

**VAASAN YLIOPISTO**

**TEKNILLINEN TIEDEKUNTA**

**SÄHKÖTEKNIikka**

Maarit Vesapuisto

**VIRTAPIIRIMERKINTÖJEN JOHDONMUKAISUUS  
OPETUKSEN KANNALTA**

Diplomityö, joka on jätetty tarkastettavaksi diplomi-insinöörintutkintoa varten  
Vaasassa 18.08.2004.

Työn valvoja

Kimmo Kauhaniemi

Työn ohjaaja

Timo Vekara

**ALKULAUSE**

Tämä diplomityö on tehty Vaasan yliopiston Sähkötekniikan oppiaineelle professori Timo Vekaran ohjaamana ja professori Kimmo Kauhaniemen valvomana. Kiitän heitä molempia saamastani ohjauksesta, kannustuksesta ja kärsivällisyydestä.

Suomalaisen ja kansainvälisen standardiviidakon läpi kulkemisessa ovat auttaneet lisäksi Arto Sirviö SESKO ry:stä sekä Erkki Antila ABB Oy:stä. Kiitän heitä lämpimästi saamastani avusta.

Vaasassa 18.08.2004

Maarit Vesapuisto

## SISÄLLYSLUETTELO

ALKULAUSE.....	2
SISÄLLYSLUETTELO.....	3
SYMBOLI- JA LYHENNELUETTELO.....	5
TIIVISTELMÄ .....	7
ABSTRACT .....	8
1 JOHDANTO .....	9
1.1 Tutkimuksen taustaa.....	9
1.2 Tutkimuksen tavoitteet ja rajaus .....	12
2 VIRTAPIIRIMERKINTÖJÄ KOSKEVIA STANDARDEJA .....	13
2.1 Sähköalan standardoinnin alkuvaiheita.....	14
2.2 Sähköalan standardointi 2000-luvulla.....	14
2.3 SI-järjestelmä .....	16
2.4 Virtapiireissä käytettäviä standardoituja johdannaisuureita .....	18
2.5 Suureiden ja niiden yksiköiden tunnuksien kirjoitusohjeita .....	18
2.6 Virtapiireissä käytettäviä standardoituja piirrosmerkkejä.....	21
2.6.1 Ideaaliset jännite- ja virtalähteet .....	23
2.6.2 Passiiviset komponentit.....	25
2.7 Suureiden ja niiden suuntien standardien mukaiset merkintätavat .....	26
3 OPIIKIRJOISSA KÄYTETTYJÄ VIRTAPIIRIEN MERKINTÖTAPOJA .....	30
3.1 Suomalaisissa lukioissa käytettyjä fysiikan oppikirjoja.....	30
3.2 Suomalaisissa yliopistoissa käytettyjä fysiikan kirjoja .....	36
3.3 Suomalaisissa yliopistoissa käytettyjä piirianalyysin kirjoja.....	38
3.4 Esimerkkejä muista kirjoista .....	42

4	OPPIKIRJOISSA KÄYTETTYJEN MERKINTÄTAPOJEN VERTAAMINEN STANDARDEIHIN .....	51
4.1	Idealiset jännite- ja virtalähteet .....	51
4.2	Passiiviset komponentit.....	53
4.3	Virran ja jännitteen referenssisuuntien merkitseminen virtapiireihin.....	54
4.4	Suureiden tunnuksien merkitseminen virtapiirikaavioihin .....	57
5	VIRTAPIIRIMERKINTÖJEN HAVAINNOLLISTAMISEN KEHITTÄMINEN	59
5.1	Kokemuksia opiskelijoiden virtapiirimerkintätapojen käyttämisestä .....	60
5.2	Uusia mahdollisuuksia virtapiirimerkintöjen havainnollistamiseen .....	61
6	YHTEENVETO .....	66
	LÄHDELUETTELO .....	67
	LIITTEET .....	76

## SYMBOLI- JA LYHENNELUETTELO

### *Käytetyt symbolit ja suureet*

$\omega$	kulmataajuus (rad/s)
a, b, c, ...	solmupisteiden erittely
A, B, C, ...	solmupisteiden erittely
$C$	kapasitanssi (F)
$e_x, e_y, e_z$	suorakulmaisen koordinaatiston yksikkövektorit
$E$	ideaalisen jännitelähteen lähdejännite (V)
$E$	sähkökentän voimakkuus (V/m)
$I$	virta (A)
$j$	imaginaariyksikkö
$J$	ideaalisen virtalähteen virta (A)
$L$	induktanssi (H)
$q$	sähkövaraus (C)
$Q$	sähkövaraus (C)
$R$	resistanssi ( $\Omega$ )
$t$	aika (s)
$U$	jännite, potentiaaliero (V)
$V$	potentiaali, (englannin kielisessä kirjallisuudessa usein myös potentiaaliero) (V)
$X$	reaktanssi ( $\Omega$ )
$Z$	impedanssi ( $\Omega$ )

*Käytetyt lyhenteet*

CEN	European Committee for Standardization
CENELEC	European Committee for Electrotechnical Standardization
CIPM	Comité International des Poids et Mesures
DI	diplomi-insinööri
ETSI	European Telecommunication Standards Institute
EU	Euroopan unioni
IEC	International Electrotechnical Commission
ISO	International Organization for Standardization
ITU	International Telecommunication Union
LTY	Lappeenrannan teknillinen yliopisto
lv.	lukuvuosi
OY	Oulun yliopisto
SESKO	Suomen sähköteknillinen standardoimisyhdistys
SFS	Suomen Standardointiliitto ry
SI	Système International d'Unités
TKK	Teknillinen korkeakoulu
TTY	Tampereen teknillinen yliopisto
VY	Vaasan yliopisto

---

**VAASAN YLIOPISTO****Teknillinen tiedekunta**

<b>Tekijä:</b>	Maarit Vesapuisto
<b>Diplomityön nimi:</b>	Virtapiirimerkintöjen johdonmukaisuus opetuksen kannalta
<b>Valvojan nimi:</b>	Professori Kimmo Kauhaniemi
<b>Ohjaajan nimi:</b>	Professori Timo Vekara
<b>Tutkinto:</b>	Diplomi-insinööri
<b>Oppiaine:</b>	Sähkötekniikka
<b>Opintojen aloitusvuosi:</b>	2004
<b>Diplomityön valmistumisvuosi:</b>	2004

**Sivumäärä: 88**

---

**TIIVISTELMÄ**

Virtapiireihin liittyvien sähkötekniisten peruslakien ymmärtäminen luo perustan teoreettisen sähkötekniikan oppimiselle. Ymmärtämistä helpottaa huomattavasti em. virtapiiriin ja niihin liittyvien suureiden esittäminen johdonmukaisesti luento-opetuksen tukena olevassa kirjallisessa materiaalissa.

Tässä tutkimuksessa on aluksi esitelty tällä hetkellä voimassa olevia suomalaisia, eurooppalaisia ja kansainvälisiä standardeja, jotka koskevat yksinkertaisissa, vain ns. ideaalisia peruskomponentteja sisältävissä virtapiireissä käytettäviä piirrosmerkkejä ja suureita sekä suureiden merkintätapoja. Seuraavaksi on tarkasteltu em. piirrosmerkkejä ja merkintätapoja suomalaisissa lukioissa ja yliopistoissa käytetyissä fysiikan kirjojen sähkötekniikkaa käsittelevissä kappaleissa sekä yliopistoissa käytetyissä sähkötekniikan oppikirjoissa. Joitakin esimerkkejä käytetyistä merkintätavoista on tuotu esille myös muista edellä mainittuihin ryhmiin kuulumattomista kirjoista.

Verrattaessa kirjallisuudessa esiintyviä virtapiirien piirrosmerkkejä, suuretunnuksia ja suureiden merkintätapoja standardeissa esitettyihin voidaan havaita, että joissakin oppikirjoissa on käytetty merkintätapoja, joita ei ole suositeltu standardeissa. Lisäksi joissakin tarkastelluissa kirjoissa ei esimerkiksi ole käytetty johdonmukaisesti läpi koko kirjan samanlaista jännitteen referenssisuunnan merkintätapaa.

Tällä hetkellä sähkötekniikan opetuksessa käytetään yleisesti apuna simulointiohjelmiä, jotka ratkaisevat numeerisesti virtapiirissä vaikuttavia suureita annettujen reunaehtojen perusteella ja antavat tuloksen useimmiten graafisesti. On erittäin huolestuttavaa, jos em. tulosten analysoijalla ei ole tarvittavaa ilmiöiden ja niiden syy-seuraus-suhteiden ymmärtämystä. Tämän ymmärtämyksen oppimisen parantamiseksi, on tutkimuksessa pyritty löytämään mahdollisimman johdonmukaiset ja havainnolliset tavat esimerkiksi virtojen ja jännitteiden referenssisuuntien esittämiselle sekä perinteisessä kirjallisessa muodossa olevassa oppimateriaalissa että hypermediasovelluksissa.

---

**AVAINSANAT:** Virtapiiri, standardi, opetus, piirrosmerkki

---

**UNIVERSITY OF VAASA****Faculty of technology**

**Author:** Maarit Vesapuisto  
**Topic of the Thesis:** Consistency of electrical circuit markings from the teaching point of view  
**Supervisor:** Professor Kimmo Kauhaniemi  
**Instructor:** Professor Timo Vekara  
**Degree:** Master of Science in Technology  
**Major of Subject:** Electrical Engineering  
**Year of Entering the University:** 2004  
**Year of Completing the Thesis:** 2004

**Pages:** 88

---

**ABSTRACT**

The comprehension of electrotechnical graphical symbols used in electrical circuit diagrams form the basis for the learning of theoretical electrotechnics. The comprehension is greatly facilitated by a consistent presentation of the aforementioned electrical circuits and thereto related quantities in the written material supporting the lecture-based teaching.

This study starts with a presentation of currently valid Finnish, European and international standards, concerning graphical symbols and quantities also including marking practices of quantities used in simple electrical circuits containing only so called ideal basic elements. The study continues with an examination of the aforementioned drawing symbols and marking practices in the chapters dealing with electrotechnics of the physics text books in Finnish upper secondary schools and universities and electrotechnical text books in universities. Some examples of applied marking practices have been brought up also from other books not belonging to the aforementioned groups.

When comparing graphical symbols, quantity designations and quantity marking practices as found in literature with those presented in standards, it can be seen that in some of the studied text books marking practices not recommended in the studied standards have been applied. Further, in some of the studied text books the same marking practice of the reference direction of the voltage has not been applied consistently throughout the entire book

Nowadays the teaching of electrotechnics is widely supported by simulation programs which numerically solve the quantities affecting the electrical circuit according to given boundary conditions and generally provide the result in graphical form. It is extremely worrying if the analyser of the aforementioned results does not possess the required understanding of the phenomena and their cause-effect relations. To enhance the learning of this understanding the study tries to find as consistent and clear practices as possible for presentation of, for instance, the reference directions of currents and voltages, in text material in traditional written form as well as in hypermedia solutions.

---

**KEY WORDS:** electrical circuit, standard, teaching, graphical symbols



# 1 JOHDANTO

## 1.1 Tutkimuksen taustaa

Sähkömagneettinen kenttäteoria (engl. Electromagnetic Field Theory) ja siihen liittyvät Maxwellin yhtälöt (1865) ja sähkötekniikan peruslait (Coulombin laki (1785), Ampèren laki (1820), Ohmin laki (1826) ja Faradayn laki (1831<sup>1</sup>)) ovat sähkötekniikan perusta (Lindell 1994; Voipio 1979: 7; Kurki-Suonio 1993: 1-11; Lindell & Sihvola 1995: 1). Suunniteltaessa sähkömagneettisiin kenttiin perustuvia järjestelmiä ja niihin liitettäviä komponentteja ja laitteita, on ymmärrettävä, miten sähkömagneettiset kentät käyttäytyvät erilaisissa tilanteissa ja kyettävä määrittämään sekä kenttien suuruuksia että voima-vaikutuksia.

Periaatteessa sähkötekniikan opiskelu pitäisi aloittaa yleiseen kenttäteoriaan tutustumisella. Käytännössä kuitenkin yleiseen kenttäteoriaan liittyvät sovellukset ovat matemaattisesti verrattain vaativia sisältäen mm. ajan mukaan vaihtelevien kenttäsuureiden käsittelyä differentiaaliyhtälöiden ja vektoreiden avulla kolmessa yleisesti käytetyssä suorakulmaisessa koordinaatistossa (suorakulmainen, pallo- ja sylinterikoordinaatisto). Tämän vuoksi teoreettisen sähkötekniikan opiskelu useimmiten aloitetaan tutustumalla piiriteoriaan (engl. Circuit Theory), joka on yleisen kenttäteorian erikoistapaus, jossa oletetaan (Nilsson & Riedel 1996: 5) että

1. sähköiset ilmiöt tapahtuvat koko järjestelmässä samanaikaisesti, jolloin järjestelmässä olevia komponentteja voidaan käsitellä keskitettyinä ja
2. jokaisen järjestelmässä olevan komponentin kokonaisvaraus on aina nolla ja
3. järjestelmässä olevien komponenttien välillä ei ole magneettisia kytkentöjä (yksittäisen komponentin/laitteen sisällä voi olla magneettisia kytkentöjä, kuten esim. muuntajan käämien välinen keskinäisinduktanssi).

---

<sup>1</sup> Kirjallisuudesta löytyy sekä vuosi 1831, jolloin Faradayn kokeet raportoitiin Royal Societyssä, että vuosi 1832, jolloin Faradayn kokeet painettiin Philosophical Transaction -sarjassa

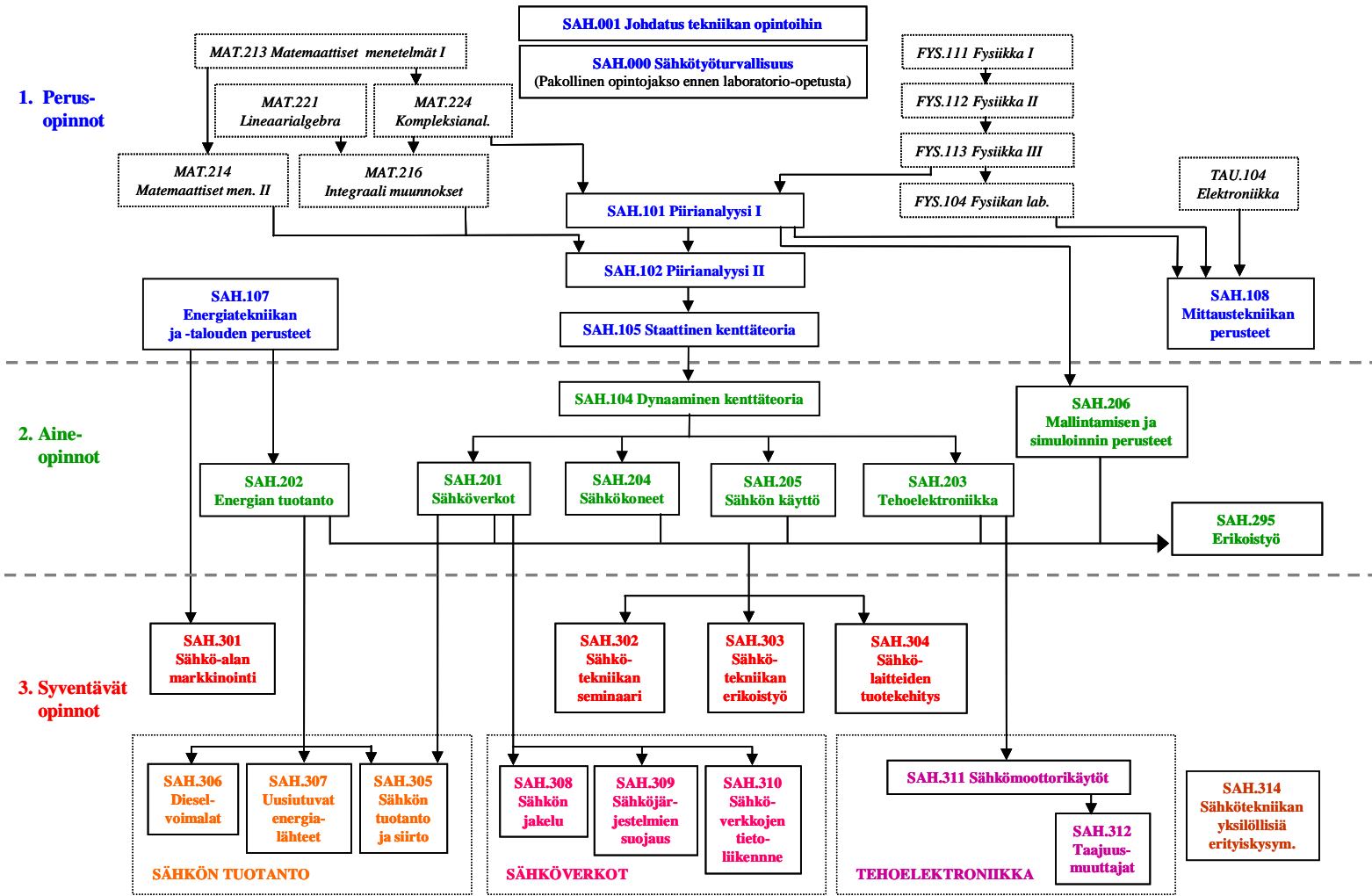
Myös Vaasan yliopistossa teoreettisen sähkötekniikan opiskelu aloitetaan kuvan 1 mukaisesti piiriteoriaan kuuluvilla Piirianalyysi I:n ja II:n opintojaksoilla, joiden jälkeen diplomi-insinöörin (DI) tutkinnon sähkötekniikan opintojen ohjeellisen suoritusjärjestyksen mukaan jatketaan yleiseen kenttäteoriaan liittyvillä Staattisen ja Dynaamisen kenttäteorian opintojaksoilla.

Piiriteorian oppimisen perustana on virtapiireissä esiintyvien peruskomponenttien (vastus, kela, kondensaattori sekä virta- ja jännitelähteet) sähköisten perusominaisuuksien sekä virtapiirien toimintaan liittyvien peruslakien (Ohmin laki, Kirchhoffin virta- ja jännitelait (1845) sekä Joulen laki (1841) (Lindell 1994: 142, 164) ymmärtäminen.

Jotta opiskelijan on mahdollista omaksua Piirianalyysi I opintojaksolla käsiteltävät tasa- ja vaihtosähköpiirien jatkuvuustilaan liittyvät asiat ja ratkaisumenetelmät, on opiskelijan hallittava aritmetiikan perusoperaatioiden (yhteen-, vähennys-, kerto- ja jakolasku) lisäksi perustiedot trigonometrisistä funktioista (sini, kosini ja tangenti), geometriasta (Pythagoraan lause), integraali- ja differentiaalilaskennasta sekä vektori- ja kompleksilukulaskennasta. Kuvassa 1 on esitetty myös sähkötekniikan opintojaksoille välttämättömien esitietojen (matematiikan, fysiikan ja elektroniikan opintojaksot) sijoittuminen suoritusjärjestykseen.

Opettaessani lukuvuosina 1999 - 2004 Vaasan yliopistossa teoreettisen sähkötekniikan opintojaksoja (Piirianalyysi I ja II sekä Staattinen ja Dynaaminen kenttäteoria) olen havainnut, että useilla opiskelijoilla on huomattavia vaikeuksia oppia ymmärtämään ja soveltamaan opintojaksolla käsiteltävää sähkötekniikkaan liittyvää teoriaa ja ratkaisumenetelmiä. Kokemukseni perusteella suurin osa Piirianalyysi I:n opintojakson tenteissä ja harjoitustöissä olevista virheistä liittyy kahteen perusasiaan. Ensimmäinen ongelma kohtaa liittyy Kirchhoffin virta- ja jännitelakien soveltamiseen virtapiirien ratkaisuisissa. Tarkasteltaessa oppilaiden vuosina 1999 - 2004 antamia tenttivastauksia voidaan havaita, että suurin osa opiskelijoista ei käytä minkäänlaisia virran ja jännitteen referenssisuuntia kuvaavia merkintöjä virtapiirikaavioissaan, joista ovat ratkaisemassa esim. ko. piirissä kulutettuja ja tuotettuja tehoja. Todennäköisesti em. ongelmaan liittyen, useista samaan tarkasteluajanjaksoon liittyvistä opiskelijoiden laatimista harjoitustöiden raporteista

**Kuva 1.** Diplomi-insinöörin tutkinnon sähkötekniikan opintojen ohjeellinen suoritusjärjestys Vaasan yliopistossa lukuvuonna 2004 - 05.



löytyy virheellinen ilmaisu ”virta yli komponentin”. Toinen ongelmakohta liittyy vaihtosähkötekniikassa tarvittavan kompleksiluku- ja vektorilaskennan soveltamiseen. Esimerkiksi lähes kolmasosassa opiskelijoiden vuosina 2000 - 04 antamista tenttivastauksia on kompleksista impedanssia määritettäessä virheellisesti laskettu impedanssin reaaliosa (resistanssin arvo) ja imaginaariosa (reaktanssin arvo) yhteen reaalityyppien käyttäen.

## 1.2 Tutkimuksen tavoitteet ja rajaus

Koska käytännössä olen todennut, että

- 1) opiskelijat eivät käytä virtapiirikaavioissaan loogista päättelyä helpottavia virran ja jännitteen referenssisuuntia kuvaavia merkintöjä ja että
- 2) Piirianalyysi I:n opintojaksossa tarvittava, periaatteessa erittäin yksinkertainen, kompleksilukujen ja vektoreiden käsittely aiheuttaa vaikeuksia opiskelijoille

on tämän diplomityön ensimmäisenä tavoitteena kirjallisuustutkimuksen avulla etsiä mahdollisia syitä edellä mainittuihin sähkötekniikan oppimista vaikeuttaviin ongelmakohtiin. Tutkimuksessa keskitytään teoreettisen sähkötekniikan perusmerkintöihin liittyviin asioihin, eli virtapiirikaavioissa käytettäviin piirrosmerkkeihin, jännitteen ja virran referenssisuuntien merkitsemistapoihin sekä Kirchhoffin lakien havainnollistamistapoihin. Varsinaisia virtapiirien perusratkaisumenetelmiä (esim. solmu- ja silmukkamenetelmä) ja niihin liittyviä esimerkkejä ei tässä tutkimuksessa käsitellä.

Toisena tämän diplomityön tavoitteena on tällä hetkellä voimassa olevia standardeja ja kirjallisuudessa esitettyjä esimerkkejä hyväksi käyttäen löytää sähkötekniikan perusasioiden oppimisen kannalta mahdollisimman johdonmukaiset ja havainnolliset virran ja jännitteen referenssisuuntien merkintätavat virtapiirikavioissa. Löydettyjä merkintätapoja tullaan käyttämään Vaasan yliopistossa teoreettisen sähkötekniikan sekä perinteisessä kirjallisessa muodossa olevassa opetusmateriaalissa että animaatioilla havainnollistetussa hypermediamateriaalissa.

## 2 VIRTAPIIRIMERKINTÖJÄ KOSKEVIA STANDARDEJA

Kirjallisuudesta löytyy mm. seuraavanlaisia määritelmiä standardoinnille:

- 1) Standardisointi on yhteisten sääntöjen laatimista helpottamaan viranomaisten, elinkeinoelämän ja kuluttajien elämää. Standardeilla lisätään tuotteiden yhteensopivuutta ja turvallisuutta, suojellaan ympäristöä ja helpotetaan kotimaista ja kansainvälistä kauppaa. (SFS Käsikirja 1: 6.)
- 2) Standardisointi on pyrkimystä vähentää niin pitkälle kuin mahdollista teknillisesti ja kaupallisesti merkityksettömiä erilaisuuksia tuotteissa, saattaa käsitteiden määritelmät ja ilmaisutavat kaikkialla samoiksi sekä löytää kaikkien vaatimukset täyttävät tarkoituksenmukaiset menettelytavat kaikilla toiminnon aloilla (Pere 1996: 1-1).

Kaikkea ei ole tarkoitus standardisoida, vaan standardin laatimisesta on oltava selvää hyötyä. Standardisoinnin tarkoitus on hyödyttää koko yhteiskuntaa. Kaikilla aloilla – yhtä hyvin tieteessä ja tutkimuksessa, hallinnossa kuin yhteiskunnallisessa palvelu- ja sosiaalityössä – yhteisesti hyväksytyt käsitteet ja määritelmät nopeuttavat työtä, vähentävät virheitä ja väärinkäsityksiä ja auttavat saamaan entistä parempia käytännön tuloksia. (Suomen Standardisointi ry 2002.)

Standardoinnista ja standardeista puhuttaessa on muistettava, että sekä kansainvälisellä että Euroopan tasolla standardisointi ja standardien käyttö on vapaaehtoista, vaikkakin erittäin suotavaa.

Tässä luvussa luodaan katsaus standardoinnin syntyhistoriaan ja sähköalaan liittyviin standardointijärjestöihin sekä esitellään standardin mukaisia merkintätapoja, joita tarvitaan teoreettisen sähkötekniikan jatkuvaa tilaa käsittelevän perusopetuksen aikana.

