

## 4.2 Juhistikusüsteemid

**Juhistikeks nimetatakse** juhtide (juhtmed, kaablid, latid) omavahel kokkuühendatud kogumit. Juhistiku töökindlus, häirekindlus, ohutusmeetmete ja kaitseaparatuuri valik sõltuvad suurel määral talitusmaandusest ja elektriohutusmeetmetest, mida rakendatakse kaugpuute puhul.

### 4.2.1 Juhistikusüsteemidest üldse

Madalpingevõrkude juhistikusüsteemide liigitus ja juhtide tähised on määratud rahvusvahelises standardis **IEC 60364-3**, mis kehtib ka Eestis.

Süsteemid erinevad üksteisest selle poolest, kas juhistik on maandatud või mitte ja kas juhistiku juurde kuuluvad pingealtid osad (metalloosad, mis isolatsioonirikke korral võivad sattuda pinge alla) on maandatud kohapeal või ühendatud kaitsejuhi kaudu juhistiku talitusmaandusega.

Süsteeme eristatakse kahetähelise tähisega, millest esimene on toiteallika ja maa vahekorra tähis **I** (pr *isolé*, isoleeritud) või **T** (pr *terre*, maa) ning teisel kohal pingealtide osade kaitsejuhi ühendamisviisi tähis **T** või **N** (pr *neutre*, neutraal).

Praktiliselt esinevad juhistikusüsteemid on **IT**, **TT** ja **TN**. Viimase puhul on võimalikud veel kolm alajuhtumit:

**TN-C** – neutraal- ja kaitsejuht on ühitatud (pr *combiné*, kombineeritud)

**TN-S** – neutraal- ja kaitsejuht on teineteisest eraldatud (pr *separe*, eraldatud)

**TN-C-S** – neutraal- ja kaitsejuht on toiteallikapoolses võrguosas ühitatud, tarvitipoolses osas aga teineteisest eraldatud.

Välja on kujunenud ka järgmised juhtide tähised:

**L1, L2 ja L3** (ingl *live*, pingestatud) – faasijuhid,

**E** (ingl *earth*, maa) – maandusjuht,

**N** (ingl *neutral*, neutraal) – neutraaljuht,

**P** (ingl *protection*, kaitse) – kaitsejuht.




Kui juht täidab mitut ülesannet, on tema tähisest vastavalt mitu tähte:

**PE** – kaitsemaandusjuht

**PEN** – ühitatud kaitsemaandus- ning neutraaljuht (**PEN**-juht).

Juhtide uute nimetuste ja tähistega **kadusid eesti keelest** oskussõnad nulljuht, nullpunkt ja nullimine. Ühefaasilistel seadmetel, kui need ei ole ette nähtud ühendamiseks mingi kindla faasiga, tähistatakse faasijuhte tähega **L**.

Neutraal- ja kaitsejuhtide graafiliseks tähistamiseks, kui see selguse huvides on vajalik, näeb Eesti standard EVS-EN 60617-11 ette järgmised märgid:

 neutraaljuht (**N**)  
 kaitsejuht (**PE**)  
 ühitatud kaitse ja neutraaljuht (**PEN**).

Et juhte saaks paigaldus- ja remonditöödel ka värvi järgi eristada, on juhtide isolatsioonil järgmised tunnusvärvid:

#### Tähistused:

- tööjuhid vahelduvvoolul

**L1- pruun**



**L2 - must**



**L3 - hall**

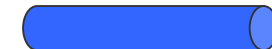


- tööjuhid alalisvoolul

**L -, L+      pruun, must või hall**

- neutraaljuht vahelduvvoolul

**N – helesinine**




- neutraaljuht alalisvoolul

**M - helesinine**



- maandatud kaitsejuht **PE - juht**      **kolla-roheline** suhtega 0,5:0,5
- ühildatud kaitse-neutraaljuht **PEN - juht** **kolla-roheline helesinise** lisatähistusega otsal

*Varem on kasutatud* ka teistsuguseid tähiseid, nagu faasijuhtide tähised *A, B ja C* või *R, S ja T* ning neutraal- ja kaitsejuhi tähis *0*. Maandamata neutraaljuhte on varem tähistatud valge, maandatud neutraaljuhte ja kaitsemaandusjuhte aga musta tunnusvärviga. *Selliste tunnusvärvide kasutamine on praegu keelatud!*

