

## 4 LIIGPINGEKAITSE

### 4.1 Liigpinge

#### 4.1.1 Liigpinge liigid

Elektripaigaldiste tööd häirida võivad liigpinged liigitatakse kestuse järgi

- **transientliigpinged** (ingl. *transient* – üleminev, mööduv). Need on impulsilise iseloomuga, ja kestavad tavaliselt mõne millisekundi. Ohtlik on kõrge amplituud.
- **ajutised liigpinged**. Need avalduvad võrgusagedusliku sumbuva või mittesumbuva vahelduvpingena. Ohtlik on nende kestus, mis sõltub kaitseseadme rakendamis-kiirusest:
  - kiiretoimelise liigvoolu-, maaühendus- ja puutepingekaitse olemasolul enamasti alla 5 sekundi
  - kaitses puudumisel kuni mõnikümmend minutit

#### 4.1.2 Transientliigpinge

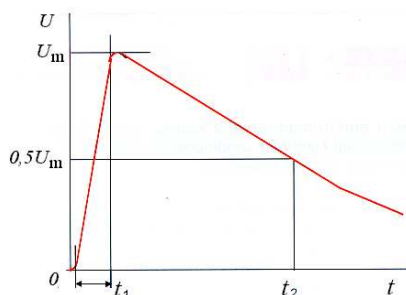
Tekke järgi liigitatakse transientliigpinged

- **pikse- ehk välguliigpinge**, mis tekib
  - pikselöögist hoonesse, kus paigaldis asub
  - lähedal toimuva välgulahenduse elektrostaatilise ja elektromagnetilise induktsiooni mõjul
- **lülitusliigpinge**, mis tekib
  - induktiivahela väljalülitamisel
  - lahenduslampide süüturi rakendusel
  - jõuelektroonika kommutatsiooniprotsessis, kui elektromagnetilisi häireid vältiv filter ei toimi
- **elektrostaatiline liigpinge**, mis tekib elektrostaatilise laengu lahendumisel

Madalpingepaigaldistes võib tippväärtus küündida

- pikseliigpingel mõnekümne kilovoldini
- lülitusliigpingel mõne kilovoldini
- elektrostaatilisel liigpingel mõnekümne kilovoldini. NB! See ei levi juhtide ega elektromagnetvälja kaudu vaid laadunud materjali ja inimese kontaktvahendusel

Transientliigpingeimpulss võib olla mitmesuguse kujuga ja koosneda osaimpulsidest. Aparaatide liigpingetaluvuse määramiseks vaadeldakse impulssi standardsena. Standardimpulssi iseloomustavad (vt. joonis 4.1.1) amplituud  $U_m$ , frondi kestus  $t_1$  ning poolväärtusaeg  $t_2$  – aeg impulsi algusest hetkeni, mil pinge on vähenenud pooleni impulsi amplituudist. Impulsi kuju esitatakse lühidalt murruna  $t_1/t_2$ , näiteks 1,2/50 ( $\mu\text{s}$ ).

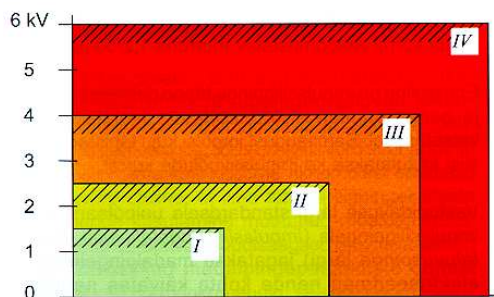


Joon. 4.1.1 Standardimpulss

### 4.1.3 Elektriseadmete liigpingetaluvus

Impulssliigpingetaluvuse järgi jagatakse madalpingeseadmed nelja kategooriasse. Joonisel 4.1.2 on esitatud see jaotus kui võrgu nimipinge on 230/400 V.

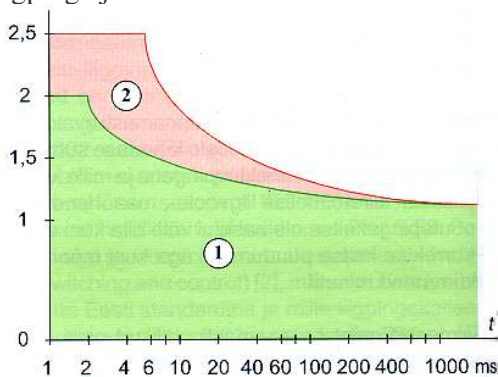
- I kategooria – erikaitset nõudvad liigpingetundlikud seadmed, eelkõige mikroelektroonika – 1,5 kV
- II kategooria – erikaitset mitted nõudvad kohtkindlasse võrku ühendatud tarvitid, näiteks kodumasinad, käsitööriistad – 2,5 kV
- III kategooria – kohtkindlad tööstustarvitid, tarbija võrk – 4 kV
- IV kategooria – liitumispunkti seadmed, sh. arvestid – 6 kV



Joon. 4.1.2 Impulssliigpingetaluvuse kategooriad nimipingel 230/400 V

Kui nimipinge on 400/690 V, siis on nõutav impulsspingetaluvus ühe astme võrra kõrgem, vastavalt 2,5, 4, 6 ja 8 kV.

Madalpingeliste aparaadikoostete standard EVS-EN 60439-1:2001 nõuab, et tüüpse aparaadikooste töövõime säiliks, kui suhteline aperioidiline liigpinge jääb allapoole joonisel 4.1.3 esitatud alumist kõverat (alasse 1), kuid kooste võib kaitsega välja lülitada kui suhteline liigpinge jääb alasse 2.



Joon. 4.1.3 Aparaadikooste nõutav vastupidavus

### 4.1.4 Ajutine liigpinge

Madalpingevõrgus võib ajutine liigpinge tekkida

- võrku toitva trafo kõrgepingepoolel tekkival maaühendusel
- TN-võrgu neutraal- või kaitsejuhi katkemisel
- IT-võrgu maaühendusel
- pingeresonantsi puhul
- pingeregulaatori rikke puhul

Ajutine liigpinge ei ületa nimipinget enamasti üle 1,5...2,5 korra. Seetõttu on oht vaid pikaajalise toime puhul. Kaitseks kasutatakse kaitselülitit liigpingevabastit või väljalülitamist liigpingereleega.

