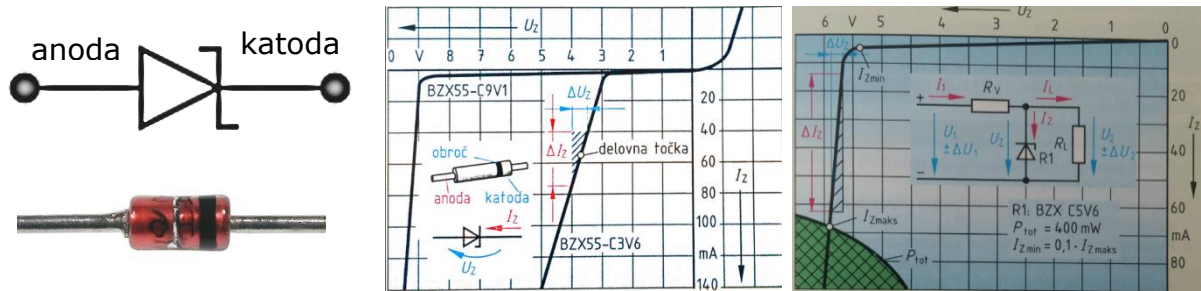
2.) Ne prevaja (zaporna smer)



Pozitivni pol napajalne napetosti priključimo na katodo, negativni pol pa na anodo. Z večanjem priključne – zaporne napetosti (U_R) teče le zanemarljivo majhen tok I_R . Nad največjo zaporno napetostjo U_{Rmax} pa tok sunkovito naraste, kar lahko uniči diodo, zato mora biti amplituda izmenične napetosti, ki jo usmerjamo, vedno manjša od U_{Rmax} .

Slika 3: Zaporna smer diode (Vir: avtorji naloge)

3.2 Zenerjeva dioda



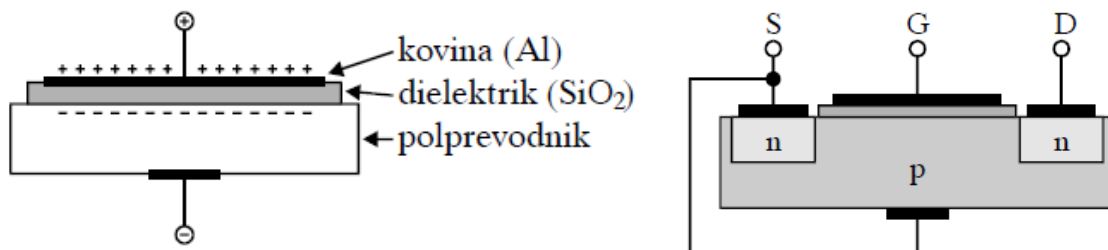
Slika 4: Predstavitev Zenerjeve diode (Vir: Google Slike)

Zenerjeva dioda ima v prevodni smeri podobne lastnosti kot silicijeva dioda. V zaporni smeri pa se tok pri prekoračitvi preboje napetosti U_Z strmo povečuje, zato Zenerjevo diodo vedno uporabljamo skupaj s preduporom (za zaščito pred velikim tokom).

3.3 MOSFET

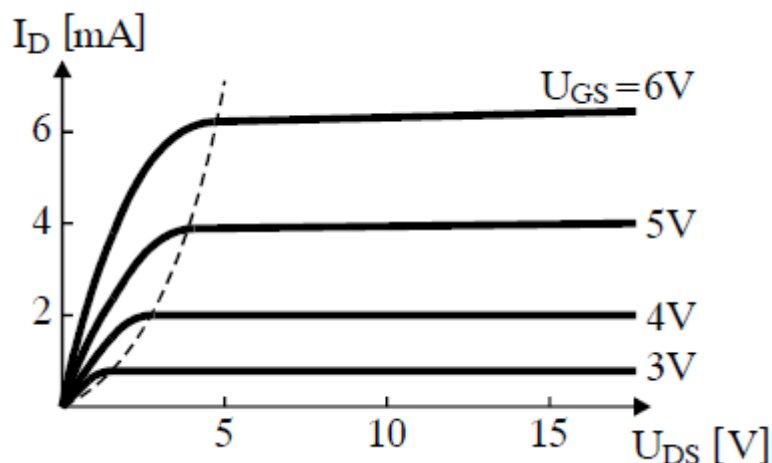
MOSFET je tranzistor, ki ima prevodni kanal, ki spaja izvor s ponorjem.