## 2.1 Sähköalan standardoinnin alkuvaiheita

Iso-Britanniasta alkanut ja 1800-luvulla Suomeen levinnyt teollinen tuotanto edellytti yhdenmukaisia tuotteita ja vaihto-osia, jotka tarkalleen vastasivat toisiaan. Työnjako, erikoistuminen ja alihankinta yli maan rajojen lisäsivät tarvetta yhteisten määritelmien käyttöön. Tekniikassa, tuotannossa, kuljetuksessa, kaupassa ja kulutuksessa alkoi yhteistyön aika, jossa ihmisten asuinpaikasta, kulttuurista ja kielestä riippumatta oli pystyttävä ymmärtämään toisiaan. Tarvittiin tarkasti määriteltyjä käsitteitä, merkkejä ja symboleja, joilla oli kaikille täsmälleen yhteinen merkitys. (Suomen Standardisointi ry 2002.)

Ensimmäinen toimiala, jolla tarve yhteisiin määritelmiin huomattiin, oli sähkötekniikka. Vuonna 1906 perustettua International Electrotechnical Commission eli IEC-järjestöä voidaan pitää ensimmäisenä kansainvälisenä standardisointijärjestönä.

Myöhemmin 1920-luvulla perustettiin vastaava teknisten alojen standardisointijärjestö International Federation of the National Standardizing Associations (ISA), jonka toiminta kuitenkin päättyi toiseen maailmansotaan. Sodan jälkeen vuonna 1946 perustettiin uusi järjestö International Organization for Standardization (ISO), joka tällä hetkellä on kansainvälisellä tasolla laajin standardisointijärjestö.

Suomessa standardisointityö alkoi vuonna 1924, kun teollisuuden aloitteesta perustettiin Suomen Standardisointilautakunta. Yhteistyöhön osallistuvat järjestöt perustivat vuonna 1947 Suomen Standardisointiliitto (SFS) ry:n. Standardisointilautakunta jatkaa edelleen toimintaansa yhtenä SFS:n toimielimenä. (Suomen Standardisointi ry 2002.)

## 2.2 Sähköalan standardointi 2000-luvulla

Standardisointijärjestöt voidaan jakaa kolmeen eri tasoon järjestön kansainvälisen laajuuden perusteella: kansainvälinen, alueellinen ja kansallinen taso. Taulukossa 1 on esitetty (Suomen näkökulmasta) sähköalaan liittyvät, eri tasoille kuuluvat standardisointijärjestöt.

Kansainvälisellä tasolla laajimman standardoimisjärjestön ISON tärkeimpänä yhteistyökumppanina toimii sähköalalla kansainvälistä työtä edelleen jatkava IEC. Telealalla kansainvälisellä tasolla toimii International Telecommunication Union (ITU).

**Taulukko 1.** Sähköalaan liittyviä standardoimisjärjestöjä.

		<b>Sähkötekni- nen ala</b>	<b>Teleala</b>
<b>Kansain- välinen taso</b>	<b>ISO</b> International Organization for Standardization  <a href="http://www.iso.ch">http://www.iso.ch</a>	<b>IEC</b> International Electrotechnical Comission  <a href="http://www.iec.ch">http://www.iec.ch</a>	<b>ITU</b> International Telecommunication Union  <a href="http://www.itu.int">http://www.itu.int</a>
<b>Alueel- linen taso</b>	<b>CEN</b> European Committee for Standardization  <a href="http://www.cenorm.be">http://www.cenorm.be</a>	<b>CENELEC</b> European Committee for Electrotechnical Standardization  <a href="http://www.cenelec.org">http://www.cenelec.org</a>	<b>ETSI</b> European Telecommunications Standards Institute  <a href="http://www.etsi.org">http://www.etsi.org</a>
<b>Kansal- linen taso</b>	<b>SFS</b> Suomen Standardoimisliitto ry  <a href="http://www.sfs.fi">http://www.sfs.fi</a>	<b>SESKO</b> Suomen sähkötekni- llinen standardoimisyhdistys  <a href="http://www.sesko.fi">http://www.sesko.fi</a>	<b>VIESTINTÄ- VIRASTO</b>  <a href="http://www.ficora.fi">http://www.ficora.fi</a>

Huom. Yhdysvalloissa toimii American National Standards Institute (ANSI) (<http://www.ansi.org>).

Keskeinen eurooppalainen standardoimisjärjestö on vuonna 1961 perustettu European Committee for Standardization (CEN), johon kuuluvat mm. kaikki Euroopan unionin (EU) jäsenvaltiot. Suomea CENissä edustaa SFS, joka ohjaa ja koordinoi standardisointitoimintaa Suomessa. SFS:n jäseniä ovat mm. Suomen valtio, Helsingin yliopisto sekä eräät elinkeinoelämän järjestöt.

Kansainvälistä IEC-järjestöä vastaa eurooppalainen sähköalan standardoimisjärjestö CENELEC (European Committee for Electrotechnical Standardization), jonka jäseninä ovat mm. kaikki EU-maat. Suomea CENELECissä edustaa Suomen Sähkötekniillinen Standardoimisyhdistys SESKO ry, joka vastaa sähkö- ja elektroniikka-alan standardisoinnista Suomessa.

Kansainvälistä ITU-järjestöä vastaa telealan eurooppalaisen standardisoimisjärjestö ETSI (European Telecommunications Standards Institute), joka on avoin kaikille Euroopan maiden posti- ja telehallintojen yhteenliittymän CEPTin (European Conference of Postal and Telecommunications Administrations) jäsenmaissa rekisteröidyille yhteisöille. Suomesta ITUn ja ETSIn toimintaan osallistuu Telehallintokeskus (syyskuusta 2001 alkaen nimeltään Viestintävirasto), joka vastaa telealan kansallisesta standardoinnista Suomessa.

Kansainvälisiä standardeja, kuten ISO-standardeja, ei ole pakko vahvistaa kansallisesti. Usein ne kuitenkin vahvistetaan sellaisenaan tai yhteisin muutoksin eurooppalaisiksi standardeiksi. Esimerkiksi CENin EN-standardeista 40 prosenttia perustuu ISON työhön ja sähköalan CENELECin eurooppalaisista EN-standardeista 90 prosenttia perustuu kansainvälisen IEC-järjestön standardeihin. (Suomen Standardisointi ry 2002.)

Nykyään eurooppalaiset standardisoimisjärjestöt tekevät lisäksi tiivistä yhteistyötä EU:n kanssa ja edellyttävät kansallisilta jäseniltään, että eurooppalaiset standardit on vahvistettava sellaisenaan kansallisiksi standardeiksi. Esimerkiksi Suomessa kaikki eurooppalaiset EN-standardit vahvistetaan SFS-standardeiksi ja niiden kanssa ristiriitaiset standardit kumotaan. Tärkeimmät standardit pyritään yhtenäistämään koko EU:n alueella direktiivin 98/34/EC (Technical Standards and Regulations Directive ) mukaisesti.

Jos CENin ja CENELECin EN-standardeja ei ole, pyritään aina käyttämään esikuvina ISO- ja IEC-standardeja. Alueelliset ja kansalliset standardit eivät saa tarpeettomasti poiketa ISO- ja IEC-standardeista.

### **2.3 SI-järjestelmä**

Vanhimmat mittayksiköt perustuivat usein ruumiinosien normaaliin kokoon (esim. jalka, tuuma, kyynärä, vaaksa, syli). Ensimmäinen yhteisesti hyväksytty mittajärjestelmä, metrijärjestelmä, syntyi Ranskan vallankumouksen jälkeen 1790 - 91 ja otettiin Suomessa käyttöön vuonna 1891. (Suomen Standardisointi ry 2002.)



Vuonna 1960 Yleinen paino- ja mittakonferenssi CGPM (Conférence Générale des Poids et Mesures) vahvisti kansainvälisen mittayksikköjärjestelmän (Système International d'Unités = SI), jonka kehittäjänä on ollut Kansainvälinen paino- ja mittakomitea CIPM (Comité International des Poids et Mesures). Esimerkiksi Suomessa on lainsäädännöllisesti (Vakauslaki N:o 219/1965 ja Mittayksikköasetus N:o 371/1992) määritelty käytettäväksi ko. SI-järjestelmää.

Tällä hetkellä on voimassa kansainvälinen SI-mittayksikköjärjestelmää koskeva standardi ISO 1000 *SI units and recommendations for the use of their multiples and of certain other units* (1992) ja sen muutososa A1 (1998), joihin perustuen SFS on julkaissut suomalaisen kansallisen standardin SFS-ISO 1000 + A1 *SI-yksiköt sekä suositukset niiden kerrannaisten ja eräiden muiden yksiköiden käytöstä* (1999).

SI-järjestelmässä on määritelty seitsemän metrijärjestelmään perustuvaa perusyksikköä, jotka on esitetty taulukossa 2. Taulukossa 2 esitetyt suure- ja yksikkönimien suomenokset perustuvat standardiin SFS-ISO 1000 + A1 (1999) ja suureiden tunnuksot perustuvat standardiin SFS 3655 *Suuret ja yksiköt: Suurenimet, tunnuksot ja yksiköt* (1982).

**Taulukko 2.** SI-järjestelmän perussuuret ja yksiköt tunnuksineen.

Perussuure		SI-perusyksikkö	
Nimi	Tunnus	Nimi	Tunnus
pituus	$l, (L)^1$	metri	m
massa	$m$	kilogramma	kg
aika	$t$	sekunti	s
sähkövirta	$I$	ampeeri	A
(termodynaaminen) lämpötila	$T$	kelvin	K
ainemäärä	$n, (v)^1$	mooli	mol
valovoima	$I$	kandela	cd

<sup>1</sup> suluissa olevaa symbolia (reserve symbol) voidaan käyttää, jos samassa yhteydessä käytetään ensimmäistä symbolia (chief symbol), jossakin muussa yhteydessä (IEC 27-1 1992:33)

Taulukossa 2 esitettyjen perussuureiden perusteella on standardissa SFS-ISO 1000 + A1 (1999) määritelty johdannaissuureet, joiden yksiköt ilmaistaan algebrallisesti perusyksiköiden avulla ja tunnukset muodostetaan perusyksikköjen tunnuksista kerto- ja jakolaskun matemaattisten merkkien avulla. Lisäksi useille johdannaisyksiköille on annettu myös erityisnimet. Tämän lisäksi ko. standardissa on määritelty etuliitteet, joita käytetään muodostettaessa SI-yksiköiden kerrannaisten nimiä ja tunnuksia (liite 1, taulukko 1) sekä esitetty tiettyjä SI-järjestelmään kuulumattomia yksiköitä, jotka CIPM on hyväksynyt käytettäväksi, koska niillä on huomattava käytännön merkitys (liite 1, taulukot 2 ja 3).

#### **2.4 Virtapiireissä käytettäviä standardoituja johdannaissuureita**

Liitteessä 2 taulukoissa 1 - 3 on esitetty tämän diplomityön aiheeseen läheisesti liittyviä standardoituja johdannaissuureita tunnuksineen ja yksiköineen. Ko. taulukoissa esiintyvät suure- ja yksikkönimien suomennokset perustuvat standardeihin SFS-ISO 1000 + A1 (1999) ja SFS-IEC 60050-121+A1 *Sähkötekniillinen sanasto: Osa 121, Sähkömagnetismi* (2002). Suureiden tunnukset perustuvat em. suomalaisiin standardeihin, joita on täydennetty tiedoilla, jotka löytyvät standardista IEC 27-1 *Letter symbols to be used in electrical technology: Part 1: General* (1995) sekä standardin ISO 31 *Quantities and units* (1992) osista *Part 2: Periodic and related phenomena*, *Part 3: Mechanics* ja *Part 5: Electricity and magnetism*.

#### **2.5 Suureiden ja niiden yksiköiden tunnuksien kirjoitusohjeita**

Standardeissa SFS-ISO 1000 + A1 (1999), SFS-ISO 31-0 + A1 *Suureet ja yksiköt. Osa 0: Yleiset periaatteet* (1999) sekä SFS 4004 *Suureet ja yksiköt. Alaindeksit* (1992) on annettu suureiden ja niiden yksiköiden tunnusten kirjoitussääntöjä. Suureiden tunnukset (matemaattisena käsitteenä suure on muuttuja) ovat yleensä latinalaisten tai kreikkalaisten aakkosten yksittäisiä kirjaimia, joskus varustettuna alaindekseillä tai muilla lisämerkeillä. Nämä tunnukset painetaan kursiivilla (vinolla kirjainlajilla) riippumatta muun tekstin kirjainlajista (esim. resistanssi  $R$ , ja induktanssi  $L$ ). Symbolin jälkeen kirjoitetaan piste vain silloin, kun symboli on lauseen lopussa.

Standardissa SFS 2372 *Ajasta riippuvat sähkötekniikan suureet, käsitteet ja kirjaintunnukset* (1983) on esitetty ajasta riippuvien suureiden yhteydessä käytettävien käsitteiden nimiä, suositeltavia tunnuksia ja määritelmiä. Kyseinen SFS standardi on kumottu 26.01.2004, mutta sen uudistettu esikuvastandardi IEC 27-1 *Letter symbols to be used in electrical technology. Part 1: General* (1995) on voimassa. Taulukossa 3 on esitetty kolme merkintätapaa ajasta riippuville suureille. Merkintätapa 1 on suositeltava. Merkintätapoja 2 ja 3 suositellaan käytettäväksi silloin, kun on käytettävissä vain isoja (merkintätapa 2) tai pieniä kirjaimia (merkintätapa 3).

Esimerkkejä ajan mukaan muuttuvien suureiden merkintätapojen käytöstä löytyy mm. standardin IEC 27-1 (1995: 96 - 104) liitteestä C.

**Taulukko 3.** Ajan mukaan muuttuvien suureiden merkintätavat.

	Merkintätapa 1		Merkintätapa 2		Merkintätapa 3	
<b>Hetkellisarvo</b>	$x$		$X$		$x$	
<b>Tehollisarvo (rms)</b>	$X$		$\tilde{X}$	$X_{\text{rms}}$	$\tilde{x}$	$x_{\text{rms}}$
<b>Huippuarvo</b>	$\hat{x}, \hat{X}$	$x_m, X_m$	$\hat{X}$	$X_m$	$\hat{x}$	$x_m$
<b>Keskiarvo</b>	$\bar{x}, \bar{X}$	$x_{\text{av}}, X_{\text{av}}$	$\bar{X}$	$X_{\text{av}}$	$\bar{x}$	$x_{\text{av}}$

Sähkötekniikassa käytetään yleisesti suureita, joiden käsittelyssä tarvitaan kompleksilukuja. Standardissa SFS-ISO 31-11 *Suureet ja yksiköt. Osa 11: Matemaattiset merkinnät fyysisissä tieteissä ja tekniikassa* (1999) on kompleksinen suure merkitty samalla tapaa kuin skalaarinen reaalinen suure eli kursivoituna. Kuitenkin, IEC 27-1 standardissa (1995) on esitetty kaksi erilaista merkintäjärjestelmää kompleksisuureille (ks. taulukko 4). Merkintäjärjestelmää 1, jossa kursiivilla merkityn suureeseen on lisätty alleviivaus (esim. impedanssi  $\underline{Z} = R + jX$ ), on käytetty kaikissa tutkimuksissa tarkastelluissa IEC –standardeissa. Kyseisen merkintäjärjestelmän 1 käyttämiseen varsinkin sähkötekniikassa on viitattu standardissa IEC 60050-101 *International Electrotechnical Vocabulary. Part 101: Mathematics* (1998).

**Taulukko 4.** Kompleksisuureiden merkintäjärjestelmiä.

	Merkintäjärjestelmä 1	Merkintäjärjestelmä 2
<b>Reaaliosa</b>	$X'$	$\text{Re } X$
<b>Imaginaariosa</b>	$X''$	$\text{Im } X$
<b>Kompleksisuure</b>	$\underline{X} = X' + jX''$	$X = \text{Re } X + j \text{Im } X$
	$\underline{X} = X e^{j\varphi} = X \exp j\varphi$	$X =  X  e^{j\varphi} =  X  \exp j\varphi$
	$\underline{X} = X \angle \varphi$	$X =  X  \angle \varphi$
<b>Kompleksisuureen konjugaatti</b>	$\underline{X}^* = X' - jX''$	$X^* = \text{Re } X - j \text{Im } X$

Skalaareilla ja vektoreilla tarkoitetaan tiettyjä fysikaalisia suureita, jotka ovat sellaisinaan riippumattomia koordinaattijärjestelmän valinnasta. Mutta vektorin komponentit riippuvat tuosta valinnasta. Itse vektorisuure merkitään joko vahvennetulla kursiivilla tai kursiivilla merkityn suureen päälle lisätyllä nuolella (esim. sähkökentän voimakkuus  $\mathbf{E}$  tai  $\vec{E}$ ) (SFS-ISO 31-11-13.1 1999). Ensiksi mainittu tapa on käyttökelpoisempi painetussa tekstissä ja jälkimmäinen käsikirjoitetussa.

Suorakulmaisten (engl. orthogonal coordinates) koordinaatistojärjestelmien esitystavat löytyvät standardin SFS-ISO 31-11 (1999) kohdasta 12. Paikkavektorin skalaarikomponentit esitetään kursiivilla ja koordinaattiakselien suuntaiset yksikkövektorit vahvennetulla kursiivilla. Esimerkiksi suorakulmaisessa (engl. cartesian coordinates) koordinaatistossa esitettynä sähkökentän voimakkuus ilmaistaan muodossa  $\mathbf{E} = E_x \mathbf{e}_x + E_y \mathbf{e}_y + E_z \mathbf{e}_z$ .

Matriiseja on käsitelty standardin SFS-ISO 31-11 (1999) kohdassa 11. Matriisi painetaan, kuten vektorikin, vahvennetulla kursiivilla. Sähkötekniikassa tämä voi aiheuttaa varsinkin opiskeluvaiheessa merkintätapaongelman. Esimerkiksi vaihtosähkötekniikassa tietyn impedanssin yli oleva jännitelauseke on Ohmin lain mukaisesti joko  $\mathbf{U} = \mathbf{Z}\mathbf{I}$  tai  $\vec{U} = \vec{Z}\vec{I}$  ja silmukkavirtamenetelmässä apuna käytettävä matriisiyhtälö  $\mathbf{E} = \mathbf{Z}\mathbf{I}$ . Olisiko kenties parempi käyttää matriiseissa esimerkiksi merkintätapaa, jossa suureet painetaan vahvennetulla pystytekstillä  $\mathbf{E} = \mathbf{Z}\mathbf{I}$  (vrt. Valtonen 2003)?

Suureen tunnusta edustava alaindeksi kirjoitetaan kurstiivilla ja muut alaindeksit antiikvalla (pystykirjaimin) (SFS-ISO 31-0 1999: 18).

Eksplisiittisesti määritellyt funktiot merkitään antiikvakirjaimin (esim. sin, cos, exp, ln). Lukuarvoltaan muuttumattomat matemaattiset vakiot merkitään myös antiikvalla (esim.  $e = 2,718\ 28\dots$ ,  $\pi = 3,14\dots$  ja  $j^2 = -1$ ). Erikseen määritellyt operaattorit merkitään samoin antiikvalla (esim. div,  $\delta$ - ja d-kirjaimet merkinnöissä  $\delta x$  ja  $df/dx$ ). ( SFS-ISO 31-11 1999: 6.)

Kun yksikölle on olemassa kansainvälinen tunnus, on käytettävä sitä eikä mitään muuta. Tunnus painetaan antiikvalla riippumatta muussa tekstissä käytetystä kirjainlajista (esim. voltti V, ohmi  $\Omega$ ). Yksikön tunnuksen ei saa liittää mitään lisämerkkiä antamaan tietoja suureen erityisluonteesta tai kyseessä olevasta mittauksesta. Suurelausekkeessa yksikön tunnus kirjoitetaan lukuarvon jälkeen ja erotetaan lukuarvosta väliskeellä. Ainoat poikkeukset tästä säännöstä ovat tasokulman yksiköt, aste, minuutti ja sekunti, joiden tunnuksia ei eroteta lukuarvosta väliskeellä. (SFS-ISO 31-0 1999: 18 – 22.)

Etuliitteiden tunnukset kirjoitetaan pystykirjaimin (antiikvalla), eikä etuliitteen tunnusta ja yksikön tunnusta eroteta väliskeellä. Etuliitteiden yhdistelmiä ei pidä käyttää. (SFS-ISO 31-0 + A1 1999: 20.)

## 2.6 Virtapiireissä käytettäviä standardoituja piirrosmerkkejä

Jotta sähköpiirikaaviot olisivat yksiselitteiset kaikille niitä tutkiville, käytettävät piirrosmerkit on standardoitu. Yleisperiaate sekä IEC:n että Suomen vastaavissa standardeissa on, että on olemassa yhdet piirrosmerkit, joita eri käyttäjäryhmät käyttävät (Pere 1996: 2-1).

Tätä diplomityötä laadittaessa Suomessa oli voimassa standardi SFS-EN 60617 *Sähkökaavioiden piirrosmerkit* (1997 – 1999), jonka osat 2 - 11 on saatavissa SFS käsikirjan 10 osassa 1 *Yleiset aiheet sekä erilliskomponentit ja laitteet* (1997) ja osat 12 - 13 SFS käsikirjan 10 osassa 2 *Integroidut piirit* (1999). Kyseinen kansallinen standardi

käsikirjan 10 osassa 2 *Integroidut piirit* (1999). Kyseinen kansallinen standardi perustui eurooppalaiseen EN 60617 (1996) ja kansainväliseen IEC 60617 (1996) piirrosmerkkejä koskevaan standardiin *Graphical symbols for diagrams*. Aikaisempi standardi, johon tässä luvussa viitataan, on kansainvälinen IEC 617-standardisarja vuodelta 1983.

Juuri tällä hetkellä ollaan Euroopan unioniin liittymisen vuoksi yhdenmukaistamassa eurooppalaisia standardeja, ja uudet standardit tulevat löytymään kohdasta IEC 60617 DB, joka ei vielä ole täysin valmis. Diplomityön viimeistelyvaiheessa standardi SFS-EN 60617 korvattiin uudella standardilla SFS-IEC 60617 *Sähkökaavioiden piirrosmerkit* (vahvistettu 28.06.2004). Tässä diplomityössä esiintyvät piirrosmerkkeihin ja suurentunnuksiin liittyvät asiat eivät ole muuttuneet uudessa standardissa (Sirviö 2004).

Piirrosmerkkeihin liittyy useita eri käsitteitä, joista muutamien määritelmiä on esitetty seuraavassa luettelossa (Pere 1996: 2-5):

- Piirrosmerkki on kuvio, merkki tai niiden yhdistelmä, jota käytetään kaavioissa, piirustuksissa ja vastaavissa asiakirjoissa kuvaamaan yksikköä tai käsitettä.
- Merkkialkio on määrätyn tarkoituksen omaava yksinkertainen kuvio, joka on yhdistettävä toisen kanssa muodostamaan laitteen täydellisen piirrosmerkin (esimerkiksi transistorin täydellinen piirrosmerkki muodostetaan emitteriä, kollektoria ja resistiivistä liitosta esittävistä merkkialkioista).
- Yleismerkki on yleensä yksinkertainen piirrosmerkki, joka on yhteinen koko yksikköryhmälle ja kuvaa sitä.
- Lohkopiirrosmerkki on toiminnallista kokonaisuutta esittävä yksinkertainen nelikulmioista tarkennusmerkein muodostettu piirrosmerkki, joka on tarkoitettu osoittamaan toiminnan ilmaisematta kokonaisuuden yksityiskohtia tai ottamatta huomioon kaikkia yhteyksiä.
- Tarkennusmerkki on piirrosmerkki, joka on tarkoitettu lisättäväksi toiseen antamaan lisätietoa. Samankaltaisessa merkityksessä on aikaisemmin käytetty termiä ”lisämerkki”.

Milloin SFS-piirrosmerkkistandardeissa on vaihtoehtoisia merkkejä, on niiden valinnassa noudatettava seuraavia periaatteita (Pere 1996: 2-6):

- On käytettävä yksinkertaisinta kyseiseen tarkoitukseen riittävää piirrosmerkkiä.
- On käytettävä suositeltavaa muotoa, milloin se on mahdollista.
- On käytettävä vaihtoehtoisista merkeistä samaa muotoa samassa piirustussarjassa.

Piirrosmerkin merkitys määräytyy sen muodosta ja sen sisällöstä. Yleensä koko ja viivan leveys eivät vaikuta merkitykseen, eli piirrosmerkkejä voidaan pienentää tai suurentaa sopimaan piirustuksen mittakaavaan. Piirrosmerkkien yleismuoto ja mikäli mahdollista mittasuhteet olisi säilytettävä. (Pere 1996: 2-7.)

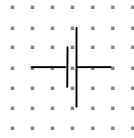
Seuraavassa tarkastellaan kirjallisuudessa sähkötekniikan perusteissa käytettyjä yleisimpiä piirrosmerkkejä. Kappaleissa 2.6.1 – 2.6.2 esiintyvät piirrosmerkit on muotoiltu standardissa ISO 11714-1 *Design of graphical symbols for use in technical documentation products. Part 1: Basic rules* (1996)<sup>1</sup> annettujen vaatimusten mukaan. Moduulin kokona on käytetty  $M = 2,5$  mm.

