

Janne Touru

HITSAUSVIRTALÄHTEET JA NIISSÄ KÄYTETTÄVÄT TEHOELEKTRONIIK- KAKOMPONENTIT

Kandidaatintyö
Informaatioteknologian ja viestinnän tiedekunta
Tarkastaja: Tomi Roinila
Toukokuu 2022

TIIVISTELMÄ

Janne Touru: Hitsausvirtalähteet ja niissä käytettävät tehoelektronikkakomponentit
Kandidaatintyö
Tampereen yliopisto
Tieto- ja sähkötekniikan TkK-tutkinto-ohjelma
Toukokuu 2022

Hitsausvirtalähde on hitsauskoneen tehonlähde. Kaarihitsauksessa hitsausvirtalähteellä syötetään sähkötehoa hitsausvalokaareen siten, että valokaari pysyy mahdollisimman tasaisena. Hitsausvirtalähteet perustuvat virranmuunto-operaatioihin, joissa sisääntulovirtaa muokataan erilaisilla muuntimilla, jotta saadaan halutunlainen ulostulovirta. Mittausdataan perustuvat säätöalgoritmit ovat olennainen osa tasaisen hitsausvalokaaren saavuttamista, ja hitsausvirtalähteet sisältävät usein ulostulojännitteen ja -virran mittauksia. Säätö toteutetaan vertaamalla käyttäjän asettamaa ohjearvoa mitattuun dataan. Vaikka virtalähteiden perusteoriat ovatkin pysyneet samoina vuosikymmeniä, ovat modernit tehoelektronikkakomponentit mahdollistaneet virtalähteiden ominaisuuksien paranemisen.

Tämä kandidaatintyö on kirjallisuusselvitys kaarihitsausvirtalähteiden toiminnasta sekä niissä käytettävistä tehoelektronikkakomponenteista. Työssä tarkastellaan kaarihitsausvirtalähteiden rakennetta, toimintaa sekä niiden sovelluskohteita. Työssä perehdytään hitsausvirtalähteiden peruskomponentteihin, erilaisten tehonlähdeyyppien ominaiskäyriin sekä erilaisiin virranmuunto-operaatioihin. Työn tarkoituksena on tarkastella ja esitellä erilaisia kaarihitsausvirtalähdetyyppejä sekä niiden soveltuvuutta eri hitsausprosesseille. Työssä esitellään käytetyimmät kaarihitsausprosessit sekä tarkastellaan lyhyesti niiden laitteistoa ja toimintaa. Kaarihitsausprosessi on useita ja jokaisella prosessilla on omanlaisensa hitsausvirtalähde.

Työn perusteella tehoelektronikan kehitys on parantanut hitsausvirtalähteiden hyötysuhdetta, muokannut laitteita pienemmiksi ja kevyemmiksi sekä tehnyt laitteista monikäyttöisempiä. Modernit hitsausvirtalähteet vaativat tarkkaa ja huolellista säätötekniikkaa, jonka vuoksi säätöalgoritmit ovat monimutkaisia. Monimutkaiset säätöalgoritmit kuitenkin mahdollistavat laajat virta-alueet, häviöiden pienenemiset sekä käyttäjää avustavat järjestelmät hitsausvirtalähteissä. Tulevaisuudessa hitsausrobottien kehitys jatkuu ja tekoäly, konenäkö sekä esineiden internet tulevat olemaan suuressa roolissa hitsausprosessien sekä virtalähteiden kehityksessä. Esimerkiksi esineiden internet mahdollistaa paremmin robottien keskinäisen kommunikoinnin ja konenäkö mahdollistaa antureiden ja kameroiden lisäämisen laadun varmistusta varten.

Avainsanat: hitsaus, hitsausvirtalähde, tehoelektronikkakomponentit, virranmuunnin

Tämän julkaisun alkuperäisyys on tarkastettu Turnitin OriginalityCheck –ohjelmalla.

SISÄLLYSLUETTELO

1. JOHDANTO	1
2. HITS AUSVIRTALÄHTEEN TEORIA	3
2.1 Hitsausvirtalähteen perusrakenne	3
2.2 Ominaiskäyrät	4
2.3 Tehoelektroniikkakomponentit	6
2.4 Virranmuuntimet	9
3. HITS AUSVIRTALÄHTEET	15
3.1 Hitsausgeneraattori	15
3.2 Hitsausmuuntaja	16
3.3 Hitsaustasasuuntaaja	17
3.4 Hitsausinvertteri	18
4. HITS AUSVIRTALÄHTEIDEN SOVELLUSKOHTEET	21
4.1 MIG/MAG-hitsaus	21
4.2 TIG-hitsaus	22
4.3 Puikkohitsaus	23
4.4 Muut menetelmät	24
5. YHTEENVETO	26
LÄHTEET	28

1. JOHDANTO

Hitsaus on kappaleiden liittämistä toisiinsa, joko liitoskohtaa lämmittämällä ja/tai puristamalla, tai sulaa lisäainetta lisäämällä. Hitsausprosessit voidaan ryhmitellä kahteen pääluokkaan, puristushitsaukseen sekä sulahitsaukseen. Sulahitsaus on Suomen konepajateollisuuden käytetyin hitsausprosessi ja varsinkin sen yksi alaluokka eli kaarihitsaus. Kaarihitsauksen tärkeimpänä ominaisuutena voidaan pitää tasaista valokaarta, jonka avulla hitsausaumasta, eli hitsistä, tulee tasainen ja pitävä. Käytetyimmät kaarihitsausprosessit ovat: TIG-, MIG/MAG-, puikko-, täytelanka- ja plasmahitsaus.

Metallikappaleiden liittämistä toisiinsa on toteutettu jo kauan ennen ajanlaskun alkua Kiinassa ja Intiassa. Silloinen hitsaus perustui taontaan, jossa metalli kuumennettiin lähelle sulamispistettä ja paineen avulla saatiin kappaleet liittymään toisiinsa. Modernia hitsausta muistuttava hiilikaarihitsaus kehitettiin 1800-luvun lopulla. Silloin venäläinen Benardos keksi käyttää valokaarta sulattamaan lisäainelankaa, jolla yhdistettiin kaksi metallikappaletta toisiinsa. 1900-luvun alussa kehitettiin alan mullistanut hitsauspuikko, joka teki laadukkaampaa ja tarkempaa hitsausaumaa aiempiin menetelmiin nähden. Kaarihitsaus kehittyi valtavasti harppauksin teollistumisen johdosta, ja nykyäänkin suosittu menetelmä, eli MIG/MAG ja TIG hitsaus kehitettiin 1900-luvun puolivälissä. 1970-luvulla kehitettiin ensimmäiset hitsausrobotit, joiden kehitys on jatkunut aina tähän päivään saakka. [1]

Nykyaikaiset hitsauskoneet ovat monipuolisia säätötekniikka, sähkötekniikka sekä materiaalitekniikka sisältäviä laitteita, joiden kehitys ja valmistus on ollut Suomessa varsin korkealla tasolla. Hitsauskoneet suunnitellaan käytetyn hitsausprosessin ehdoilla parhaiten sopivaksi. Esimerkiksi puikkohitsauksessa hitsauskone on vain invertteri, johon hitsauspuikko ja maadoituskaapeli liitetään, kun taas MIG/MAG hitsauksessa koneeseen kuuluvat virtalähdemuuntajan lisäksi ainakin langansyöttölaite, maadoituselektrodi, hitsauspoltin ja suojavaasupullo.

Hitsausmenetelmällä tarkoitetaan kokonaisuutta, jossa yhdistyvät muun muassa käytetty hitsausprosessi, hitsattava materiaali, hitsausaine ja käytettävä laitteisto [2]. Hitsausmenetelmiä on useita ja nykyään pystytäänkin liittämään erilaisia materiaaleja toisiinsa eri hitsausmenetelmiä hyödyntämällä. Varsinkin perinteisten metallien hitsauksen rinnalle on tullut muovien ja metalliseosten hitsausmenetelmiä. Hitsausmenetelmät

ovat pysyneet viimeiset parikymmentä vuotta samoina ja merkittävimmät uudistukset ovatkin tulleet lähinnä käytettäviin laitteistoihin ja hitsattavien materiaalien valikoimaan.

Tulevaisuuden hitsaukseen liittyvissä innovaatioissa, tutkimuksessa sekä teknologian kehityksessä entistäkin suuremmissa roolissa tulevat olemaan tekoäly, konenäkö sekä esineiden internet (IoT). Erilaiset anturit ja kamerat antavat kattavan kuvan hitsauksen onnistumisesta välittömästi suorituksen jälkeen. Myös hitsauskoneiden kriittisten parametrien valinta on helpottunut, sillä niihin voidaan valmiiksi ohjelmoida optimaaliset parametrit käyttökohteen mukaan. Hitsausrobotteja hyödynnetään nykyään monissa sovelluskohteissa, joissa vaaditaan laadukasta, kustannustehokasta ja tarkkaa hitsaus- saumaa. Tällaisia kohteita ovat esimerkiksi auto-, teräs- ja telakkateollisuus.

Tässä kandidaatintyössä tarkastellaan erilaisia kaarihitsausvirtalähteitä, niiden sisältämiä komponentteja sekä niiden soveltuvuutta erilaisiin hitsausmenetelmiin. Hitsausvirtalähteiden kehitys on viime aikoina keskittynyt lähinnä komponenttipuolelle, sillä tekniikat ja teoriat ovat pysyneet yhdeksänkymmentäluvulta saakka melko samoina. Tavoitteena hitsausvirtalähteiden suunnittelussa onkin nykyään valmistaa kestäviä, kevyitä ja halpoja virtalähteitä, joissa on mahdollisimman suuri hyötysuhde. Tehoelektronii- kan kehitys on mahdollistanut suuria harppauksia varsinkin laitteiden hyötysuhteen ja liikuteltavuuden näkökulmasta, sillä nykyaikaiset komponentit ovat pieniä, energiate- hokkaita ja suhteellisen halpoja.

Seuraavassa luvussa käsitellään hitsausvirtalähteiden perusteoriaa, sisältäen virtaläh- teiden perusrakenteen selvitystä, ominaiskäyrien tarkastelua, erilaisten tehoelektronii- kakomponenttien läpikäyntiä, sekä virranmuunnon toteutusta. Luvussa kolme esitellään ja tarkastellaan erityyppisiä hitsausvirtalähteitä ja niiden rakenteellisia eroja. Neljän- nessä luvussa tarkastellaan erilaisia kaarihitsausprosesseja sekä niihin parhaiten so- veltuvia hitsausvirtalähteitä. Viimeisessä luvussa esitetään työn tärkeimmät päätelmät ja kootaan tärkeimmät havainnot yhteen.

