

TAMPEREEN AMMATTIKORKEAKOULU  
Tampere University of Applied Sciences



# **STAATTISEN SÄHKÖN JA VERKKOHÄIRIÖIDEN HALLINTA MOTOGEE HUVIPUISTOLAITTEESSA**

Juha Mäkinen

Opinnäytetyö  
Joulukuu 2010  
Sähkötekniikan koulutusohjelma  
Sähkövoimatekniikan  
suuntautumisvaihtoehto  
Tampereen ammattikorkeakoulu

## TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu  
Sähkötekniikan koulutusohjelma  
Sähkövoimatekniikan suuntautumisvaihtoehto

MÄKINEN, JUHA: Staattisen sähkön ja verkkohäiriöiden hallinta MotoGee huvipuistolaitteessa

Opinnäytetyö	43 s., liitteet 11 s.
Työn ohjaaja	diplomi-insinööri Lauri Hietalahti
Työn tilaaja	Tampereen Särkänniemi Oy, insinööri Jarmo Körkkö
Joulukuu 2010	

---

Staattinen sähkön syntyminen on yleinen ilmiö kaikkialla. Ilmiön havaitseminen ongelman aiheuttajan on silti melko hankalaa, ja sen mittaaminen haasteellista. Nykyään staattista sähköä tunnetaan ilmiönä sen verran, että sähköisten laitteiden suunnittelu vaiheessa otetaan huomioon ilmiöstä aiheutuvat riskit.

MotoGee vuoristorata laitteessa ilmeni ongelmia, joiden aiheuttajana pidettiin staattisen sähkön muodostumista. Tutkinto työni tarkoituksena oli tutkia staattisen sähkön synty mekanismeja sekä etsiä ratkaisua sen ongelman poistamiseksi. Työssä käsiteltiin myös herkkien komponenttien suojausta jännitepiikeiltä sekä analysoitiin laitteessa muodostuvia yliaalloja.

Tutkimusteni tuloksena havaitsin maadoittamisen parhaaksi ja ainoaksi keinoksi staattisen sähkön hallintaan. Laitteeseen asennetut jännitepiikeiltä suojaavat diodit ovat tutkimusteni mukaan turhat, ja markkinoilta on saatavilla parempia ja kattavampia suojaus ratkaisuja. Yliaaltopitoisuudet laitteen sähkön syöttöpuolella eivät olleet mittausteni mukaan vielä haitallisen korkealla.

---

Asiasanat: staattinen sähkö, ESD, diodisuojaus, yliaallot, maadoitus

1	JOHDANTO .....	5
2	MOTOGEE AJOLAITTEEN TOIMINTA PERIAATE.....	6
3	JÄRJESTELMÄN SÄHKÖISET VIAT .....	8
3.1	Laitteessa ilmenneen vian kuvaus .....	8
3.2	Induktiivinen anturi.....	8
4	YLEISTÄ STAATTISESTA SÄHKÖSTÄ .....	11
4.1	Staattinen sähkö ilmiönä .....	11
4.2	Staattisen sähkövarauksen syntyminen.....	11
4.3	Staattisen sähkövarauksen purkautuminen.....	13
4.3.1	Purkautumisen vaikutukset elektroniikka komponenteille .....	14
4.4	Komponenttien vioittuminen.....	15
4.5	Potentiaali.....	15
5	STAATTINEN SÄHKÖ TUTKITTAVASSA LAITTEESSA.....	16
5.1	Staattisen sähköön aiheuttamat ongelmat .....	16
5.2	Suoritetut mittaukset .....	16
5.3	Staattisen sähköön aiheuttajat laitteessa .....	17
5.3.1	Pyörrevirtajarrun osuus staattisen sähköön muodostumisessa.....	18
6	STAATTISEN SÄHKÖN MAADOITTAMINEN .....	20
6.1	Maadoituksen toteutus tällä hetkellä.....	20
6.2	Vaihtoehtoja riittävän maadoituksen toteutukselle.....	21
7	DIODI SUOJAUS.....	23
7.1	Diodi .....	23
7.2	Releiden tuottama jännitepiikki.....	23
7.2.1	Muita menetelmiä transientti suojaukseen .....	26
7.3	Syöttöjännitteen vakavointi diodikytkenällä .....	29
8	GALVAANISET EROTTIMET.....	31
8.1	K-System signaalinen korjaaja .....	31
9	YLIAALLOT.....	33
9.1	Yliaaltojen aiheuttajat .....	33
9.2	Yliaaltojen haitat.....	34
9.3	Suoritetut yliaalto mittaukset.....	35
9.4	Yliaaltojen aiheuttajat laitteessa .....	36
9.4.1	Tasasuuntaaja.....	37
9.5	Mittaustulosten tarkastelu .....	38

10	PÄÄTELMÄT .....	40
	Lähteet.....	42
	Liitteet.....	44

# 1 JOHDANTO

Särkänniemi Oy tilasi vuonna 2009 italialaisesta Zamberlalta teräsrakenteisen vuoristoradan. Radan käyttöön otto tapahtui keväällä 2010, ja laitteen tuli olla täydessä toiminnassa huvipuiston avauspäivänä vappuaattona 2010.

Radan korkein kohta on 13 metriä, ja pituutta sillä on 364 metriä. Junan nopeus kohoaa n.3 sekuntia kestävän alkukiihdytyksen päätteeksi 60 km/h:iin.

Laitteen hankinta kustannukset särkänniemelle olivat n.2,5 milj.€ Uutuus laitetta käytettiin apuna markkinoinnissa, ja näin ollen laite vetikin runsaasti asiakkaita kesällä 2010.

Vaistonkäymisiltä ei kuitenkaan välttytty, ja laitteessa ilmenikin vikaa jo ensimmäisten viikkojen aikana. Laite oli jo kuitenkin toiminut halutulla tavalla käyttöön otto tilanteessa muutaman viikon ajan. Ongelmaan etsittiin ratkaisua usein eri keinoin. Staattisen sähköön maadoittaminen pois laitteesta sai vikatilanteet viimein loppumaan.

Työni tarkoituksena on tutkia staattisen sähköön muodostumista laitteessa, sekä miettiä vaihtoehtoisia keinoja staattisen sähköön aiheuttamien ongelmien minimoimiseksi. Työssä käsittelen myös antureiden suojausta diodeilla, sekä niiden toiminta varmuuden parantamista muilla keinon. Työssä tutkitaan myös vuoristoradan sähkökäyttöjen synnyttämiä yliaaltoja, jotka osaltaan vaikuttavat laitteen toiminta varmuuteen.

## 2 MOTOGEE AJOLAITTEEN TOIMINTA PERIAATE

Laitteessa kaksi junaa, joihin molempiin mahtuu kerrallaan 12 asiakasta. Asiakas paikkoina toimii moottoripyörää muistuttavat istuimet (kuva 1).



*Kuva 1. MotoGeen:n istuimet*

Matkustajan selkäpuolelle tuleva turvakaari, ja jalkojen taakse tulevat jalkatapit pitävät ihmisen kyydissä ajon aikana. Turvakaaret nousevat ylös paineilmasynterin voimasta. Juna siirtyy lähetys alueelle heittopyörien avulla, jolloin lähetys kelkka asettuu junan alle (kuva 2).



*Kuva 2. Junan lähetyskelkka*

Juna lähtee liikkeelle suurella kiihtyvyydellä kelkan vetämänä. Suuren kiihtyvyyden aikaan saavana voimana on massiivinen heittopyörä (kuva 3) ja hydraulikalla toimiva

vaihteisto, jonka toiminta periaate muistuttaa automaattivaihteiston toimintaa. Kelkka liikkuu radalla paksun vaijerin vetämänä.



*Kuva 3. Tasasähkömoottori ja vauhtipyörä*

Juna kulkee vauhdilla radan läpi. Asemalle saavuttaessa junan nopeus hiljennetään tehokkaasti kestomagneeteilla varustetuilla pyörrevirta jarruilla.

### 3 JÄRJESTELMÄN SÄHKÖISET VIAT

Tässä kappaleessa esitellään laitteessa ilmennyt ongelma, ja tarkastellaan lähemmin ongelman kohteena olevaa komponenttia.

#### 3.1 *Laitteessa ilmenneen vian kuvaus*

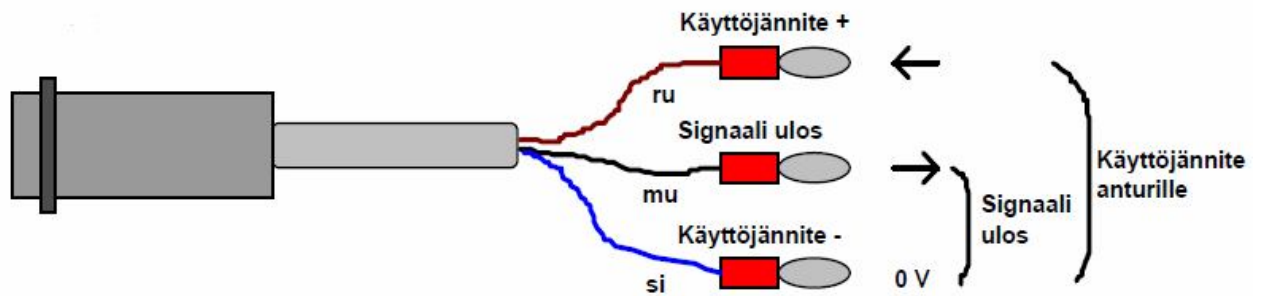
Ongelmana laitteessa oli induktiivisten antureiden rikkoutuminen käytön aikana. Laitteessa on useita induktiivisia antureita, jotka tarkkailevat junan istuimissa olevien turvakaarien sulkeutumista [Liite 2]. Antureita rikkoutui päivittäin yhdestä kolmeen kappaletta.

Ratkaisuksi tähän ongelmaan laitteen valmistaja ehdotti diodi suojausta. Valmistajan ohjeiden mukaan diodit kytkettiin antureiden ja releiden rinnalle estosuunnassa plus kiskosta miinukseen (sivu 23 kuva 11.), suojaamaan antureiden herkkiä elektronisia komponentteja releiden keloilta tulevilta jännitepiikeiltä. Kytkentä ei kuitenkaan poistanut ongelmaa. Seuraavaksi ongelman aiheuttajaksi epäiltiin laitteeseen muodostuvaa staattista sähköä, joka purkautuessaan saattaisi aiheuttaa antureiden rikkoutumisen. Radalle asennettiin useita maadoittavia piiskoja, ja ongelma saatiinkin korjattua tällä keinolla

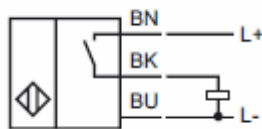
#### 3.2 *Induktiivinen anturi*

Kuvassa 5 on esitetty laitteessa käytetty PNP-tyyppinen induktiivinen lieriö anturi. Anturi liitetään ympäröivään järjestelmään kolmella johtimella. Anturin sisällä oleva elektroniikka synnyttää anturin eteen lähes pallonmuotoisen suurtaajuuden magneettikentän. Kun metalliesine tuodaan anturin lähelle muuttuvat suurtaajuuden magneettikentän ominaisuudet. Kun muutos ylittää asetetun kynnsarvon, ilmoittaa elektroniikka siitä vaihtamalla anturin ulos lähtevän signaalin tilan toiseksi. Silloin, kun ulos tuleva signaali on jännite, se tarkoittaa jännitettä käyttöjännitejohtimen ja signaaliulos johtimen välillä. Anturin ”lukieissa johtimien välillä on jännite. (Kalevi Koivuviita, Anturikytkentä informaatiota)



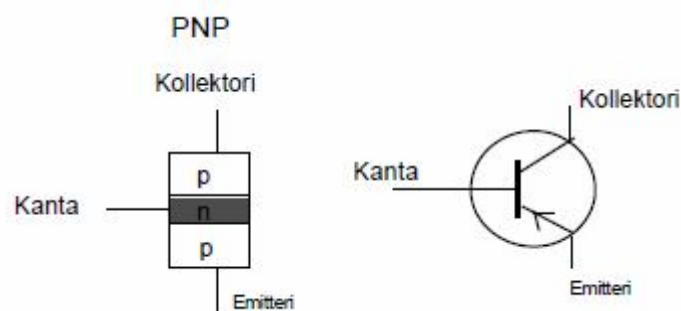


Kuva 4. Induktiivinen lieriöanturi



Kuva 5. PNP-tyyppisen induktiivisen anturin kytkentä kuva

Induktiivisen anturin sisällä kytkimenä toimii pnp-transistori eli bipolaaritransistori. Se valmistetaan kerrostamalla kolme puolijohde materiaalia järjestyksessä pnp. Virta kulkee transistorin läpi vain yhteen suuntaan. Kun transistori on sulku tilassa, on kytkin auki. Kyllästystilassa kytkin on taas kiinni. Kytkimen ohjaus tuodaan transistorin kannan ja emitterin välille (kuva 6).

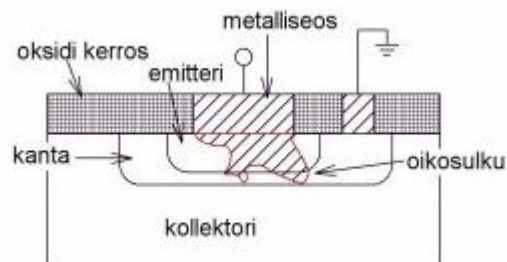


Kuva 6. PNP-transistorin rakenne ja piirrosmerkki

Transistorit ovat herkkiä komponentteja, jos niitä kuormitetaan yli suurilla virroilla ja jännitteillä. Staattisen sähköön purkautuminen saattaa hyvin vahingoittaa transistoria. Myös esim. releiden keloilta virtapiirin avautuessa tulevat jännitepiikit voivat olla haitallisia. Nopeista jännitteen purkauksista aiheutuvat vauriot jakaantuvat

johdinkatkoksiin, eristekerroksen vikaantumisiin ja metalloinnin seostumiseen. Johdin katkos esiintyy joko totaalisenä katkoksenä, tai osittaisena johdinkatkoksena. Osittainen johdinvaurio aiheuttaa virran tihentymän joka kuumentaa johdinta ja voi lopulta höyrystää ohuen metallijohtimen kokonaan poikki. Staattisen sähköön aiheuttaman pulssin energia saattaa aiheuttaa läpilyönnin transistorin eristekerroksessa. ESD-pulssin energia voi myös seostaa kontaktialueen alumiinin syvälle piihin johtaen emitterin ja kannan oikosulkuun (Kuva 7.)

(Vikaantumismekanismit, virtuaali AMK)



*Kuva 7. Emitterin ja kannan oikosulku*

Anturi on kytketty junan turvakaarien lukitusmekanismiin Kuvan 8. osoittamalla tavalla. Kaarien lukittuessa metallikappale siirtyy anturin eteen, ja saa sen ”lukevaan” tilaan. Anturin ulostulo jännite kytkee releen päälle, joka puolestaan on yhteydessä logiikkaan.



*Kuva 8. Kaaria valvova induktiivinen anturi junassa*

## 4 YLEISTÄ STAATTISESTA SÄHKÖSTÄ

Tässä kappaleessa kerrotaan yleistä teoriaa staattisesta sähköstä, sen synnystä ja mahdollisista vaikutuksista.