### 2.6.1 Ideaaliset jännite- ja virtalähteet

Pariston piirrosmerkki (ks. kuva 2) löytyy standardista SFS-EN 60617 *Sähkökaavioiden piirrosmerkit. Osa 6: Sähköenergian tuotanto ja muuttaminen* (1997). Piirrosmerkin lisätiedoissa on maininta, että pitempi viiva esittää positiivista ja lyhyempi viiva negatiivista napaa.

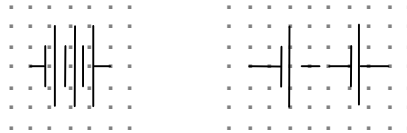
---

<sup>1</sup> Korvattu standardilla ISO 81714-1 *Design of graphical symbols for use in the technical documentation of products. Part 1: Basic rules* (1999). Standardimuutos ei ole vaikuttanut tutkimuksessa tarkasteltujen piirrosmerkkien muotoiluun tai moduulin kokoon.



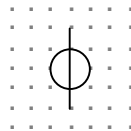
**Kuva 2.** Piirrosmerkki: Paristo, sähköpari, akusto (SFS-EN 60617-6-15-01).

Aikaisemmassa standardissa (IEC 617-6 1983) oli paristolle ja akustolle vaihtoehtoisina piirrosmerkkeinä kuvan 3 mukaiset esitystavat. Voidaan havaita, että on tapahtunut johdonmukainen yksinkertaistus, koska millainen akusto tahansa voidaan esittää ”ekvivalenttisenä” lähteenä, jota kuvaa kuvan 2 mukainen yksi sähköpari.

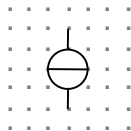


**Kuva 3.** Piirrosmerkki: Paristo ja akusto (poistettu standardista).

Standardista SFS-EN 60617 *Sähkökaavioiden piirrosmerkit. Osa 2: Merkkialkiot, tarkennusmerkit ja muut yleisessä käytössä olevat merkit* (1997) löytyvät ideaalisen jännitelähteen (ks. kuva 4 ) ja ideaalisen virtalähteen piirrosmerkit (ks. kuva 5).



**Kuva 4.** Piirrosmerkki: Ideaalinen jännitelähde (SFS-EN 60617-2-16-02).



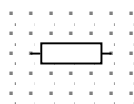
**Kuva 5.** Piirrosmerkki: Ideaalinen virtalähde (SFS-EN 60617-2-16-01).



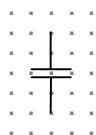
Edellä esitettyihin ideaalisia lähteitä kuvaaviin piirrosmerkkeihin voidaan lisätä standardin IEC 375 *Conventions concerning electric and magnetic circuits* (1972)<sup>1</sup> mukaista lisätietoa (SFS 60617-2 1997: 31). Vastaava kansallinen standardi SFS 4987 *Sähkö- ja magneettiipiirit. Suureiden ja niiden suuntien merkintätavat* (1983) on lyhennelmä edellä mainitusta esikuvastandardista. Lisätietomerkintöjä tarkastellaan lähemmin tämän diplomityön luvussa 2.7, *Suureiden ja niiden suuntien standardin mukaiset merkintätavat*.

### 2.6.2 Passiiviset komponentit

Standardista SFS-EN 60617 *Sähkökaavioiden piirrosmerkit. Osa 4: Passiiviset peruskomponentit* (1997) löytyvät vastuksen (kuva 6), kondensaattorin (kuva 7) ja käämin piirrosmerkit (kuva 8).



**Kuva 6.** Piirrosmerkki: Vastus, yleismerkki (SFS-EN 60617-4-01-01).



**Kuva 7.** Piirrosmerkki: Kondensaattori, yleismerkki (SFS-EN 60617-4-02-01).



**Kuva 8.** Piirrosmerkki: Induktiokäämi, kela, käämi, kuristin (SFS-EN 60617-4-03-01).

Jos halutaan esittää, että induktanssissa on magneettinen sydän, voidaan kuvassa 8 esitetyn piirrosmerkin rinnalle lisätä viiva. Viiva voidaan varustaa huomautuksella esittä-

---

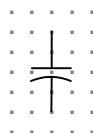
<sup>1</sup> Korvattu standardilla IEC 60375 *Conventions concerning electric and magnetic circuits* (2003). Standardimuutos ei ole vaikuttanut tutkimuksessa tarkasteltujen piirrosmerkkien lisätietomerkintöihin.

mään ei-magneettista ainetta; se voidaan katkaista esittämään ilmaväliä sydämessä. (SFS 60617-4 1997: 11).

Aikaisempien standardien mukaisia, mutta standardiin IEC 60617-4 (1996) kuulumatomia piirrosmerkkejä on esitelty kuvissa 9 - 11.



**Kuva 9.** Vastus, yleismerkki (poistettu standardista).



**Kuva 10.** Kondensaattori yleismerkki (poistettu standardista).



**Kuva 11.** Käämin yleismerkki (poistettu standardista).

## 2.7 Suureiden ja niiden suuntien standardien mukaiset merkintätavat

Standardissa SFS 4987 *Sähkö- ja magneettiipiirit. Suureiden ja niiden suuntien merkintätavat* (1983), joka on lyhennelmä standardista IEC 375 *Conventions concerning electric and magnetic circuits* (1972) on esitetty suositukset virran, jännitteen ja magneettivuon referenssisuuntien esittämistavoille. Kyseinen kansainvälinen standardi on korvattu standardilla IEC 60375 *Conventions concerning electric and magnetic circuits* (2003) ja standardissa olevat muutokset on huomioitu alla olevassa lyhennelmässä.

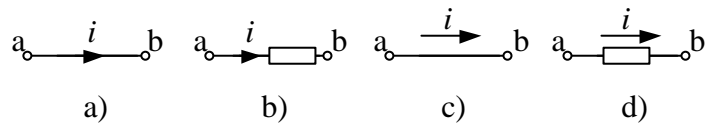
Sähkö- ja magneettiipiireissä on tietyillä suureilla aina suunta. Tällaisia ovat mm. virta ja jännite. Suunta voi olla a:sta b:hen tai b:stä a:han, kun a ja b ovat tarkasteltavan piirin solmupisteitä. Riippumatta verkon todellisesta toimintatilasta voidaan jompikumpi suuntavaihtoehdoista valita tarkasteltavan suureen referenssisuunnaksi. (SFS 4987 1983: 1.)

Historiallisista syistä (käsite sähkövirta oli käytössä huomattavasti aikaisemmin kuin tieto elektroneista) on yleisesti sovittu, että positiivisen virran suunta vastaa positiivisten varauksen kuljettajien liikesuuntaa ja on vastakkainen negatiivisten varauksenkuljettajien liikesuunnalle:

$$i = \frac{dq}{dt}. \quad (1)$$

Jos tasavirtapiirissä referenssisuunnalla määritetty virta on positiivinen, on todellisen virran suunta sama kuin valittu virran referenssisuunta, muuten päinvastainen.

Kuvassa 12 on esitetty standardin IEC 60375 (2003: 11) mukaisia virran referenssisuunnan merkintätapoja. Suositeltavat merkintätavat ovat kuvassa 12 esitetyt tavat a) ja b).



**Kuva 12.** Virran referenssisuunnan merkitseminen nuolen avulla.

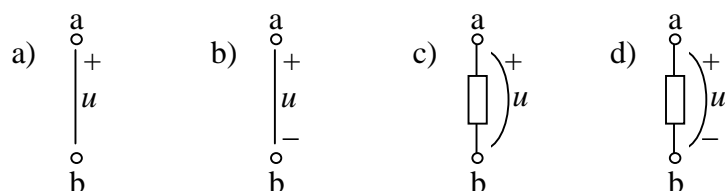
Jos kahden pisteen välillä on vain yksi haara, voidaan virran suunta merkitä (ilman nuolta) käyttämällä suureen symbolissa alaindeksiä, esim.  $i_{ab}$ . Tällöinkin on kuitenkin suositeltavaa käyttää myös nuolisymbolia ja kuvassa 12 esitettyjä tapoja a) ja b). (vrt. SFS 4987 1983: 2).

Sähköverkossa olevien kahden solmupisteen a ja b välinen jännite  $u_{ab}$  on solmupisteen a potentiaalin  $V_a$  ja solmupisteen b potentiaalin  $V_b$  välinen ero, eli

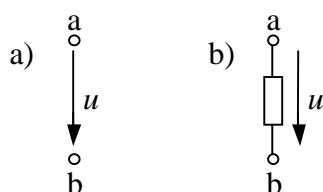
$$u_{ab} = V_a - V_b. \quad (2)$$

Jännite on positiivinen, kun  $V_a > V_b$  eli kun alkupisteellä (a) on korkeampi potentiaali kuin loppupisteellä (b). Tällöin jännitteen suunnan katsotaan olevan a:sta b:hen.

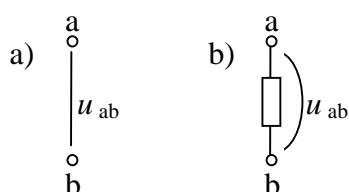
Alla olevissa kuvissa 13 - 15 on esitetty standardin IEC 60375 (2003: 14-16) suosittelemat jännitteen referenssisuunnan merkitsemistavat. Nuolen takaosa (vastaavasti plusmerkki) kohdistetaan pisteeseen, jolla on korkeampi potentiaali. Standardissa SFS 4987 (1983: 2) on esitetty myös merkintätapa, jossa kuvion 14b mukaisessa tilanteessa suoran viivan tilalla on kaareva viiva.



**Kuva 13.** Jännitteen referenssisuunnan merkitseminen suoralla tai kaarevalla viivalla, joka on varustettu (miinus- ja) plusmerk(e)illä.

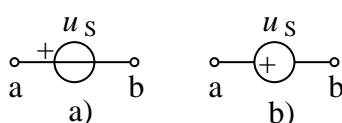


**Kuva 14.** Jännitteen referenssisuunnan merkitseminen nuolella.

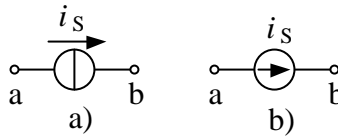


**Kuva 15.** Jännitteen referenssisuunnan merkitseminen solmupisteiden nimiä käyttäen.

IEC 60375 –standardissa (2003: 22 - 25) on esitetty kaksi eri merkintätapaa sekä ideaalisen jännitelähteen lähdejännitteen  $u_S$  suunnan (kuva 16) että ideaalisen virtalähteen virran  $i_S$  suunnan (kuva 17) esittämiseksi. Em. tavoista vain esitystavat kuvissa 16a ja 17a ovat standardin IEC 60617-2 (1996) mukaisia.

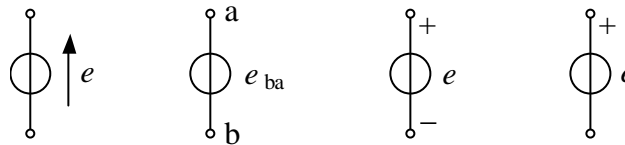


**Kuva 16.** Lähdejännitteen suunnan merkitseminen ideaaliseen jännitelähteeseen.



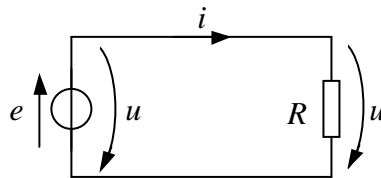
**Kuva 17.** Virran suunnan merkitseminen ideaaliseen virtalähteeseen.

SFS 4987 –standardissa on esitetty myös muita mahdollisia lähdejännitteen  $e$  suunnan esitystapoja, jotka on esitetty kuvassa 18.



**Kuva 18.** Lähdejännitteen  $e$  suunnan merkintätapoja (SFS 4987 1983: 3).

Virran ja jännitteen suuntien merkintätavoista seuraa, että samoilla referenssisuunnilla resistiivisen kaksinavan läpi kulkeva virta ja yli vaikuttava jännite saavat samat merkit (SFS 4987 1983: 2). Tämä on esitetty alla olevassa kuvassa 19.



**Kuva 19.** Sähkömotorinen voima  $e$ , jännite  $u$  ja virta  $i$ .

Edellä esitetyt standardien mukaiset virran ja jännitteen referenssisuuntien esitystavat koskevat sekä tasa- että vaihtosähkövirtapiirejä (ks. IEC 60375 2003: 31 – 37). Suureiden tunnuksien merkintätavoissa on huomioitava, onko kyseessä hetkellinen, reaalinen tai kompleksilukumuotoinen suure (ks. kohta 2.5 suureiden merkintätavat).

### 3 OPPIKIRJOISSA KÄYTETTYJÄ VIRTAPIIRIEN MERKINTÖTAPOJA

Tässä luvussa esitellään, millaisia virtapiireihin liittyviä merkintätapoja on käytetty sähkötekniikan perusteita käsittelevässä kirjallisuudessa. Kolmessa ensimmäisessä kohdassa (3.1 – 3.3) tarkastellaan kirjoja, jotka ovat olleet käytössä joko Suomen lukioissa tai yliopistoissa lukuvuonna 2003 – 04 ja kohdassa 3.4 on esimerkkejä muista kuin edellä mainittuun ryhmään kuuluvista kirjoista.

#### 3.1 Suomalaisissa lukioissa käytettyjä fysiikan oppikirjoja

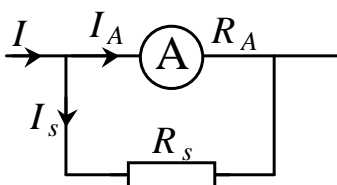
Valtioneuvoston asetuksessa *Lukiokoulutuksen yleisistä tavoitteista ja tuntijaosta* (No 955/2002) on määritetty nuorille annettavan opetuksen tuntijako (3. luku 8§), jonka mukaan pakollisia fysiikan kursseja lukiossa on vain yksi ja syventäviä kursseja on seitsemän. Syventävistä kursseista kurssi FY6 käsittelee sähköä ja FY7 sähkömagnetismia (Opetushallitus 2003).

Taulukossa 5 on esitetty eri kirjakustantajien lukuvuodelle 2003 – 04 tarjoamia oppikirjavaihtoehtoja sähköä ja sähkömagnetismia käsitteleville lukion fysiikan kursseille. Oppikirjaesimerkkejä on tässä esityksessä tarkasteltu taulukon 5 mukaisessa järjestyksessä.

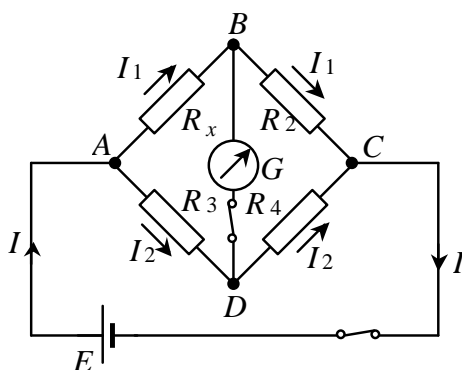
**Taulukko 5.** Suomalaisissa lukioissa lv. 2003 – 2004 käytettyjä fysiikan oppikirjoja.

Kirjan nimi	Tekijä(t)	Kustantaja
<i>Atomista avaruuteen. Sähköilmiöt fysiikassa.</i>	Makkonen, Meisalo & Suokko (1996a)	Otava www.otava.fi
<i>Atomista avaruuteen. Sähkömagnetismi fysiikassa.</i>	Makkonen, Meisalo & Suokko (1996b)	Otava
<i>Galilei. Osa 6: Sähkö.</i>	Lavonen, Kurki-Suonio & Hakulinen (1997)	WSOY www.wsoy.fi
<i>Galilei. Osa 7: Sähkömagnetismi</i>	Lavonen, Kurki-Suonio & Hakulinen (1999b)	WSOY
<i>Fysiikka. Osa 4: Sähkö ja sähkömagnetismi.</i>	Lehto & Luoma (1999)	Tammi www.tammi.fi
<i>Lukion sähkö ja elektroniikka</i>	Lavonen, Blinikka & Antila (1999a)	WSOY

Oppikirjasarjan *Atomista avaruuteen* osassa *Sähköilmiöt fysiikassa* (Makkonen, Meisalo & Suokko 1996a) on sivuilla 69 - 71 virta kuvattu ”kulkemaan johtimessa” (kuva 20). Sivulta 73 lähtien on otettu käyttöön merkintätapa, jossa virran referenssisuuntaa kuvataan komponentin vierellä olevalla nuolella (kuva 21).

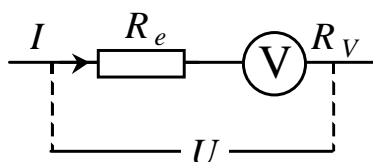


**Kuva 20.** Ampeerimittarin virtakestoisuuden lisääminen sivuvastusta käyttämällä (Makkonen ym. 1996a: 70).

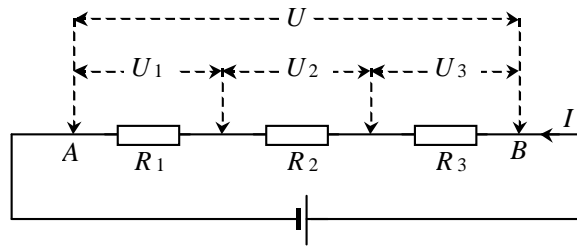


**Kuva 21.** Wheatstonen silta (Makkonen ym.1996a: 73).

Kyseisessä oppikirjassa on potentiaalieron eli jännitteen  $U$  referenssisuuntaa kuvattu vain kolmessa virtapiirissä. Ensimmäisessä virtapiirissä on käytetty kuvan 22 mukaista merkintätapaa ja kahdessa muussa virtapiirissä kuvan 23 mukaista merkintätapaa, jossa jännitettä kuvataan suoralla viivalla, jonka molemmissa päissä on nuolenpää.



**Kuva 22.** Jännitemittarin sisäinen resistanssi (Makkonen ym. 1996a: 70).



**Kuva 23.** Jännitehäviöt vastusten sarjaan kytkennässä (Makkonen ym. 1996a: 75).

Kirchhoffin 1. sääntö ”Virtapiirin jokaisessa pisteessä on siihen tulevien sähkövirtojen summa ( $I_i$ ) yhtä suuri kuin siitä lähtevien sähkövirtojen ( $I_j$ ) summa” on esitetty ko. op-pikirjassa sivulla 78-79 perinteisen nuolikuviön (kuva 24) ja kaavan

$$\sum_{i=1}^n I_i = \sum_{j=1}^m I_j \quad (3)$$

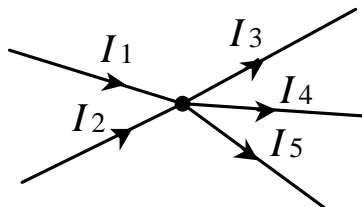
avulla. Kirchhoffin 2. sääntö ”Suljetussa virtapiirissä tapahtuvien jännitehäviöiden ( $R_i I_j$ ) summa on yhtä suuri kuin piirin lähdejännitteiden ( $E_k$ ) summa” on esitetty kaavojen

$$\sum R_i I_j = \sum E_k \quad (4)$$

ja

$$\sum_{i=1}^n \Delta V_i = 0 \quad (5)$$

avulla. Kaava 5 voidaan esittää myös sanallisessa muodossa ”Kahden solmupisteen välinen potentiaaliero ( $\Delta V_i$ ) on reitistä riippumaton”.

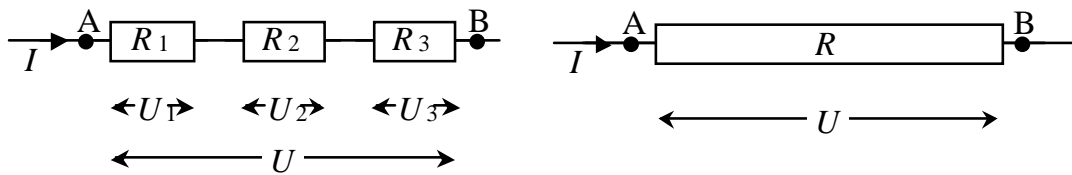


**Kuva 24.** Kirchhoffin virtalaki perinteisellä nuolikuviolla esitettynä

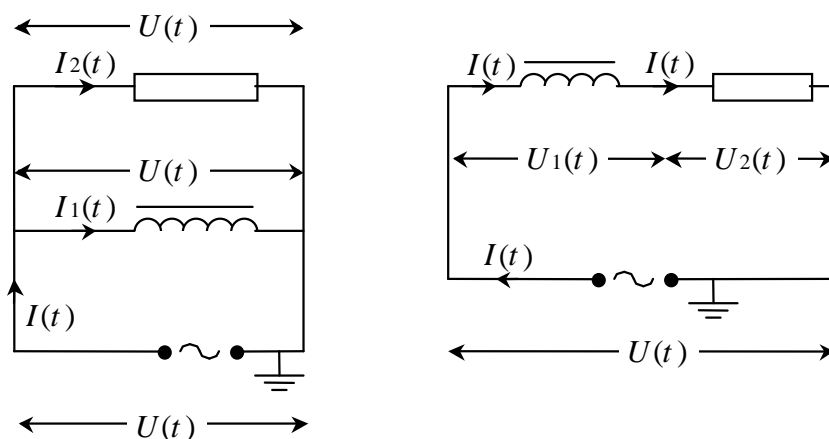


Oppikirjasarjan *Atomista avaruuteen* osasta *Sähkömagnetismi fysiikassa* (Makkonen, Meisalo & Suokko 1996b) löytyy vain kaksi virtapiiriä, joihin on merkitty virran tai jännitteen referenssisuunnat (esimerkki elektroniputkesta ko. oppikirjan sivuilla 59 ja esimerkki sähköisestä värähtelypiiristä sivulla 82). Itse virtapiirejä em. oppikirjasta löytyy kyllä useitakin.

*Galilei* –oppikirjasarjan osassa 6 *Sähkö* (Lavonen, Kurki-Suonio & Hakulinen 1997) ja osassa 7 *Sähkömagnetismi* (Lavonen, Kurki-Suonio & Hakulinen 1999b) on johdonmukaisesti virran referenssisuuntaa kuvattu ”johtimessa” kulkevalla nuolella ja jännitteen referenssisuuntaa komponentin napojen välillä olevalla kaksisuuntaisella nuolella (kuvat 25 ja 26). Mielenkiintoista on se, että esim. vastuksen suure merkitään aina välillä piirrosmerkin sisäpuolelle ja välillä piirrosmerkin ulkopuolelle. Samoin piirrosmerkkien muodot vaihtelevat esimerkistä toiseen (ks. kuva 25).



**Kuva 25.** Jännitteen jakautuminen vastusten sarjaan kytkennässä (Lavonen ym. 1997: 75).

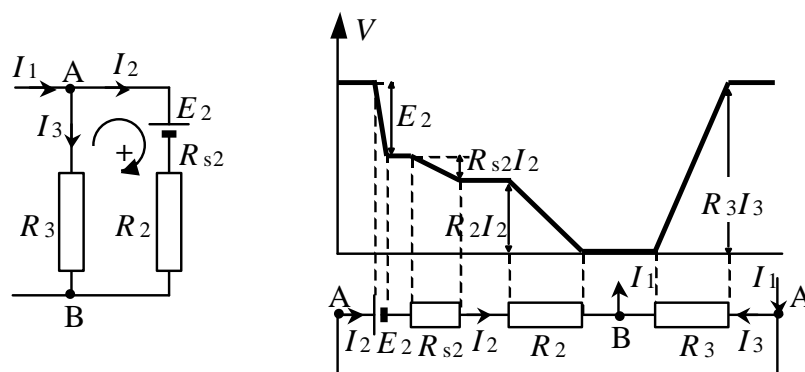


**Kuva 26.** Rinnan ja sarjaan kytkentä (Lavonen ym. 1999b: 72).

Kirchhoffin 1. laki on esitetty kuvallisesti perinteisen nuolikaavion ja kaavan (esim. liittyen kuvaan 24)

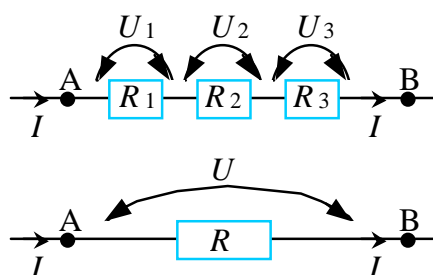
$$I_1 + I_2 = I_3 + I_4 + I_5 \quad (6)$$

avulla. Kirchhoffin 2. lakia on kuvattu potentiaalieroja kuvaavalla kaaviolla (kuva 27).