## 4.2 Pikseliigpingekaitse

### 4.2.1 Kaitse vajadus

Pikseliigpingekaitse on vajalik kui

- kasutusel on liigpingetundlikke tarviteid
- paigaldist toidetakse õhuliini kaudu või õhuline sisaldavast võrgust
- paigaldis sisaldab ise õhuline
- kui äikesepäevi on aastas 25 või enam

Eestis on äikesepäevi 14...22. (Lõunapoolkeral võib neid kohati olla 180).

Kuivõrd praktiliselt kõikjal kasutatakse liigpingetundlikke tarviteid, nagu arvuti, mikroprotsessoreid sisaldavad masinad, olmeelektroonika, siis tuleb kõigis uutes tööstus- ja ärihoonetes ning elamutes pidada pikseliigpingekaitset hädavajalikuks.

### 4.2.2 Piksekaitseklass ja tekkida võiv liigpinge

Piksekaitseklass määratakse projekteerimisel riskiarvutuse alusel. Selle järgi eristatakse neli piksekaitseklassi:

Nõutav efektiivsus	Piksekaitseklass
>0,98	I + lisameetmed
0,95...0,98	I
0,90...0,95	II
0,80...0,90	III
< 0,80	IV

Nõutava piksekaitseklassi järgi valitakse piksevarraste, kaitsevõrkude paigutus ja mõõtmed ning tehakse kindlaks, kas kaitstav hoone mahub kaitsetsooni.

Piksekaitseklass määrab ka välgu arvutuslikud tunnussuurused (vt. tabel):

Välgu tunnussuurus	Tähis	Ühik	Arvväärtus olenevalt piksekaitseklassist		
			I	II	III ja IV
Voolu tippväärtus	$i_m$	kA	200	150	100
Kogulaeng	$Q$	C	300	225	150
Impulsilaeng	$Q_{imp}$	C	100	75	50
Erienergia (Joule'i integraal)	W/R	MJ/Ω	10	5,6	2,5
Voolu keskmine suurenemiskiirus	di/dt	kA/μs	200	150	100

Kuna elektripaigaldise maandustakistus on tavaliselt vahemikus 1 ... 5 Ω, siis arvutuslikult võib maandusel tekkida liigpinge

$$u_m = i_m \cdot R_A = (100...200) (1...5) = 100...1000 \text{ kV.}$$

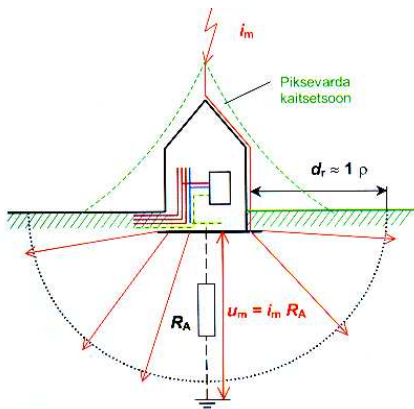
Sama liigpinge tekib ka peapotentsiaaliühtlustuslatil ja kaitsejuhil (vt. joonis 4.2.1).

Välguvoolu maassevalgumisala ulatuses ja maaaluste metalliliste ühenduste (torustike, kaabli-mantlite jm) kaudu võib liigpinge galvaaniliselt kanduda ka naaberehitistesse. Sõltuvalt pinnase eritakistusest (kui see pole üle 500 Ωm, s.t kui pole liiv, paas, kruus, graniit või kuiv betoon) võib kandumiskaugus olla kuni 500 m.

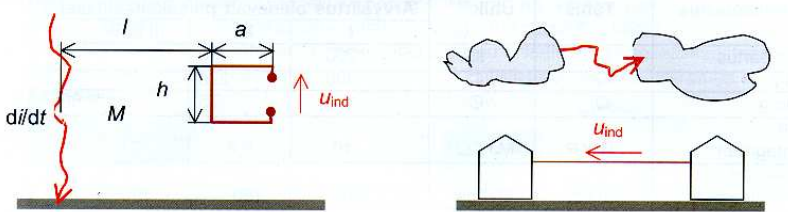
Liigpinge võib kanduda hoonesse ka elektromagnetilise induktsiooni teel. Elektriühis või vooluahelas indutseeruv liigpinge

$$u_{ind} = M (di/dt),$$

kus  $M$  on välgukanali ja vaadeldava juhi vastastikune induktiivsus. Vt. joonis 4.2.2.



Joon. 4.2.1 Liigpinge tekkimine maanduspaigaldisel ja peapotentsiaaliühtlustuslatil pikselöögi korral hoone piksekaitsesüsteemi



Joon. 4.2.2 Liigpinge indutseerumine välguvoolu toimel

Välguvoolu muutumise kiirus on vahemikus 2...200 kA/μs.

Ettekujutuseks: kui välg, mille muutumiskiirus on 200 kA/μs, lööb maasse 100 m kaugusel ja kui joonisel kujutatud elektri ahela mõõtmed  $a = h = 0,1$  m, on ahelas indutseeritud pinge amplituudväärtus 4 kV.

Ohtlikku liigpinget võivad indutseerida ka rõhtsad pilv-pilv-välgud.

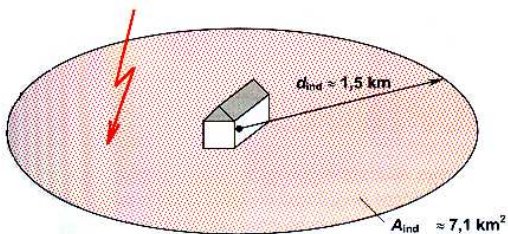
Mikroelektronikale ohtlikku liigpinget võib indutseerida pilvede ja maa vaheline pikselahendus kuni 1,5 km kaugusel ehitisest (vt. joonis 4.2.3) või pilvedevaheline lahendus kuni 1,5 km kõrgusel.

Järeldus: ka Eestis on pikse otsesest ja kaudselt toimest põhjustatud liigpinge esinemissagedus sedavõrd suur, et liigpingetundlike seadmete kaitse on hädavajalik. Eriti siis kui arvutid ja sideseadmed on pidevalt sisselülitatud.