### 4.1 *Staattinen sähkö ilmiönä*

Staattinen sähkö eli hankaussähkö ilmiönä on tunnettu jo antiikin ajoista lähtien. Tätä ilmiötä opittiin kuitenkin ymmärtämään vasta paljon myöhemmin. Staattista sähköä esiintyy kaikkialla luonnossa, salaman isku on yksi näkyvimpiä hankaussähköstä aiheutuvia ilmiöitä. Ihminen toimii usein myös varauksen kuljettajana, ilmiön huomaa usein kosketettaessa jotain metalli osaa jonka kautta staattinen sähkövaraus pääsee purkautumaan maihin. Staattinen sähkö aiheuttaa ongelmia nykypäivänä varsinkin herkille elektroniikka komponenteille, tästä johtuen kehitetään jatkuvasti erilaisia menetelmiä haittavaikutusten minimoimiseksi.

Termi staattinen sähkö tarkoittaa kappaleen paikallaan olevaa sähkövarausta, staattisen sähkö purkaus taas tarkoittaa varauksen nopeaa siirtymistä kappaleesta maahan tai toiseen eri potentiaalissa olevaan kappaleeseen.

### 4.2 *Staattisen sähkövarauksen syntyminen*

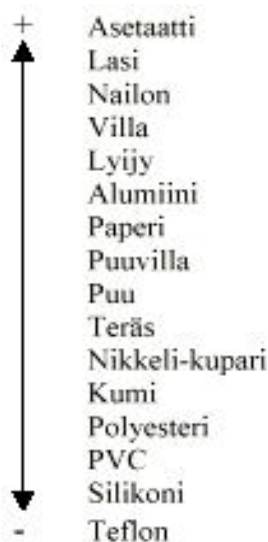
Aineen atomit ovat neutraaleja, ellei niihin kohdistu ulkoisia vaikutuksia, kuten lämpöä, hankausta tai sähköistä rasitusta. Ytimen positiivisia varauksia ja elektronikuoren elektroneja on tällöin yhtä paljon. Metallien johtavuus on niin suuri, että tämä tasapainotilanne on aina voimassa, eikä merkittävää staattista sähkökenttää esiinny metallikkappaleen eri osien välillä. Huonommin johtavilla materiaaleilla sen sijaan esimerkiksi kuumentamisen tai hankaamisen aiheuttama varausepätasapaino häviää hitaasti ja aine voi vapauttaa tai tietyssä tilanteissa vastaanottaa elektroneja. Staattisen sähkö yleisin synty tapa on kontaktivarautumisen. Kun kaksi erilaista materiaalia joutuvat kosketuksiin, siirtyy rajapinna yli varauksia (elektroneja ja ioneja) jotta

materiaalit olisivat termodynaamisessa tasapainossa keskenään. Sähkökemiallisten potentiaalienergioiden eroa vastaa tietty varausjakauman muutos. Jos materiaalit ovat huonosti sähköä johtavia, eivät varaukset ehdi palata takaisin, kun kappaleet irrotetaan toisistaan ja näin ne jäävät varatuiksi.

(Mikko Alajoki – Salla Smolander, ESD)

Kahta eri materiaalia olevaa kappaletta hankaamalla voidaan todentaa materiaalien keskinäinen varautumisherkyys ja polarisoituminen. Varautumisominaisuuden perusteella materiaalit voidaan luokitella järjestykseen, jota sanotaan triboelektriseksi sarjaksi. Mitä kauempana sarjassa olevat materiaalit sijaitsevat toisistaan, sitä voimakkaammin ne varautuvat liikkeen seurauksena.

(Toni Viheriäkoski, ESD, 2001)



Kuva 9. Triboelektrinen sarja/1/

Tyypillisiä staattisen sähkön purkausjännitteitä voi kehittyä jo normaalissa työskentely-ympäristössä. Suhteellisen kosteuden vaikutus on selkeästi havaittavissa. Kuivalla talvi-ilmalla, jolloin suhteellinen kosteus on 10...20 % voi kävely maton yli aiheuttaa jopa 35 kV latauksen. Vastaavasti lämpimänä ja kosteana päivänä, jolloin suhteellinen kosteus on noin 65...90 %, muodostuva jännite on noin 1500 V. Kosteus synnyttää materiaalin pinnalle mikroskooppisen vesikalvon, joka pienentää materiaalin resistiivisyyttä vaikka kyseessä olisi eriste.

(Mikko Alajoki – Salla Smolander, ESD)

Toinen vähemmän tunnettu varautumistapa on materiaalin varautuminen induktiolla. Jos sähköisesti varautuneen kappaleen lähelle tuodaan varautumaton kappale, se vetää puoleensa vastakkaismerkkistä varausta ja kappale polarisoituu. Tätä sanotaan sähköstaattiseksi induktioksi. Varauksen siirtyminen indusoitumalla on yhtä yleistä kuin varautuminen kappaleiden suorassa kontaktissa. Eristävien materiaalien varaukset siirtyvät sähkökentästä liikkeessä oleviin johtaviin kappaleisiin. Välitöntä kappaleiden välistä kontaktia ei tarvita varauksen siirtymiseen.

(Toni Viheriökoski, ESD, 2001)

### **4.3 Staattisen sähkövarauksen purkautuminen**

Kiinteässä kappaleessa oleva varaus muodostaa vaaran vain, jos se purkautuu toiseen kappaleeseen, joka useimmiten on maadoitettu. Purkaus voi tapahtua siksi, että sähkökentän voimakkuus kasvaa vähitellen niin suureksi, että väliaineen jännitelujuus (läpilyöntilujuus) ylittyy. Purkaus voi tapahtua myös, jos varautuneen materiaalin läheisyyteen tulee johtava kappale tai ihminen. Staattisen sähkövarauksen hallitsemattomia purkausmekanismeja ovat

- kipinäpurkaus (läpilyönti)
- koronapurkaus
- huiskupurkaus (voimakas koronapurkaus)
- liukupurkaus
- keko- eli kartiopurkaus
- salamapurkaus

Purkaustapa määräytyy varauksen suuruuden, elektrodina toimivien kappaleiden muodon sekä materiaalien ja väliaineen perusteella. Purkaukset ovat tyypiltään ja energiasisällöltään hyvin erilaisia.

(Raija Koivisto, 2003)

#### 4.3.1 Purkautumisen vaikutukset elektroniikka komponenteille

Staattisen sähköön purkautumisesta puhuttaessa, voidaan käyttää termiä ESD-purkaus eli kipinäpurkaus (sähköstaattinen purkaus, [engl.](#) *Electrostatic discharge*). ESD-pulssin kytkeytyminen elektroniikkalaitteeseen voidaan jakaa karkeasti kolmeen ryhmään: Suora purkaus elektroniseen piiriin tai komponenttiin, suora purkaus laitteen koteloon sekä epäsuorapurkaus.

(Mikko Alajoki – Salla Smolander, ESD)

Suora sähköstaattinen purkaus elektroniseen komponenttiin aiheuttaa vikaantumis vaaran niin valmistuksen ja käsittelyn yhteydessä, kuin myös laitteeseen asennettuna. Staattinen purkaus tavoittaa komponentin, joka on kytketty laitteen ulkoisiin liityntöihin. Myöskään ne komponentit, joita ei ole kytketty ulkoisiin liityntöihin, eivät ole täysin suojassa, sillä staattisen purkauksen aiheuttama ylijännite voi siirtyä laitteen sisällä johtimesta toiseen kapasitiivisesti. Vastaavasti purkausvirta aiheuttaa induktiivisesti virtoja lähellä olevissa johtimissa.

(Mikko Alajoki – Salla Smolander, ESD)

Suora ESD-purkaus laitteen ulkopuolisiin kosketeltaviin osiin on tavallisin ja helpoimmin ymmärrettävä tapaus. Varautunut kappale pääsee kosketuksiin metallisen kuoren kanssa. Laitteen kannalta vakavia tilanteita ovat purkauksen osuminen suojaamattomaan liittimeen, merkkivaloon tai kytkimeen.

(Mikko Alajoki – Salla Smolander, ESD)

Epäsuora purkaus ei kohdistu, eikä se voikaan kohdistua suoraan laitteeseen. Vaikka laite olisi täysin muovikoteloitu, ei ESD-ongelmilta voida täysin välttyä, päinvastoin muovikotelointi saattaa lisätä staattisen sähköön aiheuttamia ongelmia. ESD-pulssi aiheuttaa voimakkaan sähkömagneettisen säteilypulssin, joka voi tunkeutua muovikoteloitujen laitteiden sisään, jos muovikotelo on kosketuksissa purkauksen kohteena olevan johtavan materiaalin kanssa.

(Mikko Alajoki – Salla Smolander, ESD)

#### **4.4 Komponenttien vioittuminen**

Puolijohdekomponentit voivat vioittua staattisen sähköpurkauksen vaikutuksesta heti tai niihin voi jäädä piileviä vikoja, jotka aiheuttaa vikaantumisen vasta myöhemmin. Piilevä vika tarkoittaa komponentin jonkin osan vaurioitumista, esimerkiksi rajapinnan vuotovirran kasvua, jännitekestoisuuden pienenemistä tai johtimien osittaista sulamista siten, että komponentin käyttäminen aiheuttaa vian vasta pitkän ajan jälkeen.

(Mikko Alajoki – Salla Smolander, ESD)

Komponentti voi vioittua suoran purkauksen takia tai komponenttiin itseensä voi muodostua varaus, esimerkiksi kosketuksesta toiseen varautuneeseen kappaleeseen. Varaus purkautuu, kun komponentti koskettaa maadoitettua alustaa. Toisen varautuneen kappaleen kenttä voi myös indusoida komponenttiin niin suuren potentiaalieron eri osien välille, että tapahtuu läpilyönti.

(Mikko Alajoki – Salla Smolander, ESD)

Komponentin vioittuminen voi tapahtua eristeen tai jonkin pn-rajapinnan läpilyönnin seurauksena. Toinen yleinen mekanismi on johdinmateriaalin sulaminen tai peräti höyrystyminen suuren virran ja siihen liittyvän tehonkulutuksen seurauksena. Kummassakin tapauksessa ratkaiseva tekijä on pulssin energia. ESD-purkaukseen liittyy hyvin suuri nousunopeus ja hyvin suuri hetkellinen virrantiheys. Melko pienikin varaus voi näin ollen aiheuttaa vioittumiseen johtavan virta- tai jänniterasituksen komponenttien rajapinnoille, liitoksille tai eristekerroksille.

(Mikko Alajoki – Salla Smolander, ESD)

#### **4.5 Potentiaali**

Potentiaali eli jännite-ero voidaan mitata johteista. Staattisen sähkömittauksissa potentiaali on usein käsitteellinen, koska eristeissä ja niiden sähkökentissä esiintyviä jännite-eroja on lähes mahdotonta määritellä. Sähkökentän energian vertailukohtana käytetään usein nollapotentiaalia, joka tarkoittaa käytännössä maapotentiaalia.

(Toni Viheriäkoski, ESD, 2001)

## 5 STAATTINEN SÄHKÖ TUTKITTAVASSA LAITTEESSA

Tässä kappaleessa paneudutaan staattisen sähköön aiheuttamiin ongelmiin ja niiden aiheuttajiin laitteessa.

### 5.1 Staattisen sähköön aiheuttamat ongelmat

Laitteen turvakaaria valvovat induktiiviset anturit rikkoutuivat laitteessa useaan kertaan. Syynä rikkoutumiselle epäiltiin staattista sähköä ja sen purkautumista induktiivisten antureiden herkkiin elektronisiin komponentteihin.

### 5.2 Suoritetut mittaukset

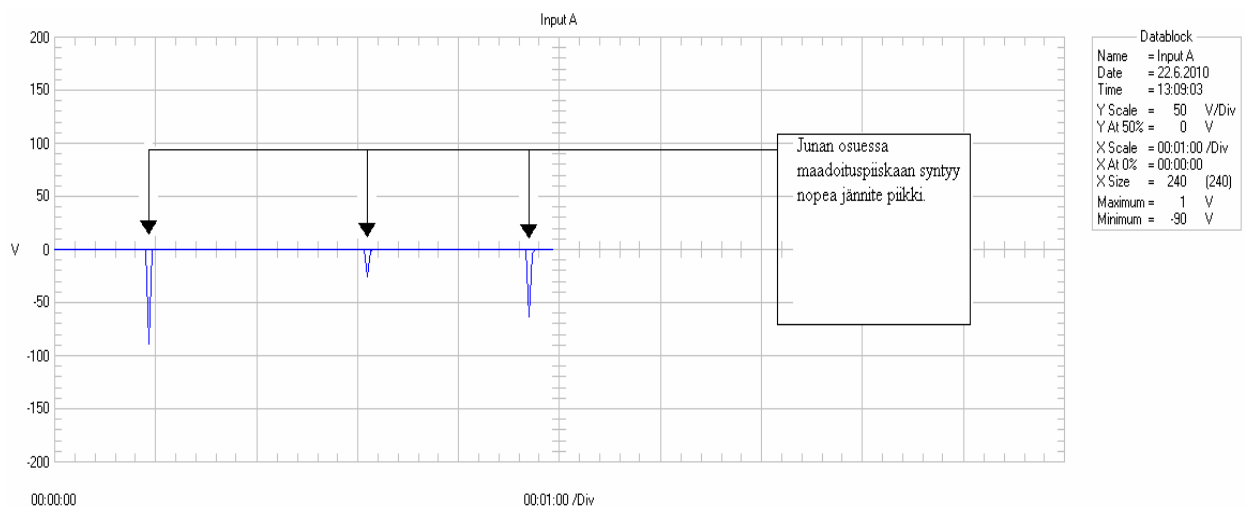
Staattisen sähköön esiintymistä laitteessa pyrittiin kartoittamaan Fluke 123 skooppi mittarilla. Mittaus suoritettiin mittaamalla maadoitus jännite maadoituspiiskasta rataa. Todellisia staattisesta sähköstä aiheutuvia jännitteitä ei kuitenkaan pystytty tällä mittalaitteella määrittämään, kuten kohdassa 1.5 on selitetty. Mittaus epätarkkuutta kasvattaa alhainen mittaustaajuus purkauksen nopeuteen nähden. Fluke 123 mittarin mittaustaajuus on 20MHz. Komponenteille haitallisen ESD-purkauksen kesto vaihtelee tyypillisesti muutamista nanosekunneista satoihin nanosekunneihin.

Tuloksia tarkasteltaessa pystytään kuitenkin havaitsemaan junan olevan eri potentiaalissa maadoitetun radan kanssa, sen saapuessa ensimmäiselle maadoitus piiskalle. Staattisen sähköön purkauksen pystyi myös havaitsemaan ilman mittaria, sillä junan ”metallikölin” osuessa maadoitus piiskaan näkyi hyvin pieni valokaari ja kuului staattisen sähköön purkaukselle tyypillinen ”napsahdus”. Pienen valokaaren näkyminen maadoittumisen yhteydessä on merkki hyvin paljon suuremmasta jännitteestä kuin, mitä mittaustulokset osoittavat. Mittauksia suoritettaessa Fluke 123 mittari meni useaan kertaan ”overload” tilaan joka viittaa mittarille ylisuureen jännitteeseen. Mittauksissa havaittiin, että juna maadoittuu kokopituudeltaan hyvin nopeasti heti ensimmäisen kölin osan osuessa maadoituspiiskaan. Vaikka junan ”vaunut” ovat



eristettyjä toisistaan, siitä huolimatta maadoittuminen tapahtuu yhdestä pisteestä, sillä eriste ei vaikuta staattisen sähkösiirtymiseen.

