

LATVIJAS LAUKSAIMNIECĪBAS UNIVERSITĀTE  
TEHNISKĀ FAKULTĀTE  
Lauksaimniecības enerģētikas institūts

A. Šnīders, P. Leščevics, A. Galiņš

# **Tehnoloģisko iekārtu automatizācija**

Jelgava 2008

LATVIJAS LAUKSAIMNIECĪBAS UNIVERSITĀTE  
TEHNISKĀ FAKULTĀTE  
Lauksaimniecības enerģētikas institūts

A. Šnīders, P. Leščevics, A. Galiņš

# **Tehnoloģisko iekārtu automatizācija**

*Mācību – metodiskais līdzeklis*

Jelgava 2008



**Mācību līdzeklis sagatavots un izdots ESF projekta „Inženierzinātņu studiju satura modernizācija Latvijas Lauksaimniecības universitātē” ietvaros, projektu līdzfinansē Eiropas Savienība.**

**Tehnoloģisko iekārtu automatizācija:** Mācību – metodiskais līdzeklis / sast.: A. Šnīders, P. Leščevics, A. Galiņš. – Jelgava: LLU, 2008. – 60 lpp.

Apskatītas tehnoloģisko iekārtu automatizācijas ierīces atbilstoši inženierzinību studiju programmām sekojošos priekšmetos: „Automātikas pamati”, „Automatizācija”, „Energētika” un „Kokapstrādes automatizācija”. Izklāstīta laboratorijas darbu sagatavošanas un izpildes metodika, galvenais darba mērķis un uzdevumi. Katram laboratorijas darba aprakstam dots darba teorētiskais pamatojums, kuru var izmantot darba sagatavošanai, noformēšanai un aizstāvēšanai. Laboratorijas darbu aprakstu beigās doti kontroles jautājumi un literatūras avoti, kas palīdzēs padziļināt un nostiprināt zināšanas par automātikas elementiem un ierīcēm.

Norādīta laboratorijas darbu izpildes kārtība un darba drošības tehnikas prasības automātikas laboratorijā, kā arī rīcība nelaiimes gadījumos, nonākot saskarē ar veselībai un dzīvībai bīstamu elektrisko spriegumu.

Mācību metodiskais līdzeklis paredzēts lauksaimniecības enerģētikas, datorvadības un datorzinātnes, lauksaimniecības mehanizācijas, kokapstrādes tehnoloģijas, mežizstrādes inženieru un pārtikas tehnoloģijas specialitāšu bakalauru studiju studentiem.

Recenzenti: RTU Industriālās elektronikas un elektrotehnikas institūta  
profesors J. Greivulis  
TF Lauksaimniecības enerģētikas institūta asoc. prof. I. Ž. Klegeris.

**ISBN 978-9984-784-57-1**

© Andris Šnīders, Pēteris Leščevics, Ainārs Galiņš  
© LLU Tehniskā fakultāte


## Saturs

Drošības tehnikas instrukcija .....	4
1. Metāla termopāri .....	7
2. Metāla un pusvadītāju termorezistori .....	13
3. Fotorezistori, fotodiodes un fotoreleji .....	20
4. Elektromagnētiskie līdzstrāvas un maiņstrāvas releji .....	29
5. Elektromagnētiskie laika releji un impulsa ģeneratori .....	37
6. Elektroniskais laika releji un taimeri .....	45
7. Pneimoautomātikas elementi un ierīces .....	52
Pielikums: Elektrotehnikas un elektronikas elementu grafiskie apzīmējumi .....	58


# DROŠĪBAS TEHNIKAS INSTRUKCIJA

## Lauksaimniecības enerģētikas institūta laboratorijās strādājošiem studentiem

Lai varētu sākt strādāt laboratorijas darbus, studentiem jāiepazīstas ar darbu izpildes kārtību automātikas laboratorijā.



*Pirms laboratorijas darbu strādāšanas studentiem jāiepazīstas ar drošības tehnikas noteikumiem un stingri tie jāievēro. Par drošības tehnikas instruktāžas saņemšanu studenti parakstās žurnālā.*



Mācību laboratorijās pievadītais **darba spriegums ir 220/380 V, kas ir bīstams cilvēka veselībai un dzīvībai**. Jāatceras, ka nelabvēlīgos apstākļos cilvēka ķermeņa pretestība var samazināties pat līdz dažiem simtiem omu, kā rezultātā pat 36 V spriegums var būt bīstams cilvēka dzīvībai. **Tādēļ, lai izvairītos no nelaimes gadījumiem, strādājot laboratorijā, jābūt sevišķi uzmanīgiem.**

### Laboratorijā jāievēro sekojošas drošības tehnikas prasības:

1. Uz darba galdiem nedrīkst novietot portfeļus, somas, liekus vadus, aparātus un citus nevajadzīgus priekšmetus. Laboratorijā ierasties bez mēteļiem un cepurēm.
2. Sākot saslēgt shēmu, studentiem personiski jāpārliedz, vai darba vietā visi slēdži (automāti) ir atslēgti un aparāti nav pieslēgti spriegumam.
3. Neieslēgt slēdzi (automātu), pirms pasniedzējs, kas vada nodarbību, vai laborants nav pārbaudījis shēmu un **devis atļauju ieslēgt**.
4. Shēmas saslēgšanai drīkst izmantot tikai vadus ar nebojātu izolāciju un uzgaļiem, nodrošinot labu un drošu kontaktu zem aparātu vai iekārtas spailēm.
5. Pirms jebkuras izmaiņas shēmā, mēraparāta vai automātikas ierīces nomaiņas obligāti jāatslēdz barošanas spriegums, **shēmu drīkst pieslēgt spriegumam atkārtoti tikai pēc pasniedzēja vai laboranta atļaujas**.
6. Elektromērinstrumenti un barošanas avoti jāizvēlas tā, lai tie atbilstu pētamo ierīču parametriem.
7. Studentiem aizliegts ieslēgt vai atslēgt elektriskos slēdzus un aiztikt mēraparātus un iekārtas, ja tie nav vajadzīgi darbā.
8. Pieslēdzot shēmu spriegumam, pārējos brigādes locekļus nepieciešams skaidri brīdināt: **“Ieslēdz spriegumu”**.
9. Pēc tam, kad spriegums shēmai pieslēgts, studentiem **kategoriski aizliegts**:
  - a) pieskarties pie shēmas mēraparātu vai iekārtu neizolētām, strāvu vadošām daļām;
  - b) pieskarties siltumapgādes radiātoriem un ūdensvada caurulēm;
  - c) izdarīt shēmā izmaiņas vai aparātu nomaiņu;
  - d) atstāt darba vietu bez uzraudzības.

10. Aizliegts staigāt no vienas darba vietas uz otru, traucēt citus ar sarunām, iejaukties citu brigāžu darbā.
11. Pirms elektrisko mašīnu palaišanas izdarīt elektrodzinēja un palaišanas iekārtas ārējo apskati. Raudzīties, lai savienojšie vadi netiktu ierauti mašīnas rotējošās daļās.
12. Aizliegts pieskarties ieslēgta elektrodzinēja rotējošām daļām, līdz tās pilnīgi apstājas.
13. Ievērojiet pietiekošu attālumu no rotējošām mašīnas daļām, it sevišķi, ja ir gari mati vai ap kaklu šalle, jo pat pilnīgi gluda vārpsta ir spējīga “aptīt” apģērbu.
14. Sprieguma “pazušanas” gadījumā, nekavējoties izslēgt galveno darba vietas slēdzi un ziņot par to pasniedzējam vai laborantam.
15. Avārijas gadījumā, nekavējoties darīt visu iespējamo, lai pārtrauktu elektroenerģijas padevi – izslēgt slēdzus darba vietā, bet ja tas nav iespējams, tad izslēgt galveno laboratorijas sadales skapja slēdzi.
16. Darbu beidzot, pirms shēmas izjaukšanas, pārliecināties, vai barojošais tīkls ir atslēgts.
17. Par visiem aparātu vai iekārtas bojājumiem, kas notikuši darba laikā, jāziņo pasniedzējam.
18. Pēc darba nostrādāšanas sakārtot darba vietu, to atstāt drīkst tikai ar pasniedzēja atļauju.
19. Ja notiek nelaimes gadījums un cietušais nokļūst zem sprieguma, vai arī to aizķer mašīnas rotējošās daļas, **nekavējoties** ar jebkuriem līdzekļiem, neapdraudot sevi un citus, **jāatslēdz spriegums**.



**Kamēr cietušais atrodas zem sprieguma, pārējiem jāizvairās no saskares ar to, taču sprieguma izslēgšanas brīdī jāšargā cietušais no iespējamā kritiena. Pēc cietušā atbrīvošanas no sprieguma, tam jāsniedz palīdzība vai jāzaisauc neatliekamā medicīniskā palīdzība.**

**Par jebkuru, arī vismazāko nelaimes gadījumu nekavējoties jāziņo pasniedzējam.**

un ar **darba drošības noteikumiem un stingri tie jāievēro**. Par drošības tehnikas instruktāžas saņemšanu studenti parakstās žurnālā.

## **Piezīmes**

# 1. METĀLA TERMOPĀRI

## Darba mērķis

Iepazīties ar termopāru konstrukciju, izgatavošanas metodiku un izmantošanu dažādās automātikas sistēmās.

## Darba uzdevums

1. Iepazīties ar rūpniecisko termopāru konstrukciju un parametriem.
2. Izvēlēties divus atšķirīga metāla vai metālu sakausējuma vadus termopāra izgatavošanai, iepazīties ar metināšanas metodiku un izgatavot termopāri (1.1. att.).
3. Saslēgt termopāra graduēšanas shēmu (1.2. att.).
4. Uzņemt termopāra statisko raksturlīkni  $E_T = f(T_d - T_b)$  (1.3. att.).
5. Izmantojot eksperimenta datus, noteikt termopāra jutības koeficientu  $k$  pie dažādām temperatūrām. Aprēķināt  $k$  vidējo vērtību un izkliedi.
6. Secinājumos salīdzināt eksperimenta datus ar attiecīgās markas termopāra tehniskajiem datiem un novērtēt termopāra jutību un praktiskās pielietojšanas iespējas.

## Termopāru raksturojums

Ja izveido elektrisko ķēdi no diviem dažādiem vadītājiem vai pusvadītājiem, turklāt vienus galus sametina, bet brīvajiem galiem pieslēdz jutīgu galvanometru vai milivoltmetru, tad uzturot temperatūru starpību starp sametinātajiem un brīvajiem galiem, mērinstruments uzrāda elektrodzinējspēku. Šo elektrodzinējspēku sauc par termoelektrodzinējspēku (TEDS), bet ierīci, ar kuru to iegūst, - par termopāri. Termopāris ir ģeneratora tipa pārveidotājs. Termopāra sametināto galu, kuru iegremdē kontrolējamā vidē, sauc par darba jeb "karsto" galu, pārējos divus - sauc par brīvajiem jeb "aukstajiem" galiem. Termopāra TEDS ir tieši proporcionāls darba gala un brīvo galu temperatūras starpībai. Varam izvirzīt divus galvenos TEDS rašanās nosacījumus:

- termopāri jāizgatavo no divām metāla vai metālu sakausējuma stieplēm ar atšķirīgu elektrovadītspēju;
- jāpastāv temperatūru starpībai starp termopāra darba galu un brīvajiem galiem.

Jebkurus divus atšķirīgus metālus vai to sakausējumus var izmantot par termopāra termoelektrodziem. Taču ne katrs termopāris būs derīgs praktiskai lietošanai. Galvenās prasības termoelektrodu materiāliem ir sekojošas:

- TEDS nemainīgums laikā pie vienas un tās pašas temperatūru starpības;
- zems pretestības temperatūras koeficients;
- termoelektrodu materiāla homogenitāte, kas nodrošina termopāru savstarpēju apmaināmību.

Konstruējot termopārus cenšas izmantot termoelektrodus, no kuriem viens dod negatīvu termoelektrisko potenciālu attiecībā pret platīnu, bet otrs - pozitīvu. Jo lielāki šie potenciāli, jo augstāka termopāra jutība. Izgatavojot termopāri, jāņem vērā arī



lietojamo termoelektrodu derīgums dotajiem apstākļiem (mērāmo temperatūru diapazons, vides īpašības, un tml.).

Termopāru termoelektrodu izplatītākie materiāli ir varš - konstantāns, hromels - kopels, hromels - alumels. Augstu temperatūru mērīšanai izmanto platīna - platīnrodija termopārus. Izplatītāko termopāru tehniskie dati sakopoti 1.1. tabulā.

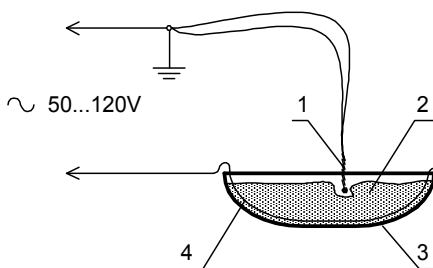
### Termopāru izgatavošana

Ja praksē pieejamāki ir termoelektrodu materiāli nevis rūpnieciski izgatavoti termopāri, tad tos izgatavo uz vietas ražošanas objektā, lietojot vienkāršus paņēmienus un ierīces. Taču jāievēro, ka termopāra izgatavošanas kvalitāte var ievērojami ietekmēt tā jutību un raksturlielņu stabilitāti. Mērot temperatūru objektos ar lielu temperatūras gradientu, svarīga nozīme ir termoelektrodu metinājuma kvalitātei, kam izvirza sekojošas prasības:

- metinājuma vietas mehāniskā izturība nedrīkst būt zemāka par termoelektrodu mehānisko izturību;
- agresīvās vidēs lodējuma vieta nedrīkst korodēt ātrāk par termoelektrodiem;
- tai jābūt ar zemu omisko pretestību;
- tā nedrīkst saturēt dažādus piemaisījumus (oksīdus, oglekļa savienojumus, u.c.).

Termopāru izgatavošanai lieto vairākus paņēmienus: lodēšanu, gāzes metināšanu, elektrometināšanu un plazmas loku. Termopāru lodēšanai ar darba temperatūru līdz  $150^{\circ}\text{C}$  lieto alvas – svina lodmetālu, bet darba temperatūrai līdz  $700^{\circ}\text{C}$  – vara – sudraba – cinka lodmetālu. Lai iegūtu kvalitatīvu lodējumu, lieto speciālus kušņus. Taču jāatzīmē, ka daži termoelektrodu materiāli slikti lodējas (alumels, konstantāns), speciālie lodmetāli un kušņi ne vienmēr ir pieejami. Tāpēc lētākais, vienkāršākais un vispieejamākais termopāru izgatavošanas paņēmiens ir elektrometināšana. Izšķir vairākus elektrometināšanas veidus:

- loka metināšana ar grafiņa elektrodiem;
- metināšana vannā ar šķidru elektrolītu;
- ar kondensatoru baterijas impulsvēda izlādi caur metināšanas transformatora primāro tinumu;
- metināšana vannā ar grafiņa vai ogles pulveri (1.1. att.).



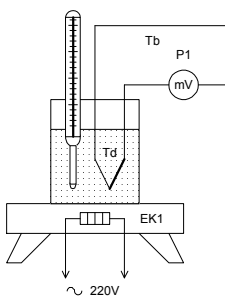
1.1. att. **Termopāra sametināšana vannā ar grafiņa pulveri**  
1 - porcelāna vanna; 2 - grafiņa pulveris; 3 - vara elektrods.

## Termopāru graduēšana

Lai izgatavoto termopāri varētu izmantot temperatūras mērīšanai, tas jāgraduē. Šajā nolūkā tā brīvos galus pieslēdz jutīgam galvanometram vai milivoltmetram, bet darba galus ievieto termostatā. Termopāra darba gala temperatūras  $T_d$  izmaiņu pie noteiktas nemainīgas brīvo galu temperatūras  $T_b$  (piemēram,  $20^{\circ}\text{C}$ ) kontrolē ar precīzu dzīvsudraba termometru (1.2. att.). Jāievēro, ka termometra termobalonam un termopāra darba galam jāatrodas vienādos siltumapmaiņas apstākļos un vienādās temperatūrās. Temperatūra termostatā jāmaina pietiekami lēni, lai mērījumu precizitāti neietekmētu termopāra un termometra silšanas inerces atšķirības. Jāatceras, ka termopāra TEDS ir proporcionāls termopāra darba gala un brīvo galu temperatūru starpībai, tādēļ graduēšanas laikā brīvo galu temperatūra jāuztur nemainīga.

$$E_T = k (T_d - T_b),$$

kur  $E_T$  - termoelektrodzinējsspēks, mV,  
 $k$  - termopāra jutības koeficients, mV/ $^{\circ}\text{C}$ ,  
 $T_d$  - darba gala temperatūra,  $^{\circ}\text{C}$ ,  
 $T_b$  - brīvo galu temperatūra,  $^{\circ}\text{C}$ .



