



EIROPAS REĢIONĀLĀS
ATTĪSTĪBAS FONDS



EIROPAS SAVIENĪBA

IEGULDĪJUMS TAVĀ NĀKOTNĒ

LETERA

Latvijas Elektrotehnikas
un elektronikas rūpniecības asociācija



**TEHNISKĀS
JAUNRADES
N A M S
annas - 2**

Egmonts Pavlovskis

Elektronikas pamati

1. daļa

**Mācību līdzeklis interešu izglītības elektronikas pulciņu audzēkņiem un citiem
interesentiem**

Mācību līdzeklis tapis Eiropas reģionālās attīstības fonda projekta
„Latvijas Elektronikas un elektrotehnikas nozares klasteris” ietvaros (Projekta Nr.
KAP/2.3.2.3.0/12/01/003)

Rīga 2013 (2017)

SATURS

Ievads	3.lpp.
I. Vienkāršākā elektriskā shēma	4.lpp.
II. Virknes slēgums	5.lpp.
III. Paralēlais slēgums	7.lpp.
IV. Elektriskā jauda	8.lpp.
V. Gaismas diodes VAR !	9.lpp.
VI. Šis un tas par tranzistoru jeb „Elektriskais dzīvais aplis”	11.lpp.
VII. Maiņstrāva	
1. Svārstības – mehāniskas un elektriskas	
1.1. Rimstošas svārstības	15.lpp.
1.2. Nerimstošas svārstības	15.lpp.
1.3. Elektriskas svārstības – maiņstrāva	16.lpp.
1.4. Maiņstrāvas amplitūdas un efektīvā vērtība	18.lpp.
2. Elektriski signāli	
2.1. Elektriski signāli un to iedalījums	20.lpp.
2.2. Signālu summēšana. Signāla fāze.	21.lpp.
2.3. Maiņstrāvas frekvenču spektrs	22.lpp.
VIII. RC ķēdes	
1. Kondensators	25.lpp.
2. Kondensatora uzlādēšana	25.lpp.
3. Kondensatora izlādēšana	27.lpp.
4. Kondensatora uzlādēšana ar konstantu strāvu	27.lpp.
5. RC ķēdīte un maiņstrāva	28.lpp.
6. Kondensatora pretestība maiņstrāvai	29.lpp.
7. Spriegumi RC ķēdītē	30.lpp.
8. Zemfrekvenču filtrs	32.lpp.
9. AFR : amplitūdas – frekvenču raksturlīkne	32.lpp.
10. Augstfrekvenču filtrs	33.lpp.
IX. Daži praktiskie darbi	
1. Signalizācija ar vada cilpas līniju („trip wire”)	34.lpp.
2. Telegrāfa sistēma	35.lpp.
Izmantotā literatūra	35.lpp.

IEVADS

Mācību līdzeklis „Elektronikas pamati” domāts interešu izglītības elektronikas pulciņu audzēkņiem, 6. – 12. klašu skolēniem ar nelielām praktiskām iemaņām elektrisku shēmu lasīšanā un montēšanā. Materiāla izpratnei priekšzināšanas fizikā nav nepieciešamas. Nepieciešamas pamatzināšanas matemātikā – darbības ar decimāldaļskaitļiem, vienkārši matemātiski vienādojumi u.c.

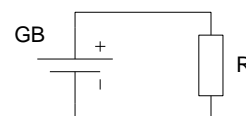
Lielākā daļa materiāla ir aprobēta darbā ar 5.-8. klašu skolēniem un atzīta par atbilstošu. Nosacītā mērķa grupa – 6. klases teicamnieks ar vismaz dažu mēnešu praktisko pieredzi elektrisku shēmu montāžā. Mācību materiāls atrodas pastāvīgu izmaiņu un uzlabošanas procesā. Vairāki jautājumi izklāstīti vienkāršotā, bet praksē joprojām pieņemamā veidā. Laipni gaidītas jebkuras atsauksmes par grūtībām, kādas radušās apgūstot šo materiālu un ieteikumi kā to uzlabot!

Materiāls sākumā ir vienkāršāks, vēlāk – mazliet komplicētāks un paredz, ka ir labi apgūtas iepriekšējo nodaļu tēmas, veikti visi uzdevumi un praktiskie eksperimenti. Mācību materiāla apguves laikā svarīgi saņemt kvalificētu skolotāja atbalstu un konsultācijas.

Dotais materiāls arī var kalpot sagatavošanās procesā dalībai **Atklātajā Latvijas skolēnu elektronikas konkursā**, kuru tradicionāli aprīļa beigās rīko Tehniskās jaunrades nams „Annas 2” Rīgā, Annas ielā 2. Tajā līdztekus praktiskām iemaņām uzvarai nepieciešamas arī elektronikas pamatsakarību zināšanas.

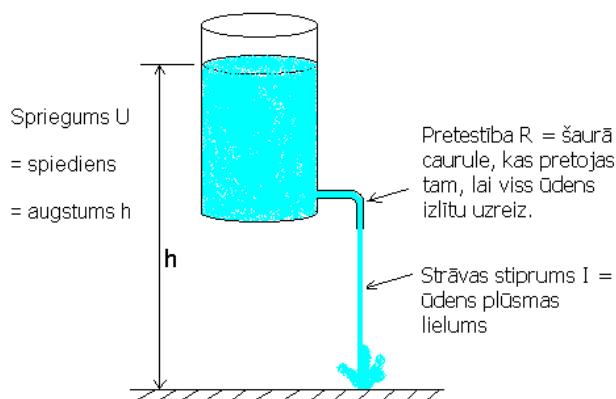
I. Vienkāršākā elektriskā shēma

Vienkāršākā elektriskā shēma sastāv no elektriskās strāvas avota – baterijas GB un tai ar vadiem pievienota rezistora R.



1.att.

Bieži, lai parādītu tādu elektrisku lielumu kā spriegums, strāvas stiprums un elektriskā pretestība jēgu šajā shēmā, lieto ilustratīvu līdzību ar 2.att. redzamo ūdens mucu, un no tās tekošo ūdeni.



2.att.

Apgalvojumi:

- 1) Jo mazāka caurules pretestība (lielāks diametrs), jo lielāka būs ūdens (strāvas) plūsma.
- 2) Jo lielāks ūdens staba augstums **h**, jo lielāks spiediens tā izejā (spriegums uz baterijas spailēm) un arī plūsma lielāka.

Kā saprotams no 1) un 2) apgalvojuma, starp šiem 3 pamatlīelumiem elektriskajā ķēdē ir kāda sakarība.

Tātad vēlreiz, kas ir šie lielumi:

Spriegums U, ko mēra voltos V,

kā arī milivoltos mV. $1V = 1000mV$; $1mV = 0,001V$
kilovoltos kV. $1kV = 1000V$, $1V = 0,001kV$

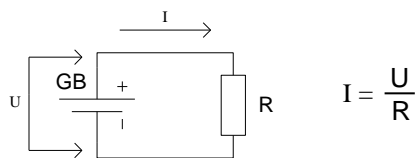
Strāvas stiprums I, ko mēra ampēros A,

kā arī miliampēros mA. $1A = 1000mA$; $1mA = 0,001A$
kā arī mikroampēros μA . $1A = 1000000\mu A$; $1\mu A = 0,000001A$

Elektriskā pretestība R, ko mēra omos Ω ,

kā arī kiloomos k Ω . $1k\Omega = 1000\Omega$; $1\Omega = 0,001k\Omega$
kā arī megaomos M Ω . $1M\Omega = 1000000\Omega$; $1\Omega = 0,000001M\Omega$

Lielā matemātiskā sakarība starp šiem lielumiem ir **Oma likums** un tas izskatās šādi:



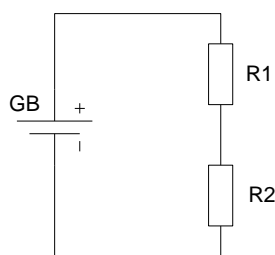
3.att.

Tā arī būs viena no retajām (pagaidām vienīgā) formulām, ko būtu vērts elektronikā zināt no galvas. Ja mums

jāaprēķina nevis strāva I, bet spriegums U vai pretestība R, tad ērti lietot šādu metodi formulas pārveidošanai:

Uzrakstam $I = U / R$ un skaitlisku piemēru $4 = 8 / 2$, kur katru lielumu pārstāv kāds skaitlis. Piemēram, lai saprastu, kā aprēķināt pretestību R, domājam, kā no 4 un 8 dabūt 2. $2 = 8 / 4$ tātad $R = U / I$. Līdzīgi nosakām, ka $8 = 4 * 2$ un $U = I * R$.

II. Virknes slēgums



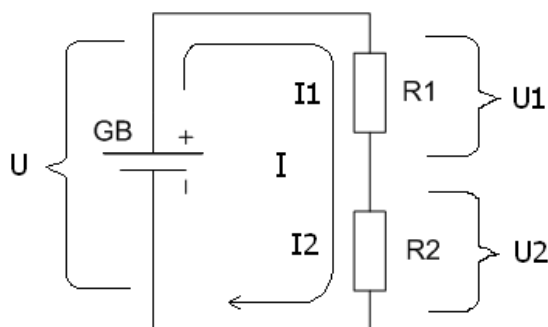
4.att.

Rezistori R1 un R2 slēgti **virknē**.

1) Šādā slēgumā to kopējā pretestība ir abu atsevišķo summa $R_{kop} = R1 + R2$

2) Strāvas stiprums visā slēgumā ir viens un tas pats $I_1 = I_2 = I$

3) Sprieguma kritumu uz atsevišķajiem elementiem (R1 un R2) summa ir kopējais spriegums U (baterijas spriegums) $U = U_1 + U_2$



5.att.

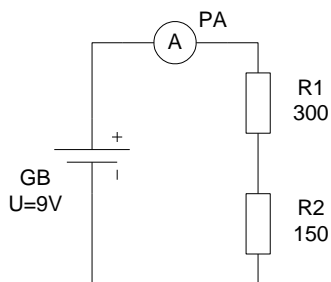
Veicot aprēķinus vienmēr jāiegaumē !!!

1. Ja veicam aprēķinus slēguma posmā, piemēram, R1, aprēķinā drīkst izmantot tikai uz šo posmu darbojošos lielumus: R_1, U_1, I_1 (atceramies, ka $I_1 = I$ virknes slēgumā).

2. Ja veicam aprēķinus visam slēgumam, aprēķinā drīkst izmantot tikai visa slēguma lielumus R_{kop}, U, I .

APRĒĶINU PIEMĒRI

1. Kādu strāvu rādīs ampērmetrs PA ? (Ideālam ampērmetram pretestība $R_{PA} = 0$ un tas slēgumu neietekmē, shēmā it kā tā nav, tā vietā ir vads)

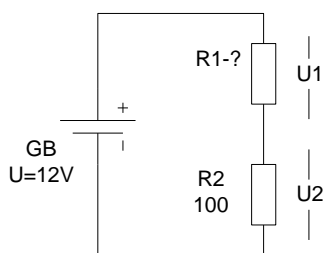


6.att.

Atrisinājums: 1. Aprēķinām kopējo pretestību $R = R1 + R2 = 300 + 150 = 450\Omega$

2. Aprēķinām prasīto strāvas stiprumu ķēdē $I = U / R = 9 / 450 = \underline{0,02A = 20mA}$

2. Aprēķināt tādu rezistora R1 pretestību, lai spriegums U_2 būtu 2,0V !



7.att.

Atrisinājums: 1. Aprēķinām spriegumu U_1 : $U_1 = U - U_2 = 12 - 2 = 10V$

2. Aprēķinām strāvu $I_2 = I = U_2 / R_2 = 2 / 100 = 0,02A$

3. Aprēķinām pretestību R1. $R_1 = U_1 / I = U_1 / I = 10 / 0,02 = \underline{500\Omega}$

Piebilde: Kā rīkotos, ja uzdevuma sākumā nav skaidrs kā tikt pie rezultāta?

1. Sarakstam tabuliņā visus shēmā eksistējošos atšķirīgos lielumus (atceramies, ka visas strāvas ir vienādas $I = I_1 = I_2$)

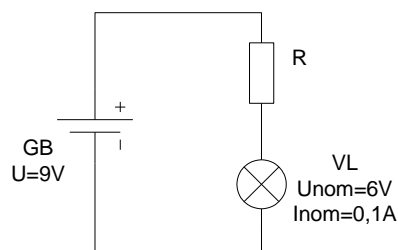
I	U	U ₁	U ₂	R	R ₁	R ₂
!	12V	!	2V		?	100Ω

2. Ierakstam zināmos lielumus
3. ar „?” atzīmējam meklējamo lielumu
4. ar „!” atzīmējam tos lielumus, kurus zinot varam tieši ar Oma likumu aprēķināt prasīto (tie var būt gan zināmi, gan nezināmi lielumi)

Tagad mēs zinām, ko varētu mēģināt izrēķināt vispirms !

3. Kādu pretestību R vajag ieslēgt, lai spuldzīte degtu normāli ?

Kādu pretestību R vajag ieslēgt, lai spuldzīte degtu normāli ?



Atrisinājums: Tātad vajag panākt, ka spriegums $U_{VL} = 6V$.

8.att.

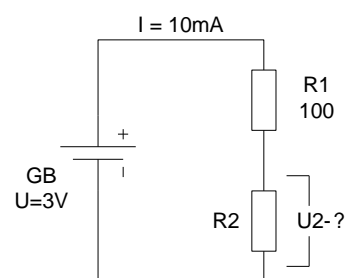
I	U	U _R	U _{VL}	R _{kop}	R	R _{VL}
0,1A !	9V	!	6V		?	

1. $U_R = U - U_{VL} = 9 - 6 = 3V$
2. $R = U_R / I_R$, kur $I_R = I$; $R = 3 / 0,1 = \underline{30\Omega}$

UZDEVUMI

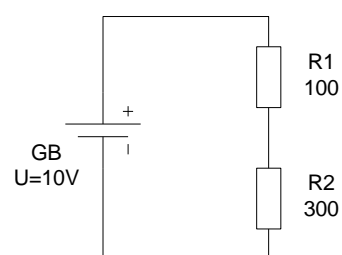
4. Aprēķināt spriegumu U₂ !

Atgādinājums: Visus lielumus aprēķinos drīkst izmantot tikai izteiktus pamatmērvienībās, t.i. voltos, ampēros un omos !



9.att.

5. Kāds ir strāvas stiprums šajā ķēdē ?



10.att.

III. Paralēlais slēgums

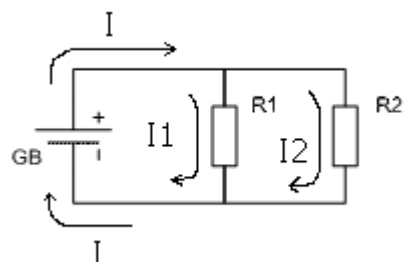
Rezistori R1 un R2 slēgti paralēli.

1. Kā redzam, šeit uzreiz varam uzrakstīt galveno sakarību $U = U_1 = U_2$ – visi spriegumi ir vienādi.

2. Kopējā strāva sadalās divos atsevišķos zarus I1 un I2, lai pēc tam atkal tie savienotos $I = I_1 + I_2$

3. Kopējā pretestība šeit aprēķināma sekojoši:

$$R = \frac{R1 * R2}{R1 + R2}$$



11.att.

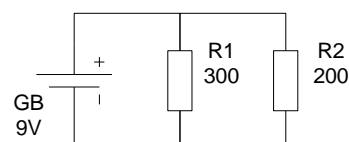
APRĒĶINU PIEMĒRI

1. Kāda ir abu rezistoru kopējā patērētā strāva ?

Atrisinājums: 1. Aprēķinam kopējo pretestību

$$R = 300 * 200 / 300 + 200 = 120\Omega$$

2. Aprēķinam strāvu $I = U / R = 9 / 120 = \underline{0,075A = 75mA}$



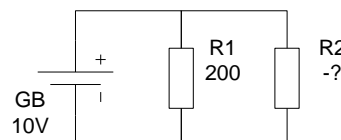
2. Kādu izvēlēties R2, lai kopējā abu rezistoru patērējamā strāva būtu 0,15A ?