Kuvassa 10. näkyvät negatiiviset jännitepiikit muodostuvat junan ja radan välisestä potentiaali erosta ja sen tasoittumisesta. Jännite piikki on negatiivinen koska juna varautuu negatiivisesti. Mittauksen aikana mittari oli kytkettynä maadoitus piiskan ja maapotentiaalin väliin. Mittaustuloksessa näkyvä nollajännite kuvaa siis ajanjaksoa, jolloin juna ei ole maadoitus piiskan kohdalla vaan muualla radalla. Junan tullessa jarrualueelle ja osuessa ensimmäiseen maadoituspiiskaan purkautuu sen varaus hyvin nopeasti.



Kuva 10. Junan maadoitus jännite kun juna on ajettu mittauksen läpi kolme kertaa

### 5.3 Staattisen sähkö aiheuttajat laitteessa

Päätekijänä staattisen sähkö muodostumiseen laitteessa ovat junan pyörät. Junan liikkuessa radalla pyörät joutuvat pieneen hankausliikkeeseen radan kanssa, ja tästä aiheutuu staattisen sähkö muodostuminen. Junan säädöillä, renkaiden kulumisella ja niihin tarttuvilla epäpuhtauksilla on näin ollen myös merkitystä asiaan. Renkaiden ollessa huonossa säädössä radan ja renkaiden välinen staattista sähköä aiheuttava hankaava liike kasvaa. Pyörien kuluessa kitkapinta lisääntyy ja aiheuttaa näin ollen enemmän staattista sähköä. Staattisen sähkö muodostumista edesauttaa myös radan vahva maalipinta, joka aikaan saa herkemmin staattisen sähkövarauksen kuin paljas

teräs pinta, kuten kohdassa 3.2 asia on esitetty. Rataan ja renkaisiin kiinnittyvät epäpuhtaudet voivat vaikuttaa myös pieneltä osin staattisen sähkön muodostumis herkkyyteen. Myös ilmankosteus sekä lämpötila vaikuttavat suuresti varauksen syntyyn. Kuivassa ilmassa varauksen voimakkuus on huomattavasti suurempi kuin kosteassa. Taulukolla 1. on havainnollistettu ilmakosteuden vaikutusta varauksen syntyyn, mitä eristävämpi aine sitä helpommin varaus syntyy.

*Taulukko 1. Ilman suhteellinen kosteuden vaikutus lasin pintaresistiivisyyteen*

<b>Suhteellinen Kosteus, %</b>	<b>Pintaresistiivisyys, <math>\Omega</math></b>
<b>100</b>	<b>1</b>
<b>80</b>	<b>4</b>
<b>70</b>	<b>30</b>
<b>60</b>	<b>800</b>
<b>50</b>	<b>30 000</b>
<b>40</b>	<b>6 000 000</b>

### 5.3.1 Pyörrevirtajarrun osuus staattisen sähkön muodostumisessa

Junan jarrutus on kyseisessä laitteessa toteutettu pyörrevirta jarrulla (kuva 11.). Pyörrevirtajarrun toiminta perustuu voimakkaaseen sähkömagneetilla toteutettuun kenttään. Kun kenttään tuodaan sähkö johtavaa materiaalia, indusoituu siihen pyörrevirtoja, jotka pyrkivät vastustamaan liikettä magneettikenttään ja siitä pois. Liike-energia muuttuu pyörrevirtajarruissa lämmöksi.  
(Mikko Kaarnoja, 2009)



*Kuva 11. Pyörrevirta jarru*

Pyörrevirta jarru ei aiheuta staattista sähköä. Teorian tueksi suoritettiin myös mittaus, jossa jarrun jälkeiseltä maadoitus piiskalta mitattiin maadoitus jännitettä. Mittauksessa käytössä olleella mittauskalustolla ei saatu mitään lukemia, joka olisi osoittanut teorian vääräksi.

## 6 STAATTISEN SÄHKÖN MAADOITTAMINEN

Staattisen sähkön poistamiseen ainoa tapa on maadoittaminen, koska esim. pyörien muuttaminen varautumattomaksi materiaaliksi on käytännössä mahdotonta.

Ympäröiviin olosuhteisiin kuten ilmankosteuteen ei pystytä tässä tapauksessa myöskään vaikuttamaan.

### 6.1 *Maadoituksen toteutus tällä hetkellä*

Maadoitus on tällä hetkellä toteutettu neljällä kuvassa 12. esitetyllä maadoitus piiskalla. Junan staattinen sähkövaraus ei pääse purkautumaan missään kohtaa täydellisesti ilman maadoitus piiskoja. Radalla on paineilmalla toimivia jarruja, joiden kohdalla metalliset jarrulevyt painautuvat köliä vasten, mutta vahva maalikerros estää kunnollisen maadoittumisen. Kun juna ei pääse missään vaiheessa hyvin purkamaan staattista sähkövarausta, pääse varaus kasvamaan kierros kierrokselta suuremmaksi, kunnes se on jo vaaraksi komponenteille.

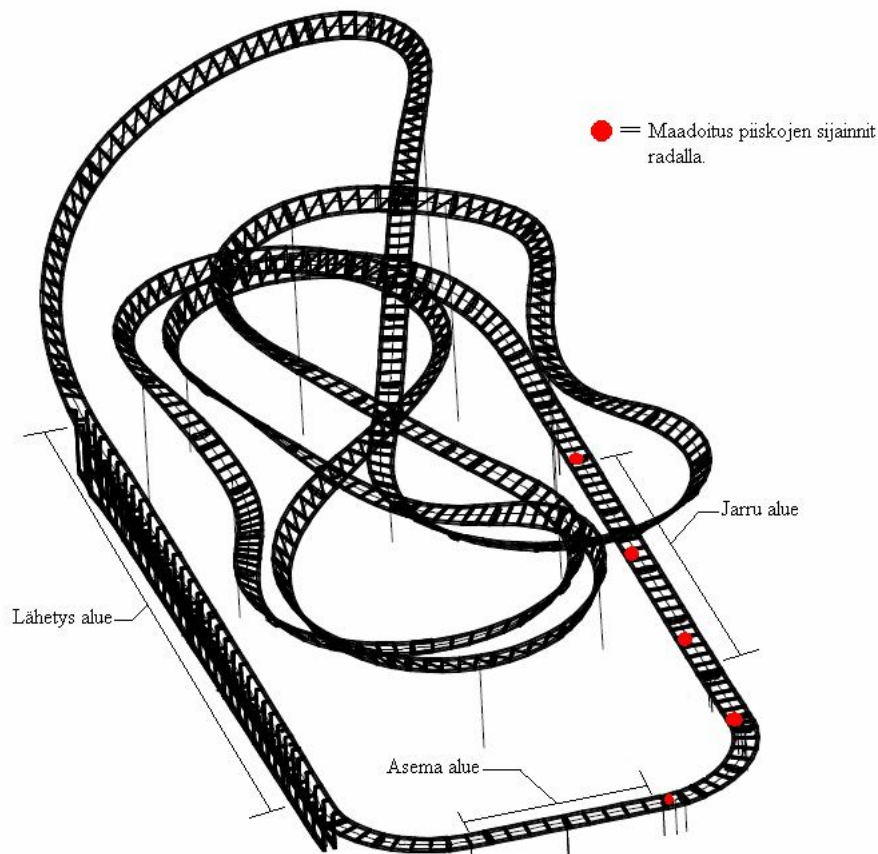


*Kuva 12. Maadoituspiiska*

Maadoitus piiska on tehty messinkisestä tangosta, jonka päähän on tässä tapauksessa kiinnitetty johtavasta kumiseoksesta tehty lenkki. Kumilenkin tarkoituksena on estää messinki piiskan kulumista.

## **6.2 Vaihtoehtoja riittävän maadoituksen toteutukselle**

Tämän hetkinen maadoituksen toteutus on kyllä toimiva, mutta siinä on useita turhia maadoitus pisteitä. Suoritettujen mittausten perusteella voidaan todeta, että juna purkaa täysin staattisen sähkövarauksensa jo ensimmäisellä maadoitus piiskalla, näin ollen loput maadoitus piiskat ovat turhia, sillä kaikki maadoituspiiskat on sijoitettu peräkkäin. Ensimmäisen maadoituspiiskan jälkeen juna ei kerää staattista sähköä, koska sen nopeus jarru alueelta asemalle on hyvin hidas. Hitaassa nopeudessa pyörien hankautumista ei tapahdu siinä määrin, että se aiheuttaisi junan sähköistä varautumista.



*Kuva 13. Maadoituspiiskoje sijoittelu radalla*

Ihanteellinen ratkaisu maadoitukselle olisi toteuttaa se niin, että juna maadoittuu rataa koko kierroksen ajan. Maadoitus piiskoista huolimatta jossain tilanteessa staattinen sähkö varaus saattaa kasvaa vahingolliselle tasolle pelkästään yhden kierroksen aikana. Kyseinen tilanne voisi tulla eteen, renkaiden ollessa kuluneet ja muutenkin poissa hyvistä säädoistä, sekä ilmankosteuden ollessa pieni. Vaikka tämän hetkinen staattinen sähkövaraus ei ole aiheuttanut ongelmia, silti ei pystytä olemaan täysin varmoja siitä, että jo yhden kierroksen aikana syntyvä staattinen sähkö ei aiheuttaisi minkään laisia vaurioita komponenteille, koska ongelmat saattaa tulla esiin vasta useiden kuukausien päästä.

Maadoitus voitaisiin toteuttaa esim. johtavaa kumiseosta olevalla piiskalla joka kiinnitetään junan pohjan ja radan väliin. Kumipiiska hankautuessa rataa vasten se maadoittaisi junaa yhtäjaksoisesti. Radan pinta on päältä kulunut useista kohdista rataa, joten maalikerros ei ole esteenä maadoittumiselle. Kumipiiskoja ei tarvitse sijoittaa useisiin kohtiin junaa, kaksi piiskaa riittää, koska koko juna pystyy purkamaan itsensä yhden maadoitus pisteen kautta.

## 7 DIODI SUOJAUS

Ongelmien ilmetessä laitteeseen asennettiin diodeja induktiivisten antureiden suojaksi. Tässä kappaleessa käsitellään diodien toimintaa antureiden suojana, sekä erilaisia vaihtoehtoja parhaan mahdollisen suojauksen aikaan saamiseksi.

### 7.1 *Diodi*

Diodi on puolijohde komponentti, joka päästää virtaa läpi vain myötä suunnassa. Diodissa on kaksi elektronia, anodi ja katodi, virta kulkee diodissa siis anodilta katodille. Ideaalisessa tapauksessa negatiivisilla jännitteillä ideaaliodin virta on nolla, koska virta ei kulje estosuuntaan. Diodi vastaa tällöin virtapiirissä katkosta. Positiiviseen suuntaan virta kulkee esteettömästi eli diodi vastaa silloin oikosulkua. Todellisuudessa diodeissa kulkee estosuuntaakin pieniä vuotovirtoja, ja positiiviseen suuntaan jännite häviö on n.0,7V.  
(Elektroniikka ja puolijohdekomponentit, Kimmo Silvonen 2009)

Diodeja voidaan käyttää tehokkaasti mm. herkkien komponenttien suojauksessa, sekä erilaisissa jännitteen vakavointi piireissä.

### 7.2 *Releiden tuottama jännitepiikki*

Laitteessa on käytetty Phoenix contactin valmistamia releita [Liite 4]. Releet on kytketty laitteen apujännitejärjestelmään [sähkökuva Liite 2]. Rele on sähköllä toimiva kytkin, jonka toiminta perustuu sähkömagneettiin. Releen kelan lävitse kulkeva virta luo magneetti kentän ja vetää kytkimen kiinni. Kytkin aukeaa kun kela ei enää saa virtaa, jolloin palautus jousi avaa kytkimen alku asentoon.

Laitteen kaarien lukituksen valvonta on toteutettu siten, että lukituksen asentoa valvovien antureiden ”lukiessa” rele vetää. Releiltä menee kosketintieto logiikalle, joka



estää junan liikkeelle lähdön ennen kuin kaikilta releiltä tulee oikea kosketintieto.

Releen käyttö jännite on 24 Vdc.

Kytettäessä kelalle jännite, virta kasvaa kelalla sen induktanssin suuruudesta riippuen tietylle tasolle, eli kelan resistanssin ja jännitteen suuruus määrittää virran suuruuden.

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

I = virta, U = jännite, R = vastu

Energiaa varastoituu kelan magneetti kenttään alla olevan kaavan mukaisesti.

$$E = \frac{1}{2} \cdot L \cdot I^2$$

E = kelaan varastoitunut energia, L = kelan induktanssi, I = virta

(Tekniikan kaavasto)

Kun virta kelassa laskee, sen magneettikentän voimakkuus pienenee, jolloin sen täytyy vapauttaa energiaa. Kela pyrkii pitämään virran vakiona magneetti kenttään varastoituneen energian avulla. Tästä seuraa, että jos virtapiiri katkaistaan, ei virtaa mene mihinkään, ja kelan napojen välinen jännite nousee, kunnes se lyö jossain läpi tai energia hukkuu häviöihin.

(Kelan toiminta, oppimateriaali)

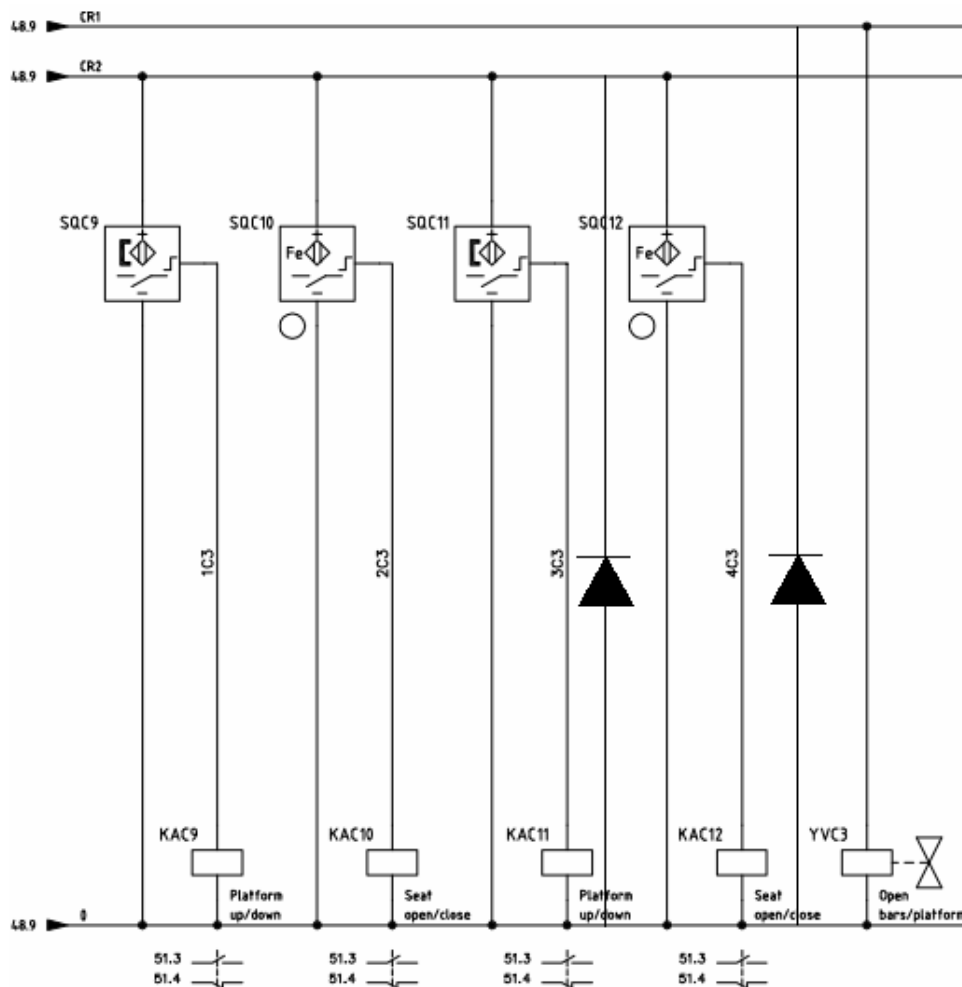
Jos induktanssin läpi menevää virtaa yritetään katkaista transistorilla, jännite nousee kunnes transistorissa tapahtuu läpilyönti. Transistorit yleensä kestävät tällaisia pienellä virralla tapahtuvia läpilyöntejä jossain määrin, mutta jotta kytkennästä tulisi luotettava, tulee jännite rajoittaa alle transistorin läpilyöntijännitteen. Koska virran muutosnopeus on suoraan verrannollinen induktanssin yli vaikuttavaan jännitteeseen, jännitteen rajoitus väkisinkin hidastaa magneettikentän heikkenemistä ja siten releen koskettimien liikettä. Normaalisti auki olevissa releissä tämä haittaa, koska koskettimet etääntyvät hitaammin toisistaan ja katkaisuvalokaari palaa pitempään. Jossain tapauksissa koskettimet saattavat jäädä kokonaan avautumatta, kun hitaasti liikkuva koskettimen varsi ei jaksa murtaa pieniä hitsautumia koskettimien välillä.

