



Aalto-yliopisto
Sähkötekniikan
korkeakoulu

Sähkötekniikka ja elektroniikka

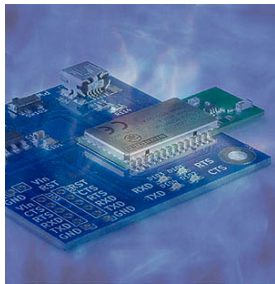
Kimmo Silvonen (X)

9.9.2020

ELEC-C4210 Sähkötekniikka ja elektroniikka (5 op)

Luento 9.9.2020

- ▶ Motto: *"Eri tutkinto-ohjelmien opiskelijat kohtaavat rennossa ja innovatiivisessa ilmapiirissä."*
- ▶ Zoom-linkit MyCoursesissa (MyCo)
- ▶ Luennot ja laskuharjoitukset:
Kimmo Silvonon (KS = X)
- ▶ Laboratoriotyöt: kotitehtävinä
- ▶ Luento- ja harjoitusaikataulu: ma 10-12 H,
ke 12-14 L, ke 14-16 H
- ▶ For English instructions,
please contact Kimmo (important)!



Elektroniikka
ja sähkötekniikka

OYAT IETO

Kimmo Silvonon

Oppikirja

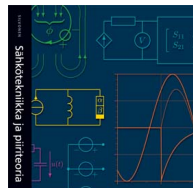
Gaudeamus Otatieto

- ▶ **Elektroniikka ja sähkötekniikka (2018)**, (kuva ed. sivulla)
- ▶ tai **Sähkötekniikka ja piiriteoria (2009) + Elektroniikka ja puolijohdekomponentit (2009)** tai

Sähkötekniikka ja elektroniikka (2003–7), jotka löytyvät monista kirjastoista.

Printtaa painovirheiden korjaukset!

- ▶ Luentokalvot eivät sovellu itsenäiseen opiskeluun!?
- ▶ Itsepäinen opiskelu ei edes sovi kaikille.
- ▶ Ks. myös MyCo:n materiaali!



Sähkötekniikka ja piiriteoria

Kimmo Silvonen, Sähkötekniikka ja piiriteoria, Otatieto, 2009



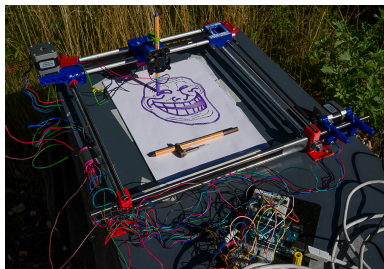
Elektroniikka ja puolijohdekomponentit

Kimmo Silvonen, Elektroniikka ja puolijohdekomponentit, Otatieto, 2009



Opetusjärjestelyt ja -materiaalit

- ▶ Materiaali tulee MyCourses-alustalle.
- ▶ Kaavakokoelma (ks. *Materiaalit*), esitellään 3. luennolla
- ▶ Laskuharjoitukset MyCo:ssa
- ▶ Laskuharjoitusten ratkaisut tulevat hieman myöhemmin
- ▶ Laboratoriotöiden ohjeet ja turvallisuusohje (MyCo)



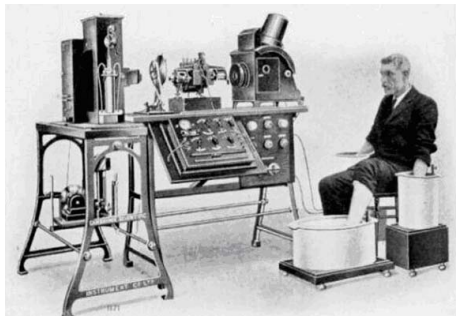
Laskuharjoitukset LH

Kannattaa osallistua!

- ▶ Ehkä keskeisin osa kurssia, 14. & 16.9.2020 alkaen
- ▶ Ma klo 10-12 tai sama harjoitus ke klo 14-16 (ks. MyCo)
- ▶ Ma harjoitus on siis jo ennen luentoa
- ▶ Tehtävät Myco:ssa (ei palautettavia laskutehtäviä)
- ▶ Ratkaisut tulevat MyCoon
- ▶ Käyn ratkaisut läpi Zoomilla; kysymyksiä kannattaa esittää. Vapaaehtoisia kotitehtäviä
- ▶ Itseopiskelu tuottaa paljon osanottajia ensi syksyksi
- ▶ *Live*-ratkaisut ovat usein havainnollisemmat
- ▶ Vanhoja koetehtäviä Mycossa
- ▶ Yksi laskuharjoitustehtävä tulee kokeisiin modattuna
- ▶ Opettele käyttämään Kakoa!

