

**»Mladi za napredek Maribora 2013«**

**31. srečanje**

***Releji in odbijanje kontaktov***

Raziskovalno področje: Elektrotehnika, elektronika

Raziskovalna naloga

0€ d | WWW OUT © S Á Ü Š

T ^} d | KAT ŠCE Á XQ

¥ [ | WWW Ü Ö Ö P RO Z Ì Š Ò S V Ü U E ï J E W P O Š P € SO Z Á U Š Z Á T O E Ü Ó U Ü

**Maribor, januar 2014**

# 1. Vsebina

2.	POVZETEK .....	4
3.	VSEBINSKI DEL .....	5
2.1	Uvod .....	5
2.2	Magnetni sistem.....	5
2.3	Enosmerno navitje .....	8
2.3.1	Okrogla tuljava .....	9
2.4	Kontaktni sistem .....	15
2.4.1	Justiranje releja.....	17
2.5	Časi delovanja releja.....	19
2.6	Meritve časov odbijanja na releju PR16C0 .....	20
2.7	Čas odbijanja kontaktov .....	26
2.8	Rešitev problema odbijanja kontaktov releja .....	26
4.	Družbena odgovornost .....	29
5.	Sklep.....	29
6.	Viri .....	30

Kazalo slik:

Slika 1: Magnetni krog releja. ....	6
Slika 2: Histerezna zanka. ....	6
Slika 3: Prikaz porazdelitve magnetnega pretoka. ....	7
Slika 4: Shema elementarnih področij v železnem krogu. ....	8
Slika 5: Magnetni krog in kontaktni stavek releja. ....	9
Slika 6: Okrogla tuljava. ....	9
Slika 7: Potrebna sila na kotvo v odvisnosti od zračne reže. ....	16
Slika 8: Merjenje kontaktne sile. ....	18
Slika 9: Kontaktni sistem releja. ....	18
Slika 10: Dinamične lastnosti releja. ....	19
Slika 11: Priklop elementov na kontaktni sistem. ....	21
Slika 12: Odbijanje kontakta, prva meritev. ....	22
Slika 13: Odbijanje kontakta, druga meritev. ....	22
Slika 14: Odbijanje kontakta, tretja meritev. ....	23
Slika 15: Odbijanje kontakta, četrta meritev. ....	24
Slika 16: Odbijanje kontakta, peta meritev. ....	24
Slika 17: Odbijanje kontakta, šesta meritev. ....	25
Slika 18: Delovanje sile na kontakt. ....	26
Slika 19: Vezje z RC konstanto. ....	27
Slika 20: Vezja z RS flip-flopom. ....	27

## **2. POVZETEK**

Raziskovalna naloga predstavlja delovanje elektromehanskega releja, medsebojni vpliv magnetnega kroga in kontaktnega dela releja ter problem odbijanja kontaktov.

Z razvojem polprevodniške tehnologije se je predvidevalo, da bodo polprevodniki nadomestili releje, vendar so se elektromehanski releji zaradi mnogih prednosti obdržali in se tudi z veliko naglino razvijajo. Razvij poteka v manjši porabi releja ob hkrati manjšemu volumnu ter večji stikalni zmogljivosti. Z zelo majhno močjo na krmilnem delu releja, ki je galvansko ločen od kontaktnega dela, lahko preklapljammo velike moči preko njegovih kontaktov.

Pri uporabi relejev v elektronskih vezjih, so pomembni njegovi časi delovanja. Posebej moteč je čas odbijanja kontaktov, ki nastane tako pri vklopu, kot pri izklopu releja. Zaradi mehanskih lastnosti se kontakta nekajkrat prekineta, odbijeta eden od drugega, preden pride do trajnega stika med njima. To pomeni večkratni vklop kontaktov, čeprav je rele vklopil oziroma izklopil le enkrat. Naloga prikazuje vplive na čas odbijanja kontaktov in ponuja rešitev problemov, ki zaradi tega nastajajo.

### **3. VSEBINSKI DEL**

#### **2.1 Uvod**

Z razvojem polprevodniške tehnologije se je predvidevalo, da bodo polprevodniki nadomestili releje, vendar so se mehanski releji zaradi mnogih prednosti obdržali in se tudi z veliko naglino razvijajo. Razvij poteka v manjši porabi releja ob hkrati manjšemu volumnu ter večji stikalni zmogljivosti. Pomeni, da je rele v bistvu velik ojačevalec moči, saj ob priključeni vhodni moči cca. 50 mW na izhodu, to je na kontaktih, preklapljamo porabnike moči 50 W, pri večjih relejih pa znatno več. Majhne dimenzije relejev in majhna lastna segrevanja omogočajo veliko gostoto elementov na tiskanem vezju. Pri razvoju in konstruiranju relejev z majhno porabo se srečujemo s problemi dimenzioniranja magnetnega kroga in tuljave, ki naj prispevata čim večjo silo na kotvo, s konstruiranjem in dimenzioniranjem kontaktnega sistema, z izbiro kontaktnega materiala ter s problemi izbire in obdelave ostalih materialov.

Vsi elektromehanski releji imajo enak princip delovanja. Z vzbujanjem tuljave povzročimo silo na kotvo, ki preklopi kontakte iz mirovnega v delovni položaj. Kontaktni sistem s kontaktnimi lamelami deluje nasprotno sili magnetnega sistema, zato mora biti sila magnetnega sistema večja od sile kontaktnega sistema, da jo lahko premaga. V ta namen kontaktne sisteme justiramo, nastavljammo kontaktne sile in kontaktne razdalje. Ker je justiranje kontaktnega sistema pri avtomatski proizvodnji relejev in zaradi miniaturnosti relejev že praktično onemogočeno, je potrebno že pri konstruiranju relejev izvesti takšne oblike in sisteme magnetnih krogov ter kontaktnih sistemov, da bo omogočena avtomatska proizvodnja relejev brez justiranja in da bodo pri tem doseženi zahtevani parametri.

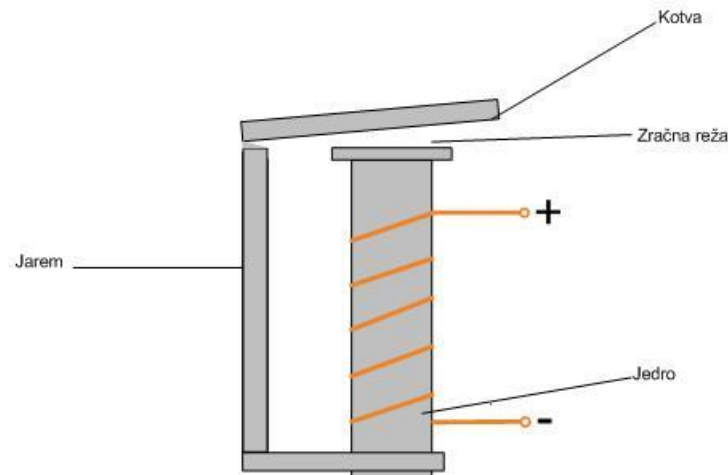
Osnovna sestavna dela relejev sta magnetni krog in kontaktni sistem. Kontaktnemu sistemu bomo posvetili največ pozornosti, magnetni krog pa je pomemben zato, da že pred izdelavo relejev izvemo, kaj lahko od njega pričakujemo.

#### **2.2 Magnetni sistem**

Magnetni krog je osnova pri izgradnji releja. Posebej je oblika in kvaliteta magnetnega kroga pomembna pri izgradnji relejev z malo porabo. Izkoriščamo silo med jarmom magnetnega

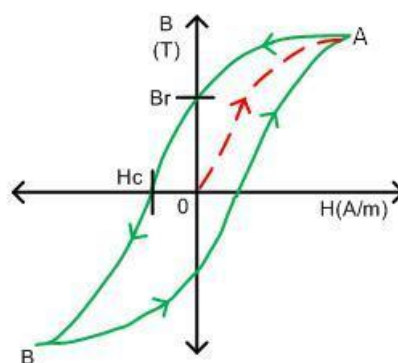
kroga in gibljivim delom magnetnega kroga, to je kotva. Kotva se zaradi vpliva sile premakne iz ene lege v drugo. Ta premik izkoristimo za preklon kontaktov v kontaktnem sistemu.