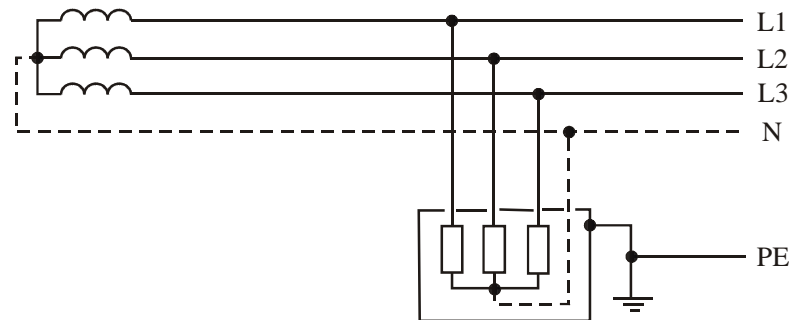
Paigaldiste pingeltid osad maandatakse kaitsejuhi kaudu. Kaitsejuhi ühenduskohta pingelti osaga tähistatakse kaitsemaanduse sümboliga .

Et välistada ohtliku pinge teket pingeltide ja kõrvaliste juhtivate osade (ehitustarindite, torustike) vahel, tuleb ka need ühendada kohapealse (tarbijapaigaldise) maandussüsteemiga ning kaitsejuhiga. Seda võtet nimetatakse **potentsiaaliühtlustuseks** ja see kuulub tähtsamate elektriohutust tagavate lisakaitseviiside hulka. Ehitiste elektrisisendites on ette nähtud **peapotentsiaaliühtlustus** vastava klemmi või klemmlati abil, millega ühendatakse kaitsejuht, maandusjuht, kaablite metallmantlid, torustikud, ehitiste metallosad ja terasbetoontarindite armatuur. Suurtes ehitistes, kus peapotentsiaaliühtlustuse abil on raske haarata kõiki pingeltide ja kõrvalisi juhtivaid osi, kasutatakse veel **lisapotentsiaaliühtlustust**.

### 4.2.2 IT-juhistik

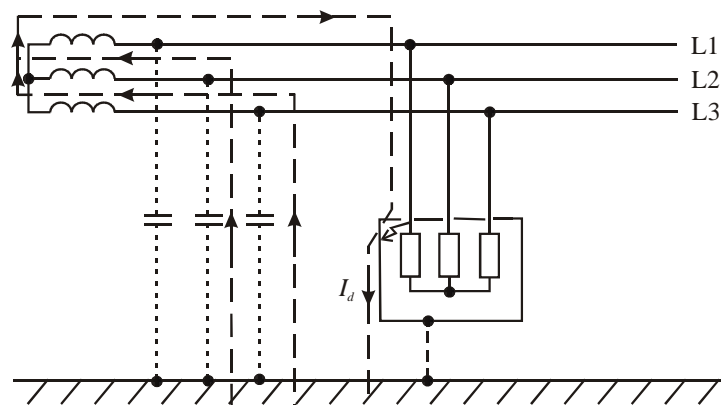
See vanim juhistikusüsteem on enamasti täielikult maast isoleeritud (joonis 4.1), kuid liigpingete ja pingeõnnumiste vähendamiseks võidakse kasutada ka neutraali või (kui neutraal ei ole kättesaadav) ühe faasijuhi maandamist üle suure takisti. *IT*-süsteem soovitatakse kujundada kolmejuhilisena, kuid see võib olla ka neljajuhiline (neutraaljuhiga).

Eestis on *IT*-juhistik kasutusel mõnes vanemas madalpingevõrgus neutraaljuhita ( $3 \times 220$  V) ja maast isoleerituna. *IT*-juhistikust toidetavate elektritarvitite keresid võib maandada igaüht eraldi, grupiviisiliselt või kogu paigaldise jaoks ühise kaitsejuhi kaudu. Kindlaim ja levinuim on viimane variant.