Prevodnost kanala pri MOSFET-u se spreminja z napetostjo, ki je priključena na tri slojno strukturo. Kovina, izolator, polprevodnik.



Slika 5: Shema MOSFETA (Vir: Google Slike)

V P tipu polprevodnika imamo dva priključka (N plasti), ki sta priključena na izvor in ponor. Če je napetost $U_{GS} = 0$ V, med izvorom in ponorjem ni kanala. Če je U_{GS} dovolj velika se med izvorom in ponorjem inducira prevodni kanal s gibljivimi nosilci elektrin in nam poveže izvor s ponorjem.

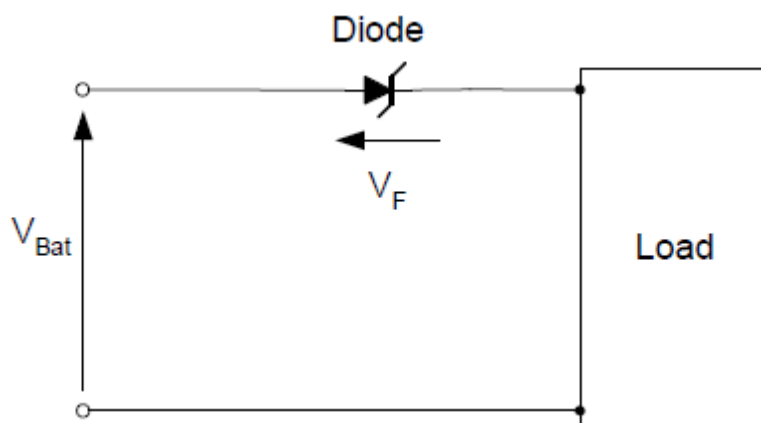


Graf 1: Tokovna karakteristika MOSFETA glede na napetost (Vir: Google Slike)

Čim večja je U_{GS} , tem več je elektronov v prevodnem kanalu in manjša je upornost na izhodu tranzistorja. Minimalno napetost U_{GS} pri kateri se pojavijo prvi premični elektroni se imenuje pragovna napetost (U_T). Z naraščanjem ponorske napetosti je tok vedno bolj položen, ko se kanal preščiipne je tok I_D konstanten. To se imenuje področje nasičenja.

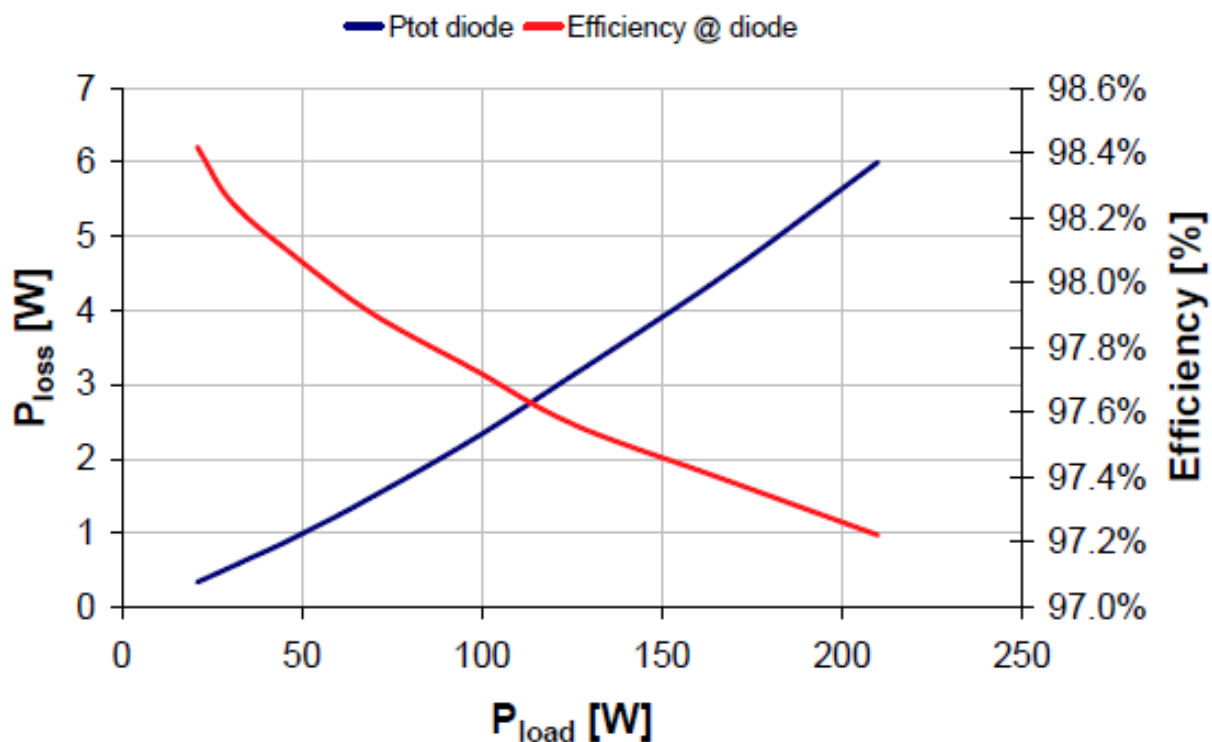
3.4 Zaščita povratne napetosti z uporabo navadne polprevodniške diode

