



SAVONIA

OPINNÄYTETYÖ - AMMATTIKORKEAKOULUTUTKINTO
TEKNIIKAN JA LIIKENTEEN ALA

TASASÄHKÖPIIRIT-OPINTOJAKSON KEHITTÄMINEN

Tasasähköpiirit-opintojakson opetuksen kehittäminen
opetusvideoilla ja verkkotehtävillä

TEKIJÄ:

Tuomas Ryyänen

Koulutusala Tekniikan ja liikenteen ala			
Tutkinto-ohjelma Sähkö- ja automaatiotekniikan tutkinto-ohjelma			
Työn tekijä Tuomas Ryyänen			
Työn nimi Tasasähköpiirit-opintojakson kehittäminen			
Päiväys	8.9.2021	Sivumäärä	38
Toimeksiantaja/Yhteistyökumppani Savonia-ammattikorkeakoulu			
Tiivistelmä			
<p>Opinnäytetyön tarkoituksena oli kehittää Tasasähköpiirit-opintojaksoa lisäämällä siihen opetusvideoita ja verkkotehtäviä. Opetusvideoita tehtiin jokaiselle opintojakson osa-alueelle. Opetusvideoiden tarkoituksena on auttaa opiskelijoita edistymään ja suorittamaan opintojakso sujuvasti. Opinnäytetyössä myös tutkittiin verkko-opettamisen menetelmiä ja vertailtiin amerikkalaisen ja suomalaisen virtapiirien merkintätapaa.</p> <p>Opinnäytetyön laatimisessa keskeisin tehtävä oli opetusvideoiden valmistaminen. Opiskelijan on helppo katsoa niitä silloin, kun hänelle sopii parhaiten. Videot ovat myöskin tehokasta opetusmateriaalia. Jokaisella opintojakson osa-alueella on omat opetusvideonsa, jotka soveltuvat niin lähiopetuksen lisäksi kuin verkkokurssiksi. Moodleen tehtiin useita verkkotehtäviä, joilla opiskelija voi harjoitella osaamistaan.</p> <p>Opetusvideot tehtiin suunnitelman mukaisesti ja niitä julkaistiin YouTubeen yhteensä 17 kappaletta. Opetusvideoiden yhteenlaskettu pituus on 127 minuuttia. Opetusvideoiden korjaukset ja viimeistely tehtiin opettajien monipuolisen palautteen avulla, jolla saatiin toimiva lopputulos. Amerikkalaisen ja suomalaisen virtapiirien merkintätavan vertailussa eroja löytyi paljon. Verkkotehtäviä tehtiin yhteensä 8 kappaletta, jotka kattavat suurimmaksi osaksi opintojakson osa-alueet.</p>			
Avainsanat tasasähköpiirit, virtapiirit, opetusvideot, verkkotehtävät, kehittämistyö			

Field of Study Technology, Communication and Transport	
Degree Programme Degree Programme in Electrical and Automation Engineering	
Author Tuomas Ryyänen	
Title of Thesis Development of the DC Circuits Course	
Date September 8th 2021	Pages 38
Client Organisation/Partners Savonia University of Applied Sciences	
Abstract <p>The purpose of this thesis was to develop the DC circuits course by making educational videos and online assignments to it. Educational videos were made for each area of the course. The purpose of educational videos is to help students progress and complete the course fluently. The thesis also studied the methods of e-learning and compared American and Finnish circuit notations.</p> <p>The main task in making the thesis was to make the educational videos. It is easy for a student to watch them when it suits them best. Videos are also effective teaching material. The educational videos were published on YouTube where they are free to watch. The finalization of the educational videos was made with the feedback from the teachers. Online assignments were made in Moodle, so that a student can practice their skills.</p> <p>As a result of this thesis, 17 educational videos on DC circuits were published on YouTube. Each area of the course has its own educational videos. The educational videos are suitable both as an addition to contact teaching and as an online course. Eight online assignments were made in Moodle, covering most areas of the course. In the comparison between American and Finnish circuit notations, many differences were found in labelling methods.</p>	
Keywords direct currents, dc, circuits, educational videos, online tasks, development job	

ESIPUHE

Opinnäytetyöni tein Savonia-ammattikorkeakoululle, tavoitteena kehittää Tasasähköpiirit-opintojaksoa. Opinnäytetyön keskeisin materiaali on opetusvideot, joita julkaistiin YouTubeen 17 kappaletta. Mielestäni opetusvideoista tuli hyviä ja opettavaisia. Mielestäni ne sopivat parhaiten lähiopeutuksen lisäksi.

Minusta oli hienoa, että sain tehdä opinnäytetyöni kiinnostavasta aiheesta ja että opinnäytetyöni tuli käyttöön. Toivon, että opetusvideoni auttavat tulevia sähköalan opiskelijoita tasasähköpiirien opiskelemisessä.

Lopuksi haluan kiittää työn ohjaajia Lehtori Timo Savallampea, Yliopettaja Juhani Rouvalia ja tilaajan roolissa ollutta Lehtori Jari Ijätä.

Kuopiossa 8.9.2021

Tuomas Ryyänen

SISÄLTÖ

1	JOHDANTO	7
2	VERKKO-OPETUKSEN MENETELMISTÄ	8
3	TASASÄHKÖPIIRIT	11
3.1	Suureet	11
3.2	Sähköopin lakeja.....	11
4	MERKINTÄTAVAT VIRTAPIIREISSÄ	14
5	OPETUSVIDEOT	20
5.1	Opetusvideon tekeminen	20
5.2	Perusteiden opetusvideot	21
5.3	Kirchhoffin virta- ja jännitelaki	23
5.4	Haaravirta-analyysi	24
5.5	Silmukkavirtamenetelmä	25
5.6	Solmupistemenetelmä	27
5.7	Tähti-kolmiokytkentämuunnokset.....	28
5.8	Theveninin vastinkytkentä	29
5.9	Kerrostamismenetelmä.....	31
5.10	Opetusvideoiden lopullinen tuotos.....	32
6	VERKKOTEHTÄVÄT	33
7	YHTEENVETO.....	35
	LÄHTEET	36
	OPETUSVIDEOT	37

KUVALUETTELO

KUVA 1.	Suljetun ja avoimen oppimisympäristön eroja (Taipalmaa, 2008)	9
KUVA 2.	Ohmin laki vastuksella (Silvonen, 2003).....	12
KUVA 3.	Ohmin laki kuvituskuva (Nydal Dahl, 2012).....	12
KUVA 4.	Kirchhoffin jännitelakiesimerkki (Sähkömagnetiikka).....	13
KUVA 5.	Kirchhoffin virtalaki esimerkki (Sähkömagnetiikka)	13
KUVA 6.	Vastuksien merkintätavat. (Vis).....	14
KUVA 7.	Vastuksen rakenne. (Splung)	14
KUVA 8.	Jännitelähteiden piirrosmerkkejä. (Kuisma).....	15

KUVA 9. Suomalaisen jännitelähteen piirrosmerkit (Rouvali, 2008; Silvonen, 2003)	16
KUVA 10. Virtalähteiden piirrosmerkkejä. (Kuisma).....	16
KUVA 11. Napaisuuden merkintäerot (Rouvali, 2008)	17
KUVA 12. Suomalainen napaisuuden merkintä jännitelähteellä (Rouvali, 2008)	18
KUVA 13. Kirchhoffin jännitelaki harjoitustehtävä (Rouvali, 2008).....	18
KUVA 14. Haaravirta-analyysi opetusvideolta	24
KUVA 15. Esimerkkivirtapiiri silmukavirtamenetelmästä (Boylestad, 2002)	26
KUVA 16. Esimerkkivirtapiiri solmupistemenetelmästä (Boylestad, 2002)	27
KUVA 17. Tähti-kolmiokytkentämuunnos opetusvideolta	29
KUVA 18. Theveninin vastinkytkentä opetusvideolta	30
KUVA 19. Nortonin vastinpiiri opetusvideolta	31
KUVA 20. Kerrostamismenetelmä opetusvideolta	32
KUVA 21. Sekakytkentä verkkotehtävä (Boylestad, 2002)	33

1 JOHDANTO

Tasasähköpiirit ovat jokaisen sähköalalla opiskelevan oppilaan perusosaamista ja ensimmäisiä kursseja, josta sähköalan opiskelijan koulutus alkaa. Tasasähköpiireissä lasketaan nimensä mukaisesti virtapiirejä, jotka ovat tasasähköä. Virtapiireistä ratkaistaan uupuvia arvoja, tiettyjen pisteiden virtoja, jännitteitä tai tehoja, käyttämällä tunnettuja laskentamenetelmiä. Tasasähköpiirien laskeminen perustuu fysiikan sähkölakeihin, joita ovat mm. Ohmin laki, Kirchhoffin virtalaki ja Kirchhoffin jännitelaki.

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli kehittää Savonian opetusta monipuolistamalla sitä.

Varsinkin koronan aikana etäopetusta suositeltiin, jotta opiskelijat voivat helposti osallistua opetukseen. Tämän vuoksi verkko-opetusmateriaalia pitää olla saatavilla ja mielellään koulun verkkoympäristössä.

Tässä opinnäytetyössä laadittiin opetusvideoiden ja verkkotehtävien lisäksi esittely verkko-opettamisen menetelmistä, opinnäytetyön teoriaosana. Työssä käsiteltiin myös amerikkalaista ja suomalaista virtapiirien merkintätapaa ja vertailtiin niitä. Suomalainen merkintätapa vastaa eurooppalaista merkintätapaa. Muualla maailmassa käytetään amerikkalaista merkintätapaa.

Tällä opinnäytetyöllä tuotettiin lisää opetusmateriaalia tuleville opiskelijoille ja Tasasähköpiirit-opintojaksolle. Verkko-oppimismahdollisuuksia, kuten opetusvideoita ja verkkotehtäviä, tarvitaan kursseilla. Opetusvideot ovat hyödyllisiä ja ovat auttaneet monia opiskelussa. Tällä hetkellä tasasähköpiireihin liittyviä opetusvideoita löytyy internetistä, mutta suurimaksi osaksi ne ovat englannin kielellä esimerkiksi YouTubessa. Suomen kielellä materiaalia löytyy Kirchhoffin virta- ja jännitelaista ja Ohmin laista eli opintojakson ensimmäisestä osiosta, mutta ei niinkään loppuista opintojakson osa-alueista, kuten menetelmistä ja muunnoksista.

Opinnäytetyön tavoitteena on, että opinnäytetyöhön tehdyistä opetusvideoista tulee opettavaisia ja että ne kehittävät Tasasähköpiirit-opintojaksoa. Opetusvideoiden tavoitteena on, että opetusvideoista tulee tarpeeksi hyviä, selkeitä ja kattavia, ja jotta oppilas voi käyttää niitä koulun opetuksen lisäksi. Opetusvideoiden pitää olla tarpeeksi haastavia, koska helpoilla tehtävillä ymmärtää vain perusteita.

2 VERKKO-OPETUKSEN MENETELMISTÄ

Verkko-opettaminen on nykypäivää ja siitä on tullut vuosien saatossa erittäin tärkeä osa opettamista. ”Verkko-opetus voitaisiin jakaa karkeasti ohjattuun verkko-opetukseen, itseopiskeluun verkossa sekä monimuoto-opetukseen, jossa yhdistellään lähiopetusta ja verkko-opetusta.” (Helsingin yliopisto, 2005). Verkko-opettaminen on opetusta, joka tapahtuu internetin välityksellä verkkoympäristössä, kuten Moodlessa. Moodle on yksi suosituimmista verkkoympäristöistä, jota mm. Savonia-ammattikorkeakoulu käyttää. Moodlessa opettajilla voi olla verkkotehtäviä, opetusmateriaalia ja Moodle-tenttejä.

Opetusmenetelmiä on useita erilaisia ja se, minkälaisen opetusmenetelmän opettaja valitsee, perustuu yleensä hänen kokemukseensa siitä, millä saadaan hyviä oppimistuloksia. (Kettunen;Palvalehto-Silven;Penson;& Väyrynen, 2006). Opetusmenetelmän valintaan vaikuttavat myös mm. opiskelijoiden taso, tottumukset, opettajan valmiudet, opetettava aihe, kurssin sisältö ja tavoitteet yms.

