



ENGLANNINKIELINEN SÄHKÖTEKNIIKAN OPETUSMONISTE

Jani Saarimaa

Opinnäytetyö
Marraskuu 2011
Automaatiotekniikan koulutusohjelma
Ylempi AMK-tutkinto
Tampereen ammattikorkeakoulu

TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu
Automaatiotekniikan koulutusohjelma
Ylempi AMK-tutkinto

Työn tekijä	Jani Saarimaa
Työn nimi	Englanninkielinen sähkötekniikan opetusmoniste
Sivumäärä	18 + 62 liitesivua
Valmistumisaika	Marraskuu 2011
Työn ohjaaja	Olavi Kopponen

Opinnäytetyön tarkoituksena on kehittää englanninkielisten sähköasentajaopiskelijoiden sähkötekniikan oppimista englanninkielisen opetusmateriaalin ja demonstraatioiden avulla. Opetusmateriaalissa opittavaa asiaa lähestytään huomioimalla erilaisten oppijoiden oppimistyyliä. Tällöin jokainen voi sisäistää ja käsitellä oppimiaan asioita riippumatta oppimistyylistään ja tietopohjastaan.

Työssä käydään englanninkielisen sähkötekniikan tasa- ja vaihtosähkön perusteiden teoriaa läpi. Opetusmateriaalin teoriaosuus on rakennettu siten, että opittavasta asiasta on tehty käytännönläheinen ja selväpiirteinen. Materiaalin teorian tekstiä on havainnollistettu selventävillä piirroksilla ja laskutehtävillä.

Opetusmateriaali on testausvaiheessa todettu varsin käyttökelpoiseksi sähkötekniikan perusteiden opettamiseen monikulttuurisessa kouluympäristössä. Opinnäytetyö otetaan käyttöön opetusmateriaaliksi Koulutuskeskus Sedun englanninkielisessä sähköasentajan koulutusohjelmassa.

ABSTRACT

Tampere University of Applied Sciences, Master's Degree
Degree Programme in Automation Technology

Writer	Jani Saarimaa
Thesis	English Electrical Engineering Handout
Pages	18 + 62 appendices
Graduation time	November 2011
Thesis supervisor	Olavi Kopponen

The aim of this thesis was to develop the individual learning of electrical engineering students. This development is carried out with the help of English teaching material and demonstrations. The material takes into account the different learning styles of students. In this way, everyone can internalise and process the things they learn regardless of their own learning styles and previous knowledge bases.

The thesis covers the principles of direct and alternating current. The theory section of the teaching material is constructed so that the subject to be learnt is clear and in close proximity to practice, and the theory texts are illustrated with diagrams and calculations.

The teaching material is very useful in teaching the basics of electrical engineering teaching in a multicultural school environment. The thesis will be utilized as teaching material in the English Study Programme in Electrical Engineering and Automation Technology at Vocational Education Centre Sedu.

Key words: electrical engineering, teaching material

SISÄLLYS

1 JOHDANTO	5
1.1 Työn määrittely	5
1.2 Koulutuskeskus Sedu	6
2 ENGLANNINKIELISEN OPETUSMATERIAALIN TEKEMINEN	8
2.1 Teoreettinen sähkötekniikka	8
2.2 Työkirjan rakenne	8
2.3 Aiheen jakaminen askelmiin	9
3 SÄHKÖTEKNIIKAN OPETUKSEN TEHOSTAMINEN	11
3.1 Audittiivinen oppiminen.....	11
3.2 Sähkötekniikka audittiiviselle opiskelijalle.....	11
3.3 Visuaalinen oppiminen.....	13
3.4 Sähkötekniikka visuaaliselle opiskelijalle.....	13
3.5 Kinesteettinen oppiminen.....	15
3.6 Sähkötekniikka kinesteettiselle opiskelijalle.....	15
4 YHTEENVETO	17
LÄHTEET.....	18
LIITTEET	19

1 JOHDANTO

1.1 Työn määrittely

Tämä opinnäytetyö on tehty Tampereen ammattikorkeakoulussa ylemmän AMK-tutkinnon automaatiotekniikan koulutusohjelmassa, Koulutuskeskus Sedulle. Kiitän työni ohjaajaa, koulutuspäällikkö Olavi Kopposta vinkeistä, joita olen saanut kysymyksiini. Työnantajalleni, Koulutuskeskus Sedulle, haluan antaa kiitoksen joustavuudesta jonka avulla olen saanut mahdollisuuden opiskella ylemmän AMK-tutkinnon työni ohessa.

Työssä käsitellään englanninkielistä teoreettisen sähkötekniikan oppimista. Koulutuskeskus Sedun, Kirkkokadun toimipisteen koulutustarjonnassa on englanninkielinen sähköasentajan koulutusohjelma. Electrical Engineering and Automation Technology Study Programme. Opetusmoniste on tehty pääasiassa tämän kohderyhmän opetusmateriaaliksi.

Opetustyössäni olen huomionnut, että kaupallisissa englanninkielisissä opetuskirjoissa on paljon sellaista asiaa, joita oppilaat eivät sisäistä ammatillisessa koulutuksessa. Ajatus tehdä opinnäytetyönä selkeä ja helposti ymmärrettävä opetusmateriaali sai alkunsa. Opetusmateriaali jossa asiat tehdään niin yksinkertaiseksi kuin sähkötekniikka sen sallii, ja asian ymmärtämisen helpottamiseksi materiaalissa on käytännönläheisiä esimerkkejä ja piirroksia helpottamaan oppimista.

Opetusmateriaalin kuvituksilla ja laskuesimerkeillä, ja varsinkin havainnollistamisessa on tärkeää ottaa huomioon erilaiset tavat oppia ja erilaiset viestin vastaanottamiskanavat. Opetusta suunniteltaessa tulisi miettiä kuinka ottaisi huomioon opiskelijoiden erilaiset miellejärjestelmät. Miellejärjestelmällä tarkoitetaan eri aistikanavien kautta tapahtuvaa tiedon sisäistämistä ja vastaanottamista.

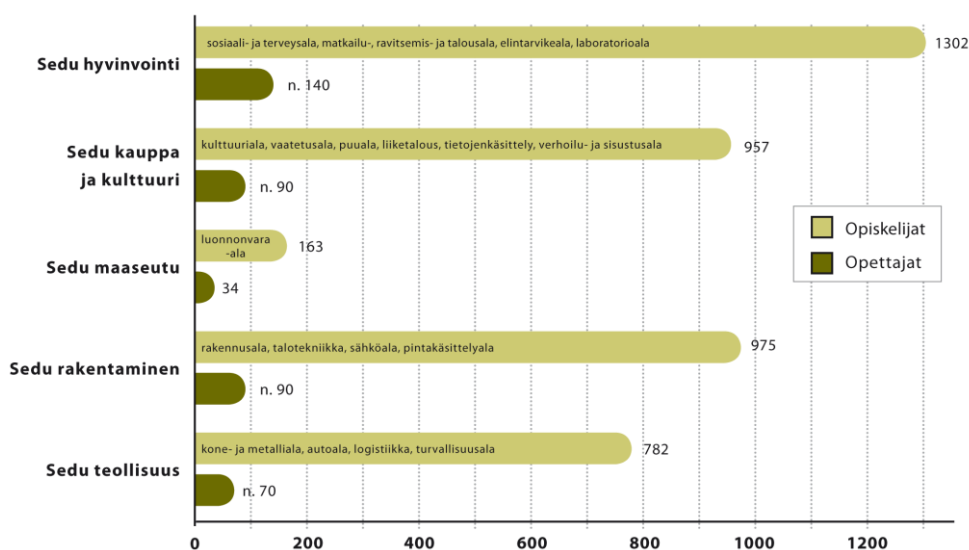
Auditiivinen henkilö ottaa parhaiten vastaan kuuloaistin kautta viestejä ja tietoa. Visuaalinen puolestaan käyttää näköaistiaan ottaessaan vastaan viestejä ja liittäessään sitä jo omaksumaansa tietoon. (Erilaiset oppijat ja oppimistyyylit)

Opetusmateriaalissa käsitellään teoreettisen sähkötekniikan suureita. Opetusmateriaalin runko perustuu englanninkielisiin sähkötekniikan kirjoihin. Opetusmateriaalista opiskelija saa perustiedot sähkötekniikkaan. Syventäessään omaa oppimistaan, tietoa voi hakea lisää lähdekirjallisuudessa käytetyistä englanninkielisistä kirjoista.

1.2 Koulutuskeskus Sedu

Koulutuskeskus Sedu aloitti toimintansa 1.1.2005 nimellä Seinäjoen koulutuskeskus. Sitä ylläpitää Seinäjoen koulutuskuntayhtymä, johon laajentumisen ja kuntaliitosten myötä kuuluu 20 kuntaa. Kuntayhtymä ylläpitää myös Seinäjoen ammattikorkeakoulua. Vuoden 2009 alussa Seinäjoen koulutuskuntayhtymään yhdistyivät Härmänmaan ammatti-instituutin koulutuskuntayhtymä, Kurikan ammattioppilaitoksen koulutuskuntayhtymä ja Suomenselän koulutuskuntayhtymä. Koulutuskeskus Sedussa opiskelee lähes 4300 opiskelijaa ja henkilöstöä on yli 500. (Sedun organisaatio)

Koulutuskeskus Sedun johtajana toimii FM Reija Lepola. Seinäjoen koulutuskuntayhtymän hallintosäännön mukaisesti koulutuskeskuksen johtaja johtaa Koulutuskeskus Sedun toimintaa ja vastaa kuntayhtymän toisen asteen ammatillisen koulutuksen opetuksen tulosalueesta. Koulutuskeskus Sedu jakaantuu viiteen toimialaan jotka näkyvät kuvasta 1. Kuvasta näkee myös kuinka paljon toimialalla on opiskelijoita ja opettajia tammikuussa 2009. Jokaista toimialaa johtaa toimialajohtaja. (Sedun organisaatio)



Kuva 1. Koulutuskeskus Sedun toimialat 2009.

Koulutuskeskus Sedun toimintaa ohjaavat arvot, jotka ovat ammattitaitoisuus, into, kehityshalukkuus ja avoimuus. Sedun arvot pohjaavat kolmeen: spirit, asiakkaat ja tulevaisuus. Sedu-henki ilmenee arvoissa into ja avoimuus.

Ammattitaitoisuus:

- näytämme osaamisemme ja kehitämme itseämme
- olemme ylpeitä osaamisestamme
- huolehdimme omasta ja yhteisömme hyvinvoinnista

Into:

- kannustamme uteliaisuuteen, uskallukseen ja luovuuteen
- vahvistamme tekemisen hinkua ja iloa
- toimimme yrittävässä ympäristössä

Kehityshalukkuus:

- olemme notkeita ja kannustamme innovatiivisuuteen
- ennakoimme muutoksia ja uskallamme uudistua
- toimimme yhdessä Sedun tavoitteiden mukaisesti

Avoimuus:

- tuemme yhteisöllisyyttä ja avointa ilmapiiriä
- huolehdimme riittävästä ja selkeästä tiedonkulusta
- varmennamme toimintamme läpinäkyvyyden

(Koulutuskeskus Sedun toimintaa ohjaavat arvot)

2 ENGLANNINKIELISEN OPETUSMATERIAALIN TEKEMINEN

2.1 Teoreettinen sähkötekniikka

Englanninkielinen opetusmateriaali on rakennettu siten, että se huomioi ihmisten eri miellejärjestelmät. Miellejärjestelmällä tarkoitetaan tapaa vastaanottaa informaatiota. Yleisimmät omiin aisteihin pohjautuvat oppimistavat millä vastaanotetaan informaatiota, ovat: auditiivinen, visuaalinen ja kinesteettinen.

Opetusmateriaalin tekemisessä täytyy valita ensin aihealueet. Sitä käsittääkö se sähkötekniikan teoriaa, asennustekniikka taikka moottoriasennuksia. Aiheet ovat lähellä toisiinsa ja samoja asioita esiintyy kaikissa aiheissa. Tämä on karkea rajaus, jossa opetettavia yksittäistietoja on paljon. Yksittäistietoa joudutaan jäsentämään ja ryhmittelemään. Englanninkielisessä opetusmateriaalissa olen ryhmittänyt teoreettisen sähkötekniikan kahdeksi osaksi tasasähköön ja vaihtosähköön.

Englanninkielinen materiaali on tehty vastaamaan sähkö- ja automaatiotekniikan perustutkinnon 2011 opetussuunnitelman sisältöä ja tavoitteita liite1. Sähkö- ja automaatiotekniikan perusosaamisen opintokokonaisuuden suuruus on 30 opintoviikkoa. Totuussuunnitelmassa sähkötekniikan osuus on yhdeksän opintoviikon suuruinen.

2.2 Oppiminen ja opetus

Teoreettisen sähkötekniikan opetus englanninkielellä ja oppiminen ei ole niitä helpoimpia asioita, joita ammatillisessa koulutuksessa opiskellaan. Opiskelijan tulee aluksi ymmärtää mitkä perussuureet ovat oppimisen ja ymmärtämisen kannalta osattava, ennen kuin alkaa hahmottaa niiden välisiä yhteyksiä. Tärkeimmät niistä ovat jännite, virta ja resistanssi.

Oppiminen on oppilaan toimintaa. Opetus on opettajan toimintaa joka valitsee ja jäsentää opittavan asian. Opettaja nostaa siitä esille keskeiset periaatteet ja muovaa sen toimivaksi kokonaisuudeksi. Sähkötekniikassa on paljon kaavoja ja erilaisia laskutoimituksia. Opiskelijan täytyy olla kaavojen käytössä hyvin huolellinen.

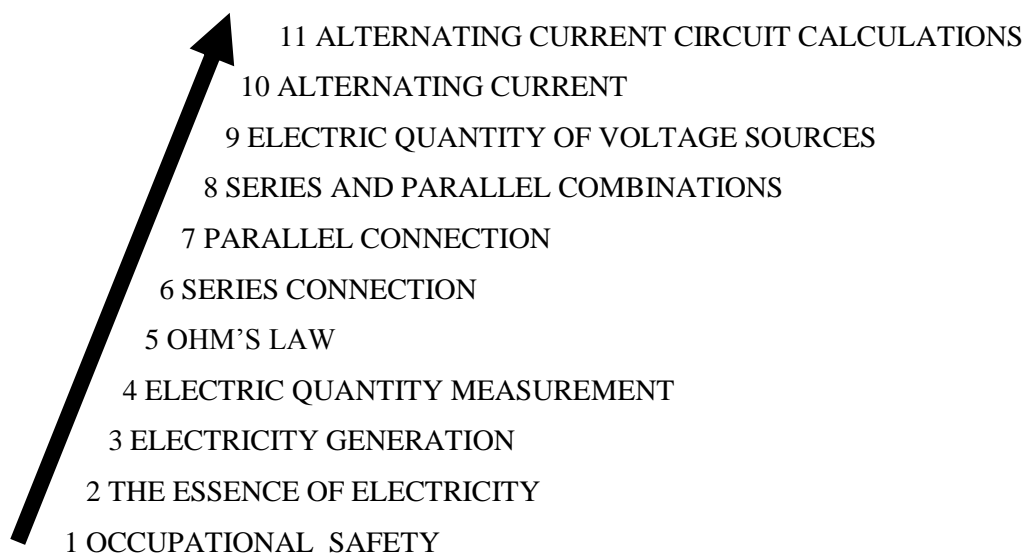
Sähkötekniikan opetus ei ole tiedon kaatamista tyhjiin astioihin. Sähkötekniikan kaavojen ulkoa opettelu ei ole opetusmielessä tärkeää. Tärkeämpää on muistaa muutama sähkötekniikan peruskaava jonka ympärille koko järjestelmä perustuu.

