

Metropolia Ammattikorkeakoulu
Talotekniikan koulutusohjelma

Heljä Korhonen

Ylijännitesuojaus pienjänniteverkossa

Insinööritö 3.6.2009

Ohjaaja: toimitusjohtaja Jorma Kuusela
Ohjaava opettaja: yliopettaja Torsti Viilo

Tekijä Otsikko	Heljä Korhonen Ylijännitesuojaus pienjänniteverkossa
Sivumäärä Aika	64 sivua 3.6.2009
Koulutusohjelma	talotekniikka
Tutkinto	insinööri (AMK)
Ohjaaja Ohjaava opettaja	toimitusjohtaja Jorma Kuusela yliopettaja Torsti Viilo
<p>Insinööriyön tarkoituksena oli tutustua ylijännitesuojien valintaan ja käyttöön pienjänniteverkossa. Tavoitteena oli tutkia ylijännitesuojien valintaperusteita ja ominaisuuksia sekä niiden soveltuvuutta eri käyttökohteisiin.</p> <p>Ylijännitesuojat ovat kehittyneet vastaamaan ylijännitevaurioille herkkien laitteiden suojaustarpeita. Tavoitteena oli tutustua ylijännitesuojien valmistajien ohjeistuksiin ja saada kuva laitteiden nykytilasta. Työssä tutustuttiin ylijännitesuojien rakenteiden ja ominaisuuksien lisäksi myös ylijännitteiden syntyyn ja ominaisuuksiin.</p> <p>Työssä selvitettiin, mitä kattavan ylijännitesuojauksen suunnittelussa tulee ottaa huomioon ja kuinka estetään tuhoisien ylijännitteiden pääseminen sähkö- ja elektroniikkalaitteiden herkkiin liitännöihin. Työssä käsiteltiin myös rakennusten eri järjestelmien suojaamista ylijännitteiltä.</p> <p>Insinööriyön lopputuloksena syntyi eri lähteistä kasattu yhtenäinen tietopaketti, jonka avulla sähkösuunnittelija voi tutustua ylijännitesuojaukseen.</p>	
Hakusanat	ylijännitesuoja, ylijännite, transientti, ukkossuoja, laitesuoja

Helsinki Metropolia University of Applied Sciences Abstract

Author Title	Heljä Korhonen Overvoltage protection in a low voltage system
Number of Pages Date	64 3th June 2009
Degree Programme	Building Services Engineering
Degree	Bachelor of Engineering
Instructor Supervisor	Jorma Kuusela, Managing director Torsti Viilo, Principal Lecturer
<p>The purpose of this final year project was to study the use of an overvoltage protector in a low voltage system. The major objective was to examine how the overvoltage protectors are selected and what features they have. Another objective was also to examine the feasibility of the overvoltage protectors in different use.</p> <p>Overvoltage protectors have evolved to meet the needs for protection of vulnerable devices. A further objective was to study the instructions and technical manuals of the overvoltage protectors to see the current state of the devices. This project also dealt with the overvoltage occurrences and their features.</p> <p>The outcome of this project was an information package of what has to be taken into account when planning comprehensive overvoltage protection and how to prevent disastrous overvoltage from getting into the vulnerable electrical coupling of the electrical and electronic devices. Also the overvoltage protection for different systems in buildings was covered.</p> <p>Electrical engineers can use the results of this bachelor's thesis as a guide when planning overvoltage protection.</p>	
Keywords	overvoltage protector, overvoltage, transient, lightning arrester, device protection

Sisällys

Tiivistelmä

Abstract

1 Johdanto.....	6
2 Ylijännitteiden muodostuminen ja vaikutukset.....	7
2.1 Ylijännitteet.....	7
2.2 Transientti	10
2.3 Ylijännitteiden syyt ja luokittelu.....	11
2.3.1 Pientaajuiset ylijännitteet	13
2.3.2 Loivat transienttiylijännitteet	18
3 Suojautuminen ylijännitteiltä	25
3.1 Ylijännitesuojauksen huomioiminen suunnittelussa.....	25
3.2 Ylijännitesuojien suojauskonsepti ja valinta.....	31
3.3 Porrastettu suojaus	33
3.4 Signaalipiirien suojaus	37
3.5 Ylijännitesuojaus asuin- ja liikehuoneistoissa	40
4 Ylijännitesuojien rakenne ja toimintatapa.....	45
4.1 Ylijännitesuoja	45
4.1.1 Kipinäväli.....	47
4.1.2 Varistorit	50
4.1.3 Kaasupurkaussuojat	52
4.1.4 Purkausdiodi.....	54

4.1.5 Puolijohdesuojat.....	55
5 Ylijännitesuojien asennus.....	57
6 Ylijännitesuojien testaus.....	60
7 Yhteenveto	62
Lähteet.....	63

1 Johdanto

Pienjänniteverkossa ylijännitesuojien käyttö on ollut harvinaista. Sähköyhtiöillä ei yleensä ole pienjänniteverkossa ylijännitesuojausta vaativia kohteita, ja oma-aloitteisesti kuluttajat haluavat yleensä estää jo sattuneiden vahinkojen uusiutumisen. Maaseudun avojohtoverkossa salaman aiheuttamia vahinkoja arvioitiin parikymmentä vuotta sitten olevan 0,005 prosenttia salamavahingoille alttiina olevasta omaisuuden arvosta, joten ylijännitesuojausta ei pidetty kannattavana.

Nykyisin ylijännitesuojaukseen on alettu kiinnittää enemmän huomiota, koska herkkien ja arvokkaiden elektroniikka sisältävien laitteiden määrä on kasvanut huomattavasti. Lisäksi salaman iskuille alttiiseen ilmajohtoverkkoon liitetyissä vapaa-ajan asunnoissa on paljon tietokonelaitteita ja viihde-elektroniikkaa, jotka ovat herkkiä ylijännitteille. Kaikkein herkimpiä ylijännitevaurioille ovat laitteet, jotka on liitetty sekä tele- että sähköverkkoon. Mitä pidemmälle elektroniikkalaitteita kehitetään, sitä heikommin ne kestävät ylijännitteitä ja samalla laitteiden määrä kasvaa kuluttajilla.

Tässä työssä on tarkoituksena tutustua ylijännitesuojaukseen ja selvittää ylijännitesuojien valintaperusteita. Lisäksi selvitetään, mitä ylijännitteet ovat ja kuinka ne syntyvät, jotta ymmärrettäisiin suojauksen tarkoitus. Työssä tutustutaan erilaisten ylijännitesuojien rakenteeseen ja toimintaperiaatteeseen. Työssä selvitetään myös, mitä kaikkea tulee huomioida ylijännitesuojauksen suunnittelussa ja kuinka ylijännitesuojat asennetaan, jotta ne toimivat oikein.

Työn tavoitteena on selvittää sähkösuunnittelijan tarvitsemia tietoja, kuten erilaisten ylijännitesuojien toiminta ja niiden soveltuvuus eri käyttökohteisiin. Ylijännitevaurioille herkkien laitteiden yleistymisen on tuonut uusia tarpeita ylijännitesuojaukselle. Insinööriyössä tutustutaan siihen, mitä eri mahdollisuuksia laitevalmistajat antavat tähän tarpeeseen. Lisäksi käsitellään sitä, miten kattava ylijännitesuojaus tulee toteuttaa ja kuinka estetään tuhoisien ylijännitteiden pääseminen sähkö- ja elektroniikkalaitteiden herkkiin liitännöihin.

2 Ylijännitteiden muodostuminen ja vaikutukset

2.1 Ylijännitteet

Jatkuvan käyttöjännitteen ohella eri syistä aiheutuvat ylijännitteet rasittavat sähköverkon osien sekä siinä käytettävien sähkökoneiden ja -laitteiden eristysrakenteita. Jännitettä, joka ylittää ko. eristysrakenteelle spesifisen referenssiarvon kutsutaan ylijännitteeksi. Esimerkiksi siirtojänniteportaan laitteen suurimmasta käyttöjännitteestä (U_m , highest voltage for equipment) laskettua vaihejännitteen huippuarvoa $U_m \frac{\sqrt{2}}{\sqrt{3}}$ pidetään vaihe-maa-eristyksen referenssiarvona. Vastaavan pääjännitteen huippuarvo $U_m \sqrt{2}$ on puolestaan vaihevälän ylijännitteiden referenssiarvo. Laitteen suurin käyttöjännite U_m ei poikkea verkon suurimmasta käyttöjännitteestä suurilla siirtojännitteillä, mutta alle 72,5 kV:n järjestelmissä U_m voi olla suurempi kuin verkon suurin käyttöjännite. Ylijännitettä karakterisoidaan sen suurimmalla arvolla. Jännitelujuuteen vaikuttaa lisäksi ylijännitteen muoto eli sen ajallinen vaihtelu. Ylijännitteen suuruus on tapana ilmoittaa suhteellisena ylijännitteenä (per unit overvoltage = p.u.), joka on todellisen ylijännitteen huippuarvon ja edellä mainitun referenssiarvon suhde. Ylijännitteen huippuarvo ilmaistuna suhteena ennen ylijänniteilmiötä vaikuttaneen verkkojännitteen huippuarvoon tarkoittaa ylijännitekerrointa (overvoltage factor).

Induktiolain mukaisia ylijännitteitä muodostuu sähköjohdoissa aina kun sähkövirrassa tapahtuu äkillisiä muutoksia. Vahvavirtalaitteiden kytkentätapahtumien, oikosulkujen, sähköstaattisten purkausten ja ukkospurkausten yhteydessä voi syntyä ylijännitteitä. Ylijännitteet kytkeytyvät galvaanisesti, induktiivisesti tai kapasitiivisesti sähkönsyötön, mittaustietojen keruun tai tiedonsiirron johtimien kautta sähkö- ja elektroniikkalaitteisiin. Ylijännitteiden muodostumiseen riittää, kun salama iskee sähkölaitteen lähellä tai kauempana maahan luonnollisen ukkospurkauskanavan kautta. Vaikutus ulottuu kaikkiin ukkospurkaukseen nähden samansuuntaisiin ja poikittaisiin johtimiin. Tällaisessa tapauksessa tietokoneen sähkönsyöttö- tai

tiedonsiirtojohtotukseen saattaa kohdistua erittäin suuria ylijännitteitä, jotka voivat vahingoittaa elektroniikkaa.

Ylijännitteet voidaan jakaa kahteen eri luokkaan: pitkäaikaisiin ja lyhytaikaisiin. Lyhytaikaisten ylijännitteiden eli transienttien kesto on ainoastaan sekunnin murto-osia, ja ne voivat nousta kymmeneen tai satoihin megavoltteihin. Transientit aiheutuvat yleisimmin sähköverkon kytkentätoimenpiteistä, salamaniskuista tai sähköstaattisista purkauksista. Transienttien nousuaika on erittäin lyhyt, muutamia mikrosekunteja, mutta ne laskevat suhteellisen hitaasti eli muutamissa sadoissa mikrosekunneissa. Pitkäaikaisissa ylijännitteissä jännitetaso on yleensä melko matala, mutta ylittää kuitenkin jännitetoleranssin maksimiarvon.

Salaman aiheuttamat ylijännitteet (LEMP, lightning electromagnetic pulse) ovat energialtaan kaikista suurimmat, mutta niitä esiintyy harvoin verrattuna verkon kytkentä ylijännitteisiin. Suuren energian vuoksi salaman aiheuttamat ylijännitteet saavat suurimman tuhon aikaiseksi. Oikein suunnitteleamalla ja rakentamalla ukkossuojaus ja maadoitus, saadaan ukkosylijännitteistä suurin osa rajoittumaan sähkölaitteiden syöksyjännitekestoisuuden vaatimaan tasoon.

Suorassa salamaniskussa voi syntyä transientteja induktiivisen ja kapasitiivisen kytkeytymisen vuoksi, joten vahingot eivät rajoitu laitteisiin, jotka ovat virtajohtimiin suorassa galvaanisessa kosketuksessa. Suorasta salamaniskusta syöttöjohtoon, rakennukseen tai sen lähimaastoon voi tapahtua transientin galvaaninen kytkeytyminen. Kuvassa 2.1 rakennuksen lähimaastoon on iskenyt salama, joka nostaa maapotentiaalia ja syntyy takaperoinen ylijännite. Takaperoisessa ylijännitteessä maapotentiaali nousee vaihejännitettä suuremmaksi.



Kuva 2.1 Maapotentiaalin suureneminen (4, s. 1).

Kuvassa 2.2 salamavirran nousunopeus (di/dt) aiheuttaa johtimen ympärille voimakkaan magneettikentän, joka indusoi ylijännitteen lähistöllä oleviin johdinsilmukoihin. Pienellä nimellisjännitteellä toimiville laitteille indusoituneet transientit ovat erittäin haitallisia.



Kuva 2.2 Magneettikenttä (4, s. 1).

Ylijännite voi kytkeytyä myös kapasitiivisesti, joka johtuu sähkökentästä E kahden pisteen välillä, joilla on suuri potentiaaliero. Kuvassa 2.3 puu varautuu positiivisesti salamaniskusta ja rakennus on negatiivisesti varautunut. Puu ja rakennus ovat liian lähellä toisiaan, joten niiden välinen potentiaaliero purkautuu läpilyönnillä. (1, s. 243; 2, s. 4–5; 3, s. 117–120.)



Kuva 2.3 Sähköstaattinen kenttä (4, s. 1).

2.2 Transientti

Transientti on yleensä vaimenevaa värähtelyä sisältävä jännitepulssi, joka kestoajaltaan on huomattavasti lyhyempi kuin verkkojännitteen jaksonpituus 20 ms. Transientin suurtaajuussisältö on suuri, koska sillä on lyhyt nousu- ja kesto aika. Vaimeneva värähtely johtuu suurtaajuussisällön suuruudesta ja sähkösyöttöpiirin resonansseista.

Pienjänniteverkossa yleisimpiin häiriömuotoihin kuuluva transientti saattaa esiintyä hyvinkin satunnaisesti. Virtapiirissä varastoituneen sähköenergian purkautuessa nopeasti tai heilahdellen syntyy transientti. Käytännössä on monia eri tilanteita, jotka voivat synnyttää transientin. Useimmiten sähköverkon kytkentätoimenpiteet ovat syynä transienttien syntyyn. Näistä esimerkkinä ovat suurten sähkökoneiden kytkennät, sähköverkon maa- tai oikosulut. Näille yhteistä ovat erittäin suuret ja nopeat virran

muutokset järjestelmässä. Suuret induktiiviset kuormat sähköverkkoon kytkettynä voivat aiheuttaa erityisen suuria häiriöitä. Lisäksi ukkonen aiheuttaa transientteja, joiden jännitepiikit voivat olla useiden kilovolttien luokkaa.

Sähköverkossa transienteilla on useita eri siirtymistapoja. Vaihe- ja nollajohtimen välillä esiintyvää jännitettä kutsutaan poikittaiseksi, symmetriseksi tai normaalimuotoiseksi jännitteeksi. Suojamaadoitusjohtimen päiden välinen jännite on pitkittäinen jännite, josta käytetään myös nimityksiä common-mode-, yhteisjännite ja yhteismuotoinen jännite. Epäsymmetrinen jännite on suojajohdinta vasten mitattu jännite, joka voi esiintyä myös johdinnipun ja rakennuksen rungon välillä.

Transientin häiritsevyyttä määräävät sen amplitudi, nousuaika, kesto aika ja esiintymistiheys. Elektronisten laitteiden virhetoimintojen ja laitevaurioiden lisäksi transientit voivat tyhjentää tietokoneen rekistereitä ja sekoittaa muistiosoituksia. Tietokoneen toiminnassa häiriöt muistuttavat ohjelmistovikoja, joten prosessia ohjaavat tietokoneet voivat aiheuttaa vaaratilanteita virhetoiminnoillaan. Tästä syystä on erityisen tärkeää suojata prosessia ohjaavat tietokoneet transienteilta. (3, s. 118; 5, s. 31.)

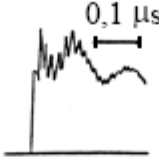
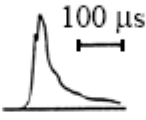
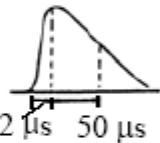
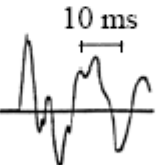
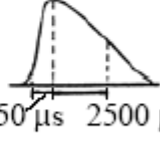
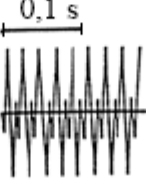
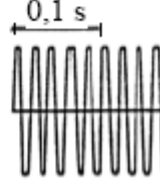
2.3 Ylijännitteiden syyt ja luokittelu

Eri ylijänniteluokista suositellaan nykyisin käytettäväksi nimityksiä, jotka kuvaavat ylijännitteen muotoa ja se onkin tärkein luokittelutapa ylijännitteille. Aiemmin käytössä olleet nimitykset viittasivat ylijännitteen alkuperään, ja myös ne on luokiteltu seuraavassa:

- pientaajuiset ylijännitteet (temporary overvoltages, aiemmin käyttötaajuiset ylijännitteet)
- loivat transienttiylijännitteet (slow-front overvoltages, aiemmin kytkeäntäylijännitteet, switching overvoltages)
- jyrkät transienttiylijännitteet (fast-front overvoltages, aiemmin ilmastolliset ylijännitteet, lightning overvoltages)

- erittäin jyrkät transienttilylijännitteet (very-fast-front overvoltages, uusi luokka) (1, s. 243.).

Kuvassa 2.4 on havainnollistettu eri ylijännitelajien luonteenomaisia piirteitä.