Yksi menetelmä verkko-opettamisessa on verkkokursseilla opiskelijoiden itsenäinen opiskeleminen. Tämän tavan hyviä puolia on, että opiskelija pystyy itse valitsemaan opiskelemisen ajankohdan vertailuna, kun asian opiskeleminen on pelkästään lähiopetuksen tunnilla käymisen varassa. Tämä vapaus varmasti auttaa monia opiskelijoita esimerkiksi opiskelumotivaation kanssa. Toinen asia, mikä auttaa opiskelijoita motivoitumaan asian opiskelemiseen, on runsas ja monipuolinen tarjonta opetusmateriaalissa. Monimuoto-opetus, jossa yhdistellään lähiopetusta ja verkko-opetusta on monipuolinen ja toimiva vaihtoehto. Monimuodossa oleva lähiopetus on tärkeää ja sen lisänä on verkossa itsenäistä opiskelemistä, joka voisi olla esimerkiksi opetusvideoiden katsomista tai verkkotehtävien tekemistä. Opiskelijat ovat kuitenkin erilaisia ja toisille ei sovi itsenäinen opiskeleminen vaan he tarvitsevat ohjausta, joka on toinen verkko-opettamisen menetelmä.

Opetusvideot ovat yksi verkko-opettamisen menetelmistä ja joka yleistyy koko ajan enemmän. Opetusvideot eroavat normaaleista ja tunnetuista luennoista ajan käytön pituudessa, sillä luennot ovat yleensä noin puolentoista tunnin pituisia, kun taas opetusvideot ovat 5–10 minuutin pituisia eli ajan käyttö on tehokkaampaa. Opetusvideot eivät välttämättä sovi ainoaksi opetustavaksi, sillä opiskelijat eivät voi kysyä kysymyksiä opettajalta, mutta se sopii esimerkiksi opettamisen lisäksi tai opiskelijoille, jotka tarvitsevat lisämateriaalia tai erilaisen lähestymistavan.

Verkko-opetusta ei pidä kuitenkaan sekoittaa etäopetukseen. Etäopetus on nimensä mukaisesti sitä, kun opettaja opettaa oppilaita etäyhteydellä, kun taas verkko-opetuksella tarkoitetaan lähinnä kaikkea verkossa tehtävää opiskelua, yleensä itsenäisesti. Tämä vaatii opiskelijoilta enemmän aktiivisuutta ja ahkeruutta, kun taas luennoilla opiskelija on passiivisempi ja kuuntelijan roolissa.

Etäopetusta tapahtui paljon koronan takia ja monet joutuivat opettelemaan tähän uuteen tilanteeseen. OAJ:n eli opetusalan ammattijärjestön blogin mukaan etäopetuksessa voidaan käyttää samoja opetusmenetelmiä tietyssä määrin, sillä lähiopetuksessa käytettävää pedagogiikka ei voida suoraan soveltaa etäopetukseen, sillä työtavat ja opetuksessa käytetty oheismateriaali tehtävineen usein muuttuvat opetustavan vaihtuessa. (Laakso, 2020)

Savonian etäopetuksessa käytettiin usein Zoom-ohjelmaa, jossa etäopetus pidettiin eli luennot onnistuvat suhteellisen normaalisti. Zoom-ohjelmassa on toiminto nimeltään "Breakout rooms", jossa opiskelijat voidaan jakaa ryhmiin keskustelemaan tunnilla opetettavaa asiaa ja tekemään annettuja tehtäviä yhdessä. Opettaja pystyy käymään ryhmissä kysymässä, kuinka oppilaat onnistuvat tehtävien suorittamisessa. Tämä opetusmenetelmistä on opiskelijoiden aktivoimista, mikä on erittäin hyvä luentojen kanssa.

Verkko-opetus sopii joillekin paremmin; he voivat esimerkiksi opiskella omaa tahtia ja heillä ei ole pakollisia lähiopetustunteja. Osa oppilaista viihtyy parhaiten luennoilla ja oppivat paremmin kuuntelemalla luennoitsijaa. Osalla toimii lähiopetus myös sen takia, että he pääsevät pois kotoa häiriötekijöiden ääreltä. Kotoisia häiriötekijöitä ei yleensä luokassa ole.



KUVA 1. Suljetun ja avoimen oppimisympäristön eroja (Taipalmaa, 2008)

Taipalmaan opinnäytetyöstä otettu kuva 1, suljetun ja avoimen oppimisympäristön eroista. Taipalmaan opinnäytetyössä käytiin läpi opetusmenetelmiä ja oppimisympäristöjä, kuten suljettu ja avoin oppimisympäristö ja niiden vertailua. Suljettu oppimisympäristö on käytännössä meidän nykyinen koulutusjärjestelmämme, joka näkyy kuvassa 1 vasemmalla. Oppilaat ovat lähiopetuksessa ja toteutustapa on kurssipohjainen. Opiskelijat seuraavat aikataulua ja ovat sidottuna siihen ja läsnäoloon koulussa. Avoin oppimisympäristö kuvassa 1 oikealla, on vapaampi, koulusta riippumaton ja oppilaasta riippuvaa itseopiskelua. Käytännössä kuka tahansa ja milloin tahansa pystyy tähän. Opiskelumotivaatio ja päätös opiskella on omaehtoinen. Avoimesta oppimisympäristöstä uupuu suljetun oppimisympäristön tapainen ohjautuvuus ja toisen ihmisen arviointi omista kyvyistä ja tiedoista. (Taipalmaa, 2008)

Opetusmenetelmiä suljetussa oppimisympäristössä on useita. Yleisin näistä on luennot, jossa opettaja tai luennoitsija puhuu luokalle luokan edessä. Luennot ovat kuitenkin passiivinen opetusmenetelmä, sillä opiskelijat kuuntelevat ja ottavat tietoa vastaan, mutta eivät ole aktiivisia vuorovaikuttajia. Vuorovaikutuksella saadaan aktiivisuutta opiskelijoihin, mikä on tärkeä asia. Opettaja voi aktiivoida oppilaita kysymällä kysymyksiä. (Maamot)

Aktiivisempia opetusmenetelmiä ovat ryhmä- ja projektityöskentelyt. Näissä oppilaat pääsevät vuorovaikutukseen toistensa kanssa ja opettaja on vain ohjaajan roolissa. Tämän opetusmenetelmän tavoitteena on poistaa rutiineja ja ehkäistä passivoitumista ja aktivoida opiskelijoita vuorovaikutuksen takia. Tämä opetusmenetelmä toimii, koska useimmat oppilaat mielellään keskustelevalt muitten luokkalaistensa kanssa. Ryhmässä voi kysellä kysymyksiä ja tästä oppia uutta. (Maamot; Kettunen;Palvalehto-Silven;Penson;& Väyrynen, 2006)

Kolmantena esimerkkinä yleisestä ja tehokkaasta opetusmenetelmästä on tekemällä oppiminen eli toiminnasta oppiminen. Tämän opetusmenetelmän ajatuksena on ottaa mallia toisesta ja tehdä perässä tai oppia kokeilemalla yrityksen ja erehdyksen kautta. Tekemällä oppimisen opetusmenetelmää käytetään runsaimmin työpaikoilla uusien työntekijöiden kouluttamiseen. Koulussa teorian ja käytännön välistä kuilua voidaan kaventaa esimerkiksi laboratorion ja tietenkin työharjoittelujaksoilla. Konkreettinen toiminnallisuus on yleensä paras opetusmenetelmä, kun tavoitteena on taitojen hankkiminen. (Kettunen;Palvalehto-Silven;Penson;& Väyrynen, 2006)

Yhteenvetona verkko-opetus on hyödyllinen lisä opetukseen, koska oppilas voi valita milloin opiskelee. Mitä monipuolisempi tarjonta koululla on, sitä parempi. Verkko-opettaminen ei kuitenkaan ole mitenkään uusi asia ja siinä voi käyttää samoja opetusmenetelmiä kuin mitä lähiopetuksessakin. (Maamot) Opiskelijan syrjäytyminen on mahdollista, jos opiskelu on pelkästään verkko-opiskelua tai etäopiskelua. Opiskelijan motivaatio ja arvosanat laskevat. Tämä on nähty korona-aikana. (Mäki, 2020) Lähiopetuksessa oppilas pääsee sosiaaliseen ympäristöön, mitä moni oppilas tarvitsee.

Pelkkä etäopetus ei opetusalan ammattijärjestön mukaan täytä laadukkaan opetuksen tunnusmerkkejä koulutuksessa. Tämä malli on OAJ:n mukaan parempi vaihtoehto vain opiskelijoille, jotka eivät pääse osallistumaan lähiopetukseen esimerkiksi terveydellisistä syistä. (Laakso, 2020)

3 TASASÄHKÖPIIRIT

Opinnäytetyössä keskitytään täysin tasasähköön virtapiireissä. Tasasähköpiirit-opintojakso on ensimmäisiä kursseja, jolla opiskelija aloittaa sähköalalla opiskelun. Opintojaksoon kuuluu paljon uuden asian oppimista, mm. fysiikkaan perustuvat Ohmin laki, sekä Kirchhoffin virta- ja jännitelaki. Opintojaksolla on myös paljon matematiikkaa ja uuden oppimista. Tasasähköpiirit-opintojakso kouluttaa opiskelijat sähköön perusosaamiseen, josta sähköön ymmärtäminen alkaa ja josta se jatkuu vaihtosähköön maailmaan.

3.1 Suureet

Tasasähköpiireissä keskeisimmät suureet ovat:

Sähkövirta

Tunnus on I ja yksikkö ampeeri A. Sähkövirta on varauksenkuljettajien liikettä ja sitä voidaan verrata letkussa kulkevaan veteen.

Jännite eli potentiaaliero

tunnus on U ja sen yksikkö voltti V. Jännite on kahden pisteen, kuten pisteiden A ja piste B välinen potentiaaliero.

Resistanssi eli sähköinen vastus

Tunnus on R ja sen yksikkö V/A eli ohmi. Resistanssilla tarkoitetaan kappaleen kykyä vastustaa virran kulkua.

Teho

Tunnus on P kirjain ja sen yksikkö watti W. Teho tarkoittaa tehtyä työtä aikayksikkö kohti.

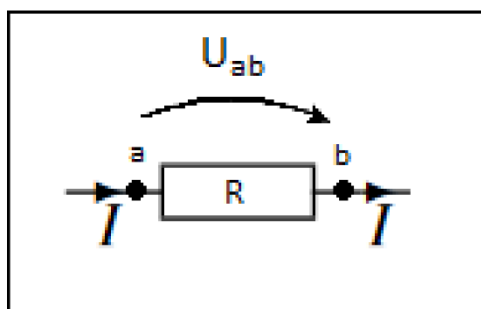
3.2 Sähköopin lakeja

Tasasähköpiireissä keskeisimpiä sähköopin lakeja ovat Ohmin laki ja Kirchhoffin piirilait:

Ohmin laki on tärkeä ja tunnetuimpia kaavoja sähköalalla ja sitä käytetään jokaisella opetusvideolla. Sitä käytetään, kun halutaan ratkaista virtapiiristä esimerkiksi vastuksen jännite tai vastuksen läpi kulkeva virta. Vastuksissa niiden päiden välille muodostuva jännite pakottaa virran kulkemaan vastuksen läpi. (Silvonen, 2003) Tätä voidaan kutsua myös jännitehäviöksi, kun resistanssi aiheuttaa vastuksen napojen välille napajännitteen. (Holmlund, 2014)

$$U = R * I \tag{1}$$

Ohmin laki, missä R on resistanssi (sähköinen vastus) ja I on sähkövirta virtapiirissä. Jännite U saadaan kertomalla resistanssi ja sähkövirta keskenään.