Najpreprostejša zaščita pred povratno napetostjo je z uporabo polprevodniške diode, ki je povezana serijsko (zaporedno) z vezjem na pozitivni liniji. Če napačno priključimo baterijo, dioda ne prevaja in tako zaščiti elektroniko vezja.



Slika 6: Shema zaščitnega vezja z Schottkyjevo diodo (Vir: Google Slike)

Kadar je baterija pravilno povezana dioda prepušča tok skozi vezje.



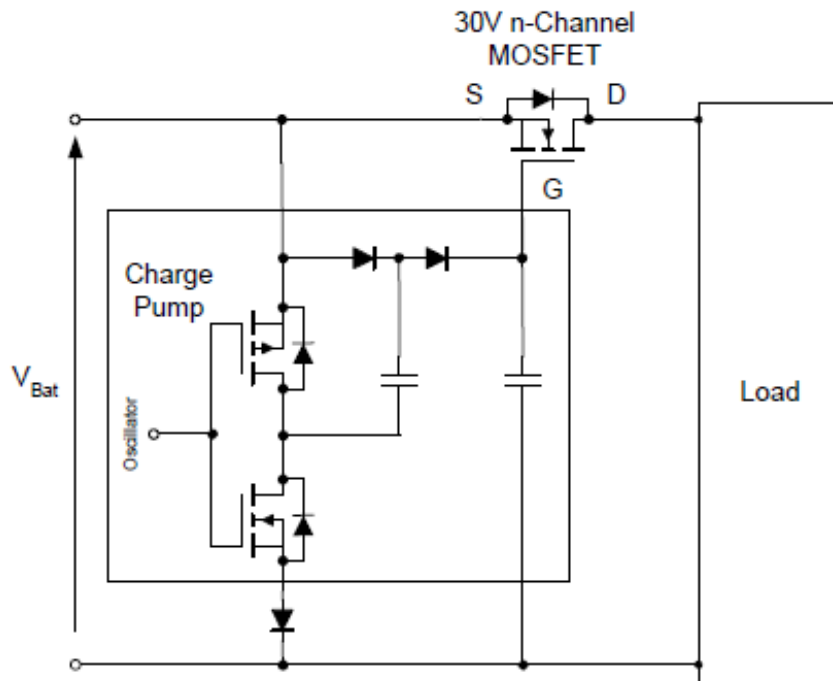
Graf 2: Učinkovitost diode (Vir: Google Slike)

Modra črta na grafu prikazuje P_{tot} (skupna moč v W). Rdeča črta na grafu prikazuje učinkovitost Schottkyjeve diode (razberemo lahko, da je dioda pri večjih obremenitvah manj učinkovita. Na drug način povedano se dioda pri večjih močeh bolj segreva, kar prispeva k izgubi energije v obliki toplote).

Graf prikazuje primer uporabe 45 V Schottkyjeve diode. Napetost baterije je 14 V. Če ena dioda ne premore skupne moči vezja lahko vzporedno vežemo več diod in s tem povečamo skupno moč porabnika. Pri uporabi več diod paralelno bodo izgubne moči približno enake.