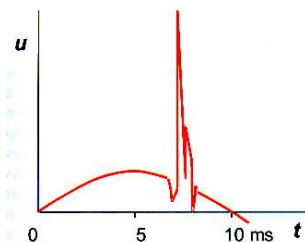
## 4.3 Kaitse lülitusliigpinge ja ajutise liigpinge vastu

### 4.3.1 Induktiivsuse väljalülitamine

Eriti suur liigpinge tekib kaitse rakendamisel lühisvoolu tõttu (vt. joonis 4.3.1).



Joon. 4.2.3 Mikroelektronikale ohtlikke liigpingeid indutseerivate pilv-maa pikselöögide haardeala



Joon. 4.3.1 Sulavkaitsme rakendamisel tekkiv liigpinge

Lülitusliigpinge amplituud on oluliselt (mitu suurusjärku) väiksem kui pikseliigpingel. See ei ületa tavaliselt 3...4-kordset võrgupinge amplituudväärtust. See enamasti ei kahjusta juhistiku ega tugevooluseadmete isolatsiooni, kuid võib osutada ohtlikuks mikroelektroonikale.

Elu- ja büroohoonetes jäävad lülitusliigpinged enamasti II liigpingetaluvuskategooria piiresse, tööstushoonetes – III. Nende kestus madalpingevõrgus on lühem kui pikseliigpingel, ega ületa mõndakümnet mikrosekundit. Esinemissagedus on enamasti kümneid või sadu kordi suurem. Kaitse annab pikseliigpingekaitse.

### 4.3.2 Võrguriketest põhjustatud ajutised liigpinged

Neutraaljuhiga madalpingevõrgus võib faasipinge suurenda neutraaljuhi katkemisel kuni  $\sqrt{3}$  korda. Liigpingevabasti reageerib sellele mõne kuni mõnekümne minuti pärast. Väiksema kestusega 1,2...1,5-kordne liigpinge võib tekkida naaberfaasi lühise korral. Isolatsiooni ei ohusta see liigpinge vaid selle esile kutsutud liigvoolust põhjustatud kuumenemine. Kütteseadmele ja trafotele ei tee see midagi, küll aga on ohtlik hõõglambile ja mikroelektroonikale.

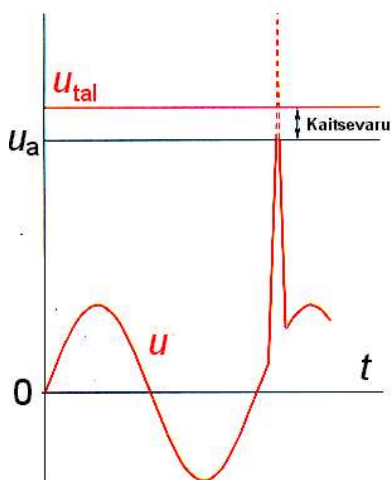
Kaitseks sobib

- releekaitse liigpingereleedega
- liigpingevabastiga kaitselüliti
- pingestabilisaator

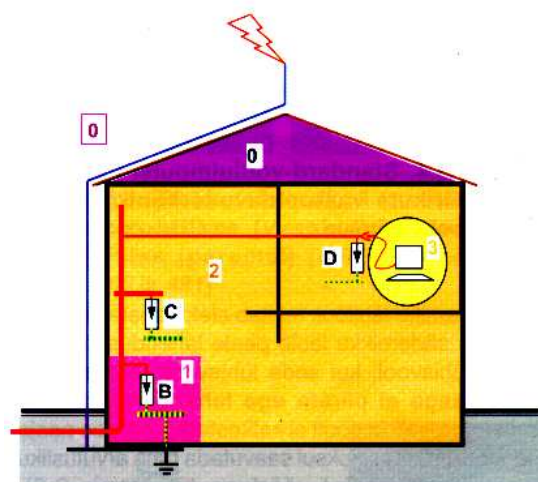
## 4.4 Liigpingepiirid

### 4.4.1 Üldist

Liigpingepiirid peavad piirama pinget selliselt, et transientliigpingeimpulsi amplituudväärtus ei ületaks kaitstava seadme impulssitaluvust (vt. joon. 4.1.2). Selleks peab pingepiiriku rakendumispinge olema teatava varuga (joonis 4.4.1).



Joon. 4.4.1 Pingepiiriku rakendumisvaru



Joon. 4.4.2 Hoone jaotamine liigpingekaitsetsoonideks

Talituspõhimõttelt liigitatakse

- piirid, milles pinge tõusul üle teatava kriitilise pinge – rakendumispinge – tekib elektriline lahendus; sellised **liigpingelahendid** koosnevad ühest või mitmest jadamisi ühendatud **sädemikust**; nende kaitsev toime põhineb ahela eri potentsiaaliga punktide **lühistamisel**

- piirikud, mille aktiivtakistus alates rakendumispingest kiiresti sujuvalt väheneb – **varistoril** ja **laviindiodil** põhinevad piirikud – mis liigpingeahelas toimivad pingejagurina; nende kaitsev toime põhineb **pinge ümberjaotamisel**
- kombineeritud piirikud, mis sisaldavad mõlemat tüüpi elemente

Kasutuskohaks on

- telekommunikatsiooni- ja andmetöötluspaigaldised
- madalpingepaigaldised
- kõrgepingepaigaldised

Eri paigalduskohtades nõutakse piirikult erinevat rakendumispinget, rakendumiskiirust ning vastupidavust piirikut läbiva voolu soojuslikule ja elektrodünaamilisele toimele. IEC eristab nelja **kategooriat**, millele vastavad neli DIN VDE **nõueteklassi**:

- **A kategooria** (IEC) / **klass A** (DIN) – õhuliinides kasutatavad piirikud
- **I kategooria** (IEC) / **klass B** (DIN) – ehitise elektrisisendis paiknevad piirikud, mis on ette nähtud peamiselt IV liigpingekategooriasse kuuluvate seadmete kaitseks
- **II kategooria** (IEC) / **klass C** (DIN) – ehitise jaotusvõrgus, enamasti jaotuskilpides paiknevad piirikud, mis on ette nähtud peamiselt III ja II liigpingekategooriasse kuuluvate seadmete kaitseks
- **III kategooria** (IEC) / **klass D** (DIN) – liigpingetundlike elektritarvitite ja toitevõrgu vahel paiknevad piirikud, mis on ette nähtud peamiselt I liigpingekategooriasse kuuluvate seadmete kaitseks – peenkaitseks.