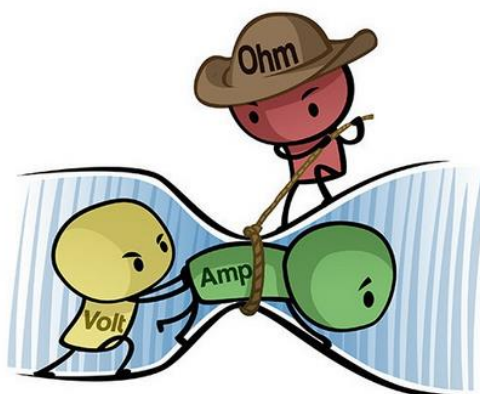


KUVA 2. Ohmin laki vastuksella (Silvonen, 2003)

Ohmin laki esitettyinä vastuksella. Kuvassa on vastus R , joka on kytketty pisteisiin a ja b .

Jännite U_{ab} on a ja b pisteiden välissä. Merkitään a ja b navat jännitteen tunnuksen eli U kirjaimen alaindeksiin.

Virta I kulkee vastuksen läpi a navasta b napaan. Virta kulkee plusnavasta miinusnapaan. Resistanssi R vastustaa virran I kulkua.

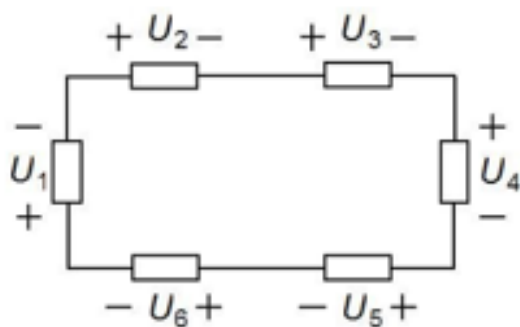


KUVA 3. Ohmin laki kuvituskuva (Nydal Dahl, 2012)

Tunnettu ja opetusvideollakin näytetty kuvituskuva Ohmin laista, jonka tarkoituksena on helpottaa Ohmin lain ymmärtämistä. Ohmi eli resistanssi vastustaa sähkövirran kulkua. Mitä enemmän resistanssia, sitä pienempi sähkövirta.

Kirchhoffin piirilait eli virta- ja jännitelaki tunnetaan myös Kirchhoffin ensimmäisenä ja toisena lakina, ovat sähköalan peruslakeja, joita sovelletaan usealla opetusvideolla. Kirchhoffin virtalain on kehitelty solmupistemenetelmä ja Kirchhoffin jännitelain on kehitelty silmukavirtamenetelmä.

Kirchhoffin jännitelain mukaan suljetun virtapiirin lähdejännitteiden summa on yhtä suuri kuin jännitehäviöiden summa. Tämä voidaan esittää seuraavassa muodossa:

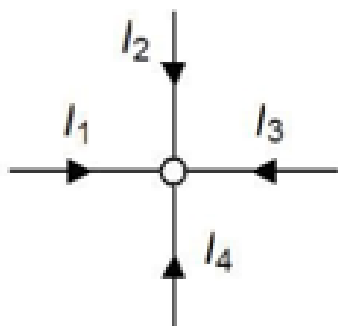


KUVA 4. Kirchhoffin jännitelakiesimerkki (Sähkömagnetiikka)

$$U_1 + U_2 + U_3 + U_4 + U_5 + U_6 = 0 \quad (2)$$

Kirchhoffin jännitelaki, missä U tarkoittaa jännitettä ja U_1 on osajännite (R_1 vastuksella).

Kirchhoffin virtalain mukaan virtapiirin solmupisteeseen tulevien virtojen summa on yhtä suuri kuin solmupisteestä lähtevien virtojen summa. Tämä voidaan esittää seuraavassa muodossa:



KUVA 5. Kirchhoffin virtalaki esimerkki (Sähkömagnetiikka)

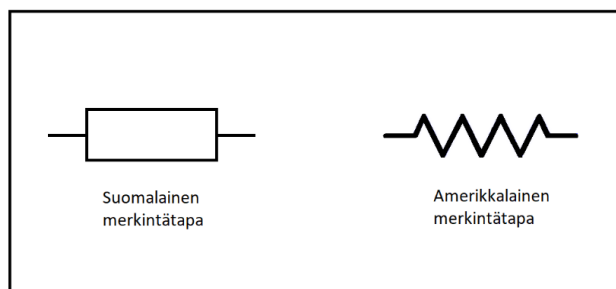
$$I_1 + I_2 + I_3 + I_4 = 0 \quad (3)$$

Kirchhoffin virtalaki, jossa I tarkoittaa virtaa ja I alaindeksillä tarkoittaa osavirtaa.

4 MERKINTÄTAVAT VIRTAPIIREISSÄ

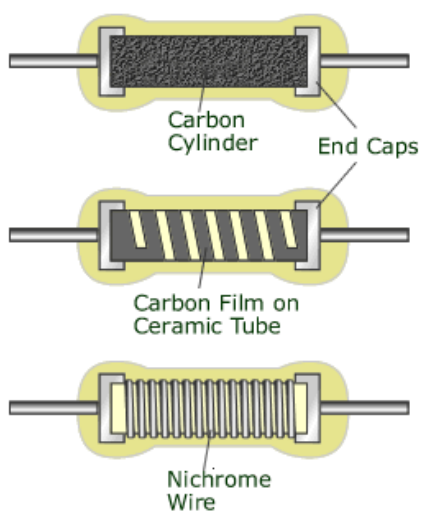
Suomalainen merkintätapa ja amerikkalainen merkintätapa eroavat toisistaan ja näitä molempia käytetään Suomessa. Tämän opinnäytetyön opetusvideot tehtiin amerikkalaisella merkintätavalla. Opin-
näytetyöhön kuuluu näiden kahden merkintätavan vertailu, joka tehdään tässä osiossa.

Helpoiten huomattava eroavaisuus näiden kahden merkintätapojen välillä on vastuksien piirtämistä-
tapa, kuva 6.



KUVA 6. Vastuksien merkintätavat. (Vis)

Suomalaisessa merkintätavassa vastuksen muoto on suorakulmainen. Tämä on enemmän konkreet-
tisen vastuksen muoto kuin amerikkalaisen merkintätavan. Tämä piirtämistapa on yleinen tapa piir-
tää vastus Euroopassa.

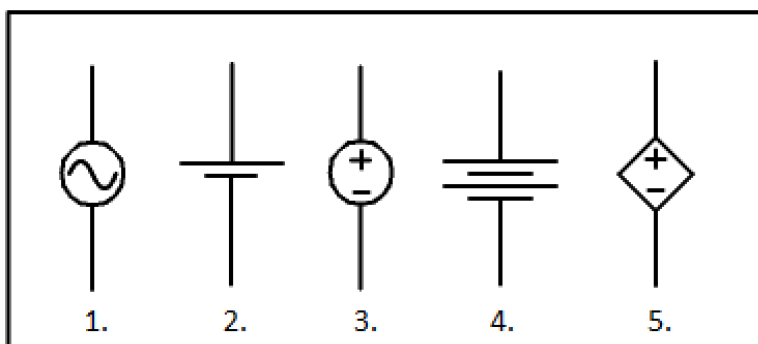


KUVA 7. Vastuksen rakenne. (Splung)

Amerikkalaisen merkintätavan vastus on piirretty siksakkina. Se on piirretty siksakkina, koska vastuksessa oleva Nichrome-lanka on kierretty spiraalina keraamisen putken ympärille ja tämän takia sivulta katsottaessa se näyttää siksakilta kuten kuvassa 7.

Peter Vis:n mukaan virtapiireihin oikeaoppisesti piirrettynä amerikkalaisen merkintätavan vastuksessa olisi oltava neljä huippua ylhäällä ja 3 huippua alhaalla eli yhteensä 7 huippua. (Vis)

Jännitelähteissä on enemmän eroja näiden kahden merkitsemistapojen välillä. Kuvassa 8 esitetään useita erilaisia jännitelähteiden piirrosmerkkejä.



KUVA 8. Jännitelähteiden piirrosmerkkejä. (Kuisma)

Vasemmalla ensimmäisenä on vaihtosähkön jännitelähde, jossa pallon sisällä oleva kuvio kuvastaa siniaaltoja (Kuisma). Tämä on yhteinen piirrosmerkki suomalaisessa ja amerikkalaisessa merkintätavassa.

Toinen vasemmalla on amerikkalaisen jännitelähteen merkintätapa tasasähköllä, jota käytetään laajalti esim. englanninkielisissä opetusvideoissa ja kirjallisuudessa. Tällä piirrosmerkillä voidaan korostaa, että kyseinen jännitelähde on tasasähköä. Kyseinen piirrosmerkki on akkujen ja paristojen piirrosmerkki. Neljännessä piirrosmerkissä kuvataan paristoja tai akkuja sarjassa. (Silvonen, 2003)

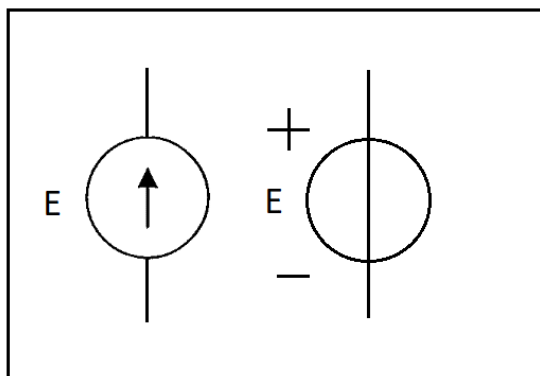
Kolmannetta piirrosmerkkiä käytetään amerikkalaisessa merkintätavassa ja sitä voidaan kutsua yleisesti käytettäväksi jännitelähteeksi tasasähköllä. (Electronics-tutorials)

Neljäntenä on piirrosmerkki, jolla voidaan kuvata, kun paristoja tai akkuja on sarjassa jännitelähteenä.

Viidentenä on amerikkalainen merkintätapa ohjatulle jännitelähteelle. (Electronics-tutorials) Muut kuvan piirrosmerkeistä ovat ideaalisia eli riippumattomia jännitelähteitä ("independent voltage source").

Ohjattu jännitelähde on timantin muotoinen. Sen jännitearvo ei ole vakio, vaan se riippuu jostain virtapiirin virrasta tai jännitteestä. Ideaalinen jännitelähde pysyy vakiojännitelähteenä eli se pystyy tuottamaan ja pitämään saman jännitteen riippumatta kuormituksesta. (Electronics-tutorials).

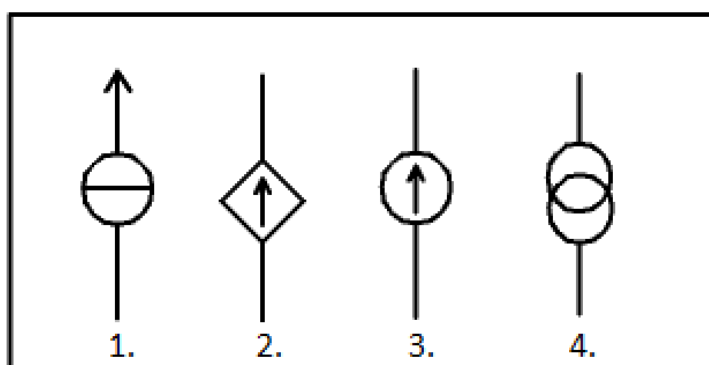
Käytännössä jännitelähteet eivät ole luonnollisesti ideaalisia, sillä jännite aina muuttuu resistanssin ja kuorman takia. Laskutehtävissä ja teoriassa tietenkin käytetään ideaalisia jännite- ja virtalähteitä muuttumattomuuden takia. (Kuisma) Todellisista lähteistä voidaan käyttää Theveninin tai Nortonin vastinpiiriä, joissa ideaaliseen lähteeseen yhdistetään jännitteen alenemaa ja häviöitä simuloiva vastus.



KUVA 9. Suomalaisen jännitelähteen piirrosmerkit (Rouvali, 2008; Silvonen, 2003)

Suomalaisen merkintätavan mukaiset jännitelähteet on esitetty kuvassa 9. Vasemmanpuoleisessa piirrosmerkissä oleva nuoli sisällä, kertoo virran kulkusuunnan ja kirjain E kertoo sen olevan jännitelähde. Tämä piirrosmerkki voi olla sekoitettavissa amerikkalaisen merkintätavan virtalähteeseen; erona on vain kirjaintunnus. Oikeanpuolimmaista jännitelähdettä suositellaan käytettäväksi Suomessa. (Silvonen, 2003) Siinä nuolta ei ole esitetty ja virran kulkusuunta on tulkittava napaisuudesta eli plussasta ja miinuksesta, joten virran kulkusuunta olisi myös ylöspäin.