Joonis 4.1 IT-juhistik

***IT*-juhistiku põhieelis** *TT*- ja *TN*-juhistike ees seisneb selles, et ühe faasi maa- või kereühenduse korral (joonis 4.2) on maaiühendusvool määratud teiste faaside mahtuvusega maa suhtes ja jääb mõne kuni mõnesaja milliampri piiridesse.



Joonis 4.2 Kereühendus neutraalita IT-juhistikus

Selline vool ei häiri enamasti elektritarvitite talitlust ega nõua seetõttu ka kahjustatud liini või tarviti viivitamatut väljalülitamist. See suurendab elektrivarustuse töökindlust, mis on eriti tähtis vastutusrikaste elektripaigaldiste puhul.

Kuna maaiühenduse korral tõuseb kahe faasijuhi pinge maa suhtes faasidevahelise pingeni, peab kõigi juhtide isolatsioon maa suhtes olema valitud faasidevahelisele pingele. See tähendab, et näiteks pingel 230/400 V ei saa *IT*-juhistikus kasutada pingele 250 V ettenähtud isoleerjuhtmeid ega kaableid.

Et tagada elektriohutust *IT*-juhistiku maaiühenduse korral, ei tohi pinge alla sattunud pingealtide osade puutepinge minna üle 50 V. Seega tuleb täita tingimus

$$R_A I_d \leq 50V$$

kus  $R_A$  – paigaldise maandustakistus (indeks  $A$  tuleneb saksakeelsest sõnast *Anlage*, paigaldis)  
 $I_d$  – maaühendusvool (indeks  $d$  tuleneb prantsuskeelsest sõnast *defaut*, rike).

Kui maaühendusvool ei ole üle 1 A, võib kaitsemaandustakistus olla kuni 50  $\Omega$ . Taolistel juhtudel ongi tavaliselt kasutatud maandustakistust 10...30  $\Omega$ , mis võimaldab maanduse välja ehitada suhteliselt odavalt. Kui maaühenduskohas on rikkevool üle 0,3 A, võib seal tekkida tuleoht. Tulekahju vältimiseks võidakse tuleohtlike paigaldiste elektriabelais kasutada rikkevoolukaitset standardse rakendusvooluga 300 mA.

Kahe samaaegse maaühenduse korral, mis on võrdväärne kahefaasilise lühisega, on pingeltide osade puutepinge tavaliselt 0,2...0,8 võrgu nimipingest. Kuna selline puutepinge on ohtlik, tuleb rikkekoht kiiresti välja lülitada, mis elektritarvitite tüübist ja muudest tingimustest sõltuvalt võtab aega 1...5 s. Et seda tagada, peab rikkesilmuse (toitetrast, kahest faasijuhist, kaitsejuhist ja kahest maandurist koosneva silmuse) näivtakistus jääma piiridesse

$$Z_s \leq U_n / I_a$$

kus  $U_n$  – nimipinge  
 $I_a$  – vool, mille puhul liigvoolukaitse kindlalt rakendub.

Selle tingimuse täitmiseks peavad maandustakistused olema 4...10  $\Omega$ . Kui rikkesilmus sisaldab kaht maandustakistust, mis on võimalik, kui elektritarvitid on maandatud eraldi või rühmadena, siis võib selle kogutakistus olla sedavõrd suur, et liigvoolukaitse ei rakendu. Seetõttu eelistatakse IT-juhistikes maandamist ühise kaitsejuhi kaudu. Sel juhul koosneb rikkesilmus toitetrasto, faasijuhi ja kaitsejuhi takistusest ega sõltu maandustakistusest. Silmuse näivtakistus peab rahuldama tingimust

$$Z_s \leq U_n / (2I_a),$$

mis ei tekita raskusi.

Neutraaljuhita, maast isoleeritud IT-juhistikus ei saa juhistiku enda rikete tõttu tekkida ajutisi liigpingeid. Liigpinged võivad siiski tekkida võrgu toiteallajaama ülempingepoole maaühendusel. Juhtumil, mil IT-juhistikus on kõrvaldamata maaühendus, on liigpinged oluliselt suuremad, kuigi mitte nii suured, kui teiste juhistike korral.