See on kooskõlas kaitstava ehitise, selle ümbruse ja selle elektriseadmestiku jagamisega **elektromagnetilise ühilduvuse järgi** neljaks **kaitsetsooniks** (vt. joonis 4.4.2):

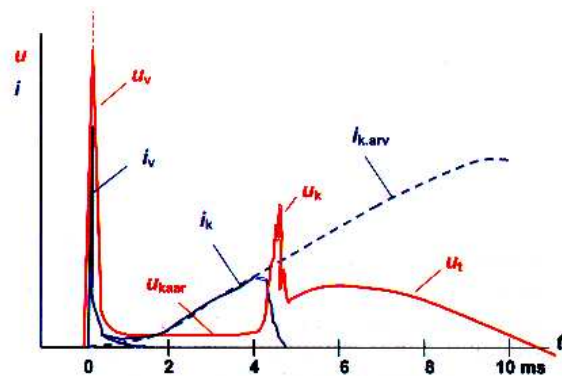
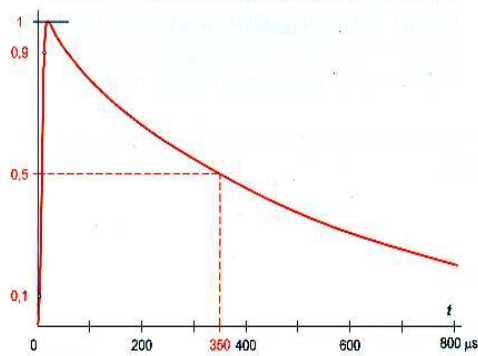
- **tsoon 0**, mis pole kaitstud pikse sisselöögi eest ega ole varjestatud välgu elektromagnetvälja eest – ehitist toitev õhuliin, kõik väljaspool ehitist ja ka katusealune, kui see pole varjestatud
- **tsoon 1**, mis on varjestatud ehitise välisseintega, kuid mida galvaanilise sidestuse tõttu võivad läbida võimsad välguvooluimpulsid
- **tsoon 2**, mis võib haarata üht või mitut ehitise siseruumi; seda tsooni varjestavad lisaks välisseintele ka siseseinad ja vahelaed; selles tsoonis tuleb arvestada nii tsooni 1 liigpingekaitse poolt piiratud liigpingeid kui ka indutseeritud ja lülitusliigpingeid
- **tsoon 3**, mis haarab liigpingetundlike tarvititeid ja mis ise ei genereeri liigpingeid; peale liigpinge peenkaitse kasutatakse selles tsoonis tõhusat elektromagnetilist varjestamist ning juhtmete ja kaablite sellist paigaldamist, et nad ei saaks üksteist elektriliselt mõjutada.

#### 4.4.2 Õhksädemik

Liigpinge piiramine õhksädemikuga põhineb sellel, et kui sädemikule rakendatud pinget ületab teatava kindla hetkväärtuse, mis oleneb elektroodide kujust ja vahekaugusest, tekib elektroodide vahel läbilöök. Seejärel elektroodidevaheline pinget väheneb kaare põlemispingeni. See oleneb lahendusvoolust pöördvõrdeliselt ja on pingepiirikuis enamasti mõnekümnest mõnesaja voldini. Õhksädemikke võib valmistada nii, et nad peavad vastu neid läbivale väga suurele välguvoolule. Sädemiku loomisel lähtutakse standardsest vooluimpulsist amplituudiga 25...100 kA ja lainekujuga 10/350 µs (joonisel 4.4.3)

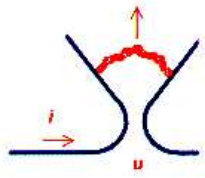
Õhksädemiku läbilöök tekitab elektri ahelas **lühise**. Sädemikku läbib lisaks lahendusvoolule ka ahela lühisvool. Selle piirab elektri kaare takistus. Kui seda ei piirata ega lahendi või

mistahes aparaadiga ei katkestata, võib see poolperioodi (10 ms) jooksul saavutada oma arvutusliku maksimaal- ehk löökväärtuse (vt. joonist 4.4.4). Lahendusvoolule järgneb **järelvool** ehk saatevool. Selle töökindel katkestamine on liigpingepiiriku olulisemaid ülesandeid.



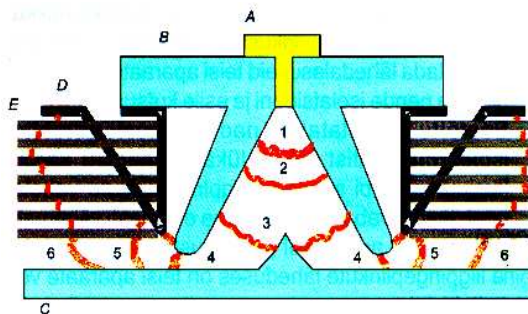
Joon. 4.4.3 Standardne vooluimpulss      Joon. 4.4.4 Õhksädemiku pinge ja vool rakendumisel

Tänapäeval kasutatakse sarvlahendit (joon. 4.4.5).



Joon. 4.4.5 Sarvlahendi

1994. aastal võeti kasutusele elektrikaare tükeldamise põhimõte (*arc chopping*). Selline sädemik (joon. 4.4.6) on kujundatud sarvlahendina, millel on kaarekustutusvõre nagu kaitselülilil. Taoline piirik võib välja lülitada kuni 4 kA enne kui 125 A või suurema nimivooluga sulavkaitse rakendub. Kaaretükelduslahendi piirab liigpingeimpulsi ligikaudu 4 kilovoldini.



