

Kimmo Ilves

Korkeajännitemuuntimet valvonta- ja suojausjärjestelmien kriittisissä virran ja jännitteen mitauksissa

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Automaatiotekniikka

Insinööriytyö

24.5.2016

Tekijä(t) Otsikko	Kimmo Ilves Korkeajännitemuuntimet valvonta- ja suojausjärjestelmien kriittisissä virran ja jännitteen mittauksissa
Sivumäärä Aika	63 sivua + 4 liitettä 24.5.2016
Tutkinto	Insinööri (AMK)
Koulutusohjelma	Automaatiotekniikka
Suuntautumisvaihtoehto	
Ohjaaja(t)	Myyntijohtaja Petteri Turkki, Sähkölehto Oy Lehtori Kai Virta, Metropolia
<p>Tämä insinöörityö tehtiin Sähkölehto Oy:lle, joka on erikoistunut asiakaskohtaisten tuote- ja ratkaisukokonaisuuksien toimittamiseen liitääntään, turvatekniikkaan, mittaukseen ja valvontaan sekä koneautomaatioon. Insinöörityön tarkoituksena on kehittää yrityksen asiantuntemusta galvaanisista erottimista ja muuntimista, tarjota standardien mukaisia laiteratkaisuja teollisuuden tarpeisiin sekä auttaa yrityksen myyntihenkilöitä löytämään oikeat kohderyhmät saksalaisen päämiehen Knick GmbH:n korkeajännitemuuntimille.</p> <p>Tärkeimpinä lähteinä tutkimuksessa on käytetty yritysten Knick GmbH:n ja Sähkölehto Oy:n sähköistä materiaalia ja teknistä tukea sekä sähkötekniikan kirjallisuutta ja standardeja.</p> <p>Tutkimuksen teoriaosuus selventää standardien ja direktiivien asettamia vaatimuksia galvaanisille erottimille sekä erotuksen toteuttavien laitteiden tärkeimpiä menetelmiä ja ominaisuuksia riittävän tarkkuuden saavuttamiseksi mittauksissa ja signaalinsiirroissa. Tutkimuksessa keskitytään saksalaisen mittaus- ja säätötekniikan laitevalmistaja Knick GmbH:n korkeajännitemuuntimiin. Työn tarkoituksena on kuvata korkeajännitemuuntimien tärkeimpiä ominaisuuksia ja teknisiä tietoja, esittää laitevalmistajan tekemiä ratkaisuja standardien pohjalta sekä selventää laitteiden käyttökohteita eri teollisuuden aloilla.</p> <p>Korkeajännitemuuntimien tuotekuvauksessa syvennytään erotusmuuntimien ja AC/DC-lähettimien välisiin eroihin ja tekijöihin, jotka vaikuttavat oikean laiteratkaisun valitsemiseen tuoteperheestä. Tuotekuvauksen yhteydessä tutustutaan myös korkeajännitemuuntimien kanssa virran mittauksessa käytettävän shuntin toimintaperiaatteeseen ja ominaisuuksiin. Työn lopussa käsitellään yhteenvetona P 40000 -sarjan erotusmuuntimien tyypillisiä käyttökohteita teollisuudessa sekä esitetään kaksi tuotteiden avulla toteutettua esimerkkiratkaisua.</p>	
Avainsanat	AC/DC-lähetin, erotusmuunnin, galvaaninen erotus, korkeajännitemuunnin, sähköturvallisuus

Author(s) Title	Kimmo Ilves High Voltage Transducers in Critical Current and Voltage Measurements of Monitoring and Protection Systems
Number of Pages Date	63 pages + 4 appendices 24 May 2016
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Automation Engineering
Specialisation option	
Instructor(s)	Petteri Turkki, Sales Director, Sähkölehto Oy Kai Virta, Senior Lecturer, Metropolia
<p>This final thesis was commissioned by Sähkölehto Ltd, a company specialized in delivering customized products and solutions for connector systems, industrial safety technology, measurements and control, and machine automation. The purpose of this thesis is to develop the company's expertise in galvanic isolators and converters, to provide standard-based solutions for the purposes of the industry as well as assist the company's sales forces to find the correct target groups for the high voltage transducers of the German principal Knick GmbH.</p> <p>The main sources of this study comprised of electronic materials and technical support of Knick GmbH and Sähkölehto Ltd, as well as literature and standards from the field of electrical engineering.</p> <p>The theoretical section of this thesis clarifies the requirements set by the standards and directives for galvanic isolators, as well as the main methods and features of the isolators in order to accomplish sufficient measurement and transmission accuracy. This study focuses on high voltage transducers by the German measurement and control technology manufacturer Knick GmbH. The aim of this study is to describe the main features and technical details of the high voltage transducers, to present standard-based solutions made by the manufacturer as well as to clarify the application of the equipment in different industrial sectors.</p> <p>The product description of the high voltage transducers focuses on the differences between high-voltage isolation amplifiers and AC/DC high-voltage transmitters, as well as the factors influencing the selection of a specific product solution from the product family. The product description also introduces the operating principle and characteristics of the shunt resistor utilized with the high-voltage transducer in current measurements. A summary of the typical industrial uses for P 40000 series high voltage transducers is included and two solution examples realized with the products are presented in the final section of this thesis.</p>	
Keywords	AC/DC high-voltage transmitter, galvanic isolation, high-voltage isolation amplifier, high voltage transducer, electrical safety

Sisällys

Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Yritysesittelyt	2
2.1	Sähkölehto Oy	2
2.2	Knick GmbH	3
3	Sähköturvallisuus, standardit, direktiivit	4
3.1	Yleistä standardeista	5
3.2	Standardi SFS-EN 61010-1	5
3.2.1	Ilma- ja pintavälit	6
3.2.2	Likaantumisasasteet	7
3.2.3	Ylijänniteluokat	8
3.2.4	Testijännite	9
3.2.5	Ylijännitteen kesto	9
3.3	Standardi SFS-EN 61140 (Turvallinen erotus)	10
3.4	Yleistä direktiiveistä	11
3.5	Pienjännitedirektiivi 2006/95/EY	11
3.6	EMC-direktiivi 2004/1008/EY	11
4	Mittaussignaalien siirtotarkkuuteen vaikuttavat tekijät	13
4.1	Yleisimmät häiriöiden aiheuttajat	13
4.1.1	Maasilmukat	13
4.1.2	Yhteismuotoiset jännitteet	14
4.2	Galvaanisten erottimien siirto-ominaisuudet	15
4.2.1	Erotusmenetelmä	16
4.2.2	Modulointimenetelmä	17
4.2.3	CMRR	19
4.2.4	T-CMRR	20
4.2.5	Rajataajuus ja nousuaika	22
4.3	Galvaanisten erottimien epäideaalisuudet	23
4.3.1	Offset-jännite ja offset-virta	23
4.3.2	Vahvistusvirhe	24
5	Knickin ProLine-sarjan korkeajännitemuuntimet	27

5.1	VariTrans P 40000	28
5.1.1	Mallit	29
5.1.2	Erotusominaisuudet	31
5.1.3	Siirto-ominaisuudet	32
5.1.4	Hyväksynät	33
5.2	VariTrans P 40000 TRMS	34
5.2.1	Mallit	36
5.2.2	Erotusominaisuudet	37
5.2.3	Siirto-ominaisuudet	37
5.2.4	Hyväksynät	38
5.3	VariTrans P 29000	38
5.3.1	Mallit	40
5.3.2	Erotusominaisuudet	40
5.3.3	Siirto-ominaisuudet	40
5.3.4	Asetukset	41
5.4	Maconic shunt	44
5.4.1	Toimintaperiaate	44
5.4.2	Ominaisuudet	44
5.4.3	Liitäntä	46
5.4.4	Valintatyökalu	47
6	P 40000 -sarjan erotusmuuntimille tyypillisiä käyttökohteita	49
6.1	Esimerkkisovellus 1	50
6.1.1	Järjestelmä	50
6.1.2	Suojausjärjestelmän komponentit	51
6.1.3	REG670 -generaattorin suojausalueen konfiguraatio	53
6.1.4	Ratkaisu	55
6.2	Esimerkkisovellus 2	56
6.2.1	Järjestelmä	56
6.2.2	Ratkaisu	57
7	Yhteenveto	59
	Lähteet	61
	Liitteet	
	Liite 1. KTA-hyväksyntä	
	Liite 2. Direktiivien vaatimustenmukaisuusvakuutus	
	Liite 3. Standardin UL 347 vaatimustenmukaisuustodistus	
	Liite 4. P 41000 D1 -mallin liitännät	

Lyhenteet ja käsitteet

AC	Alternating Current. Vaihtovirta. Sähkövirta, jonka suunta vaihtelee ajan funktiona.
DC	Direct Current. Tasavirta. Sähkövirta, joka kulkee piirissä vain yhteen suuntaan.
CTI	Eristysmateriaalin pintavirrankestävyysindeksi
EMC	Electromagnetic compatibility. Sähkömagneettinen yhteensopivuus.
CE	Conformité Européenne. Euroopan vaatimuksenmukaisuus.
EN	European Standard. Eurooppalainen standardi.
SFS	Suomen standardisoimisliitto SFS ry
CMRR	Common-mode rejection ratio. Yhteismuotoisten häiriöiden vaimennussuhde.
T-CMRR	Transient common-mode rejection ratio. Transienttien yhteismuotoisten häiriöiden vaimennussuhde.
PWM	Pulse width modulation. Pulssinleveysmodulaatio.
Rajataajuus	Systeemin itseisarvovasteessa kohta, jossa systeemin vahvistus on muuttunut 3 dB.
Jäännösaaltoisuus	Lähtösignaalissa häiriöjännitteenä esiintyvä aaltoisuus, joka jää tasajännitteeseen tasasuuntauksen jälkeen.
Offset-virta	Poikkeamavirta. Tasavirta, joka ilmestyy virheenä vahvistimen jompaankumpaan tuloon kun vahvistimen lähtöjännite on nolla.

Offset-jännite	Poikkeamajännite. Operaatiovahvistimen tulonavoissa esiintyvä jäännösjännite, kun sen lähtöjännite on nolla.
Vahvistusvirhe	Poikkeama ideaalisen anturin vahvistuksesta eli ideaalisen mittauslaitteen mittauskäyrän kulmakertoimesta.
Lämpötilakerroin	Kerroin, joka määrittää lämpötilan muutosten aiheuttamien muutosten suuruuden galvaanisen erottimen vahvistuksessa.
Unipolar	Unipolaarinen. Yksitasoinen.
Bipolar	Bipolaarinen. Kaksisuuntainen.
RMS	Root Mean Square. Neliöllinen keskiarvo.
True RMS	True Root Mean Square. Todellinen tehollisarvo.
Shuntti	Tarkkuusvastus, jota käytetään virran mittaamiseen.
Dip-kytkin	Kytkinpaketti, joka sisältää useita vaihtokytkimiä.
DIN-kisko	Standardoitu asennuskisko
GL	Germanischer Lloyd. Saksalainen luokituslaitos.
KTA	The Nuclear Safety Standards Commission (Kerntechnischer Ausschuss - KTA). Saksalainen ydinturvallisuusstandardi.
UL	Underwriters Laboratories. Yhdysvaltalainen turvallisuussertifiointiorganisaatio.
PLC	Programmable Logic Controller. Ohjelmoitava logiikka.
MIM	Milliampere Input Module. Muuntajamoduulikortti.
REG670	Generaattorin suojarile

1 Johdanto

Tämä insinööri työ tehtiin Sähkölehto Oy:lle. Työn toteutus sai alkunsa yrityksen sisällä heränneestä tarpeesta päivittää teknistä tietämystä galvaanisten erottimien ja muuntimien osalta sekä selvittää laitteiden käyttökohteita eri teollisuuden aloilla myyntihenkilöitä varten. Tutkimuksen taustalla ovat muutokset yrityksen henkilökunnassa sekä yrityksen tavoite kehittää jatkuvasti teknistä osaamista laadukkaan asiakaspalvelun varmistamiseksi. Tämän insinööri työn tarkoituksena on lisätä Sähkölehto Oy:n asiantuntemusta saksalaisen päämiehen Knick GmbH:n korkeajännitemuuntimista, tarjota standardien mukaisia laiteratkaisuja teollisuuden tarpeisiin sekä auttaa yrityksen myyntihenkilöitä löytämään oikeat kohderyhmät tuotteille.

Työn alussa esitellään lyhyesti toimeksiantajayritys sekä yrityksen saksalainen päämies Knick GmbH. Tutkimuksen rakenne koostuu kolmesta pääosasta, jotka ovat teoriaosuus, tuotekuvaus ja teollisuuden käyttökohteet tuotteille. Työn teoriaosuuksessa käsitellään standardien ja direktiivien asettamia vaatimuksia galvaanisille erottimille, galvaanisen erotuksen merkitystä sähköturvallisuuden ja mittaustarkkuuden kannalta, sekä erotuksen toteuttavien laitteiden tärkeimpiä menetelmiä ja ominaisuuksia, joilla varmistetaan mittaussignaalien tarkka siirtäminen.

Tuotekuvauksessa keskitytään saksalaisen mittaus- ja säätötekniikan laitevalmistaja Knick GmbH:n korkeajännitemuuntimiin. Korkeajännitemuuntimien kuvauksessa käsitellään laitteiden teknisiä tietoja ja ominaisuuksia sekä laitevalmistajan tekemiä ratkaisuja sähköturvallisuus- ja rautatiestandardien pohjalta. Tuotekuvauksen yhteydessä perehdytään myös korkeajännitemuuntimien kanssa virran mittauksessa käytettävän shuntin toimintaperiaatteeseen ja ominaisuuksiin.

Työn viimeisessä osassa kuvataan lyhyesti P 40000 -sarjan erotusmuuntimien tyypillisiä käyttökohteita teollisuudessa sekä esitetään kaksi esimerkkiratkaisua, joissa laitteiden avulla on toteutettu suojaustoiminto DC-verkossa.

2 Yritysesittelyt

Tässä luvussa esitellään työn toimeksiantanut yritys Sähkölehto Oy sekä saksalainen automaatiolaittevalmistaja Knick GmbH, jonka tuotteisiin tämä tutkimus keskittyy. Knick GmbH on yksi 14:stä Sähkölehto Oy:n eurooppalaisesta päämiehestä. [1.]

2.1 Sähkölehto Oy

Sähkölehto Oy on suomalainen vuonna 1954 perustettu perheyritys, joka on erikoistunut sähkö- ja koneautomaation laitteiden ja palveluiden toimittamiseen eri teollisuuden aloille. Yrityksen tuotevalikoima tarjoaa laiteratkaisuja liitännään, turvatekniikkaan, mittaukseseen ja valvontaan sekä automaatioon. Yrityksen palveluiden perustana ovat laadukas tuotevalikoima, henkilökohtainen palvelu sekä tekninen osaaminen. [1; 2.]

Sähkölehto toimii läheisessä yhteistyössä tunnettujen keskieuropalaisten automaatiolaittevalmistajien kanssa. Yritys edustaa, myy ja markkinoi näiden valmistajien tuotteita Suomessa. Tuotteet tilataan asiakkaan tarpeiden mukaan valmistajalta tai toimitetaan asiakkaalle yrityksen omasta puskurivarastosta. Yritys pyrkii parantamaan asiakkaitten kilpailukykyä ja kannattavuutta tarjoamalla standardituotteiden lisäksi myös asiakaskohtaisia ratkaisuja. Sähkölehdon laajan tuotevalikoiman ansiosta yrityksen asiakaskunta on levittäytynyt eri teollisuuden haaroihin Suomessa ja Baltian maissa. [1; 2.]

Sähkölehdon toimitilat sijaitsevat Helsingissä, Roihupellossa, johon on keskitetty tekninen asiantuntijapalvelu, hallinto ja varasto. Yrityksen palveluksessa on tällä hetkellä 14 työntekijää, joista suurin osa toimii asiakasrajapinnassa: kuusi henkilöä myynnissä ja kolme tuotepäällikköä. [1; 2.] Kuvassa 1 on Sähkölehto Oy:n logo.

The logo for Sähkölehto Oy features the company name in a bold, blue, sans-serif font. The word 'SÄHKÖLEHTO' is written in all caps, with a registered trademark symbol (®) positioned to the upper right of the final 'O'.

Kuva 1. Sähkölehto Oy:n logo [1]

2.2 Knick GmbH

Knick GmbH on saksalainen vuonna 1945 perustettu sähkötekniisen alan yritys, joka kehittää ja myy mittaus- ja säätötekniikan laitteita erityisesti teollisuuden analogiasignaalien käsittelyyn. Noin 50 % yrityksen liikevaihdosta koostuu erotusmuuntimista ja lähettimistä. Toinen puolisko koostuu prosessiteollisuuden PH-mittalaitteista sekä laboratorio-mittareista ja -näytöistä. [3; 4.]

Knick tuli tunnetuksi 1970-luvun alussa erityisesti mittaussignaalien muuntamisessa, kun se lanseerasi ensimmäisen tasavirtaerotusmuuntimensa. Knick kehitti ensimmäisenä maailmassa 3-suuntaisella galvaanisella erotuksella varustetun aktiivisen viestinerottimen, joka oli sijoitettu ainoastaan 6 mm leveään koteloon. [3; 4.]

Yrityksen tuotteita käytetään laajasti teollisuudessa esimerkiksi teollisuusautomaatiossa, energian tuotannossa, laitostekniikassa, kemian teollisuudessa sekä bioteknologiassa. Knickin galvaanisilla erottimilla on 5 vuoden takuu. Niiden laadun ja luotettavuuden ansiosta, ne ovat levinneet laajalle mittaus- ja ohjaustekniikassa ympäri maailman. Knickin laadunhallinta on sertifioitu standardin ISO 9001 mukaisesti jokaisella yrityksen osa-alueella. [3; 4.]

Yrityksen toiminta on keskitetty Berliiniin, jossa työskentelee 175 henkilöä tuotannon, laadunvalvonnan, myynnin ja hallinnon tehtävissä. Yrityksellä on omat kansainväliset konttorit Sveitsissä, Ranskassa, USA:ssa, Braziliassa ja Kiinassa. Tämän lisäksi Knickillä on yhteensä 39 valtuutettua edustajaa Euroopan maissa sekä tärkeissä teollisuusmaissa muilla mantereilla. [3.] Kuvassa 2 on Knick GmbH:n logo.

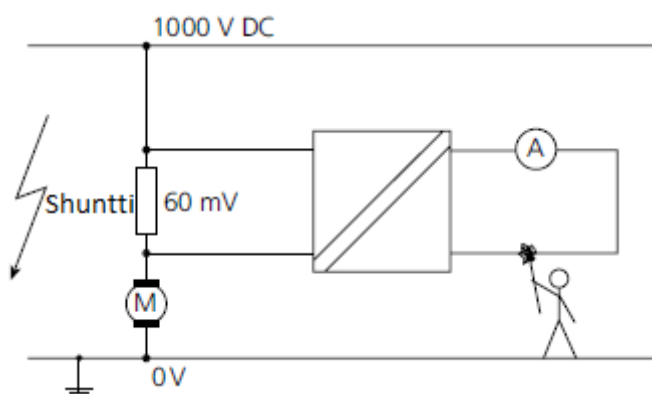


Kuva 2. Knick GmbH:n logo [3]

3 Sähköturvallisuus, standardit, direktiivit

Sähköturvallisuuden merkitystä ei voi väheksyä, kun ollaan korkeiden jännitteiden vaikutusalueella. Jos mitattava signaali on alueella, jossa esiintyy säännöllisesti korkeita jännitteitä, se täytyy pitää erillään ohjaustekniikasta, toisin sanoen se täytyy olla riittävästi erotettu. Mittausjärjestelmien puutteellinen erotustaso voi johtaa laitevaurioihin ja aiheuttaa vakavia seurauksia näissä ympäristöissä työskenteleville käyttö- ja huoltohenkilöille. [4.]

Galvaanisen erotuksen avulla fyysisesti ja sähköisesti erotetaan mittauslaitteen tai järjestelmän kaksi eri osaa ja se voidaan luokitella sähköiseksi erotukseksi sekä turvalliseksi erotukseksi. Sähköisen erotuksen avulla eliminoidaan varauksenkuljettajien siirtyminen eri potentiaalissa olevien järjestelmän osien välillä. Sähköenergiaa tai informaatiota voi kuitenkin siirtyä eri osien välillä induktanssin, kapasitanssin, sähkömagneettisen kentän tai sähkömekaniikan välityksellä. Turvallinen erotus viittaa standardeihin, joissa on määritelty erityiset vaatimukset, joilla estetään ihmisten joutuminen kosketuksiin vaarallisten jännitteitten kanssa (kuva 3). Standardeissa on myös määritetty sähkölaitteita ja järjestelmiä koskevat vaatimukset, joilla estetään korkeiden jännitteiden sekä transienttien ylijännitteiden siirtyminen muihin sähköjärjestelmän osiin altistaen laitteistot sekä näissä ympäristöissä työskentelevät henkilöt vaaraan. Kun eristysjärjestelmän komponentit valitaan standardeissa määriteltyjen suojaustasojen mukaisesti, varmistetaan 100 %:n turvallisuusmarginaali normaaliolojen lisäksi myös yhden vian olosuhteissa. [5; 6; 7.]



Kuva 3. Turvallinen erotus (muokattu lähteestä [4])

3.1 Yleistä standardeista

Euroopan unionin alueella yhdenmukaistetut standardit on luotu täsmentämään direktiivihin liittyviä vaatimuksia. Yhdenmukaistetuissa standardeissa esitetään yksityiskohtaisempia teknisiä määräyksiä, joiden tarkoituksena on auttaa laitevalmistajia EU-direktiiveissä esitettävien vaatimusten toteuttamisessa. Yhdenmukaistettujen standardien noudattaminen on vapaaehtoista, mutta laitevalmistajalla on velvollisuus osoittaa laitteiden direktiivien mukaisuus joillain muulla tavoin, esimerkiksi erilaisten osoittamismenettelyjen avulla tai riskinarviointeja käyttäen. [8.]

