



I E G U L D Ī J U M S T A V Ā N Ā K O T N Ē

Projekta numurs: 8.3.2.1/16/I/002

## Nacionāla un starptautiska mēroga pasākumu īstenošana izglītojamo talantu attīstībai

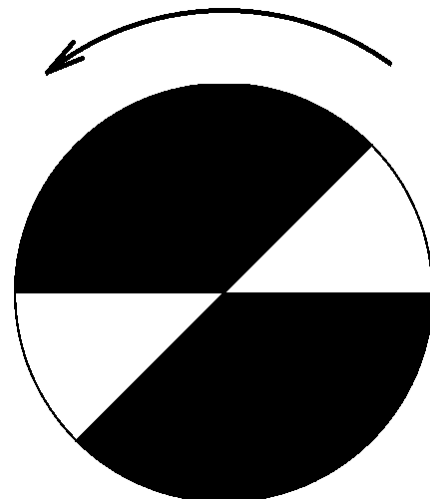
### Fizikas valsts 67. olimpiāde Trešā posma uzdevumi 12. klasei EKSPERIMENTĀLĀ KĀRTA

*Jums tiek piedāvāti divi uzdevumi – demonstrējums, kurš jāskaidro un eksperiments, kas jāveic pašiem. Par katru uzdevumu maksimāli iespējams iegūt 10 punktus. Laiks — 150 minūtes.*

#### DEMONSTRĒJUMS KRĀSAINIE SEKTORI

Uz elektrodzinēja ass nostiprināta stroboskopa ripa (redzama D1. attēlā). Tajā ir divi melni un divi balti sektori. Baltie sektori ir trīsreiz šaurāki par melnajiem. Nekādu speciālu stroboskopisko apgaismojumu nelietojam. Pakāpeniski palielinām dzinējam pievadīto spriegumu. Dzinējs griež ripu arvien ātrāk attēlā norādītajā virzienā. Pakavējamies, kad ripā varam saskatīt gandrīz nekustīgus attēlus ar sektoriem. Pārtraucam sprieguma palielināšanu, kad tumšo un gaišo sektoru skaits pirmoreiz kļūst tāds kā nekustīgai ripai. Sektori ir kļuvuši krāsaini! Baltā krāsa ir sadalījusies sastāvdaļās. Tas nav jūsu uztveres procesu dēļ acīs un smadzenēs. Atrodiet šai krāsainībai objektīvu cēloni, izskaidrojiet eksperimentu un atbildiet uz jautājumiem!

D1. attēls



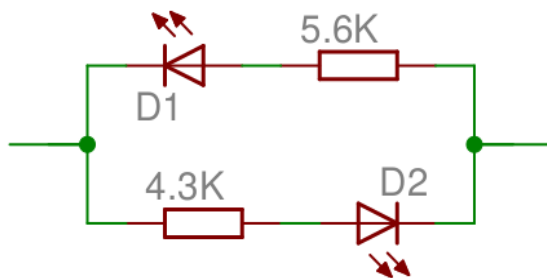
1. Kāpēc kustīgā ripā varam saskatīt nekustīgu attēlu, pat nelietojot speciālu stroboskopu?
2. Kāpēc gaišie sektori, kad ripa kustas ar lielāko sasniegto ātrumu – izskatās platāki par tumšajiem sektoriem, neskatoties uz to, ka nekustīgai ripai baltie sektori aizņem tikai ceturtdaļu apla?
3. Kāpēc šai ripai kustībā neizdodas saskatīt vairāk par sešiem tumšiem un sešiem gaišiem sektoriem?
4. Cik apgriezienus minūtē veic dzinējs, kad tumšo un gaišo sektoru skaits pirmoreiz kļūst tāds kā nekustīgai ripai?
5. Cik apgriezienus minūtē veica dzinējs, kad bija redzami četri tumšie un četri gaišie sektori? Un cik, kad bija redzami seši tumšie un seši gaišie sektori?
6. Kāpēc gaišā sektora sākumā (skatoties ripas griešanās virzienā) redzama zili violela krāsa? Kas ir tās avots?
7. Kādas citas nākošās krāsas var saskatīt un kas šo gaismu izstaro?
8. Kāpēc krāsas ir telpiski atdalījušās? Kāda loma tajā ir ripas kustībai?