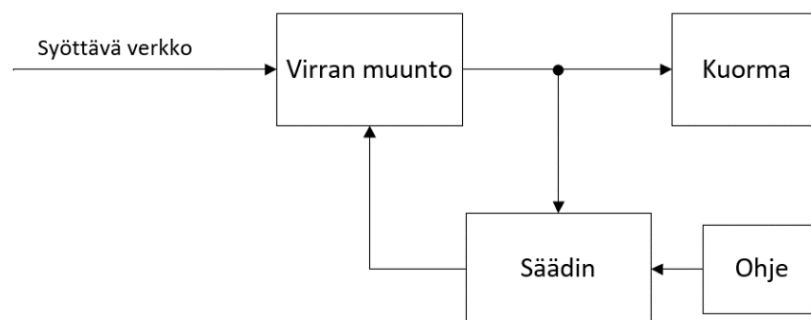
2. HITSAUSVIRTALÄHTEEN TEORIA

Hitsausvirtalähde on hitsauskoneen tehonlähde, jolla syötetään sähkötehoa hitsausvalokaareen. Virtalähteet voivat olla joko virta- tai jännitelähteitä, joten oikeaoppinen termi on hitsaustehonlähde, mutta konkreettisesti alalla puhutaan vain hitsausvirtalähteistä. Virtalähteen syöttövirta voi olla joko vaihtovirtaa (AC) tai tasavirtaa (DC). Hitsausvirtalähteessä tapahtuu virranmuunto-operaatioita siten, että virtalähteen ulostulona saadaan ohjearvon mukainen hitsausvirta. Kaarihitsauksessa ratkaisevassa roolissa on tasainen hitsausvalokaari, jolloin hitsi pysyy tasalaatuisena. [1]

Tässä luvussa perehdytään kaarihitsausvirtalähteiden perusrakenteeseen ja ominaisuuksiin. Ensimmäisessä luvussa jaotellaan tehonlähteet niiden sisääntulovirran mukaan. Toisessa luvussa esitellään ominaiskäyrät ja perehdytään niiden hyödyntämiseen hitsausvirtalähteitä tutkittaessa. Kolmannessa luvussa listataan ja esitellään tärkeimmät hitsausvirtalähteen komponentit. Viimeisessä luvussa tutkitaan erilaisia virranmuunto-operaatioita ja niiden toteutuksia eri hitsausvirtalähteissä.

2.1 Hitsausvirtalähteen perusrakenne

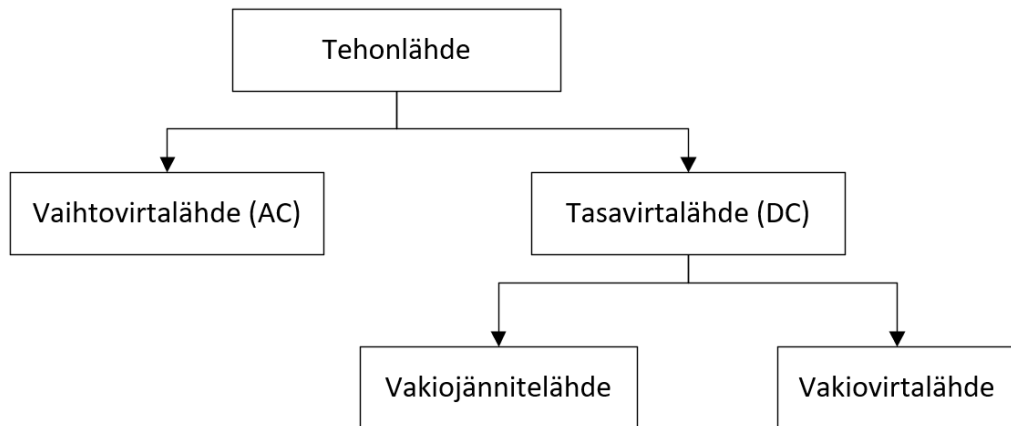
Hitsausvirtalähteen rakenne riippuu suuresti käytettävästä hitsausprosessista – MIG/MAG-hitsauksessa suosituin virtalähdetyyppi on tasasuuntaaja, kun taas puikko-hitsauksessa käytetään yleisesti invertteriä. Virtalähteen peruseriaate on kuitenkin kaikissa hitsausprosesseissa sama ja pelkistetty perusrakenteen lohkokaavio on esitetty kuvassa 1.



Kuva 1. Hitsausvirtalähteen lohkokaavio

Kuvan 1 virran muunto -lohko vaihtelee eri hitsausprosessien mukaan. Jokaisesta hitsausvirtalähteestä löytyy kuitenkin säädin, joka mittaa kuorman virtaa ja jota käyttäjä voi ohjeavolla joko laskea tai kasvattaa.

Kuten aiemmin mainittu, niin eri hitsausprosesseilla on erilaiset virtalähteet. Kuvaan 2 on luokiteltu kaarihitsauksessa käytettyjen tehonlähteiden tyypit.



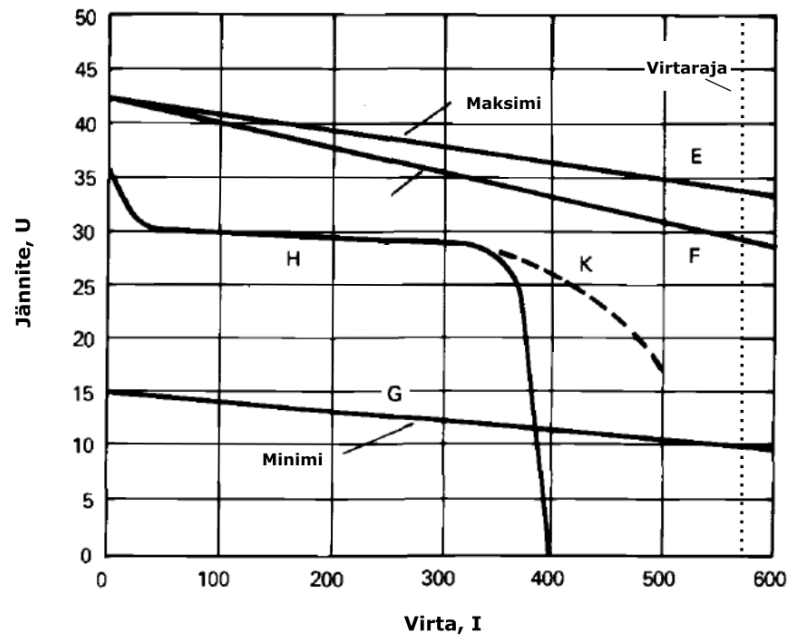
Kuva 2. Tehonlähteiden luokittelu

Tehonlähteet voidaan siis luokitella joko vaihto- tai tasavirtalähteiksi. Tasavirtalähteet voidaan vielä jakaa vakiojännite- tai vakiovirtalähteiksi sen perusteella, pyrkiikö lähde pitämään virran vai jännitteen vakiona. Seuraavaksi tarkastellaan kuvan 2 jaotteluun perustuen vakiovirtalähteen ja vakiojännitelähteen eroja sekä esitellään niiden ominaiskäyrät.

2.2 Ominaiskäyrät

Ominaiskäyrät kuvaavat virtalähteen ulostulojännitteen suhdetta kuormavirtaan. Ominaiskäyrien tarkastelu on tärkeä osa virtalähdetyyppien tutkimista, sillä niitä verrataan suoraan standardissa IEC 974-1 olevaan normivalokaareen, jolloin voidaan määrittää virtalähteen minimi- ja maksimivirta. [1]

Vakiojännitelähde on nimensä mukaisesti tehonlähde, jonka jännite pysyy melko tasaisena kuormavirrasta riippumatta. Kuvassa 3 on esitetty vakiojännitelähteen ominaiskäyrä.



Kuva 3. Vakiojännitelähteen ominaiskäyrä [3, muokattu]

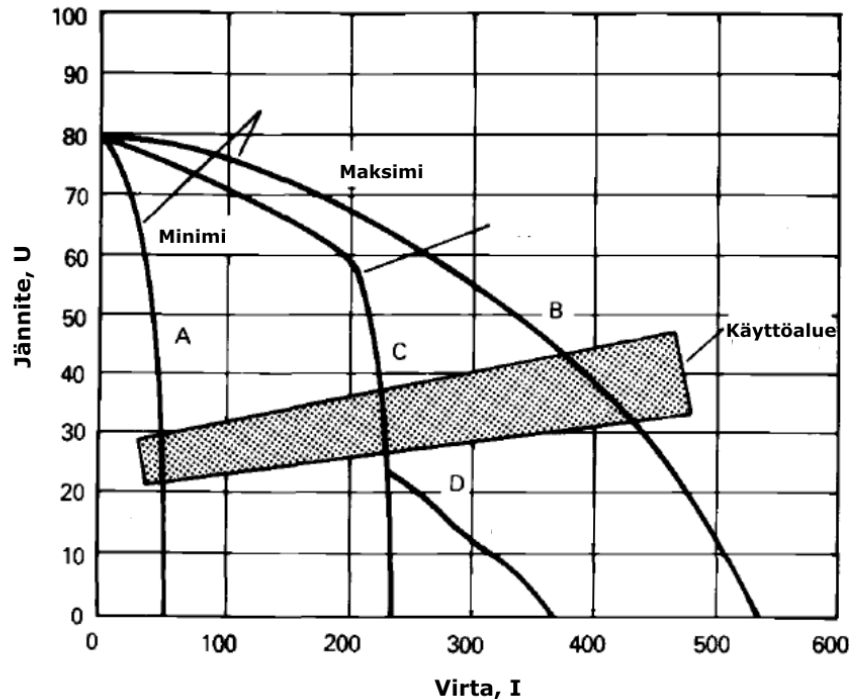
Kuten kuvasta 3 havaitaan, jännitteen pieni vaihtelu aiheuttaa virrassa moninkertaisen vaihtelun. Kuvaan on piirretty jännitteen maksimi- ja minimisuorat E ja G, joiden välillä ulostulojännite vaihtelee portaattomasti. Virta voi kasvaa hallitsemattomasti liian suureksi, jolloin teholähde saattaa vaurioitua, joten yleensä vakiojännitelähteissä käytetäänkin virtarajaa laitteen suojelemiseksi [1].

Vakiovirtalähde on teholähde, joka pyrkii pitämään virran vakiona jännitteen muutoksista huolimatta. Ideaalisessa vakiovirtalähteessä virta pysyy muuttumattomana, mutta jännite vaihtelee rajoituksetta. Käytännössä vakiovirtalähteessä on aina maksimijännite ja kuvassa 4 onkin esitetty käytännön vakiovirtalähteen ominaiskäyrä. [1]



Kuva 4. Käytännön vakiovirtalähteen ominaiskäyrä [1]

Kuvan 4 mukaista vakiovirtalähdettä on kuitenkin käytännössä mahdoton toteuttaa, joten tarkastelussa joudutaan tyytymään kuvassa 5 olevaan realistisen vakiovirtalähteen ominaiskäyrään.



Kuva 5. Realistisen vakiovirtalähteen ominaiskäyrä [3, muokattu]

Kuten kuvasta 5 huomataan, ominaiskäyrä on ideaalisen tapainen vain käyttöalueella, joka on kuvaan merkitty tummalla pohjalla. Kuvaan on piirretty käyrät A ja B, jotka ovat jännitteen maksimi- ja minimikäyrät.

