

Alhakam Al-Janabi

CESSNA 152 - LENTOKONEEN SÄHKÖJÄRJESTELMÄ

Opinnäytetyö

Insinööri (amk)

Sähkö- ja automaatiotekniikka

2023



**Kaakkois-Suomen
ammattikorkeakoulu**

Tutkintonimike	Insinööri (amk)
Tekijä/Tekijät	Alhakam Al-Janabi
Työn nimi	Cessna 152 -lentokoneen sähköjärjestelmä
Toimeksiantaja	-
Vuosi	2023
Sivut	66 sivua
Työn ohjaaja(t)	Jyrki Liikanen

TIIVISTELMÄ

Työn tavoitteena oli luoda selkeä ohje Cessna 152 -sähköjärjestelmästä, missä esitellään sen sähkölaitteita. Työn alku oli jonkin verran haastavaa, sillä minun piti esittää se myös uusille lentäjille, joilla sähköala ei ole tuttu. Valitsin työn aiheen kiinnostuksen perusteella, sillä olen yksityislentäjä ja olen lentänyt kyseisellä lentokoneella. Työ tehtiin, että saadaan luotua suomenkielinen ohje Cessna 152- sähköjärjestelmästä.

Käytin lähteenä koneen datatietoja ja netistä löytyvää materiaalia. Työ tehtiin etsimällä lähteitä Internetistä ja käyttämällä saatavilla olevaa tietoa lentokone-manuaalista sekä omaa asiantuntemusta. Työ on toteutettu niin, että johdannon jälkeen esitellään, selitetään ja perehdytään, kuinka Cessna 152 -sähköjärjestelmä toimii. Eli kuinka sähköjärjestelmän laitteet on kytketty ja toteutettu toimiviksi laitteiksi. Työ on toteutettu kuvien sekä saatavilla olevien tietojen soveltamisella ja mainitsemisella. Työssä on käytetty aktiivisesti Photoshop-ohjelmaa kuvien muokkaamiseen. Suurin osa kuvista on käännetty kokonaan suomeksi. Sähkökytkentäkaavioon on piirretty sähkövirran suuntia ja kulkureittejä kukin sähkölaite läpi.

Tuloksena sain luotua ohjeen 152-sähköjärjestelmästä ja selitettyä sekä koottua 152:n sähkölaitteet yhdessä työssä. Toinen tulos on se, että työtä voisi hyödyntää myös sähköalan ulkopuolisia. Työstä oli paljon hyötyä itselleni, sillä kävin läpi kaikki edelliset mainitsemani asiat. Moottoritekniikat tuli myös lisäksi käytyä läpi.

Asiasanat: 152-lentokone, Cessna-järjestelmä, 152-ohje, 152-sähköjärjestelmä

Degree title	Electrical and automation engineering (Xamk)
Author (authors)	Alhakam Al-Janabi
Thesis title	Cessna 152 -airplane electrical system
Commissioned by	-
Time	2023
Pages	66 pages
Supervisor	Jyrki Liikanen

ABSTRACT

The aim of the work was to create a guide to the Cessna 152's electrical system, which presents its electrical equipment. The beginning of the work was rather difficult because I had to introduce it also to new pilots who are not familiar with the electrical sector. I chose the job topic based on my interests, as I am a private pilot and I've flown that plane. The work was done to create a guide in Finnish from Cessna 152's electrical system.

I have used information and materials on the Internet as a source. The work was done by searching for sources on the Internet and using available information from the aircraft manual as well as my own expertise. The work has been carried out in such a way that, after the introduction, the Cessna 152 electrical system is presented, explained, and familiarised. That is, how the electrical system devices are connected and implemented in the working devices. The work was done by submitting and citing photos and information provided. Actively use Photoshop to edit photos. Most of the images have been fully translated into Finnish. An electrical connection diagram shows the directions and path of electric current through each electrical device.

As a result, I was able to create instructions for the 152 electrical system and explain and assemble the 152's electrical equipment in one thesis. Another result is that the work could also be used by people outside the electricity sector. The work was very beneficial for me because I went through all the things that I mentioned before. Motor technics are also reviewed because they related in one way or another to the subject of work.

Keywords: 152-airplane, Cessna-system, 152-manual, 152-electrical

SISÄLLYS

1	TIEDONHANKINTA JA TYÖN TOTEUTUSMENETELMÄT	6
2	PERUSSÄHKÖÖN TUTUSTUMINEN.....	7
2.1	Varaus.....	7
2.2	Elektroni	8
2.3	Johtimet.....	8
2.4	Sähkövirta	9
2.5	Sähkökenttä	12
2.6	Sähköpotentiaaliero.....	14
2.6.1	Sähköpotentiaalienergia.....	14
2.6.2	Sähköpotentiaaliero.....	15
2.7	Magneettikenttää.....	17
2.8	Sähkömagneettinen säteily	19
2.9	Resistanssi.....	21
2.10	Sähkö kulkee vain suljetussa piireissä	23
2.11	Sähkökuorma	23
3	CESSNA 152 -MALLIT.....	24
4	YLEIS-CESSNA 152-SÄHKÖKAAVIO	25
4.1	Potentiaalintasaus ja maadoitus.....	29
4.2	Solenoidi kontaktori	31
4.3	Pääkytkin.....	33
4.4	Diodi	36
4.5	Akku	37
4.6	Sulakkeet ja lämpölaukaisimet	38
4.7	Kello	40
4.8	Öljynpainekeytkin	40
4.9	Lentotuntilaskin	41

4.10	Maa- huolto akkupistoke	41
4.11	Magneetit	41
4.11.1	Induktanssi	42
4.11.2	Magneetit toiminnan toteutus	46
4.12	Sytytysavainkytkin	47
4.13	Virtamittari	48
4.14	Virtakiskot.....	48
4.15	Vaihtovirtageneraattori/ Laturi	50
4.15.1	MAGNETTIKENTÄN TOIMINTA	51
4.15.2	Laturin toiminnan toteutus cessna 152	51
4.15.3	Magnetointi.....	53
4.15.4	Magnetoimisen hyödyt	54
4.15.5	Laturin terminaalit.....	54
4.15.6	Laturin tasasuuntaaja	54
4.15.7	Laturin jännitteensäädin	55
4.16	Käynnistysmoottori	57
5	YHTEENVETO JA TULOKSET	59
	LÄHTEET	61

1 JOHDANTO

Tässä työssä esitellään, selitetään ja perehdytään, kuinka Cessna 152 -sähköjärjestelmä toimii ja miten se on toteutettu. Työhön tutustumisen jälkeen lukijalle olisi kattava käsitys Cessna 152 -sähköjärjestelmän jokaisesta sähköosasta, jonka perusteella voi itse päätteellä ja pohtia mahdolliset järjestelmän viat ja paikanta niitä.

Työ on tarkoitettu kaikille, joilla on halukkuus tutustua yksimoottoriseen Cessna -sähköjärjestelmään. Työ ei vaadi syvää sähköalan tuntemusta. Asiat selitetään myös sähköalan tuntemattomille, koska työ on tarkoitettu myös uusille Cessna 152 -tyyppikoulutuslentäjille, joille ehkä sähköala on ihan vierasta. Työn alkuosiossa tutustutaan sähköön, selittämällä ihan alusta mikä on sähkö, miten se toteutetaan ja perehdytään sen tärkeisiin käsitteisiin.

Työ voi hyödyntää kaikki Cessna-tyyppikoulutuksen saaneet lentäjät. Myös Cessna-huoltoa tekevä mekaanikko voisi hyödyntää työtä. Sähkölaitteet on luoteltu ymmärtämiseen kannalta tärkeys järjestykseen mukaan ja jokainen sähkökomponentti käydään läpi omassa osiossa. Työssä selitetään, miten järjestelmän sähkölaitteet on toteutettu toimivaksi sekä miten ja miksi juuri niin on kytketty sähkökaavion kautta.

2 TIEDONHANKINTA JA TYÖN TOTEUTUSMENETELMÄT

Käytän lähteenä koneen datatietoja ja netistä löytyvä materiaali. Työ tehtiin etsimällä lähteitä Internetistä ja käyttämällä saatavilla olevaa tietoa lentokone manuaalista sekä oma asiantuntemusta. Tavoitteena on luoda selkeä käsitys koneen sähköstä ja komponenteista. Saatavilla olevat tiedot ovat analysoitu työssä. Suurin osa lähteistä ovat englanninkielisiä nettisivuja. Internetiin voi kuka tahansa julkaista tietoja, mikä tarkoittaa, että lähteissä saattaa olla virheitä tai tarvitsevat päivitystä. Virheiden minimoimiseksi työssä on haettu samoja asioita eri verkkosivuilta, jotta on voitu varmistua tietojen luotettavuudesta. Lähteiden löytäminen oli hankalaa, sillä jotakin työn tekemiseen tarvittavia yksityiskohtia ei löytynyt mistään. Tämä ongelma ratkaistiin saatavilla olevien tietojen soveltamisella ja oma asiantuntemuksen avulla.

152:n koneen käsikirja on todettu luotettavaksi lähteeksi, mutta siellä ei löydy kaikkia tarvittavia tietoja työn tekemiseen. Työ on toteutettu niin, että johdannon jälkeen selitetään alusta asti, mikä on sähköenergia ja miten se toimii/ toteutettu sekä sen tärkeitä käsitteitä. Tämä jälkeen tutustutaan Cessna-malleihin ja sitten luetellaan Cessna-sähkölaitteita kaaviosta. Cessna-sähkölaiteluettelon jälkeen tutustutaan ja selitetään, miten järjestelmän sähkölaitteet on toteutettu toimivaksi sekä miten ja miksi juuri niin on kytketty sähkökaavion avulla.

Työ on toteutettu kuvien sekä saatavilla olevien tietojen soveltamisella ja mainitsemisella. Työssä on käytetty aktiivisesti PhotoShop-ohjelmaa kuvien muokkaamiseen. Suurin osa kuvista on käännetty kokonaan suomeksi. Sähkökaavioon on piirretty sähkövirran suuntia ja kulkureittiä kukin sähkölaite läpi. Kaikki työssä esitetyt kuvat ovat muokattu jonkun verran ja osa niistä on suomennettu.

3 PERUSSÄHKÖÖN TUTUSTUMINEN

Koska sähkö on todella laaja käsitys ja meidän työmme liittyy sähköön, aloitetaan ihan alusta eli atomista. Tiedämme, että jokainen fyysinen aine elämässämme koostuu atomeista. Atomi koostuu ytimeistä, jossa on protoneja ja neutroneja sekä kiertävistä energiatasoista, joissa elektronit sijaitsevat. Energiatasojen määrä vaihtelee alkuaineesta toiseen. Protoneilla on positiivista sähkövarausta ja sen lukumäärä kertoo, mikä alkuaine on kyseessä, koska se on ainoa atomin rakenneosia, jonka määrä ei vaihtelee. Elektroneilla on negatiivinen sähkövarausta ja neutronilla ei ole ollenkaan sähkövarausta. Seuravaksi tutustutaan varaukseen.

3.1 Varaus

Atomin kokonaisvaraus muuttuu, jos sen energiatasoilta poistuu tai siihen tulee elektroneja. Tapauksessa jos atomi luovuttaa elektroneja, se tulee positiiviseksi kokonaisvaraukseksi, toisaalta jos se vastaanottaa elektroneja sitten se on negatiivinen kokonaisvaraukseksi. Atomi on neutraali, jos sen elektronien ja protonien lukumäärä on sama. Samanmerkkisen sähkövarauksen saaneet objektit hylkivät toisiaan ja erimerkkisen sähkövarauksen saaneet objektit

vetävät toisia puolensa. Atomit pyrkivät aina neutraalitilaan eli siihen, että protonien ja elektronien lukumäärä olisivat tasapainossa. Esimerkiksi johtimet ovat neutraaleja perustilassa, eli niillä ei ole sähkövarausta. [1; 2; 3; 4.]

Seuraavassa yhtälössä 1 on kokovarauksen kaava

$$Q_{Total} = \pm n \times e. \quad (1)$$

Jossa: Q= Kokonaisvaraus, jonka yksikkö on coulombi
 n= Elektronien tai protonien kokonaismäärä
 e= Alkeisvaraus = $1,602\ 176\ 634 \cdot 10^{-19}$ C.
 Alkeisvaraus on yhden elektronin tai protonin varaus. [1.]

Kokovarauksen kaavan 1, perustella voidaan päätellä että, varaus ei ole siinänsä objekti tai fyysinen aine vaan se on ominaisuus hiukkaisille, atomeille tai objekteille. Seuravaksi tutustutaan elektroniin enemmän, koska se hyödyntää meitä sähköntuotannossa.

3.2 Elektroni

Elektroni on alkeishiukkanen ja se on negatiivisesti varautunut. Yksittäisen elektronin liikkeen käyttäytyminen ja tarkka esiintymispaikka atomin ympärillä ei tiedetä. Ongelmana on, että elektroni ei ole kiinteä pieni pallo, jota voimme katsoa ja nähdä sen yksityiskohdat. Elektroni on kvanttiobjekti. Sellaisenaan elektroni on osittain hiukkasmainen ja osittain aaltomainen, mutta se on todella jotain monimutkaisempaa, joka ei ole yksinkertainen aalto eikä yksinkertainen hiukkanen. Mutta ei se haittaa meitä, koska me voimme tutkia elektronien kokonaismäärän virtausta johtimen sisällä. Tutustutaan seuravaksi johtimiin. [5.]

3.3 Johtimet

Materiaalit, joilla on korkea elektronien liikkuvuus, kutsutaan johtomateriaaliksi ja päinvastoin materiaalit, joilla on matala elektronien liikkuvuus, kutsutaan eristeiksi. Esimerkiksi kuppari johtimen atomeissa on yksi kaukana löyhästi si-

dottu elektroni viimeisellä energiatasolla, joka pystyy liikkumaan vapaasti atomista toiselle potentiaalienergiaerolla. Kaikki muut sen energiatasojen elektronit eivät liikkuu, koska ytimen vetovoimaenergia vaikuttaa niihin vahvasti. Matala ionisaatioenergia on toinen tekijä, joka tekee kuparista vahvan sähköjohtin. Kuparin ionisaatioenergia on $7,72 \text{ eV}$, mikä on melko alhainen. Ionisaatioenergialla tarkoitetaan minimi tarvittava energia, elektronin irrottamiseen perustilassa olevasta atomista. Huomioksi johtimen elektronit ei häviä mihinkään, vaan ne siirtyvät atomista toiseen ja kulkevat aina suljetussa piirissä. Jos olemme vielä tarkempia ja mietitään, mitä tapahtuu elektronille silloin, kun se on siirtymässä atomista toiseen ja katketaan virtapiiriä. Vastaus siihen, että elektroni käyttäytyy todella omituisella tavalla sillä, se ei voi olla koskaan keskellä, se on joko siirrettyltä atomilla tai siirretylle atomilla. Me tässä työssä ei tutkita kvanttifysiikka, joka on todella hankala ymmärtää, koska tavalliset fyysiikan lait ei päde enää siinä. [6.]

Johtimen tehtävä sähköntuotannossa

Jos haluamme luoda sähköä, meidän on tarjottava reittipolkua sen kulke-
miseksi, esimerkiksi kuparijohtin, jonka läpi elektronit pääse jatkamaan piiriä. Sähkö aina kulkee vain suljetussa sähköpiirissä, jotta elektronit pääsisivät koko johtimen läpi takaisin sähkölähteelle. Johtimessa vapaat elektronit perustilassa liikkuvat satunnaisesti. Tapauksessa, jossa johtimen päissä olisi potentiaaliero ja sähkökuorma kytketty, elektroneilla on silloin edelleen satunnaisista liikettä, mutta nyt niillä on myös eteenpäin suunnattua liikettä. Elektronien liikkumista suunnattuun suuntaan johtimen sisällä kutsutaan sähkövirraksi eli se on kokoelektronien virtaus johtimen sisällä. Tutustutaan seuraavaksi sähkövirtaan. [6.]

3.4 Sähkövirta

Totesimme viime kappaleessa, että sähkövirta on elektronien virtaus johtimen sisällä. Sähkövirtakaavan 2, perusteella voidaan pohtia samaa. Kaavalla lasketaan varauksen muutosta ajan muutokseen. Huomioksi kaavalla laskettiin varauksen muutosta ei elektronien muutosta, mutta se on sama asia, koska elektroni on ainut atomin osa, joka liikkuu potentiaalierolla ja yhden elektronin varaus on $-1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$. Toisin sanoen me emme tiedä, missä elektroni on

johtimessa, mutta tiedämme elektronien energia ja niitten koko kokoelman liik-
kumissuunta, potentiaalieron vaikutuksessa. Elektronit kulkevat negatiiviselta
puolelta positiiviseen, mutta koska sähkövirta ilmiönä todettiin ennen elektro-
neja, on sovittu, että sähkövirta kulkee positiiviselta puolelta negatiiviseen.
Tässä on järkeä, koska elektroni on negatiivisesti varautunut, sen on pakko
lähteä vastakkaispuolelle. [1; 7; 8.]

Seuraavassa yhtälössä 2 on sähkövirran kaava

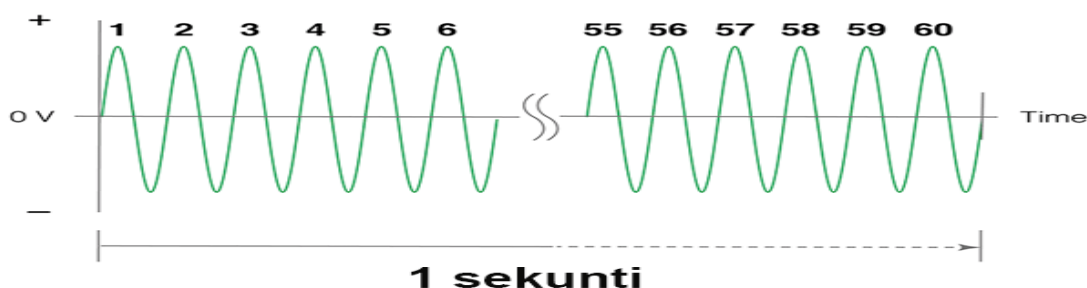
$$I = \frac{Q}{t} \quad (2)$$

Jossa: I = Sähkövirta, jonka yksikkö on ampeeria (A)

Q = Kokonaisvaraus

t = Kulutettu aika. [1.]

Sähkövirta on kahdenlaista tasavirtaa, joka kulkee yhteen suuntaan ja vaihto-
virta nimensä mukaan vaihtaa suuntaa koko ajan. Vaihtovirran suunnan vaih-
telu nopeutta voidaan taajuuksilla todeta sekuntia kohti, kuva 1. Suunnanvaih-
dolla tarkoitetaan, että positiivisen ja negatiivisen navat vaihtelevat keskenään
koko ajan, tutkitaan tämä lisää laturiosiossa. Toisaalta on väärin kutsua vaih-
tovirran kohtiota navaksi, mutta se tehtiin asian helpottamiseksi. Suomessa on
50 hertsin (Hz) taajuus, joka tarkoittaa, että virran suuntaa muuttuu 100 kertaa
yhden sekunnin aikana. Seinässä olevassa pistorasiassa on kaksi kohtiota,
jännitteellinen kohtio ja nollakohtio eli maa ja kohtioiden välillä on 230: v jän-
nite. [1; 7; 8.]



Kuva 1. Taajuus tarkoittaa aaltojen määrää sekunnissa [9]

Tasavirran taajuus (DC) on nolla, koska virran virtaus on tässä yksisuuntainen. Tasavirtaa käytetään kaikissa elektronisissa laitteissa, joissa on akku virralähteenä. Sitä käytetään myös akkujen lataamiseen ladattavissa laitteissa, kuten kannettavissa tietokoneissa ja matkapuhelimissa. Akku sinänsä ei voi olla koskaan vaihtovirtainen toisin kuin generaattori. Meidän on muunnettava vaihtovirta muuntajan kautta tasavirraksi, mikäli tarvitaan ladata akkua. Yleinen käyttö tasavirralla on elektroniikkapiirien ohjaamiseen. [1; 7; 8.]

Seuraavassa yhtälössä 3 on vaellusnopeus kaava

$$v = \frac{I}{nqA} \quad (3)$$

Jossa: V = Sähkövirran tai sähkövarauksien keskiliikenopeutta johdossa m/s.

I = Sähkövirta

N = Kohdan läpi siirtyneiden varattujen hiukkasten (esim. elektronien) määrä tilavuusyksikköä kohti

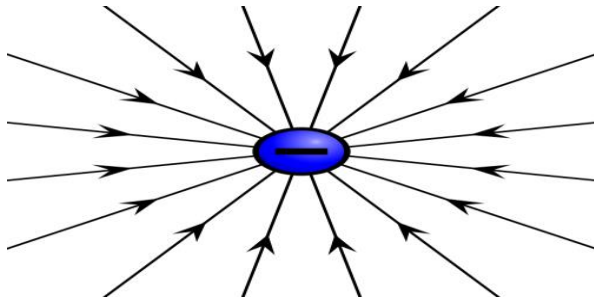
A = Kohdan poikkipinta-ala

q = Yksittäisen hiukkasen (esim. elektronin) varaus. [11.]

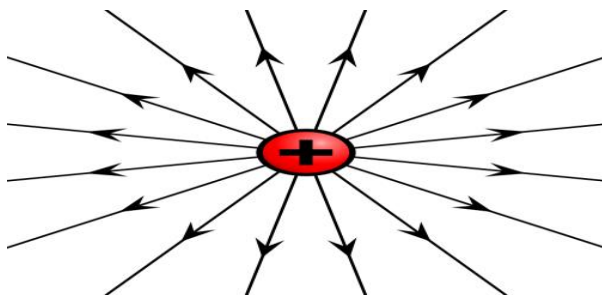
Vaellusnopeuskaavalla 3 voidaan laskea sähkövirran nopeutta johtimessa. Varauksen liikenopeuden nopeus ei ole niin nopea kuin mitä kuvitellaan. On laskettu, että kuparijohdin, jonka poikkileikkauspinta-ala on 3 mm^2 ja kuljettaa 10A tasavirta, sen varauksien keskikulkunopeus on 90 cm/h. Edellä mainittu nopeus on keskinopeus, joka johtuu siitä, että jotkut elektronit kulkevat erittäin nopeasti, kun taas toiset eivät, koska ne kohtaavat törmäyksiä. Tästä voidaan päätellä, että varauksen kulkunopeus on suhteellisen hidas ja ihmetellä, miten esimerkiksi valo syttyy heti, kun kytkin on suljettu. Vastauksena tähän, että sähkömagneettisen säteilyn energia kulkee noin valon nopeudella ja kokovaraus koko johtimessa, kulkee noin saman aikaan kuin sähkömagneettisen säteilyn energia. Tästä voidaan päätellä, että sähkövirta kulje käsikädessä sähkö- ja magneettikentän kanssa. Tutustutaan seuravaksi sähkökenttään. [1; 7; 8; 10.]