Englanninkielisessä opetusmateriaalissani olen painottanut ja rakentanut materiaalin siten, että siinä käytetään peruskaavoja. Peruskaavojen käyttö auttaa opiskelijoita omaksumaan opetettavan asian ja painamaan sen mieleensä pala palalta.

Opettamiseen liittyy myös vastuu ihmisestä, opiskelijasta, ja vastuu työn tuloksista eli siitä, millaisia sähkötekniikan osaajia maailmaan koulutetaan. Ihmissuhde- ja vuorovaikutustaidot ovat osa opetustaidon ydintä. Vuorovaikutustaitoja on vaikea, jopa mahdotonta opiskella. Vuorovaikutustaidot muovautuvat opettajan oman opetustapansa ja opetuksen antaman kokemuksen kautta.

2.3 Aiheen jakaminen askelmiin

Sähkötekniikan sisältö on pyrittävä jakamaan askelmiin, jotka turvaavat tuloksellisen syvätason oppimisen kuva 2. Ensinnäkin askelman tulee olla loogisesti suhteellisen itsenäinen ja ehyt aihekokonaisuus. Ytimenä kokonaisuudessa täytyy olla uusi teoreettinen oivallus tai käsite, jossa teoreettinen oivallus yhdistetään käytännön sovelluksiin. (Oppimisympäristön palaset.)



Kuva 2. Opetusmateriaalin sisällön jakaminen askelmiin

Aihekokonaisuuden tulee olla tarpeeksi laaja. Samalla pidetään huolta siitä, että peräkkäiset aiheet liittyvät yhteen ja muodostavat laajan kokonaisuuden, kuten englanninkielisessä opetusmateriaalissani olen pyrkinyt tekemään. Aiheosien tarkoitus on saada opiskelijat motivoitumaan aiheeseen.

Tuloksellisen syväoppimisen oppiminen edellyttää, että oppilaalla on selkeä kokonaiskuva ja käsitys opittavan asian ydinperiaatteista. Selkeän kokonaisuuden avulla oppilas voi tietoisesti tulkita ja jäsentää opittavaa ainesta, ja kytkeä sen aiempiin tietoihinsa. (Oppimisympäristön palaset.)

3 SÄHKÖTEKNIIKAN OPETUKSEN TEHOSTAMINEN

3.1 Auditiivinen oppiminen

Auditiivisella oppimisella tarkoitetaan kuulohavaintoon perustuvaa prosessointia. Tällaisella henkilöllä korostuu kuulemisen merkitys. Auditiivisella oppijalla on tarkat korvat. Opittava asiat tallentuvat mieleen kuulokuvien muodossa. Auditiivinen kiinnittää huomiota ympärillä kuuluviin ääniin ja keskusteluihin, mutta häiriintyy helposti jos luokkahuoneessa epämääräistä hälinää. Auditiivisesti orientoitunut pitää siitä, että esimerkiksi luennolla asiat kerrotaan hänelle. (Nuutinen, T. Repo, I. s.36-37)

Auditiivinen ihminen kiinnittää huomiota siihen, miltä asiat kuulostavat. Auditiivinen selittää asioita hyvin rauhallisesti. Hän etenee hitaasti, koska hän puhuu mielessään asiat ja toistaa toisen puheen sisäisellä puheellaan. Kommunikoidessaan hän kääntää mielellään päätään siten, että kuulee paremmin. Auditiivinen ihminen oppii sanallisten ohjeiden avulla ja muistaa mitä joku on joskus sanonut. Auditiivisesti suuntautunut on usein hyvä puhuja ja kirjoittaja. (Nuutinen, T. Repo, I. s.36-37)

3.2 Sähkötekniikka auditiiviselle opiskelijalle

Opetusmateriaalissani olen huomionnut auditiivisen miellejärjestelmän omaavan opiskelijan tavalla, jossa teoriateksti on muokattu sellaiseen muotoon, jota opettajan on helppo selittää sanallisena ohjeena.

Teorian opetuksessa ei pidä ahmia liian suuria tietomääriä. Jos näin käy oppija turhautuu suuren tietomäärän keskellä eikä sisäistä mitään. Seuraavassa opetusmateriaalin sanallinen esimerkki, jossa on myös kuva informaatio miten jännitteen mittausta akusta tapahtuu yleismittarin avulla kuva 3.

“A voltmeter is connected in parallel to the battery. So that its polarity is contra to the polarity of the supply voltage, in other words the red cable of the voltmeter is connected to the positive supply voltage and the black cable to the negative.

With the polarity being wrong, the needle on an analogue meter shows the wrong direction, and similarly the number in a digital meter is preceded by a – sign.“



Kuva 3. Jännitteen mittaus yleismittarilla (Jani Saarimaa, 2011.)

Näin auditiiviselle opiskelijalle saadaan oma informaatiokanava täytettyä ja keskitettyä yhteen asiaan kerrallaan.

3.3 Visuaalinen oppiminen

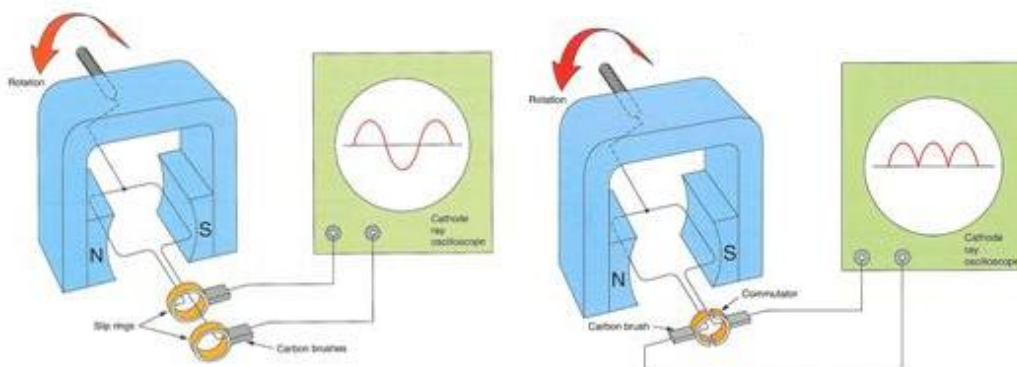
Visuaalisesti prosessoiva ottaa informaation vastaan silmillään, katselemalla. Tällaisella oppijalla korostuu näköaistin ja näkemisen merkitys. Kyky palauttaa mieleensä erilaisia näkömielikuvia, joiden avulla hän rakentaa uutta oppimaansa. Kun visuaalinen oppija puhuu esimerkiksi kokemuksistaan, hän näkee ne kuvina ja käyttää puheensa tukena näkemiseen liittyviä ilmaisuja. Esimerkiksi luennolla ollessaan visuaalisesti suuntautunut ihminen toivoo, että hänelle näytettäisiin asiat joko todellisina tai havainnollistavina kuvina tai ne kuvailtaisiin sanoin. (Nuutinen, T. Repo, I. s.35)

Visuaalinen ihminen kiinnittää huomiota siihen, miltä asiat näyttävät. Visuaaliselle ihmiselle kokonaiskuvat ovat tärkeitä, ja voi pitkästyä tarkkaan selittämiseen, koska on mielessään jo kartoittanut asiat. Henkilö elehtii usein käsillään paljon, koska hän samalla ikään kuin piirtää esittämänsä asiaa. Kommunikoidessaan hän pitää katsekontaktia toiseen. (Nuutinen, T. Repo, I. s.35)

3.4 Sähkötekniikka visuaaliselle opiskelijalle

Opetustilanteessa visuaalisella ihmisellä tarkkaavaisuus suuntautuu usein siihen miten asiat esitetään, Power Point-esityksenä tai paperimonistein tehty opetustilanne. Opetusmateriaalissa visuaalinen oppija on huomioitu rakentamalla materiaali siten, että opettavasta kytkennästä tai komponentista on selventävä kuva tai kaava.

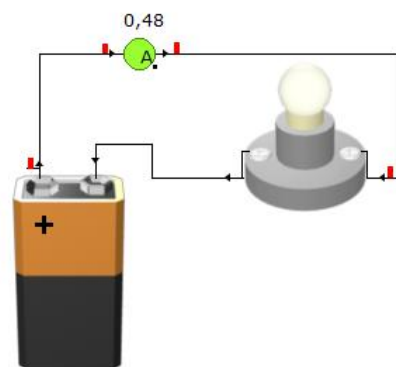
Selitettäessä vaihto- ja tasavirtageneraattorin rakennetta kuva 4, saa visuaalisen miellejärjestelmän omaava henkilö käsityksen siitä, miten esimerkiksi hiiliharjat eroavat generaattoreiden rakenteessa.



Kuva 4. Vaihto- ja tasavirtageneraattorin rakenne (Linsley, T. 2009, s.92-93.)

Lisäksi opetuksessa käytetään kytkentöjen selvittämiseksi Yenka- ohjelmistoa kuva 5, jonka avulla käsiteltävää aihetta voidaan demonstroida ja soveltaa teoretietoa käytäntöön. Yenka- ohjelmalla piirretään kyseinen kytkentä ja todetaan teorian paikkansapitävyys käytännössä.

Samalla oppija saa paremman käsityksen kytkennän toimivuudesta selvien ja tuttujen komponenttien kautta. Esimerkiksi jännitelähteenä käytetään paristoa muistuttavaa symbolia. Tämä on hyvin tärkeä vaihe opetettaessa teoreettista sähkötekniikkaa.



Kuva 5. Virran mittaus yleismittarilla (Jani Saarimaa, 2011.)

Selventävän kuvan avulla monelle oppijalle selviää, mitä teoriaosassa tarkoitetaan. Laboraatio työskentelyssä olen myös huomionnut sen, että jos työn alkaessa selostaa ja näyttää selkeän kuvan kytkennästä, on ollut paljon helpompi saada opiskelijat ymmärtämään, mitä kytkennässä tulee tehdä ja mitä tulee ottaa huomioon. Opetuksessa onkin tärkeää osasta aktivoida opiskelijan mielenkiinto opittavaan asiaan, että haluttu lopputulos toteutuisi.

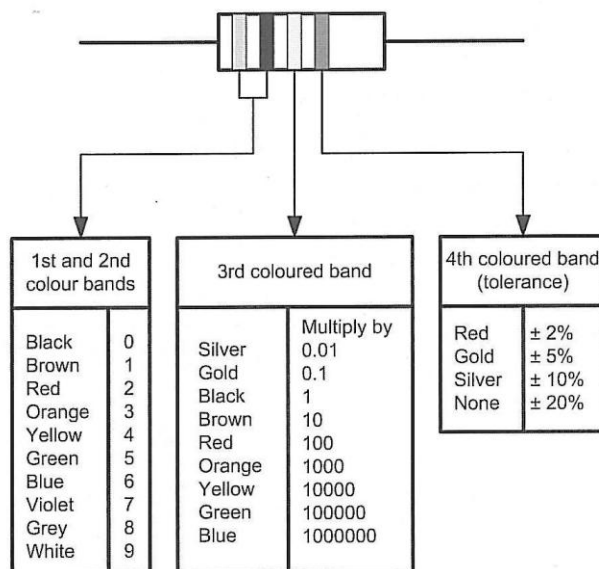
3.5 Kinesteettinen oppiminen

Kinesteettinen ottaa informaation vastaan kehollaan ja käsillään. Kinesteettinen oppija oppii kokeilemalla, koskettamalla ja kokemuksen kautta. Hänelle on tärkeää, miltä jokin asia, esine tuntuu. Esimerkiksi opiskelutilanteessa ja tenttiin lukiessa tämä tarkoittaa, että ympäristön pitäisi tuntua mukavalta. (Nuutinen, T. Repo, I. s.38)

Kinesteettinen oppija hahmottaa ihmisten tarkoitukset ilmeiden, eleiden ja liikkeiden kautta. Kuulijana kinesteettinen on kärsimätön, sillä hän tarvitsee toimintaa. Kuvatesaan asioita kinesteettinen puhuu tekemisestä ja luonnollisesti hän oppii tekemällä. (Nuutinen, T. Repo, I. s.38)

3.6 Sähkötekniikka kinesteettiselle opiskelijalle

Opetusmateriaalissani huomioin kinesteettisen oppijan siten, että jos esimerkiksi käsitellään erilaisten vastusten rakennetta tai vastusten värikoodien merkitystä kuva 6.



Kuva 6. Vastusten värikoodit (Tooley, M. 2007, s.23.)

Ensimmäisenä asiaa käydään läpi selittämällä, miten vastusten värikoodit määräävät resistanssin suuruuden. Sekä millaisia merkintöjä muissa vastuksissa käytetään. Seuraavaksi vastusten värikodeista ja rakenteesta tehdään demonstraatio. Luokkahuoneeseen laitetaan kiertämään erilaisia värikoodattuja vastuksia ja tehovastuksia.

Kierrätettäessä luokkahuoneessa erilaisia vastustyypppejä, niihin voi tutustua koskettelemalla ja tutkimalla niiden rakennetta. Määritellään resistanssi värikoodien perusteella sekä mittaamalla yleismittarilla. Auditiiiviset opiskelijat kuuntelivat asian vastusten värimerkinnöistä, miten resistanssiarvon määrittäminen ja mittaus tapahtuu. Visuaalinen ihminen näkee värikooditaulukon ja kierrätettävien vastuksien värikoodit josta tekee muistikuvan itselleen.



Kuva 7. 1MΩ metallikalvovastus (Jani Saarimaa 2011.)

Kinesteettinen vastaavasti saa kosketella ja tunnustella erilaisia vastuksia esim. Kuva 7 tehdessään erilaisia mittauksia. Koskettelemalla komponenttia kinesteettinen saa tarvittavan informaation. Kinesteettinen oppija tukeutuu oppimistilanteessa tulleisiin kokemuksiin. Puhutut yksityiskohdat eivät kiinnosta kinesteettistä opiskelijaa, vaan muistaa parhaiten mitä toiminnallista opetustilanteessa tehtiin.

Tärkein asia opiskelijan tehokkaassa oppimisessa on oma asenne opittavaan asiaan. Koulussa voidaan opiskella vain arvosanojen vuoksi, kun tästä tulee opiskelun päämottiivi, opiskelijalla ei ole kiinnostusta itse opittavan asian sisältöön ja käyttömahdollisuuksiin. Myönteiset oppimistulokset antavat voimia ponnistella eteenpäin ja voittaa vaikeudet.

4 YHTEENVETO

Opinnäytetyön tarkoituksena oli kehittää englanninkielisten sähköasentajaopiskelijoiden sähkötekniikan yksilöoppimista. Opetusmateriaalissa tähdättiin valmiuteen ohjata erilaisten oppijoiden informaation vastaanottoa tehokkaammaksi.

Työ oli varsin haastava ja monipuolinen ja opetti ainakin tekijälle uusia asioita. Materiaalin työstäminen englanninkielelle, laskukaavojen ja kuvien käsittely oli työläin vaihe. Suurimmaksi osaksi kuvat on omia, mutta osa kuvista on lainattu lähdeaineistona käytetyistä englanninkielisistä kirjamateriaaleista. Lähdeaineistoa on myös käytetty opetusmateriaalin runkona.

