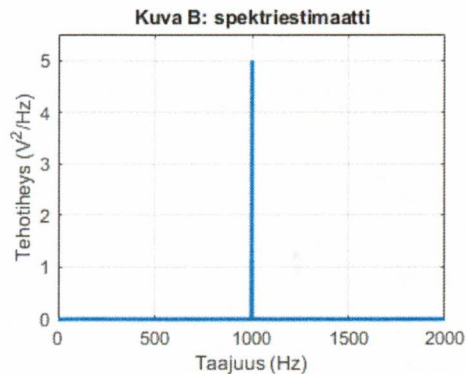
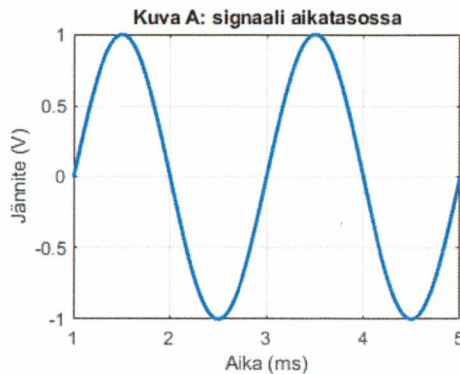


AUT.120 Mittaus A, BBT.028 Mittaus B, KONE.140 Mittaus K, MSE.230 Mittaus M

Vastaa kaikkiin tehtäviin. **Kaikki laskimet sallittu, ei materiaalia.** Kaikki tehtävät ovat 6 pisteen arvoisia. Viimeisellä sivulla on kaavakokoelma. Kysymyspaperia ei tarvitse palauttaa.

1. Kalibrointi ja jäljitettävyyys.

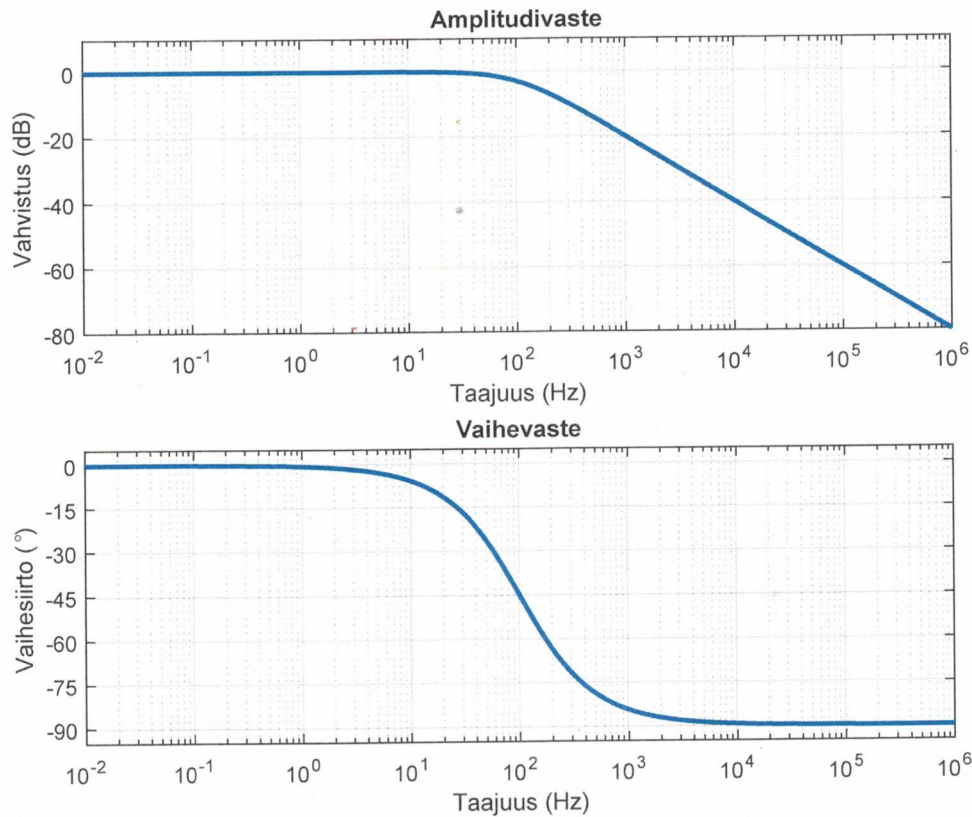
- a) Miksi mittalaitteita kalibroidaan? (3 p.)
  - b) Mitä tarkoitetaan kalibroinnin jäljitettävyydellä ja miksi se on tärkeää? (3 p.)
2. a) Minkälaisia virheitä AD-muunnos (analogia-digitaalimuunnos) voi aiheuttaa mittaus-signaaliin? Kuinka näiden virheiden vaikutuksia voidaan kumota kokonaan tai vähentää? (3 p.)
  - b) Työkaverisi väittää, että kuvassa A ajan funktiona esitetyn signaalin spektriestimaatti on esitetty kuvassa B. Vastaa perustellen, onko työkaverisi väite tosi vai epätosi. Oikeista vastauksista ja perusteluista saa 1,5 p., vääristä 0 p.