U	R	R1	R2	I	I1	I2
10V!		200Ω	?	0,15A		!

Atrisinājums: 1. $I1 = U / R1 = 10 / 200 = 0,05A$

2. $I2 = i - i1 = 0,15 - 0,05 = 0,10A$

3. $R2 = U / I2 = 10 / 0,1 = \underline{100\Omega}$

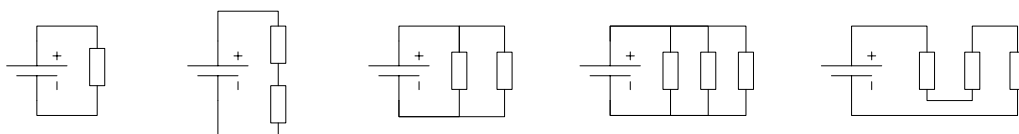


EKSPERIMENTS

Attēlā redzami 5 dažādi slēgumi. Visas baterijas (vai labāk 5V sprieguma avots, ar īsslēguma aizsardzību) ir vienādas un visi rezistori vienādi (piemēram, 470Ω)

Uzdevums:

1. Miniet, kurš no šiem slēgumiem patērē vairāk strāvas no baterijas ?

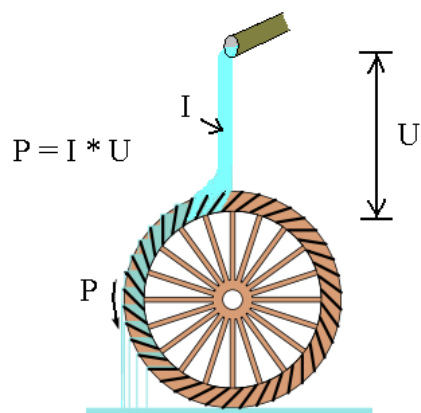


2. Izmēriet un pierakstiet visu slēgumu patērēto strāvu! Atceramies, ka ampērmetrs vienmēr jāslēdz virknē ar slēgumu, līdzīgi kā 6.attēlā!

IV. Elektriskā jauda

Jau atkal neliela līdzība elektriskajam slēgumam ar līstošu ūdeni.

Šoreiz ūdens tek no zināma augstuma un atdod savu kustības enerģiju ūdens dzirnavu ratam. Jo vairāk ūdens tek, jo ar lielāku enerģiju, jaudu tiek griezts rats. Jo no lielāka augstuma tek ūdens, jo lielāka kustības enerģija tam piemīt, kuru tas atdod ratam. Salīdzinājumā elektriskā ķēdē ir spriegums U (līdzvērtīgs ūdens krišanas augstumam) un strāvas stiprums I (līdzvērtīgi ūdens daudzumam). Elektriskā jauda P , ko mēra vatos (W) ir abu šo lielumu reizinājums.



15.att.

Elektriskā strāva plūstot ķēdē veic kādu darbu – iedez spuldzīti, griež elektrodzinēju, kustina Skaļruņa membrānu vai vienkārši uzsilda detaļas, kā, piemēram, rezistoru. Visa rezistorā izdalosā elektriskā enerģija pārvēršas siltumenerģijā.

Katram rezistora veidam („izmēram”) ir noteikts elektriskās jaudas ierobežojums – nominālā jauda. Līdz šai robežai rezistors darbojoties uzsilst, bet to pārsniedzot – pārkarst, vai pat sadeg, kā redzams 16. attēlā :

Rezistoru nominālās jaudas standartlielumi ir 0,062W, 0,125W, 0,25W, 0,5W, 1W, 2W, 5W u.c.



APRĒĶINA PIEMĒRS

Kādas nominālās standartjaudas rezistors jālieto 8. attēla slēgumā (ņemot vērā ar šo attēlu saistītā uzdevuma aprēķinus kā dotos lielumus) ?

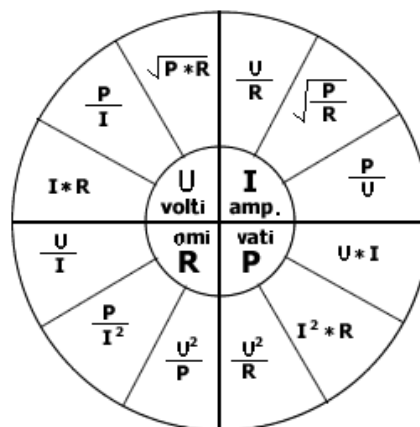
Atrisinājums: Zināms, ka strāvas stiprums ķēdē ir 0,1A un spriegums uz rezistora ir 3V. Tātad tajā izdalās sekojoša elektriskā jauda: $0,1 * 3 = 0,3W$. Tātad varam lietot rezistoru ar standartjaudu **0,5W vai vairāk**.

UZDEVUMS

Aprēķināt kāda siltumjauda izdalās 10. attēlā redzamajā rezistorā R_2 !
Kādas nominālās standartjaudas rezistors šeit jālieto ?

Un nodaļas beigās apkopojumam vēl neliels „špikeris” kurā apkopotas visas iespējamās savstarpējo attiecību kombinācijas starp strāvas stiprumu, spriegumu, elektrisko pretestību un elektrisko jaudu. Tās attiecināmas gan uz visu slēgumu un tā parametriem, gan uz ķēdes posmi!

No šīm sakarībām atcerēties derētu vien $I = U/R$ un $P = U*I$



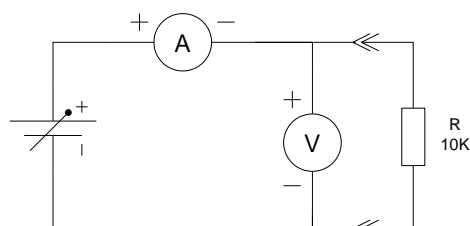
V. Gaismas diodes VAR !

Vispār jau gaismas diodes var izstarot gaismu, bet virsrakstā minētais „VAR” ir abreviatūra, saīsinājums no 3 vārdiem: **volt – ampēr raksturlīkne**. Izklusās sarežģīti, bet tā ir pietiekami vienkārša un ļoti nozīmīga elektronikas komponentu pētīšanas metode.

Kā to dara ?

EKSPERIMENTS

Nemam pētāmo elementu, piemēram, 10 kΩ pretestības rezistoru, voltmetru un ampērmetru (parasti divus elektriskos multimetrus, vienu ieslēgtu sprieguma mērīšanai, otru strāvas stipruma mērīšanai), kā arī regulējama sprieguma līdzstrāvas avotu. Eksperimenta slēgums parādīts 18.attēlā. **Ielāgojiet, kā pieslēdz voltmetru ķēdei un kā ampērmetru ! Izmēriet voltmetra un ampērmetra pretestību !**



18.att.

Mainot barošanas avota spriegumu, dažādos momentos pierakstam voltmetra un ampērmetra rādījumus. Piemēram, nolasām trīs situācijas :

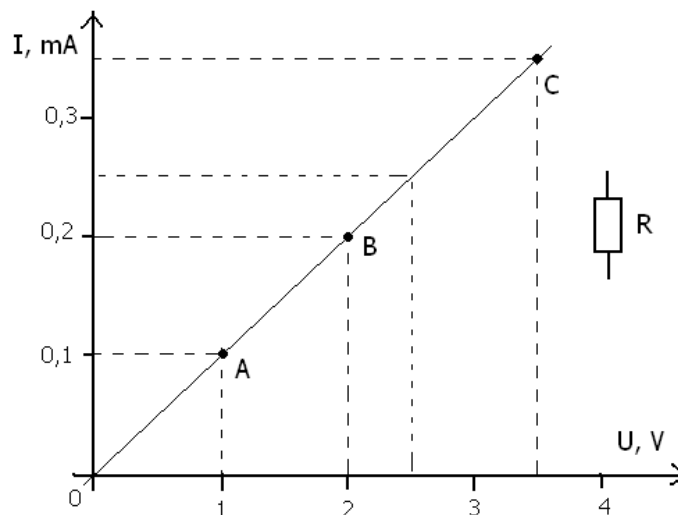
A: $U = 1,0V$, $I = 0,10mA$

B: $U = 2,0V$, $I = 0,20mA$

C: $U = 3,5V$, $I = 0,35mA$

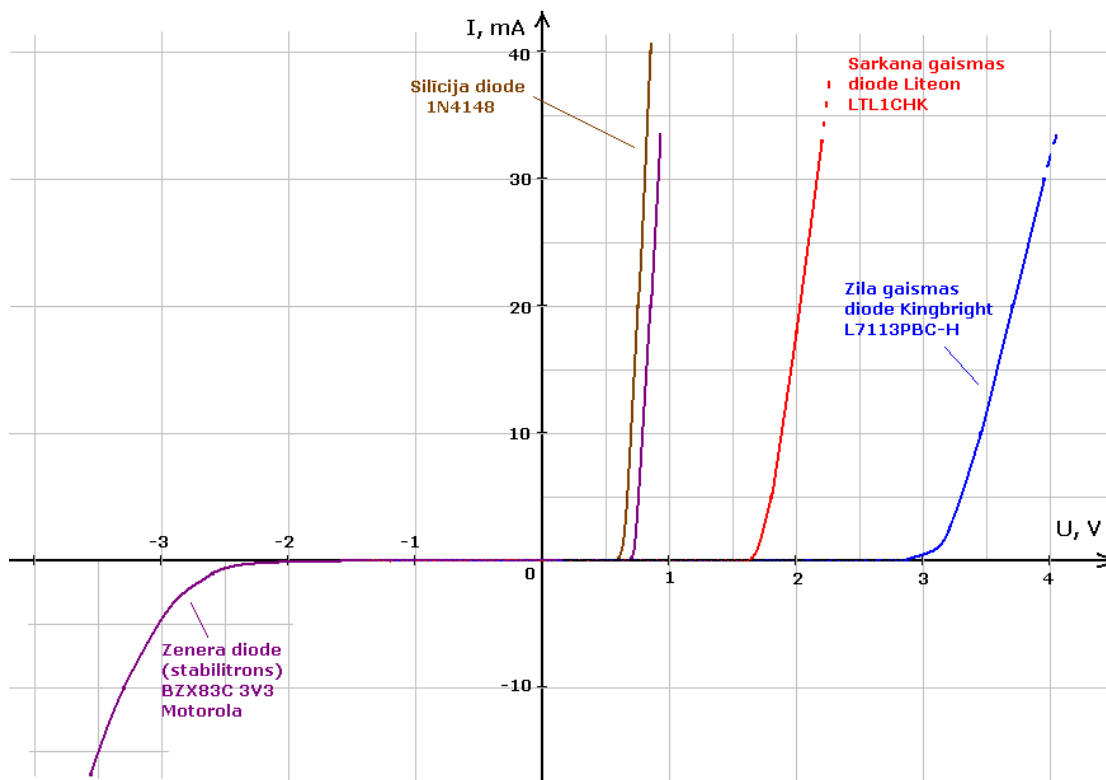
Izmērītos lielumus – punktus A, B un C iezīmējam 19.att. redzamajā diagrammā. Katru punktu iezīmējam tā, lai tam pretim būtu attiecīgās sprieguma un strāvas stipruma vērtības.

Tagad redzam, ka visi 3 punkti atrodas uz vienas iedomātas taisnes. Gadījumā ar rezistoru tiešām nebūsim kļūdījušies, ja mēs novilksim šo taisni. Tagad ar šī grafika palīdzību mēs varam atrast atbilstošu strāvu ķēdē arī pie citiem spriegumiem, bez mērījumu veikšanas. Piemērā 19. attēlā rādīts kā noteikt strāvas stiprumu pie 2,5V sprieguma.



19.att.

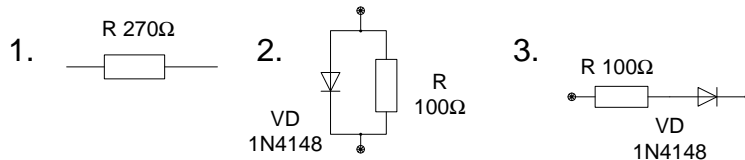
⊗ Rezistora volt-ampēr raksturlīkne ir taisne, taisna līnija, tāpēc rezistorus sauc par lineāriem elementiem. Tagad apskatīsim pusvadītāju elementu – gaismas diodi un tās VAR. Lai nesabojātu pētāmo gaismas diodi vēlams 18. attēla shēmu papildināt ar 100Ω rezistoru, slēdzot to virknē ar ampērmetru. Dažādu pusvadītājdiožu VAR redzamas 20.att.



20.att.

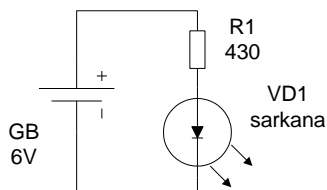
UZDEVUMI

1. Izmantojot 18.att. redzamo mērīšanas slēgumu noskaidrojiet un uzzīmējiet VAR sekojošiem elementiem un to kombinācijām:



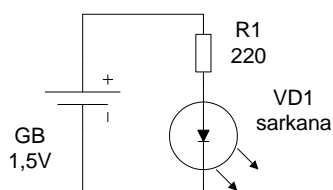
2. Vispirms izsakiet pamatotos minējumus, tad precizējiet tos aplūkojot 20.att. VAR. Visbeidzot ņemiet minētos elementus, ampērmetru un izmēriet strāvas stiprumus! Izskaidrojiet rezultātus!

Baterijas spriegumu palielinot 2 reizes strāvas stiprums ķēdē pieaugs:



- A: mazāk kā 2 reizes
- B: 2 reizes
- C: vairāk kā 2 reizes
- D: vismaz 10 reizes
- E: vairāk kā 100 reizes

Baterijas spriegumu palielinot 2 reizes strāvas stiprums ķēdē pieaugs:



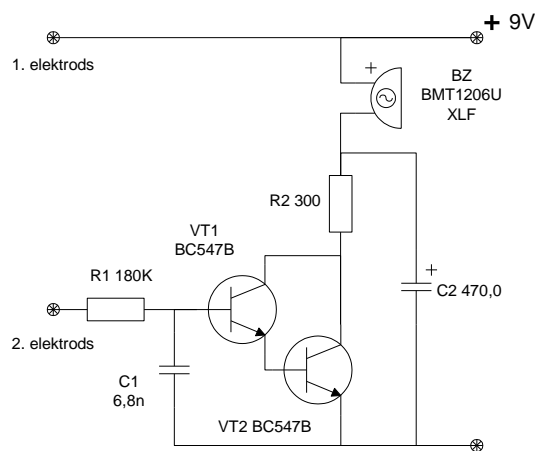
- A: mazāk kā 2 reizes
- B: 2 reizes
- C: vairāk kā 2 reizes
- D: vismaz 10 reizes
- E: vairāk kā 100 reizes

VI. Šis un tas par tranzistoru jeb

„Elektriskais dzīvais aplis”

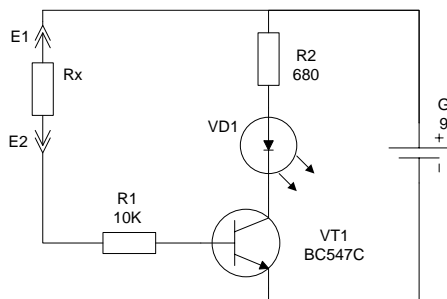
Šī mazā ierīcīte izdod skaļu skaņu, ja starp diviem tās elektrodiem atrodas jebkāda matērija ar elektrisko pretestību līdz $50\text{ M}\Omega$. Piemēram, ja 10 cilvēki sadosies rokās un izveidos pārrautu apli un šīs ķēdes pirmais un pēdējais cilvēks pieskārsies katrs savam shēmas elektrodam, atskanēs skaņas signāls.