3.5 Zaščita povratne napetosti z uporabo N-tipa MOSFET

Z uporabo MOSFET tranzistorja lahko znižamo izgubne moči zaščitnega vezja (vezje je učinkovitejše). Pravilno vstavljanje MOSFETA v pozitivno vejo napajalnega dela lahko tudi ščiti porabnika pred povratno napetostjo. Upoštevati moramo tudi, da ima MOSFET vgrajeno polprevodniško diodo.

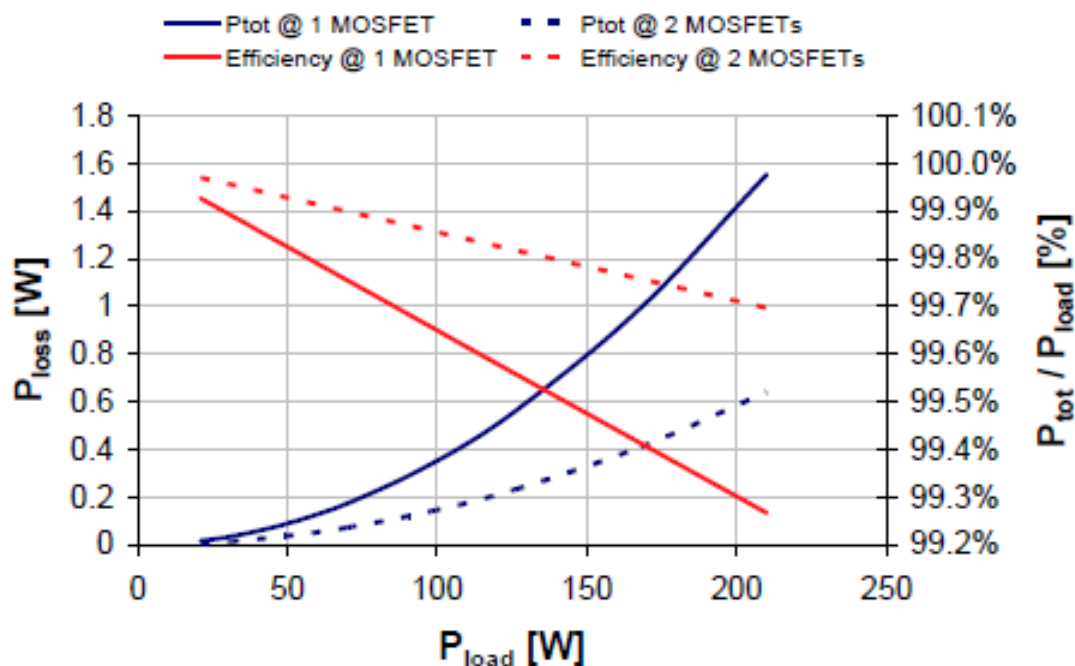


Slika 7: Shema zaščitnega vezja z uporabo N-tipa MOSFET (Vir: Google Slike)

MOSFET prepušča tok, ko je baterija pravilno povezana. Za vklop MOSFETA pa potrebujemo vezje, ki začasno poveča napetost vrat (gate voltage) skozi MOSFET (v vezju imenovano »Charge Pump«). V primeru napačno povezanega vira napetosti, dioda povezana na maso iz »Charge Pump« vezja zaustavlja napetost. Torej na vrata MOSFETA ni dovedena napetost, kar pomeni, da MOSFET ne prevaja. Ta dioda tudi ščiti »Charge Pump« vezje pred povratno napetostjo. Če te diode ne bi imeli, bi nastal kratek stik skozi oba tranzistorja v »Charge Pump« vezju.

Izgubne moči zaščitnega vezja z N-tipom MOSFETA so določene z upornostjo bremena in tokom, ki teče skozi vezje. Izgube vklopa/izklopa MOSFETA so zanemarljive saj, se MOSFET preklaplja le ob priključitvi vezja na napajanje in nato ostane prižgan.

Na naslednjem grafu lahko vidimo primer izgubne moči z uporabo 30 V, 3.3mOHM MOSFETA (SPP100N03S2-03):



Graf 3: Učinkovitost N-tipa MOSFETA (Vir: Google Slike)

Polne krivulje prikazujejo uporabo enega MOSFETA, prekinjene krivulje pa uporabo dveh MOSFETov. Rdeča barva označuje učinkovitost, modra pa skupno moč.