Nimi		Ylijännitteen muoto	Koejännitteen muoto
transientti- ylijännite	erittäin jyrkkä		sovitaan laitekohtaisesti
	jyrkkä		
	loiva		
pientaajuinen ylijännite			

Kuva 2.4 Eri ylijännitelajien muodot ja niiden koejännitteet, joita käytetään selvitettyessä eristysrakenteen jännitelujuutta kyseisillä rasituksilla (1, s. 244).

Myös eri ylijännitteiden yhdistelmät kohdistavat rasituksia pitkittäiseen eristysväliin tai vaiheväliin. Pidempiä aikoja kestäviä ja jaksollisia ylijännitteitä ovat vain pientaajuiset ylijännitteet. Lisäksi voi olla kyse perustaajuisesta jännitteestä, johon on superponoitunut harmonisia jännitekomponentteja. Muut ylijännitelajit ovat suhteellisen

nopeasti vaimenevia ja transienttiluonteisia. Kaikkia edellä mainittuja jännitelajeja esiintyy myös tasasähköjärjestelmissä.

Ylijännitelajeja vastaavat koejännitemuodot on määritelty, koska jännitelujuus riippuu rasituksen muodosta. Erittäin jyrkistä ylijännitteistä ei ole vielä yksimielisesti sovittu mahdollisen koejännitteen muotoa ja testaustarvetta. Täysin tyhjentävästi koejännitteet eivät pysty jäljittelemään kaikkia mahdollisia verkon jänniterasituksia, esimerkiksi täysin uudet laitetekniikat voivat tuoda sähköverkkoon myös uudenlaisia jännitemuotoja.

Monenlaisista eri syistä aiheutuu ylijännitteitä, esimerkkinä salamaniskut, kytkentätoimenpiteet ja erilaiset verkon vikatilanteet. Lisäksi eri tapahtumat voi aiheuttaa erilaisia ylijännitteitä. Ylijännitteiden tarkastelu aiheuttajittain helpottaa arvioimaan ylijännitteiden esiintymistiheyttä. Esiintymistiheydellä on merkitystä tarkasteltaessa eristysmitoitusta, tällöin huomioidaan lisäksi ylijännitteiden huippuarvo ja muoto. (1, s. 243–244.)

2.3.1 Pientaajuiset ylijännitteet

Verkon tilanmuutokset, joita ovat mm. vian syntyminen ja katkaisijatoiminta aiheuttavat useimmiten pientaajuiset ylijännitteet. Loiva transienttiylijännite esiintyy lähes aina pientaajuisen ylijännitteen yhteydessä. Keskeinen merkitys pientaajuisten ylijännitteiden syntymisessä on joskus myös resonansseilla ja verkon epälineaarisesti toimivilla laitteilla (esim. magneettipiirejä sisältävät laitteet). Pientaajuisen ylijännitteen suuruuteen ja kestoaikaan vaikuttavat merkittävästi generaattoreiden pyörimisnopeuden säätö ja kaikkien jännitteensäätöön osallistuvien laitteiden säätöominaisuudet.

Pientaajuisten ylijännitteiden aiheuttajia ovat

- verkon maasulku
- kuorman kytkeytyminen irti verkosta
- resonanssit ja ferresonanssit
- vajaanapainen toiminta tai katkos
- generaattoreiden itseherätys (1, s. 245).

Johdon kapasitiivisen virran reaktanssissa aiheuttama negatiivinen jännitehäviö (Ferranti-ilmiö) suurentaa pientaajuisia ylijännitteitä. Tyhjäkäyvällä pitkällä johdolla se on suurimmillaan. Ferranti-ilmiön kompensoimiseksi verkkoon rakennetaan riittävästi rinnakkaisreaktoritehoa, esimerkiksi Suomessa 420 kV:n verkossa noin 65 Mvar 100 km avojohtoa kohti. (1, s. 245.)

Maasulkuylijännitteet

Yleisin käyttötaajuisia ylijännitteitä aiheuttava tilanne on yksivaiheinen maasulku. Yksivaiheinen maasulku aiheuttaa kahden terveen vaiheen jännitteen nousun. Ylijännite on perustaajuinen ja esiintyy normaalisti vain vaihe-maa-eristysvälissä. Verkon tähtipisteen maadoitustavasta ja vikapaikasta riippuu ylijännitteen suuruus. Verkot jaetaan maadoitustavan perusteella maasta erotettuihin, sammutettuihin ja suoraan tai impedanssin kautta maadoitettuihin verkkoihin. Tavallisesti kuristinta tai vastusta käytetään impedanssina. Maasulkukertoimella k ilmoitetaan maasulun aikana terveessä vaiheessa vaikuttavan ylijännitteen suuruus. Maasulkukertoimella tarkoitetaan vian aikana terveessä vaiheessa vaikuttavan vaihejännitteen huippuarvon suhdetta samassa vaiheessa ja paikassa ennen vikaa vaikuttaneeseen huippuarvoon. Maasulkukerroin on maasta erotetuilla verkoilla suurimmillaan noin 1,8 p.u. Sammutetuissa verkoissa päädytään samaan arvoon. Maasulkukerroin on pienempi suoraan maadoitetuissa tai pienehköillä impedanssilla maadoitetuissa verkoissa. Verkoja, joiden maasulkukerroin on pienempi tai yhtä suuri kuin 1,4, kutsutaan tehollisesti maadoitetuiksi. Yleensä pienjänniteverkot ovat suoraan maadoitettuja. Keskijänniteverkkoja käytetään maasta

erotettuina, sammutettuina tai tehollisesti maadoitettuina. Suurvoimansiirtoverkon eristysmitoitusta voidaan alentaa tehollisesti maadoittamalla, joten yleensä suurvoimaverkot ovat tehollisesti maadoitettuja. (1, s. 245.)

Resonanssit

Pientaajuisia ylijännitteitä saattavat aiheuttaa erilaiset resonanssitilat ja verkon epälineaariset komponentit joissakin tilanteissa. Yliaaltojen vaikutuksesta voi syntyä resonansseja, jos verkossa on yliaaltolähteen syöttämällä taajuudella jokin värähtelypiiri resonanssissa. Esimerkiksi syöttömuuntajan ja sen läheisyydessä alajännitepuolella sijaitsevan loistehon kompensoimiskondensaattorin muodostama piiri on verkossa tavanomainen resonanssiipiiri. Rinnakkaisresonanssiipiiri on kyseessä silloin kun yliaaltoheräte tulee suoraan alajännitepuolelta. Herätteen tullessa ylijännitepuolelta on kyse puolestaan sarjaresonanssista. Suuntaajakäyttöjen ja erilaisten elektronisten laitteiden aiheuttama yliaaltovirta on tavallisin heräte. Siirto- ja jakeluverkoissa on perinteisesti suoritettu loistehon kompensointia (ilman yliaaltosuodatusta) verkon siirtokapasiteetin käytön tehostamiseksi ja häviöiden pienentämiseksi, joten yliaaltovirrat ovat niissä kasvava ongelma.

Rinnakkaisresonanssiipiirin impedanssi on resonanssitaajuudella äärettömän suuri, ja tämä on oleellisin ero rinnakkais- ja sarjaresonanssiipiirien välillä. Tällöin resonanssiipiiriin yli suuren, ko. taajuudella värähtelevän ylijännitteen saamiseksi riittää suhteellisen pieni yliaaltovirtageneraattorin syöttämä virta. Rinnakkaisresonanssiipiirin sisäisen virran tai jännitteen mittaaminen resonanssiipiiriin kuuluvan laitteen liittimistä on ainoa tapa, jolla voidaan havaita resonanssi.

Sarjaresonanssiipiirissä puolestaan piirin läpi kulkeva virta on suuri ja piirin sarjaimpedanssi on hyvin pieni. Syöttölähteen navoista mitattu jännite ei paljasta resonanssia, sillä suuretkin ylijännitteet, jotka vaikuttavat resonanssissa olevien yksittäisten komponenttien yli, ovat 180° :n vaihesiirrossa keskenään. Kuormitusvirran mittaaminen ja sen yliaaltopitoisuuden analysointi paljastaa resonanssin. Johdon

sarjakompensointi (resonanssi sarjakondensaattorin sekä johdon ja sen perään kytketyn muuntajan välillä) on yksi potentiaalisista resonanssitilanteen aiheuttajista. Lisäksi suuren kapasitiivisen tai induktiivisen (kyllästyvän) piirin kytkeminen jännitteiseksi sekä kytkinlaitteen tai ylivirtasuojan vajaanapainen toiminta aiheuttaa resonanssitilanteita.

Muuntajan kytkentäsysäysvirta voi sisältää jännitteenantotilanteessa yliaaltoja ja muuntajaa kyllästyvän tasakomponentin, joten erityisen potentiaalinen resonanssiriskin aiheuttaja on kyllästyvän magneettipiirin kytkeminen jännitteiseksi. Lisäksi kytkettävässä muuntajassa on yleensä kytkentäsysäysvirran mahdollisen tasakomponentin vaikutusta heikentävä tai vahvistava remanenssin aiheuttama ”tasavuo”. Kyllästystilassa muuntaja voi joutua resonanssiin jo esimerkiksi lyhyehkön johdon maakapasitanssien kanssa, koska kyllästyneenä sen magnetoimisinduktanssi on vain murto-osa normaalitilan arvosta, joten kyllästystila on tärkeä muistaa myös resonanssimielessä. Tästä syystä ei ole suositeltavaa kytkeä jännitteiseksi samanaikaisesti syöttävää johtoa ja muuntajaa, joka on lyhyehkön, muutaman kymmenen kilometrin pituisen johdon perässä.

Sarjakompensoiduille johdoille tyypillinen resonanssilaji on aliharmoninen resonanssi, joka on erityinen mutta huomionarvoinen. Ylijännitteitä tämä resonanssi ei yleensä aiheuta, mutta jos resonanssitaajuus sopii yhteen lähellä olevan suuren turbogeneraattorin akselin mekaanisten värähtelytaajuuksien kanssa, on riskinä akselivaurio. Suurille generaattoriyksiköille saattaa tuottaa ongelmataajuuksia myös lähistöllä sijaitseva tasasähköyhteyden konvertteriasema.

Vain silloin kun verkon vaimennus on pieni, esiintyy sähköisiä resonansseja. Tällaisia tapauksia on kuormittamattoman tai heikosti kuormitettu verkko tai laite. Resonanssi-ilmiöiden esiintymiseen voidaan usein varautua ennalta, ainakin jollain tasolla. Resonanssiylijännitteistä on harvoin haittaa eristyksen jännitelujuuden kannalta. Kytkentätoimenpiteiden seurauksena (esim. erottimen toiminta kaasueristeisessä kytkinlaitoksessa GIS) mahdollisesti syntyvät muuntajan käämin sisäiset resonanssitilat ovat poikkeuksellinen esimerkki. Jännitetason vaihtelut, jännitteen säröytyminen tai laitteiden ylimääräinen lämpeneminen ovat suurimmat haitat, joita resonanssitilat aiheuttavat. (1, s. 252–255.)

Ferroresonanssit

Ferroresonanssi eli kippivärähtely on kapasitanssin ja epälineaarisen induktanssin muodostamassa sarjapiirissä syntyvä värähtely ja erityinen resonanssin tapainen ylijännitteen muodostumismekanismi. Kippivärähtely, jota tavataan erilaisilla käyttöjännitteillä, on varsin tavallinen ilmiö.

Kippivärähtely esiintyy useimmiten kuormittamattomissa kapasitanssiltaan riittävän pienissä tähtipisteestään maasta erotetuissa järjestelmissä. Kidesuunnatusta levystä valmistetun sydämen omaava jännitemuuntaja on alttiimpi kippivärähtelylle kuin jännitemuuntaja, jonka sydän on suuntaamattomasta levystä. (1, s. 255–256.)

Vajaanapainen liityntä verkkoon

Johdinkatkoksen aikana, katkaisijan toiminnassa tapahtuneen virheen vuoksi tai yhden tai kahden vaiheen sulakkeen palamisen seurauksena saattaa esiintyä teho- tai jännitemuuntajan vajaanapainen kytkentä. Tyhjäkäynti-impedanssin kytkeytyessä sarjaan muuntajan omien kapasitanssien ja verkkoon kytkemättömien vaiheiden liitäntäjohtojen kapasitanssien kanssa syntyy ylijännitteitä. Ylijännitteet eivät ylitä eristystasoa vastaavia koejännitteitä keskijänniteverkoissa. Pienjännitelaitteille ylijännitteet voivat kuitenkin olla vaarallisia, sillä niiden jännite saattaa tulla liian suureksi aiheuttaen termisiä vaurioita. Muuntajan ollessa vain vähän kuormitettu on todennäköisempää, että esiintyy vajaanapaisen kytkennän aiheuttamia ylijännitteitä.

Kytkinlaitteen vajaanapaiseen toimintaan verrattavan tilanteen aiheuttavat johdinkatkokset, joita voi olla yksi- tai kaksivaiheisia. Tavallisesti niihin liittyy maasulku joko syöttävän verkon tai kuorman puolella. Maasulun yhteydessä ylijännitteet ovat tavallisesti isompia kuin ilman maasulkua. Resonanssiin johtavat tilanteet ovat poikkeuksena. (1, s. 262–263.)

2.3.2 Loivat transienttilylijännitteet

Useimmiten loivat transienttilylijännitteet syntyvät verkon erilaisten tilanmuutosten seurauksena. Tällaisia tilanmuutoksia on eri syistä suoritettavat kytkentätoimenpiteet (virtapiirin avaaminen tai sulkeminen) sekä vikatapaukset (oiko- tai maasulku, kuorman irtikytkettyminen, epätahtitilanne tms.). Kytkinlaitteiden avausväleille raskaita aiheuttavista ylijännitteistä käytetään yleisnimitystä palaava jännite (recovery voltage). Avausvälin palaavasta transienttijännitteestä (transient recovery voltage) puhutaan, kun avausvälin yli vaikuttaa ylijännite heti virran katkaisun jälkeen.

Ylijännite vaikuttaa eristysväliin ja tämä on otettava huomioon käyttötaajuisia ja loivia transienttilylijännitteitä tarkasteltaessa. Näille jännitteille ei riitä pelkkä vaihe-maa-eristysvälille tehtävä jännitekoete. Loivilla transienttilylijännitteillä on standardeissa määritelty erityinen vaihevälilin jännitekoete, jos vaihevälilin ilmavälejä ei voida mitoittaa standardin IEC 60071-1 vähimmäisilmavälisarvojen mukaan. (1, s. 264.)

Loivien transienttilylijännitteiden yleiset ominaisuudet ja merkitys

Virran katkaisuun tai kytkentään käytetyn kytkinlaitteen ja ympäröivän verkon ominaisuudet vaikuttavat loivien transienttilylijännitteiden suuruuteen ja muotoon. Tasovälvärähtelyjen taajuuden määräävät katkaisijan kummallakin puolella olevat verkkojen induktanssit ja kapasitanssit sekä kuorman ominaisuudet. Virran ja jännitteen hetkellisarvo kytkentähetkellä, verkon vaimennusominaisuudet ja itse katkaisijan ominaisuudet vaikuttavat syntyvän ylijännitteen maksimiin. Oikeilla katkaisija- ja suojavaitevalinnoilla voidaan tehokkaasti rajoittaa syntyvän ylijännitteen suuruutta joissakin näistä ylijännitetapauksista.

1960-luvun lopussa alettiin rakentaa 765 kV:n voimansiirtojärjestelmiä ja havaittiin loivien transienttilylijännitteiden merkitys eristysmitoituksessa. Tällöin todettiin, että kaikilla jännitemuodoilla ilmaeristeisten eristysrakenteiden jännitelujuus ei kasvakaan lineaarisesti eristysvälin funktiona. Lisäksi vaihtojännitekoete, jota käytetään loivien

transienttiylijännitteiden kuvaamiseen, korvattiin kytkentäsyöksyjännitekokeella ≥ 300 kV:n käyttöjännitteellä, koska havaittiin, että ilmaeristeisten eristysrakenteiden jännitelujuuden minimi saavutetaan pulssimuodolla.

Toinen merkittävä piirre loivilla transienttiylijännitteillä on se, että useimmissa tapauksissa ylijännitteiden suuruus riippuu vain verkkotilanteesta. Tämä tarkoittaa, että verkkojen ja kytkinlaitteiden ominaisuuksien ollessa samanlaiset eri käyttöjännitteen verkoissa on kullekin kytkentätilanteelle ominainen, suhteellisarvona ilmoitettu ylijännite likimain samansuuruinen. Tämän vuoksi verkon käyttöjännitteen kasvaessa loivien transienttiylijännitteiden merkitys kasvaa esim. ilmastollisista syistä aiheutuneisiin ylijännitteisiin nähden. Kolmas merkittävä ominaisuus loivilla transienttiylijännitteillä on se, että jännitteen ja virran hetkellisarvoista hetkellä, jolla kytkinlaitteen yksittäiset navat sulkeutuvat tai avautuvat, mistä riippuu kytkentäilmiöihin liittyvien ylijännitteiden suuruus. Siten suurimmissa määrin ylijännitteiden huippuarvo on tilastollinen suure. Kytkinlaitteen navat eivät yleensä sulkeudu tai avaudu samanaikaisesti ja tämä on otettava huomioon ylijännitteiden määrittämisessä. Luomalla sijaiskytkennät tai mallit, jotka kuvaavat oikein kolmivaihejärjestelmän toiminnan lyhytaikaisessa epäsymmetrisessä muutostilanteessa voidaan näitä ylijännitteitä simuloida. (1, s. 265.)

