

FYSP105 / K3 RC-SUODATTIMET

Työn tavoitteita

- tutustua RC-suodattimien toimintaan
- oppia mitoittamaan tutkittava kytkentä laiterajoitusten mukaisesti
- kerrata oskilloskoopin käyttöä vaihtosähkömittauksissa

Työssä tutustutaan RC-vaihtovirtapiirien ominaisuuksiin ja tutkitaan RC-suodattimien (usein käytetään suodattimen sijaan termiä suodin) taajuusvasteita ja läpäisykäyriä oskilloskoopin avulla. Kaksi tärkeintä RC-piirityyppiä ovat yli- ja alipäästösuodin. Molemmissa suotimissa on vastus ja kondensaattori kytketty sarjaan ja sisäänmenosignaali syötetään kytkennän päihin. Ulostulosignaali otetaan vastuksen tai kondensaattorin päistä. Suotimia käytetään laajalti eri vaihtotaajuuksien vaimentamiseen ja valintaan. Esimerkiksi kaksitiekaiuttimeen tarvitaan alipäästösuodin bassoelementille ja ylipäästösuodin diskanttielementille. Kolmitiekaiuttimessa tarvitaan lisäksi ns. kaistanpäästösuodin keskiäänielementille.

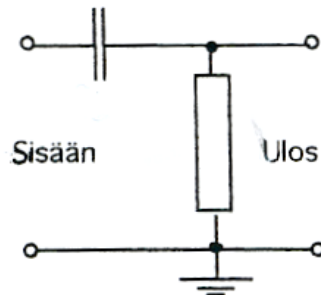
Työssä on tarkoituksena oppia lisäksi mitoittamaan tutkittava kytkentä tiettyjen reunaehtojen mukaan. Useissa laboratoriotöissä tämä on tehty valmiiksi, mutta tämän varjopuolena työohjeista tulee usein pitkiä ja reseptinomaisia. Tutkittavien kytkentöjen mitoitus tehdään annettujen ohjeiden mukaisesti työohjeen lopussa olevassa **harjoitustehtävässä, joka tulee olla tehtynä ennen mittauksia.** Harjoitustehtävän tekeminen on mittausten sujumisen kannalta erityisen tärkeää, joten siihen kannattaa panostaa. Jos tehtävässä on vaikeuksia, käy kysymässä neuvoa osaston assistenteilta **etukäteen.**

Oskilloskoopin käytön perusteet pitää myös hallita ennen tämän työn tekemistä eli oskilloskooppityö (FYSP105/K1. tai FYSP110/K1.) täytyy olla tehtynä ennen tämän työn suorittamista.

1 Teoriaa

1.1 Ylipäästösuodin

Tarkastellaan kuvan 1 mukaista kytkentää, jossa vastus R ja kondensaattori C on kytketty sarjaan. Piiriin syötetään vaihtojännite U_{in} ja sen kulmataajuus on ω . Ulostulojännite U_{out} otetaan vastuksen päistä.



Kuva 1. Ylipäästösuodin.

Piirin toiminnan ymmärtämiseksi lasketaan sen ulostulo- ja sisäänmenojännitteen

suhde eli vahvistus $G = \frac{U_{out}}{U_{in}}$.

Koska kyseessä on vaihtojännite, käytetään kondensaattorille ja vastukselle niiden

impedansseja $Z_C = \frac{1}{\omega C}$ ja $Z_R = R$. Koko piirin impedanssi on puolestaan

$$Z_{RC} = \sqrt{Z_R^2 + (Z_L - Z_C)^2} \stackrel{L=0}{=} \sqrt{R^2 + \frac{1}{\omega^2 C^2}} \quad (1)$$

Koska koko piirissä kiertää sama virta I , saadaan yhtälö

$$I = \frac{U_{in}}{Z_{RC}} = \frac{U_{out}}{Z_R}. \quad (2)$$

Kuvan 1 kytkennän vahvistukseksi saadaan näin ollen

$$G = \frac{U_{out}}{U_{in}} = \frac{R}{\sqrt{R^2 + \frac{1}{\omega^2 C^2}}}. \quad (3)$$

Vahvistus on siis lähdejännitteen kulmataajuuden ω funktio. Jos kulmataajuus lähestyy nollaa, nimittäjän neliöjuurilauseke lähestyy ääretöntä ja siten koko lauseke

(vahvistus) lähestyy nollaa. Jos taas kulmataajuus kasvaa hyvin suureksi, vahvistus lähestyy ykköstä.

