

KIMMO SILVONEN

ELEKTRONIIKKA JA SÄHKÖTEKNIikka



OTATIETO

Teos on saanut tukea Suomen tietokirjailijat ry:ltä

Copyright © 2018 Tekijä & Gaudeamus / Otatieto

Gaudeamus Oy
www.gaudeamus.fi

Kansi: Leena Kilpi
Kannen kuva: Juha Biström

Kirjaan liittyvää lisämateriaalia on saatavilla Aalto-yliopiston MyCourses-portaalissa (kurssihaku: Sähköpaja tai Sähkötekniikka ja elektroniikka).
Materiaalia löytyy myös osoitteesta <http://kimmos.net>

Teos on suojattu tekijänoikeuslailla (1961/404).
Kopiointi, tallentaminen, jakelu, muu jatkokäyttö sekä edelleenluovutus
sallittu vain tekijän ja kustantajan etukäteen antamalla luvalla.

KL 62.607, K
UDK 621.3

ISBN 978-951-672-377-1

Painopaikka: Printon Trükikoda, Tallinna 2018

Sisällys

1	Sähkötekniikan perusteita	13
1.1	Käyttöjännite	13
1.2	Napaisuus ja terminaalit	15
1.3	Jännitteen ja virran mittaaminen	15
1.4	Kelluvat tulot ja ylös- tai alasetovastukset	17
1.5	Maa ja muut navat	18
1.6	Kytkimet	19
1.7	Kytkenäjohtot	20
1.8	Koekytkenälevyt ja leipälaudat	21
1.9	Piirilevyt	21
1.10	Mikropiirit ja niiden luokittelu	23
1.11	Staatitisen sähkönen vaarat	26
1.12	MyDAQ ja ELVIS	27
2	Virtapiirien perusteita	29
2.1	Sähkövirta, haarat ja solmut	29
2.2	Jännite eli potentiaalihero	33
2.3	Vastus ja resistanssi	35
2.4	Sarjaan, rinnan, kolmioon tai tähteen	37
2.5	Tasavirran teho ja energia	40
2.6	Jännite- ja virtalähteet	41
2.7	Ohjatut jännite- ja virtalähteet	45
3	Digitaalitekniikkaa	49
3.1	Logiikkapiirit	49
3.2	Kombinaatiologiikka	50
3.3	Boolen algebra	52
3.4	Lukujärjestelmät ja pariteetti	54
3.5	Sekvenssipiirit	58
3.6	A/D- ja D/A-muunnos	64
3.6.1	D/A-muuntimet (DAC)	69
3.6.2	A/D-muuntimet (ADC)	72

4	Mikro-ohjaimet ja Arduino oheispiireineen	77
4.1	Arduino ja mikro-ohjaimet	77
4.2	Arduinon ohjelmointi	82
4.3	Anturit ja toimilaitteet	90
4.4	Väylät	93
4.4.1	I ² C- eli I2C-väylä	94
4.4.2	SPI-väylä	95
4.4.3	UART-väylä	96
4.4.4	1-Wire-väylä	97
4.5	Tasavirtamoottorit ja H-sillat	97
4.6	Askelmoottorit eli stepperit ohjaimineen	100
4.7	Servot	104
4.8	Radioyhteydet ja Bluetooth	106
5	Diodit	109
5.1	Ideaalidiodi	109
5.2	Puolijohdefysiikkaa	110
5.3	Puolijohdediodi ja <i>pn</i> -liitos	112
5.4	Diodin jännitteen ja virran laskeminen	115
5.5	Piensaanaalianalyysi, dynaaminen resistanssi	122
5.5.1	Tasajännite, signaalijännite vai kokonaisjännite?	122
5.5.2	Staatinnainen vai dynaaminen resistanssi	123
5.6	Tasasuuntaus	129
5.6.1	Puoliaalto- ja kokoaaltotasasuuntaus	129
5.6.2	Suodatuskondensaattori	133
5.6.3	Aaltomuodon matemaattinen tarkastelu	135
5.7	Zenerdiodi	137
5.8	LED, RGB-LED ja fotodiodi	139
5.9	Muita diodityyppejä	142
5.9.1	Varaktori eli kapasitanssidiodi	142
5.9.2	Schottky-diodi ja schottky-transistori	142
5.9.3	Vakiovirta-, pin- ja tunnelidiodi	143
5.10	Chuan diodi ja kaaosteoria	144
6	Bipolaaritransistori, BJT	147
6.1	NPN- ja PNP-transistori	147
6.2	Transistorin puolijohdefysiikkaa	149
6.3	Virtavahvistus	151
6.4	Lineaarinen toiminta tasavirralla	153
6.5	Transistori kytkimenä, sulkutilassa ja kyllästyneenä	156
6.6	Transistoriparametrit ja DC-analyysi	162
6.6.1	Bipolaaritransistorin yhtälöt ja ominaiskäyrät	162
6.6.2	Early-jännite, SOA ja transitiotajuus	164
6.6.3	Ebers–Moll-sijaiskytkentä	165
6.7	Transistori signaalinkäsittelyssä	168
6.7.1	Yksitransistoristen vahvistinasteiden päätyypit	168