Izgubna moč MOSFETA se eksponentno povečuje in niha linearno z velikostjo MOSFETA. Torej če uporabimo dva MOSFETA vzporedno bomo zmanjšali izgube vezja za dvakratnik. To pomeni, da če imamo n število MOSFETov bomo zmanjšali skupno izgubljen moč z faktorjem: n^2 . To je uporabno pri porabnikih z večjimi močmi.

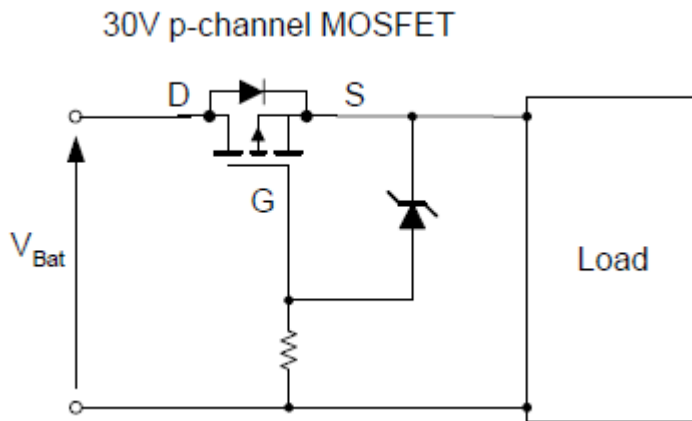
Slaba stran tega vezja je, da potrebujemo dodatno vezje (Circuit Pump), ki krmili MOSFET pri normalnem delovanju (vir napetosti pravilno priključen).

Elektromagnetne motnje (EMI) predstavljajo problem, saj oscilator Chrage Pump vezja preklaplja dva MOSFETA. Vendar moč potrebna za preklap MOSFETA ni tako velika, saj se MOSFET preklopi le ob povezavi na napajanje. To pomeni, da elektromagnetne motnje niso tako velike kot običajno pri takšnih vezjih.

V nekaterih primerih ni vedno mogoče priključiti MOSFETA v linijo mase, saj bi tako vstavljen MOSFET povzročil spremembo v potencialu. To pa lahko povzroči motnje v delovanju ali okvare pri občutljivih bremenih.

3.6 Zaščita povratne napetosti z uporabo P-tipa MOSFET

Tretja možna rešitev je, da uporabimo MOSFET P-tipa, katerega priključimo v pozitivno vejo napajanja. Tudi tu je pomembno, da ga pravilno obrnemo, saj ima tudi vgrajeno polprevodniško diodo (za P-tip je ta dioda povezana iz ponora na izvor tranzistorja).



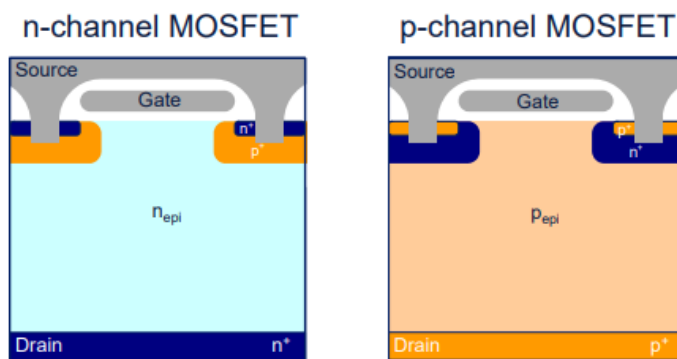
Slika 8: Shema zaščitnega vezja z uporabo P-tipa MOSFET (Vir: Google Slike)

Velika prednost uporabe P-tipa MOSFETa je, da ne potrebujemo posebnega vezja za krmiljenje MOSFETa (Charge Pump vezje ni potrebno).

MOSFET prevaja kadar je baterija pravilno povezana. Ob povezavi baterije bo vgrajena dioda v MOSFETu začela prevajati dokler njen vzporedni kanal ni vključen. Zenerjeva dioda, ki povezuje Gate (vrata označena z G) in Source (izvor označen z S) bo nudila prenapetostno zaščito MOSFETu.

