

# Kondensaattori

- Kondensaattori muodostuu kahdesta johdelevystä ja niiden välisestä eristemateriaalista (yleensä johdelevyt on kääritty rullalle)
- Kondensaattorin kapasitanssi  $C$  kuvaa kondensaattorin varauskykyä

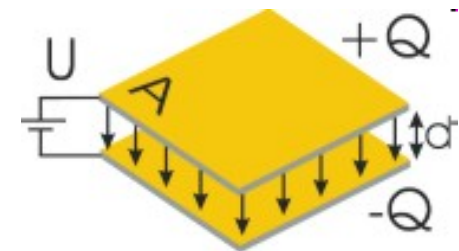
$$C = \frac{Q}{U}$$

- Kapasitanssin yksikkö on  $[C] = 1 \text{ F} = 1 \text{ faradi}$
- Levykondensaattorin kapasitanssi riippuu levyjen pinta-alasta  $A$ , etäisyydestä  $d$  sekä eristemateriaalista (suhteellinen permittiivisyys  $\epsilon_r$ )

$$C = \epsilon_r \epsilon_0 \frac{A}{d}$$

- Kondensaattorin energia

$$E_C = \frac{1}{2} QU = \frac{1}{2} CU^2$$



## K2019/3

Kondensaattorin kapasitanssin määrittäminen (15 p.)

Kondensaattori ladattiin kolmella eri jännitteen arvolla. Varaus purettiin kondensaattorin kanssa sarjaan kytketyn vastuksen kautta, ja samalla mitattiin piirissä kulkeva sähkövirta ajan funktiona.

Aineisto:

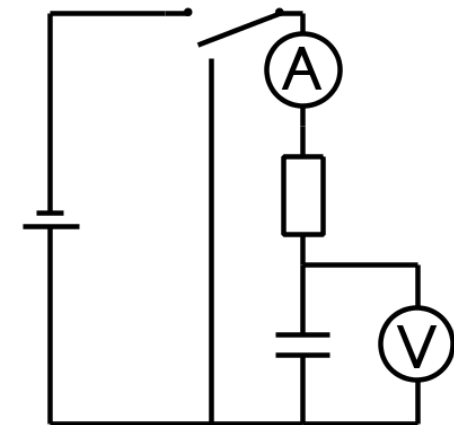
3.A [Mittausaineisto: Sähkövirta ajan funktiona](#)

Mittauksessa käytettiin 3,0 V:n, 6,0 V:n ja 9,0 V:n jännitteitä. Määritä kondensaattorin kapasitanssi käyttäen mittausaineiston 3.A kolmea eri mittaussarjaa. Käy vastauksessasi läpi määrittämisen vaiheet ja saamasi lopputulos.

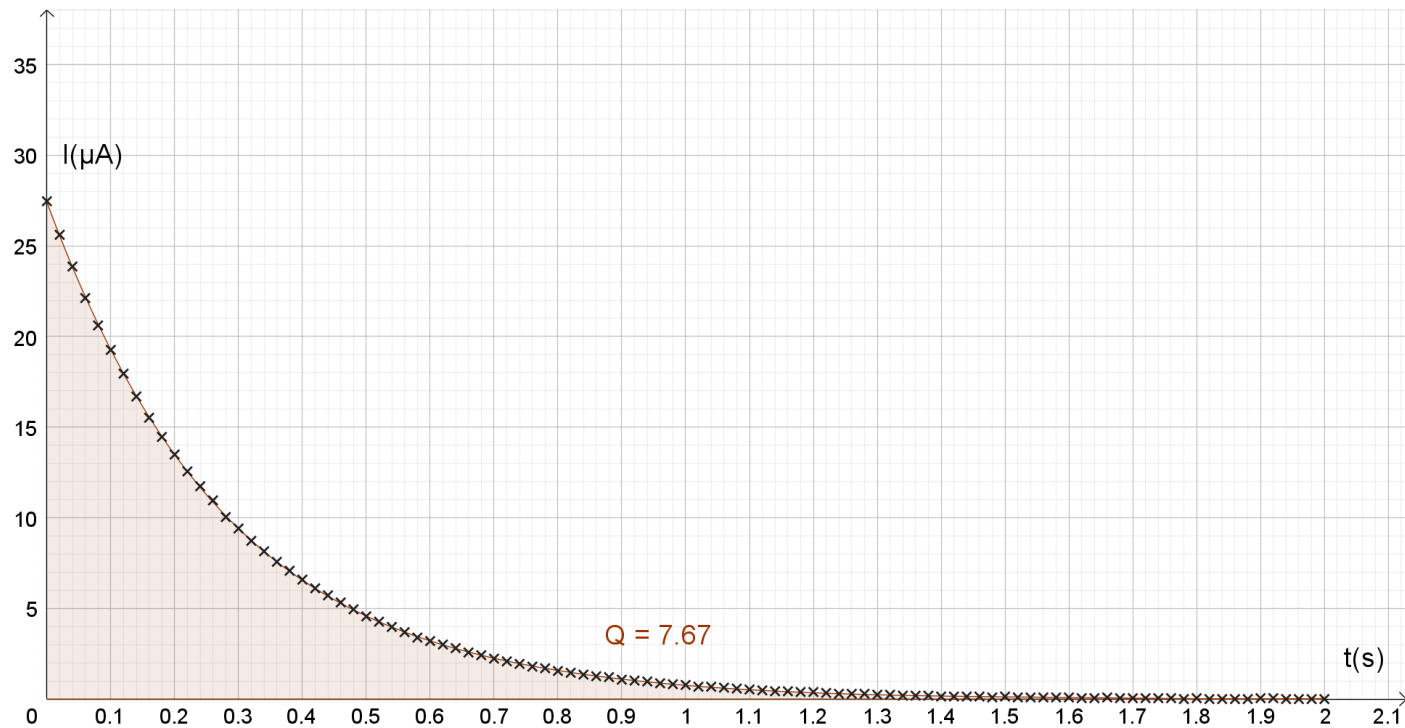
Kondensaattorin kapasitanssi saadaan kaavasta  $C = \frac{Q}{U}$ , jossa  $Q$  on kondensaattorin varaus, kun se on ladattu jännitteellä  $U$ .