1.att.



Jūs noteikti spēsiet patstāvīgi izdomāt arī kādas interesantas spēles noteikumus, kurā varētu lietot šo ierīcīti. **Un tagad papētīsim kā tāda shēma darbojas :**

Lai to paveiktu, vispirms apskatām vienkāršotu ierīces shēmas versiju – 2.attēlā.



2.att.

Pieskaroties ar pirkstiem elektrodiem E1 un E2 (metāla plaksnītes, vai vienkārši notīrīti, apalvoti vadu gali) spoži iedegsies gaismas diode VD1. Ar rezistoru R_x shēmā domāta cilvēka pretestība, kurš pieskārsies elektrodiem E1 un E2.

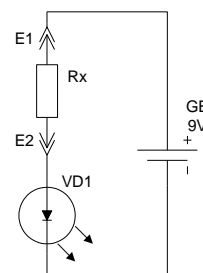
EKSPERIMENTS Nr. 1

Interesanti, vai tādu efektu varam panākt neizmantojot tranzistoru VT1? Pamēģinām:

Kā redzam šajā gadījumā gaismas diode vai nu nespīd nemaz vai spīd ļoti vāji.

Secinājums: Tranzistors pastiprināja vājo strāvu, kas plūda caur cilvēka pirkstiem un nodrošināja daudz lielāku diodei caurplūstošo strāvu.

3.att.



EKSPERIMENTS Nr. 2

Nemam elektrisko multimetru (līdzīgu kā 4.att. redzamais) ieslēgtu līdz $2M\Omega$ lielas pretestības mērīšanas režīmā un saspiežam tā taustu metāla galus pirkstos. Vienu taustu labajā rokā, otru kreisajā. **Ievērojam** – jo spēcīgāk saspiežam taustus pirkstos, jo mazāku pretestību uzrāda multimetrs.



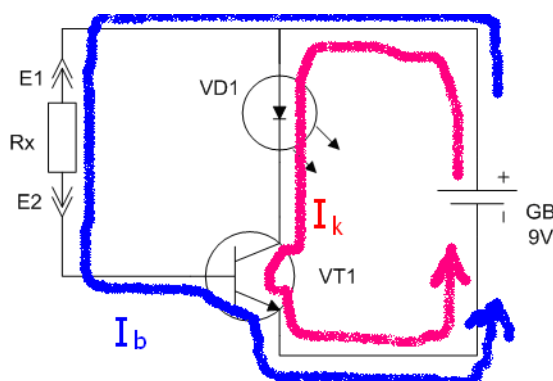
4.att.

EKSPERIMENTS Nr. 3

Nemam 2.attēlā redzamās ierīces elektrodus katru savā rokā ! Novērojam, ka, jo stiprāk saspiežam elektrodus, jo spožāk spīd gaismas diode !

Ko mēs varam secināt no eksperimentiem Nr. 2 un Nr. 3 ?

Kā jau zinām, ja elektriskajai ķēdei piemīt mazāka pretestība, tajā plūst lielāka strāva. Tātad saspiežot elektrodus, mēs palielinām strāvu ķēdē. Tā kā vienlaikus gaismas diode sāk spīdēt spilgtāk, varam noprast, ka tranzistoram VT1 piemīt noteikts **strāvas pastiprināšanas koeficients**: teiksim, strāva caur gaismas diodi ir 400 reižu lielāka, kā strāva caur pirkstiem pie elektrodiem E1, E2.



5.att.

$$I_k = \beta * I_b$$

Slēgums, kas redzams 5.att. ir līdzīgs 2.att. slēgumam, tikai tajā ar bultiņām parādīts strāvas ceļš divās slēguma daļās:

⊗ Strāva I_b , jeb „bāzes strāva” plūst no baterijas GB pozitīvās spaiļes cauri pretestībai R_x un no tranzistora bāzes uz emiteru un uz baterijas „-” spaili.

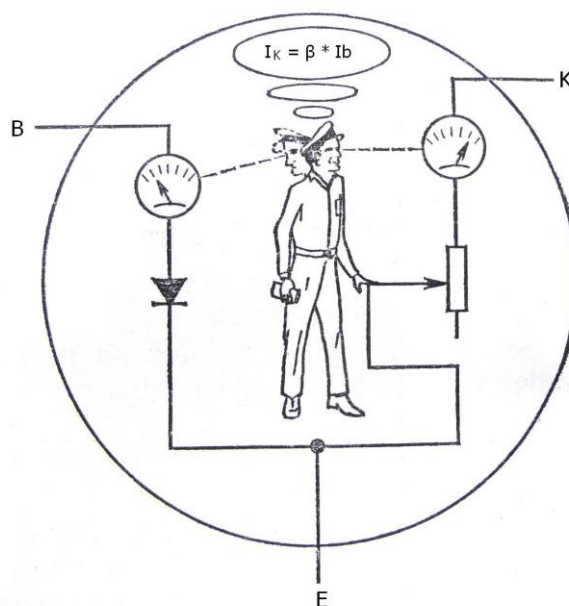
⊗ Strāva I_k , jeb „kolektora strāva” plūst no baterijas GB pozitīvās spaiļes cauri gaismas diodei VD1 un no tranzistora kolektora uz emiteru un uz baterijas „-” spaili.

⊗ Kā redzam strāva posmā no tranzistora emitera līdz baterijas „-” spaiļei ir abu iepriekšējo strāvu summa: $I_E = I_k + I_b$

⊗ Savukārt pašu galveno tranzistora īpašību – spēju pastiprināt strāvu, varam mēģināt izteikt ar vienkāršotu vienādojumu $I_k = \beta * I_b$, kur β – strāvas pastiprināšanas koeficients, lielums, kas aptuveni rāda cik reizes kolektora strāva var būt stiprāka par bāzes strāvu.

Amerikāņu autori P. Horovits un V. Hills savā populārajā grāmatā elektronikas iesācējiem „The Art of Electronics” tranzistora darbību tēlaini ataino šādi:

6.att.



Autori uzbur mums it kā tranzistorā mājjošu cilvēciņu, kurš nolasa bāzes strāvas rādījumus un atbilstoši ieregulē kolektora strāvas stiprumu, mainot pretestību starp kolektoru un emiteru. Tieši tā arī turpmāk iztēlosimies tranzistoru:

- 1) Starp kolektoru un emiteru tas uzvedas kā strāvas stipruma stabilizētājs
- 2) Posms bāze – emiteri tiešām ir līdzvērtīgs attēlā redzamajai diodei ar sprieguma kritumu uz tās ap 0,7V
- 3) Normālā darba režīmā varam uzskatīt, ka starp bāzi un kolektoru nav nekādas tiešas saiknes un strāva starp šiem izvadiem neplūst.
- 4) $I_K = \beta * I_b$, kur β – strāvas pastiprināšanas koeficients, izpildās vienmēr, ja vien ārējā ķēde spēj dot šāda stipruma strāvu.

UZDEVUMU PIEMĒRI

1. Aprēķināt kādai jābūt rezistora R pretestībai, lai ampērmetrs PA uzrādītu 3A stipru strāvu ?

Atrisinājums: Tātad dotie lielumi ir sekojoši – kolektora strāva $I_K = 3A$, tranzistora līdzstrāvas pastiprinājuma koeficients $\beta = 40$, baterijas spriegums ir 9V.

Varam izrēķināt nepieciešamo bāzes strāvu: $I_K = \beta * I_B$ sekojoši: $I_B = I_K / \beta$

$$I_B = 3 / 40 = 0,075A$$

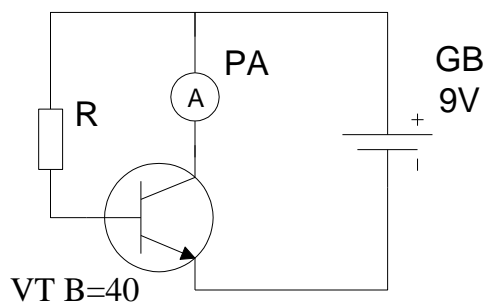
Tagad aprēķinām sprieguma kritumu uz rezistora R (skatīt 7. att.)

$$U = U_R + U_{BE} \text{ sekojoši: } U_R = U - U_{BE}$$

$$U_R = 9 - 0,7 = 8,3V$$

Tagad aprēķinām prasīto: $I_B = I_R = U_R / R$ sekojoši: $R = U_R / I_B$

$$R = 8,3 / 0,075 = 111\Omega$$



2. Aprēķināt kāds ir spriegums starp tranzistora emiteru un kolektoru !

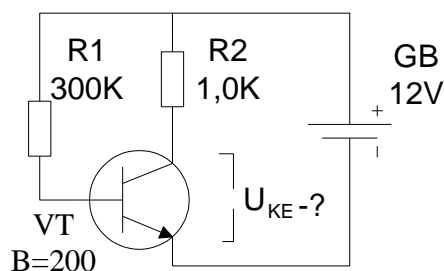
Atrisinājums: $U_{R1} = U_{GB} - 0,7 = 12 - 0,7 = 11,3 \text{ V}$

$$I_B = I_{R1} = U_{R1} / R1 = 11,3 / 300000 = 0,0000377 \text{ A} = 37,3 \mu\text{A}$$

$$I_K = \beta * I_B = 200 * 0,0000377 = 0,00753 \text{ A}$$

$$I_K = I_{R2}; U_{R2} = I_{R2} * R_2 = 0,00753 * 1000 = 7,53 \text{ V}$$

$$U_{KE} = U_{GB} - U_{R2} = 12 - 7,53 = 4,47 \text{ V}$$



3. Tieši tāds pats uzdevums kā iepriekšējais tikai nomainām nosacījumos $\beta = 400$! Domājat tas ir vienkārši ? Pamēģināsim !

Atrisinājuma pirmās 2 rindiņas identiskas, trešajā $I_K = 0,0151 \text{ A}$,
Bet ceturtajā sanāks $U_{R2} = 15,1 \text{ V}$

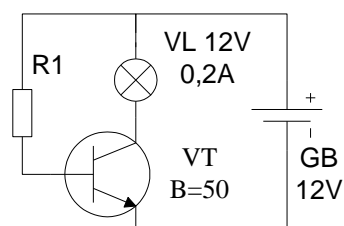
Tad nu gan brīnumi, baterija mums dod 12 V spriegumu, bet te daļa no šī sprieguma sanāk 15,1 V !? Protams, tas nav iespējams un tas tā nav. Jau aprēķinātā I_K strāva ir neiespējami liela, jo šis ir tas gadījums, kad ārējā ķēde – rezistors R2 ierobežo kolektora strāvas stiprumu. Maksimālā iespējamā kolektora strāva ir $U_{GB} / R_2 = 12 / 1000 = 0,012 \text{ A}$.

Tātad atbilde ir: spriegums $U_{KE} = 0$. Praktiski tas nav gluži nulle, bet tuvu tam gan.

Šādu situāciju, kad mūsu formula $I_K = \beta * I_B$ neizpildās, sauc par tranzistora darbību piesātinājuma režīmā. Tas raksturīgs tikai shēmām, kurās tranzistoru lieto kā elektronisku slēdzi, bet ne kā pastiprinātāju.

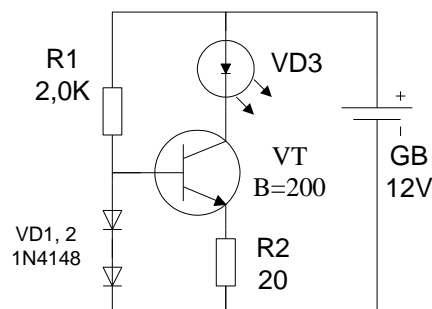
UZDEVUMI

4. Aprēķināt kādai jābūt R1 pretestībai, lai spuldzīte spīdētu ar pilnu jaudu ! Atbilde noteikti jāsniedz ar pilnu teikumu, nevis tikai skaitli !



5. Aprēķināt 2. uzdevuma attēlā redzamajā shēmā nepieciešamo R1 rezistora pretestību, lai spriegums U_{KE} būtu 7,0 V !

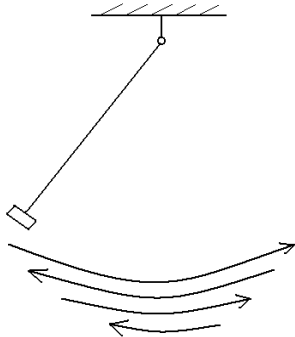
6. Aprēķināt tranzistora kolektora strāvas stiprumu I_K ! VD1 un VD2 ir parastas silīcija diodes ar sprieguma kritumu ap 0,7 V uz katru. Sākt aprēķinu ar spriegumu uz VD1, 2, necenšamies izrēķināt bāzes strāvu, mēģinām noteikt I_E !



VII. MAINSTRĀVA

1. Svārstības – mehāniskas un elektriskas

1.1. Rimstošas svārstības

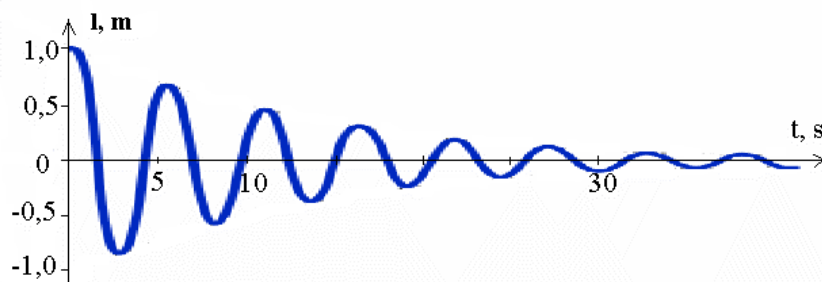


1.att.

Atvirzīsim šūpoles par 1m no līdzsvara stāvokļa un palaidīsim tās (1.att.). Šūpoles svārstīsies turp, šurp, ar arvien samazinošos vāzienu, jeb amplitūdu. Amplitūda – maksimālā novirze no miera stāvokļa ar katru svārstību samazināsies. Tās ir rimstošas svārstības.

2. attēlā šīs svārstības pierakstītas grafikā. Pa vertikāli atainota šūpoļu momentānā novirze no līdzsvara stāvokļa l , kas mērīta metros. Novirze pa kreisi (1.att.) pierakstīta kā pozitīva vērtība, bet novirze pa labi no līdzsvara stāvokļa – kā negatīva. Grafika jeb diagrammas (divu lielumu vienlaicīga attēlojuma) horizontālā līnija ir

laika ass, uz kuras atlikts laiks sekundēs, kas pagājis no kāda laika atskaites sākumpunkta (šeit – brīdis, kad atlaistas šūpoles).



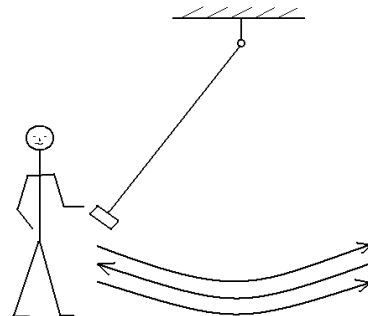
2.att.

Piemēram, redzam, ka 5 sekundes pēc atskaites sākumpunkta šūpoles atradušās pozīcijā +0,5m, kas ir 50cm pa kreisi no līdzsvara stāvokļa.