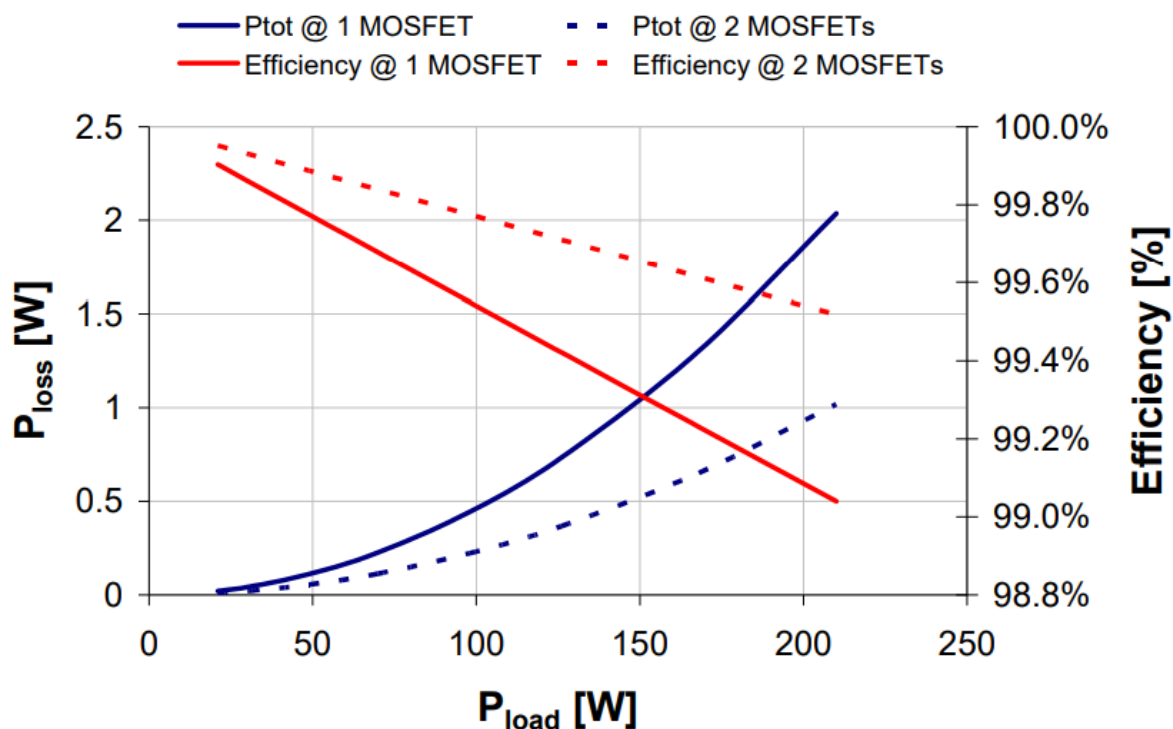
V primeru napačno priključenega vira napetosti, bo MOSFET izklopljen, saj Gate-Source napetost bo pozitivna.

Glavna razlika med N in P tipom MOSFETa je v obratnem profilu dopinga. To lahko vidimo na naslednji sliki:



Slika 9: Primerjava P in N tipa MOSFETa (Vir: Google Slike)

Za vključitev MOSFETa potrebujemo negativno Gate-Source napetost na viru napajanja. Električno polje bo potisnilo elektrone v območju kanala nazaj in privabilo luknje. Nastal bo »P kanal« in zaščitno vezje bo začelo prevajati električni tok.



Graf 4: Učinkovitost P-tipa MOSFETa (Vir: Google Slike)

Izgube moči P-tipa MOSFETa so prikazane nazgornjem grafu. Polne krivulje prikazujejo uporabo enega MOSFETa, prekinjene krivulje pa uporabo dveh MOSFETov. Rdeča barva označuje učinkovitost, modra pa skupno moč.