3.5 Sähkökenttä

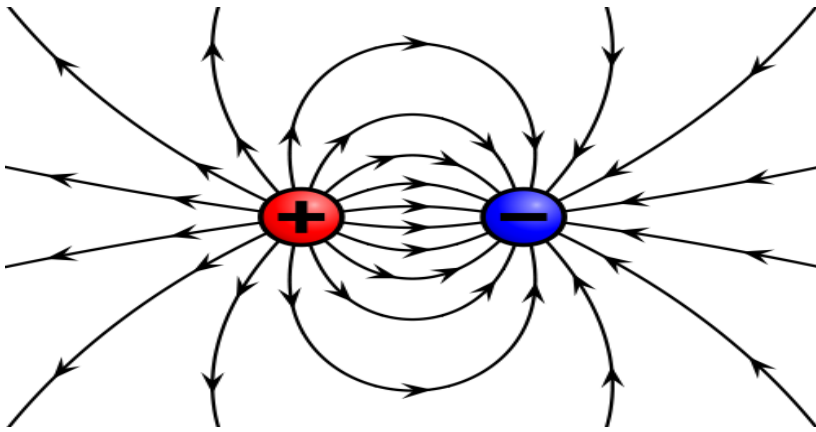
Jokainen sähkövaraus/ sähköisestivarautunut objekti luo omaa sähkökenttäänsä eli se vaikuttaa tyhjän avaruskenttiin. Nämä kentät eivät ole kiinnitetty sähköisestivarautuneihin objektiin vaan tyhjän avaruuteen. Tapauksessa, jossa ei ole sähköisestivarautunut objekti, nämä kentät ovat edelleen olemassa, mutta ovat nollia. Sähkökenttä voi syntyä sähkövarausten ollessa paikallaan tai liikkuessaan. Jos johtimessa kulkee tasavirta (DC) tai sähkövaraukset liikkuvat yhteen suuntaan, tällöin muodostuu staattista sähkökenttää. Toisaalta, jos johtimessa kulkee vaihtovirta (AC) tai sähkövaraukset vaihtavat suuntansa koko ajan, silloin muodostuu muuttuvan sähkökentän. Erimerkkiset sähkövaraukset luovat omia sähkökenttiä, jotka ovat toisistaan riippumattomia, tämän ei päde magneettikentässä. Tutkitaan tätä lisää magneettikenttä osiossa.



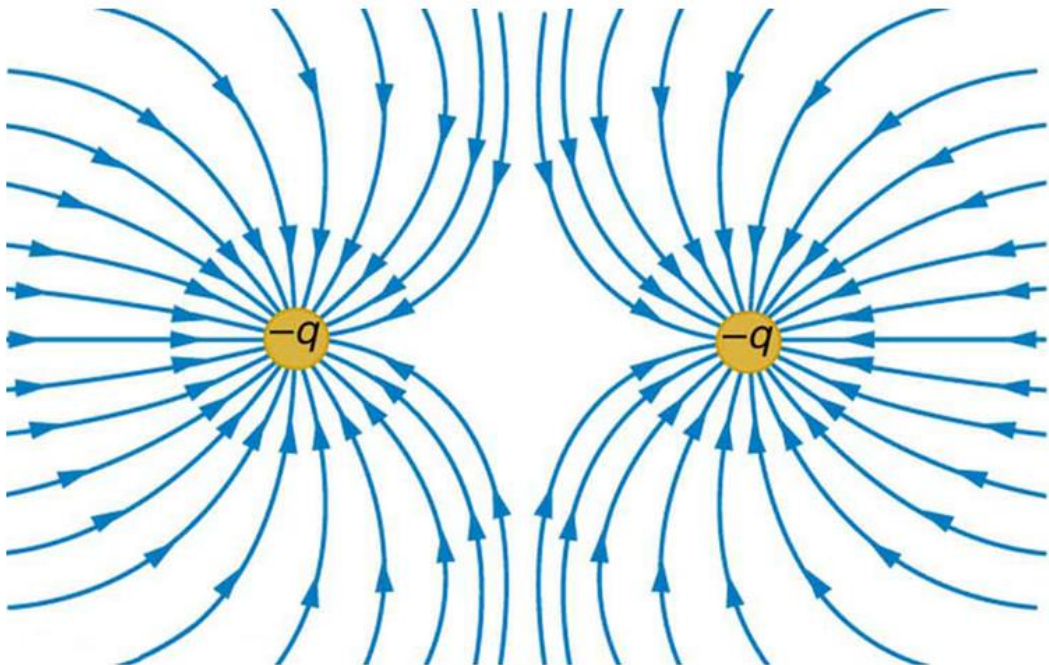
Kuva 2. Negatiivisesti varautunut objektin sähkökenttää [13]



Kuva 3. Positiivisesti varautunut objektin sähkökenttää [13]



Kuva 4. Vastatkaas varautuneet objektien sähkökentät vierekkäin [13]



Kuva 5. Samanmerkkiset varauksien sähkökenttälinjat eivät, koskaan kohtaa toisiaan [14]

Sähkökentällä on suunta ja voimakkuus. Sähkökentän suuntaa kuvaavat kenttäviivojen nuolet ja kenttäviivojen tiheys kuvaa kentän voimakkuutta kuva 2,3 ja 4. Samanmerkkiset varauksien sähkökenttälinjat eivät, koskaan kohtaa toisiaan, tämä on esitetty kuvassa 5. Sähkökentän voimakkuus kasvaa samassa suhteessa kuin varausmäärää. Tästä voidaan päätellä, että me voimme tutkia objektien varaukset ja energiat niiden sähkökenttien perustella. Tutustutaan seuraavaksi, miten saadaan elektronit tai sähkövaraukset liikkumaan. [12; 13.]

3.6 Sähköpotentiaaliero

Sähköpotentiaaliero kutsutaan myös jännitteeksi tai sähköpotentiaaliksi. Jännitteen tunnus on (U) ja yksikkö on 1V (voltti), joka on 1 Joule/Coulombi.

Seuraavassa yhtälössä 4 on sähköpotentiaali kaava

$$V = \frac{U}{q}. \quad (4)$$

Jossa: V= Jännite, jonka yksikkö on voltti
 U= Potentiaalienergia
 q= Hiukkasen varaus. [15]

Sähköpotentiaali-kaavan 4, perustella sähköpotentiaali on sähköpotentiaalienergia yksikkövarausta kohti. Sähköpotentiaalienergia ei ole sama kuin sähköpotentiaali, joten tutustutaan siihen ensin.

3.6.1 Sähköpotentiaalienergia

Sähköpotentiaalienergia on energiaa, jota tarvitaan siirtämään varausta sähkökenttää vastaan. Varausosiossa totesimme, että samanmerkkiset varaukset hylkivät toisiaan ja erimerkkiset vetävät toisia puolensa, niin sähköpotentiaalienergia on se energia, joka tarvitaan irrottamaan erimerkkiset varaukset toisistaan tai saamaan samanmerkkiset lähempään. Sähkövoima on se voima, joka vetää erimerkkiset varaukset puolensa ja hylkii erimerkkiset. [15; 16; 17.]

Kuvan 4 mukaisesti huomataan, että positiivisesti varautunut varaus kulkee negatiiviseen. Fyysikot käyttävät yhtä positiivista testivarausta kuvitteellisena varauksena, testatakseen sähköpotentiaalia missä tahansa pisteessä. Kuvitteluaan, että meillä on negatiivisesti varautunut levy, johon on tarttunut pieni positiivisesti varautunut hiukkanen (testivaraus) sähkövoiman kautta. Levyn ympärillä on sähkökenttä, joka vetää kaikkia positiivisesti varautuneita esineitä sitä kohti ja samalla työntää muut negatiivisesti varautuneet esineet pois. Jos vedetään positiivisesti varautunut testivarausta pois levyiltä eli sähkökentän vas-

taan, tarvitaan silloin energiaa, koska sähkövoima vetää sitä puolensa. Energia, jota käytimme siirtämään hiukkanen pois levyä, varastoitui hiukkaseen sähköisenä potentiaalienergiana, joka on riippuvainen paikasta. Jos vedetään positiivisen hiukkasen kauemmaksi levyä, joutuisimme käyttämään enemmän energiaa, jolloin varaukseen olisi varastoitunut enemmän sähköpotentiaalienergiaa. Jos kaksinkertaistaisimme levyn varauksen tai positiivisen hiukkasen varauksen, tarvitsemme silloin enemmän energiaa positiivisen hiukkasen liikuttamiseen. Tapauksessa, jos annetaan positiivisen hiukkasen mennä, potentiaalienergia muuttuu kineettinen energiaksi ja se napsahtaa takaisin negatiiviseen levyyn, sähkövoiman kautta. Potentiaalienergia ja kineettinen energia ovat kääntäen verrannollisia, kun joku niistä suurene toinen pienenee ja päinvastoin. [15; 16; 17.]

Toisaalta voidaan kuvitella, että negatiivisesti varautuneen levyn sijaan meillä on positiivisesti varautunut levy. Positiivinen hiukkasemme tällä kerta yrittää työntyä pois levyä, koska ne molemmat ovat positiivisesti varautuneita. Tällä kertaa meidän on käytettävä energiaa yrittääkseen siirtää positiivisen hiukkasen lähemmäs levyä. Mitä lähemmäs levyä yritämme siirtää, sitä enemmän energiaa meidän täytyy laittaa, joten sitä enemmän sähköpotentiaalienergia hiukkasella olisi varastoitu. Tästä voidaan päätellä, että potentiaalienergia riippuu siitä, kuinka kaukana tai lähellä varaukset ovat toisistaan eli paikasta, koosta ja tietysti varausten tyypistä. Palataan nyt aiheeseen ja tutustutaan sähköpotentiaalieroon. [17.]

3.6.2 Sähköpotentiaaliero

Kuvitellaan taas, että meillä on negatiivisesti varautunut levy. Tiedämme, että kuvitteellisen positiivisesti varautunut testihiukkanen vetäytyy levyyn. Tämä tarkoittaa, että jos valitsemme pisteen levyn läheltä testihiukkasen sijoittamiseen, siinä olisi vähän sähköistä potentiaalienergiaa, ja jos valitsemme pisteen kauempana, kuvitteellisella positiivisesti varautuneella hiukkasellamme olisi enemmän sähköpotentiaalienergia. Niin voimme siis sanoa, että lähellä negatiivista levyä sähköpotentiaali on matala ja kauempana negatiivisesta levyä sähköpotentiaali on korkea, tämä kutsutaan sähköpotentiaalieroksi. Toisaalta jos levy olisi positiivisesti varautunut, silloin positiivisesti varautunut hiukkanen työntyy pois levyä. Tämä on täsmälleen päinvastoin kuin viimeksi.

Levyn lähellä sähköpotentiaali on korkea ja kaukana levystä sähköpotentiaali on matala. [17.]

Tiedämme varaus osiosta, että atomin varaus muuttuu, jos luovuttaa tai vastaanottaa elektroneja. Ja atomi on neutraaltilassa, jos sillä on yhtä paljon elektroneja ja protoneja. Akku muuttaa sisällä varastoitu kemiallista energia sähköksi ja ladatessa päinvastoin. Lyhyesti sanottuna sen toiminta perustuu siihen, että anodilla tapahtuu hapettumisreaktio eli luovuttaa elektroneja ja katodilla pelkistymisreaktio eli vastaanottaa elektroneja. Akun molemmat navat myös perustilassa muodostavat sähkökenttiä ja niiden välillä on potentiaaliero. Kun kytketään sähkökuorma napojen välissä, toteutuu potentiaaliero. Elektronit siirtyvät sähkökentän vastaan matalamalta potentiaalilta korkeimpaan ja positiiviset varaukset korkeamalta potentiaalilta matalampaan. Eli elektronit siirtyvät akun negatiiviselta navalta sähkökuorman kautta positiiviseen napaan, ja positiiviset varaukset päinvastoin. Tästä voidaan päätteellä, että akku on jännitelähde, koska alkuprosessissa energiavirtaukseen tarvittiin potentiaaliero eli jännitettä, jonka avulla elektronit liikkuvat. Ja ajan kuluessa jännite pienenee.

Laturin tapauksessa prosessi toimii eri tavalla, sillä se siirtää neutraalikäämin atomien elektronit muuttuvalla magneettikentällä atomista toiselle. Tästä syntyy sähkökenttä ja potentiaaliero atomien välissä. Voidaan päätteellä, että laturi on virtalähde, koska lähteenä käytimme neutraalijohtimen/ käämin elektronit ja muuttuva magneettikenttä aiheutti potentiaalieroa. Voidaan päätellä, että me voimme tuottaa sähköä kahdella eri tavalla. Ensimmäinen tapa on liikuttamalla metallijohtimen elektronit muuttuvalla magneettikentällä. Toinen tapa on kemiallisesti hapettumis- ja pelkistymisreaktioilla.

Yksinkertaistetulla selityksellä jännite on se energia tai potentiaali, joka saa vapaat elektronit liikkumaan suunnattuun suuntaan johtimen sisällä ja esimerkiksi 24,0V akkua tarkoittaa, että sen navoista on 24,0 V potentiaalieroa. Eli kahden pisteen potentiaaliero. Potentiaali, joka saa elektronit tai sähkövaraukset liikkumaan, kulkee korkeamalta potentiaalilta matalampaan, kuvan 4 perustella voidaan tätä todeta.

3.7 Magneettikenttää

Pointinkin vektorin kaavan 5 perustella voidaan todeta että, energia virtausta on riippuvainen sähkö ja magneettikentistä. Eli aina, kun sähkö- ja magneettikenttä on esiintynyt, niin energiaa virtausta on myös luotu. Tutustutaan seuraavaksi magneettikenttään.

Seuraavassa yhtälössä 5 on Pointinkin vektorin kaava

$$S = \frac{1}{\mu^0} \vec{E} \cdot \vec{B} \quad (5)$$

Jossa: S= Energian virtausta aluetta kohti per sekunti

$\frac{1}{\mu^0}$ = Vakio, jotta yksiköt muodostuvat oikein

\vec{E} = Sähkökenttä

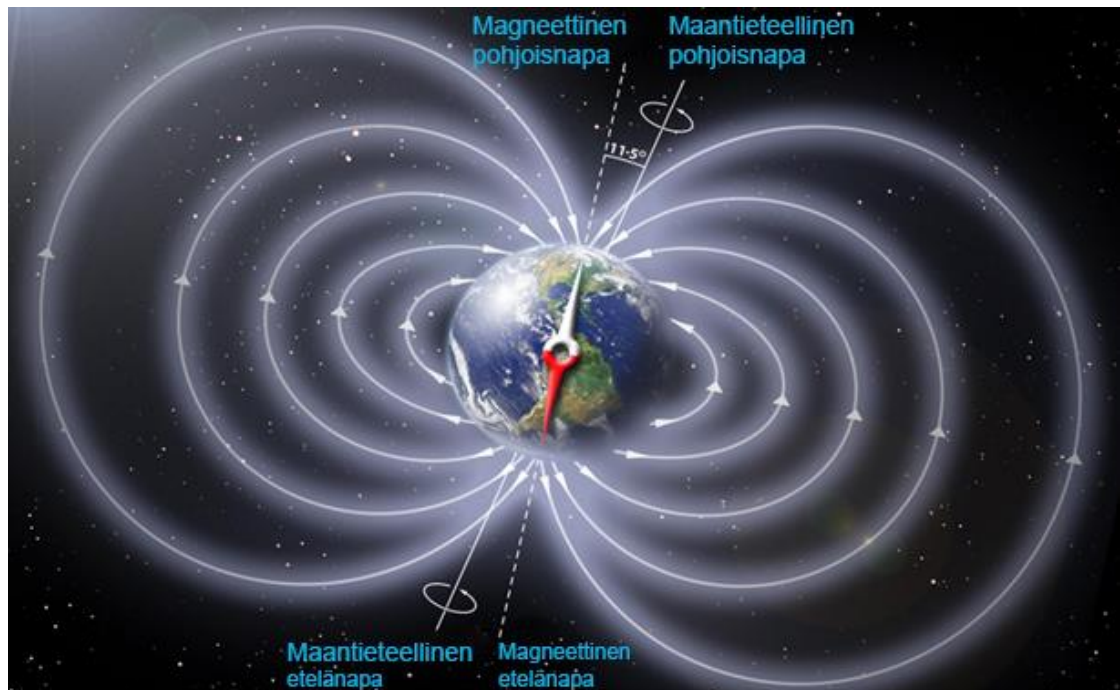
\vec{B} = Magneettikenttä. [18.]

Toisin kuin sähkökenttä, sähkömagneettikenttä syntyy ainoastaan tapauksessa, jossa sähkövaraukset ovat liikkumassa. Toinen asia, joka eroaa, sähkö- ja magneettikenttä on se, että magneettikenttä esiintyy aina kahdessa toisistaan riippuvaisista kentistä. Toisinsanoin magneettikentällä pitää olla aina sekä pohjois- että etelä kohtiota, eli ne ovat toisistaan riippuvaisia. Esimerkiksi kestopagneetilla on aina kaksi eri kohtiota/ magneettikenttä, tämä asia ei muuttuu, vaikka kestopagneettia leikattaisiin mahdollisemmaksi pieniksi paloiksi.

Magneettikenttää on kuvattu matemaattisesti vektorikentäksi. Koska magneettikenttä on vektorisuure, meidän on mitattava kaksi näkökohtaa sen kuvaamiseksi ovat voimaa ja suuntaa. "Magneettikenttää kuvataan kenttäviivoilla, jotka ovat suljettuja käyriä. Kenttäviivojen muoto osoittaa magneettikentän muodon. Mitä tiheämmässä kenttäviivoja on, sitä voimakkaampi on magneettikentän voimakkuus. Magneettikentän suunta magneetin ulkopuolella on pohjoiskohtiosta (N) eteläkohtioon (S) ja suunta magneettikentän sisäpuolella on S-kohtiosta N-kohtioon" [19.]. Magneettikenttää esiintyy aina kestopagneetin, sähkövirran tai muuttuvan sähkökentän läheisyydellä. Esimerkiksi johtimissa,

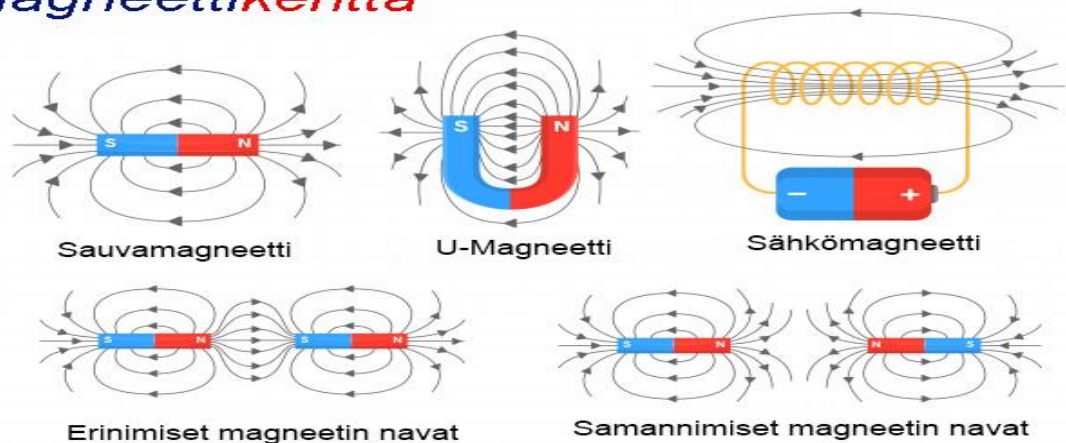
jossa kulkee, sähkövirta esiintyy magneettikenttä ja sähkökenttää. Varaukset siis vaikuttavat sähkökenttään ja varauksien liikuttaminen vaikuttaa magneettikenttään. [20; 21; 22.]

Maapallon ydin tuottaa myös oman magneettikentän, kuva 6. Kompassin kautta voidaan todeta maapallon tai muun sähkökentän suunta. Kompassin rakenne on todella yksinkertainen, sillä se perustuu siihen, että samanmerkkiset navat karkottavat toisiaan ja erimerkkiset vetävät puoleensa. Tapauksessa, jossa kompassi osoittaa pohjoista se on kompassin kestopagneetin etelänapa, joka siihen osoittaa ja päinvastoin. [20.]



Kuva 6. Maan magneettikenttä [23]

Magneettikenttä



Kuva 7. Erityyppisten kestopagneettien magneettikentät [24]

Kestomagneetin tai johtimen ympärillä, joka kuljettaa tasavirta (DC), magneetikenttä on paikallaan ja missä tahansa pisteessä sen suuruus ja suunta pysyvät samoina, kuva 7. Sitä kutsutaan staattiseksi magneetikentäksi. Vaihtovirran (AC) tai liikkuvan kestopagneetin ympärillä, magneetikenttä muuttuu jatkuvasti suuruuttaan ja suuntaan. Tämä kutsutaan muuttuvaksi magneetikentäksi. [20; 21.]

3.8 Sähkömagneettinen säteily

Sähkömagneettiset aallot eli EM-aallot ovat aaltoja, jotka syntyvät sähkökentän ja magneetikentän välisen värähtelyn seurauksena. Toisin sanoen EM-aallot koostuvat värähtelevistä magneetti- ja sähkökentistä. [25.]