Sovitetaan mittaustulokset  $(t, I)$  – koordinaatistoon.

Mittaukseen  
soveltuva kytkentä:

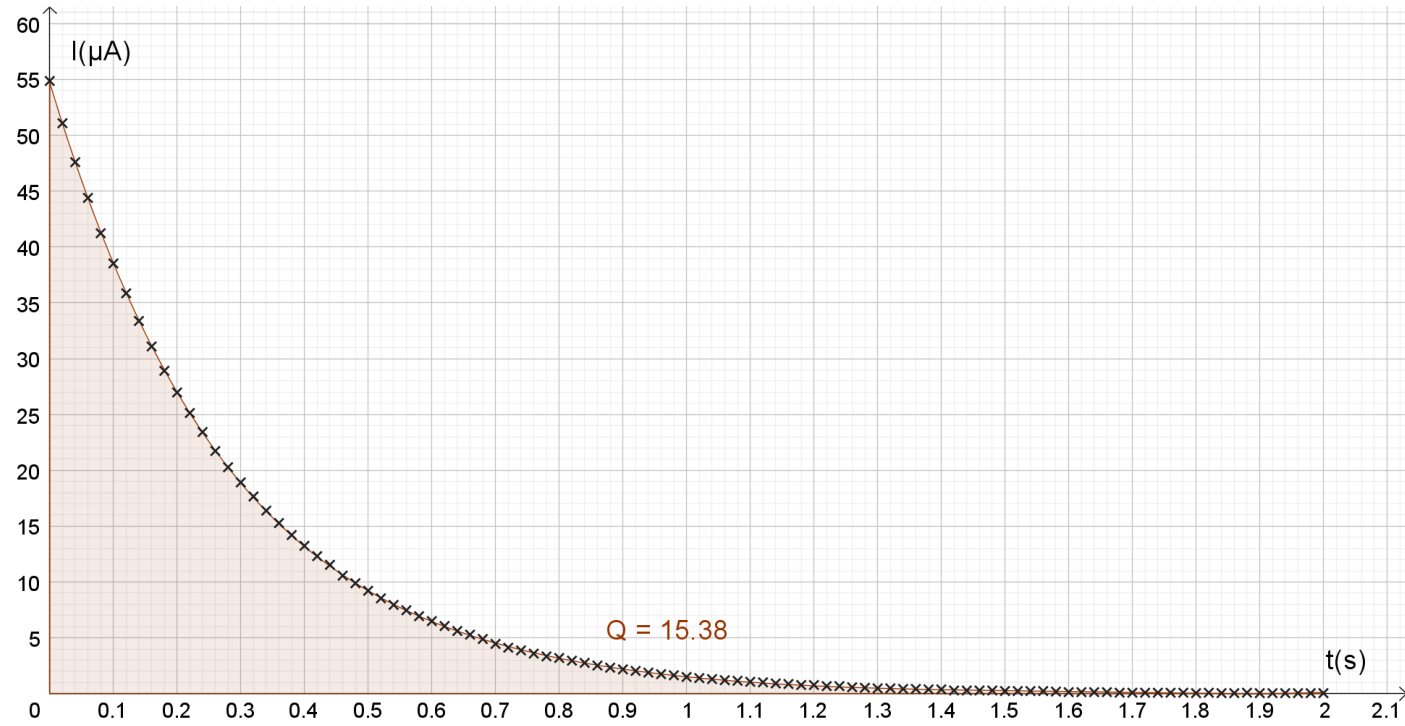


Kondensaattorin purkausvirta latausjännitteellä  $U = 3,0 \text{ V}$ :



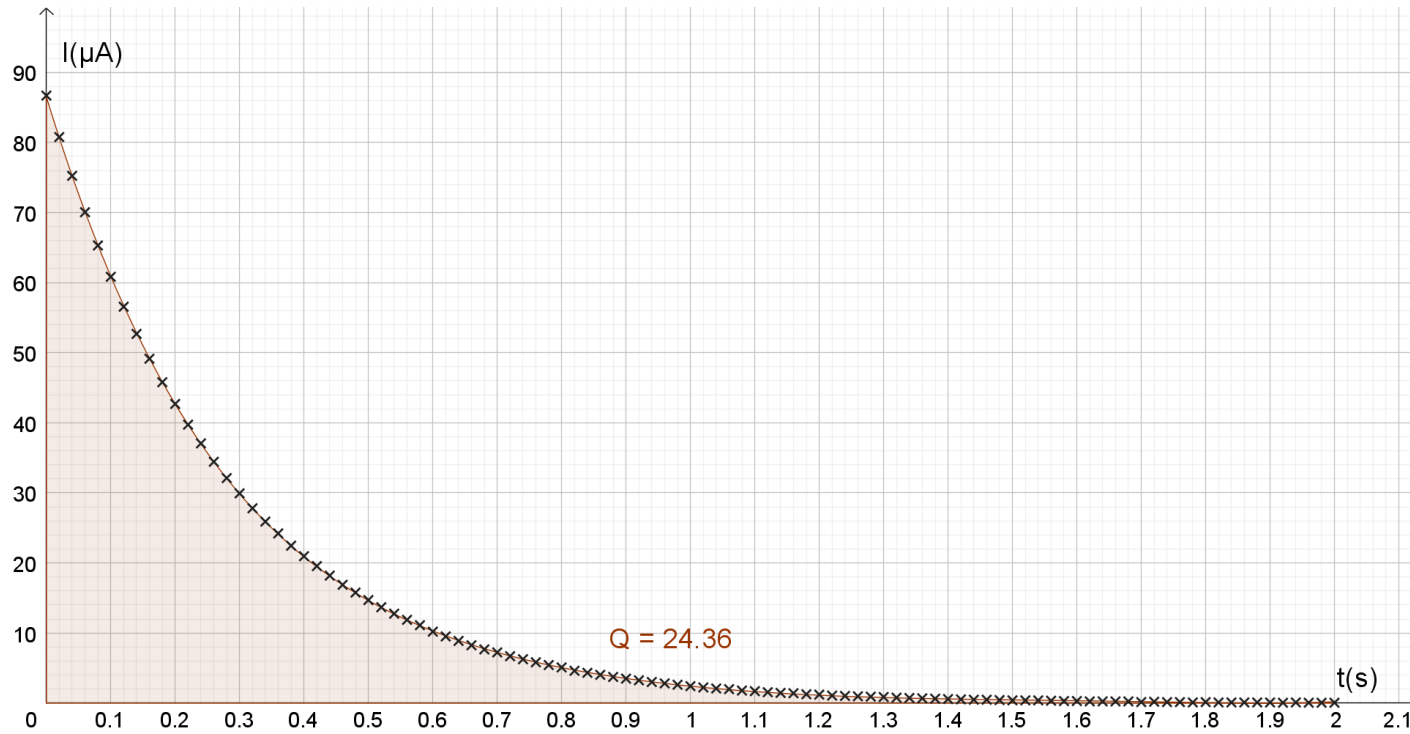
Kondensaattorin varaus saadaan käyrän ja  $x$  –akselin rajaamana fysikaalisena pinta-alana:  $Q = 7,67 \mu\text{A} \cdot \text{s} = 7,67 \mu\text{C}$ .

Kondensaattorin purkausvirta latausjännitteellä  $U = 6,0 \text{ V}$ :



Kondensaattorin varaus  $Q = 15,38 \mu\text{C}$ .