Sestavna dela magnetnega kroga sta tuljava in železni krog. Na tuljavnik navijemo več ali manj tanke ali debelejše izolirane Cu žice, kar je odvisno od tega, za kakšne napetosti je izdelan rele, za kakšne moči preklapljanja in za kakšno porabo. Železni krog se praviloma sestoji iz jarma, jedra in kotve in ima nalogo, da vodi magnetni pretok.



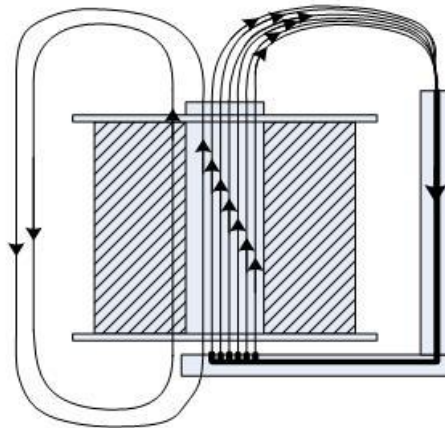
**Slika 1: Magnetni krog releja.**

Sestavni deli magnetnega kroga lahko imajo različne oblike, paziti pa moramo, da ima železo v železnem krogu zadosten presek, da ne pridemo v območje zasičenja. Kot material uporabljamo mehkomagnetno relejno železo, ki naj ima majhen preostali magnetizem, da se nam kotva ne zalepi na jedro. Histerezna zanka naj bo čim ožja.



**Slika 2: Histerezna zanka.**

Pri magnetu nas zanima, kakšno silo na kotvo lahko dosežemo pri določenem vzbujanju. Ta je odvisna od magnetnega pretoka. Porazdeli se na koristni in stresani fluks.

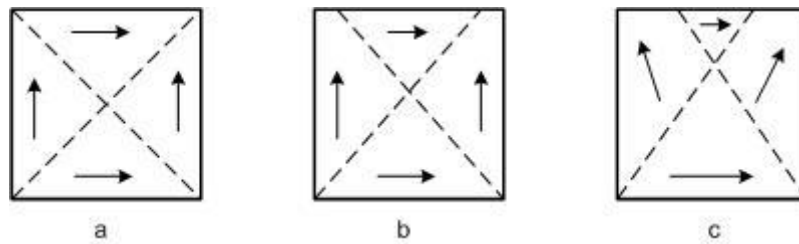


**Slika 3: Prikaz porazdelitve magnetnega pretoka.**

V železnem krogu nastopajo izgube, histerezne in vrtničaste. Pri prvem magnetenju železa poteka magnetenje po magnetilni krivulji od točke 0 do točke A (slika 2). Če magneteno železo razmagnetimo, se ne vračamo po prvotni krivulji, temveč po enem kraku histerezne zanke. Ko pade vrednost vzbujanja na nič, imamo v železu še neki preostali ali remanentni magnetizem  $B_r$ . Njegova velikost je odvisna od materiala, ki ga magnetimo. Trdomagnetni materiali imajo velik, mehkomagnetni materiali pa majhen preostali magnetizem. Za njegovo uničenje potrebujemo nasprotno polarizirano vzbujanje. Vrednost magnetne poljske jakosti, pri kateri postane gostota  $B$  enaka nič imenujemo koercitivno silo  $H_c$ . Če to vzbujanje večamo, pridemo do druge skrajne točke (točka B na sliki 2). Površina, ki jo omejuje histerezna zanka je sorazmerna izgubam v materialu. Mehkomagnetni materiali imajo zelo ozko histerezno zanko,  $H_c$  je majhen in izgube v materialu so majhne.

Najpomembnejši mehkomagnetni materiali so železo, nikelj in kobalt. Magnetne lastnosti teh materialov se kažejo v kristalni strukturi. Železov kristal ima kubično mrežo z atomi v vogalih in na stranicah. Pri magnetenju tega kristala se le ta v različnih smereh različno obnaša. V njem nastopajo tudi prosti elektroni, ki se gibljejo v vseh smereh in predstavljajo elementarne magnetke. Pod vplivom zunanega polja se lahko ti elementarni magnetki postavijo v druge lege. Slika 4 a prikazuje primer, ko na kristal ne deluje zunanje magnetno polje, na sliki 4 b pa vidimo primer, ko na kristal deluje šibko zunanje magnetno polje. Magnetne usmeritve

elementarnih magnetkov (Weissova območja) se ne obrnejo, ker je zunanje magnetno polje prešibko. Slika 4 c pa prikazuje primer, ko na kristal deluje močno zunanje magnetno polje. Tu se Weissova območja postavijo v drugo lego, pri tem se pa rušijo Blochove pregrade. Za premikanje in rušenje Blochovih pregrad pa je potrebna energija, ki je za nas izgubljena. Feromagnetni materiali izgubijo magnetne lastnosti pri določeni temperaturi (Curiejevi temperaturi), ki znaša za železo 760 °C.



**Slika 4: Shema elementarnih področij v železnem krogu.**

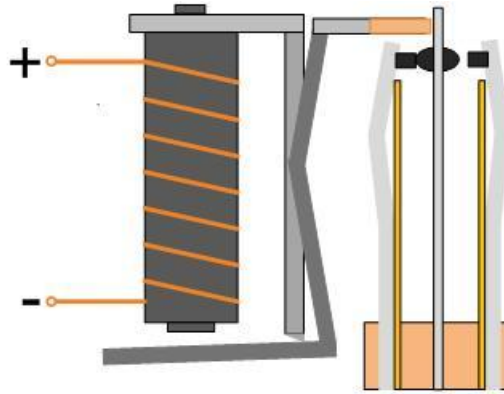
Železo je sorazmerno dober prevodnik. Magnetni pretok, ki ga železni krog vodi, inducira v železu vrtilne tokove. Ti tokovi pa povzročajo izgube. Pri velikih dimenzijah železnega kroga so vrtilni tokovi zelo veliki, ker je upornost majhna. Uspešen ukrep proti vrtilnim izgubam je lameliranje železnega kroga. Releji z majhno porabo imajo majhne dimenzije železnega kroga, zato uporabljamo relejno železo in ne pločevino. Za večje izmenične releje pa bi bila uporaba pločevine že upravičena, če se hočemo izogniti velikim izgubam v železu. Druga možnost za zmanjšanje vrtilnih tokov je uporaba železa z dodatkom silicija, ki povečuje ohmsko upornost železa. Procent silicija pa je omejen, železo namreč postaja trdnejše in je zato njegova obdelava težja.

## 2.3 Enosmerno navitje

Navitje je mehansko pasivni vendar električno aktivni del releja, ki pretvarja električno energijo posredno preko magnetnega pretoka ( $\Phi$ ) v mehansko energijo. Za boljšo vodljivost magnetnega pretoka vstavimo v tuljavo železno jedro, magnetni krog pa zaključimo z jarmom in kotvo. Releji, različni po velikosti, številu kontaktov in izvedbi, potrebujejo različno silo na kotvo, da se pri vzbujanju releja lahko izvrši preklap. Sila na kotvo releja je odvisna od magnetnega pretoka v zračni reži, ta pa od vzbujanja, amperovojev. Neki tip releja se vedno izdelava za različne vzbujalne napetosti pri nespremenjeni konstrukciji. Enaka mehanska



konstrukcija pomeni za neki tip releja enake sile in enako število kontaktnih vzmeti, kar da enako potrebno silo na kotvo. To pa pomeni enako vzbujanje, enako število amperovojev, pri različnih napetostih. Vzbujanje lahko dosežemo z različnimi tokovi in z različnim številom ovojev. Teh dveh spremenljivk pa ne moremo poljubno spreminjati, saj imamo dimenzije tuljave podane s konstrukcijo releja.