1.2. Nerimstošas svārstības

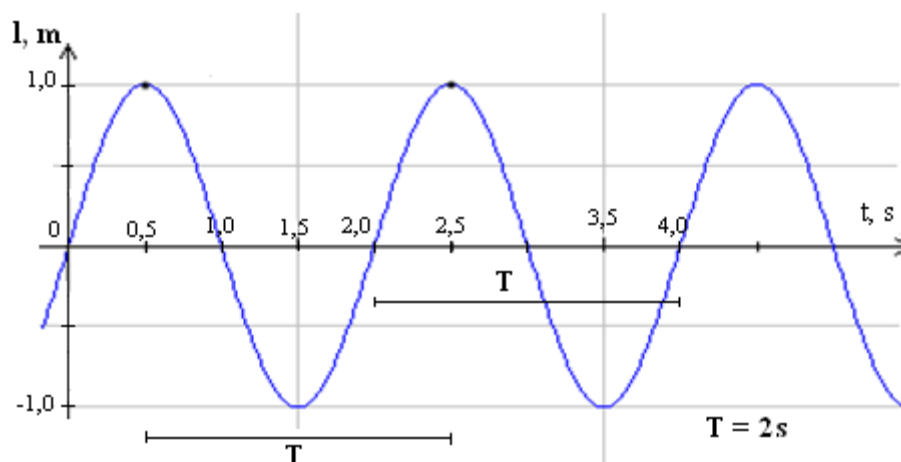
Lai kompensētu enerģijas zudumus svārstību sistēmā – šūpolēs, un panāktu, ka tās neapstājas, nepieciešams papildus pievadīt enerģiju. To var darīt 3.att. redzamais cilvēciņš ik reizi mazliet pagrūžot šūpoles tā, lai to svārstību amplitūda A (maksimālā novirze no līdzsvara stāvokļa) nemainītos (4.att.)

Šādām svārstībām izšķir vairākus parametrus, tādus kā **svārstību amplitūda A** , **svārstību dubultamplitūda A_{pp}** , **svārstību periods T** un **svārstību biežums jeb frekvence f** .



3.att.

Svārstību amplitūda A 4.attēlā parādītajam svārstību procesam ir 1m.



4.att.

Dubultamplitūda A_{pp} ir attālums starp abiem tālākajiem novirzes punktiem $A_{pp} = 2m$.

Svārstību periods T ir laiks, kurā noris viens svārstību cikls, viena pilna svārstība – skat. 4.att. $T = 2s$

Svārstību biežums, jeb frekvence f ir svārstību skaits sekundē. Piemērā 4. attēlā $f = 0,5$ reizes sekundē, jeb $0,5/s$, ko pieraksta arī kā $0,5$ Hz. **Hercs** (Hertz, Hz) svārstību frekvences mērvienība, kas ir tās pašas reizes sekundē. 10 Hz ir 10 reizes sekundē. $0,5$ Hz ir viena svārstība divās sekundēs.

Svārstību periods un svārstību frekvence ir savā starpā saistīti lielumi:

$$f = 1 / T \quad \text{un} \quad T = 1 / f$$

1.3. Elektriskas svārstības – maiņstrāva

Ar elektriskām svārstībām saprot laikā mainīgu spriegumu un strāvas stiprumu. Elektriskas svārstības raksturo ar tiem pašiem parametriem kā iepriekš minētās mehāniskās svārstības – amplitūda, dubultamplitūda, svārstību periods un svārstību biežums jeb frekvence.

Ja vads pārvietojas magnētiskā laukā, uz tā var rasties elektrisks spriegums. Vai otrādi – mainoties magnētiskajam laukam ap vadu, vadā radīsies elektrisks spriegums.

EKSPERIMENTS

Nemam plastmasas vai papīra cauruli ar diametru ap 30mm, tās vidū uztinām pāris desmitus vijumu jebkāda izolēta vada. Vada galus pieslēdzam osciloskopam. Koka vai plastmasas nūjiņas galā piesienam mēbeļu magnētu (6.att.). Kustinām magnētu spoles iekšienē un vērojam sprieguma izmaiņas osciloskopa ekrānā.

5.att.





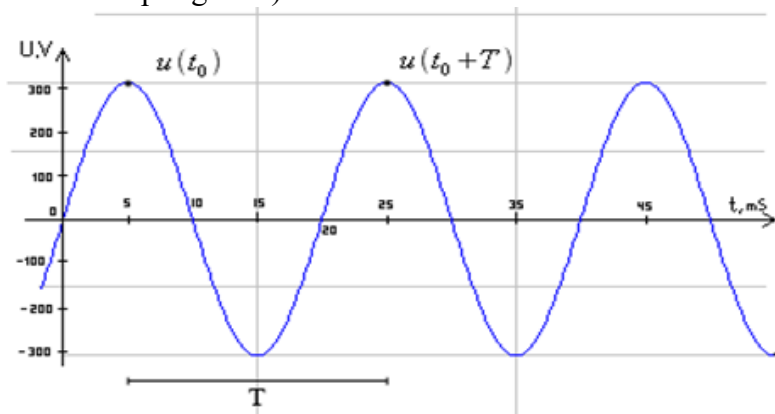
Lai samazinātu ārējos traucējumus pieslēdzam spolei $\sim 100\Omega$ slodzes pretestību (5.att.)

- Izmēģinām kā magnēta orientācija iespaido spolē radītos sprieguma impulsus!

6.att.

Sadzīves maiņstrāvas tīkla sprieguma oscilogramma parādīta 7. attēlā (Nekad nemēģiniet pieslēgt osciloskopa ieeju maiņstrāvas tīklam – tas var izraisīt: 1) īsslēgumu 230V maiņstrāvas tīklā, ja osciloskops ir sazemēts 2) uz osciloskopa korpusa parādīsies bīstams 230V fāzes spriegums!).

Spriegums fāzes vadā attiecībā pret kopējo jeb „nullvadu” no 0 mainās līdz $+325\text{V}$, tad nokrītas līdz 0, sasniedz -325V vērtību, 0 un process atkārtojas. Redzam, ka svārstību periods $T = 20\text{ms}$, tātad svārstību biežums $f = 1/0,020 = 50\text{Hz}$

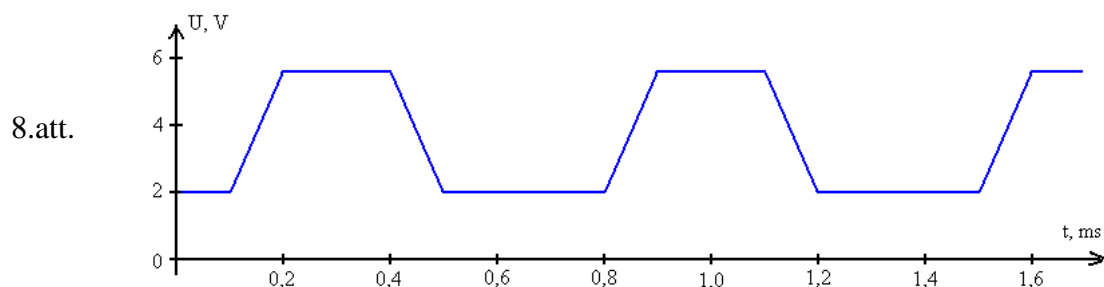


7.att.

- Pēc formas tas ir t.s. sinusoidāls maiņspriegums – tā formu matemātiski apraksta *sinus* funkcija.
- Spriegums rozetē saucas „230V”, bet patiesībā tur brīžiem mēdz būt 325V. Kāpēc tā? 325V šeit ir amplitūdas vērtība, bet 230V ir t.s. *efektīvā* sprieguma vērtība. Tā ir tāda līdzsprieguma vērtība, kas rezistīvā slodzē izdalītu tādu pašu jaudu kā dotais maiņspriegums vidēji, ilgākā laika periodā.

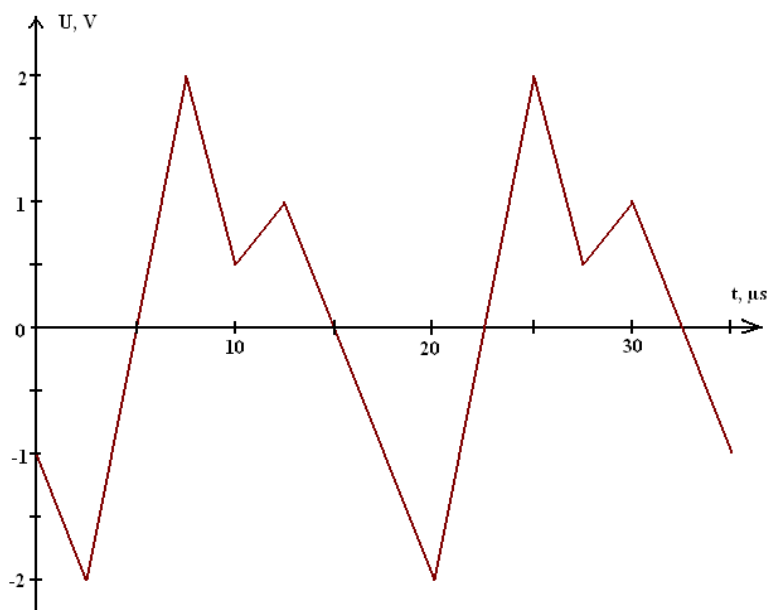
UZDEVUMS

Noteikt 8. un 9. attēlā redzamo elektrisko svārstību parametrus: svārstību periodu un svārstību frekvenci !

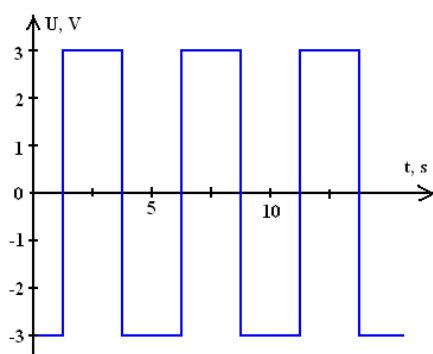


8.att.

9.att.

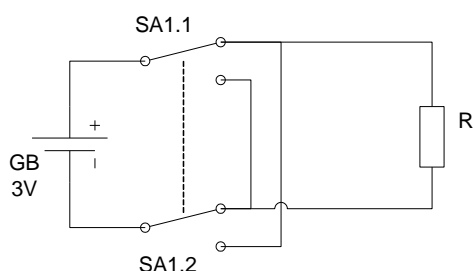


1.4. Maiņstrāvas amplitūdas un efektīvā vērtība

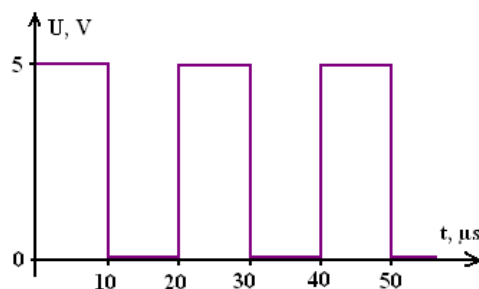


10.att.

- 10. attēlā redzams maiņspriegums ar sekojošiem parametriem: $T = 5\text{s}$; $f = 0,2\text{Hz}$; $U_a = 3\text{V}$; $U_{ef} = 3\text{V}$. Šajā gadījumā sprieguma maksimālā (amplitūdas) un efektīvā vērtība ir vienādas. Šādu maiņspriegumu var iegūt ar 11.attēlā redzamo slēdžu, ik pēc 2,5 sekundēm pārslēdzot slēdzi SA1 pretējā stāvoklī. Spriegums nemainās, mainās tikai tā polaritāte.



11.att



12.att.

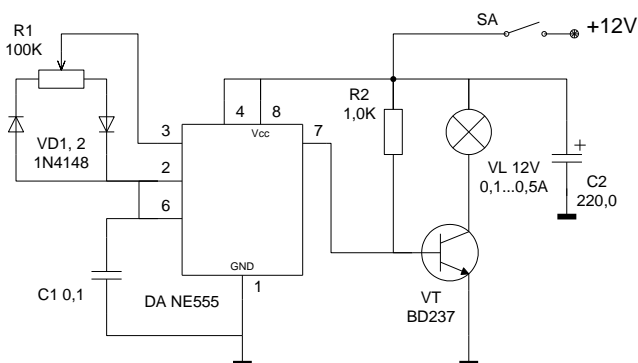
- Savukārt 12. attēlā redzamo maiņspriegumu raksturo šādi parametri: $T = 20\mu\text{s}$; $f = 50\text{kHz}$; $U_a = 5\text{V}$; $U_{ef} = 2,5\text{V}$. Pusi laika spriegums ir 5V („ieslēgts”), pusi: 0V („izslēgts”), vidējā efektīvā vērtība ir 2,5V.
- Sinusoidāla maiņsprieguma (skat. 7.att.) efektīvā un amplitūdas vērtības savā starpā attiecas kā $1 : \sqrt{2}$ $U_a = \sqrt{2} U_{ef}$ vai $U_{ef} = U_a / \sqrt{2}$ vai $U_{ef} = 0,707 U_a$
- Mainot taisnstūra impulsu platumu, bet nemainot to sekošanas biežumu (frekvenci) var mainīt sprieguma efektīvo vērtību nemainot tā amplitūdu. Seko praktisks piemērs:

Ģenerators ar regulējamu impulsu platumu

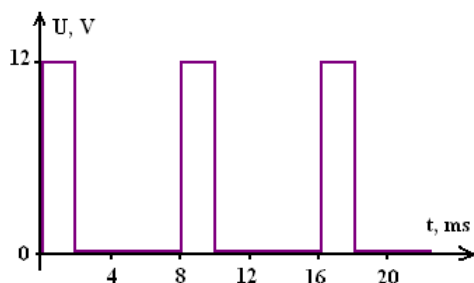
Ģenerators, kura elektrisko shēmu redzam 13.attēlā, paredzēts efektīvai elektriskās jaudas regulēšanai līdzstrāvas slodzē: kvēlspuldzei, elektrodzinējam, sildelementam u.c.

Ģenerējamo taisnstūra impulsu frekvence ir nemainīga, ap 125Hz, svārstību periods 8ms, ar maiņrezistoru R1 var regulēt impulsu platumu robežās no 0...8ms

tā, ka maiņrezistora slīdkontakta galējos stāvokļos impulsu ģenerācija tiek pārtraukta un slodze (VL) ir pastāvīgi izslēgta vai ieslēgta.



13.att.



14. attēlā redzama sprieguma laika diagramma uz šīs shēmas slodzes (kvēlspuldzes VL) situācijā kad impulsa platums ir 2ms, kas ir 25% no impulsa atkārtošanās perioda. Arī efektīvais spriegums tad ir 25% no amplitūdas sprieguma un tie ir 3V.

Vēl praktisks piemērs – robotu tehnikas elements

Robotu tehnikā plaši pielieto t.s. servodzinējus, vienkāršākā izpildījumā

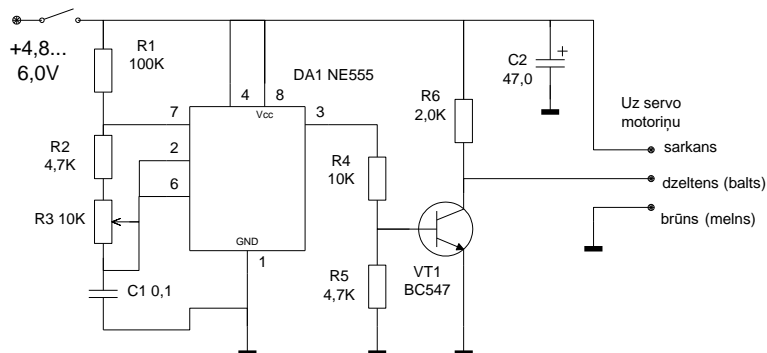
sauktus arī par stūres mašīnītēm. Šīs ierīces vārpsta parasti var rotēt 60..180⁰ leņķa diapazonā. Tās stāvokli nosaka no vadības iekārtas saņemtā impulsa platums. Galējiem vārpstas stāvokļiem atbilst 1ms un 2ms garī impulsī.

Impulsu sekošanas

frekvence- ap 50Hz. Servodzinēja vadības shēma, kas redzama

15.att., ir 0,7 līdz 2,2 ms garu impulsu ģenerators.

Tā impulsu atkārtošanās frekvence ir ap 55Hz. Šo ierīci var lietot servodzinēju testēšanai un to darbības demonstrējumiem.



15.att.