# EKSPERIMENTĀLAIS UZDEVUMS

## SPĪDDIODES

### Darba piederumi:

- kondensators ar kapacitāti  $C = 4700 \mu\text{F}$
- rezistori ar pretestībām  $100 \Omega$ ,  $200 \Omega$ ,  $330 \Omega$ ,  $430 \Omega$ ,  $680 \Omega$ ,  $1 \text{ k}\Omega$ ,  $1.5 \text{ k}\Omega$ ,  $2.2 \text{ k}\Omega$  un  $3.3 \text{ k}\Omega$
- baterija, kuras izejā spriegums  $U_0 = 9\text{V}$
- modulis, uz kura uzmontētas divas spīddiodes (sarkana un zila) un divi rezistori, kas saslēgti tā, kā parādīts shēmā (E1. attēlā)
- hronometrs



E1. attēls

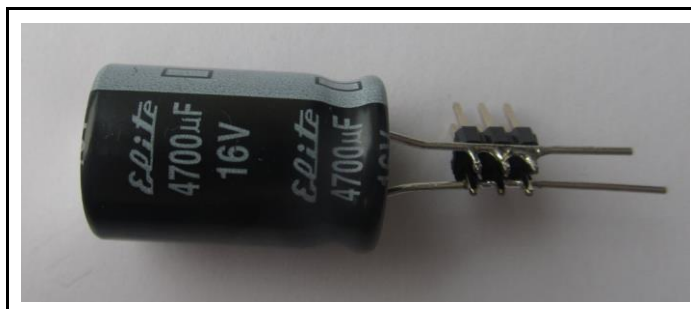
Zināms, ka spīddiodes pretestība mainās atkarībā no tajā plūstošās strāvas. Tā ir apmēram  $1 \text{ k}\Omega$ , ja spīddiode mirdz pilnā spožumā. Savukārt, mirdzot pavisam vāji, tās pretestība sasniedz vairākus simtus  $\text{k}\Omega$ . Vēl zināms, ka, izlādējot kondensatoru ar kapacitāti  $C$  caur rezistoru ar pretestību  $R$ , spriegums uz kondensatora mainās pēc eksponenciāla likuma

$$U(t) = U_{max} \exp\left(-\frac{t}{RC}\right)$$

### Uzdevumi:

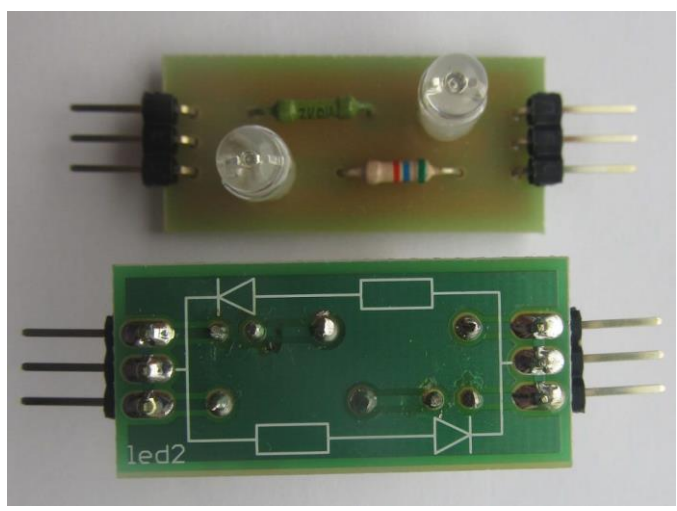
1. Izdomāt un aprakstīt metodi, ar kuru, izmantojot dotos piederumus, iespējams atrast spriegumus, pie kura sāk mirdzēt katra no spīddiodēm. [3 punkti]
2. Uzzīmēt mērījumu veikšanai nepieciešamo shēmu, saslēgt to. [1 punkts]
3. Veikt pietiekamu skaitu mērījumu, iegūtos rezultātus apkopot tabulā. [1 punkts]
4. Mērījumu rezultātus attēlot grafiski un interpretēt iegūtos rezultātus. [2 punkti]
5. Aprēķināt prasīto spriegumu skaitliskās vērtības, formulēt rezultātu. [1 punkts]
6. Novērtēt iegūtā rezultāta kļūdu. [2 punkti]