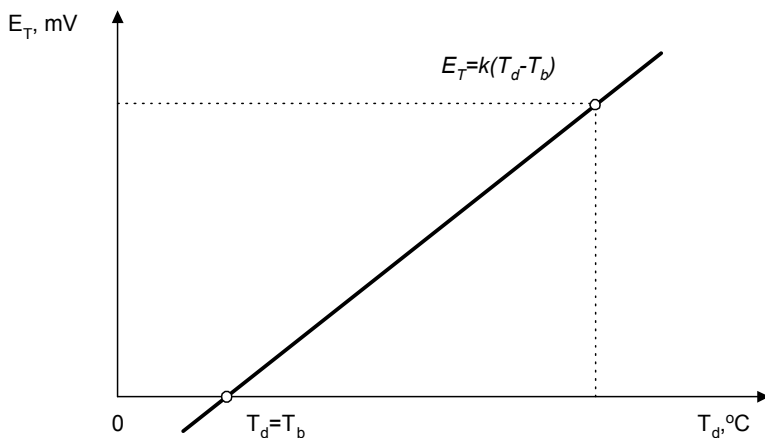
1.2. att. Termopāra graduēšanas eksperimentālās iekārtas shēma

1 – termometrs; 2 – vārglāze ar ūdeni; 3 – elektriskā plītiņa.

Iegūto graduēšanas raksturlīkni, kas lielākai daļai termopāru noteiktos temperatūras diapazonos ir lineāra, var lietot temperatūras kontrolei un mērīšanai dažādos objektos (elektrodzinēju tinumos, krāsnīs, autoklāvos, žāvēšanas kamerās u.c.).

Jāievēro, ka uzņemtā graduēšanas raksturlīkne ir derīga dotajam termopārim komplektā ar dotās markas galvanometru vai milivoltmetru. Pieslēdzot termopāri citas markas mēraparātam ar atšķirīgu jutību un iekšējo pretestību, radīsies lielas mērīšanas kļūdas.

Termopāris kopā ar graduēto mēraparātu veido temperatūras mērierīci. Lai iegūtu maksimālu temperatūras mērierīces jutību, termopāra ķēdes pretestība jāsaskaņo ar mēraparāta iekšējo pretestību.



1.3. att. Termopāra statiskā raksturliķne

### Kontroles jautājumi

1. No kā sastāv termopāris?
2. Ar ko atšķiras termopāra termoelektrodi?
3. Pie kāda nosacījuma termopāris ģenerē termoelektrodzinējspēku?
4. Kādi ir izplatītākie termoelektrodu materiāli?
5. Kādu tehnoloģisko parametru mērīšanai pielieto termopāri?
6. Kāds ir apgrieztais termoelektriskais efekts un kur to pielieto?
7. Kādi ārējie apstākļi iespaido termopāra darbības precizitāti?
8. Kā izgatavo termopāri?
9. Kā graduē termopāri?
10. Kas jāievēro izvēloties termopāra un mēraparāta savienojošos vadus?
11. Ar kādiem paņēmieniem novērš apkārtējās vides temperatūras iespaidu uz termoelektriskā termometra precizitāti?
12. Kādas ir galvenās metāla termopāru un pusvadītāju termopāru priekšrocības un trūkumi?

### Literatūra

1. Šnīders A. Kokapstrādes automatizācija. - R.: Avots, 1989. - 158 lpp.

1.1. tabula

**Termopāru tehniskie parametri**

Termopāra nosaukums un markas apzīmējums	Pieslēgšanas vadu marka pozitīvajam (+) un negatīvajam (-) termoelektrodiem		Robežtemperatūra		Termo EDS mV pie $T_b = 100^\circ \text{C}$ , $T_d = 0^\circ \text{C}$
	(+)	(-)	Ilgstoša	Īslaicīga	
Platīnrodījs (+) – platīns (-)	varš	Vara-niķeļa sakausējums (99,4 % Cu + 0,6 % Ni)	1300	1600	0,64
Hromels (+) – alumels (-)	varš	konstantāns	1000	1250	4,10
Hromels (+) – kopels (-)	hromels	kopels	600	800	6,95
Dzelzs (+) – kopels (-)	dzelzs	kopels	600	800	5,57
Varš (+) – kopels (-)	varš	kopels	150	300	4,76
Varš (+) konstantāns (-)	varš	konstantāns	350	500	4,10

## **Piezīmes**

## 2. METĀLA UN PUSVADĪTĀJU TERMOREZISTORI

### Darba mērķis

Iepazīties ar metāla un pusvadītāju termorezistoru uzbūvi, tehniskajiem parametriem, darbības principu un raksturlīknēm.

### Darba uzdevums

1. Iepazīties ar doto metāla un pusvadītāju termorezistoru uzbūvi un tehniskajiem datiem, izmantojot rokasgrāmatas.
2. Izveidot termorezistoru parametru pētīšanai nepieciešamo iekārtu, kuras shēma dota 2.1. attēlā.
3. Uzņemt doto metāla un pusvadītāju termorezistoru statistiskās raksturlīknes  $R_T=f(T)$  (2.2. att., 2.3. att), izmantojot 2.1. attēla shēmu.
4. Izmantojot eksperimenta datus, aprēķināt termorezistoru pretestības temperatūras koeficientu  $\alpha$ , jutības koeficientu  $k$ , pretestības termisko koeficientu  $TKR$  ( $\%/^{\circ}\text{C}$ ).
5. 4. Pēc pasniedzēja norādījuma uzņemt termorezistora dinamiskās raksturlīknes  $R_T=f(t)$  pie lēcienveida temperatūras izmaiņas  $\Delta T=\text{const}$ .
6. Secinājumos raksturot apskaidro termorezistoru priekšrocības un trūkumus norādot to pielietošanas iespējas tehnoloģisko procesu automatizācijā.

### Metāla termorezistori

Temperatūras mērīšanai, reģistrēšanai un automātiskai regulēšanai kā jutīgos elementus plaši lieto metāla termorezistorus, kurus izgatavo no tīriem metāliem – vara, platīna, niķeļa. Ir zināms, ka, pieaugot temperatūrai, palielinās brīvo elektronu haotiskās kustības vidējais ātrums. Līdz ar to palielinās vadītāja elektriskā pretestība. Lielākajai daļai tīru metālu ir lineāra statistiskā raksturlīkne  $R_T=f(T)$ . Tā, piemēram, vara stieples pretestības izmaiņu temperatūru diapazonā  $-50 \dots 180^{\circ}\text{C}$  izsaka sakarība:

$$R_T = R_0 \cdot (1 + \alpha \cdot T) \quad (2.1)$$

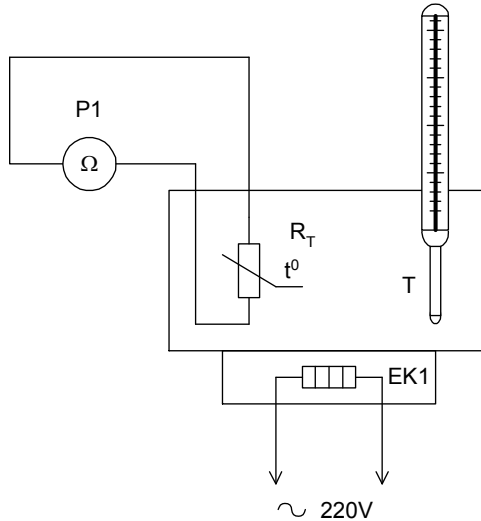
kur  $R_0$  – pretestība pie  $0^{\circ}\text{C}$ ;  
 $\alpha$  – pretestības temperatūras koeficients (varam  $\alpha=4.26 \cdot 10^{-3} \cdot 1/^{\circ}\text{C}$ );  
 $T$  – temperatūra,  $^{\circ}\text{C}$ .

Ja vara termorezistora sākuma temperatūra lielāka par nulli  $T_1 > 0$ , tā pretestību pie temperatūras  $T_2$  aprēķina pēc formulas

jeb pēc aptuvenas izteiksmes

$$R_{T_2} = R_{T_1} \cdot (1 + \alpha T_2) / (1 + \alpha T_1) \quad (2.2)$$

$$R_{T_2} \approx R_{T_1} \cdot [1 + \alpha \cdot (T_2 - T_1)] \quad (2.3)$$



### 2.1. att. Termistoru graduēšanas iekārtas shēma

P1 – ommetrs vai universālais elektroniskais voltmetrs;  $R_T$  – termorezistors; T – termometrs; EK1 – elektriskā žāvēšanas skapja sildelements.

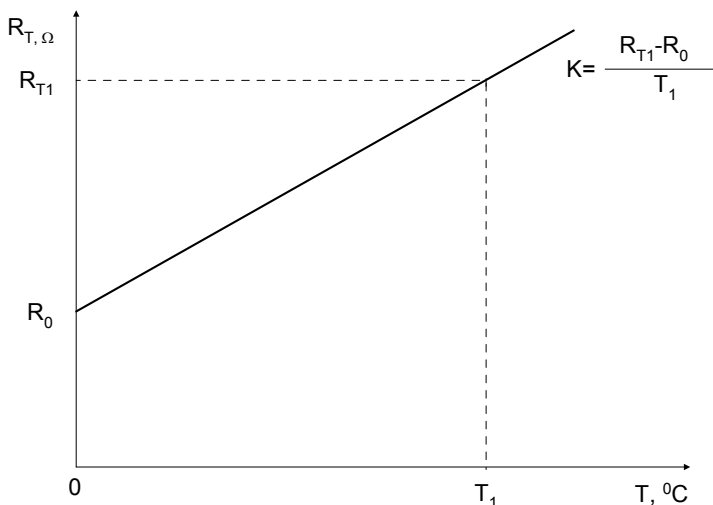
Svarīgs termorezistora statisko īpašību rādītājs ir jutības koeficients  $k = dR_T/dT$ . Izmantojot izteiksmi (2.1), iegūstam, ka  $k = R_0 \cdot \alpha$ , bet no izteiksmes (2.2) atrodam, ka  $k = R_{T1} \cdot \alpha / (1 + \alpha \cdot T_1)$ . Pēdējo izteiksmi lieto, ja nav zināma termorezistora pretestība  $R_0$  pie  $0^\circ\text{C}$  temperatūras.

Grafoanalītiski jutības koeficientu  $k$  aprēķina sekojoši:  $k = (R_{T1} - R_0) / T_1$  (2.2. att.).

Termorezistoru jutības salīdzināšanai lieto pretestības termisko koeficientu  $TKR$ , kas parāda pretestības procentuālo izmaiņu attiecībā pret tās nominālo vērtību uz katru temperatūras grādu,

$$TKR = R_0 \cdot \alpha_v \cdot 100\% / R_{20}, \quad (2.4)$$

kur  $R_{20}$  – termorezistora pretestība  $20^\circ\text{C}$  temperatūrā. Vara termorezistoriem  $TKR=0.4\%/^\circ\text{C}$ .



2.2. att. Vara termorezistora statiskā raksturlīkne

## Termistori

Termistori ir pusvadītāju termorezistori ar augstu negatīvu pretestības termisko koeficientu  $TKR$ , kurš 10. . .20 reizi pārsniedz metāla termorezistoru  $TKR$ . Termistoru īpašības izskaidrojamas ar pusvadītāju struktūru. Normālos apstākļos pusvadītājos ir mazs brīvo lādiņnesēju daudzums. Pieaugot temperatūrai, to skaits strauji palielinās, kas izsauc pretestības samazināšanos.

Termistoru jutīgos elementus izgatavo no metālu oksīdiem, piemēram, vara-mangāna (MMT, CT2), kobalta-mangāna (KMT, CT1), vara-kobalta-mangāna (CT3, MKMT), niķeļa-kobalta-mangāna (CT4) oksīda pusvadītājiem.

Statisko sakarību starp termistora pretestību  $R_T$  un temperatūru  $T$  izsaka eksponenciāla sakarība:

$$R_T = A \cdot e^{B/T}, \quad (2.5)$$

kur  $A$  un  $B$  – koeficienti, kas raksturo pusvadītāja materiāla īpašības un termistora konstruktīvo izveidojumu;

$T$  – temperatūra, izteikta Kelvina grādos ( $T = T_{\circ C} + 273$ )

Termistora statiskā raksturlīkne  $R_T=f(T)$  parādīta 2.3. attēlā. Atšķirībā no metāla termorezistoriem termistoru statiskās raksturlīknes ir izteikti nelineāras. Ja eksperimentāli uzņemti termistora statiskās raksturlīknes divi punkti –  $R_{T1}$  pie  $T_1$  un  $R_{T2}$



pie  $T_2$ , pārējos punktus var aprēķināt, izmantojot izteiksmi (2.5). Vispirms aprēķina koeficientus  $A$  un  $B$

$$A = R_{T_1} / e^{B/T_1} \quad \text{vai} \quad A = R_{T_2} / e^{B/T_2}, \quad (2.6)$$

$$\text{kur } B = [T_1 \cdot T_2 / (T_2 - T_1)] \ln(R_{T_1} / R_{T_2}).$$

Koeficients  $A$  vienāds ar dotā termistora pretestību ja  $T \rightarrow \infty$  un raksturo materiāla elektriskās īpašības. No izteiksmes (2.5) iegūst  $B = T \cdot \ln R_T / A$ . Var secināt, ka pie  $A = \text{const}$ ,  $T = \text{const}$   $B$  vērtību nosaka termistora pretestība  $R_T$  temperatūrā  $T$ .

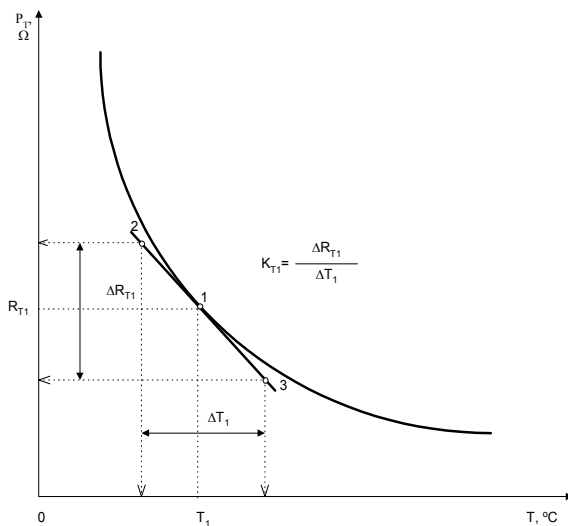
Atvasinot izteiksmi (2.5) pēc temperatūras, iegūstam termistora statisko jutības koeficientu:

$$k = -B \cdot R_T / T^2 = \alpha \cdot R_T, \quad (2.7)$$

kur  $\alpha = -B/T^2$  – termistora pretestības temperatūras koeficients  $1/K$ .

Mīnusa zīme izteiksmē (2.7) norāda, ka paaugstinoties temperatūrai termistora pretestība samazinās. Redzam, ka koeficients  $k$  nav konstants lielums, bet mainās atkarībā no temperatūras. Paaugstinoties temperatūrai, termistora jutības koeficients samazinās.

Jutības koeficientu izvēlētajā raksturlīknes punktā var noteikt grafoanalītiski (2.3. att.). Šai nolūkā dotajā punktā 1 velk pieskari, uz kuras atliek divus brīvi izvēlētus punktus 2, 3. Pie tam atrod šo punktu projekcijas uz abscisas  $T$  un ordinātas  $R_T$  asīm un nosaka temperatūras izmaiņu  $\Delta T_1$ , kā arī tai atbilstošo pretestības izmaiņu  $\Delta R_{T_1}$ . Tad jutības koeficients ierobežotā apgabalā ap punktu 1 ir  $k_{T_1} = \Delta R_{T_1} / \Delta T_1$ .