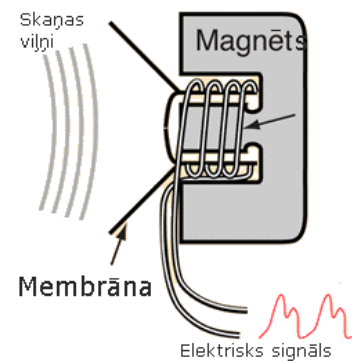
2. Elektriski signāli

2.1. Elektriski signāli un to iedalījums

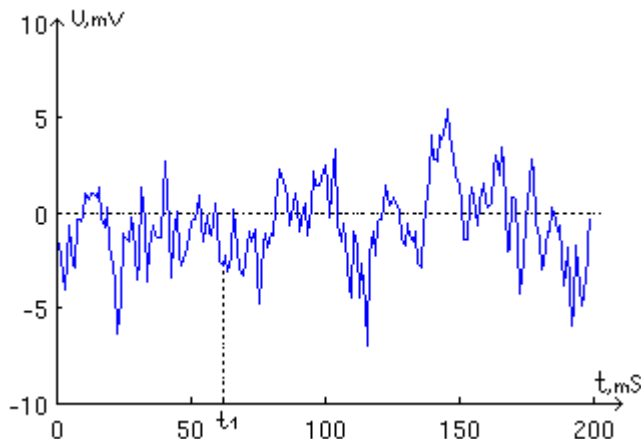
Citāts no latviešu valodas skaidrojošās vārdnīcas: “Signāls – zīme kādas ziņas, paziņojuma pārraidīšanai. Trauksmes signāls. Brīdinājuma signāls. Atbildes signāls. Starta signāls. Gaismas signāls. Radio signāli. Dot signālu. Signālu sistēma.” Tāda ir vārdnīcas atbilde uz jautājumu: “Kas ir signāls?”

Par elektrisku signālu sauc laikā mainīgu elektrisku lielumu (piemēram, spriegumu). Elektrisks signāls var saturēt kāda veida informāciju. Piemēram, informāciju par cilvēka runu vai kādām skaņām, par attēlu, tekstu, mēraparātu rādījumiem u.c.

Kā piemēru elektriska signāla avotam apskatīsim elektrodinamisko mikrofonu (16.att.). Tas sastāv no kustīgas membrānas (diafragmas), pastāvīgā magnēta un ar diafragmu mehāniski savienotas vara vada spolītes. Skaņas viļņi iesvārsta membrānu un pie tās piestiprināto spolīti. Ja spolīte noteiktā virzienā kustās pastāvīgā magnēta radītajā magnētiskajā laukā, tajā rodas (inducējas) elektriska strāva. Piemērs, kā laika diagrammā var izskatīties sprieguma izmaiņas uz mikroфона spolītes, redzams 17. att.



16.att.



17.att.



18.att.

Elektriskus signālus varam iedalīt vairākās grupās pēc dažādām to pazīmēm. Pirmkārt, pēc tā vai signāls ir vai nav **periodisks**. Periodiskam signālam varam novērot signāla formas periodisku atkārtošanos (7., 8., 9., 10., 18. att.). Neperiodiskam signālam (17.att.) šādu atkārtošanos nav iespējams atrast.

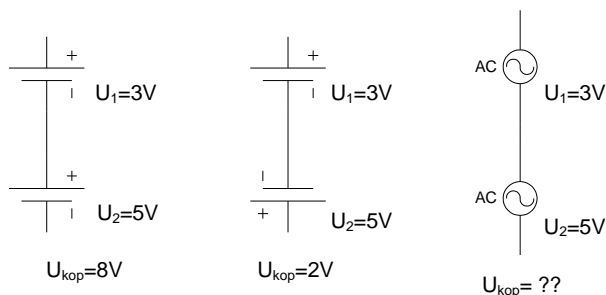
Otrkārt, signālus iedala **determinētos** (noteiktos) signālos un **gadījuma rakstura** signālos. Determinētu signālu forma un momentānās vērtības jebkurā laika momentā ir iepriekš zināmas vai atrodamas ar kādas zināmas likumsakarības palīdzību. Gadījuma rakstura signālu sprieguma izmaiņa nav viennozīmīgi prognozējama.

Tieši neperiodiski un neprognozējami signāli var saturēt informāciju, kas mūs var interesēt. Piemēram, televīzijas vai radio pārraides signāls. Periodiski un determinēti signāli parasti satur ļoti maz informācijas (Vai mūs interesēs diktora runa, ja tā saturēs tikai vienu, periodiski atkārtojošos vārdu vai teikumu?), toties tos ļoti ērti izmantot dažādos mērījumos un aparātūras testos.

2.2. Signālu summēšana. Signāla fāze.

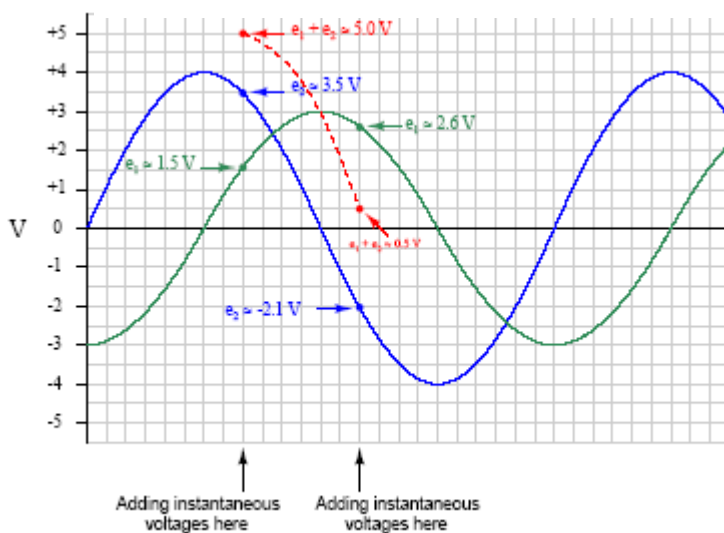
Virknē slēgtu līdzsprieguma avotu kopējais spriegums atkarīgs no to savstarpējās polaritātes (19.att.).

19.att.

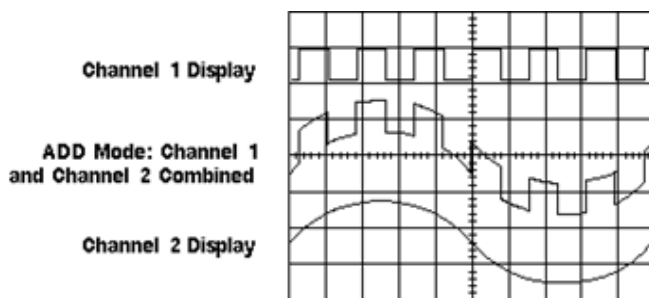


Mainšprieguma gadījumā (19.att. labajā pusē) mēs nevarēsim tik vienkārši noteikt kopējo spriegumu. Šajā gadījumā mēs varam iegūt kopējo momentāno spriegumu, summējot atsevišķo avotu momentānos spriegumus.

20.att.



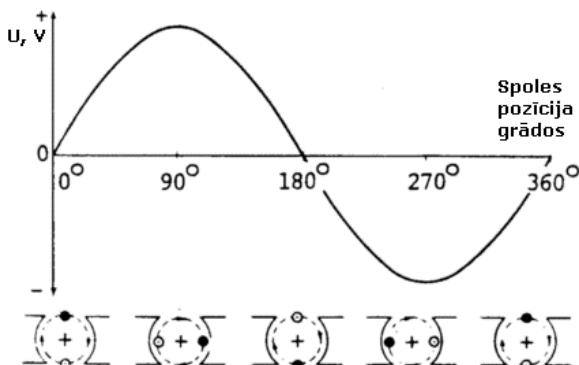
Rezultējošā signāla formu (20.att. pārtrauktā līnija) var iegūt punktu pa punktam grafiski summējot divu vai vairāku signālu momentānās sprieguma vērtības. Divu signālu grafisku summēšanu var parādīt ar divstaru osciloskopa palīdzību (21.att.), osciloskopu ieslēdzot saskaitīšanas režīmā “Add mode”. 21.att. vidū redzamais signāls ir sinusoīdas un meandra (taisnstūra) summa.

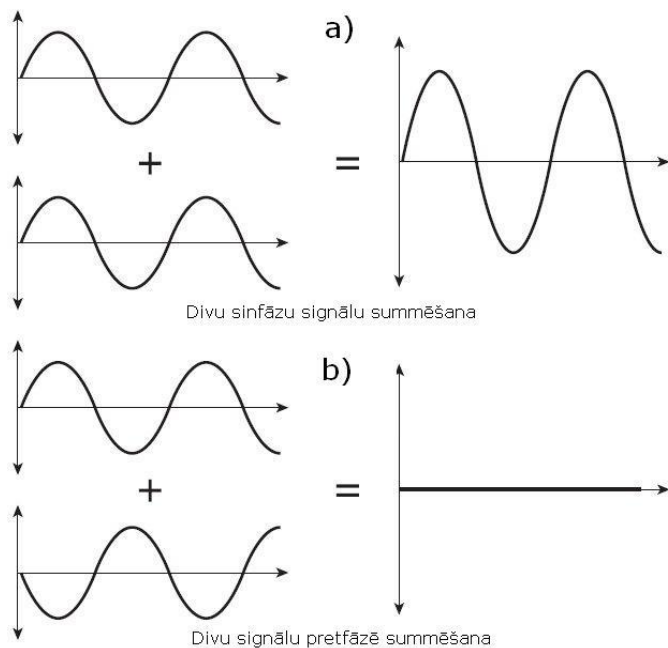


21.att.

Vienkāršs maiņstrāvas ģenerators, kas sastāv no pastāvīgā magnēta un vara vada rāmīša, rāmītim veicot vienu apgriezību, ģenerē vienu sprieguma svārstību periodu (22.att.). Līdzīgi, kā šī rāmīša vienu apgriezību par 360° , arī sinusoidāla maiņsprieguma vienu svārstību periodu mēdz dalīt 360 grādos (vai 2π radiānos).

22.att.





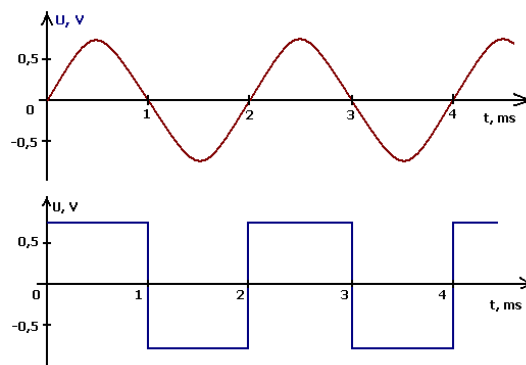
Divi vienādas frekvences, sinfāzi (tādi, kuriem nav savstarpējas fāzes nobīdes) signāli un to summēšanas rezultāts redzams 23.att.a)

Summējot divus vienādas frekvences sinusoidālus signālus pretfāzē (fāzes nobīde 180°), tie savstarpēji kompensējas (23.att.b)).

23.att.

2.3. Maiņstrāvas frekvenču spektrs

Pieslēdzam skaļruni funkciju ģeneratoram (vēlams ar $\sim 43\Omega$ rezistoru virknē) vai paštaisītam signālu ģeneratoram (27.att.), kas ģenerē 24. attēlā redzamos sinusa un taisnstūra formas signālus ar 500 Hz frekvenci. Klausoties pārmaiņus vienu un otru signālu, kā tie savā starpā atšķiras?



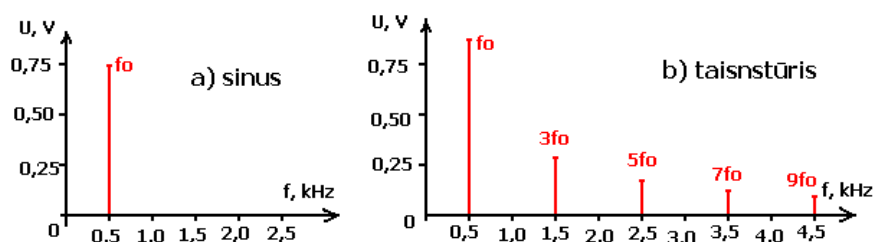
24.att.

1) Taisnstūra signāls izklausās skaļāks. Tas arī saprotams, jo pie vienādas spriegumu amplitūdas tā efektīvā vērtība ir 1,41 reizi ($\sqrt{2}$) lielāka, bet jauda 2 reizes lielāka.

2) Sinusa signāls izklausās „tīrs”, monotons – tas arī ir tikai viena toņa signāls. Tīri sinusoidāls spriegums ir vienīgais signālu veids, kas tiešām satur tikai vienu pamattoni, jeb frekvenču komponenti – šajā gadījumā $f_0 = 500\text{Hz}$. Visu citu formu periodiski signāli satur t.s. harmoniskās spektra komponentes jeb harmonikas. Tās ir komponentes ar frekvencēm $n \cdot f_0$, kur n – jebkurš vesels skaitlis (1;2;3;4...), f_0 - svārstību pamatfrekvence (mūsu gadījumā – 500 Hz).

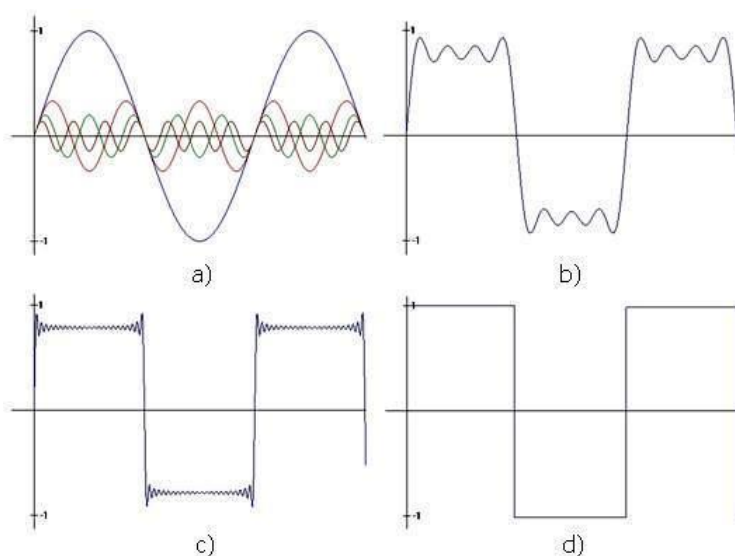
Taisnstūra signāls ir bagāts ar frekvenču spektra harmoniskajām komponentēm. Ideāli simetrisks taisnstūra formas signāls satur tikai nepāra harmonikas – 3., 5., 7. u.t.t.

Nākamajā attēlā (25.att.) parādīts sinusoidāla a) un taisnstūra b) signāla (tāda kā 24.att.) frekvenču spektrs. Katra līnija atbilst vienai spektrālajai komponentei, bet tās augstums parāda to, cik liels ir tās ieguldījums kopējā signāla jaudā.



25.att.