Olen testannut materiaalia englanninkielisillä sähköasentajaopiskelijoillani, jotka ovat tällä hetkellä toisen vuosikurssin opiskelijoita. Sanallista palautetta sain materiaalin sisällöstä, tavasta opettaa ja aiheiden loogisesta etenemisestä. Mielestäni saadut palautte-
lokset olivat minulle hyviä ja kannustavia. Siitä olenkin iloinen, että olen opinnäyte-
työssäni onnistunut ja saavuttanut tavoitteen. Palaute oli minulle hyvä, koska nyt voin
ottaa käyttöön oman opetusmateriaalini ja käyttää sitä opetuksen työkaluna. Syksyllä
2012 aloittaa uusi englanninkielinen sähköasentajaryhmä opiskelun Koulutuskeskus Se-
dussa.

LÄHTEET

Erilaiset oppijat ja oppimistyyli. Luettu 4.10.2011.

<http://www.amk.fi/opintojaksot/0409010/1079535826404/1082111537180/1082117025880/1082117068467.html>

Koulutuskeskus Sedun toimintaa ohjaavat arvot. Luettu 5.10.2011.

http://www.sedu.fi/Koulutuskeskus_Sedu/Tietoa_Koulutuskeskus_Sedusta/Sedun_arvot.iw3

Linsley, T. 2009. Electrical Installation Work. Fifth Edition. China: Elsevier.

Nuutinen, T. Repo, I. 2003. Viestintätaito. Keuruu: Otavan kirjapaino Oy.

Oppimisympäristön palaset. Luettu 10.10.2011.

<http://internetix.fi/opinnot/opintojaksot/3yhteiskunta/internet/oppimisy.htm>

Scaddan, B. 2010. Electrical Installation Work. Sixth Edition. Italy: Elsevier.

Sedun organisaatio. Luettu 5.10.2011.

http://intra.epedu.fi/Henkilokunta_Sedu/Organisaatio.iw3

The Centre for Occupational Safety 2009. Occupational Safety in the Shared Workplace. Sixth Edition. Helsinki: Nykypaino Oy.

Tooley, M. 2007. Electronic Circuits Fundamentals and Applications. Third Edition. Netherland: Elsevier.

Watkins, A.J., Kitcher, C. 2009. Electrical Installation Calculations. Seventh Edition. Italy: Elsevier.

World of Earth Science. Bohr Niels. Luettu 20.07.2011.

<http://www.enotes.com/earth-science/bohr-niels>

LIITTEET

LIITE 1: 1 (2)

Kaikille pakollinen tutkinnon osa**Sähkö- ja automaatiotekniikan perusosaaminen 30 ov**

Ammattiin ja koulutukseen perehtyminen (1 ov)

Tietokoneen peruskäyttö, 4 ov

Elektroniikan perusteet, 7 ov

Sähköasennustekniikan perusteet, 10 ov

Sähkötekniikan perusteet, 9 ov

Ammattitaitovaatimukset	<p>Tasasähkötekniikka 4 ov Opiskelija</p> <ul style="list-style-type: none"> • tuntee sähköiset perussuureet ja niiden fysikaaliset perusteet sekä riippuvuussuhteet, kuten Ohmin laki ja Kirchhoffin lait. • osaa virtojen ja jännitteiden mittaukset vastusten sarja-, rinnan- ja sekakytkennöistä • osaa perussuureisiin liittyvät laskutehtävät ja osaa rakentaa laskutehtävien mukaiset kytkennät ja osaa käsitellä suureita fysiikkaan liittyvinä ilmiöinä. • osaa perusmittauksia tehdessään käyttää oikein yleismittaria, pihtivirtamittaria ja jännitteenkoetinta • osaa käyttää virran ja jännitteen mittaamiseen oskilloskooppia tasasähköpiireistä • osaa mittaamalla todeta erilaisten komponenttien kuten vastuksen, kelan, kondensaattorin, diodin ja sähköparin, vaikutus tasasähköpiiriin toimintaan • osaa laatia peruskytkentöihin liittyviä virtapiirikaavioita käyttäen standardien mukaista esitystapaa. <p>Vaihtosähkötekniikka 5 ov Opiskelija</p> <ul style="list-style-type: none"> • osaa perussuureisiin liittyvät laskutehtävät ja osaa rakentaa laskutehtävien mukaiset kytkennät ja osaa käsitellä suureita fysiikkaan liittyvinä ilmiöinä. • osaa perusmittauksia tehdessään käyttää oikein yleismittaria, pihtivirtamittaria ja jännitteenkoetinta • osaa käyttää virran ja jännitteen mittaamiseen oskilloskooppia vaihtosähköpiireistä • osaa mittaamalla todeta erilaisten komponenttien kuten vastuksen, kelan, kondensaattorin, diodin ja sähköparin, vaikutus vaihtosähköpiiriin toimintaan • osaa esittää magnetismin osuuden sähkölaitteiden, kuten generaattorin, moottorin, releen ja muuntajan, toimintaan • osaa laatia peruskytkentöihin liittyviä virtapiirikaavioita käyttäen standardien mukaista esitystapaa. • osaa määrittää jännitteen, virran ja vaihesiirtokulman mittaustuloksiin perustuen 1- ja 3-vaiheisten piirien ottaman sähkötehon.
Arvioinnin kohteet	<p>Työprosessien hallinta</p> <ul style="list-style-type: none"> • Oman työn suunnittelu ja suunnitelmien tekeminen • Työn kokonaisuuden hallinta • Taloudellinen ja laadukas toiminta

(Jatkuu)

	<p>Työmenetelmien, -välineiden ja materiaalien hallinta Työvälineiden hallinta Työn perustana olevan tiedon hallinta Elinikäisen oppimisen avaintaidot</p> <ul style="list-style-type: none"> ● Terveyden, turvallisuuden ja toimintakyvyn huomioon ottaminen ● Oppiminen ja ongelmanratkaisu ● Vuorovaikutus ja yhteistyö
Arviointi	Perustutkinnon perusteiden mukaisesti, s. 27 - 29
Ammattitaidon osoittamistavat	<p>Perustutkinnon perusteiden mukaisesti Opiskelija osoittaa ammattitaitonsa tekemällä sähkö- ja automaatioasennustekniikan perustöitä. Työtä tehdään siinä laajuudessa, että ammattitaidon voidaan todeta vastaavan ammattitaitovaatimuksia. Ammattiosaamisen näytöllä arvioidaan vähintään</p> <ul style="list-style-type: none"> • työprosessin hallinta siltä osin kuin se liittyy perussähköasennusten tekemiseen ja niihin liittyvien piirustusten lukemiseen. • työmenetelmien, -välineiden ja materiaalien hallintaa siltä osin kuin se liittyy perussähköasennusten tekemiseen ja niihin liittyvien piirustusten lukemiseen. • työn perustana olevan tiedon hallinta • elinikäisen oppimisen avaintaidoista terveyden, turvallisuuden ja toimintakyvyn huomioon ottaminen sekä ammattietiikka <p>Siltä osin kuin tutkinnon osassa vaadittavaa ammattitaitoa ei voida ammattiosaamisen näytössä tai tutkintosuorituksessa osoittaa, sitä täydennetään muulla osaamisen arvioinnilla, kuten haastattelujen, tehtävien ja muiden luotettavien menetelmien avulla.</p> <p>Osaamisen tunnustamisessa Tieto- ja tietoliikennetekniikan perustutkinnon Elektroniikan ja ICT:n perustehtävät 30 ov korvaa Sähkö- ja automaatiotekniikan perustutkinnon Sähkö- ja automaatiotekniikan perusteet 30 ov tutkinnon osan.</p> <ul style="list-style-type: none"> ● Laskuharjoitukset ● Tentti ● Mittausharjoitukset
Oppimisympäristöt ja -menetelmät	<ul style="list-style-type: none"> ● Luennot ● Mittausharjoitukset ● Harjoitustehtävät
Oppimateriaali	<ul style="list-style-type: none"> ● Oppikirja ● Oppikirjaan liittyvä työkirja ● Mittausharjoitusluekset tehtävineen
Ohjaukselliset toimenpiteet	<ul style="list-style-type: none"> ● Opettaja esittelee tutkinnon osan vaatimukset ja tavoitteet
Opintojen ajoittuminen	<ul style="list-style-type: none"> ● 1. vuosi

BASIC

Electrical engineering

Learn to easy way



Jani Saarimaa

(jatkuu)

Electrical engineering

Jani Saarimaa

1st edition

Cover picture and layout: Jani Saarimaa 2011

FORWARD

LIITE 2: 3 (60)

This teaching handout is intended principally for studies at school. Its clear and simple presentation and demonstrative diagrams also make it suitable for independent study. The handout has been created based on hands on learning situations that introduce the basic phenomena and scientific laws of electrical engineering.

Jani Saarimaa

2011

CONTENTS	PAGE
	24
	LIITE 2: 4 (60)
FORWARD	3
1 OCCUPATIONAL SAFETY	6
1.1 Safety- my Concern	6
1.2 Tools	6
1.3 What to do in Case of an Emergency	6
1.4 Emergency Call	7
2 THE ESSENCE OF ELECTRICITY	8
2.1 Units	8
2.2 Atom structure	9
2.3 Atom electrical charge	10
3 ELECTRICITY GENERATION	14
3.1 Generator produced electricity	14
3.2 Battery and solar cell	15
4 ELECTRIC QUANTITY MEASUREMENT	16
4.1 Multimeter	16
4.2 Voltage measurement	17
4.3 Electric current measurement	18
4.4 Resistance measurement	19
5 OHM'S LAW	20
5.1 Memory triangle	20
5.2 Resistivity	22
5.3 Resistance changes of coefficient	25
5.4 Resistor markings	27
6 SERIES CONNECTION	29
6.1 Voltage divided in series connections	29
6.2 Voltage distribution in resistor series connection	30
6.3 Series connection current	32
6.4 Series connection resistance	32

7 PARALLEL CONNECTION	34
7.1 Parallel connection voltage	34
7.2 Distribution of currents in parallel connection	35
7.3 Parallel connection total resistance	37
8 SERIES AND PARALLEL COMBINATIONS	38
8.1 Voltage distribution	38
8.2 Potentiometer voltage division	40
9 ELECTRIC QUANTITY OF VOLTAGE SOURCES	41
9.1 Battery source	41
9.2 Voltage sources in series connections	42
9.3 Load capacity of series connections	43
9.4 The connection direction effect of electricity sources	44
9.5 Parallel connection of voltage sources	45
10 ALTERNATING CURRENT	47
10.1 The single-phase alternating current waveform	47
10.2 Periodic time	47
10.3 Average and rms values of the waveform	48
10.4 Electric power	49
10.5 Transformer	50
11 ALTERNATING CURRENT CIRCUIT CALCULATIONS	52
11.1 Reactance	52
11.2 Inductive reactance	53
11.3 Capacitive reactance	54
11.4 Impedance	55
11.5 Power supplies	57
SOURCES	59

1. OCCUPATIONAL SAFETY

1.1 Safety- my Concern

LIITE 2: 6 (60)

Everyone has the right and obligation to work safely. One should know the hazards in his work, workplace, and how to protect one. Also the hazards to machinery, equipment and work environment should be considered. Everyone must obey the safety instructions in the workplace. (The Centre for Occupational Safety 2009, 10.)

1.2 Tools

Keep your work area tidy and clean it on a daily basis and after each task. Wind cables and hoses on reels and switch off machines. Required personal protective equipment must be used. Check that the tool is intact, checked, clean, and suits the intended purpose. Only use tools for their intended purpose and under intended conditions. Prevent the use of faulty device, write down the defect and take the device to be serviced. Make sure that all the electrical equipment as well as all cables and sockets are intact and job-specific. (The Centre for Occupational Safety 2009, 18.)

1.3 What to do in Case of an Emergency

1. Find out the need for first aid.
 - Assess the situation quickly.
 - Immediate action is required when the heart or respiration has stopped or if there is heavy bleeding.
2. Make an emergency call in accordance with the site-specific instructions.
3. Administer initial first aid.
4. Call for additional help and delegate duties.
5. Ensure sufficient guidance.
 - Guide help to the patient- not the patient to the help.

(The Centre for Occupational Safety 2009, 40.)

1.4 Emergency Call

LIITE 2: 7 (60)

1. Stay calm and explain what has happened. Was it an accident or an acute illness?
What is the number of the injured?

2. What is the accident location?

3. Are there people in danger?

4. Try to answer all question clearly and logically.

Do not hang up the phone until you are given the permission to do so. Keep the phone line free, so that The Emergency Calling Centre can get hold of you if they need additional information.

5. Guide the emergency staff to the accident site.

6. Inform the supervisor and the gate staff.

(The Centre for Occupational Safety 2009, 43.)

2.1 Units

LIITE 2: 8 (60)

A unit is what we use to indicate the measurement of a quantity. In order to ensure that we all have a common standard, an international system of units exist known as the SI system.

Table 1. Basic units (A.J.Watkins 2009, 5.)

Base quantity	Base unit	Symbol
Time	Second	s
Electrical current	Ampere	A
Length	Metre	m
Mass	Kilogram	kg
Temperature	Kelvin	K
Luminous intensity	Candela	cd
Amount of substance	Mole	mol

Table 2. SI-derived units (A.J.Watkins 2009, 5.)

Frequency	Hertz	Hz
Electric charge	Coulomb	C
Power	Watt	W
Potential difference	Volt	V or U
Capacitance	Farad	F
Electrical resistance	Ohm	Ω
Inductance	Henry	H
Area	Square metre	m^2

Table 3. SI-Unit prefixes (A.J.Watkins 2009, 6.)

Name	Multiplier	Prefix	Power of 10
Tera	1000 000 000 000	T	1×10^{12}
Giga	1000 000 000	G	1×10^9
Mega	1000 000	M	1×10^6
Kilo	1000	k	1×10^3
Unit	1		
Milli	0,001	m	1×10^{-3}
Micro	0,000 001	μ	1×10^{-6}
Nano	0,000 000 001	η	1×10^{-9}
Pico	0,000 000 000 001	ρ	1×10^{-12}

Current knowledge about atom structure was discovered by researchers in the early 1900s. The atom model developed by Danish physicist Niels Bohr can explain most physical and chemical phenomena. (<http://www.enotes.com/earth-science/bohr-niels>)

Electrons circulate the core at great speed, forming an electron sheath around it. Electrons do not circulate the core at the same distances. In each electron trajectory there is only space for a certain amount of electrons. The innermost trajectory that is closest to the core, only has space for 2 electrons, the next 8 electrons and the one after that 18 electrons and so on. The simplest structure is the hydrogen atom (figure 1), which only has one electron and one proton. (Brian Scaddan 2010, 19.)

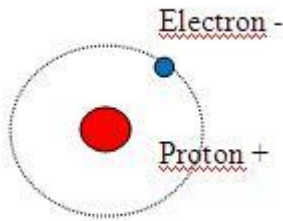


Figure 1. The hydrogen atom (Brian Scaddan 2010, 19.)

The atomic structure of each element is different. The amount of protons, neutrons and electrons vary. The difference in atom structures also affects the ability of different elements to conduct electricity. The electrons on the trajectory furthest out are called valence electrons. Eight is the maximum number of them. If the outermost ring is full, the element is not chemically active and it does not conduct electricity. (Brian Scaddan 2010, 19.)