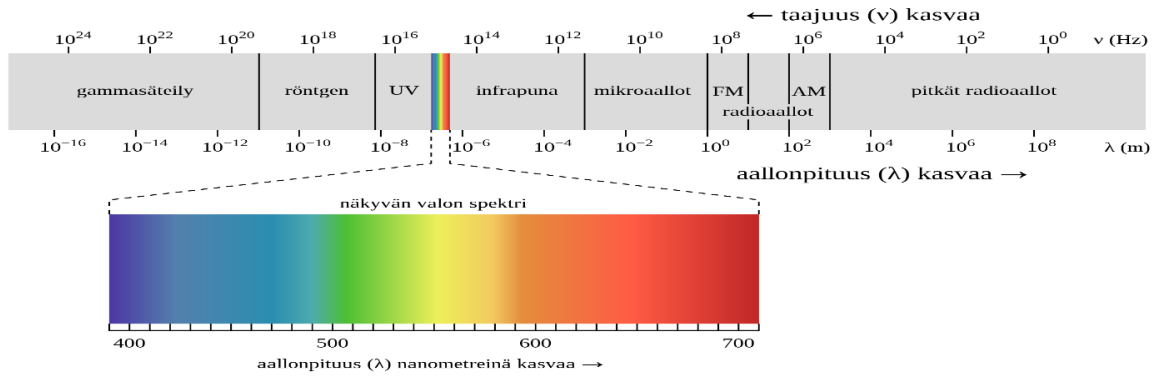
Tiedämme viimeosioista, että, elektronit liikkuvat kineettisellä energialla, joka syntyi potentiaalienergiasta. Sähkömagneettinen säteily syntyy, kun atomi absorboi energiaa. Absorboitunut energia saa yhden tai useamman elektronin muuttamaan sijaintiaan atomissa, hyppäämällä atomin korkeammalle energiatasolle. Kun elektroni palaa alkuperäiseen asentonsa/ paikkaansa, syntyy sähkömagneettinen aalto. Riippuen atomin tyypistä ja energian määrästä tämä sähkömagneettinen säteily voi olla lämmön, valon, radion, ultraviolettisäteilyn tai muiden sähkömagneettisten aaltojen muodossa. Esimerkiksi lämmön siirto konvektiolla, radioien lähetys sekä vastaanotto ja langaton lataus toimivat sähkömagneettisen säteilyllä. Voidaan siis sanoa, että jokainen signaali tai energia, joka saapuu meille langattomasti, on yksi sähkömagneettisten aaltojen muodoista. [26.]

Aurinko on yksi sähkömagneettisen säteilyn lähde ja valo on yksi sen sähkömagneettisten aaltojen muodoista. Valo syntyy, kun elektronit ovat virittyneet eli ovat absorboituneet energia, ne siirtyvät atomin korkeamman energiatason kiertoradalle, eli kauemmaksi atomista. Tällöin elektronit absorboivat fotonia. Elektronit eivät pyri olemaan korkeimman energiatason tilassa vaan, ne pyrkivät putoamaan takaisin matalampaan energiatason tilaan (perustilaan), jolloin ne lähettävät säteilyä, jonka näemme valona. Atomin lähettämän valon väri riippuu siitä, kuinka paljon energiaa elektroni vapauttaa liikkeessaan alaspäin

erienergiatasoilla. Atomien ja molekyylien absorboitunut ja säteilevä valo, kertoo meille, kuinka monta erienergiatasoja elektronilla on, ja kuinka kaukana energiatasot sijaitsevat toisistaan. Valon eri värit liittyvät erilaisiin fotonien energioihin. Pohjimmiltaan foton on valopaketti. Esimerkiksi punaisen valon fotonilla olisi vähemmän energiaa kuin sinisen valon fotonilla. Tämä liittyy aallonpituuksiin, koska punaisella on pidemmät aallonpituudet kuin sinisellä. Säteilyn energia on suoraan verrannollinen taajuuteen ja kääntäen verrannollinen aallonpituuteen. On olemassa useita tapoja saada atomit absorboimaan energiaa. Yksi tapa on virittää atomit sähköenergialla. [26; 27.]

Muuttuvat sähkökentät tuottavat muuttuvia magneettikenttiä ja päinvastoin muuttuvat magneettikentät tuottavat muuttuvia sähkökenttiä. Tämä induoitu-
neiden sähkö- ja magneettikenttien välisen värähtelyn vuorovaikutus johtaa sähkömagneettisten aaltojen leviämiseen. Sähkömagneettiset aallot voivat levi-
vitä vapaassa avarustilassa valonnopeudella, koska valo on itsessään yksi
muoto sähkömagneettisista aalloista. Kiihdyttämällä sähkövarauksia voimme
luoda sähkömagneettisia aaltoja. Sähkövarauksien kiihdyttämisellä tarkoite-
taan tässä elektronien värähtelyä edestakaisin. Me tiedämme sähkövirta-
osiosta, että vaihtovirralla on taajuus, joka kuvaa värähtelyjen määrää sekun-
nissa. Niin käyttämällä vaihtovirta voidaan luoda sähkömagneettisia aaltoja ja
tällä tavalla syntyneiden aaltojen taajuus on yhtä suuri, kuin vaihtovirran taa-
juuden. Vaihtovirran taajuus määrittää sähkömagneettisen aaltojen muoto, esi-
merkiksi 10^{12} (Hz) vaihtovirran taajuudella luodaan Infrapunasäteily, ja jos li-
sätään taajuutta vielä 10^{15} (Hz) saadaan näkyvä valo. [26.]

Lyhyesti sanottuna radiot toimivat samalla periaatteella. Esimerkiksi dipoli-
antenniradion toimintaperiaate perustuu siihen, että vaihtovirta lähdet molem-
piin napoihin, kytketään kaksi vierekkäin sähköjohtava materiaali (dipoli-
antenni), jotka muodostavat avoinsähköpiirin keskenään. Tällöin jännitelähde
voi lähettää taajuuksia ja sen lähettämä taajuus on sama kuin sen toimintataa-
juus. Tämä prosessi toimi myös päinvastoin eli samalla periaatteella voidaan
vastaanottaa taajuuksia. Toisin sanoen me voimme lähettää ja vastaanottaa
tietoja tai siis volttisignaaleja käyttäen vaihtovirran taajuutta.



Kuva 8. Sähkömagneettinen spektri [28]

Kuten kuvassa 8 näkyy, sähkömagneettiset aallot muodostavat koko spektrin. Radioaallot, mikroaallot, valo, röntgensäteet ja kaikki muut aallot ovat täsmälleen sama asia lukuun ottamatta niiden taajuutta tai aallonpituutta, riippuen siitä, millä tavalla haluamme ajatella aaltoja.

3.9 Resistanssi

Resistanssi eli vastus sen nimensä mukaan se vastusta sähkövirran, sen tunnus on (R) ja yksikkö on ohmi. Voidaan kuvitella, että sähkövirran johtimessa kulkemisen aikana, kulkeville elektroneilla ei ole suora reitti kohti kuorma vaan niillä on mutkainen reitti, joka aiheuttaa lukemattomia elektronien törmäyksiä. Nämä törmäykset aiheuttavat vastuksen lämpötilannousua. Toisin sanoen sähkövirta kohtaa vastuksen tai esteen, mikäli vastus on suhteellisen suuri jännitteen nähden. Jännite on se voima, joka saa varaukset liikkumaan ja se kannustaa elektronit menemään esteen yli, mutta vastus silti hidasta elektronien liikettä tietyn verran. Varauksien virtausnopeus asemalta toiselle määräytyy jännitteen ja vastuksen suureiden yhteisvaikutuksesta. Ohmin lain kaavan (6) mukaan, virtapiirissä virtaava virta on suoraan verrannollinen piiriin syötettyyn jännitteeseen ja kääntäen verrannollinen piirin resistanssiin. Toisin sanoen tietyllä jännitteellä virtapiirissä oleva virta pienenee vastuksen kasvaessa. Ohmin lain kaavalla, voidaan laskea ja pohtia jännitteen, virran ja vastuksen väliset suhteet sähköpiirissä. [29; 30.]

Seuraavassa yhtälössä 6 on ohmin laki

$$R = \frac{V}{I} \quad (6)$$

jossa: R = Resistanssi, yksikkö on ohmi ($\Omega = V/A$)

V = Jännite

I = Sähkövirta.

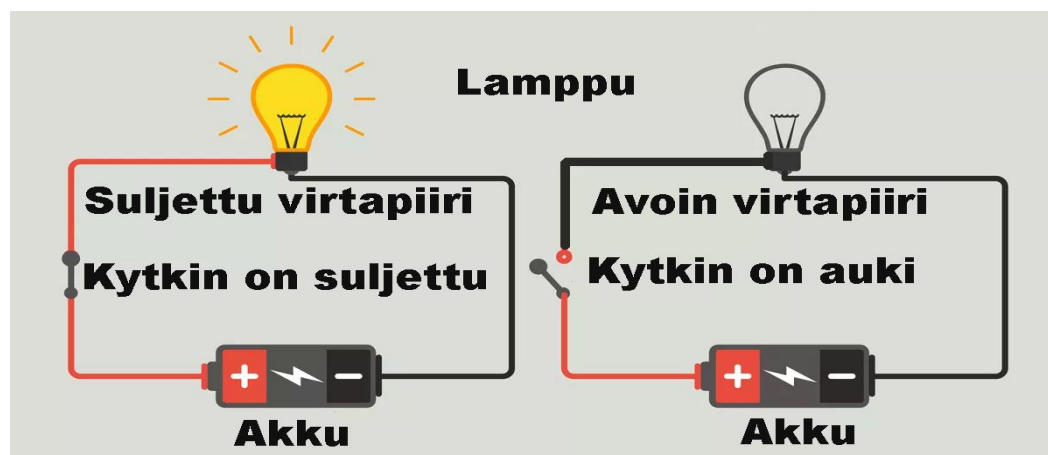
Resistanssi ei koskaan voisi olla ihan nolla. Kaikissa johtimissa on tietynlainen vastus. On olemassa kolme tekijä, jotka vaikuttavat vastuksen suruteen johtimien sisällä. Ensimmäinen johtojen kokonaispituus, mitä pitempi johto sitä suurempi vastus muodosta. Toinen johtojen poikkileikkauspinta ala, mitä leveämpi johto, sitä pienempi vastus on. Kolmas on materiaali, josta johtimien on valmistettu. Hopealla on kaikista materiaaleista paras kyky johtaa sähkövirta, mutta sitä ei koskaan käytetä kotitalouspiirien johdoissa sen kustannusten vuoksi. Kupari ja alumiini ovat edullisimpia materiaaleja, joilla on sopiva johtavuus, ja niitä käytetään kotitalous ja muun sähköpiirien johdoissa. Materiaalin sähkönjohtavuutta ilmaistaan usein sen resistanssilla ja ominaisvastus riippuu materiaalin elektronirakenteesta ja sen lämpötilasta. Tapauksessa, jossa tarvitaan rajoittaa sähkövirtaa tietyssä piirissä, voidaan käyttää resistoria, joka toimi vastuksena. [29; 30.]

Resistori

Resistori on komponentti, joka vastustaa tasa- tai vaihtovirran kulkua. Resistorit ovat erimuotoisia ja -suuruisia sekä heillä on eri ominaisuuksia, tämä tarkoittaa, että niitä voidaan käyttää erilaisissa piirisovelluksissa. Oikean vastuksen tyyppin valinta voi auttaa piiriä toimimaan tarkoitetulla tavalla. Esimerkiksi kaikilla 15 k Ohm:in vastuksilla on sama vastus, mutta ominaisuudet kuten lämpötilan stabiilisuus, melu, pitkän aikavälin stabiilisuus, harhainduktanssi ja vastaavat, voivat olla erilaisia eri tyypeille, ja tämä voi vaikuttaa suorituskykyyn joissakin piireissä. Resistorit voidaan valmistaa eri materiaaleista kuten, hiilestä, metallioksidista, metallikalvosta, vastuslangoista ja vastaavista. [29; 30.]

3.10 Sähkö kulkee vain suljetussa piireissä

Sähköllä on oltava täydellinen polku tai sähköpiiri, ennen kuin elektronit voivat liikkua. On-off-painike sulkee (käynnistää) tai avaa (sammuttaa) laitteen sähköpiirin. Esimerkiksi valon sammuttaminen avaa piirin ja silloin elektronit eivät voi kulkea valon läpi ja takaisin sähkönlahdelle, kuva 9.



Kuva 9. Suljettu ja avoin virtapiiriä [32]

Valon sytyttäminen sulkee piirin, joka sallii sähkön virtausta hehkulampun läpi ja sitten toisen johdon kautta takaisin sähkönlahdelle piirin täydentämiseksi. Johtimen osiossa todensimme tämän, että virta kulkee vain suljetussa virtapiirissä, eli virran tulee aina kulkea sähkölähteestä sähkökuorman läpi ja sitten takaisin sähkölähteelle. Toisinsanoin sähkökuorma pitää saada samasta sähkönlähteestä positiivisista ja negatiivista jännitettä toimiakseen ja sähköpiiri-täydentämiseen. [32.]

3.11 Sähkökuorma

Sähkökuorma on yksinkertaisesti mikä tahansa piirin komponentti, joka kuluttaa tehoa tai energiaa. Termi voi viitata myös piirin kuluttamaan tehoon. Kotitalousympäristössä yleisimpiä esimerkkejä sähkökuormista ovat hehkulamput ja kodinkoneet. Yleisemmässä mielessä mikä tahansa vastus tai sähkömoottori piirissä, joka muuntaa sähköenergiaa valoksi, lämmöksi tai hyödylliseksi liikkeeksi, muodostaa kuormituksen piirille. Piirin kuorma on kääntäen verrannollinen virran määrään, koska suuremmat kuormat alentavat virtaa piirissä. Jos suljetussa piirissä ei ole kuitenkaan merkittävää kuormaa, seurauksena

on oikosulku, joka voi aiheuttaa merkittäviä vahinkoja kuten tulipalo, sähkölähteen räjähdystä tai johtimen palaminen ja katkaiseminen. Teoriaosuus päättyy tähän, perehdytään seuravaksi 152-sähköjärjestelmään, mutta ennen sitä tutustutaan Cessna 152-malleihin. [33.]

4 CESSNA 152 -MALLIT

Cessna 152 on kaksipaikkainen, yksimoottorinen, kiinteällä kolmipyöräisellä varustettu yleisilmailukone, jonka Cessna esitteli vuonna 1977 ja se on 1978 vuodenmalli, kuva 10. Cessna 152 on Cessna 150:n päivitetty versio, jonka tarkoitus oli kilpailla Beechcraft Skipperiä ja Piper Tomahawkia vastaan. Kuten 150, suurin osa 152 valmistettiin Cessnan tehtaalla Wichitassa, Kansasin osavaltiossa, kun taas osan rakensi Reims Aviation ranskassa ne nimettiin F152/FA152:ksi. 152:ta käytetään pääasiassa lentokoulutukseen ja henkilökohtaiseen käyttöön. [34.]



Kuva 10. Cessna 152 [35]

Cessna 152 sisälsi 150:een verrattuna useita pieniä muutoksia suunnitteluun ja moottoriin, joka oli hieman tehokkaampi. Sillä on myös pidempi huoltoväli. Cessna 152:ta on testattu vuosien varrella ja se on ollut maailman suosituimpia koulutuslentokoneita. Se on vahva, vakaa ja kestävä lentokone, jossa on

yksi Lycoming O-235 -moottori. Vuonna 1985 tuotanto lopetettiin, kun tuotantoyhtiö lopetti kaikkien kevyiden lentokoneidensa tuotannon. Yhteensä niitä rakennettiin 7 584 eri puolilla maailmaa, mukaan lukien A152- ja FA152 Aerobat-taitolentoversiot. Lentokoneen runko on pääasiassa valmistettu metallirakenteesta 2024-T3-alumiiniseoksesta. Lentokoneen ulkopituus on 7,34 metriä ja korkeus 2,59 metriä. [34.]

5 YLEIS-CESSNA 152-SÄHKÖKAAVIO

Kuvassa 11, on esitetty Cessna 152 -sähkökaavio, joka kuvastaa miten ja missä järjestyksessä sähkölaitteet ovat kytketty. Huomionarvoista tämä kytkentäkaavio on yleismalli sen sisältyvät sähkölaitteet saattavat vaihdella 152 lentokoneesta toiseen.

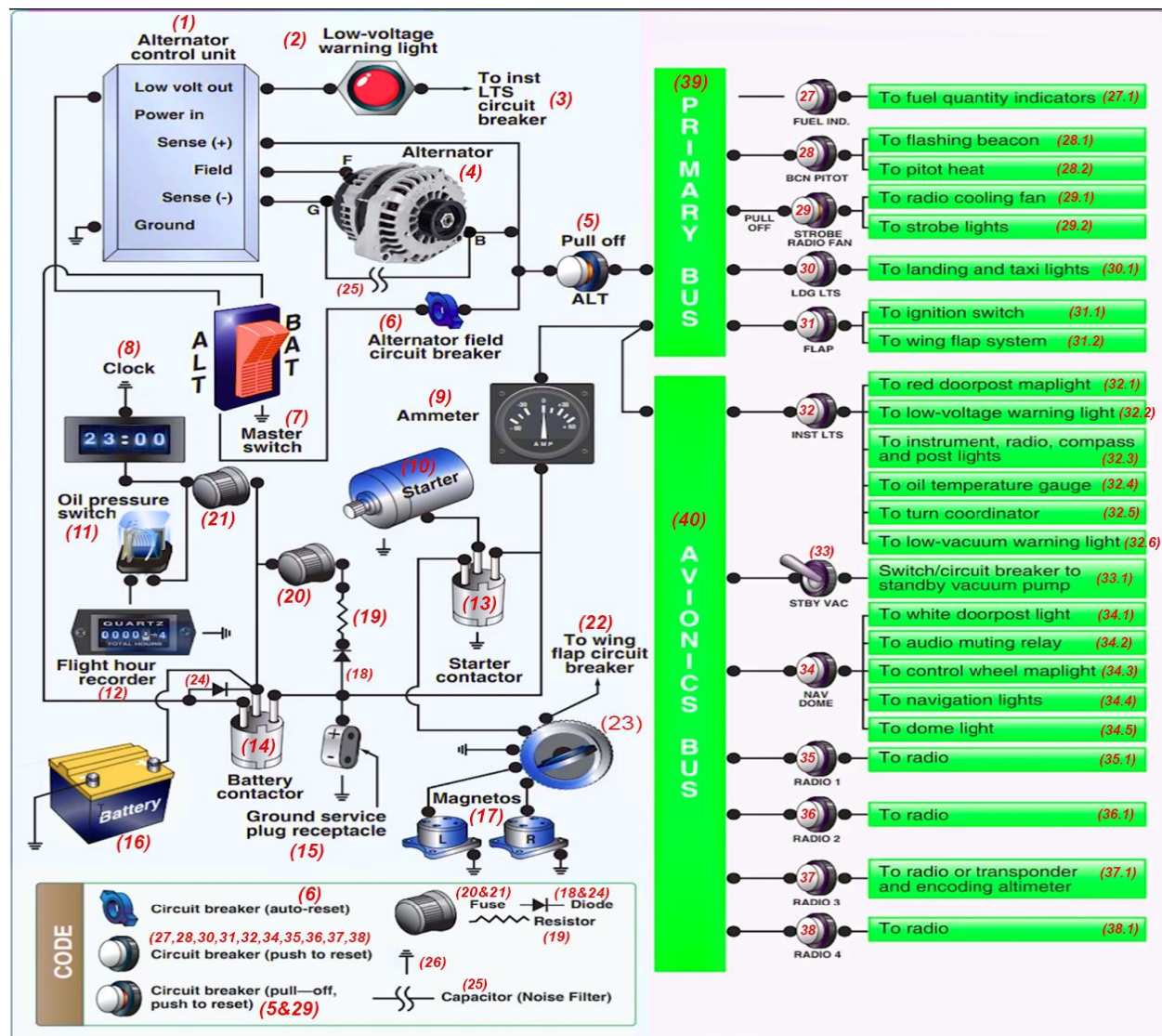


Figure 7-34. Electrical system schematic.

Kuva 11. 152-sähköjärjestelmän kytkentäkaavio [36]

1. Laturin jännitesäädin
2. Alijännitteen varoitusvalo
3. Suojakytkimelle numero 32 (Painonappi palautuva)
4. Vaihtovirtageneraattori/ Laturi
5. Vaihtovirtageneraattorin kenttäsuojakytkin (Vedä= pois päältä, paina=
Päällä)
6. Vaihtovirtageneraattorin kenttäkäämin suojakytkin (Itsestään palautuva)
7. Pääkytkin
8. Kello
9. Virtamittari
10. Käynnistysmoottori
11. Öljynpainekeytkin
12. Lentotuntilaskin
13. Käynnistysmoottorin solenoidi kontaktori
14. Akun solenoidi kontaktori
15. Maa-akkupistoke
16. Akku
17. Magneetit
18. Maa-akkupistokkeen diodi
19. Maa- akkupistokkeen vastus
20. Maa- akkupistokkeen sulake

21. Kellon, öljynpainekeytkimen ja lentotuntilaskimen sulake
22. Laskusiivekkeiden suojakytkimelle numero 31
23. Sytytys avainkytkin
24. Akun solenoidi kontaktorin diodi
25. Kondensaattori (Häiriövaimennin)
26. Maadoitus merkki (Yhdistetty lentokonerungon kautta akun negatiiviseen napaan)

27. Polttoainemittarin suojakytkin (Painonappi palautuva)
 - 27.1. Polttoainemäärämittarille

28. Vilkkumajakka ja Pitot lämmittimen suojakytkin (Painonappi palautuva)
 - 28.1. Vilkkumajakalle
 - 28.2. Pitot lämmittimelle

29. Radiojäähdytyspuhaltimen ja suurtehovilkkujen suojakytkin (Vedä= pois päältä, paina= Päällä)
 - 29.1. Radioiden jäähdytyspuhaltimelle
 - 29.2. Suurtehovilkuille

30. Laskeutumis- ja rullausvalojen suojakytkin (Painonappi palautuva)
 - 30.1. Laskeutumis- ja rullausvaloille

31. Sytytyskytkimen ja laippojen suojakytkin (Painonappi palautuva)
 - 31.1. Sytytyskytkimelle

31.2. Laipoille

32. Punaisen karttavalon, alijännitevaroitusvalon, mittari-, radio-, kompassivalojen, öljylämmön mittarin, kaarto-, kallistusmittarin ja alipaineen varoitusvalojen suojakytkin (Painonappi palautuva)

32.1. Ovenpielessä olevalle punaiselle karttavalolle

32.2. Alijännitevaroitusvaloille

32.3. Mittari-, radio-, kompassivaloille

32.4. Öljynlämmön mittarille

32.5. Kaarto- ja kallistusmittarille

32.6. Alipaineen varoitusvaloille

33. Alipainepumpun katkaisija (Vipukytkin)

33.1. Alipainepumpulle

34. Valkoisen karttavalon, kovaäänisen vaimennusreleen, karttavalon, purjehdusvalon ja kattovalon suojakytkin (Painonappi palautuva)

34.1. Ovenpielessä olevalle valkoiselle karttavalolle

34.2. Kovaäänisen vaimennusreleelle

34.3. Karttavalolle

34.4. Purjehdusvalolle

34.5. Kattovalolle

35. Radio 1 suojakytkin (Painonappi palautuva)

35.1. Radiolle

36. Radio 2 suojakytkin (Painonappi palautuva)

36.1. Radiolle

37. Radio 3 tai transponderin ja koodaavan korkeus mittarin suojakytkin (Painonappi palautuva)

37.1. Radiolle tai transponderille ja koodaavalle korkeus mittarille.

38. Radio 4 suojakytkin (Painonappi palautuva)

38.1. Radiolle

39. Ensisijainen virtakisko

40. Avioniikan Virtakisko

5.1 Potentiaalintasaus ja maadoitus

152:n lentokoneen runko on kytketty maihin eli akun negatiivinen napaan ja kaikki 152:n sähkölaitteet ovat kytketty runkoon joko suoraan tai lyhyen johdon kautta. Tämä tarkoittaa, että kaikki sähkölaitteet saavat negatiivisen jännitteen suoraan 152:n rungon kautta. Tällöin säästetään todella paljon johtoja sekä potentiaaliero ja resistanssi ovat erittäin pienet mistä tahansa rungon pisteessä.