2.3. att. Termistora statistiskā raksturlīkne

2.1. tabula

**Termorezistoru tehniskie dati**

Metāla termorezistora tips	$R_0$	Grad. grupa	Mēramo temperatūru diapazons	$\alpha \cdot 10^3$ , $1/^\circ\text{C}$	$K$ , $\Omega/^\circ\text{C}$	TKR, $\%/^\circ\text{C}$
TCM (vara)	53	23	-50...+180	4.26	0.226	0.4
TCM (vara)	100	24	-50...+180	4.26	0.426	0.4
TCP (platīna)	10	20	0...650	3.95	0.0393	0.365
TCP (platīna)	46	21	-200...+500	3.95	0.181	0.365
Pt 100 (platīna)	100	-	-50...+400	4.00	0.38	0.36

**Termistoru tehniskie dati**

<b>Parametri</b>	<b>MMT-I</b>	<b>MMT-4</b>	<b>KMT-6</b>	<b>KMT-I</b>	<b>KMT-10</b>
$R_{\min}-R_{\max}$ , k $\Omega$	1-220	1-220	10-100	22-1000	100-3300
Pielaide, %	20	20	20	20	20
TKR%/ $^{\circ}\text{C}_{+20^{\circ}\text{C}}$	-2.4...-3.4	-2.4...-3.4	-2.4...-3.4	-4.5...-6	-4.2...-6
Koeficients B, $^{\circ}\text{K}$	2060... 2920	2060... 2920	1040... 2920	3860... 5150	3900... 4300
Laika konstante $\tau$ , s	85	115	35	85	10
$P_{\min}$ , mW	1.3	2	0.3	1	—
$P_{\max}$ , W	0.6	0.5	0.05	1	0.25
Darba temperatūru diapazons $^{\circ}\text{C}$	-60...+125	-60...+125	-60...+120	-60...+180	0...+120

**Kontroles jautājumi**

1. No kādiem materiāliem izgatavo metāla termorezistorus?
2. Kāda ir metāla termorezistora uzbūve?
3. Ar kādu konstruktīvu paņēmieni novērš metāla termorezistora parazitisko induktīvo pretestību?
4. Kāds rādītājs raksturo termorezistora jutību, kā to aprēķina?
5. Kādi parametri nosaka termorezistora jutību un silšanas inerci?
6. Kādas ir vara termorezistora priekšrocības un trūkumi?
7. Kāpēc termorezistora jutība nemainās atkarībā no temperatūras?
8. Kāpēc metāla termorezistoru pievieno mēraparātiem vai temperatūras regulatoriem ar trīsvalu sistēmu?
9. Kas ir savstarpējā apmaināmība? Kuri temperatūras mērpārveidotāji ir savstarpēji apmaināmi?
10. Kādas ir pusvadītāju termistoru īpašības?
11. Kādas ir termistoru priekšrocības salīdzinājumā ar metāla termorezistoriem?
12. Kādi ir termistoru būtiskie trūkumi?
13. Kādi parametri iespaido termistoru jutību? Kā izmainās termistoru jutības koeficients, palielinoties temperatūrai?
14. Kā var grafoanalītiski noteikt termistora jutības koeficientu?

**Literatūra**

1. Šnīders A. Kokapstrādes automatizācija. - Rīga: Avots, 1989. – 158 lpp.

## Piezīmēm

### 3. FOTOREZISTORI, FOTODIODES UN FOTORELEJI

#### Darba mērķis

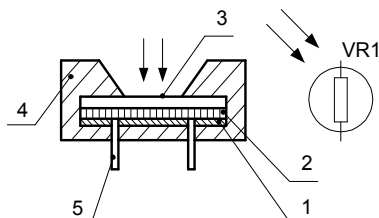
Iepazīties ar gaismas jutīgo elementu - fotorezistoru un fotodiožu tehniskajiem parametriem, darbības principu un pielietošanu fotorelejos.

#### Darba uzdevums

1. Iepazīties ar fotorezistoru uzbūvi un kataloga datiem.
2. Uzzīmēt un saslēgt shēmu fotorezistora voltampēru raksturlīknes  $I = f(U)_{E=\text{const}}$  uzņemšanai pie diviem dažādiem apgaismojumiem.
3. Uzzīmēt un saslēgt shēmu fotorezistora apgaismojuma raksturlīknes  $I = f(E)_{U=\text{const}}$  uzņemšanai pie diviem dažādiem apgaismojumiem.
4. Uzņemt sakarību  $R_f = f(E)$ : aprēķināt fotorezistora tumsas pretestību  $R_t$  un pie nomināla apgaismojuma (200 lx) –  $R_{\text{nom}}$ .
5. Aprēķināt fotorezistora integrālo jutību un īpatnējo integrālo jutību (pie dotā sprieguma).
6. Uzzīmēt un saslēgt fotoreleja shēmu un izpētīt tā darbību.
7. Secinājumos analizēt fotorezistora īpašības, fotoreleja darbību un pielietošanas iespējas tehnoloģisko procesu automatizācijā.

#### Fotorezistori un fotoreleji

Apgaismojuma kontrolei izmanto fotoelektriskas ierīces. Visplašāk lauksaimniecībā un rūpniecībā pielieto fotoelektriskās ierīces ar iekšējo fotoefektu, kuras bieži sauc par pusvadītāju fotoelementiem. Šajās ierīcēs gaismas iedarbības rezultātā mainās to vadītspēja. Automātikas shēmās izmanto fotorezistorus, fotodiodes un fototranzistorus. Fotorezistora uzbūve un shematiskais apzīmējums parādīts 3.1.attēlā. Uz stikla jeb kvarca pamatnes 1 uzklāts gaismas jutīgs pusvadītāja slānis 2 ar kontaktizvadiem 5. Visa šī konstrukcija ievietota plastmasas vai metāla apvalkā 4 kurā izveidota gaismas sprauga 3.



3.1. att. Fotorezistora uzbūve un shematiskais apzīmējums

Praksē ir izplatīti kadmija sulfīda (CdS) fotorezistori, kuriem ir augsta jutība redzamās gaismas diapazonā. Svina sulfīda fotorezistori (PbS) un kadmija selenīda fotorezistori (CdSe) izmantojami spektra infrasarkanajā daļā. Raksturīgākie atsevišķu fotorezistoru parametri sakopoti 3.1. tabulā. Sakarība starp fotorezistora foto strāvu  $I_f$  un gaismas plūsmu  $\Phi$  ir nelineāra:

$$I_f = aU\Phi^n, \quad (3.1)$$

kur  $a$  un  $n$  – eksperimentāli iegūti skaitliski koeficienti;  $U$  – spriegums, V;  
 $\Phi$  - gaismas plūsma, lm.

Gaismas plūsmas vietā ērtāk ir lietot apgaismojumu  $E$ , kuru var izmērīt ar luksmetru:

$$E = \frac{\Phi}{S}, \quad \Phi = E \cdot S, \quad (3.2)$$

kur  $S$  - fotorezistora gaismas jutīgās virsmas laukums,  $m^2$

$\Phi$  - gaismas plūsma, lm

$E$  - apgaismojums, lx.

3.1. tabula

**Fotorezistoru parametri**

Fotorezistora tips	Pieļaujamā izkliedes jauda, W	Darba spriegums, V	Tumsas pretestība, MΩ	Tumsas strāva $I_t$ , μA	Nominālā fotostrāva $I_f$ , mA/E=200lx
ΦCK-1	0.125	50	3.3	5	2
ΦCK-2	0.125	50	3.3	5	2
ΦCK-5	0.05	50	10	1	1
ΦCK-6	0.20	50	3.3	5	2
CΦ2-1	0.01	15	15	0.5	1
CΦ2-2	0.05	2	2	0.2-0.5	1.5
CΦ3-2	0.1	5	5	0.5	2

\* nominālā foto strāva tiek noteikta pie nominālā apgaismojuma 200 lx.

Fotorezistora fotostrāvu aprēķina izmantojot sekojošu izteiksmi:

$$I_f = I_g - I_t = U \left( \frac{1}{R_g} - \frac{1}{R_t} \right), \quad (3.3)$$

kur  $I_g$  - apgaismota fotorezistora strāva, mA;

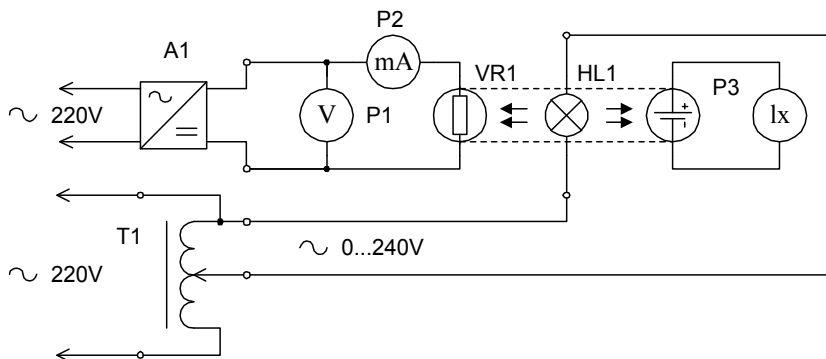
$I_t$  - neapgaismota fotorezistora strāva, mA;

$R_t$  - neapgaismota fotorezistora pretestība, k $\Omega$  ;

$R_g$  – apgaismota fotorezistora pretestība, k $\Omega$  .

Fotorezistora apgaismojuma raksturlīknes  $I = f(E)_{U=const}$  un voltampēru raksturlīknes  $I = f(U)_{E=const}$  uzņemšanai var izmantot 3.2. attēlā parādīto shēmu.

Tā kā foto rezistora tumsas strāva ir ļoti maza ( $I_t \ll I_g$ ), tad pieņem, ka  $I_f \approx I_g = I$ , kur  $I$  – caur fotorezistoru plūstoša strāva pie dotās gaismas plūsmas  $\Phi$  un barošanas sprieguma  $U$ .



3.2. att. Fotorezistora pētīšanai nepieciešamās iekārtas shēma

Fotorezistora voltampēru raksturlīkņu  $I = f(U)_{E=const}$  iegūšanai iestata konstantu apgaismojumu  $E_1 = const$  vai  $E_2 = const$ . Pēc tam, mainot spriegumu  $U$ , uzņem raksturlīknes (3.3. att.):

$$I = f(U)_{E_1=const} \quad \text{un} \quad I = f(U)_{E_2=const} .$$

Fotorezistora apgaismojuma raksturlīkņu iegūšanai iestata konstantu spriegumu  $U_1 = const$  vai  $U_2 = const$ . Pēc tam uzņem raksturlīknes (3.4. att.):

$$I = f(E)_{U_1=const} \quad \text{un} \quad I = f(E)_{U_2=const} .$$

Fotorezistoru jutību pie dažādiem spriegumiem izsaka ar integrālās jutības koeficientu:

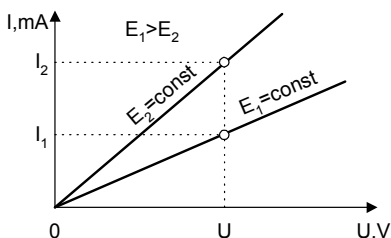
$$k = \frac{\Delta I}{\Delta \Phi} = \frac{\Delta I}{\Delta E \cdot S} \quad (3.4)$$

Integrālā jutība ir atkarīga no sprieguma. Jo augstāks spriegums, jo lielāks koeficients  $k$ . Fotorezistora gaismas jutīgā materiāla īpašības raksturo īpatnējā integrālā jutība:

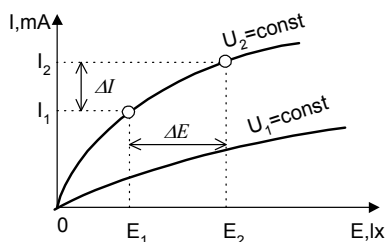
$$\delta = \frac{K}{U} = \frac{\Delta I_f}{\Delta \Phi \cdot U} = \frac{\Delta I \cdot f}{\Delta E \cdot S \cdot U}, \quad (3.5)$$

- kur -  $\Delta \Phi$  - gaismas plūsmas izmaiņa, lm;
- $\Delta I$  - atbilstošā fotostrāvas izmaiņa, mA;
- $\Delta E$  - apgaismojuma izmaiņa, lx;
- $S$  - fotorezistora gaismas jutīgās virsmas laukums, m<sup>2</sup>.

Integrālā jutība  $k$  ir atkarīga no barošanas sprieguma, turpretī īpatnējā integrālā jutība  $\sigma$  dotajam fotorezistoram ir konstants lielums un raksturo gaismas jutīgā pusvadītāju materiāla fotoelektriskās īpašības. Fotorezistora jutības rādītājus  $k$  un  $\sigma$  aprēķina no apgaismojuma raksturliņņēm (3.4. att.).



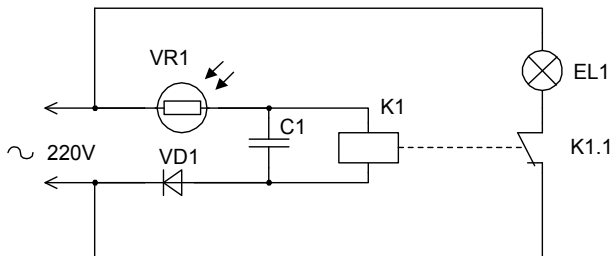
3.3. att. V-A raksturlīkne



3.4. att. Apgaismojuma raksturlīkne

Fotorezistorus var izmantot dažādās apgaismojuma automātiskās kontroles un regulēšanas sistēmās, izmantojot fotorelejus. Vienkāršākais fotorelejs sastāv no fotorezistora VR1 un līdzstrāvas elektromagnētiskā releja K1 (3.5. att.). Lai šādu releju varētu barot no maiņstrāvas tīkla, virknē ar releja spoli K1 slēdz taisngrieža diodi VD1, bet paralēli spolei pievieno filtra kondensātoru.

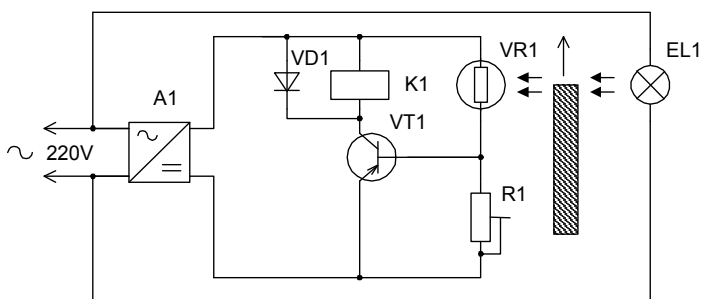




3.5. att. **Vienkāršākā fotoreleja shēma mākslīgā apgaismojuma automātiskai ieslēgšanai un izslēgšanai**

Kad fotorezistoru VR1 apgaismo, tā pretestība samazinās, releja K1 ķēdē strāva pieaug un tas ieslēdzas, ar saviem kontaktiem pārslēdzot attiecīgo izpildiekārtu vadības ķēdes. Ja apgaismojums samazinās, tad arī releja K1 spoles ķēdē strāva samazinās un tā enkurs atlaižas.

Lai paaugstinātu fotoreleja jutību, fotorezistora signālu pastiprina ar tranzistoru (3.6. att.). Fotorezistors VR1 un potenciometrs R1 veido sprieguma dalītāju tranzistora VT1 bāzes ķēdē. Ar potenciometru R1 iestata fotoreleja nostrādes sliekšni. Ja potenciometra slīdkontakts ir augšējā stāvoklī fotoreleja jutība ir maksimāla, bet apakšējā stāvoklī – minimāla. Ja fotorezistora apgaismojums ir lielāks par iestaffto, relejs K1 ir ieslēgtā stāvoklī. Ievietojot necaurspīdīgu ekrānu starp gaismas avotu EL1 un fotorezistoru VR1, tā pretestība ievērojami palielinās, tranzistors VT1 aizveras un relejs K1 izslēdzas. Šādu fotoreleju var izmantot mehānismu pozicionēšanai un automātiskai izslēgšanai.