An element's electrical conductivity is at its most significant when it has one or seven electrons in its furthest out trajectory. This is because when the outer trajectory has one electron, it gives up the so called free electron and when the outer trajectory has seven electrons it completes its atom number easily at eight. Atoms take the lacking electrons from other atoms. The electrons movement between the atoms is called electric current. (Brian Scaddan 2010, 20.)

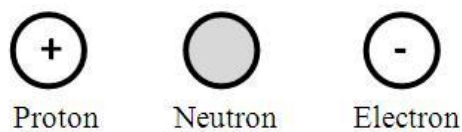


Figure 2. Atom particle charges and names (Jani Saarimaa 2011)

The proton particles of an atom have a positive elementary charge, electrons have an equal sized negative charge. Neutrons are electrically neutral. The charges affect each other so that there is an equal attraction and repulsion force between the charges (figure 2). (Brian Scaddan 2010, 17.)

An individual atom is free from electricity in its environment. The number of protons a nucleus has is the same as the number of electrons that circulate the same core, in this way the positive charge is just as great as the electrons negative charge.

Electrons that are removed or added to an atom are said to be ionisable. In this way the positive and negative charges are no longer balanced, but an atom is outwardly either positively or negatively charged. If an electron is removed from an atom, its positive and negative charges do not cancel out each other and the atom has an affect of being outwardly positively charged. Such atoms are called positive ions. (Brian Scaddan 2010, 20.)

In electro technology elements are divided into three groups by their ability to conduct electricity (figure 3) conductors, semi-conductors and insulators. The name applies to the possible ability to conduct electricity well. This depends on the atomic structure, how easily free electrons can be created. (Brian Scaddan 2010, 21.)

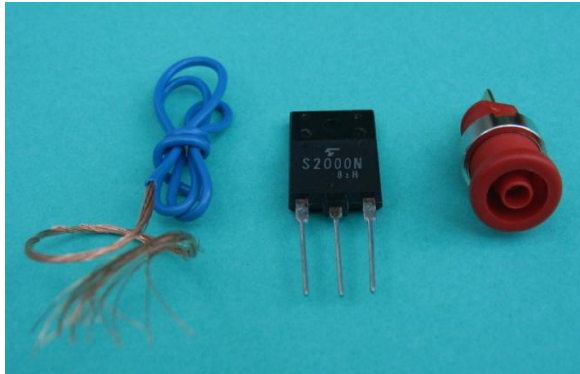


Figure 3. The electrical conductivity of different elements (Jani Saarimaa 2011)

Most metals are good conductors. The most common used electric conductors are copper and aluminium. As well as metals, carbon is also a conductor. It is used as resistance material in electric circuits, and in the carbon brush of rotating engines. Tin is used in electro technology connections.

Semi-conductors are worse than conductors at conducting electricity. Silicon is used as a raw material in electro technology components, for example in making diodes, transistors and integrated circuits. Semi-conductor elements convey much less electrical charge than conductors.

An insulators task is to as efficiently as possible prevent electric current from travelling. In insulator elements the electrons are tight within their atom. That is why it is difficult to create free electrons therefore electric current can not travel through the element. Typical insulators are plastic, rubber, glass, porcelain, oil and air. (Brian Scaddan 2010, 21.)

Electron movement in conductors produces electron current, which is called electric current. The direction of electric current is from the positive pole to the negative pole (figure 4). The outermost electrons in metal atoms are released very easily to form free electrons, or in other words conductor electrons. These do not belong firmly to any atom, but travel easily from atom to atom. In this way electric current is solely formed of free conductor electrons. (Brian Scaddan 2010, 20.)

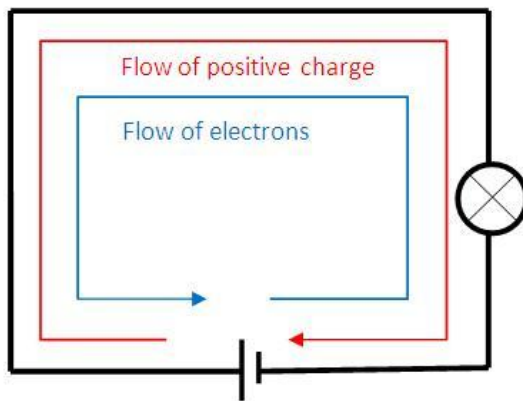


Figure 4. Direction of electric and electron currents (Jani Saarimaa 2011)

Positive and negative ions travel as electricity in liquids. In liquids electric current is formed of either positive or negative ion current. Liquids and gasses are worse electrical conductors than metals, because the ions move more awkwardly ionised atoms and molecules than free electrons.

Electric current through a conductor is defined as, as a specific time based on the electrical charge. The variable symbol is Q and the unit Coulomb Ah (ampere hour).

$$I = \frac{\text{charge}}{\text{time}} \quad \text{or} \quad I = \frac{Q}{t}$$

The capacity of a battery and accumulator depends on the size of the load current and the temperature of the environment. The smaller the current a battery or accumulator loads, the greater the amount of electricity that can be obtained from it.

Example 1

A battery with a capacity of 6.5 Ah / 20 h expresses that in a 20 hour discharge time 6.5 Ah of electricity can be obtained from the battery.

Lets calculate the average discharge current

$$I = \frac{Q}{t} = \frac{6,5Ah}{20h} = 0,325A$$

Example 2

The capacity of an alkaline battery is 100 mAh. Lets calculate the amount of electricity in a 5 hour discharge time.

$$I = \frac{Q}{t} = \frac{100mAh}{5h} = 20mA$$

The variable symbol for electric current is I and its unit is the ampere. The symbol for ampere is A.

3 ELECTRICITY GENERATION

Electric energy is not a real energy source, rather it is an energy form, through which the energy of falling water, fuels, wind and the sun is transferred for electrical usage.

3.1 Generator produced electricity

When a simple wire is rotated between the poles of a permanent magnet, as shown (figure 5), the loop of the wire will cut the lines of magnetic flux between the magnetic poles of north and south it produces a voltage. Voltage is also formed when the wire loop remain in position, but the magnet rotates. (Trevor Linsley 2009, 91.)

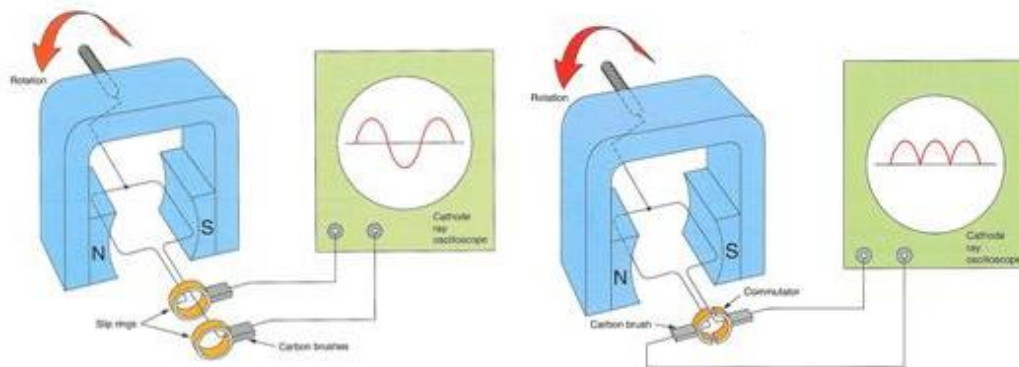


Figure 5. The fundamental structure of an electric AC and DC-generator (Trevor Linsley 2009, 92-93.)

A condition for the production of voltage is that the wire loop and magnet poles move with respect to each other. If the split rings are replaced by a single split ring. The action of the commutator is to reverse the generated emf every half-cycle. Emf is when a conductor cuts a magnetic field, an emf is induced in that conductor. Rotating the wire loop requires energy from dammed water in a hydroelectric power station, from wind and in thermal power stations from peat, oil and nuclear fuel etc. (Trevor Linsley 2009, 92.)

3.2 Battery and solar cell

In a battery chemical energy changes to electric energy. For example, a dry cell (figure 6) produces about 1.5V voltage between zinc and carbon, and a nickel – cadmium re-searched cell produces 1.2V voltage. A dry-cell battery is essentially comprised of a metal electrode or graphite rod elemental carbon surrounded by a moist electrolyte paste enclosed in a metal cylinder. (Brian Scaddan 2010, 172.)

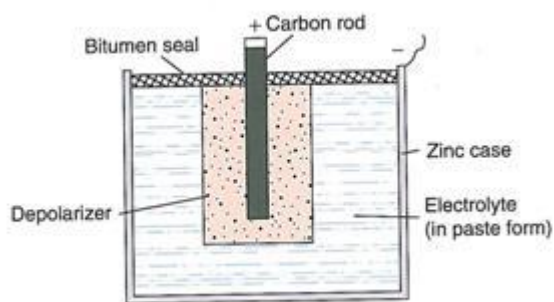


Figure 6. Dry cell (Brian Scaddan 2010, 168.)

The radiant energy of the sun is converted into electricity in semi-conductor cells, which are made of silicon and germanium. Light striking the solar cell (figure 7) ionises the semi-conductors and produces a small voltage between the p- and n- coefficients.

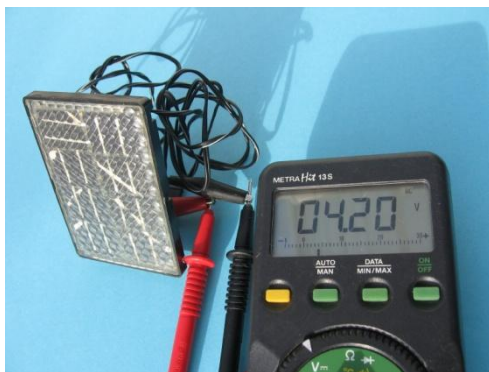


Figure 7. Solar cell (Jani Saarimaa 2011)

Solar cells are used as a source of electricity in calculators and satellites. Solar cells, with a surface area of hundreds of square metres, are also used as small electric power stations.

4 ELECTRIC QUANTITY MEASUREMENT

4.1 Multimeter

A multimeter is a device that enables the measurement of all the fundamental quantities of electro electricity, in other words, current, voltage and resistance values as well as other extra measurements depending on the type of meter being used.

Multimeters can be divided, on the basis of their structure, into analogue and digital meters (figure 8). Their visual difference is the screen, analogue meters have a pointer screen and digital meters have a number screen. In practice analogue meters are used very rarely, only if it is more representative than in digital, such as in transient value measurement.



Figure 8. An analogue and digital multimeter (Jani Saarimaa 2011)

The advantages of digital multimeters are their ease of use, reliability, results legibility and the small size of the meter. Digital meters use semiconductor technology to give the instrument very high-input impedance, typically about $10\text{ M}\Omega$ and, therefore, they are ideal for testing most electrical or electronics circuits. (Michael Tooley 2007, 247.)

4.2 Voltage measurement

Voltage is measured by a voltmeter. The indicator symbol is the letter V in a circle. A voltmeter is connected in parallel to the device, of which it is desired to measure the voltage influence between the connection.

A voltmeter is connected in parallel to the battery (figure 9) so that its polarity is contra to the polarity of the supply voltage, in other words the red cable of the voltmeter is connected to the positive supply voltage and the black cable to the negative. With the polarity being wrong, the needle on an analogue meter shows the wrong direction, and similarly the number in a digital meter is preceded by a – sign.

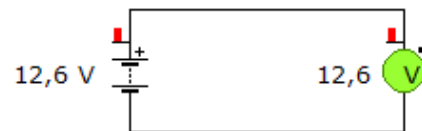


Figure 9. Connections and electric circuit diagram for battery voltage measurement (Jani Saarimaa 2011)

When measuring alternating voltage the selector switch of the meter must be on AC measuring range.

4.3 Electric current measurement

Electric current is measured by an ampere meter (figure 10). The symbol for the meter is the letter A in a circle. The meter is connected to a lamp in a series so that the current travelling in the electric circuit goes to the meter's A-terminal and leaves from the COM-terminal onwards to the lamp. The other terminal of the lamp is connected to the negative-terminal of the electric source. The lamp then gets the plus through the A-meter and minus directly from the electric source.

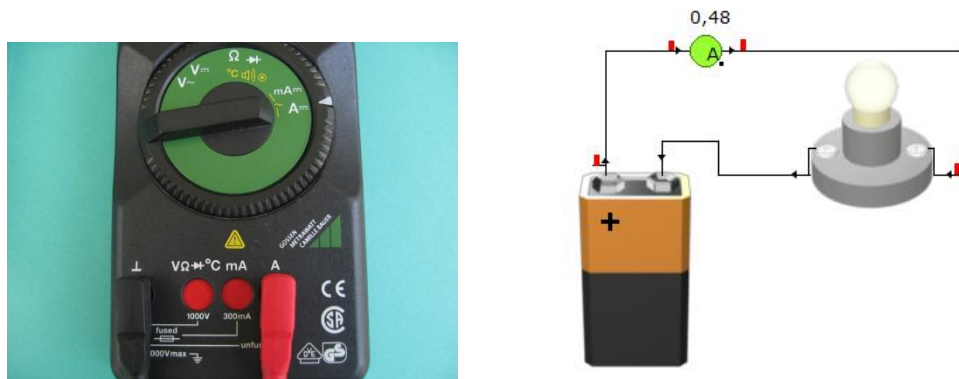


Figure 10. The meter's selector switch and ammeter connection (Jani Saarimaa 2011)

Alternating current is measured in the same way as direct current. When measuring, it must be remembered, that the selector switch of the meter is on the AC-measuring range.

Electric current can also be measured by a clamp meter from the end of an electric circuit's cable (figure 11). In this way the electric circuit does not need to be broken to measure the current. Clamp meters can measure both direct and alternating current.



Figure 11. A clamp meter (Jani Saarimaa 2011)

4.4 Resistance measurement

Resistance can be measured by a multimeter or by different ohmmeters. When measuring voltage and current the multimeter is connected to the electric circuit, but in measuring resistance the electric circuit must be free of electricity. When measuring resistance the necessary current is supplied by the battery of the meter.



Figure 12. Variable resistance measurement (Jani Saarimaa 2011)

The (figure 12) shows resistance measurement by a digital multimeter. When measuring resistance, the cables of the meter are connected to the V/ Ω terminal and the COM-terminal. The variable symbol for resistance is R and its unit of measurement is ohms. Ohms are abbreviated by using the Ω character.

Table 4. Diagram symbols of a meter (Jani Saarimaa 2011)

Voltmeter		Voltage U
Ammeter		Current I
Ohmmeter		Resistance R

5 OHM'S LAW

5.1 Memory triangle

In the 1820s German, Georg Simon Ohm researched how electric circuits can be considered mathematically. His most important discovery concerned the relationship between the voltage, current and resistance of an electric circuit. This relationship is now known as Ohm's law. The triangle shown in (figure 14) should help you remember these three important relationships. (Trevor Linsley 2009, 82.)

$$U = I \times R, I = \frac{U}{R} \text{ and } R = \frac{U}{I}$$

$$\frac{U}{I * R}$$

By using Ohm's law we can determine the resistance connected to direct and alternating voltage, and the current, voltage and resistance of a light bulb.