Kuorman kytkentä verkkoon

SEMP (switching electromagnetic pulse) on kansainvälinen lyhenne kytkentäylijännitteille. Ukkosen aiheuttamiin transientteihin verrattuna kytkentäylijännitteiden energia on suhteellisen pieni, mutta niiden nousunopeus on huomattavasti suurempi. Laitteet tuhoutuvat, jos jännite ylittää niiden syöksyjännitekestoisuuden.

Loivia transienttiylijännitteitä aiheuttaa kuorman kytkentä verkkoon, joka on täysin luonnollinen toimenpide. Kondensaattorin kytkentä verkkoon ja moottorin kytkentä

verkkoon ovat perustapauksia, jotka havainnollistavat kytkentätransienttien ominaisuuksia. (1, s. 265; 3, s. 118.)

Kondensaattorin kytkentä

Yksi tavallisimmista, huippuarvoltaan vaatimattomien loivien transienttiylijännitteiden aiheuttajista on kompensoimiskondensaattorin kytkentä jännitteiseksi. Tällaisen ylijännitteen huippuarvon suuruus riippuu jännitteen hetkellisarvosta katkaisijan sulkemishetkellä. Huippuarvo ylijännitteellä on suurimmillaan 2,0 p.u. Jos kondensaattoriin liittyy tyhjäkäyvä johto tai jos kondensaattori on varattu, voi huippuarvo kohota suuremmaksi.

Kaikki katkaisijat eivät sulkeudu samanaikaisesti, joten käytännössä kondensaattorikytkennän aiheuttama transientti on monimutkaisempi. Tähtipisteen maadoitustapa vaikuttaa myös tulokseen. Seurauksena on värähtely, joka on kerrostunut käyttötaajuuden jännitteen päälle, ja huippuarvo voi jopa hieman ylittää arvon 2,0 p.u.

Viime aikoina kondensaattorin kytkennän aiheuttamat ylijännitteet ovat osoittautuneet ongelmallisiksi herkille tai puutteellisen sähkömagneettisen suojauksen omaaville elektroniikkalaitteille, vaikka jännitteet eivät ole suuria ja niitä on esiintynyt sähkön siirto- ja jakeluverkoissa koko niiden käyttöhistorian ajan. Verkolla, jolla on myös resonanssitaajuuskytkennät generoimalla värähtelytaajuudella, on ongelma pahempi. Resonoiva piiri voi olla itse kytkentäpaikasta suhteellisen kaukanakin.

Itse katkaisijan toimintaan puuttuminen on helpoin tapa eliminoida kondensaattori kytkennän aiheuttamaa transienttia. Esimerkiksi ylijännitteiden merkittävää rajoittamista ylijännitesuojien suojaustasot eivät välttämättä mahdollista. Siten olisi hyvä huolehtia, että laitteet kestävät kaikkialla verkossa, myös pienjänniteverkoissa, jännitetransientit joiden suuruus on 2 p.u.

Sulkemisvastuksia voidaan käyttää, mikäli ylijännitteen rajoittaminen on välttämätöntä. Nykyisin käytetään tahdistettua kytkentää (synchronised switching), jolloin katkaisijan

kukin napa suljetaan hetkellä, joka johtaa mahdollisimman pieneen ylijännitteeseen. Tähtipisteestään maadoitetuilla kondensaattoriparistoilla tämä tarkoittaa sitä, että katkaisijan eri vaiheiden tulee sulkeutua kunkin vaihejännitteen nollakohdassa.

Tietyissä verkkotilanteissa saattaa syntyä erityisen suuria ylijännitteitä, kun kondensaattorin kytkinlaitteena käytetään tyhjökatkaisijaa. Näin voi käydä yleensä vain, jos kondensaattori kytketään verkkoon, jossa on kondensaattorin läheisyydessä kuormittamattomia lyhyitä, enintään muutaman kilometrin pituisia johtoja. Lyhyellä johdolla tyhjökatkaisijan koskettimien sulkeutuessa syntyvän esisyttymisilmiön kanssa yhteen sopiva kytkentätransientin edestakainen kulkuaika aiheuttaa ylijännitteen. (1, s. 265–267.)

Moottorin kytkentä verkkoon

Samansuuruisia ylijännitteitä (2 p.u.) kuin kondensaattorin kytkentä, aiheuttaa yksittäisen moottorin kytkentä verkkoon. Käämien kannalta jännitteen nousu on kuitenkin jyrkkä. Jännitteen nousun jyrkkyyttä käytännössä rajoittavat moottorien syöttökaapelit ja moottorin sisäänmenokapasitanssi C_{in} . Tilanteissa, joissa useampia moottoreita on kytketty kaapeleiden välityksellä samaan kiskostoon, ovat 0,2–0,6 μ s:n nousuajat mahdollisia. Moottoreiden ja kaikkien käämejä sisältävien laitteiden kannalta jyrkkä jänniteaalto on ongelmallinen, koska sen suurin jänniterasitus kohdistuu käämin alkupäähän eikä jännite jakaannu tasaisesti pitkin käämiä.

Kytkinlaitteessa tapahtuva esisytyminen aiheuttaa suurempia jänniterasituksia. Muutaman kilohertsin taajuudella värähtelevä jännite indusoituu moottorin muihin napoihin ensimmäisen vaiheen sulkeuduttua. Esisytyminen voi tapahtua, jos katkaisijan avoinna olevan vaiheen navoissa vaikuttavat vielä erinapaiset jännitteet. Kytkinlaitteesta riippumatta esisytyminen aiheuttaa jännitemuutoksen, joka voi olla huippuarvoltaan luokkaa 5 p.u.. Harvinaiseksi suuret huippuarvot tekee se, että ne edellyttävät usean epäedullisen tekijän samanaikaista esiintymistä. Ylijännitesuojilla voidaan rajoittaa ylijännitteiden suuruutta. (1, s. 268.)

Johdon jännitteenanto ja jälleenkytkentä

Suurilla käyttöjännitteillä (≥ 245 kV) tärkeimpiä ylijännitteiden aiheuttajia on tyhjäkäyvän johdon kytkeminen jännitteiseksi. Alemmilla käyttöjännitteillä muut ylijännitteet ovat tärkeimpiä, esimerkiksi pientaajuiset maasulkujen aiheuttamat ylijännitteet. Ylijännitteen aiheuttaa johdon jännitteenannon synnyttämä kulkuaaltoilmiö, jossa jännite kaksinkertaistuu johdon loppupäässä tapahtuvan heijastuksen ansiosta. (1, s. 268.)

Vikatilanteisiin liittyvät loivat transienttilylijännitteet

Erilaisissa verkon vikatilanteissa syntyy myös ylijännitteitä. Ylijännitteinä ilmeneviä transientteja aiheuttavat sekä vian syntyminen että sen poistaminen verkosta. Maasulku on yleisin ylijännitteitä aiheuttava vika. Verkkoon kytkettyjen laitteiden tähtipisteiden käsittelytavasta riippuu ylijännitetransientin suuruus maasulun syntyessä.

Oikosulkuvirran katkaisu on vaikeampi katkaisutilanne ylijännitteidenkin kannalta.

Ylijännite syntyy, kun vian aiheuttama jännitehäviön poistuu, kun katkaisija avautuu ja katkaisijan verkon puoleisen navan jännite asettuu värähtelyjen kautta syötön määräämään arvoon. Vian seurauksena usein tapahtuva kuorman irtoaminen lisää ylijännitteiden suuruuksia. Kuorman irtoamisesta johtuvat jännitteenmuutokset ovat samaa luokkaa kuin kuorman aiheuttama jännitehäviö.

Suurimmat huippuarvot loivilla transienttijännitteillä, jotka liittyvät vian syntymiseen tai poistamiseen, eivät yleensä ylitä seuraavia arvoja:

- vian syntyminen: $u_{\max} < 2k-1$ k on maasulkukerroin
- vian poistuminen: $u_{\max} = 2$

Yleensä edellä annettuja arvoja pienempiä ovat sammutetun verkon ylijännitetransientit. Esimerkkinä erityisesti pitkät kaapelit tai kaapeleita sisältävät säteittäisjohdot laajassa maasta erotetussa tai sammutetussa verkossa on poikkeuksia. Katkeileva maasulku on

myös merkittävä poikkeus eli tilanne, jossa maasulkuvalokaari sammuu ja syttyy uudelleen toistuvasti. Huippuarvot ylijännitteillä voivat tällöin olla 3,5–4,0 p.u. Nopeasti vaimenevat transientit vaimenevat vieläkin nopeammin, kun sammutuskuristimeen liitetään vastus suuntareiden toiminnan varmistamiseksi.

Merkittäviä jännitteenousuja vian syntyminen ja poistaminen eivät siis yleensä aiheuta. Eristysmitoituksessa nämä ylijännitteet tulee ottaa huomioon ainoastaan siinä tapauksessa, että vikatilanteiden syntymiseen ja poistamiseen liittyvät ylijännitteet tulevat määrääviksi, tämä johtuu voimakkaasti rajoitetuista johdon jännitteenantoon ja pikajälleensytkentöihin liittyvistä ylijännitteistä. Kuorman putoamiseen liittyville loiville transienttiylijännitteille toimii sama toteamus. (1, s. 271–272.)

Kuormitusvirran katkaisu

Loivia transienttiylijännitteitä voi syntyä kolmella eri tavalla kuormitusvirran katkaisussa. Valokaaren sammussa pysyvästi virran nollakohdassa on perustilanne. Tästä seuraavan jännitetransientin aikana värähdellen vaimenee virran aiheuttamat jännitehäviöt verkossa ja jännite asettuu jatkuvuustilaa vastaavaan arvoon. Näin syntyvät ylijännitteet ovat tavallisesti korkeintaan 2,0–2,3 p.u. Käytettyjen kytkinlaitteiden katkaisu- ja jälleensyttymisominaisuudet vaikuttavat myös olennaisesti transienttien syntyyn. Kestää jonkin aikaa valokaaren sammumisen jälkeen, ennen kuin ionisaatio katkaisuvälissä häviää ja katkaisuväliaineen eristyskyky palautuu. Jälleensyntyminen on läpilyönti, joka tapahtuu, kun katkaisija avautuu ja avausvälin yli vaikuttava palaava jännite ylittää avausvälin jännitelujuuden. Kapasitiivisen virran ja pienen induktiivisen virran katkaisut ovat tavallisimpia jälleensyttymisilmiöön liittyviä ylijännitteiden aiheuttajia.

Jälleensyttymisen hetkestä riippuu tapahtuman yhteydessä syntyvien ylijännitteiden huippuarvo. Ylijännitteet eivät ole suuria jälleensyttymisen tapahtuessa samanmerkkisen jännitteen vaikuttaessa molemmassa kytkinlaitteen navoissa. Ilmiötä kutsutaan nimellä uudelleensyntyminen (reignition). Varsinaisen jälleensyttymisen

(restrike) ollessa kyseessä ovat syntyvät ylijännitteet suurempia ja jälleensyttyminen tapahtuu niin myöhään, että eri navoissa vaikuttavat jo eri polariteettia olevat jännitteet. (1, s. 272–273.)

Jyrkät transienttiylijännitteet

Jyrkät transienttiylijännitteet ovat yleensä salamaniskujen aiheuttamia. Ylijännite voi syntyä sähköverkkoon salamaniskun seurauksena pääasiassa kolmella eri mekanismilla: induktion kautta, johdon maadoitettuun osaan osuneen iskun aiheuttaman takaiskun kautta tai osumalla suoraan jännitteeseen johtimeen. Lisäksi vähäinen merkitys on mekanismilla, jossa influenssin synnyttämän johdon varauksen äkillinen poistuminen voi aiheuttaa ylijännitteen. (1, s. 277.)

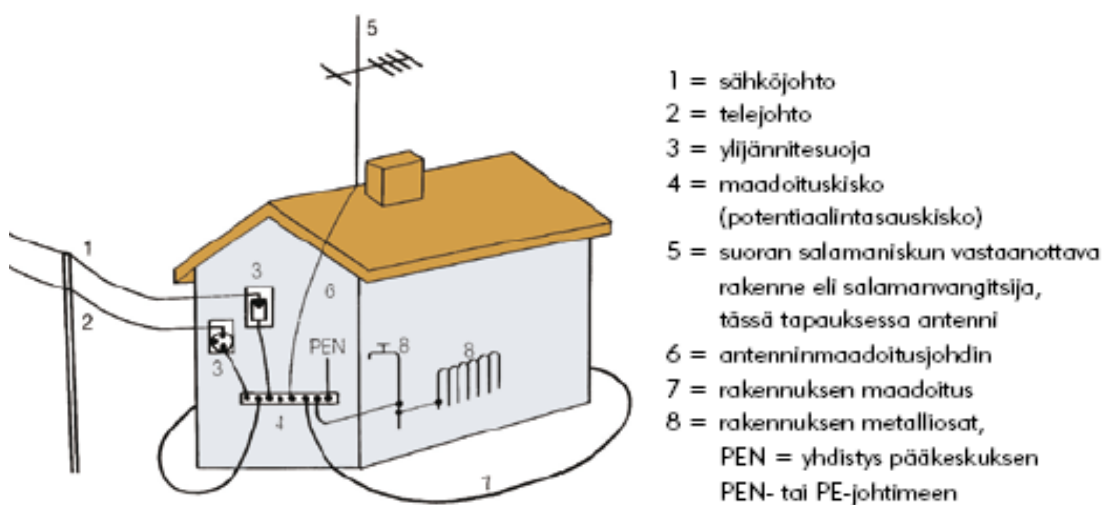
Erittäin jyrkät transienttiylijännitteet

Erittäin jyrkät transienttijännitteet johtuvat erotinta avattaessa syntyvän valokaaren katkeamisesta ja jälleen syttymisestä. Erottimen avausliikkeen aikana jälleensyttymisiä on kymmeniä. Verkkoon, johon erotin on kytketty, generoituu suurtaajuinen värähtely jokaisesta jälleensyttymisestä. Yleensä sopiva kapasitanssi ylijännitteen sytyttämiseksi löytyy mittamuuntajasta, kun erottimen väliaineena on ilma. Purkausvirtojen huippuarvot voivat saavuttaa tason 2–3 kA ja värähtelyn taajuus vaihtelee alueella 100 kHz – 10 MHz. (1, s. 302.)

3 Suojautuminen ylijännitteiltä

3.1 Ylijännitesuojauksen huomioiminen suunnittelussa

Asianmukainen rakennusten salama- ja ylijännitesuojaus toteutetaan käytännössä maadoitetuilla ukkosjohdoilla ja ylijännitesuojilla (venttiilisuojilla). Salamapurkaukset, jotka osuvat rakennukseen, pyritään ohjaamaan ukkosjohdon avulla turvallista tietä maadoitukseen. Sähkö- ja televerkkoja pitkin tulevia ylijännitteitä pyritään rajoittamaan ylijännitesuojien avulla. Lisäksi ylijännitesuojien on tarkoitus suojata rakennukseen tulevia sähkö- ja telejohtoja, jos rakennukseen tai sen välittömään läheisyyteen iskee salama. Mahdollisimman paljon pyritään käyttämään rakennusten ulkoisessa suojauksessa hyväksi rakennuksen luontaisia johtavia rakenteita (esim. antennit, metallikatto, vesikourut ja syöksyputket, betonirauditus, talon maadoitusverkko). Suojausta voidaan tehostaa erillisillä elektrodeilla tarpeen vaatiessa. Kunnollinen ja oikeaoppinen potentiaalitasaus ja maadoittaminen itse rakennuksessa ja sen ympäristössä on myös tärkeä huolehtia kuntoon. Kuvassa 3.1 on esitetty rakennuksen ukkossuojauksen pääperiaate.

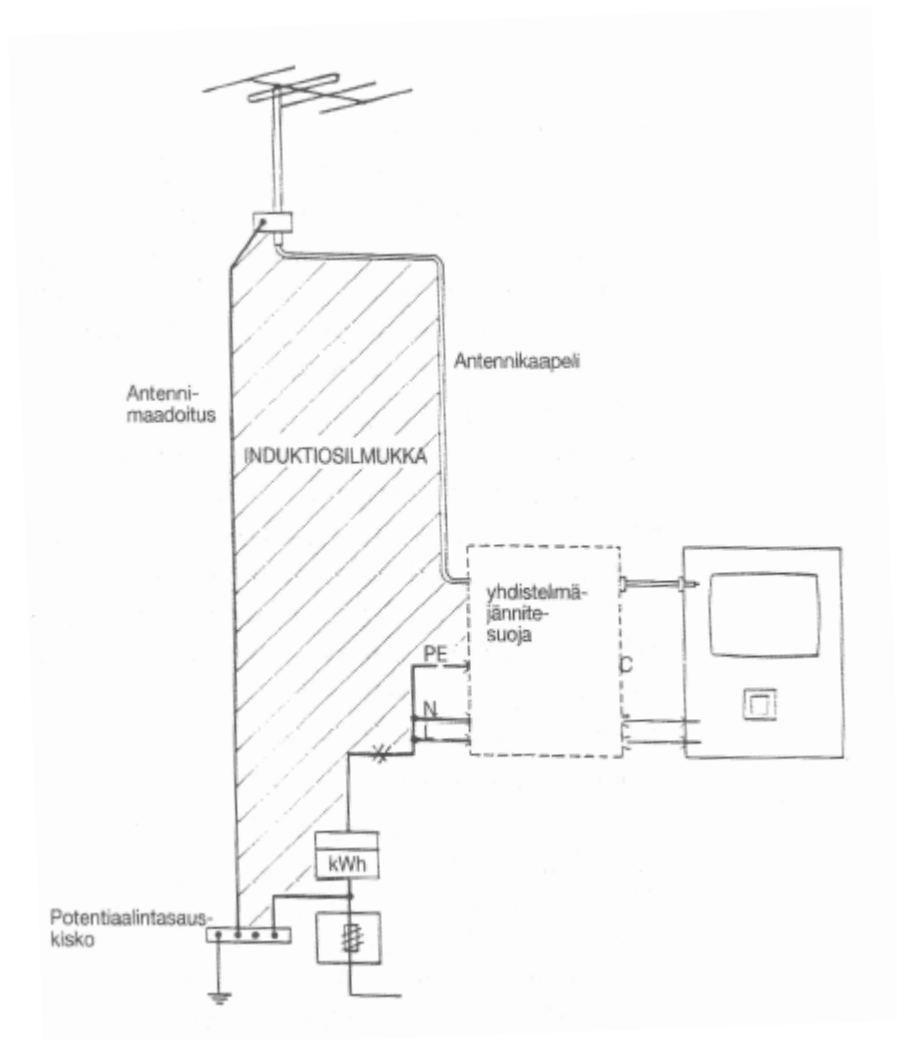


Kuva 3.1 Rakennuksen ukkossuojauksen pääperiaate (7).