Slēdzot shēmu, **pievērsiet uzmanību**



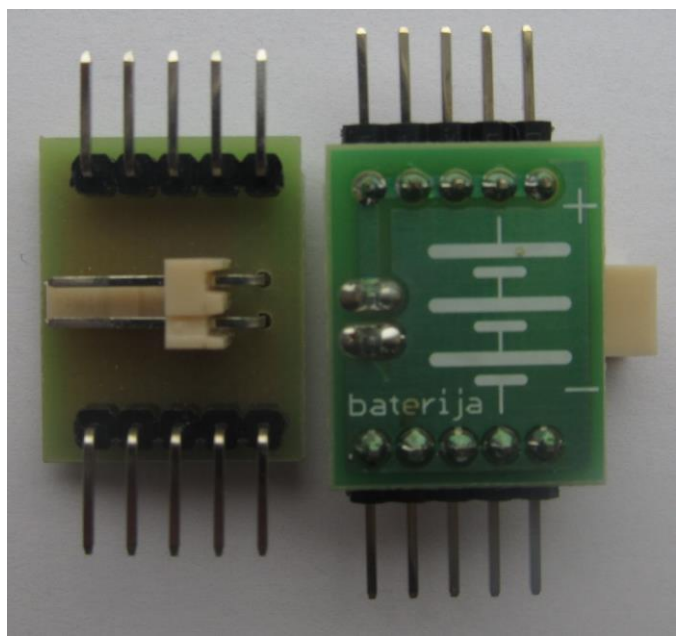
Elektrolītiskais kondensators ar kapacitāti  $4700 \mu\text{F}$ .

**Uzmanību ar pieslēgšanas polaritāti!** Baltā līnija ar “—” zīmēm nozīmē, ka tuvākā tā izeja **obligāti** jāpieslēdz pie baterijas negatīvā pola.

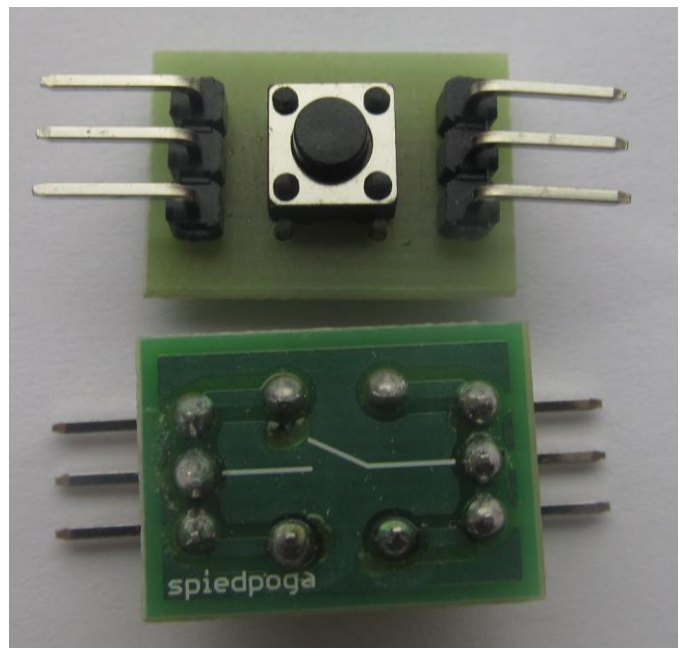


Spīddiožu modulis.

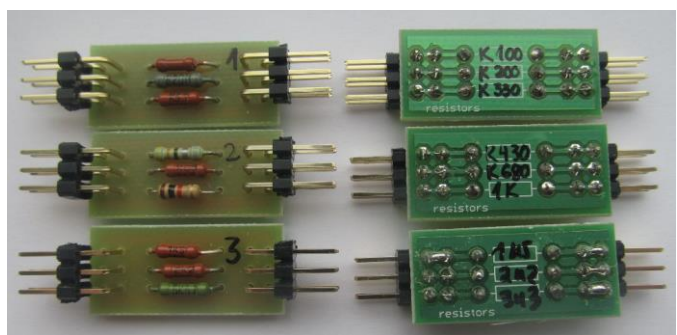
Uz tā uzmontētas divas spīddiodes kā arī strāvu ierobežojošie rezistori: 5.6 k $\Omega$  priekš zilās spīddiodes un 4.3 k $\Omega$  priekš sarkanās spīddiodes. Visi trīs izvadi moduļa malā savienoti kopā.



Modulis baterijas pieslēgšanai. **Pievērst uzmanību** “+” un “-” zīmei!