Laboratoriotyöt korvataan 4:llä kotitehtävällä

- ▶ Vanhat laboratoriotyö(osa)suoritukset ovat voimassa
- ▶ Syksyllä 2020 labrojen tilalla on samanaiheiset helpohkot kotitehtävät
- ▶ Tehtävät ja palautusohje julkaistaan viimeistään lokakuussa
- ▶ Lue turvallisuus- ja ensiapuohjeet!
- ▶ Kurssin hauskin ja vähiten streßaava osa!



Suorittaminen

Välikokeet ja tentit pidetään etänä

- ▶ Lasket 4 tehtävää viidestä (4 x 10 p.)
- ▶ LH-tehtävä kokeisiin
- ▶ Taustamateriaali on sallittu
- ▶ Ratkaisut ovat netissä, 1998 alkaen
- ▶ Pisterajat: $\frac{30+8 \cdot n}{80} = \frac{38 \dots 70}{80}$
kiinteät: 38, 46, 54, 62, 70
- ▶ Lisäpisteet: palaute (2)
- ▶ Labrasuoritukset pysyvät voimassa ainakin kesään 2022
- ▶ Välikoeaikataulu: ti 20.10. klo 14-16 ja ti 8.12. klo 14-16 (myös tentti).
Tentti ma 29.3. klo 16.30-19.30.



Luentojen aihepiirit ja viittaus matematiikkaan

Viikko	Aihe	Esimerkki
0	Esittely, materiaalien ominaisuudet	$n = \frac{\Sigma-34}{8}$
1	Lineaariset piirit	$U = RI$
2	KytKentäilmiöt	$u = L \frac{di}{dt}$
3	Siniaalto	$U = j\omega LI$
4	Sähkövoimatekniikka	$P = (3 \cdot) \text{Re}[UI^*]$
5	Siirtojohto	$\rho = \frac{R-Z}{R+Z}$
—	1. välikoe	
6	Epälineaariset piirit, diodi	$I = I_S \left(e^{\frac{U}{nU_T}} - 1 \right)$
7	Transistori	$i_C = \beta i_B$
8	FET	$i_D = K (u_{GS} - U_t)^2$
9	Operaatiovahvistin	$u_+ = u_-$
10	Teholähteet	$C \cdot \Delta u \approx I_O \cdot \Delta t$
—	2. vk tai tentti	"Π#Pκ#Λ#!"

Tavoitteita

Mitä jää käteen? Tätä!

- ▶ Saat riittävät pohjatiedot eri tietolähteiden käyttöön
- ▶ Kykyä ymmärtää ja omaksua uusia teknologioita, *teknojargonia* (liirum-laarumia) ja insinöörimatematiikkaa
- ▶ Taitoa rakentaa laite käyttöjännitteineen kytkentäkaavion pohjalta
- ▶ Neuvotteluvalmiuksia, ettei teitä *k:sta* linssiin
- ▶ Tavoitteena laaja-alaisuus ja monitieteisyys
- ▶ Erinomainen tilaisuus solmia suhteita Aallon hengessä yli koulutusohjelmaraajojen
- ▶ Nostattaa optimismia ja opiskelijoiden uskoa omiin kykyihin
- ▶ Hauskoja hetkiä sähkön ja elen sekä Elen ja sähkön parissa!

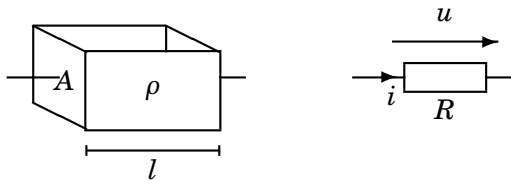
Passiiviset peruskomponentit

Taustatietoa kurssille: yleissivistävä aiheen skannaus.