Jännite- ja virtalähteissä on isompi ero näiden kahden merkintätavan välillä. Suomalaisessa merkintätavassa voidaan käyttää nuolta jännitelähteen piirrosmerkin sisällä, mikä voi sekoittaa amerikkalaisen merkintätavan oppineita, sillä se on identtinen amerikkalaisen merkintätavan virtalähteen kanssa.



KUVA 10. Virtalähteiden piirrosmerkkejä. (Kuisma)

Virtalähteissäkin on monia erilaisia piirrosmerkkejä, jotka näkyvät kuvassa 10. Virtalähteitä merkitään kirjaintunnuksella I tai J.

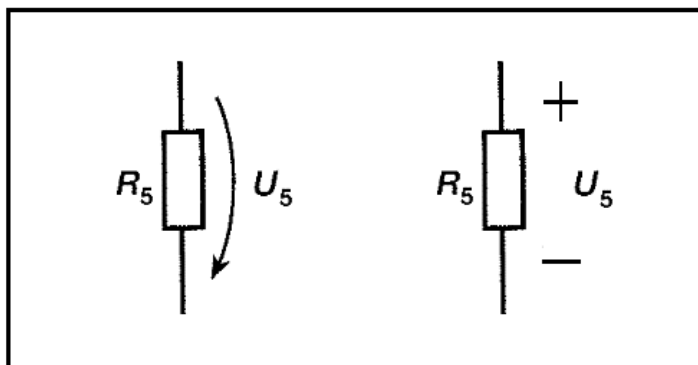
Vasemmalta oikealle: Ensimmäisenä on suomalainen merkintätapa virtalähteelle, jota suositellaan käytettäväksi Suomessa. (Silvonen, 2003)

Toisena on amerikkalainen merkintätapa, joka on jänniteohjattu virtalähde (eng. voltage-controlled current source). Loput piirrosmerkeistä ovat ideaalisia virtalähteitä.

Kolmantena virtalähteenä on yleinen amerikkalaisen merkintätavan piirrosmerkki virtalähteelle.

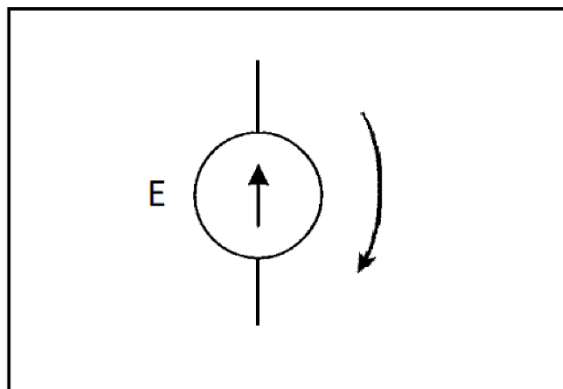
Viimeistä piirrosmerkkiä oikealla voidaan käyttää muuntajan piirrosmerkinä.

Virtalähteiden ero merkintätavoissa on, että amerikkalaisessa merkintätavassa virran suunta merkitään nuolella piirrosmerkin sisään ja suomalaisessa sitä ei merkitä sisään, vaan piirrosmerkin ulkopuolelle nuolena, kuten kuvassa 10, jossa vasemmalla on suomalainen virtalähde, jossa piirrosmerkistä ylempänä on nuoli ylöspäin osoittamassa virran kulkusuunnan.



KUVA 11. Napaisuuden merkintäerot (Rouvali, 2008)

Neljäs eroavaisuus merkintätavoissa on vastuksen napaisuuden merkitseminen, kuva 11. Amerikkalaisessa merkintätavassa käytetään plussia ja miinusta napaisuuden osoittamiseen. Suomalaisessa merkintätavassa käytetään nuolta, jonka suunta on ylempäästä potentiaalista alempaan. Virran suunta vastuksessa on ylempäästä potentiaalista alempaan potentiaaliin.

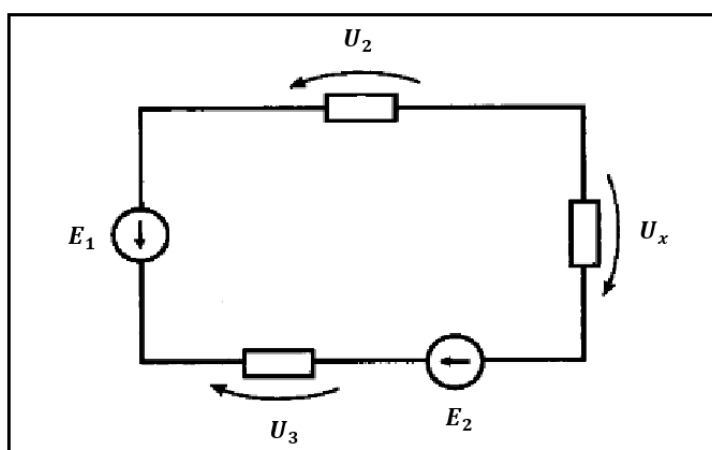


KUVA 12. Suomalainen napaisuuden merkintä jännitelähteellä (Rouvali, 2008)

Kuvassa 12 näkyy suomalainen napaisuuden merkintätapa jännitelähteellä. Plusnapa on piirrosmerkin yläpuolella ja miinusnapa alapuolella. Piirrosmerkin sisällä oleva nuoli kertoo virran kulkusuunnan. Napaisuus on esitetty piirtämällä nuoli jännitelähteen rinnalle. E kirjain kertoo sen olevan jännitelähde.

Nuolen ollessa esitettynä vastuksen rinnalle se kertoo, että nuolen osoittama suunta on virran kulkusuunta, kuten kuvassa 11, mutta jännitelähteen rinnalla näin ei voi miettiä, koska nuoli esitetään toisinpäin virran "oikeaan" kulkusuuntaan nähden. Tämä tosin on oikein, koska jännitelähteen sisällä oleva nuoli kertoo mihin suuntaan lähde haluaa siirtää tehoa.

Kirchhoffin jännitelain käyttämisessä löytyi myös merkitsemisero. Kirchhoffin jännitelakia voidaan käyttää virtapiirissä, josta halutaan selvittää esimerkiksi tietyn komponentin jännite. Esimerkkinä esitetään kuvan 13 virtapiiri, josta halutaan selvittää vastuksen jännite U_x .



KUVA 13. Kirchhoffin jännitelaki harjoitustehtävä (Rouvali, 2008)

Vastuksen jännite U_x ratkaistaisiin Kirchhoffin jännitelaillla. Sen käyttämisessä virtapiiristä katsotaan järjestyksessä läpi kaikki kytkennän vastukset ja lähteet silmukassa kulkien myötäpäivään ja kirjoittaen ne yhtälöön. Ensimmäisenä kuitenkin kytkentään pitää merkitä jännitenuolet vastusten rinoille, jotka kertovat vastusten napaisuudet. Jännitenuolet eli vastusten napaisuudet voidaan merkitä mielivaltaisesti, koska lopullisesta vastauksesta selviävät todelliset napaisuudet.

Yksi merkitsemistapa on se, että suljettu reitti kierretään myötäpäivään ja lasketaan komponenttien jännitteet yhteen. Jännite on positiivinen, jos se tulee vastaan samansuuntaisena kuin kiertosuunta; komponentin jännitettä osoittava nuoli on samansuuntainen kuin reitin kiertosuunta. (Valtonen, 2021)

Amerikkalaisessa opetuksessa merkintätapa on kuitenkin päinvastoin, kun tarkastelussa tulee ensimmäisenä vastaan vastuksen plusnapaisuus, se merkattaisiin yhtälöön vähentämisenä ja taas miinusnapaisuus merkattaisiin yhtälöön lisäämällä. (Boylestad, 2002)

Kuvan 13 virtapiiristä voidaan kirjoittaa Kirchhoffin jännitelain mukainen yhtälö kahdella eri tapaa:

$$+E_1 - U_2 + U_x - E_2 + U_3 = 0 \quad (4)$$

$$-E_1 + U_2 - U_x + E_2 - U_3 = 0 \quad (5)$$

Kaava 4 vastaa Savoniassa opetettua tapaa ja kaava 5 vastaa tapaa, mikä yleisemmin löytyy englanninkielisestä opetuksesta mm. YouTube videoilla ja Boylestadin kirjasta. (Boylestad, 2002)

Näiden yhtälöiden erona on vain etumerkin napaisuus. Kummastakin merkitsemistavasta tulee sama vastaus, joten sillä ei ole väliä kumpaa merkintätapaa käyttää. Kunhan yhtälöön merkitsemisessä ollaan johdonmukaisia, saadaan oikeat vastaukset.

5 OPETUSVIDEOT

Opetusvideot olivat opinnäytetyön keskeisin työ. Niitä julkaistiin YouTubeen 17 kappaletta. Opetusvideoiden yhteiskesto on 127 minuuttia. Opetusvideot on tehty Tasasähköpiirit-opintojakson osa-alueista. Opetusvideot ovat nimetty seuraavasti:

- 1 Tasasähköpiirien perusteita
- 2 Kirchhoffin jännitelaki
- 3 Virran jakaantuminen
- 4 Virtapiirin ratkaisutehtävä
- 5 Sekakytkentä
- 6 Jännitelähteet ja niiden yhdistäminen
- 7 Haaravirta-analyysi
- 8 Silmukkavirtamenetelmä osa 1
- 9 Silmukkavirtamenetelmä osa 2
- 10 Solmupistemenetelmä osa 1
- 11 Solmupistemenetelmä osa 2
- 12 Tähti-kolmiokytkentämuunnokset osa 1
- 13 Tähti-kolmiokytkentämuunnokset osa 2
- 14 Theveninin vastinkytkentä osa 1
- 15 Theveninin vastinkytkentä (+Norton) osa 2
- 16 Theveninin vastinkytkentä osa 3
- 17 Kerrostamismenetelmä

5.1 Opetusvideon tekeminen

Tässä osiossa kerrotaan opetusvideon tekemisestä. Ensimmäisenä opetusvideoon piti suunnitella aihe, nimi ja opetusvideon sisältö. Nämä saatiin suurin piirtein opinnäytetyön työsuunnitelman mukaisesti ja Tasasähköpiirit-opintojakson osa-alueista. Tämän jälkeen mietittiin tarkemmin opetusvideon sisältöä, kuten mitä asioita siinä pitää tulla esille, millaista laskuesimerkkiä käytetään ja miten asia opetetaan parhaiten niin, että opetusvideo pysyy lyhyenä ja ytimekkäänä.

Kun opetusvideo on lyhyt, 3–10 minuuttia, opiskelija ei tylsisty ja mieli ei lähde harhailemaan pois asiasta. Opiskelija voi katsoa opetusvideon helposti uudestaan ja siinä ei mene liikaa aikaa. Suurin osa opetusvideoista kestää 10–13 minuuttia, vaikka niistä yritettiin tehdä lyhyitä. Useimmat opetusvideoiden aiheet vievät enemmän aikaa niiden laajuuden takia ja kun laskutehtävät käytiin läpi selkeästi ja tarkasti.

Ennen opetusvideon kuvaamista suunniteltiin tiettyjä asioita ja osassa opetusvideoissa kirjoitettiin ylös mitä pitää sanoa opetusvideolla. Opetusvideoita tehtäessä kuitenkin huomattiin, että on luontevinta, että ei lueta paperilta sanottavaa asiaa, vaan kerrotaan se omin sanoin samalla kun näytetään kursorilla kuvamateriaalia.

Opetusvideot kuvattiin OBS studio -ohjelmalla. Kuvattaessa puhuttiin mikrofoniin ja OBS studio tallentaa äänen ja näytöntallennuksen samaan aikaan. Näytöllä oli sovitteluna kuvia, laskin ja muita tarvittavia ohjelmia, kuten Paint.