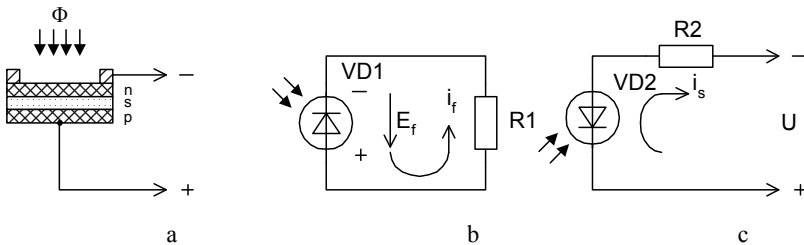
3.6. att. **Fotorelejs ar pastiprinātāju mehānisma pozicionēšanai**

### Fotodiodes struktūra un darbības princips

Daudz jutīgākas shēmas iespējams izveidot, pielietojot fotodiodes un fototranzistorus. Gaismas ietekmē uz fotodiodes pārejas veidojas fotoģenerācijas EDS. Fotodiodes izmanto fotoģenerācijas vai vadāmas diodes režīmā.

Fotodiode sastāv no silīcija vai germānija  $n$  un  $p$  tipa pusvadītājiem, starp kuriem veidojas sprostsplānis (3.7.a. att.). Fotodiodes darbības pamatā ir iekšējais fotoefekts. Apstarojot  $n$  tipa pusvadītāju slāni ar gaismas plūsmu  $\Phi$ , gaismas fotoni ierosina elektronus, kas injicējas sprostsplānī kā brīvie lādiņnesēji un palielina sprostsplāņa elektrovadītspēju. Vienlaicīgi uz  $p$  un  $n$  tipa pusvadītāju pārejas rodas potenciālu starpība, kas rada foto EDS ( $E_f = \phi_p - \phi_n$ ). Atkarībā no fotodiodes tipa un jutības maksimālais foto EDS ir robežās no 0,5V līdz 0,8V. Fotodiodes pozitīvo elektrodu (anodu) veido  $p$ -tipa pusvadītāja slānis, bet negatīvo elektrodu (katodu)  $n$ -tipa pusvadītāja slānis.

Fotodiode var izmantot ģenerācijas un diodes režīmos. Ģenerācijas režīmā tiek izmantots fotodiodes ģenerētais foto EDS  $E_f$ , kas slodzes pretestībā R1 rada strāvu  $i_f$  (3.7.b. att.). Aptumšotai fotodiodei  $E_f = 0$ ,  $i_f \approx 0$ . Palielinot fotodiodes apgaismojumu, pieaug  $E_f$  un  $i_f$ . Tas notiek līdz zināmāi robežai, kad iestājas piesātinājums. Tātad ģenerācijas režīmā fotodiode darbojas bez ārēja enerģijas avota.



3.7. att. Fotodiode

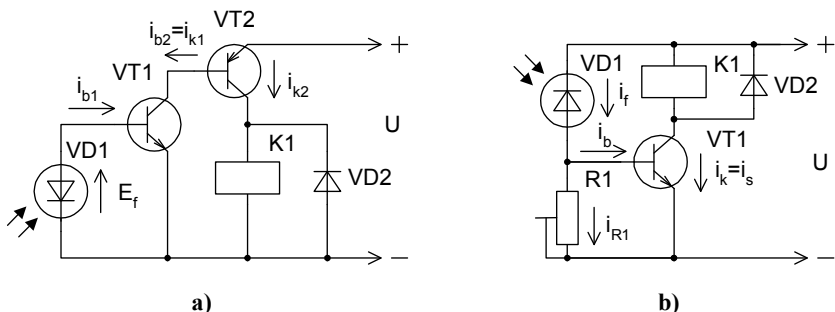
a – uzbūve; b – ģenerācijas režīms; c – vadāmas diodes režīms.

Diodes režīmā fotodiode darbojas ar ārēju barošanas avotu  $U$  (3.7.c. att.). Fotodiode VD2 slēgta virknē ar slodzes pretestību R2 sprostvirzienā attiecībā pret barošanas līdzspriegumu  $U$ . Aptumšotai fotodiodei sprostsplāņa elektriskā pretestība ir ļoti augsta (vairāki megaomi), līdz ar to sprostrāva  $i_s$  ir ļoti maza. Palielinot fotodiodes apgaismojumu, sprostsplānī injicētie elektroni samazina tā pretestību, kā rezultātā pieaug sprostrāva  $i_s$ . Tātad šajā režīmā fotodiode darbojas kā vadāma diode, kuras sprostsplāņa pretestība samazinās, pieaugot apgaismojumam.

### Fotoreleji ar fotodiode

Juīgos fotorelejos fotodiode izmanto kā ģenerācijas, tā diodes režīmos (3.8. att.). Tā kā fotodiodes ģenerētais foto EDS parasti nepārsniedz 0,5V, tad jutīga fotoreleja izveidošanai nepieciešams vairākpakāpju pastiprinātājs. Fotodiode slēdz pastiprinātāja ieejas tranzistora VT1 bāzes ķēdē (3.8.a. att.). Pastiprinātāja otrā pakāpi veido

tranzistors VT2. Ja fotodiode VD1 ir aptumšota, tās ģenerētais foto EDS  $E_f=0$ . Tranzistoru VT1 un VT2 bāzes strāvas  $i_{b1} \approx 0$  un  $i_{b2} \approx 0$ . Līdz ar to abi tranzistori ir aizvērti un relejs K1 ir izslēgtā stāvoklī. Apgaismojot fotodiodei VD1, ģenerējas foto EDS  $E_f \approx 0,5V$  kas rada strāvu  $i_{b1}$  tranzistora VT1 bāzes ķēdē. VT1 atveras, kā rezultātā ievērojami pieaug tranzistora VT2 bāzes strāva  $i_{b2}$ , kas vienāda ar tranzistora VT1 kolektora strāvu ( $i_{b2} = i_{k1} \geq i_{b2}$ ). Līdz ar to atveras tranzistors VT2. Tā kolektora strāva  $i_{k2}$ , plūst caur releja spoli K1 un izraisa tā ieslēgšanos.



3.8. att. Fotoreleji ar fotodiodei

a – ģenerācijas režīmā; b – vadāmas diodes režīmā.

Fotodiodes jutība ģenerācijas režīmā ir zemāka nekā diodes režīmā. Tādēļ jutīgos un ātrdarbīgos fotorelejos biežāk izmanto diodes režīmu. Šādā fotorelejā (3.8.b. att.) fotodiode darbojas kā vadāma diode, kurai gaismas plūsmas iespaidā samazinās sprostsliņa pretestība, kas izraisa fotostrāvas  $i_f$  pieaugumu. Ja fotodiode VD1 ir aptumšota,  $i_b \approx 0$ , tranzistors VT1 ir aizvērts un relejs K1 izslēgts. Apgaismojot VD1, pieaug  $i_f$  un  $i_b$ , kā rezultātā atveras tranzistors VT1 un ieslēdzas relejs K1. Fotoreleja nostrādes sliksni var pārstāt ar potenciometru R1. Abās fotoreleju shēmās diode VD2 aizsargā izejas tranzistoru pret pašindukcijas EDS radītu pārspriegumu un novērš tranzistora iespējamu caursīšanu tā straujas atvēršanās vai aizvēršanās momentos.

### **Kontroles jautājumi**

1. Kāpēc izmainās fotorezistora elektrovadītspēja gaismas plūsmas iespaidā?
2. Kas ir fotorezistora tumsas strāva un fotostrāva?
3. Kā izmainās fotorezistora elektriskā pretestība, palielinot tā apgaismojumu?
4. Kā aprēķina fotorezistora integrālo jutību un īpatnējo integrālo jutību, izmantojot eksperimenta datus?
5. Kā tiek eksperimentāli uzņemtas fotorezistoru V-A raksturlīknes un apgaismojuma raksturlīknes?
6. No kā sastāv vienkāršākais fotorelejs ar fotorezistoru un kā tas darbojas?
7. Kā izveidots un kā darbojas fotorelejs ar pārstatāmu nostrādes sliekšni?
8. Nosauciet vismaz trīs fotoreleju praktiskās pielietošanas piemērus.
9. Pastāstiet fotodiodes uzbūves un darbības principu, kas ir iekšējais fotoefekts un kā tas izpaužas fotodiodes darbībā?
10. Kā izpaužas fotodiodes darbība ģenerācijas režīmā un diodes režīmā? Ar ko šie režīmi atšķiras?
11. Izstāstiet fotoreleja shēmas uzbūvi un darbību, izmantojot fotodiode ģenerācijas režīmā.
12. Izstāstiet fotoreleja shēmas uzbūvi un darbību, izmantojot fotodiode vadāmas diodes režīmā.
13. Nosauciet fotodiožu praktiskās pielietošanas piemērus elektronikas un automātikas ierīcēs.
14. Kādas ir fotodiožu galvenās priekšrocības salīdzinājumā ar fotorezistoriem?

### **Literatūra**

1. К.Томариņš, Е.Забловскис. Радиоелектроника. – Рīga: Звaигzne, 1985.- 245 lpp.
2. Бородин И.Ф., Кирилин Н.И. Практикум по основам автоматики и автоматизации производственных процессов.- М.: Колос, 1974 – 255 с.
3. Литван В.И. Фотореле в системах автоматики.- М.: Энергия, 1979 – 104 с.
4. Зайцев Ю.Б. и др. Полупроводниковые резисторы в электротехнике.- М.: Энергоатомиздат, 1988 – 136 с.
5. Полупроводниковые фотоприемники: Ультрафиолетовый, видимый и ближний инфракрасный диапазоны спектра / Под ред. В.И.Степанова. – М.: Радио и связь, 1984 – 216 с.

## **Piezīmes**

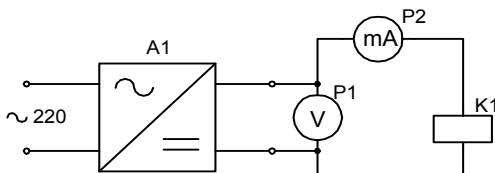
## 4. ELEKTROMAGNĒTISKIE LĪDZSTRĀVAS UN MAIŅSTRĀVAS RELEJI

### Darba mērķis

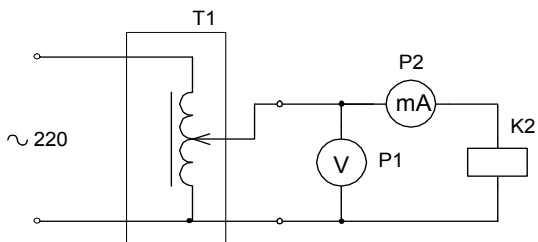
Iepazīties ar elektromagnētisko releju uzbūvi, darbību un aprēķinu metodiku.

### Darba uzdevums

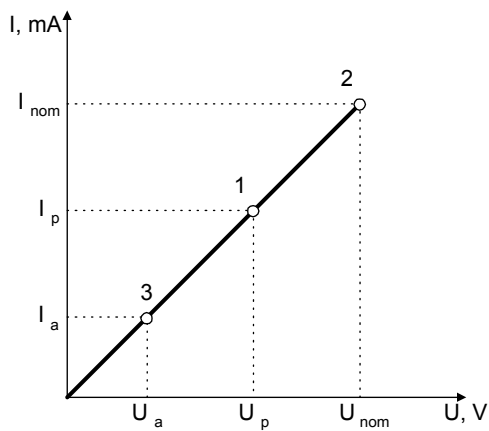
1. Izvēlēties optimālo mērīšanas shēmas variantu voltampēru (V-A) raksturlīknes  $I=f(U)$  uzņemšanai līdžstrāvas relejam, zinot izvēlēto mērinstrumentu iekšējās pretestības un releja parametrus.
2. Saslēgt elektrisko ķēdi (4.1. att.). Un uzņemt līdžstrāvas releja V-A raksturlīkni. Sevišķu uzmanību pievērst releja enkura pievilksnās un atlaišnās momentiem.
3. Uzzīmēt līdžstrāvas releja V-A raksturlīkni, atzīmējot uz tās pievilksnās, atlaišnās un nominālā režīma parametrus (4.3. att.).
4. Aprēķināt līdžstrāvas releja drošuma koeficientu  $K_{ds}$ , atgriešanās koeficientu  $K_a$  un pastiprinājuma koeficientu  $K_p$ .
5. Saslēgt elektrisko ķēdi (4.2. att.) maiņstrāvas releja V-A raksturlīknes uzņemšanai, izvēloties atbilstošus mērinstrumentus maksimālo un minimālo strāvu un spriegumu mērīšanai. Sevišķu uzmanību pievērst strāvas lēcienveida izmaiņai enkura pievilksnās un atlaišnās momentos.
6. Izmērīt maiņstrāvas releja spoles aktīvo pretestību  $R$ .
7. Uzzīmēt maiņstrāvas releja V-A raksturlīkni, parādot pievilksnās un atlaišnās strāvas un spriegumus, kā arī maksimālo pievilksnās strāvu un nominālo darba strāvu (4.4. att.).
8. Izmantojot eksperimenta datus un Oma likumu maiņstrāvas ķēdei, izskaitļot releja spoles induktīvo pretestību  $X_L$ . Īpašu uzmanību pievērst  $X_L$  izmaiņai releja pievilksnās un atlaišnās momentos.
9. Veikt elektromagnētisko releju aprēķinu (pēc pasniedzēja norādījumiem).
10. Dot līdžstrāvas un maiņstrāvas releju V-A raksturlīkņu salīdzinošo analīzi. Izdarīt secinājumus par līdžstrāvas un maiņstrāvas releju priekšrocībām un trūkumiem.



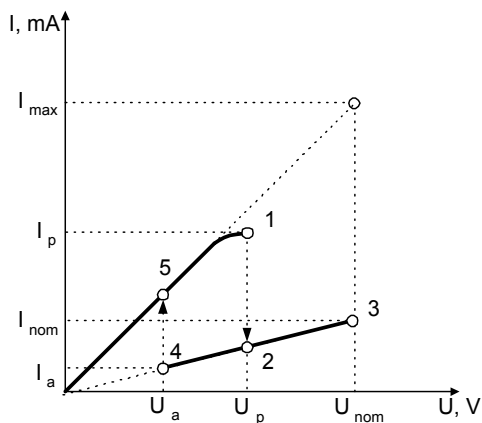
4.1. att. Līdžstrāvas releja K1 pētīšanas shēma



4.2. att. Maiņstrāvas releja K2 pētīšanas shēma



4.3. att. Līdzstrāvas releja V-A raksturlikne



4.4. att. Maiņstrāvas releja V-A raksturlīkne

### Elektromagnētisko releju aprēķins

Par elektromagnētisko releju sauc elektromagnētisku ierīci, kurā enkura pievilkšanas spēku rada spoles strāvas magnētiskais lauks. Mainoties ieejas spriegumam vienmērīgi, izejas spriegums mainās lēcienveidā.

Galvenie elektromagnētisko releju parametri:

1. Enkura pievilkšanās spriegums  $U_p$  (pievilkšanās strāva  $I_p$ ) - minimālais spoles spriegums (strāva spolē), kas nodrošina enkura pievilkšanos (releja kontaktu pārslēgšanos).
2. Nominālais spriegums  $U_{nom}$  (nominālā strāva  $I_{nom}$ ), kas nodrošina releja stabilu darbību ( $U_{nom} > U_p$ ;  $I_{nom} > I_p$ ).
3. Atlaišanās spriegums  $U_a$  (atlaišanās strāva  $I_a$ ), pie kura releja enkurs atlaižas un kontakti ieņem sākuma stāvokli.
4. Drošuma koeficients:

$$K_d = \frac{U_{nom}}{U_p} = \frac{I_{nom}}{I_p}, \quad (4.1)$$

kur  $K_d > 1$  ( $K_d = 1,2 \dots 2,0$ ).

5. Atgriešanas koeficients:

$$K_a = \frac{U_a}{U_p} = \frac{I_a}{I_p}, \quad (4.2)$$

kur  $K_a < 1$  ( $K_a = 0,2 \dots 0,9$ ).



Atgriešanas koeficients raksturo releja jutību. Mazjutīgiem relejiem  $k = 0,2 \div 0,3$ , augstas jutības relejiem  $k = 0,8 \div 0,9$ .

6. Pastiprinājuma koeficients:

$$K_p = \frac{P_{Knom}}{P_{Snom}}, \quad (4.3)$$

kur  $P_{Knom}$  – kontaktu nominālā komutācijas jauda,  
 $P_{Snom}$  - releja spoles nominālā jauda.