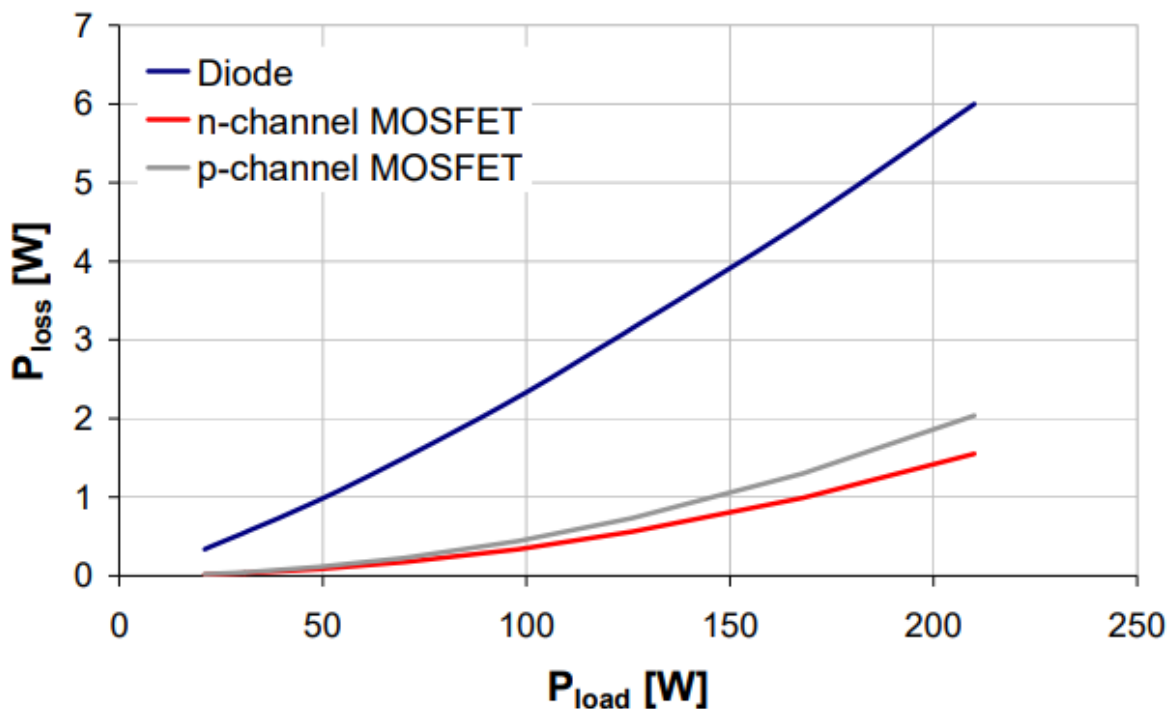
Vidimo lahko, da so krivulje podobne N-tipu MOSFETa. Izgubne moči vsakega MOSFETa se nižajo z faktorjem n^2 .

3.7 Povzetek

Ugotovili smo, da lahko vezje pred povratno napetostjo zaščitimo na tri možne načine:

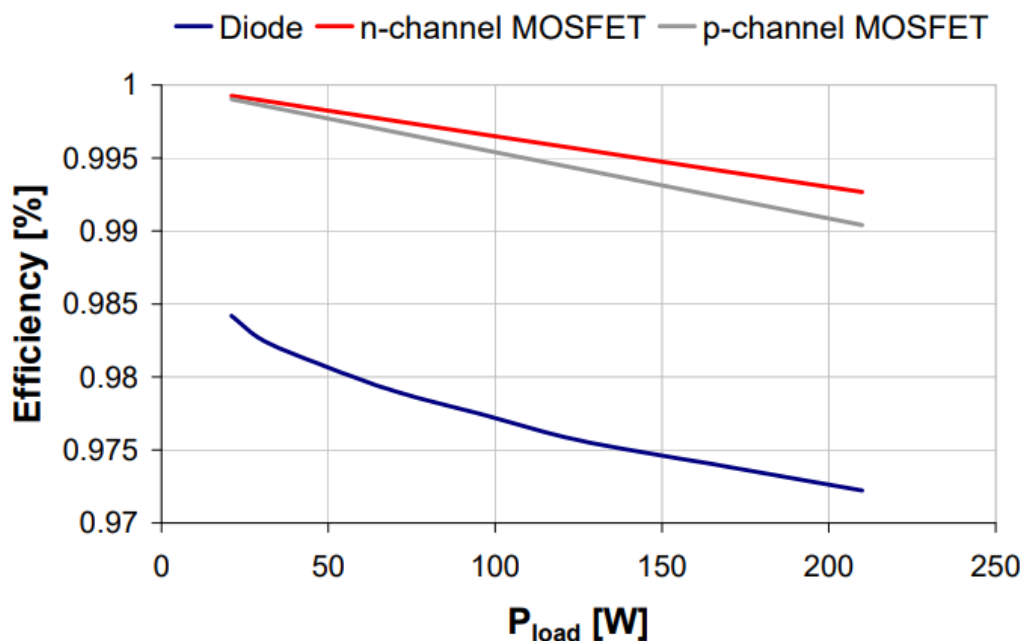
- Z uporabo diode
- Z uporabo N-tipa MOSFETa
- Z uporabo P-tipa MOSFETa

Vsaka od teh rešitev ima svoje prednosti in slabosti.



