

OSNOVNA ŠOLA MIHE PINTARJA TOLEDA
KIDRIČEVA CESTA 21, 3320 VELENJE
MLADI RAZISKOVALCI ZA RAZVOJ ŠALEŠKE DOLINE

RAZISKOVALNA NALOGA
**PRIMERJAVA NELINEARNIH ELEKTROTEHNIŠKIH STIKALNIH
ELEMENTOV**

Tematsko področje: ELEKTROTEHNIKA

Avtor:
Matej Meža, 8. razred

Mentor:
Dejan Zupanc, prof.

Velenje, 2017

Raziskovalna naloga je bila opravljena na Osnovni šoli Mihe Pintarja Toleda.

Mentor: Dejan Zupanc, prof. fizike in proizvodno tehnične vzgoje

Datum predstavitve:

KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA

ŠD OŠ Mihe Pintarja Toleda, šolsko leto 2016/2017
KG primerjava / stikalni / nelinearni / elementi
AV MEŽA, Matej
SA ZUPANC, Dejan
KZ 3320 Velenje, SLO, Kidričeva cesta 21
ZA OŠ Mihe Pintarja Toleda
LI 2017
IN **PRIMERJAVA NELINEARNIH ELEKTROTEHNIŠKIH STIKALNIH
ELEMENTOV**
TD Raziskovalna naloga
OP III, 37 str., 2 graf., 11 sl., 3 pril.
IJ SL
JI sl

AI Namen raziskovalne naloge je bil spoznati tri različne polprevodniške elemente, jih primerjati po delovanju, izgubah in izbrati najboljšega za uporabo v danem vezju. Primerjal sem triak, bipolarni tranzistor in MOSFET tranzistor. Za najboljšega in najbolj uporabnega se je izkazal MOSFET tranzistor z najmanjšimi izgubami in najmanjšim padcem napetosti na njem. Imel je tudi najmanjše število dodatnih uporabljenih elementov. Na drugo mesto se je uvrstil bipolarni tranzistor z večjim številom uporabljenih dodatnih elementov in večjimi izgubami. Na zadnje mesto bi postavil triak, ki se je izkazal za neprimeren za uporabo v danem vezju. Iz raziskav sem postavil zaključke, ki so bili: MOSFET tranzistor je najprimernejši za uporabo v danem vezju, triak ni primeren za uporabo v danem vezju, BJT tranzistor je delno primeren za aplikacijo v danem vezju. Največ računanja pri načrtovanju vezja zahteva BJT tranzistor in pri načrtovanju danega vezja bi z gotovostjo lahko uporabil MOSFET tranzistor. Primerjava, ki sem jo izvršil, je pomembna pri načrtovanju vezij. Vezja morajo biti načrtovana tako, da so najbolj varčna, da vsebujejo čim manjše število potrebnih elementov, brez velike spremembe na delovanje vezja in da so čimbolj enostavna za praktično izvedbo.

Kazalo vsebine

1	Uvod	3
2	Pregled stanja tehnike	3
2.1	Bipolarni tranzistor	3
2.2	Unipolarni tranzistor	5
2.3	MOSFET tranzistorji	6
2.4	Triak	7
3	MATERIAL IN METODE	8
4	REZULTATI	9
4.1	Poskus 1: Merjenje UBE – IBE karakteristike bipolarnega tranzistorja TIP31C.....	9
4.2	Poskus 2: Merjenje padca napetosti na bipolarnem tranzistorju TIP31C.....	11
4.3	Poskus 3: Merjenje toka I_G na MOSFET tranzistorju	15
4.4	Poskus 4: Merjenje U_{GS} - I_D karakteristike MOSFET tranzistorja IRLZ44N.....	16
4.5	Poskus 5: Merjenje padca napetosti na triaku	20
5	RAZPRAVA.....	22
6	ZAKLJUČEK	23
7	POVZETEK	24
8	ZAHVALA	24
9	PRILOGE	25
9.1	Priloga A: Tehnični podatki bipolarnega tranzistorja TIP31C	25
9.2	Priloga B: Tehnični podatki MOSFET tranzistorja IRLZ44	28
9.3	Priloga C: Tehnični podatki Triak TIC216M	31
10	VIRI IN LITERATURA.....	34

Kazalo slik

Slika 1: Simbol, ekvivalentna shema bipolarnega tranzistorja.....	3
Slika 2: Tokovi in napetosti bipolarnega tranzistorja.....	4
Slika 3: MOSFET tranzistor z induciranim kanalom	7
Slika 4: Triak - simbol in ekvivalentna shema	7
Slika 5: Vezava tranzistorja TIP31C v električni krog.....	10
Slika 6: Merjenje padca napetosti na tranzistorju TIP31C	12
Slika 7: Izvajanje meritev praktične uporabe vezja.....	14
Slika 8: Vezava MOSFET tranzistorja IRLZ44N v električni krog.....	16
Slika 9: Merjenje U_{GS} - I_D karakteristike tranzistorja	18
Slika 10: Izvajanje meritev praktične uporabe vezja.....	19
Slika 11: Merjenje padca napetosti na triaku	22

Kazalo tabel

Tabela 1: Izsledki raziskovalnega dela.....	22
---	----

Kazalo grafov

Graf 1: Tok v odvisnosti od napetosti za bipolarni tranzistor TIP31C.....	10
Graf 2: UGS – ID karakteristika tranzistorja IRLZ44N	17

1 Uvod

Namen naloge je bil spoznati tri različne polprevodniške elemente, jih med seboj primerjati po delovanju, izgubah in izbrati najboljšega za uporabo v danem analognem vezju. Takšna primerjava je pomembna zlasti pri razvijanju vezja, kjer moramo vezje narediti čim bolj učinkovito z najmanjšimi možnimi izgubami in pa čim manj komplicirano zaradi izgradnje končnega izdelka. Odločil sem se, da bom za vezje uporabil dve navadni žarnici, ki potrebujeta sorazmerno veliko napetost in velik tok, da lahko svetita s primerno svetilnostjo. Ti dve žarnici bi potem rad vklapljal z veliko manjšo napetostjo in tokom iz krmilnega vira. Izvedel sem poskuse z vsemi tremi elementi vezanimi kot stikala v danem vezju in nato izbral najustrežnejšega. Primerjal sem bipolarni tranzistor, MOSFET tranzistor in triak. Za najprimernejšega se je izkazal MOSFET tranzistor z najmanjšimi izgubami in z najmanj potrebnimi dodatnimi komponentami za izvedbo vezja. Triak se je izkazal kot neprimeren za uporabo v danem vezju, ker na elemente apliciramo enosmerno napetost.

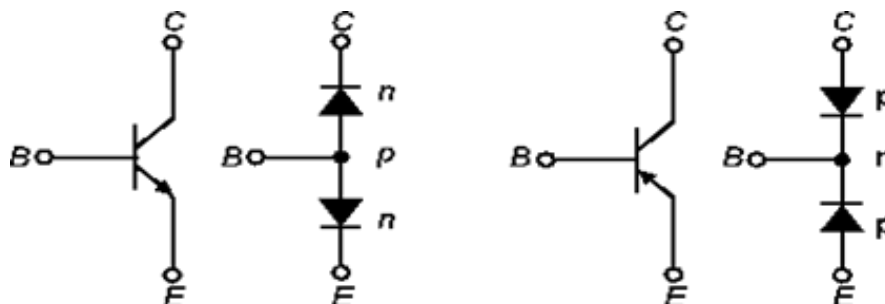
Hipoteze:

- Vsi trije elementi so uporabni v danem vezju.
- MOSFET tranzistor je najbolj uporaben v danem vezju.
- Vsaj eden izmed elementov se lahko integrira v dano vezje brez dodatnih elementov.

2 Pregled stanja tehnike

2.1 Bipolarni tranzistor

Bipolarni tranzistor je tri-elektrodni polprevodniški elektronski element, ki je namenjen ojačenju električnih signalov. Zgrajen je iz treh plasti polprevodnika (silicija z različnimi primesmi), ki se izmenoma menjajo. Odvisno od razporeditve polprevodniških plasti, dobimo dva tipa tranzistorja, NPN in PNP tip. Tranzistor ima tri priključke, ki se imenujejo: baza, kolektor in emitor.

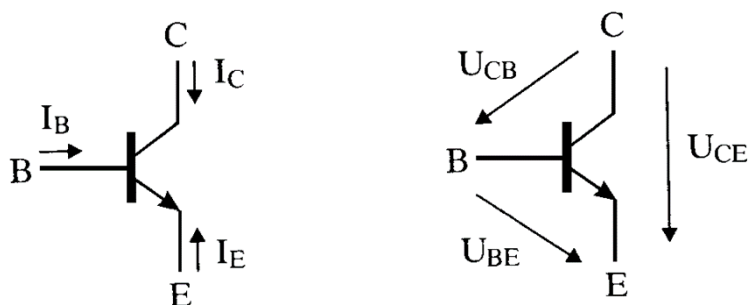


Slika 1: Simbol, ekvivalentna shema bipolarnega tranzistorja

(vir: http://www.educa.fmf.uni-lj.si/izodel/sola/2001/di/Bezjak/apo_sipos/7.htm)

Tokovi in napetosti bipolarnega tranzistorja:

Emitorski PN spoj mora biti priključen na prevodno napetost, da bo dioda emitor-baza prevajala in bodo nosilci elektrine tekli iz emitorja v bazo. Napetost med bazo in emitorjem imenujemo U_{BE} in je pri silicijevih tranzistorjih 0,7 V. V bazo se zaključuje majhen bazni tok I_B . Za zaporno napetost kolektorskega spoja poskrbi napetost U_{CE} , da bo kolektor pozitivnejši od baze. Tok, ki ga poganja ta napetost skozi tranzistor imenujemo kolektorski tok.



Slika 2: Tokovi in napetosti bipolarnega tranzistorja

(vir: http://www.educa.fmf.uni-lj.si/izodel/sola/2001/di/Bezjak/apo_sipos/7.htm)

Za tokovno vozlišče, ki ga predstavlja tranzistor velja enačba:

$$I_C = I_B \cdot \beta$$

kjer je:

I_C = kolektorski tok

I_B = bazni tok

β = ojačevalni faktor tranzistorja

V vezje se tranzistor priključuje kot četverpol, dve sponki za vhod in dve za izhod. Ker pa ima tri priključke, mora biti eden skupen na vhodu in izhodu. Glede na skupno sponko ločimo tri orientacije bipolarnega tranzistorja:

- orientacijo s skupnim emitorjem (angl. common emitter)
- orientacijo s skupnim kolektorjem (angl. common collector) in
- orientacijo s skupno bazo (angl. common base).

Tranzistor uporabljamo v najrazličnejših elektronskih vezjih kot ojačevalnik, kot stikalo oziroma za pretvorbe signalov z izmeničnimi veličinami.

Pomembne napetosti in pomembni tokovi bipolarnega tranzistorja (*glej sliko 2*):

U_{BE} = napetost med bazo in emitorjem

U_{CB} = napetost med kolektorjem in bazo

U_{CE} = napetost med kolektorjem in emitorjem

I_B = bazni tok

I_C = kolektorski tok

I_E = emitorski tok

I_{CB0} = tok nasičenja med kolektorjem in bazo

I_{CE0} = tok nasičenja tranzistorja (odvisen je od temperature spoja)

Preklopne lastnosti tranzistorja:

Stikalo ima dve stanji: odprto, tok ne teče in upornost je neskončna, ter zaprto, ko teče tok in upornost je minimalna (nič). Pri elektronskem stikalu pa je zelo pomembna poraba energije in čas preklopa oziroma vklopa in izklopa stikala. Če uporabimo tranzistor kot elektronsko stikalo, bo stikalo odprto, ko bo tranzistor zaprt in ne bo prevajal toka. Takrat teče le tok nasičenja (I_{CE0}). Ko v bazo steče bazni tok (I_B), se začne kolektorski tok povečevati in če še višamo bazni tok, pridemo do nasičenja. Tranzistor je popolnoma odprt (stikalo sklenjeno). Na tranzistorju je majhna napetost nasičenja U_{CES} .