- ▶ Peruskomponentit: yhtälöt, suureet, yksiköt
- ▶ Vastus — resistanssi R , konduktanssi G
- ▶ Kela — induktanssi L
- ▶ Kondensaattori — kapasitanssi C
- ▶ Memristori — memristanssi M , memduktanssi W
- ▶ Fysikaalinen rakenne ja materiaalivakiot
- ▶ Teoriaa laajasti: *Elektroniikka ja sähkötekniikka*, 2018

Vastus rakenneosana, resistanssi R

Vastuksessa energia muuttuu lämmöksi, mutta ei varastoidu



$$R = \frac{u}{i} = \frac{El}{JA} = \frac{\rho J l}{JA} = \frac{\rho l}{A} = \frac{l}{\sigma A} \quad [\text{ohmi}] \quad \Omega = \frac{\text{V}}{\text{A}}$$

$$G = \frac{1}{R} = \sigma \frac{A}{l} \quad [\text{siemens}] \quad \text{S} = \frac{\text{A}}{\text{V}}$$

E = sähkökentän voimakkuus [V/m]

J = sähkövirran tiheys [A/m^2]

ρ = resistiivisyys, ominaisvastus [Ωm]

σ = johtavuus [$\text{S}/\text{m} = \text{siemens}/\text{metri}$]

$\sigma_{\text{Ag}} = 61,7 \text{ MS}/\text{m}$, $\sigma_{\text{kvartsi}} = 10^{-17} \text{ S}/\text{m}$

Eräiden materiaalien johtavuuksia σ (S/m)

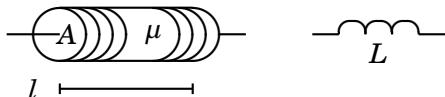
hopea	$6,17 \cdot 10^7$
kupari	$5,8 \cdot 10^7$
kulta	$4,10 \cdot 10^7$
alumiini	$3,82 \cdot 10^7$
pronssi (66% Cu)	$2,56 \cdot 10^7$
volframi (<i>tungsten</i>)	$1,82 \cdot 10^7$
sinkki	$1,67 \cdot 10^7$
nikkeli	$1,45 \cdot 10^7$
rauta	$1,03 \cdot 10^7$
platina	$0,952 \cdot 10^7$
tina	$0,877 \cdot 10^7$
lyijy	$0,457 \cdot 10^7$
ruostumaton teräs	$0,111 \cdot 10^7$
konstantaani	$2,26 \cdot 10^6$
grafiitti	$7,14 \cdot 10^4$
pii	$4,35 \cdot 10^{-4}$
lasi	$10^{-14} \dots 10^{-11}$

Eristemateriaalien tyypillisiä resistiivisyyksiä $\rho = \frac{1}{\sigma}$ (Ωm)

merivesi	0,1...5
savi	25...70
vesijohtovesi	40...250
lieju, turve, multa	50...250
sadevesi	800...1300
graniittikallio	$1...5 \cdot 10^4$
hiekkä	1000...3000
tislattu vesi	1000...4000
betoni	$2 \cdot 10^3 ... 10^5$
jää	$10^5 ... 10^6$
puu	$10^8 ... 10^{11}$
kiille	$10^{11} ... 10^{13}$
posliini	$10^{12} ... 10^{14}$
kumi	$10^{13} ... 10^{15}$
polystyreeni	10^{16}
kvartsi	10^{17}

Lieriökäämi käytännössä *Long Tubular Coil*

Sisällä homogeeninen magneettikenttä



$$L = \frac{\psi}{I} = \frac{N\phi}{I} = \frac{NBA}{I} = \frac{N\mu HA}{I} \quad [\text{henry}] \quad H = \frac{\text{Vs}}{\text{A}}$$

$$L = \frac{N\mu \frac{NI}{l} A}{I} = N^2 \mu \frac{A}{l} \quad \left(\text{vrt. } G = \sigma \frac{A}{l} \right)$$

Magneettivuon tiheys $[B] = \text{Vs/m}^2 = \text{T} = \text{tesla}$

Magneettikentän voimakkuus $[H] = \text{A/m}$

Permeabiliteetti $\mu = \mu_r \mu_0$, $\mu_r =$ suht. p. (), yleensä $\mu_r \approx 1$

SI-järjestelmässä $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ H/m} =$ tyhjiön perm.