- A isolatsioon
- B elektrood
- C alusplaat
- D juhtplaat
- E kaarekustutusvõre
- 1...6 kaare liikumine läbilöögil

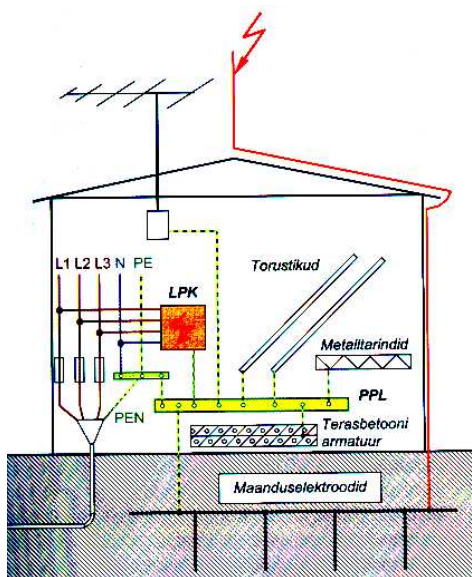
Joon. 4.4.6 Sarv-kaaretükelduslahendi ehitus

Veel uuemad on gaase mitte väljapuhuvad õhksädemikud. Kõiki õhksädemikke iseloomustab

- kiire rakendumine (enamasti alla 100 ns, elektronsüüturite kasutamisel kuni 1 ms)
- suhteliselt kõrge rakendumispinge (kuni mõni kV) ja madal lahenduspinge (mõnikümmend kuni mõnisada volti)
- suur järelvool, mis enamasti võrdub lühisvooluga ja mis mõnikord katkeb alles nullväärtuse läbimisel
- lekkevoolu puudumine.

Õhksädemikke kasutatakse B klassi kuuluvates piirikutes. Nad tagavad pikseliigpingete tekkel tõhusa potentsiaaliühtlustuse. Nad paigutatakse enamasti hoone elektrisisendisse peapotent-

siaaliühtlustuslati vahetusse lähedusse (vt. joonis 4.4.7). Kuna peapotentsiaaliühtlustuslatt on maandatud, nimetatakse seda ka peamaanduslatiks.



LPK – liigpingepiirikute komplekt  
PPL – peapotentsiaaliühtlustuslatt

Joon. 4.4.7 Õhksädemikel põhinevate B klassi kuuluvate piirikute paigutuskeem piksekaitsega varustatud hoone elektrisisendis.

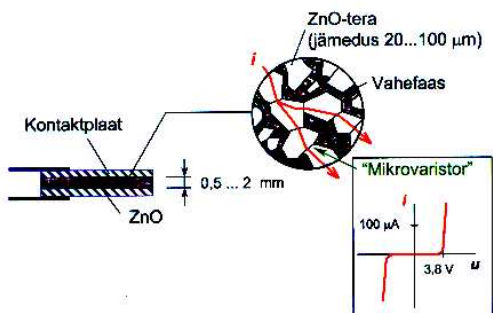
#### 4.4.3 Varistor

Varistoriks nimetatakse takistit, mille takistus sõltub pingest. Varistori vool

$$i = k \cdot u^\alpha,$$

kus  $\alpha = 5 \dots 8$  ränikarbiidvaristoril, mis on kasutusel 1930. aastast ja  $\alpha = 30 \dots 70$  tsinkoksiidvaristoril, mis on kasutusel 1970. aastast ja mis on elektroonika-seadmete tõhusaks kaitseks liigpingete eest.

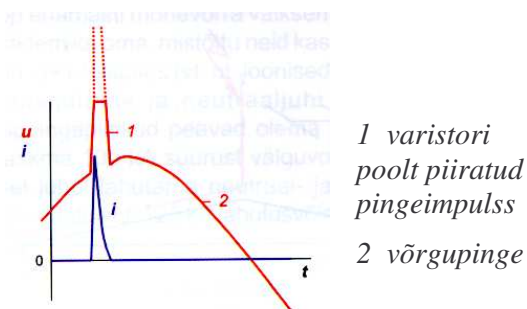
Tsinkoksiidvaristori ehitus ja tunnusjoon on joonisel 4.4.8.



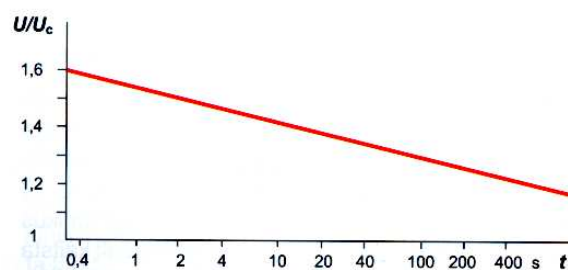
Joon. 4.4.8 Tsinkoksiidvaristori ehitus ja tunnusjoon

Tsinkoksiidi iga kahe tera kokkupuutepind moodustab elementaarse mikroskoopilise pooljuhtdiodi, mille pinge-voolu-tunnusjoon on järsu murdepunktiga 3,8 V juures ning sümmeetriline koordinaatide alguse suhtes. Vajaliku nimipinge määrab oksiidikihi paksus, pindalast sõltub läbilastav vool. Varistori rakenduspinge on tunduvalt väiksem kui õhksädemikel ja seetõttu on tarvitite kaitse liigpinge eest tõhusam. Liigpingeimpulsi möödumisel suureneb varistori takistus kiiresti oma esialgse väärtuseni. Seetõttu ei saa tekkida õhksädemikule iseloomulikku lahendusvoolule järgnevat lühisvoolu (vt. joonis 4.4.9).





Joon. 4.4.9 Varistori pinge ja vool liigpingepulsi korral



Joon. 4.4.10 Tsinkoksiidvaristori liigpinge talumise näide.  
 $U_c$  maksimaalne lubatav kestevpinge

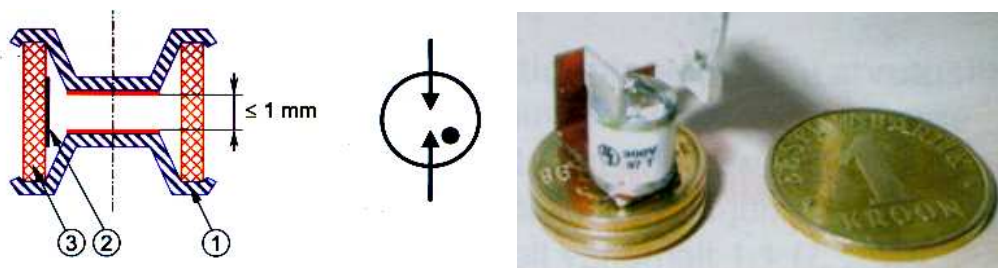
Varistor võib taluda impulssvoolu  $8/20 \mu\text{s}$  kuni  $50 \text{ kA}$ , neelata energiat  $10 \text{ J}$  ja talitleda kestval võimsusel kuni  $5 \text{ W}$ . Varistor ei talu kauakestvat ajutist liigpinget, tekkiva vooluga ta kuumeneb üle ja põleb läbi. Ajutise liigpinge talumist iseloomustab joonis 4.4.10.