Kondensaattorin purkausvirta latausjännitteellä  $U = 9,0 \text{ V}$ :



Kondensaattorin varaus  $Q = 24,36 \mu\text{C}$ .

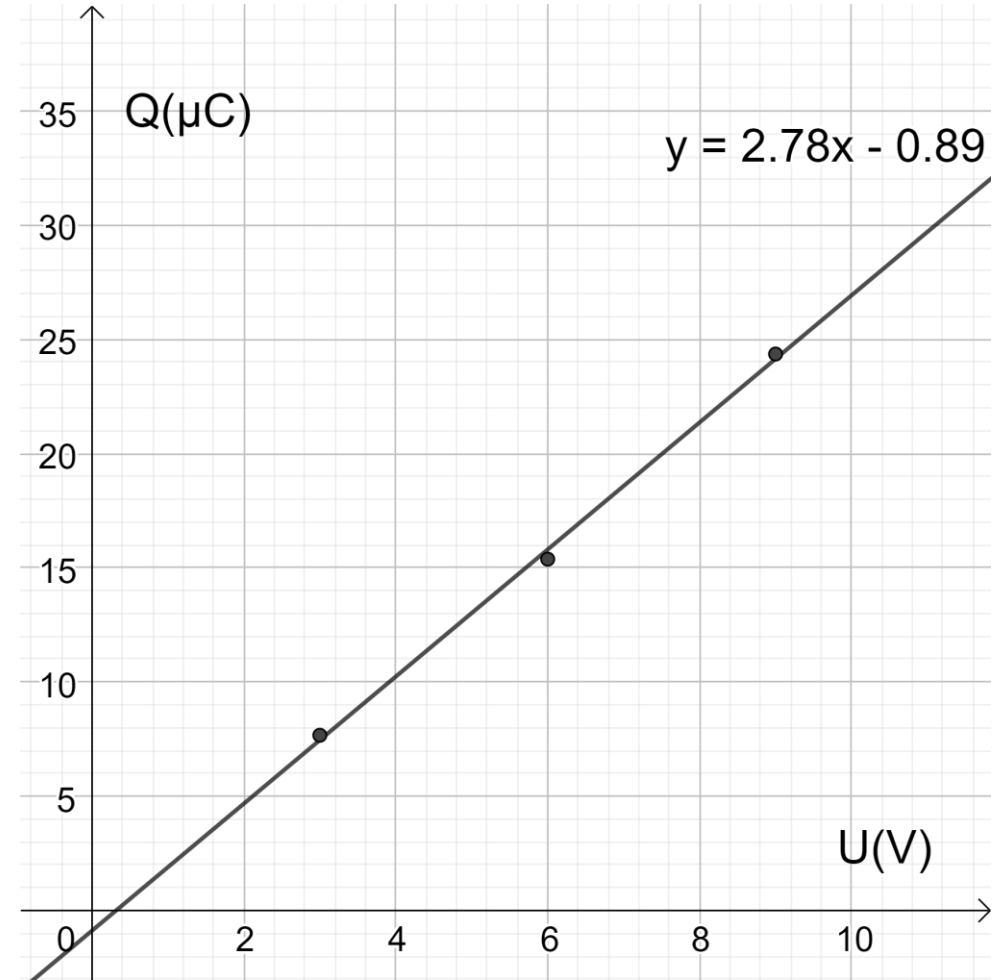
Tulokset taulukoituna:

$U(\text{V})$	$Q(\mu\text{C})$
3,0	7,67
6,0	15,38
9,0	24,36

Kondensaattorin varaus on suoraan verrannollinen jännitteeseen:  $Q = CU$ . Verrannollisuuskerroin eli kapasitanssi  $C$  saadaan siis  $(U, Q)$  –koordinaatistoon sovitetun suoran fysikaalisesta kulmakertoimesta.

$$C = 2,78 \frac{\mu\text{C}}{\text{V}} \approx 2,8 \mu\text{F}$$

Huom! Käytä graafisesta esitystä, jos se on tehtävässä mahdollista. (Keskiarvoja käyttämällä saataisiin tulos  $2,6 \mu\text{F}$ .)



Sovitussuoran pitäisi teoriassa mennä origon kautta. Vakiotermi kuvaa tässä mittauksen epätarkkuutta.

## Yo-tehtävä K2013/7

Ilmatäytteisen levykondensaattorin ympyränmuotoisten levyjen halkaisija on 18,0 cm ja levyjen välimatka on 5,7 mm. Kondensaattori varataan 48 V:n jännitelähteellä ja irrotetaan jännitelähteestä varaamisen jälkeen.