Hitsausvirtalähteitä tarkasteltaessa tulee myös tarkastella tilannetta, missä virta muuttuu lyhyen oikosulun aikana. Aiemmat ominaiskäyrät ovat olleet niin sanottuja staattisia ominaiskäyriä, jotka kuvaavat tilannetta, jossa kuorma muuttuu hitaasti, jolloin hitsausvirtalähde ehtii seurata kuorman vaihteluita. Nopea oikosulkutilanne aiheuttaa virtapiikin, jolloin on perusteltua tutkia myös virtalähteiden dynaamisia ominaiskäyriä. Dynaamiset ominaiskäyrät vaihtelevat käyttökohteen mukaan kuitenkin merkittävästi, eikä niille pystytä mallintamaan yhtä yleispätevää mallia, joten tarkastelu on aina tapauskohtainen. [1]

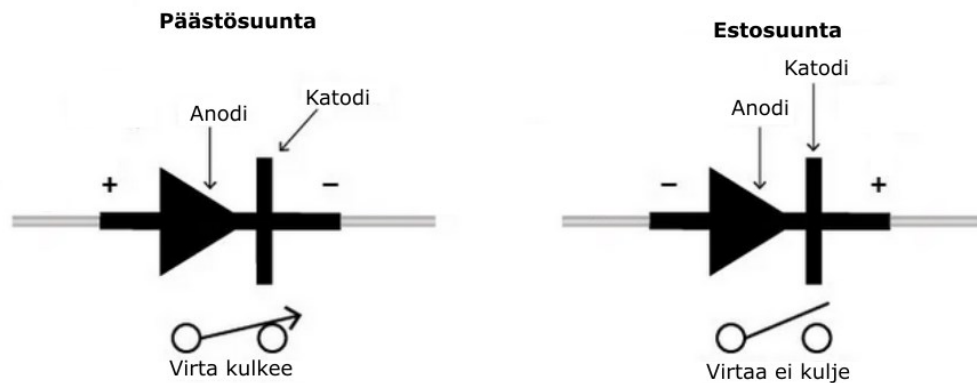
2.3 Tehoelektroniikkakomponentit

Hitsausvirtalähteiden piirit koostuvat useista pienemmistä kokonaisuuksista, jotka voidaan ajatella lohkoina. Jokainen lohko sisältää tehoelektroniikkakomponentteja, kuten

diodeja, keloja, kondensaattoreita ja kytkimiä. Reaalisissa malleissa komponentit aiheuttavat häviöitä, kuten vuotovirtoja tai itseinduktanssia, mutta niiden vaikutusta ei tässä työssä tarkastella, vaan tarkoituksena on paneutua komponenttien perusominaisuuksiin. Seuraavissa alaluvuissa esitellään muutamia olennaisia tehoelektroniikka-komponentteja ja niiden ominaisuuksia.

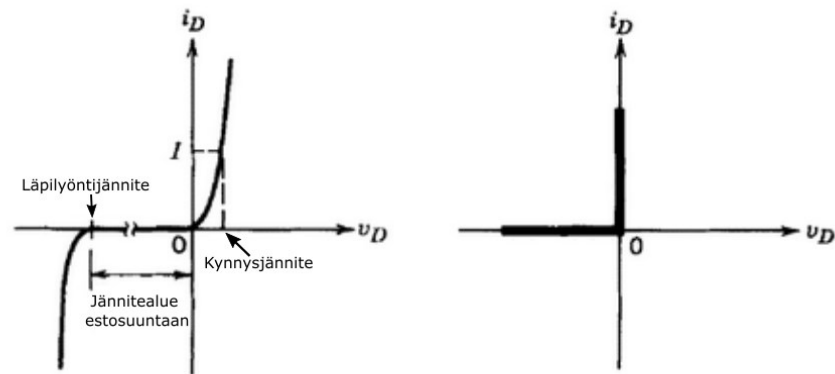
2.3.1 Diodi

Diodi on puolijohdekomponentti, joka johtaa sähkövirtaa yhteen suuntaan. Diodissa on kaksi elektroodia, anodi ja katodi, ja diodissa virta kulkee anodilta katodille. Diodia kutsutaan päästösuuntaiseksi, kun virtaa kulkee ja estosuuntaiseksi, kun virtaa ei kulje. Kuvassa 6 on diodin piirrosmerkki sekä sen päästö- ja estosuuntaiset kytkennät. [4]



Kuva 6. Diodin kytkennät [5, muokattu]

Ideaalinen diodi toimii häviöttömästi, eli välittömästi, kun diodi on päästösuuntainen, se alkaa johtaa. Kuitenkin ideaalista diodia on mahdotonta valmistaa, joten reaalisessa diodissa on kynnysjännite, läpilyöntijännite sekä erilaisia häviöitä. Diodin kynnysjännitteellä tarkoitetaan jännitettä, joka vaaditaan ennen kuin virta alkaa kulkea komponentin läpi. Diodin läpilyöntijännite on jännitemaksimi, jonka jälkeen komponentti hajoaa ja virtaa pääsee myös estosuuntaan. Kuvassa 7 on piirrettynä ideaalisen ja reaalisen diodin ominaiskäyrät sekä reaaliseen ominaiskäyrään on merkitty tärkeimmät termit.

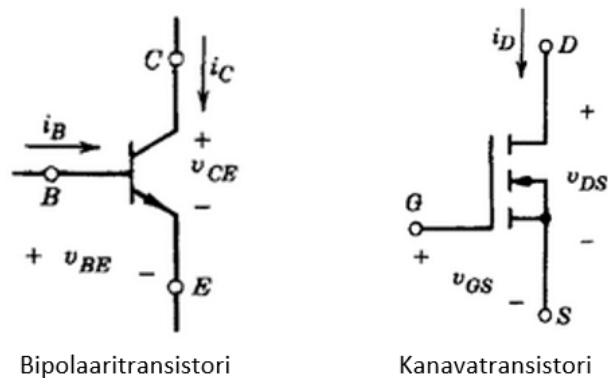


Kuva 7. Reaalisen ja ideaalin diodin ominaiskäyrät [6, muokattu]

Hitsausvirtalähteissä käytetään erityisesti matalan kynnyksjännitteen omaavia diodeja, jotta häviöt saadaan mahdollisimman pieniksi. Niissä yleisesti käytetty diodityyppi on schottky-diodi, jonka kynnyksjännite on noin 0,3 V, kun tavallisella diodilla se on noin 0,7 V. Haittapuolena schottky-diodin läpilyöntijännite on tavallista diodia pienempi, joka on tavallisesti noin 50 – 100 V. [6]

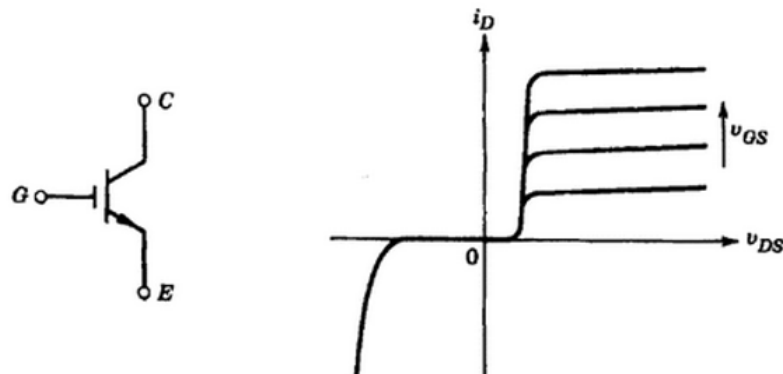
2.3.2 Transistori

Transistori on puolijohdekomponentti, joka voidaan herätesignaalilla kytkeä joko johtavaan tai ei-johtavaan tilaan. Virtapiireissä transistori toimii kytkimen tavoin. Transistoria on kahta eri tyyppiä, bipolaari- ja kanavatransistoreja. Niiden suurimpana erona on virran kestäkyky sekä kytkentätaajuus. Bipolaaritransistorit kestävät suuria virtoja ja niiden kytkentätaajuus on keskinkertaista luokkaa. Kanavatransistoreja käytetään pienempien virtojen kanssa, mutta niiden kytkentätaajuus on todella suuri. Kuvassa 8 on esitetty kanava- ja bipolaaritransistorin piirrosmerkit. [6]



Kuva 8. Bipolaari- ja kanavatransistorin piirrosmerkit [6, muokattu]

Kuvan 8 bipolaaritransistorissa piste C tarkoittaa kollektoria, piste B kantaa ja piste E emitteriä. Kanavatransistorissa piste D tarkoittaa nielua, G hilaa ja S lähdeä. [4] Hitsausvirtalähteissä käytetään suurien jännitteiden vuoksi usein bipolaaritransistoreja ja varsinkin IGBT transistoreja. 1980-luvulla kehittyneet IGBT virtalähteet olivat hyötysuhteeltaan urauurtavia ja nykyään niin manuaaliseen, kuin robottihitsaukseenkin suunnitelluissa virtalähteissä käytetään yleisesti IGBT transistoreja. Kuvassa 9 on esitetty IGBT transistorin piirrosmerkki sekä sen ominaiskäyrä.

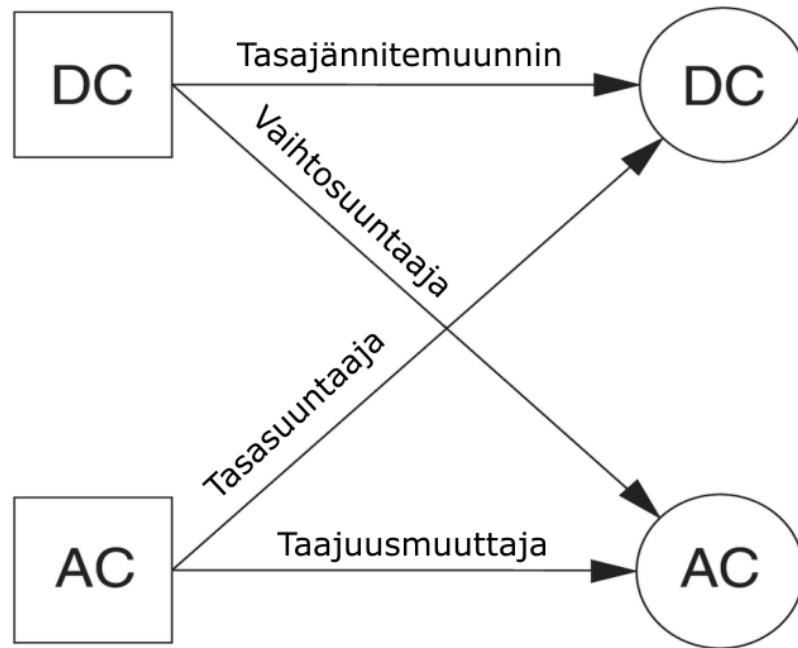


Kuva 9. IGBT transistorin piirrosmerkki sekä ominaiskäyrä [6]

IGBT (Insulated Gate Bipolar Transistor) transistorit pohjautuvat bipolaaritransistoreihin, joten niiden tärkeimpiin ominaisuuksiin kuuluvat korkea virran ja jännitteen sietokyky sekä suhteellisen pienet häviöt johtavassa tilassa. IGBT:t ovat nimensä mukaisesti rakennettu kanavatransistorin tavoin, eli niiden hila on eristetty, jonka huomaa myös komponentin piirrosmerkistä kuvassa 9. Tämä mahdollistaa sen, että komponentin kytkentä ei vaadi suurta tehoa. IGBT:t suunnitellaan yleensä myös kestämään suuria negatiivisia jännitteitä, joten niiden läpilyöntijännite on korkea. Näin ollen IGBT:t ovat hyviä suuritehoisiin käyttökohteisiin, kuten hitsausinverttereihin. [6]

2.4 Virranmuuntimet

Kuvassa 1 oli esitetty lohko-kaaviona kaarihitsausvirtalähteen toimintaperiaate. Siinä oleva virran muunto -lohko on olennainen osa hitsausvirtalähdettä. Kuvassa 10 on graafisesti esitetty virranmuunto-operaatiot ja niitä suorittavat komponentit.