3.2 Standardi SFS-EN 61010-1

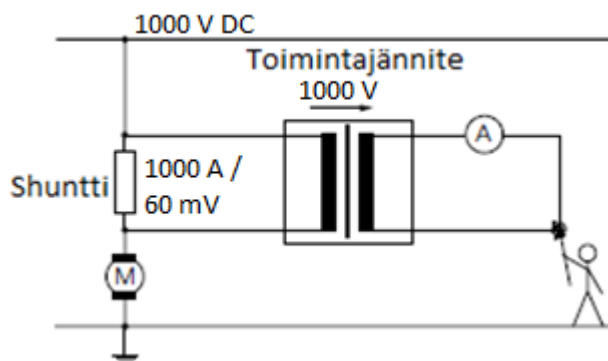
SFS-EN 61010-1 on sähköturvallisuusstandardi, joka määrittelee sähköisiä testaus- ja mittaustaitteita, teollisuusprosessien säätölaitteita sekä sähköisiä laboratoriolaitteita koskevat yleiset turvallisuusvaatimukset, jotka varmistavat, että laitteen käyttäjään ja ympäristöön kohdistuvat vaarat ovat hyväksyttävällä tasolla. Standardin tarkoituksena on suojata käyttäjää sekä ympäristöä seuraavilta vaaroilta:

- sähköisku
- mekaaniset vaarat
- tulen leviäminen laitteesta
- korkea lämpötila
- nesteiden ja nesteen paineen vaikutukset
- säteilyn vaikutukset
- kaasujen vapautuminen.

Tässä standardissa on määritelty vaadittavat suojaustoimenpiteet suojaukseen sähköiskuilta normaalioloissa ja yhden vian tapauksissa, sekä laitteita koskevat eristysvaatimukset.

set. [9.] Nämä suojausmenetelmät ja eristysvaatimukset käydään tässä työssä läpi standardin SFS-EN 61140 yhteydessä. Standardi SFS-EN 61010-1 sisältää myös menetelmät, joilla laitteen standardien mukaisuus määritetään tarkastamalla, tyyppitestein, kapalestein sekä riskinarvioinnilla. Laittevalmistajia koskeva standardi on yhdenmukaistettu pienjännitedirektiivin (2006/95/EY) kanssa. [4; 9.]

Galvaanisten erottimien toimintajännitettä koskevat vaatimukset on määritelty tässä standardissa. Toimintajännite ilmaisee sallitun potentiaalieron laitteen eri piirien välillä (kuva 4). Tässä työssä tutkimuksen kohteena olevien Knickin korkeajännitemuuntimien osalta toimintajännite määrittää sallitun potentiaalieron tulon, lähdön ja apujännitepiirin välillä. Laitteelle määritellyistä toimintajännitteen arvoista korkeimmat yleensä kytketään tulon ja lähdön tai tulon ja apujännitepiirin välillä. Sallittu toimintajännite lähdön ja apujännitepiirin välillä voi olla alhaisempi. On huomattava, että komponenttien erottamiseen käytettävien fyysisten eristysten sähkölujuus ei ole ainoa tekijä, joka määrittää galvaanisen erottimen sallitun toimintajännitteen suuruuden. Tämän lisäksi myös laitteen rakenteelliset ominaisuudet, kuten ilma- ja pintavälit sekä ulkoiset vaikutteet, erityisesti likaantumisaste ja ylijänniteluokka, vaikuttavat toimintajännitteen suuruuteen. [4.]



Kuva 4. Galvaanisen erottimen toimintajännite (muokattu lähteestä [4])

3.2.1 Ilma- ja pintavälit

Ilmavälillä tarkoitetaan lyhyintä etäisyyttä ilmassa, jonka sähkö voi kulkea kahden johtavan osan välillä. Pintaväli on lyhyin etäisyys eristysaineen pintaa pitkin mitattuna, jonka sähkö voi kulkea kahden johtavan osan välillä. Laitteen toimintajännitteen tehollisarvo (RMS) määrittää pintaväli etäisyyden vähimmäisarvon piirilevyllä. Vastaavasti lyhyin ilmaväli riippuu laitteen toiminnallisen huippujännitteen arvosta (peak working voltage). Tällä tarkoitetaan laitteen toimintajännitteen aaltomuodon huippuarvoa. [9, s. 23; 10.]

Ilmavälien tulee olla mitoitettu siten, että laitteessa ilmenevät ylijännitteet ja transientit jännitteet sekä huippujännitteet eivät aiheuta ylilyöntiä ilmavälissä. Laitteen pintavälit mitoitetaan niin, että laitteelle määritellyllä tehollisarvolla toimintajännitteellä ja likaisuusasteella ei aiheudu läpilyöntejä eikä fyysisen eristyksen hajoamista. Pintavälien suuruus on myös riippuvainen laitteen eristysmateriaalin pintavirran kestoisuudesta CTI. Materiaaliryhmään I kuuluvat materiaalit, joiden CTI-arvo on vähintään 600. Ryhmän II materiaalien CTI-arvo on alle 600, mutta vähintään 400. Ryhmään IIIa kuuluvat materiaalit, joiden CTI-arvo on pienempi kuin 400, mutta vähintään 175. Materiaaliryhmässä IIIb CTI-arvo on vähintään 100, mutta alle 175. [9, s. 49; 10.]

3.2.2 Likaantumisasiest

Likaumisaste vastaa niitä ympäristöoloja, joihin galvaaninen erotin on tarkoitettu. Standardissa SFS-EN 61010-1 on määritetty neljä likaumisastetta, jotka määrittävät mikroympäristön likaumisasteen pinta- ja ilmaväliarvoja varten. Likauminen voi pienentää jännitelujuutta tai pinnan resistiivisyyttä, joten vaativammissa olosuhteissa laitteiden rakenteelta vaaditaan korkeampaa suojausta. [7.]

Likaumisaste 1

Ei esiinny ollenkaan tai esiintyy ainoastaan sähköä johtamatonta likaumista. [9, s. 23.]

Likaumisaste 2

Esiintyy ainoastaan sähköä johtamatonta likaumista. Satunnaista, väliaikaista sähköjohtavuutta voi esiintyä kondensoitumisen seurauksena. [9, s. 23.]

Likaumisaste 3

Esiintyy sähköä johtavaa likaumista tai kuivaa, sähköä johtamatonta likaumista, joka tulee johtavaksi kosteuden tiivistymisen seurauksena. [9, s. 23.]

Likaumisaste 4

Likauminen, esimerkiksi johtavan pölyn, sateen tai lumen aiheuttamana kehittyy pysyvästi sähköä johtavaksi. [9, s. 23.]

3.2.3 Ylijänniteluokat

Standardissa SFS-EN 61010-1 on määritetty neljä ylijänniteluokkaa, jotta verkkosyötön eri osien välillä saavutetaan eristyskoordinaatio. Ylijänniteluokkia käytetään kuvaamaan laitteiden transienttiylijännitteiden kestoisuutta ja ne erottavat eri tasoja laitteiden käytettävyyden arvioimiseksi huomioiden vaaditun toiminnan jatkuvuuden sekä hyväksyttävän vikaantumisriskin. Transienttiylijännitteellä tarkoitetaan lyhytaikaista ylijännitettä, jonka pituus on enintään muutamia millisekunteja. [9, s. 125; 11.]

Ylijänniteluokka I

Ylijänniteluokka I koskee laitteita, jotka soveltuvat liitettäväksi piireihin, joissa transienttiylijännitteiden rajoittaminen riittävän alhaiselle tasolle tehdään laitteen ulkopuolella. [9, s. 125.]

Ylijänniteluokka II

Ylijänniteluokka II koskee laitteita, jotka kuluttavat energiaa ja soveltuvat liitettäväksi rakennuksen kiinteisiin sähköasennuksiin [9, s. 125].

Ylijänniteluokka III

Ylijänniteluokka III koskee laitteita, jotka ovat osa kiinteää sähköasennusta ja joilta vaaditaan erityistä turvallisuutta sekä hyvää käytettävyyttä. Tällainen laite sisältää pistorasioita, varoketauluja sekä eräitä verkkosyötön ohjauslaitteita. [9, s. 125.]

Ylijänniteluokka IV

Ylijänniteluokan IV laite soveltuu käytettäväksi asennuksen syöttöpisteessä tai sen läheisyydessä pääkeskuksen syötön puolella [9, s. 125].

3.2.4 Testijännite

Galvaanisissa erottimissa fyysisen erotuksen toteuttavien eristysmateriaalien jännitelujuus on moninkertainen laitteen sallittuun toimintajännitteeseen verrattuna. Erotuksen toteuttaville laitteille tehdään standardin SFS-EN 61010-1 mukainen kappaletestaus määrättyllä testijännitteellä, jotta voidaan varmistaa, että laitteen toimintajännitteelle määritellyt raja-arvot pitävät paikkansa. Testijännite voi olla vaihto-, tasa- tai pulssijännitettä ja se määritellään laitteen ylijänniteluokan mukaisesti. Kun tehdään vaihto- tai tasasähkötesti, laitteen tulon, lähdön ja apujännitepiirin välille kytkettävä testijännite nostetaan määrättyyn arvoon 5 sekunnin kuluessa ja pidetään tässä arvossa vähintään 2 sekuntia. Testin aikana laite ei saa vaurioitua eikä sen rakenteessa saa tapahtua ilmapälyntä tai kiinteän eristyksen läpilyöntiä. Testijännitettä voidaan myös käyttää jännitelujuuden parametrina toimintajännitteen sijaan erikseen määriteltäessä. Sen täytyy tässä tapauksessa olla laitetta koskevien direktiivien määrittelemän kertoimen verran korkeampi kuin korkein mahdollinen potentiaaliero erotettavien piirien välillä. [4; 9, s. 111–112.]

3.2.5 Ylijännitteen kesto

Teollisuuslaitoksissa transienttiylijännitteitä, joiden nousunopeus on $1000 \text{ V}/\mu\text{s}$, esiintyy erityisesti verkon kytkentätapahtumien seurauksena. Tällainen ylijännite voi johtaa herkien elektroniikkakomponenttien vaurioitumiseen. Galvaanisten erottimien ylijännitteen sietokyky testataan standardin IEC 61180-1 mukaisesti positiivisilla ja negatiivisilla pulsseilla pulssin kestoajan ollessa joko $1,2 \mu\text{s}$ tai $50 \mu\text{s}$. Pulssijännitetestissä jokaiseen napaisuuteen annetaan vaikuttaa vähintään kolme pulssia vähintään 1 sekunnin välein. Pulssijännitetestiin pätevät samat vaatimukset kuin vaihto- ja tasasähkötestiin. Testijännite määritellään laitteen ylijänniteluokan mukaisesti, ja testin aikana laite ei saa vaurioitua eikä sen rakenteessa saa tapahtua ilmapälyntä tai kiinteän eristyksen läpilyöntiä. Jännitepulssitestissä sallitaan aaltokäyrän askelina ilmenevät osittaiset purkaukset, jotka esiintyvät aiempien pulssien aikana. Kun pulssijännitetestillä tarkastetaan laitteen sisäisiä ilmapälyntäjä, täytyy varmistaa, että pulssijännite vaikuttaa ilmapälyntäin. Testattavan eristyksen kanssa rinnan kytketyt jännitettä rajoittavat laitteet ja suojaimpedanssi on kytkettävä irti. [4; 9, s. 61, s. 111.]

3.3 Standardi SFS-EN 61140 (Turvallinen erotus)

Standardissa SFS-EN 61140 on määritelty sähköjärjestelmiä ja -laitteita koskevat peruseriaatteen ja vaatimukset riittävän suojauksen toteuttamiseen sähköiskuilta normaaliolosuhteissa sekä yhden vian olosuhteissa. Standardin mukainen turvallinen erotus määrittää siten vaatimukset, jotka sähkövirtapiirien välisen galvaanisen erotuksen tulee täyttää. Standardin mukaan perussuojaus riittää suojaamaan sähköiskuilta normaaliolosuhteissa ja vikasuojaus tarvitaan suojauksen toteuttamiseen yhden vian tilanteissa. Vikasuojauksella käytetään pääasiassa varmistuksena perussuojauksen vikaantuessa. Vikasuojauksella voidaan toteuttaa perussuojauksesta erillisellä lisäsuojaustoimenpiteellä tai lisätyllä suojauksella, joka toteuttaa sekä perussuojauksen että vikasuojauksen ehdot. Perussuojauksen toteuttamiseen käytetään peruseristystä. Vikasuojauksella voidaan toteuttaa vaihtoehtoisesti lisäeristyksellä, joka on mitoitettu kestävämmän samat rasitukset kuin mitä on määritetty peruseristykselle tai vahvistetulla eristyksellä, jonka tulee kestää luotettavasti samat rasitukset kuin kaksoiseristys. [4; 12, s. 28–44.]

Turvallisella erotuksella viitataan eristysjärjestelmään, jossa piirien välinen suojaerotus on toteutettava joko peruseristyksellä ja lisäeristyksellä, jotka molemmat on mitoitettu suurimmalle esiintyvälle jännitteelle tai vahvistetulla eristyksellä, joka on mitoitettu suurimmalle esiintyvälle jännitteelle. Suojaerotuksen tarkoituksena on suojata seuraavia laitteita ja henkilöitä korkeilta jännitteiltä. Näin vältetään laitteistovauriot järjestelmissä ja ehkäistään vakavat henkilövahingot. Korkean turvallisuustason saavuttaminen täytyy varmistaa laitteen rakenteellisilla toimilla, kuten sopivilla ilma- ja pintaväleillä, sekä sisäisten erotuskomponenttien eristysominaisuuksilla. Tämä tarkoittaa, että perusnormin vaatimukset vaikuttavat suoraan galvaanisten erottimien rakenteeseen. Turvallisen erotuksen määritelmä sisältää laitteen toimintajännitteen lukeman siihen asti, johon suojaerotuksen kestävyys voidaan varmistaa. [4; 12, s. 42.]

3.4 Yleistä direktiiveistä

Euroopan unionin alueella sähkölaitteita koskevat vaatimukset on määritelty direktiiveissä, asetuksissa ja päätöksissä sekä kansallisissa lainsäädännöissä. Euroopan neuvosto ja parlamentti antavat direktiivejä, jotka jokainen EU-alueen jäsenvaltio on velvollinen ottamaan käyttöön omassa lainsäädännössään. Direktiivinmukaisuuden osoittamiseksi tuotteisiin tai niiden pakkauksiin on kiinnitettävä CE-merkintä. Tuotteen käyttö ja tuonti Euroopan talousalueen markkinoille edellyttää tätä merkintää. [13.]

3.5 Pienjännitedirektiivi 2006/95/EY

Pienjännitedirektiivin 2006/95/EY soveltamisalaan kuuluvat kaikki sähkölaitteet, jotka on suunniteltu käytettäväksi nimellisjännitealueella 50–1000 V:n vaihtovirralla ja 75–1500 V:n tasavirralla. Pienjännitedirektiivillä varmistetaan, että sähkölaitteet on valmistettu turvallisuusvaatimusten mukaisesti eivätkä aiheuta vaaraa henkilöiden turvallisuudelle tai omaisuudelle. Direktiivin mukaan laite ei saa aiheuttaa vaarallisia lämpötiloja, valokaaria tai säteilyä, ja sen eristys tarjoaa riittävän suojan odotettavissa olevilta ympäristöolosuhteilta. [14.]

3.6 EMC-direktiivi 2004/1008/EY

Riittävän EMC-suojauksen merkitys korostuu nykyään mittaus- ja säätötekniikassa, sillä häiriöitä säteilevien laitteiden sekä nykyaikaisen mikroelektroniikan käyttö on tasaisesti lisääntynyt kaikilla teollisuuden aloilla. Teho- ja mikroelektroniikan keskenäinen vuorovaikutus, sekä mikroelektroniikkakomponenttien jatkuvasti alhaisempi energiavaatimus ja samanaikaisesti lisääntynyt käsittelynopeus ovat johtaneet kasvavaan herkkyyteen sähkömagneettisille häiriöille. [4.]

EMC-direktiivi 2004/1008/EY koskee laitteita, jotka voivat aiheuttaa sähkömagneettisia häiriöitä tai joiden toimintaan sähkömagneettinen häiriö voi vaikuttaa. Häiriö voi olla sähkömagneettista kohinaa, ei-toivottu signaali tai muutos signaalin etenemisympäristössä. Sähkömagneettiset häiriöt voivat aiheuttaa toimintahäiriöitä tai jopa suojaamattomien elektronisten laitteiden täydellisen vikaantumisen. Direktiivissä on määritetty laitteen suojausvaatimuksena, että laitteen tuottama sähkömagneettinen häiriö ei saa olla sillä

tasolla, jolla radio/puhelinliikenne kulkee, ja laitteella tulee olla vaadittava häiriönsietokyky, jotta se toimii oikein. [4; 15.]

Laitteen sähkömagneettisen yhteensopivuuden vaatimusten täyttämiseksi, tulee laitevalmistajan noudattaa yhdenmukaistettuja EMC-standardeja, sillä EMC-direktiivissä määritellään ainoastaan olennaiset laitteen suunnittelua koskevat vaatimukset. Galvaanisten erottimien yhteydessä sovelletaan EMC-standardia EN 61326-1, jossa on määritetty raja-arvot sähkömagneettisen yhteensopivuuden osalta mittaukseen, säätöön ja laboratorikäyttöön tarkoitetuille sähköisille laitteille. [4; 15.]

4 Mittaussignaalien siirtotarkkuuteen vaikuttavat tekijät

Kun teollisuusympäristöissä siirretään analogisia mittaus- ja ohjaussignaaleja, asettavat transientit signaalit, yhteismuotoiset jännitteet sekä eri maapotentiaalit omat haasteensa mittausjärjestelmien tarkkuudelle [5]. Näissä ympäristöissä häiriöjännitteet voivat olla useita kilovoltteja hyötysignaalien ollessa millivolttien luokkaa ja signaalit täytyy usein kuljettaa tuhansien volttien jännite-eron yli [16]. Sähköenergian määrän ollessa suuri järjestelmän eri osissa ovat valvonta- ja suojausjärjestelmille asetetut vaatimukset vianpaikannuksen suhteen todella korkeat. Havaitsematta jäänyt oikosulku voi muodostaa suuren vaaran henkilöille ja aiheuttaa vaurioita järjestelmän komponenteille. Vianpaikannuksen täytyy olla tarpeeksi herkkä, jotta varmistetaan turvallinen alasajo vikatilanteissa. Riittävän herkkyyden lisäksi vaaditaan mittauslaitteilta korkeaa tarkkuutta, jotta erotetaan vikatilanteet järjestelmän tavallisesta toiminnasta. [17.] Signaalinvaihtelun aiheuttamat ylityspiikit, signaalinvaihtelun napaisuuden muutokset sekä kanttiaallon epästabiilisuus siirrettäessä voivat aiheuttaa signaalinvääristymiä, jotka tulevat huomatuksi vasta tilanteissa, kun käytön aikana ilmenee selittämättömiä virheitä. Lisäksi galvaanisten erottimien lähtösignaalien kerrostumisen aiheuttavan jäännösaaltoisuuden pitäisi olla mahdollisimman matala, koska muuten mittausvirheitä ei voida täysin sulkea pois. [4.]

Tässä luvussa tarkastellaan virta- ja jännitesignaalien siirtotarkkuuden kannalta keskeisimpiä tekijöitä. Aluksi luvussa 4.1 esitellään lyhyesti kaksi yleisintä häiriön aiheuttajaa signaalinsiirroissa; maasilmukat ja yhteismuotoiset jännitteet. Luvussa 4.2 tarkastellaan galvaanisten erottimien tärkeimpiä ominaisuuksia ja menetelmiä, joilla pyritään minimoimaan siirrettävän signaalinvääristyminen. Lopuksi luvussa 4.3 tarkastellaan laitteiden epäideaalisuuksia, jotka esiintyvät mittaussignaalien muunnosten yhteydessä. Näiden tekijöiden lisäksi täytyy huomioida, että virtasignaalit ovat vähemmän häiriöherkkiä kuin jännitesignaalit, joten niitä tulee suosia erityisesti pidemmällä siirtoreiteillä. [4.]

4.1 Yleisimmät häiriöiden aiheuttajat

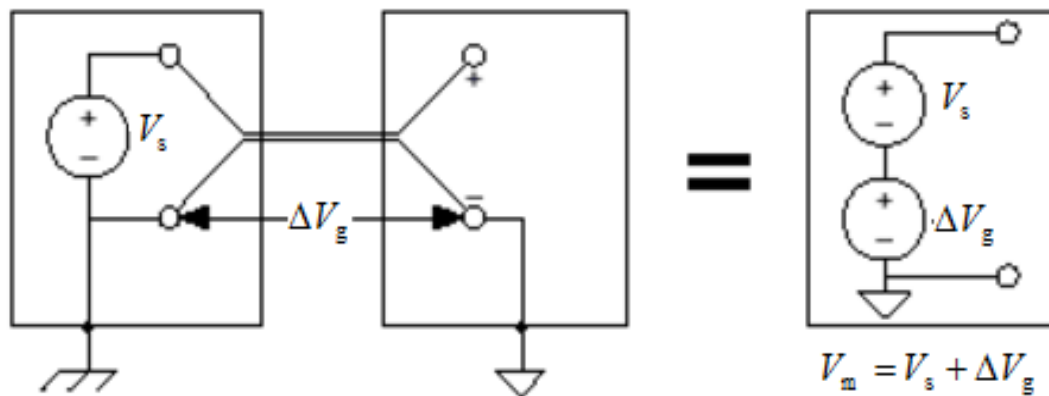
4.1.1 Maasilmukat

Maasilmukat ovat yleisimpiä häiriösignaalien aiheuttajia mittausjärjestelmissä. Kun kaksi yhdistettyä piirielementtiä ovat eri maapotentiaaleissa, alkaa näiden välillä kulkea potentiaalieron vaikutuksesta sähkövirta, joka aiheuttaa häiriöitä siirrettävään signaaliin. Jos

mittaussignaalilla on esimerkiksi pitkä etenemistie valvomoon, potentiaalieroja voi esiintyä mittauspisteen ja ohjauslaitteiston välillä aiheuttaen merkittäviä mittausvirheitä. Potentiaaliero aiheuttaa virheen mitattuun jännitteeseen V_m , joka saadaan laskettua yhtälöllä

$$V_m = V_s + \Delta V_g, \quad (1)$$

jossa V_s on signaalijännite ja ΔV_g potentiaaliero, joka esiintyy signaalilähteen referenssipisteen ja mittausjärjestelmän referenssipisteen välillä. [4; 6.] Tätä on havainnollistettu kuvassa 5.

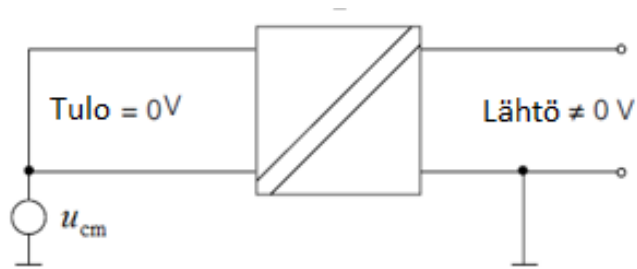


Kuva 5. Maasilmukan aiheuttama mittausvirhe (muokattu lähteestä [6])

Häiriövirrat voivat esiintyä joko transienteina tai jaksollisina signaaleina, mikä tekee mittausjärjestelmästä hyvin epätarkan. [6.]