- Laske kondensaattorin varaus ja energia.
- Levyt siirretään 25,0 mm:n etäisyydelle toisistaan. Kuinka suuri on nyt kondensaattorin varaus ja energia?
- Jos kondensaattorin energia b-kohdassa eroaa a-kohdan arvosta, mistä energiaa tulee tai mihin sitä menee? Jos kondensaattorin energia säilyy, mistä säilyminen johtuu?

a) Listataan ensin levykondensaattorin kapasitanssin kaavaan  $C = \epsilon_r \epsilon_0 \frac{A}{d}$  sijoitettavat arvot.

Ilman suhteellinen permittiivisyys on  $\epsilon_r \approx 1,00$ ,

sähkövakio  $\epsilon_0 \approx 8,85419 \cdot 10^{-12} \frac{\text{F}}{\text{m}}$ ,

levyjen välimatka  $d = 5,7 \text{ mm} = 0,0057 \text{ m}$  ja

levyn pinta-ala  $A = \pi r^2$ , missä  $r = 18,0 \text{ cm}/2 = 0,090 \text{ m}$

Levykondensaattorin varaus  $Q$  saadaan ratkaistua kaavasta  $C = \frac{Q}{U}$ , kun  $U = 48 \text{ V}$ .

$$Q = CU = \epsilon_r \epsilon_0 \frac{A}{d} U = \epsilon_r \epsilon_0 \frac{\pi r^2}{d} U$$

$$Q = \varepsilon_r \varepsilon_0 \frac{\pi r^2}{d} U = 1,00 \cdot 8,85419 \cdot 10^{-12} \frac{\text{F}}{\text{m}} \cdot \frac{\pi \cdot (0,090 \text{ m})^2}{0,0057 \text{ m}} \cdot 48 \text{ V}$$

$$Q \approx 1,89736 \cdot 10^{-9} \text{ C} \approx 1,9 \text{ nC}$$

Kondensaattorin energia on

$$E_C = \frac{1}{2} QU \approx \frac{1}{2} \cdot 1,89736 \cdot 10^{-9} \text{ C} \cdot 48 \text{ V} \approx 4,554 \cdot 10^{-8} \text{ J} \approx 46 \text{ nJ}$$

- b)** Elektronit eivät pääse siirtymään levyiltä, koska kondensaattori on kytketty irti. Varaus siis säilyy, joten myös nyt  $Q \approx 1,9 \text{ nC}$ .

Ratkaistaan kondensaattorin energia verrannollisella päättelyllä.

Levykondensaattorin  $C = \varepsilon_r \varepsilon_0 \frac{A}{d}$  kapasitanssi muuttuu kääntäen verrannollisesti levyjen välimatkaan. (Muut suureet pysyy vakiona.)

Siis kun levyjen välimatka kasvaa suhteessa  $\frac{25,0}{5,7}$ , niin kapasitanssi pienenee suhteessa  $\frac{5,7}{25,0}$ .



Toisaalta kaavan  $C = \frac{Q}{U}$  perusteella kapasitanssi ja jännite ovat kääntäen verrannollisia, kun varaus  $Q$  on vakio.

Siis kun kapasitanssi pienenee suhteessa  $\frac{5,7}{25,0}$ , niin jännite kasvaa suhteessa  $\frac{25,0}{5,7}$ .

Kondensaattorin energia  $E_C = \frac{1}{2}QU$  on suoraan verrannollinen jännitteeseen, joten se kasvaa samassa suhteessa kuin jännite.

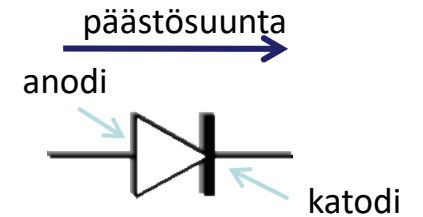
Kondensaattorin energia on nyt

$$E_C = 45,54 \text{ nJ} \cdot \frac{25,0}{5,7} \approx 199,7 \text{ nJ} \approx 200 \text{ nJ}$$