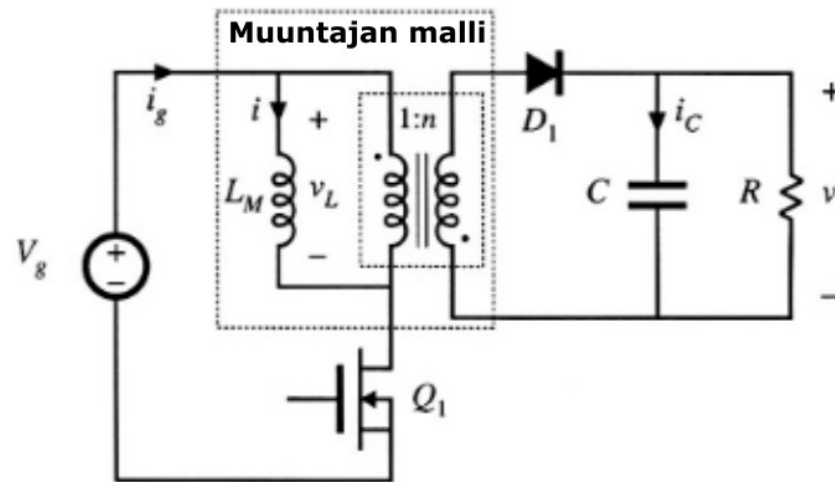
Kuva 10. Virranmuunto-operaatiot [7, muokattu]

Hitsausvirtalähteissä joudutaan usein tekemään monia virranmuunto-operaatioita, jotta saadaan halutunlainen ulostulovirta. Seuraavissa alaluvuissa esitellään kolme käytettyintä virranmuunninta.

2.4.1 Tasajännitemuunnin

Tasajännitemuunnin eli hakkuri on elektroninen laite, jolla syötettyä tasavirtaa saadaan joko nostettua tai laskettua. Usein tasajännitemuuntimeen syötetty virta on sääntelemätöntä (unregulated), eli sisääntulovirta saattaa vaihdella, mutta ulostulovirtana halutaan tasaista eli säänneltyä (regulated) virtaa. Tasajännitemuuntimia on kolme erilaista tyyppiä, eli jännitettä laskevaa, nostavaa, tai laskevaa ja nostavaa tyyppiä. Yksinkertaisin jännitettä laskeva tasajännitemuunnin on buck-hakkuri ja yksinkertaisin jännitettä nostava muunnin on boost-hakkuri. Näiden yhdistelmä buck-boost-hakkuri pystyy sekä laskemaan, että nostamaan jännitettä. Lisäksi muita yleisiä tasajännitemuuntimia ovat cuk-hakkuri ja kokoaaltotasasuuntaaja, jotka kuitenkin pohjautuvat kolmeen edellä mainittuun hakkuriin. [6]

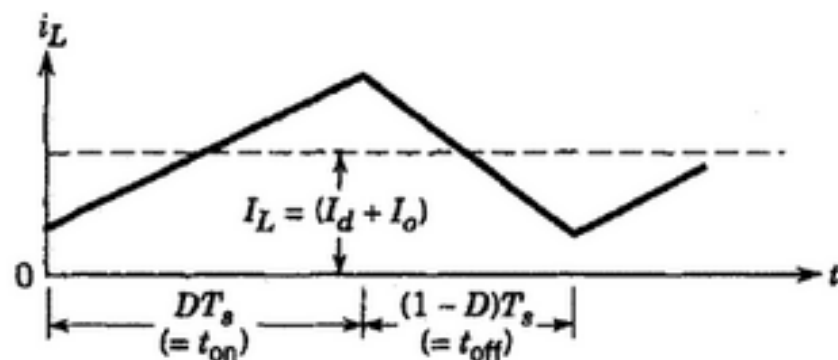
Hitsausvirtalähteissä yleinen toimenpide on laskea jännitettä, jolloin virta kasvaa. Tämä toteutetaan yleensä buck tai buck-boost-tyyppisellä hakkurilla. Kuvassa 11 on esitetty yleinen flyback muuntimen topologia, joka toimii buck-boostin tavoin, eli sillä voidaan joko laskea tai nostaa virtaa riippuen pulssisuhteesta.



Kuva 11. Flyback muuntimen topologia [8, muokattu]

Flyback muuntimessa käytetään muuntajaa erottamaan sisääntulojännite ulostulojännitteestä. Yleisestikin muuntimissa suositetaan muuntajan käyttöä, sillä muuntajalla voidaan erottaa sisään- ja ulostulojännitteiden maapotentiaalit, joka puolestaan lisää komponentin turvallisuutta. Kuvan 11 muuntimessa transistori Q_1 toimii kytkimenä, siten, että kun kytkin on suljettu niin magnetointikäämi L_M varastoi energiaa ja diodi D_1 on kytketty estosuuntaan. Tällöin kondensaattori C purkautuu ja pitää ulostulojännitteen vakiona. Kun kytkin aukeaa, diodi alkaa johtaa ja magnetointikäämi purkaa varauksen suoraan ulostuloon. [8]

Kuvaan 12 on piirretty flyback muuntimen magnetointikäämin läpi kulkevan virranmuutos ajan funktiona.



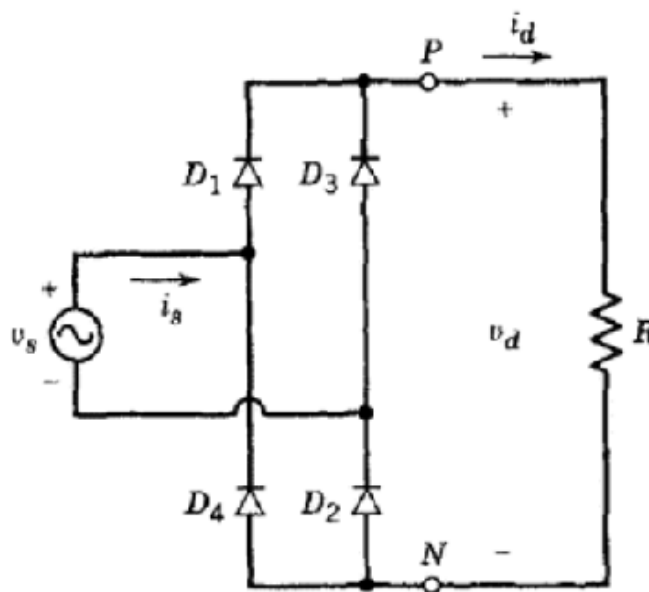
Kuva 12. Virranmuutos ajan funktiona [6]

Kytkimen ollessa päällä magnetointikäämiin varastoituu virtaa, ja kun kytkin aukeaa, magnetointikäämi alkaa purkautua. Pulssisuhde D ratkaisee kytkimen päällä- ja pois-

saoloajan yhden jakson T_s aikana. Buck-Boost tyyppisissä hakkureissa pulssisuhteen ollessa yli 0,5 ulostulona saadaan lähtöjännitettä korkeampaa jännitettä ja pulssisuhteen ollessa alle 0,5 matalampaa. Kaarihitsausvirtalähteitä tarkasteltaessa tasajännitemuuntimet ovat yleisiä hitsausinverttereissä, sillä niissä joudutaan usein ensin nostamaan virta halutulle tasolle, jotta tasasuunnattu ulostulovirta on halutun suuruinen.

2.4.2 Tasasuuntaaja

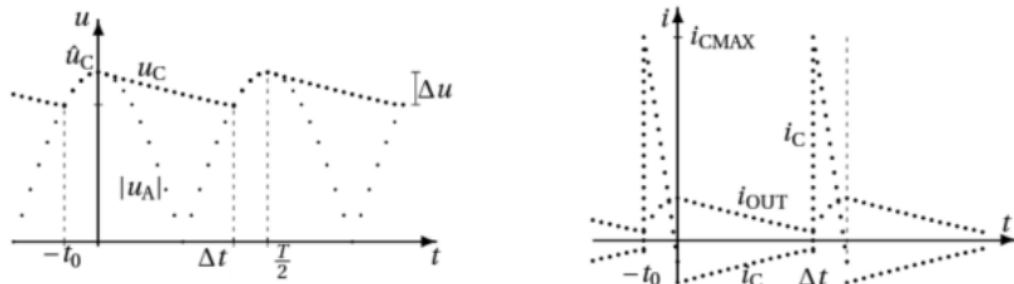
Tasasuuntaaja on elektroninen laite, jolla syötetty vaihtovirta voidaan muuntaa tasavirraksi. Tasasuuntaajia on kahta päätyyppiä, puoliaalto- ja kokoaaltotasasuuntaajia. Puoliaaltotasasuuntaajassa on yksi diodi, jolla vaihtovirtalähteen sinikäyrästä saadaan hyödynnettyä positiivinen puolijakso. Kokoaaltotasasuuntaaja sisältää neljä diodia, ja sillä voidaan hyödyntää molemmat sinikäyrän puolijaksot. Kuvassa 13 on ideaalisen kokoaaltotasasuuntaajan topologia.