Toinen syy, miksi pitää tehdä potentiaalintasaus lentokoneessa, on se, että potentiaalintasaus toimii salamansuojajärjestelmänä. Salama aina pyrkii menemään maahan ja se valitsee itselleen kulkureitiksi parhaiten johtavat rakenteet, jotka auttavat sitä pääsemään maahan. Salaman energia kuitenkin hyppää maan pinnalle riippumatta siitä, kuinka eristetty rakenne on, kysymys on se, aiheuttaako salama tulipalon prosessissa vai ei.

Kuvaillaan esimerkiksi kaksi tapausta: ensimmäinen on lentokone, joka on kunnollisesti potentiaali tasautettu kärjestä kärkeen eli sen potentiaalierot ja resistanssit ovat erittäin pienet mistä tahansa rungon pisteestä. Toinen on sama lentokone, mutta siitä ei ole maadoitettu kunnolla, eli sen resistanssit/ potentiaalierot ovat suuret edestä taakse ja sivulta toiselle. Oletetaan, että salaman aikana lentokoneeseen osuisi vaikkapa 100 000 ampeeria. Ensimmäisessä tapauksessa, jossa lentokone on kunnollisesti potentiaali tasautettu, sen vastus on todella pieni, joten oletetaan, että sen vastus on 0,0001 ohmia. Kun teemme laskun ohmin lailla huomaamme, että jännite, jota kärsii koneen sähköjärjestelmä, on 10 voltia, koska $100\,000\text{ A} \cdot 0,0001\text{ ohmia} = 10\text{ voltia}$. Joten kone kärsii 10 voltin potentiaalinnoususta koko salaman aikana, ja salama hyppää ulos koneesta liikkuen kohti maata. 10 voltin jännite on hyvin hallittavissa lentokoneiden elektroniikkajärjestelmille, eikä lämpövaurioita tapahdu. [37.]

Toisessa tapauksessa, jossa kone ei ole kunnolla maadoitettu oletetaan, että sen resistanssi on suuri vaikkapa 1,0 ohmia. Huomaamme, että koneen sähköjärjestelmä kärsii 100 000 voltia jännitteestä, koska $100\,000\text{ A} \cdot 1,0\text{ ohmia} = 100\,000\text{ voltia}$. Vasta sitten salama hyppää ulos koneesta liikkuen kohti maata. Lentokone ei pysty hallitsemaan 100 000 voltia, sen elektroniikka on silloin kokonaan tuhattu ja tulipalot syttyvät äärimmäisen lämpökuumenemisen takia. Tästä voidaan pohtia, että hyvä maadoitus on todella tärkeä turvallisuuden kannalta. [37.]

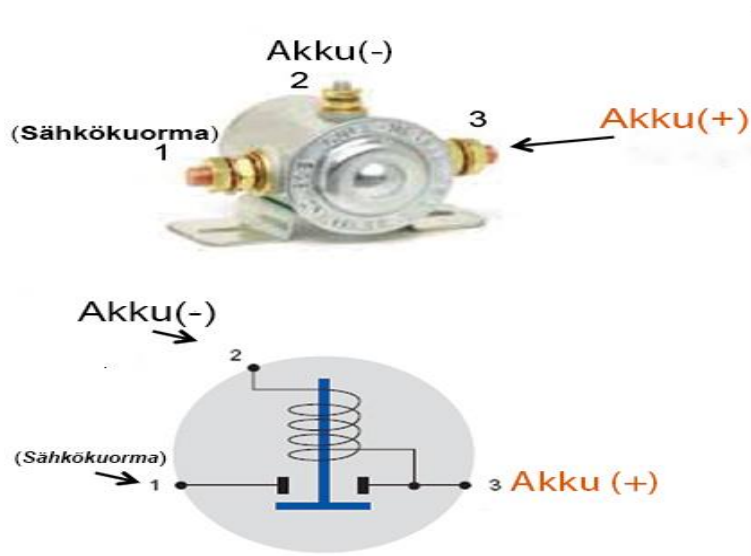
Maadoitus taas käytetään yleensä lentokonetankauksen yhteydessä. Polttoaineautomaatit kytketään aina maahan, eli täysin maadoitettu, jolloin niillä on sama jännitepotentiaali kuin maalla. Ennen tankkausta pitää aina kytkeä polttoaineautomaatista tuleva maadoitusjohto lentokonerunkoon, jota lentoko-

neella olisi sama jännitepotentiaalia kuin polttoaineautomaattia ja maata. Tällöin ei synny sähköstaattinen purkaus, joka saattaa aiheuttaa tulipalon. Paras paikka maadoitusjohdon kiinnityksellä 152:ssa on pakoputki.

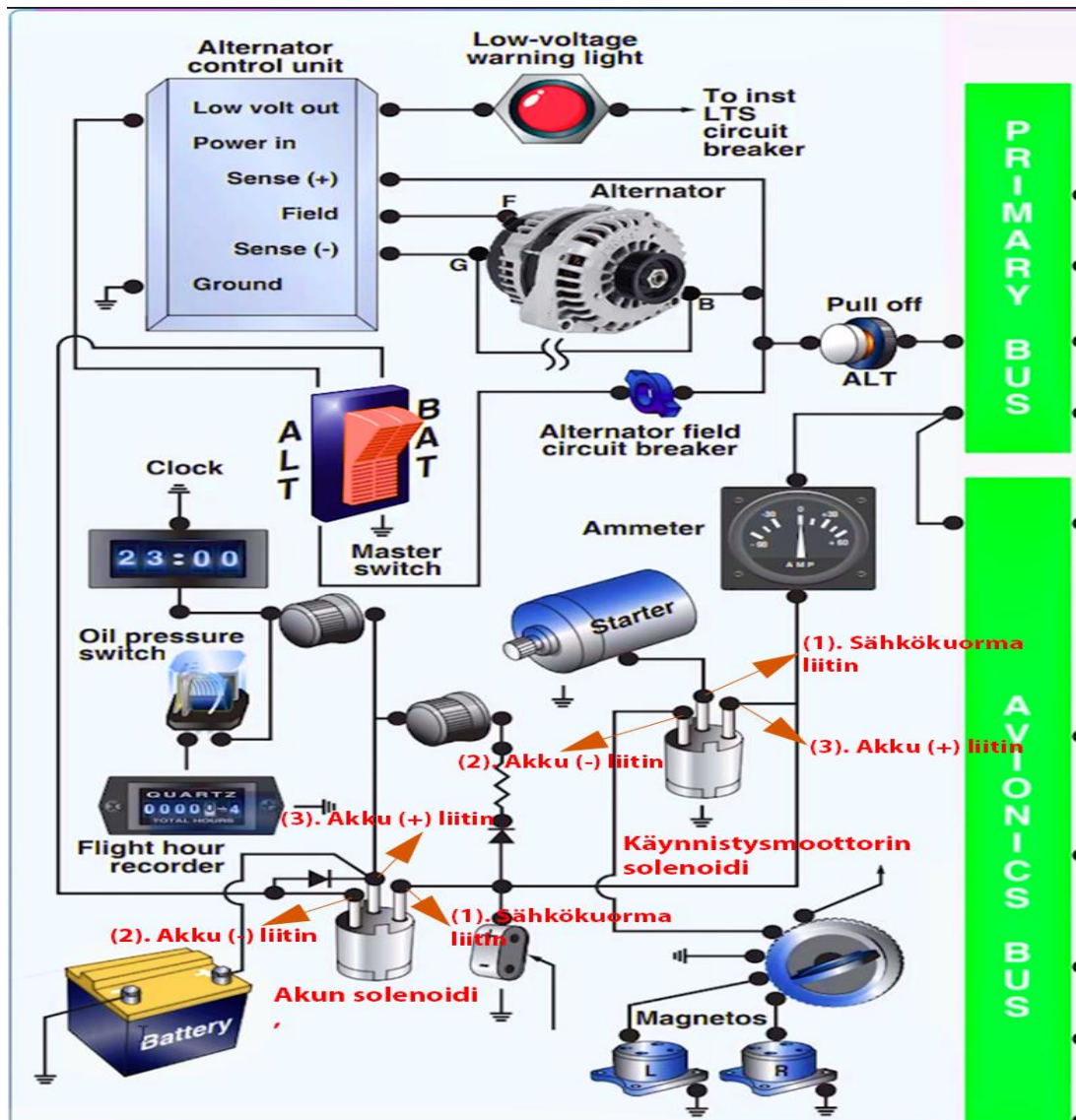
Potentiaalintasauksella tarkoitetaan, että kaikilla samaan sähkölähteeseen kytketyillä laiteilla olisi sama sisääntulo jännitepotentiaalia. Maadoituksella tarkoitetaan, että kaikilla sähköä johtavilla esineillä on sama jännitepotentiaalia maapotentiaalinsa kanssa, jotta sähköpurkausta tai sähköiskua ei tapahdu.

5.2 Solenoidi kontaktori

Kontaktori on sähköisesti ohjattava kytkin, jota käytetään sähköpiirin kytkemiseen päälle tai pois päältä. Sen avulla voidaan ohjata suuri sähkövirta pienellä sähkövirralla. Kontaktori koostuu käämistä, metallisylinteristä ja jousesta. Syöttämällä käämiin tasavirta, syntyy magneettikenttä. Magneettikenttä puolestaan houkuttelee keskellä oleva metallisylinteriä siten, että liikuttaa metallisylinteriä alaspäin, minkä ansiosta se yhdistää 1- ja 3-liitimet yhteen, kuva 12. Kun virta katkaistaan, metallisylinteri palautuu perusasentoon jousen avulla ja katkaisee 1- ja 3-liitimet toisistaan.



Kuva 12. Esimerkki kuva solenoidi kontaktorista [38]



Kuva 13. Akun ja käynnistysmoottorin solenoidikontaktorin liittimet.

152- sähköjärjestelmässä on käytetty kaksi solenoidi tyypistä kontaktoria, jotka sijaitsevat kahdessa eri paikassa sähköjärjestelmässä ne ovat: akun solenoidi ja käynnistysmoottorin solenoidi. Akkusolenoidin tehtävä on ohjata ja tarjota virtaa kokosähköjärjestelmälle. Solenoidi aktivoituu silloin, kun se saa virta sen käämeihin liittimien 3 ja 2 kautta, kuva 13. Akun positiivinen napa on kytketty suoraan solenoidin 3-liittimeen ja akun negatiivinen napa, joka on pääkytkimen (BAT)-puolen ohjauksella 2-liittimeen. Solenoidi aktivoitu, kun virta kulkee sen käämin läpi suljetussa virtapiirissä.

Käynnistysmoottorin solenoidin tehtävä on ohjata virta käynnistysmoottorille se aktivoituu sytytysavainkytkimestä, mikäli akun solenoidi on aktivoitu. Syty-

tyskytkin on kytketty runkoon, minkä kautta tarjotaan käynnistysmoottorin solenoidille 2-littimeen akun negatiivista jännitettä. Akkusolenoidin aktivoidessa tarjotaan suoraan positiivista jännitettä käynnistysmoottorisolenoidi 3-littimeen. Käynnistysmoottorin solenoidin aktivoidessa 1 ja 3-liittimet yhdistyvät toisiinsa, minkä kautta saadaan käynnistysmoottori toimimaan, kuva 13.

5.3 Pääkytkin

Sähköjärjestelmä kytketään päälle tai pois pääkytkimeltä. Pääkytkimen kautta tarjotaan sähköä kaikkiin sähkölaitteiden piireihin. Ohjaamoon asennetaan kytkimet tiettyjen sähköpiirien avaamiseksi ja sulkemiseksi, jolloin kytkimeen kytketyt elektroniset laitteet kytketään päälle tai pois. Kytkimet joko sulkeutuvat piirin täydentämiseksi tai avautuvat piirin katkaisemiseksi.

152:ssa pääkytkin koostuu kahdesta eri keinukytimestä, joilla on eri tehtävä sähköjärjestelmän piirissä, kuva 14. Oikeanpuoleinen keinukytin ohjaa akkujärjestelmän toimintaa ja vasemmanpuoleinen ohjaa laturijärjestelmän toimintaa. Tämä järjestely mahdollistaa kuitenkin akun olevan toiminnassa ilman laturia tai laturin toimintaa ilman akkua, tämä viimeinen on todettu tässä työssä mahdottomaksi. Pääkytkin sijaitsee paneelin vasemmalla puolella ja siihen on merkitty "BAT" ja "ALT" keinukytimien alla. "BAT" yläpuolella on akun keinukytin ja "ALT" on laturin keinukytin. Pääkytkimen kääntäminen ON-asentoon ei kuitenkaan käynnistä suoraan moottoria, mutta se tarjoaa tarvittava sähköä käynnistysmoottoriin käynnistämiseen. Käynnistysmoottoria kytketään päällä sytytyskytkimen kautta.



Kuva 14. 152:n pääkytkimen sijainti ohjaamossa [39]

Kuten kuvassa 15 on esitetty, että pääkytkimen (BAT) puoli on yhdistetty akun negatiiviseen napaan. Jos pääkytkimen (ALT) puoli on kiinniasennossa, se aktivoi kontaktorin, jonka kautta saadaan virta koko järjestelmälle, paitsi laturin ohjausyksikölle, kuva 15. Sinisellä merkattu viiva osoittaa, että virta ei kulje suljetussa virtapiirissä, mikä on akun positiivinen napa (+). Oranssilla merkattu viivaa osittaa, että virta kulkee suljetussa virtapiirissä. Nuolet osoittavat virran suuntaa.

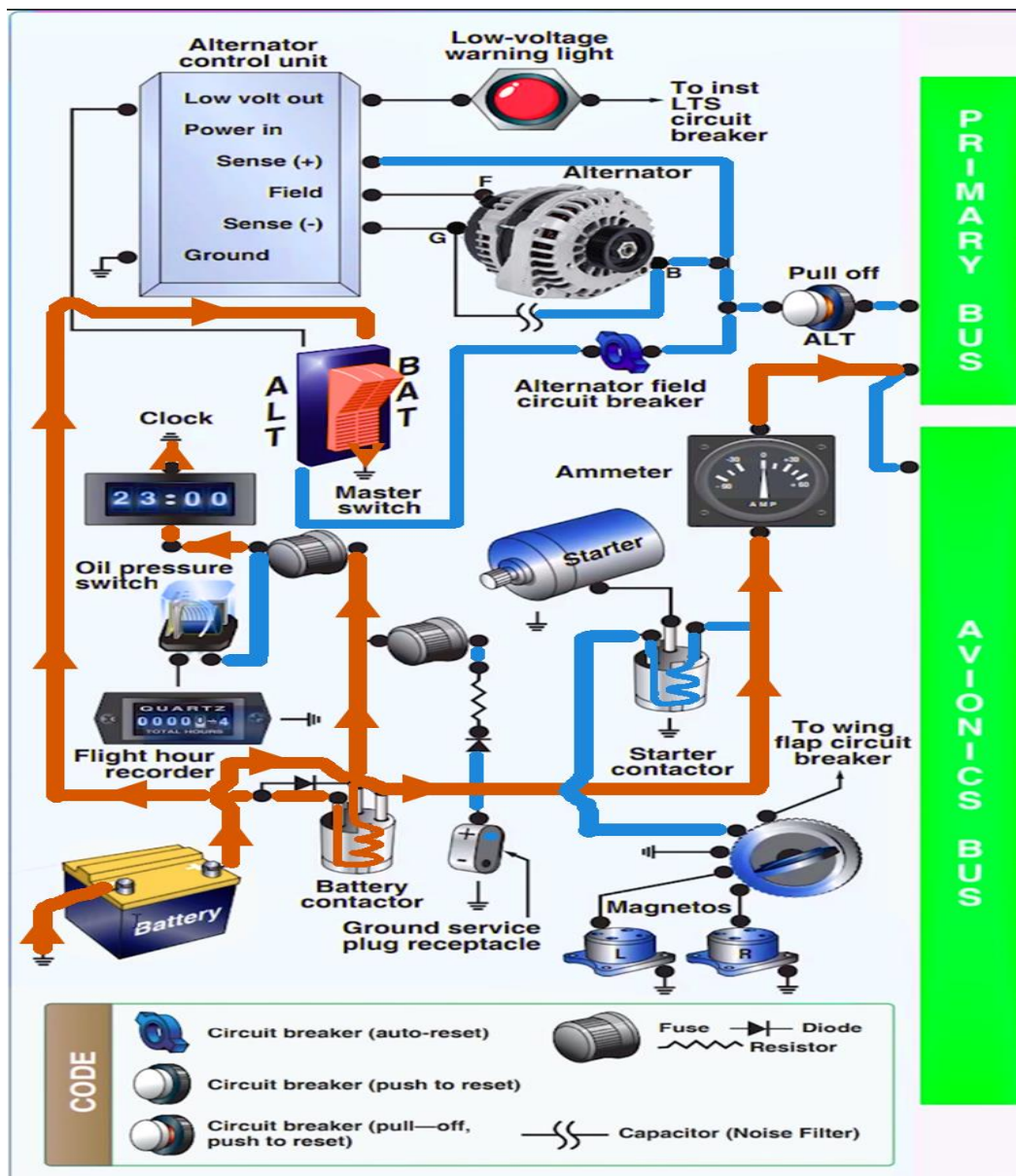
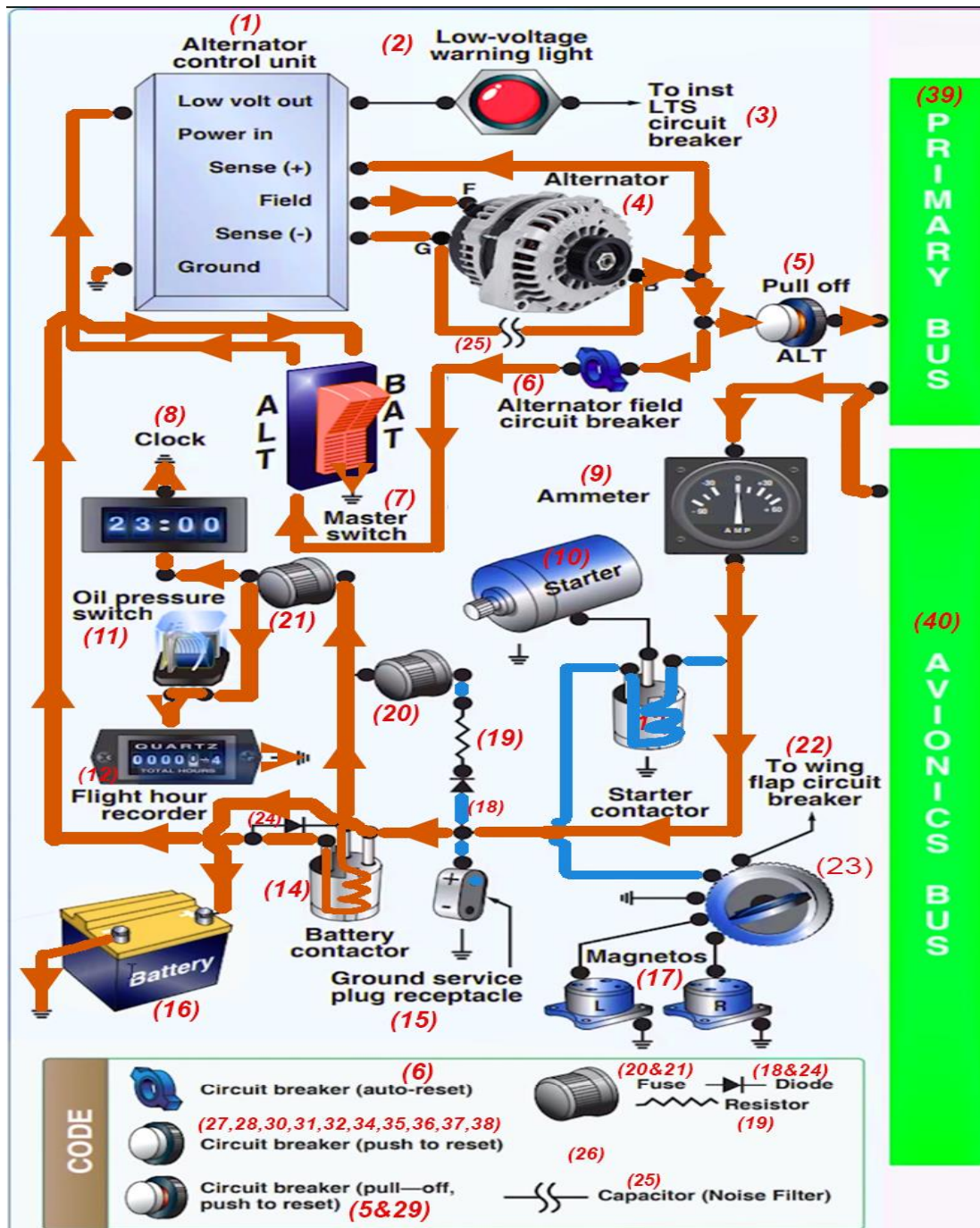


Figure 7-34. Electrical system schematic.