Mēģinām pārlicināties, ka no sinusoidāliem spriegumiem, atsevišķos spriegumus summējot grafiski, varam iegūt taisnstūra impulsu – 26.att. Attēla a) daļā atsevišķi uzzīmētas pamatkomponente f_0 , 3., 5. un 7. harmonikas, bet b) daļā – visu šo komponentu grafiska summa (līdzīgi kā iepriekš signālu summēšanu apskatījām



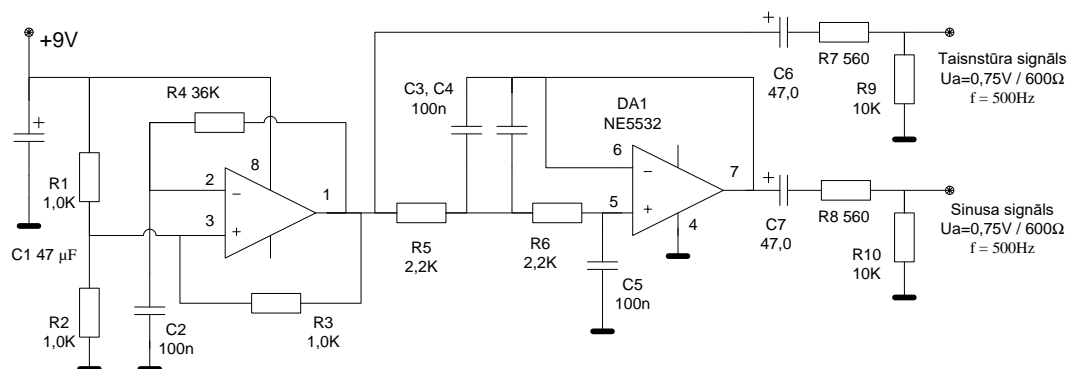
20.attēlā). Redzam, ka signāla forma jau ir visai līdzīga taisnstūrim, bet ar lēzenākām frontēm un līnijas „viļņošanos”. Jāatzīmē, ka tieši signālu sprieguma izmaiņas ātrums (kāpuma, krituma stāvums) norāda uz to vai šis signāls satur spēcīgas harmoniskās komponentes ar lielu kārtas skaitli n .

26.att.

Attēla c) daļā parādīts rezultāts summējot līdz pat 45.-ajai harmonikai, bet d) daļā – summējot bezgalīgi daudz harmoniskās.

Paštaisīts testa signālu ģenerators

Ģenerators (27.att.) darbības princips savādākā veidā pierāda iepriekš par taisnstūra signālu un tā frekvenču spektru teikto. Shēma sastāv no taisnstūra impulsu ģenerators (DA1 kreisā puse) un zemfrekvenču filtra (R5, 6; C3, 4, 5, DA1 labā puse). Zemfrekvenču filtrs lielā mērā vājina signāla augstākās harmonikas, bet maz vājina svārstību pamatfrekvenci – rezultātā izejā iegūstam gandrīz tīru sinusoidālu signālu.



27.att.

Dažas praktiskas shēmas nianšes: C3 un C4 paralēli veido 200nF kapacitāti. Filtra elementus C3, 4, 5 un R5, 6 būtu vēlams piemeklēt ar novirzi no nomināla ne vairāk kā +/- 1% robežās. Vēlams lietot norādīto operāciju pastiprinātāju NE5532. Iespējams piemeklēt arī citas markas

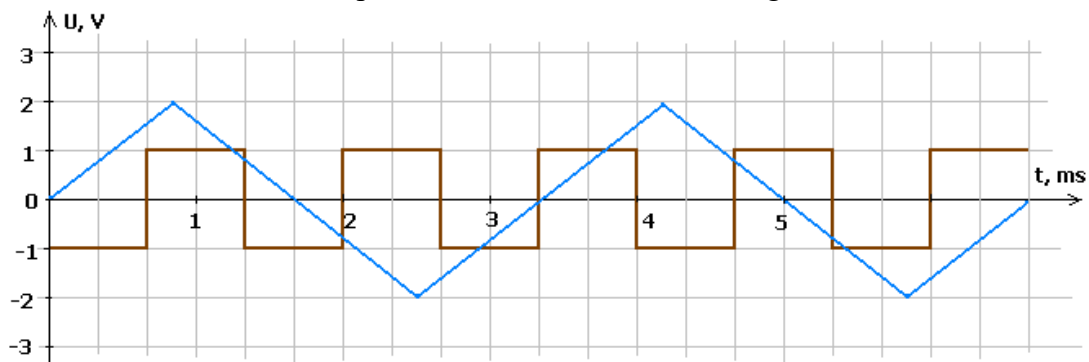
mikroskēmu, bet ,piemēram, LM358 un KA4558 markas operāciju pastiprinātāji šajā shēmā nespēj nodrošināt nepieciešamo izejas signāla formu.

Ja ir vēlme iegūt izcilas kvalitātes sinusoidālu signālu, jāpievieno vēl viens identisks zemfrekvenču filtrs aiz jau esošā.

Generators izejai drīkst pievienot arī zemas pretestības slodzi – skaļruni.

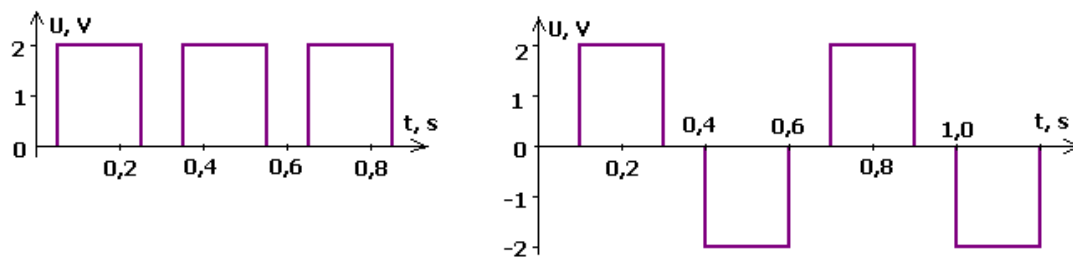
UZDEVUMI

1. Grafiski summēt taisnstūra un trīsstūra formas periodiskas svārstības ar atšķirīgu svārstību frekvenci (28.att.)! Mēģiniet noteikt abu summējamo spriegumu efektīvo vērtību! Kādus vēl parametrus varat noteikt šiem signāliem?



28.att.

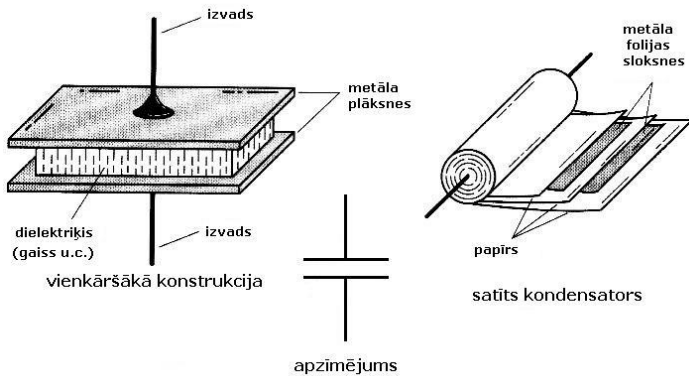
2. Noteikt sekojošo signālu (29.att.) parametrus: sprieguma amplitūdas un efektīvo vērtību, svārstību frekvenci un periodu !



29.att.

VIII. RC ĶĒDES

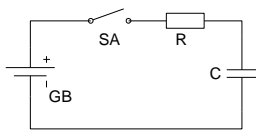
1. Kondensators



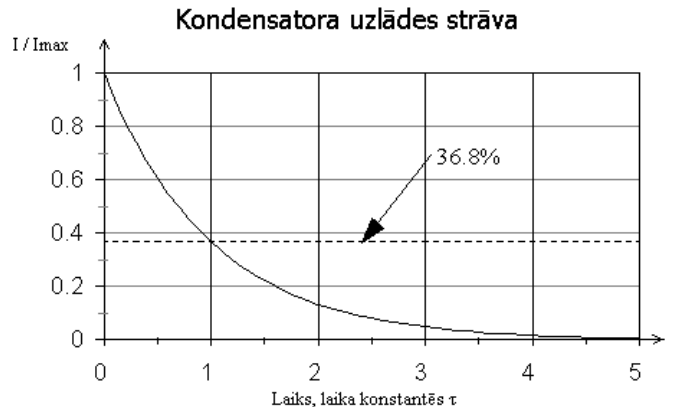
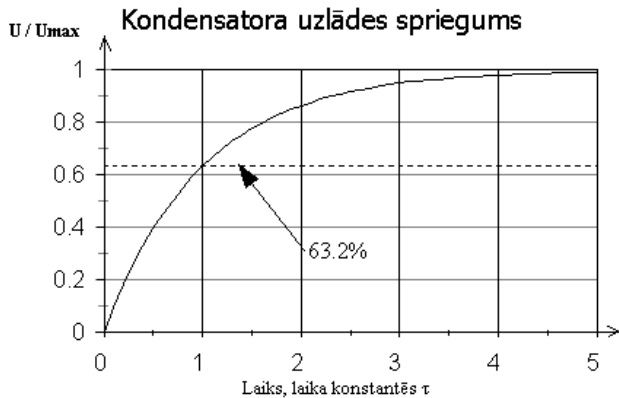
1.att.

Kondensators ir viens no vienkāršākajiem un arī nozīmīgākajiem elektrisku slēgumu elementiem. Vienkāršākais kondensators sastāv no divām metāla plāksnītēm ar gaisa spraugu starp tām. Līdzstrāva caur kondensatoru neplūst. Kondensatoram pievadot mainīgu spriegumu, tas uzlādējas un izlādējas, tādējādi ķēdē plūst strāva.

2. Kondensatora uzlādēšana



Ja saslēdzam slēdža SA kontaktus (2.att.), kondensators sāk uzlādēties. Pirmajā momentā spriegums uz tā ir 0V, tas ir izlādējies, tam nav elektriskā lādiņa. Šajā brīdī ķēdē plūst vislielākā strāva, kas vienāda ar U_{GB} / R . Tas tāpēc, ka viss baterijas GB spriegums krīt uz rezistoru R. $U_R = U_{GB}$, jo $U_C = 0$. Kondensatoram uzlādējoties – pieaugot spriegumam U_C uz tā, samazinās spriegums U_R , (Atceramies, ka šeit ir virknes slēgums, tātad: $U_C + U_R = U_{GB}$) līdz ar to samazinās uzlādes strāvas stiprums ķēdē, ko varam noteikt: $I = U_R / R = (U - U_C) / R$

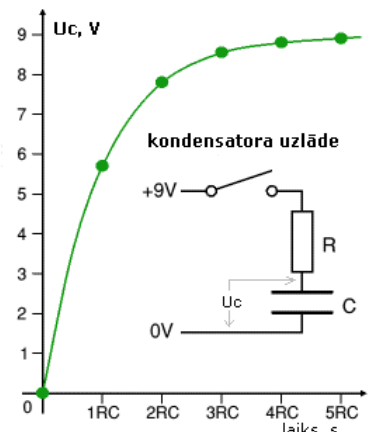


3.att.

Kreisajā laika diagrammā (3.att.) parādīts, kāda daļa no pieliktā sprieguma (baterijas sprieguma 2.att. shēmai: $U_{max} = U_{GB}$) katrā laika momentā (sākot no uzlādes sākšanas) krīt uz kondensatora. Laiks izteikts laika konstantēs $\tau = R * C$. Piemēram, ja $R = 10k\Omega$ un $C = 1000\mu F$, tad $\tau = 10000 * 0,001 = 10s$.

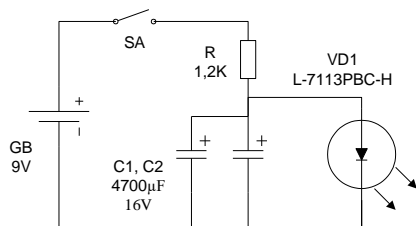
Labās puses laika diagrammā parādītas uzlādes strāvas izmaiņas laikā.

4.att.

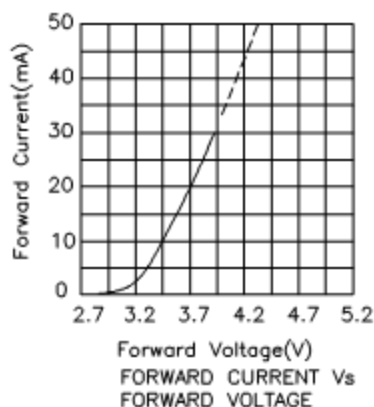


Kondensatora sprieguma izmaiņas grafiks gadījumam, kad pieliktais spriegums ir 9V, redzams 4.att.

Praktisks piemērs



viens 10000 μF). Dotās RC ķēdītes laika konstante τ (laiks, kurā kondensators uzlādētos līdz $0,63 \cdot 9 = 5,67\text{V}$) = $1200 \cdot 0,0094 = 11,3\text{s}$.



6.att.

Maksimālo strāvu, kas plūdis caur diodi nosaka rezistors R. Ja pirms aprēķina pieņemam, ka šī strāva varētu būt ap 10 mA, tad pēc 6.att. diagrammas nosakām sprieguma kritumu uz gaismas diodes un tas ir 3,45V. Tālāk rēķinam: $U_R = U_{GB} - U_{VD} = 9,0 - 3,45 = 5,55\text{V}$; $I_R = U_R / R = 5,55 / 1200 = 0,00463\text{A}$. Tātad strāva caur rezistoru būs 4,63 mA (Šeit, protams, ir zināma kļūda, jo sākotnēji pieņemām citu iespējamo strāvas lielumu. Lai precizētu, varam vēlreiz pārrēķināt lietojot diagrammā jauno strāvas stipruma vērtību – izdariet to!).

Jautājums: Vai arī šajā shēmā kondensators uzlādēsies līdz pieliktā (baterijas) sprieguma vērtībai?

Atbilde: Nē! Maksimālo spriegumu uz kondensatora šajā slēgumā nosaka tam paralēli pieslēgtā gaismas diode un tas būs ap 3,3V (skat .6.att. un strāvas aprēķinu iepriekš).

Jautājums: Kā varam palielināt laika aizturi 5.att. redzamajai shēmai?

Atbilde: a) palielinot rezistora R pretestību (samazināsies arī gaismas diodes patērētā strāva un spilgtums)

b) palielinot kapacitāti $C1+C2$ (piemēram, ieslēdzot vēl vienu kondensatoru paralēli esošajiem)

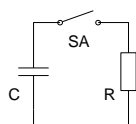
c) ieslēdzot divas gaismas diodes virknē

d) lietojot 4,5V bateriju

UZDEVUMI

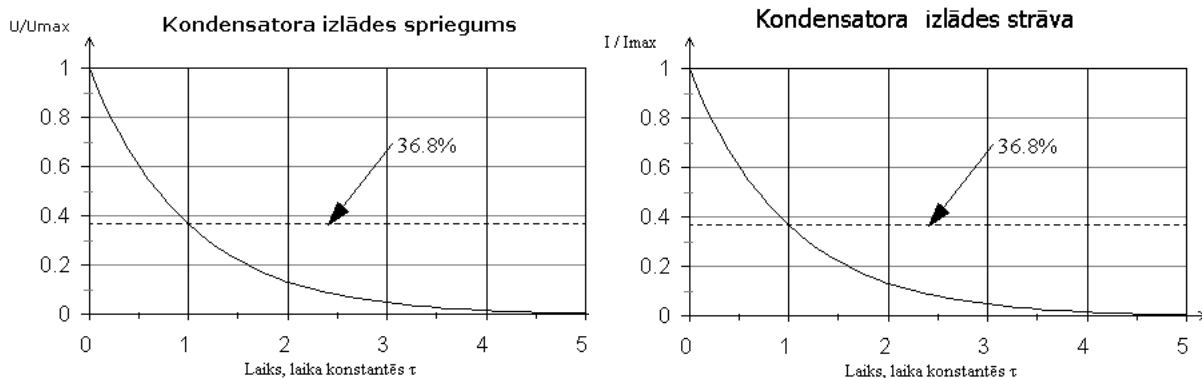
1. Aprakstiet kāpēc veicot iepriekš ieteiktās izmaiņas a), b), c) un d) palielināsies slēguma laika aizture! 2. Papildiniet 5. att. slēgumu ar tranzistorshēmu tā, lai tai kā indikatoru papildus varētu pieslēgt 9V; 0,2A kvēlspuldzi!

3. Kondensatora izlādēšana



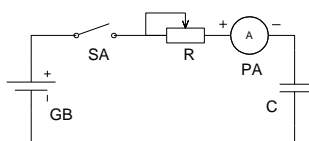
7.att.