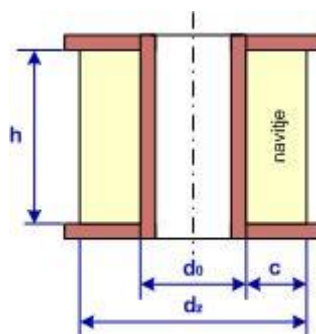


Slika 5: Magnetni krog in kontaktni stavek releja.

Releji lahko imajo različne oblike jedra in s tem tuljave, največ pa jih ima okroglo ali pravokotno obliko. Zato ločimo okrogle in pravokotne tuljave.

### 2.3.1 Okrogla tuljava

Pri okroglih tuljavah imamo najmanjšo porabo Cu žice, enostavno izdelavo jedra in tuljavnika, pa tudi najlažje jo navijamo, saj je Cu žica ves čas navijanja enakomerno napeta.



Slika 6: Okrogla tuljava.

Zaradi konstrukcijskih rešitev, ki težijo k čim manjšemu volumnu releja, imamo navadno tuljavnik (dimenzije) že podan, poiskati pa moramo ustrezne električne in navijalne parametre. Imamo dve poti:

Podane so izgube  $P_{Cu}$  (poraba releja) in debelina navitja, določiti pa moramo premer Cu žice, upornost navitja, število ovojev, tok skozi navitje, vzbujanje in gostoto toka v navitju. Vse te parametre pa določamo za različne napetosti releja.

Podano sta vzbujanje in debelina navitja, določiti pa moramo premer Cu žice, upornost navitja, porabo releja  $P_{Cu}$ , število ovojev in gostoto toka v navitju. Vse te parametre pa določamo za različne napetosti releja.

#### Podano je vzbujanje in debelina navitja:

Za neki tip releja potrebujemo določeno silo za preklon kontaktov in s tem tudi določeno vzbujanje. Na tuljavnik bomo navili toliko Cu žice, da bomo razpolagali z neko rezervo za primer odstopanja Cu žice od predpisanega premera. Število amperovojev je odvisno od koristnega preseka navitja:

$$S_{nav} = h \cdot c \quad [m^2]$$

Število ovojev lahko določimo iz znanega preseka navitja in števila ovojev na enoto preseka  $n$  ( $ov/m^2$ ) za določeno Cu žico:

$$N = n \cdot S \quad [ov]$$

kjer je  $n$  standardizirano število ovojev na enoto preseka,  $A$  je presek navitja.

$$N = n \cdot h \cdot c \quad [ov]$$

Iz znanega števila ovojev lahko za neko Cu žico z določeno upornostjo na enoto dolžine  $\gamma$  [ $\Omega/m$ ] izračunamo ohmsko upornost navitja:

$$R = N \cdot l_{sr} \cdot \gamma \quad [\Omega]$$

Dolžina srednjega ovoja je:

$$l_{sr} = \pi \cdot \frac{d_z + d_o}{2} \quad [m]$$

Dolžino srednjega ovoja pa lahko izrazimo tudi z debelino navitja tuljave  $c$ :

$$l_{sr} = \pi \cdot d_o + \frac{d_z - d_o}{2} = l_o + \Omega \cdot c \quad [m]$$

Debelina navitja tuljave  $c$  je enaka:

$$c = \frac{d_z - d_o}{2} \quad [m]$$

Sedaj lahko izrazimo ohmsko upornost navitja:

$$R = n \cdot h \cdot c \cdot \pi \cdot d_o + c \cdot \gamma = n \cdot h \cdot \gamma \cdot \pi \cdot d_o \cdot c + c^2 \quad [\Omega]$$

Iz te enačbe lahko izrazimo upornost Cu žice na enoto dolžine:

$$\gamma = \frac{R}{n \cdot h \cdot \pi \cdot d_o \cdot c + c^2} \quad [\Omega/m]$$

S pomočjo ohmovega zakona dobimo enačbo za izračun toka v tuljavi:

$$I = \frac{U}{n \cdot h \cdot \gamma \cdot \pi \cdot d_o \cdot c + c^2} \quad [A]$$

Če enačbo pomnožimo z ovoji  $N$ , dobimo produkt  $I \cdot N = \theta \quad [Aov]$ . Ob upoštevanju enačbe za izračun števila ovojev iz znanega preseka navitja in števila ovojev na enoto preseka dobimo:

$$\theta = \frac{U}{\gamma \cdot \pi \cdot d_o + c} \quad [Aov]$$

Iz te enačbe izrazimo upornost Cu žice na enoto dolžine:

$$\gamma = \frac{U}{\theta \cdot \pi \cdot d_o + c} \quad [\Omega/m]$$

V splošnem je upornost Cu žice na enoto dolžine podana:

$$\gamma = \frac{R}{l_z} = \frac{\rho \cdot l_z}{S_z \cdot l_z} = \frac{\rho}{S_z} = \frac{4 \cdot \rho}{\pi \cdot d_z^2} \quad [\Omega/m]$$

Če prejšnji dve enačbi za izračun upornosti Cu žice na enoto dolžine izenačimo, dobimo izraz za iskani premer Cu žice:

$$d_z = \sqrt{\frac{4 \cdot \rho \cdot d_o + c}{U}} \quad [m]$$

Za navitja tuljav uporabljamo le izolirano bakreno žico z upornostjo na enoto dolžine  $\rho = 1,78 \cdot 10^{-8} \quad [\Omega m]$ . Ob upoštevanju tega podatka dobimo končni izraz za iskani premer Cu žice:

$$d_z = 2,66 \cdot 10^{-4} \cdot \sqrt{\frac{\theta \cdot d_o + c}{U}} \quad [m]$$

Tako smo prišli do enačbe za iskani premer Cu žice v odvisnosti od vzbujanja, napetosti in debeline navitja. Izračunani premer Cu žice se praviloma ne ujema s standardiziranim premerom, zato moramo izbrati najbližji standardni premer in dalje računamo s tem premerom. Zaradi tega se nam spremeni debelina navitja. Ko smo določili premer Cu žice, lahko izračunamo tudi obremenitev Cu žice oziroma gostoto električnega toka v navitju:

$$j = \frac{I}{S_z} = \frac{U}{R \cdot S_z} = \frac{4 \cdot U}{R \cdot \pi \cdot d_z^2} \quad [A/m^2]$$

Eden izmed osnovnih podatkov navitja so jouske izgube v navitju oziroma poraba tuljave releja:

$$P_{Cu} = \frac{U^2}{R} = I^2 \cdot R \quad [W]$$

Kako poteka sedaj izračun parametrov navitja? Obravnavamo primer, ko imamo podano vzbujanje tuljave  $\theta$ , debelino navitja  $c$  pri podani višini tuljave  $h$  in notranjem premeru navitja  $d_o$ :

- 1 Za določene napetosti izračunamo premer Cu žice.

- 2 Izberemo najbližji standardni premer Cu žice.
- 3 Izračunamo novo debelino navitja tuljave.
- 4 Izračunamo upornost navitja tuljave z upoštevanjem dejanskih parametrov.
- 5 Izračunamo število ovojev tuljave.
- 6 Izračunamo gostoto električnega toka v tuljavi.
- 7 Izračunamo porabo tuljave.