Figure 14. Memory triangle showing the relationship between U, I and R (Jani Saarimaa 2011)

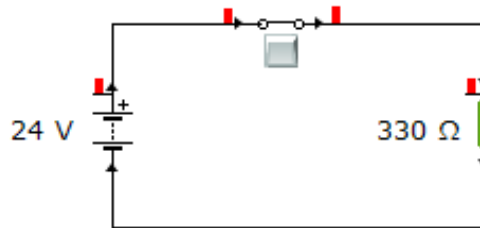
Example 3

When we know the supply voltage, we can calculate a 330 Ω current travelling through the resistor

Solution

$$I = \frac{U}{R} = \frac{24,0V}{330\Omega}$$

$$I = 0,072 \text{ A} = 72 \text{ mA}$$

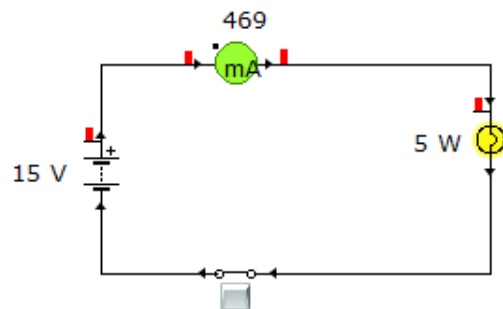
**Example 4**

What is the resistance of an electric lamp filament, if it draws a current of 0,469 A from a 15 V supply?

Solution

$$R = \frac{U}{I} = \frac{15,0V}{0,469 \text{ A}}$$

$$R = 32 \Omega$$

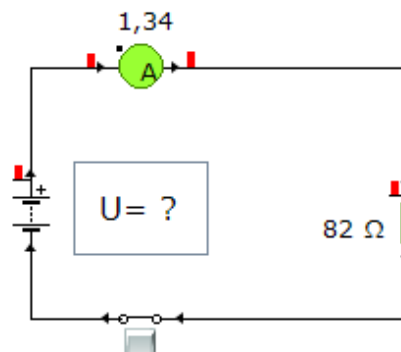
**Example 5**

What voltage would be required a current of 1,34 A to flow through a resistance of 82 Ω ?

Solution

$$U = 1,34A \times 82\Omega$$

$$U = 110 \text{ V}$$



5.2 Resistivity

To compare the electrical conductivity of different elements we use a variable named resistivity. Resistivity expresses how great the resistance is in a fixed sized piece.

Resistivity expresses in ohms the resistance of a 1 meter long cable with a square millimetre cross section.

The variable symbol for resistivity is the Greek letter ρ unit, Ω / m . This means that we can now determine the resistance of a sample of material of any dimension. Let us suppose that we have 1 mm cube of material of resistivity, say 1Ω (figure 15). If we double the length of that sample, leaving the face area the same, the resistance now measured would be 2Ω . (Brian Scaddan 2010, 22.)

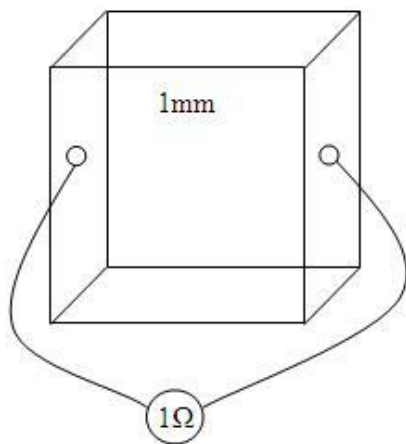


Figure 15. Resistivity of a unit cube (Jani Saarimaa 2011)

The resistivity of tin wire is $0,11 \Omega \text{ mm}^2/\text{m}$, (table 2) in other words the resistance of a 1 meter long tin wire with a millimetre cross section is $0,11 \Omega$.

When the length of a wire is increased then the resistance of the wire grows in the same proportion, in other words resistance is directly proportional to the length of wire.

The smaller the resistivity value of an element, the better electrical conductor it is (table 5).

The resistance, R , of a conductor is thus given by the formula:

Where R is the resistance, ρ is the resistivity, l is the length, and A is the area

$$R = \frac{\rho \cdot l}{A}$$

Table 5. Resistivity and coefficient values at +20 °C (Modified Michael Tooley 2007, 8.)

Material	ρ resistivity [$\Omega \cdot m$] at 20 °C	α temperature coefficient [$\Omega/\Omega/^\circ C$]
Silver	0,016	0,0038
Copper	0,0175	0,0039
Gold	0,022	0,0040
Aluminium	0,028	0,0036
Zinc	0,060	0,0042
Brass	0,070	0,0015
Iron	0,10	0,0050
Platinum	0,106	0,0040
Tin	0,11	0,0046
Lead	0,208	0,0040
Manganin	0,43	0,00001
Constantan	0,50	0,00003
Nichrome	1,10	0,0001
Carbon	67	-0,00045

Example 6

The primary side coil of a supply transformer is made of copper wire with a $0,35 \text{ mm}^2$ cross section. The copper wire measures 120 m long in the coil. Lets calculate the resistance of the coil.

Solution:

$$R = \frac{\rho \cdot l}{A} \quad R = 6,0 \quad \Omega \quad R = \frac{0,0175 \Omega \cdot \text{mm}^2 \cdot 120 \text{ m}}{0,35 \text{ mm}^2}$$

Example 7

A direct current relay has a resistance of 320 Ω . Calculate how many meters the coil needs of 0,20 mm diameter copper wire.

Solution:

$$l = \frac{R \cdot A}{\rho} = \frac{320 \Omega \cdot 0,0314 \text{ mm}^2 \cdot \text{m}}{0,0175 \Omega \cdot \text{mm}} \quad \begin{aligned} A &= \pi \cdot r^2 \\ A &= \pi \cdot (0,10 \text{ mm})^2 \\ A &= 0,0314 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$l = 574 \text{ m}$$

Example 8

Calculate the resistivity of aluminium if a 100 m length of conductor of 4 mm^2 has a measured resistance of 0,70 Ω .

Solution:

$$\rho = \frac{R \cdot A}{l} = \frac{0,70 \Omega \cdot 4 \text{ mm}^2 \cdot \text{m}}{100 \text{ m}}$$

$$l = 0,028$$

5.3 Resistance changes of coefficient

Atoms grow as the temperature increases, causing their atoms to increase their vibration and release more electrons, the so said free electrons. As the vibration of the atoms increase the electrons have less space to move, causing electrons to bump into atoms. The element does not conduct electricity so well, so resistance grows.

Temperature change affects resistance of alloys less than metal conductivity resistance. Resistance temperature coefficients express the multiple resistance change from the original resistance, if the temperature changes by one degree Celsius.

For a change in temperature between any two values, the formula is: (Brian Scaddan 2010, 25.)

ΔR is the final resistance , R_a is the resistance, α is the temperature coefficient and Δt is the change in temperature.

$$\Delta R = R_a \cdot \alpha \cdot \Delta t$$

Example 9

The copper coil of an electric motor (figure 16) was 2.4Ω at room temperature of $+20^\circ\text{C}$. Lets calculate the resistance at $+80^\circ\text{C}$.

Lets first calculate the change in resistance

$$\begin{aligned} \Delta R &= R_a \cdot \alpha \cdot \Delta t \\ &= 2,4\Omega \cdot 0,0039 \cdot 60^\circ\text{C} \\ \Delta R &= 0,56\Omega \end{aligned}$$



Figure 16. Electric motor (Jani Saarimaa 2011)

When the temperature of the coil grows, then the amount of resistance from the coil also grows. The coils resistance at +80°C is

$$R = R_a + \Delta R$$

$$R = 2,4\Omega + 0,56\Omega = 2,96\Omega$$

Example 10

The resistance of carbon film (figure 17) at a temperature of 20 °C is 1MΩ. How great is the resistance at a temperature of 60 °C

Lets calculate the resistance change

$$\Delta R = R_a \cdot \alpha \cdot \Delta t$$

$$= 1M\Omega \cdot (-0,00045) \cdot 40^\circ C = -18000\Omega$$

Final resistance

$$R = R_a \cdot \Delta R$$

$$= 1M\Omega - 18000\Omega$$

$$R = 0,982M\Omega$$



Figure 17. 1MΩ Carbon resistor (Jani Saarimaa 2011)

5.4 Resistor markings

Carbon and metal oxide resistors are marked with colour codes which indicate their value and tolerance. Two methods of color coding are in use, four and five coloured bands, see (figure 18). (Michael Tooley 2007, 23.)

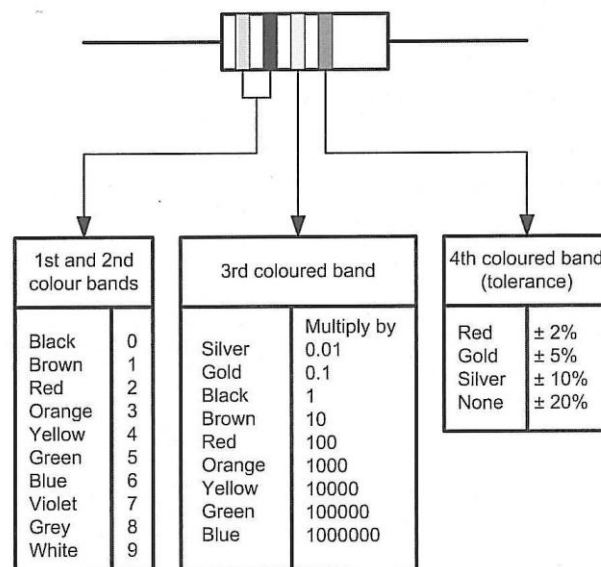


Figure 18. Four band resistor colour code (Michael Tooley 2007, 23.)

Some power resistors (figure 19) value is printed on the frame. This system involves marking the position of the decimal point with letter to indicate the multiplier.

Example 11

A power resistors is marked with the following:

$$R22 = 0,22 \Omega$$

$$4R7 = 4,7 \Omega$$

$$820R = 820 \Omega$$

$$1K2 = 1,2 \text{ K } \Omega$$

$$330K = 330 \text{ K } \Omega$$



Figure 19. Power resistor 560Ω 5W (Jani Saarimaa 2011)

Example 12

A resistor is marked with the following coloured stripes see (figure 20): Red, violet, orange, gold. To calculate a resistor's value and tolerance, find the tolerance band, it will normally be gold (5%). Start from the other end, and identify the first and second bands and write these numbers down. Read the third multiply band and write down that as the number of zeros. Pull all the numbers together.

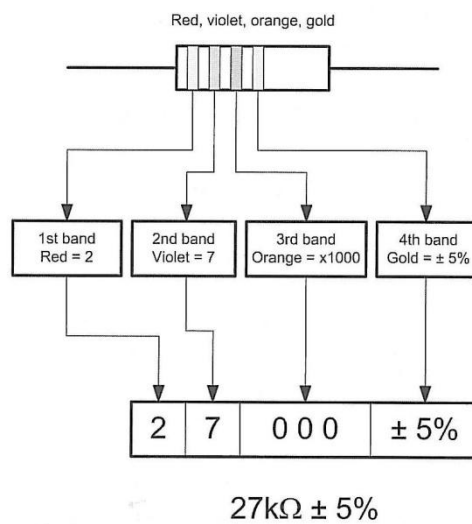


Figure 20. Four band resistor (Michael Tooley 2007, 24.)

6 SERIES CONNECTION

6.1 Voltage divided in series connections

In a series connection devices are connected, according to the name, in a series to each other. As we remember when electric current is measured the ampere meter is always connected in a series to the device of which it is desired to measure the current traveling through.

If one device is removed from a series connection the electric circuit is broken. If one candle lamp is removed then the other lamps will not work. The same happens if one lamp breaks.

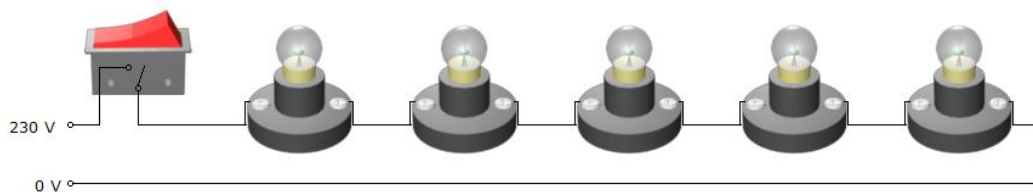


Figure 21. Candle lamp series connection and electric circuit diagram (Jani Saarimaa 2011)

The 230V supply voltage flowing through the candelabra is equally divided to each lamp (figure 21). In series connection the supply voltage is the sum of circuit's voltages.

Sum of the lamp's voltage $5 \times 46 \text{ V} = \text{supply voltage } 230 \text{ V}$.

If in the candelabra the power of one lamp is 3 W, then the power that the candelabra takes from the electric network is $5 \times 3\text{W} = 15 \text{ W}$.

An ampere meters measures the candle series by taking the value of the current. The same current travels through every part of the electric circuit.

Each of the candle lamps on candelabra in a closed electric circuit affect 46 V voltage. If the electric circuit is opened by by-passing one lamp, then at the place of the removed lamp the supply voltage is 230 V.

Once the lamp has been removed (figure 22) the electric circuit is closed through the V-meter. As the resistance of the V-meter is mega ohms once it is connected, to the electric circuit, the current does not flow, and the lamps do not shine.

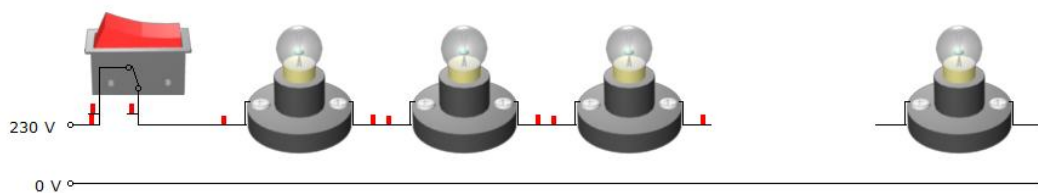


Figure 22. Open electric circuit (Jani Saarimaa 2011)

The left of the point where the circuit is broken is phase (L) and the right is null (N), so at the point where the circuit is broken the supply voltage is 230V.

6.2 Voltage distribution in resistor series connection

Lets connect three resistors R_1 , R_2 and R_3 in a series and measure how they affect the voltages U_1 , U_2 and U_3 (figure 23).

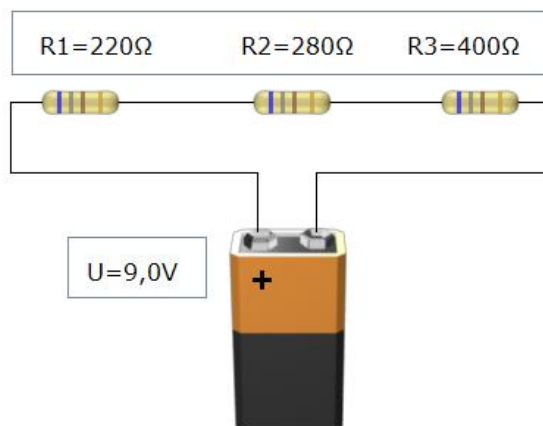


Figure 23. Voltage distribution in resistance coupling. (Jani Saarimaa 2011)

The voltage fed to the electric circuit is 9.0 V.

We remember from Ohm's law how current is calculated. $I = \frac{U}{R}$

$$I = \frac{9,0V}{900\Omega} = 0,010A = 10mA$$

Next calculated U1, U2 and U3

$$U1 = 0,01A \times 220\Omega = 2,2V$$

$$U2 = 0,01A \times 280\Omega = 2,8V$$

$$U3 = 0,01A \times 400\Omega = 4,0V$$

We can observe from the results that the 9.0 supply voltage is distributed over the resistors in $2,2V + 2,8V + 4,0V = 9,0V$

It is expressed in variable symbols as $U = U1 + U2 + U3$

In a series connection the sum of voltage parts of the outer electric circuit are always as great as the supply voltage.