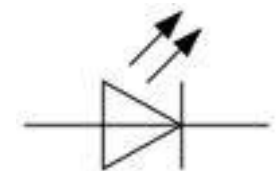
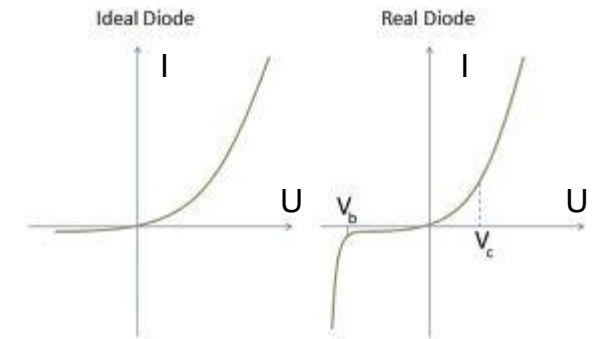
- c) Kondensaattorin energia kasvaa. Energiaa tulee mekaanisesta työstä sähköistä voimaa vastaan, kun levyjä siirrettään kauemmaksi toisistaan. (Erimerkkiset levyt vetävät toisiaan puoleensa, joten tarvitaan ulkoinen voima siirtämään ne kauemmaksi toisistaan.)

# Diodi ja LED

- Diodi on keskeinen elektroniikan komponentti, joka päästää sähkövirran kulkemaan lävitseen vain yhteen suuntaan, *päästösuuntaan*
  - Sähkövirta ei kulje diodin läpi vastakkaiseen *estosuuntaan*, paitsi jos jännite kasvaa liikaa, jolloin tapahtuu läpilyönti ja diodi tuhoutuu
- Diodin napoja kutsutaan *anodiksi (+)* ja *katodiksi (-)*
- Diodia käytetään esimerkiksi vaihtovirran *tasasuuntaukseen*
- LED eli hohtodiodi on diodi, jonka puolijohdemateriaali säteilee (näkyvää) valoa *kynnysjännitteen* ylittyessä
  - Hyvin pieni tehon kulutus ja erittäin pitkä käyttöikä
  - Puolijohdemateriaali määrää valon värin (jota voidaan edelleen muokata pinnan kalvoilla)



Diodin *ominaiskäyrä*



## K2019/9 Ledin valotehon säätö (20 p.)

Suunnittele ja mitoita aineistojen 9.A ja 9.B avulla kytkentä, jonka avulla ledin valotehoa voidaan säätää portaattomasti.

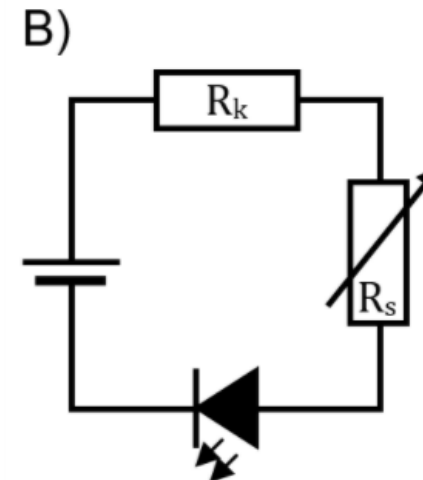
Aineisto:

9.A [Kuva: Kuvat kytkentäkaavioista](#)

9.B [Kuva: Cree XLAMP XM-L2 -datalehti](#)

- 9.1. Sinulla on käytössäsi ledi, akku ja kaksi vastusta, joista toinen on säädettävä. Valitse kuvassa 9.A esitetyistä kytkentäkaavioista sellainen, jonka avulla ledin valotehoa voidaan säätää portaattomasti. (3 p.)

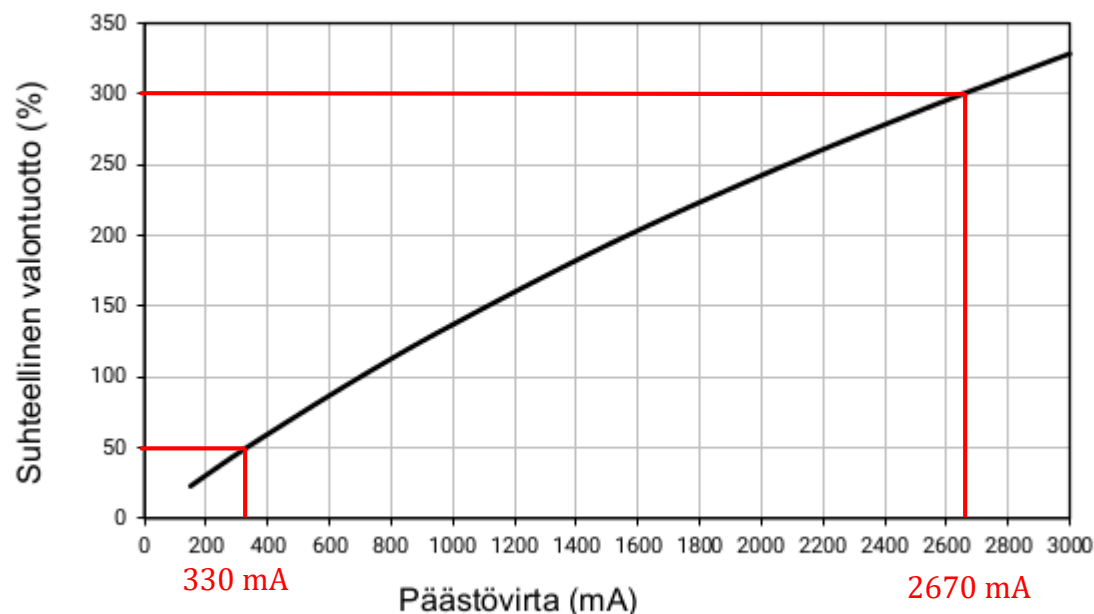
Sopiva kytkentä on vaihtoehto B. Siinä vastukset ovat sarjassa, jolloin ledin jännitehäviötä voidaan säätää portaattomasti, ja ledi on kytketty päästösuuntaan.