Esimerkiksi elektroniikkalaitteiden jännitekestoisuuden kannalta pienjännitteiseen avojohtoverkkoon asennettujen ylijännitesuojien suojaustaso on yleensä liian korkea. Tällöin ukkosen aiheuttamille laitevaurioille alttiiksi osoittautuneilla paikoilla saattaa olla tarpeen rakennuksen sisäinen porrastettu ylijännitesuojajärjestelmä. Kuluttajat ovat kokeneet kalliiksi pienjänniteverkon tai laitekohtaisten ylijännitesuojien käytön, joten niiden käyttö ei ole kovin yleistä. (1, s. 300–301; 3, s. 55.)

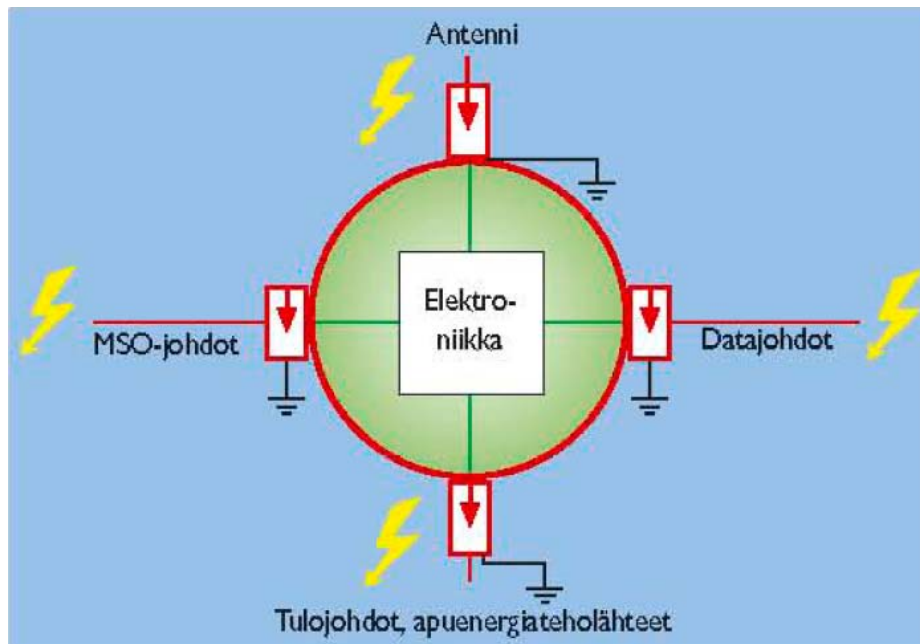
Ylijännitesuojien käyttöä edellytetään standardin SFS 6000 perusteella rakennuksen sähköverkossa, silloin kun sijaintipaikan vuotuinen ukkospäiväluku on yli 25 päivää ja käytössä on ilmajohto asennuksen syötössä tai itse asennuksessa. Keskimäärin Suomessa on 12 ukkospäivää vuodessa, luku vaihtelee alueittain, mutta 25 ukkospäivän raja ylitetään harvoin. Arvo 25 ukkospäivää vuodessa tarkoittaa keskimäärin 2,24 salamaniskua neliökilometrille vuodessa. Ukkostiheyden mukaan ylijännitesuojaus Suomessa ei ole pakollista, mutta standardissa SFS 6000 suositellaan suojauksen toteuttamista, jos asennukseen liittyy arvokkaita tai herkkiä laitteita tai lääkintälaitteita. Ylijänniteluokan I laitteiden suojaamiseen standardissa SFS 6000 käsketään kiinnittämään huomiota kaikissa tapauksissa. (8, s. 184–185; 9, s. 50–51.)

Perinteisten laitteiden eristykset kestävät pienjänniteverkon ylijännitesuojien rajoittamat ylijännitteet, jotka jäävät niiden suojaustason mukaiseen arvoon eli yleensä 1,5–3 kV. Elektroniikkaa sisältävien laitteiden jännitekestoisuus voi olla alhaisempi, joten tällaiset laitteet voidaan suojata rakennuksen sisäisessä verkossa toteutetulla moniportaisella ylijännitesuojauksella. Jäännösjännitetasot saadaan moniportaisella suojauksella laskettua riittävän alhaiseksi ja yhteenlaskettu energian purkauskyky tarpeeksi suureksi. Rakennuksen pääkeskuksiin asennettavilla ylijännitesuojilla päästään nykyään alle 1 kV:n jäännösjännitteeseen, joten yleensä ei tarvita enää laitekohtaista suojausta. Herkimmille laitteille, joita ovat yleensä sähkö- ja televerkkoon liitetyt laitteet, voi laitekohtainen suojaus olla tarpeen. Tehokkaimman suojauksen saa kun se toteutetaan sekä sähkö- että televerkon puolella, jolloin potentiaalitasaus verkkojen välillä toteutuu myös. Sekä sähkö- että antenniliitännän puolella toteutettu laitesuojaus näkyy kuvassa 3.2. (3, s. 79; 10, s. 88.)



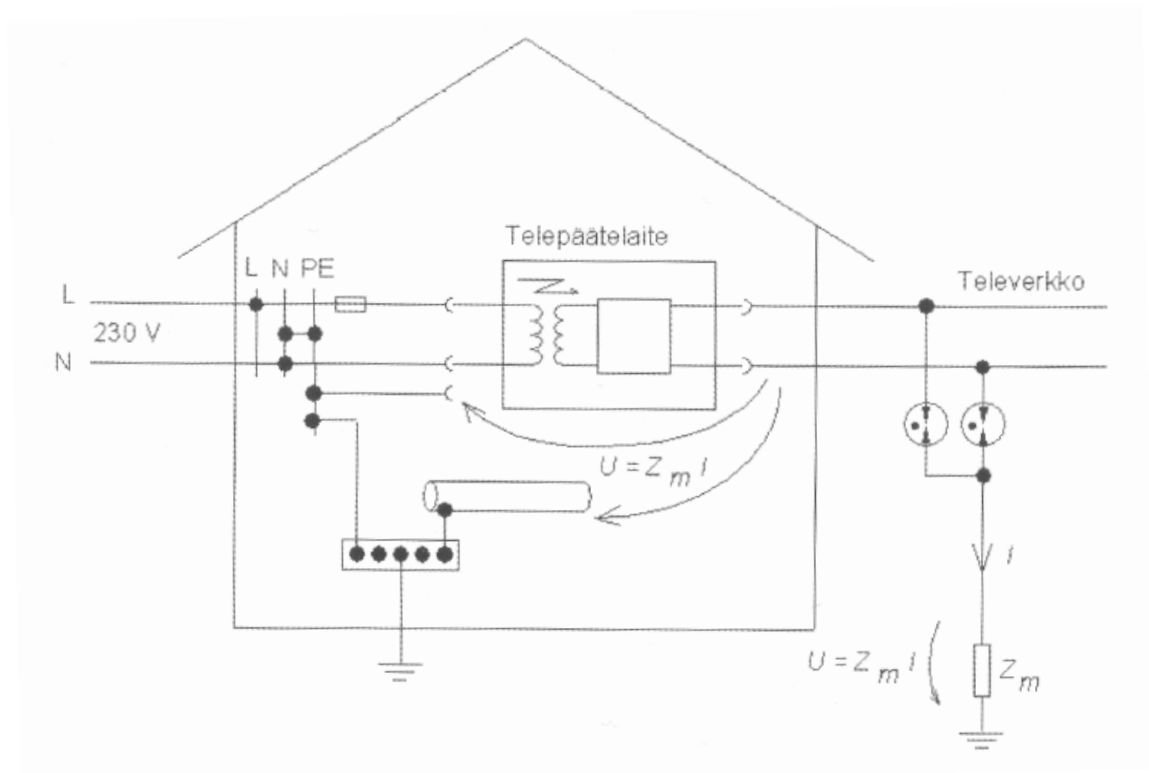
Kuva 3.2 TV on suojattu yhdistelmäsuojalla ja antenni on maadoitettu (3, s. 90).

Kattavan ylijännitesuojauksen toteuttamisessa kaikki rakennukseen tulevat sähköiset liitännät tulisi suojata. Ensimmäinen suojauskohde on kuitenkin sähkönsyöttö, koska sähköjakeluverkon kautta tulevat useimmat transientit. Esimerkiksi salaman iskun aiheuttamat suuret purkausvirrat voivat tosin indusoida uusia ylijännitteitä rakennuksen sisällä kulkeviin johtimiin. Kuvassa 3.3 on kuvattu tehokas ylijännitesuojaustapa elektroniikkalaitteelle. (3, s. 118.)



Kuva 3.3 Tehokas suojapiiri (2, s. 11).

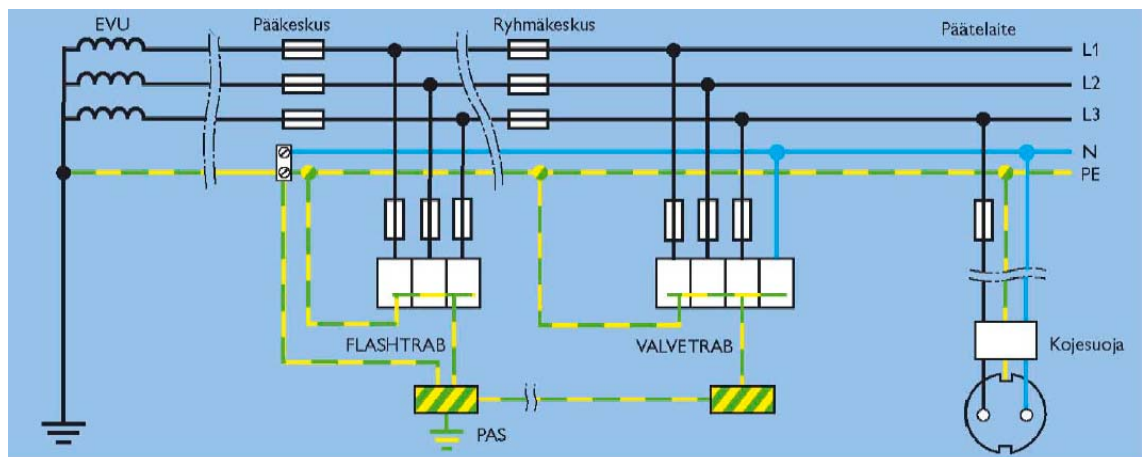
Ylijännitesuojat on asennettava aina paikallista maadoitusta vasten. Ylijännitesuojat laskevat palamisjännitteeseen, johdon paikallista maata vasten olevan jännitteen avulla, ylijännitteen aiheuttaman suojan syttymisen jälkeen. Purkausvirta aiheuttaa kuitenkin maadoitusimpedanssissa jännitteen johdon ja kauempana maadoitettujen kohteiden välille (kuva 3.4). Esimerkkinä 100 A:n virta 300 ohmin telemaadoituksen läpi aiheuttaa 30 kV:n jännitteen.



Kuva 3.4 Ylijännitesuojien syttymisen jälkeen niiden kautta kulkeva virta menee maadoitusimpedanssin kautta. Maadoitusimpedanssissa syntyvä jännitehäviö esiintyy muualta maadoitettuja kohteita vasten (3, s. 40).

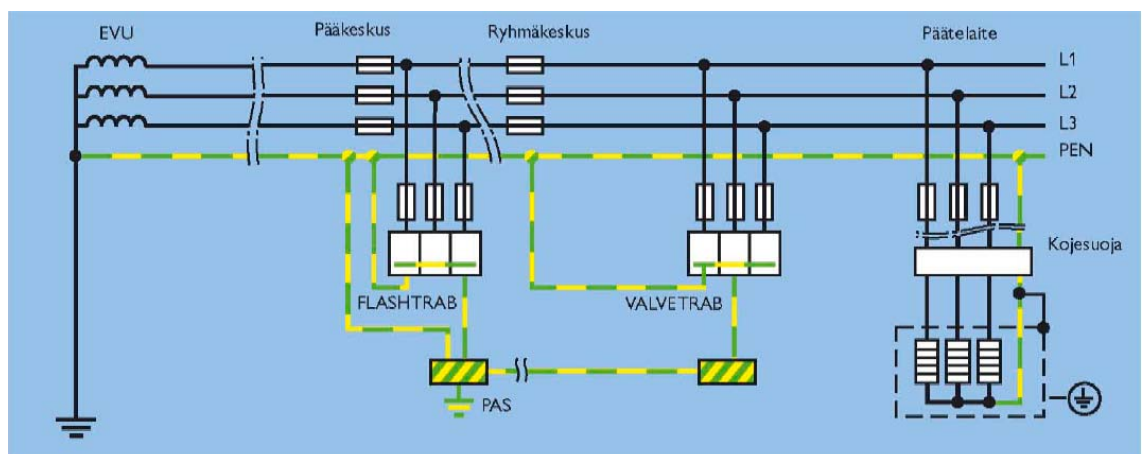
Mahdollisimman lyhyen maadoitusjohtimeen pitää pyrkiä, vaikka eri järjestelmiä yhdistettäisiin samaan maadoitukseen. Virran takia johtimessa syntyy induktiivinen jännitehäviö, joka on verrannollinen virran muutosnopeuteen ja johtimen pituuteen suunnilleen kertoimelle $1 \mu\text{H}/\text{m}$. Tällainen vain kymmenisen mikrosekuntia kestävä ylijännite voi olla kilovoltin suuruinen. Pitkä maadoitusjohdin aiheuttaa ylijännitesuojan syttymisviiveen ja sitä kautta suuremman jännitteen.

Suojattavasta kohteesta pitää tietää, minkälainen sähkönsyöttöjärjestelmä siellä on käytössä, jotta suojauksesta saadaan tehokas ja toimiva. Erityisen tärkeää tämä on valittaessa ukkos- ja keskisuoja.



Kuva 3.5 Ylijännitesuojaus TN-C-S-verkossa (2 s. 15).

Verkon rakenteesta pitää selvittää haaroitetaanko PEN-johdinta PE- ja nollajohtimeksi ja missä kohtaa haarointi on tehty. Lisäksi pitää selvittää, onko muuntajan tähtipiste maadoitettu, vaiheiden lukumäärä, taajuus ja jännitteen taso. Kuvassa 3.5 on näytetty ylijännitesuojauksen toteutus TN-C-S-verkossa ja kuvassa 3.6 on TN-C-verkon suojausperiaate. (3, s. 40–41; 3, s. 136.)



Kuva 3.6 Ylijännitesuojaus TN-C-verkossa (2 s. 15).

3.2 Ylijännitesuojien suojauskonsepti ja valinta

Suurimman sallitun jatkuvan käyttöjännitteen ja suojan suojaustason perusteella valitaan periaatteessa kaikki ylijännitesuojat. Tapauskohtaisesti tulee lisäksi kiinnittää huomiota suojan nimellisvirtaan, suojien räjähtämättömyyteen, kykyyn estää pysyvän maasulun syntyminen sekä vikaantuneen suojan havaitsemisen helppouteen. Suojalaitteen suojaustason ja suojattavien laitteiden kestotason väliin tulee jättää yleensä vähintään 30 %:n marginaali kuten suurjänniteverkoissakin. Luonnollisesti suurin nimellisvirta tarvitaan suojilla, jotka liitetään johtimiin, joissa on suoran salamaniskun osumisen mahdollisuus. Suoran salamaniskun osuessa rakennukseen, menee salamavirrasta karkeasti puolet rakennukseen tulevien sähkö- ja telejohtojen sekä metallisten putkistojen kautta. Sähkö- ja telejohtojen ylijännitesuojauksen virtakestoisuutta mitoitettaessa tulee huomioida salamavirran vaikutus, jos salamaniskun todennäköisyys rakennukseen on suuri. (3, s. 83; 10, s. 88.)

Ohjeet ylijännitesuojauksen valintaan

1. Määrittele suojattavien laitteiden tarpeet

Oikean suojaustason määrittämiseksi täytyy ottaa huomioon kolme tekijää:

- kuinka herkkiä laitteet ovat ylijännitteille (tietokoneet, televisiot)
- asennettujen laitteiden hankintahinta tai arvo
- laitteiden hajoamisen aiheuttamat seuraukset (pakastimet, kylmähuoneet).

2. Tarkista asennuspaikan ominaisuudet

- onko asennuspaikkaan tuleva syöttö ilmaaapeleilla vai maakaapelilla; riski on suurempi ilmaaapeleita käytettäessä
- sijaitseeko rakennus maaseudulla tai taajamassa; erillinen rakennus on suurempi riski
- onko rakennuksessa korkeita rakenteita, jotka ovat yhteydessä maahan; korkeat rakenteet lisäävät riskiä

- kuinka altis paikkakunta on salamaniskuille; esim. salamapäiväluku.