2.2 Unipolarni tranzistor

Unipolarnim tranzistorjem pravimo tudi tranzistorji z vplivom polja (FET, angl. Field Effect Transistor). Unipolarni so zato, ker je električni tok v teh tranzistorjih sestavljen le iz večinskih nosilcev naboja. Ta tok teče skozi polprevodniški kanal, ki ima dva priključka: izvor (S, angl. Source) in ponor (D, angl. Drain). Vhodni priključek, s katerim krmilimo tok skozi kanal, imenujemo vrata (G, angl. Gate).

Glede na zgradbo vhodnega priključka ločimo dve vrsti unipolarnih tranzistorjev:

- Spojni FET (JFET, angl. Junction Gate Field Effect Transistor) ter
- FET z izoliranimi vrati (IGFET, angl. Insulated Gate Field Effect Transistor), ki ga imenujemo tudi MOSFET (angl. Metal-Oxide-Semiconductor FET).

MOSFET tranzistorji se po zgradbi delijo v dva tipa:

- z induciranim kanalom (angl. Enhancement-type)
- z vgrajenim kanalom (angl. Depletion type).

Poznamo še posebne tipe tranzistorjev, ki so najpogosteje kombinacija med unipolarnimi in bipolarnimi tranzistorji.

Za razliko od bipolarnih imajo zelo veliko vhodno upornost, ki znaša do $10^6 \Omega$ pri JFET in do $10^{14} \Omega$ pri MOSFET.

2.3 MOSFET tranzistorji

MOSFET tranzistorji imajo vhodno elektrodo (vrata G), galvanjsko ločeno od kanala. Vrata so izdelana tako, da delujejo kot majhen kondenzator. Med vhodno elektrodo in kanalom je tanka plast oksidnega polprevodnika, ki deluje kot izolator oz. dielektrik.

Oznaka MOS izvira iz zgradbe krmilne elektrode: kovina-oksidi-polprevodnik (angl. Metal Oxide Semiconductor).

Delovanje MOSFET tranzistorja

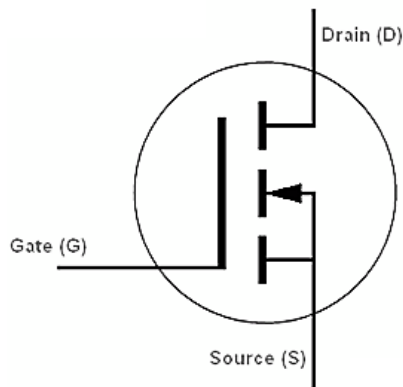
Kondenzator sestavljajo kovinska elektroda, tanka plast dielektrika iz oksidne plasti ter druga elektroda iz polprevodnika. Ko na tak kondenzator priključimo električno napetost, se med elektrodami ustvari električno polje. Zaradi tega se na kovinski elektrodi nabere pozitivna elektrina, v polprevodniku, tik pod dielektrikom, pa negativna. Ozek pas polprevodnika, tik pod dielektrikom, smo obogatili z negativno elektrino in izboljšali prevodnost.

Zaradi zgradbe vhodnega priključka ima MOSFET zelo veliko vhodno upornost (okrog 10^{12} do $10^{14} \Omega$). Ker je debelina dielektrika izredno majhna, lahko tranzistor uničimo s statično elektriko. Ta je previsoka že, če priključke tranzistorja primemo z rokami.

MOSFET z induciranim kanalom

Na polprevodniku p-tipa, v katerem je kanal n-tipa, je dodaten priključek B (angl. Bulk). Ta je v notranjosti spojen na izvor S in služi za to, da delujeta polprevodnik in vhodna elektroda kot majhen kondenzator.

Simbol MOSFET tranzistorja z induciranim n-kanalom je prikazan na sliki.



Slika 3: *MOSFET tranzistor z induciranim kanalom*

(vir: http://www.petervis.com/electronics/MOSFET_Symbol/MOSFET_Symbol.html)

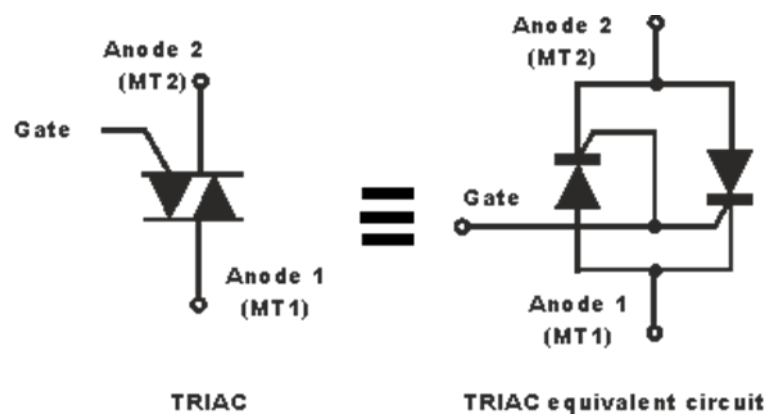
Pomembni tokovi in napetosti MOSFET tranzistorja:

I_D = tok, ki teče od ponora do izvora (angl. Drain current)

U_{GS} = napetost med vrati in izvorom (angl. Gate so source voltage)

U_{DS} = napetost med ponorom in izvorom (angl. Drain to source voltage)

2.4 Triak



Slika 4: *Triak - simbol in ekvivalentna shema*

(vir: <http://www.radio-electronics.com/info/data/semicond/triac/what-is-a-triac-basics-tutorial.php>)

Delovanje

Za triak je značilno, da ga lahko prožimo tako pri pozitivni ali pri negativni napetosti na vratih. Ima podobne električne prevajalne lastnosti kot dva antiparalelno vezana tiristorja. Tako kot tiristor ima tudi triak tri priključke, vendar ima dve anodi, anodo 1 in anodo 2 ter prožilno elektrodo G-vrata. Anodama pravimo tudi MT1 in MT2 (angl. Main Terminal 1, Main Terminal 2). Triak lahko prevaja med terminaloma v obeh smereh. Prožilni impulz med anodo in vrati je lahko pozitiven ali negativen za proženje v eni smeri in drugi smeri prevajanja. Triak je tipično močnostno dvosmerno stikalo za vklopjanje in krmiljenje električnih porabnikov v izmeničnih tokokrogih. Triake lahko delimo na tiste z normalno občutljivostjo vrat (angl. Normal Sensitivity) pri katerih znaša tok vrat od 10 do 100 mA za srednje moči in tiste z visoko občutljivostjo (angl. High Sensitivity), ki se zadovoljijo že z nekaj 100 μ A.

Pomembne napetosti in tokovi triaka

I_T = tok med MT1 in MT2 (angl. terminal current)

I_G = tok na vratih G (angl. gate current)

I_{GT} = prožilni tok na vratih (angl. gate trigger current)

U_{GT} = prožilna napetost (angl. gate trigger voltage)

U_{DRM} = napetost med MT1 in MT2 (angl. on state voltage)

3 MATERIAL IN METODE

Popis laboratorijske opreme in elementov pri izvedbi eksperimentov:

- Dva šolska malonapetostna izvira
- Dva digitalna multimetra
- Dve prototipni ploščici
- Triak TIC216M
- Tranzistor MOSFET IRLZ44N
- Tranzistor BJT TIP31C
- Žarnica 14 V 2x
- Upornik 4,7 Ω , 5 W
- Upornik 120 Ω , 0,25 W (1 kos)
- Upornik 150 Ω , 0,25 W (2 kosa)
- Upornik 10 Ω , 0,25 W (1 kos)
- Upornik 5,6 k Ω , 0,25 W (1 kosa) in povezovalni vodniki.

Rezultati pri nalogi so bili pridobljeni z eksperimentalno metodo.

4 REZULTATI

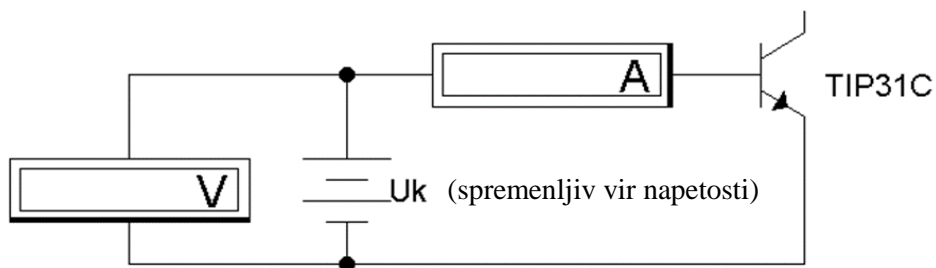
4.1 Poskus 1: Merjenje UBE – IBE karakteristike bipolarnega tranzistorja TIP31C

Pripomočki za izvedbo poskusa:

Šolski malonapetostni izvir, Digitalni multimeter 2x, bipolarni tranzistor TIP31C.

Izbral sem NPN tip tranzistorja, zaradi pogostejše uporabe in zato, ker ima bazo bolj na pozitivnem potencialu, tako da lahko bazo krmilim z pozitivno napetostjo.

Shema vezave:



Pomembne specifikacije:

$$I_C = 3 A \text{ max}$$

$$I_B = 1 A \text{ max}$$

$$U_{CE} = 60 V \text{ max}$$

$$U_{BE} = 5 V \text{ max}$$

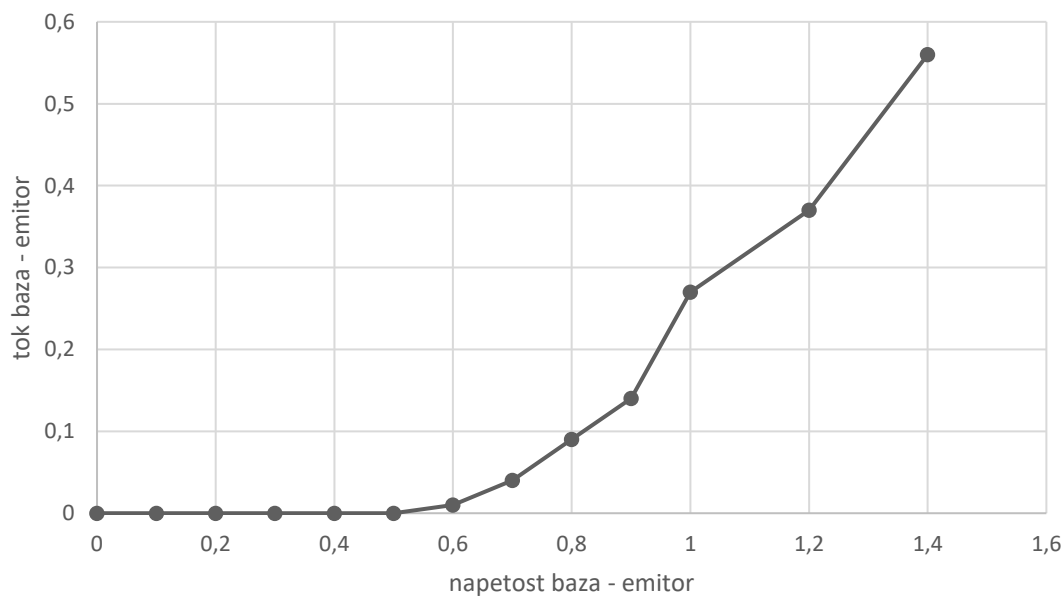
$$\beta = 25$$

Iz teorije vem, da tranzistor potrebuje neko napetost med bazo in emitorjem, da bi lahko stekel bazni tok.

Meritve:

U_{BE} (V)	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1	1,2	1,4
I_{BE} (A)	0	0	0	0	0	0	0,01	0,04	0,09	0,14	0,27	0,37	0,56

Analiza meritev:



Graf 1: Tok v odvisnosti od napetosti za bipolarni tranzistor TIP31C



Slika 5: Vezava tranzistorja TIP31C v električni krog (foto: Meža M.)

Vidimo, da začne bazni tok teči pri nekje 0,6 do 0,7 V napetosti.