4.1.2 Yhteismuotoiset jännitteet

Jos sama jännite u_{cm} kytketään maahan symmetrisen vahvistimen molemmissa tulojohdissa, vahvistimen tulojännite pysyy nollana. Idealisesti symmetrisessä vahvistimessa myös lähtöjännite pysyisi nollassa. Näin ei kuitenkaan ole todellisissa vahvistimissa, sillä osa yhteismuotoisesta jännitteestä u_{cm} esiintyy vahvistimen ulostulossa. [4.] Tätä on havainnollistettu kuvassa 6.



Kuva 6. Yhteismuotoinen jännite (muokattu lähteestä [4])

Yhteismuotoinen jännite esiintyy vahvistimen lähtöpuolella aina silloin, kun signaalijännite ei ole maapotentiaalissa, toisin sanoen, kun vahvistimen kahden tulojohtimen ja maan välillä on potentiaaliero. Näin tapahtuu esimerkiksi shunttivastuksen avulla toteutettavissa virran mittauksissa, joissa mittausvastus on korkeassa potentiaalissa maahan nähden. Yhteismuotoinen jännite voi myös esiintyä yhteismuotoisena häiriönä erilaisten verkon kytkentätoimenpiteitten seurauksena johtuen tasausvirroista tai kohinasta signaalijohtimissa. [4.] Periaatteessa ei-toivotut yhteismuotoiset jännitteet esiintyvät jokaisen shunttivirta-anturin lähtösignaalissa. Mittauselektroniikan ominaisuuksilla voidaan kuitenkin vähentää tätä vaikutusta, jotta ei häiritä järjestelmän moitteetonta toimintaa. [17.]

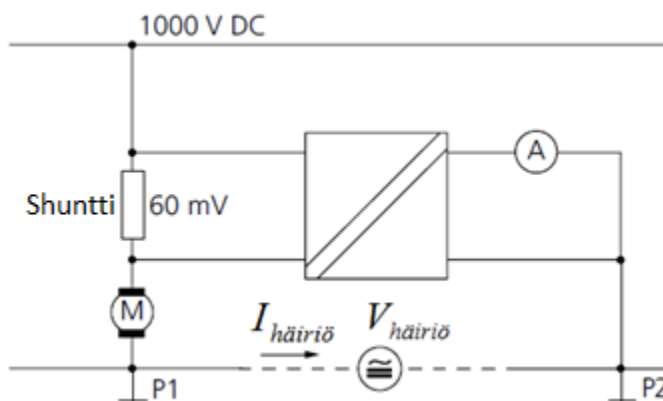
4.2 Galvaanisten erottimien siirto-ominaisuudet

Galvaanisella erotuksella on suuri merkitys, kun halutaan varmistaa mittaussignaalin laatu. Galvaanisissa erottimissa käytettävän erotus- ja modulointimenetelmän lisäksi mittaussignaalin vääristymistä pyritään minimoimaan laitteiden ominaisuuksien avulla. Galvaanisten erottimien keskeisimpiä ominaisuuksia tarkan signaalin siirtämisen varmistamiseksi ovat CMRR, T-CMRR, rajataajuus sekä nousuaika. [4; 16.]

Tässä luvussa käytetään esimerkkinä saksalaisen mittaus- ja säätötekniikan laitevalmistaja Knickin korkeajännitemuuntimia, jotka on tarkoitettu kohteisiin, joissa vaaditaan korkealaatuinen mittaustieto ohjausjärjestelmiä varten. Korkeajännitemuuntimet ovat galvaanisia erottimia, joista käytetään myös nimitystä erotusvahvistin. [4.] Erotusvahvistimella tarkoitetaan instrumentointivahvistinta, jonka eri piirit on erotettu galvaanisesti toisistaan [16].

4.2.1 Erotusmenetelmä

Galvaanisissa erottimissa käytetään yleisesti joko 2-suuntaista tai 3-suuntaista erotusta. 2-suuntaisessa erotuksessa tulo- ja lähtö ovat galvaanisesti erotettu toisistaan ja 3-suuntaisessa erotuksessa tulo-, lähtö- ja apujännitepiiri on galvaanisesti erotettu toisistaan. Galvaaninen erotus toteutetaan yleisesti joko optisesti, induktiivisesti tai kapasitiivisesti. Laitteiden tarjoaman galvaanisen erotuksen avulla varmistetaan mittaussignaalien laatu katkaisemalla piirieleментtien välinen maayhteys ja siten estämällä haitallisen kohinajännitteen kulkeutuminen piireihin. [4; 6.] Tätä on havainnollistettu kuvassa 7.

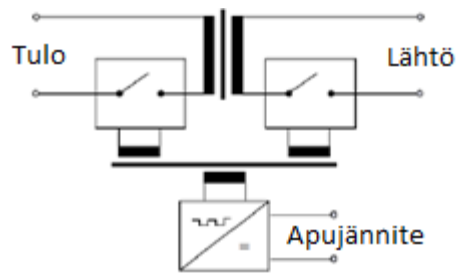


Kuva 7. Maasilmukan katkaiseminen galvaanisen erotuksen avulla (muokattu lähteestä [4])

Knickin korkeajännitemuuntimissa käytetään 3-suuntaista galvaanista erotusta, jossa eri piirien välinen erotus on toteutettu induktiivisen erotuksen avulla. [4.] Tämän erotusmenetelmän toimintaperiaate käydään tässä luvussa läpi.

Induktiivinen erotus

Induktiivinen erotus toteutetaan muuntajan avulla, jonka ensiö- ja toisiokäämien väliin on asennettu fyysisen signaalin siirron estävä eristys. Muuntajalla toteutetussa erotuksessa informaatio siirtyy magneettikentän välityksellä. Koska muuntajien avulla ei voida siirtää tasasignaaleja, tulosignaali täytyy moduloida. Moduloitu virtasignaali tuottaa ensiökäämin läpi kulkiessaan muuttuvan magneettikentän, joka indusoi virtasignaalin toisiokelaan. Lähtöpuolella signaali demoduloidaan ja vahvistetaan tarvittaessa, jotta se vastaa tulopuolen signaalia. [4; 5; 16.] Kuvassa 8 on kahden muuntajan avulla toteutettu 3-suuntainen galvaaninen erotus, jossa tulo-, lähtö- sekä apujännitepiiri on erotettu toisistaan.



Kuva 8. 3-suuntaisen galvaanisen erotuksen piirikaavio (muokattu lähteestä [4])

Muuntajalla toteutetun erotuksen etuna on sen mahdollistama korkea tiedonsiirtonopeus. Muuntajien heikkoutena puolestaan on niiden alttius ulkoisten magneettikenttien aiheuttamille häiriöille, koska tiedon siirtäminen tapahtuu magneettikenttien avulla. Siksi laiterakenteessa tulee huolehtia riittävästä EMC-suojauksesta, jotta häiriötä ei pääse indusoitumaan käsiteltävään signaaliin. [5; 16.]

4.2.2 Modulointimenetelmä

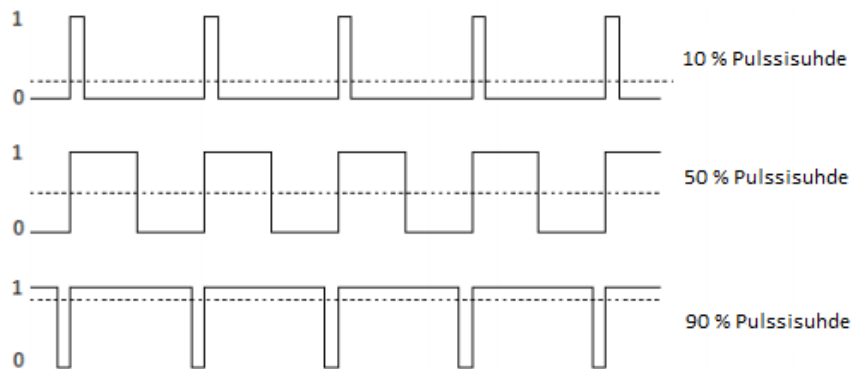
Galvaanisten erottimien tulosignaali moduloidaan, jotta mittaussignaalin vääristymät ennen laitteen fyysisen eristyksen ylittämistä voidaan minimoida. Moduloinnin tavoitteena on informaation siirtäminen muuntelemalla kanta-aaltoa moduloivan signaalin eli viestin määräämällä tavalla. Modulointimenetelmiä on useita erilaisia ja niissä tulosignaalia muokataan eri muuttujien, kuten esimerkiksi taajuuden tai amplitudin mukaisesti. [16; 18, s. 343.] Tässä luvussa käsitellään korkeajännitemuuntimissa modulointimenetelmänä käytettävän pulssinleveysmodulaation toimintaperiaate.

Pulssinleveysmodulaatio

Pulssinleveysmodulaation (PWM) toiminta perustuu vakio amplitudisen pulssin leveyden vaihtelemiseen suhteessa moduloitavan signaalin amplitudiin. PWM-modulaatio toteutetaan yleisesti vertailemalla tulosignaalia referenssisignaalin toimivaan kolmio- tai sahalaita-aaltoon. Tarkoituksena PWM-modulaatiossa on pulssisuhdetta (duty cycle) muuntelemalla ohjata kuormaan menevän jännitteen määrää siten, että tulosignaalista saadaan muodostettua haluttu kanttignaali. Tulosignaalia pilkotaan vakiotajuudella pätkiin, joiden pituutta muutetaan pulssisarjan päällä ja pois päältä -olon aikaa muuttamalla. Pulssisuhde noudattaa yhtälöä

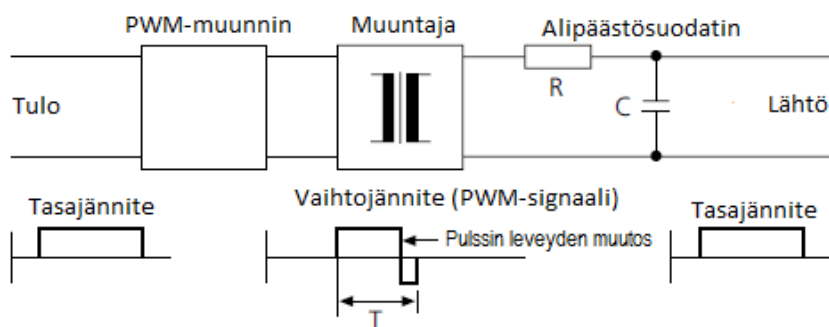
$$D = \frac{\tau}{T}, \quad (2)$$

jossa τ on aika jolloin referenssisignaali on aktiivinen ja muuttuja T on signaalin jaksonaika. [4; 16; 19.] Kuvassa 9 on havainnollistettu PWM-signaalin pulssisuhdetta, joka määritetään prosentuaalisena lukuna. Kun pulssisuhde on esimerkiksi 50 %, signaali on päällä 50 %:n jakson ja pois päältä loput 50 %. [20.]



Kuva 9. PWM-signaaleja eri pulssisuhteilla (muokattu lähteestä [20])

Kuvassa 10 on esitetty korkeajännitemuuntimien toiminnallinen kaavio. Korkeajännitemuuntimien tulosignaali muunnetaan kanttsignaalksi PWM-muuntimen avulla, joka muuntelee signaalin pulssisuhdetta sisäänmenojännitteiden mukaisesti. Pulssinleveysmoduloitu suorakaidesignaali siirretään korkeajännitemuuntimissa lähtöpuolelle muuntajan avulla sähköisesti erotettuna. Lähtöpuolella PWM-signaali demoduloidaan käyttämällä alipäästösuodatinta, jolloin se muuttuu takaisin tasavirraksi tai tasajännitteeksi. Mikrokontrolleri ohjaa korkeajännitemuuntimien siirtosuhteita ja siirtosuhteen asetukset tehdään laitteen etupaneelin kääntökytkimen tai dip-kytkimien avulla. [4.]



Kuva 10. Korkeajännitemuuntimien toiminnallinen kaavio (muokattu lähteestä [4])

4.2.3 CMRR

Common-mode rejection ratio, CMRR, kertoo galvaanisten erottimien kyvyn vaimentaa yhteismuotoisia häiriöitä. CMRR määritetään yleisesti joko differentiaalisen vahvistuksen suhteena yhteismuotoiseen vahvistukseen tai yhteismuotoisen jännitteen V_{cm} logaritmisena suhteena signaalijännitteeseen V_d , joka tuottaisi saman lähtösignaalin:

$$CMRR = 20 \log \left(\frac{V_{cm}}{V_d} \right). \quad (3)$$

Galvaanisen erottimen symmetrisyys eli sen sisäänmenokanavien impedanssien balansointi vaikuttaa laitteen kykyyn vaimentaa yhteismuotoisia häiriöitä. Laitteilta vaaditaan korkeaa CMRR:n arvoa erityisesti silloin, kun siirretään pieniä signaaleja ympäristöissä, joissa esiintyvät häiriöjännitteet sekä järjestelmän eri osien väliset jännite-erot voivat olla useita kilovoltteja. Yhteismuotoisten häiriöiden vaimennussuhde ilmoitetaan desibeleinä. [4; 16; 21.]

Galvaanisten erottimien lähtösignaaliin aiheutuvan yhteismuotoisen häiriön suuruus saadaan määritettyä sieventämällä yhtälö 3 muotoon

$$V_d = \frac{V_{cm}}{10^{\frac{CMRR}{20}}}. \quad (4)$$

Käytetään esimerkkinä tilannetta, jossa korkeajännitemuunninta käytetään virranmittaukseen yhdessä shunttivastuksen kanssa. Kun korkeajännitemuuntimen CMRR = 120 dB, aiheuttaa yhteismuotoinen jännite $V_{cm} = 800$ V yhteismuotoisen häiriön signaalijännitteeseen V_d , jonka suuruus on

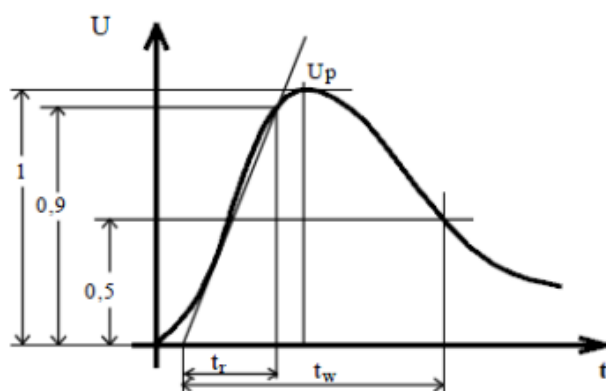
$$V_d = \frac{800}{10^{\frac{120}{20}}} V = 0,8 mV. \quad (5)$$

Kun virran mittauksessa käytetyn shunttivastuksen nimellisjännitehäviö on 60 mV, tämä tarkoittaa, että yhteismuotoisen häiriön suuruus on noin 1,3 % koko asteikosta. [4.]

Korkea CMRR saavutetaan usein ongelmitta tasajännitteille sekä matalataajuisille vaihtojännitteille (50 Hz). CMRR on taajuusriippuvainen, joten se laskee huomattavasti taajuuden kasvaessa. Tähän vaikuttaa olennaisesti kytkentäkapasitanssi galvaaniseen erotukseen käytettävän muuntajan ensiö- ja toisiokäämin välillä, mitä ei voida vähentää toivotulla tavalla. Siksi CMRR on huomattavasti alhaisempi pulssimuotoisille yhteismuotoisille jännitteille tai nopeille yhteismuotoisen jännitteen muutoksille. [4.]

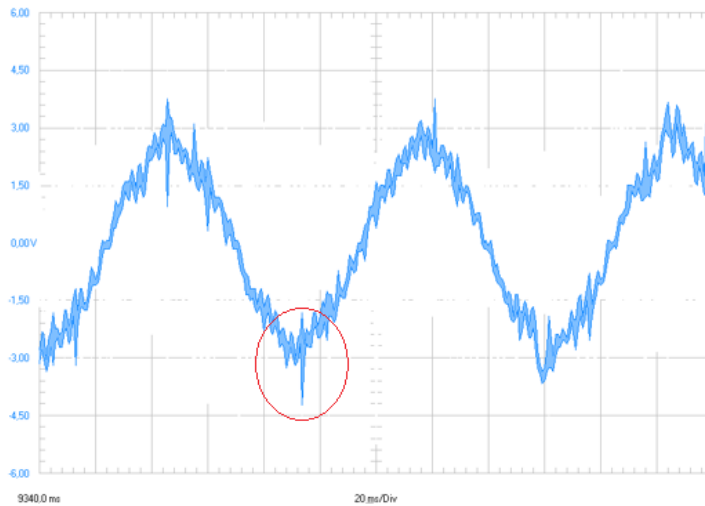
4.2.4 T-CMRR

Transient common-mode rejection ratio, T-CMRR, kertoo galvaanisen erottimen kyvyn vaimentaa kestoajaltaan lyhyitä yhteismuotoisia häiriöitä, joiden nousunopeus on 1000 V/ μ s. Kuvassa 11 on esitetty transientin määrittelyparametrit, jotka ovat nousuaika (t_r), kesto-aika (t_w) ja amplitudi (U_p). [4; 22.]



Kuva 11. Transientti [22]

Transientit yhteismuotoiset jännitteet esiintyvät häiriöpulssina erotuksen toteuttavan laitteen lähtösignaalissa. Häiriöpulsseja syntyy esimerkiksi verkossa tapahtuvien yksittäisten tai jaksottaisten kytkentätoimenpiteitten seurauksena tai johtuen kuormituksen muutoksista. Useimmiten transientin aiheuttaa virran tai jännitteen nopea muutos, kun siirrytään jatkuvasta tilasta toiseen. [4; 22.] Kuvassa 12 on havainnollistettu kytkentäylijännitteen aiheuttamaa transienttia korkeajännitemuuntimen lähtösignaalissa.

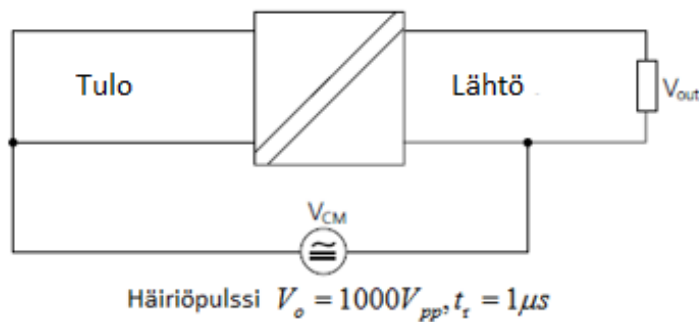


Kuva 12. Kytentäylijännitteen aiheuttama transientti [23]

T-CMRR saadaan laskettua yhtälöllä

$$T - CMRR = \frac{G_{DM}}{G_{CM}}, \quad (6)$$

jossa G_{DM} on eromuotoinen vahvistus ja G_{CM} transientin häiriösignaalin yhteismuotoinen vahvistus. [4.] Kuvassa 13 on esitetty testausvirtapiiri transienttien yhteismuotoisten häiriöiden mittaamiseen.



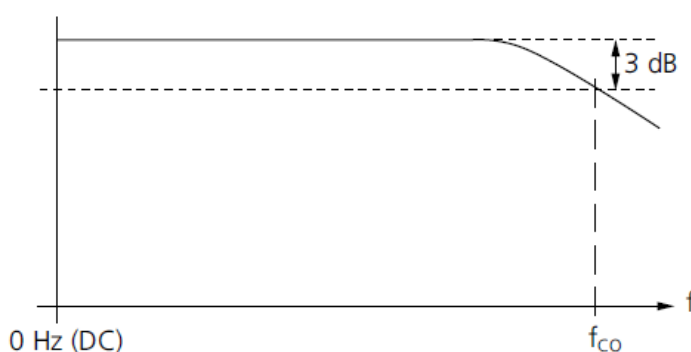
Kuva 13. Testausvirtapiiri häiriöpulssien mittaamiseen (muokattu lähteestä [4])

4.2.5 Rajataajuus ja nousuaika

Rajataajuus ja nousuaika ovat molemmat ominaisuuksia, jotka vaikuttavat galvaanisten erottimien kykyyn siirtää nopeita tulosignaalin muutoksia ilman, että lähtösignaaliin muodostuisi vääristymiä. Ne kuvaavat laitteiden dynaamista suorituskykyä eli toimintaa muutostilanteessa. [24.]

Galvaaniset erottimet on suunniteltu pääasiassa DC-signaalien siirtämiseen ja vahvistamiseen. Laitteiden tulee kuitenkin pystyä siirtämään myös vaihtosuureita, jotta korkeampien taajuuksien aiheuttamat nopeat mittausarvon muutokset saadaan muunnettua lähtösignaaliin ilman viivettä. Koska laitteilla siirretään DC-signaaleja, ilmaistaan niiden kaistanleveys ainoastaan ylärajataajuutena. Kaistanleveys kuvaa anturin kykyä käsitellä eritaajuisia signaaleja, joten ylärajataajuus tarkoittaa tässä tapauksessa galvaanisten erottimien käsiteltävän signaalin maksimitaajuutta. [4; 24; 25.]

Rajataajuuden määritelmänä pidetään taajuutta, jonka kohdalla vahvistus muuttuu niin paljon, että se ei toimi enää sille asetetulla tavalla. Vahvistuksella tarkoitetaan anturin herkkyyttä, eli kuinka paljon sen ulostulo muuttuu mitattavan suureen muuttuessa. Ylärajataajuus määritellään kohtana, jossa vahvistusta vaimennetaan kolmella desibelillä verrattuna DC-vahvistukseen, eli se vastaa noin 71 %:n DC-vahvistusta. Kuvassa 14 on esitetty korkeajännitemuuntimen taajuusvaste, jossa x-akseli kuvaa taajuutta ja y-akseli mitatun signaalin vaimennusta verrattuna nolldataajuuden signaalitasoon. Kuvassa f_{co} on -3 dB:n ylärajataajuus. [4; 24.]



Kuva 14. Korkeajännitemuuntimen taajuusvaste [4]

Nousuaika kuvastaa yksinkertaisesti aikaa, joka kuluu mittaussignaalin muutokseen 10 prosentin tasolta 90 %:iin lopullisesta arvostaan. Nousuaika määritellään laitteelle usein kuitenkin eri ajanhetkien mukaisesti, joten laitteen nousuajan määritelmä on hyvä tarkastaa valmistajan datalehdestä. [18, s. 308; 24.]