Paintista tehtiin opetusvideoiden kuvausalusta, koska siinä pystyy piirtämään ja osoittamaan kuvasta asioita kursorilla kuvauksen aikana. Paint-ohjelmaa käytettiin myös sen takia, että sillä pystyi tekemään ja muokkaamaan virtapiirejä ja lisäämään tekstejä, mikä teki siitä toimivan työkalun opetusvideoiden tekemisessä.

Kaavoja tarvittiin runsaasti laskentatehtävissä ja nämä tehtiin Wordin kaavaeditorilla. Ne siirrettiin Wordista kuvakaappaustyökalulla Paintiin, joka oli opetusvideoiden kuvaus- ja muokkausala. Paintissa kuvia, kaavoja ja tekstejä pystyi jälkikäteen siirtelemään ja muokkaamaan helposti.

Virtapiirejä piti piirtää useita opetusvideoihin. Oli helpointa ottaa virtapiirit pohjina Boylestadin kirjasta ("Introductory circuit analysis") ja muokata niitä Paintilla sopivimmiksi opetusvideoihin.

Opetusvideot tehtiin niin, että kuvattiin kymmeniä videoleikkeitä, joista yhdistettiin parhaimmat Openshot Video Editor -ohjelmalla. Openshot Video Editor -ohjelmalla pystyy leikkaamaan, yhdistämään, nopeuttamaan, hiljentämään äänenvoimakkuutta, lisäämään kuvia ja kaavoja ja tärkeimpänä ominaisuutena, viemään videoksi todella monella eri formaatilla. Se oli tehokasta, kun puhuu saman asian pariin kertaan, valitsee parhaimman tuotoksen, leikkaa huonot kohdat pois ja taas liittää paremman leikkeen tilalle tarvittaessa.

Vaikeaa opetusvideoiden kuvaamisessa oli äänen nopeuden ja nuotin pitämisen samanlaisena, jotta opetusvideolla ei tule yllättäen äänen heittäilyä. Tätä tulee ainakin silloin, kun kuvaa leikkeitä eri päivinä.

5.2 Perusteiden opetusvideot

Perusteet-osioon tehtiin neljä opetusvideota. Näiden opetusvideoiden nimet ovat:

"1 Tasasähköpiirien perusteita"

"4 Virtapiirin ratkaisutehtävä"

"5 Sekakytkentä"

"6 Jännitelähteet ja niiden yhdistäminen".

Näillä opetusvideoilla opitaan virtapiirien laskemisen perusteita, kuten ohmin lakia, sarjaan- ja rinnankytkentää ja jännitelähteistä.

Ensimmäinen opetusvideo perusteissa on "1 Tasasähköpiirien perusteita". Tällä opetusvideolla käytiin lyhyesti läpi teoriaa, kuten ohmin lakia, sarjaan- ja rinnankytkentää, jännitteen- ja virran jakaantumista, konduktanssi ja lopuksi ratkaistiin tehtävä, jossa on sekakytkentä.

Linkki opetusvideoon: https://www.youtube.com/watch?v=ae5hn9p9_3E

Toinen perusteiden opetusvideo on nimeltään "4 Virtapiirin ratkaisutehtävä". Opetusvideolla ratkaistiin virtapiiristä jännitelähde kahdella eri tavalla. Ensimmäinen tapa on laskea vastuksien osajännitteet yhteen. Toinen tapa on laskea kokonaisresistanssi ja kertoa se kokonaisvirralla, jolloin saadaan lähdejännite.

Linkki opetusvideoon: <https://www.youtube.com/watch?v=5MNxqyEMZgU>

Tällä opetusvideolla esiteltiin ohmin laista johdetut kaavat, jotka ovat tärkeitä tietää, kuten:

$$R = \frac{P}{I^2} \quad (6)$$

P on vastuksen teho ja I on vastuksen läpi menevä virta. Resistanssi R, yksikkö on ohmi (Ω). Tämä kaava on johdettu ohmin lain kaavasta ja se saadaan seuraavasti:

Tasavirran hetkellisarvolla pätee Joulen laki. (Silvonen, 2003)

$$P = U * I \Rightarrow p(t) = u(t) * i(t) \quad (7)$$

Pienet kirjaimet u ja i tarkoittavat yleensä ajan t funktioita eli hetkellisarvoja.

$$u = R * i \quad ja \quad i = \frac{u}{R} \quad (8)$$

Vastuksen kuluttama teho voidaan esittää vaihtoehtoisissa esitysmuodoissa. (Silvonen, 2003)

$$p = R * i^2 = \frac{u^2}{R} \Rightarrow R = \frac{P}{I^2} \quad (9)$$

Kolmantena opetusvideona perusteissa on opetusvideo nimellä "5 Sekakytkentä". Tässä opetusvideossa on hieman vaikeampi sekakytkentä, jossa on useampi rinnan- ja sarjaankytkentä. Opetusvideolla on tarkoituksena oppia vastusten rinnan- ja sarjaan yhdistämistä ja lopulta se, kuinka lasketaan kokonaisvirta. Opetusvideolla on selkeytetty, että vaikka vastus näyttäisi olevan sarjassa, ei se välttämättä ole. Opetusvideolla käytiin läpi vastusten yhdistämiset oikeaoppisesti.

Linkki opetusvideoon: <https://www.youtube.com/watch?v=LXARtE9jpEo>

Neljäs opetusvideo perusteet osiossa on nimeltään "6 Jännitelähteet ja niiden yhdistäminen". Tällä opetusvideolla haluttiin opettaa virtapiireihin opetusvideon tapaisen ajattelutavan jännitelähteitä yhdisteltäessä. Opetusvideolla on kaksi tehtävää, joissa saadaan vastaukseksi kokonaisvirta ja virran suunta. Tämäkin asia on tärkeä ymmärtää varhain opintojaksolla eli jännitelähteiden napaisuus, sen merkitys, virran kulkusuunta ja sen määräytyminen.

Linkki opetusvideoon: <https://www.youtube.com/watch?v=ghtTjUL1LRs>

5.3 Kirchhoffin virta- ja jännitelaki

Kirchhoffin piirilakeihin tehtiin kaksi opetusvideota. Näiden opetusvideoiden nimet ovat:

"2 Kirchhoffin jännitelaki" ja "3 Virran jakaantuminen".

"2 Kirchhoffin jännitelaki" -opetusvideo on ainut opetusvideo, jossa käytettiin suomalaista merkintätapaa. Opetusvideolla esitellään suomalainen merkintätapa ja näytetään sen logiikkaa, koska kuitenkin Suomessa ollaan ja näin siitä ei tarvitse tehdä omaa opetusvideota. Alun perin tehtävä laadittiin myös amerikkalaisella merkintätavalla, mutta sitä ei julkaistu. Opetusvideolla käsitellään Kirchhoffin jännitelakia, jännitettä ja napaisuutta ja ratkaistaan tehtävä, jossa pitää selvittää vastuksen jännite käyttämällä Kirchhoffin jännitelakia.

Linkki opetusvideoon: <https://www.youtube.com/watch?v=S860sZn3PvI>

Kirchhoffin virtalakiin liittyen tehtiin opetusvideo nimellä "3 Virran jakaantuminen". Tällä opetusvideolla opitaan Kirchhoffin virtalakia, jossa virta on jakaantunut useammalle vastukselle ja josta lopulta lasketaan kokonaisvirta, virtojen yhdistyttyä samassa pisteessä. Tehtävä aloitetaan ratkaisemalla kytkennän jännite. Koska kytkennässä kaikki vastukset ovat rinnan, on vastuksilla sama jännite. Tämä asia on tärkeä ymmärtää ja sitä painotetaan opetusvideolla. Jännitteen ratkaistua laskettiin osavirrat, jonka jälkeen laskettiin osavirrat yhteen ja saatiin kokonaisvirta.

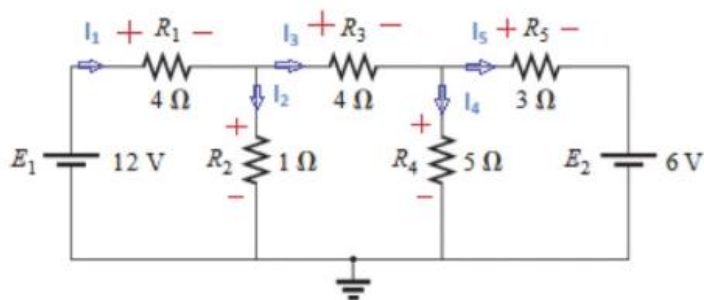
Linkki opetusvideoon: https://www.youtube.com/watch?v=_Jd-xJL1bxE

5.4 Haaravirta-analyysi

Haaravirta-analyysin voi mieltää myös peruslakimenetelmänä. Sitä voi ajatella haaravirta-analyysinä, koska sillä saadaan vastaukset virtoina jokaiselle haaralle, mutta nimellä ei ole väliä. Ideana on joka tapauksessa ratkaista virtapiirien virtoja käyttämällä peruslakeja, kuten Kirchhoffin virta- ja jännitelakia. Haaravirta-analyysi on monivaiheinen ja hidas menetelmä.

Opetusvideolla käytiin läpi virtapiiri, jossa on kolme silmukkaa. Tehtävä aloitettiin muuttamalla virtalähde jännitelähteeksi, jonka jälkeen alkoi haaravirta-analyysin opetus. Laskennassa opetetaan jokainen vaihe haaravirta-analyysistä ja katsotaan hieman teoriaa asiasta. Lopulta saatiin yhtälöt laskimeen, jolla ratkaistiin haaravirrat. Videolla käytiin läpi, mitä vastaukset tarkoittavat ja katsottiin virtojen kulkusuuntia.

Linkki opetusvideoon: https://www.youtube.com/watch?v=KtemkbCqI_c



KUVA 14. Haaravirta-analyysi opetusvideolta

Haaravirta-analyysissä merkitään virtapiiriin laskemisen helpottamiseksi vastuksille napaisuudet eli plussat, miinukset ja merkitään haaravirrat.

Kirchhoffin virtalain mukaisesti kirjoitetaan virroille yhtälöt:

$$I_1 = I_2 + I_3 \quad (10)$$

$$I_3 = I_4 + I_5 \quad (11)$$

Kuvan 13 virtapiiristä tehdään seuraavanlainen yhtälöryhmä haaravirta-analyysillä:

$$\begin{cases} -E_1 + R_1 * I_1 + R_2 * I_2 = 0 \\ R_3 * I_3 + R_4 * I_4 - R_2 * I_2 = 0 \\ R_5 * I_5 + E_2 - R_4 * I_4 = 0 \end{cases} \quad (12)$$

R tarkoittaa vastusta, E tarkoittaa jännitelähdettä ja I tarkoittaa virtaa. Alaindeksi tarkoittaa numerointia. Tämän jälkeen yhtälöstä voidaan rakentaa matriisimuotoinen esitystapa. Kytkenässä on 5 haaravirtaa, minkä takia vasemmanpuoleinen matriisi on kooltaan 5x5.

$$\begin{bmatrix} R_1 & R_2 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -R_2 & R_3 & R_4 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -R_4 & R_5 \\ I_1 & -I_2 & -I_3 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & I_3 & -I_4 & -I_5 \end{bmatrix}^{-1} \times \begin{bmatrix} E_1 \\ 0 \\ -E_2 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} I_1 \\ I_2 \\ I_3 \\ I_4 \\ I_5 \end{bmatrix} \quad (13)$$

Matriisiesityksen kolme ensimmäistä riviä kuvaavat yhtälöryhmän 12 mukaisia jännitelain yhtälöitä. Kaksi alinta riviä tulevat yhtälöistä 10 ja 11. Matriisiyhtälöstä 13 ratkaistaan virrat $I_1 \dots I_5$. Virran arvo voi olla positiivinen tai negatiivinen. Positiivinen arvo tarkoittaa, että alkuperäinen virran suunta on oikea. Negatiivinen arvo tarkoittaa, että virran suunta on todellisuudessa päinvastainen kuin alkutilanteessa on "arvattu".