We can observe in a series connection, that the resistance values of resistors and the affect of resistors on voltage are, the greater the resistance of the resistors, then the greater the voltage it affects.

6.3 Series connection current

We remember from Ohm's law how current is calculated. $I = \frac{U}{R}$

Lets calculate the current of each resistor in a circuit model (figure 23).

$$I_1 = \frac{U_1}{R_1} = \frac{2,2V}{220\Omega} = 0,010A = 10 \text{ mA}$$

$$I_2 = \frac{U_2}{R_2} = \frac{2,8V}{280\Omega} = 0,010A = 10 \text{ mA}$$

$$I_3 = \frac{U_3}{R_3} = \frac{4,0V}{400\Omega} = 0,010A = 10 \text{ mA}$$

From the calculated results we can state that the same current flows through each part of the series electric circuit.

6.4 Series connection resistance

The total resistance of a series connection is as great as the sum of resistance parts (figure 24).

$$R = R_1 + R_2 + R_3$$

$$R = 220 \Omega + 280 \Omega + 400 \Omega$$

$$R = 900 \Omega$$

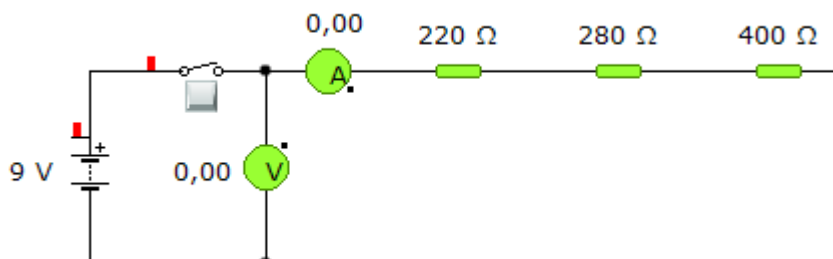


Figure 24. The total resistance of an outer electric circuit (Jani Saarimaa 2011)

Example 13

It is desired to connect, to a scooter, a light emitting diode (LED) as an indicator lamp in place of a filament lamp (figure 25). The nominal voltage of LED is 2.1 V and the nominal current is 20 mA. How big bias resistor should be connected to the LED so that connection can be made to the 9,0 V voltage supply.

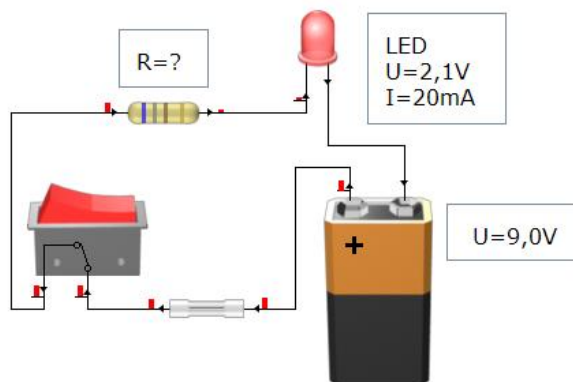


Figure 25. LED-connection (Jani Saarimaa 2011)

In order to calculate the resistance of the bias resistor the current flowing through it and the affect on voltage must be known. We know the current, but we do not know the voltage. We can get it from the part voltage of the other series connection, when we subtract the known part voltage U_{Led} from the total voltage U .

$$U_R = U - U_{\text{Led}} = 9,0 \text{ V} - 2,1 \text{ V} = 6,90 \text{ V}$$

So the bias resistor must lower the voltage by 6,90 V.

$$R = \frac{U_R}{I} = \frac{6,90 \text{ V}}{20 \text{ mA}} = 345 \Omega$$

After this we can calculate the thermal power created in the bias resistor.

$$P = U \times I$$

$$P = 6,9 \text{ V} \times 20 \text{ mA} = 138 \text{ mW} = 0,14 \text{ W}$$

Under the circumstances the most common resistor used in the connection in question would be a 0.25W power handling capacity resistor.

7 PARALLEL CONNECTION

7.1 Parallel connection voltage

A candle series is an example of series connection, because the lamps are connected in a series, and if the electric circuit is broken then all of the lights are extinguished.

In home lighting, where there are many lamps, the removal of one lamp, or when it runs out (figure 26), does not effect the operation of the other lamps, because the lamps are connected in parallel to the same voltage.

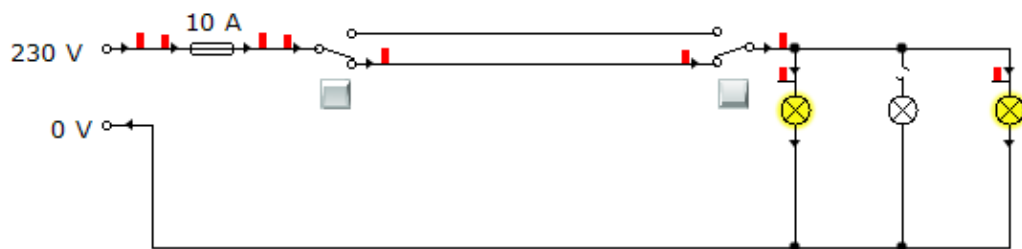


Figure 26. The electric circuit diagram of home lighting (Jani Saarimaa 2011)

A home's electric network has lighting, television, washing machine and other household appliances connected in parallel to each other.

In parallel connections all machine or lighting the affect the same voltage (figure 27).

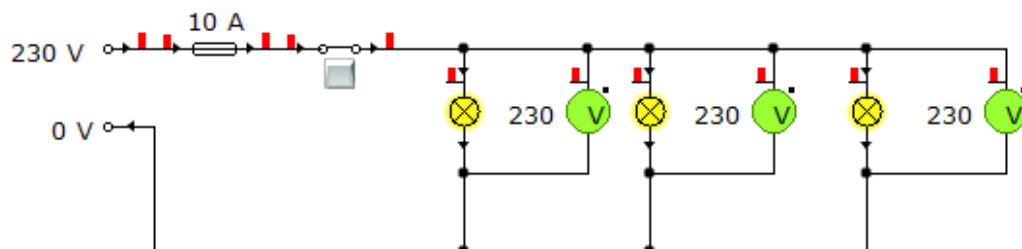


Figure 27. Home lighting connected in parallel (Jani Saarimaa 2011)

7.2 Parallel connection current

Figure 28 shows measurement connections where three resistors are connected in parallel. The resistors are connected at 230 V supply and their resistances are $R_1 = 100 \Omega$, $R_2 = 390 \Omega$ and $R_3 = 470 \Omega$.

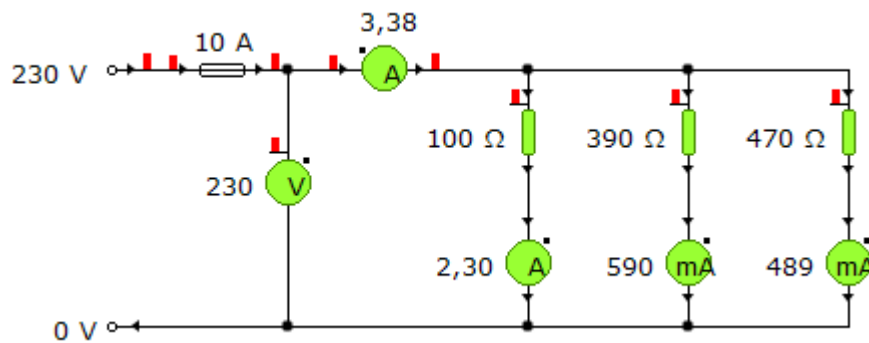


Figure 28. Current distribution (Jani Saarimaa 2011)

We can observe from the measured results that the total current I travelling through the resistors is distributed as I_1 , I_2 and I_3

$$I_{\text{total}} = 2,30\text{A} + 590\text{ mA} + 489\text{ mA} = 3,38\text{A}$$

$$\text{Variable symbols } I = I_1 + I_2 + I_3$$

In parallel connections the total current is as great as the sum of the current travelling through the parallel connected resistors.

Kirchoff law, a central law of electricity, defined current in law as: the sum of the currents coming from a point is just as great as the sum of the current leaving a point. (Michael Tooley. 2007, 49.)

Example 14

In parallel connections all the resistors affect the same voltage.

Lets calculate the current travelling through two resistors from the following connection (figure 29).

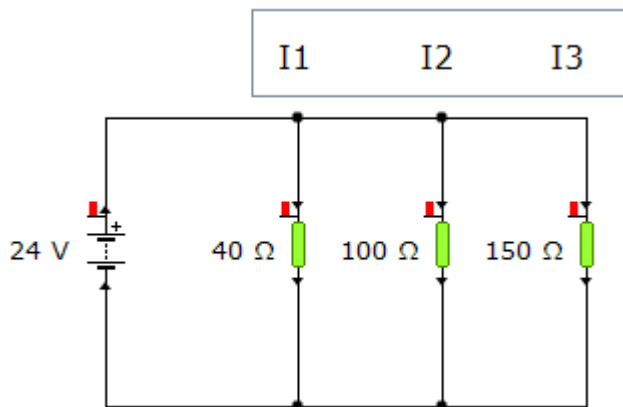


Figure 29. Current travelling through 3 resistors (Jani Saarimaa 2011)

Calculate with the help of Ohm's law $I = \frac{U}{R}$

$$I1 = \frac{U}{R1} = \frac{24V}{40\Omega} = 0,60A$$

In the same way we can calculate the currents at I_2 and I_3 .

The greater the resistance of the resistor, the smaller the current that travels through it.

From (figure 29) we can conclude that the greatest current travels through resistor R1, because its resistance is the smallest, and the smallest current travels through resistor R3 because its resistance is the biggest.

7.3 Parallel connection total resistance

The total resistance of a connection can always be calculated based on Ohm's law, (figure 30) if the voltage of the connection and the current the connection takes are known.

The total resistance of a parallel connection is always smaller from each part resistance.

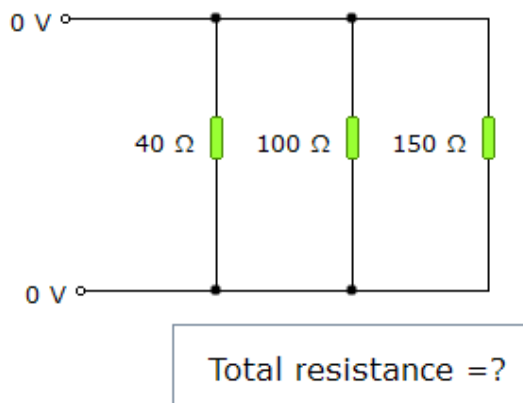


Figure 30. Three parallel connected resistors (Jani Saarimaa 2011)

The total resistance of three resistors connected in parallel is calculated by the following method, the inverse value of the total resistance is obtained, when the inverse value of the resistance of the resistors are added together.

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}$$

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{40\Omega} + \frac{1}{100\Omega} + \frac{1}{150\Omega}$$

$$R = 24 \Omega$$

The total resistance of two resistors in a parallel connection can be calculated in two different ways.

$$R = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2} \qquad \frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}$$

8 SERIES AND PARALLEL COMBINATIONS

8.1 Resistor combination connections

Series and parallel combinations connection mean connections where there is both series and parallel connections. There are plenty of resistors in combination connections in electronic circuits.

Lets calculate the step by step (figure 31) total resistance of six resistors that form a series and parallel combinations connection. First it is worth considering what resistors are in a series connection and which are in parallel.

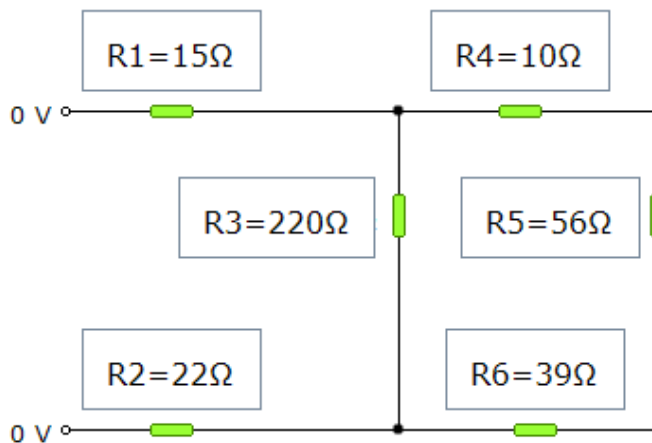


Figure 31. Combination connections of six resistor

Solution:

We should start to solve the calculation with the resistors in (figure 31) which are R₄, R₅ and R₆. In a series connection the resistances are added together.

$$R_{456} = R_4 + R_5 + R_6$$

$$R_{456} = 10 \Omega + 56 \Omega + 39 \Omega$$

$$R_{456} = 105 \Omega$$

From the solution we get (figure 31) stand-in connection. Next lets calculate the joint resistance of the parallel resistances R_3 and R_{456} .

$$R_{3456} = \frac{R_3 \cdot R_{456}}{R_3 + R_{456}} = \frac{220 \Omega \cdot 105 \Omega}{220 \Omega + 105 \Omega} = 71 \Omega$$

In this way the calculation for the stand-in connection of (figure 31) is obtained, where there are three resistors in a series, R_1 , R_2 and R_{3456} . We add the resistors in the series together. In this way we get the solution for the total resistance of the connection.

$$R = R_1 + R_2 + R_{3456}$$

$$R = 15 \Omega + 22 \Omega + 71 \Omega$$

$$R = 108 \Omega$$

The total resistance of the combinations connection comes to 108 Ω .

8.2 The potential divider

Often potential divider connections are formed from resistors in a series connection. Potential divider connections are common in electronic circuits, control circuits and pilot circuits.

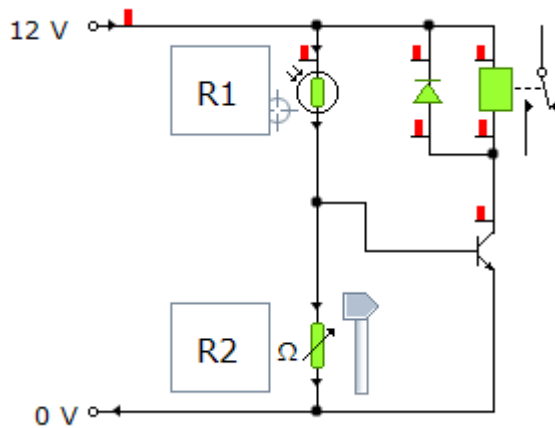


Figure 32. Peak switch (Jani Saarimaa 2011)

(Figure 32) shows the operating principle of a simple peak switch. In a series connection the resistance of a variable resistor (R2) is constant, but the resistance of the photoresistor (LDR) (R1) changes according to how strong the amount of light directed at it.

The resistance of the photoresistor decreases as the brighter lighting is. In this way the current is decreased and the base voltage of the transistor U_{BE} grows. When the transistor base voltage grows sufficiently the transistor starts to conduct and the relay works.

9 ELECTRIC QUANTITY OF VOLTAGE SOURCES

9.1 Battery source

Voltage which generates source electricity is called source voltage (variable symbol E). The size of the source voltage is obtained by measuring the source voltage at its connection when it is not charged.



Figure 33. A dry battery (Jani Saarimaa 2011)

In a source voltage the current travels between the negative and positive terminals. For example (figure 33), in a dry battery the current travels through electrolyte mass and through the electrolyte in the battery. The electrolyte has resistance which is called internal resistance.