Ker je kolektorski tok enak produktu baznega toka in ojačevalnega faktorja, lahko predpostavimo, da bo stekel kolektorski tok takrat, ko steče bazni. V tehničnih specifikacijah je podatek, da je maksimalni bazni tok 1 A. Torej tega toka ne smemo preseči.

$$I_C = I_B \cdot \beta$$

I_C = kolektorski tok

I_B = bazni tok

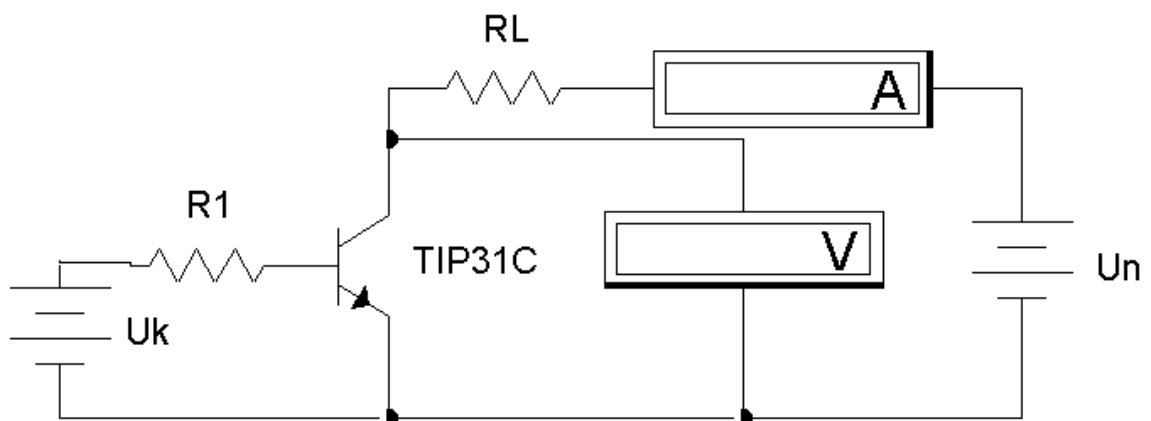
β = ojačevalni faktor

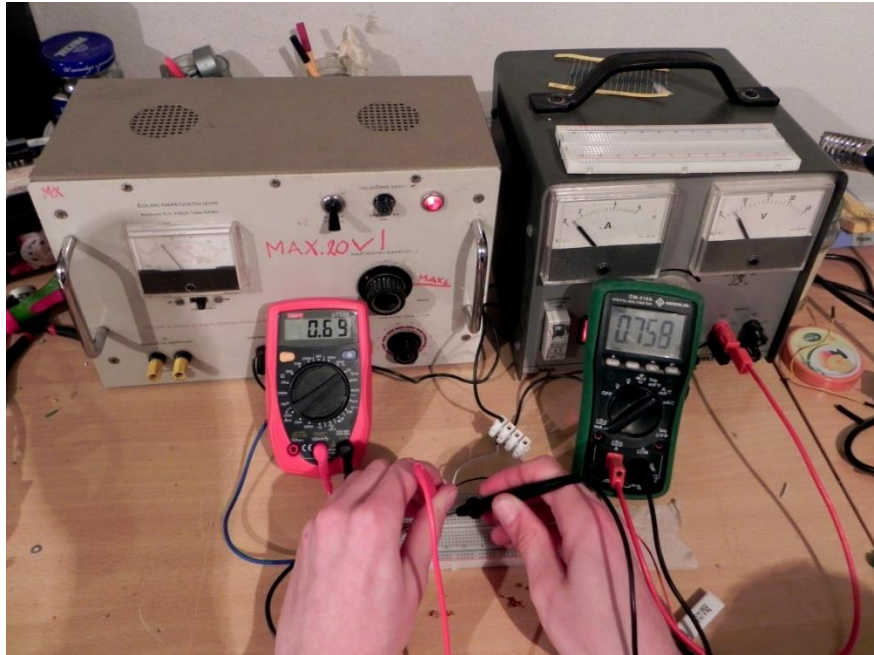
4.2 Poskus 2: Merjenje padca napetosti na bipolarnem tranzistorju TIP31C

Pripomočki za izvedbo poskusa:

Šolska malonapetostna izvira, digitalna multimetra, upornik 120 Ω , moči 0,25 W, upornik 4,7 Ω , moči 7W, tranzistor TIP31C.

Shema vezave:





Slika 6: Merjenje padca napetosti na tranzistorju TIP31C (foto: Meža M.)

Podatki:

$$U_k = 6 \text{ V}$$

$$U_n = 5 \text{ V}$$

$$R_L = 4,7 \Omega$$

$$I_c = 1,06 \text{ A}$$

$$\beta = 25$$

Izračun toka skozi upornik R_L pri napetosti 5 V:

$$R = \frac{U}{I}, \quad I = \frac{5 \text{ V}}{4,7 \Omega} = 1,06 \text{ A}$$

Izračun baznega toka:

$$I_c = I_b \cdot \beta, \quad I_b = \frac{I_c}{\beta} = \frac{1,06 \text{ A}}{25} \cong 42 \text{ mA}$$

Izračun upornika R_1 :

$$R = \frac{U}{I} = \frac{U_k - U_{be}}{I_b} = \frac{6 \text{ V} - 1 \text{ V}}{0,042 \text{ A}} = 119 \cong 120 \Omega$$

Kolektorski tok, torej I_c , določa breme, v tem primeru upor R_L . Izbran je bil zato, ker je ohmsko breme, zato nima zagonskih tokov. Prav tako napajalno napetost določa breme, ki je v tem

primeru 5 V. β pomeni faktor ojačenja, ki je podan v prilogi, kot vrednost h_{FE} . U_{BE} je napetost med bazo in emitorjem, ki drži naš tranzistor odprt (lahko teče tok I_c). Za silicij je ta napetost 0,7 V, vendar sem jo zaokrožil na 1 V. To lahko naredim, ker je 5 V maksimalna vrednost te napetosti za ta model tranzistorja.

Meritve:

$$I_c = 0,75 \text{ A}$$

$$U_2 = 0,7 \text{ V}$$

Izračunan kolektorski tok: **$I_c = 1,06 \text{ A}$**

Razlog za manjši kolektorski tok je padeč napetosti med kolektorjem in emitorjem tranzistorja.

$$U_1 = 4,73 \text{ V}$$

$$U_2 = 0,7 \text{ V}$$

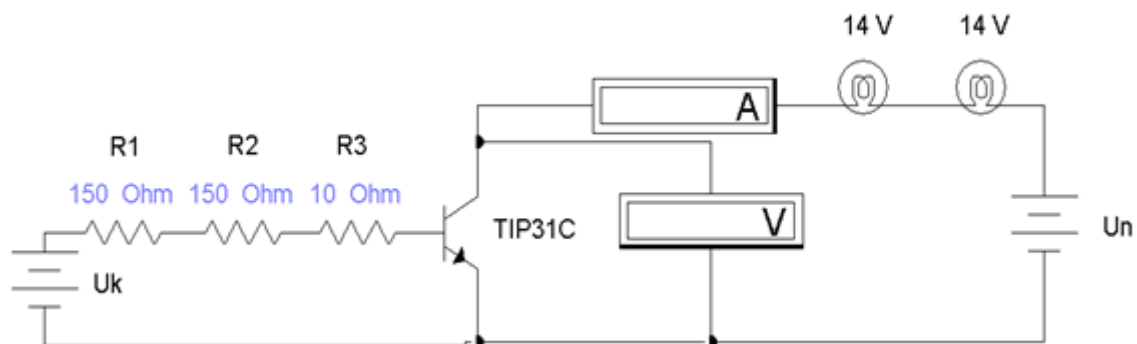
Prvi padeč napetosti je na uporih, drugi na tranzistorju (med kolektorjem in emitorjem).

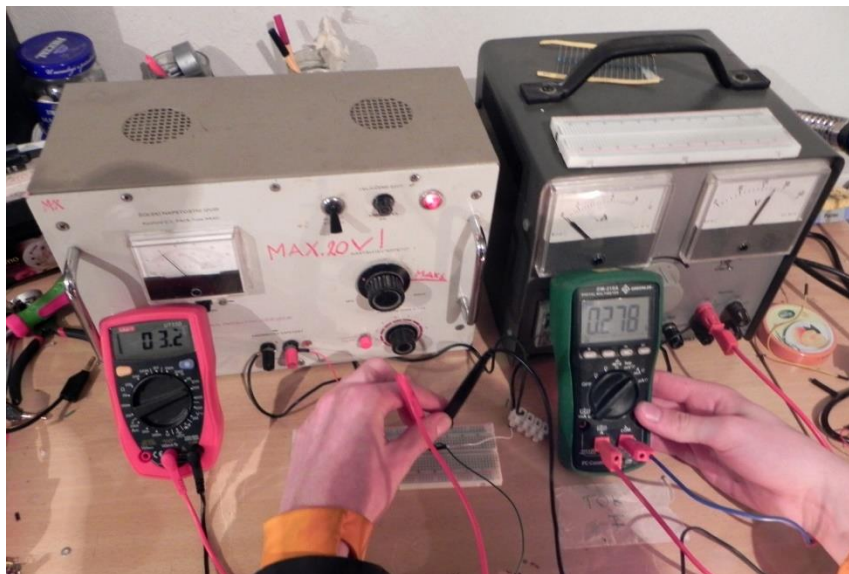
VEZJE V PRAKTIČNI UPORABI

Pripomočki za izvedbo poskusa:

Šolska malonapetostna izvira, digitalna multimetra, žarnici 14V, upornika 150 Ω , moči 0,25 W, upornik 10 Ω , moči 0,25 W, tranzistor TIP31C.

SHEMA VEZAVE:





Slika 7: Izvajanje meritev praktične uporabe vezja (foto: Meža M.)

Podatki:

$$U_n = 28 \text{ V}$$

$$U_k = 5 \text{ V}$$

$$I_c = 0,32 \text{ A}$$

$$\beta = 25$$

Skupni tok skozi obe žarnici je 0,32 A.

Izračun baznega toka:

$$I_c = I_b \cdot \beta, \quad I_b = \frac{I_c}{\beta} = \frac{0,32 \text{ A}}{25} = 0,0128 \text{ A}$$

Izračun baznega upora :

$$R = \frac{U}{I} = \frac{U_k - U_{be}}{I_b} = \frac{5 \text{ V} - 1 \text{ V}}{0,0128 \text{ A}} = 312,5 \Omega \cong 150 \Omega + 150 \Omega + 10 \Omega$$

Meritve:

$$I_c = 0,28 \text{ A (kolektorski tok)}$$

$$U_1 = 3,2 \text{ V (padec napetosti na tranzistorju)}$$

Izračunan kolektorski tok: **$I_c = 0,32 \text{ A}$** .

Izmerjen kolektorski tok: **$I_c = 0,28 \text{ A}$**

Izgubo na tranzistorju izračunamo iz:

$$P = U \cdot I = 3,2 \text{ V} \cdot 0,289 \text{ A} = 0,9248 \text{ W} \cong 0,92 \text{ W}$$

Neko izgubo na tranzistorju predstavlja tudi bazni tok:

$$P = U \cdot I = 0,7 \text{ V} \cdot 0,0128 \text{ A} = 0,00896 \text{ W} \cong 0,009 \text{ W}$$

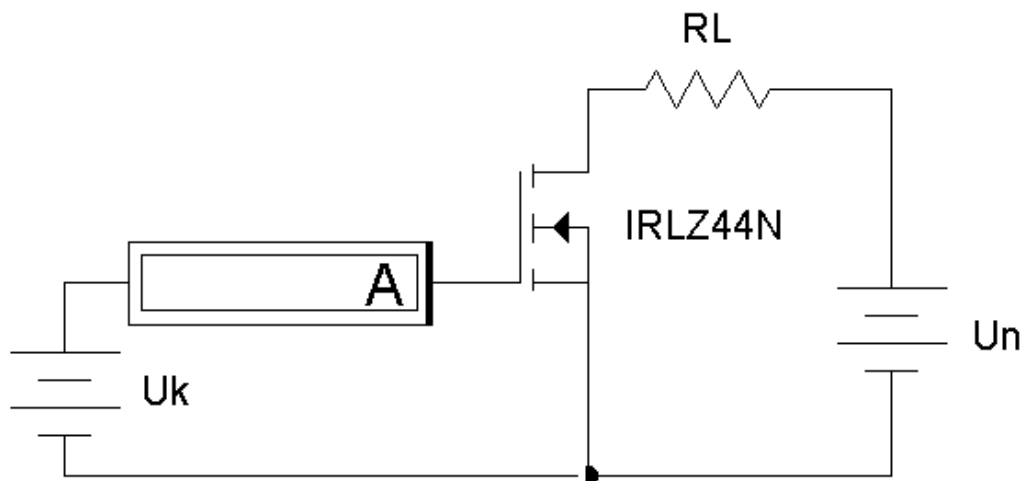
Skupne izgube znašajo **0,929 W**.