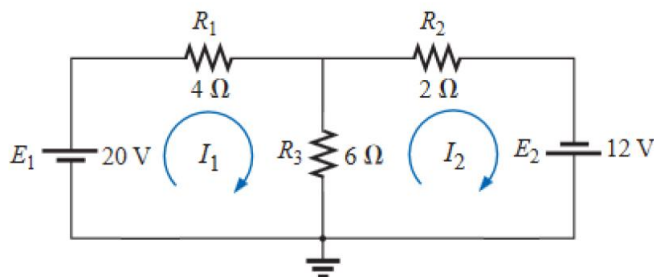
5.5 Silmukavirtamenetelmä

Silmukavirtamenetelmästä tehtiin kaksi opetusvideota, osa 1 ja osa 2. Ensimmäisessä osassa opetellaan silmukavirtamenetelmää kahden silmukkaisella virtapiirillä. Virtapiiristä ratkaistiin silmukavirrat ja tämän jälkeen I_x -haaran virta. Opetusvideo aloitettiin lähdemuunnoksella, jotta saadaan virtapiiriin jännitelähteet. Tämän jälkeen asian käsittely jatkui yhtälöiden muodostamisella, kirjoittamisella ja mihin logiikkaan se perustuu. Tämän jälkeen videolla yhtälöt laitettiin HP Prime -laskimeen, josta saatiin vastuksena silmukavirrat, josta sitten selitetään, kuinka silmukavirroilla voidaan ratkaista kysytty haaravirta ja selvitetään virran kulkusuunta.

Linkki opetusvideoon: https://www.youtube.com/watch?v=sQCV_sXKBHA

Toisessa osassa käytiin läpi siltakytkentöjä ja ratkaistaan yksi niistä, kolmesilmukkinen virtapiiri. Tehtävän läpikäyminen etenee samalla tavalla kuin ensimmäisessä osassa. Käydään kaikki asiat läpi vaihe vaiheelta ja lopuksi saadaan ratkaistua tietyn haaran virta.

Linkki opetusvideoon: <https://www.youtube.com/watch?v=RIoO7LoCjVU>



KUVA 15. Esimerkkivirtapiiri silmukavirtamenetelmästä (Boylestad, 2002)

Kuvassa 15 on silmukavirtamenetelmää opiskelevalle esimerkkiharjoitustehtävä. Silmukavirtamenetelmässä kirjoitetaan yhtälöt, jotka esimerkkivirtapiirille on esitetty yhtälöryhmässä 14. Virtapiiriin voidaan merkitä tarkastelusuunta eli suljettu reitti, joka on nyt myötäpäivään. Virtapiiristä kirjoitetaan lähteet ja vastukset yhtälöön:

$$\begin{cases} (R_1 + R_3) * I_1 - (R_3) * I_2 + E_1 = 0 \\ (R_3 + R_2) * I_2 - (R_3) * I_1 - E_2 = 0 \end{cases} \quad (14)$$

R tarkoittaa vastusta, E tarkoittaa jännitelähdettä ja I tarkoittaa virtaa. Alaindeksi tarkoittaa numerointia. Silmukassa olevat vastukset lasketaan yhteen ja vähennetään silmukoiden väliset yhteiset vastukset. Viimeinen vaihe on siirtää jännitelähteiden arvot oikealle puolelle yhtälöä.

Tämän jälkeen yhtälöparista voidaan rakentaa matriisimuotoinen esitys:

$$\begin{bmatrix} R_{13} & -R_3 \\ -R_3 & R_{23} \end{bmatrix}^{-1} \times \begin{bmatrix} E_1 \\ E_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} I_1 \\ I_2 \end{bmatrix} \quad (15)$$

Tällä tavalla saadaan vastaukseksi silmukavirrat I_1 ja I_2 , joilla sitten voidaan ratkaista virtapiirin haaravirrat.

5.6 Solmupistemenetelmä

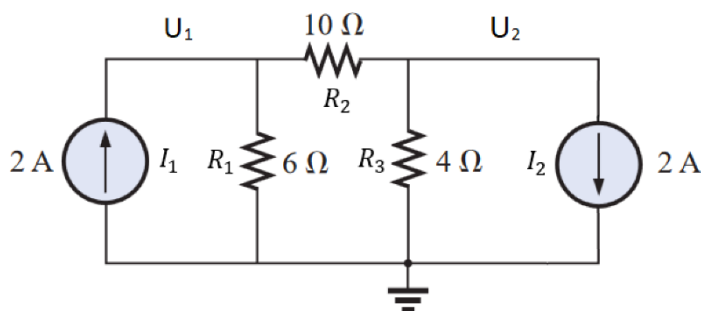
Solmupistemenetelmästä tehtiin kaksi opetusvideota, osa 1 ja osa 2.

Ensimmäisessä osassa aloitetaan helpolla tehtävällä solmupistemenetelmän opiskeleminen. Alussa käytiin hieman läpi teoriaa ja sitten esitetään laskemisen eri vaiheita, kuten solmupisteiden ja yhtälöiden muodostaminen. Opetusvideolla ratkaistaan virtapiirin solmupisteet, jonka jälkeen ratkaistaan eri vastuksien jännitteitä ja niissä kulkevia virtoja. Opetusvideon lopussa käytiin läpi jännitteiden napaisuuksia ja katsotaan mihin suuntiin virrat kulkevat kytkennässä.

Linkki opetusvideoon: <https://www.youtube.com/watch?v=oBWv94O4t0M>

Toinen osa on jatkoa solmupistemenetelmän opiskelemiselle. Videon tehtävä on hieman vaikeampi ja tehtävässä on yksi solmujännite enemmän. Videolla käytiin samalla tavalla perusasioita, kuten solmupisteiden muodostaminen, referenssipiste ja yhtälöiden muodostaminen. Videolla ratkaistaan taas eri vastusten jännitteitä ja virtoja. Lopussa käytiin taas läpi kytkennän napaisuuksia ja virtojen kulkusuuntia.

Linkki opetusvideoon: <https://www.youtube.com/watch?v=v5pdM3v4Rdk>



KUVA 16. Esimerkivirtapiiri solmupistemenetelmästä (Boylestad, 2002)

Solmupistemenetelmässä kirjoitetaan yhtälöpari kuvan 16 virtapiiristä seuraavanlaisesti:

$$\begin{cases} \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}\right) * U_1 - \left(\frac{1}{R_2}\right) * U_2 + I_1 = 0 \\ \left(\frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}\right) * U_2 - \left(\frac{1}{R_2}\right) * U_1 - I_2 = 0 \end{cases} \quad (16)$$

R tarkoittaa vastusta, E tarkoittaa jännitelähdettä ja I tarkoittaa virtaa. Alaindeksi tarkoittaa numerointia vastusten mukaan. Vastukset laitetaan yhtälöön käänteisenä solmupistemenetelmässä.

Tämän vaiheen jälkeen yhtälöparista voidaan tehdä matriisimuotoinen esitys:

$$\begin{bmatrix} 1 & -1 \\ R_{12} & R_2 \\ 1 & 1 \\ -R_2 & R_{23} \end{bmatrix}^{-1} \times \begin{bmatrix} I_1 \\ I_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} U_1 \\ U_2 \end{bmatrix} \quad (17)$$

R tarkoittaa vastusta ja I tarkoittaa virtalähdettä. Kyseessä on kaksi solmupistettä virtapiirissä. Kaavassa 17 vasemmanpuoleisessa matriisissa ovat vastukset, joka kerrotaan virtalähteiden matriisilla. Tällä saadaan vastaukseksi solmupisteiden jännitteet esim. U_1 ja U_2 .

5.7 Tähti-kolmiokytkentämuunnokset

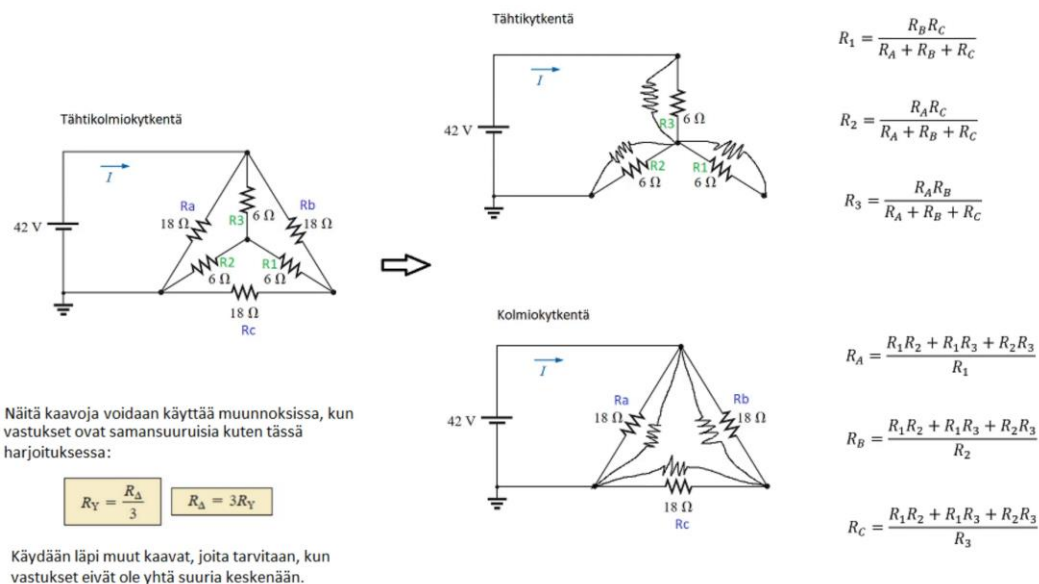
Tähti-kolmiokytkentämuunnoksista tehtiin kaksi opetusvideota, osa 1 ja osa 2.

Ensimmäisessä osassa harjoitellaan muunnos tähtikytkennästä kolmiokytkentään ja kolmiokytkennästä tähtikytkentään samalla videolla. Opetusvideolla käytiin yksityiskohtaisesti läpi, miten muunnos tehdään ja mitä asioita pitää ottaa huomioon. Opetusvideolla esitetään kaikki tarvittavat kaavat ja muunnoksien laskut lasketaan yhdessä laskimella.

Linkki opetusvideoon: <https://www.youtube.com/watch?v=Y3N8owy5pio>

Toisessa osassa käytiin läpi siltakytkentään liittyvä harjoitustehtävä, jossa tehdään muunnos kolmiokytkennästä tähtikytkentään, jotta virtapiiri on mahdollista ratkaista. Tälläkin opetusvideolla tulee tärkeimmät kaavat tähti-kolmiokytkentämuunnokseen ja harjoitellaan perusasioita.

Linkki opetusvideoon: <https://www.youtube.com/watch?v=H-CFTkL7I4g>



KUVA 17. Tähti-kolmiokytkentämuunnos opetusvideolta

Kuvassa 17 nähdään kuvakaappaus tähti-kolmiokytkentämuunnoksen opetusvideolta. Kuvia opetusvideon esitykseen pitää tehdä monia, sillä opetusvideoiden kuvaus on monivaiheinen ja jokainen vaihe tarvitsee oman kuvan. Tähti-kolmiokytkentämuunnos osa 1 oli suuritöisimpiä opetusvideoita kuvien ja kaavojen suuren määrän takia.

Tähti-kolmiokytkentämuunnoksessa käytetään kuvassa 17 näkyviä kaavoja muunnoksen tekemisessä. Vasemmalla alhaalla näkyvät kaavat ovat sellaisesta erikoistapauksesta, jossa kytkennän vastukset ovat yhtä suuria. Muunnoksessa piirretään rinnalle "uudet" muunnetut vastukset. Tämän jälkeen rinnan olevat vastukset yhdistetään ja tämän jälkeen virtapiiristä voidaan laskea kokonaisresistanssi ja kokonaisvirta.

5.8 Theveninin vastinkytkentä

Theveninin vastinkytkennästä tehtiin kolme opetusvideota. Näiden opetusvideoiden nimet ovat:

"14 Theveninin vastinkytkentä osa 1"

"15 Theveninin vastinkytkentä (+Norton) osa 2"

"16 Theveninin vastinkytkentä osa 3"

Ensimmäisessä osassa pureuduttiin pelkästään Theveninin resistanssin löytämiseen virtapiiristä. Opetusvideo pysyi lyhyenä noin 3 minuutin videona. Videolla käytiin läpi vaihe vaiheelta, kuinka kytkennästä saadaan selvitettyä Theveninin resistanssi.