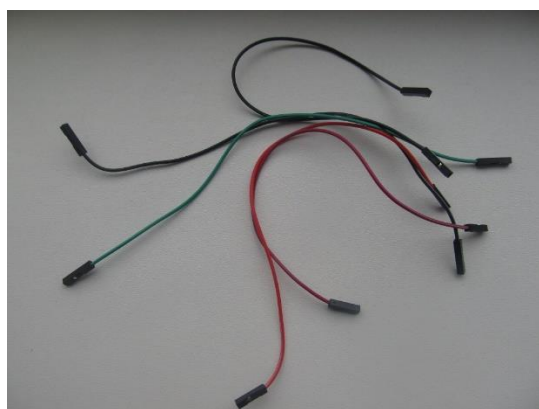
Spiedpogas modulis.



Rezistori apvienoti trijos moduļos.

1. 100  $\Omega$ , 200  $\Omega$  un 330  $\Omega$
2. 430  $\Omega$ , 680  $\Omega$  un 1 k $\Omega$
3. 1.5 k $\Omega$ , 2.2 k $\Omega$  un 3.3 k $\Omega$

Rezistori modulī ir elektriski izolēti viens no otra. Katram no rezistoriem abās moduļa pusēs ir pa 2 pieslēguma vietām, kas izvietotas viena virs otras



Vadi

## Atrisinājumi un vērtēšanas kritēriji

### DEMONSTRĒJUMS KRĀSAINIE SEKTORI

1. Telpas apgaismojumu galvenokārt veido luminiscences spuldzes, kas redzamas pie griestiem. To gaisma ir mirgojoša, jo mirdzizlādes strāva tajās plūst tieši no maiņstrāvas elektriskā tīkla (caur drošeli). Brīžos, kad maiņstrāvas vērtība iet caur nulles punktu un mazliet pēc tam, spuldzes spīd visvājāk. Spuldzes rada stroboskopisko efektu, piemēram, ja to spožākās iemirdzēšanās biežums jeb frekvence ir tuva ripas attēla atkārtošāšanās biežumam, kas šajā gadījumā ir ik pēc ripas pusapgrieziena, pilna apgrieziena, pusotra apgrieziena, utt. **[1 punkts]**

2. Atšķirībā no stroboskopa, kurā zibspuldze izstaro gaismu tikai īsu uzliesmojumu veidā, luminiscences spuldzes pietiekami spoži spīd lielāko daļu no katra maiņstrāvas pusperioda laika. Katrs baltais sektors šajā lielākajā daļā laika paspēj pabūt lielākajā daļā no pusapļa laukuma un atstarot no visām šīm vietām gaismu. Tā kā cilvēka redze nav tik ātra, lai uztvertu vairākas no šīm vietām atsevišķi, mēs redzam gaišu lielāko daļu pusapļa. **[1 punkts]**

3. Lai veidotu ripā, piemēram, astoņus gaišus un astoņus tumšus sektorus, katrs baltais sektors katrā tā kustības pusaplī būtu jāapgaismo četras reizes (četrus maiņstrāvas pusperiodus). Tā kā baltā sektora platums ir ceturtdaļa no pusapļa, pietiekami gaišs izskatīsies viss pusaplis. Arī otrs pusaplis tāpat. Jo luminiscences spuldze pilnīgi nesatumst pat tajos momentos, kad strāvas momentānā vērtība tajā ir nulle. Luminiscence turpinās un pārklāj nākošā pusperioda sākumu. Tāpēc nekādus sektorus ripā saskatīt nevar. Vēl lielākam šķietamo sektoru skaitam tas ir vēl neiespējamāk. **[1 punkts]**

4. Maiņstrāvas frekvence tīklā ir 50 Hz.

Vienā sekundē tai ir 100 pusperiodi.

Spuldze sekundē līdz maksimālajai gaismas jaudai iespīdas 100 reizes, jo strāva caur to iet pārmaiņus abos virzienos.

Lai mūsu kustīgajā ripā veidotos divi gaiši un divi tumši sektori, katram baltajam sektoram 1/100 sekundes jeb maiņstrāvas pusperiodā jānoiet pusaplis (jo abi ripas pusapļi ir identiski).

Pilns aplis ripai jāveic 1/50 sekundes.

Sekundē ripai jāveic 50 apgriezieni.

Minūtē ir 60 sekundes.

Minūtē ripai jāveic  $50 \times 60 = 3000$  apgriezieni. **[1 punkts]**

5. Lai kustīgā ripā veidotos četri gaiši un četri tumši sektori, pusaplis baltajam sektoram jāveic 1/50 sekundes jeb 2 maiņstrāvas pusperiodos.