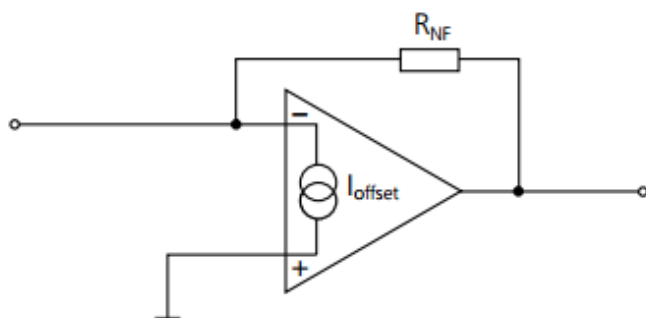
4.3 Galvaanisten erottimien epäideaalisuudet

Epäideaalisuudet ovat galvaanisten erottimien ominaisuuksia, jotka heikentävät signaalien siirtotarkkuutta, toisin sanoen, niiden tulee olla mahdollisimman alhaisia. Mittaussignaalien muunnosten yhteydessä keskeisimpiä epäideaalisuuksia ovat offset-jännite, offset-virta ja vahvistusvirhe. Koska vahvistusvirhe on lämpötilariippuvainen, määritetään sille myös lämpötilakerroin. [4.] Offset-parametrien vaikutusta on havainnollistettu operaatiovahvistimen avulla, jota käytetään esimerkkinä ideaalisesta vahvistimesta. [21.]

Näiden epäideaalisuuksien lisäksi galvaanisten erottimien jäännösaaltoisuuden tulee olla mahdollisimman alhainen. Jäännösaaltoisuudella tarkoitetaan matalia häiriöjännitteitä, jotka aiheuttavat galvaanisten erottimien lähtösignaalin kerrostumisen erityisesti alhaisella modulaatiolla. Tämän häiriöjännitteen amplitudin tulee olla mahdollisimman matala, koska muuten mittausvirheitä ei voida täysin sulkea pois. [4.]

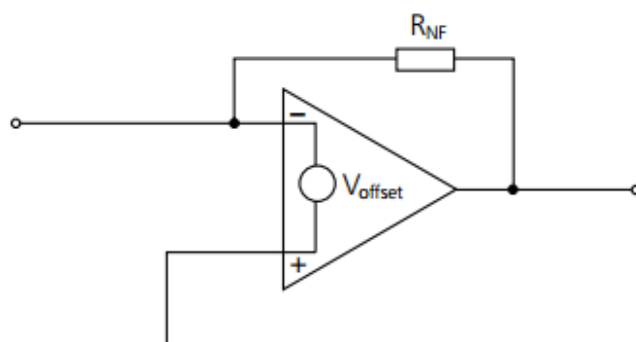
4.3.1 Offset-jännite ja offset-virta

Operaatiovahvistimen lähtöjännitteen tulisi olla nolla silloin, kun tulojen välinen jännite on nolla. Käytännössä näin ei tarkkaan ottaen ole, vaan lähdössä esiintyy ulostulon offset-jännite. Sisäänmenon offset-jännite on määritelmän mukaan jännite, joka täytyy kytkeä vahvistimen tulonapojen välille, jotta lähtömuuttuja tulee nolaksi. Sisäänmenon offset-jännite toimii siis tulojännitteenä tai lisäjännitteenä toimien sarjassa tulosignaalin kanssa (kuva 15). Signaalien siirtotarkkuuden kannalta merkitsevä parametri on lähdön offset-jännite, joka on tavallisesti millivolttien luokkaa. [4; 18, s. 79.]



Kuva 15. Offset-jännite [4]

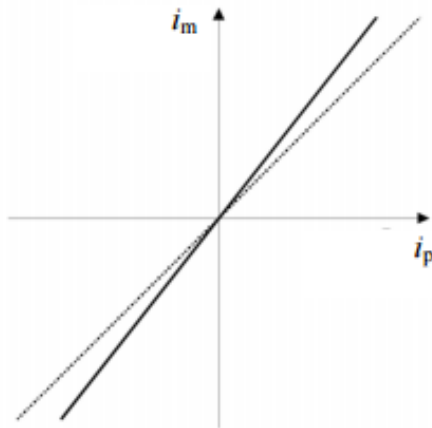
Vahvistimen sisäänmenon offset-virta toimii ylimääräisenä tulosignaalina (kuva 16). Sisäänmenon offset-virta ilmestyy virheenä vahvistimen jompaankumpaan tuloonapaan, kun vahvistimen lähtöjännite on nolla. Koska offset-parametrit johtuvat komponenttien epätarkkuudesta, ne voivat olla arvoltaan positiivisia tai negatiivisia. Siksi ne määritetään itseisarvona ilman plus- tai miinus-merkkiä. [4; 18, s. 80.]



Kuva 16. Offset-virta [4]

4.3.2 Vahvistusvirhe

Vahvistusvirhe kuvaa galvaanisen erottimen staattista suorituskykyä; se kertoo kuinka hyvin laitteelta ulostuleva data vastaa ideaalista dataa. Tässä luvussa käytetään virta-anturia esimerkkinä kuvaamaan vahvistusvirhettä. Kuvassa 17 on piirretty ideaalisen virta-anturin mittauskäyrä katkoviivalla ja todellisen virta-anturin mittauskäyrä yhtenäisellä viivalla. [24.]



Kuva 17. Vahvistusvirhe [24]

Ideaalisen virta-anturin näyttämä virta i_m vastaa aina todellista virtaa i_p , joten

$$i_m(i_p) = i_p. \quad (7)$$

Kuvasta 17 nähdään, että sekä ideaalisen, että todellisen anturin mittauskäyrät kulkevat origon kautta, mutta ideaalisen virta-anturin mittauskäyrän kulmakerroin poikkeaa todellisen virta-anturin käyrästä. Tämä poikkeama ideaalisen virta-anturin vahvistuksesta määritetään vahvistusvirheenä, jonka suuruus vaihtelee mittausalueella. Virta-anturin mittauskäyrän poikkeama riippuu mitattavan virran i_p ja vahvistusvirhekertoimen G_e suuruudesta ja tämä yhteys voidaan esittää mitatun virran yhtälössä:

$$i_m(i_p) = i_p + G_e i_p. \quad (8)$$

Virta-anturin vahvistusvirhe on suurimmillaan mittausalueen negatiivisessa ja positiivisessa maksimissa. Koska vahvistusvirhe muuttuu lämpötilan muutosten vaikutuksesta, on galvaaniselle erottimelle myös tärkeä määrittää vahvistuksen lämpötilakerroin. [4; 24; 25.]

Lämpötilakerroin määrittelee lämpötilan muutosten aiheuttamien muutosten suuruuden galvaanisen erottimen vahvistuksessa. Vahvistuksen alenema määritellään suhteellisenä parametrina %/K tai absoluuttisena arvona A/K. Kun määritetään absoluuttisia arvoja, tulee laitteen tiedoista tarkistaa, että viittaako lämpötilakerroin tuloon vai lähtöön.

Jos lämpötilakerroin on galvaanisen erottimen lähdössä 0,0025 %/K, tällöin 20:n Kelvinin lämpötilan muutos aiheuttaa vahvistuksen muutoksen:

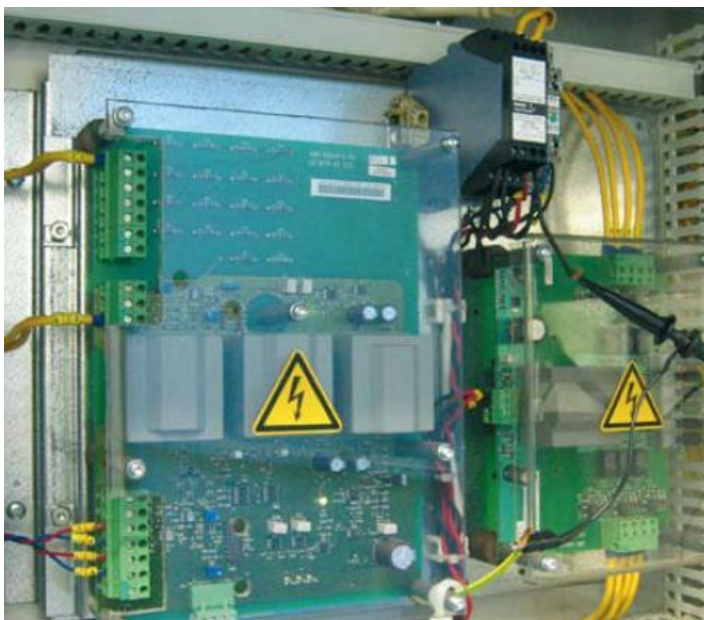
$$20 \times 0,0025\% = 0,05\% . \quad (9)$$

Kun tarkastellaan lämpötilakerrointa, tulee sen vertailulämpötila huomioida, sillä virhe saattaa olla huomattavasti suurempi korkeissa lämpötiloissa verrattuna tavallisiin käyttölämpötiloihin. [4.]

5 Knickin ProLine-sarjan korkeajännitemuuntimet

Knickin korkeajännitemuuntimien tuoteryhmä voidaan jakaa kahteen kategoriaan: erotusmuuntimiin ja AC/DC-lähttimiin. Nämä galvaaniset erottimet eroavat toisistaan käsiteltävien tulosignaalien osalta. Erotusmuuntimet on suunniteltu unipolaarisille ja bipolaarisille virta- ja jännitesignaaleille ja AC/DC-lähttimet sinimuotoisille ja sinimuodosta poikkeaville vaihtosignaaleille. Tuotekategoriasta erotusmuuntimia ovat P 40000- ja P 29000 -sarjan galvaaniset erottimet ja AC/DC-lähttimiä ovat P 40000 TRMS -sarjan viestinerottimet.

Laitteet on varustettu 3-suuntaisella galvaanisella erotuksella, jonka tarkoitus on suojata virhemittauksilta sekä potentiaalierojen aiheuttamilta mittalaitteen vaurioitumisilta. Korkeajännitemuuntimet toimivat mallista riippuen joko virta-anturina yhdessä shunttivastuksen kanssa tai niitä käytetään virran tai jännitteen suoraan mittaamiseen. Ne vaativat toimiakseen apujännitteen, joka on suurimmalla osalla malleista 20–253 V AC/DC. Korkeajännitemuuntimet asennetaan 35 mm:n DIN-kiskoon ohjauskeskukseen ja ne voidaan joustavasti liittää esimerkiksi logiikoihin niiden standardi lähtösignaalien ansiosta. ProLine-sarjan tuotteilla on 5 vuoden laitetakuu. [4.] Kuvassa 18 on erotusmuunnin asennettuna ohjauskeskukseen.



Kuva 18. Erotusmuunnin ohjauskeskuksessa [17]

5.1 VariTrans P 40000

Tässä luvussa käsitellään P 40000 -sarjan erotusmuuntimia ja niiden ominaisuuksia. P 40000 -sarja on kehitetty unipolaaristen- ja bipolaaristen jännite- ja virtasignaalien galvaniseen erotukseen ja muuntamiseen standardisignaaleiksi. Unipolaarisella signaalilla tarkoitetaan yksisuuntaista signaalia ja bipolaarisella kaksisuuntaista signaalia, jolla on sekä positiivinen että negatiivinen arvo. Erotusmuuntimet on tarkoitettu kohteisiin, joissa vaaditaan standardien mukainen korkea erotustaso sekä korkealaatuinen mittaustieto valvonta- ja ohjausjärjestelmiä varten. Erotusmuuntimet on valmistettu erityisesti raide liikenteen sovelluksia varten; laitteet täyttävät sähköturvallisuusstandardin SFS-EN 61010-1 vaatimusten lisäksi myös rautatiesovelluksia koskevan standardin EN 50124-1 eristyskoordinaation vaatimukset. Laitteiden yleisimmät käyttökohteet ovat toiminta- ja vikavirtojen mittaaminen sekä jännitteen monitorointi DC-sähköasemissa ja tasavirtakojeistoissa. [4.] Kuvassa 19 on P 40000 -sarjan erotusmuuntimia.



Kuva 19. P 40000 -sarja [4]

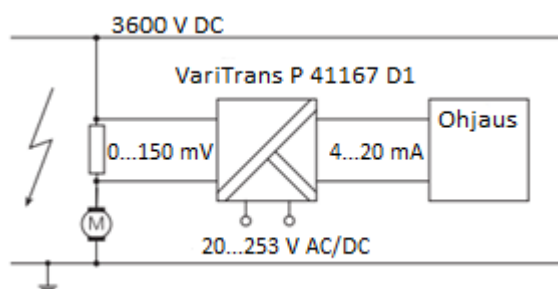
P 40000 -sarjan erotusmuuntimien komponenttiarvot on esitetty taulukossa 1. Seuraavissa luvuissa käsitellään näitä ominaisuuksia tarkemmin.

Taulukko 1. P 40000 -sarjan erotusmuuntimien komponenttiarvot [26]

	P 41000	P 42000	P 43000
Tulot	$\pm 60 \text{ mV} - \pm 100 \text{ V}$	$\pm 100 \text{ V} - \pm 3600 \text{ V}$	$\pm 0,1 \text{ A} - \pm 5 \text{ A}$
Lähdöt	$\pm 20 \text{ mA}, \pm 10 \text{ V},$ 4...20 mA	$\pm 20 \text{ mA}, \pm 10 \text{ V},$ 4...20 mA	$\pm 20 \text{ mA}, \pm 10 \text{ V},$ 4...20 mA
Testijännite	10 kV AC, 15 kV AC	10 kV AC, 15 kV AC	10 kV AC, 15 kV AC
Toimintajännite	2,2 kV AC/DC, 3,6 kV AC/DC	2,2 kV AC/DC, 3,6 kV AC/DC	2,2 kV AC/DC, 3,6 kV AC/DC
Erotusjännite EN 61140 mukaan	1,1 kV AC/DC, 1,8 kV AC/DC	1,1 kV AC/DC, 1,8 kV AC/DC	1,1 kV AC/DC, 1,8 kV AC/DC
Apujännite	20...253 V AC/DC	20...253 V AC/DC	20...253 V AC/DC
CMRR	150 dB (50 Hz)		150 dB (50 Hz)
T-CMRR	115 dB		
Vahvistusvirhe	0,1	0,3	0,3
Rajataajuus	5 kHz	5 kHz	5 kHz
Nousuaika T_{90}	0,1 ms	0,1 ms	0,1 ms
Offset	20 μA , 10 mV	20 μA , 10 mV	20 μA , 10 mV
Lämpötilakerroin	0,005 %/K	0,01 %/K	0,005 %/K
Jäännösaaltoisuus	10 mV	10 mV	10 mV
Käyttölämpötila	-40...+85 °C	-40...+85 °C	-40...+85 °C
Leveys	22,5 mm	67,5 mm	45 mm

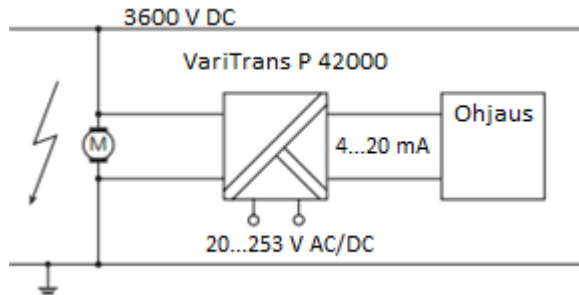
5.1.1 Mallit

Erotusmuuntimia on saatavilla kolme eri mallia vaaditun tuloalueen mukaisesti; P 41000, P 42000 ja P 43000 (taulukko 1). Lähtöpuolella erotusmuuntimet tarjoavat standardina unipolaariset ja bipolaariset analogiasignaalit $\pm 20 \text{ mA}$, $\pm 10 \text{ V}$ tai 4...20 mA. P 41000 on kehitetty korkeiden tasavirtojen mittaamiseen yhdessä shunttivastuksen kanssa (kuva 20). Näiden erotusmuuntimien avulla mitataan unipolaariset ja bipolaariset jännitesignaalit alueella $\pm 60 \text{ mV} \dots \pm 100 \text{ V}$. [26.]



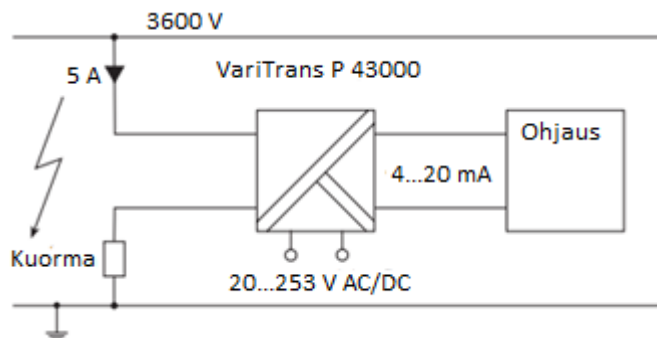
Kuva 20. Virran mittaaminen yhdessä shunttivastuksen kanssa (muokattu lähteestä [26])

P 42000 on tarkoitettu korkeiden unipolaaristen ja bipolaaristen jännitteiden suoraan mittaamiseen tuloalueella $\pm 100 \text{ V} \dots \pm 3600 \text{ V}$ (taulukko 1). Kuvassa 21 erotusmuunninta käytetään jänniteanturina moottorin syöttöjännitteen mittaamisessa.



Kuva 21. Moottorin syöttöjännitteen mittaaminen (muokattu lähteestä [26])

P 43000 on kehitetty unipolaaristen ja bipolaaristen virtasignaalien $\pm 0,1 \text{ A} \dots \pm 5 \text{ A}$ suoraan mittaamiseen, kun tulopiiri on korkeassa potentiaalissa (taulukko 1). Erotusmuunninta voidaan käyttää virta-anturina (kuva 22). [26.]



Kuva 22. Virran suora mittaaminen (muokattu lähteestä [26])

Erotusmuuntimet varustetaan asiakkaan vaatimusten mukaisesti joko kiinteillä tai tehdaskalibroiduilla aseteltavilla tulo- ja lähtöalueilla. Tehdaskalibroidut mittausalueet sisältävissä malleissa asiakkaalla on valittavanaan yhdestä kuuteentoista eri tulo- ja lähtöaluetta, joiden vaihtaminen tehdään laitteen etupaneelin kääntökytkimen asentoa muuttamalla. Mittausalueita ei saa kuitenkaan vaihtaa laitteen ollessa toiminnassa. Asiakas voi itse määrittää haluamansa mittausalueet laitteen tulo- ja lähtöalueen rajojen väliltä tai käyttää tehtaan määrittämiä 16 vakioaluetta. Myös kiinteät mittausalueet sisältävissä malleissa on mahdollista määrittää itse haluamansa tulo- ja lähtöalue tai vaihtoehtoisesti valita joku tehtaan valmiiksi määrittelemistä alueista. [4.] Kuvassa 23 on asetettavilla mittausalueilla varustetun P 41000 -mallin etupaneeli.



Kuva 23. P 41000 -malli aseteltavilla tulo- ja lähtöalueilla [4]

Erotusmuuntimien apujännitealue on 20...253 V AC/DC mallista riippumatta ja laitteiden käyttölämpötila-alue on -40...+85 °C (taulukko 1). Ulkoisesti laitteet eroavat toisistaan koteloinnin leveyden osalta; malleja on saatavilla 22,5–67,5 mm:n koteloidilla. [26.]

5.1.2 Erotusominaisuudet

Erotusmuuntimien eristysrakenteen ja etäisyydet on määritelty rautatiestandardien pohjalta. Rautatiesovellusten riittävän eristyksen ja galvaanisen erotuksen varmistamisen kannalta määräävä parametri on nimelliseristysjännite U_{NM} , joka määrittää standardin EN 50124-1 mukaisesti minimiarvot laitteen ilma- ja pintaväleille. Erotusmuuntimien nimelliseristysjännite on kiinteillä mittausalueilla 3,6 kV AC/DC ja aseteltavilla mittausalueilla 2,2 kV AC/DC. Mittauslaitteen nimelliseristysjännitteen tulee olla korkeampi kuin käytön aikana esiintyvä maksimijännite. Standardin EN 50124-1 mukaisesti nimelliseristysjännite U_{NM} on suurempi tai yhtä suuri kuin jatkuvan jännitteen enimmäisarvo U_{max1} . Korkeat lyhytaikaiset jännitteet U_{max2} täytyy myös huomioida, sillä junan jarruttaessa jännite saattaa huomattavasti ylittää nimellisjännitteen U_n . Rautatiejärjestelmien syöttöjännitteitä koskevan standardin EN 50163 taulukon 1 mukaisesti korkeajännitemuuntimien erotusominaisuudet kattavat kaikki jännitteet nimellisjännitteeseen $U_n = 3000$ V DC asti ja ne varmistavat jatkuvan erotuksen lyhytaikaisten jännitteiden enimmäisarvoon $U_{max2} = 3900$ V AC/DC saakka. [17.] Kuvassa 24 on esitetty standardin EN 50163 mukaiset nimellis- ja enimmäisjännitteet DC-rautatiejärjestelmissä.

U_n	U_{max1}	U_{max2}
600 V	720 V	800 V
750 V	900 V	1000 V
1500 V	1800 V	1950 V
3000 V	3600 V	3900 V

Kuva 24. Nimellisjännitteet ja enimmäisjännitteet DC-rautatiejärjestelmässä [17]

Erotusmuuntimien nimellisieristysjännitteen arvojen mukaisesti kiinteällä mittausalueella varustetuissa malleissa eristysrakente ja etäisyydet kestävät jatkuvia jännitteitä 3,6 kV AC/DC asti ja tehdaskalibroituissa malleissa 2,2 kV AC/DC asti. Nimellisieristysjännitteen arvo toimii laitteilla toimintajännitteen parametrina (taulukko 1). Erotusmuuntimien laiterakenteet on lisäksi mitoitettu kestämään lyhyitä transienttijännitteitä 20 kV:iin asti kiinteillä mittausalueilla ja 13,5 kV:iin asti aseteltavilla mittausalueilla. [26.] Taulukon 1 mukaisesti toimintajännitteen raja-arvojen mukaisuus tulon, lähdön ja apujännitepiirin välillä on varmistettu testijännitteellä 15 kV AC kiinteillä mittausalueilla ja testijännitteellä 10 kV AC aseteltavilla mittausalueilla. Seuraavien laitteiden ja henkilöiden suojaus korkeilta jännitteiltä on toteutettu standardin SFS-EN 61140 mukaisella suojaerotuksella tulon, lähdön ja apujännitepiirin välillä. Turvallinen erotus saavutetaan standardin SFS-EN 61010-1 mukaisella vahvistetulla erotuksella kiinteillä mittausalueilla 1800 V AC/DC asti ja ohjelmoitavissa malleissa 1100 V AC/DC asti kaikkien piirien välillä (taulukko 1). Laitteiden erotusjännitteet on mitoitettu ylijänniteluokan 3 ja likaantumistasen 2 mukaisesti. [26.]