(Erkka Kosi, 2006)



Hitsautumia kuitenkin syntyy ainoastaan silloin kun releellä kytketään suuria kuormia. Koska tämän laitteen käytössä releen tarkoituksena on ainoastaan muodostaa kosketintieto logiikalle [Liite 3], ei tämän kaltaisia ongelmia pääse syntymään.

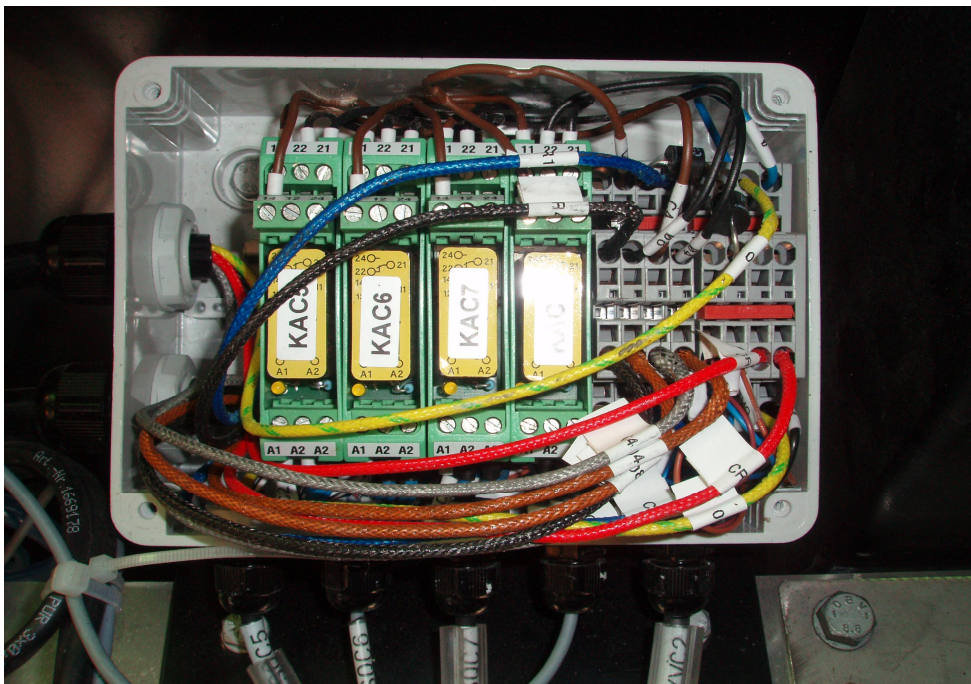
Transientti suoja diodeina on käytetty Diotecin P600s diodeja [liite 1], joiden virrankestoisuus on 6A ja jatkuva jännitepiikin kestoisuus 1200V. Nämä diodit ovat tavallisia diodeja joita useimmiten käytetään suuntaaja siltojen komponentteina. Suojaus käytössä näiden diodien haittapuoleksi saattaa muodostua johtoviive. Johtoviive on aika, joka diodilla menee johtavuuden saavuttamiseksi. Aika ei ole pitkä mutta saattaa silti aiheuttaa ongelmia suojauskytkennöissä. Jos diodilla menee liian pitkä aika johtavuuden saavuttamiseksi saattaa jännite kohota liian suureksi transistorilla, ja aiheuttaa haitallisen läpilyönnin.



Kuva 14. Kaarivalvonnan kytkentä jossa diodeilla toteutettu suojaus

Vaikka yllä oleva piiriratakaisu kestäisi kelan virran katkaisusta aiheutuvat jännitepiikit, kannattaisi häiriötä sisältävät virtapiirit kuitenkin pitää mahdollisimman suppeina ja sijoittaa diodit suoraan jokaisen kelan yli. Tällainen kytkentä tosin vaatisi tupla määrän diodeja suojaus kytkentään.

(Häiriösuojaus, 1991)



*Kuva 15. Kaarivalvonnan kytkentä rasia jossa suoja diodit oikealla ylhäällä*

### 7.2.1 Muita menetelmiä transientti suojaukseen

Transientti suojauksen toteutukseen on useampia keinoja. Nykyinen toetustapa on käytännössä täysin toimiva. Releen toiminnan kannalta pelkällä diodilla toteutettu suojaus saattaa kuitenkin olla haitallinen, koska releen päästöaika moninkertaistuu, ja tämä saattaa aiheuttaa releen satunnaisia jumittumisia.

Vähiten releen toimintaan vaikuttava tapa rajoittaa jännitepiikkiä on laittaa kelan yli zener-diodi ja lisäksi tavallinen diodi estämään virta zenerin läpi myötäsuuntaan. Zener

voidaan sijoittaa myös ohjaavan transistorin yli, jolloin ei tarvita diodia. Näissä tavoissa käämin yli vaikuttaa koko ajan suurehko jännite, ja magneettikenttä purkautuu nopeasti. Toinen kohtuuhyvä tapa on kytkeä vastus ja diodi sarjaan kelan yli. Vastuksen resistanssia muuttamalla voidaan jännitepiikin suuruutta säätää, mutta jännite laskee virran myötä ja kenttä heikkenee hitaammin kuin zenerin kanssa, jossa jännite on koko ajan suurin kytkimen kestävä. Diodi on ainoastaan estämässä virtaa vastuksen läpi, kun rele on vetäneenä. Se voidaan jättää pois, jos suurempi virrankulutus ja lämmöntuotto ei haittaa.

(Erkka Kosi, 2006)

Asiaa havainnollistaa hyvin Tyco Electronicsin tekemä tutkimus releiden päästöajoista erilaisilla transientti suojaus vaihtoehdoilla. Testi on suoritettu automotive ISO tyyppin releellä, jossa on 55 ohm kela ja 13.5VDC syöttö jännite.

*Taulukko 2. Releiden päästöajat erilaisilla transientti suojaus vaihtoehdoilla*

Suojaus tekniikka	Päästöaika [ms]	Teoreettinen transientti [V]	Mitattu transientti [V]
ei suojausta	1,5		-750
Diodi & 24V Zener	1,9	-24,8	-25
680Ω	2,3	-167	-120
470 Ω	2,8	-115	-74
330 Ω	3,2	-81	-61
220 Ω	3,7	-54	-41
100 Ω	5,5	-24,6	-22
82 Ω	6,1	-20,1	-17
Diodi	9,8	-0,8	-0,7

Diodin ja zenerdiodin sarjakytken heikkona puolena on zenerdiodin huono virran kestoisuus, esim. tähän kytkentään soveltuvalla zenerdiodilla virrankestoisuus on vain 41mA kun kytkennässä käytettyjen tavallisten suuntaus diodien virran kestoisuus on 6A. Kytkennän luotettavuuden kannalta antureiden suojausta ei siis ole järkevää tässä tapauksessa toteuttaa diodin ja zenerdiodin sarja kytkennällä.

Tässä kytkennässä releillä kytkettävät kuormat jäävät pieniksi. Diodin ja vastuksen sarjakytkentä on tällaisissa tilanteissa mahdollinen, kun suurta kuormankytkentä kapasiteettia ei tarvita.

(Tyco Electronics, tutkimus)

Tarvittavan vastuksen koko voidaan likimain määrittää alla olevalla kaavalla.

$$R = \frac{V_{\max}}{I_{\text{kelä}}}$$

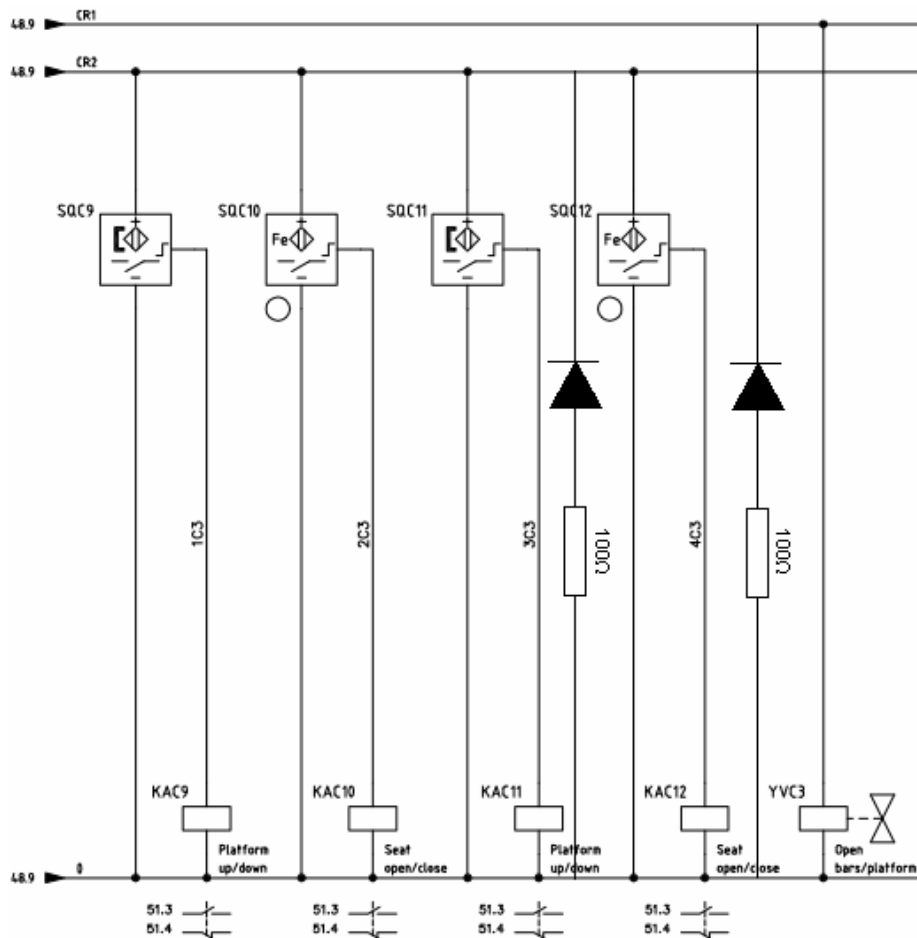
$R$  = vastuksen koko ohmeissa

$V_{\max}$  = suurin sallittu jännite transientti jännitteen arvo

$I_{\text{kelä}}$  = releen kelan virta

Jos suurin sallittu transientti jännite on 30V ja käytössä olevilla PSR releillä **[Liite 3]** kelan virta on 30mA, niin saadaan vastuksen suuruudeksi 100Ω. Todellisen jännitepiikin suuruus kuitenkin on alhaisempi vastuksessa tapahtuvan jännitehäviön seurauksena.

(Tyco Electronics, tutkimus)

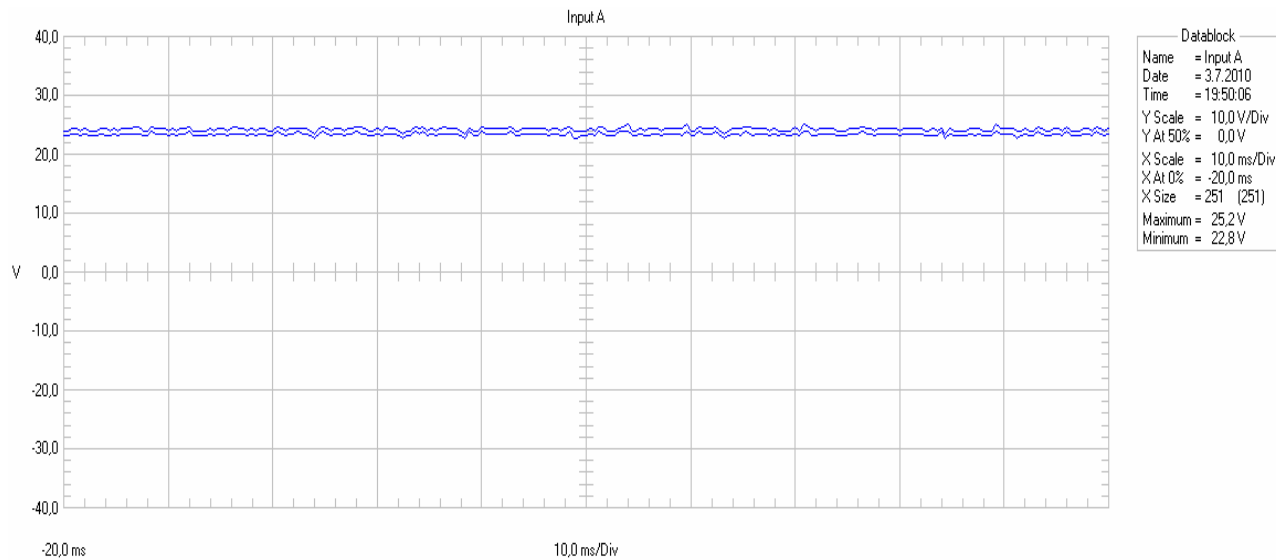


Kuva 15. Kaarivalvonnan kytkentä, jossa diodilla ja vastuksella toteutettu suojaus

### 7.3 Syöttöjännitteen vakavointi diodikytkennällä

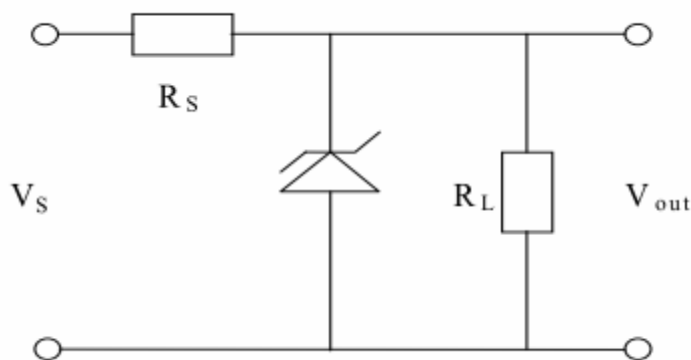
Edellisissä kappaleissa käsitellyissä diodisuojausmalleissa suojataan anturia vain releen kelalta tulevaa jännite transienttia vastaan. Jännitteen syöttöpuolelta tulevilta jännitepiikeiltä tämän kaltainen kytkentä ei anna suojaa.