Tātad ripai jāgriežas divreiz lēnāk, nekā 4. jautājumā. Tai jāveic  $3000/2 = 1500$  apgriezieni minūtē.

Lai kustīgā ripā šķietami veidotos seši gaiši un seši tumši sektori, pusaplis baltajam sektoram jāveic 3 maiņstrāvas pusperiodu laikā. Tas nozīmē, ka ripai jāgriežas trīsreiz lēnāk, nekā 4. jautājumā. Tai jāveic  $3000/3 = 1000$  apgriezieni minūtē. **[1 punkts]**

6. Katra maiņstrāvas pusperioda sākumā spuldzē vispirms mirdzizlādē gaismu sāk izstarot dzīvsudraba tvaiki. Tās redzamā daļa daļēji tiek cauri luminoforu slānim un stiklam, veidojot zilās līnijas spuldzes spektrā. Tās

arī ir pirmās, kas apgaismo ripas baltos sektorus. Pēc mirkļa ripa jau ir pagriezusies mazliet tālāk, un šajā vietā ir nonācis melnais sektors, kurš gaismu neatstaro. Tāpēc šī ripas vieta izskatās zili violeta. **[1 punkts]**

7. Nākošās gaišajā sektorā ir gaiši lillā un gaiši rozā krāsas. Tām seko dzeltenā un arī zaļā, kura jau iestiepjas tumšajā sektorā. Tāpēc tas izskatās tumši zaļš. Šīs pēdējās divas krāsas veido tikai luminoforu maisījuma izstarotās spektra līnijas. Bet lillā un rozā krāsu veidošanā tieši piedalās arī dzīvsudrabs. Luminoforu maisījums ir uzklāts spuldzes stikla sienīņu iekšējai virsmai. **[1 punkts]**

8. Mirdzizlādē dzīvsudraba tvaiki izstaro ultravioletās un redzamās gaismas spektra līnijas. Kā vienu, tā otru līniju gaismas kvanti var nodot savu enerģiju luminoforu maisījumam. Pateicoties tam luminoforos esošie elektroni var nonākt ierosinātos enerģētiskajos stāvokļos. Elektronu ierosināto enerģijas līmeņu apdzīvotības palielināšana aizņem zināmu laiku, līdz tā kļūst ievērojama **[1 punkts]**.

Bez tam, katram no šiem līmeņiem ir savs noteikts vidējais dzīves laiks. Elektroni nevar momentā pāriet zemākā līmenī, izstarojot gaismu. Tiem katram jā sagaida savs laiks. Tāpēc luminiscences līnijas spuldzes spektrā sasniedz maksimālo spožumu katra savā laikā. Sajaucoties savā starpā un ar dzīvsudraba mirdzizlādes spektra līnijām, tās veido maiņstrāvas pusperioda laikā mainīgu krāsu starojumu **[1 punkts]**.

Ātruma dēļ nemanāmo krāsu maiņu laikā ripa savā kustībā pārvērš par atdalīšanos telpā. Maiņstrāvas pusperioda sākumā dominē dzīvsudraba tvaiku mirdzizlādes spektra redzamās gaismas līnijas, kas veido zilu krāsu. Kad baltais sektors ir pavirzījies nedaudz tālāk, tām kā pirmās pievienojas luminoforu sarkanās līnijas, kas kopā ar dzīvsudraba zilajām veido violetu krāsu. Tālāk dzīvsudraba līnijas sasniedz maksimālo spožumu. Drīz pēc tam to sasniedz arī luminofora sarkanās līnijas. Kopā tās veido gaiši lillā un gaiši rozā krāsas. Šajā brīdī baltais sektors ir jau pilnībā atstājies sākotnēji aizņemto vietu, tāpēc tajā krāsas vairs neizmainās, jo melnais sektors gaismu neatstaro. Kad dzīvsudraba zilās un arī luminoforu sarkanās līnijas kļuvušas daudz vājākas, pilnā spožumā ripu sāk apgaismot luminoforu dzeltenās līnijas. Kad arī tās savu intensitāti samazina, beidzot kļūst redzamas luminoforu zaļās līnijas, kas spīd ļoti ilgi, turpinoties arī nākamajā pusperiodā. Spuldzes spektrā tās ir pārstāvētas ļoti intensīvi, bet atsevišķi mēs tās ieraugām tikai tad, kad ierosinošā mirdzizlāde jau beigusies un baltais sektors nonācis jaunā vietā, kur to nekas cits nav apgaismojis. Tā ripas kustība luminiscences spuldzes gaismas krāsu izmaiņas laikā padara redzamas, izvēršot tās telpā **[1 punkts]**.