5.1.3 Siirto-ominaisuudet

Erotusmuuntimien signaalien siirto-ominaisuudet pohjautuvat myös rautatiestandardeihin. Standardin EN 50123-7-1 mukaisesti rautatieverkon valvontajärjestelmässä täytyy mitata ja arvioida vikavirran nousunopeutta (di/dt), jotta erotetaan käynnistysvirrat ja oikosulkuvirrat toisistaan. Koska virran muutoksen vaihtelut ovat hyvin pieniä, pelkkä DC-signaalien siirtäminen ei riitä. Standardissa EN 50123-7-1 on määritetty, että virta-anturin ylärajataajuuden tulee olla vähintään 1 kHz, jotta myös korkeampien taajuuksien aiheuttamat nopeat tulosignaalin muutokset saadaan muunnettua lähtösignaaliin. [17.] Erotusmuuntimien ylärajataajuus 5 kHz ja nousuaika 0,1 ms on määritetty standardin vaatimuksia korkeammaksi, jotta varmistetaan tarkka tulosignaalien muuntaminen ilman vääristymiä ja tyypillisten virranmuotojen yksiselitteinen arviointi. Taulukossa 1 esitetyn rajataajuuden arvon lisäksi laitteille on myös mahdollista erikseen määrittää rajataajuus 10

Hz:iin asti. Erotusmuuntimien nousuaika T_{90} kertoo kuluneen ajan tulosignaalin muutoksesta siihen ajan hetkeen, jolloin lähtösignaalissa on saavutettu 90 %:n tasapainotila. [26.]

Rautatiejärjestelmissä esiintyy standardin EN 50163 mukaisesti nopeita jännitteen vaihteluja, jotka aiheuttavat yhteismuotoisia häiriötä virta-anturin lähtösignaaliin. Virta-anturit, joilla on alhainen CMRR, saattavat lisätä turvalaitteistojen tahattomia aktivointeja, mikä vastaavasti häiritsee rautatieliikennettä. [17.] P 41000 -sarjan erotusmuuntimien ominaisuuksissa on kiinnitetty erityisesti huomiota transienttien yhteismuotoisten häiriöiden vaimentamiseen. Taulukon 1 mukaisesti P 41000 -mallin CMRR on noin 150 dB tasajännitteillä ja matalataajuisilla vaihtojännitteillä (50 Hz) ja T-CMRR noin 115 dB transienttipulssuille. Nämä parametrit koskevat alle 1 V:n suuruisten jännitteiden mittaamista. Kun mitataan korkeampia jännitteitä, CMRR-arvo on noin 150 dB tasajännitteillä ja pientaajuisilla vaihtojännitteillä noin 120 dB. P 43000 -mallilla CMRR on myös 150 dB tasajännitteillä ja pientaajuisilla vaihtojännitteillä noin 120 dB. [26.] Koska P 42000 -mallia käytetään korkeiden jännitteiden mittaamiseen, ei sille määritetä CMRR-arvoa (taulukko 1).

Standardin EN 50123 mukaisesti mittauslaitteistolle täytyy myös määrittää mahdollinen offset-vaikutus, joka ilmenee korkean ensiövirran mittaamisen jälkeen. Kriittiset parametrit täytyy mitata pienimmällä mahdollisella mittausvirheellä, jotta varmistetaan, että valvontajärjestelmän seuranta-algoritmit havaitsevat viat korkealla tarkkuudella ja herkkyydellä. [17.] Taulukosta 1 voidaan havaita, että erotusmuuntimien offset-vaikutus on merkityksetön; lähtösignaalin offset on 20 μ A tai 10 mV mallista riippumatta. Lisäksi laitteiden vahvistusvirheiden arvot ovat alhaiset. P 41000 -mallin vahvistusvirhe mittausarvossa on enintään 0,1 % ja P 42000- sekä P 43000 -malleissa 0,3 %. Koska vahvistusvirhe on lämpötilariippuvainen, on taulukossa 1 esitetty myös vahvistuksen lämpötilakertoimet laitteille. P 41000- sekä P 43000 -malleissa vahvistuksen lämpötilakerroin on 0,005 %/K ja P 42000 -mallissa 0,01 %/K. Lämpötilakertoimien vertailulämpötila on 23 °C. Erotusmuuntimien lähtösignaalin jäännösaaltoisuus on mallista riippumatta alle 10 mV. [26.]

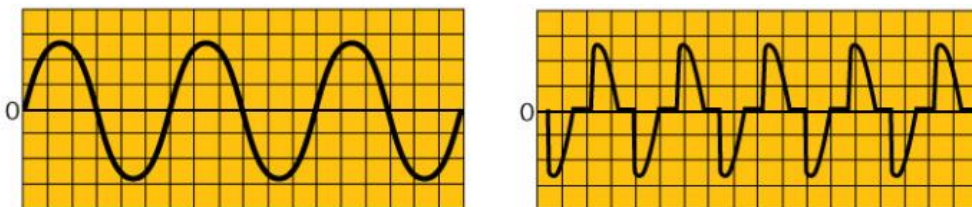
5.1.4 Hyväksynnät

Laitekomponenttien turvallisen toiminnan varmistamiseksi erotusmuuntimet on testattu saksalaisen luokituslaitos Germanischer Lloydin määräysten mukaisesti. Laitteille on

myönnetty ympäristöluokan D GL-hyväksyntä; käyttökohteet, joissa esiintyy lisääntyntä lämpenemistä ja kohonneet värinätasot, esimerkiksi polttomoottoreihin tai kompressoreihin asennettavat laitteet. [4.] GL-hyväksyntä mahdollistaa tuotteiden käyttämisen laivoissa, junissa ja muissa kulkuneuvoissa. P 42000 -mallista on saatavilla myös KTA-hyväksytyjä erikoismalleja, jotka soveltuvat käytettäväksi ydinvoimalaitoksissa. KTA-lyhenteellä tarkoitetaan saksalaista ydinturvallisuus standardia. Tuotteiden KTA-hyväksynnän vaatimustenmukaisuusvakuutus on liitteenä 1. CE-merkinnän lisäksi Knickin galvaanisille erottimille on myös mallista riippumatta myönnetty UL-hyväksyntä. CE-merkintä vaaditaan, jotta tuote voidaan myydä Euroopan talousalueen sisällä. [13.] UL-hyväksyntä kertoo, että tuote on yhdysvaltalaisen organisaation Underwriters Laboratoriesin UL-standardien vaatimusten mukainen. Laitteille myönnetään UL-hyväksyntä, jos sen kaikki komponentit täyttävät UL-standardien vaatimukset UL-organisaation määrittämissä testeissä. [4.] P 40000 -sarjan erotusmuuntimien direktiivien vaatimustenmukaisuusvakuutus on liitteenä 2 ja UL-standardin UL 347 vaatimustenmukaisuustodistus liitteenä 3.

5.2 VariTrans P 40000 TRMS

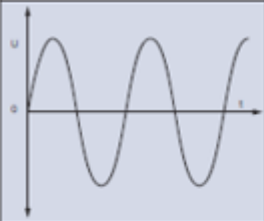

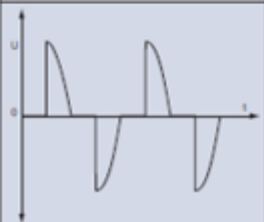
Tässä luvussa käsitellään P 40000 TRMS -sarjan AC/DC-lähettimien ominaisuuksia ja tekniikkaa. AC/DC-lähettimet on tarkoitettu sinimuotoisten ja sinimuodosta poikkeavien vaihtovirtojen ja -jännitteitten todellisen tehollisarvon (True RMS) mittaamiseen (kuva 25). True RMS-tekniikalla varmistetaan ei-sinimuotoisten ja vahvasti säröytyneiden signaalien tarkka siirtäminen ja muuntaminen standardisignaaleiksi ilman vääristymiä. [27.] AC/DC-lähettimet ovat ulkoisesti yhteneväisiä P 40000 -sarjan erotusmuuntimien kanssa (kuva 19).



Kuva 25. Vasemmalla: Sinimuotoinen aalto. Oikealla: Sinimuodosta poikkeava aaltomuoto. [27]

Taulukossa 2 on havainnollistettu mittaustarkkuuden eroavaisuutta RMS- ja True RMS -mittauksissa. Vaihtojännitteen- tai virran tehollisarvo (RMS) vastaa virheetöntä tasasignaalia, joka syöttää kuormaan saman tehon. Tämä tarkoittaa, että se tuottaa saman lämpötilan nousun vastuksessa kuin samanarvoinen tasavirta. Tavalliset AC/DC-lähettimet mittaavat signaalin tehollisarvoa (RMS) keskiarvomittauksella, jossa käytetään sinimuotoisten aaltojen muotokerrointa tehollisarvojen muuntamiseen. Tässä mittaustekniikassa käytetään korjauskerrointa 1,11, joka kuvaa täydellisen siniaallon keskiarvon ja RMS-arvojen välistä suhdetta, joten sitä voidaan käyttää ainoastaan virheetömillä sinisignaaleilla [27]. Kun mitataan ei-sinimuotoisia signaaleja, tavalliset AC/DC-lähettimet eivät ota huomioon kuormalle syötetyn tehon ja mitatun virran tai jännitteen arvon välistä tarkkaa riippuvuutta. Koska tehon ja virran tai jännitteen välillä on neliöllinen yhteys, tämä voi aiheuttaa huomattavia mittausrvirheitä. Siksi todellisen tehollisarvon (True RMS) määrittäminen on tärkeää prosessien turvallisuuden varmistamiseksi. [4; 27.] Kuten taulukosta 2 nähdään, RMS-mittaus on tarkka ainoastaan sinimuotoisilla signaaleilla, joiden muotokerroin on 1,11. True RMS -mittaus on vastaavasti tarkka myös muilla muotokertoimilla eli myös ei-sinimuotoisten signaalien mittaauksissa.

Taulukko 2. True RMS- ja RMS-tekniikan eroavaisuus mittaustarkkuudessa (muokattu lähteestä [27])

Signaalin muoto	Muotokerroin	Huippu-kerroin	RMS -mittaus	True RMS -mittaus
	$\frac{\pi}{2\sqrt{2}} = 1.11$	$\sqrt{2}$	Tarkka	Tarkka
	$\frac{\pi}{\sqrt{3}} = 1.155$	$\sqrt{3}$	Mittausvirhe $\geq 4\%$	Tarkka
	$\frac{\pi}{2} = 1.57$	2	Mittausvirhe $\geq 30\%$	Tarkka

5.2.1 Mallit

P 40000 TRMS -sarjan AC/DC-lähettimein komponenttiarvot on esitetty taulukossa 3. Seuraavissa luvuissa käsitellään näitä ominaisuuksia tarkemmin.

Taulukko 3. P 40000 TRMS -sarjan AC/DC-lähettimein komponenttiarvot [27]

	P 41000 TRMS	P 42000 TRMS	P 43000 TRMS
Tulot	60 mV \sim - 10 V \sim AC	10 V \sim - 3600 V \sim AC	0,1 A \sim - 5 A \sim AC
Lähdöt	0(4)...20 mA, 0...10 V	0(4)...20 mA, 0...10 V	0(4)...20 mA, 0...10 V
Testijännite	10 kV AC, 15 kV AC	10 kV AC, 15 kV AC	10 kV AC, 15 kV AC
Toimintajännite	2,2 kV AC/DC, 3,6 kV AC/DC	2,2 kV AC/DC, 3,6 kV AC/DC	2,2 kV AC/DC, 3,6 kV AC/DC
Erotusjännite EN 61140 mukaan	1100 V AC/DC, 1800 V AC/DC	1100 V AC/DC, 1800 V AC/DC	1100 V AC/DC, 1800 V AC/DC
Apujännite	20...253 V AC/DC	20...253 V AC/DC	20...253 V AC/DC
CMRR	150 dB (50 Hz)	150 dB (50 Hz)	150 dB (50 Hz)
T-CMRR	105 dB		
Vahvistusvirhe	0,5 / 1	0,5 / 1	0,5 / 1
Taajuusalue	40 - 1000 Hz	40 - 1000 Hz	40 - 1000 Hz
Vaste	150 ms / 300 ms	150 ms / 300 ms	150 ms / 300 ms
Lämpötilakerroin	0,005 %/K	0,01 %/K	0,005 %/K
Jäännösaaltoisuus	10 mVrms	10 mVrms	10 mVrms
Käyttölämpötila	-40...+85 °C	-40...+85 °C	-40...+85 °C
Leveys	22,5 mm	67,5 mm	45 mm

AC/DC-lähetinsarja sisältää kolme eri mallia vaadittavan tuloalueen mukaisesti: P 41000 TRMS, P 42000 TRMS ja P 43000 TRMS (taulukko 3). Laitteiden lähtösignaaleina ovat analogiset DC-signaalit 0(4)...20 mA ja 0...10 V. P 41000 TRMS on kehitetty korkeiden vaihtovirtojen mittauksiin yhdessä shunttivastuksen kanssa; sen tuloalue on 60 mV \sim ...10 V \sim . P 42000 TRMS -mallia voidaan käyttää jänniteanturina vaihtojännitteiden suoraan mittaamiseen tuloalueella 10 V \sim ...3600 V \sim . P 43000 TRMS vastaavasti on suunniteltu vaihtovirtojen suoraan mittaamiseen tuloalueella 0,1 A \sim ...5 A \sim , joten sitä voidaan käyttää virta-anturina. [27.]

Taulukon 3 mukaisesti AC/DC-lähettimein apujännitealue on 20...253 V AC/DC mallista riippumatta ja käyttölämpötila-alue on määritettävissä -40...+85 °C:seen asti. Laitteiden koteloinnin leveys on sama kuin P 40000 -sarjalla; 22,5–67,5 mm.

5.2.2 Erotusominaisuudet

AC/DC-lähttimet on myös kehitetty rautatiestandardin EN 50124-1 eristyskoordinaation pohjalta. Taulukosta 3 voidaan havaita, että laitteiden eristysominaisuudet ovat vastavat kuin P 40000 -sarjan erotusmuuntimilla. Malleja on saatavilla kahdella eri toimintajännitteellä: 3,6 kV AC/DC ja 2,2 kV AC/DC. Toimintajännitteen raja-arvojen mukaisuus on varmistettu testijännitteillä 15 kV AC tai 10 kV AC mallista riippuen tulon, lähdön ja apujännitepiirin välillä. Turvallinen erotus standardin SFS-EN 61010-1 mukaisella vahvistetulla erotuksella saavutetaan tulon, lähdön ja apujännitteen välille kiinteillä mitta-alueilla 1800 V AC/DC asti ja ohjelmoitavissa malleissa 1100 V AC/DC asti (taulukko 3). Laitteiden erotusjännitteet on mitoitettu ylijänniteluokan 3 ja likaantumisasteen 2 mukaisesti. [27.]

5.2.3 Siirto-ominaisuudet

AC/DC-lähttimien mitta-alueetta rajoittavat tekijät ovat huippukerroin sekä signaalitaajuus. Huippukertoimella tarkoitetaan enimmäisarvon suhdetta sähköisen suureen tehollisarvoon. [27.] Taulukon 3 mukaisesti AC/DC-lähttimien taajuusalue on 40–1000 Hz mallista riippumatta. Alle 40 Hz:n taajuus voidaan myös määrittää asiakkaan vaatimusten mukaisesti. Laitteiden taajuusalue on määritetty voimalaitostekniikan taajuuksien, kuten rautatiejärjestelmien 16,7 Hz, ilma-alusten ja laivojen sähköjärjestelmien 400 Hz sekä verkkotaajuuksien 50 ja 60 Hz mukaisesti. Tämä mahdollistaa AC/DC-lähttimien käyttämisen mittauksissa, joissa esiintyy vahvasti säröytyneitä signaaleja. AC/DC-lähttimien huippukerroin on välillä 1–5. Taulukon 3 vahvistusvirheen lukema kertoo vahvistusvirheen suuruuden siirrettävän signaalin huippukertoimen mukaisesti. Vahvistusvirheen arvo on 0,5 %, kun aaltomuotoisen signaalin huippukerroin on välillä 0–3 ja vahvistusvirhe on 1 %, kun huippukerroin on välillä 3–5. Vahvistusvirheen lämpötilakerroin on 0,005 %/K tai 0,01 %/K mallista riippuen, kun vertailulämpötilana on 23 °C. Täytyy huomata, että korkeammilla huippukertoimilla ja muilla signaalitaajuuksilla AC/DC-lähttimien mittaustarkkuus alenee. [27.]

AC/DC-lähttimien yhteismuotoisten häiriöiden vaimennuskyky on samaa luokkaa kuin P 40000 -sarjan erotusmuuntimilla. Taulukon 3 CMRR-arvot on määritetty taajuudella 50 Hz. P 41000 TRMS -mallin CMRR on noin 150 dB tasajännitteillä ja pientaajuisilla vaihtojännitteillä (50 Hz) ja T-CMRR noin 105 dB, kun mitataan alle 0,5 V:n suuruisia jännit-

teitä. Muilla tuloalueilla CMRR on noin 150 dB tasajännitteillä ja noin 120 dB pientaajuisilla vaihtojännitteillä. P 42000 TRMS- ja P 43000 TRMS -malleilla CMRR:n arvo on noin 150 dB tasajännitteillä ja noin 130 dB pientaajuisilla vaihtojännitteillä, kun mitataan alle 0,5 V:n suuruisia jännitteitä. Koska AC/DC-lähettimeä käytetään vaihtovirtojen ja vaihtojännitteitten mittauksissa, on taulukossa 3 määritetty niiden vasteelle nousuaika ja laskuaika. AC/DC-lähettimeiden lähtösignaalin nousuaika on 150 ms ja laskuaika 300 ms. Jäännösaaltoisuus on mallista riippumatta alle 10 mV tehollisarvona. [27.]

5.2.4 Hyväksynnät

AC/DC-lähettimeet on kehitetty vastaavien ympäristöolosuhteiden mukaisesti kuin P 40000 -sarjan erotusmuuntimet; tuotteille on myönnetty ympäristöluokan D GL-hyväksyntä. [27.] AC/DC-lähettimeistä on myös saatavilla KTA-hyväksytyjä erikoismalleja, jotka näkyvät liitteessä 1.

5.3 VariTrans P 29000

Tässä luvussa käsitellään P 29000 -sarjan erotusmuuntimia ja niiden ominaisuuksia. Tuoteperhe koostuu yleiskäyttöisistä erotusmuuntimista, jotka soveltuvat korkeiden jännitteiden mittaamiseen 1000 V DC asti ja virtojen mittaamiseen yhdessä shunttivastuksen kanssa. Asiakkaan vaatimuksista riippuen on myös saatavilla erotusmuunnin virta-signaalien suoraan mittaamiseen. P 29000 -sarjan erotusmuuntimet toimivat hyvin kohdeissa, joiden asettamat vaatimukset erotukselle ovat alhaisemmat. Niiden etuja ovat yksityiskohtainen räätälöinti asiakkaan tarpeiden mukaisesti sekä laajemmat säätömahdollisuudet verrattuna P 40000 -sarjaan. Laitteisiin on saatavilla 192 eri mittausalue variaatiota. Niiden käyttökohteita ovat esimerkiksi tasavirta- ja servomootorikäyttöjen ohjaus- ja valvontamittaukset. [4.] Kuvassa 26 on P 29000 -sarjan erotusmuunnin.



Kuva 26. P 29000 -sarja [4]

P 29000 -sarjan erotusmuuntimien komponenttiarvot on esitetty taulukossa 4. Seuraavissa luvuissa käsitellään näitä ominaisuuksia tarkemmin.

Taulukko 4. P 29000 -sarjan erotusmuuntimien komponenttiarvot [28]

	P 29000
Tulot	± 30 mV - ± 1000 V
Lähdöt	0(4)...20 mA, 0...10 V, ± 20 mA, ± 10 V
Testijännite	5,4 kV AC
Toimintajännite	1000 V AC/DC
Erotusjännite EN 61140 mukaan	600 V AC/DC
Apujännite	20...253 V AC/DC, 24 V DC
CMRR	150 dB (50 Hz)
T-CMRR	100 dB
Vahvistusvirhe	0,1 / 0,2
Rajataajuus	10 Hz / 10 kHz
Nousuaika T ₉₉	200 ms / 200 μ s
Offset	0,1 %
Lämpötilakerroin	0,005 %/K, 0,008 %/K
Jäännösaaltoisuus	10 mV
Käyttölämpötila	-25...+85 °C
Leveys	17,5 mm

5.3.1 Mallit

P 29000 -sarjan erotusmuuntimet on tarkoitettu tulosignaalien ± 30 mV - ± 1000 V galvaaniseen erotukseen ja muuntamiseen unipolaarisiksi analogiasignaaleiksi 0/4...20 mA ja 0...10 V, tai bipolaarisiksi signaaleiksi ± 20 mA ja ± 10 V (taulukko 4). P 29000 -sarja sisältää kaksi mallia eri tuloalueiden mukaisesti. P 29000 P2 on kehitetty tulosignaaleille ± 100 V... ± 1000 V ja P 29001 P2 tuloalueelle ± 30 mV... ± 100 V. Molempia malleja on saatavilla tehtaan valmiiksi määrittelemillä mittausalueilla, mutta laitteen tuloalueet voidaan myös määrittää asiakkaan vaatimusten mukaisesti. [28.] Erotusmuuntimia on saatavilla kahdella eri apujännitteellä; 20–253 V AC/DC ja 24 V DC (taulukko 4). Apujännitteen laaja taajuusalue 45–440 Hz vaihtojännitteillä varmistaa laitteen häiriöttömän toiminnan myös syötön ollessa epävakaa. [4.]

P 29000 -sarjan alhaisempi vaatimustaso mahdollistaa kapeamman koteloinnin. Taulukon 4 mukaisesti laitteiden koteloinnin leveys on 17,5 mm, joten niitä voidaan asentaa useita rinnan. Laitteiden käyttölämpötila-alue on -25 ... $+85$ °C, joka on myös hieman alhaisempi verrattuna P 40000 -sarjaan.