9.2. Akun lähdejännite on 4,5 V. Kuvassa 9.B on annettu tietoa käytössä olevasta ledistä. Mitoita kytkennässä olevat vastukset siten, että ledin valotehoa voidaan säätää portaattomasti välillä 150 lm ... 900 lm. (12 p.)

Aineiston perusteella ledin nimellinen (100 %) valontuotto on 300 lm. Joten 150 lm on suhteellisesti 50 % valontuotto ja 900 lm on 300 % valontuotto.

suhteellinen valontuotto ( $T=85^{\circ}\text{C}$ )



Kuvaajasta nähdään, että 50 % valontuottoa vastaava päästövirta on  $I_1 \approx 330 \text{ mA}$  ja 300 % valontuottoa päästövirta  $I_2 \approx 2670 \text{ mA}$ .

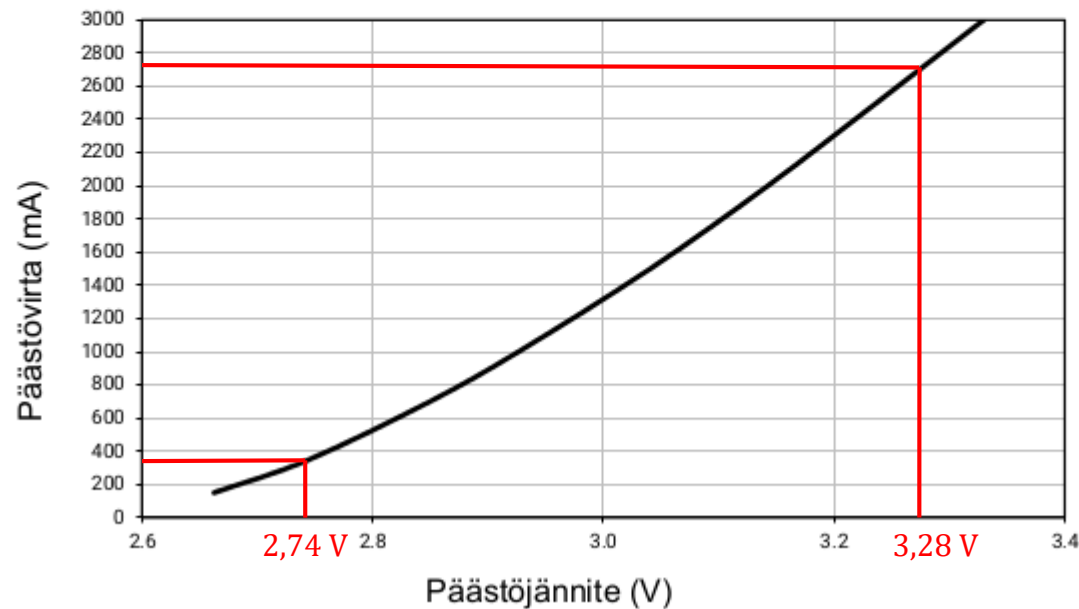
nimellinen valontuotto 300 lm @700 mA ( $T=85^{\circ}\text{C}$ )

Ominaiskäyrästä voidaan määrittää ledin päästöjännite (jännitehäviö) edellä määritetyillä virran arvoilla:

CREE 

XLAMP® XM-L2 LED

ominaiskäyrä (T=85°C)



Virtaa  $I_1 = 330 \text{ mA}$  vastaa  
päästöjännite  $U_{p1} \approx 2,74 \text{ V}$

Virtaa  $I_2 = 2670 \text{ mA}$  vastaa  
päästöjännite  $U_{p2} \approx 3,28 \text{ V}$

Kun piirissä kulkee suurin virta  $I_2 = 2670 \text{ mA} = 2,67 \text{ A}$ , säätövastuksen resistanssi  $R_s$  voidaan olettaa nolllaksi.