Kuva 15. Moottori ei ole käynnissä, kaikki sähkölaitteet ovat kytketty pois päältä ja pääkytkimen (BAT) puoli on kiinni asennossa.



Kuva 16. Moottori on käynnissä ja pääkytkimen molemmat puolet ovat kiinniasennossa.

Pääkytkimen (ALT) puolen ollessa kiinni se sulkee puolestaan akun virtapiiriä laturin ohjausyksikölle, jonka kautta laturi magneetoitaan, kuva 16. Tästä voidaan todeta, että laturin toiminta ilman akkua ei ole mahdollista. Toisin sanoen, jos yritetään käynnistää moottoria potkurikäynnistyksellä, mutta akku on poistettu järjestelmästä tai purkautunut kokonaan, moottori käynnistyy, mutta sähköjärjestelmä ei. Tutkitään tätä lisää laturin osiosta.

Kuvasta 16, huomataan, että sähkövirta muuttaa suuntansa, kun laturi käynnistyy. Tämä johtuu siitä, että sähkövirta kulkee aina korkeamalta potentiaalilta matalampaan. Akku on 24V ja laturi on 28V.

5.4 Diodi

Yksinkertaisesti ilmaistuna diodi on sähkökomponentti, joka mahdollistaa virran kulkemisen vain yhteen suuntaan. Diodilla on kaksi napaa ja ne ovat anodi (positiivinen puoli) ja katodi (negatiivinen puoli). Diodi päästää virtaa, jos sen anodiin kohdistetaan positiivista jännitettä tai jos katodiin kohdistetaan negatiivista jännitettä. Muissa tapauksissa sen ei pitäisi päästää virtaa. Diodi on rikki, jos se päästää virtaa molempiin suuntiin tai jos ei päästä virtaa kumpaakaan suuntaan. [40.]

Tapauksessa, kun diodi päästää virtaa, se on päästösuuntainen ja jos ei päästä, se on estosuuntainen. Diodin resistanssi on hyvin pieni silloin, kun se on päästösuuntainen ja toisaalta se on todella suuri, kun se on estosuuntainen. Diodit ovat erityyppisiä ja niillä on maksimijännitearvot, jotka löytyvät valmistajan datalehdessä. Jos ne ylittyvät diodi saattaa hajota. Diodin jalkoihin on merkitty jännitteen napaisuus, jonka perustella voidaan päätellä, milloin se on esto- tai päästösuuntainen. Kuorma tai vastus, joka on kytketty diodin kautta sähkölähteeseen, määrittää diodin läpi kulkeva virta. [41; 42.]

Diodia voi käyttää seuraaviin tehtäviin: tasasuuntaajana, signaalinrajoittimena, jännitesäätimenä, kytkimenä, signaalimodulaationa, taajuussekoittimena, signaalimodulaationa, oskillaattorina ja suojakomponentteina. 152:ssa kaavion mukaan diodi on käytetty kolmessa eri kytkentäpaikassa. Ensimmäinen kytkentäpaikka on akkusolenoidia kolmas liittimeen ja akun positiivisen navan välillä. Sen tehtävä on vähentää radiohäiriöitä/pulssit, joita solenoidi kontaktori aiheuttaa sähkömagneetin takia. Toinen on kytketty maa-akkupistokkeen positiiviseen napaan ja resistorin välillä. Sen tehtävä on päästää virta maa-akkupistokkeen kautta sähköjärjestelmälle ja estää akun virta pääsemään maa-akkupistokkeelle. Kolmas kytkentäpaikka ei esiinny 152:n kaaviossa, mutta se löytyy laturin tasasuuntaajassa ja toimii tasasuuntaajana. [40; 41; 42.]

5.5 Akku

Cessna 152:ssa on käytetty 24V, jonka kapasiteetti on 17 Ah, 12.75Ah tai 15.5 Ah. Sen tarkoitus on tarjota sähkölähdettä moottoriin käynnistämiseen ja hätätilanteisiin, jos laturi vikaantuu. Hätätapauksessa akku voi tarjota rajatun määrän virtaa laippojen, valojen, radioihin ja navigointilaitteiden käyttämiseen. Yleensä hätätilanteissa akun virta riittää siihen, että pääsee lentämään lähimmälle lentokentälle tai tekemään pakkolaskun. Periaatteessa akku tarkistetaan aina ennen joka lentoa automattisesti moottorin käynnistäessä, Jos akun virta ei riitä moottorin käynnistämiseen, lento keskeytetään ja lentokone viedään huoltoon. [43.]

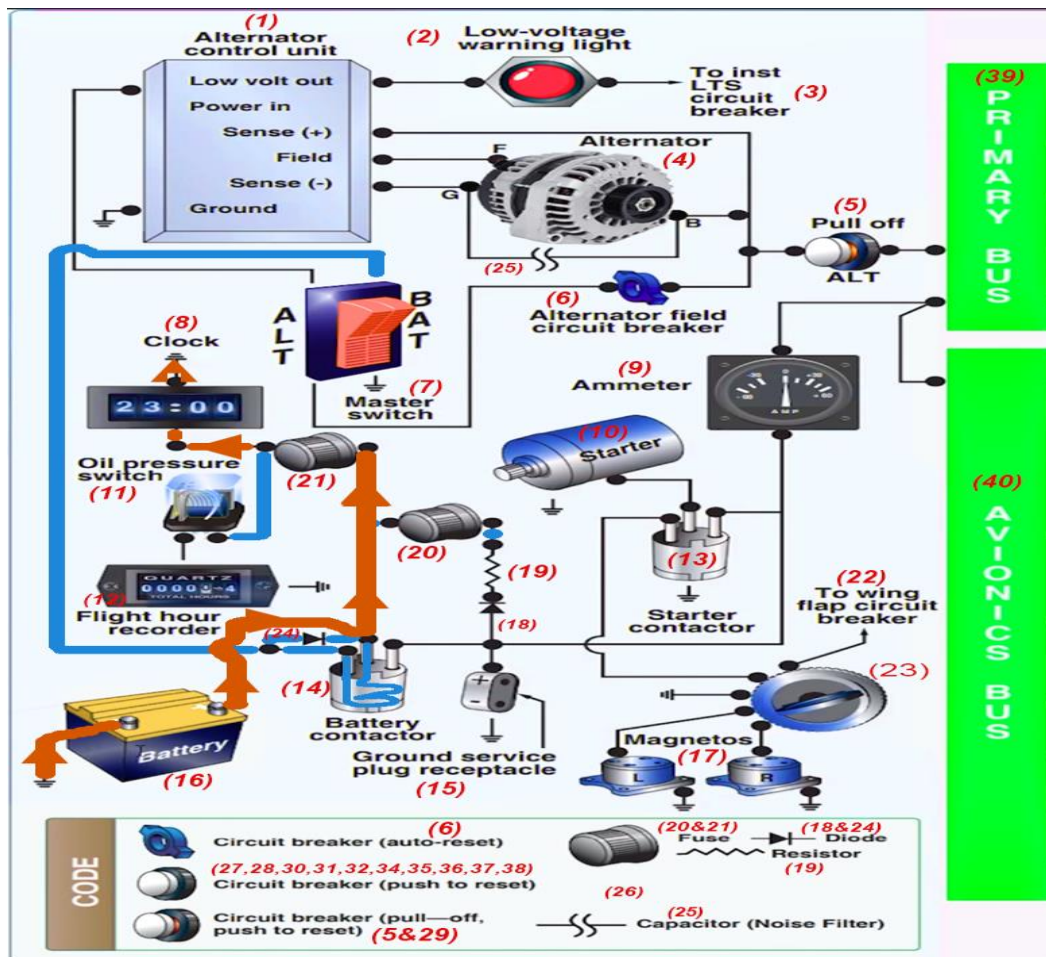


Figure 7-34. Electrical system schematic.

Kuva 17. Moottori ei ole käynnissä ja pääkytkimen molemmat puolet on pois päältä.

Kuva 17, mukaisesti akku on kytketty suoraan kontaktoriin, joka kytkeytyy päälle (BAT) pääkytkimen puolelta. Sinisellä merkattu viiva osoittaa, että virta ei kulje suljetussa virtapiirissä, mikä on akun positiivinen napa (+). Oransilla

merkattu viivaa osoittaa, että virta kulkee suljetussa virtapiirissä. Nuolet osoittavat virran suuntaa.

5.6 Sulakkeet ja lämpölaukaisimet

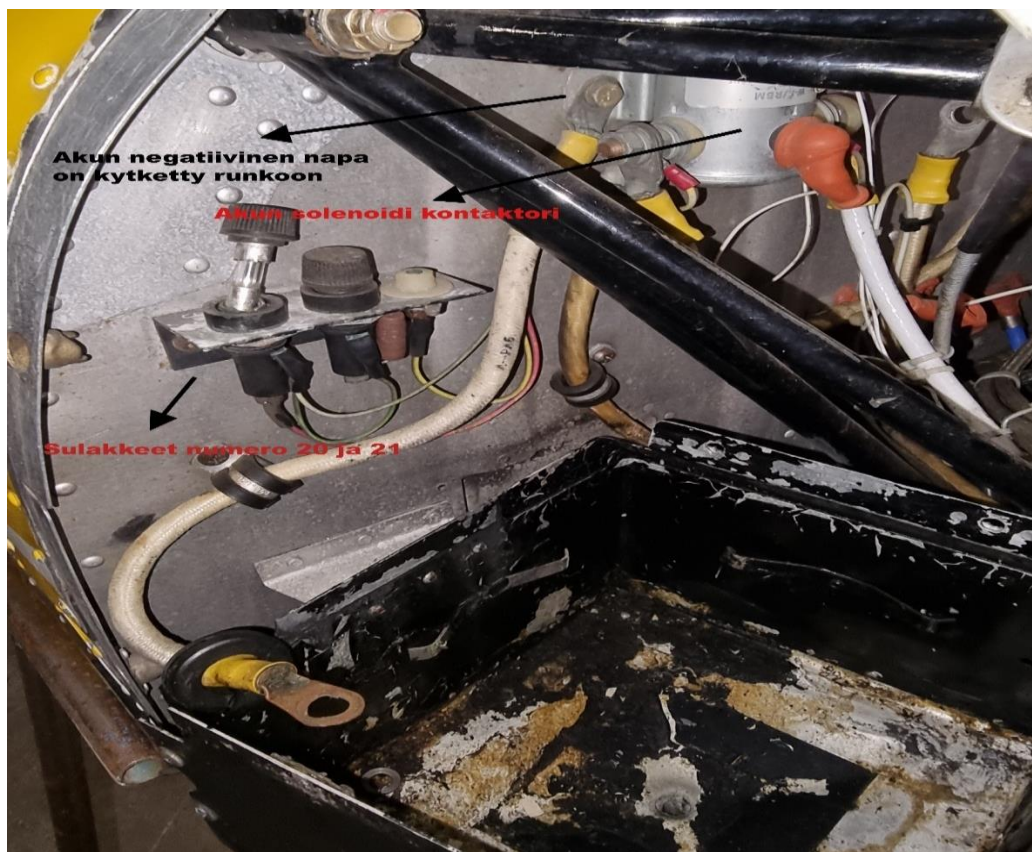
Lämpölaukaisin tai sulakkeen tarkoituksena 152:ssa on havaita ja katkaista ylivirtaa tai oikosulkua, jotka syntyvät äkillisesti joidenkin tekijöiden vuoksi. Tuolloin lämpölaukaisin /sulake laukeaa ja katkaisee virtapiiriä, estääkseen lentokonesähköjärjestelmän vaurioitumista. Sekä lämpölaukaisin että sulake on suunniteltu katkaisemaan piiriä, jos tietty virtakuorma saavutetaan. Merkittävien ero näiden kahden suojakytkimen tyyppien välillä on, että lämpölaukaisin voidaan asettaa uudelleen paikan päällä, kun taas sulakkeet on vaihdettava, jos ne ovat laenneet. [44; 45.]

On todella tärkeää asentaa lämpölaukaisin /sulake oikealla virtaluokituksella herkkien elektronisten laitteiden suojaamiseksi. Suojakytkimen käyttäminen, minkä raja on korkeampi, kuin mitä laiteelle on määritely, ei suojaa sitä oikosulun tai ylivirran sattuessa. Ja päinvastoin suojakytkin, jonka raja on tälle laiteelle määritelyä pienempi, voi aiheuttaa tarpeettomia laukaisuja normaalin käytön aikana.

Lämpölaukaisin on suunniteltu laukeamaan määritetyllä virrankulutuksella, ja se voidaan nollata manuaalisesti joka kerta, kun se laukeaa. Lämpölaukaisimeen on rakennettu metallielementti, joka laajenee ja supistuu virrankulutukseen kasvaessa tai vähentyessä, lämpötilan muutoksen seurauksena. Lisääntynyt virran virtaus saa elementin lämpenemään ja laajenemaan. Kun kriittinen virta on saavutettu, tämä laajeneminen riittää avaamaan sähköpiirin, mikä aiheuttaa piirin katkeamisen. Lämpölaukaisimen painike ponnahtaa auki siten, että se on ohjaajan nähtävillä. Lämpölaukaisin voidaan nollata painamalla painike takaisin alas, jolloin sähköpiiri sulkeutuu. Tämänkaltaista lämpölaukaisinta on käytetty 152:ssa, ja se on (painonappi palautuva) suojakatkaisin, joka suoja useita sähköjärjestelmän laiteita. 152:n kaaviokuvan 10 mukaan tämän kaltainen katkaisin on merkattu numeroilla (27,28,30,31,32,34,35,36,37 ja 38). [44; 45.]

Toinen lämpölaukaisin (Vedä= pois päältä, paina= Päällä), jota on käytetty 152:ssa, on hyvin samanlainen lämpölaukaisin, kuin edellinen. Ainoa ero näillä kahdella lämpölaukaisimella on se, että ensimmäistä ei voida manuaalisesti sulkea pois päältä, kun taas toinen voidaan manuaalisesti sulkea pois päältä. Kaaviokuvan 10 mukaisesti se on merkitty numeroilla (5 ja 29), eli sitä on käytetty laturijärjestelmän sekä radiojäähdytyspuhaltimen ja suurtehoilukujen suojakatkaisimena. Huomionarvoista on, että jossain 152:issa ei ole vastaava lämpölaukaisin, vaan on käytetty tilalle normaali (painonappi palautuva) suojakatkaisin, joka ei voida sulkea pois manuaalisesti.

Kolmas lämpölaukaisin on 5-ampeerinen automaattisesti palautuva suojakatkaisin (Itsestään palautuva). Se on tarkoitettu suojaamaan vaihtovirtalaturin kenttäkäämin ylijännitteestä. Kaaviokuvan 10 mukaisesti sitä on merkitty numerolla (6).



Kuva 18. Kuva 152-moottoritilasta, jossa näkyy sulakkeet numero 20 ja 21, akun solenoidi kontaktori ja kuinka akun negatiivinen napa on yhdistetty runkoon.

Neljäs on sulakekatkaisin, joka sijaitse kahdessa eri paikassa sähköjärjestelmässä ja se on vaihdettava, jos se kerran laukea, kuva 18. Ensimmäinen sijaitsee akkusolenoidikontaktorin ja kellon sekä öljynpainekeytkin välissä, luettelossa merkitty numerolla 21. Sen tehtävä on suojata akkua oikosulun sattuessa öljynpainekeytkimelle, kellolle tai lentotuntilaskimelle. Toinen sulakekatkaisin sijaitse maa-akkupistokkeen ja akkusolenoidikontaktorin sekä ensimmäisen sulakekatkaisimen välissä, luettelossa merkitty numerolla 20. Sen tehtävä on suojata akkua maa-akkupistokkeesta tulevasta ylijännitteestä.

Huomioksi kaikki lämpölaukaisimet ovat sijoitettu ohjaamossa eli ne ovat lentäjän nähtävillä. Tapauksessa, jossa lämpölaukaisimen painike ponnahtaa auki lentäjä voi harkittaessa nollata sitä, painamalla painike takaisin alas, jolloin sähköpiiri sulkeutuu. Tilanne ei ole samanlainen sulakkeiden 20 ja 21 kanssa, koska ne sijaitsevat moottoritilassa ja ovat vaihdettava, jos se kerran laukea.

5.7 Kello

152 on varustettu sähköllä toimivalla kellolla, joka on minuutintarkka ja se on Yhdysvaltain ilmailuhallinnon (FAA) hyväksymä ajan ilmaisimena. Lentäjät käyttävät kelloa lennon aikana navigointitarkoituksiin. Se on asennettu ohjaamossa pystynopeusmittarin oikealla puolella. Kello on kytketty sulakkeen kautta akun positiiviseen napaan. Tämä kytkentä mahdollistaa sen toiminnan koko ajan, mikäli sulake numero 21 on kunnossa.

5.8 Öljynpainekeytkin

Öljynpainekeytkin toimii normaalisti avoimena kytkimenä, eli perustilassa se on auki. Kun moottori on käynnissä, öljynpaine nousee, minkä vuoksi keytkin sulkeutuu ja käynnistää lentotuntilaskimen. Keytkin aukea ja sammuttaa lentotuntilaskinta, jos moottorin öljynpaine on matala, ja tämä tapahtuu, kun moottori on sammutettu. Öljynpainekeytkin on kytketty sarjaan sulakkeen numero 21 ja lentotuntilaskimen kanssa siten, että öljynpainekeytkin sähköpiirissä on ennen lentotuntilaskinta. Tämä kytkentä mahdollistaa lentotuntilaskimen ohjausta öljynpainekeytkimen kautta. Huomionarvoista on, että vastaavaa öljynpainekeytkintä ei ole käytetty kaikissa 152:n lentokoneissa.

5.9 Lentotuntilaskin

Lentotuntilaskin on laite, jolla mitataan lentokoneen tuntikäyttöaika. Mittari näyttää tunteja ja tuntien kymmenesosia. Sen pitäisi toimia ainoastaan, kun moottori on käynnissä tai öljyn paine on korkea. Se on kytketty runkoon ja akun positiiviseen napaan öljypainekeytkimen ja sulakkeen numeron 21 kautta. Tämä tarkoittaa, että lentotuntilaskin ei toimi tapauksessa, jossa sulake on sulanut tai öljypainekeytkin on jumissa auki-asennossa. Öljypainekeytkimen rikkoutuessa, se joko pysyy kiinni-asennossa koko ajan tai auki-asennossa. Tapauksessa, jossa kytkin on jumissa kiinni-asennossa ja sulake on kunnossa niin lentotuntilaskin aktivoituu, vaikka moottori on sammutettu ja pääkytkin on auki-asennossa.

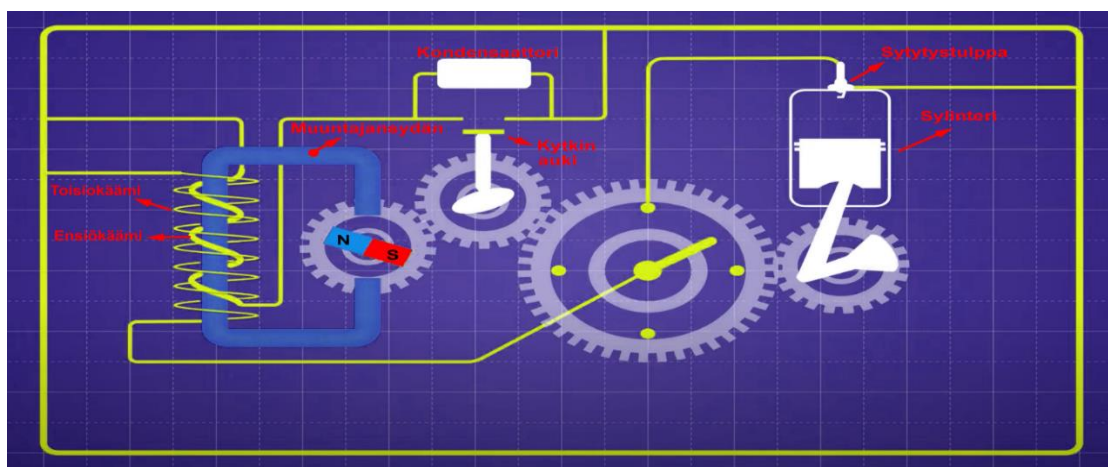
5.10 Maa- huolto akkupistoke

Maa-akkipistokkeen tehtävä on tarjota virtaa koko sähköjärjestelmälle kylmän sään tai huoltotöiden aikana. Se toimii ulkoisena virtalähteenä tai akkuna lentokoneen ollessaan maassa, huoltotöiden takia. Juuri ennen ulkoisen virtalähteen kytkemistä sähköjärjestelmään, pääkytkin on käännettävä ON-asentoon. Tämä on erityisen tärkeää, koska se mahdollistaa akun absorboimaan transienttijännitteitä, jotka muuten voisivat vahingoittaa elektroniikkalaitteiden transistoreita. Sähköjärjestelmä on suunniteltu niin, että ei tarvitse hyppyjohtoa akunsolenoidi aktivoimiseen. Akunsolenoidi aktivoituu, kun ulkoista virtalähdettä on kytketty järjestelmään ja pääkytkimen ollessaan kääntämisellä ON-asennossa. [46, s. 118.]