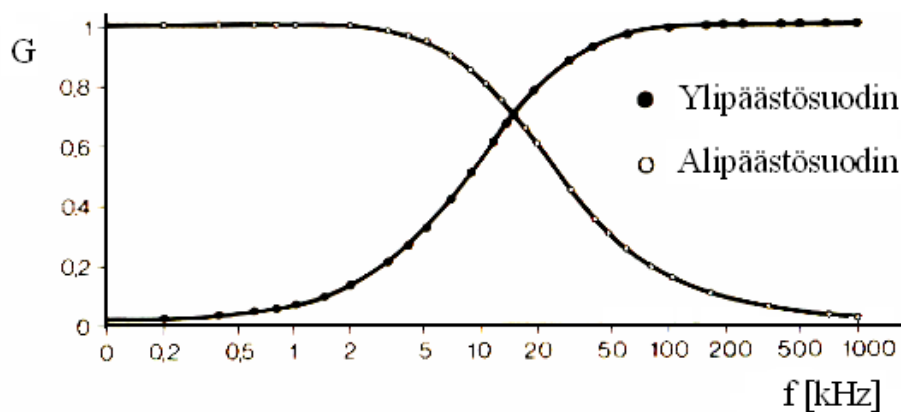
Tämä tarkoittaa sitä, että pienet taajuudet suodattuvat pois, kun taas suuret taajuudet pääsevät läpi. Kuvan 1 piiri toimii siten **ylipäästösuoitimenä**. Taajuuden vaihdeltaessa nollasta äärettömään vahvistus saa arvoja nollasta yhteen. Tyypillinen ylipäästösuoitimen läpäisykäyrä on esitetty kuvassa 2.

RC-piirissä hyvin matalilla taajuuksilla kondensaattorissa jännitehäviö U_C on vastuksen jännitehäviötä U_R suurempi. Rajatapauksessa (tietyllä kulmataajuudella ω_C) jännitehäviöt ovat yhtä suuret

$$U_C = U_R \Rightarrow \frac{I}{\omega_C C} = RI \quad (4)$$

$$f_C = \frac{\omega_C}{2\pi} = \frac{1}{2\pi RC}. \quad (5)$$

Yhtälön (5) toteuttavaa taajuutta f_C kutsutaan katkaisutaajuudeksi tai alarajataajuudeksi. Piirin vaimennus on tällöin noin 30%. Alarajataajuutta pienemmillä taajuuksilla ylipäästösuoitimen vaimennus on tätä suurempi.



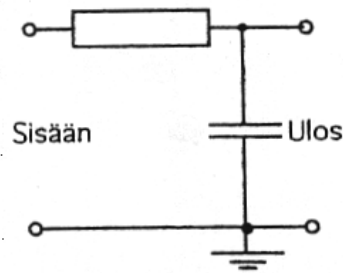
Kuva 2. Yli- ja alipäästösuoitimen läpäisykäyrät. Huomaa taajuusakselin logaritmisuus.