Podane so izgube  $P_{Cu}$  (poraba releja) in debelina navitja:

Izgube v navitju so velikokrat podane in jih ne smemo preseči. Predvsem elektronska vezja omejujejo porabo navitij na minimalne možne vrednosti, da ne obremenjujejo elementov vezij. Če izhajamo iz podanih izgub  $P_{Cu}$ , debeline navitja  $c$  in dimenzij tuljavnika, se moramo zavedati, da smo s tem določili tudi vzbujanje releja in silo na kotvo releja. Če želimo pri isti porabi dobiti večje vzbujanje, moramo spremeniti dimenzije tuljavnika ali pa potrebno silo na kotvo releja. Z upoštevanjem enačbe za ohmsko upornost navitja dobimo:

$$P_{Cu} = \frac{U^2}{n \cdot \gamma \cdot h \cdot \pi \cdot d_o \cdot c + c^2} \quad [W]$$

Iz te enačbe moramo določiti parametre Cu žice, težava pa nastane, ker v enačbi nastopata dve neznanki, upornost Cu žice na enoto dolžine  $\gamma$  in število ovojev na enoto preseka  $n$ . Zato si pomagamo s tvorjenjem produkta:

$$m = n \cdot \gamma \quad [\Omega/m^3]$$

V tabelah s podatki o standardnih Cu žicah je ta vrednost podana, če pa ni, jo lahko iz ostalih dveh podanih vrednosti izračunamo. Po urejanju enačbe dobimo izraz za ohmsko upornost na enoto prostornine:

$$m = \frac{U^2}{P_{Cu} \cdot h \cdot \pi \cdot d_o \cdot c + c^2} \quad [\Omega/m^3]$$

Računska vrednost parametra  $m$  se ne ujema s standardno vrednostjo za posamezne debeline Cu žic, zato izberemo najbližjo vrednost. Za izbrano najbližjo vrednost pa so podatki  $d_z$ ,  $n$ ,  $\gamma$  in  $S_z$  določeni v tabelah proizvajalca. Zaradi izbrane najbližje vrednosti se je debelina navitja

spremenila, kar moramo upoštevati. V primeru, da za določeno napetost izračunamo večjo debelino navitja, kot jo imamo na razpolago (tuljavnik), to pomeni, da pri obstoječi konstrukciji releja, za to napetost ne moremo ustreči predpisanim izgubam  $P_{Cu}$ . Pri podanih izgubah lahko vzbujanje povečamo le s podaljšanjem tuljave  $h$ .

Če pogledamo enačbo za izgube v navitju  $P_{Cu}$  vidimo, da nam izgube padajo z večanjem višine navitja  $h$ . Če želimo imeti določeno upornost navitja, je celotna dolžina Cu žice posameznega premera znana. Tu Cu žico pa lahko navijemo na kratko tuljavo z večjo debelino navitja ali pa na visoko tuljavo z majhno debelino navitja. Pri tem je presek navitja različen. V prvem primeru je dolžina srednjega ovoja večja, zato dobimo manj ovojev navitja in s tem tudi manjše vzbujanje. Prednost je v manjši porabi magnetnega železa in manjšem stresnem fluksu. V drugem primeru je dolžina srednjega ovoja manjša, zato dobimo večje število ovojev tuljave in s tem večje število amperovojev, imamo pa večjo porabo magnetnega železa in večji stresani fluks. Ti dve možnosti kažeta, da bi lahko poiskali optimalno višino tuljave in optimalno debelino navitja. Enačba za izgube v navitju  $P_{Cu}$  kaže, da so le te odvisne od obratne vrednosti višine tuljave in od obratne vrednosti kvadrata debeline navitja. Na izgube torej močnejše vpliva debelina navitja kot pa višina navitja. Debela navitja imajo manj koristnih ovojev in manjše vzbujanje oziroma povedano drugače, za isto vzbujanje potrebujemo mnogo več Cu žice. Zato raje predvidimo visoke tuljave s sorazmerno tanko debelino navitja, če le konstrukcija releja to dopušča. S tem pridobimo pri ceni navitja, železni krog pa je daljši in nekoliko dražji.

Vzbujanje tuljave (releja) je odvisno le od debeline navitja, nič pa od višine navitja. Z večanjem debeline navitja se nam vzbujanje manjša, to pa zato, ker z debelino navitja hitreje narašča ohmska upornost kot pa število ovojev tuljave.

Ob razvoju releja, kjer lahko do neke mere spreminjamo vse dimenzije tuljave, imamo mnogo možnosti izbire posameznih parametrov, kar pa potegne za sabo dolgotrajne izračune. Največji problemi nastopijo pri tankih Cu žicah, kjer ima naslednja standardna Cu žica za kar 40 % drugačen presek.

## 2.4 Kontaktni sistem

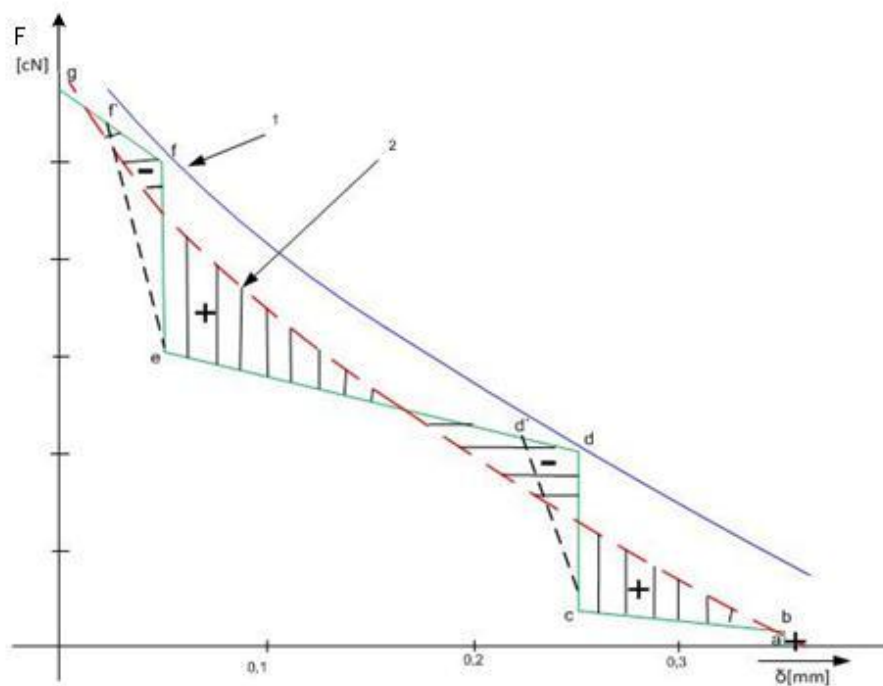
V splošnem poznamo zelo različne kontaktne sisteme. Razlika se kaže v načinu delovanja, v velikosti kontaktnega sistema in namenu uporabe. Velikost kontaktnega sistema je odvisna od moči, ki jih preklaplja, od tokov in napetosti. Čim večje so napetosti na kontaktih, tem večje morajo biti kontaktne razdalje. Veliki tokovi pa zahtevajo močne kontakte, kontaktne kovice oziroma kontaktni profil in močne kontaktne lamele, da se prekomerno ne segrevajo. Močan kontaktni sistem pa zahteva močan magnetni krog in veliko silo na kotvo releja.

Releji majhnih dimenzij z malo porabo imajo kontaktne sisteme grajene za tokove do 2 A, prebojne napetosti pa so do 1500 V.

Rele PR16C01, na katerem smo izvajali meritve, ima dva preklopna kontakta (dva mirovna in dva delovna kontakta). Glavni karakteristični podatki za ta tip releja, povzeti po prospektu in tehnološki dokumentaciji, so naslednji:

- 8 Minimalno pritezno vzbujanje: 120 Aov (pritezni tok: 5,8 mA)
- 9 Minimalno drzhalno vzbujanje: 40 Aov (drzhalni tok: 1,9 mA)
- 10 Maksimalno odpadno vzbujanje: 15 Aov (odpadni tok: 0,72 mA)
- 11 Minimalna poraba: 260 mW
- 12 Upornost navitja: 7600  $\Omega$
- 13 Število ovojev tuljave: 20700
- 14 Kontaktna zmogljivost: 5 A / 220 V
- 15 Minimalni tok skozi kontakt: 1 mA
- 16 Kontaktna upornost: 50 m $\Omega$
- 17 Kontaktno gradivo: AgNi10 + 0,2  $\mu$ m Au
- 18 Maksimalni vklopni čas: 10 ms
- 19 Maksimalni izklopni čas: 8 ms
- 20 Mehanska življenjska doba:  $10^7$  preklopov
- 21 Maksimalna delovna frekvenca pri minimalni kontaktni obremenitvi: 50 Hz
- 22 Hod kotve: 1,15 do 1,20 mm
- 23 Kontaktne sile: 12 do 16 cN

Karakteristika kontaktnega sistema podaja odvisnost potrebne sile na kotvo od velikosti zračne reže (slika 7). Za pokrivanje potreb po sili, mora magnetni sistem releja premagati silo kontaktnega sistema in preklopiti rele iz mirnega v delovni položaj. Ob izklopu napajanja se vrne kotva v mirni položaj zaradi sile delovnih in preklopnih lamel ter sile vzmeti. Da ne pride do problema lepljenja kotve na jedro, mora biti povratna sila dovolj velika, da rele v vsakem primeru odpre. Mehanska sila mora biti večja od sile preostalega magnetizma v železnem krogu.