3. Asennettavan ylijännitesuojan valitseminen

Yllä olevien sääntöjen perusteella saatetaan tarvita kahdenlaista suojausta:

- Ylijännitesuojalaite käyttöjännitteen syötössä

Ylijännitesuojan valinnassa tarvittavat tekijät:

- suurin purkausvirta (I_{\max})

Asennuskohteen riski on sitä suurempi, mitä useampi riskitekijä toteutuu:

suuri salamatiheys alueella, ilmakaapeleiden käyttö, erillinen rakennus,

ukkosenjohdatin asennettu

- sähkökaavio 1- tai 3-vaiheverkosta, nollamaadoitusjärjestelmällä

- suojattavien laitteiden vaatima suojaustaso (UP). Mitä alempi UP-arvo,

sitä suurempi suojaustaso vaaditaan.

- Laitekohtaiset ylijännitesuojat

Erityisen herkille laitteille pitäisi syötössä olevan ylijännitesuojan lisäksi

asentaa ylijännitesuoja alemmalla UP-arvolla lähelle laitteen

liitäntäpistorasiaa (11, s. 3.).

3.3 Porrastettu suojaus

Kolmiportaisella suojauskonseptilla saavutetaan kattava verkon ylijännitesuojaus. Kojeiden ja laitteiden suojaamiseksi ylijännitteiltä seuraavat toimenpiteet ovat tarpeellisia:

1. porras

Ukkossuoja tyyppi 1

Ukkossuojilla ja yhdistelmäsuojilla suojataan keskitetysti virransyöttöä normin DIN EN 61643-11:2002 mukaan suojausluokassa B.

2. porras

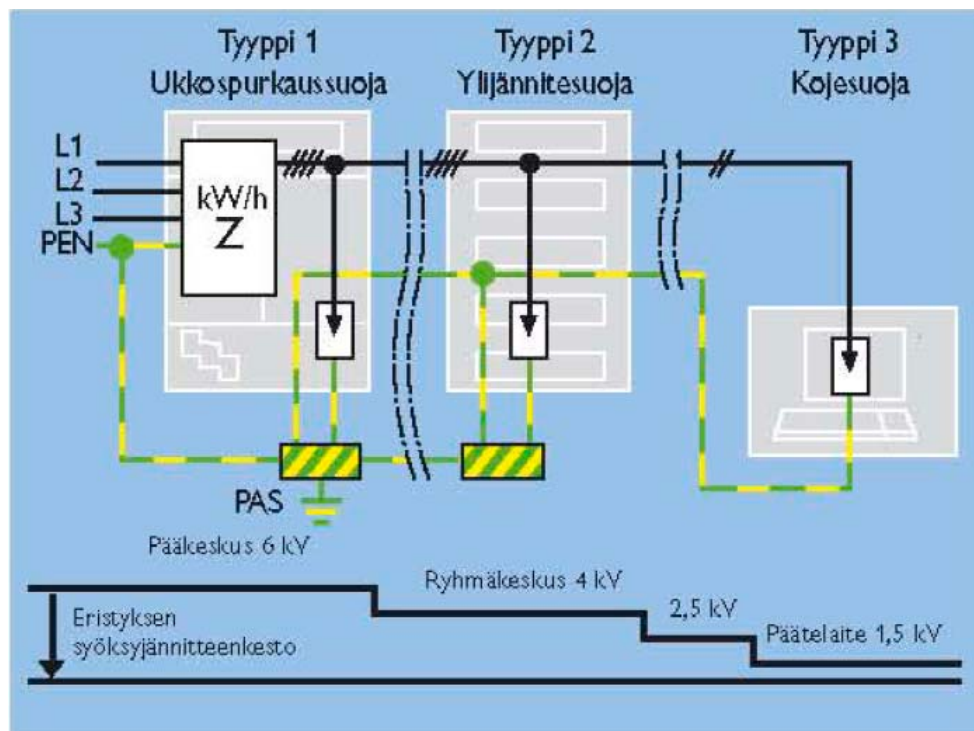
Ylijännitesuoja tyyppi 2

Nämä yleissuojat sijoitetaan normaalisti ryhmäkeskuksiin tai muihin alakeskuksiin, ja ne noudattavat normin DIN EN 61643-11:2002 mukaan suojausluokkaa C.

3. porras

Ylijännitesuoja tyyppi 3

Käytetään laitesuojana suojausluokassa D sijoitettuna ryhmä tai alakeskuksiin, ja ne noudattavat normin DIN EN 61643-11:2002 mukaan suojausluokkaa D (12, s. 336.).



Kuva 3.7 Kolmiportainen ylijännitesuojaus (2, s. 12).

Energian johtokyvyn (esim. salamavirta I_B) ja jännitteenrajoituskyvyn (jäännösjännite) perusteella kolme suojausportista on erotettu toisistaan. Jäännösjännite ei saa ylittää asennuksen ja kojeiden ylijännitekestoisuuden suuruutta.

Syöksyjännitekestoisuudet sähkölaitteille on määritelty standardissa IEC 60664-1 ylijänniteluokkien mukaisesti. Laitteiden suojausluokan määrää niiden asennuspaikka. Taulukosta 3.1 nähdään sähkölaitteille määritellyt ylijänniteluokat ja niiden syöksyjännitekestoisuudet. Kuvasta 3.7 näkee porrastetun suojauksen periaatteen ja syöksyjännitekestoisuudet järjestelmän eri pisteissä. (8, s. 183–186; 10, s. 90; 12, s. 336.)

Taulukko 3.1 Sähkölaitteiden ylijänniteluokat ja syöksyjännitekestoisuudet (8, s. 186).

Asennuksen nimellis-jännite ^{a)} V	Laitteille vaadittu impulssiylijännitteen kestävyys kV ^{b)}			
Kolmivaihe-järjestelmä	Laitteet asennuksen liittymiskohdassa (ylijänniteluokka IV)	Pää- ja ryhmäjohtojen laitteet (Ylijänniteluokka III)	Laitteet (Ylijänniteluokka II)	Erityisesti suojatut laitteet (Ylijänniteluokka I)
230/400	6	4	2,5	1,5
400/690	8	6	4	2,5
1000	12	8	6	4
a) SFS-IEC 60038 mukaan				
b) Tämä jännite johdetaan äärijohtimien ja suojajohdinpiirin välille.				

Suojat asennetaan peräkkäin siten, että heikompitehoisempi suoja on aina suojattuna suurempitehoisemmalla suojalla. Eri suojaustasojen väliset kaapelipituudet tulee tarkistaa, koska ne toimivat erotusinduktansseina. Erillisiä erotusinduktansseja on käytettävä, jos johdinpituudet eivät ole riittäviä.

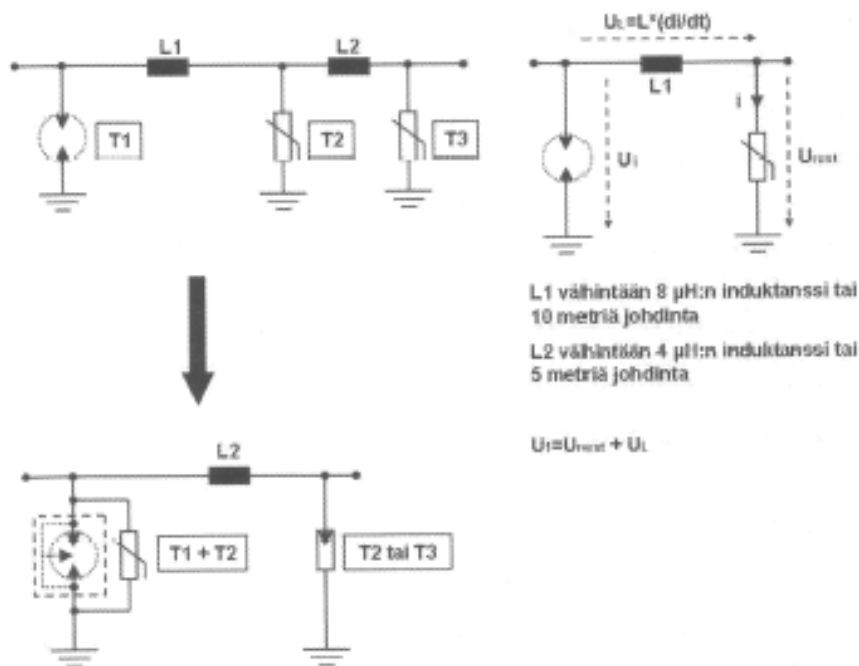
Varistoritekniikkaan perustuvilla ylijännitesuojilla saavutetaan sähköverkon suojauksessa aina tarvittava nopea ja hyvä jännitteenrajoitus. Sen vuoksi IEC-luokituksen II-tason keskisuojaat pitää olla aina rakennuksen ukkossuojauksessa. Varistoritekniikka on tarkemmin selitetty luvussa 4.1.2. Myös karkea ukkosuoja (IEC-luokitus I) tarvitaan, jos suojattavaan kojeeseen on odotettavissa suora salamanisku, kohteen pääsulakekoko on suuri tai kohde on muuten salamalle riskialtis.

Vielä parempi suojaustaso saavutetaan käyttämällä 3. suojaporrasta eli ns. kojensuojaa, jota käytetään, jos järjestelmässä on todella herkkiä elektronisia laitteita. Taulukossa 3.2 on esitetty suojien merkinnät ja luokitukset.

Taulukko 3.2 Sähköverkon suojiin luokitukset ja merkinnät (3, s. 142).

	Ukkospurkaussuojat	Ylijännitesuojat	Kojesuojat
IEC-luokitus	class I	class II	class III
VDE-luokitus	B	C	D
EN-luokitus	type 1	type 2	type 3
merkintä	T1	T2	T3

Ensimmäinen suojaporras sijoitetaan perinteisessä ylijännitesuojauksessa pääkeskukseen, alakeskukseen asennetaan toinen porras ja lähelle suojattavaa laitetta tulee kojiesuoja (kuva 3.7). Suojien välisillä induktansseilla saavutetaan suojaportaiden välinen selektiivisyys (kuva 3.8).

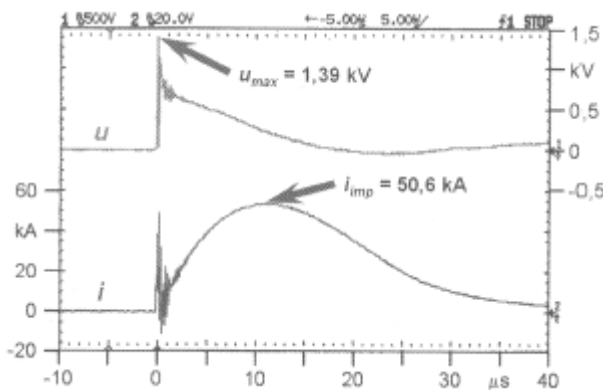


Kuva 3.8 Suojaportaiden välinen selektiivisyys (3, s. 143).

Usein aivan pääkeskuksen vieressä voi sijaita lähin alakeskus, suoria ryhmäjohtoja voi lähteä pääkeskuksesta suoraan sähkölaitteille tai sähkökeskuksia on vain yksi rakennuksessa. Tämän vuoksi pääkeskukseen asennetaan nykyisin sekä ukkos- että

keskisuojat. Tähän tarkoitukseen on kehitetty ukkospurkaussuojia, joita käytetään, koska suojaortaiden erotukseen riittävää induktanssia ei saavuteta.

Ensiksi transienttiin herää kaksiportaisen yhdistelmäsuojan nopea keskisuoja ja alkaa johtaa purkausvirtaa. Jännösjännite nousee suurimpaan arvoonsa 1,39 kV ja laskee jyrkästi, kun ukkosuojan valokaari syttyy (kuva 3.9).



Kuva 3.9 Ukkos- ja keskijännitesuojayhdistelmän purkausvirta ja jäännösjännite (3, s. 144).

Jo pääkeskuksessa voidaan rajoittaa ylijännite, joka johtuu sähköverkon kautta rakennukseen tulevasta transientista. Kaikki keskuksat, jotka on maadoitettu suoraan pääpotentiaalitasaukseen pitää suojata, jos on odotettavissa maapotentiaalilin nousu esimerkiksi suoran salamaniskun seurauksena. (3, s. 142–144; 10, s. 91; 12, s. 336.)

3.4 Signaalipiirien suojaus

Mittaus-, säätö-, ohjaus- ja datasiignalipiirit ovat suhteellisesti heikompia kestämaan ylijännitteitä kuin sähkönsyöttöliitännät. Pienjänniteverkossa esiintyvät ylijännitteet pääsevät siirtymään niihin galvaanisena, kapasitiivisena ja induktiivisena kytkennän kautta. Laitteen valmistajan ilmoittaman syöksyjännitekestoisuuden perusteella valitaan signaaliliittymän suoja.

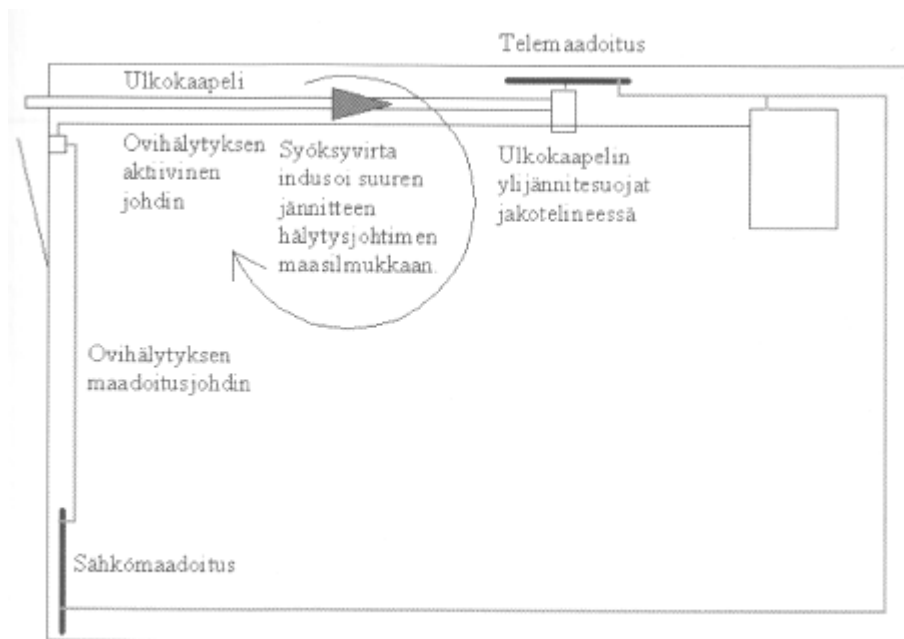
Useita tuhansia signaalipiirejä sisältävissä teollisuuslaitoksissa ei ole kovin kannattavaa taloudellisesti suojata kaikkia piirejä. Suojaus useimmiten tehdäänkin ainoastaan rakennuksen ulkopuolelta tulevissa signaaliliitynnöissä.

Mittaus-, säätö- ja ohjauspiirien sekä sarjaliikenteen suojauksessa otetaan huomioon seuraavat seikat (3, s. 146):

- analogia- vai binäärisignaali
- syöksyjännitekestoisuus
- suurin jatkuva käyttöjännite
- kuormitusvirta
- vaadittava purkauskkyky
- tiedonsiirtoprotokolla
- signaalijohdinten lukumäärä
- signaaliliitännättekniikka (ruuvi-, koaksiaali-, RJ- tai D-liitin)
- käyttötaajuus
- suojan vaimennus ja väylävastus.

Purkausdiodin- tai Zener-diodin ja kaasupurkausputken yhdistelmää käytetään signaalipiirien suojaamiseen. Nykyisin suojausportaiden erotuskomponenttina käytetään vastusta, aikaisemmin käytetyn induktanssin sijaan. Vastus toimii paremmin suurilla taajuuksilla, mutta kuormitettavuus on induktanssia huonompi.

Kuvassa 3.10 on kärjistetty esimerkki, jossa induktiivinen kytkeytyminen tapahtuu ulkokaapelista rakennuksen sisäiseen järjestelmään. Kaksijohtimisesti kierretyllä parilla kannattaa aina kaapeloida hälytykset ja liityntöjen on kestettävä ainakin kilovoltin pitkittäisjännite.



Kuva 3.10 Salamavirtaa kuljettavat sähkö-, tele, tai antennikaapelit saattavat indusoida suuria jännitteitä rinnalla kulkeviin rakennuksen sisäisiin järjestelmiin (3, s. 43).

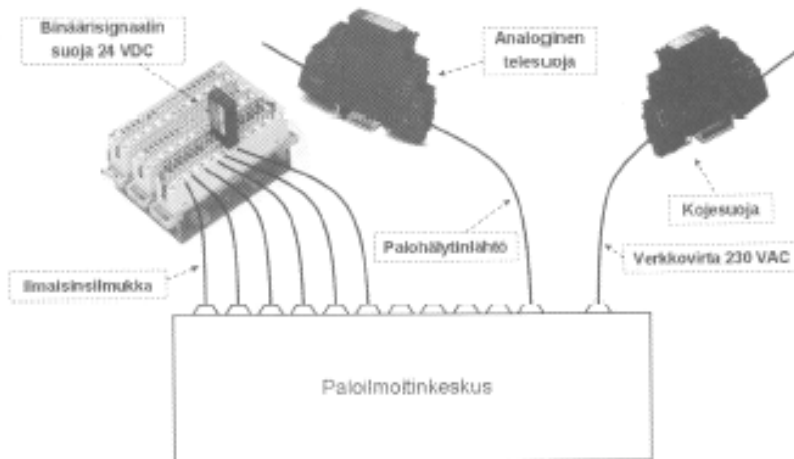
Hälytinjärjestelmät ovat herkkiä ylijännitteille, koska tyypillisesti keskukseen saapuu useita erityyppisiä sähköliitäntöjä. Kuvassa 3.11 on esitetty vain yleisimmät liitännät paloilmotinkeskukseen. Lisäksi voi olla potentiaalivapaita ohjaus- ja sarjaliikennelähtöjä sekä 24 VDC:n jännitelähtöjä.