E = Source voltage

U = terminal voltage

R_i = internal resistance

When the electric source is not charged the terminal voltage U is as large as the source voltage E .

9.2 Voltage sources in series connections

Voltage sources of series connections are used in accumulator batteries and devices that use batteries, such as in flashlights. The lead-acid battery of a car is formed from many cells connected in a series.

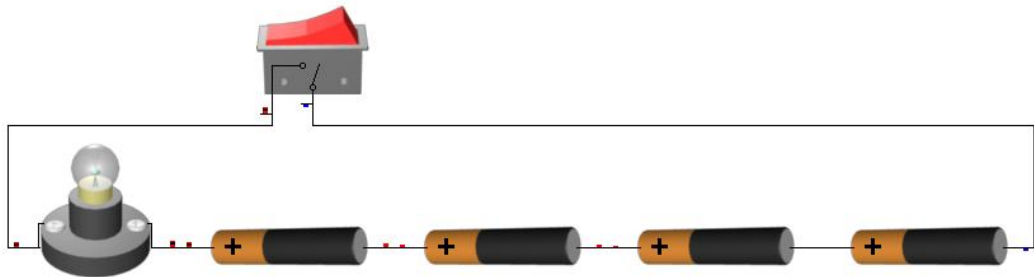


Figure 34. The operating principles of a flashlight (Jani Saarimaa 2011)

For example (figure 34) the electric source of a flashlight is formed from four 1.5 V batteries, which form 6 V of voltage.

The terminal voltage of batteries used in a flashlight is 1.5 V. Similarly in rechargeable storage cells the terminal voltage is 1.2 V.

The total source voltage of a series connection is the sum of the source voltage parts.

$$E = E_1 + E_2 + E_3 + E_4$$

The internal resistance of a series connection is the sum of the internal resistance of the sources.

$$R_i = R_{i1} + R_{i2} + R_{i3} + R_{i4}$$

9.3 Load capacity of series connections

Lets calculate a four battery source voltage, the internal resistance, and the load current in short circuit situations.

The source voltage of the batteries is 1.5 V and the internal resistance 0.5 Ω .

Lets calculate the source voltage E of the (figure 34) above.

$$E = 4 \times 1.5 \text{ V} = 6.0 \text{ V}$$

The total voltage of the voltage source is the greatest possible when the source currents operate in the same direction. If one battery is the wrong way around in a series connection the result is the heating and source voltage of the battery are decreased.

Internal resistance R_i

$$R_i = 4 \times 0.5 \text{ } \Omega = 2.0 \text{ } \Omega$$

The internal resistance in a series connection is the sum of the internal resistances of the sources.

Load current I_k in short circuit situations.

First lets calculate the load current in one battery.

$$I_k = \frac{E_1}{R_{i1}} = \frac{1,5V}{0,5\Omega} = 3,0A$$

Next lets calculate four batteries in a series connection.

$$I_k = \frac{E_1}{R_i} = \frac{6,0V}{2,0\Omega} = 3,0A$$

As the voltage source of the example is the same size as the source voltage and the internal resistance, a series connection of the voltage source increases the voltage, but the load capacity of the four batteries is the same as the load capacity of one battery's voltage source.

If in the connection would have used one battery, such as $E = 1.2 \text{ V}$ and $R_i = 0.9 \Omega$, then the following short circuit current would be obtained from the connection.

$$I_k = \frac{1,5V + 1,5V + 1,5V + 1,2V}{0,5\Omega + 0,5\Omega + 0,5\Omega + 0,9\Omega} = \frac{5,7V}{2,4\Omega} = 2,3A$$

A used battery in a series connection affects the out electric circuit by reducing the current, because the internal resistance of the connection grows and the joint source voltage is reduced.

9.4 The connection direction effect of electricity sources

When calculating the total source voltage of a voltage source the part source voltages must be taken into account.

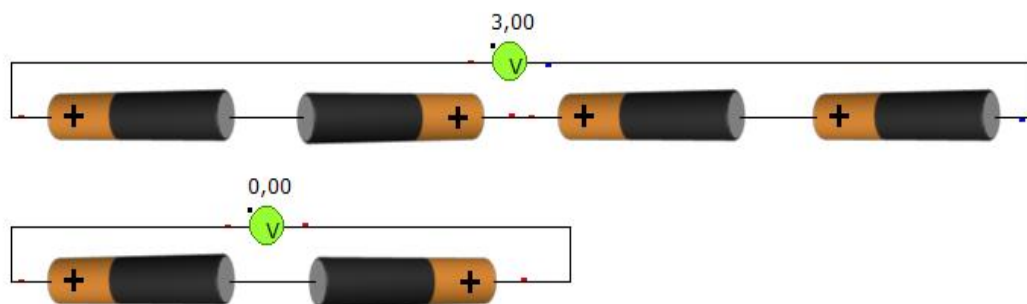


Figure 35. In the connection the electric sources are connected oppositely (Jani Saari-
maa 2011)

The same size but different direction source voltages cancel each other out.

The total voltage is reduced by half, in other words from 6.0 V to 3.0 V (figure 35).

The internal resistance does not change, because it is not affected by the direction of the voltage source.

9.5 Parallel connection of voltage sources

In a parallel connection the same marking terminals of the voltage source are connected to each other. The source voltage of a parallel connection is the same size as the singular source voltage (figure 36).

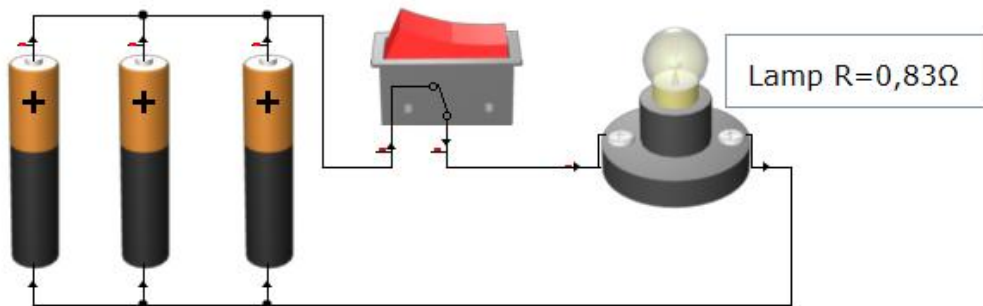


Figure 36. A three battery parallel connection (Jani Saarimaa 2011)

Lets calculate the internal resistance of the connection.

$$\frac{1}{R_i} = \frac{1}{R_{i1}} + \frac{1}{R_{i2}} + \frac{1}{R_{i3}} = \frac{1}{0,5\Omega} + \frac{1}{0,5\Omega} + \frac{1}{0,5\Omega}$$

$$R_i = 0,17\Omega$$

The source voltage of the voltage source and the internal resistance of a parallel connection are the same.

Lets calculate the total current

$$I = \frac{E}{R_i + R} = \frac{1,5V}{0,17\Omega + 0,83\Omega}$$

$$I = 1,5A$$

In a parallel connection the total current is divided into three equally sized branch currents. Each battery feeds a third of the total current of the connection.

$$\frac{1,5A}{3} = 0,5A$$

Lets calculate the terminal voltage

The terminal voltage is calculated from the external electric circuit, where the load is a lamp. The resistance of the lamp is 0.83Ω .

$$U = I \times R = 1.5 \text{ A} \times 0.83 \Omega = 1.25 \text{ V}$$

In a parallel connection the voltage source is the source with more voltage loads than the source with the smaller voltage.

If the voltages of the batteries in a parallel connection are different values (figure 37), then a polyphase current circulates them until the source voltages are the same.

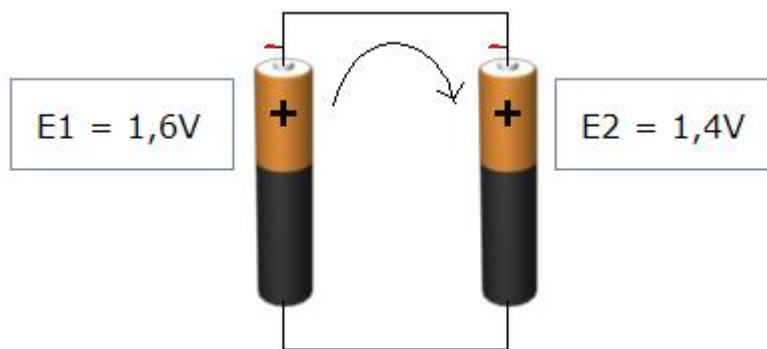


Figure 37. The current loop of batteries. (Jani Saarimaa 2011)

Lets calculate the value of the loop current.

$$E = E_1 - E_2 = 1.6 \text{ V} - 1.4 \text{ V} = 0.2 \text{ V}$$

$$I = \frac{E}{R_i} = \frac{E}{R_{i1} + R_{i2}} = \frac{0,2\text{V}}{0,5\Omega + 0,5\Omega} = 0,2\text{A}$$

Even though the connection is not loaded, there is a circulation phenomenon in the electric circuit.

10 ALTERNATING CURRENT

10.1 The single-phase alternating current waveform

The supply which we obtain from a battery is a direct current supply. One of the reasons for using alternating supplies for the electricity mains supply is because we can very easily change the voltage levels by using a transformer which will only work an alternating current supply. An alternating waveform is constantly changing from zero to a maximum. Alternately changing, first positive half-cycle and then negative half-cycle, see (figure 38) and so the instantaneous values of the generated voltage are always changing. (Trevor Linsley 2009, 93.)

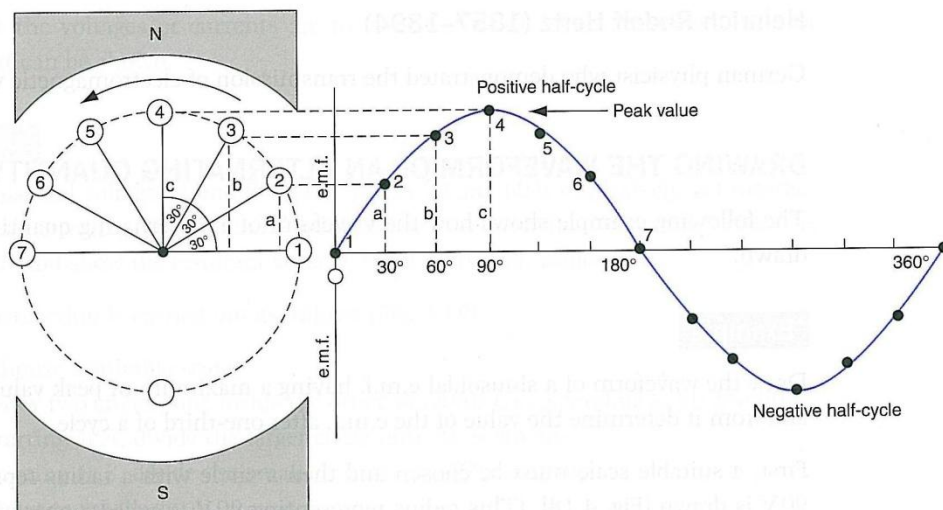


Figure 38. Characteristics of a sine wave (Brian Scaddan 2010, 69.)

10.2 Periodic time

A useful description of the electrical effects of an alternating current waveform can be given by the maximum, average and rms values of the waveform. The periodic time of a waveform is the time taken for one complete cycle of the wave (see figure 34). The relationship between periodic time and frequency is thus: (Michael Tooley 2007, 70.)

$$T = 1/f = 1/T$$

Where T is the periodic time (in s) and f is the frequency (in Hz).

Example 15

A sine waveform has a frequency of 50 Hz. What is the periodic time of the waveform?

$$T = \frac{1}{f} = \frac{1}{50\text{Hz}} = 0,020\text{s} = 20\text{ms}$$

If a voltage has a frequency is 50 Hz, its mean that 50 cycles of it will occur in every second.

A waveform has a periodic time of 40 ms. What its frequency?

$$f = \frac{1}{T} = \frac{1}{0,04\text{s}} = 25\text{Hz}$$

10.3 Average and rms values of the waveform

The peak voltage value is the greatest instantaneous value reached by the generated waveform. Cable and equipment insulation levels must be equal to this level. (Trevor Linsley 2009, 94.)

If a sinusoidal main voltage is 230V_{rms} . What is the peak value of the voltage?

$$U_{\text{max}} = \sqrt{2} \times U_{\text{rms}}$$

$$U_{\text{max}} = \sqrt{2} \times 230\text{V} = 325,3 \text{ V}$$

It is interesting to note that the peak value of our 230 V main supply is 325,3 V.

The sinusoidal waveform applied to a particular circuit has a maximum value of 235,3 V. Calculate the average and rms value of the waveform.

$$\text{Average value } U_{\text{av}} = \frac{2}{\pi} \times U_{\text{max}}$$

$$U_{\text{av}} = \frac{2}{\pi} \times 325,3\text{V} = 207 \text{ V}$$

$$\text{rms value } U_{\text{rms}} = \frac{U_{\text{max}}}{\sqrt{2}}$$

$$U_{\text{rms}} = \frac{325,3\text{V}}{\sqrt{2}} = 230 \text{ V}$$

10.4 Electric power

Electric power is the yield of current and voltage, it is also an electrical work time unit. The unit of electric power is watt (W).

$$P = \frac{W}{t} \quad W = P \cdot t \quad I = \frac{P}{U}$$

P = the symbol of electric power

From the equation of power we also get $P = U \times I$

Some household appliances consume a lot of power (figure 39), that is why it is important to know how many consuming appliances can be connected by 10 A fuse to a protected final circuit.



Figure 39. The rating plate of an iron (Jani Saarimaa 2011)

Lets calculate the current

$$I = \frac{P}{U} = \frac{1200W}{230V} = 5,2A$$

By using a 10 A the protected final circuit can tolerate a load of 2300W, and 16 A fuse can tolerate a load 3600W .

10.5 Transformer

Typical applications for transformers include stepping-down mains voltages in power supplies. A basic transformer consists of two windings see (figure 40). The coil or winding to which the supply is connected called primary and the winding from which the induced voltage is taken is called the secondary. The primary and secondary windings are wound on a common low-reluctance magnetic core. (Michael Tooley 2007, 80.)

The alternating current that flows through the primary winding establishes a magnetic field in the core, some of which links to the secondary winding and induces a voltage across it.

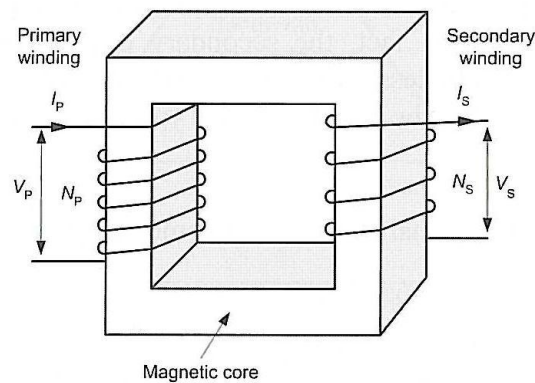


Figure 40. The transformer principle (Michael Tooley 2007, 80.)

The magnitude of this voltage is proportional to the ratio of the number of turns on the primary winding to the number of turns on the secondary winding.