Slika 7: Potrebna sila na kotvo v odvisnosti od zračne reže.

Opis slike odvisnost kontaktnega sistema:

a... Odprt rele (kotva)

b... Sila vzmeti na kotvo  $F_v \Rightarrow$  kotva odprta

b - c... Napenjanje vzmeti  $F_v \Rightarrow$  mrtvi hod kotve

c - d... Sila vzmeti in sila preklopnih lamel  $F_v + F_p \Rightarrow$  odpiranje mirnega kontakta

c - d'... Zaradi podajanja oporne lamele prehod ni hipen  $F_v + F_p - F_o$



d - e... Napenjanje vzmeti in preklopne lamele  $F_v + F_p$

e - f... Sila vzmeti in sila preklopne ter delovne lamele  $F_v + F_p + F_d$

e - f' ... Zaradi podajanja uporne lamele prehod ni hipen  $F_v + F_p + F_d - F_o$

f - g... Napenjanje vzmeti, preklopne in delovne lamele  $F_v + F_p + F_d$

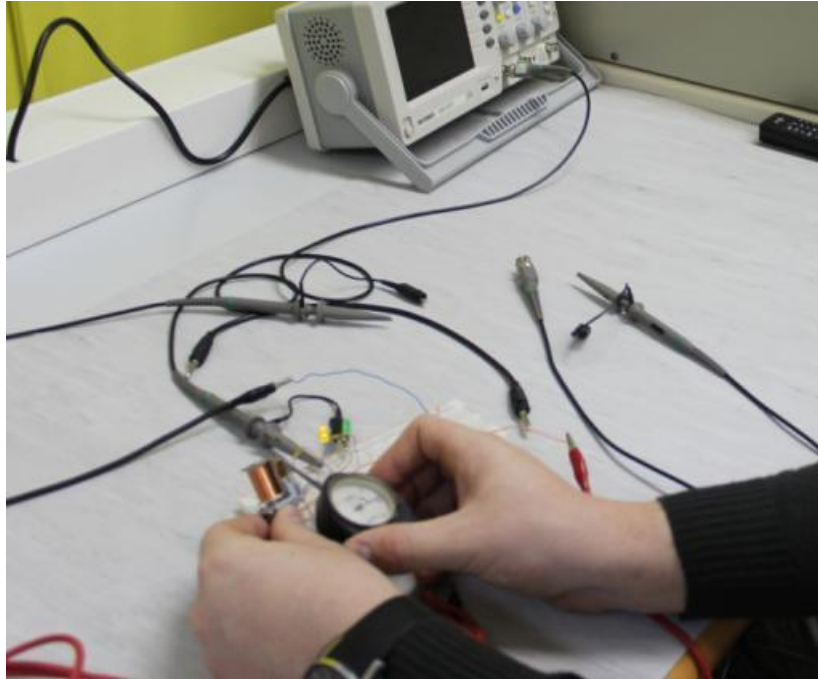
g... Kotva je zaprta

Karakteristika magnetnega sistema, to je odvisnost sile od velikosti zračne reže, naj ima obliko parabole in naj bo čim bolj podobna krivulji, ki jo dobimo, če povežemo vse vrhove v karakteristiki kontaktnega sistema (krivulja 1, slika 7). Če pa krivulja magnetnega sistema na nekaterih mestih seče krivuljo kontaktnega sistema, mora biti energija kotve, ki jo dobi pri vzbujanju, v vsaki točki večja od energije, ki je potrebna za preklop kontaktnega sistema. Vsota viškov energije (+) mora biti v vsaki točki večja od mankov (-), da rele zanesljivo deluje.

Velika rezerva v sili magnetnega sistema povzroča zelo močne udarce kotve na jedro releja. Zato lahko pride pri večjem številu delovanj do deformacije jedra ali kotve. Zaradi elastičnega trka dveh mas pa pride pri močnih udarcih tudi do odbijanja. Od sile magnetnega sistema so odvisni tudi pritezni časi releja in časi odbijanja kontaktov. Večje je vzbujanje tuljave, krajši je pritezni čas, daljši pa čas odbijanja kontaktov, tako da ima skupni vklopni čas nekje minimum. Z naraščanjem vzbujanja tuljave pa se daljša izklopni čas releja zaradi večjega preostalega magnetizma v železu.

#### **2.4.1 Justiranje releja**

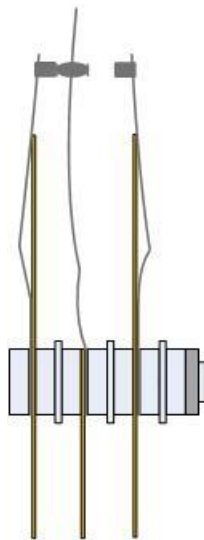
Za doseganje parametrov delovanja releja, moramo releje justirati. To pomeni, da moramo nastaviti kontaktne razdalje, kontaktne sile, odmike delovnih kontaktnih lamel od delovnih opornih lamel pri vklopljenem releju ter nastaviti simetrijo, če kontaktni stavek vsebuje dva kontaktna sistema.



**Slika 8: Merjenje kontaktne sile.**

Po vseh nastavitvah moramo preveriti še tokovne karakteristike releja. To so pritezni tok ( $I_p$ ), držalni tok ( $I_d$ ) in odpadni tok ( $I_{od}$ ).

Mirovna, delovna in preklopna kontakta sta sestavljena v kontaktni stavek (slika 9), ki je pritrjen na jarem magneta.

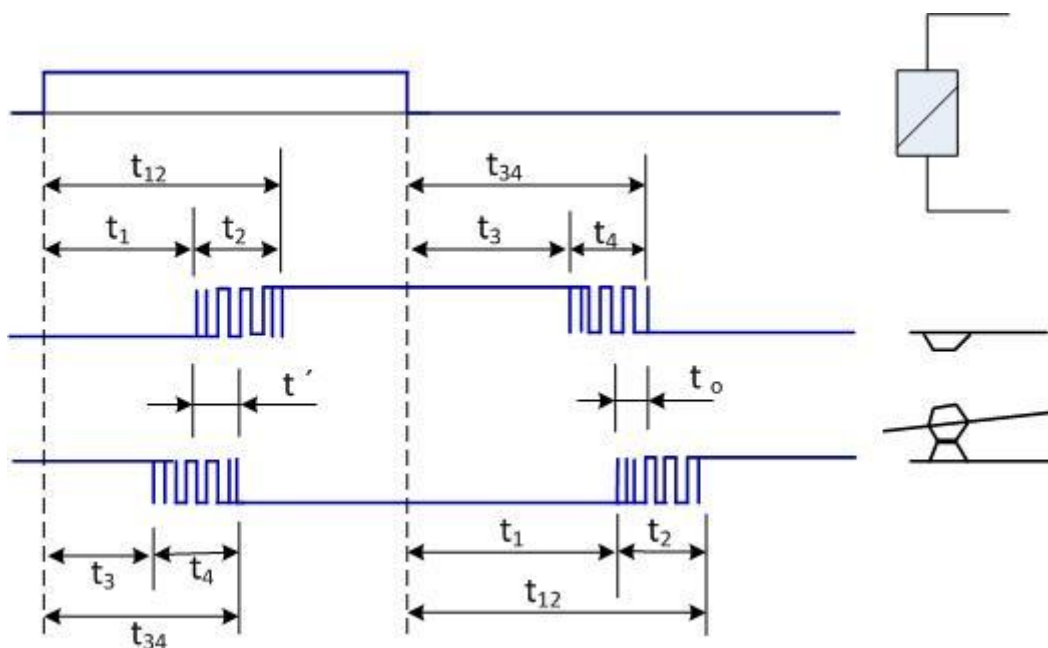


**Slika 9: Kontaktni sistem releja.**

Mirovni in delovni kontaktni lameli imata zraven sebe oporni lameli, na kateri se naslonita, kadar nanju ne pritiskata preklopna kontakta. V nevzbujenem stanju releja pritiskata preklopni kontaktni lameli na mirovni kontaktni lameli. Sklenjena sta mirovna kontakta. Mirovni kontaktni lameli morata biti krivljeni tako, da se s svojo silo v vsakem primeru naslanjata na mirovno oporno lamelo. V vzbujenem stanju releja nam kotva s pomočjo kontaktne ploščice odmakne preklopni kontaktni lameli od mirovni in sklene delovna kontakta. Preklopna kontakta se naslonita na kontakta delovne kontaktne lamele, ki se morata za odmik odmakniti od opornih lamel. Z upogibanjem opornih lamel nastavljammo kontaktne razdalje.