Kuva 13. Ideaalinen kokoaaltotasasuuntaaja [6]

Kuvan 13 kokoaaltotasasuuntaajassa jännitelähteen positiivisella puolijaksolla diodit 1 ja 2 johtavat, jolloin diodit 3 ja 4 ovat estosuuntaisia. Jännitelähteen negatiivisella puolijaksolla diodit 3 ja 4 ovat päästösuuntaisia, kun taas diodit 1 ja 2 estosuuntaisia. Tällöin kuorman R yli olevaksi jännitteen aaltomuodoksi saadaan positiivinen ja sykkivä käyrä. Ulostulojännitettä tutkittaessa tärkeä suure on aallon rippeli. Se tarkoittaa käyrän minimi ja maksimi kohtien välistä erotusta. Yleensä ulostulojännite halutaan olevan tasais- ta, mutta tällä järjestelyllä rippeli on usein suhteellisen suuri. [4]

Lisäämällä tasasuuntaajaan kuorman rinnalle niin kutsutun suodatuskondensaattorin, saadaan ulostulon rippeli tasoittumaan. Kondensaattori latautuu, kun vaihtovirtalähteen sinikäyrä nousee. Kun sinikäyrä saavuttaa huippukohdan ja alkaa laskea, kondensaattori alkaa purkautua, ja se jatkuu niin kauan, kunnes purkauskäyrä ja sinikäyrä kohtaavat, ja kondensaattori alkaa jälleen latautua. Kuvassa 14 on esitetty suodatinkondensaattorin sisältävän tasasuuntaajan jännitteen ja virran aaltomuodot. [4]



Kuva 14. Kokoaaltotasasuuntaajan jännitteen ja virran aaltomuodot [4]

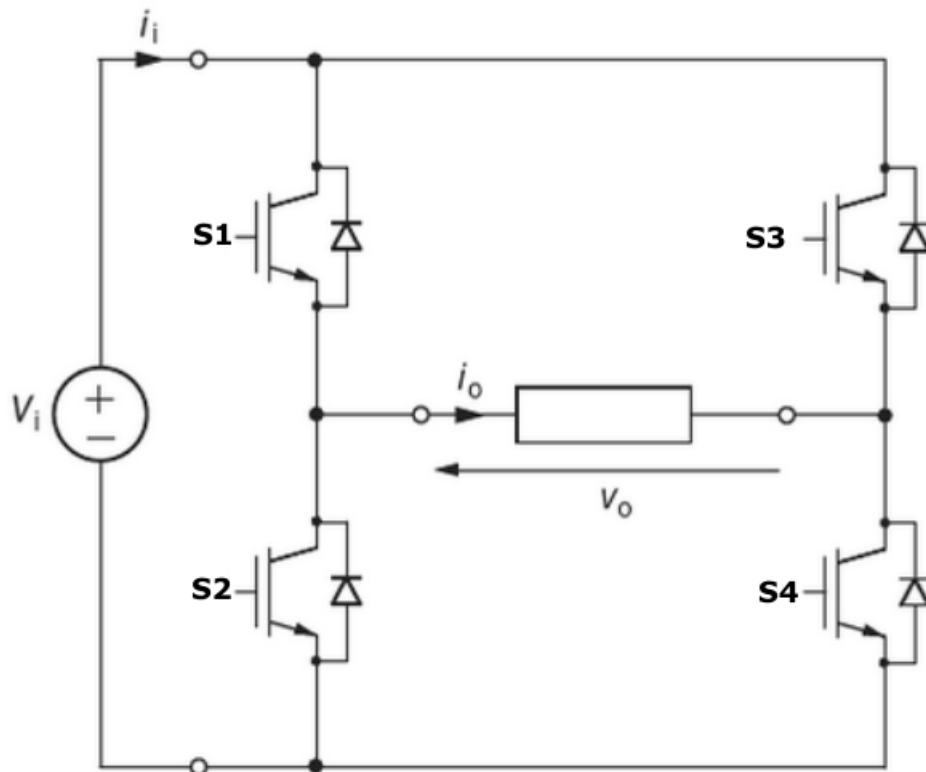
Kuvassa 14 käyrä u_C kuvaa ulostulojännitettä ja käyrä i_{OUT} ulostulovirtaa. Kondensaattorin läpi kulkeva virta i_C saavuttaa minimiarvon jännitteen huippukohdassa, jolloin se alkaa purkautua, kunnes jännitelähteen sinikäyrä saavuttaa uudelleen ulostulojännitteen purkauskäyrän. Tällöin kondensaattorin virrassa havaitaan piikki, ja kondensaattori latautuu, kunnes jännitelähteen sinikäyrä saavuttaa jälleen huippukohdan ja sykli alkaa uudelleen. Ulostulojännitteen aaltomuodosta havaitaan suuren Δu , joka on jännitteen rippeli.

Kokoaaltotasasuuntaaja on yleensä ensimmäinen komponentti hitsausvirtalähteissä, sillä sen avulla verkosta tuleva vaihtovirta tasasuunnataan tasavirraksi, jota aletaan muokkaamaan halutunlaiseksi. Hitsausvirtalähteissä varsinkin ulostulojännitteen rippelillä on suuri merkitys. Hitsausvirtalähteissä pyritään aikaansaamaan mahdollisimman tasainen valokaari, joten tasasuuntaaja on merkittävä komponentti kaikissa hitsausvirtalähdetyypeissä.

2.4.3 Vaihtosuuntaaja

Vaihtosuuntaaja eli invertteri on elektroninen komponentti, jolla muunnetaan tasavirta vaihtovirraksi. Vaihtosuuntaajat voidaan jakaa puolisolta- (Half-Bridge) tai kokosilta-invertteriksi (Full-Bridge) riippuen kytkinten määrästä. Puolisilta-invertterissä on kaksi kytkintä, joita ohjataan vuorotellen, jotta ulostuloksi saadaan vaihtovirtaa. Kokosilta-

invertterissä on neljä kytkintä, joita ohjataan oikeassa järjestyksessä. Kokosilta-invertterin ja puolisolita-invertterin erona on se, että kokosilta-invertteristä saatava ulostulojännite vaihtelee U_{IN} ja $-U_{IN}$ välillä, kun taas puolisolita-invertterillä ulostulojännite vaihtelee U_{IN} ja 0 V välillä. Kokosiltakytkennällä saavutetaan siis kaksinkertainen jännite puoliaaltokytkentään verrattuna. Kokosilta-inverttereitä suositetaan, kun toimitaan suurilla tehotasoilla. Kuvassa 15 on erään ideaalisen yksivaiheisen vaihtosuuntaajan topologia. [6]



Kuva 15. Ideaalinen yksivaiheinen vaihtosuuntaaja [6]

Kuvan 15 mukainen kokosilta-invertteri sisältää neljä kytkintä, joiden rinnalle on kytketty vastakkaissuuntaiset diodit. Kytkimiä ohjataan pulssinleveysmodulaatio (PWM) signaaleilla loogisesti siten, että ensimmäisellä puolijaksolla kytkimet S1 ja S4 ovat suljettuna ja kytkimet S2 ja S3 ovat auki. Toisella puolijaksolla järjestys vaihtuu, eli kytkimet S2 ja S3 sulkeutuvat ja kytkimet S1 ja S4 avautuvat. Näin ulostulona saadaan vaihtovirtaa.

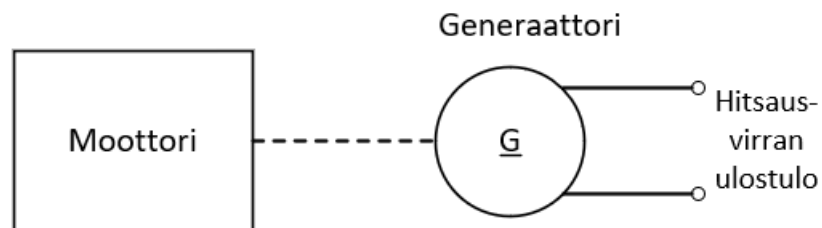
3. HITSAUSVIRTALÄHTEET

Hitsausvirtalähde on siis laite, jolla syötetään sähkötehoa hitsausvalokaareen [1]. Kaikki kaarihitsausvirtalähteet pohjautuvat ajatukseen virran muokkaamisesta sopivaksi, jotta ulostulon valokaari on mahdollisimman tasainen ja helposti säädettävissä. Tässä luvussa käsitellään erilaisia hitsausvirtalähteitä ja niiden tärkeimpiä ominaisuuksia.

3.1 Hitsausgeneraattori

Hitsausgeneraattorilla on ollut historiallisesti suuri merkitys hitsausvirtalähteiden kehityksessä. 1900-luvun alussa kehitetty hitsausgeneraattori oli ensimmäinen hitsausvirtalähde, jolla voitiin tuottaa ulostulona tasavirtaa. Hitsausgeneraattoreiden suosio on laskenut muiden virtalähteiden kehityksen myötä. Aikoinaan generaattori oli ainut laite, jonka ulostulona voitiin tuottaa tasavirtaa, mutta nykyään tämä etu on kadonnut tehoelektronikan kehityksen myötä. [1]

Hitsausgeneraattorit ovat suhteellisen kookkaita ja painavia laitteita. Niitä käytetään lähinnä kohteissa, joissa ulkoista sähköverkkoa ei ole saatavilla. Yksinkertaistetusti hitsausgeneraattorit koostuvat moottorista, joka pyörittää generaattoria tietyllä kulmataajuudella, ja näin ollen tuottaa ulostulona halutunlaista tasavirtaa. Riippuen käyttökohteesta moottori voi olla sähkö- tai polttomoottori. Hitsausgeneraattorin periaate on esitetty kuvassa 16.



Kuva 16. Hitsausgeneraattori [1]

Hitsausgeneraattoreiden ulostulovirtaa säädetään perinteisesti lisäkäämityksin [1]. Uuissa laitteissa niiden tilalle ovat tulleet tasasuuntaajat sekä vaihtosuuntaajat, joilla ulostulovirtaa voidaan säätää entistä paremmin.

Kuvassa 17 on esitettyä moderni ESAB:n valmistama KHM 190YS hitsausgeneraattori.

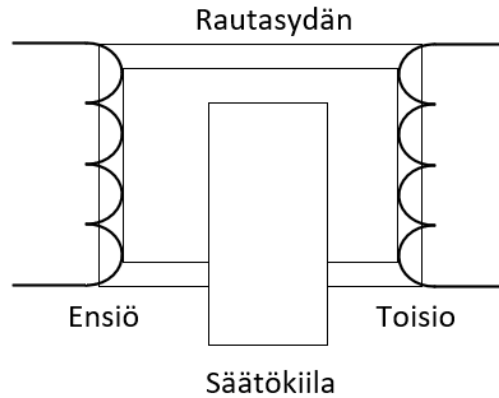


Kuva 17. ESAB:n valmistama dieselkäyttöinen hitsausgeneraattori [9]

Kuvan 17 kaltaista hitsausgeneraattoria käytetään varsinkin rakennustyömailla sekä voimalaitoksissa. Sen etuja ovat luotettavuus sekä mahdollisuus käyttää laitetta myös virtalähteenä esimerkiksi käsityökaluihin tai valaistukseen. Hitsausgeneraattorin heikkouksia ovat paino, moottorin aiheuttama melu, kallis hinta, mekaanisen kulumisen aiheuttamat huollot sekä suurehkot häviöt. Esimerkiksi kuvan 17 laite painaa 156 kg ja tuottaa 100 dB:n melutason. [9] Hitsausgeneraattoreiden heikkouksista ja muiden teknologioiden kehityksestä johtuen niiden valmistajat ovat 1980-luvusta lähtien supistaneet hitsausgeneraattoreiden valikoimaa rajusti.

3.2 Hitsausmuuntaja

Toinen historiallisesti merkittävä keksintö hitsauksen saralla oli käyttää muuntajaa hitsausvirtalähteenä. Muuntaja koostuu ensiökäämistä, johon sähköverkko syöttää virran, toisiokäämistä, joka syöttää valokaarta sekä rautasydämeä, joka yhdistää ensiö- ja toisiokäämit kehän muotoisella rakennelmalla. Kuvassa 18 hitsausmuuntajan periaatekuva.