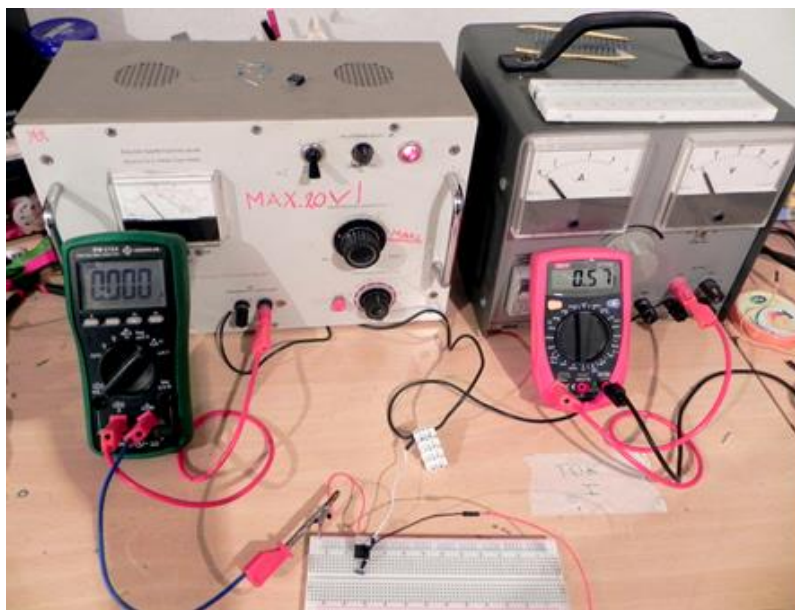
4.3 Poskus 3: Merjenje toka I_G na MOSFET tranzistorju

Pripomočki za izvedbo poskusa:

Šolska malonapetostna izvira, digitalni multimeter, upornik R_L 4,7 Ω , moči 7 W, MOSFET tranzistor IRLZ44N.

Shema vezave:





Slika 8: Vezava MOSFET tranzistorja IRLZ44N v električni krog (foto: Meža M.)

Izbral sem tip tranzistorja z induciranim kanalom (N kanalni), iz istega razloga kot pri tranzistorju BJT, da ga lahko krmilim z pozitivno napetostjo. Iz teorije vem, da MOSFET ne potrebuje nobenega toka med priključkoma G in S, v primerjavi z BJT, ki potrebuje določen tok med bazo in emitorjem. MOSFET potrebuje samo določeno napetost na vratih, da bi lahko stekel tok I_D . Izbral sem MOSFET IRLZ44N zaradi tega, ker sem ga imel doma.

Meritve:

$$I_g = 0 \text{ A}$$

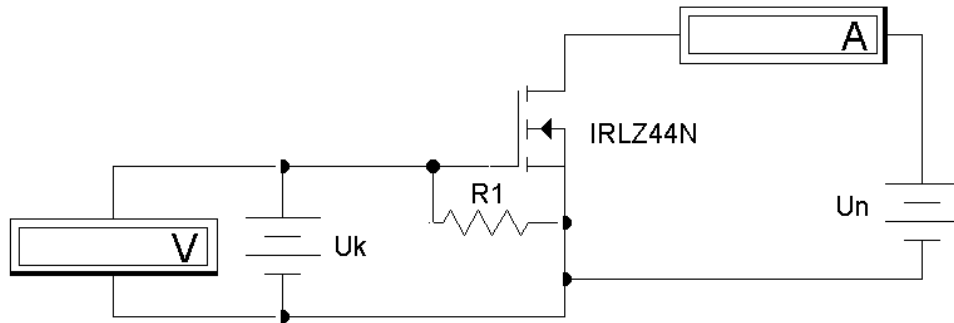
V serijo s krmilnim virom napetosti sem vezal ampermeter, ter s tem poskusom potrdil, da res ne teče med vrati in izvorom noben tok, potrebna je le določena napetost ($U_k = 5 \text{ V}$, $U_n = 5 \text{ V}$).

4.4 Poskus 4: Merjenje $U_{GS}-I_D$ karakteristike MOSFET tranzistorja IRLZ44N

Pripomočki za izvedbo poskusa:

Šolska napetostna izvira, digitalna multimetra, upornik $5,6 \text{ k}\Omega$, moči $0,25 \text{ W}$, MOSFET tranzistor IRLZ44N.

SHEMA VEZAVE:



Podatki:

$U_n = 5 \text{ V}$,

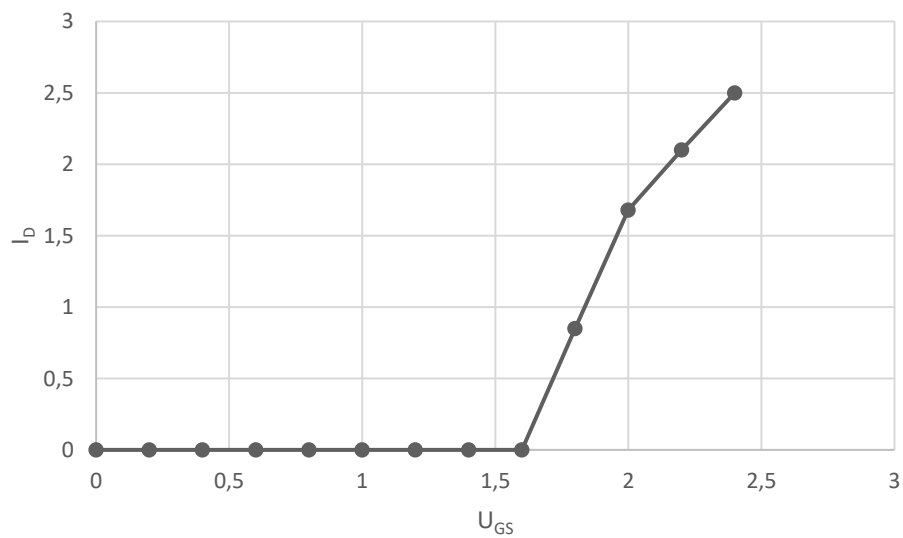
$U_k = \text{spremenljiva napetost}$,

$R_1 = 5,6 \text{ k}\Omega$

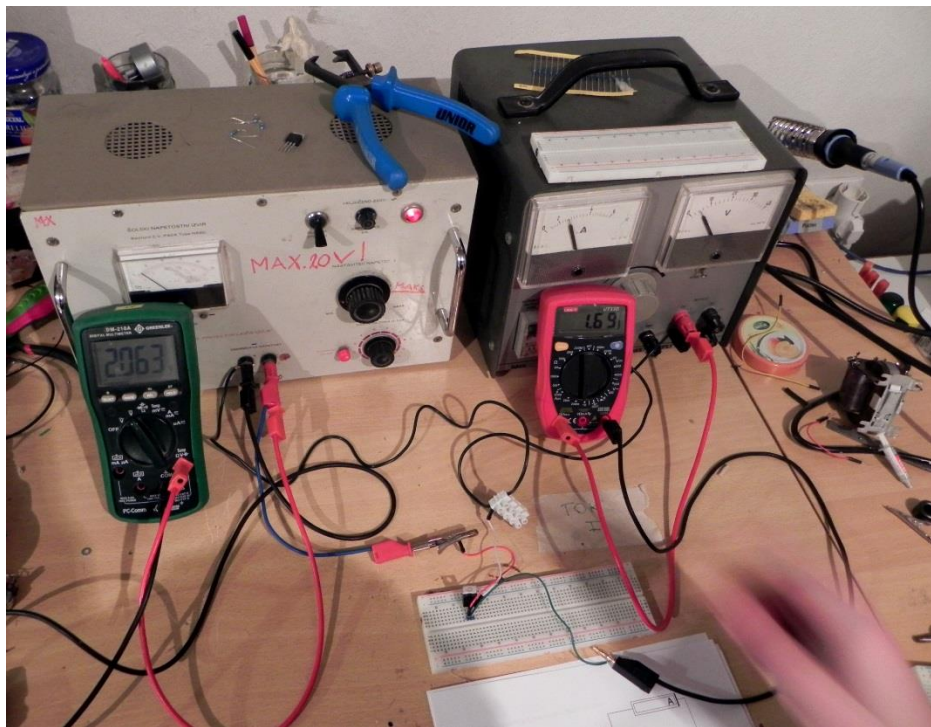
Meritve:

U_{GS} (V)	0	0,2	0,4	0,6	0,8	1	1,2	1,4	1,6	1,8	2	2,2	2,4
I_D (A)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,85	1,68	2,10	2,50

Analiza meritev:



Graf 2: $U_{GS} - I_D$ karakteristika tranzistorja IRLZ44N



Slika 9: Merjenje U_{GS} - I_D karakteristike tranzistorja (foto: Meža M.)

Kot vidimo, začne tok I_D teči pri 1,8 V napetosti in nato strmo narašča. Ta tok moramo meriti v področju nasičenja tranzistorja, napetost 5 V je dovolj velika, da preide v to področje.

Upor R_1 je v vezju zato, ker če se terminala G dotaknem s prstom, tranzistor odpre! Razlog za to so majhne elektrostatične napetosti na mojem telesu, ki ustvarijo naboj na terminalu G. Torej, upor R_1 priključi terminal G na potencial 0 V (na terminal S). Upor je v tem primeru 5,6 k Ω , zato, da teče čim manj neželenega toka skozenj.

Pomembne specifikacije tranzistorja:

$U_{DS} = 60 \text{ V MAX}$

$U_{GS} = 10 \text{ V MAX}$

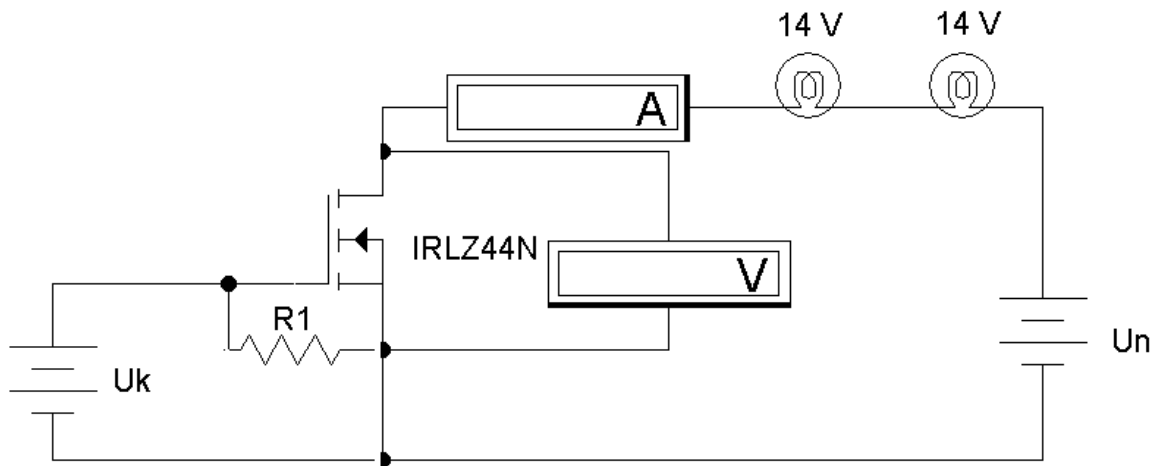
$I_D = 50 \text{ A MAX}$

VEZJE V PRAKTIČNI UPORABI

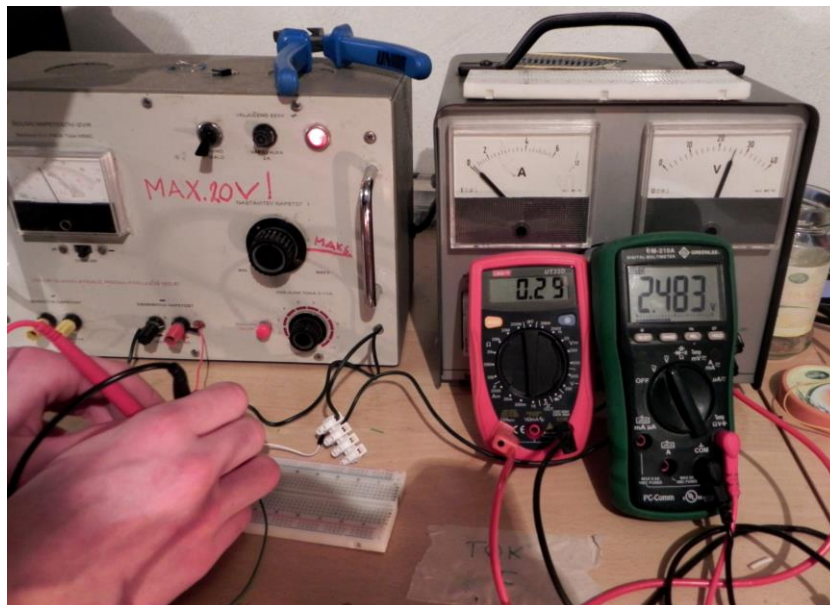
Pripomočki za izvedbo poskusa:

Šolska malonapetostna izvira, digitalna multimetra, žarnici 14 V, upor 5,6 k Ω 0,25 W, tranzistor MOSFET IRLZ44N.

SHEMA VEZAVE:



Tok skozi obe žarnici je 0,32 A, $U_n = 28$ V, $U_k = 7$ V, $R_1 = 5,6$ k Ω .



Slika 10: Izvajanje meritev praktične uporabe vezja (foto: Meža M.)

Meritve:

$I_D = 0,29 \text{ A}$ (tok ponora)

$U_1 = 2,5 \text{ V}$

Izračunan tok: $I_D = 0,32 \text{ A}$

Izmerjen tok: $I_D = 0,29 \text{ A}$

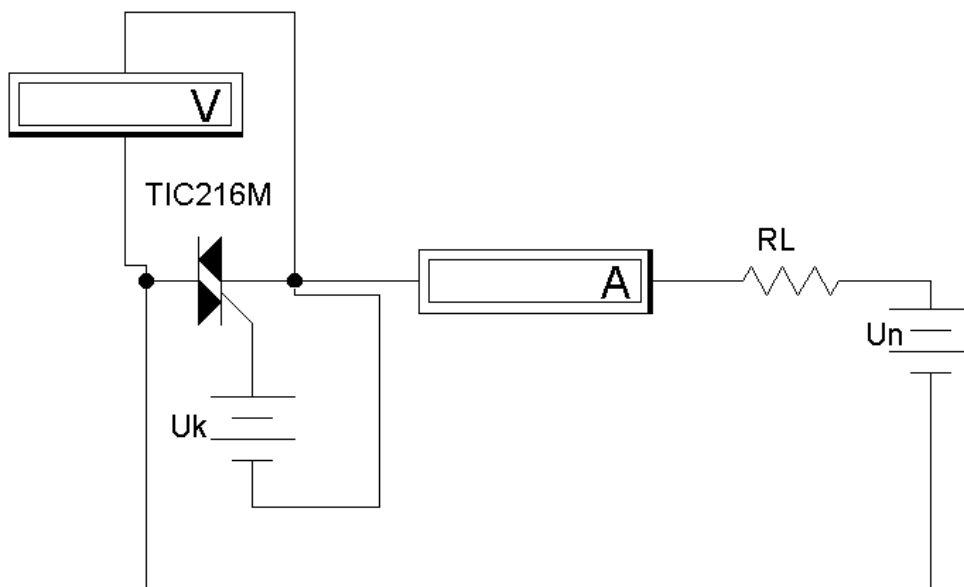
Izračun izgubljene moči na tranzistorju: $P = U \cdot I = 2,5 \text{ V} \cdot 0,29 \text{ A} = 0,725 \text{ W}$

4.5 Poskus 5: Merjenje padca napetosti na triaku

Pripomočki za izvedbo poskusa:

Šolska malonapetostna izvira, digitalna multimetra, upornik R_L $4,7 \Omega$ 7 W , Triak TIC216M.

SHEMA VEZAVE:



Podatki:

$U_n = 5 \text{ V}$

$U_k = 0,5 \text{ V}$

$R_L = 4,7 \Omega$

Pomembne specifikacije:

$$V_{\text{DRM}} = 600 \text{ V}$$

$$I_{\text{T}} = 6 \text{ A}$$

$$I_{\text{GTM}} = \pm 5 \text{ mA (pri napajalni napetosti } \pm 12 \text{ V)}$$

$$V_{\text{GTM}} = \pm 2,2 \text{ V (pri napajalni napetosti } \pm 12 \text{ V)}$$

Iz teorije vem, da je triak element, ki je sestavljen iz dveh tiristorjev v antiparalelni vezavi. Ker delam samo z enosmerno napetostjo, predpostavljam, da se bo triak obnašal kot tiristor, samo da bo imel bolj občutljiva vrata.

V tem primeru sem izbral triak TIC216M, ker ima občutljiva vrata (sensitive gate triac) in ga lahko krmilim že z zelo majhnimi tokovi in napetostmi.

Meritve:

$$I_{\text{MT1}} = 0,69 \text{ A}$$

$$U_1 = 0,86 \text{ V}$$

Izmerjen tok MT1 je 0,69 A.

Izračunan tok MT1 je 1,06 A.

Razlog za manjši tok je padeč napetosti med MT₁ in MT₂.

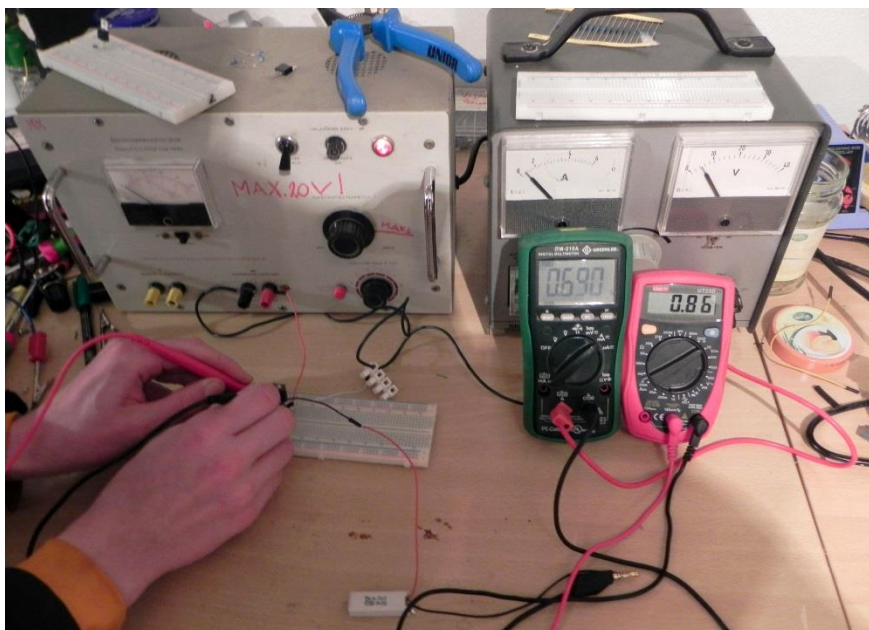
Padeč napetosti na triaku je 0,86 V.

Izračun izgub na triaku:

$$P = U \cdot I = 0,86 \text{ V} \cdot 0,69 \text{ A} = 0,5934 \text{ W} \approx 0,593 \text{ W}$$

Nekakšno izgubo predstavlja tudi tok na vratih, vendar ga bom zanemaril, ker je element neuporaben za v dano vezje.

Vezje je neuporabno za primer uporabe z enosmerno napetostjo, saj kot sem predpostavljajal, pri vklopu vira napetosti U_k in izklopu čez nekaj časa, triak ostane odprt, dokler ne odklopimo napetosti U_n . Lahko bi med triak in vir napetosti U_n vezal MOSFET tranzistor, vendar takšno vezje spet ni smiselno, saj bi lahko uporabili samo MOSFET tranzistor za vklopjanje upora RL.



Slika 11: Merjenje padca napetosti na triaku (foto: Meža M.)

5 RAZPRAVA

Izsledki raziskave so prikazani v tabeli.

ELEMENT	Padec napetosti na elementu	Porabljena moč na elementu	Delovanje in uporabnost v danem vezju	Število dodatnih uporabljenih elementov
Tranzistor BJT	3,2 V	929 mW	Uporabno	3
Tranzistor MOSFET	2,5 V	725 mW	Uporabno	1
Triak	/	/	Neuporabno	0

Tabela 1: *Izsledki raziskovalnega dela*

Iz tabele je razvidno, da je MOSFET tranzistor najbolj primeren za uporabo v danem vezju. Na njem je padec napetosti najmanjši, prav tako tudi porabljena moč, uporaben je v danem vezju in potrebuje najmanjše število elementov. Tranzistor BJT je v vezju sicer uporaben brez kakršnih koli težav, vendar se ne uvrsti na prvo mesto zaradi višjega padca napetosti, kakor ga je imel MOSFET tranzistor in pa seveda posledično tudi višje porabljene moči. Število dodatno uporabljenih elementov je sicer večje, vendar ta podatek tukaj ne igra vloge, ker sem moral pri izvedbi vezja uporabiti tri upore v zaporedni vezavi, zato da sem dobil največji približek izračunani vrednosti upornosti. Temu bi se lahko izognil, če bi potreboval drugačno vrednost

baznega toka. Slabost pri BJT tranzistorju je tudi ta, da mora vedno teči nekakšen bazni tok, da lahko deluje in ta tok obremenjuje naš krmilni vir napetosti, zlasti če je ta kakšen manjši čip ali mikro kontroler manjše izvedbe. Seveda pa bazni tok, tudi če je izredno majhne vrednosti, doprinaša skupni porabljeni moči na tranzistorju. Triak se uvršča na dno tabele zato, ker sem operiral samo z enosmerno napetostjo. Ker pa je triak sestavljen iz dveh tiristorjev v antiparalelni vezavi, ko skozi njega poženem enosmerni tok, je samo en tiristor v prevodnem stanju in se obnaša kot tiristor. Če bi obrnil polariteto, bi tok tekel skozi drugi tiristor in bi dobil iste rezultate. Za triak nisem izvedel vezja praktične uporabe, ker je izločen iz primerjave.

Prve hipoteze nisem potrdil, zaradi triaka, ki ni uporaben v danem vezju. Drugo hipotezo sem takoj potrdil, ker se je MOSFET tranzistor izkazal za najuporabnejšega. Tretje hipoteze nisem potrdil, ker je bil triak, ki sicer ni potreboval nobenega dodatnega elementa, izločen iz raziskave. Tudi v praktični izvedbi vezja bi se težko znašel brez dodatnega upora na vratih triaka, ki bi doprinesel ustrezen padec napetosti in ustrezno omejitev toka za priključek vrata. To bi seveda lahko izvedel, če bi takrat operiral z izmenično napetostjo.

Napake so se pojavile pri poskusu številka 2 (merjenje padca napetosti na tranzistorju). Imel sem velike težave z sorazmerno visoko kontaktno upornostjo, ki sem jo uspešno odpravil z boljšimi povezavami.