**Kuva 27.** Kirchhoffin 2. lain havainnollistaminen potentiaalikuviolla (Lavonen ym. 1997: 104).

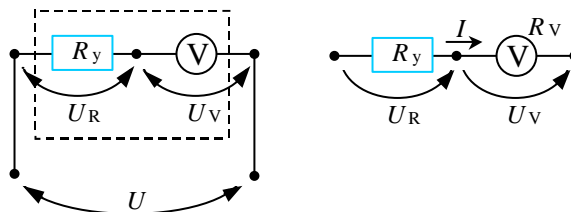
*Fysiikka*-sarjan osassa 4 (Lehto & Luoma 1999) käsitellään sähköä ja sähkömagnetis-  
mia. Kirjasta löytyy kahta erilaista tapaa esittää virran ja jännitteen referenssisuuntia  
virtapiireissä. Kuvassa 28 on esitetty yleisimmin esiintyvät merkintätavat, joissa virran  
referenssisuuntaa kuvataan johtimessa olevalla nuolenpäällä ja jännitteen referens-  
sisuuntaa kaarevalla viivalla, jonka molemmissa päissä on nuolenpäät.



**Kuva 28.** Vastukset sarjaan kytkettyinä. (Lehto & Luoma 1999: 95).

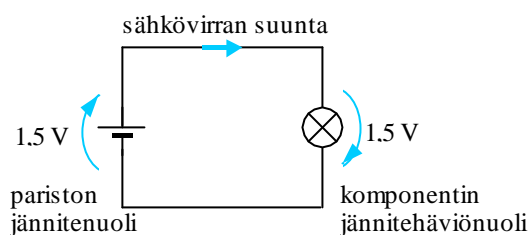
Mielenkiintoista merkintätapojen käytössä on se, että ko. kirjan sivulla 124 on (jännite-  
mittarin mittausalueen laajentamista koskevassa) teoriaosuutta havainnollistavassa vir-  
tapiirikaaviossa on käytetty jännitteen referenssisuunnan merkitsemiseen kaarevaa vii-  
vaa, jonka molemmissa päissä on nuolenpäät ja samalla sivulla olevassa

laskuesimerkkiin liittyvässä virtapiirikaaviossa kaarevaa viivaa, jonka vain toisessa päässä on nuolenpää (ks. kuva 29).



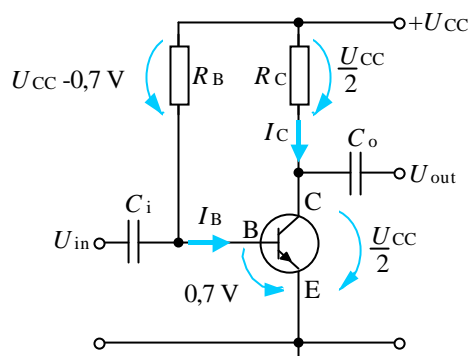
**Kuva 29.** Jännitemittari etuvastuksineen  $R_y$  (Lehto & Luoma 1999: 124).

Oppikirjassa *Lukion sähkö ja elektroniikka* (Lavonen, Blinikka & Antila 1999a), joka on tarkoitettu lukion fysiikan syventäville ja soveltaville kursseille tukemaan kokeellista työskentelyä, on esitetty sekä sanallisesti että kuvan muodossa, kuinka elektroniikassa usein merkitään virtapiirikaavioon jännitteen ja virran referenssisuunnat (ks. kuva 30).



**Kuva 30.** Virran ja jännitteen merkitseminen kytkentäkaavioon (Lavonen ym. 1999a: 15).

Johdonmukaisesti läpi koko oppikirjan sekä yksinkertaisissa tasasähköpiireissä että monimutkaisemmissa vaihtosähköpiireissä on käytetty virran referenssisuunnan kuvaamiseen johtimen päällä olevaa sinistä nuolta ja jännitteen referenssisuunnan kuvaamiseen komponentin vierelle piirrettyä sinistä kaarevaa viivaa, jonka toisessa päässä on nuolenpää. Kuvassa 31 on esitetty esimerkkinä, kuinka transistorivahvistinkytkennässä esiintyvien virtojen ja jännitteiden referenssisuunnat on merkitty.



**Kuva 31.** Transistorivahvistimen sähkövirrat ja jännitteet (Lavonen ym. 1999a: 109).

### 3.2 Suomalaisissa yliopistoissa käytettyjä fysiikan kirjoja

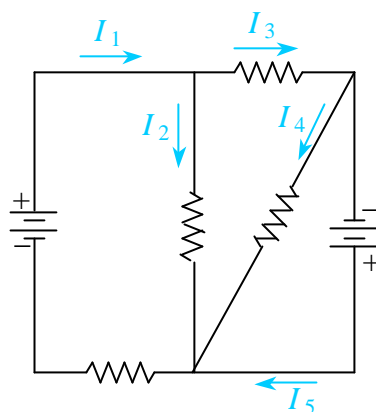
Tässä luvussa on tarkasteltavana suomalaisissa yliopistoissa käytettävien fysiikan kirjojen sähkötekniikkaa koskevat osuudet taulukon 6 mukaisessa järjestyksessä. Tässä käsite suomalainen yliopisto tarkoittaa tässä luvussa sellaisia yliopistoja, joissa annetaan sähkötekniikan diplomi-insinöörin tutkintoon johtavaa koulutusta. Eli tarkasteltavana ovat olleet Teknillisen korkeakoulun (TKK) opetusohjelmassa, sekä Lappeenrannan teknillisen yliopiston (LTY), Oulun yliopiston (OY), Tampereen teknillisen yliopiston (TTY) ja Vaasan yliopiston (VY) opinto-oppaissa esitetyt fysiikan oppikirjat.

**Taulukko 6.** Suomalaisissa yliopistossa lv. 2003 – 04 käytettyjä fysiikan oppikirjoja.

Kirjan nimi	Tekijä(t)	Yliopisto
<i>Physics</i>	Ohanian (1988)	VY /Sähkö- ja energiatekn. koulutusohj. (lv. 1999 – 2002)
<i>University Physics</i>	Young & Freedman (2000).	TKK / Sähkö- ja tietoliikennetekn. osasto LTY / Sähkötekniikan koulutusohjelma OY / Sähkö- ja tietotekniikan osasto TTY/ Sähkötekniikan koulutusohjelma VY / Sähkö- ja energiatekn. koulutusohj.
<i>Understanding Physics</i>	Mansfield & O'Sullivan (1998)	TKK / Teknillisen fys. ja matem. osasto

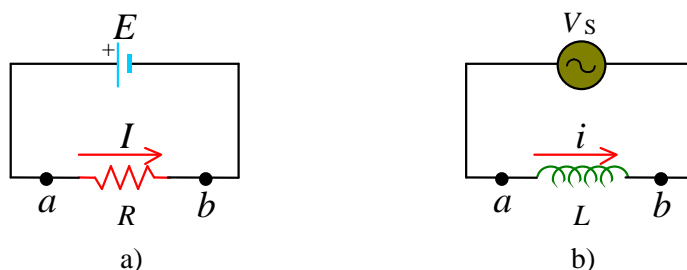
Kirjassa *Physics* (Ohanian 1988) tasasähköpiirejä käsittelevissä esimerkeissä sivuilla 703 - 729 ei jännitteiden referenssisuuntia ole lainkaan merkitty virtapiireihin ja virtojen referenssisuunnat on merkitty virtapiirikaavioihin johtimen tai komponentin vierellä olevalla sinisellä nuolella (kuva 32). Vaihtosähköpiirejä käsittelevissä esimerkeissä sivuilla 823 - 848 virtojen ja jännitteiden referenssisuuntia ei ole lainkaan merkitty piireihin.

Mielenkiintoista on myös ko. kirjassa se, että sekä ajan mukaan muuttuvat ( $i(t)$ ), että reaaliset ( $I$ ) ja kompleksiset ( $\underline{I}$ ) suureet on painettu kursivilla isolla kirjaimella  $I$ .



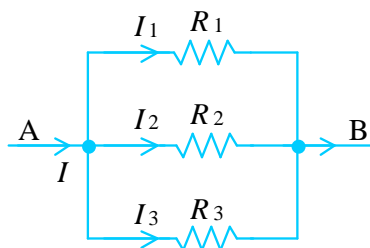
**Kuva 32.** Haaravirrat monisilmukkaisessa piirissä (Ohanian 1988: 711).

Vastaava piirroksellinen merkintätapa, jossa virtaa kuvataan komponentin vierellä olevalla nuolella (ks. kuva 33) on käytössä myös kirjassa *University Physics* (Young & Freedman 2000: 669 – 1052).

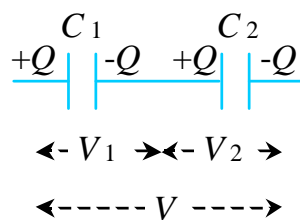


**Kuva 33.** Virran ja jännitteen referenssisuuntien merkintätavat a) tasa- ja b) vaihtosähköllä (Young & Freedman 2000: 835, 1001).

Kirjassa *Understanding Physics* (Mansfield & O'Sullivan 1998: 407-568) virran referenssisuunta merkitään tasasähkösuudessa johdonmukaisesti johtimessa kulkevaksi (kuva 34), mutta jännitteen referenssisuuntaa ei merkitä lainkaan näkyviin. Vaihtosähkösuudessa virran referenssisuuntaa ei merkitä virtapiireihin lainkaan näkyviin ja jännitteen referenssisuuntaa kuvataan kaksipäisellä nuolella (kuva 35).



**Kuva 34.** Virran jakaantuminen rinnakkaishaaroihin (Mansfield & O'Sullivan 1998: 424).



**Kuva 35.** Jännitteen jakaantuminen sarjaan kytkettyjen kapasitanssien ylitse (Mansfield & O'Sullivan 1998: 459).

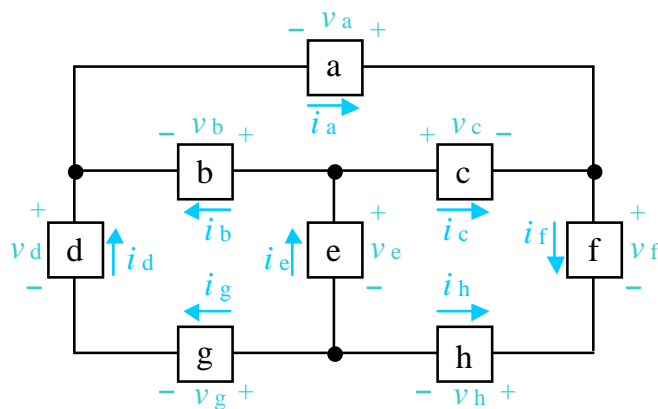
### 3.3 Suomalaisissa yliopistoissa käytettyjä piirianalyysin kirjoja

Tässä luvussa on tarkasteltavana suomalaisissa yliopistoissa käytettäviä piirianalyysin kirjoja taulukon 7 mukaisessa järjestyksessä. Tässä käsite suomalainen yliopisto tarkoittaa tässä luvussa (kuten edellisessäkin luvussa 3.2) sellaisia yliopistoja, joissa annetaan sähkötekniikan diplomi-insinöörin tutkintoon johtavaa koulutusta.

**Taulukko 7.** Suomalaisissa yliopistossa lv. 2003 – 04 käytettyjä piirianalyysin oppikirjoja.

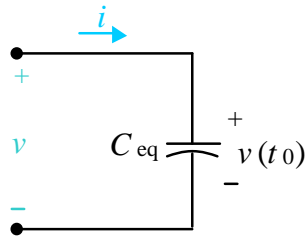
Kirjan nimi	Tekijä(t)	Käytetty kurssikirjana lv. 2003 – 04
<i>Electric Circuits</i>	Nilsson & Riedel (2001)	OY / Sähkö- ja tietotekniikan osasto TTY/ Sähkötekniikan koulutusohjelma TKK / Sähkö- ja tietoliikennetekn. osasto VY /Sähkö- ja energiatekn. koulutusohj.
<i>Electric Circuits</i>	Edminister & Nahvi (1997)	TKK / Sähkö- ja tietoliikennetekn. osasto
<i>Sähkämiehen käsikirja 1. Teoreettinen sähkö- tekniikka.</i>	Aura & Tonteri (1986)	LTY / Sähkötekniikan koulutusohjelma
<i>Teoreettinen sähkötek- niikka ja sähkökoneiden perusteet.</i>	Aura & Tonteri (1995)	Huom. Korvaa edellisen
<i>Virtapiirit ja verkot</i>	Voipio (1972)	LTY / Sähkötekniikan koulutusohjelma

Kirjassa *Electric Circuits* (Nilsson & Riedel 2001) virran referenssisuuntaa kuvataan komponentin (kaksinavan) vierellä olevalla nuolella ja jännitteen referenssisuuntaa komponentin napojen vieressä olevilla plus- ja miinusmerkeillä (kuva 36).



**Kuva 36.** Virrat ja jännitteet piirikaaviossa (Nilsson & Riedel 2001: 23).

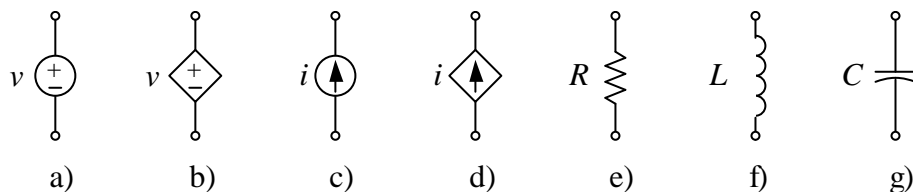
Huomioitavaa kirjassa käytetyistä merkintätapayhdistelmistä on myös se, että joissakin esimerkeissä virta on merkitty ilman aikaa kuvaavaa lisämerkintää symbolilla  $i$  ja sitä vastaava jännite on merkitty käyttäen symboliyhdistelmää  $v(t)$  (kuva 37).



**Kuva 37.** Ekvivalenttinen kapasitanssi (Nilsson & Riedel 2001: 245).

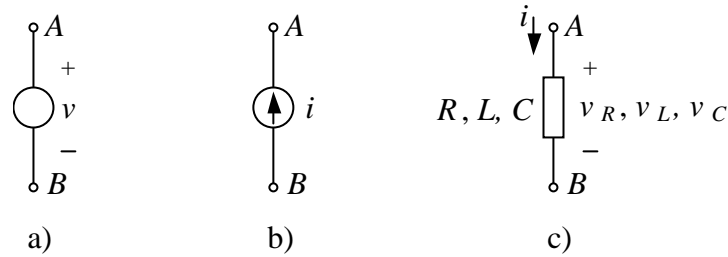
Vaihtosähköä käsittelevissä esimerkeissä on virtoja ja jännitteitä merkitty systemaattisesti joko vektorisuureita kuvaavilla symboleilla  $\mathbf{I}$  ja  $\mathbf{U}$  (ks. esimerkiksi Fig 11.15 ko. kirjan sivulla 556) tai ajan mukaan muuttuvia suureita kuvaavilla symboleilla  $i(t)$  ja  $v(t)$ .

Kirjan *Electric Circuits* (Edminister & Nahvi 1997) toisen kappaleen alussa esitetään selvästi kirjassa käytettävät passiivisten ja aktiivisten komponenttien piirrosmerkit (kuva 38) sekä virran ja jännitteen referenssisuuntien merkitsemistavat (kuva 39). Virran referenssisuuntaa kuvataan johtimen vierellä olevalla nuolella ja jännitteen referenssisuuntaa komponentin napojen vieressä olevilla plus- ja miinusmerkeillä johdonmukaisesti läpi koko kirjan sekä tasa- että vaihtosähköä käsittelevissä esimerkeissä. Kirjassa on myös johdonmukaisesti merkitty ajan mukaan muuttuvat suuret kursivoidulla pienellä kirjaimella, tehollisarvoiset suuret kursivoidulla isolla kirjaimella ja kompleksisuuret vahvennetuilla pystykirjaimilla (esim. virtasuure  $i$ ,  $I$  tai  $\mathbf{I}$ ).



**Kuva 38.** Seitsemän peruskomponenttia: a) ideaalinen jännitelähde, b) ohjattu jännitelähde, c) ideaalinen virtalähde, d) ohjattu virtalähde, e) vastus, f) kela ja g) kondensaattori (Edminister & Nahvi 1997: 7).

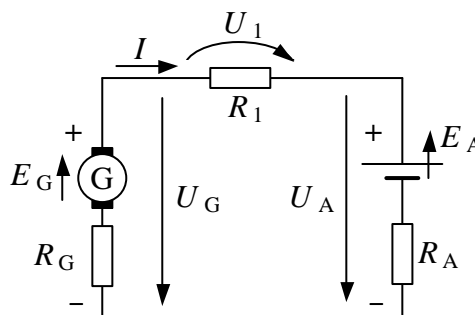




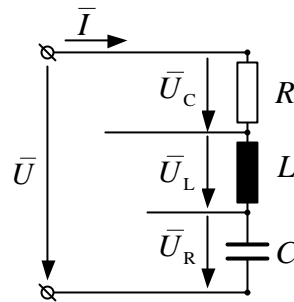
**Kuva 39.** Jännitteen ja virran referenssisuunnat (Edminister & Nahvi 1997: 8).

Kirja *Teoreettinen sähkötekniikka ja sähkökoneiden perusteet* (Aura & Tonteri 1995) korvaa (tekijöiden mukaan) aikaisemmin ilmestyneen kirjan *Sähkömiehen käsikirja 1. Teoreettinen sähkötekniikka* (Aura & Tonteri 1986). Ainoana huomioitavana muutoksena merkintätavoissa on se, että vastuksen suuretunnus on siirretty piirrosmerkin sisäpuolelta ulkopuolelle.

Kirjassa *Teoreettinen sähkötekniikka ja sähkökoneiden perusteet* (Aura & Tonteri 1995) jännitteen referenssisuuntaa kuvataan sekä tasa- että vaihtosähköesimerkeissä joko suoran tai kaarevan viivan päässä olevalla nuolella (korkeammasta potentiaalista alempaan) (kuva 40). Virran referenssisuuntaa kuvataan yleisimmin joko johtimessa tai johtimen vierellä olevalla nuolella, mutta joissakin virtapiireissä virran referenssisuuntaa kuvaava nuoli on piirretty komponentin vierelle. Vaihtosähköä käsittelevissä esimerkeissä virta- ja jännitesuureiden kompleksisuutta on kuvattu sekä kaavioissa että tekstissä kursiivikirjaimen päällä olevalla viivalla (kuva 41).

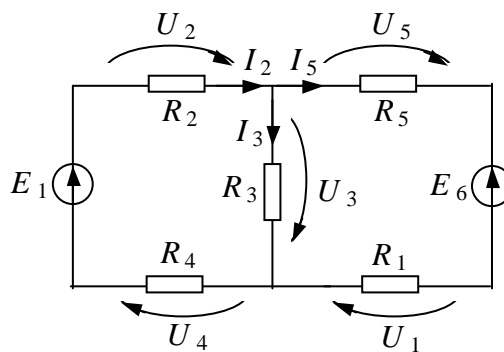


**Kuva 40.** Akuston latauskytkentä (Aura & Tonteri 1995: 61).



**Kuva 41.** Resistanssi, induktanssi ja kapasitanssi sarjassa vaihtosähköpiirissä (Aura & Tonteri 1995: 181).

Kirjassa *Virtapiirit ja verkot* (Voipio 1972) on johdonmukaisesti kirjan alusta loppuun saakka merkitty virran referenssisuuntaa johtimen päällä olevalla nuolella ja jännitteen referenssisuuntaa komponentin vierellä olevalla kaarevalla viivalla, jonka toisessa päässä on nuolenpää (ks. kuva 42). Koska fonttityyppien muuntelu kirjoituskoneissa oli hankalaa 1970 luvun alussa, teksti on kokonaan pystytekstiä, eli kaikki tekstissä olevat suureet ovat antiikvalla. Kompleksiset suureet on kuitenkin aina merkitty pystykirjaimen alleviivauksella. Kaavioissa reaaliset suureet on merkitty vinotekstinä ja kompleksiset suureet alleviivattuna vinotekstinä (vaihtosähköverkkoja ss. 181-297 koskevissa piirikaavioissa alleviivaus on jäänyt usein merkitsemättä).



**Kuva 42.** Kahden silmukan verkko (Voipio 1972: 39).

### 3.4 Esimerkkejä muista kirjoista

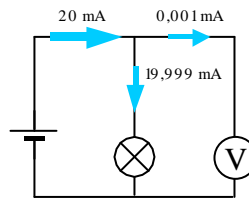
Tässä luvussa on tarkasteltavana fysiikan ja piirianalyysin kirjoja, joista osa on ollut käytössä aikaisemmin oppikirjoina eri koulutusasteilla Suomessa, ja joista osassa käy-

tetty edellä esittämättömiä virran ja jännitteen referenssisuuntien merkintätapoja. Taulukossa 8 on esitelty kirjat tarkastelujärjestyksessä.

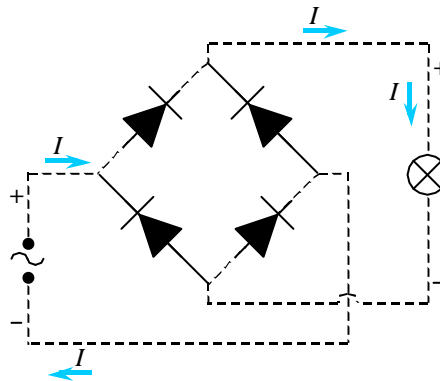
**Taulukko 8.** Muita sähkötekniikkaa käsitteleviä kirjoja.

<b>Kirjan nimi</b>	<b>Tekijä(t)</b>	<b>Huom.</b>
<i>Elektroniikka omaksi</i>	Lavonen, Lindh, Autio & Antila (1998)	yläasteen valinnainen fyysikan kurssi lv. 2003 - 04
<i>Sähköalan perusoppi 1.</i>	Leppihalme (1979)	mm. Lappajärven ammattikoulu 1980-luvulla
<i>Sähköalan perusoppi 3.</i>	Leppihalme (1981)	mm. Lappajärven ammattikoulu 1980-luvulla
<i>Yleisjakson sähkötekniikka.</i>	Ahoranta, Lesch & Sundell (1986)	mm. Vaasan ammatillinen aikuiskoulutuskeskus vuosina 1994 - 96
<i>Sähkötekniikka.</i>	Ahoranta (2002)	mm. Järviseudun ammattitutkintakeskus lv. 2003 - 04
<i>Sähkötekniikan oppikirja teknillistä opetusta ja omin päin opiskelua varten.</i>	Paavola (1979)	mm. Vaasan teknillinen oppilaitos 1980-luvulla
<i>Sähkötekniikan oppikirja.</i>	Paavola & Lehtinen (1982).	
<i>Piirianalyysi osa 1.</i>	Voipio (1977)	
<i>Piirianalyysi osa 2.</i>	Voipio (1979)	
<i>Fysiikka korkeakouluja varten</i>	Simons (1946)	
<i>Basic electrical engineering</i>	Cathey & Nasar (1997)	
<i>Engineering Circuit Analysis</i>	Hayt, Kemmerly & Durbin (2002)	

Yläasteen valinnaiselle fysiikan kurssille (lv. 2003 – 04) suunnatussa oppikirjassa *Elektroniikka omaksi* (Lavonen, Lindh, Autio & Antila 1998) on käytetty kirjan alkuosassa havainnollisia johtimen päälle piirrettyjä eri vahvuisia sinisiä nuolia kuvaamaan virran kulkureittiä (ks. kuva 43). Kirjan edetessä virran kulkureitin kuvaamisesta siirrytään kuvaamaan virran referenssisuuntaa johtimen vierellä olevalla sinisellä nuolella (ks. kuva 44).

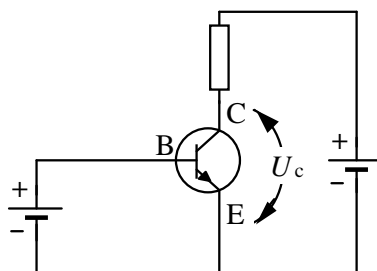


**Kuva 43.** Jännitemittarin kytkeminen mitattavan komponentin rinnalle (Lavonen ym. 1998: 16).



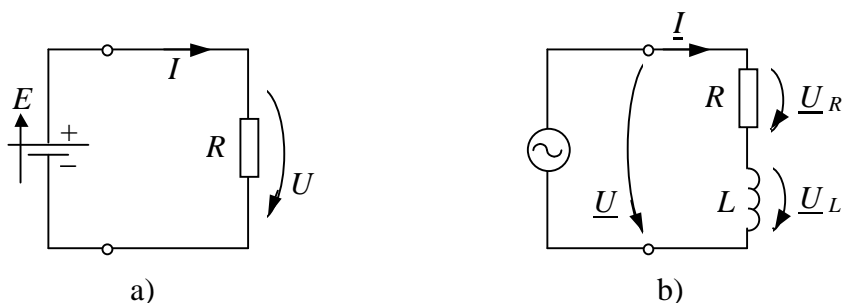
**Kuva 44.** Tasasuuntaussillan toiminta (Lavonen ym. 1998: 37).

Jännitteen eli potentiaalieron kuvaamiseen käytetään joko kuvassa 44 esitettyä merkintätapaa, jossa korkeampi potentiaalinen komponentin napa merkitään plusmerkillä ja alempi potentiaalinen napa miinusmerkillä tai kuvassa 45 esitettyä merkintätapaa, jossa komponentin nappoja osoittamaan piirretään kaarevan viivan päissä olevat nuolet.