Diamagneettinen $\mu_r \lesssim 1$, Paramagn. $\mu_r \gtrsim 1$, Ferrom. $\mu_r \gg 1$

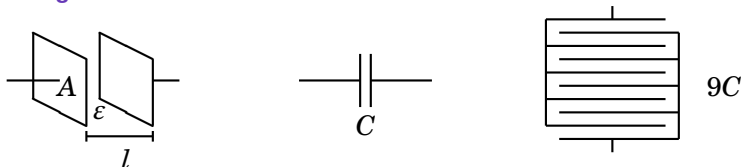
Cu: $\mu_r = 0,999991$, Al: $\mu_r = 1,00002$, Supermalloy: $\mu_r = 10^6$

Suhteellisen permeabiliteetin μ_r () arvoja

kulta	$1 - 3,6 \cdot 10^{-5}$
elohopea	0,999968
hopea	0,9999736
hiili	$1 - 2,1 \cdot 10^{-5}$
lyijy	0,9999831
kupari	0,9999906
vesi	0,9999912
tyhjiö	1
ilma	$1 + 3,7 \cdot 10^{-7}$
alumiini	1,000021
valurauta	≈ 200
nikkeli	600
mangaani-sinkkiferriitti	750... 1200
valuteräs, rauta (99,6 %)	≈ 5000
permalloy (78,5 % Ni, 21,5 % Fe)	70000
99,96 % puhd. rauta	280000
supermalloy	1 000 000

Tasokondensaattori *Parallel-Plate Capacitor*

Sisällä homogeeninen sähkökenttä



$$C = \frac{Q}{U} = \frac{DA}{U} = \frac{\epsilon EA}{U} = \frac{\epsilon \frac{U}{l} A}{U} = \epsilon \frac{A}{l} \quad \left(\text{vrt. } G = \sigma \frac{A}{l} \right) \quad [\text{faradi}] \quad F = \frac{As}{V}$$
$$\mu_0 \epsilon_0 = 1/c_0^2 \quad \sqrt{\mu_r \epsilon_r} = n$$

Sähkövuon tiheys (vrt. varaustiheys) $[D] = \text{As/m}^2$

Sähkökentän voimakkuus $[E] = \text{V/m}$

Permittiivisyys, dielektrisyysvakio $\epsilon = \epsilon_r \epsilon_0$

ϵ_r = suhteellinen permittiivisyys (). Vesi: $\epsilon_r = 81$

$\epsilon_0 = 8,854 \text{ pF/m}$ = tyhjiön permittiivisyys. Ilma: $\epsilon_r = 1,00059$

c_0 = valon nopeus tyhjiössä, n = taitekerroin ()

Materiaalien suhteellisia permittiivisyyksiä ϵ_r ()

tyhjiö / ilma (1 atm)	1/1,00059
tislattu vesi (DC... RF)	81...78
jää	2...3,2
lumi (3 GHz)	1,2...1,5
lasi	3,2...16
paperi	1,5...4
posliini	5...9
teflon	2,1
muovit	2...4,5
keraamit	jopa 2000
PVC	3,18
betoni (märkä/kuiva) (2,45 GHz)	14,5/4,5
naudanliha (raaka) (2,45 GHz)	52,4
SiO ₂	3,9
Si	11,7...11,9
puu (2,45 GHz)	1,2...5
kuiva hiekka (3 GHz)	2,55

Memristori ja memristanssi M

Aittoa Maxwellin yhtälöiden mukaista memristoria ei ole keksitty eikä keksitä!

Käämivuo, varaus, virta ja jännite; näitä yhdistävät
”fundamentaaliset” piirielimet: L , C , $G = 1/R$ ja M

$$\begin{aligned} \psi &= Li & Cu &= q \\ i &= Gu \\ [\text{Vs}] \psi &= & Mq & [\Omega \text{As}] \\ & & [M] &= \Omega \end{aligned}$$

Varauksesta riippuva epälineaarinen resistanssi.

Lineaarinen memristori olisi tavallinen vastus!

Fysikaalisesti ehkä mahdollinen (näin arveli Leon Chua v. 1971).

HP raportoi *Naturessa* 30.4.2008 (TiO₂-ohutkalvo, 5 nm).

Sovelluksia mm. nanoelektroniiikan mallintamisessa, ReRAM.

Ensi viikolla

Lineaaristen piirien analyysi

Ensi viikon luento ja laskuharjoitus ovat välttämätön pohja kurssin jatkon kannalta!

Varma tärppi 1. välikokeeseen ja tenttiin.

Myös yksi tulevista "laboratorio"-kotitehtävistä liittyy ensi viikkoon