Linkki opetusvideoon: <https://www.youtube.com/watch?v=AHxC2rX0Eeg>

Toinen osa Theveninin vastinkytkennästä on suurin ja tärkein, koska tällä opetusvideolla asiaa käytiin eniten ja syvällisimmin läpi. Tehtävänä oli selvittää helposta virtapiiristä Theveninin vastinkytkentä, johon kuuluu Theveninin resistanssin ja Theveninin jännitelähteen selvittäminen. Tässä aiheessa oli tärkeää, että selitettiin kaikki asiat, jotta katsojalle ei jää mikään epäselväksi. Opetusvideon lopussa käytiin läpi Nortonin teoreema ja kuinka se saadaan fiksusti Theveninin vastinkytkennästä tekemällä jännitelähdemuunnos.

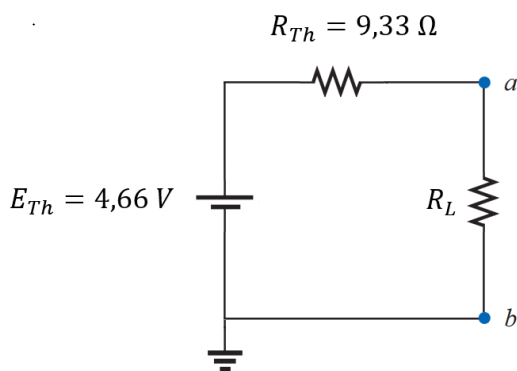
Linkki opetusvideoon: <https://www.youtube.com/watch?v=uHQjbMAfIZA>

Kolmannessa osassa Theveninin vastinkytkennässä haluttiin yhdistää aikaisemmin opittu solmupistemenetelmä. Opetusvideon tehtävänä on virtapiiri, josta on tarkoituksena selvittää Theveninin vastinkytkentä ja Theveninin jännitelähde solmupistemenetelmällä. Tämän ideana oli antaa opiskelijalle ajatusmallia siitä, että eri menetelmiä voidaan käyttää rinnan toistensa kanssa, mikä avaa opiskelijan näkemystä tasasähköpiirien laskemisessa.

Linkki opetusvideoon: <https://www.youtube.com/watch?v=ieRUP3yJRtQ>

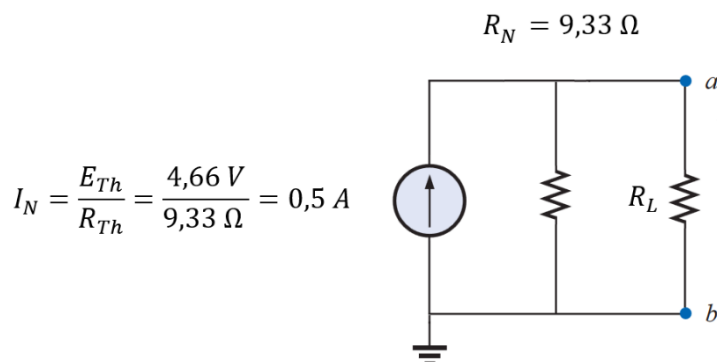
Theveninin vastinkytkennässä tarkoituksena on muuttaa virtapiiri yksinkertaisimpaan muotoon solmupisteistä a ja b nähtynä, kuten kuvan 17 virtapiiri, joka on Theveninin vastinkytkentä. Alkuperäisestä virtapiiristä pitää siis selvittää Theveninin resistanssi R_{Th} ja Theveninin jännitelähde E_{Th} . Theveninin resistanssi saadaan laskemalla kytkennän vastukset yhteen oikeaoppisesti. Ensimmäinen vaihe siinä on poistaa lähteet ja uudestaan piirtää kytkentä, jonka jälkeen vastuksien yhteen laskeminen on helpompaa. Theveninin jännitelähde saadaan ratkaisemalla piirin tyhjäkäyntijännite tarkastelunavoilta, joita ovat navat a ja b.

Theveninin vastinkytkennäksi saadaan kuvan 18 mukainen virtapiiri. Virtapiiri ja sen arvot ovat opetusvideolta "15 Theveninin vastinkytkentä (+Norton) osa 2".



KUVA 18. Theveninin vastinkytkentä opetusvideolta

Toisessa osassa Theveninin vastinkytkennästä johdettiin myös Nortonin vastinpiiri. Nortonin vastinpiiri saadaan Theveninin vastinkytkennästä tekemällä jännitelähdemuunnos virtalähteeseen. Nortonin vastinpiiri muunneltuna kuvan 18 Theveninin vastinkytkennästä:



KUVA 19. Nortonin vastinpiiri opetusvideolta

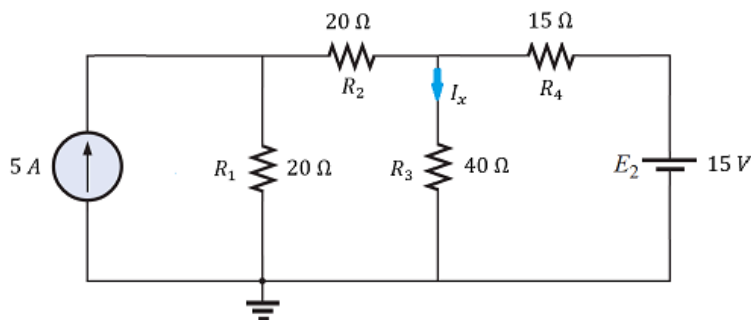
Theveninin vastinkytkennässä sarjassa oleva vastus siirtyi virtalähteen rinnalle. Nortonin virtalähteen rinnalla oleva vastus säilyttää arvonsa 9,33 Ω. Navoissa a ja b välissä oleva R_L vastus, joka tarkoittaa kuormavastusta, voi olla arvoltaan mikä tahansa. Theveninin ja Nortonin vastinkytkentää voidaan miettiä esimerkiksi auton akkuna, jossa on plus (a) ja miinus (b) navat ja johon kytketään auton sähköinen järjestelmä, kuten auton valot.

5.9 Kerrostamismenetelmä

Viimeiseksi opetusvideoksi tehtiin "17 Kerrostamismenetelmä".

Tällä opetusvideolla virtapiirissä on virtalähde ja jännitelähde, joten opetusvideolla käytiin läpi molempien ratkaiseminen vaihe vaiheelta. Opetusvideolle tuli paljon selityksiä ja kaavoja mm. jännitteen- ja virranjakosäännöt. Videolla ratkaistaan myös halutut arvot ilman jännitteen- ja virranjakosäännön kaavoja, mutta nämäkin tulevat opetusvideolla. Ilman niiden käyttämistä laskemista tuli enemmän, mutta näin opetusvideolle saatiin enemmän opittavaa asiaa ja kaksi erityyppistä ratkaisutapaa.

Linkki opetusvideoon: <https://www.youtube.com/watch?v=JdrT7ixNc3U>



KUVA 20. Kerrostamismenetelmä opetusvideolta

Kerrostamismenetelmässä ratkaistaan virtapiirin tietyn haaran virta, esimerkiksi kuvan 20 haaravirta I_x niin, että se ratkaistaan erikseen jokaisella kytkennän lähteellä muuttamalla alkuperäistä kytkentää ja yhdistämällä eri lähteiden vaikutukset toisiinsa, jolloin saadaan alkuperäisen kytkennän kytetty haaravirta I_x . Kuvan 20 virtapiiristä tehdään kaksi uutta ja erilaista virtapiiriä. Yksi, jossa on vain virtalähde ja toinen, jossa on vain jännitelähde. Virtapiiristä, josta lasketaan virtalähteen vaikutus, siitä pitää poistaa jännitelähde oikosulkemalla se. Toisessa virtapiirissä, jossa on vain jännitelähde, virtalähteet avataan eli poistetaan kytkennästä. Tätä kutsutaan lähteen nollaamiseksi.

5.10 Opetusvideoiden lopullinen tuotos

Opetusvideoita korjattiin useaan kertaan ohjaajan neuvoista. Korjaukset olivat mm. kaavojen lisäyksiä, lisäselityksiä, puhetaukojen poistamista ja lyhentämistä. Opetusvideoiden uudelleenkuvaamiselle harvemmin oli tarvetta, mutta tietyille opetusvideoille ja tietyille kohdille kuvattiin uudestaan paremmat leikkeet, jotta siitä kohdasta tulisi selkeämpi ja luonnollisempi.

Aina selvät virheet eivät osu tekijän silmään. Tästä syystä oli hyvä, että opettaja antoi palautetta opetusvideoista, jolla kitkettiin virheitä ja epäselviä kohtia pois. Lopullinen tuotos oli 18 opetusvideota, joista julkaistiin 17 kappaletta YouTubeen. Yksi opetusvideoista, jota ei julkaistu oli opetusvideo Kirchhoffin jänniteläistä. Koska siitä oli jo yksi opetusvideo, tämä versio oli vain itsensä toistamisesta.

Lopullinen tulos oli laaja aineisto oppimismateriaalia opetusvideoilla. Opetusvideoita tehtiin opintojakson jokaisesta osa-alueesta ja videoita tuli useampi kuin yksi per osa-alue. Opetusvideoilla on niin teoriaa kuin laskemista. Opetusvideolla opetellaan myös laskimen käyttöä, mikä auttaa opiskelijoita. Opetusvideoilla on aina selkeät virtapiirit, selkeät kaavat, selkeät piirustukset ja tasainen puheääni. Videoille lisättiin myös paljon selvennyksiä jälkikäteen, jos jokin asia oli opetusvideolla jäänyt epäselväksi tai jos asia vain oli monimutkainen.

6 VERKKOTEHTÄVÄT

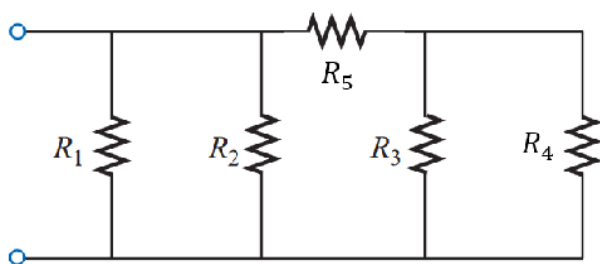
Opinnäytetyöhön kuului myös tehdä verkkotehtäviä. Verkkotehtävät toteutettiin Moodlessa, koska se on Savonia-ammattikorkeakoulun käyttämä verkkoympäristö. Verkkotehtävät ovat tallennettuina Moodlen kysymyspankissa, josta niitä voi ottaa käyttöön. Moodle osoittautui varsin vaikeaksi työkaluksi, sillä Moodlessa satunnaisten lähtöarvojen lisääminen on haastava tehtävä eikä aina onnistu ollenkaan. Tämä tarkoittaa sitä, että matriisilaskuja ei voitu toteuttaa satunnaisilla arvoilla, mutta kerto- ja jakolaskut onnistuivat. Tästä syystä tehtiin harjoitustehtäviä satunnaisilla arvoilla, jossa oli sarjaan- ja rinnankytkentöjä. Näissäkin yksinkertaisissa laskuissa Moodleen laitettavat koodit olivat erittäin monimutkaisia. Yhdenkin sulun uupuessa koko koodi on väärin, jonka seurauksena laskuharjoitus ei toimi.

Alla esimerkkikoodi verkkotehtävästä (kuva 21), jossa on sekakytkentä ja 5 vastusta:

```

"((((((({vastus3}*{vastus4})/({vastus3}+{vastus4}))+{vastus5})*{vastus2})/((((({vastus3}*{vastus4})/({vastus3}+{vastus4}))+{vastus5}))+{vastus2}))*{vastus1})/((((((({vastus3}*{vastus4})/({vastus3}+{vastus4}))+{vastus5})*{vastus2})/((((({vastus3}*{vastus4})/({vastus3}+{vastus4}))+{vastus5}))+{vastus2}))+{vastus1}))))".