1.2 Alipäästösuoitin

Kuvassa 3 on tyypillinen alipäästösuoitin. Se eroaa ylipäästösuoitimesta vain siinä, että nyt jännite U_{out} otetaan kondensaattorin päistä. Piirin läpäisykäyrä on myös kuvassa 2

ja siitä nähdään, että piiri päästää lävitseen vain matalia taajuuksia. Tästä johtuen kyseistä kytkentää kutsutaan juuri **alipäästösuotimeksi**. Sen vahvistukselle G saadaan vastaavalla tarkastelulla kuin ylipäästösuotimenkin tapauksessa lauseke

$$G = \frac{\frac{1}{\omega C}}{\sqrt{R^2 + \frac{1}{\omega^2 C^2}}} \quad (6)$$

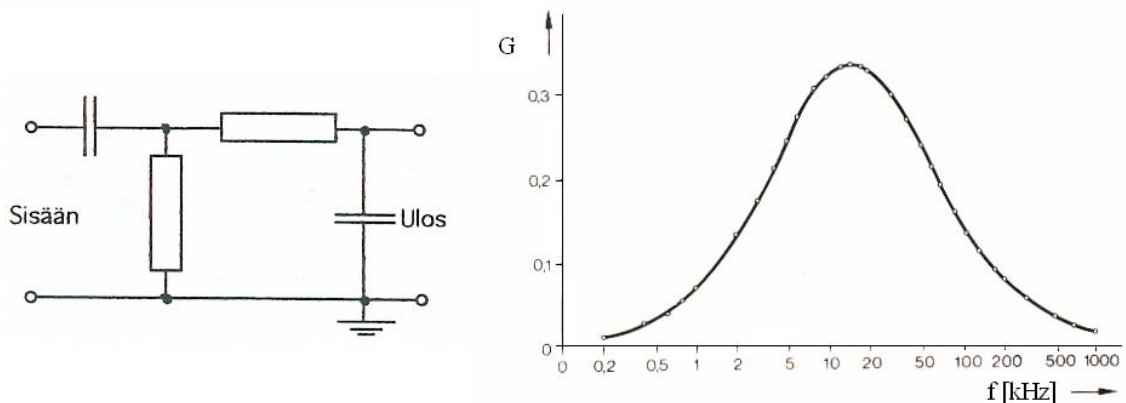


Kuva 3. Alipäästösuotimen kytkentä.

Alipäästösuotimelle löytyy vastaavasti yhtälön (5) toteuttava ylärajataajuus, jolloin piirin vaimennus on 30 %. Tätä suuremmilla taajuuksilla piirin vaimennus kasvaa.

1.3 Kaistanpäästösuodin

Kun ali- ja ylipäästösuodin kytketään sarjaan, saadaan kaistanpäästösuodin. Ehtona kuitenkin on, että alipäästösuotimen ylärajataajuus on samaa suuruusluokkaa tai suurempi kuin ylipäästösuotimen alarajataajuus. Kaistanpäästösuodin vaimentaa siis sekä ylä- että alataajuuksia päästäen lävitseen ainoastaan tietyn, piirin komponenteista riippuvan taajuuskaistan (kuva 4).



Kuva 4. Kaistanpäästösuotimen kytkentä ja läpäisykäyrä. Suotimen muodostavat yli- ja alipäästösuodin voidaan yhtä hyvin kytkeä päinvastaisessakin järjestyksessä.

2 Mittauslaitteisto

RC-piirien rakentamista varten tarvitaan vastuksien ja kondensaattoreiden lisäksi signaaligeneraattori, jonka kannattaa olla digitaalinen. Signaaligeneraattoriksi käy ESCORT (tai INSTEK), jonka lähtöimpedanssi on 50Ω . Signaaligeneraattorien näyttämän oikeellisuus kannattaa tarkistaa mittausten alussa oskilloskoopin avulla.

Käytössäsi on mittauspaijalla kaksi samanlaista alustaa, joissa on molemmissa kolme vastusta ($4,7 \text{ k}\Omega$, $12 \text{ k}\Omega$ ja $47 \text{ k}\Omega$) ja kaksi kondensaattoria (1 nF ja 10 nF). Mitoita suodin niin, että tarkasteltavat taajuusalueet ovat mitattavissa (ks. harjoitustehtävä). Samaa piiriä käytetään mittauksissa sekä yli- että alipäästösuotimena.