Līdzstrāvas releja V-A raksturlīkne  $I=f(U)$  ir lineāra (4.3. att.). To apraksta Oma likums līdzstrāvas ķēdei:

$$I = \frac{U}{R}, \quad (4.4)$$

kur  $R$  - releja spoles aktīvā pretestība;  
 $I$  un  $U$  – releja spoles strāva un spriegums.

Maiņstrāvas releja V-A raksturlīkne ir izteikti nelineāra (4.4.att.). To apraksta Oma likums maiņstrāvas ķēdei:

$$I = \frac{U}{Z} = \frac{U}{\sqrt{R^2 + X_L^2}}, \quad (4.5)$$

kur  $Z$  - maiņstrāvas releja spoles pilnā pretestība;  
 $X_L$  – spoles induktīvā pretestība.

Induktīvā pretestība  $X_L$  ir mainīgs lielums, kas atkarīgs no enkura stāvokļa:

$$X_L = 2\pi fL, \quad (4.6)$$

kur  $f$  – maiņstrāvas frekvence, Hz ( $s^{-1}$ );  
 $L$  – spoles induktivitāte, H.

Pievelkoties enkuram, induktīvā pretestība  $X_L$  palielinās, jo pieaug releja spoles induktivitāte  $L$ .

Spoles induktivitāti aprēķina:

$$L = \frac{w^2 \mu_0 \mu S}{l + \mu \delta}, \quad (4.7)$$

kur  $w$  - releja spoles vijumu skaits;  
 $S$  - serdeņa šķērsgriezuma laukums,  $m^2$ ;  
 $l$  - magnētiskās ķēdes garums pa viduslīniju, m;  
 $\delta$  - gaisa spraugas platums, m;  
 $\mu$  - serdeņa materiāla relatīvā magnētiskā caurlaidība;  
 $\mu_0$  - magnētiskā konstante, vienāda ar  $4\pi \cdot 10^{-7}$  H/m.

Izmantojot eksperimenta datus un dotās formulas, var aprēķināt releja serdeņa relatīvās magnētiskās caurlaidības izmaiņu atkarībā no enkura stāvokļa un spoles strāvas.

Līdzstrāvas releja ar vienu gaisa spraugu starp serdeni un enkuru elektromagnētisko vilces spēku  $F_e$  aprēķina pēc formulām:

$$F_e = \frac{\Phi^2}{2\mu_0 S}; \quad F_e = \frac{B^2 \cdot S}{2\mu_0}; \quad F_e = \frac{(I \cdot w)^2}{2} \cdot \frac{\mu_0 \cdot S}{\delta^2}, \quad (4.8)$$

kur  $F_e$  – līdzstrāvas elektromagnēta vilces spēks, N;  
 $\Phi$  – spoles strāvas radītā magnētiskā plūsma, Wb;  
 $B$  – magnētiskā lauka indukcija, T;  
 $w$  – spoles vijumu skaits;  
 $I$  – spoles strāva, A.

Mainstrāvas releja ar vienu gaisa spraugu elektromagnētisko vilces spēku  $F_{e\approx}$  aprēķina pēc formulas:

$$F_{e\approx} = \frac{\Phi^2}{3\mu_0 S} \left(1,5 - \frac{\sqrt{3}}{2} \sin 2\omega t\right);$$

$$F_{e\approx} = \frac{B^2 S}{3\mu_0} \left(1,5 - \frac{\sqrt{3}}{2} \sin 2\omega t\right); \quad (4.9)$$

$$F_{e\approx} = \frac{(I \cdot w)^2 \mu_0 S}{3 \cdot \delta^2} \left(1,5 - \frac{\sqrt{3}}{2} \sin 2\omega t\right),$$

kur  $\Phi$  – spoles strāvas radītās magnētiskās plūsmas efektīvā vērtība, Wb;  
 $B$  – magnētiskā lauka indukcijas efektīvā vērtība, T;  
 $I$  – spoles strāvas efektīvā vērtība, A;  
 $\omega = 2\pi f$  – maiņstrāvas leņķiskā frekvence,  $s^{-1}$ ;  
 $F_{e\approx}$  – maiņstrāvas elektromagnēta vilces spēks, N.

Līdzstrāvas relejam, ja spoles strāva  $I = const$ ,  $F_e$  mainās tikai atkarībā no gaisa spraugas platuma  $\delta$ , apgriezti proporcionāli tās kvadrātam.

Mainstrāvas relejam  $F_{e\approx}$  ir svārstīgs un periodiski mainās no  $F_{e\min\approx}$  līdz  $F_{e\max\approx}$  ar divkārtu maiņstrāvas frekvenci.

Ja  $2\omega t = \pi/2$ , tad

$$F_{e\approx} = F_{e\min\approx} \approx 0,21 \frac{(I \cdot w)^2 \mu_0 \cdot S}{\delta^2}. \quad (4.10)$$

Ja  $2\omega t = \pi$ , tad

$$F_{e\approx} = F_{e\max\approx} \approx 0,79 \frac{(I \cdot w)^2 \mu_0 \cdot S}{\delta^2}.$$

Salīdzinot maiņstrāvas relejus ar ekvivalentu līdzstrāvas releju, iegūstam

$$F_{e\approx} = \frac{(I \cdot w)^2 \mu_0 \cdot S}{2\delta^2}, \quad (4.11)$$

no kurienes  $F_{emin\approx} = 0,42F_{ekv\approx}$ ;  $F_{emax\approx} = 1,58F_{ekv\approx}$ ;  
kur  $F_{ekv\approx}$  - ekvivalentā līdzstrāvas releja enkura vilces spēks, N.

Lai novērstu maiņstrāvas releja enkura vibrācijas, kas rodas sinusoidālajai spoles strāvai ( $I = I_{max} \cdot \sin \omega t$ ) ejot caur nulles punktu, uz releja serdeņa gala uzmontē vara vai alumīnija gredzenu, kas aptver 2/3 no serdes gala laukuma. Līdz ar to releja spoles radītā magnētiskā plūsma  $\Phi$  šajā vietā sadalās divās.

Kā līdzstrāvas tā maiņstrāvas elektromagnētiem ar divām gaisa spraugām pie tā paša magnetodinējspēka  $M=I \cdot w$  ir divreiz mazāks vilces spēks.

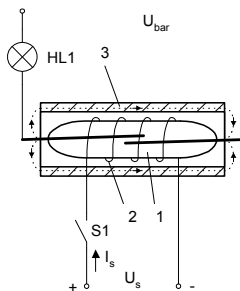
$$F_e = \frac{(I \cdot w)^2}{4} \cdot \frac{\mu_0 \cdot S}{\delta^2};$$

$$F_e = \frac{(I \cdot w)^2}{6\delta^2} \cdot \frac{\mu_0 \delta}{\delta^2} (1,5 - \frac{\sqrt{3}}{2} \sin 2\omega t). \quad (4.12)$$

### Herkonu releji

Herkonu releji ir komutācijas ierīces, kas sastāv no magnētiski vadāmu, hermetizētu kontaktu elementa – herkona 1, kurš ievietots spolē ar lielu vijumu skaitu 2. Lai pastiprinātu magnētisko plūsmu  $\Phi$ , mazgabarīta herkoniem releju spoles aptver ar magnētisko ķēdi 3. Herkons 1 sastāv no stikla balona, kurā iekausēti magnētiski mīksta materiāla elastīgi kontakti. Dzirksteļošanas samazināšanai starp kontaktiem, herkona balonā iepildīta inerta gāze (argons).

Ieslēdzot slēdzi S1 (4.5.att.) releja spolē 2 plūst strāva  $I_s$ . Tās radītā magnētiskā plūsma  $\Phi$  iet caur herkonu 1 un magnetizē tā kontaktus. Magnētiskā pievilkšanās spēka iespaidā kontakti saslēdzas un ieslēdz slodzi, signālpuldzīti HL. Izslēdzot slēdzi S, magnētiskā plūsma izzūd, kontakti atmagnetizējas un pārtrauc slodzes ķēdi.



4.5. att. Herkonu relejs

1- herkons; 2- spole; 3- magnētiskā ķēde.

Herkonu releju galvenās priekšrocības:

- vienkārša uzbūve (nav mehāniskās daļas);
- var darboties ugunsnedrošās un sprādzienbīstamās vidēs;
- liels komutācijas ciklu skaits (līdz  $10^7$ );
- lielāka komutējamā jauda salīdzinājumā ar ekvivalenta gabarīta elektromagnētiskajiem relejiem.

### Kontroles jautājumi

1. No kādiem elementiem sastāv elektromagnētiskā releja magnētiskā ķēde?
2. Kādi elementi tiek slēgti elektromagnētiskā releja ieejas ķēdē un kādi - izejas ķēdē?
3. Ar ko atšķiras neitrālais relejs no polarizētā releja?
4. Kas ir atgriešanas koeficients? Kādu releja īpašību tas raksturo un kā to aprēķina?
5. Kādam nolūkam izmanto mazjutīgus relejus?
6. Kādam nolūkam izmanto relejus ar augstu jutību?
7. Kas ir releja rezerves jeb drošuma koeficients? Kā tas raksturo releja darbību un kā to aprēķina?
8. Kā izvēlas elektromagnētisko releju? Kādi slodzes parametri jāzina, lai izvēlētos atbilstošu komutācijas releju?
9. Kā var samazināt kontaktu dzirksteļošanu?
10. No kā atkarīgs elektromagnētiskā releja enkura vilces spēks?
11. Kāpēc maiņstrāvas relejam ieslēgšanās un izslēgšanās momentos rodas strāvas lēcienveida izmaiņa spolē?
12. Kādiem relejiem ir augstāks ekspluatācijas drošums? Ar ko tas izskaidrojams?
13. Kas ir herkonu releji? Kā tie darbojas?
14. Kāpēc herkonu relejus var izmantot agresīvās un sprādzienbīstamās vidēs?

### Literatūra.

1. A. Baltiņš, A. Kanbergs, S. Miesniece. Zemsprieguma elektriskie aparāti. Mācību līdzeklis. – R.: Jumava, 2003. –331 lpp.
2. Миловзоров В.П. Электромагнитные устройства автоматики. - Москва: Высшая школа, 1983. - 408 с.
3. Игловский И.Г., Владимиров Г.В. Справочник по слаботочным электрическим реле. –Л.: Энергоатомиздат, 1984. – 584 с.
4. Чунихин А.А. Электрические аппараты. - Москва: Энергоатомиздат, 1988. - 720 с.

## Piezīmēm

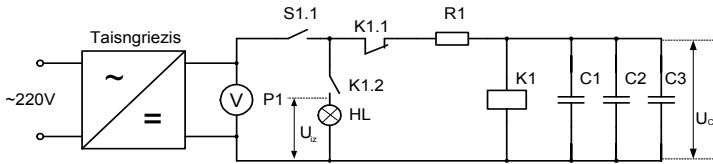
## 5. ELEKTROMAGNĒTISKIE LAIKA RELEJI UN IMPULSU ĢENERATORI

### Darba mērķis

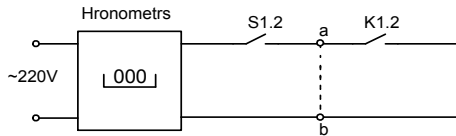
Iepazīties ar līdzstrāvas elektromagnētisko releju darbības kavējumu metodēm un to pielietošanu impulsu ģeneratoros.

### Darba uzdevums

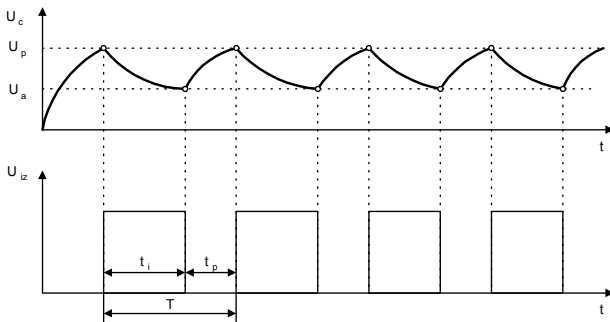
1. Saslēgt impulsu ģenerators shēmu (5.1. att.) un elektroniskā hronometra shēmu (5.2. att.) impulsu ilguma  $t_i$  un to sekošanas perioda  $T$  uzņemšanai.
2. Uz pretestību magazīnas (atbilstoši pasniedzēja norādījumam) ieregulēt uzdoto pretestības  $R_1$  vērtību, ieslēgt slēdzi  $S_1$  un ieregulēt minimālo barošanas spriegumu, pie kura sākas impulsu ģenerators darbība. Pēc tam slēdzi  $S_1$  izslēgt un hronometru atgriezt "0" stāvoklī.
3. Ieslēdzot slēdzi  $S_1$ , saskaitīt vairākus impulsus ( $n = 5 \dots 10$ ). Sākoties pēdējam impulsam, slēdzi  $S_1$  izslēgt. Elektroniskais hronometrs parāda  $n$  impulsu kopējo laiku  $t_n$ .
4. Šuntējot kontaktu K1.2, uzņemt  $n$  impulsu kopējo periodu  $T_n$ .
5. Uzņemt sekojošas raksturlieknes (pēc pasniedzēja norādījuma):
  - a)  $t_i = f(C)$ , kur  $t_i = t_n / n$  – impulsa ilgums,  $C$  – releja spolei pieslēgtā kondensatora kapacitāte,  $U = const$ ,  $R_1 = const$ ;
  - b)  $T = f(C)$ , kur  $T = T_n / n$  – impulsa ģenerators svārstību periods;  $U = const$ ,  $R_1 = const$ ;
  - c)  $T = f(R_1)$ , kur  $R_1$  kondensatora uzlādes ķēdes pretestība;  $U = const$ ,  $C = const$ ;
  - d)  $t_p = f(R_1)$ ,  $t_p = T - t_i$  – pauzes ilgums;  $U = const$ ,  $C = const$ ;
  - e)  $T = f(U)$ ,  $R_1 = const$ ,  $C = const$ ;
  - f)  $T_p = f(U)$ ,  $R_1 = const$ ,  $C = const$ .
6. Izmērīt releja K1 pievilksnās spriegumu  $U_p$  un atlaišanās spriegumu  $U_a$ . Konstruēt impulsu diagrammas  $U_c = f(t)$ ,  $U_{iz} = f(t)$ , kur  $U_c$  – spriegums uz releja spoles;  $U_{iz}$  – spriegums uz ģenerators slodzes (5.3.att.).
7. Izmantojot eksperimenta datus, teorētiski aprēķināt impulsa un pauzes ilgumu ( $t_{i apr}$ ,  $t_{p apr}$ ).
8. Uzņēmēt un saslēgt shēmas sekojošu ierīču impulsveida vadīšanai:
  - a) avārijas signalizācijas;
  - b) izpildmehānisma.
9. Secinājumus salīdzināt teorētiskos aprēķinus ar eksperimentu datiem, analizēt elektromagnētisko līdzstrāvas releju darbības kavējuma metodes un to pielietošanu impulsu ģeneratoros. Aprakstīt izpētītā impulsu ģenerators praktiskās pielietošanas variantus.