Kaarien syöttö jännitteen mittauksissa (kuva 16.) ei havaittu haitallisia jännite piikkejä, tällaisia piikkejä jännitteen syöttöpuolelle voi kuitenkin syntyä hyvin satunnaisesti esim. ukkosen, kytkentä ilmiöiden tai staattisten sähkövarausten aiheuttamina.



Kuva 16. Turvakaarien valvonnan syöttöjännite 24VDC releet eivät vetäneenä

Vastuksella ja zenerdiodilla on mahdollista toteuttaa jännitteen stabilointi kytkentä (kuva 17). Haittapuolena tällaisessa kytkennässä on kuitenkin huono hyötysuhde, koska se kuluttaa virtaa vastuksesta  $R_s$  johtuen vaikka lähtöön ei olisi kytketty kuormaa lainkaan.



Kuva 17. Zenerdiodilla toteutetun jännitteen vakavoinnin periaate kuva

Tällaisella kytkennällä pystytään jännite vakavoimaan halutulle tasolle. Kytkennässä zenerdiodin zenerjännite on suurin anturin kestävä jännite eli 30VDC. Jännitteen ylittäessä 30VDC zenerdiodi [Liite 5] siirtyy johtavaan tilaan estosuunnassa, ja jännite piikki ei näin ollen näy anturilla. Zenerdiodi vaatii etuvastuksen  $R_s$ , joka toimii virran rajoittimena zenerdiodin heikosta virran kestoisuudesta johtuen.

(Elektroniikka ja puolijohteet, Kimmo Silvonen 2009)

## 8 GALVAANISET EROTTIMET

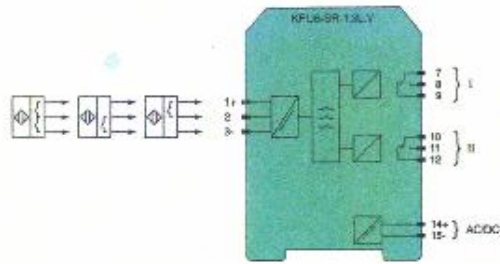
Releiltä tulevan jännitepiikin mahdollisuus voidaan poistaa käyttämällä automaatio prosessien toimintavarmuuden parantamiseen tarkoitettuja valmiita komponentteja. Varsinkin nykyaikaisen prosessiteollisuuden parissa erillisillä diodeilla toteutetut suojaus kytkennät on unohdettu, koska valmistajilla on tarjolla valmiita luotettavia komponentteja ongelmien minimoimiseen. Tässä kappaleessa esitellään yksi komponentti malli, jolla turvakaarien valvonnan kytkentä voidaan toteuttaa vaihtoehtoisella tavalla.

### 8.1 K-System signaalinen korjaaja

Pepperl+Fuchsin valmistaman komponentin [Liite 6] toiminta tapa on hyvin pitkälti samanlainen kuin tällä hetkellä käytössä olevien releiden. Tässä komponentissa on 1 kanava sisään tulevalle kolme johtimiselle induktiiviselle anturille, ja kaksi rele lähtöä. Käytännössä tämä muuttaa induktiivisen anturin lähtösignaalin kahdeksi relelähdöksi.



Kuva 18. KFUSR-1.3L.V 1-channel signal conditioner



Kuva 19. KFUS-SR-1.3L.V 1-channel signal conditioner piirikaavio

Tällaisen komponentin etuna on galvaaninen erotus anturin ja relelähdön välillä. Galvaaninen erotus tarkoittaa sitä, että kahden pisteen välillä ei ole itse fyysistä kytkentää jolloin sähkö ei kulje näiden pisteiden välillä. Tässä tapauksessa anturilta tuleva signaali saa relelähdöt reagoimaan tilan muutokseen muulla tavoin kuin kytkeytymällä suoraan itse releen kelaan. Galvaaninen erotus suojaa antureita jännitepiikeiltä. Jännitteen syöttöpuolella esiintyvät jännitteen epäpuhtaudet ("noise") saattavat aiheuttaa mm. anturin virhetoimintoja, galvaaninen erotus poistaa myös tämän mahdollisuuden.

(interface technology, engineers guide)



## 9 YLIAALLOT

MotoGee ajolaite on varustettu 72.1kW:n DC moottorilla, tällainen moottori vaati toimiakseen tyristorilla toteutetun tasasuuntaus sillan. Tyristorisillat ovat erityisen epäedullisia syöttöverkon virta yliaaltojen suhteen. Laitteessa ei ole käytän aikana ilmennyt ongelmia jotka viittaisivat haitallisen korkeisiin yliaalto pitoisuuksiin. Vaikka suoranaisia ongelmia ei ole ilmennyt haluttiin kuitenkin tietä tämän hetkisestä yliaaltojen tasosta. MotoGee ajolaitetta syöttävän muuntajan perässä ei tällä hetkellä ole muita suuria yliaalto lähteitä. Tulevaisuudessa tämänkin muuntajan kuormana olevat laitteet saattavat tuottaa enemmän yliaaltoja koska esim. taajuusmuuttaja käytöt lisääntyvät laitteiden uudistamisen myötä. Näin ollen onkin hyvä olla selvillä tämän hetkisestä yliaalto tilanteesta.

Yleisessä sähköjakeluverkossa on havaittavissa yliaaltojännitteiden ts. jännitesärön määrän jatkuva kasvaminen yleisenä ilmiönä. Syynä tähän ovat sähkönkäyttäjien yliaaltoja synnyttävät epälineaaristen kuormitusten määrän ja sen osuuden jatkuva lisääntyminen. Epälineaariset kuormat ottavat verkosta tai syöttävät verkkoon perustaajuisesta sinikäyrästä poikkeavia virtoja, jotka aiheuttavat verkon impedansseissa perustaajuudesta poikkeavia virtoja, jotka aiheuttavat verkon perustaajuudesta poikkeavia jännitteitä ts. jännitesäröä. Toisaalta säröytynyt jännite aiheuttaa sinimuodosta poikkeavia virtoja lineaarisillakin kuormituksilla. Myös resonanssi-ilmiöt voivat merkittävästi suurentaa yleisessä jakeluverkossa tai liittyjän omassa verkossa esiintyviä yliaaltoja.

(Yliaallot ja kompensointi, STUL, 2006)

### 9.1 Yliaaltojen aiheuttajat

Yliaaltojen aiheuttajia ovat muun muassa tasa- ja vaihtosuuntaaja käytöt, hakkuritehonlähteet, ns. energiansäästöloistelamput, puolijohdekytkimet, tyristorisäätimet, kodin ja toimistotilojen elektroniikka (televisiot, tietokoneet), purkauslamput, hitsauslaitteet, valokaariuunit sekä vikaantuneiden muuntajien ja moottorien magneettipiirit (oikosulkumoottorin poikkinaiset sauvat, muuntajan löystynyt rautasydän).

(Yliaallot ja kompensointi, STUL, 2006)

Myös UPS-laitteistoista aiheutuu paljon yliaaltoja ja näin myös hankaluuksia, vaikka näitä laitteita toisaalta käytetäänkin parantamaan sähkön laatua. Erityisesti huoltamattomat UPS-laitteet kuivahtaneine akkuineen ovat monesti merkittäviä häiriön aiheuttajia. Myös suuri tehoiset akkulaturit tai muut tasasuuntaajat ollessaan välillä melkein tyhjäkäynnillä ja hetken kuluttua taas täydellä teholla ovat ongelmallisia jakeluverkon ja sähkön laadun kannalta. Jännitteen säröytymisiä esiintyy myös jonkin verran generaattoreiden, moottoreiden ja muuntajien epälineaarisuuksien takia, mutta niiden merkitys käytännössä on vähäinen.

(Yliaallot ja kompensointi, STUL, 2006)

Verkon yliaaltoja aiheuttavista kuormituksista ja syöttävän verkon ominaisuuksista riippuen loistehon kompensointiin käytetyt rinnakkaiskondensaattoriparistot eli ”tavalliset kondensaattorit” saattavat muodostaa verkon induktanssien kanssa haitallisia resonanssiipiirejä, joiden seurauksena yliaallot voivat vahvistua merkittävästi.

(Yliaallot ja kompensointi, STUL, 2006)

## 9.2 Yliaaltojen haitat

Yliaaltojen aiheuttamia haittoja ovat häviöiden kasvu sähkönkäyttäjien laitteissa sekä eri laitteiden kuormitettavuuden alentuminen. Nollajohtimen ylikuormittuminen, muuntajan ylikuormittuminen, moottorien ylikuormittuminen, yliaaltojen vahvistuminen eli resonanssi ja tasakomponentin muodostuminen aiheutuvat yliaalloista.

(Yliaallot ja kompensointi, STUL, 2006)

Yliaallot aiheuttavat myös mittareiden virhenäyttimiä sekä automaatiolaitteiden ja suojarleiden virhetoimintoja. Laitteiden toimintahäiriöiden syynä ovat usein sähkönkäyttäjien omien laitteiden synnyttämät yliaaltovirrat ja muut häiriöt. Edellä mainitut ilmiöt korostuvat etenkin resonanssitilanteissa, joissa jännite säröytyy huomattavasti.

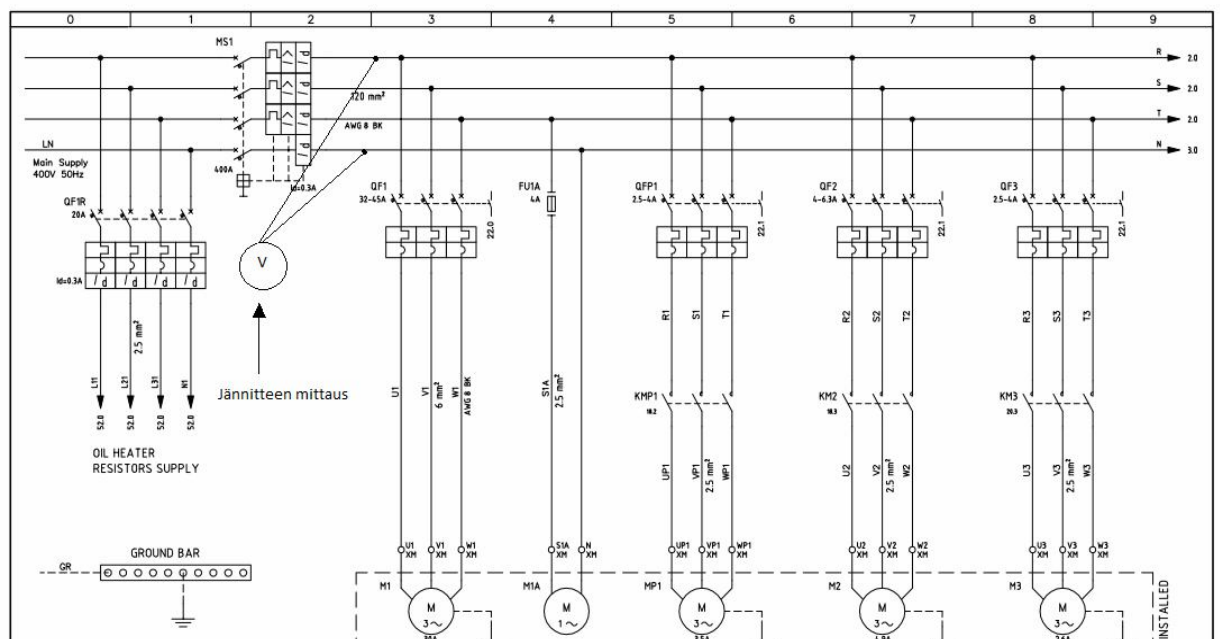
(Yliaallot ja kompensointi, STUL, 2006)

Pienitaajuiset yliaallot ovat merkityksellisiä sähköverkon komponenttien ja sähkölaitteiden lämpenemisen kannalta. Suuremmat yliaaltotaajuudet aiheuttavat etupäässä ääni- ja radiotaajuisia häiriöjännitteitä.

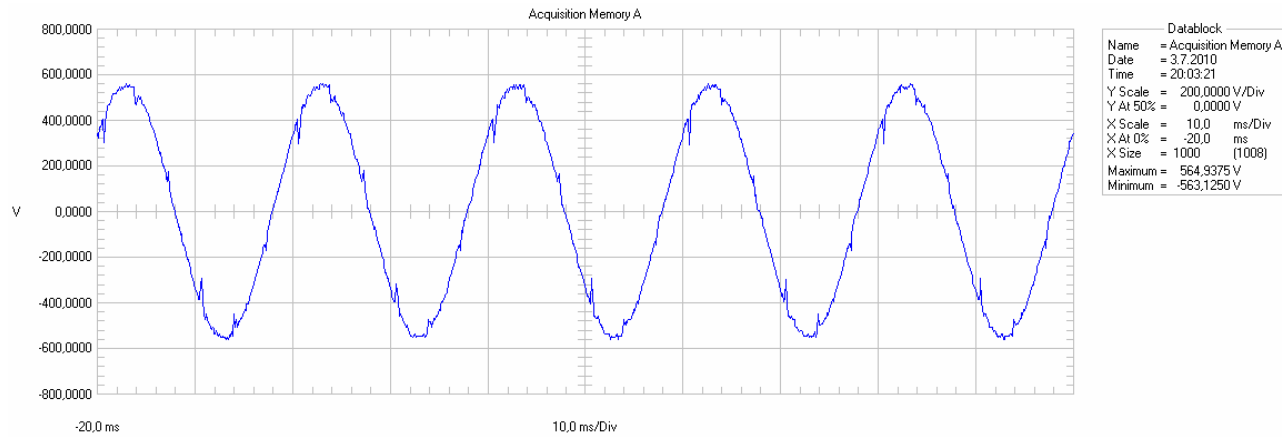
(Yliaallot ja kompensointi, STUL, 2006)