6 ZAKLJUČEK

Zaključki:

- MOSFET tranzistor je najprimernejši za uporabo v danem vezju
- Triak ni primeren za uporabo v danem vezju
- Tranzistor BJT je delno primeren za aplikacijo v danem vezju
- Največ računanja pri načrtovanju vezja zahteva BJT tranzistor
- Največ dodatnih elementov prav tako zahteva BJT tranzistor
- Pri načrtovanju danega vezja bi z gotovostjo lahko uporabil MOSFET tranzistor

Čeprav je raziskovalna naloga pokazala dane rezultate, temu mogoče v realnem primeru ne bi bilo tako. MOSFET tranzistor deluje na principu električnega polja in bi lahko bilo njegovo delovanje moteno, ali celo onemogočeno v vezju, ki bi uporabljalo pri delovanju še drugačne elemente, kateri generirajo velika električna polja. Prav tako so bile te raziskave mišljene samo za vklope pri nizkih frekvencah. Če bi MOSFET tranzistor prožili z visoko frekvenco, predpostavljam, da bi dobili popačenja izhodne napetosti zaradi parazitnih kapacitivnosti, ki nastopajo med priključki le tega. V tem primeru bi bil boljša izbira BJT tranzistor, ker so te kapacitivnosti občutno manjše. V nadaljnjih raziskavah bi lahko operiral z napetostmi, ki imajo izmenične veličine. Takrat predpostavljam, da bi bili rezultati drugačni od moje sedanje raziskave.

7 POVZETEK


V nalogi sem spoznal tri različne polprevodniške elemente in jih nato med seboj primerjal. Delal sem s triakom, MOSFET tranzistorjem in bipolarnim tranzistorjem. Bipolarni tranzistor potrebuje za delovanje konstanten tok, ki teče od baze proti emitorju. Napetost, ki poganja ta tok skozi tranzistor, mora biti ustrezno omejena, zato potrebujemo ustrezen bazni upor. Ker je kolektorski tok bipolarnega tranzistorja enak produktu baznega toka in ojačevalnega faktorja, ki je podan v podatkih, potrebujemo najmanjšo vrednost ojačevalnega faktorja in ustrezen bazni tok, da lahko kolektorski tok krmilimo. MOSFET tranzistor v primerjavi z bipolarnim ne potrebuje nobenega toka iz krmilnega vezja, da bi ustrezno deloval. Potrebuje le določeno napetost, ker deluje na principu električnega polja. Ta napetost potem ustvari na priključku vrata ustrezno električno polje, da lahko polprevodniški kanal v MOSFET tranzistorju zniža svojo upornost iz skoraj neskončne na zelo majhno vrednost. Tako lahko začne teči tok med ponorom in izvorom, ki ga poganja napetost med ponorom in izvorom. Med vrati in izvorom potrebujem ustrezen upor zato, da priključi vrata na potencial 0 V. To je potrebno zato, da tranzistorja ne uničijo elektrostatične napetosti, če se terminala G dotaknem z roko. Prej omenjeni upornik mora biti visoke vrednosti, zato da teče čim manj neželenega toka skozenj. Triak se sestoji iz dveh tiristorjev v antiparalelni vezavi in je zato neprimeren za uporabo v vezjih z enosmerno napetostjo. Neuporaben je zato, ker po odklopu krmilne napetosti še vedno ostane odprt, dokler ne odklopim napajalne napetosti. Z drugimi besedami, ko triak odpre, električni tok steče samo skozi enega od tiristorjev, ker je drug vezan v zaporni smeri. Ko triak izgubi napetost na vratih, ostane tisti od dveh tiristorjev, ki je bil odprt, še vedno odprt in triaka ne moremo zapreti drugače, kot da odklopimo napajalno napetost. Za vsakega od elementov sem izvedel poskus, v katerem sem izvedel meritve padcev napetosti, manjših tokov, ki so jih le-ti povzročili in pa tudi meritve vhodnih karakteristik. Z vsakim od elementov sem izvedel še vezje praktične uporabe, v katerem sem opravil meritve, ki so bile vključene v primerjavo. Vezje sestoji iz dveh 14-voltnih žarnic v zaporedni vezavi in ustrezne krmilne napetosti, s katero se bo stikalni element v vezju prožil. Za najboljšega se je izkazal MOSFET tranzistor z najmanjšim padcem napetosti, z najmanjšimi izgubami na njem in pa z najmanjšim številom dodatno uporabljenih elementov. Takoj za njim se je uvrstil bipolarni tranzistor, za večjimi zgoraj navedenimi vrednostmi in števili. Triak se je izkazal za neprimernega zaradi zgoraj navedenih razlogov. Iz raziskave sem navedel naslednje zaključke: MOSFET tranzistor je najprimernejši za uporabo v danem vezju, Triak ni primeren za uporabo v danem vezju. Bipolarni tranzistor je delno primeren za aplikacijo v danem vezju, Največ računanja pri načrtovanju vezja zahteva bipolarni tranzistor, prav tako kot tudi zahteva največ dodatnih elementov. Pri načrtovanju danega vezja bi z gotovostjo lahko uporabil tranzistor MOSFET.


8 ZAHVALA

Iskreno se zahvaljujem svojemu mentorju za pomoč pri izdelavi, oblikovanju raziskovalne naloge. Velika zahvala pa gre tudi staršem, predvsem očetu za vso podporo in potrpežljivost.

9 PRILOGE

9.1 Priloga A: Tehnični podatki bipolarnega tranzistorja TIP31C






November 2014

TIP31A / TIP31C NPN Epitaxial Silicon Transistor

Features

- Medium Power Linear Switching Applications
- Complementary to TIP32 Series



TO-220
1.Base 2.Collector 3.Emitter

Ordering Information

Part Number	Top Mark	Package	Packing Method
TIP31A	TIP31A	TO-220 3L (Single Gauge)	Bulk
TIP31C	TIP31C	TO-220 3L (Single Gauge)	Bulk
TIP31CTU	TIP31C	TO-220 3L (Single Gauge)	Rail

Absolute Maximum Ratings

Stresses exceeding the absolute maximum ratings may damage the device. The device may not function or be operable above the recommended operating conditions and stressing the parts to these levels is not recommended. In addition, extended exposure to stresses above the recommended operating conditions may affect device reliability. The absolute maximum ratings are stress ratings only. Values are at $T_C = 25^\circ\text{C}$ unless otherwise noted.

Symbol	Parameter	Value	Unit	
V _{CBO}	Collector-Base Voltage	TIP31A	60	V
		TIP31C	100	
V _{CEO}	Collector-Emitter Voltage	TIP31A	60	V
		TIP31C	100	
V _{EBO}	Emitter-Base Voltage	5	V	
I _C	Collector Current (DC)	3	A	
I _{CP}	Collector Current (Pulse)	5	A	
I _B	Base Current	1	A	
T _J	Junction Temperature	150	°C	
T _{STG}	Storage Temperature Range	-65 to 150	°C	

TIP31A / TIP31C — NPN Epitaxial Silicon Transistor

© 2000 Fairchild Semiconductor Corporation www.fairchildsemi.com
 TIP31A / TIP31C Rev. 1.1.0

Thermal Characteristics

Values are at $T_C = 25^\circ\text{C}$ unless otherwise noted.

Symbol	Parameter	Value	Unit
P_C	Collector Dissipation ($T_A = 25^\circ\text{C}$)	2	W
	Collector Dissipation ($T_C = 25^\circ\text{C}$)	40	

Electrical Characteristics

Values are at $T_C = 25^\circ\text{C}$ unless otherwise noted.

Symbol	Parameter	Conditions	Min.	Max.	Unit
$V_{CEO(SUS)}$	Collector-Emitter Sustaining Voltage ⁽¹⁾	TIP31A	$I_C = 30\text{ mA}, I_B = 0$	60	V
		TIP31C		100	
I_{CEO}	Collector Cut-Off Current	TIP31A	$V_{CE} = 30\text{ V}, I_B = 0$	0.3	mA
		TIP31C	$V_{CE} = 60\text{ V}, I_B = 0$	0.3	
I_{CES}	Collector Cut-Off Current	TIP31A	$V_{CE} = 60\text{ V}, V_{EB} = 0$	200	μA
		TIP31C	$V_{CE} = 100\text{ V}, V_{EB} = 0$	200	
I_{EBO}	Emitter Cut-Off Current	$V_{EB} = 5\text{ V}, I_C = 0$		1	mA
h_{FE}	DC Current Gain ⁽¹⁾		$V_{CE} = 4\text{ V}, I_C = 1\text{ A}$	25	
			$V_{CE} = 4\text{ V}, I_C = 3\text{ A}$	10	
$V_{CE(sat)}$	Collector-Emitter Saturation Voltage ⁽¹⁾	$I_C = 3\text{ A}, I_B = 375\text{ mA}$		1.2	V
$V_{BE(on)}$	Base-Emitter On Voltage ⁽¹⁾	$V_{CE} = 4\text{ V}, I_C = 3\text{ A}$		1.8	V
f_T	Current Gain Bandwidth Product	$V_{CE} = 10\text{ V}, I_C = 500\text{ mA}, f = 1\text{ MHz}$	3.0		MHz

Note:

1. Pulse test: $p_w \leq 300\ \mu\text{s}$, duty cycle $\leq 2\%$.

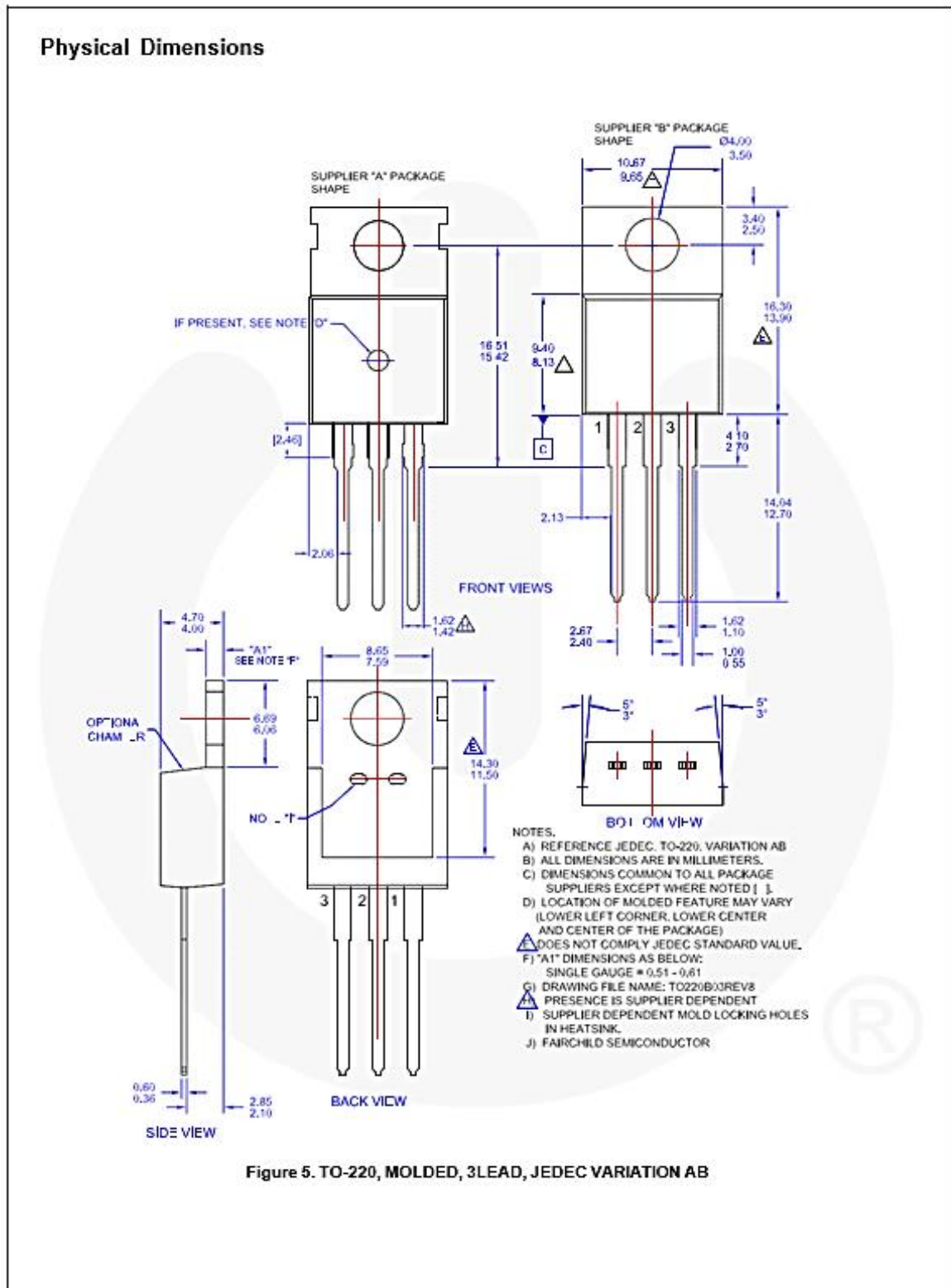


Figure 5. TO-220, MOLDED, 3LEAD, JEDEC VARIATION AB

9.2 Priloga B: Tehnični podatki MOSFET tranzistorja IRLZ44



IRLZ44, SiHLZ44

Vishay Siliconix

Power MOSFET

PRODUCT SUMMARY	
V_{DS} (V)	60
$R_{DS(on)}$ (Ω)	$V_{GS} = 5.0\text{ V}$ 0.028
Q_g (Max.) (nC)	66
Q_{gs} (nC)	12
Q_{gd} (nC)	43
Configuration	Single