**Kuva 45.** Transistorikytkentä kahdella jännitelähteellä (Lavonen ym. 1998: 40).

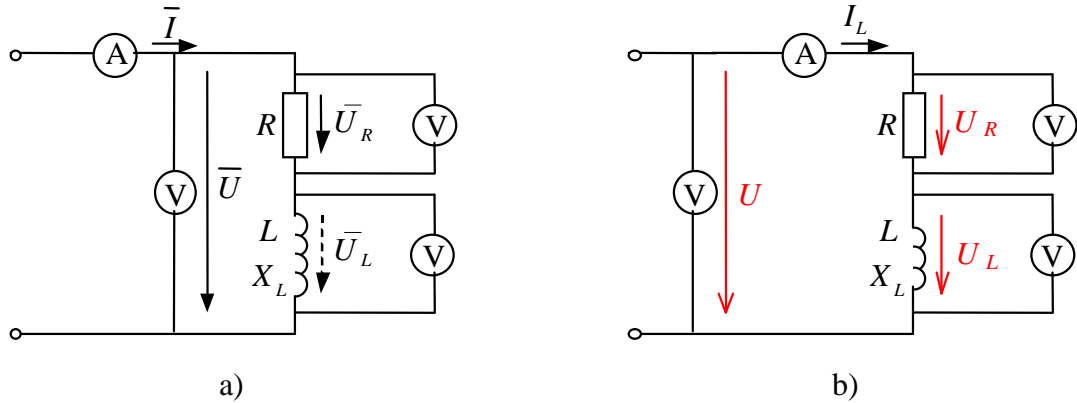
Mm. Lappajärven ammattikoulussa (nyk. Järvisseudun ammatti-instituutti) 1980-luvulla käytetyssä kirjasarjassa *Sähköalan perusoppi* (Leppihalme 1979, 1981) on johdonmukaisesti läpi koko kirjasarjan sekä tasasähköesimerkeissä (kuva 46 a) että vaihtosähköesimerkeissä (kuva 46 b) merkitty virran referenssisuuntaa johtimen päällä olevalla nuolella ja jännitteen referenssisuuntaa komponentin vierellä olevalla kaarevalla viivalla, jonka toisessa päässä on nuolenpää.



**Kuva 46.** Virran ja jännitteen referenssisuuntien merkitseminen a) tasasähköpiireihin ja b) vaihtosähköpiireihin (Leppihalme 1979: 50, 1981: 60).

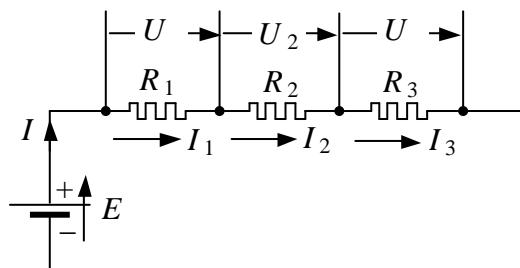
Mielenkiintoisia havaintoja voidaan tehdä myös verrattaessa saman tekijän eri kirjapainoksia. Esimerkkinä tällaisesta merkintätapojen, ei standardimuutoksesta johtuneesta, muuttumisesta on mm. Vaasan ammatillisessa aikuiskoulutuskeskuksessa vuosina 1994 - 96 käytetyssä oppikirjassa *Yleisjakson sähkötekniikka* (Ahoranta, Lesch & Sundell 1986) oleva esimerkki  $RL$ -piirin mittauskytkennästä, jossa esiintyvät kompleksiset suureet merkitty selvästi (suuremerkinnän yläpuolella olevalla viivalla) reaalisisistä suureista erottuviksi (ks. kuva 47 a). Kirjasta *Sähkötekniikka* (Ahoranta 2002: 179) löytyvästä vastaavaa  $RL$ -piirin mittauskytkentää koskevassa esimerkissä todetaan, että ”kokonaisjännite saadaan laskemalla  $U_R$  ja  $U_L$  osoittimina (vektoreina) yhteen”. Kuitenkin sekä

kuvissa, että tekstissä ei enää käytetä vektoriominaisuutta kuvaavaa suureen merkintätapaa (ks. kuva 47 b).

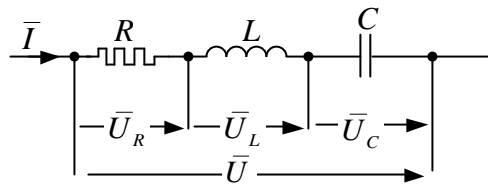


**Kuva 47.** *RL*-piirin mittauskyskentä a) Ahoranta ym. (1986:290) ja b) Ahoranta (2002: 178).

Mm. Vaasan teknillisessä oppilaitoksessa (nyk. Vaasan ammattikorkeakoulu) 1970 ja 1980 -luvulla käytetyn oppikirjan *Sähkötekniikan oppikirja teknillistä opetusta ja omin päin opiskelua varten* (Martti Paavola 1979) alkulauseessa tekijä toteaa painoksen perustuvan Standardeihin SFS 2300 (Suureet ja yksiköt, 1971) ja SFS 2045...2062 (Sähkölaitos- ja sähkönkäyttötekniikan piirustusstandardit, 1966). Edellä mainitun kirjan 14. uudistetussa laitoksessa *Sähkötekniikan oppikirja* (Paavola & Lehtinen 1982) merkintätavat ovat säilyneet ennallaan. Kuvassa 48 olevassa virtapiiriesimerkissä on yhdistelty ko. kirjan 14. uudistetun laitoksessa esitetyt tasasähköesimerkissä käytetyt lähdejännitteen  $E$ , virran  $I$  ja jännitteen  $U$  merkintätavat ja kuvassa 49 on esitetty vaihtosähköesimerkeissä esiintyvät jännitteen  $\underline{U}_x$  ja virran  $\underline{I}$  merkintätavat.



**Kuva 48.** Tasasähköpiirin lähdejännite, virrat ja jännitteet (Mukaillen Paavola & Lehtinen 1982: 47 - 49).



**Kuva 49.** Vaihtosähköpiirin sarjakytkenässä vaikuttavat jännitteet (Paavola & Lehtinen 1982: 113).

Edellisessä kappaleessa tarkastellun kirjan *Virtapiirit ja verkot* (Voipio 1972) mukainen piirros- ja painotekninen johdonmukaisuus löytyy myös Voipion kirjoittamista kirjoista: *Piirianalyysi osa 1* (1977) ja *Piirianalyysi osa 2* (1979). Näissä uudemmissa painoksissa myös kirjoitettuun tekstiin on suuret merkitty vinokirjaimin (kursiivilla).

*Piirianalyysi osa 1*:n sivulla 50 on yleistys, jota käytetään kirjan loppuun saakka:

”Kun vain verkon yleinen rakenne on tarkasteltavana, ei ehkä vielä haluta tehdä valintaa yhtälöiden esittämistavasta. Silloin voidaan käyttää lyhennettyä symbolista merkintää, missä jännitteen riippuvuus virrasta ja kääntäen, eli yleistetty Ohmin laki, esitetään aivan yleisillä symboleilla

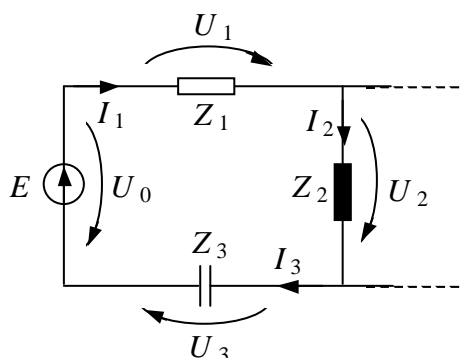
$$\begin{cases} U = ZI & (7a) \\ I = YU. & (7b) \end{cases}$$

On huomattava, että lyhennytyssä esitystavassa on käytettävä suureiden tunnuksia, joilla on oikea dimensio.”

Kuvassa 50 on esitetty ideaalinen jännitelähde itsenäisenä haarana ja sovellettu Kirchhoffin jännitelakia käyttäen edellä sovittua merkintätapaa:

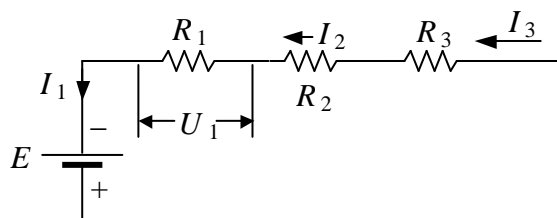
$$U_1 + U_2 + U_3 - U_0 = 0 \text{ ja } U_0 = E \quad (8)$$

Kaavassa 8 käytettyä suureiden merkintätapaa ilman Voipion kirjoissa olevaa sanallista selvitystä on käytetty joissakin 1990-luvun lukion fysiikan kirjoissa. Kaava 8 ei pidä paikkaansa, jos unohdetaan jännitteen kompleksisuus.



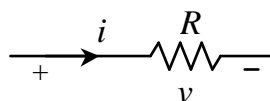
**Kuva 50.** Kirchhoffin jännitelain sovellus (Voipio 1977: 51).

Historiallisessa mielessä mielenkiintoinen on oppikirja *Fysiikka korkeakouluja varten* (Simons 1946). Alkusanoinaan tekijä toteaa: ”Teknillisten termien ja merkintöjen osalta on koetettu seurata Suomen standardoimislautakunnan antamia ohjeita”. Kuvassa 51 esitetyssä piiriesimerkissä on yhdistelty ko. kirjan sivuilla 195 - 199 esitetyt lähdejännitteen  $E$ , virran  $I$  ja jännitteen  $U$  merkintätavat. Huomiota kannattaa kiinnittää erityisesti pariston piirrosmerkkiin ja sen lisämerkintöihin.



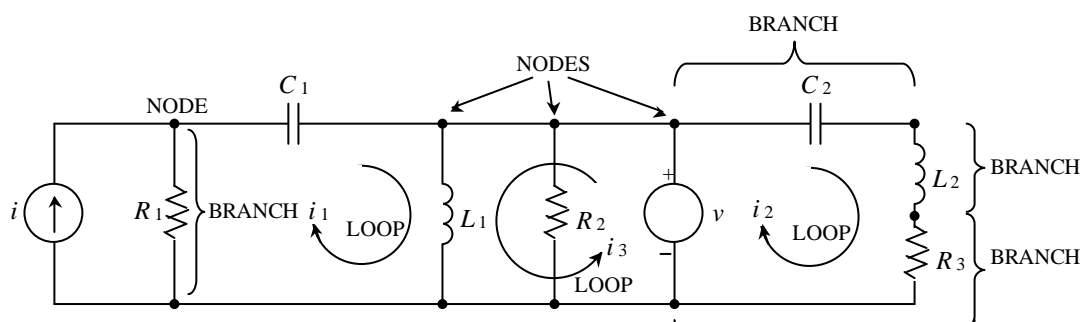
**Kuva 51.** Vastukset sarjassa (Simons 1946: 195 – 199).

Oppikirjassa *Schaum's outline of theory and problems of basic electrical engineering* (Cathey & Nasar 1997) on esitetty heti kirjan alussa havainnollisesti, kuinka eri suureita kuvataan piirikaavioissa (ks. kuvat 52 ja 53; node = solmupiste, branch = haara, loop = silmukka).



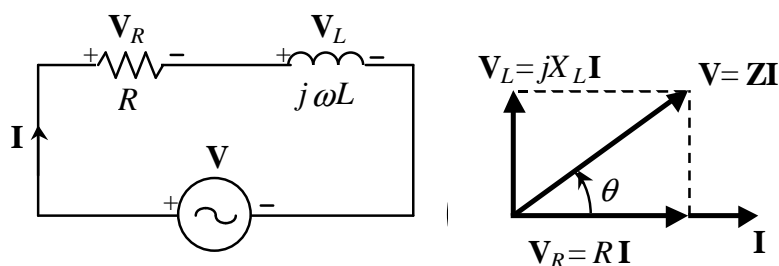
**Kuva 52.** Virran ja jännitteen merkinnät (Cathey & Nasar 1997: 2).





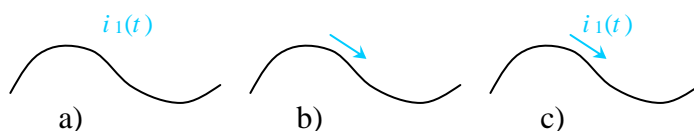
**Kuva 53.** Piiriteoriassa käytettävien käsitteiden esittely (Cathey & Nasar 1997: 2).

Myös jatkuvan tilan vaihtosähköä käsittelevissä kappaleissa (6, 13 ja 14) esiintyvissä esimerkeissä käytetään enimmäkseen havainnollisia vektorisuureita (kuva 54), mutta joissakin kohdissa (kirjan kappaleissa 7-12 ja 15) virran referenssisuuntaa kuvataan johtimen vierellä olevalla nuolella.

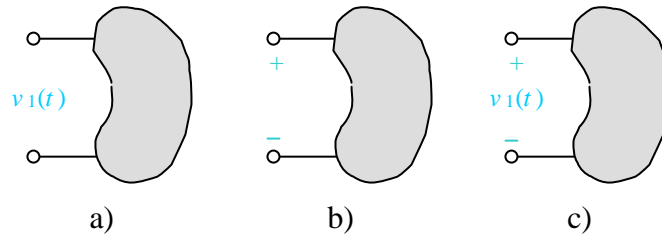


**Kuva 54.**  $RL$ -sarjakytkennän a) virtapiirikaavio ja b) jännitteitä kuvaava osoitinpiirros. (Cathey & Nasar 1997: 32).

Mielenkiintoista kirjassa *Engineering Circuit Analysis* (Hayt, Kemmerly & Durbin 2002) on määritelmät virran ja jännitteen referenssisuuntien puutteellisille ja oikeille merkintätavoille (ks. kuvat 55 ja 56). Ko. kirjassa on virran referenssisuuntaa kuvaava nuoli sijoitettu johtimen vierelle (vain muutamissa poikkeustapauksissa komponentin vierelle).

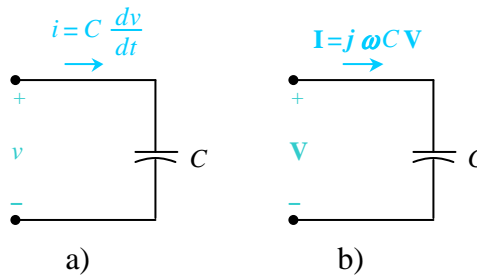


**Kuva 55.** Virran  $i_1(t)$  referenssisuunnan puutteelliset merkintätavat (a ja b) ja oikea merkintätapa (c) (Hayt ym. 2002: 11).



**Kuva 56.** Jännitteen  $v_1(t)$  referenssisuunnan puutteelliset merkintätavat (a ja b) ja oikea merkintätapa (c) (Hayt ym. 2002: 12).

Erinomaisen havainnollisesti on ko. kirjassa esitetty kuvan avulla suureiden oikeat merkintätavat aikatasossa (kuva 57 a) ja taajuustasossa (ks. kuva 57b).



**Kuva 57.** Kapasitanssin läpi kulkeva virta ja yli oleva jännite esitettynä a) aikatasossa ja b) taajuustasossa (Hayt ym. 2002: 319).

## 4 OPPIKIRJOISSA KÄYTETTYJEN MERKINTÄTAPOJEN VERTAAMINEN STANDARDEIHIN

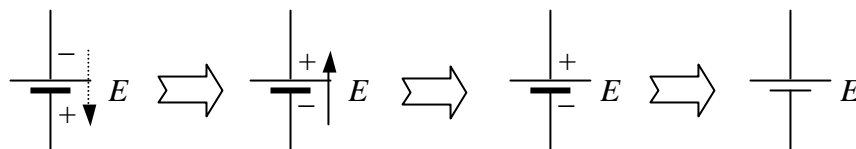
Tekniikan teksteissä on kiinnitettävä erittäin paljon huomiota asiasisällön täsmällisyyteen ja johdonmukaisuuteen sekä siihen tarkkuuteen, jolla teknisiä tietoja esitetään. Merkintätapojen, suureiden ja yksiköiden on oltava standardien tai muuten alalla yleisesti tunnettujen käytänteiden mukaisia, eikä kirjoituksen tyyli saa viedä huomiota pois asiasisällöstä. (Nykänen, 2002: 9.)

Sisäisen johdonmukaisuuden vaatimus koskee paitsi asioita myös tyyliä, merkintätapoja ja muita ilmaisuteknisiä seikkoja. Samoja suureita, mittayksiköitä, symboleja, päiväysmalleja ja numerointitapoja on käytettävä yhdenmukaisesti läpi koko teoksen. (Nykänen, 2002: 10.)

Piirto-ohjelmien tarjoamiin valmiisiin malleihin ja kaaviopohjiin kannattaa suhtautua kriittisesti. Niiden merkinnät ja symbolit ovat usein amerikkalaisen tradition mukaisia eivätkä siis välttämättä noudata kansainvälisiä standardeja. (Nykänen, 2002: 123.)

### 4.1 Ideaaliset jännite- ja virtalähteet

Edellisen kappaleen esimerkeistä löytyy useita muunnelmia pariston piirrosmerkistä. Tarkasteltaessa pariston piirrosmerkin standardien mukaista muuttumista vuosikymmenien kuluessa, voidaan havaita kuvan 58 mukainen piirrostekninen yksinkertaistuminen.

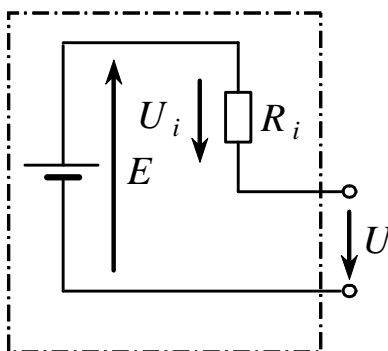


**Kuva 58.** Pariston piirrosmerkin kehitys.

Pariston piirrosmerkin (SFS-EN 60617-6-15-01) lisätiedoissa on maininta, että pitempi viiva esittää positiivista ja lyhyempi viiva negatiivista napaa. Varsinkin sähkötekniikkaan tutustumisen yhteydessä lienee pedagogisesti hyvä varustaa pariston piirrosmerkki napaisuuden ilmaisevilla tarkennusmerkinnöillä: tasasähkön plusnapa plusmerkillä

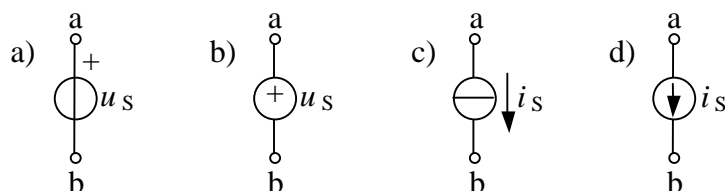
(SFS-EN 60617-2-02-13) ja tasasähkön miinusnapa miinusmerkillä (SFS-EN 60617-2-02-14).

Kuvan 58 toisena olevassa pariston piirrosmerkissä on kuvattu lähdejännitteen  $E$  suuntaa lisänuolella. Jos lähdejännitteen suuntanuoli irrotetaan täysin itse piirrosmerkistä, kuten kuvassa 59 esitettyssä virtapiirikaaviossa on tehty, voi piirissä olevien käsitteiden ymmärtämisessä tulla ongelmia, koska sekä potentiaaliero  $U$  että lähdejännitteen  $E$  suuntaa merkitään ”samanlaisella” nuolella.



**Kuva 59.** Pariston sijaiskytkentä (vrt. esim. Ahoranta ym. 1986: 103).

Idealiselle jännite- ja virtalähteelle on määritetty standardin (SFS-EN 60617-2) mukaiset piirrosmerkit (ks. kuvat 4 ja 5). IEC 60375 –standardissa (2003: 22-25) on esitetty kaksi eri merkintätapaa sekä ideaalisen jännitelähteen lähdejännitteen  $u_s$  suunnan että ideaalisen virtalähteen virran  $i_s$  suunnan (ks. kuva 60) esittämiseksi. Kuvassa 60 esitetyistä merkintätavoista vain kohtien a) ja c) kuvatut ovat standardin IEC 60617-2 (1996) mukaisia.



**Kuva 60.** Lähdejännitteen suunnan merkitseminen ideaaliseen jännitelähteeseen (a ja b) ja virran suunnan merkitseminen ideaaliseen virtalähteeseen (c ja d).

Kuvassa 60b kuvattu lähdejännitteen suunnan merkintätapa ei aiheuttane sekaannusta muihin piirrosmerkkeihin nähden, mutta kyseisessä merkintätavassa kadotetaan standardin mukaisessa piirrosmerkissä oleva ”jännitelähde” -merkitys ympyrän läpimenevän pystysuoran viivan kadotessa.

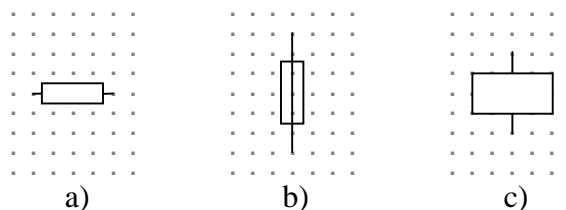
Kuvassa 60d oleva virran suunnan merkintätapa voi aiheuttaa sekaannusta muihin piirrosmerkkeihin nähden. Kyseisessä merkintätavassa on kadotettu standardin mukaisessa piirrosmerkissä oleva ”virtalähde” -merkitys ympyrässä olevan ”vaakasuoran” viivan kadotessa. Sen lisäksi ympyrän sisällä oleva nuoli voidaan sekoittaa ”jännitelähde” -merkitystä kuvaavaan ympyrän läpimenevään pystysuoraan viivaan. Lähes samanlaista piirrosmerkkiä käytetään jännitelähteen piirrosmerkkinä esimerkiksi Aplac-ohjelmistossa (ks. kuva 61).



**Kuva 61.** Aplac-ohjelmistossa käytettävä vaihtojännitelähteen piirrosmerkki (Aplac 1999).

## 4.2 Passiiviset komponentit

Vastukselle on määritetty standardin (SFS-EN 60617-4) mukainen piirrosmerkki (ks. kuva 6). Tarkastellusta kirjallisuudesta löytyy vastusta kuvaavia nelikulmaisia piirrosmerkkejä, jotka eivät vastaa muodoltaan alkuperäistä vastuksen piirrosmerkkiä ja saattavat aiheuttaa (varsinkin myöhemmässä sähkötekniikan opiskeluvaiheessa) väärinkäsityksiä. Todellisissa käytännön piirikaaviossa saattaa esiintyä erilaisia komponentteja, joita kaikkia on kuvattu (erimuotoisilla) nelikulmaisilla piirrosmerkeillä (ks. kuvat 62 ja 63).



**Kuva 62.** Piirrosmerkkejä: a) vastus (SFS-EN 60617-4-01-01), b) varoke (SFS-EN 60617-7-21-01) ja c) releen kela (SFS-EN 60617-7-15-01).



**Kuva 63.** Piirrosmerkkejä: a) vastus (SFS-EN 60617-4-01-01) ja b) siirtojohto (Valtonen 2004).

Piirianalyysi I:n opintojakson suorittamiseen on lukuvuosina 2000 - 04 kuulunut Aplac-ohjelmistolla tehtävä simulointiharjoitustyö, jossa harjoitellaan luennoilla ja laskuharjoituksissa käsiteltyjen, yksinkertaisten jatkuvuustilassa olevien tasa- ja vaihtovirtapiirien ratkaisemista simulointiohjelmistolla. Ohjatessani simulointiharjoituksia olen havainnut, että pariston (SFS-EN 60617-6-15-01) ja kondensaattorin (SFS-EN 60617-4-02-01) piirrosmerkkien (ks. kuva 64) tulkitseminen tuottaa vaikeuksia useille heikosti sähkötekniikan peruskäsitteitä hallitseville opiskelijoille.



**Kuva 64.** Pariston (a) ja kondensaattorin (b) piirrosmerkit.

### 4.3 Virran ja jännitteen referenssisuuntien merkitseminen virtapiireihin

Standardissa IEC 60375 (2003: 11) on esitetty erilaisia virran referenssisuunnan merkitäviä tapoja (ks. kuva 12). Kuten em. standardissa on mainittu, suositeltavia virran suunnan

merkitsemistapoja ovat sellaiset, joissa virran suunta esitetään johdinta kuvaavaan viivaan piirretyllä nuolen päällä. Mahdollisia, mutta ei-suositeltavia ovat tavat, joissa virran referenssisuuntaa kuvaavaa nuoli on piirretty joko johtimen tai komponentin vierelle.

Kuten edellisen kappaleen 3 esimerkkien perusteella voidaan havaita, sekä suomalaisissa että yhdysvaltalaisissa sähkötekniikkaa koskevassa oppikirjoissa käytetään useimmiten jälkimmäisiä, ei suositeltavia virran referenssisuunnan merkintätapoja. Varsinkin merkintätapa, jossa virran suuntaa kuvaava nuoli piirretään komponentin vierelle, voi aiheuttaa sähkötekniikan perusteiden opiskeluvaiheessa virheellisen käsitteen ”virta yli komponentin” (joka löytyy useista opiskelijoiden lukuvuosina 2000 – 04 palauttamista Piirianalyysi I:n harjoitustöistä) syntymisen.