## 2.5 Časi delovanja releja

Zelo pomembne so pri relejih njegove dinamične lastnosti, saj rele potrebuje določen čas za vklop, določen čas za izklop, zaradi elastičnosti kontaktnega materiala in drugih lastnosti pa pride tudi do odbijanja kontaktov. Čase delovanja, ki nastanejo pri vklopu in izklopu releja prikazuje slika 10.

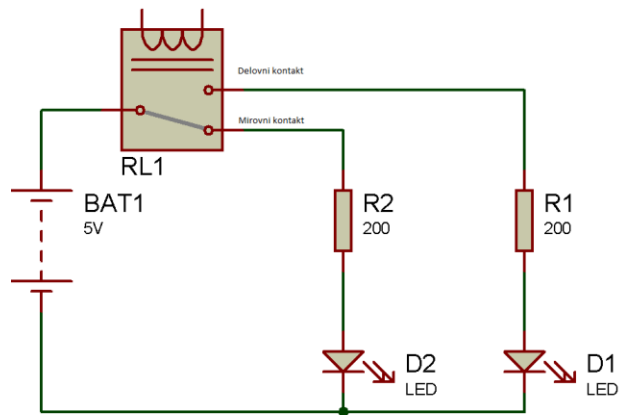


Slika 10: Dinamične lastnosti releja.

1.  $t_1$  je pritezni čas. Je čas, ki preteče od spremembe vzbujanja releja do prve sklenitve kontakta. Ločimo pritezni čas delovnega kontakta in pritezni čas mirovnega kontakta.
2.  $t'$  in  $t_0$  sta časa prekrivanja kontaktov. Ločimo čas prekrivanja kontaktov pri vklopu in čas prekrivanja kontaktov pri izklopu releja.
3.  $t_{12}$  je vklopni čas. Je čas, ki preteče od spremembe vzbujanja do popolne umiritve oziroma do konca odbijanja kontakta pri sklenitvi kontakta. Ločimo vklopni čas delovnih in vklopni čas mirovnih kontaktov.
4.  $t_2$  je čas odbijanja pri sklenitvi kontakta. Ločimo čas odbijanja delovnega kontakta pri pretegu in čas odbijanja mirovnega kontakta pri odpadu releja.
5.  $t_3$  je odpadni čas. Je čas, ki preteče od spremembe vzbujanja do prve razsklenitve kontakta. Ločimo odpadni čas delovnega kontakta pri odpadu in odpadni čas mirovnega kontakta pri pretegu releja.
6.  $t_4$  je čas odbijanja pri razsklenitvi kontakta. Ločimo čas odbijanja delovnega kontakta pri odpadu in čas odbijanja mirovnega kontakta pri pritegu releja.
7.  $t_{34}$  je izklopni čas. Je čas, ki preteče od spremembe vzbujanja do popolne umiritve oziroma do konca odbijanja kontakta pri razsklenitvi kontakta. Ločimo izklopni čas delovnega kontakta pri odpadu in izklopni čas mirovnega kontakta pri pritegu releja.

## **2.6 Meritve časov odbijanja na releju PR16C0**

Vse meritve odbijanja delovnega kontakta pri pritegu releja smo izvajali na releju PR16C01. Odbijanje smo posneli na digitalnem osciloskopu Voltcraft VDO 2072. Na podlagi slik iz osciloskopa smo lahko razbrali, kakšen je čas odbijanja. Izvedli smo več meritev pri različnih parametrih in sicer pri spremenjenih kontaktnih razdaljah in kontaktnih silah na delovnem kontaktu releja. Vse meritve smo izvedli na delovnem kontaktu, saj je na tem kontaktu odbijanje toliko bolj moteče.



**Slika 11: Priklop elementov na kontaktni sistem.**

Rele smo priklopili (slika 11) tako, da smo na delovni in mirovni kontakt priklopili LED diodo in zaporedno z njo zaščitni upor. Rele smo nato priklopili na krmilnik, ki ga je vklapljal in izklapljal s frekvenco 10 Hz. Tako da smo imeli konstanto vklapljanje in izklapljanje releja. Padec napetosti na obeh priključenih elementih delovnega kontakta releja smo opazovali z osciloskopom. Slike iz osciloskopa so izvedene pri različnih kontaktnih silah in kontaktnih razdaljah, tako da se dobro vidijo razlike trajanja časa odbijanja kontaktov.

1. Meritev:

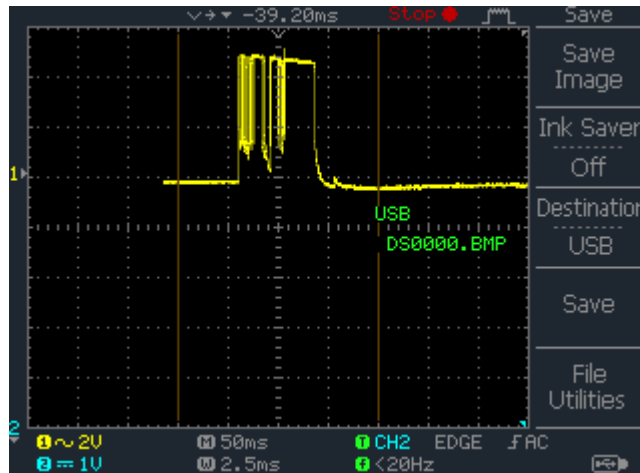
Kontaktne sile:

- a. Delovna sila: 6 cN
- b. Mirovna sila: 9 cN

Kontaktna razdalja: 0,3 mm

Pritezni tok  $I_p = 3,92$  mA

Odbijanje delovnega kontakta pri vklopu releja znaša 2,5 ms. Kontakt ni zanesljivo sklenjen.



Slika 12: Odbijanje kontakta, prva meritev.

2. Meritev:

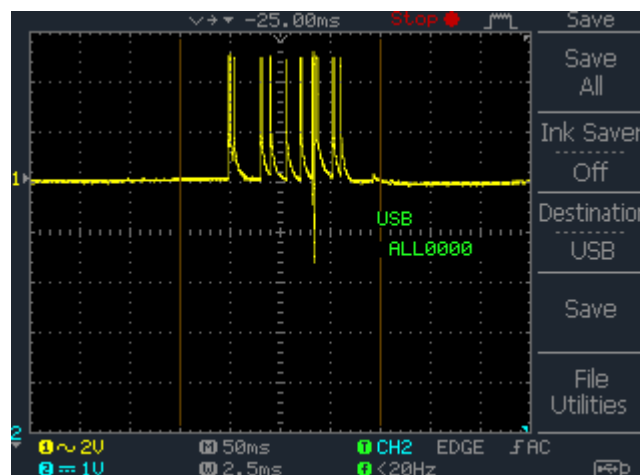
Kontaktne sile:

- a. Delovna sila: 3 cN
- b. Mirovna sila: 9 cN

Kontaktna razdalja: 0,3 mm

Pritezni tok  $I_p = 3,92$  mA

Odbijanje delovnega kontakta pri vklopu releja znaša 5,5 ms. Kontakt ni zanesljivo sklenjen.