3 Työn suorittaminen

3.1 Ylipäästösuodin

Mittaa suotimessa käyttämiesi komponenttien arvot (R ja C) esim. LCR-mittarilla. Rakenna ylipäästösuodin ja kytke sisäänmeno- ja ulostulojännitteet oskilloskoopin kanaviin. Mittaa ylipäästösuotimen ulostulojännitettä taajuuden funktiona. Seuraa myös sisäänmenojännitteen arvoa. Käytä mittauksissa piirille sopivaksi mitoittamaasi taajuusaluetta (ks. harjoitustehtävä, kohta b).

3.2 Alipäästösuodin

Rakenna alipäästösuodin samoista komponenteista kuin edellä tutkittavana ollut ylipäästösuodin. Kytke jännitteet oskilloskoopin kanaviin. Mittaa ulostulojännitettä taajuuden funktiona samalla tavalla kuin ylipäästösuotimelle.

3.3 Kaistanpäästösuodin

Rakenna kaistanpäästösuodin edellä käyttämästäsi yli- ja alipäästösuotimesta. Nyt siis kytkennässä on kaksi samansuuruista vastusta ja kondensaattoria eli tarvitset käyttöösi toisen kytkentäalustan. Mittaa kaistanpäästösuotimellekin ulostulojännitettä taajuuden funktiona samalla taajuusalueella kuin muillekin suotimille.

4 Tulosten käsittely

Kaikille suotimille piirretään kuvaajat niiden vahvistuksesta taajuuden logaritmin funktiona. Ali- ja ylipäästösuotimen läpäisykäyrät piirretään samaan kuvaajaan, josta määritetään näille rajataajuudet. Vertaa kuvaajan avulla määritettyä rajataajuuden kokeellista arvoa komponenttien suuruuksien avulla laskettuun teoreettiseen arvoon. Piirrä samaan kuvaajaan myös kaistanpäästösuotimen läpäisykäyrä, jolloin voit helposti verrata sitä kahteen muuhun läpäisykäyrään.

Harjoitustehtävä (kytkennän komponenttien ja mittaustaajuuksien mitoittaminen)

a) Suunnittele ja mitoita mittauksissa käytettävä suodinpiiri valmiiksi. Kohdasta 2 näet käytössäsi olevat komponentit. Mitoituksessa ja mittausten valmistelussa tarvitset seuraavia taustatietoja:

- hyvän kuvaajan piirtämistä varten vahvistukselle G on hyvä saada arvoja laajalta alueelta eli esimerkiksi väliltä 0,01 – 0,99
- jotta signaaleja pystytään tarkastelemaan oskilloskoopilla hyvin, on tarkasteltavan taajuuden alarajan oltava noin 30 Hz; taajuusgeneraattori määrittää puolestaan tarkastelutaajuuden ylärajan (2 MHz)

Edellä mainitut seikat yhdessä määrittävät sen, minkälaiset komponentit R ja C suotimiin voidaan valita. Kaikki R, C -yhdistelmät eivät ole soveltuvia. Muista tarkistaa kyseisten komponenttien sopivuus sekä yli- että alipäästösuotimelle. Tarkistuslaskut voi tehdä monellakin tavalla. Jos et keksi mitään tapaa, käy kysymässä assistenteilta neuvoa.

b) Kuvaajan piirtämistä varten kannattaa mitata sellaisia taajuuksia, joille taajuuksien logaritmit ovat likimain tasavälisesti. Määritä a-kohdan avulla taajuuksien logaritmien ala- ja ylärajat. Näiden perusteella määritä mitattavien taajuuksien logaritmit (yhteensä noin 15 mittauspistettä) tasavälisesti ja lopuksi itse mitattavat taajuudet näistä logaritmeista. Huomaa, että taajuuksien arvojen ei tarvitse olla tarkkoja, vaan tavoitteena on löytää oikeat mittaustaajuuksien suuruusluokat.