## EKSPERIMENTĀLAIS UZDEVUMS SPĪDDIODES

1. Zināms spriegums uz baterijas poliem kā arī likums, pēc kura spriegums mainās uz kondensatora, tam izlādējoties caur rezistoru. Tātad, uzlādējam doto kondensatoru ar kapacitāti  $C$  līdz baterijas spriegumam  $U_{\max}$ , pēc tam izlādējam to caur zināmu rezistoru ar pretestību  $R$  un tādejādi zinām, kāds spriegums ir katrā laika momentā pēc izlādes sākuma. Pieslēdzam kondensatoram spīddiodes moduli un nomērām laika intervālu  $t_{LED}$ , kurā spīddiode spīd kondensatora izlādes laikā. **[1 punkts]**

Pieslēdzot spīddiodi, kondensators izlādējas ātrāk, jo strāva plūst arī caur spīddiodi. Tā kā aprakstītās mērījuma procedūras laikā mainās spīddiodes spīdēšanas intensitāte, tad, atbilstoši uzdevuma nosacījumiem, ievērojami mainās spīddiodes pretestība. Tāpēc spīddiodes ietekmi uz kondensatora izlādes laiku nav iespējams novērtēt vienkāršā veidā. Skaidrs, ka spīddiodes un tās strāvu ierobežojošā rezistora kopējai pretestībai ir jābūt pietiekoši lielākai par  $R$ . **[1 punkts]**

Lai noskaidrotu maksimāli pieļaujamo  $R$  vērtību, veic mērījumus dažādām  $R$  vērtībām un attēlo grafiski. Ir jāiegūst lineāra sakarība, pie kam regresijas taisnei ir jāiet caur koordināšu sākumpunktu.

Lai pamatotu šo hipotēzi, pārveidojam vienādojumu

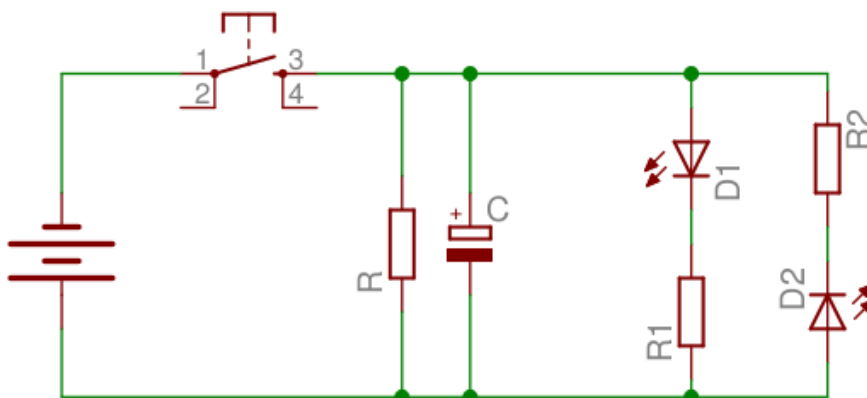
$$U_{LED} = U_{max} \exp\left(-\frac{t_{LED}}{RC}\right)$$

šādi

$$t_{LED} = C \log\left(\frac{U_{max}}{U_{LED}}\right) R$$

[1 punkts].