FEATURES

- Dynamic dV/dt Rating
- Logic-Level Gate Drive
- $R_{DS(on)}$ Specified at $V_{GS} = 4\text{ V}$ and 5 V
- $175\text{ }^\circ\text{C}$ Operating Temperature
- Fast Switching
- Ease of Paralleling
- Simple Drive Requirements
- Compliant to RoHS Directive 2002/95/EC

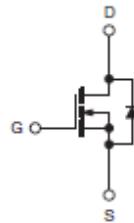
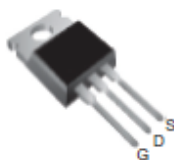


DESCRIPTION

Third generation Power MOSFETs from Vishay provide the designer with the best combination of fast switching, ruggedized device design, low on-resistance and cost-effectiveness.

The TO-220AB package is universally preferred for all commercial-industrial applications at power dissipation levels to approximately 50 W. The low thermal resistance and low package cost of the TO-220AB contribute to its wide acceptance throughout the industry.

TO-220AB



N-Channel MOSFET

ORDERING INFORMATION	
Package	TO-220AB
Lead (Pb)-free	IRLZ44PbF SiHLZ44-E3
SnPb	IRLZ44 SiHLZ44

ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS ($T_C = 25\text{ }^\circ\text{C}$, unless otherwise noted)				
PARAMETER	SYMBOL	LIMIT	UNIT	
Drain-Source Voltage	V_{DS}	60	V	
Gate-Source Voltage	V_{GS}	± 10		
Continuous Drain Current ^a	V_{GS} at 5.0 V	$T_C = 25\text{ }^\circ\text{C}$	A	
Continuous Drain Current		$T_C = 100\text{ }^\circ\text{C}$		
Pulsed Drain Current ^a		I_{DM}	200	
Linear Derating Factor			1.0	W/ $^\circ\text{C}$
Single Pulse Avalanche Energy ^b		E_{AS}	400	mJ
Maximum Power Dissipation	$T_C = 25\text{ }^\circ\text{C}$	P_D	150	W
Peak Diode Recovery dV/dt ^c		dV/dt	4.5	V/ns
Operating Junction and Storage Temperature Range		T_J, T_{stg}	- 55 to + 175	$^\circ\text{C}$
Soldering Recommendations (Peak Temperature) ^d	for 10 s		300	
Mounting Torque	6-32 or M3 screw		10	lbf · in
			1.1	N · m

Notes



- Repetitive rating; pulse width limited by maximum junction temperature (see fig. 11).
- $V_{DD} = 25\text{ V}$, starting $T_J = 25\text{ }^\circ\text{C}$, $L = 179\text{ }\mu\text{H}$, $R_{\theta} = 25\text{ }\Omega$, $I_{AS} = 51\text{ A}$ (see fig. 12).
- $I_{SD} \leq 51\text{ A}$, $dV/dt \leq 250\text{ A/s}$, $V_{DD} \leq V_{DS}$, $T_J \leq 175\text{ }^\circ\text{C}$.
- 1.6 mm from case.
- Current limited by the package, (die current = 51 A).

IRLZ44, SiHLZ44

Vishay Siliconix



THERMAL RESISTANCE RATINGS				
PARAMETER	SYMBOL	TYP.	MAX.	UNIT
Maximum Junction-to-Ambient	R_{thJA}	-	62	°C/W
Case-to-Sink, Flat, Greased Surface	R_{thCS}	0.50	-	
Maximum Junction-to-Case (Drain)	R_{thJC}	-	1.0	

SPECIFICATIONS ($T_J = 25\text{ }^\circ\text{C}$, unless otherwise noted)						
PARAMETER	SYMBOL	TEST CONDITIONS	MIN.	TYP.	MAX.	UNIT
Static						
Drain-Source Breakdown Voltage	V_{DS}	$V_{GS} = 0\text{ V}, I_D = 250\text{ }\mu\text{A}$	60	-	-	V
V_{DS} Temperature Coefficient	$\Delta V_{DS}/T_J$	Reference to $25\text{ }^\circ\text{C}$, $I_D = 1\text{ mA}$	-	0.070	-	V/°C
Gate-Source Threshold Voltage	$V_{GS(th)}$	$V_{DS} = V_{GS}, I_D = 250\text{ }\mu\text{A}$	1.0	-	2.0	V
Gate-Source Leakage	I_{GSS}	$V_{GS} = 10\text{ V}$	-	-	± 100	nA
Zero Gate Voltage Drain Current	I_{DSS}	$V_{DS} = 60\text{ V}, V_{GS} = 0\text{ V}$	-	-	25	μA
		$V_{DS} = 48\text{ V}, V_{GS} = 0\text{ V}, T_J = 150\text{ }^\circ\text{C}$	-	-	250	
Drain-Source On-State Resistance	$R_{DS(on)}$	$V_{GS} = 5.0\text{ V}, I_D = 31\text{ A}^b$	-	-	0.028	Ω
		$V_{GS} = 4.0\text{ V}, I_D = 25\text{ A}^b$	-	-	0.039	
Forward Transconductance	g_{fs}	$V_{DS} = 25\text{ V}, I_D = 31\text{ A}^b$	23	-	-	S
Dynamic						
Input Capacitance	C_{iss}	$V_{GS} = 0\text{ V}, V_{DS} = 25\text{ V}, f = 1.0\text{ MHz}$, see fig. 5	-	3300	-	pF
Output Capacitance	C_{oss}		-	1200	-	
Reverse Transfer Capacitance	C_{rss}		-	200	-	
Total Gate Charge	Q_g	$V_{GS} = 5.0\text{ V}, I_D = 51\text{ A}, V_{DS} = 48\text{ V}$, see fig. 6 and 13 ^b	-	-	66	nC
Gate-Source Charge	Q_{gs}		-	-	12	
Gate-Drain Charge	Q_{gd}		-	-	43	
Turn-On Delay Time	$t_{d(on)}$	$V_{DD} = 30\text{ V}, I_D = 51\text{ A}, R_g = 4.6\text{ }\Omega, R_D = 0.56\text{ }\Omega$, see fig. 10 ^b	-	17	-	ns
Rise Time	t_r		-	230	-	
Turn-Off Delay Time	$t_{d(off)}$		-	42	-	
Fall Time	t_f		-	110	-	
Internal Drain Inductance	L_D	Between lead, 6 mm (0.25") from package and center of die contact 	-	4.5	-	nH
Internal Source Inductance	L_S		-	7.5	-	
Drain-Source Body Diode Characteristics						
Continuous Source-Drain Diode Current	I_S	MOSFET symbol showing the integral reverse p-n junction diode 	-	-	50 ^c	A
Pulsed Diode Forward Current ^a	I_{SM}		-	-	200	
Body Diode Voltage	V_{SD}	$T_J = 25\text{ }^\circ\text{C}, I_S = 51\text{ A}, V_{GS} = 0\text{ V}^b$	-	-	2.5	V
Body Diode Reverse Recovery Time	t_{rr}	$T_J = 25\text{ }^\circ\text{C}, I_F = 51\text{ A}, dI/dt = 100\text{ A}/\mu\text{s}^b$	-	130	180	ns
Body Diode Reverse Recovery Charge	Q_{rr}		-	0.84	1.3	μC
Forward Turn-On Time	t_{on}	Intrinsic turn-on time is negligible (turn-on is dominated by L_S and L_D)				

Notes

- Repetitive rating; pulse width limited by maximum junction temperature (see fig. 11).
- Pulse width $\leq 300\text{ }\mu\text{s}$; duty cycle $\leq 2\%$.
- Current limited by the package, (die current = 51 A).

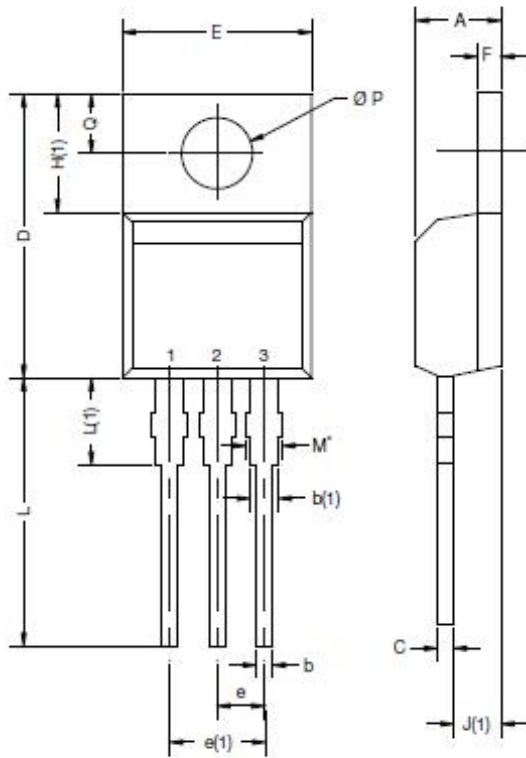


www.vishay.com

Package Information

Vishay Siliconix

TO-220-1

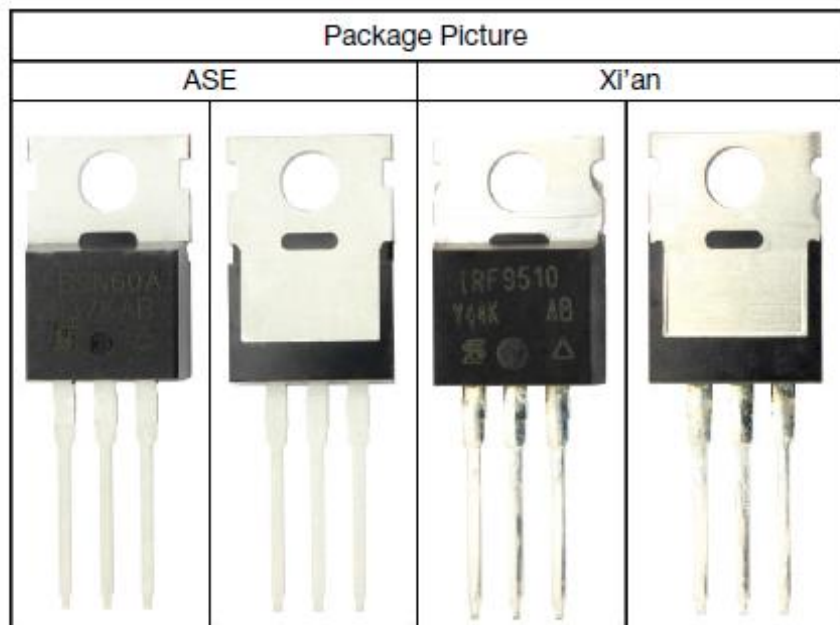


DIM.	MILLIMETERS		INCHES	
	MIN.	MAX.	MIN.	MAX.
A	4.24	4.65	0.167	0.183
b	0.69	1.02	0.027	0.040
b(1)	1.14	1.78	0.045	0.070
c	0.36	0.61	0.014	0.024
D	14.33	15.85	0.564	0.624
E	9.96	10.52	0.392	0.414
e	2.41	2.67	0.095	0.105
e(1)	4.86	5.28	0.192	0.208
F	1.14	1.40	0.045	0.055
H(1)	6.10	6.71	0.240	0.264
J(1)	2.41	2.92	0.095	0.115
L	13.36	14.40	0.526	0.567
L(1)	3.33	4.04	0.131	0.159
Ø P	3.53	3.94	0.139	0.155
Q	2.54	3.00	0.100	0.118

ECN: X15-0364-Rev. C, 14-Dec-15
 DWG: 6031

Note

- M* = 0.052 inches to 0.064 inches (dimension including protrusion), heatsink hole for HVM



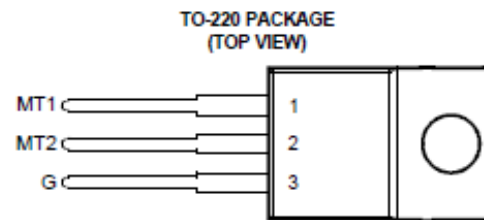
9.3 Priloga C: Tehnični podatki Triak TIC216M

TIC216 SERIES SILICON TRIACS

Copyright © 1997, Power Innovations Limited, UK

DECEMBER 1971 - REVISED MARCH 1997

- Sensitive Gate Triacs
- 6 A RMS
- Glass Passivated Wafer
- 400 V to 800 V Off-State Voltage
- Max I_{GT} of 5 mA (Quadrants 1 - 3)



Pin 2 is in electrical contact with the mounting base.