6.7.2	Taylorin sarja ja piensignaalianalyysi	169
6.7.3	Hybridi- π -sijaiskytkentä sekä transkonduktanssi	171
6.8	Transistorivahvistimet	174
6.8.1	Transistorivahvistimen matemaattinen analyysi	174
6.8.2	Differentiaalivahvistin	176
6.9	Translineaariset piirit	178
6.9.1	Virtapeili	178
6.9.2	Translineaarisuus	179
7	Kanavatransistorit eli FETit	183
7.1	Fettityypit	183
7.2	Avauskanavatransistori, e-tyyppinen MOSFET	186
7.3	Fettien virtayhtälöt, triodi- ja saturaatioalue	189
7.4	<i>Subthreshold</i> -alue ja heikko tai keskivahva inversio	192
7.5	Sulkukanavatransistori, d-tyyppinen MOSFET	193
7.6	Liitoskanavatransistori, JFET	194
7.7	Fet-piirien tasavirta-analyysi	197
7.8	FET säädettävänä vastuksena ja kytkimenä	202
7.9	Piensaanaalianalyysi ja piensaanaalisijaiskytkentä	207
7.9.1	Särö fetissä, transistorissa ja elektroniputkessa	209
8	Operaatiovahvistin	211
8.1	Mikä on operaatiovahvistin?	211
8.2	Lineaarinen toiminta	215
8.3	Operaatiovahvistimen peruskytkentöjä	217
8.3.1	Invertoiva vahvistin	217
8.3.2	Summausvahvistin	219
8.3.3	Aktiivinen ylipäästösuodatin	219
8.3.4	Ei-invertoiva vahvistin	220
8.3.5	Jännitteenseuraaja	221
8.3.6	Symmetrintivahvistin	222
8.3.7	Instrumentointivahvistin	223
8.3.8	Integraattori	224
8.3.9	Derivaattori	226
8.4	Takaisinkytkentä vs. vahvistus ja taajuusvaste	227
8.5	Käytännön operaatiovahvistin	230
8.6	Audiovahvistinpiirit	235
9	Teholähteet	239
9.1	Lineaariset teholähteet	239
9.2	Jänniteregulaattorit, kolmikarvaiset	241
9.3	Hakkuriteholähteet	244
9.3.1	Step-down eli buck (forward)	250
9.3.2	Step-up eli boost	255
9.3.3	Buck-boost eli step-up-step-down	258
9.3.4	Cúk-konvertteri	259
9.4	Energiankeräimet	260

9.5	Jäähdytys-elementin mitoitus	261
10	Passiiviset komponentit, sähköfysiikka ja materiaalien ominaisuudet	263
10.1	Virtauskenttä johteessa	263
10.2	Vastukset ja potentiometrit	265
10.3	Kela, induktanssi ja permeabiliteetti	271
10.4	Permeabiliteetti, para-, dia- ja ferromagneettisuus	276
10.5	Kondensaattori, kapasitanssi, permittiivisyys	280
10.5.1	Kondensaattorin tehtävistä	288
10.6	Memristori	290
11	Piirianalyysi	295
11.1	Reaktiiviset komponentit, muutosilmiöt ja differentiaaliyhtälöt	295
11.2	Fourier-sarja, Fourier-muunnos ja z-muunnos	309
11.3	Jaksolliset vaihtovirrat	316
11.4	Osoitinlaskenta ja kompleksiluvut	325
11.5	Impedanssi Z ja admittanssi Y	336
11.6	Resonanssipiirit	343
11.7	Suodatinteoriaa	352
11.7.1	Suodattimien luokittelu ja siirtofunktiot	352
11.7.2	Passiiviset RC-, RL- ja (R)LC-suodattimet	355
11.7.3	Taajuusvasteen itseisarvo ja vaihe, Bode-diagrammi	356
12	Sähkövoimatekniikka	359
12.1	Vaihtovirran hetkellinen, keskimääräinen tai kompleksinen teho	359
12.2	Loistehon kompensointi ja tehosoitus	368
12.3	Muuntajat	372
12.4	Kolmivaihejärjestelmä	387
12.5	Vaihtovirtamoottorit	396
13	Sähkömagneetiikan perusteita	399
13.1	Maadoitusresistanssi ja virtauskentän potentiaali	399
13.2	Staattinen tai hitaasti muuttuva magneetikenttä	400
13.3	Sähkömagneettinen induktio	407
13.3.1	Faradayn induktiolaki	407
13.3.2	Induktanssin laskeminen	408
13.3.3	Pyörrevirtailmiö	411
13.4	Virran ahtautuminen ja tunkeutumissyvyys	413
13.5	Staattinen tai hitaasti muuttuva sähkökenttä	416
13.6	Virtauskentän, magneettikentän ja sähkökentän analogia	423
13.7	Kentän ja vuon taittuminen rajapinnassa	424
13.8	Maxwellin yhtälöt	424
14	Siirtojohdot, RF-tekniikka	427
14.1	Ominaisimpedanssi – jännitteen ja virran suhde	427
14.2	Koaksiaalijohto ja pari johto	434
14.3	Heijastus- ja läpäisykerroin	434

14.4 Edestakaiset heijastukset	443
14.5 Sinimuotoiset aallot siirtojohtoilla	445
14.5.1 Häviöllinen siirtojohto	456
14.6 Seisova aalto ja SAS	461
14.7 Smithin diagrammi eli Smithin kartta	466
14.8 Siirtojohtopiirin sovittaminen	474
14.9 Tasoaallot ja siirtojohtoanalogia	478
15 Kohina elektroniikassa	481
15.1 Lämpökohina ja valkoinen kohina	482
15.2 Raekohina	483
15.3 Kohinavirta ja kohinajännite	483
15.4 Vaaleanpunainen kohina	484
15.5 Signaali-kohina-suhde	485
15.6 Kohinaluku ja kohinalämpötila	485
16 Desibelit ja etuliitteet	487
Hakemisto	491