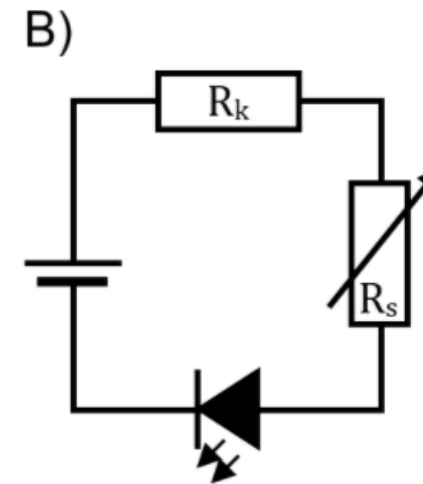
Akun lähdejännite  $E = 4,5 \text{ V}$  ja suurimman virran tapauksessa ledin jännitehäviö  $U_{p2} = 3,28 \text{ V}$ .

Kirchhoffin II lain mukaan

$$E - R_k I_2 - U_{p2} = 0,$$

josta saadaan etuvastuksen resistanssiksi

$$R_k = \frac{E - U_{p2}}{I_2} \approx \frac{4,5 \text{ V} - 3,28 \text{ V}}{2,67 \text{ A}} \approx 0,46 \Omega$$



Kun piirissä kulkee pienin virta  $I_1 = 330 \text{ mA} = 0,33 \text{ A}$ , säätövastuksen resistanssi  $R_s$  on suurimmillaan ja ledin jännitehäviö pienimmässä arvossaan  $U_{p1} = 2,74 \text{ V}$ .

Kirchhoffin II lain mukaan

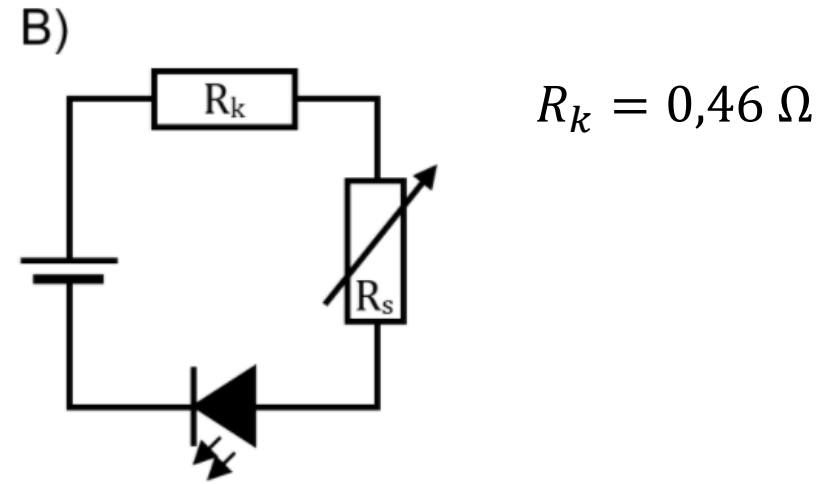
$$E - R_k I_1 - R_s I_1 - U_{p1} = 0$$

josta saadaan säätövastuksen suurimmaksi resistanssiksi

$$R_s = \frac{E - U_{p1}}{I_1} - R_k = \frac{4,5 \text{ V} - 2,74 \text{ V}}{0,33 \text{ A}} - 0,46 \Omega \approx 4,9 \Omega$$

**Vastaus:**

Etuvastuksen suuruudeksi mitoitetaan  $R_k = 0,46 \Omega$  ja säätövastuksen resistanssi  $R_s$  välille  $0 - 4,9 \Omega$ .



9.3. Määritä akusta otettava teho, kun ledi valaisee 900 lm:n kirkkaudella. (5 p.)

Maksimikirkkaudella 900 lm akusta otetaan maksimivirta  $I_2 = 2,67 \text{ A}$  ja akun napajännitteen  $U_A$  oletetaan olevan vakio (sisäinen resistanssi oletettava nolllaksi). Siis  $U_A = E = 4,5 \text{ V}$ .

Joulen lain mukaan akusta otetaan tällöin teho

$$P = U_A I_2 = 4,5 \text{ V} \cdot 2,67 \text{ A} \approx 12 \text{ W}.$$