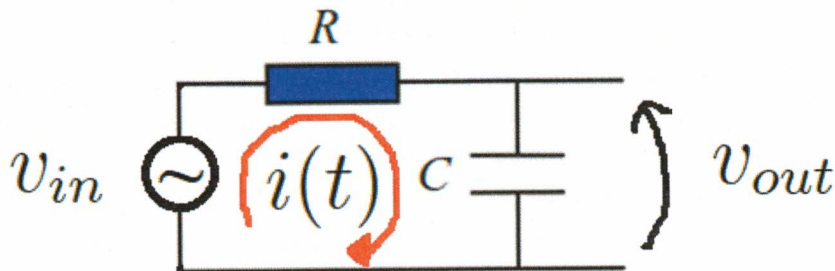
- c) Edelleen työkaverisi väittää, että on hyvä asia, mikäli venymäliuska-anturin resistanssi riippuu sekä lämpötilasta että venymästä, koska tällöin yhdellä samalla anturielementillä voidaan mitata samanaikaisesti sekä lämpötilaa että venymää. Vastaa tähänkin perustellen, onko työkaverisi väite tosi vai epätosi. Oikeista vastauksista ja perusteluista saa 1,5 p., vääristä 0 p.
3. Kappaleen halkaisija on mitattu digitaalisella työntömitalla toistettavuuden mahdollista-neissa olosuhteissa 121 kertaa. Mittaustulosten keskiarvoksi on laskettu 14,65 mm ja otos-keskihajonnaksi 0,77 mm.
    - a) Selitä lyhyesti, mitä tarkoitetaan termillä mittausepävarmuus. (1 p.)
    - b) Laske tehtävän lähtötietojen perusteella kokeelliseen mittaussarjaan liittyvän tyyppin A standardiepävarmuuskomponentin suuruus. (1 p.)
    - c) Digitaalisen työntömitan laajennettu epävarmuus on kalibrointitodistuksen mukaan 0,52 mm ( $k = 2$ ). Määritä mittalaitteen kalibrointiepävarmuudesta aiheutuva tyyppin B standardiepävarmuuskomponentin suuruus. (1 p.)
    - d) Digitaalisen työntömitan resoluutio on 0,05 mm. Määritä mittalaitteen pyöristysvirheestä aiheutuva tyyppin B standardiepävarmuuskomponentin suuruus. (1 p.)
    - e) Määritä edellä laskettuja tietoja käyttäen mittaustuloksen yhdistetty standardiepävarmuus. (1 p.)
    - f) Ilmoita mittaustuloksen laajennettu mittaasepävarmuus kattavuuskertoimella  $k = 2$ . Kuinka suuri (likimääräinen) kattavuusväli saadaan kattavuuskertoimella  $k = 2$ ? (1 p.)

## 4. Mittausjärjestelmien dynamiikka

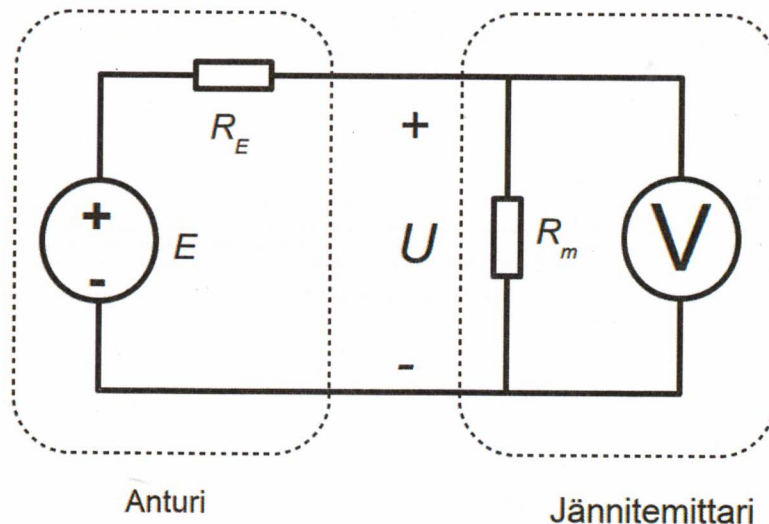
- a) Mittausjärjestelmän signaalinmuokkainlohkossa on alipäästösuodin, jonka taajuusvaste on esitetty alla olevissa kuvajissa. Vastaa perustellen, kannattaako kyseistä mittausjärjestelmää käyttää i) taajuudella 1 Hz olevien ilmiöiden mittaamiseen? ii) Taajuudella 10 kHz olevien ilmiöiden mittaamiseen? (3 p.)