Et maaühenduse teket kohe kindlaks teha, tuleb IT-juhistik varustada signalisatsiooni- ja mõõteseadmega. Selline seade kontrollib võrgu isolatsioonitakistust ning annab heli- ja valgussignaale maaühenduse tekkimisel või isolatsiooni takistuse vähenemisel alla lubatud väärtuse, milleks enamasti on 15...250 k $\Omega$ . IT-süsteemi töökindluse eelised ilmnevadki ainult siis, kui selles kasutatakse nüüdisaegseid isolatsiooni korrasoleku järelevalve- ja mõõteaparatuuri.

#### 4.2.3 TT-juhistik

Selles juhistikus (joonis 4.3) on neutraaljuht toiteallika juures maandatud, kuid seda ei kasutata kaitsejuhina. Tegemist on *talitusmaandusega*, mis peab tagama, et faasijuhtide pinge maa suhtes nii normaaltalitusel kui rikete korral ei oleks üle faasipinge. Kui toiteallika neutraal ei ole kättesaadav, võidakse selle asemel maandada üks faasijuhtidest. Talitusmaandustakistus  $R_B$  pole normitud, kuid

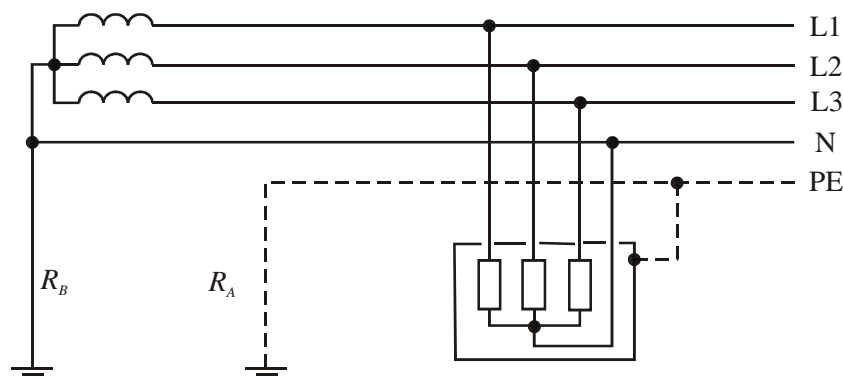
tavaliselt ei ole see üle 100  $\Omega$ . Elektritarvitite kered ja muud paigaldise pingealtid osad maandatakse kaitsejuhi abil, mis on ühendatud kohaliku kaitsemaandusega.

Maaühendusvool on *TT*-juhistikus määratud toiteallika talitusmaanduse ja tarbijapaigaldise kaitsemaanduse takistuste summaga ning on suurem kui *IT*-juhistiku korral. Elektriohutuse tagamiseks ei tohi pinge alla sattunud pingealtide osade puutepinge olla üle 50 V, mistõttu on vajalik, et

$$R_A I_a \leq 50V$$

Siin on  $R_A$  kaitsejuhi ja maanduse kogutakistus ning  $I_a$  vool, mille puhul kaitseaparaat etteantud aja (enamasti 5 s) jooksul kindlalt välja lülitub.

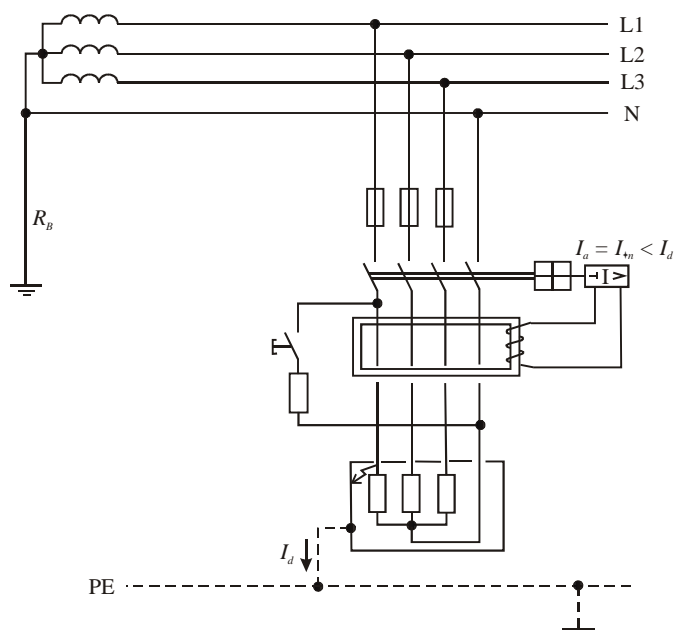
*TT*-juhistikus on maaühendusvool sedavõrd väike, et liigvoolukaitse enamasti ei rakendu. Kui näiteks