Where V_p = primary voltage, N_p = primary turns, V_s = secondary voltage, N_s = secondary turns, I_s = secondary current and I_p = primary current.

$$\text{turns-per-volt} = \frac{V_p}{V_s} = \frac{N_p}{N_s} = \frac{I_s}{I_p}$$

Example 16

A single-phase transformer has 850 primary turns and 90 secondary turns. If the primary coil is connected to a 230 V_{rms} mains supply. Calculate the secondary voltage.

$$V_s = \frac{N_s \times V_p}{N_p} = \frac{90 \text{trn} \times 230V}{850 \text{trn}} = 24 \text{ V}$$

Also calculate the secondary current if the primary current is 0,68 A

$$I_{\text{secondary}} = \frac{V_p}{V_s} = \frac{I_s}{I_p}$$

$$I_s = \frac{0,68A \times 230V}{24V} = 6,5 \text{ A}$$

Note the larger secondary current. The secondary winding would need to have a larger conductor size than the primary copper winding to carry this current. An example of the previous transformer primary winding coil diameter size is 0,55 mm and secondary winding 1,65mm diameters copper.



Figure 41. Circuit symbol of coil (L) and transformer (T1) (Jani Saarimaa 2011)

11 ALTERNATING CURRENT CIRCUIT CALCULATIONS

11.1 Reactance

When alternating voltages are applied to capacitor or inductor the magnitude of the current flowing will depend upon the value of capacitance or inductance and on the frequency of the voltage. The important differences begin that the effective resistance of the component varies with frequency unlike the case of a resistor where the magnitude of the current does not change with frequency. (Michael Tooley 2007, 72.)

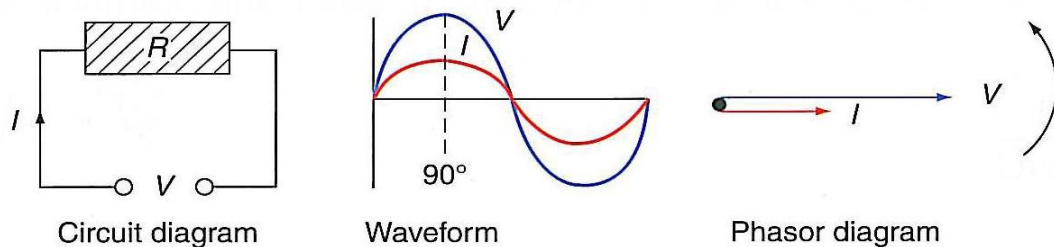


Figure 42. Pure resistance (Brian Scaddan 2010, 105.)

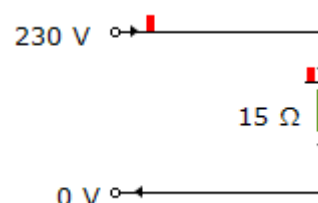
Figure 42 shows a purely resistive circuit, and the waveforms of current and voltage. The phasor diagram shows the current and voltage alternate, starting and finishing at the same time. In any circuit, resistance is defined as opposition to current flow. From Ohm's law is used. (Trevor Linsley 2009, 195.)

$$R = \frac{U}{I}$$

Example 17

The voltage applied to a circuit with a resistance of 15Ω , is 230 Volts. Calculate the current in the circuit.

$$I = \frac{U}{R} = \frac{230 \text{ V}}{15 \Omega} = 15,3 \text{ A}$$



11.2 Inductive reactance

When an alternating current is passed through a conductor, a magnetic field is created around the conductor. If the conductor is wound into a coil the magnetic field is increased. The reactance of the value of inductor is directly proportional to both the value of inductance and the frequency of the applied voltage. (A.J.Watkins 2009, 13.)

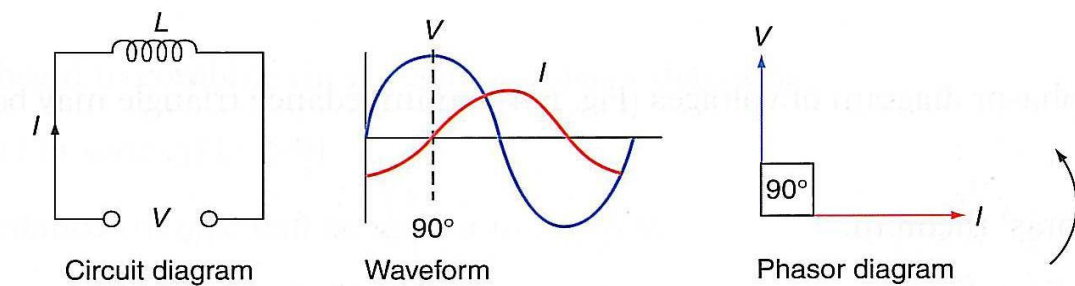


Figure 43. Pure inductance (Brian Scaddan 2010, 105.)

Figure 43 shows the phasor representation of current and voltage in a purely inductive circuit. It causes the current in the circuit to lag behind to applied voltage be out of phase by an angle of 90° .

Inductive reactance can be found by applying the formula.

$$X_L = 2\pi f L$$

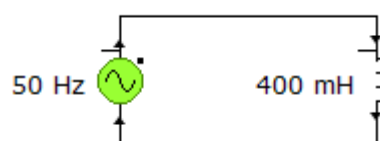
Where X_L is the reactance in Ω , f is the frequency in Hz, and L is the coil inductance H.

Example 18

Calculate the inductive reactance of a coil which has an inductance of 0,40 H (henrys) when connected to a 50 Hz supply.

$$X_L = 2\pi f L$$

$$X_L = 2 \times \pi \times 50\text{Hz} \times 0,40\text{H} = 125,6 \Omega$$



11.3 Capacitive reactance

The reactance of a capacitor is defined as the ratio of applied voltage to current and, like resistance, it is measured in Ohms. The reactance of a capacitor is inversely proportional to both the value of capacitance and the frequency of the applied voltage. (Michael Tooley 2007, 72.)

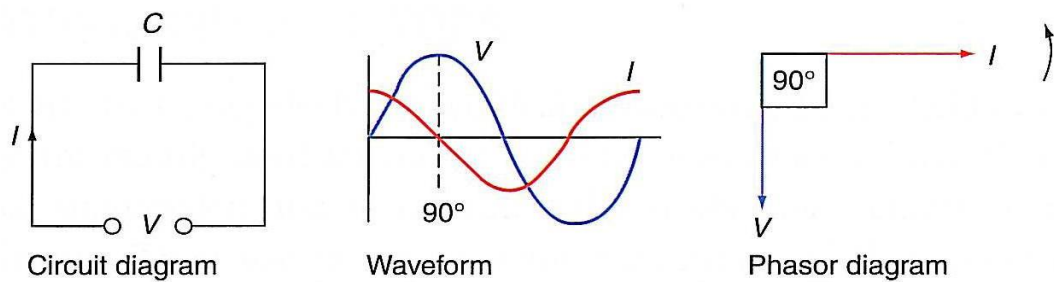


Figure 44. Pure capacitance (Brian Scaddan 2010, 106.)

Figure 44 shows when a pure capacitor is connected to an alternating current circuit the current leads the voltage by an angle of 90° . Capacitive reactance can be found by applying the following formula.

$$X_C = \frac{1}{2\pi f C}$$

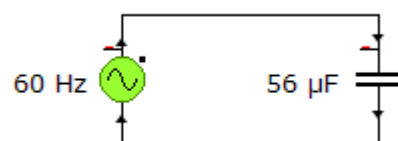
Where X_C is the reactance in Ohms, f is the frequency in Hertz, and C is the capacitance in Farads.

Example 19

Calculate the reactance of a $56 \mu\text{F}$ capacitor to a 60 Hz supply.

$$X_C = \frac{1}{2\pi f C}$$

$$X_C = \frac{1}{2 \times \pi \times 60\text{Hz} \times 56 \times 10^{-6}} = 47,4 \Omega$$



11.4 Impedance

The total opposition to current flow in an alternating current circuit is called impedance and given the symbol Z . Thus impedance is the combined opposition to current flow of the resistance, inductive reactance and capacitive reactance of the circuit. (Trevor Linsley 2009, 196.)

Circuit can be calculated from the formula.

$$Z = \sqrt{R^2 + X^2}$$

Example 20

A coil of 0,20 H is connected in series with a 47 Ω resistor a 50 Hz supply. Calculate the reactance of the coil and the impedance of the circuit.

$$X_L = 2\pi fL$$

$$X_L = 2 \times \pi \times 50\text{Hz} \times 0,20\text{H} = 62,8 \Omega$$

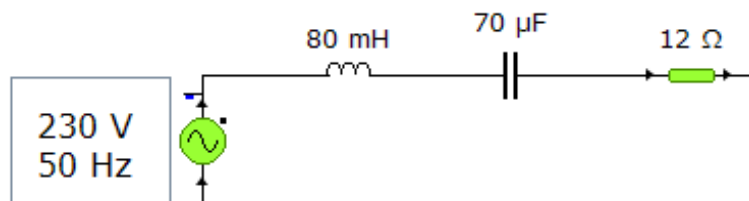
$$Z = \sqrt{R^2 + X_L^2}$$

$$Z = \sqrt{47^2 + 62,8^2} = 78,4 \Omega$$



Example 21

A coil of inductance of 0,08 H and a resistance of 12 Ω is connected in series with a 70 μF capacitor to a 230 V 50 Hz supply. Calculate the reactance of the coil, the reactance of the capacitor, the impedance of the circuit and the current.



Find the inductance of the coil X_L .

$$X_L = 2\pi fL$$

$$X_L = 2 \times \pi \times 50\text{Hz} \times 0,08\text{H} = 25,1 \Omega$$

Next find capacitive reactance X_C

$$X_C = \frac{1}{2\pi f C}$$

$$X_C = \frac{1}{2 \times \pi \times 50 \text{ Hz} \times 70 \times 10^{-6}} = 45,5 \Omega$$

Calculate the impedance for the circuit (Z)

$$Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}$$

$$Z = \sqrt{12\Omega^2 + (25,1\Omega - 45,5\Omega)^2} = 23,6 \Omega$$

Calculate current (I)

$$I = \frac{U}{Z} = \frac{230 \text{ V}}{23,6 \Omega} = 9,7 \text{ A}$$

As this current is common to the whole circuit, the voltage across the capacitor and the inductor can be calculated.

Voltage across inductor

$$U_L = I \times X_L$$

$$U_L = 9,7 \text{ A} \times 25,1 \Omega = 243,5 \text{ V}$$

Voltage across capacitor

$$U_L = I \times X_C$$

$$U_L = 9,7 \text{ A} \times 45,5 \Omega = 441,4 \text{ V}$$

Both voltages are higher than the 230 V supply. This often happens in alternating current circuits. The voltages do not add up in direct current circuits. (A.J.Watkins 2009, 26.)

11.5 Power supplies

This chapter goes through power supplies operating block, how rectifier and smoothing circuits operate (figure 45). Nearly all electronic circuits require a source of well regulated direct current at voltage of typically 5 V, 12 V and 24 V. The mains voltage input is a high voltage 230 V_{rms} converting to 20 V_{rms} will thus be $230/23*2$ or 23:2. A step-down transformer (T1) of appropriate turns ratio is used to convert this to a low voltage. (Michael Tooley 2007, 116.)

The alternating current output from the secondary transformer is then rectified using semiconductor diodes are commonly used to convert alternating current to direct current. The full-wave bridge rectifier circuit uses a four-diode connection. See figure 45. In which opposite pairs of diodes conduct on alternate half-cycles, D1 and D2 are conducting on a positive half-cycle while in D3 and D4 are conducting negative half-cycles. (Michael Tooley 2007, 121.)

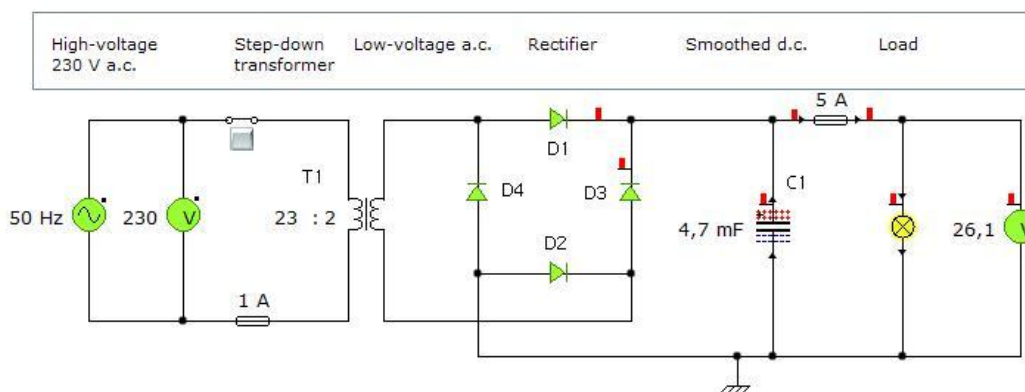


Figure 45. Simple direct current power supply (Jani Saarimaa 2011)

A capacitor is a device which stores electrical charge. A smoothing capacitor C1, has been added to ensure that output voltage is at near peak voltage even when the diodes are not conducting. As the output voltage increases, the capacitor (C1) is charged, and as the output voltage falls back to zero, the capacitor releases its charge. (Michael Tooley 2007, 117.)

Figure 46 shows the smoothing output voltage waveform (blue line). This gives rise to a small variation in the direct current output voltage. This variation output voltage is known as ripple. This ripple voltage is not a good output in direct current power supply. This means that the capacitance value is rated too low.

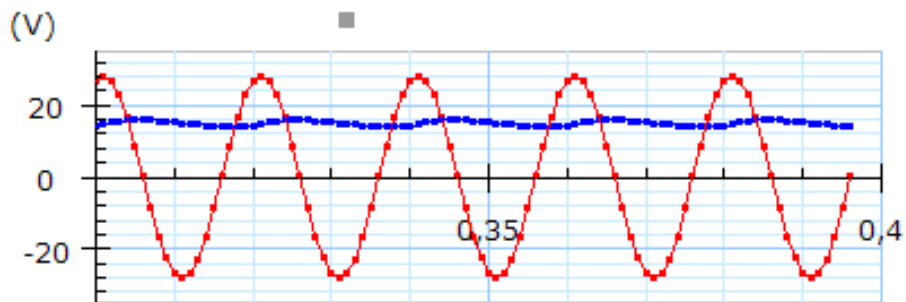


Figure 46. Power supplies output ripple voltage

Since ripple is not undesirable we must to reduce it. One method of reducing the amplitude of the ripple is to simply increase the discharge time constant. This can be achieved either by increasing the capacitor value C_1 . The capacitor value is very large, often 4700- 6800 μF are typical. (Michael Tooley 2007, 118.)

SOURCES

The Centre for Occupational Safety 2009. Occupational Safety in the Shared Workplace. Sixth Edition. Helsinki: Nykypaino Oy

Linsley, T. 2009. Electrical Installation Work. Fifth Edition. China: Elsevier.

Scaddan, B. 2010. Electrical Installation Work. Sixth Edition. Italy: Elsevier

Tooley, M. 2007. Electronic Circuits Fundamentals and Applications. Third Edition. Netherland: Elsevier.

Watkins, A.J., Kitcher, C. 2009. Electrical Installation Calculations. Seventh Edition. Italy: Elsevier

World of Earth Science. Bohr Niels. Read 20.07.2011. <http://www.enotes.com/earth-science/bohr-niels>

Jani Saarimaa

Basic Electrical engineering

Learn to easy way

This teaching handout is intended principally for studies at school.

Its clear and simple presentation and demonstrative diagrams also make it suitable for independent study. The handout has been created based on hands on learning situations that introduce the basic phenomena and scientific laws of electrical engineering.