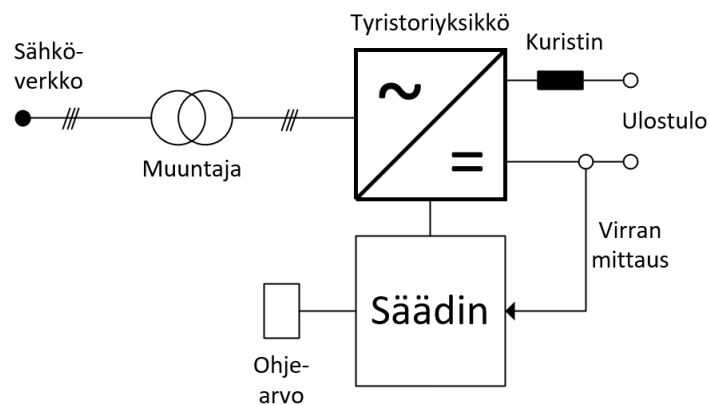
Kuva 18. Hitsausmuuntajan periaate [1, muokattu]

Muuntajan syöttämän virran säätö on hankalaa. Kuvan 18 mukaisesti voidaan ensiö- ja toisiokäämin väliin sijoittaa säätökiila, jolla pystytään säätämään valokaarta. Periaate on, että osa magneettivuosta kulkee rautasydämen sisällä olevan säätökiilan kautta, jolloin hitsausvirta pienenee [1]. Tällainen säätöratkaisu on hyötysuhteeltaan kuitenkin heikko ja häviöt muuntajassa ovat suuret.

3.3 Hitsaustasasuuntaaja

Useissa nykyisissä sovelluksissa muuntajan häviöitä aiheuttava säätökiila on poistettu ja tavallisen muuntajan perään on kytketty tasasuuntaaja, jotta ulostulovirraksi saadaan tasavirtaa. Tällainen järjestelmä kasvattaa virtalähteen käyttömahdollisuuksia erilaisissa hitsausprosesseissa. Käyttäjä voi näin ollen itse valita, käyttääkö ulostulona pelkkää muuntajasta saatavaa vaihtovirtaa vai tasasuunnattua virtaa. [1]

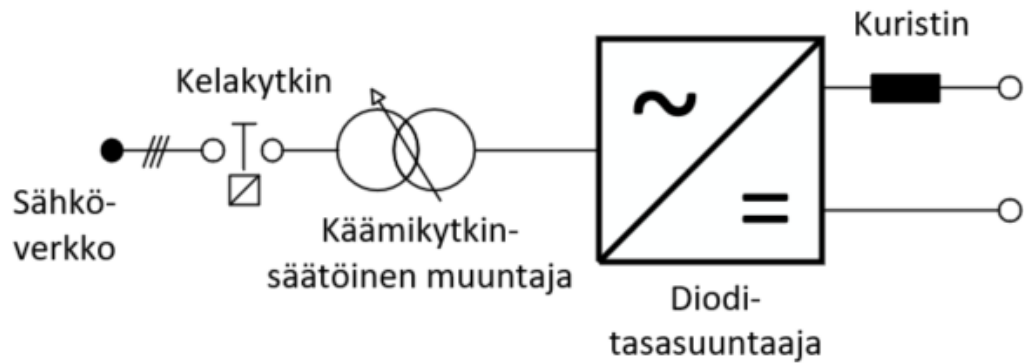
Eräs käytetty tasasuuntaajan ja muuntajan yhdistelmä on tyristoritasasuuntaaja, jonka lohkokaavio on esitetty kuvassa 19.



Kuva 19. Tyristoritasasuuntaaja [1]

Kuvan 19 mukaisessa tyristoritasasuuntaajassa tyristoriyksikkö sisältää tasasuuntaajan, jossa diodit on korvattu tyristoreilla. Näin ollen sen ohjaaminen on yksinkertaista ja tyristorikoneen käyttöalue on varsin laaja tyristorien hyvästä virrankestokyvystä johtuen.

Toinen nykysovelluksissa käytetty hitsaustasasuuntaajatyyppe on vakiojännitetasasuuntaaja.

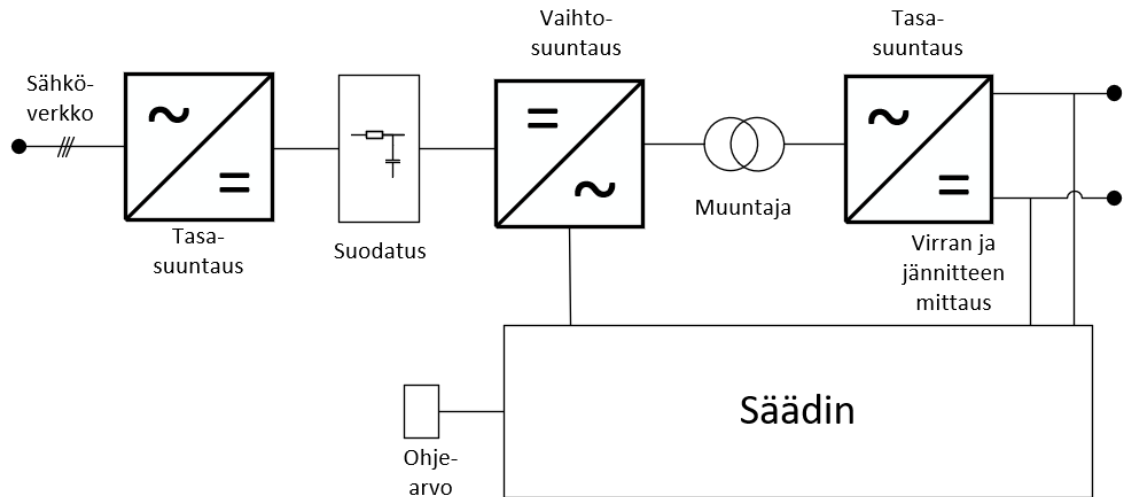


Kuva 20. Vakiojännitetasasuuntaaja [1, muokattu]

Kuvan 20 vakiojännitetasasuuntaaja koostuu kelakytkimestä, käämikytkinsäätöisestä muuntajasta sekä dioditasasuuntaajasta. Kelakytkimellä ohjataan virtalähdettä päälle ja pois, ja se saa ohjaustietonsa hitsauspistoolin kytkimeltä. Käämikytkinsäätöisellä muuntajalla vaihdellaan muuntajan muuntosuhdetta, jolloin voidaan vaihdella ulostulojännitettä. [1]

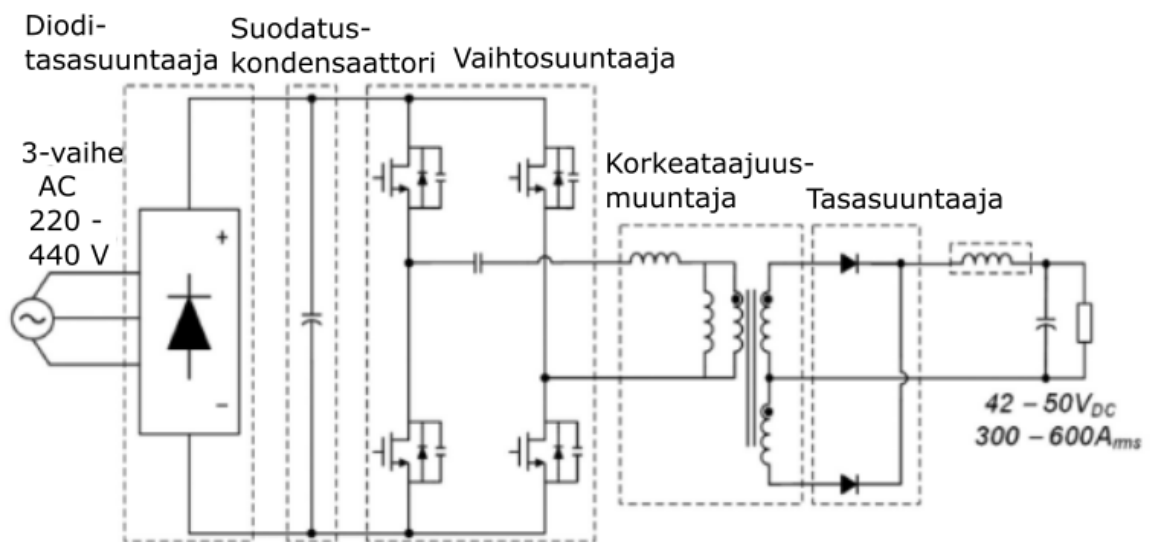
3.4 Hitsausinvertteri

Aiemmin esiteltyjen hitsausvirtalähteiden suurimpana ongelmana on ollut koon ja painon aiheuttamat ongelmat niiden liikuteltavuudessa. Lisäksi sähköverkon taajuus asettaa rajan virtalähteen reagointinopeudelle [1]. Näistä ongelmista päästään kuitenkin eroon käyttämällä taajuusmuuttajatekniikkaa. Hitsausinvertterien toimintaperiaate on esitetty kuvassa 21.



Kuva 21. Hitsausinvertterin rakenne [1]

Kuvan 21 mukaisesti ensin hitsausinvertterit tasasuuntaavat sähköverkosta saatavan vaihtojännitteen tasajännitteeksi, jonka jälkeen se suodatetaan. Tasajännite on tyypillisesti tässä vaiheessa 250-700 V suuruinen. Sitten tasasuunnattu jännite vaihtosuunnataan korkeataajuiseksi vaihtojännitteeksi, tyypillisesti taajuus on noin 1-100 kHz luokkaa. Vaihtosuunnattu jännite johdetaan muuntajaan, joka muokkaa jännitteen hitsaukseen sopivaksi. Lopuksi jännite vielä tasasuunnataan, jolloin saadaan todella tarkka ja tasainen jännitteen aaltomuoto. [1] Kuvaan 22 on esitetty tarkemmin modernin hitsausinvertterin kytkentätopologia siten, että virranmuunninten topologiat ovat näkyvissä.



Kuva 22. Hitsausinvertterin kytkentätopologia [10, muokattu]

Kuvasta 22 myös huomataan, että hitsausinverttereissä suodatuskondensaattorin ja ulostulovirran välinen lohko voidaan ajatella yhtenä eristettynä tasajännitemuuntimena

[10]. Kuvassa 23 on esitettyä Kemppi Oy:n moderni puikkohitsaukseen tarkoitettu hitsausinverterti.