Joonis 4.3 TT-juhistik

talitusmaanduse takistus on 100  $\Omega$ , ei saa maaühendusvool kuidagi tõusta üle 5 A. Seetõttu tuleb lisaks liigvoolukaitsele kasutada rikkevoolukaitselülitit (joonis 4.4), mille nimirakendusvoolu  $I_{\Delta n}$  (enamasti 30...500 mA) võib valida kaitsemaandustakistuse järgi.

Maanduse väljaehitamine *TT*-juhistikus ei tekita suhteliselt suure lubatud takistuse tõttu raskusi. Ka rikkevoolukaitse rakendumisaeg, mis vastavate tootestandardite kohaselt on enamasti 0,2 s, rahuldab elektriohutusnõudeid.



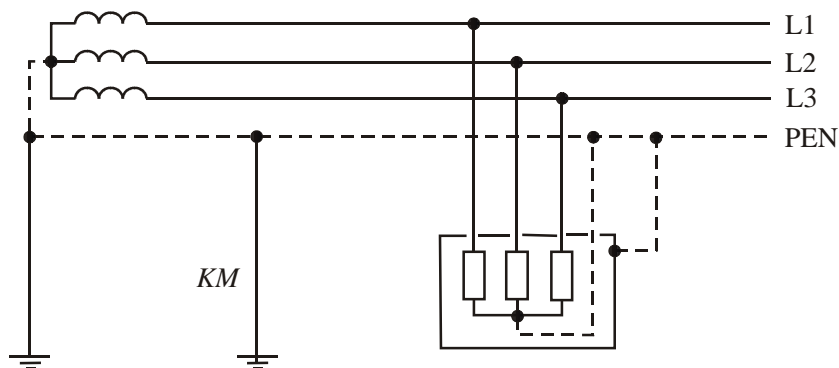
Joonis 4.4 Rikkevoolukaitse kasutamine TT-juhistikus

Ajutised liigpinged võivad *TT*-juhistikus tekkida neutraaljuhi katkemisel. Olenevalt faaside koormusjaotusest võib ühe faasi pinge tõusta kuni faasidevahelise pingeni (suureneda 1,73 korda). Toitealajaama ülempingepoole maaühenduse korral võivad ajutised liigpinged sattuda madalpingetarbijateni neutraaljuhi kaudu ja on suuremad kui *IT*-juhistikus, kuid siiski väiksemad kui *TN*-juhistikus, sest neid vähendab toiteallika neutraali ja tarbija elektripaigaldise pingeltide osade eraldi maandamine.

*TT*-juhistike **suurim eelis** teiste juhistike ees seisneb kõrges elektriohutusastmes, kuna maaühenduskaitkena kasutatakse rikkevoolukaitselüliteid. Puutepinge on *TT*-juhistikus kõrgem kui *TN*-juhistikus ja võib küündida faasidevahelise pingeni. Eestis ei ole *TT*-juhistikud peaaegu üldse kasutust leidnud. Mingil määral on neid esinenud kaevandustes.

#### 4.2.4 *TN-C*-juhistik

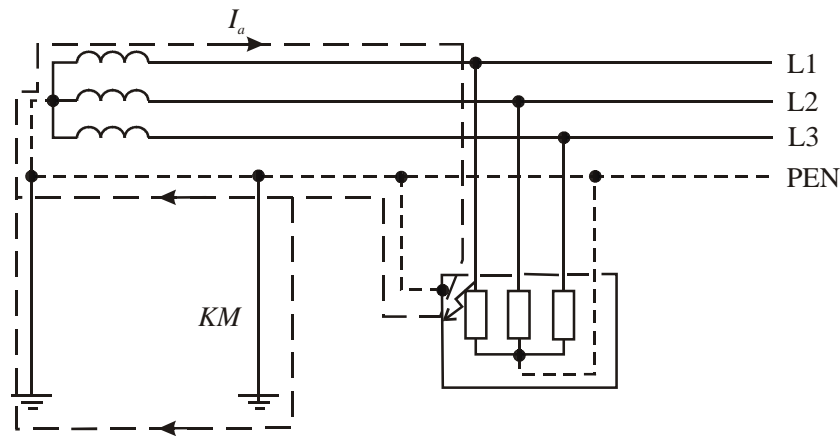
*TN-C*-juhistikus talitleb neutraaljuht nii töö- kui kaitsejuhina ja seda nimetatakse ***PEN*-juhiks** (joonis 4.5).