Paloilmotinkeskus pystytään suojaamaan pienemmiltä transienteilta varustamalla keskuksen sähkönsyöttöön 1-vaiheinen kojesuoja (IEC luokitus III), varsinkin jos ei tiedetä rakennuksen omasta sähköverkon suojauksesta.

Kaikkein herkin salamaniskuille on telelinjaan liitetty palohälytyslähtö, jos hälytyskeskukseen tai palokunnalle välitettävää paloilmotusta ei tehdä GSM-verkon avulla. Analoginen televerkon moniportainen ylijännitesuoja sopii suojaksi palohälytyslähdölle.

Jopa useiden satojen metrien pituisiin paloilmainsilmukoihin transientit voivat kytkeytyä galvaanisesti tai induktiivisesti. Yleensä tällainen transientti saapuu paloilmotinkeskukseen yhteismuotoisena, eli molemmissa signaalijohtimissa on ylijännite maahan nähden. Paloilmotinkeskuksen ilmaisinsilmukan liitäntä on kuvassa

3.11 suojattu erotusrimaan kytkettävällä 2-portaisella 24 VDC:n binäärisuojalla. (3, s. 43; 3, s. 82; 3, s. 146–149; 10, s. 88.)

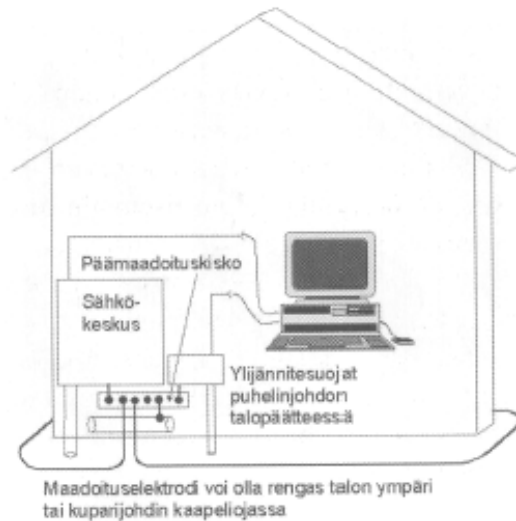


Kuva 3.11 Paloilmoituskeskuksen liitännöjen suojaus (3, s. 149).

3.5 Ylijännitesuojaus asuin- ja liikehuoneistoissa

Maaseudun pientaloissa on suurin suojaustarve ylijännitteiden esiintymisen ja niiden aiheuttaman vaaran kannalta. Maaseudulla uusiin liittymiin on televerkko-operaattorin asennettava ylijännitesuojat Viestintäviraston määräyksen 43 mukaisesti. Herkkien ja arvokkaiden laitteiden yleistyessä korostuu suojaustarve entisestään maaseudulla, taajamien reuna-alueilla ja varsinkin mökkikylissä, joissa tietoverkot muodostavat laajahkoja ulkoverkkoja ja etäisyydet ovat pitkiä. (3, s. 162.)

Suojaus pientalossa



Kuva 3.12 Puhelinjohdon suojiin hyvä sijoitus pientalossa (3, s. 163).

Asentamalla suojat talopääteeseen, joka sijaitsee lähellä pääkeskusta, saadaan suojat yhdistettyä lyhyillä johtimilla päämaadoituskiskoon. Mikäli sähköpääkeskus on eri puolella taloa kuin puhelinjohto tulee, on parempi tuoda puhelinjohto pääkeskuksen lähelle, jotta saadaan suojat asennettua lähelle päämaadoituskiskoa. Näin varmistetaan suojien tehokas suojauskyky. Kuvassa 3.12 on esitetty hyvä puhelinjohdon suojan sijoitus pientalossa.

Maaseudulla on estettävä pienjänniteverkon jännitteen pääseminen takaperoisesti puhelinverkkoon ylijännitesuojien kautta, jos PEN-johdin pääsee katkeamaan taloa syöttävästä pienjännitejohdosta. Johtimien ja maan välissä tulee käyttää tällaisissa tapauksissa syttymisjännitteeltään sellaisia ylijännitesuojia, ettei näin pääse käymään. Tämä tarkoittaa vähintään 500 V:n tasasyttymisjännitettä, kun on otettu huomioon sähköverkon jännitteen ja suojien toleranssit. Puhelinverkosta tulevan syöttöjännitteen perusteella määräytyy mahdollisesti johtimien välille tarvittavien poikittaissuojien jännite, joka esimerkiksi ISDN-liittymässä voi olla 150 V.

Normaalisti puhelinjohdon johtimien ja maan välille operaattori asentaa vain kaasupurkaussuojat. Pelkät kaasupurkaussuojat voi korvata yhdistelmäsuojalla, jonka paras paikka on päämaadoituskiskon ja puhelinjohdon sisääntulon lähellä. Tällöin suojan maadoittaminen on vaivatonta ja rakenneosat pystytään mitoittamaan kestävästi esiintyvät virrat.

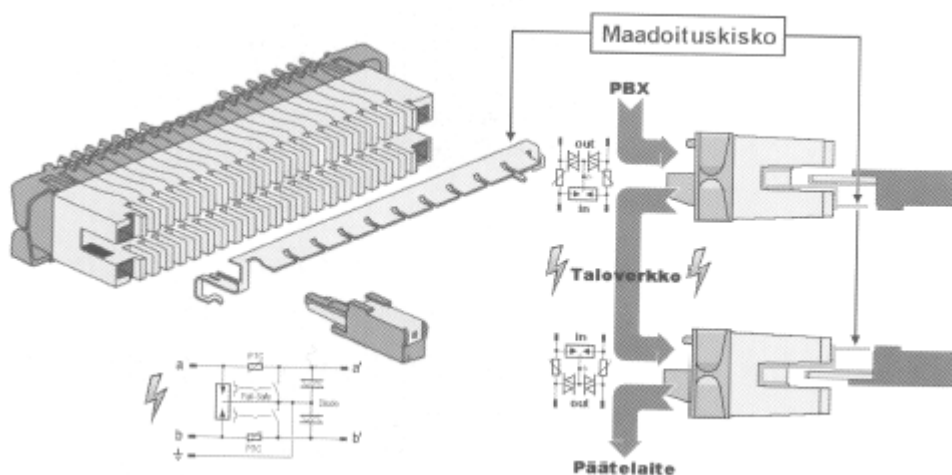
Suojamaadoitettuun sähköpistorasiaan asennetun suojan tehokkuus heikkenee, kun suuri ylivirta joutuu kulkemaan ulkoverkkoa heikommassa sisäverkossa. Sähköpistorasiaan sijoitettu telepuolen suoja ei auta kunnolla, jos suojattava laite ei ole suojamaadoitettua rakennetta sähköliitännältään. Lisäksi laite on kytkettävä samaan pistorasiaan telepuolen suojan kanssa, jotta suoja auttaa kunnolla. Monet kannettavat tietokoneet ja useimmat telepäätelaitteet ovat suojaeristettyjä rakenteeltaan, mutta suojamaadoitettua rakennetta ovat edelleen pöytäkoneet. Maaseudulla ei varsinkaan pitäisi käyttää pistorasiasuojia pelkästään, mutta täydentävinä suojina niitä voidaan käyttää. (3, s. 162–163.) Kuvassa 3.13 on esimerkki dataliitäntöjen kojesuojauksesta.



Kuva 3.13 Esimerkki dataliitäntöjen kojesuojauksen toteutuksesta (2, s. 19).

Suojaus liikerakennuksessa

Liikerakennuksessa ylijännitesuojat asennetaan jakotelineeseen, jonka runko on yhdistetty talon päämaadoituskiskoon ja potentiaalitasausjärjestelmään. Suojina voidaan tilanteen mukaan käyttää kaasupurkaussuojia tai jakotelineasennukseen sopivia yhdistelmäsuojia (kuva 3.14). Esimerkiksi mökkikylien vaihteissa kannattaa majoitustiloihin lähtevät alaliittymät suojata päärakennuksen jakotelineessä yhdistelmäsuojin, koska alaliittymissä ei laitteen sisäistä suojausta välttämättä ole.



Kuva 3.14 Esimerkki jakotelineeseen asennettavasta yhdistelmäsuojasta. Parikohtainen suoja sisältää kaasupurkaussuojan, PTC-vastuksen ja suojadiodit (3, s. 166).

Kerrostalojen tietokonehuoneissa ja valvomoissa, missä ei ole käytettävissä maadoituskiskoa ja potentiaalitasauksia on laitteita joskus vaurioitunut. Yksittäisissä tapauksissa laitteita voi kokeilla suojata pistorasiaan asennettavalla suojalla, varsinkin suojavaadoitettua rakennetta olevia laitteita. On myös olemassa liitinkenttiä, joiden sisällä on ylijännitesuojaus, ja nämä ovat asennettavissa 19":n telineeseen (kuva 3.15). Tilanteissa joissa teline ja suojattavan palvelimen runko tms. on yhdistetty saman tilan potentiaalitasaukseen, voidaan käyttää näitä liitinkenttiä. Induktiivisten ylijännitteiden

mahdollisuus on suuri ainoastaan sähköpääkeskuksen kautta tapahtuvassa yhdistämisessä, vaikka suojat toimisivat. (3, s. 165–166.)

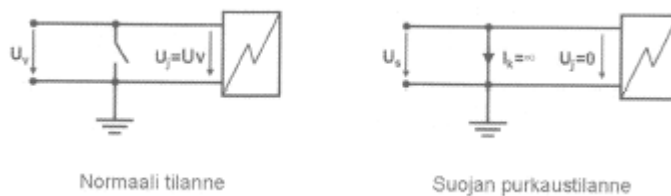


Kuva 3.15 Esimerkki toimistotilan laitekaappiin sopivasta suojayksiköstä (3, s. 167).

4 Ylijännitesuojien rakenne ja toimintatapa

4.1 Ylijännitesuoja

Idealisesti toimiva ylijännitesuoja on kuin sulkeutuva kosketin (kuva 4.1). Kosketin on auki normaalitilanteessa. Tällöin minkäänlaista vuotovirtaa ei kulje sen läpi, eikä järjestelmään aiheutuisi häiriöitä siitä.



Kuva 4.1 Ideaalisen ylijännitesuojan toiminta (3, s. 126).

Kun järjestelmään saapuu transienttijännite U_s , joka on suurempi kuin suojan mitoitusjännite U_c , niin ylijännitesuoja havahtuu ja kosketin sulkeutuu ja suoja pyrkii johtamaan mahdollisimman suuren purkausvirran i_k . Ihannetapauksessa ylijännitesuojan ylimenoimpedanssi on nolla, jolloin nolla on myös suojan yli oleva jännite eli ns. jäännösjännite U_j . Normaalitilanne palautuu välittömästi, kun suoja on purkanut jännitepiikin ja kosketin avautuu. Pienen verkkojännitteen kohoaminen nimellijännitteestään sallitaan, koska yleensä ylijännitesuojien mitoitusjännite U_c on 20 % suurempi kuin verkon nimellijännite. Liian lähelle nimellijännitettä suoja ei pysty mitoittamaan, koska myös suojakomponenteille sallitaan pieni poikkeama mitoitusjännitteestä (yleensä 10 %:n toleranssi).

Optimaalisesti edellä kuvatulla tavalla toimivia ideaalisia suojakomponentteja ei käytännössä ole kuitenkaan olemassa. Optimaalisen suojauksen kannalta joudutaankin käyttämään komponentteja, joissa on myös huonoja ominaisuuksia hyvien lisäksi.

Riittävän tehokkaaseen suojaukseen päästään, kun yhdistellään erilaisia suojakomponentteja niin, että hyödynnetään näiden hyvät ominaisuudet.

Komponenttien tärkeimpiä ominaisuuksia transienttisuojausten kannalta ovat

- syöksyvirran purkauskkyky
- toimintanopeus
- jäännösjännite (= suojaustaso)
- rajataajuus ja vaimennus nopeassa tiedonsiirrossa (3, s. 127).

Taulukko 4.1 Eniten käytetyt suojakomponentit (3, s. 127).

komponentti	kuvaus	tyypillinen suojauskohde
kipinäväli	ukkos-, karkeasuoja	sähköverkko
varistori	keskisuoja	sähköverkko
kaasupurkausputki	karkeasuoja	tietoliikenne- ja signaali piirit
purkausdiodi	hienosuoja	tietoliikenne- ja signaali piirit

Suojakomponenteista eniten käytetyimmät on mainittu taulukossa 4.1, nämä komponentit toimivat kaksisuuntaisesti eli niiden polariteetilla ei ole asennuksessa väliä. Taulukon 4.1 suojakomponentit sopivat sekä AC- että DC-järjestelmiin.

Yksisuuntaisesti toimivaa Zener-diodia käytetään nopeissa tiedonsiirtojärjestelmissä esimerkiksi ethernet-verkoissa, joissa suojaukselta vaaditaan korkeaa rajataajuutta ja hyvää sekä nopeaa jännitteen rajoitusta. Zener-diodi asennetaan diodisillan avulla, jotta sillä voidaan rajoittaa negatiivisia ja positiivisia transientteja.

Kipinävälejä ja varistoreja käytetään sähköverkon suojauksessa. Kaasupurkausputkia ja purkausdiodeja käytetään mittaus-, ohjaus-, säätö- ja sarjaliikennejärjestelmissä. (3, s. 126–127.)

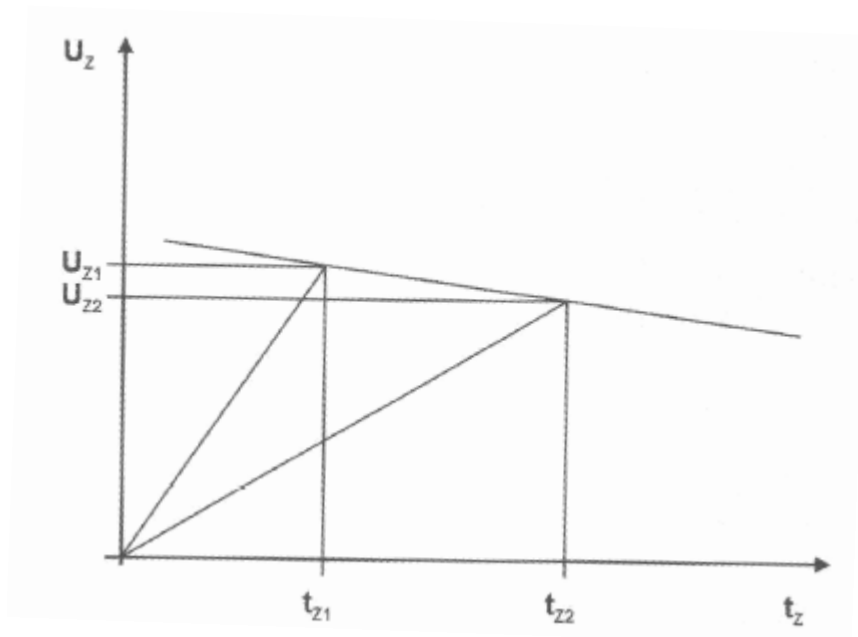
4.1.1 Kipinäväli

Kipinäväleillä (spark gap) on hyvä salamavirran purkauskkyky, joten niitä käytetään sähköverkon ukkospurkaussuojina. Sähkölaitteiden kannalta jännite ehtii nousta liian korkeaksi, koska kipinävälissä valokaari syttyy hitaasti. Esimerkiksi sähkömoottoreille ja generaattoreille suojaukseksi riittää yksinään kipinäväli, koska näillä laitteilla on suuri syöksyjännitekestoisuus (>4 kV). Maksimissaan 1,5 kV on normaalisti syöksyjännitekestoisuus 230 V:n nimellisjännitteellä toimivilla laitteilla. Nopeat suurtehoaristorit (IEC-luokitus II) pitää tämän takia olla mukana suojauksessa; näiden havahtumisaika on alle 25 ns.

Kipinävälisuoja on rakenteeltaan suljettuja ja avoimia. Avoimen mallin plasmapurkaus ionisoi suojan ympärillä olevan ilman, joten suojan lähellä ei saa olla paljaita johtimia, koska purkaus voi aiheuttaa oikosulun johtimien välillä. Usein käytetäänkin erillistä koteloa, johon avoin ukkossuoja asennetaan. Kotelon kannen kiinnityksessä käytetään jousitettuja ruuveja.

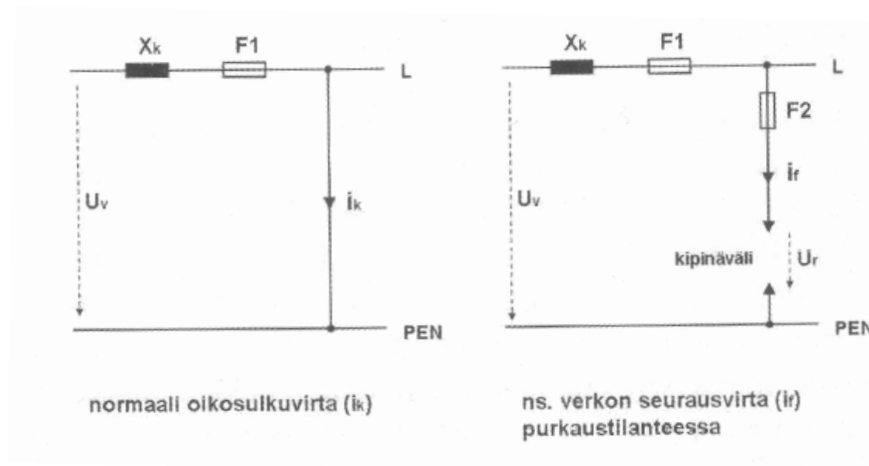
Kapseloitu kipinäväli ei tarvitse minkäänlaista suojaetäisyyttä sähkökeskuksessa muihin sähkölaitteisiin, koska se on suljettu ruuvattavan kannen alle. Se voidaan asentaa DIN-kiskoon keskuksessa ja johdotuksen kannalta parhaaseen paikkaan.