Kuva 23. Kemppi Oy:n valmistama hitsausinverterti [11]

Kuvan 23 hitsausinverterti on käytetty laite varsinkin rakennustyömailla, voimalaitoksissa, ulkotiloissa sekä alan harrastajien keskuudessa. Kevyen rakenteen sekä suuren hitsaustehon johdosta laite soveltuu raskaiden terästen hitsaamiseen suoraan kohteessa. Laitteessa voidaan käyttää pitkiä syöttökaapeleita, mikä helpottaa työmaageneraattoreiden sijoittelua rakennustyömailla. [11]

Hitsausinverterit vaativat tarkkaa ja kehittynyttä säätötekniikkaa. Säätö perustuu ulostulovirran, jännitteen sekä käyttäjän asettaman ohjearvon mittausdataan. Merkittävin komponentti hitsausinverterissä on vaihtosuuntaaja, sillä sen avulla ulostulovirta saadaan halutunlaiseksi. Nykyaikaisissa vaihtosuuntaajissa IGBT transistorit alkavat olla vakiintuneita komponentteja niiden ominaisuuksista johtuen. Tehoelektronikkakomponenttien kehitys on mahdollistanut inverttereiden halpenemisen, koon supistumisen ja niiden soveltumisen moniin eri hitsausprosesseihin. [1]

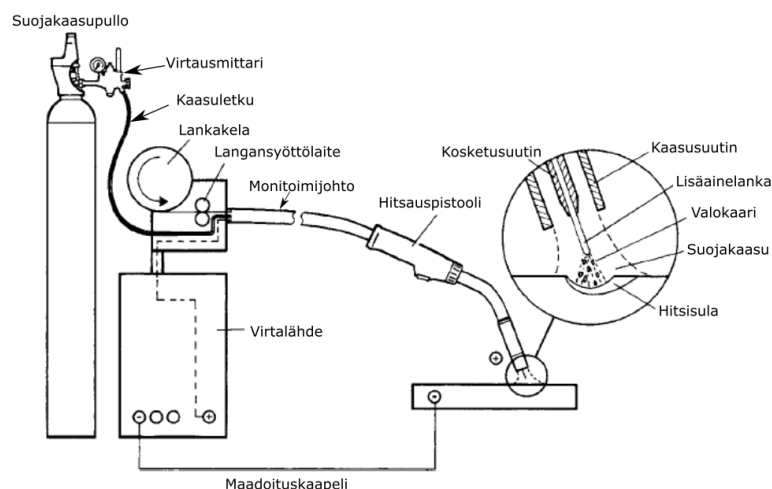
4. HITSAUSVIRTALÄHTEIDEN SOVELLUSKOHTEET

Yleisimmät kaarihitsausprosessit ovat MIG/MAG-hitsaus, TIG-hitsaus sekä puikkohitsaus. Jokaisella hitsausprosessilla on omanlaisensa hitsauslaitteisto, jolloin hitsausvirtalähde tulee suunnitella sovelluskohtaisesti. Tässä luvussa esitellään hitsausprosessit tarkemmin sekä pohditaan niihin parhaiten soveltuvia hitsausvirtalähteitä.

4.1 MIG/MAG-hitsaus

MIG/MAG-hitsaus tarkoittaa kaarihitsausprosessia, jossa hitsausvalokaari palaa lisäainelangan ja työkappaleen välillä. Valokaarta ympäröi suojakaasu, jonka avulla suojataan hitsisula ympäröivältä ilmalta. MIG (Metal Inert Gas) -hitsauksessa käytetään inerttiä suojakaasua, eli kaasua, joka ei reagoi millään tavalla hitsisulassa olevien aineiden kanssa. Tyypillisesti inerttinä suojakaasuna käytetään argonia, heliumia tai näiden kaasuseosta. MAG (Metal Active Gas) -hitsauksessa käytetään aktiivista suojakaasua, eli kaasuseosta, joka reagoi hitsisulassa olevien aineiden kanssa. [1] Aktiivinen suojakaasu sisältää vähintään 0,5 % happea tai hiilidioksidia ja tyypillisesti kaasuseos on hapen ja argonin, hiilidioksidin ja argonin, tai hapen ja hiilidioksidin välinen kaasuseos [12]. Joissain tilanteissa on myös järkevää käyttää puhdasta hiilidioksidia.

MIG/MAG-hitsauslaitteiston periaate on esitetty kuvassa 24.



Kuva 24. MIG/MAG-hitsauslaitteisto [13, muokattu]

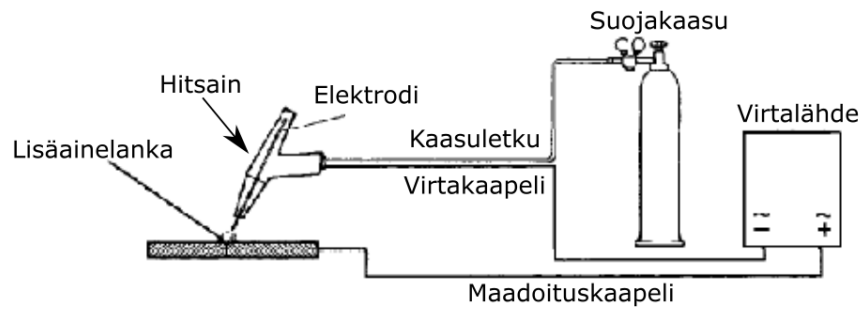
MIG/MAG-hitsauksessa tehonlähteenä käytetään usein vakiojännitelähteitä, jolloin hitsausvalokaari pysyy vakaana, vaikka vapaalangan pituus vaihtelee [1]. Moderneista hitsausvirtalähdetyypeistä suosituimmat MIG/MAG virtalähdetyypit ovat vakiojännitetasasuuntaaja sekä invertteri.

MIG/MAG laitteistossa voidaan käyttää tavallisen umpilangan tilalla lisäainelankaa, jolloin langassa on teräskuoren sisällä prosessia suojaavaa täytejauhetta. Täytelankahitsauksessa käytettävä laitteisto on samanlainen, kuin MIG/MAG-hitsauksen laitteisto, joten erillistä tarkastelua ei ole syytä tehdä. Täytelankahitsauksessa käytetään kuitenkin korkeita virtoja, joten kaikki MIG/MAG virtalähteet eivät välttämättä sovellu täytelankahitsaukseen. [1]

MIG/MAG-hitsauksen eräs muoto on pulssi-MIG/MAG-hitsaus. Periaatteena siinä on virtapulslien avulla aikaansaada hitsipisaroita, joita syötetään hitsattavaan kappaleeseen. Virtapulseja syötetään taajuudella 30-300 Hz, ja jokainen pulssi irrottaa aina yhden hitsipisaran. Pulssi-MIG/MAG-hitsausta käytetään lähinnä alumiinin ja ruostumattoman teräksen hitsaukseen. [13] Pulssi-MIG/MAG-hitsauksen säätö on hankala toteuttaa, sillä siihen vaikuttavat langansyöttönopeus, pulssivirta, pulssi-aika, taukovirta sekä tauko-aika. Hankalasta säätörakenteesta johtuen prosessissa käytetään pääsääntöisesti hitsausinverttereitä. [1] Modernit invertterit pystyvät laskemaan reaaliajassa tarvittavat parametrit ja näin ollen prosessi pysyy vakaana.

4.2 TIG-hitsaus

TIG (Tungsten Inert Gas) -hitsaus tarkoittaa hitsausprosessia, jossa valokaari palaa sulamattoman volframielektrodin ja työkappaleen välillä. TIG-hitsauksessa käytetään inerttiä suojakaasua, joka on yleensä argonia tai heliumia tai näiden sekoitusta [12]. Erona MIG/MAG-hitsaukseen, TIG-hitsauksessa käytetään elektrodiä, joka sijaitsee hitsaimessa. Elektrodi on sulamaton, yleensä volframista valmistettu tanko, joka reagoi työkappaleen kanssa luoden valokaaren. Käsien hitsatessa valokaareen tuodaan lisäainetta, jolla kappaleet saadaan liitettyä toisiinsa. TIG-hitsausta voidaan käyttää myös ilman lisäainelankaa, jolloin hitsaus perustuu työkappaleen sulattamiseen. TIG-hitsausta käytetään yleensä putkiliitoksissa sekä laippojen asennuksissa. [13]



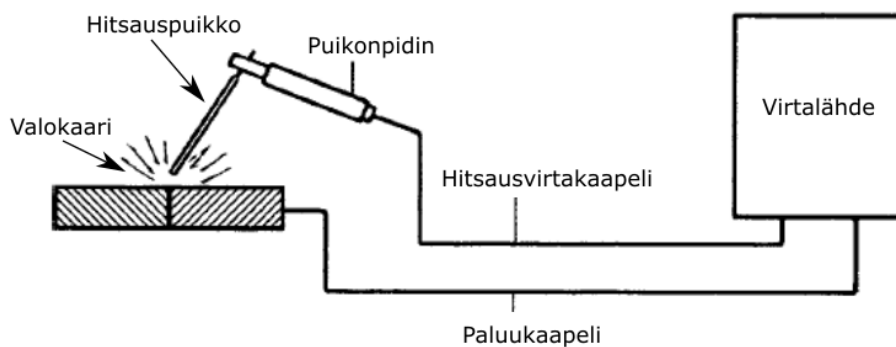
Kuva 25. TIG-hitsauslaitteisto [13, muokattu]

TIG-hitsauksessa voidaan käyttää vaihto- tai tasavirtalähteitä. Yleensä käytetään tasavirtalähteitä, mutta esimerkiksi alumiinia tai magnesiumia hitsatessa vaaditaan vaihtovirtalähdettä [13]. Hitsausvirtalähteinä käytetyimmät virtalähdetyypit ovat tasasuuntaaja sekä invertteri.

4.3 Puikkohitsaus

Puikkohitsaus on kaarihitsausprosessi, jossa hitsauspuikko sulatetaan valokaaren avulla työkappaleeseen. Puikkohitsauksessa ei käytetä suojakaasua, vaan hitsauspuikko on päällystetty. Päällyste sisältää kemikaaleja ja mineraaleja, jotka mahdollistavat monia tärkeitä hitsausominaisuuksia, kuten hitsauskuonan muodostumisen, kaasusuojan sekä ionisoinnin [1]. Puikkohitsaus soveltuu moniin eri kohteisiin ja laitteiston kompaktiuden vuoksi sitä käytetään erityisesti hankalissa ja ahtaissa kohteissa. Puikkohitsausta voidaan käyttää myös ulkotiloissa, joihin suojakaasulaitteistot soveltuvat huonosti, sillä hitsauskaasu voi karata tuulen mukana.

Puikkohitsauksessa käytetty laitteisto on esitetty kuvassa 26.



Kuva 26. Puikkohitsauslaitteisto [13, muokattu]

Puikkohitsauksessa virtalähteet ovat tehotyypiltään vakiovirtalähteitä, sillä hitsauspuikko lyhenee hitsatessa, jolloin valokaaren pituus kasvaa. Vakiovirtalähdettä käytettäessä pystytään virta vakioimaan, jolloin valokaaren pituus ei ylitä turvarajoja, eikä hitsausvirta kasva näin ollen hallitsemattomaksi. [1] Puikkohitsaukseen soveltuvat monet hitsausvirtalähteet. Käytettyjä virtalähteitä ovat perinteiset hitsausmuuntajat, hitsausgeneraattorit, hitsaustasasuuntaajat sekä invertterit [1]. Nykyään komponenttien kehityksen myötä markkinoilla myydään lähinnä tasasuuntaajia ja inverttereitä, joista invertterit ovat suosituimpia.

4.4 Muut menetelmät

Edellä mainitut kaarihitsausprosessit ovat tunnetuimmat ja käytetyimmät prosessit, sillä ne soveltuvat monipuolisesti kaikenlaiseen hitsaukseen. Näiden lisäksi on muutamia muitakin hitsausprosesseja, joita käytetään enemmän erikoistarkoituksissa. Yleisesti hitsausvirtalähteiden näkökulmasta muissa prosesseissa käytetään samoja teorioita, kuin kolmessa yleisimmässä kaarihitsausprosessissa.