2. Saslēdzam sekojošu shēmu (E2. attēls). [1 punkts]



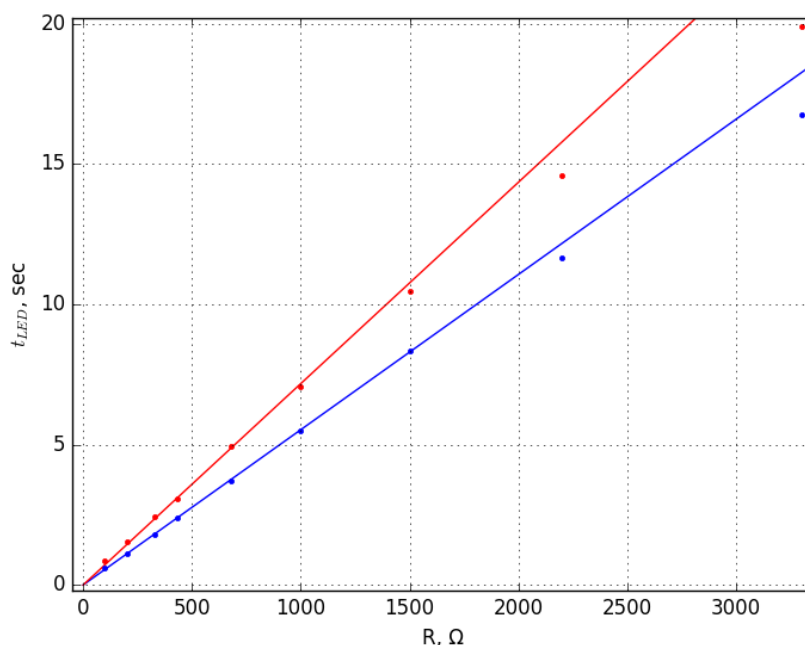
E2. attēls

Kad spiedpoga ir nospiesta, kondensators  $C$  uzlādējas līdz baterijas spriegumam. Atlaižot spiedpogu, kondensators sāk izlādēties caur rezistoru  $R$ . Spriegums uz tā samazinās atbilstoši uzdevuma nosacījumos dotajam likumam

$$U(t) = U_{max} \exp\left(-\frac{t}{RC}\right)$$

līdz brīdim  $t = t_{LED}$ , kad tā vērtība sasniedz  $U_{LED}$  un kad spīddiode  $D1$  pārstāj spīdēt.

3. un 4. Mērījumu rezultātu piemērs dots klāt pieliktajā grafikā. (E3. attēls)



E3 attēls

Kā redzams, zilajai spīddiodei lineāra sakarība saglabājas līdz  $R = 1.5 \text{ k}\Omega$ , bet sarkanajai līdz  $R = 1.0 \text{ k}\Omega$ . To nosaka izmantotie strāvu ierobežojošie rezistori. Lielākām  $R$  vērtībām novērojam spīddiodes ķēdes ietekmi uz kondensatora izlādes laiku. Izlādes laiks ir mazāks, nekā tas būtu, ja spīddiode nebūtu pieslēgta.

**[3 punkti]**

5. Izvēlamies tikai tos mērījumu punktus, kur  $R$  ir pietiekami mazs. Caur šiem punktiem velkam taisni, kas iet caur koordinātu sākumpunktu. Šīs taisnes slīpuma koeficients ļauj izrēķināt meklēto spriegumu.

$$t_{LED} = kR$$

kur

$$k = C \log\left(\frac{U_{max}}{U_{LED}}\right) R$$

Tātad

$$U_{LED} = U_{max} \exp\left(-\frac{k}{C}\right)$$

Iegūtie rezultāti apkopoti tabulā. **[1 punkts]**

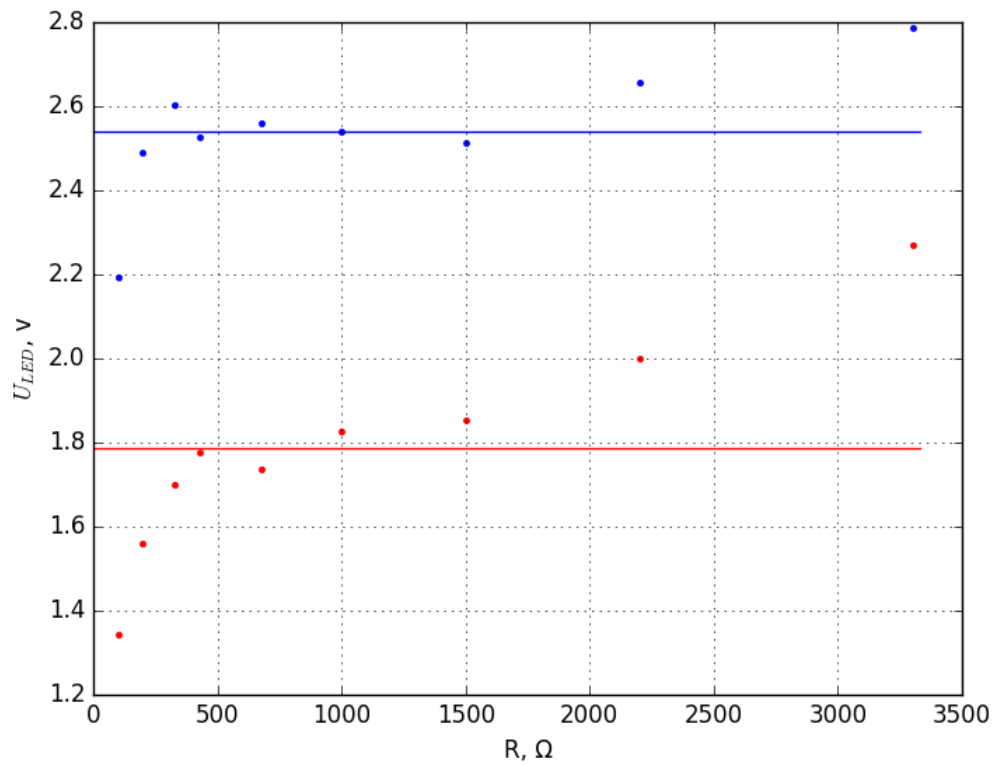
zilā spīddiode	$k = 5.53 \cdot 10^{-3}$	$U_1 = 2.53 \text{ V}$
sarkanā spīddiode	$k = 7.18 \cdot 10^{-3}$	$U_1 = 1.78 \text{ V}$