Standardissa IEC 60375 (2003: 14 – 16) on esitetty useita tapoja merkitä jännitteen referenssisuunta virtapiireihin. Jännitteen referenssisuunta voidaan merkitään joko

1. suoralla tai kaarevalla viivalla (kuva 13), jonka toisen pään vierellä on plusmerkki ja toisen pään vierellä miinusmerkki tai
2. nuolella (kuva 14) tai
3. jännitesuureen tunnuksen alaindeksissä olevilla solmupisteiden nimillä (kuva 15).

Kaikissa suositelluissa merkintätavoissa on selvästi esitettyä sekä (oletettu) korkeampi potentiaalinen että matalampi potentiaalinen komponentin tai komponenttiyhdistelmän napa; nuolen takaosa (vastaavasti plusmerkki) kohdistetaan pisteeseen, jolla on korkeampi potentiaali ja nuolen etuosa (vastaavasti miinusmerkki) pisteeseen, jolla on matalampi potentiaali. Myös vaihtosähkötekniikassa käytetään samoja merkintätapoja. Kirchhoffin 2. lain soveltaminen (varsinkin monisilmukkaisessa virtapiirissä) on mahdollonta, jollei virtapiiriin ole yksikäsitteisesti merkitty jännitteen referenssisuunta.

Kirjallisuudessa yleistynyt tapa käyttää kaksipäistä nuolta komponentin yli olevan jännitteen referenssisuunnan kuvaamiseen ei ole suositusten mukainen merkintätapa. Perinteisesti kaksipäisellä nuolella on merkitty esimerkiksi koneenpiirustuksissa mittaviivaa (ks. esim. Autio & Hasari 1991), joka kuvaa kahden pisteen välistä etäisyyttä ( $l$ ), joka on aina positiivinen reaaliluku  $l \geq 0$ . Suure jännite kuvaa potentiaalieroa kahden solmupisteen välillä, eli jännitteellä on aina sekä suuruus että suunta, jota tasasähköllä kuvataan etumerkillä (plusmerkillä, kun alkusolmupisteen potentiaali on korkeampi kuin loppusolmupisteen ja miinusmerkillä, kun alkusolmupisteen potentiaali on matalampi kuin loppusolmupisteen) ja vaihtosähköllä jänniteosoittimen kulmalla.

Kyseisen merkintätavan käyttäminen jännitteen referenssisuunnan merkitsemiseen on erittäin harhaanjohtava varsinkin silloin, kun virran referenssisuunta on merkitty virtapiiriin yksipäisellä nuolella. Keskitettyjen komponenttien yli olevat jännitteet riippuvat aina ko. komponentin läpi menevästä virrasta ns. laajennetun Ohmin lain eli kaavoja

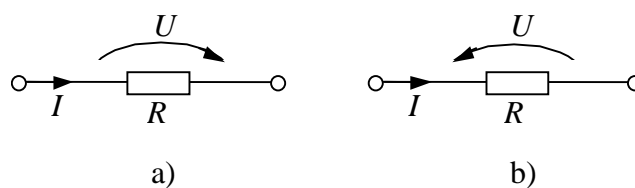
$$u_R(t) = Ri_R(t), \quad (9)$$

$$u_L(t) = L \frac{di_L(t)}{dt} \text{ ja} \quad (10)$$

$$u_C(t) = \frac{1}{C} \int i_C(t) dt \quad (11)$$

noudattaen.

Virran ja jännitteen referenssisuuntien määrittämiseen liittyy myös sekä standardista IEC 60375 (2003: 18 – 19) että muutamista oppikirjoista (ks. esim. Tonteri & Aura 1981: 112 ja Tarkka, Määttänen & Hietalahti 2002: 16 – 17) löytyvä kuvan 65 mukainen esimerkki Ohmin lain kahdesta eri muodosta.



**Kuva 65.** Ohmin laki. (Tarkka ym. 2002: 16-17).



”Ohmin lain mukaan lineaarisen vastuksen  $R$  jännite  $U$  on verrannollinen vastuksen virtaan  $I$ :

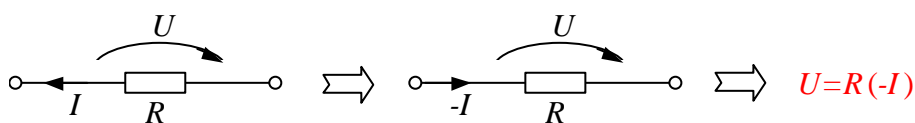
$$U = RI . \quad (12)$$

Koska virran suunnaksi on sovittu positiivisen varauksen kulkusuunta sähkökentässä, ovat virran ja jännitteen suunnat samat kuin kuvassa 65 a. Piirianalyyssissä voidaan kuitenkin jännitteiden ja virtojen suunnat valita mielivaltaisesti. Tällöin jännitteen ja virran suunnat (ks. kuva 65 b) saattavat tulla vastakkaisiksi, jolloin Ohmin laki pätee muodossa

$$U = -RI . \quad (13)$$

(Tarkka ym. 2002: 16-17.)

Kuvaan 65 b liittyvä kaava 13 antaa kyllä vastaukseksi oikean jännitteen arvon, mutta jos asiaa ajatellaan hieman tarkemmin, kysymys on virran referenssisuunnan muuttamisesta sellaiseksi, että sekä virran- että jännitteen referenssisuunnat ovat (samasta oletusta) korkeammasta potentiaalisesta solmupisteestä matalampi potentiaaliseen solmupisteeseen kuten kuvassa 66 on esitetty.



**Kuva 66.** Virran referenssisuunnan muuttaminen vastakkaiseksi.

#### 4.4 Suureiden tunnuksien merkitseminen virtapiirikaavioihin

Standardien IEC 27-1 (1995: 29) ja IEC 60375 (2003) mukaisesti ajan mukaan muuttuvia suureita merkitään pienillä kursivoiduilla kirjaimilla, esimerkiksi virta  $i = i(t)$ , ja isoilla kursivoiduilla kirjaimilla tehollisarvoja, esimerkiksi jatkuvantilan tasavirta  $I$ . Jatkuvan tilan vaihtosähköllä suureita voidaan matemaattisesti käsitellä kompleksija/tai vektorimatematiikan avulla. Varsinkin sähkötekniikan opiskelun alkuvaiheessa on

erittäin tärkeää käyttää virtapiireissä merkintätapoja, jotka auttavat opiskelijaa ymmärtämään, milloin virtapiirin ratkaisussa voidaan käyttää reaalilukuaritmetiikkaa (tasasähkön jatkuvuustilassa esimerkiksi  $R$ ,  $I$  ja  $U$ ) ja milloin on käytettävä kompleksilukuaritmetiikkaa (vaihtosähkön jatkuvuustilassa esimerkiksi  $\underline{Z}$ ,  $\underline{I}$  ja  $\underline{U}$ ) ja vektorimatemiikkaa ( $\mathbf{Z}$ ,  $\mathbf{I}$  ja  $\mathbf{U}$ ).

Varsinkin vaihtosähköä koskevissa esimerkeissä virtojen ja jännitteiden referenssisuuntien merkitsemättä jättäminen yhdistettynä impedanssien, virtojen ja jännitteiden kompleksisuuden huomioimattomuuteen saattaa huomattavasti vaikeuttaa esimerkeissä esitettävien asioiden ymmärtämistä. Esimerkiksi loistehon kompensointia koskevassa tehtävässä voidaan pahimmassa väärin ymmärtämistapauksessa määrittää induktiivisen kuormituksen aiheuttaman loistehon vähentämiseen induktanssia sisältävä komponentti, jolloin verkon loistehokuormitus ei suinkaan vähene vaan lisääntyy.

## 5 VIRTAPIIRIMERKINTÖJEN HAVAINNOLLISTAMISEN KEHITTÄMINEN

Verrattaessa kirjallisuudessa esiintyviä virtapiireissä käytettyjä piirrosmerkkejä, suurennuksia ja suureiden merkitsemistapoja tällä hetkellä voimassa olevissa standardeissa esitettyihin voidaan havaita useissakin tapauksissa epätarkkuuksia ja epäjohdonmukaisuuksia, jotka voivat vaikeuttaa virtapiirien toiminnan ymmärtämistä.

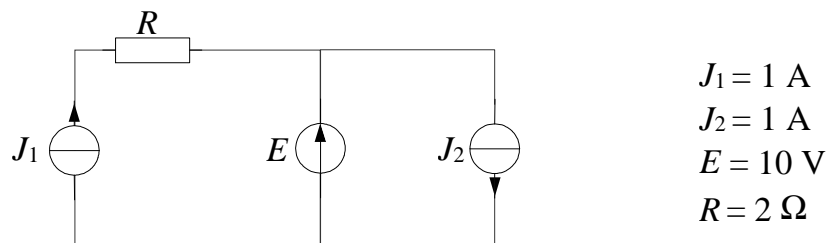
Jos verrataan tässä diplomityössä tarkastelluissa ennen 1990-lukua painetuissa oppikirjoissa ja lukuvuonna 2003 – 04 eri oppilaitoksissa käytössä olleissa oppikirjoissa yleisimmin käytettyjä merkintätapoja toisiinsa, voidaan havaita, että käytetyt merkintätavat ovat loitonneet kansainvälisten standardien suosittelusta. Tämän diplomityön laajuuden puitteissa on vaikea päätellä, kuinka paljon vaikutusta kyseiseen kehitykseen on ollut esimerkiksi sillä, että aikaisemmin ammattikasvatustieteiden (nyk. opetustieteiden) alaisuuteen kuuluneesta oppikirjojen pakollisesta ennakkotarkastuksesta luovuttiin vuonna 1992 (Asetukset N:o 507 / 1992, N:o 508 / 1992, N:o 610 / 1992 ja N:o 622 / 1992).

Oppikirjojen sisältöön on alettu kiinnittää Suomessa myös laajempaa huomiota. Esimerkiksi kotimaisten kielten tutkimuskeskuksen johtaja Pirjo Hiidenmaa (2004) ottaa kantaa tietokirjailijoiden *Jäsentiedote 3/2004*:ssä asiaan: ”Oppikirjoja on syystä kritisoitu. Tekstit saattavat olla vaikeaselkoisia. Kuvitus saattaa ottaa ylivallan. Meiltä puuttuu kokonaan oppikirjojen systemaattinen tutkimus ja kehittäminen. Ei myöskään ole vaikiintunutta oppikirjakritiikkiä, joka palvelisi käytännön tarpeita, kirjojen valintaa ja käyttöä ja toisaalta uusia tekijöitä.” Myös Tampereen yliopiston mediakulttuurin professori Mikko Lehtonen (2004) on todennut oppikirjatutkimukseen liittyen: ”Kun tietokirjojen nimikemäärät ovat kasvaneet ja sanomalehtien kirjallisuussivut ovat muuttuneet kulttuurisivuiksi, vain murto-osa tietokirjoista tulee arvostetuiksi.” Lehtonen toteaa myös, että ”Essee ja elämäkerrat kuuluvat kyllä kirjallisuustutkimuksen kohteisiin, mutta esimerkiksi oppikirjat eivät.”

## 5.1 Kokemuksia opiskelijoiden virtapiirimerkintätapojen käyttämisestä

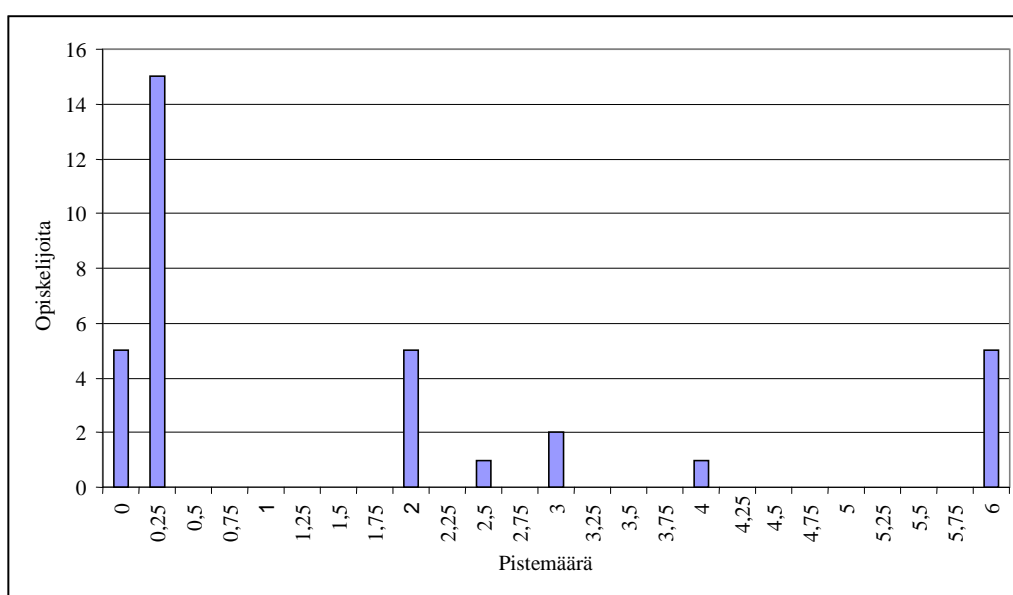
Liittyen sähkötekniikan opetuksen kehittämiseen Vaasan yliopistossa järjestettiin syksyllä 2003 uusille sähkö- ja energiatekniikan opiskelijoille kysely (kyselykaavake on liitteenä 3), jossa kartoitettiin heidän suorittamiaan matematiikan ja fysiikan opintoja lukiossa, motivaatiotaan opiskella sähkötekniikkaa Vaasan yliopistossa sekä lähtötietoja sähkötekniikassa ja matematiikassa. Tämän diplomityön aiheeseen liittyen, kyselykaavakkeen kohdassa C1 pyydettiin täydentämään virtapiirikaavio symboleilla ja merkinöillä, jotka kuvaavat piirissä esitettyjä komponentteja sekä piirissä esiintyviä virtoja ja jännitteitä ja kohdassa C2 esittämään osoittimella kuvattu kompleksiluku vähintään kahdella eri tavalla. Kyselyyn vastasi 20 opiskelijaa. Näistä opiskelijoista kohtaan C1 antoi oikean tai oikeahkon vastauksen neljä opiskelijaa ja kohtaan C2 kolme opiskelijaa. Eli kyseisten vastausten perusteella voidaan kyllä todeta, että kyseisessä otannassa olleiden opiskelijoiden tiedot sekä sähkötekniikasta että kompleksiluvuista olivat heikot, mutta vastausten perusteella ei voi päätellä, minkälaiset merkintätavat ovat heille tuttuja.

Toinen esimerkki siitä, että opiskelijat eivät käytä riittävästi virran ja jännitteen referenssisuuntaa kuvaavia merkintöjä virtapiirikaavioissaan, liittyy Vaasan yliopistossa 06.04.2004 pidettyyn Piirianalyysi I:n ensimmäiseen välikokeeseen. Välikokeen ensimmäisenä tehtävänä oli kuvan 67 mukaisessa tilanteessa määritettävä, mitkä lähteistä syöttävät ja mitkä kuluttavat tehoa, sekä laskettava lähteiden syöttämät ja kuluttamat tehot (tehtävä perustuu TKK:lla 20.12.2001 pidettyyn Piirianalyysi I:n opintojakson ensimmäisen välikokeen uusinnan tehtävään nro 1).



**Kuva 67.** Välikoetehtäväesimerkki.

VY:n välikokeeseen osallistui 34 opiskelijaa, joiden ko. tehtävän arvostelupistemäärä on esitetty alla olevassa kuvassa 68. Tehtävän maksimipistemäärä oli kuusi (6) pistettä. Pistemäärä nolla (0) kuvaa sitä, että opiskelija ei ole lainkaan vastannut kyseiseen tehtävään. Vain kaksi opiskelijaa 34:stä oli merkinnyt kaikkien virtojen ja jännitteiden referenssisuunnat vastauspaperiinsa (molemmilla opiskelijoilla saatu pistemäärä 6 / 6). Kolmas opiskelija (joka sai tehtävän ratkaistua täysin oikein) ei ollut piirtänyt palauttamaansa vastauspaperiin virtapiirikaaviota, ja neljäs opiskelija oli käyttänyt virtapiirikaaviossaan vain virran referenssisuuntaa kuvaavia nuolia.



**Kuva 68.** Esimerkkitehtävän arvostelupistemäärien jakauma.

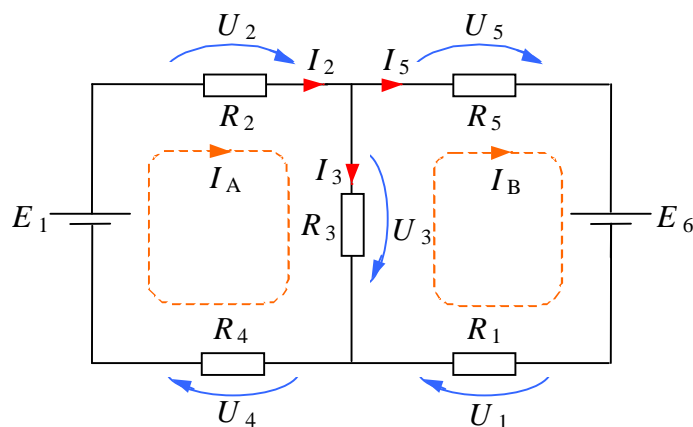
Kyseisen välikoetehtävän vastausten ja arvostelupistemäärän perusteella voitaneen päätellä, että virtojen ja jännitteiden referenssisuuntien johdonmukainen merkitseminen ratkaistaviin virtapiirikaavioihin on perusedellytys oikeaan ratkaisuun pääsemiseksi. Mainittakoon, että kyseisen opintojakson luento- ja laskuharjoitusmateriaaleissa oli käytetty johdonmukaisesti virran ja jännitteen referenssisuuntaa kuvaavia nuolia.

## 5.2 Uusia mahdollisuuksia virtapiirimerkintöjen havainnollistamiseen

Kirjapainotekniikan nopea kehittyminen 1900-luvun lopussa ja tällä vuosituhanella on mahdollistanut kuvien ja värien käytön lisäämisen asioiden havainnollistamisessa. Tä-

mä on selvästi nähtävissä tässä diplomityössä tarkastelluissa lukiotasolle suunnatuissa oppikirjoissa.

Varsinkin opiskelun alkuvaiheessa on hyvä korostaa myös värien avulla eri käsitteitä. Esimerkiksi kuvassa 69 on merkitty virtapiirissä esiintyvien haaravirtojen referenssisuunnat ( $I_2$ ,  $I_4$  ja  $I_5$ ) punaisella nuolella ja jännitteiden referenssisuunnat ( $U_1 - U_5$ ) sinisellä nuolella. Myös käsiteparin haaravirta ja silmukkavirta erottaminen toisistaan on helppoa toteuttaa käyttämällä eri värejä ja/tai eri viivantyyppin omaavia nuolia virtapiireissä. Esimerkiksi kuvassa 69 haaravirtojen ( $I_2$ ,  $I_4$  ja  $I_5$ ) referenssisuunnat on merkitty punaisella nuolenpäällä ja silmukkavirtojen ( $I_A$  ja  $I_B$ ) referenssisuunnat oranssilla nuolenpäällä ja silmukan kulkureitti oranssilla katkoviivalla.



**Kuva 69.** Väriellisten virta- ja jännitereferenssisuuntanuolien käyttäminen.

Tietotekniikan ja tietoverkkojen (erityisesti World Wide Webin) tekninen kehittyminen ja tiedonkäsittelyn nopeutuminen on tällä vuosituhannella lisännyt verkossa olevaa oppimateriaalitarjontaa. Hyviä esimerkkejä verkosta löytyvistä oppimateriaaleista, joissa on käytetty johdonmukaisesti standardien mukaisia virtapiirimerkintöjä, ovat esimerkiksi TKK:ssa pidettävän Piirianalyysi I:n opintojakson opetusmoniste (ks. Valtonen 2003) sekä LTY:ssa pidettävän Sähkötekniikan peruskurssin luentomateriaali (ks. Salo 2003).

Käytännössä virtapiirien ratkaiseminen tapahtuu aina yksi ratkaisuskel kerrallaan ja jokaisen askeleen yksityiskohtainen esittäminen kirjallisessa muodossa ei ole aina mahdollista, koska kirjallisen tuotteen sivumääräinen laajuus tulisi epäkäytännöllisen suu-

reksi. Tämän päivän tietotekniikan avulla on helppo luoda animaatioita, joilla voidaan havainnollistaa perinteisiä kirjoissa ja opetusmonisteissa esiintyviä virtapiiriesimerkkejä.

Ensimmäisissä vuonna 2001 VY:n sähkötekniikan oppiaineessa laadituissa Macromedian Flash-ohjelmistolla toteutetuissa animaatioissa havainnollistettiin ensisijaisesti teoreettiseen sähkötekniikkaan liittyvien ratkaisumenetelmien (mm. silmukavirta- ja solmumenetelmät) käyttöä (Vekara, Vesapuisto ja Kallunki 2002). Osa em. animaatioista on ollut vuodesta 2001 lahtien VY:n sähkötekniikan opiskelijoiden saatavilla Piirianaalyysi II:n opintojaksoon liittyvällä verkkosivuilla (ks. <http://www.uwasa.fi/~mave/SAH102pruju.html>).

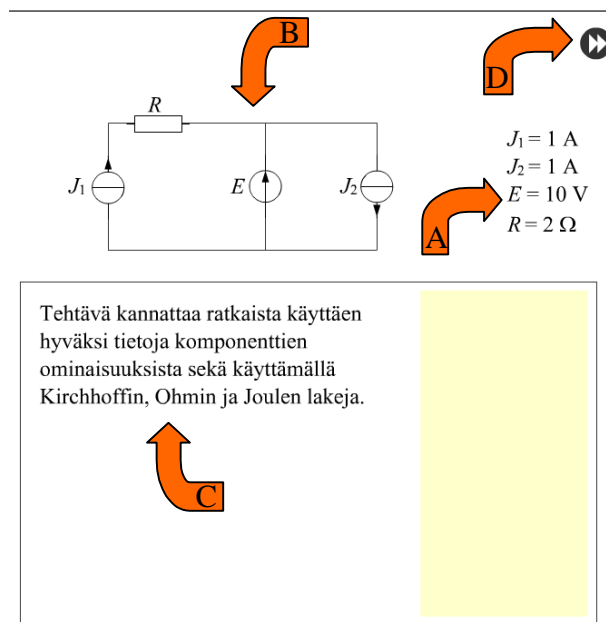
Tässä diplomityössä tehdyn kirjallisuustarkastelun sekä mm. keväällä pitämäni Piirianaalyysi I:n välikokeen vastausten perusteella olen havainnut, että aikaisemmin laadittujen menetelmiä korostavien animaatioiden lisäksi on tarpeellista laatia animaatioita, jotka havainnollisesti korostavat opiskelijoille virran ja jännitteen referenssisuuntien johdonmukaista merkitsemistä ratkaistaviin virtapiirikaavioihin.

Seuraavassa esitettävä Flash-ohjelmistolla toteutettu animaatio perustuu kappaleessa 5.1 esitettyyn välikoetehtävään, jonka asettelussa pyydetään määrittämään, mitkä kuvassa 67 esitetyn virtapiirin lähteistä syöttävät ja mitkä kuluttavat tehoa, sekä laskemaan lähteiden syöttämät ja kuluttamat tehot.

Animaation toteutusta suunniteltaessa pyrittiin kiinnittämään erityistä huomiota siihen, että animaatio etenee johdonmukaisesti askel kerrallaan ja siihen, että animaatio on mahdollisimman yksinkertainen, jotta opiskelijan huomio kiinnittyy juuri kyseisellä animaatiosivulla oleviin ratkaisun kannalta olennaisiin seikkoihin. Animaatioon liittyvät virtapiirikaaviokuvat teoriaosuusteksteineen löytyvät liitteestä 4 sekä koko Flash-animaatio tämän diplomityön liitteenä olevalta CD-levyltä.

Kuvassa 70 on korostettu oransseilla nuolilla A, B, C ja D tietokoneen näytöllä näkyviä animaatiosivun eri osia. Tehtävän alkuarvot (kohta A) pysyvät koko animaation ajan

muuttumattomina. Virtapiirikaavio (kohta B) täydentyy animaation edetessä virran ja jännitteen referenssisuuntia kuvaavilla nuolilla sekä suuremerkinnöillä. Sanallisen teoriaosuuden sisältö (kohta C) muuttuu virtapiirikaaviossa havainnollistettua asiaa vastaavaksi kussakin askeleessa. Opiskelija voi siirtyä animaatioissa askel kerrallaan eteenpäin painamalla hiirellä oikeassa yläkulmassa olevaa ”SEURAAVA” –painiketta (kohta D).



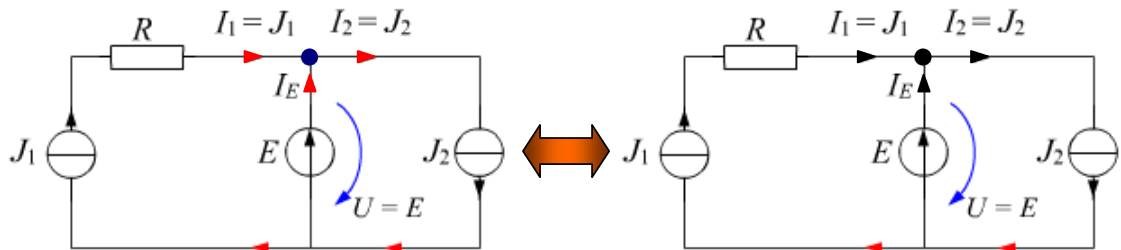
**Kuva 70.** Animaatiosivun layout.