- b) Edellisen kohdan alipäästösuotimen lähtösuure eli lähtöjännite on kondensaattorin yli oleva jännite  $v_{out}(t)$ . Piirissä kulkeva virta eli vastuksen ja kondensaattorin läpi kulkeva virta  $i(t)$  riippuu kondensaattorin  $C$  yli olevasta jännitteestä yhtälön  $i(t) = C \frac{d(v_{out}(t))}{dt}$  mukaisesti. Piirin tulosuure eli tulojännite  $v_{in}(t)$  puolestaan noudattaa Kirchhoffin jännitelain ja Ohmin lain mukaisesti yhtälöä  $v_{in}(t) = Ri(t) + v_{out}(t)$ . Muodosta piirin siirtofunktion  $H(s) = \frac{V_{out}(s)}{V_{in}(s)}$  lauseke resistanssin  $R$ , kapasitanssin  $C$  ja Laplace-muuttujan  $s$  avulla lausuttuna. Kaikki alkuarvotermit voi olettaa nolliksi. (3 p.)



5. Mitä toimintalohkoja voidaan erotella tyypillisestä mittausjärjestelmän mallista ja mitä toiminnallisuuksia eri lohkot tyypillisesti sisältävät? Vastaukseen kannattaa sisällyttää lohkokaavio tai muu vastaava piirros tyypillisen mittausketjun/mittausjärjestelmän rakenteesta. (6 p.)
6. Yleismittarin avulla tutkitaan anturia (lasista pH-elektrodia), joka tuottaa pH-arvosta riippuvaa tasajännitettä  $E$ . Tutkittavan anturin sähköistä toimintaa mallinnetaan sijaiskytkennällä, joka koostuu ideaalisen jännitelähteen  $E$  ja anturin lähtöresistanssia eli "sisäistä resistanssia" edustavan vastuksen  $R_E = 500 \text{ M}\Omega$  sarjaankytkennästä. Yleismittarin tuloresistanssi eli "sisäinen resistanssi" on  $R_M = 10 \text{ M}\Omega$ .
- a) Eräessä tilanteessa saadaan yleismittarin tasajännitteen mittaustoiminnolla mittaustulokseksi  $U = 10 \text{ mV}$ . Mikä anturin tuottaman jännitteen  $E$  arvo todellisuudessa? (3 p.)
- b) Riippuen siitä, mitä sait edellisessä kohdassa tulokseksi, selitä miksi mittaustulos  $U$  ja anturin tuottama pH-riippuva jännite  $E$  poikkeavat toisistaan tai miksi ne ovat samoja. (2 p.)
- c) Jos yleismittarilla mitataan vaihtojännitteen mittaustoiminnolla 50 Hz taajuista siniaaltoja, jonka amplitudi eli huippuarvo on 325 V, mikä on yleismittarin näyttämä mittaustulos? Mittauksen voi kaikki virhelähteet voi olettaa tässä merkityksettömän pieniksi. (1 p.)





$$\bar{x} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i, \quad s^2(x) = \frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2, \quad u^2(\bar{x}) = \frac{s^2(x)}{N}, \quad u^2 = \frac{a^2}{3}, \quad u^2 = \frac{a^2}{6},$$

$$U(y) = ku_c(y), \quad u_c^2(y) = \sum_{i=1}^m \left( \frac{\partial f}{\partial x_i} u(x_i) \right)^2, \quad y = f(x_1, x_2, x_3, \dots, x_m)$$

$$u_r(x) = \frac{u(x)}{x}, \quad i_C(t) = C \frac{dV_C}{dt}, \quad u_L(t) = L \frac{di_L}{dt}, \quad Z_C = \frac{1}{j\omega C}, \quad Z_L = j\omega L,$$

$$U = ZI, \quad U = RI, \quad j^2 = -1, \quad \omega = 2\pi f, \quad x_{AC}(t) = x(t) - X_{DC}, \quad X_{AC} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_{\tau}^{\tau+T} x_{AC}^2(t) dt},$$