### 9.3 Suoritetut yliaalto mittaukset

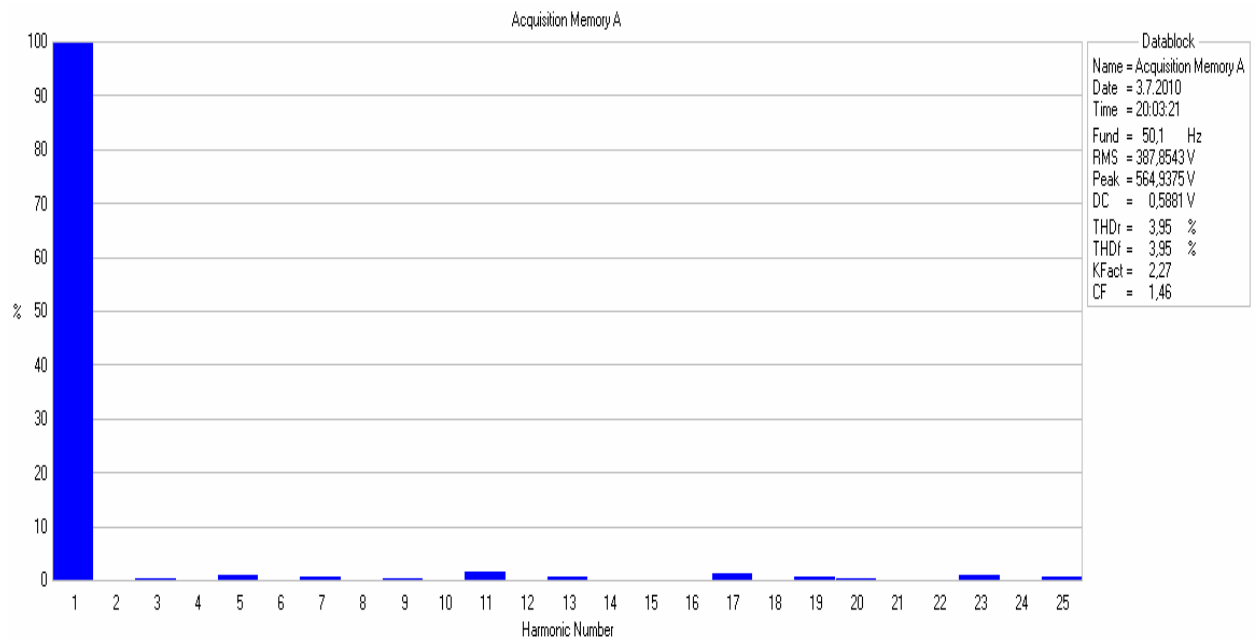
Laitteeseen suoritettiin yliaaltomittaus. Mittaus välineenä oli Fluke 123 scope meter, jolla pystyttiin luomaan taajuus spektri mitattavan kohteen yliaalto pitoisuuksista. Suurin THD% jännitteen syöttöpuolelle muodostui junan lähetys tilanteessa. Kuvassa 20. on nähtävissä mittaus pisteet joista jännite mittaus suoritettiin taajuus spektrin luontia varten. Kuvassa 21. näkyy 400V:n kiskosta mitattu jännitteen sini käyrä junan lähetys hetkellä. Sinikäyrästä voidaan havaita jännitteen lievä säröytyminen. Jännitteen käyrä muoto on muina ajanjaksoina kuin lähetys hetkellä puhdasta sinikäyrää, jossa ei ole jännitteen säröytymiä havaittavissa. Kuvassa 12 on esitetty taajuus spektrinä jännitteen yliaalto pitoisuudet junan lähetys hetkellä.



Kuva 20. Jännitteen mittaus pisteet 400V:n jännite kiskossa



Kuva 21. Jännitteen sinikäyrä 400V:n kiskosta



Kuva 22. Taajuus spektri yliaalloista

## 9.4 Yliaaltojen aiheuttajat laitteessa

Suurin yliaaltojen aiheuttaja laitteessa on junan lähetyksen vauhtipyörää pyörittävän moottorin tasasuuntaaja. Tasavirta lähteenä tässä laitteessa on SieiDriven TPD 32 [Liite 7], jossa tasasuuntaus tapahtuu vastarinnan kytketyllä 6-pulssisella tyristorisillalla. Tällaisella siltakytkennällä tasavirran suunta on muutettavissa. Suuren virran vuoksi

puolijohde kytkiminä täytyy käyttää tyristori kytkimiä, jotka ovat erityisen epäedullisia syöttöverkon virtayliaaltojen suhteen. Suuntaajan synnyttämien yliaaltojen järjestys luvut määräytyvät suuntaajan pulssiluvun mukaan.

#### 9.4.1 Tasasuuntaaja

Tasasuuntaaja muokkaa vaihtovirrasta tasavirtaa avaten ja sulkien kytkiminä toimivia tyristoreita. Tyristoreilla toteutettua tasasuuntaajaa sanotaan täysin ohjatuksi tasasuuntaajaksi. Tyristorin siirtyminen johtavaan tilaan vaatii positiivisen jännitteen anodin ja katodin välille sekä ohjauspulssin hilalle. Koska tyristori tarvitsee liipaisupulssin siirtyäkseen johtamattomasta tilasta johtavaan, vaihekulmaa, jossa tyristori alkaa johtaa voidaan viivyttää, tällä tavalla voidaan ohjata kuormituksen saamaa tasajännitettä. Kun syttymiskulmaa viivytetään yli 90 astetta, tasajännitepiirin jännitteestä tulee negatiivinen. Tämä mahdollistaa tehon takaisinsyötön tasajännitepiiristä syöttävään verkkoon. Tämän laitteen kaksi vastarinnan kytkettyä tyristorisiltaa mahdollistaa tasajännitteen polariteetin muutoksen ja näin ollen tehon siirron verkkoon päin. Tässä kokoonpanossa ensimmäinen silta johtaa tasasuuntaustilassa ja toinen takaissyöttötilassa.

(Laboratoriotyö, ohjattu tasasuuntaaja)

Tyristori sillat ovat verkkokommutoituja eli virran siirto tyristorilta toiselle tapahtuu kolmivaiheverkon pakottamana. Verkkokommutoitujen tasasuuntaajien virran aaltomuodot ovat samanlaisia kuin 6-pulssisen dioditasasuuntaajan virran aaltomuodot, mutta koska ne siirtävät tehoa muuttuvalla tehokertoimella, kokonaistehokerroin osittaisella kuormalla on melko heikko. Heikko tehokerroin aiheuttaa suuren näennäisvirran, ja absoluuttiset yliaaltovirrat ovat suurempia kuin dioditasasuuntaajan kanssa. Näiden ongelmien lisäksi verkkokommutoidut muuttajat aiheuttavat kommutointihäiriöitä syöttöjännitteen aaltomuodossa. Häiriöiden vaihekulma vaihtelee syttymiskulman mukaan.

(ABB, tekninen opas nro.6)

## 9.5 Mittaustulosten tarkastelu

Yliaalto pitoisuuden nousu laitteessa lähetys tilanteessa selittyy tasasuuntaajalla. Mittauksissa junan lähetys hetkellä THD nousi 3.95%:iin. Muina aikoina jännite oli tasaista sini aaltoa, jossa ei ollut havaittavissa jännitteen säröytymiä.

Yleisen jakeluverkon yliaaltojännitteiden suurin sallittu taso on määritelty jännitestandardissa SFS-EN 50160 Yleisen jakeluverkon jakelujännitteen ominaisuudet. Standardin mukaan normaaleissa käyttöolosuhteissa viikon aikana 95%:n jokaisen yksittäisen harmonisen yliaaltojännitteen tehollisarvon 10 minuutin keskiarvoista tulee olla pienempi tai yhtä suuri kuin taulukossa 2 annettu arvo. Lisäksi jakelujännitteen harmonisten kokonaissärön (THD), mukaan lukien kaikki harmoniset yliaallot järjestysluvultaan 40:een saakka, tulee olla enintään 8%. Käytännössä kuitenkin jo noin 3% jännitesärö saattaa riittää aiheuttamaan ongelmia joidenkin laitteiden toiminnassa. (Yliaallot ja kompensointi, STUL, 2006)

*Taulukko 3. Harmonisten yliaaltojännitteiden arvot liittämiskohdassa järjestyslukuun 25 saakka pj-verkolla prosentteina nimellisjännitteestä  $U_n$  standardin SFS-EN 50160 mukaan*

Parittomat yliaallot, kolmella jaottomat		Parittomat yliaallot, kolmella jaolliset		Parilliset yliaallot	
Järjestys-luku n	Yliaalto-jännite %	Järjestys-luku n	Yliaalto-jännite %	Järjestys-luku n	Yliaalto-jännite %
5	6	3	5	2	2
7	5	9	1,5	4	1
11	3,5	15	0,5	6...24	0,5
13	3	21	0,5		
17	2				
19	1,5				
23	1,5				
25	1,5				

Mittauksista voidaan havaita, että yliaalto pitoisuudet eivät ole tässä laitteessa haitallisen korkealla. Standardissa määritellyt arvot ovat 10min keskiarvoja. Tämän laitteen toimiessa yliaallot nousevat kuvan 5. osoittamalle tasolle noin kolmen sekunnin

sysäyksinä muutaman minuutin välein, jolloin 10min keskiarvo olisi huippuarvoa paljon pienempi.

Laitteessa on lisäksi muutamia pienempiä taajuusmuuttaja käyttöjä heittopyörille, joilla junaa siirretään asemalle ja asemalta lähetykseen. Mittauksissa ei havaittu näiden taajuusmuuttajien vaikuttavan jännite yliaaltojen syntyyn merkittävästi.

## 10 PÄÄTELMÄT

Induktiivisten antureiden rikkoutumisesta aiheutunut ongelma on käytännössä jo poistunut nykyisellä maadoitus rataakisulla. Tämän hetkiset maadoitus piiskat kuitenkin kuluttavat köliä hankautumalla sitä vasten, ja niitä on turhan paljon radalla. Paras ratkaisu olisi jatkuva maadoitus esim. maadoitus piiskalla –tai pyörällä. Esimerkiksi johtavaa kumiseosta oleva maadoitus piiska voitaisiin sijoittaa junan perään. Kumi piiska ”laahaisi” rataa vasten koko kierroksen ajan, maadoittaen junan jatkuvasti. Kumipiiska ei aiheuta rataa kulumaa. Piiska itsessään kuluu aikaa myöten, joten onkin hyvä sijoittaa piiskoja ainakin kaksi kappaletta junan perään, jotta toisen rikkoutuessa maadoitus ei katoa.

Tulevaisuudessa on myös mahdollista, että nykyinen maadoitus ratkaisu ei anna suojaa antureille kaikissa tilanteissa. Radan ja renkaiden kuluessa, sekä junan säätöjen muuttuessa epäedulliseen suuntaan on mahdollista, että juna varaa staattista sähköä jo yhden kierroksen aikana haitallisen paljon. Tästä johtuen olisikin viisainta taata junan jatkuva maadoittuminen koko kierroksen ajan

Laitteessa syntyvät yliaallot eivät ole haitallisen korkealla tasolla tällä hetkellä. Tulevaisuudessa kun saman muuntajan perään lisätään yliaaltoja aiheuttajia kuten tasa- ja vaihtosuuntaajia kannattaa yliaaltoihin kiinnittää huomiota.

Tämän hetkinen diodi suojaus kytkentä on mitä ilmeisimmin turha. Releiden koko on sen verran pieni, että niistä ei aiheudu liian suurta jännite piikkiä induktiivisille antureille. Diodit kannattaa poistaa viimeistään silloin jos releiden kanssa alkaa ilmetä ongelmia. Tulevaisuudessa automaatio komponenttien suojauksen ja virheettömän toiminnan takaamiseksi kannattaa käyttää markkinoilla olevia valmiita ratkaisuja, mikäli ne ovat kustannuksiltaan tilanteeseen sopivia. Yksittäisten diodien ja vastusten käyttöä ei pitkällä tähtäimellä takaa hyvää toiminta varmuutta.

Induktiivisiin antureihin kohdistuva lievä mekaaninen rasitus saattaa edesauttaa niiden rikkoutumista. Suuremmalla lukuetaisyydellä varustetut anturit olisivat ratkaisu



ongelmaan, mutta markkinoita ei löydy tällä hetkellä juuri 8mm kierteelle sopivaa  
lieriöanturia suuremmalla lukuetaisyydellä.

## LÄHTEET

## Sähköisiä lähteitä

1. Mikko Alajoki – Salla Smolander, ESD [Viitattu 1.9.2010], internetlähde saatavilla:  
<http://www.tkk.fi/Yksikot/Elektroniikka/Kurssit/171/Materiaali-2001/ESD.pdf>
2. Mikko Kaarnoja, 2009, Pyörrevirtajarru [Viitattu 7.10.2010], internetlähde saatavilla:  
[https://publications.theseus.fi/bitstream/handle/10024/6257/kaarnoja\\_mikko.pdf?sequence=1](https://publications.theseus.fi/bitstream/handle/10024/6257/kaarnoja_mikko.pdf?sequence=1)
3. ABB tekninen opas nro.6  
[http://library.abb.com/global/scot/scot201.nsf/veritydisplay/9aaf3178627952c7c1256d2800411f8d/\\$File/Tekninen\\_opas\\_nro\\_6.pdf](http://library.abb.com/global/scot/scot201.nsf/veritydisplay/9aaf3178627952c7c1256d2800411f8d/$File/Tekninen_opas_nro_6.pdf)
4. Kalevi Koivuviita, anturikytkentä informaatiota [Viitattu 1.9.2010], internetlähde, saatavilla:  
[http://personal.inet.fi/yritys/kkov.eduserver/yhteinen/s7\\_200\\_infoa2.pdf](http://personal.inet.fi/yritys/kkov.eduserver/yhteinen/s7_200_infoa2.pdf)
5. Erkka Koski, 2006, Elektroniikan komponentit ja materiaalit releet [viitattu 20.10.2010]  
internetlähde saatavilla:  
<http://koti.mbnet.fi/erkkak/elektroniikka/releet.pdf>
7. Kelan toiminta, oppimateriaali [viitattu 15.10.2010] internetlähde saatavilla:  
[http://gallia.kajak.fi/opmateriaalit/yleinen/honHar/ma/ELE\\_KONDENSAATTORINjaKELAN\\_TOIMINTA.pdf](http://gallia.kajak.fi/opmateriaalit/yleinen/honHar/ma/ELE_KONDENSAATTORINjaKELAN_TOIMINTA.pdf)
8. Kajaanin ammattikorkeakoulu Tehoelektroniikka H. Honkanen  
[http://gallia.kajak.fi/opmateriaalit/yleinen/honhar/ma/ELE\\_Tehoelektroniikka\\_1.pdf](http://gallia.kajak.fi/opmateriaalit/yleinen/honhar/ma/ELE_Tehoelektroniikka_1.pdf)
9. Tyco Electronics, tutkimus, The application of relay coil suppression with DC relays [viitattu 20.10.2010], internetlähde saatavilla:  
[http://relays.tycoelectronics.com/appnotes/app\\_pdfs/13c3311.pdf](http://relays.tycoelectronics.com/appnotes/app_pdfs/13c3311.pdf)
10. Elektroniikka 1 materiaali  
[https://www.jyu.fi/fysiikka/opiskelu/tyoosasto/tyot/FYSE300/Labra\\_FYSE300\\_AB.pdf](https://www.jyu.fi/fysiikka/opiskelu/tyoosasto/tyot/FYSE300/Labra_FYSE300_AB.pdf)

11. ABB, tekninen opas nro.6, vaihtovirtakäyttöjen yliaalto-opas [Viitattu 27.10.2010]

internetlähde saatavilla:

[http://library.abb.com/global/scot/scot201.nsf/veritydisplay/9aaf3178627952c7c1256d2800411f8d/\\$File/Tekninen\\_opas\\_nro\\_6.pdf](http://library.abb.com/global/scot/scot201.nsf/veritydisplay/9aaf3178627952c7c1256d2800411f8d/$File/Tekninen_opas_nro_6.pdf)

12. Virtuaali AMK, Vikaantumismekanismit [16.12.2010] internetlähde saatavilla:

[http://www.token.fi/teku/virt\\_amk/elko/Kurssin\\_sisalto/Vikaantumismekanismit/vikaantumismekanismit.html](http://www.token.fi/teku/virt_amk/elko/Kurssin_sisalto/Vikaantumismekanismit/vikaantumismekanismit.html)