Slika 13: Odbijanje kontakta, druga meritev.

3. Meritev:

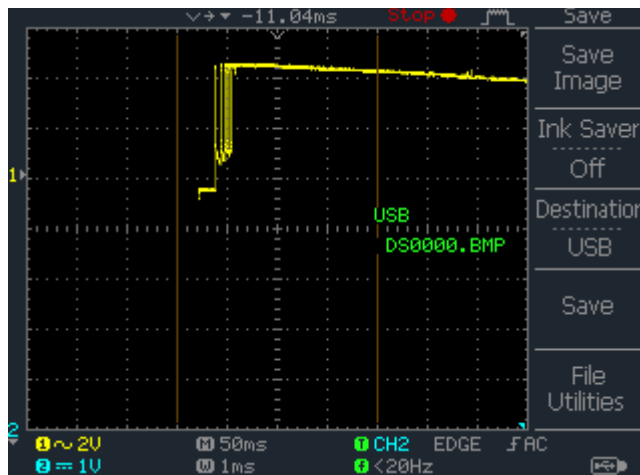
Kontaktne sile:

- a. Delovna sila: 12 cN
- b. Mirovna sila: 9 cN

Kontaktna razdalja: manjša od 0,3 mm in večja od 0,2 mm

Pritezni tok  $I_p = 3,85$  mA

Odbijanje delovnega kontakta pri vklopu releja znaša 0,6 ms.



Slika 14: Odbijanje kontakta, tretja meritev.

4. Meritev:

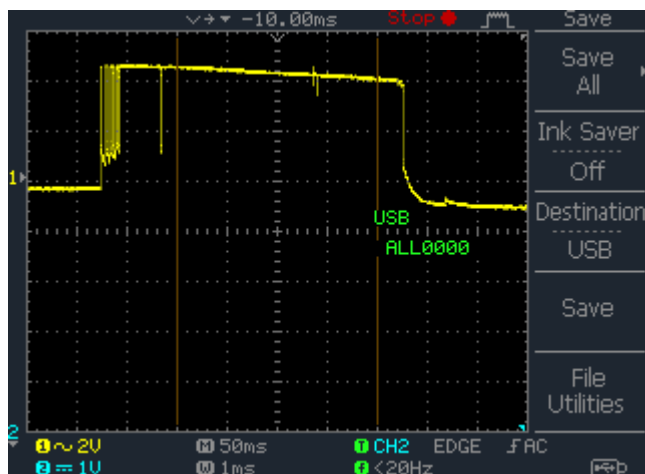
Kontaktne sile:

- a. Delovna sila: 12 cN
- b. Mirovna sila: 9 cN

Kontaktna razdalja: večja od 0,3 mm in manjša od 0,4 mm

Pritezni tok  $I_p = 3,85$  mA

Odbijanje delovnega kontakta pri vklopu releja znaša 0,6 ms.



Slika 15: Odbijanje kontakta, četrta meritev.

5. Meritev:

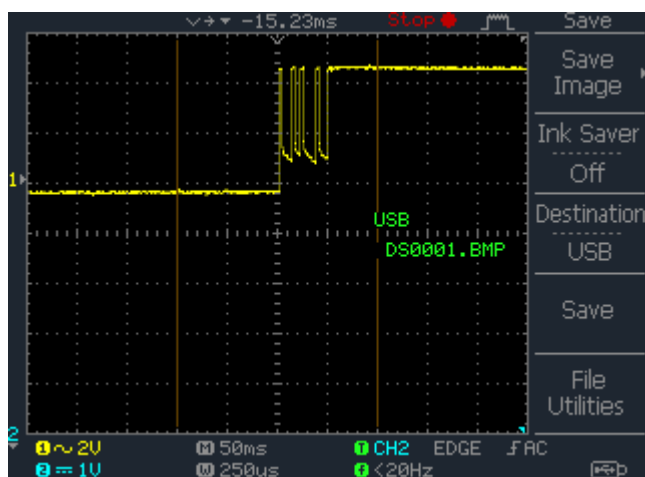
Kontaktne sile:

- a. Delovna sila: 23 cN
- b. Mirovna sila: 9 cN

Kontaktna razdalja: 0,3 mm

Pritezni tok  $I_p = 4,5$  mA

Odbijanje delovnega kontakta pri vklopu releja znaša 250  $\mu$ s.



Slika 16: Odbijanje kontakta, peta meritev.



6. Meritev:

Kontaktne sile:

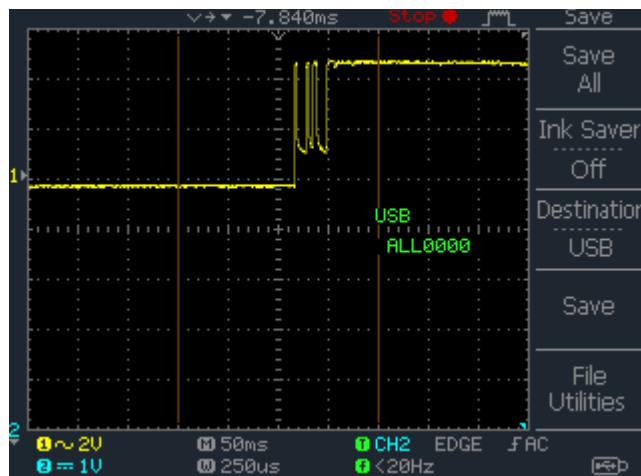
a. Delovna sila: 18 cN

b. Mirovna sila: 9 cN

Kontaktna razdalja: večja od 0,3 mm in manjša od 0,4 mm

Pritezni tok  $I_p = 4,1$  mA

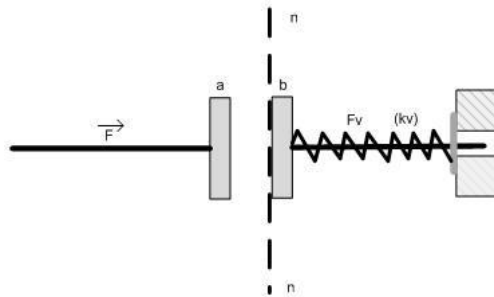
Odbijanje delovnega kontakta pri vklopu releja znaša  $150 \mu\text{s}$ .



Slika 17: Odbijanje kontakta, šesta meritev.

## 2.7 Čas odbijanja kontaktov

Pri gibanju kontaktov pride do nezaželenega pojava, to je odbijanje kontaktov. Nastopi nihanje zaradi elastičnega trka med kontakti. Odbijanje je močnejše pri vklopu kontakta. Pojav si razložimo na primeru, ki ga prikazuje slika 18.



Slika 18: Delovanje sile na kontakt.

Giblivi kontakt a, na katerega deluje konstantna sila  $F$ , se premika proti kontaktu b s hitrostjo  $v$ . Po določenem času pride do trka obeh kontaktov. Zaradi udarca se kontakt b premakne iz svoje mirovne lege in stisne vzmet. Gibanje kontakta b po trku je odvisno od sile vzmeti  $F_v$ . Kontakt a se zaradi elastičnega trka za trenutek ustavi, potem pa se zaradi sile  $F$  giblje dalje in tako pride do novega trka med kontaktoma. Odbijanje je pri drugem udarcu že manjše. Pojav se še nekajkrat ponovi, dokler se kontakta popolnoma ne skleneta.

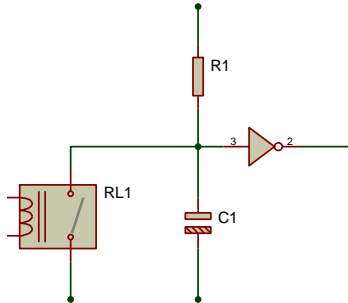
## 2.8 Rešitev problema odbijanja kontaktov releja

Obstaja več načinov kako rešiti odbijanje kontaktov in sicer s strojno opremo, tako imenovani "Hardware" in programska rešitev, tako imenovani "Software", recimo pri uporabi mikrokontrolerja. V tem primeru vpišemo v programsko kodo podprogram za zakasnitev, ki ga uporabimo po prvi sklenitvi delovnega kontakta releja.