Plasmahitsauksessa lämmön lähteenä käytetään valokaarella muodostettua plasmaa. Prosessissa käytetään suojakaasun lisäksi erillistä plasmakaasua, joka johdetaan plasmasuuttimen läpi työkappaleen ja sulamattoman volframielektrodin väliin, jossa valokaaren lämpö muodostaa kaasusta plasmasuihkun [1]. Plasmahitsauksessa käytetään pääasiassa hitsaustasasuuntaajia tai hitsausinverttereitä. Plasmahitsaus on virtalähteen näkökulmasta samankaltaista kuin TIG-hitsaus, joten TIG-virtalähteet soveltuvat plasmahitsaukseen. [13] Plasmahitsausta käytetään lähinnä ruostumattomien terästen hitsauksessa, sillä sen avulla saadaan laadukkaita hitsausseamia, kun hitsataan kappaletta yhdeltä puolelta [1].

Jauhekaarhitsauksessa valokaari palaa hitsauslangan ja työkappaleen välissä hitsausjauheen alla. Hitsausjauheella pyritään eristämään hitsi, jolloin sula metalli ei reagoi ilmassa olevan hapen tai typen kanssa. Osa hitsausjauheesta sulaa hitsin päälle muodostaen sitä suojaavan kuonakerroksen. Ylimääräinen hitsausjauhe kerätään takaisin jauhesäiliöön, josta se palaa uudelleen hitsausprosessiin. Hitsausvirtalähteen näkökulmasta jauhekaarhitsaus muistuttaa MIG/MAG-hitsausta, ja yleisin virtalähdetyyppi on tasasuuntaaja. Jauhekaarhitsausta käytetään vaativissa ja suurissa teollisuuden sovelluksissa, kuten laivojen runkojen hitsauksissa tai suurten putkien ja palkkien pitkitäishitsauksissa. Jauhekaarhitsausvirtalähteet ovat kooltaan suuria ja ne on suunniteltu suurille virroille, esimerkiksi realistisen jauhekaarhitsausvirtalähteen käyttöalue on 800-1600 A. [13]

Robottihitsauslaitteisto sisältää yleensä ohjausjärjestelmän, kappaleenkäsittelylaitteen, hitsausvirtalähteen sekä muut hitsaukseen tarvittavat laitteistot, kuten hitsauslangan ja hitsauspolttimen. Robottihitsauksessa käytetään hyväksi lähes kaikkia hitsausprosesseja, mutta robotit hoitavat mekaanisen hitsaustyön. Hitsausrobotteja käytetään paljon teollisuudessa ja MIG/MAG-hitsaus on yleisin hitsausprosessi, joka korvataan hitsausrobotilla. Robottihitsauksen merkittävimpänä etuna voidaan pitää menetelmän turvallisuutta. Hitsausrobotit ovat lähtökohtaisesti sijoitettuna aidatuille alueille, jolloin vain valtuutetut henkilöt voivat suorittaa huolto- ja ohjelmointitoimenpiteitä roboteille. [13] Robottien suorittaessa hitsausta, ei myöskään henkilö altistu myrkyllisille hitsauskaasuille tai hitsausvalokaaren aiheuttamalle suurelle lämpökuormalle. Kookkaita metalleja hitsatessa riskitekijäksi muodostuu myös hitsin pitävyys, joka voi johtaa hitsattavan kappaleen romahtamiseen, jolloin hitsaaja saattaisi jäädä kappaleen alle. Hitsausrobotit soveltuvat liukuhihnatyypiseen työhön, jossa yksi robotti hitsaa aina tietyn osan valmistettavasta tuotteesta. Hyvä esimerkki tällaisesta on autonrakennuslinja, jossa jokainen robotti hitsaa auton runkoon tietyn osan kiinni. Robotit ovat väsymättömiä, nopeita ja tekevät tasalaatuista hitsisaumaa, joka on yleisesti laadukkaampaa, kuin käsin hitsatessa [13]. Hitsausrobottien heikkouksia ovat osaavien huoltajien ja ohjelmoijien jatkuva koulutuksen tarve sekä osien erittäin tarkka sijoittelu ennen hitsaustapahtumaa [13].

5. YHTEENVETO

Kaarihitsausvirtalähteiden toiminta perustuu virranmuunto-operaatioihin. Hitsausvirtalähteet sisältävät useita virranmuuntimia, joiden avulla virtaa muunnetaan muodosta toiseen ja lopulta saadaan ohjearvon mukainen ulostulovirta. Kaarihitsauksessa ratkaisevassa roolissa on ulostulovirran muodostama hitsausvalokaari. Valokaaren tulee olla tasainen ja helposti hallittavissa, jotta hitsaustapahtuma pysyy turvallisena ja tehokkaana, eikä aiheuta hitsiin ylimääräisiä roiskeita.

Tässä työssä tarkasteltiin erilaisia kaarihitsausvirtalähteitä sekä niiden käyttökohteita tehoelektroniikkakomponenttien näkökulmasta. Tehoelektroniikkakomponenttien kehitys on mahdollistanut virtalähteiden hintojen halpenemisen, hyötysuhteen kasvamisen sekä käytön monipuolistumisen. Tehoelektroniikan lisäys perinteisiin hitsausvirtalähteisiin, kuten hitsausmuuntajiin sekä hitsaustasasuuntaajiin, on laskenut häviöitä merkittävästi, mutta toisaalta laajentanut käytettävissä olevaa virta-aluetta, jolloin virtalähteellä voidaan hitsata paksumpia kappaleita. Tehoelektroniikan kehitys on myös mahdollistanut uusien hitsausvirtalähteiden, kuten hitsausinvertertien synnyn ja kehityksen. Hitsausinvertertien monikäyttöisyys, hyötysuhde sekä fyysiset ominaisuudet ovat kasvattaneet niiden suosiota, ja nykyään hitsauslaitteiden valmistajat hyödyntävät inverteritekniikkaa valtaosassa hitsauslaitteistoistaan.

Työn tavoitteena oli selvittää kaarihitsausvirtalähteiden toimintaperiaatteet, ominaisuudet sekä niiden sovelluskohteet. Työssä havainnollistettiin eri kaarihitsausvirtalähteiden topologiat sekä listattiin niiden tärkeimmät ominaisuudet. Yleisimmin käytetyistä kaarihitsausprosesseista tehtiin myös lyhyet esittelyt, joissa kerrottiin prosessissa käytetty hitsauslaitteisto, hitsausprosessin toiminta sekä otettiin kantaa yleisimmin käytettyyn virtalähdetyyppiin. Monet virtalähdetyypit soveltuvat samaan hitsausprosessiin, jolloin virtalähteen valinta saattaa olla monimutkaista. Huolellinen ja harkittu virtalähteen valinta helpottavat hitsaajan työtä sekä säästävät kokonaiskustannuksissa.

Tarkka ja nopea säätöteknologia on avainasemassa moderneissa hitsausvirtalähteissä, koska sen avulla pystytään huolehtimaan hitsausvalokaaren turvallisesta ja tehokkaasta käytöstä. Tehoelektroniikkakomponenttien käyttö hitsausvirtalähteissä mahdollistaa monimutkaisten säätöteknologioiden käytön, sillä komponenttien kytkentäaajuudet ja virtojen kestot ovat korkeita. Hitsausvirtalähteiden säätö perustuu mitattuun dataan, ku-

ten ulostulovirtaan sekä -jännitteeseen ja käyttäjän asettamaan ohjearvoon. Moderneissa hitsausvirtalähteissä onkin runsaasti säätöä helpottavia järjestelmiä, jotka osavat laskea tarvittavan hitsausvirran pelkän kappaleen materiaalin sekä paksuuden perusteella.

Tulevaisuudessa tekoäly, konenäkö sekä esineiden internet tulevat olemaan entistä suuremmissa rooleissa hitsauslaitteissa. Hitsausrobotiikan suosion kasvu johtaa teollisuuslaitoksissa suuriin investointeihin ohjelmoitavien logiikoiden, hitsausrobottien, valvomoiden sekä kunnossapidon johdosta. Robotiikan kasvu kuitenkin varmistaa laadun sekä turvallisemman työympäristön. Hitsausroboteissa käytetään runsaasti avustavia teknologioita, kuten antureita, kameroita sekä monimutkaisia ohjausalgoritmeja. Niiden kehitys mahdollistaa tarkan ja nopean säädön hitsausvirtalähteiden kriittisissä parametreissa. Niiden avulla pystytään myös mittaamaan hitsaustulosta välittömästi hitsauksen jälkeen, jolloin saadaan kattava palaute prosessin onnistumisesta. Välitön palaute helpottaa mahdollisten vikojen paikannusta, jolloin vikojen juurisyyn löytäminen on helpompaa. Tämä vähentää merkittävästi kustannuksia ja pitää hitsauksen laadun korkeana.

LÄHTEET

- [1] J. Lukkari, Hitsaustekniikka: perusteet ja kaarihitsaus, 4. tark. p. Opetushallitus, Helsinki, 2002.
- [2] Hitsaussanasto. Yleistermit, Suomen standardisoimisliitto, SFS-EN ISO 3052, Helsinki. 2020.
- [3] D.L. Olson, T.A. Siewert, S. Liu, G.R. Edwards, Welding, Brazing, and Soldering, ASM International, 1993.
- [4] K. Silvonen, Elektroniikka ja sähkötekniikka, Otatieto, Helsinki, 2018.
- [5] ”Mikä on diodi?”, Saatavissa (viitattu: 21.3.2022): <https://www.fluke.com/fi-fi/lue-lisaa/blogi/sahko/mika-on-diodi>
- [6] N. Mohan, W.P. Robbins, T.M. Undeland, Power Electronics: Converters, Applications, and Design, 3rd ed. John Wiley & Sons, 2003.
- [7] A.M. Trzynadlowski, Introduction to Modern Power Electronics, John Wiley & Sons, Hoboken, 2015, Saatavissa (viitattu: 18.3.2022): <http://ebookcentral.proquest.com/lib/tampere/detail.action?docID=4042987>
- [8] R.W. Erickson, D. Maksimović, Fundamentals of Power Electronics. 2nd ed. Kluwer Academic, New York, 2001.
- [9] ESAB, KHM 190 HS ja YS, Saatavissa (viitattu 10.4.2022): https://mam.esab.com/assets/1/430C284BB944436A9D2A3A32A40AD331/doc/1E8C88BABA6E4E7CBF459B084C309713/430400-fi_FI-FactSheet_Main-01.pdf
- [10] D.-H. Yun, W.-S. Lee, J.-Y. Lee, ja I.-O. Lee, A 3-Leg Inverter-Based High-Frequency Welding Power Supply Capable of AC 220 and 440-V Operation, IEEE transactions on power electronics, Vol.36, No.11, 2021.
- [11] Kemppi Oy, Minarc Evo, Saatavissa (viitattu 16.4.2022): <https://www.kemppi.com/fi-FI/tuotteet/family/minarc-evo/pdf/>
- [12] Hitsaussanasto. Kaarihitsaus, Suomen standardisoimisliitto, SFS-EN ISO 3054, Helsinki. 2020.
- [13] K. Weman, Welding Processes Handbook, Elsevier Science & Technology, Cambridge, 2011.