Painetut lähteet:

1. Yliaallot ja kompensointi, STUL, 2006, Johdanto [Viitattu 22.10.2010]  
Matti Männistö, Lauri Hietalahti, Reino Seesvuori, Vesa Seesvuori, Tarmo Wilén, Yliaallot ja kompensointi, Sähköinfo Oy 2006, s.9, s.30, s. 30-31, s. 21-22
2. Häiriösuojaus, 1991-A, Induktiivisesti kytkeytyvät häiriöt [Viitattu 20.10.2010]  
Suomen Sähköurakoitsijaliitto ry, Häiriösuojaus, Sähköurakoitsijaliiton koulutus ja kustannus Oy 1991, s.115
3. Toni Viheriäkoski, ESD, 2001, Staattisen sähkövarauksen syntyminen [Viitattu 5.9.2010]  
Toni Viheriäkoski, ESD Staattinen sähkö elektroniikassa, Edita 2001, s.14, s.23, s.20
4. Raija Koivisto, 2003, Staattisen sähkövarauksen hallitsemattomia purkautumismekanismeja [Viitattu 5.9.2010]  
Raija Koivisto, Staattisen sähköön riskit prosessiteollisuudessa, Chemas 2003, s. 81-82
5. Elektroniikka ja puolijohdekomponentit, Kimmo Silvonen 2009[Viitattu 7.9.2010]  
Kimmo Silvonen, Elektroniikka ja puolijohdekomponentit, Otatieto 2009, s. 89, s.124-125
6. Interface technology, engineers guide [viitattu 5.11.2010]  
interface technology, engineers guide, Pepperl Futch group 2009, s.25

# LIITEET

## LIITE 1 DIODI P600S

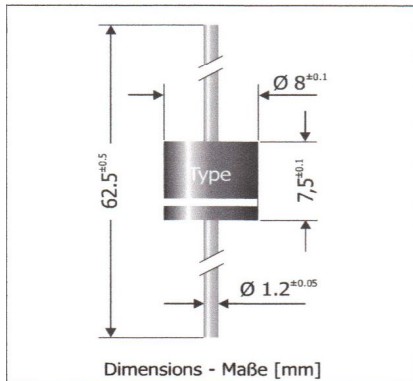
P600A ... P600S



### P600A ... P600S

#### Silicon Rectifier Diodes – Silizium-Gleichrichterdioden

Version 2006-01-25



Nominal Current Nennstrom	6 A
Repetitive peak reverse voltage Periodische Spitzensperrspannung	50...1200 V
Plastic case Kunststoffgehäuse	Ø 8 x 7.5 [mm] P600 Style
Weight approx. Gewicht ca.	1.3 g
Plastic material has UL classification 94V-0 Gehäusematerial UL94V-0 klassifiziert	
Standard packaging taped in ammo pack Standard Lieferform gegurtet in Ammo-Pack	



#### Maximum ratings

#### Grenzwerte

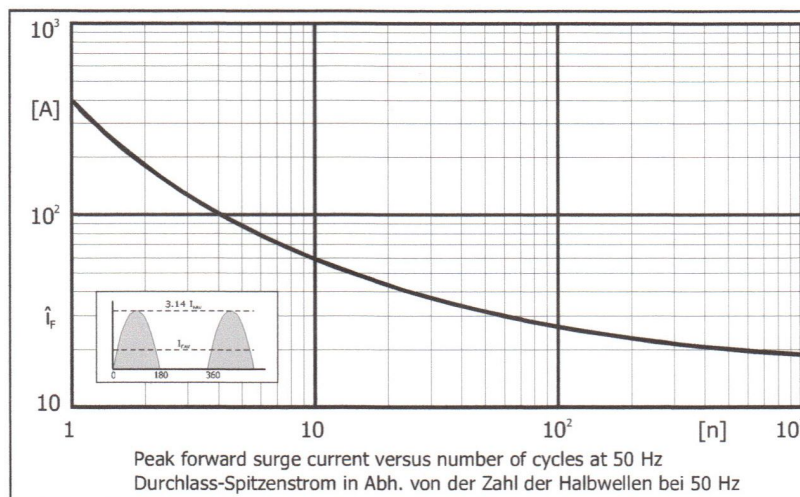
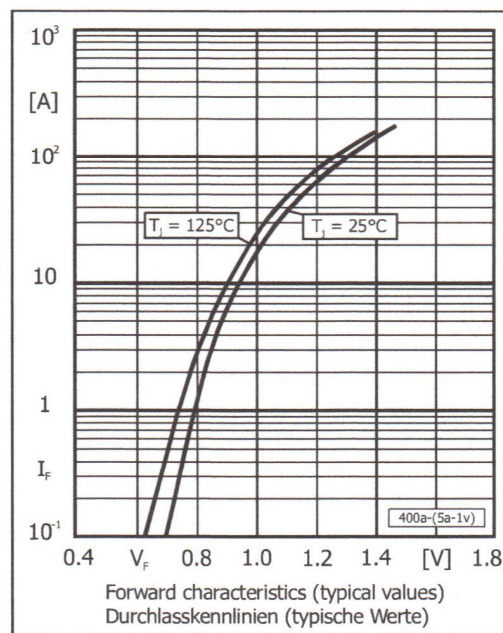
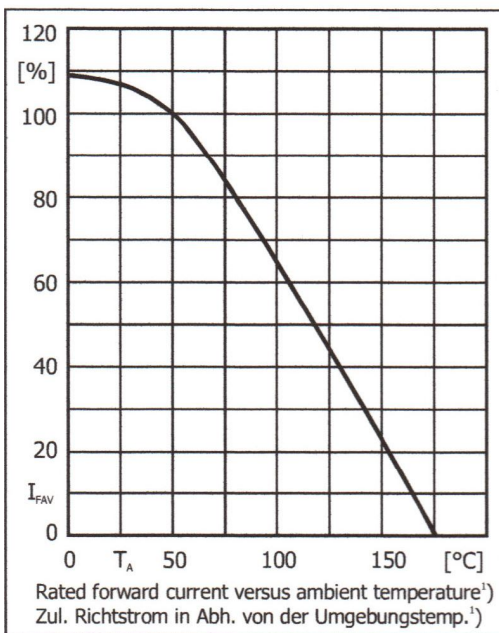
Type Typ	Repetitive peak reverse voltage Periodische Spitzensperrspannung $V_{RRM}$ [V]	Surge peak reverse voltage Stoßspitzensperrspannung $V_{RSM}$ [V]
P600A	50	50
P600B	100	100
P600D	200	200
P600G	400	400
P600J	600	600
P600K	800	800
P600M	1000	1000
P600S	1200	1200

Max. average forward rectified current, R-load Dauergrenzstrom in Einwegschialtung mit R-Last	$T_A = 50^\circ\text{C}$	$I_{FAV}$	6 A <sup>1)</sup>
Repetitive peak forward current Periodischer Spitzenstrom	$f > 15\text{ Hz}$	$I_{FRM}$	60 A <sup>1)</sup>
Peak forward surge current, 50/60 Hz half sine-wave Stoßstrom für eine 50/60 Hz Sinus-Halbwelle	$T_A = 25^\circ\text{C}$	$I_{FSM}$	400/450 A
Rating for fusing, Grenzlasterintegral, $t < 10\text{ ms}$	$T_A = 25^\circ\text{C}$	$i^2t$	800 A <sup>2</sup> s
Junction temperature – Sperrschichttemperatur Storage temperature – Lagerungstemperatur		$T_J$ $T_S$	-50...+175°C -50...+175°C

<sup>1</sup> Valid, if leads are kept at ambient temperature at a distance of 10 mm from case  
Gültig, wenn die Anschlussdrähte in 10 mm Abstand vom Gehäuse auf Umgebungstemperatur gehalten werden

**Characteristics****Kennwerte**

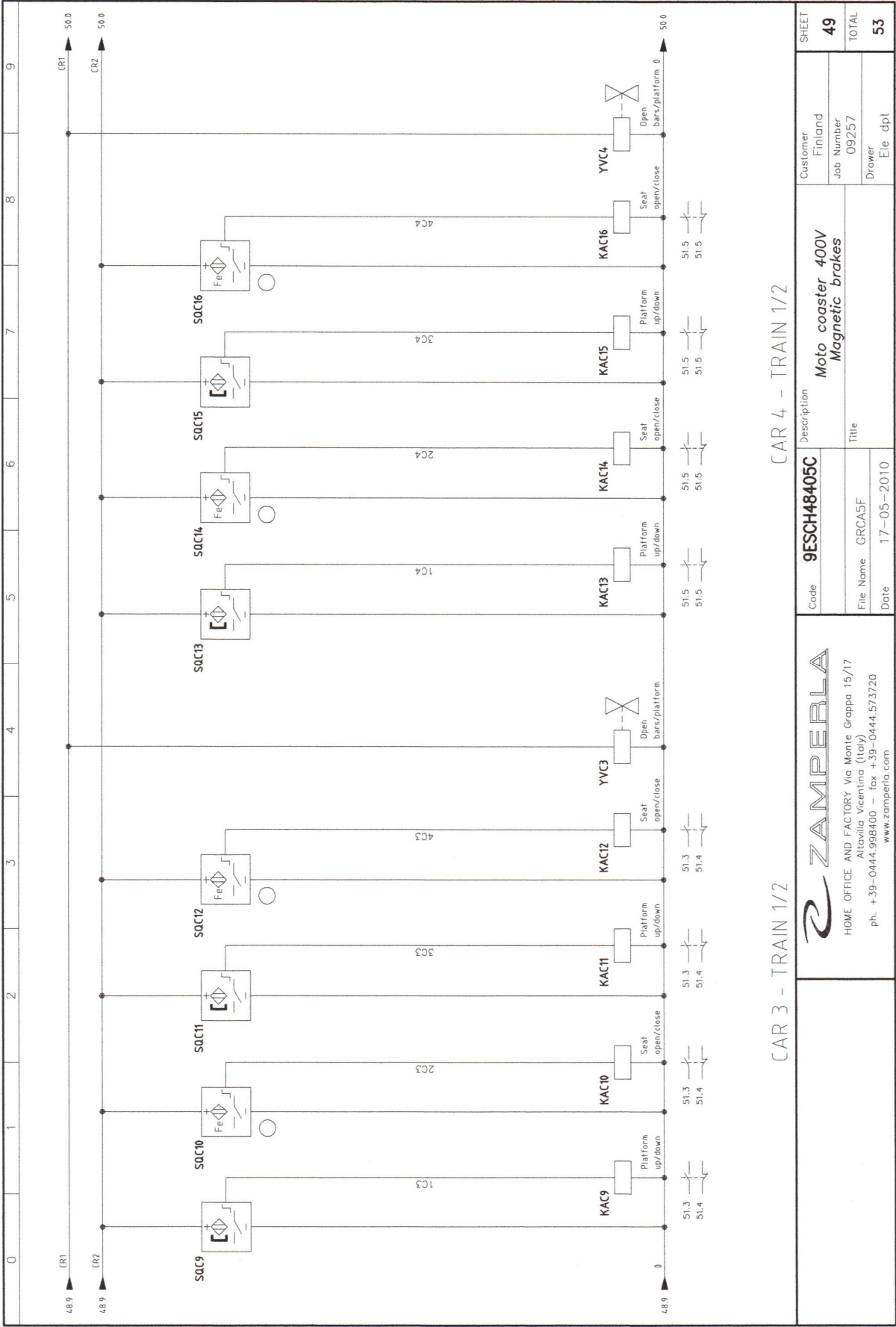
Forward voltage – Durchlass-Spannung	$T_J = 25^\circ\text{C}$	$I_F = 5\text{ A}$	$V_F$	$< 1.0\text{ V}$
Leakage current – Sperrstrom	$T_J = 25^\circ\text{C}$	$V_R = V_{RRM}$	$I_R$	$< 25\text{ }\mu\text{A}$
Thermal resistance junction to ambient air Wärmewiderstand Sperrschicht – umgebende Luft			$R_{thA}$	$< 20\text{ K/W}^1)$
Thermal resistance junction to leads Wärmewiderstand Sperrschicht – Anschlussdraht			$R_{thL}$	$< 4\text{ K/W}$



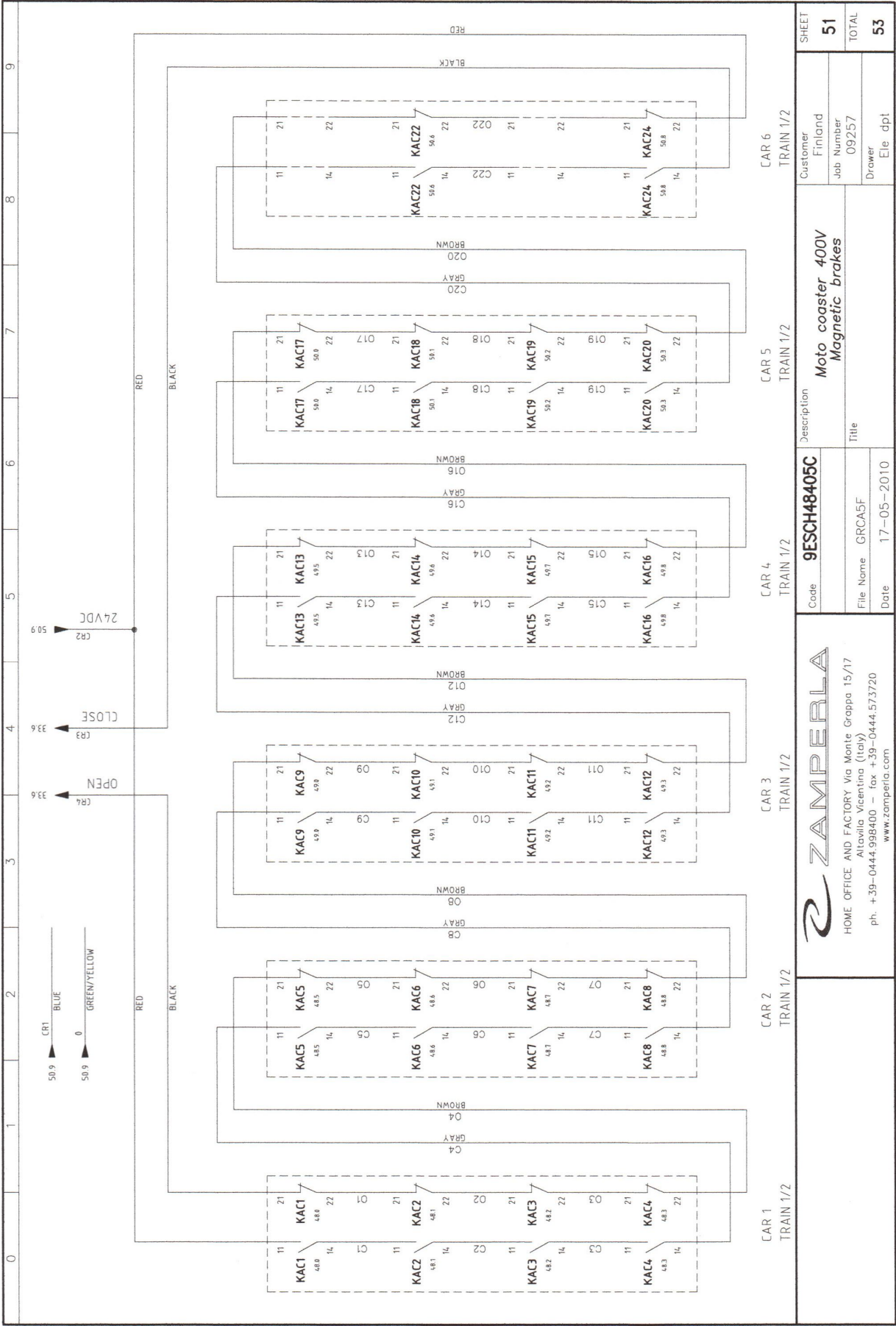
<sup>1</sup> Valid, if leads are kept at ambient temperature at a distance of 10 mm from case  
Gültig, wenn die Anschlussdrähte in 10 mm Abstand vom Gehäuse auf Umgebungstemperatur gehalten werden