Võrgupingel on varistori lekkevool enamasti vahemikus  $1 \dots 500 \mu\text{A}$ . Seega ei mõjuta ta rikkevoolukaitse talitlust. Ajutise liigpinge vastu kasutatakse varistor-liigpingepiirikul sisseehitatud termokaitset.

Varistore kasutatakse C klassi liigpingepiirikutes. Need paigaldatakse hoonesisese võrgu jaotuskilpidesse (tsooni 2 joonisel 4.4.2). Väga levinud on ka kombineeritud teiste liigpingekaitse-elementidega D klassi kuuluvates liigpingepiirikutes tundlike tarvitite ees (tsoonis 3) ja elektroonikaaparaatide siseahelates.

#### 4.4.4 Vääriskaaslahendid

Sisuliselt on see õhksademik mis paikneb neooni või argooniga täidetud hermeetilises kapslis. Joonisel 4.4.11 on kaheelektroodilise lahendi ehitus ja tingmärk ning  $900 \text{ V}$  rakenduspingega lahendi välisvaade.

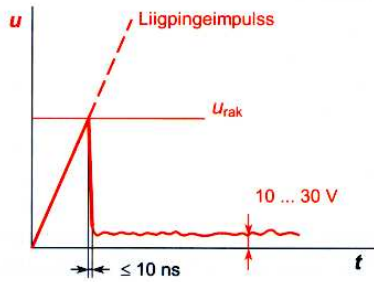


Joon. 4.4.11 Vääriskaaslahendi ehitus, ja tingmärk ning  $900 \text{ V}$  rakenduspingega lahendi vaade.

- 1 aktiveeritud pindkihiga lame elektrood
- 2 lahenduse teket hõlbustav metallriba
- 3 keraamiline või klaasilinder

Vääriskaaslahendi nimirakenduspinge on enamasti vahemikus  $70 \text{ V} \dots 15 \text{ kV}$  ning nad võivad taluda  $2,5 \dots 10 (\dots 60) \text{ kA}$  vooluimpulsse  $8/20 \mu\text{s}$ . Ta on kalibreeritud täpselt ja tänu elektroodide aktiveeritud pindkatele tekib mõne nanosekundiga huumlahendus, mis kohe läheb üle kaarlahenduseks (vt. joonis 4.4.12).

Kaarlahenduse ajal on pinge lahendil vaid  $10 \dots 30 \text{ V}$ , mis tagab elektroonikaahelatele tõhusa kaitse.



Joon. 4.4.12 Väärisgaaslahendi rakendumisprotsess.

$u_{rak}$  lahendi rakendumispinge

IEC normi kohaselt on väärisgaaslahendi isolatsioonitakistus vähemalt  $100\text{ M}\Omega$  ja mahtuvus alla  $20\text{ pF}$ . Tagatud on lahendiga ühendatud juhtide omavaheline galvaaniline eraldus.

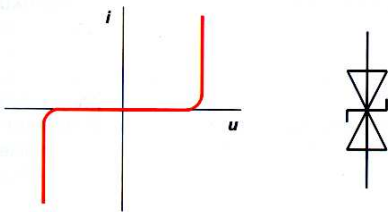
Kasutatakse enamasti kombineeritult D klassi kuuluvates liigpingepiirikutes.

#### 4.4.5 Laviindiood

Madalpingepaigaldiste liigpingepiirikutes kasutatakse ka laviin-pooljuhtdioode. Vahelduvvoolu korral kasutatakse sümmeetrilisi laviindioode. Nende tunnusjoon sarnaneb varistori omale, kuid on veel järsem (joonis 4.4.13).

$$i = k \cdot u^\alpha,$$

kus  $\alpha = 40 \dots 100$ .



Joon. 4.4.13. Sümmeetrilise laviindioodi tunnusjoon ja tingmärk

Laviindioodi suurim eelis on rakendumiskiirus alla  $100$  pikosekundi. ( $1\text{ ps} = 10^{-12}\text{ s}$ ). Tunnusjoon on väga täpne ja püsiv, energianeelamisvõime aga väike, lubatav impulssvool vaid mõnikümmend amprit.

#### 4.4.6 Üldnõuded liigpingepiirikutele

Piirikud peavad normaaltalitusel vastama IEC normidele, sealhulgas

- rikkematult vastu pidama keskkonna toimele
- olema varustatud korrasoleku ning rakendumisvalmiduse signaalseadisega
- olema varustatud rikkemisel rakenduva signaalseadisega
- olema otsepuute- ja tuleohutu
- põhjustama vaid väikese lekkevoolu.

Varistore, väärisgaaslahendeid ja laviindioode sisaldavad piirikud on enamasti varustatud optilise signalisatsiooniga. Näiteks teavitatakse töökorrasolekust roheline, rikkemisest punase valgusdiodiga, sageli koos helisignaalliga.

B ja C klassi pingepiirikutel on sisseehitatud elektrotermiline ja/või elektrodünaamiline kaitseseadis, mis piiriku ahela katkestab, kui piirikut läbiv vooluimpulss ületab oma enimalt lubatud väärtuse. Sel juhul lülitub ümber piiriku signaalseadis.