```



KUVA 21. Sekakytkentä verkkotehtävä (Boylestad, 2002)

Tällä koodilla saatiin tähän verkkotehtävään satunnaiset arvot kaikille vastuksille. Satunnaisuus on hyvä toiminto, jotta tehtävää voi kokeilla useamman kerran ja jokaisella opiskelijalla on eri arvot. Tällä kyseisellä kuvan 21 verkkotehtävällä oppilas pystyy harjoittelemaan kokonaisresistanssin ratkaisemista.

Loppujen osa-alueitten harjoitustehtävät tehtiin ilman satunnaisuutta. Tämä tarkoittaa sitä, että jokaisella opiskelijalla on harjoitustehtävät, joita voi yrittää monta kertaa, että saa oikean vastauksen. Se, kuinka monta yritystä opiskelijalle annetaan laskuharjoituksen ratkaisemiseen, riippuu Moodleen laitettavista asetuksista.

Verkkotehtävät ovat tärkeässä osassa opetusmateriaalia. Verkkotehtävien tarkoituksena on aktivoida opiskelijaa ja antaa heille varmuuksia, että he osaavat asian, jota verkkotehtävissä ja aiheessa käsitellään. Tämä edistää opiskelua ja opiskelijan motivaatiota, kun hän tietää ratkaisseensa pyydetty tehtävät oikein. Jos tehtävien vastaus tai menetelmä on väärin, hänellä on opetusvideot apuna,

joilla verkkotehtävät saa ratkaistua. Verkkotehtävissä on myös vihjeitä väärin menneisiin vastauksiin, kunnes oikea vastaus saadaan, mutta korkeintaan esim. 5 yritystä.

Verkkotehtävät ovat tärkeitä opiskelijoille, sillä opiskelija pystyy harjoittelemaan oppimaansa asiaa ja soveltamaan oppimiaan tietojansa harjoitustehtävillä.

Laskuharjoitusten yksi hyvistä puolista on, että heti tietää onko ymmärtänyt asian oikein ja ratkaisut tehtävän oikeaoppisesti saadessaan palautteen vastauksesta. Tästä saa myös tiedon, että voi jatkaa seuraavaan, vaikeampaan tehtävään. Vastauksen väärin mennessä voi tulla vinkkejä, kuinka tehtävä ratkaistaan, jotta tähän tehtävään ei jäätäisi jumiin.

7 YHTEENVETO

Opetusvideoiden ja verkkotehtävien lisääminen Tasasähköpiirit-opintojaksolle auttaa varmasti tulevia sähköalan opiskelijoita. Jokaisesta opintojakson osa-alueesta on tehty opetusvideoita, jotka kertovat opiskelijalle, mitä heidän pitää osata ja kuinka he oppivat nämä osattavat asiat.

Opetusvideoista tuli niin kattavia, että niistä pystyisi tekemään erillisen verkkokurssin lisäämällä verkkokurssille mukaan lisää teoriaa ja opinnäytetyöhön tehdyt verkkotehtävät. Oppilas pystyy oppimaan tarvittavat asiat katsomalla opetusvideoita ajatuksen kanssa ja laskien tehtäviä esim. verkko-tehtäviä.

Amerikkalaisia ja suomalaisia merkintätapoja vertailtiin ja niistä löytyi paljon eroavaisuuksia. Näiden kahden merkintätapojen erot ovat kuitenkin pieniä, mutta niitä on paljon. Opiskelija voi halutesaan oppia molemmat merkintätavat. Jos opiskelija katsoo internetistä virtapiireihin liittyviä opetusvideoita, hän luultavasti löytää amerikkalaisen merkintätavan opetusvideoita, sillä suomenkielistä virtapiirien opettamista on vähän tarjolla YouTubessa, mutta on kuitenkin mm. Ohmin laista, Kirchhoffin virta- ja jännitelaista.

Amerikkalaisessa merkintätavassa on hieman selkeämpiä asioita mm. lähteiden piirtämistavassa ja napaisuuden merkitsemisessä. Amerikkalainen merkintätapa on joka tapauksessa suosittu, koska se on laajemmassa käytössä maailmalla.

Opetusvideoita julkaistiin YouTubeen 17 kappaletta, joista tuli 127 minuuttia katsottavaa opetusmateriaalia. Laadukkaiden opetusvideoiden tekeminen vaatii aikaa ja työtä. Yhden opetusvideon kuvaaminen kestää vähintään 3-4 tuntia, kun opetusvideo oli noin 10 minuuttia pitkä. Tähän ajan käyttöön kuului yleensä virtapiirien piirtäminen, mutta ei suunnitteluun menevä aika. Joissain opetusvideoissa kuvien piirtäminen kesti erittäin pitkään ja 3-4 tuntia ei riittänyt lähellekään koko opetusvideon tekemiseen. Opetusvideoista "12 Tähti-kolmiokytkentämuunnokset osa 1" oli suuritöisin. Videoiden korjaamiseen meni toiset 3-4 tuntia. Tähän kuuluu opetusvideoiden leikkaus eli editointi ja selvennysten ja kaavojen lisääminen/korjaus. Opettajan palautteiden jälkeen tehtiin vielä lopullinen viimeistely, johon kului taas useammat tunnit, mutta näin saatiin toimiva lopputulos.

LÄHTEET

Boylestad, R. L. (2002). *Introductory Circuit Analysis 10th Edition*. PEARSON EDUCATION.

Electronics-tutorials. *DC Circuits*. Haettu 19. 1. 2021 osoitteesta <https://www.electronics-tutorials.ws/dccircuits/voltage-source.html> & <https://www.electronics-tutorials.ws/dccircuits/current-source.html>

Helsingin yliopisto. (2005). *VERTTI - Opettajan verkkokurssituki*. Haettu 21. 5. 2021 osoitteesta <https://www.cs.helsinki.fi/group/vertti/vertti/verope1.shtml>

Holmlund, E. (23. 10. 2014). Tasavirran fysiikka teoriatiivistelmä.

Huhtama, K. *Elektroniikan peruskomponentit*. Haettu 20. 1. 2021 osoitteesta <https://huhtama.kapsi.fi/ele/index.php?si=ml21.sis>

Järvinen, M. *Sähkötekniikka*. Haettu 24. 1. 2021 osoitteesta <https://peda.net/p/Markku%20J%C3%A4rvinen/fysiikka/markun-9-luokat/!%C3%A4mp%C3%B6energia>

Kettunen, M.;Palvalehto-Silven, H.;Penson, K.;& Väyrynen, S. (16. 1. 2006). *oamk*. Haettu 22. 5. 2021 osoitteesta Opetusmenetelmät opetuksen monipuolistajina: <https://www.oamk.fi/amok/oppimat/LO/Opetusmenetelmat/>

Kuisma, M. *Jännite- ja virtalähteet*. Haettu 17. 1. 2021 osoitteesta <http://www.kuisma.eu/elper/2signal/5ohmi.htm>

Laakso, T. (2020). *OAJ Bloggartikkeli*. Haettu 23. 5. 2021 osoitteesta <https://www.oaj.fi/ajankohtaista/bloggartikkelit/OAJ-blogi/2020/opetusta-annetaan-nyt-monella-tavalla--miten-kay-opetuksen-laadun/>

Maamot. *Opetusmenetelmät*. Haettu 21. 1. 2021 osoitteesta <https://maamot.fi/opetusmenetelmat/#T2>

Mäki, M. (19. 5. 2020). *Yle uutiset*. Haettu 23. 5. 2021 osoitteesta <https://yle.fi/uutiset/3-11358079>

Nydal Dahl, Ø. (1. 6. 2012). *How to use Ohms Law*. Noudettu osoitteesta <https://www.build-electronic-circuits.com/ohms-law/>

Palhomaa, S. (2004). *Verkko-opetuksen määritelmää*. Haettu 21. 1. 2021 osoitteesta <https://www.cs.helsinki.fi/group/vertti/vertti/verope1.shtml>

Rouvali, J. (2008). Virtapiirit ja verkot laskuharjoitus.

Silvonen, K. (2003). *Sähkötekniikka ja elektroniikka*. Helsinki: Otatieto.

Splung. *Resistance and Resistors*. Haettu 20. 5. 2021 osoitteesta <http://www.splung.com/content/sid/3/page/resistors>

Sähkömagnetiikka. Tampereen teknillinen yliopisto. Haettu 24. 1. 2021 osoitteesta <https://docplayer.fi/33061400-Smg-2100-sahkotekniikka-kirchhoffin-lait-aktiiviset-piirikomponentit-resistiiviset-tasasahkopiirit.html>

Taipalmaa, H. (2008). *Verkko-opetus menetelmät*. Haettu 22. 1. 2021 osoitteesta https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/1834/Taipalmaa_Hannu.pdf

Valtonen, M. (2021). Piirianalyysi 1 luentomoniste.

Vis, P. J. *Petervis electronics*. Haettu 20. 5. 2021 osoitteesta

https://www.petervis.com/electronics/resistor_symbol/resistor_symbol.html

OPETUSVIDEOT

1 Tasasähköpiirien perusteita. 2021. Video. YouTube-videopalvelu, julkaistu 27.4.2021.

https://www.youtube.com/watch?v=ae5hn9p9_3E

2 Kirchhoffin jännitelaki. 2021. Video. YouTube-videopalvelu, julkaistu 27.4.2021.

<https://www.youtube.com/watch?v=S860sZn3PvI>

3 Virran jakaantuminen. 2021. Video. YouTube-videopalvelu, julkaistu 30.4.2021.

https://www.youtube.com/watch?v=_Jd-xJL1bxE

4 Virtapiirin ratkaisutehtävä. 2021 Video. YouTube-videopalvelu, julkaistu 30.4.2021.

<https://www.youtube.com/watch?v=5MNxqyEMZgU>

5 Sekakytkentä. 2021. Video. YouTube-videopalvelu, julkaistu 30.4.2021.

<https://www.youtube.com/watch?v=LXARtE9jpEo>

6 Jännitelähteet ja niiden yhdistäminen. 2021. Video. YouTube-videopalvelu, julkaistu 30.4.2021.

<https://www.youtube.com/watch?v=ghtTjUL1LRs>

7 Haaravirta-analyysi. 2021. Video. YouTube-videopalvelu, julkaistu 30.4.2021.

https://www.youtube.com/watch?v=KtemkbCqI_c

8 Silmukkavirtamenetelmä osa 1. 2021. Video. YouTube-videopalvelu, julkaistu 30.4.2021.

https://www.youtube.com/watch?v=sQCV_sXKBHA

9 Silmukkavirtamenetelmä osa 2. 2021. Video. YouTube-videopalvelu, julkaistu 30.4.2021.

<https://www.youtube.com/watch?v=RIoO7LoCjVU>

10 Solmupistemenetelmä osa 1. 2021. Video. YouTube-videopalvelu, julkaistu 30.4.2021.

<https://www.youtube.com/watch?v=oBWv94O4t0M>

11 Solmupistemenetelmä osa 2. 2021. Video. YouTube-videopalvelu, julkaistu 30.4.2021.

<https://www.youtube.com/watch?v=v5pdM3v4Rdk>

12 Tähti-kolmiokytkentämuunnokset osa 1. 2021. Video. YouTube-videopalvelu, julkaistu 30.4.2021.

<https://www.youtube.com/watch?v=Y3N8owy5pio>

13 Tähti-kolmiokytkentämuunnokset osa 2. 2021. Video. YouTube-videopalvelu, julkaistu 8.5.2021.

<https://www.youtube.com/watch?v=H-CFTkL7I4g>

14 Theveninin vastinkytkentä osa 1. 2021. Video. YouTube-videopalvelu, julkaistu 8.5.2021.

<https://www.youtube.com/watch?v=AHxC2rX0Eeg>

15 Theveninin vastinkytkentä (+Norton) osa 2. 2021. Video. YouTube-videopalvelu, julkaistu 8.5.2021.

<https://www.youtube.com/watch?v=uHQjbMAfZA>

16 Theveninin vastinkytkentä osa 3. 2021. Video. YouTube-videopalvelu, julkaistu 8.5.2021.

<https://www.youtube.com/watch?v=ieRUP3yJRtQ>

17 Kerrostamismenetelmä. 2021. Video. YouTube-videopalvelu, julkaistu 8.5.2021.

<https://www.youtube.com/watch?v=JdrT7ixNc3U>