Kipinävälin tyypillinen ominaiskäyrä on kuvassa 4.2, jossa on esitetty suojan syttymisajan t_z funktiona ukkossuojan jäännösjännite U_z . Lähes vaakasuora ominaiskäyrä kertoo, että transientin nousunopeudesta riippumatta jäännösjännite on lähes sama.



Kuva 4.2 Kipinävälän ominaiskäyrä (3, s. 129).

Purkauskapasiteetin lisäksi verkon seurausvirran katkaisukyky on erittäin tärkeä ominaisuus ukkospurkaussuojalla. Kipinävälän valokaarella kulkevaa virtaa sanotaan seurausvirraksi. Transientista aiheutuneen purkausvirran purkamisen jälkeen vaikuttaa suojan yli ainoastaan verkon vaihejännite, ja suojalta onnistuu seurausvirran sammuttaminen. Kuvassa 4.3 on verkon normaali 1-vaiheinen oikosulku ja tilanne, jossa kipinävälissä palaa vielä valokaari, vaikka suoja on purkanut jo ukkospiikin.



Kuva 4.3 Verkon seurausvirta kipinävälin valokaareissa (3, s. 129).

Normaalin oikosulun oikosulkuvirta on

$$I_k = U_v / X_k \quad (1)$$

I_k on oikosulkuvirta

U_v on verkon vaihejännite

X_k on oikosulkuimpedanssi.

Valokaaren palaessa vaihejännite U_v ei pysty aiheuttamaan oikosulkuvirran suuruista seurausvirtaa kipinävälissä, koska valokaareissa on noin 150 V:n vastajännite U_r .

Verkon seurausvirta on

$$I_f = (U_v - U_r) / X_k \quad (2)$$

I_f on verkon seurausvirta

U_r on valokaaren jännite

Kaavoista 1 ja 2 saadaan I_k ja I_f välille seuraavanlainen yhteys

$$I_k = U_v \times I_f / (U_v - U_r) \quad (3)$$

Vaikein tilanne ukkossuojalla on valokaaren sammuttamisen kannalta silloin, kun valokaari syttyy juuri vaihejännitteen noustessa lähelle huippuarvoaan. Verkoissa, joissa on suuret oikosulkuvirrat, on käytettävä suojia, joilla on riittävä katkaisukyky.

Ukkossuoja, jonka verkon seurausvirran katkaisukyky on 50 kA, pystyy sammuttamaan valokaaret ilman häiriötä sähköverkoissa, joiden oikosulkuvirta I_k on

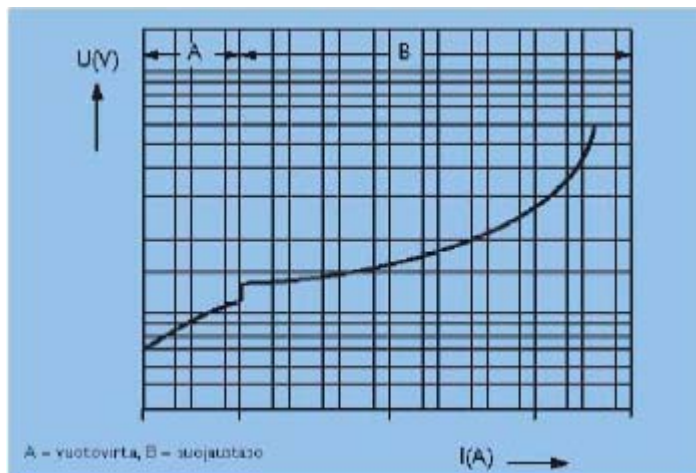
$$I_k = \sqrt{2} \times 230 \times 50 \text{ kA} / (\sqrt{2} \times 230 - 150) = 93 \text{ kA} \quad (4)$$

Ukkossuojille valmistajat ilmoittavat etusulakkeen maksimiarvon, ja jos etusulakkeen F1 arvo on tätä suurempi, pitää ukkossuojalle asentaa oma sulake F2 valmistajan antaman maksimiarvon mukaan (kuva 4.3). Tällöin oikosulkutilanteessa palaa ainoastaan suojan oma sulake F2, ja häiriöt pysyvät mahdollisimman pieninä. (3, s. 127–130.)

4.1.2 Varistorit

Useimmiten ylijännitesuojauksessa käytetty komponentti on varistori (metal oxide varistor, MOV). Sillä saadaan aikaan nopea jännitteen rajoitus, koska sen havahtumisaika on suhteellisen lyhyt. Varistorin ominaiskäyrä on kuvassa 4.4. Lyhyellä (8/20 μs) pulssimuodolla se kestää melko suuria purkausvirtoja. Pienemmillä jännitteillä toimivissa signaalipiireissä varistoria on käytetty aikaisemmin, mutta esimerkiksi mittaussiireissä se voi vääristää mittaustuloksia sen ottaman vuotovirran vuoksi. Nykyään varistorin käyttö rajoittuu pelkästään sähköverkon suojaukseen. (2, s. 9–10; 3, s. 130.)

Varistorisuoja käytetään usein virtapiireissä, joissa kaasupurkaussuojien käyttö on mahdotonta suuren tasavirran takia. Jännite rajoittuu kynnysjännitteen tasolle varistorilla. Suojana varistoria voidaan käyttää joko yksinään tai yhdistelmäsuojassa puolijohdesuojan paikalla. Suurtaajuisiin tiedonsiirtojohdotuksiin varistori ei sovellu, koska sen rakenteesta johtuu, että sen kapasitanssi on suurehko. (2, s. 10; 3, s. 157.)



Kuva 4.4 Varistorin ominaiskäyrä (2, s. 9).

Varistori on jännitteen funktiona toimiva muuttuva vastus. Kun jännite on normaali eli lähellä nimellisjännitettä U_n eikä se ylitä varistorin mitoitusjännitettä U_c (rated voltage tai max continuous operating voltage), sen läpi kulkee ainoastaan pieni vuotovirta I_{gnd} . Mutta heti kun jännite nousee mitoitusjännitteen yläpuolelle, nousee virta jyrkästi ja samalla varistori rajoittaa jännitteen nousua.

Varistori vanhenee iän myötä, koska se on puolijohde. Varistorin vanhetessa voi vuotovirta kasvaa tai varistori voi mennä jopa oikosulkuun. Sekä varistorin vuotovirta että purkaustilanteet ja -virrat aiheuttavat sen vanhenemista. Liian usein esiintyvät transientit aiheuttaa sen, että varistori ei ehdi toipua edellisestä piikistä, kun se on taas johtavassa tilassa. Varistorin vuotovirta on suurempi, ja se lämpenee, jos se ei ehdi palautua transientin jälkeen entiseen tilaansa. Tämän takia suoja on varustettu lämpövahdilla eli termistorilla, ettei varistori pääse ylikuormittumaan. Kytkemällä suojan irti verkosta, termistori estää suojan oikosulun ja sulakkeiden palamisen.

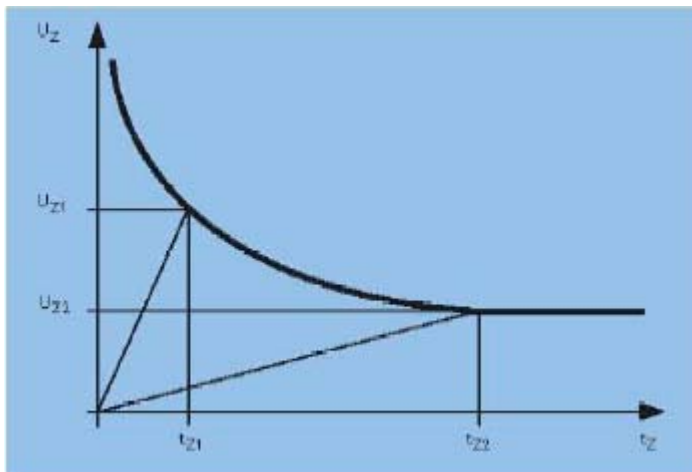
Vahingoittuneiden suojienvaihdon helpottamiseksi, ne on usein rakennettu kaksiosaisiksi. Sähkökeskuksen DIN-kiskoon asennettavassa kantaosassa on hälytyskosketin, jonka vaihtokoskettimesta tulee tieto suojan toimintakunnosta. Vaihdettavassa suoja-pistokkeessa on indikointi, jotta tiedetään, mikä pistoke on vahingoittunut.

Kohteissa, joissa ei ole suoran salamaniskun vaaraa ja joiden pääsulakekoko on pieni, voidaan käyttää keskisuojaa, joka toimii pelkällä varistoritekniikalla.

Kytkemällä kaasupurkausputki varistorin kanssa sarjaan voidaan pidentää keskisuojan käyttöikä. Tällöin varistori vanhenee ainoastaan purkausvirtojen vaikutuksesta, koska kaasupurkausputken vuotovirta on yleensä alle $1 \mu\text{A}$. (3, s. 130–133.)

4.1.3 Kaasupurkaussuojat

Karkeisiin ylijännitesuojiiin kuuluva kaasupurkausputki (gas filled tube tai gas discharge tube, GDT) on jalokaasutäytteinen. Kaasupurkausputkien hitauden takia ylijännitepulssi pääsee nousemaan jopa moninkertaiseksi putken nimellisjännitteeseen verrattuna, ennen kuin putki alkaa johtaa. Kaasupurkausputken ominaiskäyrä on kuvassa 4.5. Vaikka purkausputki on pieni, sillä on erittäin hyvä purkauskkyky, ja se pystyy purkamaan jopa 10 kA:n ($8/20$) $\mu\text{s:n}$ lyhytkestoisia virtoja. (2, s. 9; 3, s. 133.)



Kuva 4.5 Kaasupurkausputken ominaiskäyrä (2, s. 9).

Kun suojaukselta vaaditaan suurta rajataajuutta, pientä vaimennusta ja pientä vuotovirtaa, on purkausputki parhaimmillaan, eli se sopii hyvin erittäin häiriöherkkiin

piireihin. Kaasupurkausputkella päästään usean GHz:n taajuuksiin, tämän takia se on ainut mahdollinen suojakomponentti antenniliitäntöjen suojuuksessa. (3, s. 133.)

Kaasupurkaussuoja on ylivoimaisesti eniten käytetty ylijännitesuoja televerkoissa. Usein se on halkaisijaltaan 8 mm ja korkeudeltaan 6 mm. Kaasupurkaussuoja on periaatteessa kipinäväli, jossa jalokaasulla täytettyyn keramiikkaputkeen on sijoitettu elektrodit. Se asennetaan usein jousien väliin, mutta se voi olla varustettu kytkentälangoilla. Suojia löytyy myös kolminapaisena mallina.

Yksi syistä valita kaasupurkaussuoja on tasasyttymisjännite. Maaseudulla on tasasyttymisjännitteen oltava vähintään 500 V pientaloissa johtimien ja maan välille kytketyissä suojuissa. Jos talon sähkönsyötön PEN-johdin on poikki, suojujen tasasyttymisjännite estää sähköverkon jännitteen pääsyn suojujen kautta takaperoisesti televerkkoon.

Suurta merkitystä suojujen tasasyttymisjännitteellä ei ole syöksyaallon kannalta. Mitä pienempi suojujen tasasyttymisjännite on, sitä vähemmän pääsee 50 Hz:n jännitettä suojujen läpi. Hohto- tai kaaripurkausjännite riippuen virrasta jää syttyneen suojujen yli. Parinkymmenen voltin jännite vaikuttaa suojujen yli kaaripurkaustilassa. Suoja sammuu, kun virta pienenee riittävästi ja muodostaa vain muutaman pikofaradin kapasitanssin linjalle. Suoja ei sammua pitovirtaa suuremmalla virralla. Tästä johtuen yksinään kaasupurkaussuoja ei sovellu suurehkon tasavirran piireihin.

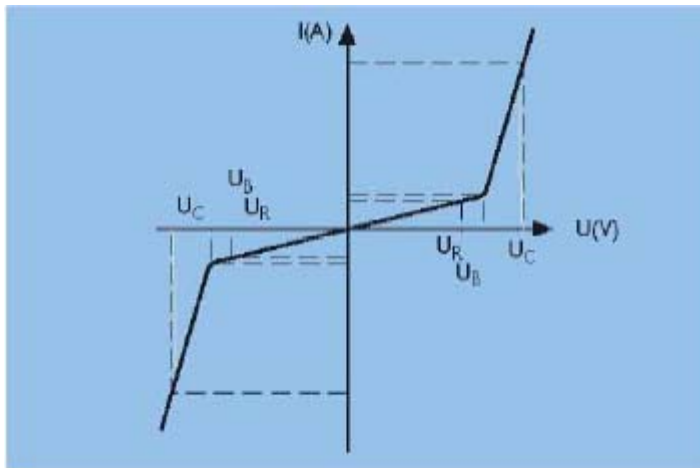
Esimerkiksi telejohtimen ja pienjännitesähköjohdon jatkuvan kosketuksen takia kaasupurkaussuojujen läpi kulkee pitkäaikainen virta, joka saa suojujen lämpötilan nousemaan erittäin suureksi valokaaripurkauksen takia. Tämän takia on olemassa ns. *fail safe* -suojuja, joissa suojujen yli rakennettu johdinsilta sulaa yhteen lämmön vaikutuksesta. Valokaari sammuu, kun virta kulkee tällöin metallisen johtimen kautta. Suoja on vaihdettava fail safe -toiminnon jälkeen, koska suoja jää pysyvästi oikosulkuun. Johdossa vaikuttaneet pitkäaikaiset ylijännitteet saadaan selville oikosulun ansiosta.

Kaasupurkaussuojujen syttymisjännite voi muuttua toimintakertojen ja iän mukana. Suoja toimii kuitenkin vuosikausia ja on kestävä rakenteen ja toimintatapansa puolesta. Määräaikaistarkastuksissa voidaan laitteella tarkistaa suojuista, onko tasasyttymisjännite

ennakkoon asetetun vaihteluvälin sisällä. Kaasupurkaussuoja sopii lähes kaikenlaisten järjestelmien kanssa käytettäväksi, kunhan tasasyttymisjännite on valittu oikein niin, että suoja ei syty esimerkiksi järjestelmän omista syöttö jännitteistä. (3, s. 154–156.)

4.1.4 Purkausdiodi

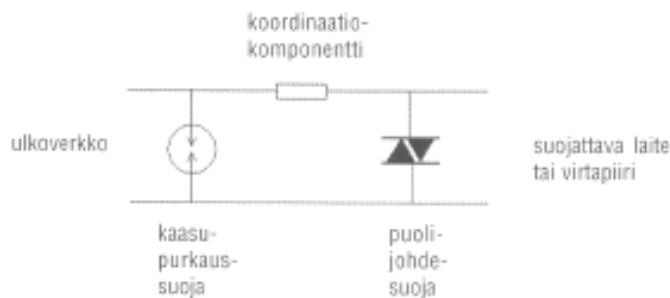
Herkkien elektronisten piirien suojauksessa käytetään ns. hienosuojaan kuuluvaa purkausdiodia (suppressor diode), joka sopii tähän nopeutensa ja hyvän jännitteenrajoituksensa ansiosta. Suojan jännitteen rajoitus on nimellispurkausvirralla (yleensä n. 600 A) noin 1,8-kertainen verrattuna nimellisjännitteeseen. Kuvassa 4.6 on purkausdiodin ominaiskäyrä. Suurtaajuudessa tiedonsiirrossa purkausdiodia ei voida käyttää, koska sen kapasitanssi aiheuttaa piireissä vaimennusta jonkin verran. (2, s. 10; 3, s. 134.)



Kuva 4.6 Purkausdiodin ominaiskäyrä (2, s. 9).

4.1.5 Puolijohdesuojat

Kaasupurkaussuojien viiveestä johtuvaa jännitepiikkiä eivät kaikki elektroniikkapiirit kestä. Kaasupurkaussuojia nopeampia ovat diodi- tai tyristorityyppiset puolijohdesuojat, jotka eivät kestä kuitenkaan yhtä suuria virtoja. Viime aikoina ovat erityisesti kehittyneet tyristorityyppiset suojakomponentit kestäviksi, toimintaperiaatteen ansiosta niissä vaikuttava häviöteho jää pieneksi. Usein puolijohdesuojakomponentteja käytetään kuvan 4.7 esittämällä tavalla yhdessä kaasupurkaussuojan kanssa.



Kuva 4.7 Kaasupurkaussuojan ja puolijohdesuojan yhdistelmäkäyttö (3, s. 157).

Kaasupurkaussuojan pitää syttyä ennen kuin puolijohdesuoja tuhoutuu, tämän varmistamiseksi suojien välille tarvitaan koordinaatiokomponentti. Kaasupurkaussuojan sytyttämiseksi loiva ylivirta ei pysty nostamaan induktanssin yli vaikuttavaa jännitettä riittäväksi. Tämän takia koordinaatiokomponenttina vastus on induktanssia parempi.