5.3.2 Erotusominaisuudet

P 29000 -sarja on tarkoitettu sovelluksiin, joiden erotusvaatimukset ovat hieman alhaisemmat. Erotusmuuntimien toimintajännite on 1000 V AC/DC ja eristysrakenteiden jännitelujuuden kappaletestaus on toteutettu 5,4 kV:n testijännitteellä (taulukko 4). Standardin SFS-EN 61140 mukainen suojaerotus tulon, lähdön ja apujännitepiirin välillä varmistaa henkilöiden ja seuraavien laitteiden suojaamisen korkeilta jännitteiltä. Turvallinen erotus standardin SFS-EN 61010-1 mukaisella vahvistetulla erotuksella saavutetaan toimintajännitteille 600 V AC/DC asti kaikkien piirien välillä (taulukko 4). Laitteiden erotustasot on mitoitettu ylijänniteluokan 3 ja likaantumistasen 2 mukaisesti. [28.]

5.3.3 Siirto-ominaisuudet

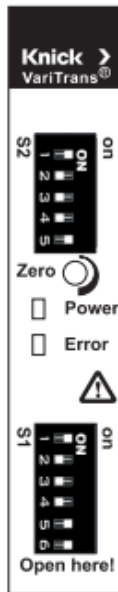
P 29000 -sarjan erotusmuuntimien signaalien siirto-ominaisuudet ovat samaa tasoa P 40000 -sarjan laitteiden kanssa. P 29000 -sarjan erotusmuuntimet vaimentavat myös tehokkaasti jännitteen vaihtelujen aiheuttamat yhteismuotoiset häiriöt. Taulukossa 4 on määritetty laitteiden CMRR-arvo 50 Hz:n taajuudella. Erotusmuuntimien CMRR on noin 150 dB ja T-CMRR noin 100 dB, kun mitataan suuruusluokaltaan alle 1 V:n jännitteitä.

Korkeammilla tasajännitteillä yhteismuotoinen vaimennus on noin 150 dB ja matalataajuisilla vaihtojännitteillä (50 Hz) noin 120 dB. [28.] Taulukossa 4 on määritetty laitteille kaksi rajataajuutta ja kaksi nousuaikaa. Laitteen rajataajuudeksi käyttäjä voi itse valita joko 10 Hz tai 10 kHz. Erotusmuuntimen nousuaika on 200 ms tai 200 μ s riippuen käytettävästä rajataajuudesta. Laitteiden nousuaika T_{99} kertoo kuluneen ajan tulosignaalin muutoksesta siihen ajan hetkeen, jolloin lähtösignaalissa on saavutettu 99 %:n tasapainotila. [28.]

Taulukossa 4 on määritetty laitteiden vahvistusvirhe sekä vahvistuksen lämpötilakerroin eri tuloalueiden mukaisesti. Erotusmuuntimien vahvistusvirhe on alle 0,1 % mittausarvosta, kun tulosignaalit ovat suuruusluokaltaan alle 1 V ja korkeammille tuloalueille vahvistusvirhe on alle 0,2 %. Vahvistuksen lämpötilavaikutus on 0,005 %/K suuruusluokaltaan alle 1 V:n tulosignaaleilla ja korkeammilla tuloalueilla 0,008 %/K. Taulukossa 4 esitettyjen lämpötilakertoimien vertailulämpötila on 23 °C. Laitteiden offset-parametri on määritetty prosentuaalisena lukuna, mikä tarkoittaa, että offset-vaikutus lähtösignaalissa on alle 0,1 % mittausarvosta. Lähtösignaalin jäännösaaltoisuus on alle 10 mV. [28.]

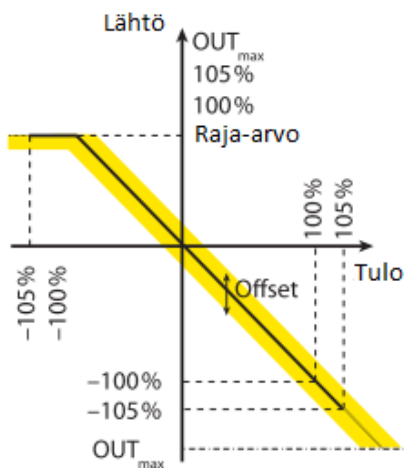
5.3.4 Asetukset

P 29000 -erotusmuuntimien etupaneeli sisältää kaksi dip-kytkintä. Dip-kytkimen S1 eri asennoilla määritetään käytettävät tulo- ja lähtöalueet. Dip-kytkimen S2 viidestä eri kytkimestä määritetään laitteen lähtösignaalin asetukset. Kytkimestä 1 asetetaan lähdön tila aktiiviseksi tai passiiviseksi. Passiivinen lähtösignaali on 4...20 mA ja lähdön ollessa passiivinen laite voidaan yhdistää suoraan aktiiviseen PLC-tuloon. Kytkimestä 2 määritetään lähtösignaalinä käytettävä virta- tai jännitesignaali. Käyttäjällä voi määrittää halutesaan käänteisen lähtösignaalin kytkimestä 3. Rajataajuus on asetettavissa kytkimestä 4 joko 10 Hz:iin tai 10 kHz:iin. Kytkimestä 5 voidaan ottaa käyttöön laitteen etupaneelissa sijaitseva potentiometri, jonka avulla hienosäädetään lähdön offset-parametria alueella ± 5 % mittausalueesta. [28.] Kuvassa 27 on P 29000 -mallin etupaneeli.



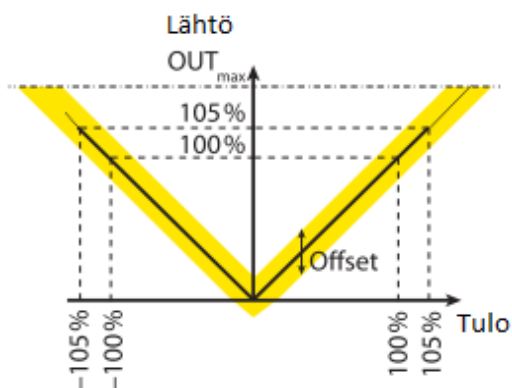
Kuva 27. P 29000 -mallin etupaneeli [28]

Erotusmuuntimille on mahdollista erikseen määrittää alempi tai ylempi mittausalueen raja lähtöalueelle. Lähtöarvo ei voi alittaa tai ylittää määritettyä rajaa. Raja-arvo ja herkkyys olosuhteille toiminta-alueen ulkopuolella määritetään tehdasasetuksena asiakkaan vaatimusten mukaisesti. [28.] Kuvassa 28 on erotusmuuntimen siirtökäyrä, kun lähtösignaali on käänteinen, lähdölle on määritetty yläraja sekä lähdön offsetin hienosäätö on käytössä.



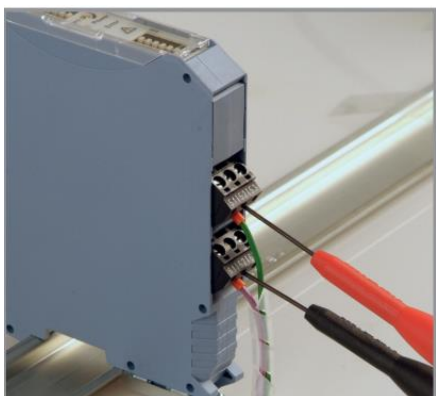
Kuva 28. Käänteinen siirtökäyrä (muokattu lähteestä [28])

P 29001 P2 -malliin voidaan erikseen määrittää shuntin vikaantumisen tunnistus toiminto. Mittausvastuksen rikkoutuessa tulopiiri on avoin, jolloin lähtö on maksimiarvossa. Asiakkaan vaatimuksesta erotusmuuntimissa voidaan myös toteuttaa kokoaaltoasasuuntaajan avulla itseisarvofunktio, jolloin lähtö ei voi saada negatiivista arvoa. [28.] Kuvassa 29 on v-muotoinen siirtokäyrä, joka saa ainoastaan positiivisia arvoja.



Kuva 29. Siirtokäyrä itseisarvofunktiolla (muokattu lähteestä [28])

Erotusmuuntimet on varustettu mittausliittimillä, jotka sijaitsevat tulo- ja lähtöterminaalien yläpuolella. Niiden kautta voidaan helposti mitata laitteen lähtövirta ja -jännite tai tehdä signaalikoestus vikatilanteissa. [28.] Kuvassa 30 toteutetaan laitteen toiminnan tarkastaminen tulopuolen mittausliittimistä.

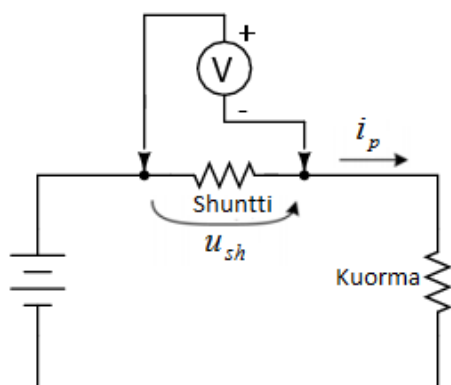


Kuva 30. Mittausliittimet [28]

5.4 Maconic shunt

5.4.1 Toimintaperiaate

Knickin shunttivastus, Maconic shunt, on virran mittaamiseen tarkoitettu tarkkuusvastus. Shuntin avulla toteutettava virranmittaus on hyvin yksinkertainen. Shunttivastus kytetään sarjaan johtimen, tai virtakiskon kanssa, jolloin se on osa virtapiiriä. Virtapiirissä kulkeva virta i_p muodostaa Ohmin lain mukaisesti jännitehäviön $u_{sh} = R_{sh}i_p$, jonka suuruus on suoraan verrannollinen vastuksen läpi kulkevaan virtaan (kuva 31). Shuntin jännitehäviön mittaamiseen käytetään erillistä mittauselektroniikkaa, joka muodostaa virta-an-turin yhdessä tarkkuusvastuksen kanssa. [25; 29.]



Kuva 31. Virranmittaus shunttivastuksella (muokattu lähteestä [25])

5.4.2 Ominaisuudet

Koska shunttivastus on osa mitattavaa virtapiiriä, täytyy mittauselektroniikalla toteuttaa galvaaninen erotus mitattavan virran ja mittauspiirin välillä. Lisäksi mittauselektroniikalta vaaditaan korkeaa CMRR-arvoa, koska shunttivastus on korkeassa potentiaalissa maahan nähden. Maconic Shunt -vastukset on suunniteltu käytettäväksi P 29000- ja P 41000 -erotusmuuntimien kanssa, sillä ne vaimentavat tehokkaasti yhteismuotoisten jännitteiden aiheuttamat lähtösignaalin häiriöpulssit. [29.] Kuvassa 32 on erikokoisia shunttivastuksia.



Kuva 32. Maconic Shunt tarkkuusvastus [29]

Shunttivastukset on luokiteltu nimellisvirran sekä nimellisjännitehäviön perusteella. Nimellisjännitehäviöllä tarkoitetaan vastuksen jännitehäviön suuruutta, kun sen läpi vieään sille määritelty nimellisvirta. Tehtaan määrittelemien shunttivastusten nimellisvirrat ovat 8 kA:iin asti ja asiakasräättälöidyissä shunteissa nimellisvirta on saatavilla 15 kA:iin asti. Tehtaan määrittelemien shunttien nimellisjännitehäviö on 60 mV, jotta saavutetaan kompakti vastuksen rakenne. Huomattavasti alhaisemmat shunttijännitteet voivat haitata mittausta ja vastaavasti korkeammat jännitteet muodostaisivat liikaa lämpöä, tai shuntit olisivat liian suurikokoisia. Kun mitataan pieniä virtoja, jännitehäviö vastuksen yli jää pieneksi, jolloin mittaustulos vääristyy termojännitteiden ja kohinan vaikutuksesta. Mittaus-tarkkuutta pienillä virroilla voidaan kasvattaa suurella vastusarvolla, mutta tällöin häviöt suurilla virroilla kasvavat, mikä rajaa mittausalueen pienemmäksi. Shuntissa lämmöksi muuttuva häviöteho saadaan laskettua yhtälöllä

$$P_{sh} = R_{sh} i_p^2, \quad (10)$$

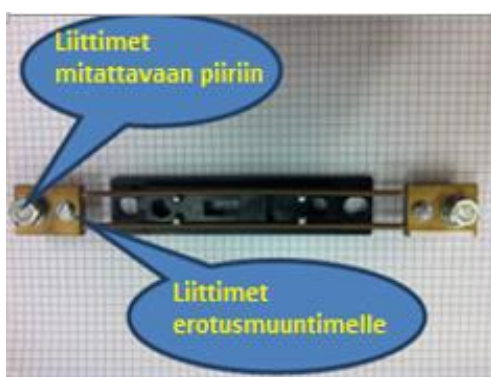
jossa R_{sh} on vastuksen resistanssi ja i_p on vastuksen läpi kulkeva virta. Tehohäviön shunttivastuksessa täytyy olla todella alhainen erityisesti korkeiden virtojen mittauksissa, jotta vältetään vastuksen liiallinen lämpeneminen. Myös shuntin nimellisjännitehäviö voidaan määrittää asiakkaan vaatimusten mukaisesti. [17; 25; 29.]

Virta-anturin resistiivisen materiaalin lämpötilakerroin pyritään pitämään pienenä, jotta niiden lämpötilariippuvuus on vähäistä. Knickin shunttivastuksen alhainen lämpötilakerroin on saavutettu käyttämällä valmistuksessa mangaani-kupari-nikkeliseosta. Vastusten tarkkuusluokat ovat 0,2 tai 0,5 mallista riippuen. Käytännössä tämä tarkoittaa, että

tehtaan määrittelemien vastusten jännitehäviö on $60 \pm 0,3$ mV tai $60 \pm 0,12$ mV, kun niiden läpi viedään nimellisvirta. [25; 29.]

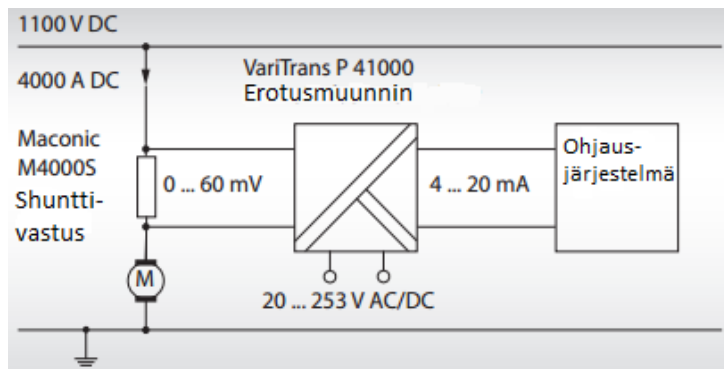
5.4.3 Liitäntä

Shunttivastusta käytetään yhdessä erotusmuuntimen kanssa virta-anturina ja niiden liitäntä on yksinkertainen. Tässä luvussa käytetään esimerkkinä P 41000 D1 erotusmuuntimen ja standardimallin shuntin liitäntää. Shunttivastus kytketään suoraan virtakiskoon ja johdotus shuntilta tuodaan kuvan 33 mukaisesti sisempien liittimien kautta erotusmuuntimelle.



Kuva 33. Shuntin liitäntä (muokattu lähteestä [30])

Liitteessä 4 on P 41000 D1 -mallin tulon, lähdön ja apujännitteen kytkentäperiaate. Shunttivastuksen johdotus liitetään erotusmuuntimen tuloterminaaleihin 6 (+) ja 7 (-), koska shunttivastuksen mittaussignaali on millivoltteja. Kun erotusmuuntimella mitataan jännitteitä alueella 1...100 V, kytketään mitattavan piirin johdotus terminaaleihin 5 (+) ja 7 (-). Apujännitteen liitäntä tuodaan erotusmuuntimen terminaaleihin 11 ja 12. Apujänniteliittimet on suojattu vääränapaiselta kytkennältä. Lähtöliitäntä riippuu siirrettävästä signaalista. Kun esimerkiksi logiikalle toimitetaan virtasignaali, kytketään johdotus terminaaleihin 13 (+) ja 15 (-). Vastaavasti jos mittaustieto toimitetaan jännitesignaalina, lähtöliitäntä kytketään terminaaleihin 14 (+) ja 16 (-). Kun siirretään jännitesignaaleja, asetetaan jumpperi terminaalien 13 (+) ja 14 (+) väliin. [26.] Kuvassa 34 on shunttivastuksen ja erotusmuuntimen avulla toteutetun DC-anturin periaatekuva.



Kuva 34. DC-anturi (muokattu lähteestä [29])

Kun käytetään shunttivastusta ja erotusmuunninta, suositellaan nämä kaksi laitetta asennettavaksi mahdollisimman lähelle toisiaan, jotta vähennetään kaapeloinnin aiheuttamia vaikutuksia mittaukseen. Lähtösignaalina käytettävä virta- tai jännitesignaali määrittyy yleensä seuraavien laitteitten perusteella. Jos molemmat signaalivaihtoehdot ovat käytettävissä, tulee virtasignaaleja suosia erityisesti pidemmillä siirtoreiteillä. Kaapelointi erotusmuuntimelta ohjausjärjestelmille täytyy olla suojattu kierretty parikaapeli. [4; 30.]

5.4.4 Valintatyökalu

Kun määritetään sopivaa laiteratkaisua, on tärkeä parametri erotuksen toteuttavan laitteen toimintajännite. Toimintajännite määrittää sallitun potentiaalieron laitteen tulo-, lähtö- ja teholähdepiirin välillä. Määräävänä tekijänä ovat myös käsiteltävä tulosignaali sekä lähtösignaali, joka vaaditaan. Riippuen käyttösovelluksesta, tulee näiden tekijöiden lisäksi huomioida myös ympäristöolosuhteet sekä tarvittavan suojaerotuksen toteutus. [4.] Kuvassa 35 on määritetty sopiva laiteratkaisu erisuuruisten virtojen sekä jännitteiden mittaamiseen eri toimintajännitealueilla.

	Mitattava virta $I < 100 \text{ mA}$	Mitattava virta $I < 5 \text{ A}$	Mitattava virta $I > 5 \text{ A}$	Jännitemittaus
Toimintajännite $< 1000 \text{ V}$	VariTrans P27000 	VariTrans P29001 + Maconic shunt 	VariTrans P29001 + Maconic shunt 	VariTrans P29000 
Toimintajännite $> 1000 \text{ V}$	VariTrans P43000 	VariTrans P43000 	VariTrans P41000 + Maconic shunt 	VariTrans P42000 
Toimintajännite $> 2200 \text{ V}$	VariTrans P43100 	VariTrans P43100 	VariTrans P41100 + Maconic shunt 	VariTrans P42100 

Kuva 35. Valintatyökalu [29]

6 P 40000 -sarjan erotusmuuntimille tyypillisiä käyttökohteita

Osana tutkimusta toteutettiin korkeajännitemuuntimien kohderyhmiin liittyvä selvitystyö, jonka tuloksia on lyhyesti esitetty tässä luvussa. Tutkimus kohdistui P 40000 -sarjan erotusmuuntimien käyttökohteiden selvittämiseen ja tutkimus toteutettiin selvittämällä Knick GmbH:n referenssejä tuotteiden käyttösovelluksista Saksassa.

P 40000 -sarjan erotusmuuntimet täyttävät useiden eri rautatiestandardien vaatimukset. Laitteiden yleisin käyttökohde on radan virransyöttöjärjestelmän valvonta; niiden avulla mitataan toiminta- ja vikavirtoja sekä monitoroidaan verkon syöttöjännitettä DC-sähköasemilla. [4.] Näitä galvaanisia erottimia voidaan käyttää kohteissa, joissa standardimallin viestinerottimien erotuskyky sekä signaalinsiirto-ominaisuudet eivät riitä.

Erotusmuuntimien yleisimpiä käyttökohteita ovat kriittiset virran- ja jännitteen mittaukset korkeajännitejärjestelmien DC-verkoissa, joilla varmistetaan erilaisten valvonta- ja suojaustoimenpiteiden toteutuminen vaaditulla tavalla. Suojaustoimintoja ovat esimerkiksi oikosulku-, maasulku- ja ylivirtasuojaus, joilla estetään vikailmiöiden aikaansaamat vahingot järjestelmässä. Erotusmuuntimien kautta mitataan oikosulkuvirtoja, vikavirtoja sekä maavuotovirtoja ja toimitetaan mittaustieto esimerkiksi suojareleelle. Kun vika havaitaan, suojarele aktivoi vastaavan katkaisijan laukaisumekanismiin ja katkaisee virtapiirin. [17; 31.]

Erotusmuuntimia käytetään paljon kohteissa, joissa virransyöttö muodostetaan tasasuuntaajien avulla. Esimerkkisovelluksia ovat DC-rautatiejärjestelmät, kuten raitiovaunut, pikaraitiovaunut ja metrot. Näissä sovelluksissa keskijänniteverkon vaihtosähkö tasasuunnataan sähköasemilla ja syötetään DC-verkkoon. Myös elektrolyytisissä valmistusprosesseissa, kuten kuparin valmistuksessa, alumiinin sulatuksessa, kloorin tuotannossa ja raakametallien valmistuksessa elektrolyysin käynnistävä tasavirta syötetään tasasuuntaajien avulla. Näiden sovellusten DC-virrat täytyy mitata ja monitoroida. Elektrolyysiprosessien yhteydessä myös mitataan DC-silmukkajännitettä, jotta elektrolyysiprosessit pysyvät erotettuina maasta. [17; 31.]

Muita merkittäviä käyttökohteita tuotteille ovat laivat, voimalaitokset sekä terästeollisuus. Laivoissa ja jäänmurtajissa, joissa sähköisiä potkurimoottoreita ohjataan propulsiokäytöllä, erotusmuuntimia käytetään moottorien virran monitorointiin ja mittaustietoa käyte-

tään potkurin pyörimisnopeuden säätämiseen taajuusmuuttajien avulla. Voimalaitoksissa erotusmuuntimia käytetään erilaisten generaattorisovellusten, kuten esimerkiksi kaasuturbiinilaitosten maavuotojen valvonnassa. Aurinkovoimalaitoksissa laitososastojen tasasähkön AC-verkkoon kytkevien keskusinvertterien tulojännite ja kokonaisvirta sekä laitososastojen paneeliketjujen virrat mitataan erotusmuuntimen kautta. Terästeollisuudessa erotusmuuntimia käytetään esimerkiksi hitsausasemien tehonsyötön valvonnassa. [31; 32; 33.]