Kunkin askeleen kohdalla virtapiirikaaviossa korostetaan visuaalisesti ko. askeleessa käsiteltävää ja ratkaistavaa asiaa. Esimerkiksi tilanteessa, jossa ratkaisussa on käytettävä Kirchhoffin virtalakia, tarkasteltavan solmupisteen väri vaihtelee sinisestä mustaksi ja takaisin mustasta siniseksi, ja tutkittavaan pisteeseen tulevien ja siitä lähtevien virtojen referenssisuuntia kuvaavien nuolenpäiden väri vaihtelee punaisesta mustaan ja takaisin (ks. kuva 71).

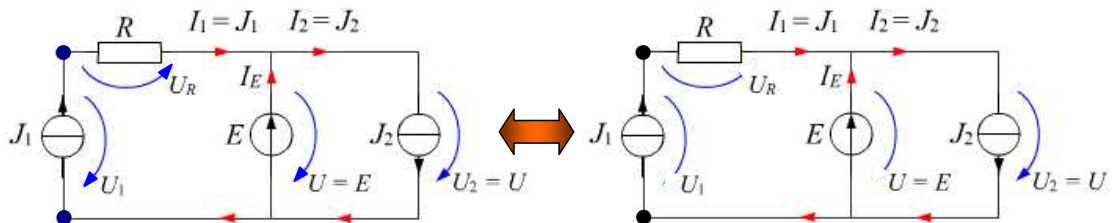
Kirchhoffin jännitelakia sovellettaessa tarkasteltavien solmupisteiden väri vaihtelee sinisestä mustaksi ja takaisin kuten edellä, ja tämän lisäksi jännitteen referenssisuuntaa kuvaavien nuolenpäiden väri vaihtelee sinisestä valkoiseksi ja takaisin (ks. kuva 72). Haluttaessa animoinnilla korostaa lisäksi sitä, että kaksi eri komponenttia on kytketty samojen solmupisteiden välille eli kummankin komponentin ylitse on sama jännite, jän-



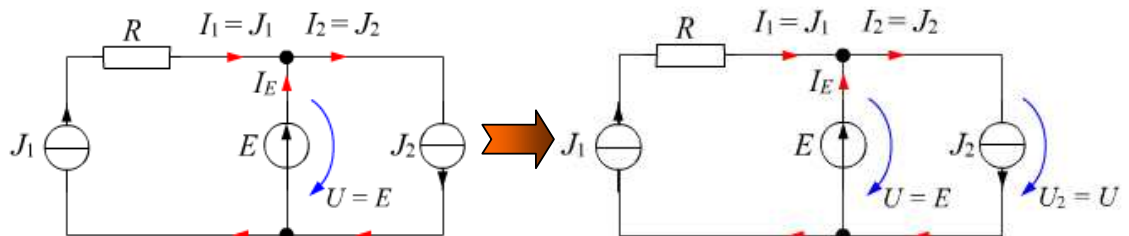
nitteen referenssisuuntaa kuvaava suuntanuoli ”siirtyy” tarkasteltavan komponentin vierelle (ks. kuva 73).



**Kuva 71.** Kirchhoffin virtalain animointi.



**Kuva 72.** Kirchhoffin jännitelain animointi.



**Kuva 73.** Rinnankytkettyjen komponenttien ylitse on sama jännite.

Edellä esitetyn animaation tavalla toteutetut virtapiiriesimerkit lienevät käyttökelpoisia kaikilla opiskeluasteilla yläasteelta yliopistoihin saakka. Sen lisäksi, että ko. animaatiota voidaan käyttää perinteisen luento-opetuksen havainnollistamisessa, sen avulla opiskelijan on helppo kerrata animaatioissa esitetty asia niin usein, kuin hän itse näkee tarpeelliseksi oppimisensa ja ymmärtämisensä kannalta.

## 6 YHTEENVETO

Teoreettisen sähkötekniikan oppimiselle luo perustan muutamien virtapiireihin liittyvien sähkötekniisten peruslakien ymmärtäminen. Ymmärtämistä helpottaa huomattavasti em. virtapiirien ja niihin liittyvien suureiden esittäminen johdonmukaisesti luento-opetuksen tukena olevassa kirjallisessa materiaalissa.

Tässä tutkimuksessa on tarkasteltu teoreettisen sähkötekniikan perusteisiin liittyviä sekä tällä hetkellä voimassa olevissa suomalaisissa ja kansainvälisissä standardeissa esitettyjä että Suomessa käytetyissä oppikirjoissa esiintyviä piirrosmerkkejä, suureiden tunnusten sekä virran ja jännitteen referenssisuuntien merkintätapoja.

Tutkimuksessa tehdyn kirjallisuusvertailun perusteella voidaan havaita, että joissakin tarkastelluissa suomalaisissa ja yhdysvaltalaisissa oppikirjoissa esiintyvät merkintätavat poikkeavat kansainvälisissä standardeissa suositelluista. Poikkeama on havaittavissa erittäin selvästi esimerkiksi muutamissa lukuvuonna 2003 – 04 suomalaisissa lukioissa käytetyissä sähköä ja sähkömagnetismia käsittelevissä fysiikan oppikirjoissa. Lisäksi joissakin tarkastelluissa kirjoissa on käytetty epäjohdonmukaisesti erilaisia suureiden merkintätapoja jopa samalla sivulla.

Tällä hetkellä sähkötekniikan opetuksessa käytetään yleisesti apuna simulointiohjelmia, jotka ratkaisevat numeerisesti virtapiirissä vaikuttavia suureita annettujen reunaehtojen perusteella ja antavat tuloksen useimmiten graafisesti. On erittäin huolestuttavaa, jos em. tulosten analysoijalla ei ole tarvittavaa ilmiöiden ja niiden syy-seuraus-suhteiden ymmärtämystä. Tämän ymmärtämyksen oppimisen parantamiseksi, on tutkimuksessa pyritty löytämään mahdollisimman johdonmukaiset ja havainnolliset tavat esimerkiksi virtojen ja jännitteiden referenssisuuntien esittämiselle sekä perinteisessä kirjallisessa muodossa olevassa oppimateriaalissa että hypermediasovelluksissa.

## LÄHDELUETTELO

Tässä lähdeluettelossa on ensin esitetty standardit omana ryhmänään ja niiden jälkeen on muut lähteet.

### Standardit:

EN 60617-2 (1996). *Graphical symbols for diagrams. Part 2: Symbol elements, qualifying symbols and other symbols having general application.*

EN 60617-4 (1996). *Graphical symbols for diagrams. Part 4: Basic passive components.*

EN 60617-6 (1996). *Graphical symbols for diagrams. Part 6: Production and conversion of electrical energy.*

IEC 27-1 (1995). *Letter symbols to be used in electrical technology. Part 1: General.* 111 s.

IEC 60050-101 (1998). *International Electrotechnical Vocabulary. Part 101: Mathematics.* 107 s.

IEC 60050-131 (2002). *International Electrotechnical Vocabulary. Part 131: Circuit theory.* 212 s.

IEC 60375 (2003). *Conventions concerning electric and magnetic circuits.* 37 s.

IEC 60617-2 (1996). *Graphical symbols for diagrams. Part 2: Symbol elements, qualifying symbols and other symbols having general application.*

IEC 60617-4 (1996). *Graphical symbols for diagrams. Part 4: Basic passive components.*

- IEC 60617-6 (1996). *Graphical symbols for diagrams. Part 6: Production and conversion of electrical energy.*
- IEC 60617-DB (julkaisu kesken 07.08.2004). *Graphical symbols for diagrams - 12-month subscription to online database comprising parts 2 to 11 of IEC 60617.*
- IEC 617 (1983). *Graphical symbols for diagrams. Part 4: Basic passive components.*
- ISO 1000 (1992) + A1 (1998). *SI units and recommendations for the use of their multiples and of certain other units and its Amendment A1.*
- ISO 31-2 (1992). *Quantities and units. Part 2: Periodic and related phenomena.* 7 s.
- ISO 31-3 (1992). *Quantities and units. Part 3: Mechanics.* 18 s.
- ISO 31-5 (1992). *Quantities and units. Part 5: Electricity and magnetism.* 28 s.
- ISO 81714-1 (1999). *Design of graphical symbols for use in the technical documentation of products. Part 1: Basic rules.* 12 s.
- ISO/IEC 11714-1 (1996). *Design of graphical symbols for use in the technical documentation of products. Part 1: Basic rules.*
- SFS 2372 (1983). *Ajasta riippuvat sähkötekniikan suureet, käsitteet ja kirjaintunnukset.* 6 s.
- SFS 3655 (1982). *Suureet ja mittayksiköt. Suurenimet, tunnuksset ja yksiköt.* 100 s.
- SFS 4004 (1992). *Suureet ja yksiköt. Alaindeksit.* 11 s.
- SFS 4987 (1983). *Sähkö- ja magneettiipiirit. Suureiden ja niiden suuntien merkintätavat.* 5 s.

- SFS-EN 60617-2 (1997). *Sähkökaavioiden piirrosmerkit. Osa 2: Merkkialkiot, tarkennusmerkit ja muut yleisessä käytössä olevat merkit.* 44 s.
- SFS-EN 60617-4 (1997). *Sähkökaavioiden piirrosmerkit. Osa 4: Passiiviset peruskomponentit.* 25 s.
- SFS-EN 60617-6 (1997). *Sähkökaavioiden piirrosmerkit. Osa 6: Sähköenergian tuotanto ja muuttaminen.* 49 s.
- SFS-IEC 60050-121 + A1 (2002). *Sähköteknilinen sanasto. Osa 121: Sähkömagnetismi.* 108 s.
- SFS-IEC 60617 (Vahvistettu 2004-06-28, ei saatavilla 07.08.2004). *Sähkökaavioiden piirrosmerkit.*
- SFS-ISO 1000 + A1 (1999). *SI-yksiköt sekä suositukset niiden kerrannaisten ja eräiden muiden yksiköiden käytöstä.* 43 s.
- SFS-ISO 31-0 + A1 (1999). *Suureet ja yksiköt. Osa 0: Yleiset periaatteet.* 37 s.
- SFS-ISO 31-11 (1999). *Suureet ja yksiköt. Osa 11: Matemaattiset merkinnät fysikaalisissa tieteissä ja tekniikassa.* 63 s.
- SFS-Käsikirja 1 (2002). *Standardien käyttö ja tarkoitus.* 4. painos. 63 s. ISBN 952-5143-93-7.
- SFS-käsikirja 10-1 (1997). *Sähkökaavioiden piirrosmerkit. Osa 1: Yleiset aiheet sekä erilliskomponentit ja laitteet.* 491 s. ISBN 952-5143-17-1.
- SFS-Käsikirja 10-2 (1999). *Sähkökaavioiden piirrosmerkit. Osa 2: Integroidut piirit.* 277 s. ISBN 952-5143-51-1.

**Muut lähteet:**

Ahoranta, Jukka (2002). *Sähkötekniikka*. Porvoo: WSOY. 335 s. ISBN 951-0-22291-7.

Ahoranta, Jukka, Kai-Birger Lesch & Lasse Sundell (1988). *Yleisjakson sähkötekniikka*. 2. tarkistettu painos. Porvoo: WSOY. 390 s. ISBN 951-0-13673-5.

Aplac-ohjelmisto (1999). *APLAC 7.50 Student Version*. [online] [siteerattu 6.8.2004], Saatavana World Wide Webistä: <<http://www.aplac.com/>>.

Asetus N:o 507 /1992 peruskouluasetuksen eräiden säännösten kumoamisesta.

Asetus N:o 508 /1992 lukioasetuksen eräiden säännösten kumoamisesta.

Asetus N:o 610 /1992 ammattioppilaitoksista annetun asetuksen 21 § muuttamisesta.

Asetus N:o 622 /1992 teknillisistä oppilaitoksista annetun asetuksen 20 § muuttamisesta.

Aura, Lauri & Antti J. Tonteri (1986). *Sähkömiehen käsikirja 1: Teoreettinen sähkötekniikka*. Porvoo: WSOY. 292 s. ISBN 951-0-13672-7.

Aura, Lauri & Antti J. Tonteri (1995). *Teoreettinen sähkötekniikka ja sähkökoneiden perusteet*. Porvoo: WSOY. 446 s. ISBN 951-0-20166-9.

Autio, Arvo & Heikki Hasari (1991). *Koneenpiirustus ammatilliselle korkea- ja opistoasteelle*. Keuruu: Kustannusosakeyhtiö Otava. 342 s. ISBN 951-1-10839-5.

Cathey, Jimmie J. & Syed A.Nasar (1997). *Basic electrical engineering*. 2. painos. New York etc.: McGraw-Hill Inc. 335 s. Schaum's outline series. ISBN 0-07-011355-6.

- Edminister, Joseph A. & Mahmood Nahvi (1997). *Electric Circuits*. 3. painos. New York etc.: McGraw-Hill Inc. 468 s. Schaum's outline series. ISBN 0-07-018999-4.
- Flash-ohjelmisto (2001). Macromedian Flash 5 versio. Tiedot uusimmista versioista [online] saatavana World Wide Webistä: <<http://www.macromedia.com/software/>>.
- Hayt, William H. Jr., Jack E. Kemmerly & Steven M. Durbin (2002). *Engineering Circuit Analysis*. 6. painos. New York etc.: McGraw-Hill Inc. 781 s. ISBN 0-07-228364-5.
- Hiidenmaa, Pirjo (2004). *Jäsentiedote 3/2004*. Suomen tietokirjailijat ry.
- Kurki-Suonio, Kaarle & Riitta (1993). *Vuorovaikutuksesta kenttiin – sähkömagnetismin perusteet*. 3. korjattu painos. Helsinki: Limes ry. 420 s. ISBN 951-745-155-5.
- Lavonen, Jari, Kyösti Blinikka, & Timo Antila (1999a). *Lukion sähkö ja elektroniikka*. Porvoo: WSOY. 160 s. ISBN 951-0-23222-x.
- Lavonen, Jari, Kaarle Kurki-Suonio & Harri Hakulinen (1997). *Galilei 6 , Sähkö*. Porvoo: WSOY. 166 s. ISBN 951-35-5959-9.
- Lavonen, Jari, Kaarle Kurki-Suonio & Harri Hakulinen (1999b). *Galilei 7 , Sähkömagnetismi*. Porvoo: WSOY. 180 s. ISBN 951-35-6268-9.
- Lavonen, Jari, Matti Lindh, Ossi Autio & Timo Antila (1998). *Elektroniikka omaksi*. Porvoo: WSOY. 147 s. ISBN 951-35-6128-3.
- Lehto, Heikki & Tapani Luoma (1999). *Fysiikka 4, Sähkö, Sähkömagnetismi*. 4. uudistettu painos. Helsinki: Kirjayhtymä Oy. 262 s. ISBN 951-26-4431-2.

Lehtonen, Mikko (2004). *Hiidenkivi 3/2004*. Kotimaisten kielten tutkimuskeskus, Suomen kotiseutuliitto, Suomalaisen kirjallisuuden seura.

Leppihalme, Tuomo (1979). *Sähköalan perusoppi 1*. Keuruu: Kustannusosakeyhtiö Otava. 127 s. ISBN 951-1-05331-0.

Leppihalme, Tuomo (1981). *Sähköalan perusoppi 3*. Keuruu: Kustannusosakeyhtiö Otava. 210 s. ISBN 951-1-05333-7.

Lindell, Ismo & Ari Sihvola (1999). *Sähkömagneettinen kenttäteoria: 1. Staattiset kentät*. Toinen tarkastettu ja korjattu painos. Tampere: Otatieto Oy; 560. 225 s. ISBN 951-672-211-3.

Lindell, Ismo (1994). *Sähkötekniikan historia*. Tampere: Otatieto Oy; 552. 377 s. ISBN 951-672-188-5.

Makkonen, Jussi, Veijo Meisalo & Eeva Suokko (1996a). *Atomista avaruuteen. Sähköilmiöt fysiikassa*. Keuruu: Kustannusosakeyhtiö Otava. 139 s. ISBN 951-1-14232-1.

Makkonen, Jussi, Veijo Meisalo & Eeva Suokko (1996b). *Atomista avaruuteen. Sähkömagnetismi fysiikassa*. Keuruu: Kustannusosakeyhtiö Otava. 109 s. ISBN 951-1-14233-X.

Mansfield, Michael & Colm O'Sullivan (1998). *Understanding Physics*. Chichester etc.: John Wiley & Sons Ltd. 754 s. (407 – 568 ss). ISBN 0-471-97554-0.

Mittayksikköasetus N:o 371/1992.

Nilsson, James W. & Susan A Riedel (2000). *Electric Circuits*. 6. painos. Upper Saddle River (N.J.): Prentice-Hall. 1030 s. ISBN 0-201-43653-1.



Nilsson, James W. & Susan A. Riedel (1996). *Electric Circuits*. 5. painos. Massachusetts etc.: Addison-Wesley Inc. 983 s. ISBN 0-201-40400-2.

Nykänen, Olli (2002). *Toimivaa tekstiä – Opas tekniikasta kirjoittaville*. Helsinki: Painotalo Miktor. 212 s. ISBN 952-5005-64-X.

Ohanian, Hans C. (1988). *Physics*. 2. laajennettu painos. New York: W. W. Norton & Company, Inc. 1148 s. (703-729; 823-848) ISBN 0-393-95750-0.

Opetushallitus. Määräys 33/011/2003. *Lukion opetussuunnitelman perusteet 2003*. Vammala: Opetushallitus. 254 s. ISBN 952-13-1832-5.

Opinto-opas 2003-2004. Lappeenrannan teknillinen yliopisto. Diplomi-insinöörin tutkinto. Lappeenranta: Lappeenrannan teknillinen yliopisto. ISSN 1459-322X.

Opinto-opas 2003-2004. Oulun yliopisto. Teknillinen tiedekunta. Keuruu: Otavan kirjapaino Oy. ISSN 0782-9329.

Opinto-opas 2003-2004. Tampereen teknillinen yliopisto. Diplomi-insinöörin tutkinto. [online] [siteerattu 6.8.2004], Saatavana World Wide Webistä: Sähkötekniikan osasto : <[http://www.tut.fi/public/oppaat/opas2003-2004/sahko\\_0304.pdf](http://www.tut.fi/public/oppaat/opas2003-2004/sahko_0304.pdf)>, Sähkötekniikan opintojaksot: <<http://www.tut.fi/public/oppaat/opas2003-2004/perus/laitokset/S%E4hk%F6magnetiikka/>>, Fysiikan opintojaksot: <<http://www.tut.fi/public/oppaat/opas2003-2004/perus/laitokset/Fysiikka/>>.

Opetusohjelma 2003 – 2004. Teknillinen korkeakoulu. [online] [siteerattu 6.8.2004], Saatavana World Wide Webistä: Elektroniikan ja sähkötekniikan koulutusohjelma: <<http://www.hut.fi/Yksikot/Opintotoimisto/opetusohjelma/kaaELE03-04.pdf>>, Teknillisen fysiikan ja matematiikan osasto: <<http://www.hut.fi/Yksikot/Opintotoimisto/opetusohjelma/TFY03-04.pdf>> ja Sähkö- ja tietoliikennetekniikan osasto: <<http://www.hut.fi/Yksikot/Opintotoimisto/opetusohjelma/SAH03-04.pdf>>.

- Opinto-opas 2003-2004. Vaasan yliopisto. Teknillinen tiedekunta. Vaasa: Vaasan yliopistopaino. ISSN 1459-5486.
- Paavola, Martti & Pekka Lehtinen (1982). *Sähkötekniikan oppikirja*. 14. uudistettu laitos. Porvoo: WSOY. 427 s. ISBN 951-0-11818-4.
- Paavola, Martti (1979). *Sähkötekniikan oppikirja - teknillistä opetusta ja omin päin opiskelua varten*. 13. painos. Porvoo: WSOY. 423 s. ISBN 951-0-09265-7.
- Pere, Aimo (1996). *Sähköpiirustus*. 4. uudistettu painos. Espoo: Kirpe Oy. 218 s. ISBN 951-99326-9-0.
- Salo, Jussi (2003). *080401000 Sähkötekniikan peruskurssi – Luentomateriaalia*. [online] [siteerattu 6.8.2004], Saatavana World Wide Webistä: <[http://www.ee.lut.fi/fi/opi/kurssit/080401000/stpk\\_s2003\\_luennot.pdf](http://www.ee.lut.fi/fi/opi/kurssit/080401000/stpk_s2003_luennot.pdf)>.
- Sirviö, Arto (2004). Puhelin keskustelu 1.7.2004. SESKO ry, ryhmäpäällikkö / Dokumentointi, rakennusten elektroniikkajärjestelmät, hälytysjärjestelmät, SESKOn IT-järjestelmät.
- Simons, Lennart (1946). *Fysiikka korkeakouluja varten*. Porvoo: Werner Söderström Osakeyhtiö. 466 s.
- Suomen Standardisointi ry (2002). Oppimateriaalia standardisoinnista. Standardien tarkoitus ja käyttö. [online] [siteerattu 6.8.2004], Saatavana World Wide Webistä: <<http://www.sfs.fi/standard/index.html>>.
- Tarkka, Pertti, Kari Määttänen & Lauri Hietalahti (2002). *Piirianalyysi 1*. Helsinki: Edita Prima Oy. 159 s. ISBN 951-37-3737-3.
- Tonteri, Antti J. & Lauri Aura (1981). *Sähkötekniikka 1. Teoreettinen sähkötekniikka*. Porvoo: WSOY. 186 s. ISBN 951-0-19092-1.

Vakauslaki N:o 219/1965.

Valtioneuvoston asetus N:o 955/2002 lukiokoulutuksen yleisistä tavoitteista ja tuntijaosta.

Valtonen, Martti (2003). *S.55-141 Piirianalyysi 1: Opetusmoniste/Syksy 2003*. [online] [siteerattu 6.8.2004], Saatavana World Wide Webistä: <<http://www.aplac.hut.fi/courses/ca1/opetusmoniste.html>>.

Valtonen, Martti (2004). *S.55.142 Piirianalyysi 2: Opetusmoniste/Kevät 2004*. [online] [siteerattu 6.8.2004], Saatavana World Wide Webistä: <<http://www.aplac.hut.fi/courses/ca2/opetusmoniste.html>>.

Vekara, Timo, Maarit Vesapuisto & Juha Kallunki (2002). *Experiences of Using Animations in Education of Electric Circuits at University of Vaasa*. Proceedings of the 43<sup>rd</sup> Conference on Simulation and Modelling, Oulu, 2002, ss. 127 –132.

Voipio, Erkki (1972). *Virtapiirit ja verkot*. Espoo: Otakustantamo; 258. 359 s. ISBN 951-671-041-X.

Voipio, Erkki (1977). *Piirianalyysi. Osa 1*. Espoo: Otakustantamo; 375. 178 s. ISBN 951-651-145-6.

Voipio, Erkki (1979). *Piirianalyysi. Osa 2*. Espoo: Otakustantamo; 426. 159 s. ISBN 951-671-204-5.

Voipio, Erkki (1987). *Kenttäteoria*. Hämeenlinna: Otakustantamo; 446. 390 s. ISBN 951-672-014-5.

Wolfson, Richard & Jay M. Pasachoff (1999). *Physics With Modern Physics*. 3. painos. Massachusetts etc.: Addison-Wesley Inc. 1250 s. ISBN 0-0321-03572-0.

Young, Hugh D. & Roger A. Freedman (2000). *University Physics*. 10. painos. San Francisco etc.: Addison-Wesley Inc. 1513 s. ISBN 0-201-60336-5.

## LIITTEET

**Liite 1:** SI-järjestelmän johdannaisyksiköt, joilla on erityisnimi (taulukko 1), etuliitteet (taulukko 2) ja SI-yksiköiden kanssa käytettävät yksiköt (taulukko 3).