Puolijohdesuojan ja koordinaatiokomponentin on kestävä myös 50 Hz:n virtaa riittävästi, koska nämä virrat eivät välttämättä riitä kaasupurkaussuojan sytyttämiseen ja näitä virtoja kytkeytyy myös telejohtoihin.

Televerkon laitteiden ulkoisena ylijännitesuojana riittää tavallisesti kaasupurkaussuoja, koska yleensä televerkon laitteiden sisälle on sijoitettu puolijohdesuojat ja koordinaatiokomponentit. Yhdistelmäsuojan käyttö voi olla paikallaan päätelaitteilla, koska ne ovat usein huonommin suojattuja. Yhdistelmäsuojan on sovittava tällöin

yhteen järjestelmän kanssa sekä toimintajännitteen että transmissio-ominaisuuksien kannalta. (3, s. 156–157.)

5 Ylijännitesuojien asennus

Asennusoikeudet omaavat sähköurakoitsijat saavat ainoastaan asentaa ukkos- ja ylijännitesuojia. Asentajien tulee huomioida asennusten ja pistorasioiden sekä niihin liitettävien laitteiden jännitekestävyys. (12, s. 338.)

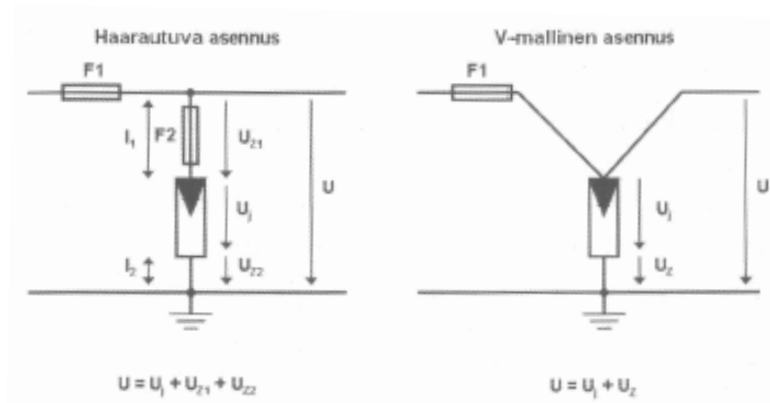
Tärkeitä asennusohjeita

- Hyvän suojaustason perustana on hyvä potentiaalitasaus ja pieni maadoitusvastus.
- Johtimien aiheuttaman lisäjännitehäviön välttämiseksi pitäisi johtimien olla mahdollisimman lyhyitä vaiheiden ja suojan sekä toisaalta suojan ja potentiaalitasauksen välillä.
- Ukkossuoja tyyppi 1 asennetaan mahdollisimman lähelle syöttökohtaa, sen jälkeen alakeskukset varustetaan ylijännitesuojilla tyyppi 2.
- Yksittäisten suojien välillä vaaditaan tietyt kaapelipituudet: Eri suojaustason laitteiden väliin kytketyt kaapelit toimivat kytkentäinduktanssilla. Yleisesti 15 m kaapelia riittää ukkossuojan tyyppi 1 ja ylijännitesuojan tyyppi 2 erottamiseksi, tämä ei ole kuitenkaan tarpeellista käytettäessä yhdistelmäsuojia. Jos kaapelietäisyys ukkossuojan ja ylijännitesuojan välillä ei ole riittävä, on käytettävä erillisiä erotusinduktansseja (12, s. 338).

Asennus helpottuu ja tulee halvemaksi, kun ylijännitesuojaus otetaan huomioon jo suunnitteluvaiheessa. Tällöin suojaus myös toimii teknisesti paremmin. Jälkikäteen ylijännitesuojauksen toteuttaminen on yleensä hankalaa, mutta mahdollista. Kuvassa 5.1 on esitetty tyypillinen suojan asennustapa. U_{z1} ja U_{z2} on purkausvirran asennusjohtimiin aiheuttamia induktiivisia jännitteitä, joiden takia asennusjohtimien tulee olla mahdollisimman lyhyitä. Joskus suojat joudutaan asentamaan keskuksen ulkopuolelle erilliseen koteloon, jos asennuspaikkaa ei löydy riittävän läheltä keskuksen vaihe-, nolla- ja PE-kiskoja. Tällöin optimaalinen suojaus ei toteudu lisääntyneen

johdinpituuden vuoksi. Jos suoja tarvitsee vielä oman etusulakkeen, vapaan sulakelähdön puuttuminen tekee työstä vaikeampaa.

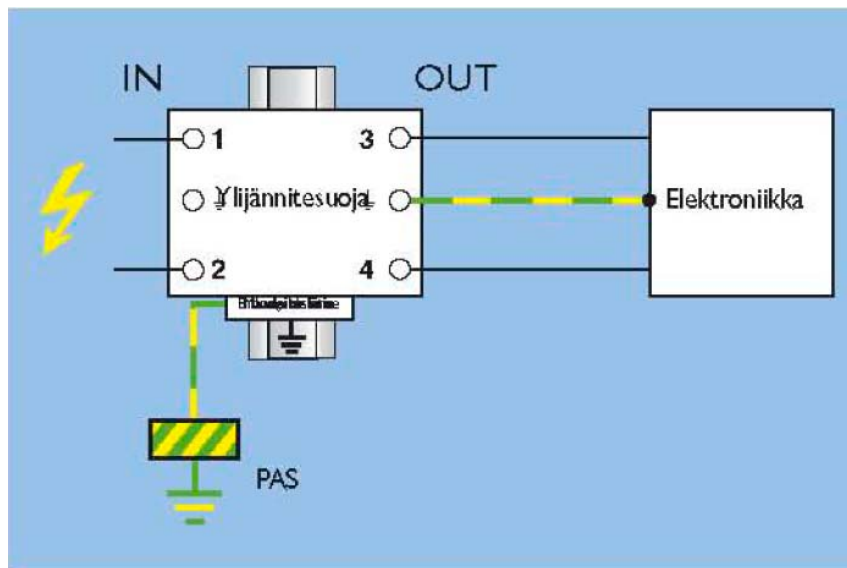
Kuvan 5.1 V-mallisella kytkennällä saadaan asennukseltaan paras suojaus. Siinä suoja sijoitetaan mahdollisimman lähelle PEN-kiskoa ja vaihejohdin ketjutetaan suojan kautta joko suojan kaksoisliittimen tai kaksoisjohdinholkin avulla. Ainoastaan suojan jäännösjännitteen suuruinen jännite pääsee suojan lävitse. Tämä kytkentä ei tarvitse omaa etusulaketta, vaan riittää, että syöttävä sulake on tarpeeksi pieni. Johdinholkin tai liittimien kuormitusvirran maksimiarvoa sulake F1 ei saa ylittää.



Kuva 5.1 Suojan asennusjohtimien vaikutus suojaustasoon (3, s. 145).

Ylijännitesuojat eivät saa olla kytkettyinä eristysvastusmittauksissa. Kaksiosaisia pistokemallisia suojia käytettäessä, ei tarvitse irrottaa suojan johdotuksia, vaan ainoastaan suojapistokkeiden irrottaminen riittää.

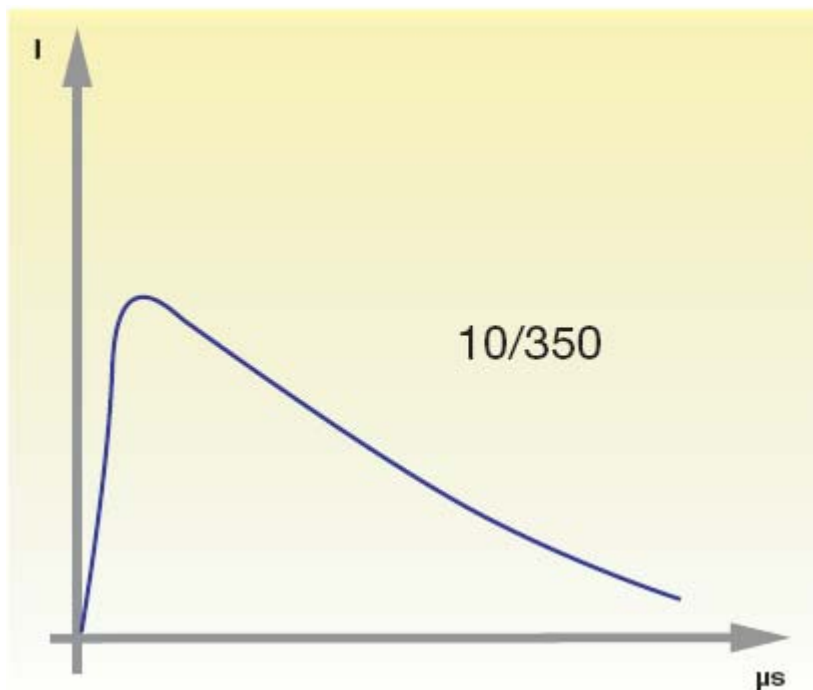
Kojesuoja asennetaan mahdollisimman lähelle suojattavaa kohdetta, vähintään 5 metrin etäisyydelle edellisestä suojaportaasta. Kojesuoja on läpimenevä kytkentä. Suojattava laite on maadoitettava ylijännitesuojan kautta sekä sähkön syötön kojesuojauksessa että signaaliliitännöiden suojauksessa (kuva 5.2). Tyypillisesti kojesuojan purkauskyky on (8/20) μ s:n pulssimuodolla noin 3 kA. (3, s. 144–145.)



Kuva 5.2 Kojesuojan asennus ja suojattavan laitteen maadoitus (2, s. 19).

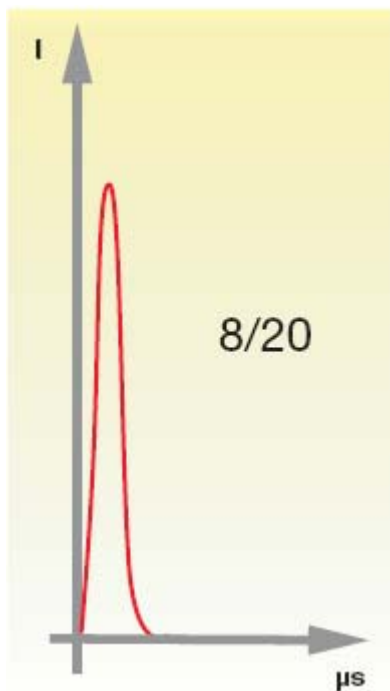
6 Ylijännitesuojien testaus

Tyypin 1 ylijännitesuojat eli ukkospurkaussuojat testataan standardin IEC 61024-1 mukaisella (10/350) μs :n käyrämuodon testipulssilla (kuva 6.1), joka pyrkii jäljittelemään purkausvirtaa, joka tapahtuu ukkospurkauksessa. Testissä virran puoliintumisaika on 350 μs , ja syöksyvirta nousee huippuarvoon 10 μs :ssa.



Kuva 6.1 Tyypin 1 ylijännitesuojan virta-aalto (4, s. 2).

Tyypin 2 ylijännitesuojat eli keskisuojat testataan standardin IEC 61643-1 mukaisella nopeammalla (8/20) μs :n testipulssilla (kuva 6.2), joka on kytkentätransientin mukainen nousunopeudeltaan ja pulssimuodoltaan.



Kuva 6.2 Tyypin 2 ylijännitesuojan virta-aalto (4, s. 2).

Signaali- ja tietoliikenneväylien suojat testataan myös (8/20) μs :n pulssilla, mutta lisäksi ne testataan vielä nopeammalla jännitepulssilla, jonka nousunopeus on 1 kV/ μs .

Valmistaja ilmoittaa ylijännitesuojalle esimerkiksi merkinnät:

- nimellipurkausvirta I_{sn} (8/20) μs 20 kA
- max. purkausvirta I_{smax} (8/20) μs 40 kA.

Tällöin pitää suojan kestää testissä 20 kA:n (8/20) μs :n testipulssi vähintään 15 kertaa ja 40 kA:n purkausvirta vähintään 2 kertaa.

Kertakäyttöisiä eivät suojat siis ole, jos purkausvirrat pysyvät suojilla ilmoitettujen testausarvojen rajoissa. Kaksi purkausvirrasta johtuvaa seikkaa, vaikuttaa suojien ylijännitekestoisuuteen, virran huippuarvo ja suojan läpi kulkeva energia. (3, s. 134–135.)

7 Yhteenveto

Insinööriyössä tutustuttiin ylijännitteiden syntyyn ja niiltä suojautumiseen oikeanlaisilla ylijännitesuojilla. Ylijännitesuojaukseen on alettu kiinnittää enemmän huomiota viime vuosina, koska herkkien ja arvokkaiden elektroniikkaa sisältävien laitteiden määrä on kasvanut huomattavasti. Erityisen herkkiä ylijännitevaurioille ovat laitteet, jotka on liitetty sekä tele- että sähköverkkoon, ja tällaiset laitteet ovat nykypäivää. Mitä pidemmälle elektroniikkalaitteita kehitetään, sitä heikommin ne kestävät ylijännitteitä ja ylijännitteistä aiheutuvat laitevauriot yleistyvät. Vakuutusyhtiöt korvaavat yleensä elektroniikkalaitteiden käyttäjien kärsimät laitevahingot, mutta vakuutukset eivät useinkaan kata ohjelmistovahingoista ja seisokkiajoista johtuvia huomattavia taloudellisia tappioita.

Laitteet kehittyvät nopeampaa tahtia kuin kiinteistöjen sähköverkoja uusitaan, joten kiinteistöjen ylijännitesuojaus jää herkästi jälkeen laitteiden suojaamiseksi vaadittavasta tasosta. Laitteilta vaaditaan tiettyä sisäistä kestävyyttä ja varmuutta siitä, että ne kestävät ylijännitesuojilla varustetussa verkossa. Viime vuosien kokemukset ovat kuitenkin näyttäneet, että Suomen olosuhteissa alimman testaustason täyttävät uuden tyyppiset telelaitteet eivät kuitenkaan kestä kunnolla. Ylijännitesuojausta tulisikin korostaa kohteissa, joissa tiedetään käyttäjän panostavan ylijännitevaurioille herkkiin laitteisiin.

Työtä voisikin vielä jatkaa ylijännitesuojauksen riskianalyysillä, eli selvitettäisiin millaisessa tapauksessa kattavan ylijännitesuojauksen toteuttaminen on kannattavaa. Selvitettäisiin esimerkki kohteen avulla, kuinka suuret taloudelliset vahingot saattaisi aiheutua ilman ylijännitesuojausta ja kuinka suurella todennäköisyydellä näin kävisi. Laskettaisiin ylijännitesuojauksen aiheuttamat kustannukset ja selvitettäisiin onko suojauksen sijoittaminen kannattavaa. Jos kattavan suojauksen toteuttaminen olisi kannattamatonta, voitaisiin selvittää, minkä tasoinen suojaus olisi kannattava toteuttaa.

Työn lopputuloksena syntyi eri lähteistä kasattu yhtenäinen tietopaketti, jonka avulla sähkösuunnittelija voi tutustua ylijännitesuojaukseen.

Lähteet

- 1 Aro Matti, Elovaara Jarmo, Karttunen Matti, Nousiainen Kirsi, Palva Veikko. Suurjännitetekniikka 568. Jyväskylä: Otatieto / Yliopistokustannus, 2003.
- 2 Trabtech Basics, Perustietoa ylijännitesuojauksesta. Saksa: Phoenix Contact Oy, 2007.
- 3 Annanpalo Jaakko, Ikävalko Mauri, Koponen Jarmo, Ristilä Juha, Taimisto Samuli, Tertsunen Sirpa, Tiainen Esa, Tuomi Tapio. Rakennusten ylijännite- ja ukkossuojaus. Espoo: Sähköinfo Oy, 2005.
- 4 Ylijännitesuojat, OVR valintaopas. Vaasa: ABB Oy, 2006.
- 5 Häiriösuojaus. Espoo: Sähköurakoitsijaliiton Koulutus ja Kustannus Oy, 1991.
- 6 Bovellan Kari, Hakanen Pertti, Heikkilä Jorma, Kapp Henri, Kivekäs Seppo, Kousa Pertti, Poikonen Pasi, Sahlström Tapani, Tummavuori Juha. Varmennetut sähköjakelujärjestelmät, ST-käsikirja 20. Espoo: Sähköinfo Oy, 2005.
- 7 Ylinen Timo. Uuden talon ukkossuojaus. Sähköala Koti 2008, s. 18–19.
- 8 SFS-Käsikirja 600, Pienjännitesähköasennukset ja sähköturvallisuus 2007. Helsinki: Suomen standardisoimisliitto SFS ry, 2007.
- 9 Tiainen Esa, Suonuutti Reino, Määttänen Taisto, Järvinen Raimo, Tahvanainen Jorma, Kuusela Jorma, Kara Reijo, Martikainen Lasse, Kontas Osmo, Turpeinen Tiina, Piipponen Hannu, Sauna-aho Sinikka, Kiiskinen Esko, Mattila Juho. Sähköasennukset 1. Espoo: Sähköinfo Oy, 2006.

- 10 Hieta-Wilkman Sinikka, Ikävalko Mauri, Jumpponen Eino, Kovalainen Sulo, Männistö Matti, Roine Raimo, Rauhala Hannu, Salo Touko, Seesvuori Reino, Sulonen Risto, Taimisto Samuli, Tiainen Esa. Sähköasennukset 2. Espoo: Sähköinfo Oy, 2006.
- 11 Pääluettelo Automaatio- ja sähkökomponentit. Ylijännitesuojat. (WWW-dokumentti.) Klinkmann. Legrand.
<<http://www.klinkmann.com/local/fin/catalogue/index.htm>>. Luettu 5.5.2009.
- 12 Hager, Pääluettelo 2009-2010. UTU Powel Oy.