$$X_{DC} = \frac{1}{T} \int_{\tau}^{\tau+T} x(t) dt, \quad X_{RMS} = \sqrt{X_{AC}^2 + X_{DC}^2} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_{\tau}^{\tau+T} x^2(t) dt}, \quad X_{tka} = \frac{1}{T} \int_{\tau}^{\tau+T} |x(t)| dt,$$

$$y(t) = (h * x)(t), \quad Y(s) = H(s)X(s), \quad y(t) = AK(1 - \exp(-t/\tau)), \quad f_c = \frac{1}{2\pi RC},$$

$$R_T = R_0(1 + \alpha(T - T_0) + \beta(T - T_0)^2 + \gamma(T - T_0)^3 + \dots), \quad R_T = R_{T_0} \exp\left(\beta \left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_0}\right)\right),$$

$$E_{T_1, T_2}^{AB} = E_{T_1}^{AB} - E_{T_2}^{AB} = a_1(T_1 - T_2) + a_2(T_1^2 - T_2^2) + a_3(T_1^3 - T_2^3) + \dots,$$

$$\frac{\Delta R}{R} = Ge_L, \quad e_L = \frac{\Delta L}{L}, \quad \sigma = Ee_L, \quad e_T = -\nu e_L, \quad R = \frac{\rho l}{A}, \quad C = \epsilon_o \epsilon_r \frac{A}{d},$$

$$q = Av, \quad p + \frac{\rho v^2}{2} + \rho gh = \text{vakio}$$

Muunnospareja		
$f(t)$	$F(s) = \mathcal{L}\{f(t)\}$	
15.	$\delta(t)$	1
16.	$a\varepsilon(t)$	$\frac{a}{s}$
17.	$t$	$\frac{1}{s^2}$
18.	$\frac{t^n}{n!}$	$\frac{1}{s^{n+1}}$
19.	$e^{-at}$	$\frac{1}{s+a}$
20.	$e^{-at} - e^{-bt}$	$\frac{b-a}{(s+a)(s+b)}$
21.	$\sin(\omega t)$	$\frac{\omega}{s^2 + \omega^2}$
22.	$\cos(\omega t)$	$\frac{s}{s^2 + \omega^2}$
23.	$\sinh(at)$	$\frac{a}{s^2 - a^2}$
24.	$\cosh(at)$	$\frac{s}{s^2 - a^2}$
25.	$e^{-at} \sin(\omega t)$	$\frac{\omega}{(s+a)^2 + \omega^2}$
26.	$e^{-at} \cos(\omega t)$	$\frac{s+a}{(s+a)^2 + \omega^2}$
27.	$\frac{e^{-at} t^n}{n!}$	$\frac{1}{(s+a)^{n+1}}$
28.	$\frac{t}{2\omega} \sin(\omega t)$	$\frac{s}{(s^2 + \omega^2)^2}$
29.	$[\varepsilon(t) - \varepsilon(t - \pi/\omega)] \sin(\omega t)$	$\frac{\omega}{(1 + e^{-\pi s/\omega}) (s^2 + \omega^2)}$

Laplace-muunnoksen ominaisuuksia		
$f(t)$	$F(s) = \mathcal{L}\{f(t)\}$	
2.	$A_1 f_1(t) + A_2 f_2(t)$	$A_1 F_1(s) + A_2 F_2(s)$
3.	$\frac{d}{dt} f(t)$	$sF(s) - f(0)$
4.	$\frac{d^n}{dt^n} f(t)$	$s^n F(s) - \sum_{i=1}^n s^{n-i} f^{(i-1)}(0)$
5.	$\int_0^t f(\tau) d\tau$	$\frac{1}{s} F(s)$
6.	$(-t)^n f(t)$	$\frac{d^n}{ds^n} F(s)$
7.	$f(t-a)\varepsilon(t-a)$	$e^{-as} F(s)$
8.	$f(t+a)$	$e^{as}(F(s) - \int_0^a e^{-st} f(t) dt)$
9.	$e^{-at} f(t)$	$F(s+a)$
10.	$f(at)$	$\frac{1}{a} F\left(\frac{s}{a}\right)$
11.	jaksollinen funktio $f(t) = f(t+T)$	$\frac{F_1(s)}{1 - e^{-sT}}, F_1(s) = \text{yhden jakson muunnos.}$
12.	$f_1(t) * f_2(t) = \int_0^t f_1(\tau) f_2(t-\tau) d\tau$	$F_1(s) F_2(s)$
13.	$f(0^+) = \lim_{s \rightarrow \infty} sF(s)$	
14.	$f(\infty) = \lim_{s \rightarrow 0} sF(s)$ , jos loppuarvo on olemassa	