5.1. att. Impulsu ģeneratora shēma



5.2. att. Elektroniskā hronometra shēma



5.3. att. Impulsu diagrammas

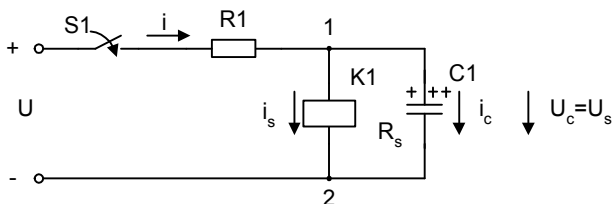
$U_c$  – kondensatora un releja spoles spriegums;  $U_{iz}$  – ģeneratora izejas (slodzes) spriegums

### Elektromagnētiskais laika relejs

Vienkāršākais elektromagnētiskais laika relejs sastāv no līdzstrāvas elektromagnētiskā releja, kura spolei paralēli pieslēgts kondensators (5.4. att.). Ieslēdzot slēdzi S1, caur uzlādes rezistoru R1 plūst strāva  $i$ , kas mezglu punktā 1 sadalās spoles strāvā  $i_s$  un kondensatora uzlādes strāvā  $i_c$ . Releja spoles K1 pretestība  $R_s$  rada noplūdi kondensatoram C1 un samazina tā kapacitāti. Tādēļ, lai iegūtu lielākus laika kavējumus, jāizvēlas augstomīgs relejs ( $R_s \geq 10k\Omega$ ). Slēdža ieslēgšanas momentā ( $t = 0$ ),  $i_s = 0$ , bet  $i_c = i_{cmax} = U/R1$ ,  $U_c = 0$ . Saskaņā ar otro komutācijas likumu, spriegums

uz kondensatora nevar mainīties lēcienveidīgi. Tas pieaug pakāpeniski, atkarībā no kondensatora kapacitātes  $C_1$ . Kad kondensatora spriegums kļūst vienāds ar releja pievilksnās spriegumu  $U_c = U_p$ , relejs K1 ieslēdzas. No slēdža S1 ieslēgšanas momenta līdz releja K1 nostrādei paiet laika sprīdis  $t_p$ , ko sauc par releja pievilksnās kavējumu. Pēc tam kondensators turpina uzlādēties līdz spriegumam  $U_{cmax}$  (5.5. att.).

Izslēdzot slēdzi S1, notiek kondensatora C1 izlāde caur releja spoli K1. Kondensatora izlādes strāve notur releju K1 ieslēgtā stāvoklī zināmu laika sprīdi pēc tam, kad tiek atslēgts barošanas spriegums  $U$ . Šo laika sprīdi sauc par releja atslēgšanās laika kavējumu  $t_a$ .



5.4. att. **Laika releja shēma**

Lai analītiski aprēķinātu laika releja parametrus, sastāda tā elektriskās ķēdes strāvu un spriegumu bilances vienādojumus izmantojot Kirhofa likumus:

$$\begin{cases} i = i_s + i_c & (1) \\ U = U_{R1} + U_C & (2) \end{cases} \quad (5.1)$$

kur  $i = U_{R1} / R1$ ;  $i_s = U_c / R_s$ ;  $i_c = C \frac{dU_c}{dt}$ .

Ievietojot strāvu izteiksmes vienādojumā (1), bet no vienādojuma (2) izsakot spriegumu  $U_{R1}$ , iegūstam elektriskās ķēdes diferenciālvienādojumu:

$$\frac{U - U_c}{R_1} = \frac{U_c}{R_s} + C \frac{dU_c}{dt} \quad (5.2)$$

Pēc attiecīgiem pārveidojumiem iegūstam homogēnu 1.kārtas diferenciālvienādojumu ar konstantiem koeficientiem

$$C \cdot \frac{R_s \cdot R_1}{R_s + R_1} + \frac{dU_c}{dt} + U_c = \frac{R_s}{R_s + R_1} \cdot U, \quad (5.3)$$

kur  $-C \cdot \frac{R_s \cdot R_1}{R_s + R_1} = \tau_p$  - releja pievilksnās laika konstante, s;



$$\frac{R_s}{R_s + R_l} \cdot U = U_{C_{\max}} - \text{kondensatora maksimālais uzlādes spriegums, V.}$$

Laika konstante  $\tau_p$  raksturo releja pievilksnās inerci, ko izsaka sekundēs.

$$[\tau_p] = F \cdot \frac{\Omega \cdot \Omega}{\Omega} = F \cdot \Omega = s. \quad \text{Ja } R_l = 0, \text{ tad } \tau_p = 0 \text{ un } U_{C_{\max}} = U.$$

Laika intervālā, kas vienāds ar laika konstanti  $\tau_p$ , kondensators ir uzlādējies līdz spriegumam  $U_c = 0,63 U_{c_{\max}}$ . Ja kondensatora uzlādes raksturliktne uzņemta eksperimentāli, tad  $\tau_p$  var noteikt grafiski kā parādīts 5.5. attēlā.

Diferenciālvienādojuma (5.3) atrisinājums ir eksponentfunkcija:

$$U_c = U_{C_{\max}} \cdot \left( 1 - e^{-\frac{t}{\tau_p}} \right) \quad (5.4)$$

Ievietojam šajā izteiksmē  $U_c = U_p$  un  $t = t_p$ . Tad pārveidojam to un logaritmējam iegūtās izteiksmes abas puses

$$\ln e^{\frac{t_p}{\tau_p}} = \ln \frac{U_{c_{\max}}}{U_{c_{\max}} - U_p},$$

no kurienes releja pievilksnās laika kavējums

$$t_p = \tau_p \cdot \ln \frac{U_{c_{\max}}}{U_{c_{\max}} - U_p}. \quad (5.5)$$

Laika sprīdī  $t_p$  kondensators uzlādējas līdz releja pievilksnās spriegumam  $U_p$ . Izslēdzot slēdzi S1, relejs tiek atslēgts no barošanas avota. Līdz ar to izmainās strāvu un spriegumu bilances vienādojums, jo  $i = 0$ ;  $U = 0$ ;  $U_{Rl} = 0$ . Tad

$$\begin{cases} i_s + i_c = 0 \\ U_c = U_s \end{cases}, \quad (5.6)$$

$$\text{kur } U_s = i_s \cdot R_s; \quad i_s = -i_c = -C \cdot \frac{dU_c}{dt},$$

$$U_c = U_s = i_s \cdot R_s = -C \cdot R_s \frac{dU_c}{dt},$$

no kurienes iegūst diferenciālvienādojumu, kas apraksta kondensatora izlādes procesu:

$$C \cdot R_s \cdot \frac{dU_c}{dt} + U_c = 0. \quad (5.7)$$

Pārdalot mainīgos, iegūstam:

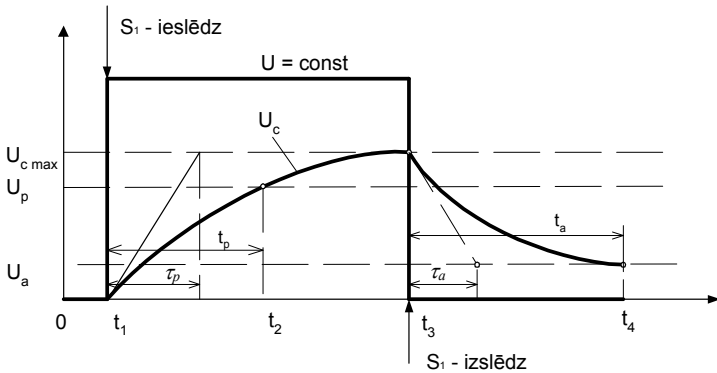
$$\frac{dU_c}{U_c} = -\frac{dt}{C \cdot R_s} \quad (5.8)$$

Releja atlaišanās kavējuma laikā  $t_a$  notiek kondensatora izlāde no  $U_{c \max}$  līdz releja atlaišanās spriegumam  $U_a$ . Šos robežnosacījumus ņemam vērā integrējot iegūto vienādojumu.

$$\int_{U_{c \max}}^{U_a} \frac{dU_c}{U_c} = -\int_0^{t_a} \frac{dt}{C \cdot R_s}; \quad \ln U_a - \ln U_{c \max} = -\frac{t_a}{C \cdot R_s};$$

$$t_a = \tau_a \cdot \ln \frac{U_{c \max}}{U_a} \quad (5.9)$$

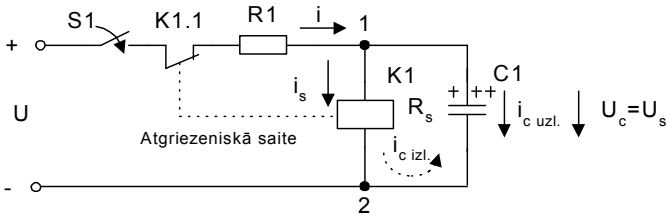
kur  $\tau_a = C \cdot R_s$  – releja atlaišanās laika konstante, s. Laika konstanti  $\tau_a$  var noteikt grafoanalītiski kā parādīts 5.5. attēlā.



5.5. att. Laika releja sprieguma raksturlīknes

### Elektromagnētiskais impulsu ģenerators

Lai elektromagnētiskais laika relejs darbotos impulsu ģenerators režīmā, veido atgriezenisko saiti no shēmas izejas uz ieeju ar releja atslēdzošo kontaktu K1.1 (5.6. att.).



5.6. att. Impulsu ģenerators shēma

Ieslēdzot slēdzi S1, pakāpeniski uzlādējas kondensators C1. Kad kondensatora spriegums pieaug līdz releja pievilkšanās spriegumam ( $U_c = U_p$ ), tas ieslēdzas un pārtrauc kontaktu K1.1. Līdz ar to tiek pārtraukta barošanas ķēde un sākas kondensatora C1 izlāde caur releja K1 spoli. Izlādes strāva notur releju ieslēgtā stāvoklī, kamēr kondensatora spriegums samazinās līdz atlaišanās spriegumam ( $U_c = U_a$ ). Tad relejs izslēdzas, saslēdzas tā kontakts K1.1 un sākas atkal kondensatora uzlāde.

Impulsu ģenerators darbību apraksta tie paši vienādojumi, kas apraksta atbilstošā laika releja darbību. Atšķiras tikai sākuma un beigu nosacījumi. Laika relejam kondensatora spriegums mainās robežās  $0 \leq U_c \leq U_{cmax}$ , bet impulsu ģeneratoram-  $U_a \leq U_c \leq U_p$ .

Ņemot to vērā, iegūstam sekojošas impulsa  $t_i$  un pauzes  $t_p$  ilguma aprēķina izteiksmes:

$$t_i = \tau_a \cdot \ln \frac{U_p}{U_a}, \quad \tau_a = C_1 \cdot R_s \quad (5.10)$$

$$t_p = \tau_p \cdot \ln \frac{U_{cmax} - U_a}{U_{cmax} - U_p}, \quad \tau_p = C \frac{R_1 \cdot R_s}{R_1 + R_s}, \quad U_{cmax} = U \frac{R_s}{R_s + R_1}.$$

Salīdzinot eksperimentāli iegūtos datus ar teorētiski aprēķinātajiem, jāņem vērā elektrolītisko kondensatoru parametru lielā izkliede.

### Kontroles jautājumi

1. Kādas ir līdzstrāvas releju darbības kavējuma metodes?
2. Kur pielieto laika relejus ar nostrādes kavējumu līdz dažām sekundēm?
3. Kas ir laika releja pievilkšanās laika konstante, kādi parametri nosaka tās lielumu?
4. Kas ir laika releja atlaišanās laika konstante, kādi parametri nosaka tās lielumu?
5. Kādi releja parametri iespaido tā darbības kavējumu uz ieslēgšanos un uz atslēgšanos?
6. Kā un kāpēc releja darbības kavējumu iespaido tā spolei pieslēgtā kondensatora kapacitāte?

7. Kā panāk elektromagnētiskā laika releja impulsveida darbību?
8. No kādiem parametriem atkarīgs impulsa laiks  $t_i$  un pauzes laiks  $t_p$ ?
9. Kā darbojas elektromagnētiskais impulsu ģenerators?
10. Nosaukt elektromagnētiskā impulsu ģenerators pielietošanas piemērus.
11. Kādi ir elektromagnētisko impulsu ģeneratoru trūkumi?
12. Kā uzbūvēts elektroniskais R – C ģenerators?

### **Literatūra**

1. J. Greivulis, J. Raņķis. Iekārtu vadības elektroniskie elementi un mezgli. – Rīga: Avots, 1997 – 288 lpp.
2. V.Lazdiņš. Automobiļu tehnisko apkopju un remonta automatizācijas pamati. – Rīga: Zvaigzne, 1969 – 292 lpp.

### **Piezīmēm**

## Piezīmēm

## 6. ELEKTRONISKIE LAIKA RELEJI UN TAIMERI

### Darba mērķis

Iepazīties ar nostrādes laika aiztures ierīcēm, kurās izmanto elektroniskos pastiprinātājus un speciālas ierīces “taimerus”, un izprast to priekšrocības salīdzinājumā ar cita veida laika aiztures ierīcēm.

### Darba uzdevums

1. Iepazīties ar elektroniskā laika releja uzbūvi un noskaidrot darbības principu.
2. Saslēgt laika releja un elektroniskā hronometra shēmas (6.1. un 6.2. att.) sakarību  $t_p = f(R, C)$  pētīšanai.
3. Veikt nostrādes kavējuma laika  $t_p$  mērījumus atbilstoši pasniedzēja norādījumiem.
4. Izmērīt spriegumus  $U_{MAX}$  un  $U_{MIN}$  un analītiski aprēķināt kavējuma laikus  $t_p$  uzdotiem RC ķēdes parametriem.
5. Veikt atkārtotus mērījumus pie nemainīgiem laika releja parametriem un noteikt ierīces darbības kavējuma laika  $t_p$  vidējo vērtību un kļūdu procentos.
6. Izmantojot iegūtās vidējās  $t_p$  vērtības aprēķināt :
  - a) kondensatora C1, C2, C3 kapacitāti;
  - b) rezistoru R3 + R4; R2 + R3 + R4; R1 + R2 + R3 + R4 pretestību.
7. Secinājumos dot eksperimentāli iegūto un aprēķināto rezultātu salīdzinošu analīzi, kā arī novērtēt elektroniskā laika releja priekšrocības un trūkumus.

### Elektroniskais laika relejs

Viena no izplatītākajām automātikas ierīcēm ir elektroniskais laika relejs. Ar šīs ierīces palīdzību iespējama izpildiekārtu automātiska atslēgšana vai ieslēgšana pēc iestatītā laika intervāla. Lai iegūtu noteiktus aiztures laika intervālus izmanto RC-ķēdes, kuras var darboties kondensatora izlādes vai uzlādes režīmos. Lai iegūtu lielus aiztures laikus, izmanto kondensatorus ar lielu kapacitāti un augstomīgus rezistorus, kas samazina uzlādes un izlādes strāvu.

Laika relejos ar lielu aiztures laika intervālu priekšrocība ir shēmām, kurās izmanto kondensatora izlādes režīmu. Kondensatoriem ar lielu kapacitāti pie augstām sprieguma vērtībām palielinās noplūdes strāvas. Tādēļ uzlādes režīmā, kad uzlādes strāvas vērtība kļūst salīdzināma ar noplūdes strāvu, samazinās aiztures laiks un releja nostrādes precizitāte.

Kondensatoram izlādējoties, vienlaicīgi samazinās tā spriegums un noplūdes strāva. Līdz ar to iegūst lielāku aiztures laiku un nostrādes precizitāti.

Elektroniskā laika releja principiālā shēma parādīta 6.1. attēlā. Šajā shēmā lauktranzistors VT1 kalpo kā elektroniskais pastiprinātājs ar ļoti lielu ieejas pretestību, bet bipolārie tranzistori VT2 un VT3 veido sliekšņa elementu – nesimetrisku Šmita trigeri, kura izejā ieslēgts elektromagētiskais relejs K1. Virknē slēgtie rezistori R1...R4 un kondensatori C1...C3 veido RC ķēdi, kuras parametrus var mainīt ar slēdžu S1...S6 palīdzību. RC shēmas viduspunkts pieslēgts lauktranzistora VT1 aizvaram.