**Taulukko 1.** SI-järjestelmän johdannaisyksiköt, joilla on erityisnimi.

Johdannaisuure	SI-johdannaisyksikkö		
	Nimi	Erityisnimi	Tunnus
tasokulma	radiaani	rad	$1 \text{ rad} = 1 \text{ m/m} = 1$
avaruuskulma	steradiaani	sr	$1 \text{ sr} = 1 \text{ m}^2/\text{m}^2 = 1$
taajuus	hertsi	Hz	$1 \text{ Hz} = 1 \text{ s}^{-1}$
voima	newton	N	$1 \text{ N} = 1 \text{ kg}\cdot\text{m}/\text{s}^2$
paine, jännitys	pascal	Pa	$1 \text{ Pa} = 1 \text{ N}/\text{m}^2$
energia, työ, lämpömäärä	joule	J	$1 \text{ J} = 1 \text{ N}\cdot\text{m}$
teho, säteilyvirta	watti	W	$1 \text{ W} = 1 \text{ J}/\text{s}$
sähkövaraus, -määrä	coulombi	C	$1 \text{ C} = 1 \text{ A}\cdot\text{s}$
sähköpotentiaali, potentiaaliero, jännite, sähkömotorinen voima	voltti	V	$1 \text{ V} = 1 \text{ W}/\text{A}$
kapasitanssi	faradi	F	$1 \text{ F} = 1 \text{ C}/\text{V}$
resistanssi	ohmi	$\Omega$	$1 \Omega = 1 \text{ V}/\text{A}$
konduktanssi	siemens	S	$1 \text{ S} = 1 \Omega^{-1}$
magneettivuo	weber	Wb	$1 \text{ Wb} = 1 \text{ V}\cdot\text{s}$
magneettivuon tiheys	tesla	T	$1 \text{ T} = 1 \text{ Wb}/\text{m}^2$
induktanssi	henry	H	$1 \text{ H} = 1 \text{ Wb}/\text{A}$
celciuslämpötila	celsiusaste	$^{\circ}\text{C}$	$1 \text{ }^{\circ}\text{C} = 1 \text{ K}$ (lämpötilaerolle)
valovirta	lumen	lm	$1 \text{ lm} = 1 \text{ cd}\cdot\text{sr}$
valaistusvoimakkuus	luksi	lx	$1 \text{ lx} = 1 \text{ lm}/\text{m}^2$

**Taulukko 2.** SI-etuliitteet

Kerroin	Etuliite	
	Nimi	Tunnus
$10^{24}$	jotta	Y
$10^{21}$	tsetta	Z
$10^{18}$	eksa	E
$10^{15}$	peta	P
$10^{12}$	tera	T
$10^9$	giga	G
$10^6$	mega	M
$10^3$	kilo	k
$10^2$	hehto	h
$10^1$	deka	da
$10^{-1}$	desi	d
$10^{-2}$	sentti	c
$10^{-3}$	milli	m
$10^{-6}$	mikro	$\mu$
$10^{-9}$	nano	n
$10^{-12}$	piko	p
$10^{-15}$	femto	f
$10^{-18}$	atto	a
$10^{-21}$	tseptto	z
$10^{-24}$	jokto	y

**Taulukko 3.** SI-yksiköiden kanssa käytettävät yksiköt

Suure	Yksikkö		
	Nimi	Tunnus	Määritelmä
aika	minuutti	min	1 min = 60 s
	tunti	h	1 h = 60 min
	vuorokausi	d	1 d = 24 h
tasokulma	aste	°	1° = ( $\pi/180$ ) rad
	minuutti	'	1' = (1/60)°
	sekunti	"	1" = (1/60)'
tilavuus	litra	l, L	1 l = 1 dm <sup>3</sup>
massa	tonni	t	1 t = 10 <sup>3</sup> kg

**Liite 2:** Jaksollisiin ilmiöihin liittyviä johdannaissuureita (taulukko 1), mekaniikkaan liittyviä johdannaissuureita (taulukko 2) ja sähköön ja magnetismiin liittyviä johdannaissuureita (taulukko 3).

**Taulukko 1.** Jaksollisiin ilmiöihin liittyviä johdannaissuureita.

ISO 31 nro	IEC 27-1 nro	Suureen nimi	Tunnus	Yksikkö
2-1	23	jaksonaika	$T$	s
2-2	24	aikavakio (eksponentiaalisesti muuttuvan suureen)	$\tau, (T)^1$	s
2-3.1	18	taajuus	$f, (\nu)^1$	Hz
2-4	21	kulmataajuus	$\omega$	rad/s

<sup>1</sup> suluissa olevaa symbolia (reserve symbol) voidaan käyttää, jos samassa yhteydessä käytetään ensimmäistä symbolia (chief symbol), jossakin muussa yhteydessä (IEC 27-1 1992:33)

**Taulukko 2.** Mekaniikkaan liittyviä johdannaissuureita.

ISO 31 nro	IEC 27-1 nro	Suureen nimi	Tunnus	Yksikkö
3-22.6	40	työ	$W, (A)^1$	J
3-26.1	41	energia	$E, (W)^1$	J
3-27	43	teho	$P$	W
3-28	44	hyötysuhde	$\eta$	1

<sup>1</sup> suluissa olevaa symbolia (reserve symbol) voidaan käyttää, jos samassa yhteydessä käytetään ensimmäistä symbolia (chief symbol), jossakin muussa yhteydessä (IEC 27-1 1992:33)

**Taulukko 3.** Sähköön ja magnetismiin liittyviä johdannaissuureita.

ISO 31 nro	IEC 27-1 nro	Suureen nimi	Tunnus	Yksikkö
5-2	52	(sähkö)varaus	$Q$	C
5-6.1	56	(sähkö)potentiaali	$V, (\varphi)^1$	V
5-6.2	57	jännite, potentiaaliero	$U, (V)^1$	V
5-6.3	58	lähdejännite, sähkömotorinen voima	$E$	V
5-9	61	kapasitanssi	$C$	F
5-22.1	76	induktanssi	$L$	H
5-22.2	77	keskinäisinduktanssi	$M, L_{mn}$	H
5-33	87	resistanssi, vastus	$R$	$\Omega$
5-34	89	konduktanssi, johtokyky	$G$	S
5-43	103	vaihe-ero, vaihesiirtymä	$\varphi, (\vartheta)^{1,2}$	rad
5-44.1	93	(kompleksinen) impedanssi	$Z$	$\Omega$
5-44.4	94	reaktanssi	$X$	$\Omega$
5-45.1	97	(kompleksinen) admittanssi	$Y$	S
5-45.4	98	suskeptanssi	$B$	S
5-49	99	pätöteho	$P$	W
5-50.1	100	näennäisteho	$S, (P_s)^1$	W, (VA) <sup>3</sup>
5-50.2	101	loisteho	$Q, (P_q)^1$	W, (var) <sup>3</sup>
5-51	101a	tehokerroin	$\lambda$	1

<sup>1</sup> suluissa olevaa symbolia (reserve symbol) voidaan käyttää, jos samassa yhteydessä käytetään ensimmäistä symbolia (chief symbol), jossakin muussa yhteydessä (IEC 27-1 1992:33)

<sup>2</sup> ei esiinny ISO 31 –standardissa, mutta IEC -standardissa kyllä

<sup>3</sup> ensimmäiset yksikkötunnukset ISO-standardin mukaisesti, IEC:n mukaan suositellaan sähkötekniikan alueella käytettäväksi suluissa olevia yksikkötunnuksia.



**Liite 3:** Kyselykaavake 02.09.2003 / Sähkötekniikka / M. Vesapuisto

Hyvä opiskelija

Vaasan yliopisto kehittää ja seuraa jatkuvasti opetustaan. Siksi pyydämmekin Sinua vastaamaan oheisiin kysymyksiin.

Tietosi ovat arvokkaita suunniteltaessa ja kehitettäessä sähkötekniikan oppiaineen opetusta. Tästä hyötyvät Sinun lisäksi tulevat opiskelijat. Saatuja tietoja analysoidaan ryhminä. Nimitieto tarvitaan kyselyn kattavuuden varmistamisessa sekä tulevassa pitkittäistutkimuksessa. Yksittäinen vastaaja säilyy tutkimusraporteissa anonyyminä, ja lomakkeet ovat vain opetuksen kehittämisessä mukana olevien tutkijoiden käytössä.

**OLE YSTÄVÄLLINEN JA VASTAA KAIKKIIN KYSYMYKSIIN JA PALAUTA LOMAKE KYSELYTILAISUUDESTA VASTAAVALLE.**

NIMI: :

OPISKELIJANUMERO:

A. TIEDOT AIKAISEMMASTA OPISKELUSTA:

1. Lukio, jossa olet opiskellut:

\_\_\_\_\_

2. Lukiossa suorittamasi fysiikan kurssit<sup>1</sup>:

Merkitse rasti ruutuun kyllä, jos olet suorittanut ko. kurssin, ja ruutuun ei, jos et ole suorittanut ko. kurssia.

Pakolliset kurssit:


Suoritettu		Kurssin tunnus	Kurssin nimi
Kyllä	Ei		
		FY1	Fyikka luonnontieteenä

Syventävät kurssit:

Suoritettu		Kurssin tunnus	Kurssin nimi
Kyllä	Ei		
		FY2	Lämpö
		FY3	Aallot
		FY4	Liikkeen lait
		FY5	Pyöriminen ja gravitaatio
		FY6	Sähkö
		FY7	Sähkömagnetismi
		FY8	Aine ja säteily

3. Mitä seuraavista lukion fysiikan kirjasarjoista (A, B, C ja/tai D) luit lukiossa:  
 Kirjasarja: \_\_\_\_\_. Jokin muu, mikä?: \_\_\_\_\_

<p>A.</p>	<p>Atomista avaruuteen<sup>ii</sup></p> <p>Makkonen, Jussi, Meisalo, Veijo, Suokko, Eeva</p> <p>Otava, 1996</p>	
<p>B</p>	<p>Galilei<sup>iii</sup></p> <p>Lavonen, Jari, Kurki-Suonio, Kaarlo, Hakulinen, Harri</p> <p>Weilin&amp;Göös, 1997</p>	
<p>C</p>	<p>Fysiikka<sup>iv</sup></p> <p>Lehto, Heikki, Luoma, Tapani</p> <p>Kirjayhtymä, 1999</p>	

D	Lukion sähkö ja elektroniikka <sup>v</sup>  Lavonen, Jari, Blinnikka, Kyösti, Antila, Timo  WSOY, 1999	
---	---	--

4. Lukiossa suorittamasi matematiikan kurssit:  
Merkitse rasti ruutuun kyllä, jos olet suorittanut ko. kurssin, ja ruutuun ei, jos et ole suorittanut ko. kurssia.

- a) Matematiikan pitkä oppimäärä:  
Pakolliset kurssit:

Suoritettu		Kurssin tunnus	Kurssin nimi
Kyllä	Ei		
		MAA1	Funktiot ja yhtälöt
		MAA2	Polynomifunktiot
		MAA3	Geometria
		MAA4	Analyttinen geometria
		MAA5	Vektorit
		MAA6	Todennäköisyys ja tilastot
		MAA7	Derivaatta
		MAA8	Juuri- ja logaritmfunktiot
		MAA9	Trigonometriset funktiot ja lukujonot
		MAA10	Integraalilaskenta

Syventävät kurssit:

Suoritettu		Kurssin tunnus	Kurssin nimi
Kyllä	Ei		
		MAA12	Numeerisia ja algebraalisia menetelmiä
		MAA13	Differentiaali- ja integraalilaskennan jatkokurssi

b) Matematiikan lyhyt oppimäärä:

Pakolliset kurssit:

Suoritettu		Kurssin tunnus	Kurssin nimi
Kyllä	Ei		
		MAB1	Lausekkeet yhtälöt
		MAB2	Geometria
		MAB3	Matemaattisia malleja I
		MAB4	Matemaattinen analyysi
		MAB5	Tilastot ja todennäköisyys
		MAB6	Matemaattisia malleja II

Syventävät kurssit:

Suoritettu		Kurssin tunnus	Kurssin nimi
Kyllä	Ei		
		MAB7	Talousmatematiikka
		MAB8	Matemaattisia malleja III

## B. MOTIVOITUNEISUUTESI OPISKELUUN VAASAN YLIOPISTOSSA

1. Arvioi oma motivoituneisuutesi opiskeluun Vaasan yliopistossa asteikolla 1-5

(5 = erittäin motivoitunut, 1 = ei lainkaan motivoitunut): \_\_\_\_\_

Perustelusi:

---



---

2. Minkä vuoksi valitsit sähkötekniikan opiskelun Vaasan yliopistossa?

---



---



---

3. Muuta kommentoitavaa lukion fysiikan ja matematiikan opiskelusta ja/tai tästä kyselystä:

---



---



---



---

### C. KYSYMYKSET MATEMATIIKAN JA SÄHKÖTEKNIIKAN OPPIAINEIDEN ALUEISTA

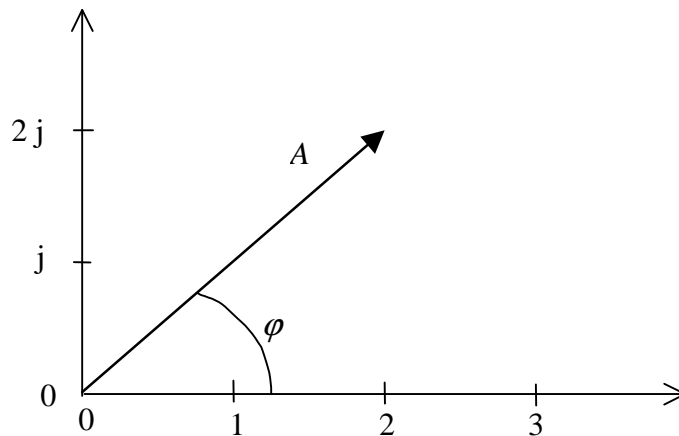
#### 1. Sähkötekniikka:

Täydennä alla esitettyyn kuvioon symbolit ja merkinnät, jotka kuvaavat piirissä esitettyjä komponentteja sekä piirissä esiintyviä virtoja ja jännitteitä.



#### 2. Matematiikka:

Esitä alla esitetty kompleksiluku  $A$  (vähintään) kahdella eri tavalla:



<sup>i</sup> Lukion opetussuunnitelman luonnos 6.6.2003. Opetushallitus. [Viitattu 1.9.2003]. Saatavissa: <http://www.oph.fi/binary.asp?path=1;443;5238;6094;23059;23061&field=FileAttachment&version=1>.

Oppikirjojen esittelykuvat: [Viitattu 1.9.2003].

<sup>ii</sup> Saatavissa: [http://www.otava.fi/content\\_images/atomista.jpg](http://www.otava.fi/content_images/atomista.jpg).

<sup>iii</sup> Saatavissa: <http://www.wsoy.fi/koulu/kuvat/galilei.jpeg>.

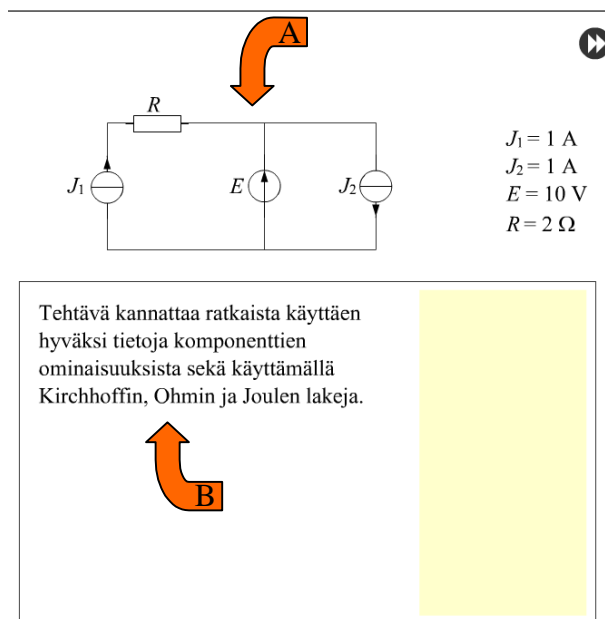
<sup>iv</sup> Saatavissa: <http://www.tammi.net/uploads/ye9fik.gif>.

<sup>v</sup> Saatavissa: <http://www.wsoy.fi/koulu/fysiikka/lukionsahko/lukionsahko.jpg>.

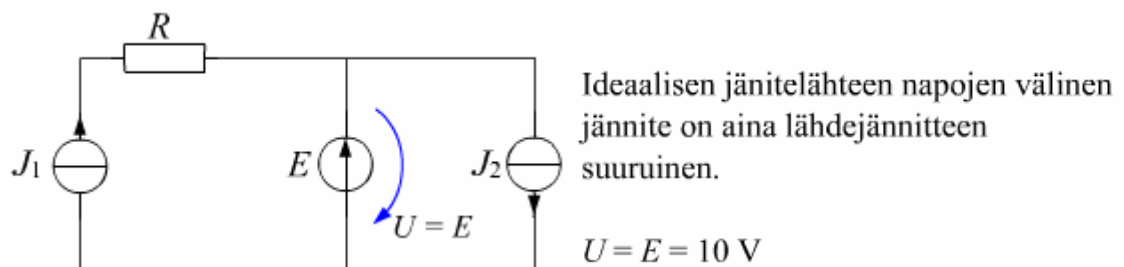
**Liite 4:** Flash-animaatio

Tehtävän asettelussa pyydetään määrittämään, mitkä lähteistä syöttävät ja mitkä kuluttavat tehoa, sekä laskemaan lähteiden syöttämät ja kuluttamat tehot.

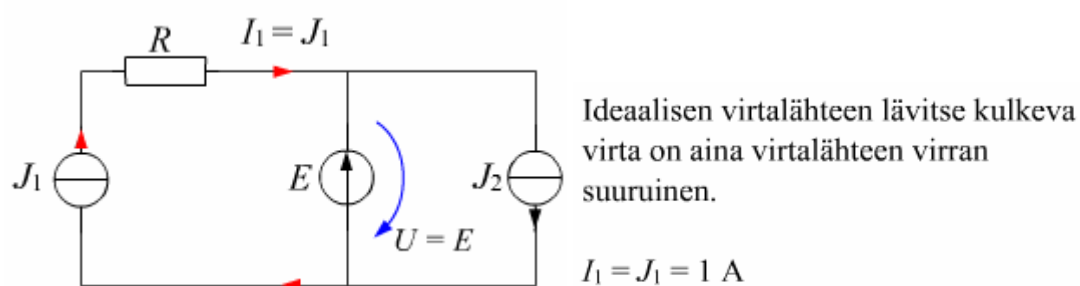
Tässä liitteessä esitetään vierekkäin itse virtapiirikaavio (kuvio 1 A) ja selittävä tekstiosuus (kuvio 1 B).



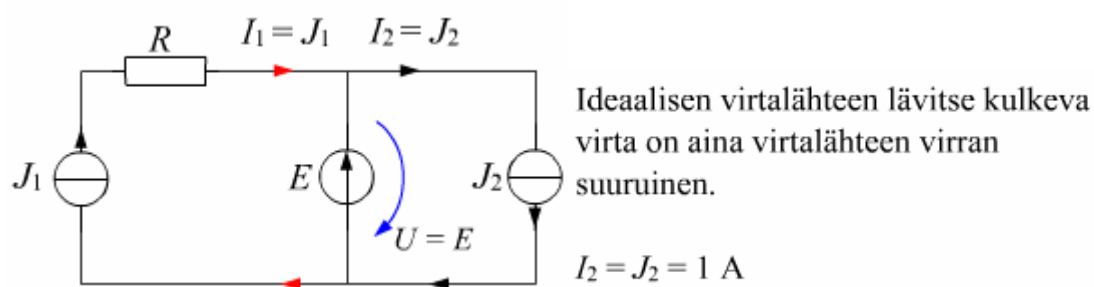
**Kuva 1.** Animaation ensimmäinen askel (= sivu).



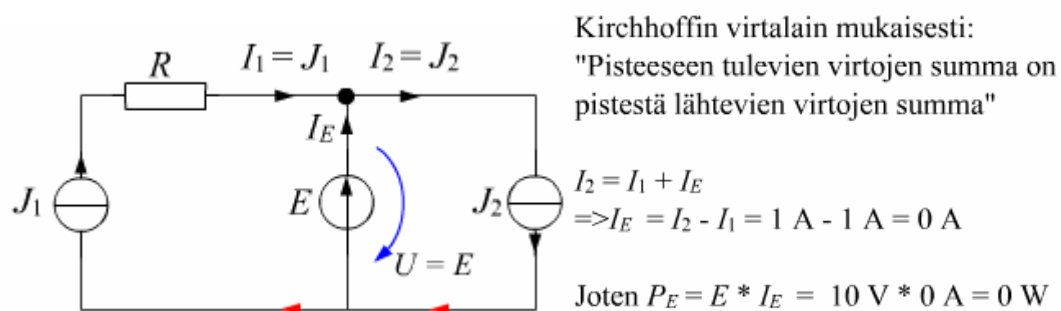
**Kuva 2.** Animaation toinen askel.



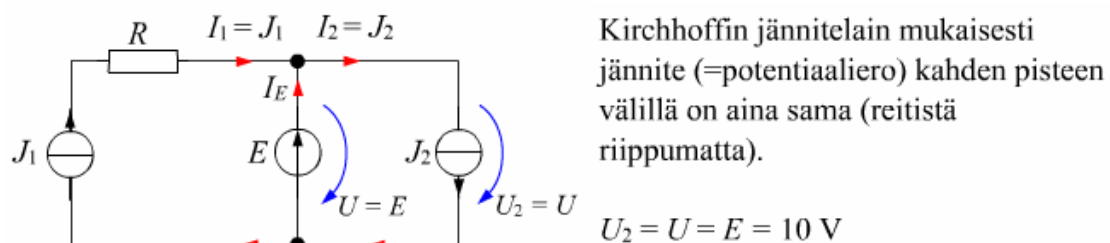
**Kuva 3.** Animaation kolmas askel.



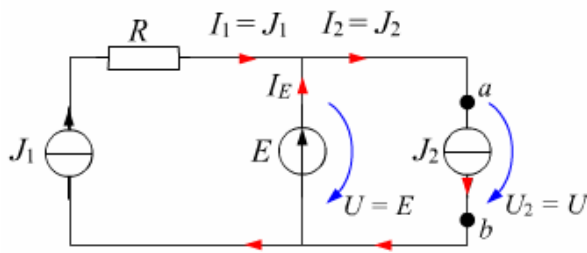
**Kuva 4.** Animaation neljäs askel.



**Kuva 5.** Animaation viides askel.



**Kuva 6.** Animaation kuudes askel.

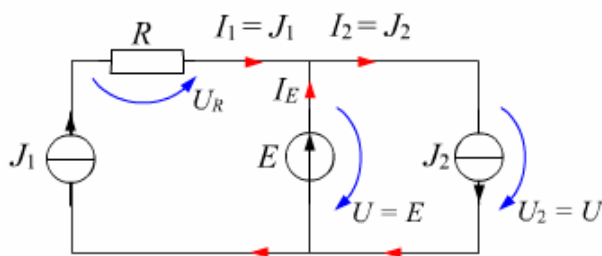


**Kuva 7.** Animaation seitsemäs askel.

Virtalähteellä virran kulkiessa pisteestä  $a$  pisteeseen  $b$ , on potentiaaloin oltava korkeampi pisteessä  $b$  kuin pisteessä  $a$ , jotta ko. lähde tuottaa tehoa.

Nyt pisteen  $a$  potentiaali on korkeampi kuin pisteen  $b$ , joten virtalähde  $J_2$  **kuluttaa** tehoa:

$$P_{J_2} = U_2 * J_2 = 10 \text{ V} * 1 \text{ A} = 10 \text{ W}$$

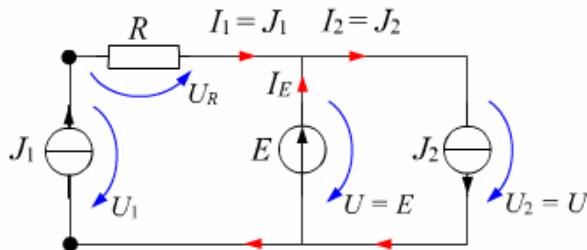


**Kuva 8.** Animaation kahdeksas askel.

Kun tiedetään vastuksen läpi menevä virta, voidaan Ohmin lain mukaisesti laskea vastuksen yli oleva jännite ja Joulen lain mukaisesti vastuksessa lämmöksi muuttuva teho.

$$U_R = R * J_1 = 2 \Omega * 1 \text{ A} = 2 \text{ V}$$

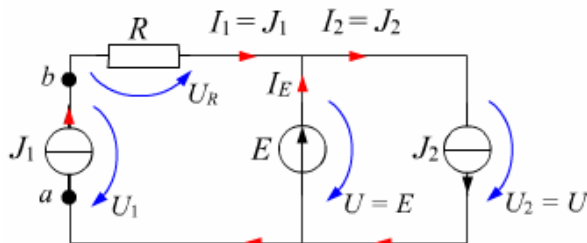
$$P_R = R * (J_1)^2 = 2 \Omega * (1 \text{ A})^2 = 2 \text{ W}$$



**Kuva 9.** Animaation yhdeksäs askel.

Kirchhoffin jännitelain mukaisesti jännite (= potentiaaliero) kahden pisteen välillä on aina sama (reitistä riippumatta).

$$U_1 = U_R + U = 2 \text{ V} + 10 \text{ V} = 12 \text{ V}$$



**Kuva 3.** Animaation kymmenes askel.

Virtalähteellä virran kulkiessa pisteestä  $a$  pisteeseen  $b$ , on potentiaaloin oltava korkeampi pisteessä  $b$  kuin pisteessä  $a$ , jotta ko. lähde tuottaa tehoa.

Virtalähde  $J_1$  **tuottaa** tehoa:

$$P_{J_1} = U_1 * J_1 = 12 \text{ V} * 1 \text{ A} = 12 \text{ W}$$