#### 4.4.7 Vahelduvvoolupaigaldiste liigpingepiirikute põhinäitajad

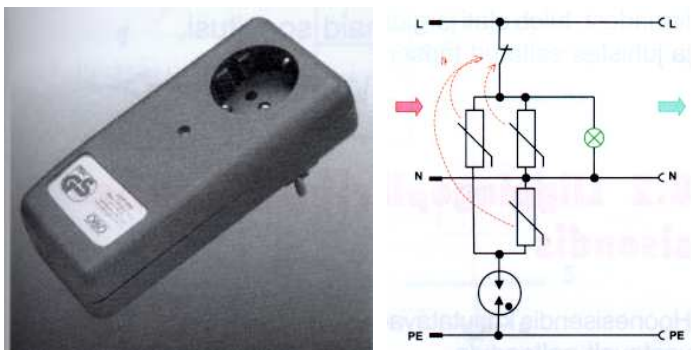
- **nimipinge**  $U_n$  – võrgu nimipinge, mille jaoks piirik on ette nähtud, näiteks 230/400 V; enamasti määratletakse nimipingena võrgu faasijuhhi pinge neutraali suhtes  $U_0$
- **suurim lubatav talitluspinge (piiriku arvutuslik pinge)**  $U_c$  – pinge suurim efektiivväärtus, mille juures piirik kestvalt, rakendumisvalmilt ja kahjustamatult võib talitleda; juhustiku tüübist sõltuvalt on see 1,1...1,73  $U_0$ ; seejuures peab ta kahjustamatult taluma ajutisi liigpingeid
- **rakendumispinge**  $U_a$  – pinge hetkväärtus piirikul vahetult enne rakendumist; sädemikuta piirikutel loetakse rakendumiseks hetke, mil piirikut läbiva voolu aktiivkomponendi tippväärtus on 1 mA
- **kaitsetase**  $U_p$  – kaitstava seadme klemmidele jääva pinge amplituudväärtus piiriku rakendumisel; see võib olla määratud kas rakendumispingega või piiriku pingelanguga, mis on tingitud piirikut pärast rakendumist läbivast lühisvoolust (vt. joonis 4.4.1); 230/400 V võrgupingel on standardne kaitsetase enamasti 1, 1,2, 1,5, 1,8, 2 või 2,5 kV
- **nimivool**  $I_n$  – suurim lubatav talitusvool, mida võib juhtida läbi piiriku sellekohaselt tähistatud klemmide
- **kestev talitusvool**  $I_c$  – kestev vool läbi piiriku pingel  $U_c$ ; võib olla tingitud lekkevoolust ja piiriku põhielementidega rööbiti ühendatud abiahelatest
- **nimilahendusvool**  $I_{sn}$  – impulssvoolu 8/20  $\mu$ s amplituudväärtus, mille jaoks piirik vastava standardkatsemetoodika järgi on ette nähtud; tavaliselt nõutakse, et piirik oleks võimeline seda voolu vähemalt 20 korda taluma, ilma, et tema parameetrid olulisel määral muutuksid
- **piirlahendusvool**  $I_{sg}$  – impulssvoolu 8/20  $\mu$ s amplituudväärtus, mida piirik peab ilma mehaanilise kahjustuse tekketa kindlalt taluma; see on enamasti vähemalt kaks korda suurem kui nimilahendusvool ning piirik peab olema võimeline seda voolu vähemalt kaks korda taluma, kusjuures teisel rakendumisel võib automaatne lahutusseadis piiriku ahela katkestada
- **arvutuslik välguvool**  $I_{sb}$  – impulssvoolu 10/350  $\mu$ s (joonis 4.4.3) amplituudväärtus, mida välguvoolu ärajuhtimiseks ettenähtud (B klassi kuuluv) piirik peab olema võimeline teatav arv kordi kindlalt ilma mehaanilise kahjustuse tekketa taluma
- **kogu välguvool** – mitmepooluselist liigpingepiirikute komplekti läbiv välguvool; tavaliselt eeldatakse selle ühtlast jagunemist pooluste vahel
- **lahutusvõime**  $I_t$  – võrgusagedusliku arvutusliku lühisvoolu (järelvoolu) efektiivväärtus, mida piirik pingel  $U_c$  on võimeline iseseisvalt lahutama
- **lühisekindlus** – vastupidavus arvutusliku lühisvoolu termilisele ja elektrodünaamilisele toimele, kusjuures piiriku ahelas võivad vastavalt valmistaja juhendeile olla ette nähtud sulavkaitsmed või kaitselülitid.

Piirikuid iseloomustavad ka

- ümbruse lubatav temperatuur, niiskus ja õhurõhk
- nõuded liigvoolukaitsesele
- kaitseaste IP-kood
- sobivus kasutamiseks plahvatusohtlikus keskkonnas

#### 4.4.8 D-klassi piiriku näide

Joonisel 4.4.14 on pistikupesa ja pistiku vahele ühendatava ühefaasilise D-klassi liigpingepiiriku üldvaade ja skeem.  $I_{sn} = 1,8 \text{ kA}$ ,  $I_{sg} = 6,5 \text{ kA}$ ,  $U_c = 275 \text{ V}$ ,  $U_p \leq 1 \text{ kV}$ .



Joon. 4.4.14 Pistikupesa ja pistiku vahele ühendatava D-klassi piiriku üldvaade ja toimimisskeem.  $I_{sn} = 1,8 \text{ kA}$ ,  $I_{sg} = 6,5 \text{ kA}$ ,  $U_c = 275 \text{ V}$ ,  $U_p \leq 1 \text{ kV}$

D-klassi piirikute liigvoolutaluvus on suhteliselt väike ja nende nõuetekohane iga on tagatud vaid siis, kui toitevõrgus enne neid on paigaldatud C-klassi piirikud. Vastasel juhul võivad nad esimese ettenähtust kõrgema liigpingeimpulsi korral rikneda.

#### 4.5 Elektrostaatiline liigpinge

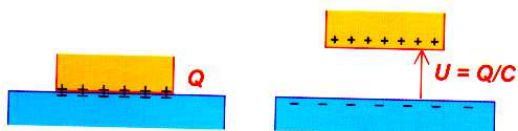
Esimene tehislik elektrinähtus maailmas oli elektrostaatiliste laengute tekitamine merevaigu hõõrumise teel kreeklase Thalese poolt 600 a. e.m.a. Tänapäeval teeb see palju pahandust.

Mikroelektronika tekkega vähenesid isoleervahemikud seal alla kriitilise piiri. Seetõttu nõuavad kõik mikroelektronikat sisaldavad tugevooluseadmed kaitset ka elektrostaatilise liigpinge eest.

Elektrostaatilise laengu ning pinget tekitamiseks/tekkeks on vaja

- kahe eri materjali kokkupuudet
- nende materjalide teineteisest eraldumist pärast kokkupuudet.