5.11 Magneetit

Magneetit ovat vaihtovirta-suurjännitegeneraattoreita. Magneeton päätarkoituksena on tarjota sähkövirtaa sytytystulpille, jotta ne voivat sytyttää polttoaineen ilmaseoksen oikeaan aikaan. Magneetit eivät tarvitse erillistä jännitelähdettä toimiakseen ne muuntavat moottorin mekaanista pyörimisliikkeen energiaa sähkövirraksi. Tämä tarkoittaa, että 152:n moottori pysyy käynnissä, vaikka laturi vikaantuu tai akku poistetaan kokonaan sähköjärjestelmästä. Tällöin vältetään pakolaskua sähköjärjestelmän vikaantumisen takia. 152:ssa on

kahdet magneetit oikean- ja vasemmanpuoleinen. Kuva 19 on esimerkkikuva, joka kuvastaa, miten magneetit ovat toteutettu.

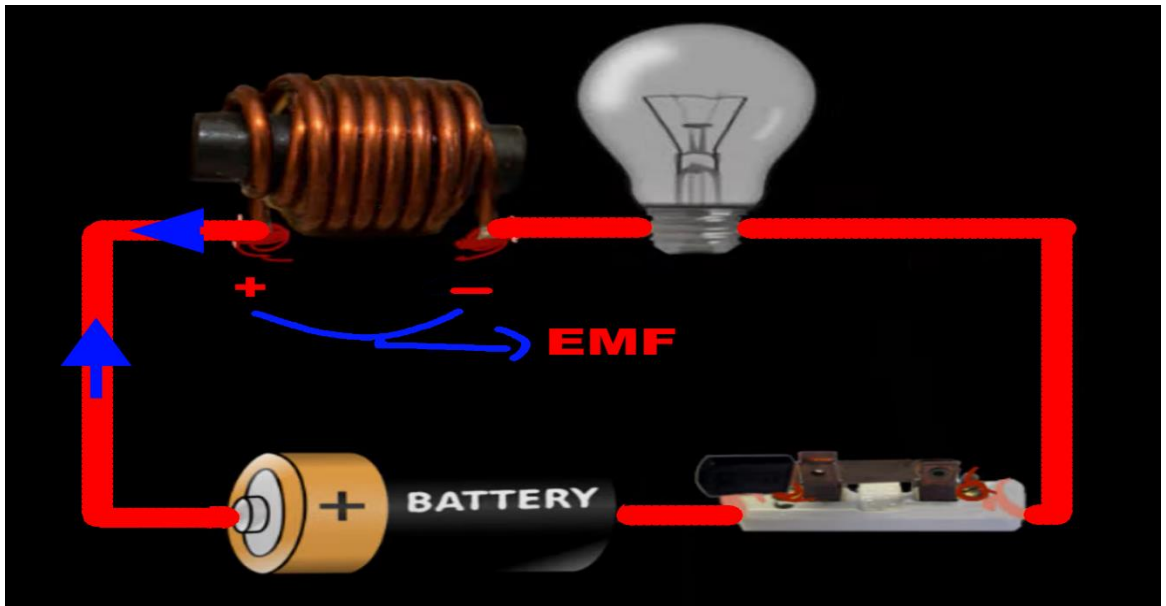


Kuva 19. Esimerkkikuva, jossa näkyy miten magneetit ovat toteutettu. Moottori on sammutettu ja magneetit ovat perustilassa [47]

Kuvan 19 mukaisesti magneetit koostuvat neljästä pääosasta ne ovat muuntajan sydän, toisiokäämi, ensiökäämi ja kestopagneetti. Muuntajasydämen sisällä on asennettu vahvakestopagneetti, joiden ympärillä on ensiö- ja toisiokäämit. Ensiökäämi on lyhempi kuin toisiokäämi ja ne ovat eristetty toisistaan. Muuntajasydän on tehty raudasta ja sen tehtävä on vähentää magneettivuon vastus eli reluktanssi. Magneettivuo kuvaa magneettikentän voimakkuutta tietyn pinnan läpi, kuvitteellisen kokonaismagneettikenttäviivojen havainnolla. Raudalla on alhainen reluktanssi, mikä tarkoittaa, että se päästää magneettiset kenttäviivat helposti sen läpi eli voidaan sanoa, että sillä on todella korkea permeabiliteetti. Kestomagneetti on yhdistetty hammaspyörään, joka liikkuu kampiakselin nopeudella. Ennen, kuin mennään syvällisesti aiheeseen pitää ensin ymmärtää sähköilmiötä, joka kutsutaan induktanssiksi. Tutustutaan siihen esimerkkien ja kuvien kautta.

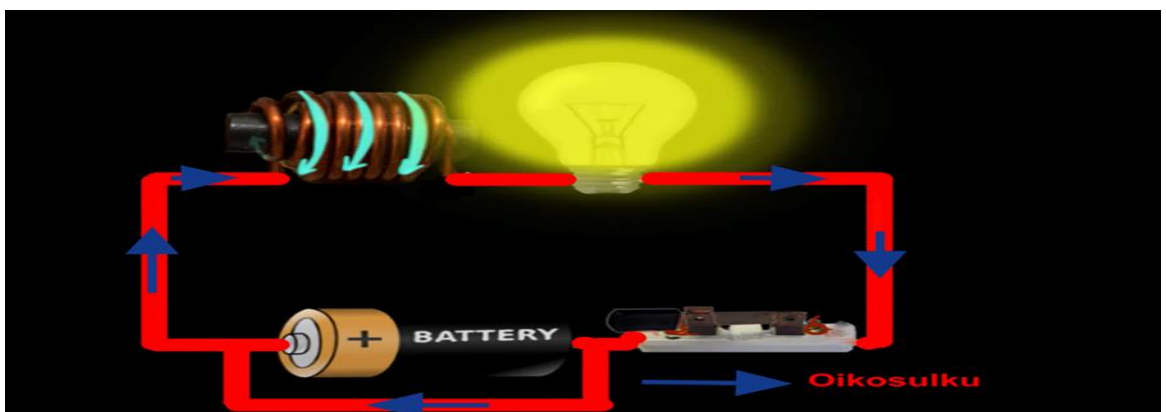
5.11.1 Induktanssi

Kuvassa 20, akku on kytketty sarjaan käämin, valon ja kytkimen kanssa. Sähkölaitteet muodostavat suljettu sähköpiiri, mikäli kytkin on kiinniasennossa. Kun kytkintä suljetaan, huomataan, että valo ei syty heti vaan hitaasti. Eli sähkövirta ei saavuta maksimiarvoaan välittömästi, vaan se kasvaa asteittain. Jos käämi ei olisi kytketty tähän samaan sähköpiiriin, valo syttyisi heti.



Kuva 20. Esimerkki sähkövirtapiiristä, jossa esiintyy induktanssin ilmiö. Kuvassa virtapiirinkytin on suljettu asennossa.

Kuva 21, kun akkua oikosuljetaan, huomataan, että valo ei myöskään sammu välittömästi vaan hitaasti. Tästä voidaan päätellä, että käämi indisoi hetkellisesti virtaa, joka vähenee asteittain nolla-arvoon. Sähkövirta yrittää aina päästä suuntaan, jossa on vähinten resistanssia, eli tässä oikosulku-tilanteessa voidaan ajatella, että akku ei ole kytketty.



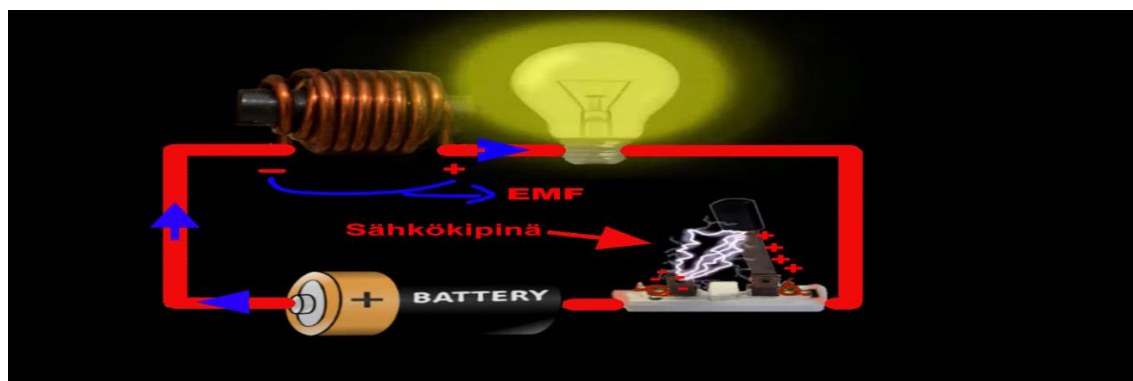
Kuva 21. Esimerkki sähkövirtapiiristä, jossa esiintyy induktanssin ilmiö. Kuvassa akku on oikosuljettu.

Molemmissa edellisissä tapauksissa sähkövirta muuttuu asteittain kasvamalla tai vähentymällä. Tämä tarkoittaa, että myös magneettikentän ja -vuon on pakko silloin kasvaa tai vähentyä samanaikaisesti. Faradayn induktiolain mukaisesti aina, kun virta tai magneettivuo muuttuu, niin käämi indisoi vastakkaisen lähdejännitettä (EMF) vastustamaan tätä muutosta. Eli käämi vastustaa

aina virran muutosta, säilyttääkseen sen hetkellisen magneettikentän. Ja, kun tasavirta tai magneettikenttä saavuttavat maksimiarvonsa, käämi ei enää indisoi vastakkaisen lähdejännitettä (EMF), vaan se yrittää säilyttää sen hetkisen magneettikentän mahdollisista muutoksista. Tämä käämin kyky, joka vastusti sen läpi sähkövirran muutosta, kutsutaan Induktanssiksi, jonka tunnus on (L) ja yksikkö on henry (H).

Induktanssin arvoon vaikuttaa käämin kierrosmäärä (N), tyhjiön permeabiliteetti eli magneettivakio μ_0 , sydämen tehollinen suhteellinen permeabiliteetti μ_0 , sydämen tehollinen poikkipinta-ala A_e ja tehollisen magneettisen piirin pituus l_e . Toisin sanoen induktanssin arvo (H) vaikuttaa siihen aikaan, joka tarvittiin meidän esimerkkinämme sähkökaaviovalon lopulliseen kirkastumiseen tai lopulliseen himmennykseen. Mitä enemmän virtaa käämissä kulkee läpi, sitä voimakkaamman magneettikentän se tuottaa ja silloin, suurempaa energiaa se varastoi. [48.]

Kuva 22, kun avataan sähköpiirin kytkintä, huomamme, että kytkimen päiden välissä syntyy sähkökipinä. Tämä tapahtui, koska käämi vastusti sähkövirran muutosta indisoimalla hetkellisen kannustavan suuntaisen lähdejännitettä (EMF). Kun kytkintä avattiin, syntyi valtavan suuri resistanssi ja samanaikaisesti käämi yrittää säilyttää nykyisen sähkövirran. Suuren muodostuneen resistanssin takia käämi yrittää säilyttää nykyisen sähkövirran työntämällä vahvasti sähkövarauksia. Tällöin kytkimen päissä kertyi suuri määrä erimerkkisiä sähkövarauksia, jotka aiheuttivat sähkökipinän. Tämä hetkellinen käämin indisoima lähdejännitettä (EMF) on todella suuri, eli se voi olla satoja tai jopa tuhansia voltteja.



Kuva 22. Esimerkki sähkövirtapiiristä, jossa esiintyy induktanssin ilmiö. Kuvassa virtapiirinkyt-
kin on auki asennossa.

Kuvassa 20 huomataan, että kun kytkintä suljetaan, käämi indisoi hetkellinen vastakkaissuuntainen lähdejännitettä (EMF) vastustamaan tätä muutosta. Kuvassa 22, kun avataan kytkintä huomamme, että käämi indisoi kannustava suuntainen lähdejännitettä (EMF), yrittääkseen säilyttämään nykyisen sähkövirran tai toisin sanoen vastustamaan muutosta.

Kaavan 7, perustella lähdejännitettä (EMF) on kääntäen verrannollinen ajan muutokseen. Huomasimme edellisissä esimerkeissä, kun kytkintä suljetaan, kulutettu aika virran kasvamisen nolasta maksimiarvoon, on suhteellisen pitkä. Tämä johtui hetkellisestä käämin indisoimasta vastakkaissuuntaisesta lähdejännitteestä (EMF). Kaavan perustella voidaan todeta, että muodostunut EMF on suhteellisen pieni, koska aikamuutos oli suuri ja (EMF) on kääntäen verrannollinen ajan muutokseen. Toisaalta, kun avataan kytkintä, huomamme, että kulutettu aika virran romahtamiseen maksimiarvosta noltaan, on todella lyhyt. Tämä johtuu siitä, että käämi indisoi sähköpiirivirran suuntaisen lähdejännitteen (EMF). Tästä voidaan päätellä, että muodostunut EMF on todella suuri, koska aikamuutos oli pieni.

Seuraavassa yhtälössä 7 on lähde jännitteen (EMF):n kaava

$$E_{ind} = -L \frac{\Delta I}{\Delta t} \quad (7)$$

Jossa: E_{ind} = Lähdejännitettä (EMF)

L = Induktanssi

ΔI = sähkövirran muutos

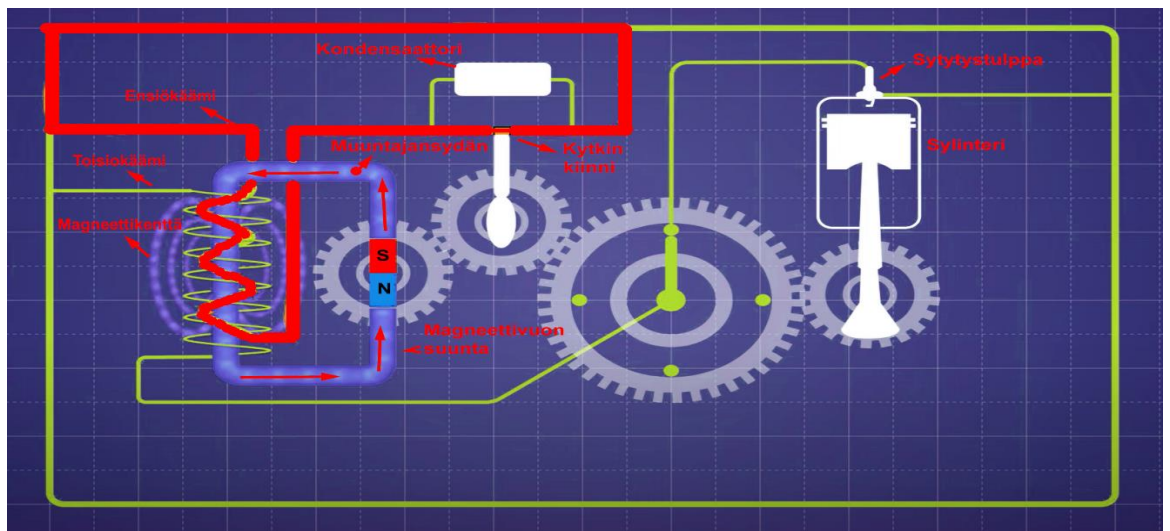
Δt = Ajan muutos

Mikäli käämiin kytketään vaihtovirta, voidaan todeta, että tämä induktanssin aiheuttama vastasuuntaisen EMF moninkertaistuisi taajuuteen mukaisesti. Voidaan laskea tämän käämin vaihtovirtavastuksen reluktanssilla tai tarkemmin reluktanssin induktanssilla, joka on suoraan riippuvainen taajuudesta. Yleinen käytäntö reluktanssin induktanssilla on jännitetaajuuden filteröinti, esimerkiksi voidaan päästää tiettyjä taajuuksia ja estää tarpeettomat taajuu-

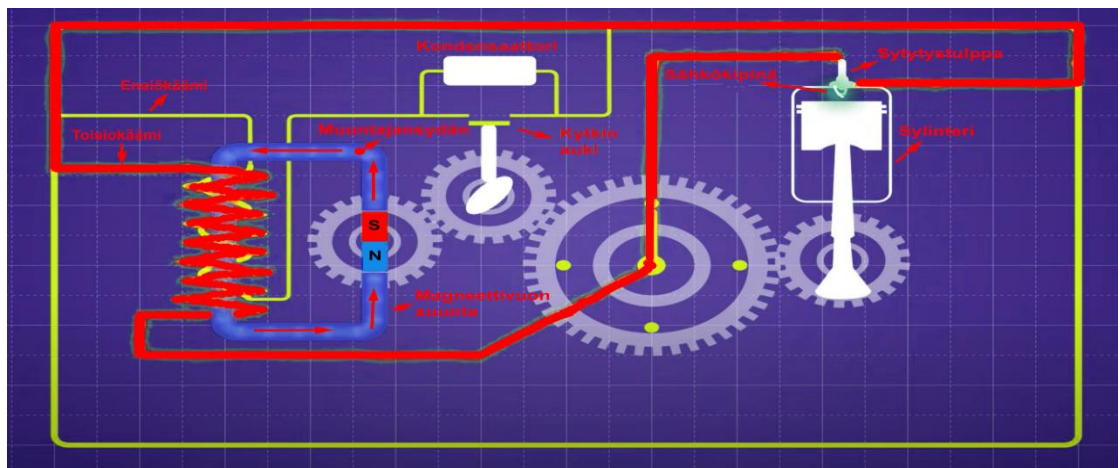
det. Tämä on hyödynnetty radiolaitteissa, sillä me haluamme valita tietyn taajuuden ja estää muut tarpeettomat. Tai voidaan reluktanssin induktanssilla suojata herkkiä laiteita, jotka ovat herkkiä sähkövirran muutoksille. Palataan nyt takaisin aiheeseen ja tutustutaan magneettojen toiminnan toteutukseen.

5.11.2 Magneetit toiminnan toteutus

Kuva 23, moottorin käynnistäessä kestopagneetti alkaa pyörimään ja syntyy muuttuva magneettikenttä. Magneettivuo alkaa virtamaan ylös ja alas muuntajasydämen pitkiin ja indisoi virta ensiökäämissä. Indisoitujännitettä ensikäämissä ei ole kuitenkin riittävä synnyttämään kipinä sytytystulpassa.



Kuva 23. Esimerkkikuva, jossa näkyy miten magneetit ovat toteutettu. Moottori on käynnissä ja magneetit ovat toimintavaiheessa 1 [47]



Kuva 24. Esimerkkikuva, jossa näkyy miten magneettojen ovat toteutettu. Moottori on käynnissä ja magneetit ovat toimintavaiheessa 2 [47]

Kuvassa 24, ensiökäämin virtapiirin kytkin on yhdistetty hammaspyörään, joka aukaisee ja sulkee virran kahdesti kampiakselin kierrosta kohden. Kun kytkin avautuu, se pysäyttää äkillisesti ensiökäämin virran, mikä aiheuttaa jännitepiikin ensiökäämissä, tämä jännitepiikki siirtyy toisiokäämiin. Toisiokäämissä käämikierrosten lukumäärä on enemmän kuin ensiökäämissä. Tämän takia syntynyt jännitettä toisiokäämissä on suurempi ja riittävä sytyttämään kipinää sytytystulpassa. Kondensaattori on käytetty ensiökäämin virtapiirissä vahvistamaan jännitepiikkiä, joka onnistuu nopeuttamalla katkaisimen virtapiirin katkaisua. Moottorin olevan käynnissä, molemmat magneetit ovat päällä koko ajan, ellei niitä kytketään yksitellen tai molemmat pois päältä sytytyskytkimestä.

[47.]

5.12 Sytytysavainkytkin

Sytytyskytkin on kierrettävä avainkytkin, joka on kytketty sähköisesti runkoon ja se sijaitse ohjaamon vasemmalla puolella. Sytytyskytkimessä on viisi eri asentoa. Ne ovat, oikealta vasemmalle lueteltaessa, seuraavat: START, BOTH, L, R ja OFF. Sytytysmoottoria voidaan käynnistää START-asennosta ja kun moottori käynnistyy, vapautetaan avain, jolloin se lähtee itsestään mekaanisesti BOTH-asentoon. Avaimen vapauttaminen moottorikäynnistyksen jälkeen on todella tärkeää, sillä me vältämme käynnistysmoottorin toiminnan saman aikaisesti kuin moottoria. L-asento kytke oikeamman magneeton pois päältä, kytkemällä sen runkoon. Silloin moottori pysyy käynnissä ainoastaan vasemman magneeton kautta. Toisaalta R-asento kytke vasemman magneeton pois päältä, kytkemällä sen runkoon. Ja silloin moottori pysy käynnissä ainoastaan oikeamman magneeton kautta. BOTH-asento mahdollistaa molemmat magneetit olevan käynnissä, kytkemättä niitä runkoon. OFF-asento sammuttaa moottoria, kytkemällä molemmat magneetit runkoon.

Moottorin äkillinen epätasaisuus tai sytytyskatkos on yleensä todiste magneettojen ongelmista. Mikäli ongelma esiintyy lennon aikana, kannattaa heti valita erilaiset tehoasetukset, rikastaa seosta, laittaa imuilma kuumalla ja tarkistaa onko polttoainehana auki sekä ryppytin sisällä ja lukossa. Mikäli ongelma jatkuu, vaihdetaan sytytyskytkimen asento. Kun vaihdetaan BOTH-asennosta L- tai R-asentoon, voidaan tunnistaa, mikä magneetto on viallinen.

[46, s. 37.]