MOC2ACA

absolute maximum ratings over operating case temperature (unless otherwise noted)

RATING		SYMBOL	VALUE	UNIT
Repetitive peak off-state voltage (see Note 1)	TIC216D	V_{DRM}	400	V
	TIC216M		600	
	TIC216S		700	
	TIC216N		800	
Full-cycle RMS on-state current at (or below) 70°C case temperature (see Note 2)		$I_{T(RMS)}$	6	A
Peak on-state surge current full-sine-wave (see Note 3)		I_{TSM}	80	A
Peak on-state surge current half-sine-wave (see Note 4)		I_{TSM}	70	A
Peak gate current		I_{GM}	±1	A
Peak gate power dissipation at (or below) 85°C case temperature (pulse width ≤ 200 μs)		P_{GM}	2.2	W
Average gate power dissipation at (or below) 85°C case temperature (see Note 5)		$P_{G(AV)}$	0.9	W
Operating case temperature range		T_C	-40 to +110	°C
Storage temperature range		T_{stg}	-40 to +125	°C
Lead temperature 1.6 mm from case for 10 seconds		T_L	230	°C

- NOTES: 1. These values apply bidirectionally for any value of resistance between the gate and Main Terminal 1.
 2. This value applies for 50-Hz full-sine-wave operation with resistive load. Above 70°C derate linearly to 110°C case temperature at the rate of 150 mA/°C.
 3. This value applies for one 50-Hz full-sine-wave when the device is operating at (or below) the rated value of on-state current. Surge may be repeated after the device has returned to original thermal equilibrium. During the surge, gate control may be lost.
 4. This value applies for one 50-Hz half-sine-wave when the device is operating at (or below) the rated value of on-state current. Surge may be repeated after the device has returned to original thermal equilibrium. During the surge, gate control may be lost.
 5. This value applies for a maximum averaging time of 20 ms.

electrical characteristics at 25°C case temperature (unless otherwise noted)

PARAMETER	TEST CONDITIONS			MIN	TYP	MAX	UNIT
I_{DRM} Repetitive peak off-state current	$V_D = \text{rated } V_{DRM}$	$I_G = 0$	$T_C = 110^\circ\text{C}$			±2	mA
I_{GTM} Peak gate trigger current	$V_{supply} = +12\text{ V}^\dagger$	$R_L = 10\ \Omega$	$t_{p(g)} > 20\ \mu\text{s}$			5	mA
	$V_{supply} = +12\text{ V}^\dagger$	$R_L = 10\ \Omega$	$t_{p(g)} > 20\ \mu\text{s}$			-5	
	$V_{supply} = -12\text{ V}^\dagger$	$R_L = 10\ \Omega$	$t_{p(g)} > 20\ \mu\text{s}$			-5	
	$V_{supply} = -12\text{ V}^\dagger$	$R_L = 10\ \Omega$	$t_{p(g)} > 20\ \mu\text{s}$			10	
V_{GTM} Peak gate trigger voltage	$V_{supply} = +12\text{ V}^\dagger$	$R_L = 10\ \Omega$	$t_{p(g)} > 20\ \mu\text{s}$			2.2	V
	$V_{supply} = +12\text{ V}^\dagger$	$R_L = 10\ \Omega$	$t_{p(g)} > 20\ \mu\text{s}$			-2.2	
	$V_{supply} = -12\text{ V}^\dagger$	$R_L = 10\ \Omega$	$t_{p(g)} > 20\ \mu\text{s}$			-2.2	
	$V_{supply} = -12\text{ V}^\dagger$	$R_L = 10\ \Omega$	$t_{p(g)} > 20\ \mu\text{s}$			3	

† All voltages are with respect to Main Terminal 1.

TIC216 SERIES SILICON TRIACS

DECEMBER 1971 - REVISED MARCH 1997

electrical characteristics at 25°C case temperature (unless otherwise noted) (continued)

PARAMETER	TEST CONDITIONS			MIN	TYP	MAX	UNIT
V_{TM} Peak on-state voltage	$I_{TM} = \pm 8.4$ A	$I_G = 50$ mA	(see Note 6)			± 1.7	V
I_H Holding current	$V_{supply} = +12$ V† $V_{supply} = -12$ V†	$I_G = 0$	Init' $I_{TM} = 100$ mA Init' $I_{TM} = -100$ mA			30 -30	mA
I_L Latching current	$V_{supply} = +12$ V† $V_{supply} = -12$ V†	(see Note 7)			50 -20		mA
dv/dt Critical rate of rise of off-state voltage	$V_{DRM} = \text{Rated } V_{DRM}$	$I_G = 0$	$T_C = 110^\circ\text{C}$		± 50		V/ μs
$dv/dt_{(C)}$ Critical rise of commutation voltage	$V_{DRM} = \text{Rated } V_{DRM}$	$I_{TRM} = \pm 8.4$ A	$T_C = 70^\circ\text{C}$	± 5			V/ μs

† All voltages are with respect to Main Terminal 1.

NOTES: 6. This parameter must be measured using pulse techniques, $t_p \leq 1$ ms, duty cycle $\leq 2\%$. Voltage-sensing contacts separate from the current carrying contacts are located within 3.2 mm from the device body.

7. The triacs are triggered by a 15-V (open-circuit amplitude) pulse supplied by a generator with the following characteristics:
 $R_G = 100 \Omega$, $t_{p(G)} = 20 \mu\text{s}$, $t_r \leq 15$ ns, $f = 1$ kHz.

thermal characteristics

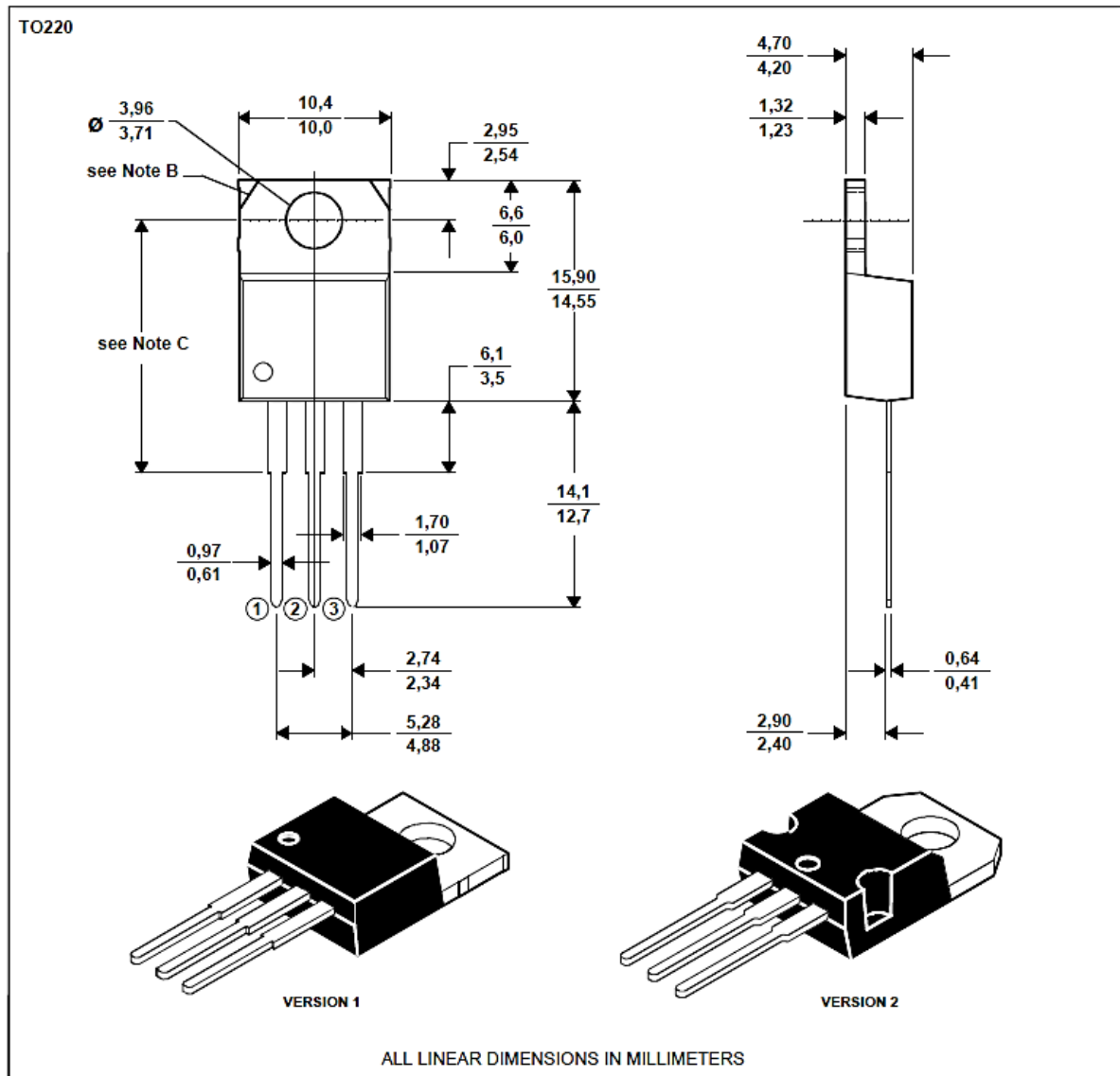
PARAMETER	MIN	TYP	MAX	UNIT
$R_{\theta JC}$ Junction to case thermal resistance			2.5	$^\circ\text{C/W}$
$R_{\theta JA}$ Junction to free air thermal resistance			62.5	$^\circ\text{C/W}$

MECHANICAL DATA

TO-220

3-pin plastic flange-mount package

This single-in-line package consists of a circuit mounted on a lead frame and encapsulated within a plastic compound. The compound will withstand soldering temperature with no deformation, and circuit performance characteristics will remain stable when operated in high humidity conditions. Leads require no additional cleaning or processing when used in soldered assembly.



10 VIRI IN LITERATURA

- http://scp.s-scptuj.mb.edus.si/~murkos/Teorija%20in%20vaje/Elektronika/ELEKTRONSKI%20ELEMNTI%20KRANJ/OET_P14_Tranzistor.pdf
- ftp://ftp.scv.si/vss/franc_stravs/PRENOVLJENI%20PROGRAMI%20Elektronika,%200Mehatronika/EES_pdf/EES1%20_43-49_r%20%20SCR.pdf
- http://studentski.net/get/ulj_fel_ae1_elk_sno_bipolarni_tranzistor_02.pdf