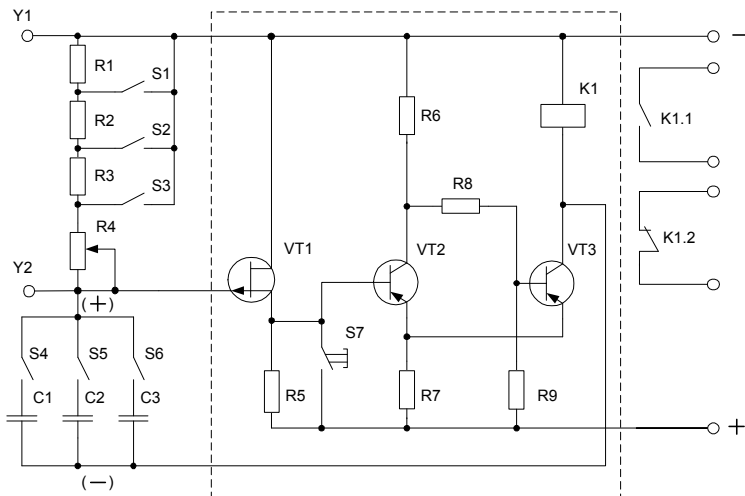
Pieslēdzot shēmu līdzstrāvas barošanas avotam, tā ir gatava darbam, jo caur rezistoriem R1 . . . R4 uz lauktranzistora VT1 aizvaru pievadītais potenciāls nodrošina tā pārejas aizvars-kanāls sprostsplāņa izzušanu un kanāla atvēršanu. Tā kā tranzistora VT1 un rezistora R5 kopējā pretestība ir daudzkārt mazāka par jebkura no rezistoriem R1...R4 pretestību, tad uz spailēm Y1 Y2 spriegums ir gandrīz vienāds ar barošanas spriegumu U. Caur tranzistoru VT1 plūstošā strāva nonāk uz tranzistora VT2 bāzi un arī tas atveras. Bet tā kā tranzistors VT2 ir vaļā, uz tā kolektora ir zems sprieguma līmenis. Līdz ar to tranzistors VT3 ir aizvērts, jo uz tā bāzes arī ir zems sprieguma līmenis. Rezultātā caur elektromagnētisko releju K1 neplūst strāva un tas paliek izslēgts. Vienlaicīgi notiek ieslēgto kondensatoru ātra uzlāde pa ķēdi: [+ , R5, VT1, (+), (-), K1, -] līdz spriegumam  $U_{uzl} = U - U_{VT1\text{aizv-iztece}} - i_{VT1} * R5$ . Tā kā kondensatoru C1...C3 viens kopējais izvads savienots ar VT3 kolektoru, bet slēdžu S4...S6 kopējas vads caur tranzistoru VT1 (aizvars – iztece) un rezistoru R5 savienots ar barošanas pozitīvo polu, tad ieslēgtais kondensators (kondensatori) uzlādējas, pie kam pozitīvs potenciāls ir izvada Y2 pusē, bet negatīvs uz VT3 kolektora.

Nepieciešamo nostrādes kavējuma laika intervālu iestata izvēloties noteikta lieluma pretestību (ar slēdžu S1...S3 palīdzību) un kapacitāti (ar slēdžu S4...S6 palīdzību). Laika aiztures atskaitē sākas no tā brīža, kad nospiež slēdzi (pogu) S7. Ar šo brīdi tiek pārtraukta strāva tranzistora VT2 bāzē un tas aizveras. Aizveroties tranzistoram VT2 uz tā kolektora vienlaicīgi pieaug spriegums un palielinās strāva caur tranzistora VT3 bāzi, tas atveras un nostrādā relejs K1. Tā kā sprieguma kritums uz atvērtā tranzistora VT3 un arī uz rezistora R7 ir ļoti mazs, tad uz releja K1 spoles spailēm ir gandrīz viss barošanas spriegums. Bez tam atveroties tranzistoram VT3 uzlādēto kondensatoru apakšējais izvads ir saslēgts virknē ar barošanas avota pozitīvo spaili. Līdz ar to izveidojas slēgums, kurā barošanas avots ir savienots virknē ar uzlādēto kondensatoru un ieslēgtajiem rezistoriem R1...R4. Tātad šiem rezistoriem pievadītais spriegums ir vienāds ar:

$$U_{\max} \approx U + U_{uzl}.$$

Bez tam uz spaiļes Y2, kas savienota ar tranzistora VT1 aizvaru, pievadīts spriegums  $U_{uzl}$ , bet uz izteces ir barošanas avota spriegums U. Tātad kondensatora spriegums  $U_{uzl}$  nodrošina pārejas aizvars-iztece un kanāla (iztece-notece) aizvēršanu un tādēļ atlaižot slēdzi S7 tranzistors paliek aizvērts.

Kondensatora izlāde notiek caur barošanas avotu, kura iekšējā pretestība ir maza, un rezistoriem R1...R4 pa ķēdi [(+), Y1, -, +, R7, VT3, (-)]. Slēdža S7 ieslēgšanas brīdī uz rezistoriem R1...R4 (spaiļes Y1, Y2) ir maksimālā sprieguma vērtība -  $U_{\max}$ , kas notur tranzistoru aizvērtā stāvoklī. Izlādējoties kondensatoram spriegums  $U_{uzl}$  pakāpeniski samazinās. Tai brīdī, kad kondensatora spriegums samazinās līdz vērtībai  $U_{\min} \approx U$ , tranzistors VT1 atveras, kā rezultātā pārslēdzas Šmita triggeris (VT2 atveras, VT3 aizveras) un relejs K1 atlaižas.



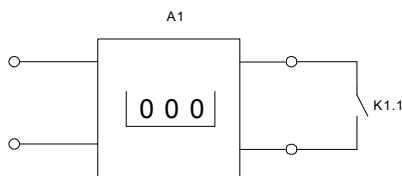
6.1. att. Elektroniskais laika relejs

Ja releja K1 kontaktus pievieno elektroniskā hronometra ieejas spailēm kā attēlots 6.2. attēlā, tad var precīzi fiksēt laiku no slēdža S7 nospiešanas brīža līdz releja atlaišanās momentam. Spriegumus  $U_{\max}$  un  $U_{\min}$  mēra starp spailēm Y1, Y2. Atbilstoša sprieguma diagramma dota 6.3. attēlā.

Kavējuma laiku var noteikt pēc vienādojuma:

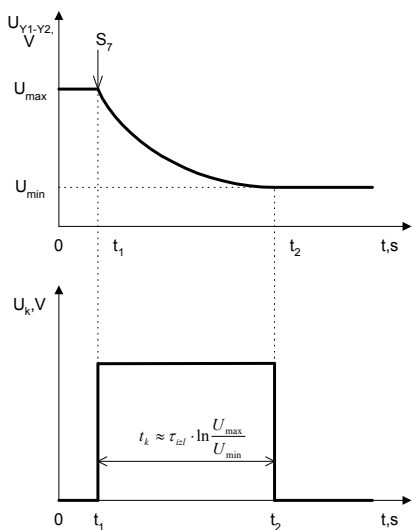
$$t_k = \tau_{izl} \ln \frac{U_{MAX}}{U_{MIN}},$$

kur  $\tau_{izl}$  – kondensatora izlādes laika konstante ( $\tau_{izl} = R \cdot C$ ).



6.2. att. Elektroniskā hronometra pieslēguma shēma aiztures laika mērīšanai





6.3. att. Elektroniskā laika releja spriegumu diagramma

### Taimeris

Taimeris ir impulsa formētāji ar maināmu impulsa ilgumu. Tos veido no dažādiem diskrētās elektronikas elementiem – komparatoriem, trigeriem, skaitītājiem u.c. ierīcēm. Taimeru darbības precizitāti nosaka galvenokārt komparatori, tādēļ tos pieskaita analogshēmām. Visus taimerus iedala divās grupās: vientakts un daudztaktu (ar iebūvētu skaitītāju).

Vientakts taimera principiālā shēma parādīta 6.4. attēlā. Ar vientakts taimeriem iespējams iegūt aiztures ar laika intervālu no 1  $\mu$ s līdz 1 stundai. Aiztures laika intervālu nosaka ārējie laika aiztures elementi  $R_t$  un  $C_t$ . Sākuma stāvoklī nosacītais slēdzis A2.1, ko veido RS trigeris atgriezeniskā saite, ir ieslēgts un taimera izejā spriegums  $U_{iz} \approx 0,1$  V (zems līmenis).

Ja padod impulsu uz trigeris iestatīšanas ieeju (Set), tad slēdzis A2.1 tiek atvienots un trigeris izejā parādās augsta līmeņa spriegums ( $U_{iz} = 5 \div 10$ V). Slēdzis A2.1 vairs nešuntē kondensatoru  $C_t$  un sākas tā uzlāde caur rezistoru  $R_t$ .

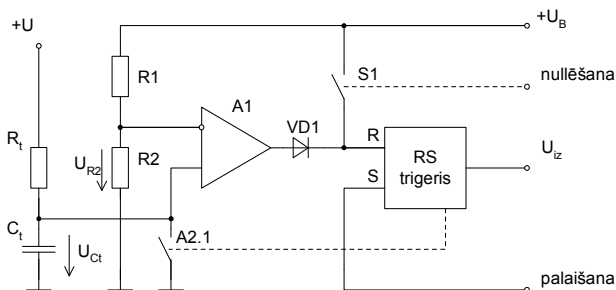
Tā kā komparatora A1 ieejas pretestība daudzārt pārsniedz rezistora  $R_t$  pretestību, notiek kondensatora  $C_t$  uzlāde ar laika konstanti  $\tau = R_t C_t$ . Tikko spriegums uz kondensatora  $C_t$  sasniedz komparatora A1 pārslēgšanās līmeni, ( $U_{C1} \geq U_{R2}$ ) RS trigeris atgriešanas ieejā (Reset) parādās augsta līmeņa spriegums. Tā rezultātā notiek trigeris pārslēgšanās un taimera izejā parādīsies zema līmeņa spriegums ( $U_{iz} \approx 0,1$  V). Nosacītais slēdzis A2.1 saslēdzas un šuntē kondensatoru  $C_t$ , kā rezultātā notiek tā strauja izlāde un taimeris atgriežas sākuma stāvoklī. Komparatora pārslēgšanās spriegumu nosaka taimera iekšējais sprieguma dalītājs (rezistori  $R1, R2$ ). Taimera

formētā impulsa platumu var mainīt, izmainot parametrus  $C_t$ ,  $R_t$  vai  $R_2$ . Ja komparatora ieejas pretestība  $R_{ie} \gg R_t$ , tad impulsa platumu var aprēķināt pēc formulas:

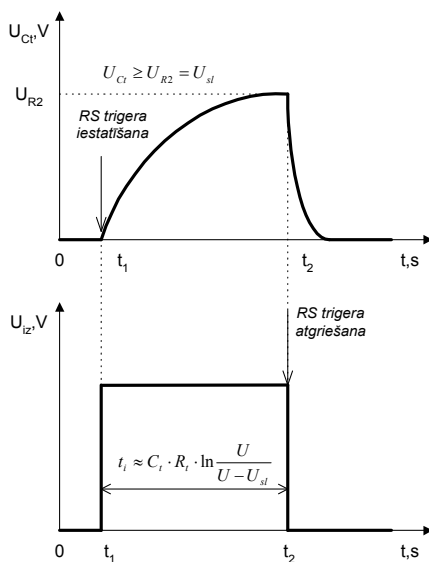
$$t_i \approx C_t \cdot R_t \ln \frac{U}{U - U_{sl}},$$

kur  $U_{sl}$  - komparatora nostrādes sliekšņa spriegums.

Taimera darbības pārtraukšanai izmanto slēdzi  $S_1$ , kuru ieslēdzot taimera izejā parādās zema līmeņa spriegums un kondensators  $C_t$  izlādējas.



6.4. att. Vientakts taimera principiālā shēma



## 6.5. att. Sprieguma impulsa formēšanas diagrammas

### Kontroles jautājumi

1. Ar ko atšķiras vientakts taimeris no elektroniskā laika releja?
2. Kur pielieto laika relejus ar lieliem nostrādes laika kavējumiem?
3. Kas ir laika releja atlaišanās laika konstante, kādi parametri nosaka tās lielumu?
4. Kā iegūst laika aiztures lielākas par vienu stundu?
5. Kādi laika releja parametri iespaido tā darbības kavējumu uz ieslēgšanos un uz atslēgšanos?
6. Kā un kāpēc darbības kavējumu iespaido pieslēgtā kondensatora kapacitāte?
7. No kā atkarīga aiztures laika precizitāte elektroniskajos laika relejos?
8. Kā darbojas vientakts taimeris?
9. Nosaukt taimeru pielietošanas piemērus.
10. Kādas ir elektronisko laika releju un taimeru priekšrocības un trūkumi?

### Literatūra

1. J. Greivulis, J. Raņķis. Iekārtu vadības elektroniskie elementi un mezgli. – Rīga: Avots, 1997. – 288 lpp.

## Piezīmēm

## 7. PNEIMOAUTOMĀTIKAS ELEMENTI UN IERĪCES

### Darba mērķis

Iepazīties ar pneimoautomātikas elementiem, to darbību un pielietošanas iespējām dažādās automātikas sistēmās.

### Darba uzdevums

11. Iepazīties ar pneimoautomātikas elementiem, to tehniskajiem parametriem, elementu pieslēgšanas noteikumiem, un grafiskajiem apzīmējumiem.
12. Saslēgt pneimatisko shēmu ar dažādiem elementiem (7.1. att.). Iepazīties ar shēmas darbību un to aprakstīt. Sevišķu uzmanību pievērst shēmas darbības pārejas procesiem.
13. Izpētīt plūsmdaļu, loģisko elementu "UN"; "VAI", spiediena vadības vārstu, gala slēdžu un pneimopogu darbību.
14. Izskaidrot pneimoautomātikas elementu darbību.
15. Uzzīmēt pneimoelementu darbības laika diagrammas.
16. Uzzīmēt shēmas darbības laika diagrammu, uzrādot pārslēgšanās momentus.
17. Iepazīties ar saspiesta gaisa sagatavošanas iekārtu. Pārliecināties, kā shēmas darbību iespaido pievadītā gaisa spiediena izmaiņa.

### Pneimoautomātikas elementi

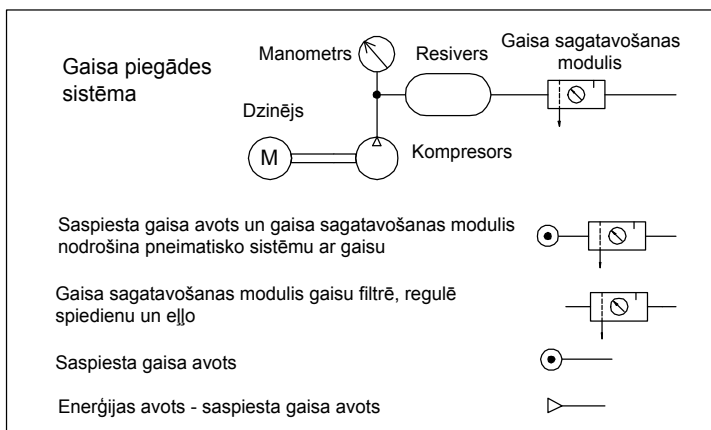
Pneimoautomātiku izmanto dažādu tehnoloģisko iekārtu piedziņai un vadībai. Plašu pielietojumu tā ir ieguvusi kokapstrādes, būvmateriālu ražošanas, pārtikas rūpniecības, tekstilrūpniecības, pakošanas iekārtu, autotransporta, dzelzceļa un citās nozarēs. Pielietojot pneimoautomātiku, var izveidot drošu vadības un spēka piedziņas shēmu, kas darba orgānam vienkārši nodrošina jebkura veida kustību, tai skaitā arī rotācijas. Gaisa ir saspiežams, tāpēc pneimopiedziņa, salīdzinot ar mehānisko un hidraulisko ir daudz elastīgāka un drošāka pret pārslodzēm. Pneimoeiērtas ir vienkāršas, ātrdarbīgas, relatīvi lētas un videi draudzīgas.

Pneimoautomātikas elementus atkarībā no izpildāmās funkcijas un pneimosistēmas vadības struktūras, var iedalīt piecās grupās:

- enerģijas avots – saspiegtā gaisa sagatavošanas iekārta, kas ietver kompresoru, resiveri, spiediena reduktoru, gaisa filtru, gaisa eļļotāju;
- ieejas signāla elementi (ievadelementi sensori) – galaslēdži (vārsti), ceļa slēdži (vārsti), pneimopogas, pneimatiskie temperatūras vai spiediena mērpārveidotāji;
- pārvades elementi – signāla apstrādes elementi, procesori (plūsmdaļi, vārsti, loģiskie elementi, spiediena vadības vārsti, kontrolleri);
- izejas vadības elementi – spēka vadības ierīces (plūsmdaļi);
- izpildierīces – izpildmehanismi (pneimocilindri, pneimomotori, indikatori).



- pēc darbināšanas veida – rokas vadība, gaisa vadība, spiediena starpības vadība, elektromagnēta vadība uc;
- pēc konstrukcijas – atsevišķi elementi, iebūvēti blokā, kombinēti ar integrētu vadības elektroniku utt.