LIITE 2 Sähkökuvat junan antureista sekä releistä



LIITE 3 Sähkökuva releiden ohjaamista koskettimista



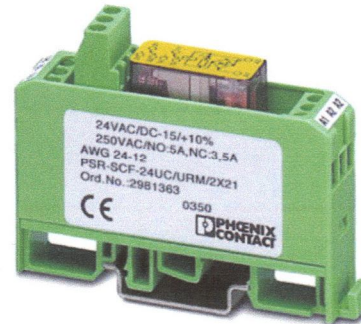
## LIITE 4 Rele



Extract from the online  
catalog

### PSR-SCF- 24UC/URM/2X21

Order No.: 2981363



<http://eshop.phoenixcontact.de/phoenix/treeViewClick.do?UID=2981363>

Universal safety relay with positive action contacts, two PDT contacts,  
for  $U_N$  24 V AC/DC



#### Commercial data

GTIN (EAN)	4017918946906
sales group	G542
Pack	10 pcs.
Customs tariff	85364190
Weight/Piece	0.06143 KG
Catalog page information	Page 31 (IF-2009)

#### Product notes

WEEE/RoHS-compliant since:  
06/07/2007



[http://  
www.download.phoenixcontact.com](http://www.download.phoenixcontact.com)  
Please note that the data given  
here has been taken from the  
online catalog. For comprehensive  
information and data, please refer  
to the user documentation. The  
General Terms and Conditions of  
Use apply to Internet downloads.

#### Technical data

##### Input data

Nominal input voltage $U_N$	24 V AC/DC
Input voltage range in reference to $U_N$	0.85 ... 1.1
Typical input current at $U_N$	30 mA
Typical response time	10 ms



PSR-SCF- 24UC/URM/2X21 Order No.: 2981363  
<http://eshop.phoenixcontact.de/phoenix/treeViewClick.do?UID=2981363>

Typical release time	10 ms
<b>Output data</b>	
Contact type	2 PDT
Contact material	AgNi
Maximum switching voltage	250 V AC/DC
Minimum switching voltage	15 V AC/DC
Limiting continuous current	5 A (N/O contact) 3.5 A (N/C contact)
Maximum inrush current	6 A
Inrush current, minimum	10 mA
Interrupting rating (ohmic load) max.	144 W (24 V DC, $\tau = 0$ ms) 288 W (48 V DC, $\tau = 0$ ms) 88 W (110 V DC, $\tau = 0$ ms) 110 W (220 V DC, $\tau = 0$ ms) 1500 VA (250 V AC, $\tau = 0$ ms)
Maximum interrupting rating (inductive load)	(on request)
Switching capacity min.	0.24 W
Output fuse	6 A gL/gG NEOZED (N/O contact) 4 A gL/gG NEOZED (N/C contact)
<b>General data</b>	
Width	17.5 mm
Height	60.5 mm
Depth	75 mm
Ambient temperature (operation)	-20 °C ... 50 °C
Ambient temperature (storage/transport)	-20 °C ... 70 °C
Relay type	Electromechanically positively driven, dust-proof relay.
Service life mechanical	Approx. $10^7$ cycles
Mounting position	Any
Name	Air and creepage distances between the power circuits
Standards/regulations	DIN EN 50178/VDE 0160 EN 50205
Rated surge voltage / insulation	4 kV / Basic isolation, (safe isolation, reinforced insulation and 6 kV between input circuit and enabling current paths.)
Rated insulation voltage	250 V
Pollution degree	2

PSR-SCF- 24UC/URM/2X21 Order No.: 2981363  
<http://eshop.phoenixcontact.de/phoenix/treeViewClick.do?UID=2981363>

Surge voltage category	III
<b>Connection data</b>	
Conductor cross section solid min.	0.2 mm <sup>2</sup>
Conductor cross section solid max.	2.5 mm <sup>2</sup>
Conductor cross section stranded min.	0.2 mm <sup>2</sup>
Conductor cross section stranded max.	2.5 mm <sup>2</sup>
Conductor cross section AWG/kcmil min.	24
Conductor cross section AWG/kcmil max	12
Stripping length	7 mm
Screw thread	M3
Type of connection	Screw connection

#### Certificates / Approvals

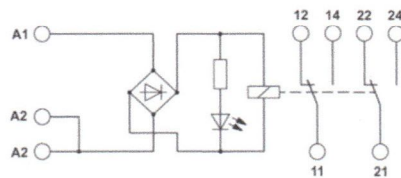


Certification

CUL Listed, GOST, UL Listed

#### Diagrams/Drawings

Circuit diagram



## LIITE 5 Zenerdiodi

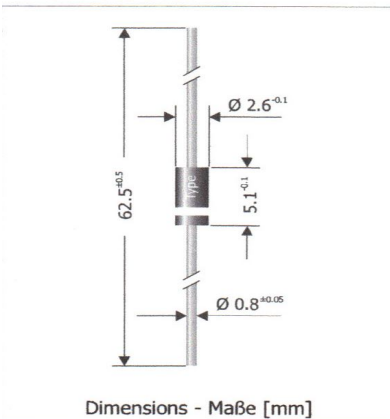
ZPY10 2% ... ZPY200 2% (1.3 W)



### ZPY10 2% ... ZPY200 2% (1.3 W)

**Silicon Power Z-Diodes (non-planar technology)**  
**Silizium-Leistungs-Z-Dioden (flächendiffundierte Dioden)**

Version 2006-06-08



Maximum power dissipation  
 Maximale Verlustleistung

1.3 W

Nominal Z-voltage  
 Nominale Z-Spannung

10...200 V

Plastic case  
 Kunststoffgehäuse

DO-41  
 (DO-204AL)

Weight approx.  
 Gewicht ca.

0.4 g

Plastic material has UL classification 94V-0  
 Gehäusematerial UL94V-0 klassifiziert

Standard packaging taped in ammo pack  
 Standard Lieferform gegurtet in Ammo-Pack



Standard Zener voltage tolerance is graded to the international E 24 standard ( $\sim \pm 5\%$ ).  
 The devices ZPY10 2% ... ZPY200 2% are specially selected.  
 Other voltage tolerances and Zener voltages on request.

Die Standard-Toleranz der Z-Spannung ist gestuft nach der internationalen Reihe E 24 ( $\sim \pm 5\%$ ).  
 Die Reihe ZPY10 2% ... ZPY200 2% ist eine Sonderselektion.  
 Andere Toleranzen oder Zener-Spannungen auf Anfrage.

#### Maximum ratings and Characteristics

#### Grenz- und Kennwerte

Power dissipation Verlustleistung	$T_A = 50^\circ\text{C}$	$P_{\text{tot}}$	1.3 W <sup>1)</sup>
Non repetitive peak power dissipation, $t < 10$ ms Einmalige Impuls-Verlustleistung, $t < 10$ ms	$T_A = 25^\circ\text{C}$	$P_{\text{ZSM}}$	40 W
Junction temperature – Sperrschichttemperatur		$T_j$	-50...+150°C
Storage temperature – Lagerungstemperatur		$T_s$	-50...+175°C
Thermal resistance junction to ambient air Wärmewiderstand Sperrschicht – umgebende Luft		$R_{\text{thA}}$	<45 K/W <sup>1)</sup>
Thermal resistance junction to terminal Wärmewiderstand Sperrschicht – Anschluss		$R_{\text{thT}}$	<15 K/W

Zener voltages see table on next page – Zener-Spannungen siehe Tabelle auf der nächsten Seite

- Valid, if leads are kept at ambient temperature at a distance of 10 mm from case  
Gültig, wenn die Anschlussdrähte in 10 mm Abstand vom Gehäuse auf Umgebungstemperatur gehalten werden
- Tested with pulses – Gemessen mit Impulsen



## Maximum ratings

## Grenzwerte

Type Typ	Zener voltage <sup>1)</sup> Zener-Spannung <sup>2)</sup> $I_Z = I_{Ztest}$		Test current Mess-Strom	Dynamic resistance Diff. Widerstand $I_{Ztest} / f = 1 \text{ kHz}$	Temp. Coeff. of Z-voltage ...der Z-Spannung	Reverse volt. Sperrspanng. $I_R = 1 \mu\text{A}$	Z-current <sup>1)</sup> Z-Strom <sup>1)</sup> $T_A = 50^\circ\text{C}$
	$V_{Zmin} [\text{V}]$	$V_{Zmax} [\text{V}]$	$I_{Ztest} [\text{mA}]$	$r_{Zj} [\Omega]$	$\alpha_{VZ} [10^{-4} / ^\circ\text{C}]$	$V_R [\text{V}]$	$I_{Zmax} [\text{mA}]$
ZPY10 2%	9.79	10.21	50	2 (<4)	+5...+9	> 5	123
ZPY11 2%	10.79	11.21	50	4 (<7)	+5...+10	> 5	112
ZPY12 2%	11.79	12.21	50	4 (<7)	+5...+10	> 7	102
ZPY13 2%	12.68	13.32	50	5 (<10)	+5...+10	> 7	92
ZPY15 2%	14.68	15.32	50	5 (<10)	+5...+10	> 10	83
ZPY16 2%	15.68	16.32	25	6 (<15)	+6...+11	> 10	76
ZPY18 2%	17.58	18.42	25	6 (<15)	+6...+11	> 10	68
ZPY20 2%	19.58	20.42	25	6 (<15)	+6...+11	> 10	61
ZPY22 2%	21.58	22.42	25	6 (<15)	+6...+11	> 12	56
ZPY24 2%	23.48	24.52	25	7 (<15)	+6...+11	> 12	51
ZPY27 2%	26.48	27.52	25	7 (<15)	+6...+11	> 14	45
ZPY30 2%	29.38	30.62	25	8 (<15)	+6...+11	> 14	41
ZPY33 2%	32.3	33.8	25	8 (<15)	+6...+11	> 17	37
ZPY36 2%	35.2	36.8	10	16 (<40)	+6...+11	> 17	34
ZPY39 2%	38.1	39.9	10	20 (<40)	+6...+11	> 20	32
ZPY43 2%	42.0	44.0	10	24 (<45)	+7...+12	> 20	28
ZPY47 2%	46.0	48.0	10	24 (<45)	+7...+12	> 24	26
ZPY51 2%	49.9	52.1	10	25 (<60)	+7...+12	> 24	24
ZPY56 2%	54.8	57.2	10	25 (<60)	+7...+12	> 28	22
ZPY62 2%	60.7	63.3	10	25 (<80)	+8...+13	> 28	20
ZPY68 2%	66.5	69.5	10	25 (<80)	+8...+13	> 34	18
ZPY75 2%	73.4	76.6	10	30 (<100)	+8...+13	> 34	16
ZPY82 2%	80.3	83.7	10	30 (<100)	+8...+13	> 41	15
ZPY91 2%	89.1	92.9	5	40 (<200)	+9...+13	> 41	14
ZPY100 2%	97.9	102.1	5	60 (<200)	+9...+13	> 50	12
ZPY110 2%	108	112	5	80 (<250)	+9...+13	> 50	12
ZPY120 2%	118	122	5	80 (<250)	+9...+13	> 60	11
ZPY130 2%	127	133	5	90 (<300)	+9...+13	> 60	10
ZPY150 2%	147	153	5	100 (<300)	+9...+13	> 75	8
ZPY160 2%	157	163	5	110 (<350)	+9...+13	> 75	8
ZPY180 2%	176	184	5	120 (<350)	+9...+13	> 90	7
ZPY200 2%	196	204	5	150 (<350)	+9...+13	> 90	6

<sup>1)</sup> Notes see previous page – Fußnoten siehe vorhergehende Seite

## LIITE 6

## Komponentti galvaaniseen erotukseen

## KFU8-SR-1.3L.V

## Switch Amplifier



K-System

Digital Inputs

Digital Outputs

Analog Inputs

Analog Outputs

Accessories

## Features

- 1-channel signal conditioner
- AC/DC wide range supply
- 3-wire PNP/NPN sensor or push-pull input
- 2 relay outputs with 1 changeover contact each
- DIP switch selectable functions
- Rotary switch selectable time base
- Available from September 2009

## Function

This signal conditioner converts the state of 3-wire sensors (PNP or NPN) or sensors with push-pull output stages into two relay outputs.

It has one input and two form C changeover relay outputs.

## Technical data

## Supply

Rated voltage 20 ... 60 V DC or 90 ... 253 V AC, 45 ... 65 Hz

Rated current  $\leq 230$  mA

Power loss 2.3 W

Power consumption  $\leq 4.5$  W

## Input

Rated values 22 ... 24 V DC/100 mA

Short-circuit current  $\leq 125$  mA

## Output

## Output I, II

Contact loading 250 V AC/2 A/cos  $\Phi \geq 0.7$ ; 125 V AC/4 A/cos  $\Phi > 0.7$ ; 40 V DC/2 A

## Transfer characteristics

Switching frequency  $\leq 10$  Hz for time base 0.1 s and time adjustment 0.0 s

## Ambient conditions

Ambient temperature -20 ... 60 °C (253 ... 333 K)

## Mechanical specifications

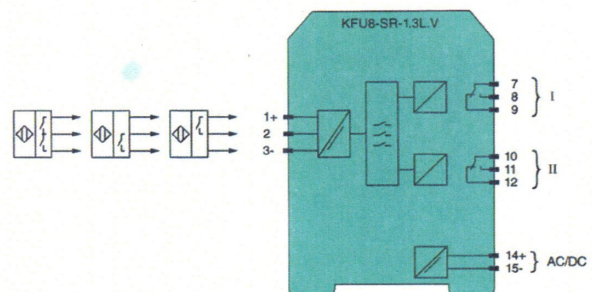
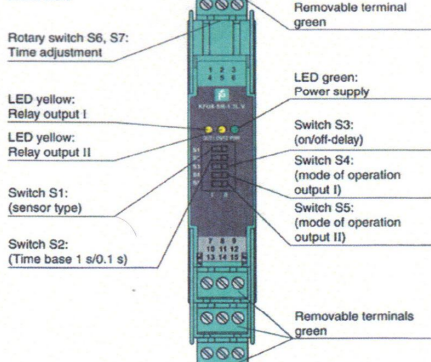
Protection degree IP20

Mass approx. 150 g

Dimensions 20 x 119 x 115 mm (0.8 x 4.7 x 4.5 in), housing type B2

## Diagrams

## Front view





## LIITE 7 Tasasuuntaajan piirikaavio

## 9.2. POWER CIRCUIT BLOCK DIAGRAMS