Joonis 4.5 *TN-C*-juhistik

KM - kaitsemaandus

Iga kereühendus on ühefaasiline lühis (joonis 4.6) ja toob kaasa liigvoolukaitse rakendumise. Kuni kaitse rakendumiseni on pinge elektriseadme kere ja maa vahel võrdne lühisvoolust tingitud pingelanguga *PEN*-juhis. Kui lugeda *PEN*-juhi ja faasijuhi takistus ligikaudu ühesuguseks, on pinge maa suhtes ligikaudu pool juhistiku faasipingest.



Joonis 4.6 Kereühendus TN-C-juhistiku korral

Elektrilöögiohu vähendamiseks peab kaitse rakenduma võimalikult kiiresti. Näiteks kui juhistiku nimipinge maa suhtes  $U_0 = 230 \text{ V}$ , peab kantavate elektritarvitite väljalülitamine toimuma vähemalt 0,4 s jooksul, statsionaarsete tarvitite ning pea- ja rühmatoiteliinide väljalülitamine 5 s jooksul. Kaitse rakendamiseks tuleb täita tingimus

$$Z_s I_a \leq U_0$$

Rikkesilmuse takistus  $Z_s$  koosneb siin toiteallika, faasijuhi ja  $PEN$ -juhi takistusest. Rikkekoha takistus loetakse nulliks ja voolu võimalikku hargnemist maasse ei arvestata. Takistuse arvutamisel tuleb üldjuhul arvestada nii päri- kui ka vastu- ja nulljärgnevusega aktiiv- ja induktiivtakistusi. Takistuse mõõtmisel kasutatakse näivtakistusemõõturit. Linnaelamutes, äri- ja haldushoonete juhistikes on rikkesilmuse takistus 300 mΩ ning maaelamutes ja põllumajanduses 600 mΩ, kusjuures reaktiivkomponendi võib jätta arvestamata. Tööstushoonetes on rikkesilmuse takistus sageli ainult 10 mΩ, milles reaktiivkomponendi osatähtsus on oluline.  $TN-C$ -juhistikus ei saa kasutada rikkevoolukaitset, sest kaitsejuht on ühitatud ühega tööjuhtidest (neutraaljuhiga), rikkevoolukaitse aga eeldab eraldi kaitsejuhet.

$TN-C$ -juhistiku maandus (sisuliselt talitusmaandus) peab tagama väikese, mitte üle 50 V puutepinge. Selleks peab maandustakistus olema mõne oomi suurune. Ühtlasi on välditud elektriseadmetele ohtlike ajutiste liigpingete teke. Liigpinged võivad siiski tekkida juhistiku toitealajaama kõrgpingepoole maaühenduse korral sõltuvalt kõrgpingevõrgu maaühendusvoolust, alajaama kaitsemaandustakistusest ja sellest, kas juhistiku neutraali talitusmaandus on alajaama kaitsemaandusega ühitatud või mitte.

$TN-C$ -juhistiku **põhieelis** teiste juhistike ees seisneb lihtsuses ja odavuses. Samal ajal on tal **olulisi puudusi**. Üks nendest on  $PEN$ -juhi liiga **väike töökindlus**, mis tuleb esile tema väikese ristlõike korral. Seetõttu saab  $TN-C$ -süsteemi kasutada, kui  $PEN$ -juhi ristlõige on (vase järgi) vähemalt 10 mm<sup>2</sup>. Mikroelektronikaaparatuuri võivad häirida  $PEN$ -juhi töövoolust tingitud pingelang ning voolu hargnemine  $PEN$ -juhist kõrvalistesse juhtivatesse osadesse ja maasse. Seetõttu tuleb  $TN-C$ -juhistiku asemel, kui juhistik peab toitma mikroelektronikaseadmeid, kasutada ühildussõbralikumat  $TN-S$ -juhistikku.  $TN-S$ - või  $TT$ -juhistikku ei saa vältida, kui nõutakse rikkevoolukaitse rakendamist.