Strojna oprema:

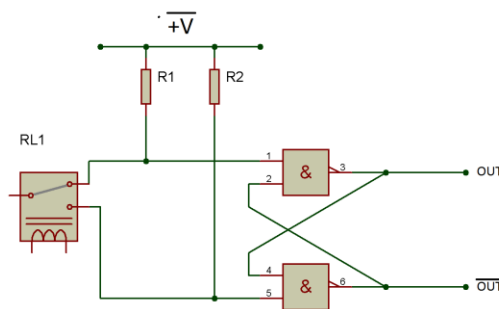
Na sliki 19 je prikazana zakasnitev z uporabo RC vezjem. Na izhodu dobimo zakasnjeni vklop delovnega kontakta. Za pravilno zakasnitev moramo izbrati ustrezne elemente, zakasnitev mora biti malenkost daljša od odbijanje kontaktov. Da dobimo točen čas moramo

pomnožiti vrednost upora in vrednost kondenzatorja, tako dobimo RC časovno konstanto, na primer 2,5 ms. Pojavi se lahko težava, če v tem času (v našem primeru 2,5 ms) ponovno vklopimo rele.



**Slika 19: Vezje z RC konstanto.**

Druga možnost (Slika 20) je uporaba dveh NAND logičnih vrat v vezavi RS flip-flopa. Prednost tega vezja je, da dobimo zakasnitev, ki je bolj natančna kot pri RC vezju.



**Slika 20: Vezja z RS flip-flopom.**

Programska koda:

Motnje odbijanja kontaktov povzročajo težave pri ugotavljanju stanja vhodnega priključka mikrokontrolerja. Mikrokontroler te motnje zazna kot večkratni vklop kontakta. Motnje zaradi odbijanja kontaktov lahko odpravimo programsko. Po prvi zaznavi sklenjenega kontakta počakamo določen čas, npr. 2 ms. Zato program za 2 ms spravimo v zanko ali v podprogram za zakasnitev. Po izhodu iz zanke oziroma podprograma je kontakt zanesljivo sklenjen.

Program lahko v zanki čaka tudi na sprostitvev kontakta, saj se tudi takrat pojavijo motnje na kontaktih.

V naslednjem programu lahko vidimo, kako programsko odpravimo motnje, ki nastanejo na kontaktih zaradi odbijanja. Program po zakasnitvi, ki je daljša od časa odbijanja delovnega kontakta releja, vklopi LED diodo.

```

-----
;Krmiljenje svetleče diode z vklopom delovnega kontakta releja. Odprava motenj zaradi odbijanja delovnega
kontakta releja.
;Okolje MPLAB IDE 8.7, prevajalnik MPASM Assembler V5.39, oscilator 4 MHz
-----

list      p=16f628a           ;Tip mikrokontrolerja
#include  <p16f628a.inc>      ;Vključi v program datoteko p16f628a.inc,
                             ;ki vsebuje imena registrov v mikrokontrolerju.

__CONFIG _CP_OFF & _WDT_OFF & _PWRTE_ON & _MCLRE_ON & _LVP_OFF & _XT_OSC

Temp1 equ 0x20               ;Spremenljivka za zakasnitev
Temp2 equ 0x21               ;Spremenljivka za zakasnitev

org      0x000
goto    Glavni               ;Nadaljuj izvajanje programa na naslovu Glavni.
org      0x004

Glavni
  bcf    STATUS,RP0          ;Banka 0
  movlw  b'00000111'
  movwf  CMCON               ;Omogočimo vhodno-izhodne pine na PORTA.
  bsf    STATUS,RP0          ;Banka 1
  movlw  b'00000001'
  movwf  TRISA               ;RA0 je vhodni pin.
  movlw  b'11111110'
  movwf  TRISB               ;RB0 je izhodni pin.
  bcf    STATUS,RP0          ;Banka 0
  clrf   PORTB               ;Inicializacija PORTB

;***** Ugotavljanje stanja delovnega kontakta releja *****

Ali_je_T1_sklenjen
  btfss  PORTA,0             ;Ali je delovni kontakt releja, priključen na pin RA0, sklenjen?
  goto   Ali_je_T1_sklenjen ;Ni sklenjena, ponovno preveri stanje T1.
  call   Zakasnitev          ;Je sklenjena, počakaj 2 ms (odbijanje kontaktov).
  bsf    PORTB,0             ;Vklopi svetlečo diodo, priključeno na pin RB0.
  goto   Ali_je_T1_sklenjen

;***** Podprogram za zakasnitev, po kateri bo delovni kontakt zanesljivo sklenjen *****

Zakasnitev
  movlw  .150                ;Prva konstanta za zakasnitev 2 ms
  movwf  Temp1               ;Prestavi konstanto iz delovnega registra v spremenljivko Temp1.
  movlw  .3                  ;Druga konstanta za zakasnitev 2 ms

```

```

movwf   Temp2           ;Prestavi konstanto iz delovnega registra v spremenljivko Temp2.
Se_zmanjsaj
decfsz   Temp1,f         ;Zmanjšaj Temp1 za 1, preskoči naslednjo instrukcijo, če je 0.
goto     Se_zmanjsaj     ;Temp1 še ni enak 0. Še zmanjšuj spremenljivko Temp1.
decfsz   Temp2,f         ;Temp1 = 0. Temp2 zmanjšaj za 1. Če je 0, preskoči naslednjo
                               ;instrukcijo, sicer ponovno zmanjšuj Temp1.

goto     Se_zmanjsaj
return                               ;Vrni se iz podprograma.
;*****
end

```

## 4. Družbena odgovornost

Z raziskovanjem problema odbijanja kontaktov na releju smo prišli do nekaterih ugotovitev, ki lahko bistveno vplivajo na kvaliteto relejev, na tehnološki postopek posameznih operacij v proizvodnji relejev, pa tudi do spoznanj, ki naj jih konstrukterji upoštevajo pri razvoju novih, še varčnejših tipov releja. Tako bo v proizvodnji manj izmeta, s tem tudi manj stroškov, kvaliteta izdelkov se bo povečala, delo v proizvodnji pa bo prijaznejše.

## 5. Sklep

Večina parametrov releja je odvisna od njegove konstrukcije, ki nastane pri konstruiranju posameznega tipa releja. S posameznimi tehnološkimi rešitvami lahko le delno vplivamo na njegovo delovanje. S konstrukcijo releja je sila na kotvo releja v večini že določena, a že preveliki oziroma premali nanos galvanske zaščite relejnega železa lahko to silo bistveno spremeni. Prevelik nanos zaščite zmanjšuje silo na kotvo, premali pa lahko povzroča lepljenje kotve na jedro.

Kontaktni sistem je pri različnih tipih releja različen. Vsebuje lahko en ali več preklopnih kontaktov, samo mirovne ali samo delovne kontakte, nekateri pa kombinacijo obeh. Kontaktne sile bistveno vplivajo na čas odbijanja kontaktov. Velik vpliv na kontaktne sile ima debelina kontaktnih lamel, čeprav se nahaja v območju dovoljenih toleranc. Zaradi kombinacije vseh parametrov, pa tudi zaradi tehnoloških postopkov, je potrebno releje justirati. Potrebno jim je nastaviti pravilen hod kotve, kontaktne razdalje in kontaktne sile, ob tem pa paziti, da rele še vedno deluje v območju dovoljenih priteznih, držalnih in odpadnih vrednostih.

Ker odbijanja kontaktov ne moremo povsem preprečiti, lahko ga le zmanjšamo na minimalno vrednost, moramo uporabiti druge rešitve, da nam v elektronskih vezjih ne povzročajo prevelikih težav.

## **6. Viri**

<http://www.iskra-releji.si/files/relays/PR151617.pdf>

[http://www.elexp.com/t\\_bounc.htm](http://www.elexp.com/t_bounc.htm)

[https://munus2.scng.si/files/2009/09/Programiranje\\_in\\_uporaba.pdf](https://munus2.scng.si/files/2009/09/Programiranje_in_uporaba.pdf)