Erotusmuuntimien yleisimmät käyttökohteet sijoittuvat eri teollisuuden ympäristöihin. Laitteita voidaan myös hyödyntää lääketieteen sovelluksissa, kuten esimerkiksi sydäntahdistimen elektrodien eristyksen testauksessa niiden tarjoaman galvaanisen erotuksen ansiosta. [31.]

Seuraavaksi on esitetty kaksi esimerkkisovellusta, jotka on toteutettu P 40000 -sarjan erotusmuuntimien avulla. Esimerkkisovellukset ovat ylivirtasuojaus käynnistyskonvertterin maasulkusuojauksena sekä raitiotieverkon radan virransyöttöjärjestelmän valvonta.

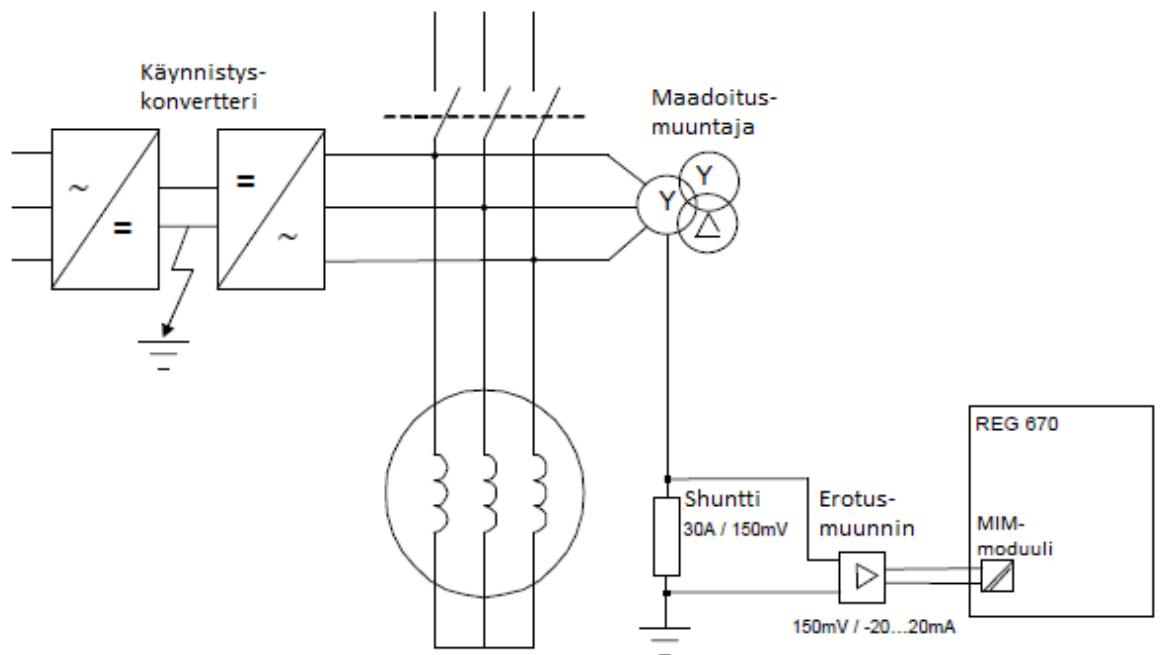
6.1 Esimerkkisovellus 1

6.1.1 Järjestelmä

Kaasuturbiinilaitokset, pumppuvoimalaitokset ja vesivoimalaitokset ovat generaattorisovelluksia, jotka käynnistetään käynnistyskonvertterien avulla. Näissä järjestelmissä ylivirtasuojausta voidaan käyttää esimerkiksi maavuotojen havaitsemiseen kaasuturbiinin tai generaattorin käynnistyskonvertterin tasasähköpuolella tai valvomaan joko tahtikoneen herätysvirtaa tai herätejännitettä laukaisuelementtien yhteydessä. Oikein toteutulla generaattorisuojauksella varmistetaan, että laitos täyttää toimintatavoitteensa ja generaattorit säilyvät toimintakunnossa pidempään. [35.]

Kun käynnistyskonvertterin tasasähköpuolella tapahtuu maasulku, tasavirta kulkee kaikkien maadoitettujen komponenttien läpi, jotka ovat galvaanisesti yhteydessä käynnistyskonvertteriin. Koska maadoitusmuuntajilla tai tähtipistemuuntajilla on pienempiohminen resistanssi verrattuna generaattorien terminaaleihin yhdistettyihin jännitemuuntajiin, ne ottavat suurimman osan tasavirrasta, mikä aiheuttaa riskin termiselle ylikuormitukselle. [30.]

Ainoa mahdollisuus maavuodon havaitsemiseen on mitata tasavirta, joka kulkee jokaisen laitteen maayhteyden läpi erotusmuuntimen kautta, sen korkeiden erotusominaisuuksien ansiosta. Erotusmuunnin toimittaa mittaustiedon suojarielelle, joka on varustettu MIM-tulomodulilla sekä elementillä, joka asettaa suojauskeskeytyksen päälle. MIM-moduuli on kuusikanavainen muuntajamoduulikortti, jonka tuloalue on ± 20 mA. Aikaviive suojauskeskeytyksen laukaisemiseen, joka on tyypillisesti asetettu 2–5 sekuntiin, otetaan käyttöön generaattorin suojarieleen REG670 konfiguraation yhteydessä. [30; 35.] Kuvassa 36 on esitetty kytkentäperiaate maavuotovirran mittaamiseen.



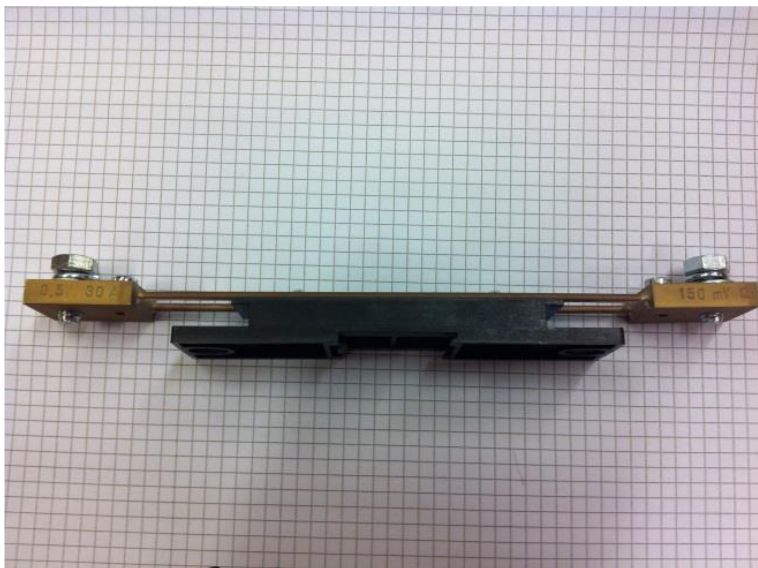
Kuva 36. Kytchentäperiaate (muokattu lähteestä [30])

6.1.2 Suojajärjestelmän komponentit

Seuraavat komponentit on testattu laboratorioympäristössä suojajärjestelmän toteuttamista varten, ja sitä voidaan käyttää referenssinä [30]. Järjestelmäkomponentit on esitetty kuvissa 37, 38 ja 39.

1. Shunttivastus Knick F-M30S-0011

- Nimellisvirta 30 A / Nimellisjännitehäviö 150 mV
- Tarkkuus: 0,5
- Shunt eristyspohja ZU0910



Kuva 37. Shunttivastus [30]

2. Knick VariTrans P 41166 D1 erotusmuunnin

- Tulo: 150 mV
- Lähtö: ± 20 mA
- Nousuaika T_{90} : 0,15 ms
- Apujännite: 22...230 V AC/DC
- Testijännite: Tulo – lähtö/Apujännite 15 kV AC
- Lähtö – Apujännite 4 kV AC



Kuva 38. Erotusmuunnin P 41166 D1 [30]

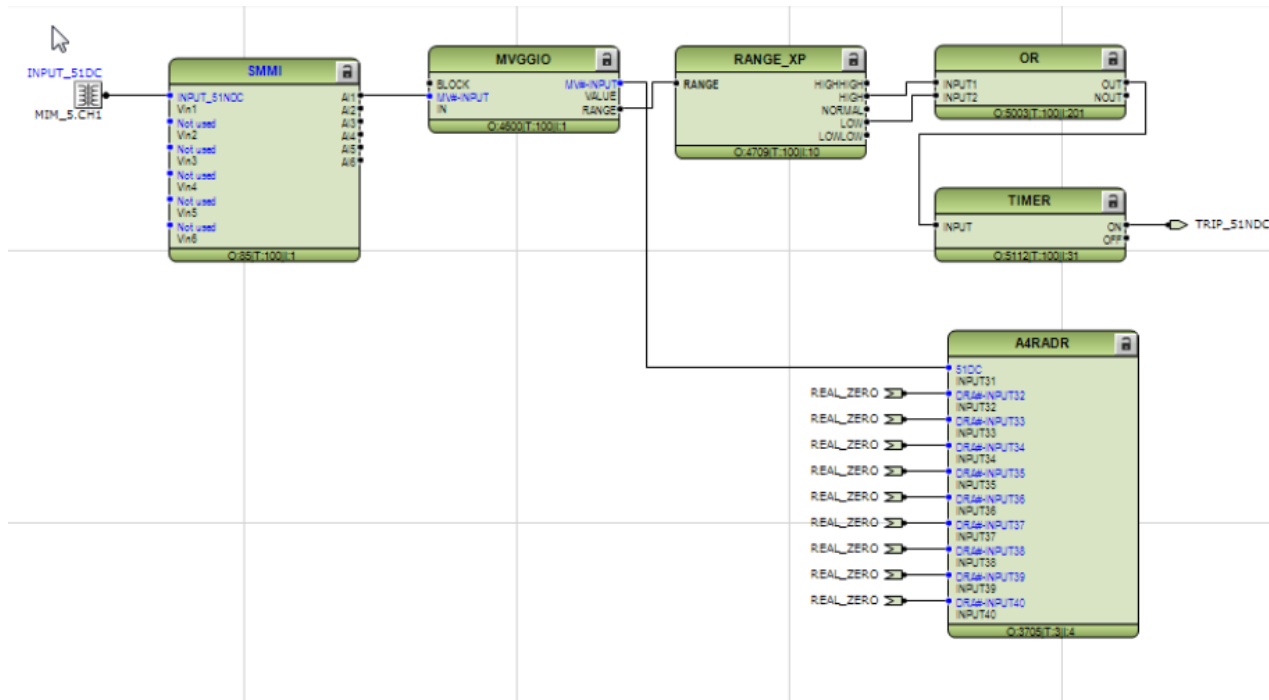
3. REG670 -generaattorin suojarahle varustettuna MIM-moduulilla



Kuva 39. REG670 -generaattorin suojarahle [36]

6.1.3 REG670 -generaattorin suojarahleen konfiguraatio

REG670 -generaattorin suojarahleen konfigurointi on toteutettu kuvassa 40. Kuvassa nähdään MIM-moduulin tulokanavat, suojarahsen asettava MVGGIO-toimintolohko sekä erillinen ajastin-toimintolohko, jotka ovat generaattorin maasulkusuojarahsen kannalta keskeisiä. [30.]



Kuva 40. REG670 -suojareleen konfiguraatio [30]

Kuvassa 41 on esitetty MIM-moduulin kanavien asetukset. Asetukset IMinCh1 ja IMaxCh1 määritetään erotusmuuntimen lähtöarvojen mukaisesti, jotka tässä tapauksessa ovat ± 20 mA. Asetukset ValueMinCh1 ja ValueMaxCh1 määritetään erotusmuuntimen tulopuolella olevan shunttivastuksen arvojen mukaisesti, mikä tässä tapauksessa on shuntin nimellisvirta 30 A. [30.]

REG670 - Parameter Setting					
Group / Parameter Name	IED Value [SG1/Common]	PC Value [SG1/Common]	Unit	Min	Max
✓ MIM_5					
✓ General					
✓ Operation		On			
✓ MaxReportT		0	s	0	3600
✓ mA channel 1					
✓ NAMECI11		CI11			13 character(s)
✓ EnDeadBandCh1		On			
✓ DeadBandCh1		0,00	mA	0,00	20,00
✓ IMinCh1		-20,00	mA	-25,00	25,00
✓ IMaxCh1		20,00	mA	-25,00	25,00
✓ ValueMinCh1		-30,000		-10000000000,0	10000000000,0
✓ ValueMaxCh1		30,000		10000000000,0	10000000000,0

Kuva 41. MIM-moduulin asetukset mitta-arvojen skaalausta varten [30]

Kuvassa 42 on määritetty asetukset suojauksen käynnistävälle MVGGIO-toimintolohkolle. Asetukset parametreille MV hLim ja MV ILim täytyy määrittää käytettävän laitteiston mukaisesti. [30.] Laskentaesimerkki esitetään seuraavassa kappaleessa.

REG670 - Parameter Setting					
Group / Parameter Name	IED Value [SG1/Common]	PC Value [SG1/Common]	Unit	Min	Max
✓ MVGGIO: 1					
✓ NAME		MV#-INPUT			13 character(s)
✓ MV db		1	Type	1	300
✓ MV zeroDb		500	m%	0	100000
✓ MV hhLim		90,000		-10000000000,0	10000000000,0
✓ MV hLim		2,000		-10000000000,0	10000000000,0
✓ MV ILim		-2,000		-10000000000,0	10000000000,0
✓ MV IILim		-20,000		-10000000000,0	10000000000,0
✓ MV min		-15,000		-10000000000,0	10000000000,0
✓ MV max		15,000		-10000000000,0	10000000000,0
✓ MV dbType		Int deadband			
✓ MV limHys		5,000	%	0,000	100,000

Kuva 42. MVGGIO-toimintolohkon eli suojauksen käynnistystason asetukset [30]

6.1.4 Ratkaisu

Kyseisen sovellusesimerkin avulla on toteutettu kaasuturbiini generaattorilaitteiston maasulkusuojaus. Kun käynnistyskonvertterin tasasähköpuolella tapahtuu maasulku, noin puolet tasajännitteestä esiintyy konvertterin AC-puolelle kytkettyjen muuntajien tähtipisteissä. Koska muuntajien tähtipisteet on yhdistetty maahan, saa potentiaaliero sähkövirran virtaamaan. Tämän virran arvon määrittävät syöttöjännite ja niiden muuntajien resistanssi, jotka on maadoitettu ja galvaanisesti yhteydessä käynnistyskonvertterin kanssa.

Käynnistyskonvertteri, joka on varustettu 6-pulssisella tasasuuntaajalla ja käynnistysmuuntajalla, jonka nimellispääjännite on $U_{NSTUP} = 1$ kV, muodostaa tasajännitteen $U_{DC} \approx 1,35 \cdot U_{NSTUP} = 1,35$ kV. Kun maavika tapahtuu DC-välipiirissä, jännite tähtipisteessä nousee puolella tasajännitteestä $U_{DCFLT} = 0,5 \cdot U_{DC} = 675$ V. Kun maadoitusmuuntajan käämityksen resistanssi on $R_{GTRF} \approx 150 \Omega$, tasavirta, jonka suuruus on $I_{DCFLT} = 675 \text{ V} / 150 \Omega = 4,5$ A, virtaa maahan sen tähtipisteen kautta.

Jotta varmistetaan luotettava suojauksen käynnistyminen, on suositeltavaa käyttää suojauksen asetusarvona alle puolet vikavirran arvosta. Tässä sovelluksessa asetusarvona suojaukselle käytettiin tasavirran arvoa 2 A, joka tulee asettaa parametreihin MV hLim ja MV lLim (kuva 42). Suojaustoiminnon yleinen laukaisuviive noin 2 s asetetaan vastaavaan ajastin toimintolohkoon (kuva 40). [30.]

6.2 Esimerkkisovellus 2

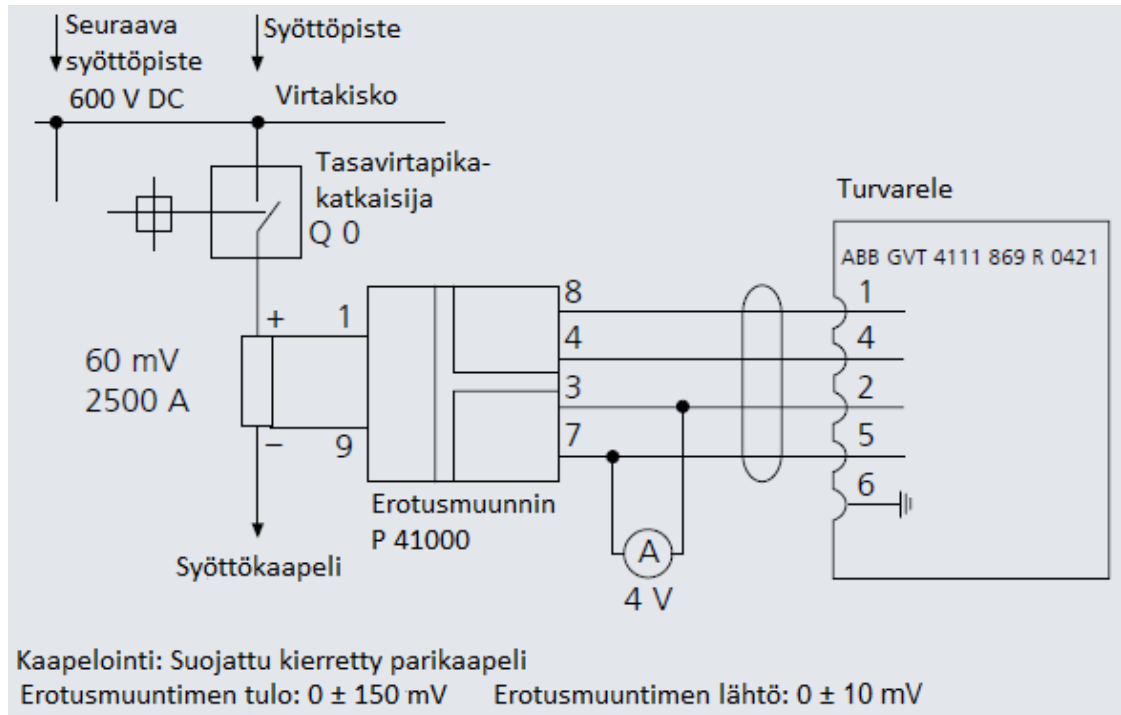
6.2.1 Järjestelmä

Raitiovaunuverkko koostuu sähköasemista, jotka on hajautettu koko verkon alueelle. Näissä sähköasemissa keskijänniteverkon vaihtosähkö muunnetaan 600 V:n tasajännitteeksi. Jokainen sähköasema sisältää useita syöttöpisteitä, jotka syöttävät vaadittavan 600 V:n tasajännitteen ja noin 3500 A:n virran verkkoon. Tätä virtaa täytyy monitoroida jatkuvasti mahdollisia häiriöitä varten turvareleellä. Ongelmatilanteissa, kuten oikosulun seurauksena, turvarele kytkee välittömästi syöttöpisteen pois toiminnasta antamalla laukaisukäskyn katkaisijalle. Turvarele tarkastelee virran suuruutta sekä muutosnopeutta, jotta vältetään käynnistysvirtojen aiheuttamat järjestelmän turhat käyttökatkot. Käynnistysvirtoja aiheutuu raitiovaunujen liikkeellelähdön seurauksena, ja ne ovat suuruusluokaltaan vastaavia kuin vikavirrat. [17; 34.]

Ongelmia järjestelmän toiminnassa ilmeni aina, kun radanvirransyötön turvajärjestelmä aktivoitui. Kun turvajärjestelmä kytki yhden syöttöpisteen pois toiminnasta, muut syöttöpisteet menivät myös automaattisesti offline-tilaan. [34.]

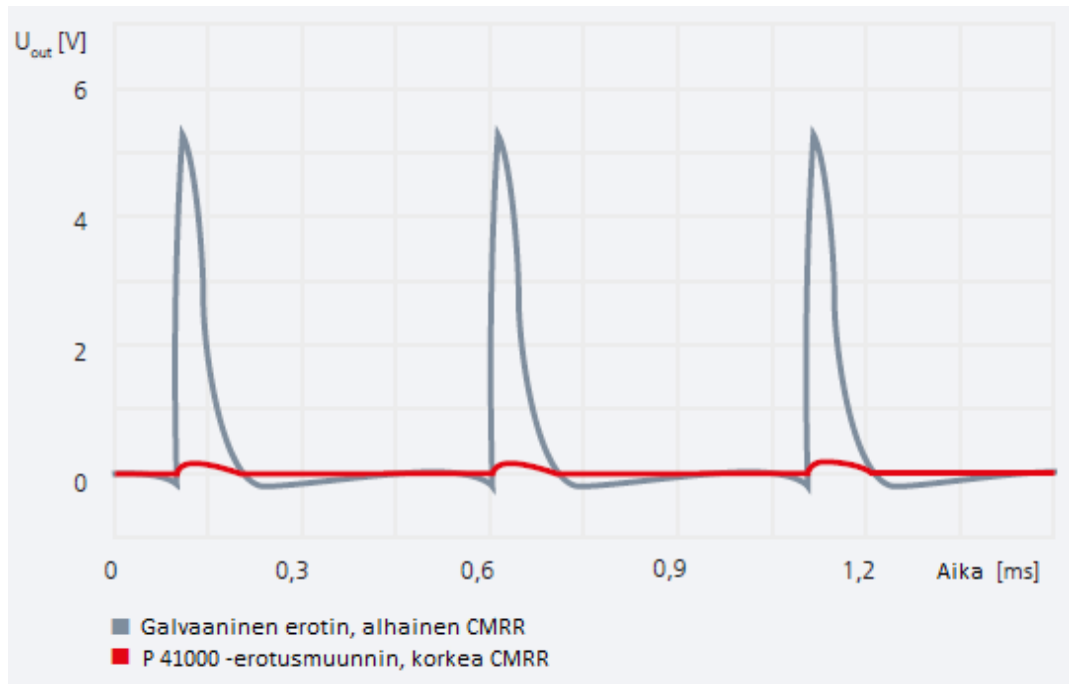
6.2.2 Ratkaisu

Standardin EN 50123 mukaan rataverkkoon syötettävää tasavirtaa mitataan turvareleen ja katkaisijan väliin kytkettävällä shunttivastuksella. Tämä shuntti toimittaa esimerkiksi 60 mV:n mittaussignaalin virran ollessa 2500 A. Jotta suojellaan seuraavia laitteita, 60 mV mitataan galvaanisen erottimen kautta. [34.] Kuvassa 43 on esitetty radan virransyötön valvontajärjestelmän kytkentäperiaate.