Ja līdz noteiktam spriegumam uzlādētā kondensatoram pieslēgsim rezistoru (7.att.), kondensators sāks izlādēties un ķēdē sākumā plūdis strāva $I = U_C / R$, kas, kondensatoram izlādējoties, samazināsies. Kondensatora izlādes līkne redzama 8.att.



8.att.

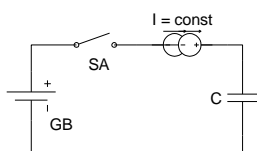
4. Kondensatora uzlādēšana ar konstantu strāvu



9.att.

Ja mēs mēģinātu kontrolēt kondensatora uzlādes strāvu un pastāvīgi samazinot maiņrezistora pretestību (9.att.) panāktu, ka uzlādes strāva ir nemainīga, tad spriegumu uz kondensatora varētu aprēķināt pēc formulas:

$$U_C = I * t / C$$

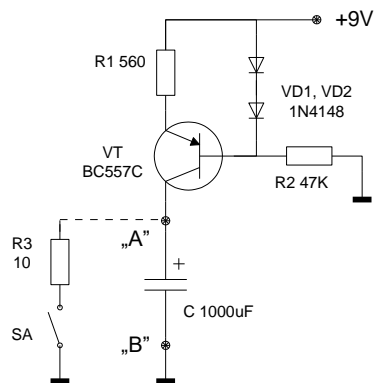


10.att.

kur t – laiks, kas pagājis no lādēšanas uzsākšanas, I – uzlādes strāvas stiprums ampēros, C – kondensatora kapacitāte farados. Šī formula neietver barošanas sprieguma ierobežojumu. Spriegums U_C mainītos lineāri, piemēram, ar ātrumu 1 volts sekundē. Strāvas stipruma stabilizāciju ķēdē var uzticēt arī atbilstoši elektroniskai shēmai, kuras

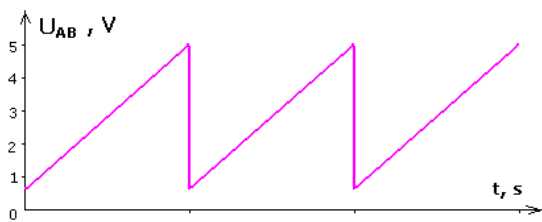
ieslēgšana (neatsifrējot tās uzbūvi) parādīta 10.att.

Slēgums ar izejas sprieguma U_{AB} izmaiņas ātrumu 1 V/s parādīts 11.att. Elementi R1, R2, VT, VD1, VD2 veido 1mA strāvas stipruma stabilizatoru. Stabilizējamās strāvas stiprums atkarīgs no rezistora R1 pretestības. Maksimāli sasniedzamais spriegums uz kondensatora U_{AB} ir par 1V mazāks kā barošanas spriegums. Lai procesu varētu „pārstartēt” jāievieš kondensatora izlādes ķēde SA, R3.



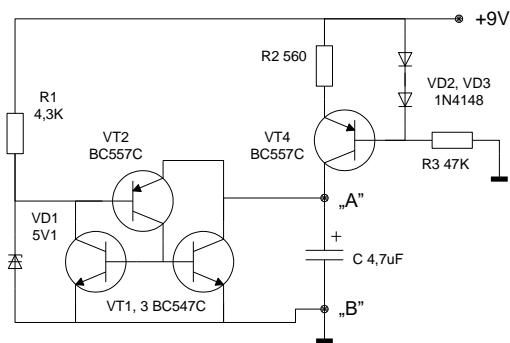
11.att.

Ja 11.attēla shēma tiek periodiski „pārstartēta” ar īslaicīgu slēdža SA saslēgšanu, tad mēs iegūstam t.s. zāgspriegumu, līdzīgu kā 12. att. laika diagrammā redzamais. Savukārt shēma, kas automātiski pārstartē kondensatora uzlādes procesu redzama 13.att. Kondensators automātiski tiek izlādēts, kad spriegums uz tā sasniedz zināmu līmeni, ko nosaka stabilitrons VD1.



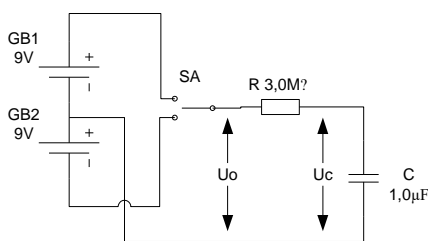
12.att.

Izdomājiet pielietojumu zāģsprieguma ģeneratoram!



13.att.

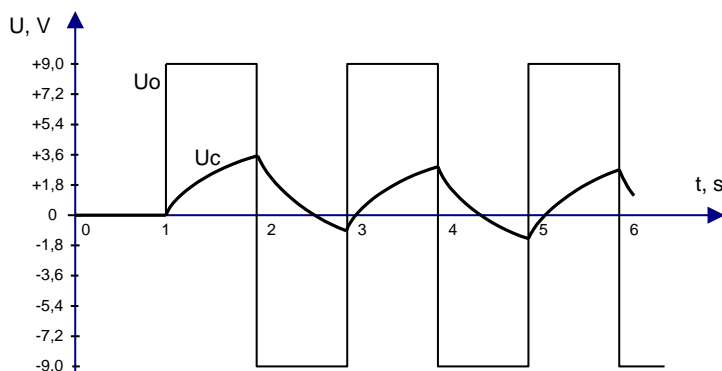
5. RC ķēdīte un maiņstrāva



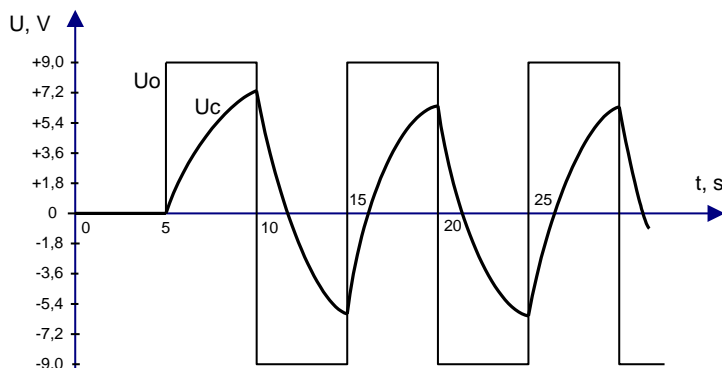
Pieņemsim, ka 14.att. shēmā redzamā pārslēdzēja SA kontakti ik pēc sekundes tiek pārslēgti pretējā stāvoklī. Varat to arī pamēģināt praktiski, spriegumus pētot ar voltmetru vai labāk – osciloskopu. Sprieguma U_0 izmaiņas uz ķēdītes, kas sastāv no virknē slēgta rezistora R un kondensatora C , parādītas 15.att. Savukārt

sprieguma krituma uz kondensatora U_C laika diagramma iezīmēta tajā pašā attēlā ar resnāku līniju.

Tagad uzzīmēsim spriegumu laika diagrammas tam pašam slēgumam ar tiem pašiem elementiem (14.att.), bet gadījumam, ja svārstību frekvence ir 0,1Hz. (Iepriekš svārstību periods bija 2s, tātad svārstību frekvence $1 / 2 = 0,5\text{Hz}$)



15.att.

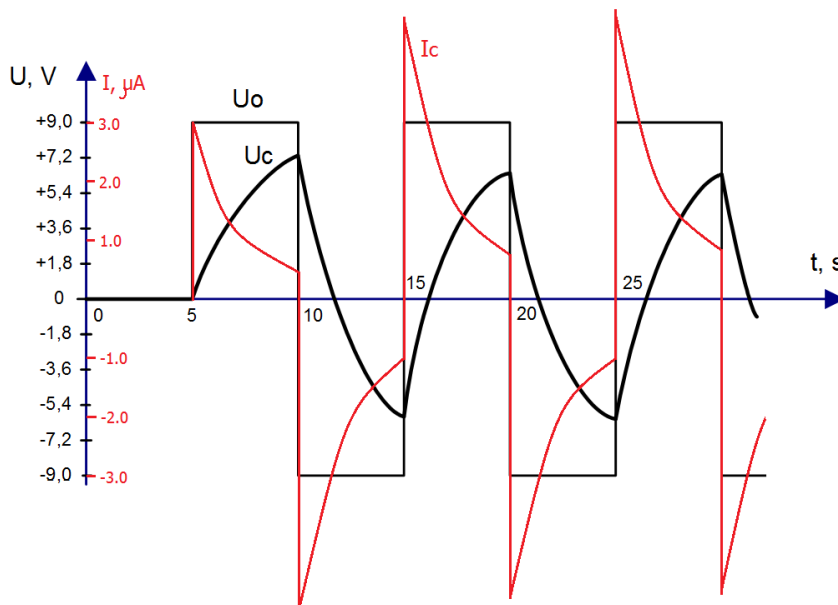


Salīdzinot 15.att. un 16.att. laika diagrammas varam secināt, ka pie augstākas sprieguma U_0 svārstību frekvences (15.att. $f=0,5\text{Hz}$) sprieguma U_C amplitūda ir mazāka. No tā secinām, ka 14.att. redzamais slēgums ievērojami vājinās

augstas frekvences ieejas signāla sprieguma svārstības izejā un ļoti maz vājinās zemas frekvences ieejas sprieguma svārstības. Slēgumu ar šādu īpašību sauc par **zemfrekvenču filtru**. Vēl varam secināt, ka kondensators maiņstrāvai izrāda atšķirīgu pretestību, atkarībā no maiņstrāvas svārstību frekvences.

Papildjautājums: Kāpēc 15. un 16.att redzamās sprieguma uz kondensatora līknes „slīd uz leju”? Ko varam izmainīt, lai šīs līknes būtu simetriskas jau no paša sākuma?

Apskatam caur 14.attēlā redzamo kondensatoru plūstošo strāvu: 17.att.



17.att.

Redzam, ka **kondensatorā** plūstošās strāvas maksimums nesakrīt ar uz tā esošā sprieguma maksimumu! **Strāva apstieidz spriegumu!** Savukārt ar virknē slēgto rezistoru viss ir “normāli”:

jo lielāks momentānais spriegums uz rezistora, jo lielāka strāva caur to plūst, kā jau aktīvai pretestībai (atšķirībā no reaktīvajām pretestībām – kapacitātes un induktivitātes) pienākas. Atceramies, ka faktiski caur pašu kondensatoru (tā dielektriķi, piemēram, gaisu) nekāda strāva neplūst! Uz un no kondensatora klājumiem plūst uzlādes un izlādes strāva. Varam iztēloties, ka elektriskie lādiņi “saskrien” kondensatora klājumā un “aizskrien” no tā. Tā kā šajā procesā nekādi enerģijas zudumi vai elektriskās enerģijas pārvēršana citā enerģijas veidā nenotiek (ideāls kondensators), kondensators elektrisko enerģiju nepatērē. Protams, RC ķēdītē esošais rezistors elektrisko enerģiju patērē, pārvēršot siltumenerģijā.

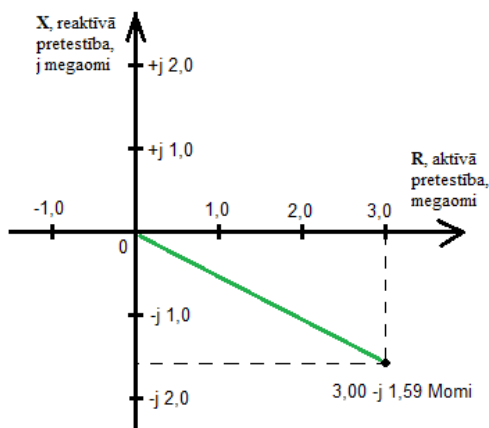
6. Kondensatora pretestība maiņstrāvai

Kā jau iepriekšējā nodaļā konstatējām, kondensators maiņstrāvai izrāda atšķirīgu pretestību, atkarībā no maiņstrāvas svārstību frekvences. Jo frekvence lielāka, jo mazāka kondensatora pretestība X_C :

$$X_C = 1 / 2\pi f C$$

Kur $\pi = 3,14$; f – maiņstrāvas frekvence hercos, C – kondensatora kapacitāte farados. Kapacitīvās (t.s. reaktīvās) pretestības mērvienība ir $-j\Omega$. Šis „-j” matemātiski nozīmē pāreju no vienas dimensijas skaitļu telpas (lineāls, piemēram) uz divu dimensiju skaitļu plakni (18.att). Elektriski šī pretestības mērvienības otra dimensija parādās dēļ tā fakta, ka reaktīvie elementi (kapacitāte un induktivitāte) rada maiņstrāvas sprieguma un strāvas fāzes nobīdi, jeb neatbilstību laikā.

RC ķēdītes virknes slēguma kopējā pretestība sastāv gan no aktīvās rezistora pretestības, gan reaktīvās kondensatora pretestības. Piemēram 14. attēla RC ķēdītes pretestība signālam ar frekvenci 0,1 Hz ir $3,00 M\Omega$ - j $1,59 M\Omega$. Šo ķēdītes komplekso pretestību varam attēlot pretestību diagrammā 18.att.

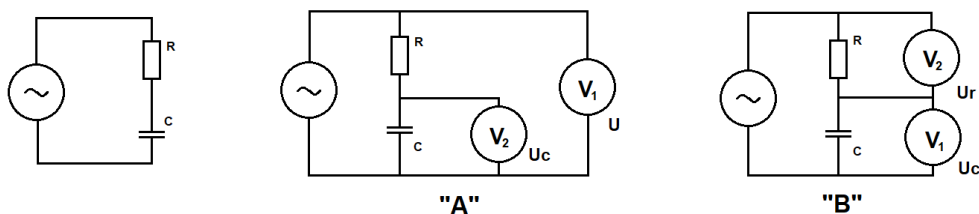


Pa horizontāli atlikta aktīvā jeb reālā pretestības daļa R , bet pa vertikāli – reaktīvā, jeb iztēlojamā, imaginārā pretestības daļa X .

Aprēķiniet un pierakstiet, kāda ir virknē slēgta 220Ω rezistora un 220nF kondensatora kompleksā pretestība maiņstrāvai ar 1 kHz frekvenci !

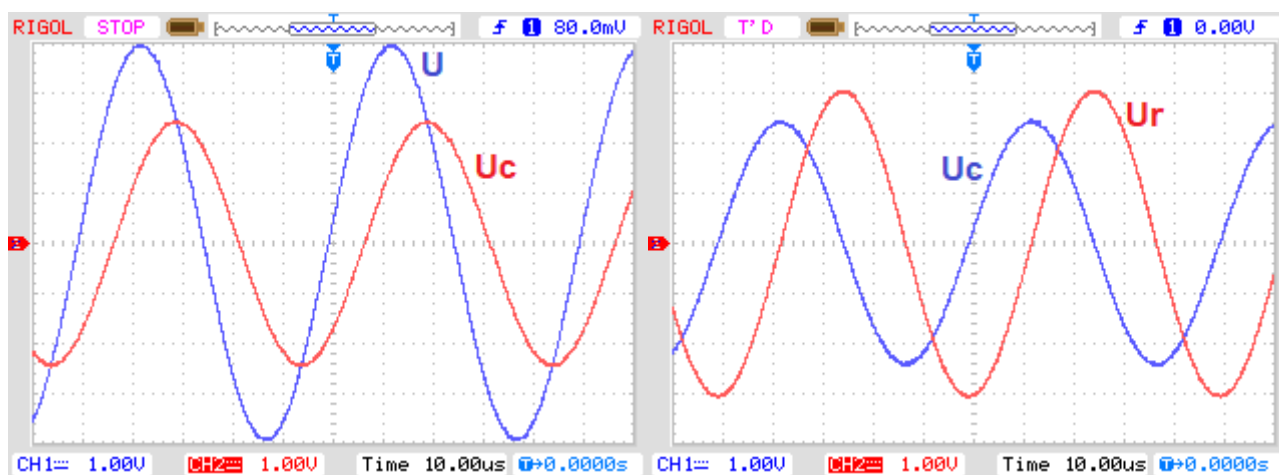
18.att.