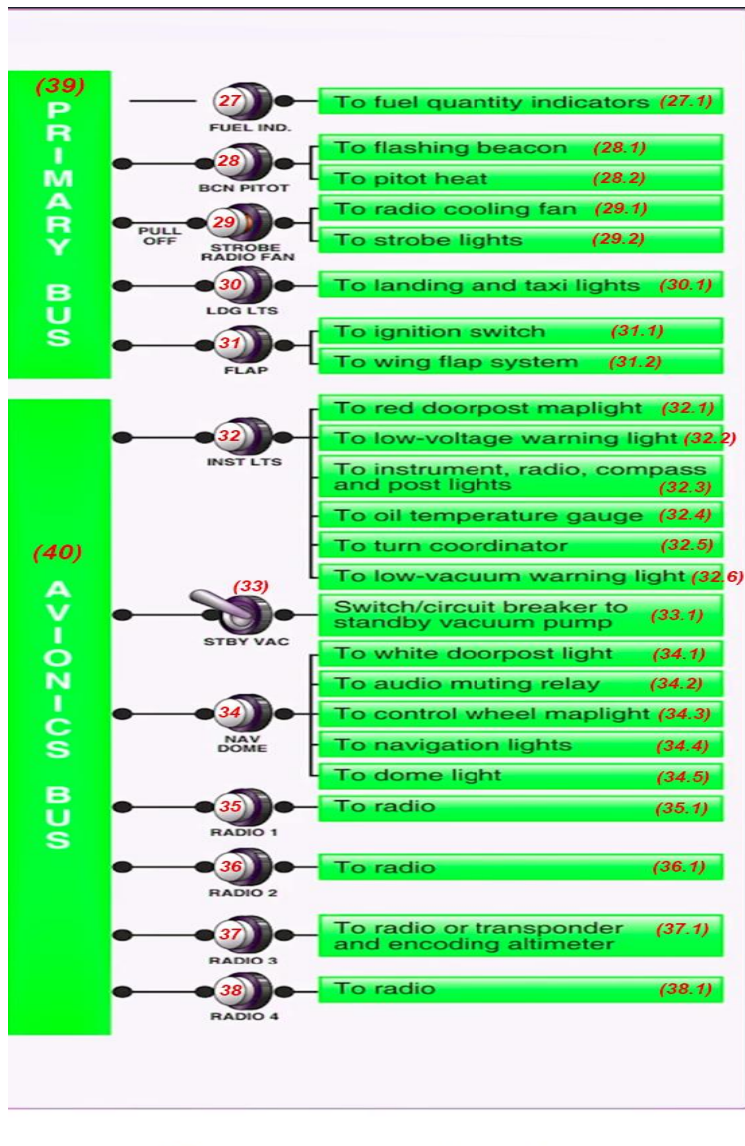
Ennen lentoonlähtö kuitenkin tehdään aina koekäyttö, joka sisältää myös magneettojen tarkistuksen. Magneettojen tarkistus tulee tehdä 1700 RPM:llä seuraavasti. Käännetään sytytysavainkytkin ensin R-asentoon ja huomioidaan kierroslukua. Vaihdetaan seuraavaksi takaisin asentoon BOTH. Sen jälkeen vaihdetaan L-asentoon sekä huomioidaan RPM, ja sitten palautetaan takaisin BOTH-asentoon. RPM-pudotus ei saa ylittää 125 RPM yhdellä magneetolla tai 50 RPM kummankin magneeton välinen pudotusero. [46, s. 51.]

5.13 Virtamittari

Cessna 152 on varustettu virtamittarilla, jonka ansiosta voidaan todeta, lataako akku vai ei. Virtamittarin vasemmalla puolella on miinusvarauspuoli, keskellä on nollapiste ja oikealla on plusvarauspuoli. Negatiivinen lukema tulkitaan akun tyhjenemiseksi eli akusta lähtee enemmän virta kuin mitä se lataa, toisin sanoen laturi ei pysty korvamaan akusta lähtevää virtaa. Jos tämä tilanne jatkuu, akku tyhjenee lopulta kokonaan. Nolla-lukema tarkoittaa, että akku on ladattu täyteen. Positiivinen-lukema tulkitaan akun lataamiseksi eli akkuun tuleva virta on enemmän kuin mitä siitä lähtee. Moottorin käynnistyttyä jälkeen virtamittari voi näyttää positiivisen lukeman, mutta pian alkaa vähitellen laskea nollalukemaan akun ladatessa täyteen. [44.]

5.14 Virtakiskot

Potentiaalintasaus- ja maadoitusosiossa todensimme, että kaikki sähkölaitteet ovat kytketty akun negatiiviseen napaan lentokone rungon kautta. Akun positiivinen napa on kytketty ensisijaisen ja avioniikan virtakiskoihin, jolloin kaikki sähkölaitteet, jotka ovat yhdistetty virtakiskoihin saavat tarvitsemansa positiivista jännitettä virtakiskoista suojakatkaisimien kautta. Ensisijaisen ja Avioniikan virtakiskoja ovat kytketty toisiinsa suoraan, eli niillä on samaa potentiaalia. Primary ja Avionics Bus ovat käännetty suomeksi ensisijaisen ja Avioniikan virtakiskoiksi. Kytkenäkaaviokuvassa 25 on esitetty kaikki sähkölaitteet, jotka ovat kytketty virtakiskoihin suojakytkimien kautta.



Kuva 25. Kaikki 152 -sähkölaitteet, jotka ovat kytketty virtakiskoihin suojakytkimien kautta.



Kuva 26. Ohjaamon kytkimet ja lämpölaukaisimet.

Huomioksi kytkentäkaaviossa ei ole merkattu laitteiden kytkimet, joista saadaan niitä päällä ja pois päältä, mutta kuvassa 26 on esitetty niitä. Tästä voidaan päätteellä, että 152:ssa kaikki sähkölaiteet saavat tarvitsemansa negatiivistä jännitettä suoraan rungon kautta ja saavat positiivista jännitettä kytkimien kautta. Kytkimet saavat positiivista jännitettä lämpölaukaisimista, jotka ovat kytketty virtakiskoihin.

5.15 Vaihtovirtageneraattori/ Laturi

152:n laturi tuottaa 28V 60A jatkuvaa tehoa. Laturin tarkoitus Cessnassa on tuottaa jatkuvaa sähköä koko sähköjärjestelmälle ja lataamaan akkua moottorin käydessä. Tämä tuotettu sähkö ohjataan sitten virtakiskoihin (PRIMARY & AVIONICS BUS), joissa ovat kytkettyinä kaikki 152:n sähkökomponentit. Laturi testataan moottorin koekäytön aikana. Kuvassa 27, on esitetty Cessna 152- laturi.



Kuva 27. Cessna 152 -laturi [49]

152:ssa on käytetty vaihtovirtakolmivaiheinen generaattoria, tuottaakseen vaakaampia sähkötehoja useilla moottorin kierrosnopeuksilla, kun taas yksivaihegeneraattori ei pysty siihen. Siis samalla moottorin kierrosnopeuksilla (RPM), kolmivaihegeneraattori on paljon tehokkaampi kuin yksivaihegeneraattori. [36.]

Laturi käyttää sähkömagneettisen induktion periaatetta tuottaakseen jatkuvaa sähkönsyöttöä sähköjärjestelmälle moottorin käydessä. Kun moottorin mekaaninen energia muunnetaan sähköenergiaksi induktion avulla, syntyy vaihtovirtaa. 152:n kaikki sähkölaitteet vaativat tasavirtaa (DC), joten vaihtovirta-generaattorin tuottama vaihtovirta (AC) on muunnettava tasavirraksi (DC) ennen kuin se pääsee virtakiskoihin. Tämä muunnos tapahtuu laturisäätimen avulla. [36.]

5.15.1 MAGNEETTIKENTÄN TOIMINTA

Tiedetään, että sähkövirta aiheuttaa käämiin magneettikentän. Myös toisinpäin muuttuva tai liikkuva magneettikenttä aiheuttaa kämmeniin sähkövirran. Muuttuva magneettikenttä vaikuttaa kämmenissä oleviin vapaisiin elektroneihin, vetämällä ja työntämällä niitä, mikä aiheuttaa vaihtosähkövirran (AC). [50.]

5.15.2 Laturin toiminnan toteutus cessna 152

Laturin toiminnassa tavoitteena on muuttaa mekaanisen pyörimisenergian sähkövirraksi, eli pitää toteuttaa muuttuva magneettikenttä jollain tavalla. Muuttuvaa magneettikenttä voidaan toteuttaa niin, että joko käämi liikkuu kestopagneetin nähden tai kestopagneetti/ sähkömagneetti liikkuu käämiin

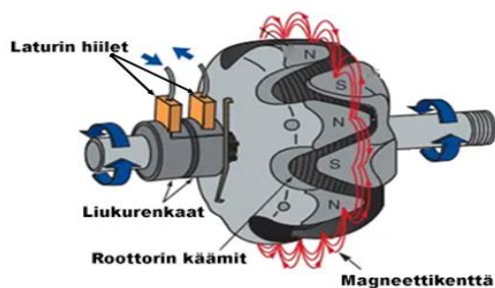
nähdessä. Molemmilla tavoilla synnytetty sähkövirta on vaihtovirtainen, eli se voi olla negatiivinen tai positiivinen ajasta riippuen. [50.]

Generaattori koostuu kahdesta pääosasta, jotka muuttavat mekaaninen energia sähköksi. Ensimmäistä kutsutaan staattoriksi ja toista roottoriksi. Generaattorityypit ovat monenlaisia, 152:n tapauksessa generaattori on vaihtovirta kolmivaiheinen generaattori, joka on kolmiokytketty.

Generaattorin staattori on liikkumaton ja erillinen käämi roottorin ympärillä. Sen tehtävä on muuntaa muuttuva magneettikenttä sähkövirraksi. Staattoriin indusoituu lähtövaihtovirta, kun muuttuva magneettikenttä on toteutettu sen sisällä. Se koostuu kahdesta pääosasta, staattorikämeistä ja staattoriraudoituksesta, kuva 28. Käämien kytkentätapa, määrittää generaattorin vaihetyypin. Esimerkiksi yksivaiheisessa generaattorissa, staattorin käämit ovat kytketty yhteen sarjaan, muodostamaan yksi piiriä. Tällöin staattorikämmien jännitteet ovat yhtä suuret. Toisaalta kolmivaiheen generaattoreissa staattorikämmien lukumäärä on kolme, ja ovat sijoitettu erilleen siten, että jokaiseen käämiin indusoituneiden jännitteiden välillä on 120 astetta vaihe-ero. Tällöin jokainen vaihe on toisistaan riippumaton. Kolmivaiheen generaattorien staattorikämit voidaan kytkeä kahdella eri tavalla, joko kolmioon tai tähteen. 152:n laturi on kytketty kolmioon. Vaihtovirtajärjestelmässä staattorikämmien tähti tai kolmiokytkennällä on merkitystä, mutta meidän tapauksessamme järjestelmä vaati tasavirta, joten indisoitu vaihtovirta on muunnettava tasavirraksi. Tällöin kolmio kytkennästä muunto tasavirraksi on yksinkertainen verrattuna tähtikytkentään. [51; 52.]



Kuva 28. Laturin kolmivaihestaattori [53]



Kuva 29. Laturin roottori [52]

Roottori on laturin ainut pyörivää tai liikuvaa osa ja sen tehtävä on luoda magneettikenttää sähkömagneettisesti, kuva 29. Se on yhdistetty hihnan kautta moottoriin, eli se saa pyörimisliikkeensä moottorista ja pyörii ainoastaan, kun moottori on käynnissä. Sen rakenne koostuu monesta eri käämityksistä, jotka ovat kytketty yhteen sarjassa. Käämit muodostavat kiinteänapaisen/ staattisen magneettikentän kytkiessään tasavirtaan. Roottorin tärkeimmät osat laturin sähkötuotantototeutukseen ovat roottorin käämit ja liukurengas. Roottorin käämitykset on kytketty suoraan liukurenkaaseen. Tutustutaan seuraavaksi, miten toteutetaan muuttuvan magneettikentän staattorin sisällä, saadaksesen staattorin käämeihin vaihtovirta.

5.15.3 Magnetointi

Laturin magnetointi toteutetaan sähkömagneettisesti seuraavasti (kuva 5). Liukurenkaaseen kytketään tasavirta (DC) akulta, minkä ansiosta roottori muodostaa säädettävän staattisen magneettikentän. Roottorin järjestelty moninapaisuus johtuu sen käämien rakennemuodosta. Koska roottori on yhdistetty suoraan moottoriin, moottorin käynnistyessä magnetoitu roottori alkaa pyörimään. Pyörimisliikkeen takia roottorin staattisen magneettikentän muuttuu muuttuvaksi magneettikentäksi, josta staattoriin käämityksiin indusoituu vaihtovirtaa. Huomioksi roottoriin kytketään tasavirtaa (DC), että saadaan staattinen magneettikenttä, vaihtovirran kytkiessä roottoriin muodostuu muuttuva magneettikenttä, lyhyesti sanottuna ei hyödynnä meitä laturin toiminnassa. Tästä voidaan taas päätellä, että laturin toiminta ilman akkua ei ole mahdollista. Potkurikäynnistyksellä voidaan saada sytytysmoottori toiminaan ja laturi

pyörimään, mutta magnetoimaton laturi ei pysty silloin tuottamaan sähkövitaa ilman akun magnetoimiseen tarvittavaa tasavirta (DC).

5.15.4 Magnetoimisen hyödyt

152-laturi ei ole kestromagneettilaturi vaan, magneettikenttä luodaan sähköisesti ja tämä ilmiö kutsutaan sähkömagneetiksi. Tämä tarkoittaa, että luotu magneettikenttä on säädettävissä. Säättämällä magneettikenttää voidaan säätää staattorin lähdön jännite ja pitää sitä lähellä asetuspistettä. Staattoriin muodostunut jännite on suoraan verrannollinen magneettikentän voimakkuuteen, käämin kierrosten määrään ja nopeuteen, jolla roottori pyörii. [52.]

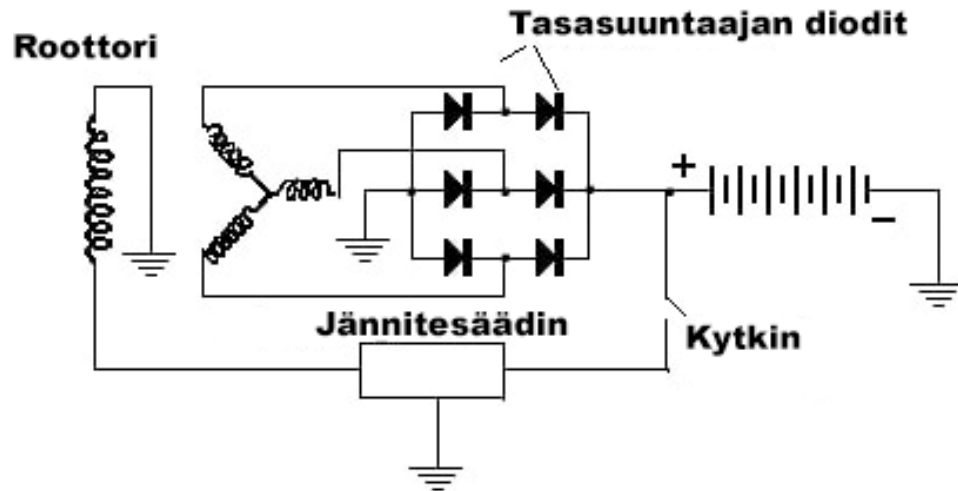
Jos laturi olisi kestromagneettilaturi, se tuottaisi sähköä heti, kun moottori olisi käynnissä ja ei olisi ollut tarvetta magnetoimiseen. Mutta silloin lähtöjännitettä ei voida jännitesäätimellä säätää, vaan se säätyy moottorikierroslukujen mukaisesti.

5.15.5 Laturin terminaalit

Kytkenäkaavion mukaisesti kuva 11, laturista lähtee kolme eri terminaalialue, jotka ovat B= (Akku +), G = (Akku -) ja F= (Kenttäkäämi). B on laturin positiivinen ulostuloksi (output), joka tulee staattorista tasavirraksi muuntamisen jälkeen. G on laturin negatiivinen ulostulo (output), joka tulee staattorista tasavirraksi muuntamisen jälkeen. G on myös sisääntulo (input) roottorin magnetoimiseen. F on laturin jännitesäätimen kontrolloima positiivinen sisääntulo (input) roottorin magnetoimiseen.

5.15.6 Laturin tasasuuntaaja

152:n sähkökaavio ei sisällä vaihtovirran muuntausta tasavirraksi, joten pitää selvittää ja analysoida saatavilla olevat tiedot. Laturin tasasuuntaajan tehtävä on muuntaa tasavirta vaihtovirraksi, mikä tapahtuu diodien kautta. Staattorikämmityksiä ovat kolme, koska kyseessä on kolmivaiheinen laturi ja jokaisella kämmityksellä on tietyllä ajalla eri jakso/taajuus.

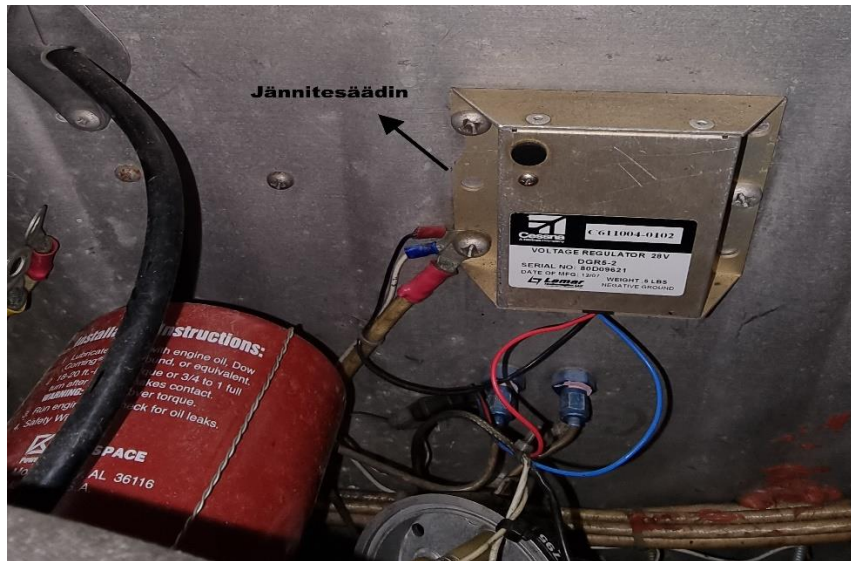


Kuva 30. Peruslaturin kytkentäkaavio [54]

Kuvan 30 perusteella, kun yhden staattorikämmityksen vaihtovirtavirran positiivinen puolijakso tapahtuu, diodi päästä sen läpi virta laturiposiitiviseen napaan eli se on silloin päästösuuntainen ja estää sen pääsemistä negatiiviseen napaan. Toisaalta, kun negatiivinen puolijakso tapahtuu, diodi ei päästä sen läpi laturiposiitiviseen napaan virtaa eli se on silloin estosuuntainen ja salli virran pääsemistä negatiiviseen napaan. Tällöin saadaan vaihtovirta muunnettua tasavirraksi.

5.15.7 Laturin jännitesäädin

Lentokone on varustettu yli- ja alijännitesäätimellä, joka on itsessään asennettu paloseinän moottorin puolelle. Ja sen punainen varoitusvalo, jossa on LOW VOLTAGE-merkintä, sijaitse virtamittarin alla kojetaulussa. Sen tehtävä on havaita, säätää ja pitää lähdön jännitettä lähellä asetuspistettä. Sähköjärjestelmän virta muuttuu, kun sähkökuormat kytketään päällä tai pois päältä. Jännitesäädin havaitse laturin tuottama jännitettä sen sense (+) ja sense (-) liitimen kautta. Ja säätää laturin lähdön jännitettä, kontrolloimalla roottorin magneetoimisen tarvittava virtaa, eli siis kenttäkäämin virtaa. Kuvassa 31, on esitetty 152- laturin jännitesäädin.



Kuva 31. Cessna 152 28V jännitesäädin on asennettu paloseinän moottorin puolella.

Jos ylijännitetila ilmenee, laturin jännitesäädinyksikkö katkaisee automaattisesti laturin kenttäkäämin virran, minkä puolestaan laturi lopettaa sähköntuotannon järjestelmälle. Akku syöttää sitten järjestelmään tarvittavaa virtaa ja virtamittari osoittaa negatiiviselle lukemalle. Järjestelmän sähkökuormitusolosuhteitten mukaisesti matalajännitevaroitusvalo syttyy, kun järjestelmän jännite laskee alle normaalin. Laturin jännitesäädin nollataan, kääntämällä pääkytkin pois päältä ja takaisin päälle. Jos varoitusvalo ei syty uudelleen, normaali laturin lataus on jatkunut. Toisaalta jos valo kuitenkin syttyy uudelleen, on tapahtunut toimintahäiriö, ja lento on lopetettava niin pian kuin mahdollista. Laturin hihnan katkaisu tai laturin hiilten loppuun kuluminen voivat olla syitä, miksi laturi lopettaa tummintansa. [46, s. 38.]

Laturivikatilanteessa sähköjärjestelmä toimii ainoastaan akun virralla. Pyrkimys on silloin päästää lähimpään lentokenttään ja toki säästää akunvirta lennon tärkeille sähkölaiteille. Tärkeät sähkölaitteet voisivat olla esimerkiksi valot yölennolla tai viestintälaitteet. Säästääkseen virta kannattaa pois kytkeä kaikki tarpeettomat sähkölaitteet.

HUOMAUTUS alijännitevaroitusvalo ja virtamittarin negatiivinen lukema saattavat esiintyä, kun moottori on alhaisella kierroksilla ja järjestelmään kohdistetaan suhteellisen isoja sähkökuormituksia. Tämä matala RPM saattaa tapah-

tua rullauksen aikana. Tämänkaltaisissa olosuhteissa valo sammuu automaattisesti korkeammalla moottorinkierrosluvuilla. Järjestelmää ei tarvitse nollata kytkemällä pääkytkintä pois päältä ja takaisin päälle, koska järjestelmä ei ole kytketty pois käytöstä ylijännitetilän takia. Varoitusvaloa voidaan testata kytkemällä laskuvalot päälle ja katkaisemalla pääkytkimen ALT-osa hetkeksi pois päältä jättäen BAT-osa päälle.

5.16 Käynnistysmoottori

Käynnistysmoottori on sähköinen moottori, jonka tehtävä sähköjärjestelmässä on käynnistää 152:n polttoainemoottoria. Käynnistyksen jälkeen käynnistysmoottorin ei pitäisi tehdä mitään työtä. Polttoainemoottori tarvitsee käynnistämisen perustilasta pyörimisliikkeen, joka saa kampiakselin pyörimään. Kampiakseli on yhdistetty mäntään ja imuventtiiliin. Kun kampiakseli pyörii, mäntä alkaa liikkua pystyasennossa. Männän pystyasennon liikkumisen ansiosta, saadaan imettyä ilma sylinterin sisään. Samalla, kun kampiakseli pyörii, saadaan magneetit toimimaan eli tuottamaan tarvittava sähkövirta sytytystulpille, noin saadaan kipinä sylinterin sisällä.