Kuva 43. Radan virransyötön valvonta (muokattu lähteestä [34])

Kuten kuvasta 43 nähdään, on kaikki sähköaseman syöttöpisteet yhdistetty yhteisen virtakiskon kautta. Järjestelmän hätäalasajon aiheuttajaksi paljastui yhteismuotoinen häiriö, joka siirtyi syöttöverkon läpi yhteisen virtakiskon kautta. Turvareleelle mittaustiedon muuntanut galvaaninen erotin osoittautui käyttökelvottomaksi järjestelmään, sillä laite ei kyennyt vaimentamaan häiriöpulssia, joka aktivoi suojaustoiminnon. Kun raitiotieverkon sähköasemiin asennettiin P 41000 -mallin erotusmuuntimet, järjestelmän ongelmat hävisivät. Erotusmuuntimet kykenivät vaimentamaan häiriöpulssin niiden korkean CMRR-arvon ansiosta [34.] Tätä on havainnollistettu kuvassa 44.



Kuva 44. Yhteismuotoisten häiriöiden vaimennus (muokattu lähteestä [17])

Koska CMRR on taajuusriippuvainen, on laitteiden pulssimuotoisten yhteismuotoisten häiriöiden vaimennuskyky huomattavasti alhaisempi. Siksi P 41000 -sarjan tuotteille on määritetty erikseen T-CMRR-arvo näitä häiriöpulsseja varten. Raitiovaunujärjestelmän muutosasennusten myötä järjestelmän käytettävyys parani huomattavasti, sillä turvajärjestelmän aktivoitumisen aiheuttamat järjestelmän turhat käyttökatkot pystyttiin eliminoidaan. [17; 34.]

7 Yhteenveto

Työn tarkoituksena oli selvittää oikean laiteratkaisun valintaan vaikuttavat tekijät Knick GmbH:n korkeajännitemuuntimien osalta sekä tutkia laitteiden käyttökohteita eri teollisuuden aloilla. Tutkimuksen tarkoituksena oli lisätä työn toimeksiantajan asiantunteudesta galvaanisista erottimista ja muuntimista sekä auttaa myyntihenkilöitä löytämään tuotteille oikeat kohderyhmät.

Tutkimuksen taustatyönä selvitettiin galvaanisen erotuksen merkitystä mittaustekniikassa sekä käyttöympäristön asettamia vaatimuksia erotuksen toteuttaville laitteille. Korkeajännitemuuntimien kohderyhmien selvitystyö rajoittui tiukan aikataulun johdosta P 40000 -sarjan erotusmuuntimiin. Selvitystyö toteutettiin vertailemalla saksalaisen päämiehen Knick GmbH:n referenssejä korkeajännitemuuntimien käyttökohteista Saksassa.

Tutkimuksen edetessä muodostui työn runko, jossa keskeisenä osana ovat standardien asettamat vaatimukset korkeajännitemuuntimille, laitevalmistajan tekemät ratkaisut standardien perusteella sekä tuotteiden tärkeimmät ominaisuudet riittävän herkkyyden ja tarkkuuden saavuttamiseksi mittauksissa ja signaalinsiirroissa. Materiaalina tutkimuksessa käytettiin yritysten Knick GmbH ja Sähkölehto Oy sähköistä materiaalia ja teknistä tukea sekä sähkötekniikan kirjallisuutta ja standardeja.

Erotusmuuntimien ja AC/DC-lähettimeiden tuotekuvauksessa käytiin tuotteiden tärkeimpiä ominaisuuksia vertaillen läpi ja muodostettiin runko auttamaan oikean laiteratkaisun valinnassa tuoteperheestä. Työ sisältää erotuksen toteuttavien laitteiden valintaprosessia ohjaavat tekijät, joita ovat sähköturvallisuusstandardit, direktiivit, tuotteiden tekniset tiedot ja ominaisuudet sekä käyttöympäristön asettamat vaatimukset laiterakenteelle ja suojaukselle.

Tutkimuksen myötä selvisi, että P 40000 -sarjan erotusmuuntimien selvästi yleisin käyttökohde on rautatieteollisuus. Laitteiden erikoistuminen DC-rautatietjärjestelmien valvontamittauksiin voidaan nähdä tulevaisuuden kannalta merkittävänä, sillä joukkoliikenteen investoinneissa on odotettavissa kasvua. Yksi syy tähän on kaupunkialueiden tasaisesti kasvava väkimäärä, jonka seurauksena myös liikennemäärät ovat kasvaneet. Joukkoliikenteen tulee vastata tähän kehitykseen, jotta varmistetaan liikenteen sujuvuus, saavutetaan ilmastonsuojelua koskevat poliittiset tavoitteet sekä suojellaan alati väheneviä luonnonvaroja.

Konkreettisia esimerkkejä tulevaisuuden hankkeista ovat Tampereelle ja Turkuun kaavailut pikaraitiotiejärjestelmät. Näistä erityisesti Tampereen projekti on vahvassa myötätuudessa, sillä hankkeelle myönnettiin valtion tuki, joka oli yksi kriittisistä ehdoista hankkeen toteutumisen kannalta. Tämän lisäksi Helsingin uudessa yleiskaavassa on painotettu kestävä liikunnan edistämistä ja sen toteuttamisen keskeiseksi teemaksi on valittu raideliikenteen kehittäminen. Helsinkiin on kaavailtu nykyisen linja-autoilla liikennöivän runkolinjan 550 tilalle Raide-Jokeriksi kutsuttua pikaraitiotietä ja lisäksi on aloitettu Kruunusillat-suunnitteluhanke pikaraitiotieyhteyden toteuttamiseksi Helsingin keskustasta Laajasaloon. Myös syksyllä 2016 avautuvalle Länsimetrolle on rakenteilla jatko-osuus.

Muut tutkimuksen aikana selvinneet merkittävät käyttökohteet tuotteille ovat voimalaitokset, laivat, elektrolyyttiset valmistusprosessit sekä terästeollisuus. Korkeajännitemuuntimien KTA-hyväksynnän myötä ydinvoimalaitokset tulee huomioida tulevaisuudessa. Lisäksi laitteiden käyttömahdollisuudet aurinkovoimalaitoksissa tulee huomioida, mikäli järjestelmien käyttö lisääntyy sekä erityisesti, jos järjestelmän käyttöjännitettä nostetaan nykyisestä 1000 V DC -jännitteestä 1500 V DC paremman hyötysuhteen saavuttamiseksi. Korkeajännitemuuntimilla saavutetaan turvallinen erotus 1800 V AC/DC asti.

Yhteenvedon voidaan todeta, että tuotteiden tekninen selvitystyö ja kohderyhmien kartoitus oli paikallaan, sillä Knickin korkeajännitemuuntimilla on suuri markkinapotentiaali niiden käyttövarmuuden ansiosta. Tuotteiden avulla on mahdollista rakentaa pitkäaikaisia asiakkuussuhteita. Koska kyseessä ovat erikoistuotteet hyvin kapealle sektorille, on pääperiaate tuotteiden myynnin kehittämiseksi suora yhteydenotto potentiaalsiin suuriin asiakkaisiin. Potentiaalia on kasvattaa tuotteiden myyntiä, kun lisätään myyjien tuoteosaamista sekä tietämystä tuotteiden käyttökohteista. Tutkimuksen pohjalta aloitettiin dokumentaation muodostaminen myyntihenkilöitä varten teollisuuden sektoreista sekä yrityksistä, joihin tuotteita tullaan tarjoamaan. Lisäksi myyntihenkilöille on tarkoitus pitää tuotekoulutus galvaanisista erottimista ja muuntimista työn pohjalta.



Lähteet

- 1 Yritystiedot. Sähkölehto Oy.
<http://www.sahkolehto.fi/palvelut/yritystiedot/fi_FI/yritystiedot/> Luettu 19.3.2016.
- 2 Sähkölehto Yritysesitys. Sähkölehto Oy esite.
- 3 Yritystiedot. Knick GmbH.
<<https://www.knick-international.com/en/about-us/company/>> Luettu 19.3.2016.
- 4 Product Catalog, Modules Isolation amplifiers/transmitters. Tuotekatalogi. Knick GmbH.
- 5 Isolation Technologies for Reliable Industrial Measurements. 2014. Verkkodokumentti. National Instruments.
<<http://www.ni.com/white-paper/3546/en/>> Luettu 21.3.2016.
- 6 High Voltage Measurement and Isolation. 2012. Verkkodokumentti. National Instruments.
<<http://www.ni.com/white-paper/3413/en/>> Luettu 3.4.2016.
- 7 Isolation and Safety Standards for Electronic Instruments. 2010. Verkkodokumentti. National Instruments.
<<http://www.ni.com/white-paper/2827/en/>> Luettu 9.4.2016.
- 8 Standardien suhde muihin asiakirjoihin. Verkkodokumentti. Suomen standardisointiliitto SFS ry.
<http://www.sfs.fi/julkaisut_ja_palvelut/standardi_tutuksi/standardien_suhde_muihin_asiakirjoihin> Luettu 12.4.2016.
- 9 SFS-EN 61010-1:2010. Mittaukseen, säätöön ja laboratoriokäyttöön tarkoitettujen sähköisten laitteiden turvallisuusvaatimukset. Osa 1: Yleiset vaatimukset. Vahvistettu 2011. Helsinki: Suomen standardoimisliitto.
- 10 Airaksinen, Toni. 2011. Pienjännitelaitteiden testaus ja suunnittelu standardin EN 60950-1 pohjalta. Opinnäytetyö. Mikkelin ammattikorkeakoulu. Sähkötekniikan koulutusohjelma. Pysyvä osoite: <http://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-201105208966>
- 11 What are Measurement Categories (CAT I, CAT II, etc...)? 2010. Verkkodokumentti. National Instruments.
<<http://www.ni.com/white-paper/5019/en/>> Luettu 10.4.2016.
- 12 SFS-EN 61140/A1:2007. Suojaus sähköiskulta. Asennusten ja laitteiden yhteiset ominaisuudet. Vahvistettu 2007. Helsinki: Suomen standardoimisliitto.

- 13 Tuotteet ympäristövaatimusten mukaisiksi: ohjeet, toimintamallit ja liittyvät kustannukset. Verkkodokumentti. Teknologiateollisuus ry. <http://teknologiateollisuus.fi/sites/default/files/file_attachments/web_tuotteet_ymparistovaatimusten_2015.pdf> Luettu 12.4.2016.
- 14 Europa. 2006. Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi 2006/95/EY. Pienjännitedirektiivi. Saatavissa: <<http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2006:374:0010:0019:fi:PDF>> Luettu 14.4.2016.
- 15 Europa. 2004. Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi 2004/108/EY. EMC-direktiivi. Saatavissa: <<http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2004:390:0024:0037:fi:PDF>> Luettu 14.4.2016.
- 16 Järvisalo, Heikki. 2012. Analogisten erotusvahvistimien nykytilan kartoitus. Kandidaatintyö. Lappeenrannan teknillinen yliopisto. Sähkötekniikan koulutusohjelma. Pysyvä osoite: <http://urn.fi/URN:NBN:fi-fe201202101312>
- 17 Blaak, Holger. 2009. Improving the Safety and Availability of Traction Power Supply Systems. White Paper. Knick GmbH esite.
- 18 Silvonon, Kimmo. 2009. Elektroniikka ja puolijohdekomponentit. Helsinki: Ota-tieto.
- 19 Arduino ja teholedit. 2010. Verkkodokumentti. <http://www.partco.biz/verkkokauppa/article_info.php?articles_id=9> Luettu 21.3.2016.
- 20 PWM PIC: Pulse Width Modulation. 2011. Verkkodokumentti. <<http://www.best-microcontrollerprojects.com/pwm-pic.html>> Luettu 21.3.2016.
- 21 Laboratoriotyö 1, Mittausvahvistimet. Verkkodokumentti. <http://metrology.hut.fi/courses/S-108.2010/Tyo1_ohjeet_2006.pdf> Luettu 3.4.2016.
- 22 ABB:n TTT-käsikirja 2000-07. Luku 6: Ylijännite- ja häiriösuojaus. Verkkodokumentti. <<http://docplayer.fi/5108700-6-yljannite-ja-hairiosuojaus.html>> Luettu 21.3.2016.
- 23 Norwegian Jewel. Sähkölehto Oy esite.
- 24 Mustonen, Henri. 2015. Virtakiskon virran mittaaminen avoimen magneettipiirin Hall-anturilla. Diplomityö. Tampereen teknillinen yliopisto. Elektroniikan ja tietoliikennetekniikan laitos. Pysyvä osoite: <http://URN.fi/URN:NBN:fi:tty-201505081273>
- 25 Niiranen, Oskari. 2013. Suntin käyttö virta-anturina raskaissa työkonenäkökäytöissä. Diplomityö. Aalto yliopisto. Sähkötekniikan korkeakoulu. Pysyvä osoite: <http://urn.fi/URN:NBN:fi:aalto-2014011111118>

- 26 Knick High Voltage Isolator VariTrans P 41000/P 42000/ P 43000 Manual. Datalehti. Knick GmbH.
<<https://www.knick-international.com/export/media/1523.pdf>> Luettu 25.4.2016.
- 27 It's TRUE! True RMS measurement with the new AC/DC high-voltage transmitters of the VariTrans P 40000 TRMS series. Knick GmbH esite.
- 28 VariTrans P 2900x P2 Manual. Datalehti. Knick GmbH.
<<https://www.knick-international.com/export/media/1327.pdf>> Luettu 25.4.2016.
- 29 Maconic Shunt Resistors. Datalehti. Knick GmbH.
<<https://www.knick-international.com/export/media/902.pdf>> Luettu 25.4.2016.
- 30 Application note: DC overcurrent protection using shunt converter and MIM input. ABB AB esite.
- 31 Isolation Amplifier Application examples. Knick GmbH esite.
- 32 Application Report. On-site: Right on the course. Knick GmbH esite.
- 33 Application Report. Cost effective and reliable monitoring of photovoltaic plants using specialized isolation amplifiers. Knick GmbH esite.
- 34 Application Report. On Site: Safety on the railway. Knick GmbH esite
- 35 Häsä, Sanna. 2009. Generaattorisuojauksen uusinta. Diplomityö. Aalto yliopisto. Sähkötekniikan korkeakoulu. Pysyvä osoite: <http://urn.fi/URN:NBN:fi:aalto-201203091387>
- 36 Hermans, Anders. 2014. REG670 Generator Protection Relay - Commissioning Guide. Opinnäytetyö. Yrkeshögskolan Novia. Sähkötekniikan koulutusohjelma. Pysyvä osoite: <http://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-201405219129>

KTA-hyväksyntä

		Knick 
EG-Konformitätserklärung EC Declaration of Conformity Déclaration de Conformité CE		Knick Elektronische Messgeräte GmbH & Co. KG Beuckestr. 22 D-14163 Berlin
Dokument-Nr. / Document No. / No. document	EG130905A	Aufbewahrung / Keeping / Garder en dépôt Jürgen Cammin (KB)
Wir, die / We, / Nous,	Knick Elektronische Messgeräte GmbH & Co. KG Beuckestr. 22, D-14163 Berlin	
	erklären in alleiniger Verantwortung, daß diese Produkte, declare under our sole responsibility that the products, déclarons sous notre seule responsabilité que les produits,	
Produktbezeichnung / Product identification / Désignation du produit	DC Isolation Amplifier Isolated Frequency Transmitter AC/DC Transmitter AC/DC Transmitter AC/DC Transmitter	VariTrans® P 42000 D2-0001-KTA VariTrans® P 42000 D2 FRQ-0001-KTA VariTrans® P 42000 D2 TRMS-0001-KTA VariTrans® P 42000 D2 TRMS-0002-KTA VariTrans® P 43000 D2 TRMS-0001-KTA
auf welche(s) sich diese Erklärung bezieht, mit allen wesentlichen Anforderungen der folgenden Richtlinien des Rates übereinstimmen: to which this declaration relates is/are in conformity with all essential requirements of the Council Directives relating to: auquel/auxquels se réfère cette déclaration est/sont conforme(s) aux exigences essentielles de la Directives du Conseil relatives à: *)		
EMV-Richtlinie / EMC directive / Directive CEM	2004/108/EG	
Normen / Standards / Normes	EN 61326-1: 2006	
Niederspannungs-Richtlinie / Low-voltage directive / Directive basse tension	2006/95/EG	
Normen / Standards / Normes	EN 50178: 1997	Jahr der Anbringung der CE-Kennzeichnung / Year in which the CE marking was affixed / L'année d'apposition du marquage CE 2013
*) Die Sicherheitsanweise der mitgelieferten Produktdokumentation sind zu beachten. Bei einer mit dem Hersteller nicht abgestimmten Änderung des Gerätes und/oder bei Nichtbeachtung der Sicherheitsanweise verliert diese Erklärung ihre Gültigkeit. The safety instructions contained in the documentation accompanying the product have to be observed. If the apparatus is modified without having obtained manufacturer's prior consent and/or the safety instructions are not followed, this declaration becomes void. Il est impératif de respecter les instructions de sécurité dans la documentation fournie avec le produit. En cas de modification de l'appareil sans l'accord du fabricant et/ou en cas de non-respect des instructions de sécurité, cette déclaration perd sa valeur.		
Ausstellungsort, -datum / Place and date of issue / Lieu et date d'émission	Berlin, 05.09.2013	
	Knick Elektronische Messgeräte GmbH & Co. KG	
		
	Wolfgang Feucht Geschäftsführer Managing Director	

Direktiivien vaatimustenmukaisuusvakuutus

		Knick 
EG-Konformitätserklärung EC Declaration of Conformity Déclaration de Conformité CE		Knick Elektronische Messgeräte GmbH & Co. KG Beuckestr. 22 D-14163 Berlin
Dokument-Nr. / Document No. / No. document	EG121206B	<small>Aufbewahrung / Keeping / Garder en dépôt Jürgen Cammin (KB)</small>
Wir, die / We, / Nous,	Knick Elektronische Messgeräte GmbH & Co. KG Beuckestr. 22, D-14163 Berlin	
	erklären in alleiniger Verantwortung, daß dieses Produkt / diese Produkte, declare under our sole responsibility that the product / products, déclarons sous notre seule responsabilité que le produit / les produits,	
Produktbezeichnung / Product identification / Désignation du produit	Hochspannungstrennverstärker - Reihe VariTrans® P 41000 D1 - Reihe VariTrans® P 42000 D3 - Reihe VariTrans® P 43000 D2	
auf welche(s) sich diese Erklärung bezieht, mit allen wesentlichen Anforderungen der folgenden Richtlinien des Rates übereinstimmen: to which this declaration relates is/are in conformity with all essential requirements of the Council Directives relating to: auquel/auxquels se réfère cette déclaration est/sont conforme(s) aux exigences essentielles de la Directives du Conseil relatives à: *)		
EMV-Richtlinie / EMC directive / Directive CEM	2004/108/EG	
Normen / Standards / Normes	EN 61326-1: 2006	
Niederspannungs-Richtlinie / Low-voltage directive / Directive basse tension	2006/95/EG	<small>Jahr der Anbringung der CE-Kennzeichnung / Year in which the CE marking was affixed / L'année d'apposition du marquage CE</small> 2005
Harmonisierte Normen / Harmonised Standards / Normes harmonisées	EN 61010-1: 2001	
*) Die Sicherheitsanweisungen der mitgelieferten Produktdokumentation sind zu beachten. Bei einer mit dem Hersteller nicht abgestimmten Änderung des Gerätes und/oder bei Nichtbeachtung der Sicherheitsanweisungen verliert diese Erklärung ihre Gültigkeit. The safety instructions contained in the documentation accompanying the product have to be observed. If the apparatus is modified without having obtained manufacturer's prior consent and/or the safety instructions are not followed, this declaration becomes void. Il est impératif de respecter les instructions de sécurité dans la documentation fournie avec le produit. En cas de modification de l'appareil sans l'accord du fabricant et/ou en cas de non-respect des instructions de sécurité, cette déclaration perd sa vigueur.		
Ausstellungsort, -datum / Place and date of issue / Lieu et date d'émission	Berlin, 06.12.2012	
	Knick Elektronische Messgeräte GmbH & Co. KG	
		
	Wolfgang Feucht Geschäftsführer Managing Director	ppa. Dr. Dirk Steinmüller Leiter Marketing und Vertrieb Head of Marketing and Sales

Standardin UL 347 vaatimustenmukaisuustodistus

CERTIFICATE OF COMPLIANCE

Certificate Number 20141224-E356768
Report Reference E356768-20130522
Issue Date 2014-DECEMBER-24

Issued to: KNICK ELEKTRONISCHE MESSGERATE GMBH & CO
KG
BEUCKESTRASSE 22
14163 BERLIN GERMANY

This is to certify that
representative samples of

MOTOR CONTROLLER ACCESSORIES OVER 1500
VOLTS

USL – Motor Controller Accessories Rated Over 1500 Volts
– Universal High-Voltage Isolators and Temperature
Transmitters- VariTrans P 41, VariTrans P 42, VariTrans P
43, and Proline P 442 followed by additional suffixes

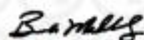
Have been investigated by UL in accordance with the
Standard(s) indicated on this Certificate.

Standard(s) for Safety: UL 347, Standard for MEDIUM-VOLTAGE AC
CONTACTORS, CONTROLLERS, AND CONTROL
CENTERS.

Additional Information: See the UL Online Certifications Directory at
www.ul.com/database for additional information

Only those products bearing the UL Certification Mark should be considered as being covered by UL's
Certification and Follow-Up Service.

Look for the UL Certification Mark on the product.



Bruce Maheshwari, Assistant Chief Engineer, Global Inspection and Field Services
UL LLC

Any information and documentation involving UL's mark services are provided on behalf of UL LLC (UL) or any authorized licensee of UL. For questions, please
contact a local UL Customer Service Representative at www.ul.com/contact



P 41000 -mallin liitännät

1.5 VariTrans® P 41000 D1 Terminal assignments



Type D1



Terminal assignments:

- 5 Input voltage + (> 1 ... 100 V)
- 6 Input voltage + (60 ... 500 mV)
(500 ... 1000 mV, see rating plate
for terminal assignment)
- 7 Input -

- 11 Power supply AC/DC
- 12 Power supply AC/DC

- 13 Output current +
- 14 Output voltage +
- 15 Output current -
- 16 Output voltage -

Don't use jumper for current output.
For voltage output, place jumper across
terminals 13 and 14.

M 3.5 connecting screws with self-releasing
terminal case