6. Novērtējot iegūtā rezultāta kļūdu, jāņem vērā sekojoši momenti: **[2 punkti]**

- $k$  noteikšanas precizitāte. Ieskaitot cilvēka reakcijas precizitāti
- baterijas reālais spriegums. Olimpiādē būs baterijas tikko kā no veikala.
- rezistoru precizitāte. Centāties visos komplektos likt rezistorus no vienas sērijas, bet ne visur tas tā ir sanācis.
- kondensatora kapacitātes precizitāte.

### Alternatīvie risināšanas veidi

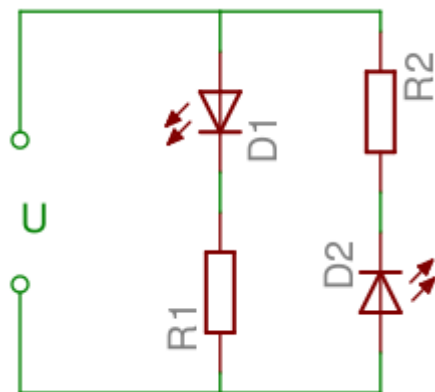
Katram mērījumam ar savu  $R$  rēķina atbilstošo  $U_{LED}$ . Šādi apstrādājot iepriekš dotos datus, iegūstam sekojošus grafikus (E4. attēls). Mazām  $R$  vērtībām visticamāk ir liela laika mērījuma relatīvā kļūda. Kāpēc atmet lielos  $R$ ? Tur ar interpretāciju nav tik spīdoši, kā ar jau aprakstīto metodi...



E4. attēls

### Pielikums labotājiem

Referencei spīddiožu pretestības mērījumi ar komplektu, kur  $R_1 = R_2 = 1.8 \text{ k}\Omega$ . Pieliekam spriegumu  $U$  un mērām patērēto strāvu.



E5. attēls

### Vispirms sarkanā spīddiode

$U$ (V)	$I$ (mA)	$R$ (k $\Omega$ )	$U_{LED}$ (V)	$R_{LED}$ (k $\Omega$ )
6	2,3	2,6	1,86	0,81
5	1,75	1,9	1,85	1,06
4	1,2	3,3	1,84	1,53
3	0,66	4,5	1,81	2,75
2	0,137	14,6	1,75	12,80
1,75	0,035	50,0	1,69	48,20
1,7	0,021	81,0	1,66	79,15



1,65	0,010	165,0	1,63	163,20
1,6	0,004	400,0	1.59	398,20

Tālāk zilā spīddiode

<b><i>U(V)</i></b>	<b><i>I(mA)</i></b>	<b><i>R(kΩ)</i></b>	<b><i>U<sub>LED</sub>(V)</i></b>	<b><i>R<sub>LED</sub>(kΩ)</i></b>
6	1,677	3,6	2,98	1,78
5	1,174	4,3	2,89	2,46
4	0,677	5,9	2,78	4,11
3	0,202	14,9	2,64	13,05
2,9	0,150	19,3	2,63	17,53
2,8	0,114	24,6	2,59	22,76
2,7	0,074	33,5	2,57	34,69
2,6	0,035	74,3	2,54	72,49
2,5	0,010	250,0	2,48	248,20
2,4	0,001	2400,0	2,40	2398,20