Graf 5: Primerjava izgubnih moči v W vseh treh zaščitnih vezij (Vir: Google Slike)

Ta graf predstavlja primerjavo izgubne moči (s toploto) v Wattih za vsa tri možna zaščitna vezja. Vidimo lahko, da je diodna zaščita relativno učinkovita in premarna za uporabo le pri obremenitvah, ki so manjše od 50 W (pri višjih obremenitvah ima prevelike toplotne izgube moči). Najučinkovitejša metoda je sicer z uporabo N-tipa MOSFETa, vendar zaradi potrebe po »Charge Pump« vezju je najbolj optimalna rešitev zaščita z uporabo MOSFETa P-tipa (saj ne potrebuje »Charge Pump« vezja).



Graf 6: Primerjava učinkovitosti v % vseh treh zaščitnih vezij (Vir: Google Slike)

Ta graf pa predstavlja primerjavo učinkovitosti vseh treh metod.

Omeniti je tudi potrebno na tokovno varovanje, katerega je potrebno izvesti z hitro-taljivo varovalko. S tem varujemo breme in zaščitno vezje pred tokovno preobremenitvijo.

4. ZAKLJUČEK

V tej raziskovalni nalogi smo spoznali tri možne načine zaščite vezja pred povratno napetostjo. Prišli smo do ugotovitve, da najboljša rešitev zaščite vezja je odvisna od potreb in namembnosti vezja. Med izdelavo te raziskovalne naloge smo se naučili veliko o možnosti zaščite vezij pred napačno priključenimi viri napetosti. To znanje nam bo prišlo v veliko korist, ko bomo načrtovali vezja.

5. DRUŽBENA ODGOVORNOST

V današnjih časih si preprosto več ne predstavljamo življenja brez tehnološko naprednih naprav in rešitev. Elektroniko lahko najdemo skoraj v vseh napravah, celo v nekaterih oblačilih. Vendar največji problem iz ekološke perspektive je onesnaževanje okolja pri izdelavi elektronskih elementov in vezij. S temi načini zaščite vezij bistveno zmanjšamo število uničenih elektronskih elementov po celotnem svetu. Posledično to zmanjšuje količino nepotrebnih odpadkov in bistveno zmanjša onesnaževanje našega ozračja (zaradi manjše potrebe po proizvodnji elementov), vode in tal.

6. VIRI

Blog Vince's thoughts,

<http://blog.deconinck.info/post/2017/12/22/18650-Battery-charger-reverse-polarity-protection>

(15. december 2018)

Google Slike,

<https://images.google.com> (10. december 2018 – 23. december 2018))

Maxim Integrated »Reverse-Current Circuitry Protection«,

<https://www.maximintegrated.com/en/app-notes/index.mvp/id/636> (15. december 2018)

Reddit »r/AskElectronics«,

https://www.reddit.com/r/AskElectronics/comments/7olckm/battery_reverse_voltage_protection_with_pchannel/ (15. december 2018)

TexasInstruments »Reverse Current/Battery Protection Circuits«,

<http://www.ti.com/lit/an/slva139/slva139.pdf> (15. december 2018)

Wikipedia (English),

<https://en.wikipedia.org/wiki/Diode> (10. december 2018),

https://en.wikipedia.org/wiki/Zener_diode (10. december 2018),

<https://en.wikipedia.org/wiki/MOSFET> (10. december 2018),

YouTube kanal GreatScott!,

<https://www.youtube.com/channel/UC6mIxFTvXkWQVEHPsEdflzQ> (12. december 2018)

YouTube kanal Afrotechmods,

<https://www.youtube.com/channel/UCosnWgi3eorc1klEQ8pIgJQ> (12. december 2018)