Palamisreaktioon tarvitaan happea, joka saatiin ilmasta, kipinä, joka saatiin sytytystulpista ja polttoainetta. 152:ssa ei ole sähköistä polttoainepumppua, vaan polttoaine saapuu mekaaniselle polttoainepumpulle suoraan siipien polttoainetankeista, maanpainovoiman avulla. Imuventtiili ohjaa ilman sisään ja ulos pääsyä, sulkemisella ja aukeamisella. Sytytysmoottorin valmistaja on tehnyt ajoituksen, jolla Imuventtiilin toiminta, kipinän ja polttoaineroiskutuksen tapahtuisi oikean aikaan. Sytytysmoottorin nelitahtivaihtoimintoihin, jotka toistuvat moottorin käydessä ei perehdytty, koska ne ovat työn aiheen ulkopuolella.

On erittäin tärkeää varmistaa, että kaikki lentokoneeseen asennetut laitteet sammutetaan ennen sytytysmoottorin käynnistämistä, koska käynnistysmoottorin suuri virranotto voi vahingoittaa herkkiä laitteita esimerkiksi radioita ja navigointilaitteita, jos ne jätetään päälle käynnistyksen aikana. Suuri virta alkaa kulkemaan herkkä laiteiden kautta, joka aiheuttaa heti laiteiden lämpötilan nostaminen rajuksi. [44.]

Käynnistysmoottorin toiminnan toteutus

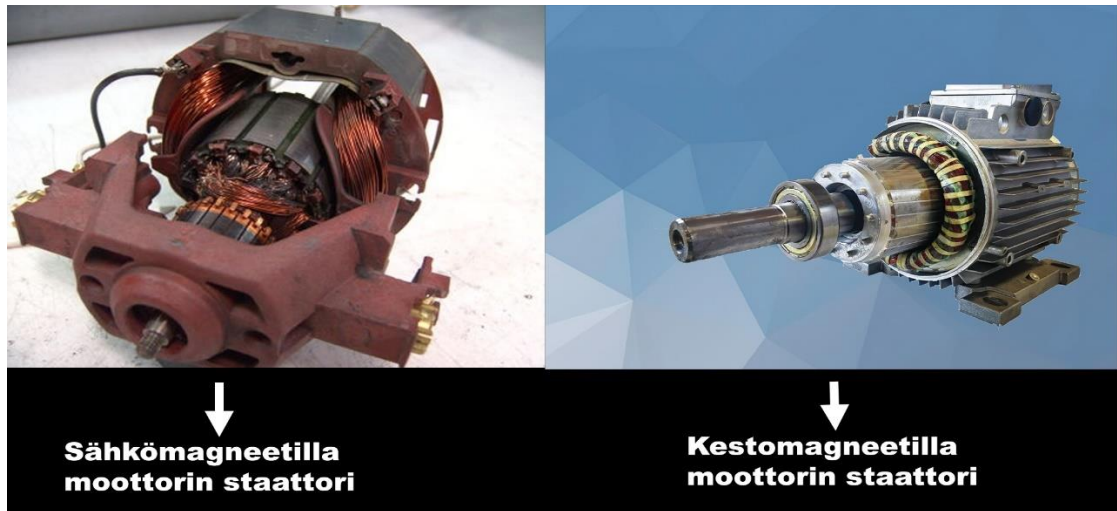
Moottorin toiminta on toisenlainen kuin laturin toiminta, sillä laturin toiminnassa muutettiin mekaaninen energia sähkövirraksi. Moottorin toiminnassa pitää muuttaa sähkövirran energia mekaaniseksi energiaksi siihen tarvitaan staattista- ja muuttuva magneettikenttä. Staattisen magneettikentän saadaan kestopagneetista, joka laitetaan tasavirtamoottoreissa staattorin tilalle. Tarvi- taan vielä moottorin toiminnan toteuttamiseksi muuttuvan magneettikentän, jonka pitäisi muodostua roottorikämmien kautta.

Laturin tapauksessa roottori muodosti staattisen magneettikentän, kun siihen kytkettiin tasavirta. Mutta, koska moottorin pyörimisliike pyöritti roottoria, saa- tiin muuttuvan magneettikentän. Moottorin tapauksessa meillä ei ole käytössä mekaanista pyörivä liikettä, vaan sitä kaivataan. Me moottorin toiminnassa py- ritään kääntämään laturitoiminnan prosessi päinvastaiseksi, sillä me syö- tämme sähkövirta ja saadaan mekaanista pyörimisliikettä.

Tiedämme, että muuttuva virta (AC) synnyttää muuttuvan magneettikentän ympärilleen. Akulta saadaan tasavirta (DC), joten sen pitää muuntaa vaihtovir- raksi. Me voimme saada muuttuvan sähkökentän roottorissa, vaihtamalla magneettikentän napaisuutta kommutaattorin avulla. Kommutaattori on sähkö- virran suunnankääntäjä sen rakenne mahdollista tasavirran suunnan kääntä- mistä. Kuva 32, kommutaattorin rakenne on toisin kuin liukurenkaan rakenne, joka mahdollistaa tasavirran suunnan pysymistä pyörimisen aikana. Tällöin roottori luo muuttuvan magneettikentän, josta syntyy vuorovaikutuksen staat- torin kestopagneetin kanssa, jolloin roottori alkaa pyörimään.



Kuva 32. Kommutaattorin ja liukurenkaan rakenne.



Kuva 33. Moottorien staattorityyppien vertaus.

Vaihtovirtamoottorissa staattoriin kytketään vaihtovirta, jonka ansiosta saadaan muuttuva magneettikenttä. Tällöin roottorin pitäisi muodostaa staattista magneettikenttää, joko kestopagneetilla tai sähkömagneetilla, kuva 33.

6 YHTEENVETO JA TULOKSET

Työn perustella todettiin, että 152-sähköjärjestelmä on tehty turvalliseksi. Ainoa asia, jota voisi mielestäni täydentää, on vara-akun lisääminen järjestelmään. Koko sähköjärjestelmä ei vaikutta suoraan sytytysmoottorin toimintaan, sillä 152:ssa ei ole sähköistä polttoainepumppua ja magneetit toimivat erillisenä sähkön tuottajana. Päivälentoilla sähköjärjestelmän laturin vikaantuminen ei alenna paljon turvallisuuden tasoa, sillä akun virta pitäisi riittää navigointilaitteiden, majakkavalojen ja muiden tärkeiden laitteiden pitämistä päällä siihen asti, että pääsee lentämään lähimmälle lentokentälle. Yölennoilla tilanne on hieman erilainen, sillä sähkön kulutus on paljon enemmän, koska silloin lentäjän on käytettävä suurtehoilkkuiset. Voidaan pohtia, että yölennoilla sähköjärjestelmän vikaantuminen alentaa paljon turvallisuuden tasoa.

Tuloksena sain luotua selkeä ohje Cessna-sähköjärjestelmästä ja seliteltyä sekä koottua kaikki sen sähkökomponentit yhteen työhön. Toinen tulos on se, että työtä voisi hyödyntää myös sähköalan ulkopuolisia. Työ onnistui hyvin, sillä sain kaikki, mitä alusta asti oli suunniteltu tavoitteeksi.

Työstä oli paljon hyötyä itselleni, sillä kävin läpi kaikki edelliset mainitsemani asiat. Moottoritekniikat tulivat myös lisäksi käytyä läpi, koska se ne liittyvät tavalla tai toisella työn aiheeseen. Työtä hyödynsin omassa elämässäni, sillä olen yksityislentäjä ja olen lentänyt sekä tulen lisää lentämään kyseisellä lentokoneella. Myös uusille, sellaisille lentäjille, joille sähköala ei ole tuttu, ohjeesta tulee olemaan hyötyä. Eli työssä pääsin lähelle niitä tavoitteita, joita suunnittelin alusta asti. Mutta toisaalta teoriaosioon meni suunniteltua enemmän aikaa, sillä sopivien lähteiden löytäminen oli todella hankalaa. Tämän takia en päässyt suoraan tavoitteisiin, joihin olin pyrkinyt. Suunniteltu tavoite oli syventää jopa enemmän niitä aiheita, joita kävin läpi. Työtä voisi vielä parantaa tekemällä esimerkiksi sähkökytkentäkaavio, josta näky koko sähköjärjestelmää. Työ onnistui kuitenkin hyvin omasta mielestäni, vaikka haasteita olivat paljon.

LÄHTEET

1. One-school. Electric Charge and Current. WWW-dokumentti. 2008. Saatavissa: <http://www.one-school.net/Malaysia/UniversityandCollege/SPM/revisioncard/physics/electricity/charge.html> [viitattu 1.2.2023].
2. Edu-helsinki. SÄHKÖVARAUSTA SYNTYY HANKAAMALLA. WWW-dokumentti. Saatavissa: <http://www.edu.helsinki.fi/astelope/sahko/akku.htm> [viitattu 1.2.2023].
3. Karttunen, H. Zubenelgenubi. Elektroni. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.astro.utu.fi/zubi/atom/electron.htm>. [viitattu 1.2.2023].
4. Huttunen, T. & Hannula, H. PEDAGOGIIKKA NETISSÄ. Atomi. WWW-dokumentti. 2008. Saatavissa: <https://peda.net/kotka/perusopetus/langinkosken-koulu/oppiaineet2/kemia/8-luokka-luonnos/aineen-raenne/atomi/atomi-luonnos> [viitattu 1.2.2023].
5. Christopher, Dr. & Baird, S. Science Questions with Surprising Answers. Does an electron in an atom move at all? WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.wtamu.edu/~cbaird/sq/2014/12/01/does-an-electron-in-an-atom-move-at-all/> [viitattu 1.2.2023].
6. Earth Eclipse. Does Copper Conduct Electricity?. 2020. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://earthclipse.com/science/misc/does-copper-conduct-electricity.html> [viitattu 3.1.2023].
7. Donev, J. Energy Education. Direct current. WWW-dokumentti. Saatavissa: https://energyeducation.ca/encyclopedia/Direct_current [viitattu 6.1.2023].
8. Huttunen, T. & Hannula, H. Kotkansaaren koulu. Sähkövirta ja virtapiiri. WWW-dokumentti. 2008. Saatavissa: <https://peda.net/kotka/perusopetus/kotkansaaren-koulu/kt/oppiaineet/fysiikka/jannen-ryhmat/s%C3%A4hk%C3%B6/virtapiiri> [viitattu 10.1.2023].
9. Hioki .What is Frequency?. Kuva. 2021. Saatavissa: <https://www.hioki.com/in-en/learning/electricity/frequency.html> [viitattu 15.1.2023].
10. Peshin, A. ScienceABC. What Is The Speed Of Electron In A Current Carrying Conductor? WWW-dokumentti. 2022. Saatavissa: <https://www.scienceabc.com/nature/what-is-the-speed-of-electricity.html> [viitattu 15.3.2023].
11. Wikipedia. Vaellusnopeus. WWW-dokumentti. 2020. Saatavissa: <https://fi.wikipedia.org/wiki/Vaellusnopeus> [viitattu 15.1.2023].

12. THE PHYSICS CLASSROOM. Static Electricity - Detailed Help. WWW-dokumentti. 2022. Saatavissa: <https://www.physicsclassroom.com/mop/m10/sl11details.html> [viitattu 12.1.2023].
13. Huttunen, T. & Hannula, H. Kuusankosken lukio. Sähkökenttä. Kuva. 2008. Saatavissa: <https://peda.net/kouvola/kl/kuusankosken-lukio/oppiaineet/fysiikka/MK%C3%84H/vanha-ops/fy06-ops-2009/10-s%C3%A4hk%C3%B6kentt%C3%A4> [viitattu 12.1.2023].
14. LUMEN LEARNING. Electric Field Lines: Multiple Charges. Kuva. Saatavissa: <https://courses.lumenlearning.com/suny-physics/chapter/18-5-electric-field-lines-multiple-charges/> [viitattu 29.1.2023].
15. LibreTexts Physics. Electric Potential and Potential Difference. WWW-dokumentti. 2022. Saatavissa: [https://phys.libretexts.org/Bookshelves/University_Physics/Book%3A_University_Physics_\(OpenStax\)/Book%3A_University_Physics_II_-_Thermodynamics_Electricity_and_Magnetism_\(OpenStax\)/07%3A_Electric_Potential/7.03%3A_Electric_Potential_and_Potential_Difference](https://phys.libretexts.org/Bookshelves/University_Physics/Book%3A_University_Physics_(OpenStax)/Book%3A_University_Physics_II_-_Thermodynamics_Electricity_and_Magnetism_(OpenStax)/07%3A_Electric_Potential/7.03%3A_Electric_Potential_and_Potential_Difference) [viitattu 8.2.2023].
16. Khan Academy. Potential energy. video. 2023. Saatavissa: <https://www.khanacademy.org/science/ms-physics/x1baed5db7c1bb50b:energy/x1baed5db7c1bb50b:potential-energy/v/potential-energy-ms> [viitattu 14.2.2023].
17. Khan Academy. Electric potential. WWW-dokumentti. 2023. Saatavissa: <https://www.khanacademy.org/test-prep/mcat/physical-processes/electrostatics-1/a/electric-potential>. [viitattu 15.2.2023].
18. July, T. & Mark, H. & Jimin, K. brilliant. Poynting Vector. WWW-dokumentti. 2023. Saatavissa: <https://brilliant.org/wiki/poynting-vector/> [viitattu 22.1.2023].
19. Karkkulainen, J. & Karkkulainen, O. & Kinnunen, A. eFysiikka 9. Magneettikenttä. WWW-dokumentti. 2014. Saatavissa: <https://peda.net/kanus/jvk/oppiaineet2/fysiikka/9-lk-fysiikka/e9k22/33-magnetismi/magneettikentt%C3%A4> [viitattu 3.2.2023].
20. Gregersen, E. Britannica. magnetic field. WWW-dokumentti. 2023. Saatavissa: <https://www.britannica.com/science/magnetic-field>. [viitattu 15.2.2023].
21. Khan Academy. What is a magnetic field?. WWW-dokumentti. 2023. Saatavissa: <https://www.khanacademy.org/science/physics/magnetic-forces-and-magnetic-fields/magnetic-field-current-carrying-wire/a/what-are-magnetic-fields> [viitattu 3.2.2023].

22. LibreTexts Physics. Electric Potential Energy. WWW-dokumentti. 2022. Saatavissa: [https://phys.libretexts.org/Bookshelves/University_Physics/Book%3A_University_Physics_\(OpenStax\)/Book%3A_University_Physics_II_-_Thermodynamics_Electricity_and_Magnetism_\(OpenStax\)/07%3A_Electric_Potential/7.02%3A_Electric_Potential_Energy](https://phys.libretexts.org/Bookshelves/University_Physics/Book%3A_University_Physics_(OpenStax)/Book%3A_University_Physics_II_-_Thermodynamics_Electricity_and_Magnetism_(OpenStax)/07%3A_Electric_Potential/7.02%3A_Electric_Potential_Energy) [viitattu 3.2.2023].
23. Lindley, D. Physics. Electric Power from the Earth's Magnetic Field. Kuva. 2016. Saatavissa: <https://physics.aps.org/articles/v9/91>. [viitattu 27.12.2022].
24. HVR MAG. Lifting Power of Electromagnet – Ways to Increase Magnetic Field Strength. Kuva. 2021. Saatavissa: <https://www.hvrmagnet.com/blog/lifting-power-of-electromagnet/> [viitattu 27.12.2022].
25. ET THE ECONOMIC TIMES. What is 'Electromagnetic Waves. WWW-dokumentti. 2023. Saatavissa: <https://economictimes.indiatimes.com/definition/electromagnetic-waves> [viitattu 16.1.2023].
26. Qrg.northwestern. What makes electromagnetic radiation? . WWW-dokumentti. 2023. Saatavissa: <https://www.qrg.northwestern.edu/projects/vss/docs/thermal/3-what-makes-em-radiation.html>. [viitattu 16.1.2023].
27. Principles of Structural Chemistry. Emission and Absorption. WWW-dokumentti. 2023. Saatavissa: <https://sites.google.com/a/coe.edu/principles-of-structural-chemistry/relationship-between-light-and-matter/emission-and-absorption>. [viitattu 18.1.2023].
28. Wikipedia. Sähkömagneettinen säteily. Kuva. Saatavissa: https://fi.wikipedia.org/wiki/S%C3%A4hk%C3%B6magneettinen_s%C3%A4teily#/media/Tiedosto:EM_spectrum_fi.svg [viitattu 16.1.2023].
29. THE PHYSICS CLASSROOM. Resistance. WWW-dokumentti. 2022. Saatavissa: <https://www.physicsclassroom.com/class/circuits/Lesson-3/Resistance> [viitattu 16.12.2022],
30. Electronics Notes. What is Resistance? Electrical Resistance. WWW-dokumentti. Saatavissa: https://www.electronics-notes.com/articles/basic_concepts/resistance/what-is-resistance.php. [viitattu 16.12.2022].
31. EIA U.S. Energy Information Administration. Electricity explained. WWW-dokumentti. 2022. Saatavissa: <https://www.eia.gov/energyexplained/electricity/batteries-circuits-and-transformers.php> [viitattu 15.1.2023].

32. Hazen, R. Ph.D. Wondrium daily. Electric Circuits: Components, Types, and Related Concepts. Kuva. 2021. Saatavissa: <https://www.wondrium-daily.com/electric-circuits-components-types-and-related-concepts/> [viitattu 26.2.2023].
33. The energy education. Electrical load. WWW-dokumentti. Saatavissa: https://energyeducation.ca/encyclopedia/Electrical_load [viitattu 26.2.2022].
34. Aero Corner. Cessna 152. WWW-dokumentti. 2023. Saatavissa: <https://aerocorner.com/aircraft/cessna-152/> [viitattu 20.1.2023].
35. Wikimedia. Cessna_152_PR-EJQ. Kuva. Saatavissa: https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/9/9a/Cessna_152_PR-EJQ_%288476096843%29.jpg [viitattu 20.4.2023].
36. CFI Notebook. Electrical Systems. WWW-dokumentti. 2023. Saatavissa: <https://www.cfinotebook.net/notebook/operation-of-aircraft-systems/electrical> [viitattu 17.3.2023].
37. E&S Grounding Solutions. How exactly are airplanes electrically grounded. WWW-dokumentti. 2019. Saatavissa: <https://esgrounding.com/blog/how-exactly-are-airplanes-electrically-grounded> [viitattu 16.2.2023].
38. Kitplanes Magazine. Aircraft Wiring. Kuva. 2015. Saatavissa: <https://www.kitplanes.com/aircraft-wiring-4/> [viitattu 27.1.2023].
39. T&G Flying Club. Cessna 152. Kuva. 2015. Saatavissa: <https://www.tandgflying.com/c152---4649m.html> [viitattu 1.2.2023].
40. Hutasu.net. Diodit. WWW-dokumentti. 2019. Saatavissa: <https://www.hutasu.net/elektronikka/elektronikan-komponentteja/diodit/> [viitattu 5.2.2023].
41. TechTarget. diode. WWW-dokumentti. 2023. Saatavissa: <https://www.techtarget.com/whatis/definition/diode> [viitattu 14.2.2023].
42. Gregersen, E. Britannica. diode. WWW-dokumentti. 2023. Saatavissa: <https://www.britannica.com/technology/diode> [viitattu 10.2.2023].

43. Maintenancecessna152. Electrical System Cessna 152. WWW-dokumentti. 2012. Saatavissa: <https://maintenancecessna152.blogspot.com/2012/08/electrical-system-cessna-152.html?m=1>. [viitattu 14.2.2023].
44. Aerotoolbox. The Aircraft Electrical System. WWW-dokumentti. 2022. Saatavissa: <https://aerotoolbox.com/aircraft-electrical-system/> [viitattu 18.2.2023].
45. Researchdive. What are the Purposes, Types, and Uses of Aircraft Circuit Breakers. WWW-dokumentti. 2022. Saatavissa: <https://www.researchdive.com/blog/what-are-the-purposes-types-and-uses-of-aircraft-circuit-breakers> [viitattu 2.3.2023].
46. PILOT'S OPERATING HANDBOOK. Cessna 152. PDF- tiedosto. 1977. Saatavissa: <https://longislandaviators.com/wp-content/uploads/2018/08/1978-Pilots-Operating-Handbook-Cessna-152.pdf> [viitattu 2.3.2023].
47. Youtube. How MAGNETO Works. Video. 2022. Saatavissa: <https://www.youtube.com/watch?v=P5JWuYvf1Jk&t=173s> [viitattu 2.4.2023].
48. All About Circuits. Factors Affecting Inductance. WWW-dokumentti. 2022. Saatavissa: <https://www.allaboutcircuits.com/textbook/direct-current/chpt-15/factors-affecting-inductance/>. [viitattu 4.4.2023].
49. Maintenancecessna152. Alternator. Kuva. 2012. Saatavissa: <https://maintenancecessna152.blogspot.com/2012/08/alternator.html>. [viitattu 14.4.2023].
50. Kotiranta, R. & Huttunen, T. & Hannula, H. Peda.net. Generaattori. WWW-dokumentti. 2018. Saatavissa: <https://peda.net/p/RiikkaKotiranta/efysiikka-7-9e/sahkomagnetismi/generaattori/tiivistelm%C3%A4> [viitattu 6.4.2023].
51. Engineersedge. AC Generators Design and Assembly Review. WWW-dokumentti. 2023. Saatavissa: https://www.engineersedge.com/motors/ac_generator_design.htm [viitattu 20.4.2023].
52. Electricala2z. Alternator | Components | Functions. Kuva. Saatavissa: <https://electricala2z.com/tech/alternator-components-functions/> [viitattu 20.4.2023].

53. Trodo. Staattori, generaattori AS-PL AS3011. Kuva. Saatavissa: https://www.trodo.fi/staattori-generaattori-as-pl-as3011?qclid=Cj0KCQiAic6eBhCoARIsANlox84zV8qYCLZG5p2uhawOMPfri7GLEkZ3mYd7mclkeUVi0WQpJnEQ7hMaAqwPEALw_wcB. [viitattu 21.4.2023].
54. Rayming PCB Assembly. Automotive Alternator (AC Circuits). Kuva. 2021. Saatavissa: <https://www.raypcb.com/automotive-alternator-ac-circuits/> [viitattu 22.4.2023].