7. Spriegumi RC ķēdītē.



19.att.

Ar osciloskopa palīdzību uzņemsim spriegumu laika diagrammas 19. att. redzamajā slēgumā. Tie parādīti 20. att. Dotie lielumi ir: $R = 100\Omega$, $C = 100\text{nF}$, $f = 20\text{kHz}$. Atkārtojiet šos mērījumus patstāvīgi!



20.att.

Šo trīs spriegumu maksimālās (amplitūdas) vērtības ir: $U = 3,92\text{V}$; $U_C = 2,43\text{V}$; $U_R = 3,00\text{V}$. Kā redzam, šīs maksimālās vērtības neveido virknes slēgumam raksturīgo izteiksmi $U = U_C + U_R$. Bet šo spriegumu maksimumi arī nesakrīt laikā. Ja tos apskatīsim konkrētā laika momentā, izteiksme izpildās:

*Piemēram, kad U_C ir maksimāls = $2,43\text{V}$, tad $U_R = 0,00\text{V}$ un $U = 2,43\text{V}$;
Savukārt, kad $U_C = 0,00\text{V}$, tad $U = 3,10\text{V}$ un $U_R = 3,10\text{V}$;
Ja $U_C = 1,00\text{V}$, tad $U_R = 2,80\text{V}$ un $U = 3,80\text{V}$*

Jautājums: Kāpēc 20.att. labajā pusē rodas priekšstats, ka strāvas maksimums (ko reprezentē spriegums U_R uz rezistora) atpaliiek laikā par 12,5 mikrosekundēm (t.i. $\frac{1}{4}$ daļu svārstību perioda, jeb par 90°) no sprieguma uz kondensatora? Zināms, ka vajadzētu būt otrādi, strāvai vajadzētu apsteigt spriegumu!

Atbilde: Ievērojiet kā slēgti voltmetri 19.att. „B”! Ja tie abi ir viena osciloskopa 2 kanāli, tiem ir viens kopējais vads (shēmā „pa vidu”). Līdz ar to viens kanāls attiecībā pret otru ir invertēts – ieviesusies papildus novirze par pusi no svārstību perioda, jeb 180° .

RC ĶĒDĪTES APRĒĶINI

Kompleksās pretestības modulis $|Z|$ ir kompleksās pretestības daļējs atainojums ar vienu skaitli.

$$|Z| = \sqrt{R^2 + X^2}$$

Ar tās palīdzību varam aprēķināt strāvas stiprumu maiņstrāvas ķēdē. $|Z|$ mērvienība ir omi (Ω). Grafiski $|Z|$ redzams 18. Attēlā kā zaļais nogrieznis, kas savieno koordinātu sistēmas sākumpunktu ar atlikto punktu. Redzam, ka tā ir Pitagora teorēmas formula. Tālāk parādīta aprēķinu secība RC ķēdītei:

1.	2.	3.	spēkā ir arī proporcija:
$ Z = \sqrt{R^2 + X^2}$	$I = \frac{U}{ Z }$	$U_R = I R$ $U_C = I X$	$\frac{U_R}{U_C} = \frac{R}{X}$

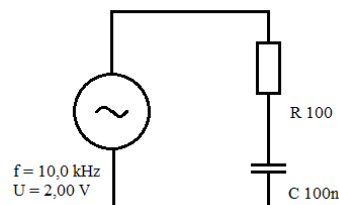
Jāatzīmē, ka šīs būs spriegumu amplitūdas vai efektīvās vērtības (atkarībā no tā, kā definēts spriegums U), tās nebūs sprieguma momentānās vērtības konkrētā laika momentā! Tāpēc neizpildīsies: $U = U_R + U_C$, šie spriegumi savā starpā attiecas tā pat kā pretestības $|Z|$, R un X , uz kurām tie darbojas:

$$U = \sqrt{U_C^2 + U_R^2}$$

APRĒĶINU PIEMĒRI

1. Aprēķināt maiņspriegumu uz 21.att. redzamā kondensatora C !

21.att.



Atrisinājums:

- Aprēķinām kondensatora C kapacitīvo pretestību X_C sinusoidālam signālam ar frekvenci 10kHz:
 $X_C = 1/2 * 3,14 * 10000 * 0,0000001 = 159\Omega$.
- Aprēķinām slēguma kompleksās pretestības moduli: $|Z| = (R^2 + X^2)^{1/2} = (100^2 + 159^2)^{1/2} = 188\Omega$.
- Aprēķinām strāvas stiprumu: $I = U / |Z| = 2,00 / 188 = 0,0106$ A
- Aprēķinām prasīto $U_C = I X = 0,0106 * 159 = \underline{\underline{1,69$ V

2. Aprēķināt RC virknes slēguma ķēdītes (līdzīgi 21.att.) kondensatora kapacitāti tādu, lai maiņspriegums uz kondensatora būtu divreiz mazāks kā uz visas ķēdītes 1 kHz frekvences signālam !

Atrisinājums: 1)

$$U = \sqrt{U_C^2 + U_R^2} \Leftrightarrow U^2 = U_C^2 + U_R^2 \Leftrightarrow U_R^2 = U^2 - U_C^2 \Leftrightarrow U_R = \sqrt{U^2 - U_C^2}$$

$$U_R = (1^2 - 0,5^2)^{1/2} = 0,866 \text{ V}$$

$$2) U_R / U_C = R / X ; 0,866 / 0,5 = 100 / X ; X = -j 57,7 \Omega$$

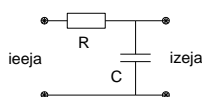
$$3) X = 1 / 2\pi f C ; 57,7 = 1 / 6,28 * 1000 * C ; 6280 C = 1 / 57,7 = 0,0173 ; C = 2,75 * 10^{-6} \text{ F} = 2,75 \mu\text{F}$$

UZDEVUMI

1. Kādas kapacitātes kondensators jāliek 21.att. slēgumā, lai spriegums uz kondensatora būtu 0,1V?

2. Kādam jābūt ģenerators izejas spriegumam, lai spriegums uz rezistora būtu 10V, ja ģenerators signāla frekvence ir 3,0kHz? (21.att.)

8. Zemfrekvenču filtrs

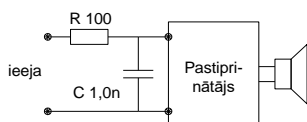


22.att.

slodzes pretestība.

Praktisks piemērs: Datora ārējos skaļruņos bieži parādās traucējumi, līdzās lietojot mobilo tālruni. Traucējumus skaļruņu iebūvētajam pastiprinātājam rada telefona raidītāja signāls. To kā antena uztver skaļruņu pievienojuma kabeļi.

Šo problēmu var atrisināt skaļruņu pastiprinātāja ieejā (pie pašas pastiprinātāja shēmas) ierīkojot zemfrekvenču filtru (23.att.).



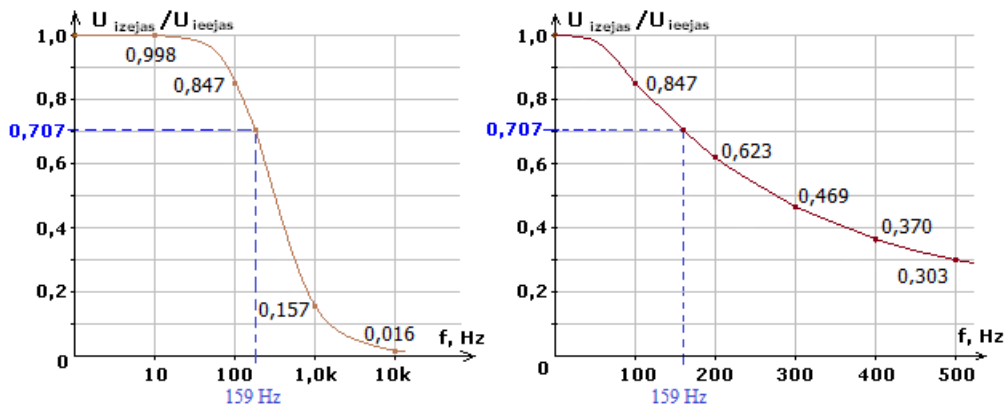
23.att.

lielāka par 10 kΩ).

Savukārt telefona raidītāja frekvencē ~900MHz, $X_C = 0,177\Omega$ un no 1V ieejā, izejā iegūstam tikai 0,00177V. Tātad filtra vājinājums šajā frekvencē ir 566 reizes pēc sprieguma.

9. AFR : amplitūdas – frekvenču raksturlīkne

Lai parādītu 22.att. redzamā filtra ietekmi uz signāliem ar dažādu frekvenci, varam uzzīmēt diagrammu – AFR, kurā uz horizontālās ass atlikta signāla frekvence, bet uz vertikālās – izejas spriegums, pie normēta (1,0) ieejas sprieguma. Parādam (24.att.) gadījumu ar sekojošiem filtra elementu nomināliem: $R=1\text{k}\Omega$, $C=1\mu\text{F}$.



24.att.

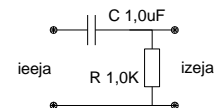
Attēla kreisajā un labajā pusē redzamas viena un tā paša filtra AFR. Tikai labās puses diagrammā frekvenču skala ir lineāra (iedaļas vērtība 100Hz), bet kreisajā – logaritmiska (frekvences desmitkāršošana uz iedaļu). Abās diagrammās parādīta filtra **nogriešanas frekvence** $f_n = 159\text{Hz}$. Tā ir frekvence, kurā izejas signāla spriegums krītas $\sqrt{2} = 1,41$ reizes. Šīs līknes ir spēkā filteram bez pieslēgtas slodzes. Ar slodzi maksimālais sprieguma pārvades koeficients samazinās. Piemēram, ja slodzes pretestība ir $10\text{ k}\Omega$, jeb 10 reizes lielāka par rezistora R pretestību, maksimālais izejas spriegums nav vairs 1,00, bet gan 0,909.

10. Augstfrekvenču filtrs

UZDEVUMI

1. Aprēķiniet pa punktiem un ar zīmuli iezīmējiet esošajās 24.att. diagrammās 25.att. redzamā slēguma AFR!

25.att.



Kāpēc to sauc par augstfrekvenču filtru?

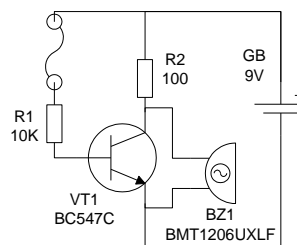
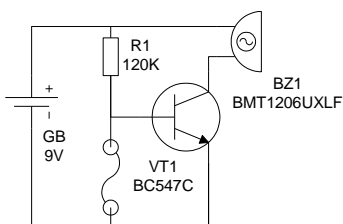
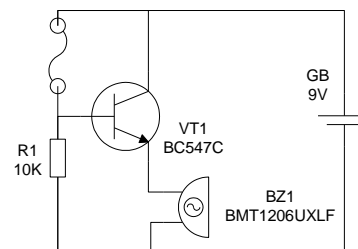
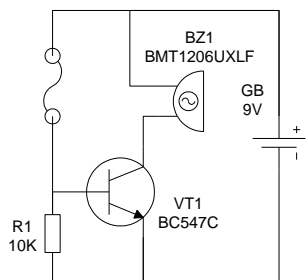
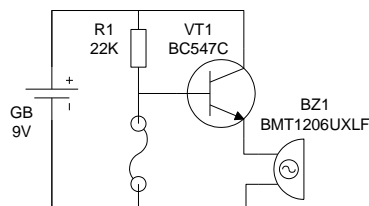
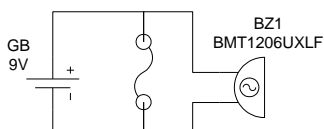
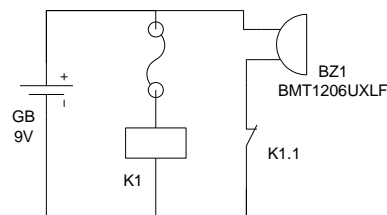
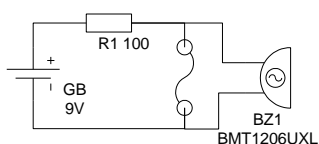
2. Augstfrekvences filtra ar nogriešanas frekvenci 300Hz rezistora pretestība ir $10\text{ k}\Omega$. Aprēķināt tā kondensatora kapacitāti!

IX. Daži praktiskie darbi

1. Signalizācija ar vada cilpas līniju („trip wire”)

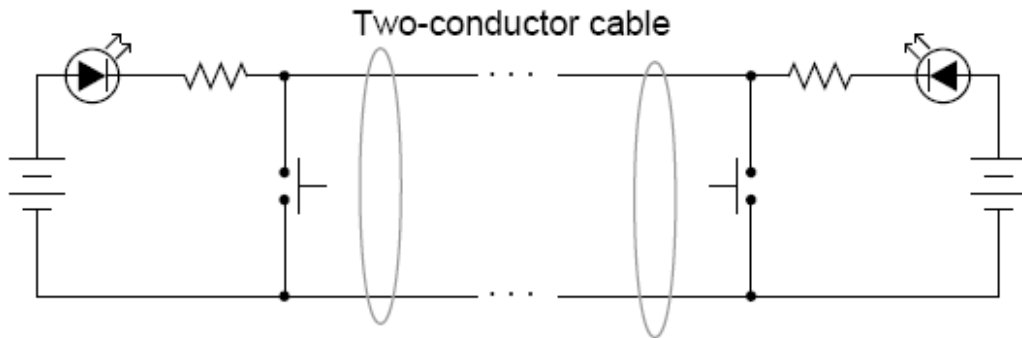
Uzdevums sekojošs: dotas divas komponentes : 9V baterija un „pīkstulis” ar iebūvētu ģeneratoru, kas skaļi skan, ja tam pievada 9V līdztspriegumu. Izmantojot jebkādas papildkomponentes izveidot ierīces shēmu, kas ieslēgtu signālu, ja tiek pārrauts vads!

Izdomājiet kādu savu variantu un tad novērtējiet zemāk redzamos slēgumus! Daļa no tiem ir darbaspējīgi, daļa – nē. IZANALIZĒJIET TO DARBSPĒJU, IEMESLUS KĀPĒC ŠĪS SHĒMAS STRĀDĀ VAI NESTRĀDĀ UN KĀDAS KATRAM RISINĀJUMAM PRIEKŠROCĪBAS UN TRŪKUMI!



2. Telegrāfa sistēma

Vienkāršas gaismas signālu telegrāfa sistēmas elektriskā principiālā shēma parādīta 1. attēlā. Ar punktēto līniju parādīta nepārtraukta divvadu līnija (kabelis).



1.att.

Uzdevumi un jautājumi

1. Izvēlieties bateriju spriegumu! Pamatojiet savu izvēli!
2. Kādas pretestības un jaudas rezistorus lietosiet ?
3. Aprakstiet un salīdziniet sistēmas darbību gadījumā, ja bateriju spriegums ir:
 - a) 1,5 V
 - b) 3,0 V
 - c) 24 V
4. No kā atkarīgs iespējamais sakaru attālums šajā sistēmā ?
5. Kā šajā sistēmā varētu strādāt vairāk kā divas telegrāfa abonentu iekārtas ? Kā Jūs pieslēgtu trešo un ceturto iekārtu ? Vai šajā gadījumā būtu jāizmaina abonentu iekārtas ? Vai šajā gadījumā jāmaina bateriju spriegums ?
6. Izmainiet telegrāfa abonentu iekārtu shēmu tā, lai tajās būtu divi gaismas indikatori: viens uztveršanai, otrs raidīšanai !

Izmantotā literatūra

1. P. Horowitz, W. Hill. The Art of Electronics. Cambridge University Press, 1989.
2. <http://www.jiscdigitalmedia.ac.uk/guide/the-physical-principles-of-sound/>
3. <http://electronicsclub.info/capacitance.htm>