Kokkupuutel, kui vahemik väheneb peaaegu molekulide mõõtmeni (0,1...1 nm) võivad ühe materjali aatomid toimida teise materjali elektronidele selliselt, et üks pind annab elektrone ära teisele ja tekib elektriline kaksikkiht, mida iseloomustab kontaktpinge. Kui materjalid teineteisest eemalduvad, võib neid vaadelda kui laetud kondensaatori elektroode. Mida suuremaks läheb pindade vahedkaugus, seda väiksemaks muutub sellise kondensaatori mahtuvus ja seda kõrgemaks järelkult elektrodidevaheline pinge. Pinge tõusu ülempiir on enamasti määratud koroonalahenduse tekkega pinna teravatel nurkadel või muudel väljaulatuvatel osadel. See mehhanism on piltlikult esitatud joonisel 4.5.1



Joon. 4.5.1 Elektrostaatilise laengu ja pinget tekkemehhanism. Kahe eri materjalist keha kokkupuutel tekib laeng  $Q$  ja selle toimel pärast kehade eraldumist kehadevahelise mahtuvusega  $C$  määratud pinge  $U$

Laengu tekkeks polegi vaja pindade hõõrdumist. Hõõre vaid suurendab kontaktpunktide arvu, kokkupuutepinda ja seega ka tekkivat laengut. Materjalide hõõrdkokkupuudet iseloomustab **triboloogiline pingerida**, mille iga kõrgemalseisev materjal laadub alamalnimetatute suhtes positiivselt:

- õhk
- inimese käsi
- asbest
- kassikarvad
- klaas, vilk, inimese juuksed ja muud karvad
- nailon
- vill
- karusnahk
- plii
- siid
- alumiinium
- paber
- puuvill
- teras
- puit
- merevaik
- valuvaigud, kirjalakk, eboniit
- nikkel, vask
- hõbe, messing
- kuld, plaatina
- väävel
- polüeteen
- polüpropeen
- polüvinüülkloriid
- räni
- teflon

Laeng saab pinnal säilida seda kauem, mida suurem on elektriline pindtakistus. Metallil pinnalt kaob laeng seetõttu kiiresti, isoleeraine pinnal võib säiluda väga kaua.

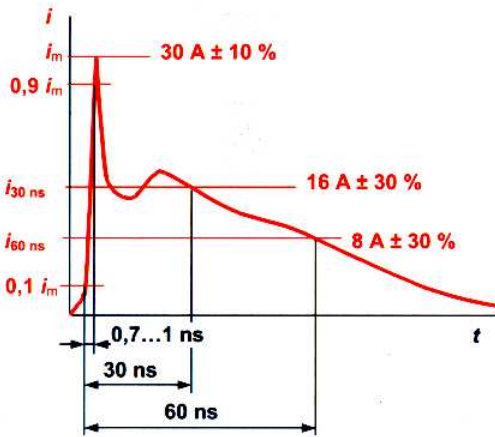
Kui inimene kõnnib polüvinüülkloriidkattega põrandal või istub sünteetilise kattega toolil, võib ta laaduda pingeni 0,2...9 kV. Kõndimine vaipkattel võib inimese laadida pingeni 10...15 (...35) kV.

Inimese mahtuvus on enamasti 100...250 pF. Seega võib temal tekkida laeng 0,02...3,5 mC, mille lahenemisel võib vabaneda energia 0,002...30 mJ, mis on inimesele ohutu. 1  $\mu$ J võib aga pooljuhi ränikihis tekitada 1  $\mu$ m läbimõõduga kraatri. Seetõttu on inimesele kogunenud laengu tühenemisel tekkiv sädelahendus mikroelektroonikakomponentidele ohtlik.

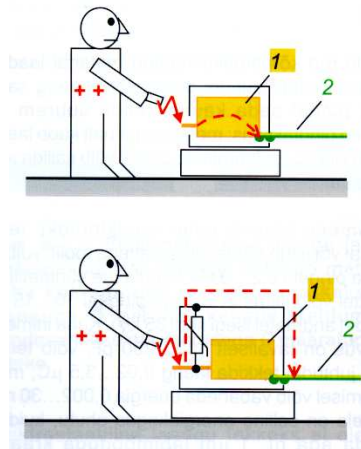
Kui võtta mingi isoleermaterjalist ese välja polüeteen-kilekotist, võib see osutada laetuks pingeni 20 kV.

Inimesele salvestunud laengu lahenemise järgi loodud elektriseadmete katsetamise standardimpulss näeb välja nii, nagu näha joonisel 4.5.2

See impulss on väga lühike, kuid voolu tõus on ülikiire, umbes 100 A/ns. Impulssvõimsus võib küündida mitme kilovatini.



Joon. 4.5.2. Elektrostaatilise õhklahenduse standardimpulss elektriseadmete katsetamisel pingega 15 kV (4. pingetaluvusklass)



Joon. 4.5.3 Elektroonikaseadmete kahjustumine (ülal) ja kaitse elektrostaatilisel lahendusel (all).  
1 liigpingetundlikud osad, 2 kaitsejuht

Mikroelektronikakomponentidega seadme kahjustumise vältimiseks on põhimõtteliselt kaks võimalust:

- vältida laengute teke
- ehitada kaitstavasse elektriseadmesse liigpingepiirik

Laengute teket saab vältida

- piisavalt väikese pinnatakistusega põranda- ja mööblimaterjali kasutamisega
- inimese, tööpaiga ja põranda potentsiaalide ühtlustamisega nt juhtivast kummist ühtlustusjuhtidega
- õhu suhtelise niiskuse suurendamisega üle 80%
- õhu ioniseerimisega
- ajutise meetmena antistaatiliste vedelike või aerosoolide pihustamisega isoleerpindadele, mis võivad põhjustada laengute teket

Kui taolised meetmed ei välti ohtu, varustatakse liigpingetundlikud seadmed sisseehitatud liigpingekaitsega. Selleks kasutatakse enamasti kiiretoimelisi varistore, mille rakendumisaeg on alla 500 ps, või laviindioode.

Kaitse põhimõtte selgub jooniselt 4.5.3.