7.2. att. **Saspiesta gaisa sagatavošanas iekārtas sastāvdaļas un apzīmējumi**

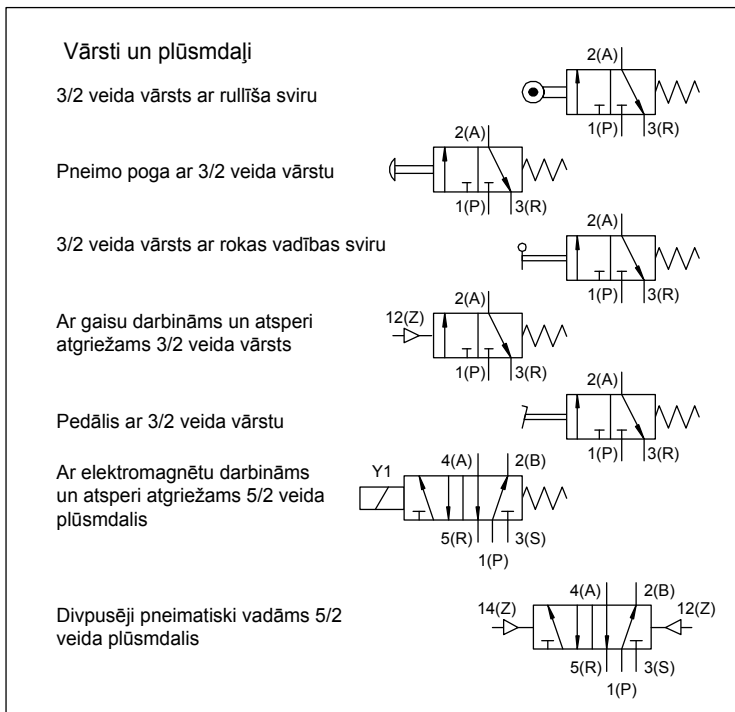
Vārstu apzīmēšanai izmanto sekojošus raksturojošus lielumus:

- pievadu skaits (2, 3, 4, 5);
- pozīciju skaits (2 pozīcijas, 3 pozīcijas);
- vārsta vadības (piedziņas) veids (mehāniskais, rokas, gaisa, elektromagnēta);
- izslēgšanas (atgriešana sākuma stāvoklī) veids (ar atsperi, ar gaisu).

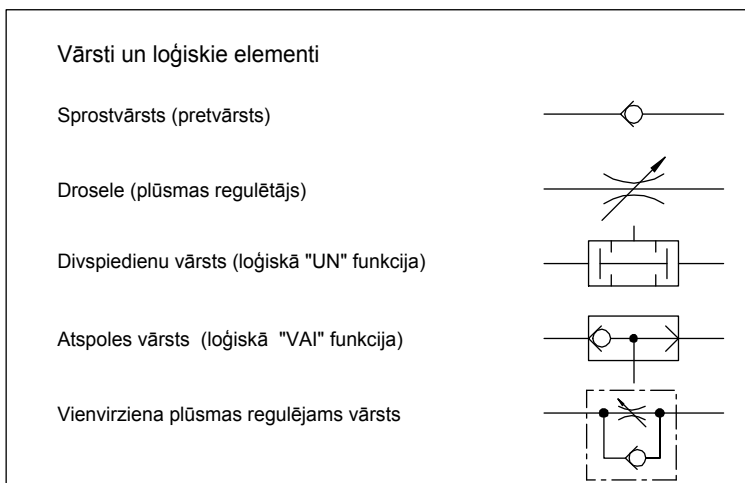
Plūsmdaļa apzīmējums 3/2 nozīmē, ka šim plūsmdaļim ir 3 pievadi un 2 pozīcijas. Pēc ISO 5599, vārstu pievadiem lieto šādus apzīmējumus: 1(P) - spiediena pievads; 3(R), 3(S), 5(R) – izplūdes pievadi; 2(A), 2(B), 4(A) – izejas pievadi; 12(Z), 12(Y) – atver plūsmu 1-2; 14(Z) – atver plūsmu 1-4; 10(Z), 10(Y) – plūsmas aizvēršana.

Sprostvārsts (pretvārsts) ir viens no pneimatikas pamatelementiem un funkcionāli tas darbojas līdzīgi diodei līdzstrāvas ķēdēs. Sprostvārsts ir neatgriezeniskas darbības vārsts un tas laiž gaisa plūsmu tikai vienā virzienā.

Drosele ir regulējams caurplūdes vārsts. Ar šī vārsta palīdzību var iestatīt nepieciešamo gaisa padeves daudzumu pneimatiskajai sistēmai, tādā veidā nodrošinot sistēmas darbības ātrumu.



7.3. att. Virziena vadības vārsti – plūsmdaļi gaisa plūsmas pārslēgšanai līnijās





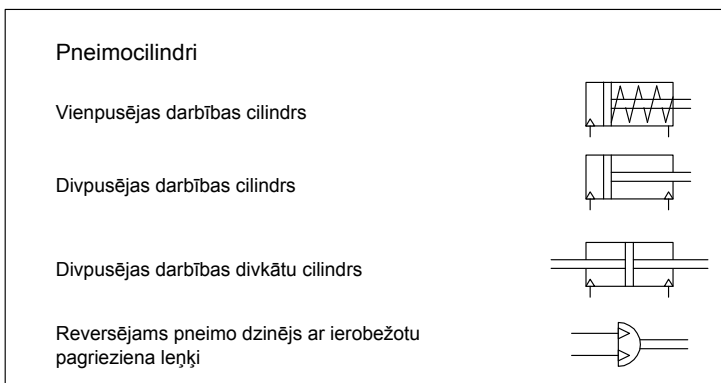
Kā signāla apstrādes elementus pneiemoautomātikas sistēmās izmanto sprostvārstus, loģiskos elementus “UN” un “VAI”. Signāla apstrādei izmanto arī pneimatiskos laika relejus, spiediena salīdzināšanas vārstus un citas ierīces.

Divspiedienu vārsts izpilda loģisko funkciju “UN”, tas nozīmē, ka caur šo elementu gaiss plūst tikai tad, ja uz abām ieejām ir padots vienāds spiediens. Ja spiedienu padod tikai uz vienu no ieejām, no izejas gaiss neplūst.

Atspoles vārsts izpilda loģisko funkciju “VAI”. Gaiss iet caur šo vārstu ja padod spiedienu uz jebkuru no ieejām. Plūsma notiek tikai no ieejas uz izeju. Ceļš gaisam no vienas ieejas uz otru ir slēgts.

### Izpildierīces - pneimocilindri

Pneimo automātikas izpildierīces var nodrošināt lineāru, svārstveida un rotējošu kustību. Izpildierīces var nodrošināt detaļu vai materiālu iespīlēšanu, pārvietošanu, pozicionēšanu un orientēšanu. Tās pielieto dažādās automatizētajās iekārtās: iesaiņošanā, materiālu iekraušanā, detaļu padevē, virpošanā, šķirošanā, detaļu orientēšanā, štancēšanā, presēšanā un citos tehnoloģiskajos procesos.



Vienpusējas darbības cilindri ar gaisa radīto spēku pārvietojas tikai vienā virzienā, virzuļa atgriešanai sākuma stāvoklī izmanto atsperes spēku. Divpusējas darbības cilindra virzulis pie viena un tā paša gaisa spiediena un plūsmas pretējos virzienos pārvietojas ar dažādiem ātrumiem un spēku. No iepriekš minētā trūkuma ir atbrīvots divpusējas darbības divkātu pneimocilindrs.

Reversējamos pneimodzinējus izmanto darba mašīnas, vai manipulatora grozīšanai pa aploci ar noteiktu pagriezienu leņķi.

Kā izpildierīces var būt pneimodzinēji ar nepārtrauktu kustību. Gaisa dzinēji parasti ir ar lielu rotācijas frekvenci un tos izmanto dažādu darba orgānu piedziņai, piemēram, slīpēšanai, urbšanai, frēzēšanai.

Kā izejas darba orgāns var būt arī piesūcekņi. Tos izmanto detaļu pozicionēšanai. Šai gadījumā darbojas nevis saspīests gaiss, bet vakuums. Pneiemoautomātikas sistēmās vakuumu bieži vien iegūst no saspīesta gaisa ar inžektoru vai mikroturbīnu-vakuumsūkni.

Vakuuma sagatavošanai var izmantot speciālu iekārtu.

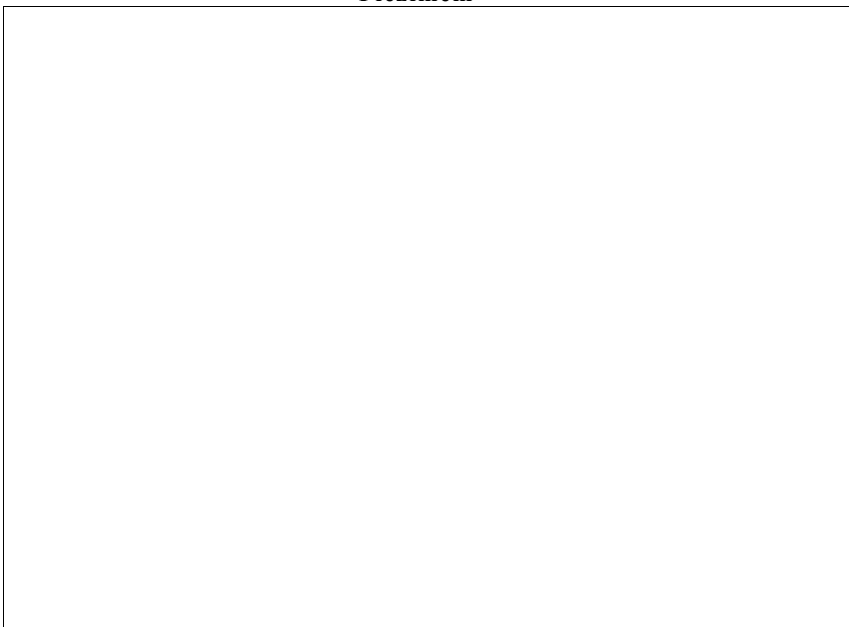
### **Kontroles jautājumi**

1. No kādiem elementiem sastāv saspiesta gaisa sagatavošanas aparātūra?
2. Kas raksturo saspiesta gaisa sagatavošanas kvalitāti?
3. Kā darbojas divspiedienu vārsts, kādu loģisko funkciju tas realizē?
4. Kas ir drosele, kādās pneimoautomātikas ierīcēs to izmanto?
5. Kādi ir pneimocilindru veidi, un kur tos izmanto?
6. Kā uzbūvēts atspoles vārsts, kādu loģisko funkciju tas realizē?
7. Kā darbojas sprostvārsts, kādam nolūkam to izmanto?
8. Kādi ir plūsmdaļu veidi, kur tos izmanto?
9. Kā darbojas pneimatiskais ceļa slēdzis (gala slēdzis)?
10. Kā saspiestā gaisa spiediens iespaido automātikas sistēmas darbību?
11. Kādu gaisa spiedienu izmanto pneimo automātikas sistēmās?
12. Kādas ir galvenās pneimo automātikas elementu grupas.

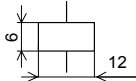

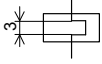

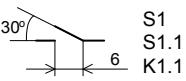

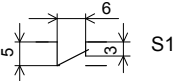

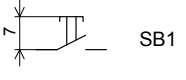
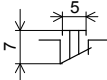








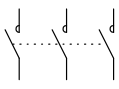
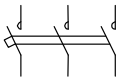
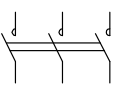
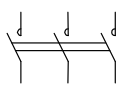


### **Literatūra**

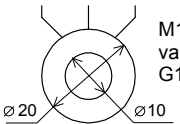
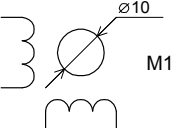
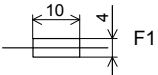
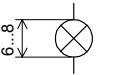
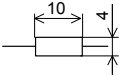

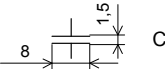

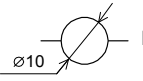
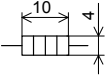
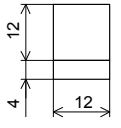
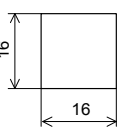
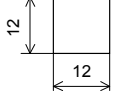
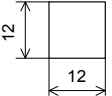
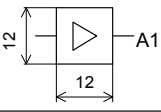
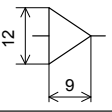
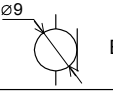

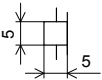

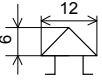
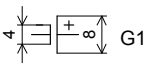
1. Croser P. Pneimatika. Pamatlīmenis TP101. Mācību grāmata. – Rīga.: Festo SIA, 2000. - 219 lpp.

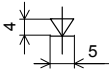















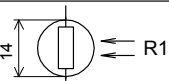

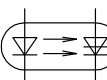
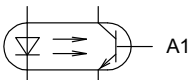

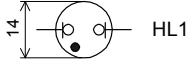


### **Piezīmēm**



**Elektrotehnikas un elektronikas elementu grafiskie apzīmējumi**

Nosaukums	Apzīmējums	Nosaukums	Apzīmējums
Relejs	 K1	Elektromagnētiskā vārsta solenoids	 Y1
Siltumrelejs	 KK1	Magnētiskais palaidējs, kontaktors	 KM1
Slēdzis, saslēdzošie kontakti	 S1 S1.1 K1.1	Slēdzis, atslēdzošie kontakti	 S1 S1.1 K1.1
Pārslēdzošie kontakti	 S1	Pārslēdzošie kontakti	 S1
Spiedpoga	 SB1	Spiedpoga	 SB1
Automātiskais atslēdzējs	 SF1	Siltumreleja kontakti	 KK1.1
Ceļa slēdzis	 SQ1	Rotācijas slēdzis	 SR1
Temperatūras slēdzis	 SK1	Spiediena slēdzis	 SP1
Laika relejs, ieslēdz ar kavējumu	 KT1	Laika relejs, atslēdz ar kavējumu	 KT1
3 polu magnētiskā palaidēja, kontaktora spēka kontakti	 KM1.1	3 polu automātiskais atslēdzējs	 QF1
	 KM1.1	3 polu spēka slēdzis, svirslēdzis, paketslēdzis	 Q1
Zemējums		Korpuss	

Nosaukums	Apzīmējums	Nosaukums	Apzīmējums
Elektriskā mašīna, elektromotors, ģenerators	 M1 vai G1	Vienfāzu asinhronais motors	 M1
Kūstošais drošinātājs	 F1	Signālspludze, kvēlspludze	 HL1 EL1
Rezistors	 R1	Termorezistors	 RK1
Kondensators	 C1	Elektrolītiskais kondensators	 C1
Elektriskais mērinstruments	 P1	Elektriskais sildelements	 EK1
Integrējošs mērinstruments, aktīvās, reaktīvās enerģijas skaitītājs	 P1	Elektriskais sildītājs	 EK1
Reģistrējošais elektriskais mērinstruments	 P1	Aparāts, funkcionāla ierīce	 A1
Pastiprinātājs	 A1	Pastiprinātājs	 A1
Mikrofons	 BM1	Skalrunis	 BA1
Telefons	 BF1	Zvans	 HA1
Sirēna	 HA1	Baterija, galveniskais elements	 G1

Nosaukums	Apzīmējums	Nosaukums	Apzīmējums
Diode	 VD1	Tiristors, dinistors	 VS1
Stabilitrons, Zenera diode	 VD1	Tiristors, trinistors	 VS1
Simetriskais stabilitrons	 VD1	Simetrisks tiristors, simistors, triaks	 VS1
Varikaps	 VD1	Vienpārejas tranzistors	 VT1
Tranzistors ar npn pāreju	 VT1	Tranzistors ar pnp pāreju	 VT1
Lauktranzistors ar p kanālu	 VT1	Lauktranzistors ar n kanālu	 VT1
MOP lauk- tranzistors	 VT1	IGBT tranzistors ar npn pāreju	 VT1
Gaismas diode	 HL1	Foto diode	 VD1
Foto rezistors	 R1	Foto tranzistors	 VT1
Tiristora optrons	 A1	Tranzistora optrons	 A1
Tilta taisngriezis	 VD1...VD4	Neona lampiņa	 HL1
Ciparu mikroshēma analogā mikroshēma	 DD1 DA1	Operacionālais pastiprinātājs	 DA1