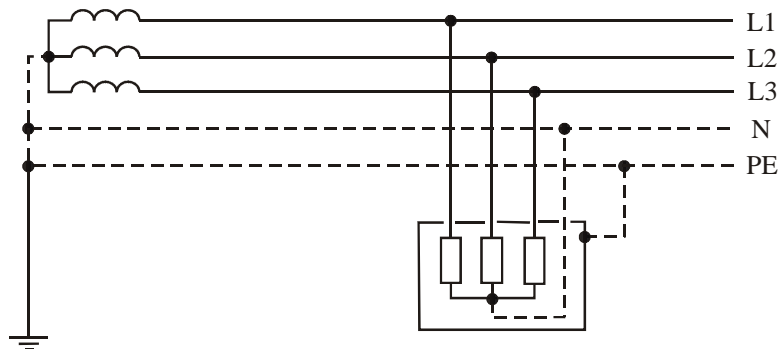
Eestis aastatel 1945...1990 ehitatud elamutes, haldus- ja ärihoonetes, koolides ja mujal on vastavalt tolaegsetele eeskirjadele kasutusel  $TN-C$ -juhistik nimipingega 220/380 V, mis suures osas ei vasta praegu uusehitiste ja renoveeritavate ehitiste kohta kehtivatele eeskirjadele. Tähtsamateks puudusteks on juhtide liiga väikesed ristlõiked, potentsiaaliühtlustuse puudumine, liigvoolukaitse liiga aeglane rakendumine. Puuduseks on ka kahepooluseliste (kaitsekontaktita) pistikupesade kasutamine. Kuna nüüdisaegsed kohamuutlikud elektritarvitid, mis kuuluvad I elektriohutusklassi, on varustatud kaitsekontakti sisaldava pistikuga, mille nimivool on 16 A ja pistiku sõrmede läbimõõt 5 mm, ei saa neid ühendada

vanadesse kahepooluselistes pistikupesadesse, mille nimivool on 6 A ja pisteava läbimõõt 4 mm. Et elektritarviteid siiski võrku ühendada, on hakatud kasutama mitmesuguseid elektriohutuse seisukohast lubamatuid võtteid.

#### 4.2.5 TN-S-juhistik

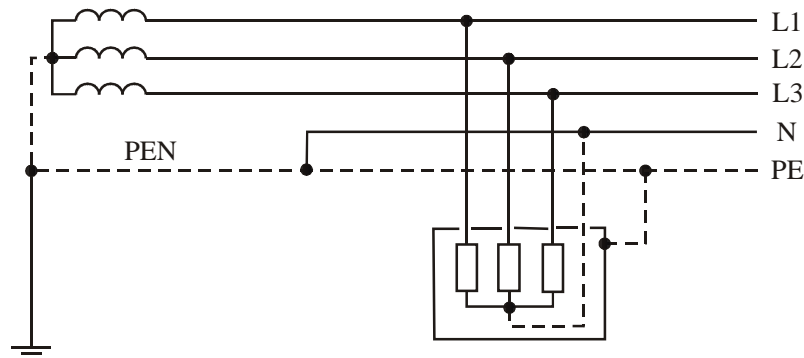
TN-S-juhistikus on kaitsejuht neutraaljuhist eraldatud (joonis 4.7) ja tema pinge maa suhtes on normaaltalitusel kogu juhistiku ulatuses null.

Kuna neutraaljuht on kaitsejuhist isoleeritud, ei mõjuta neutraaljuhi vool ega pingelang mingil määral juhistikust toidetava mikroelektroonikaaparatuuri talitlust. Ka rikkevoolukaitse rakendamine ei tekita probleeme. TN-S-juhistik võimaldab tõhusalt realiseerida liigpingekaitset ning lisapotentsiaaliühtlustust.



Joonis 4.7 TN-S-juhistik

Oma selgete **eeliste tõttu** on TN-S-juhistik kujunenud kõigi madalpingepaigaldiste tarbijavõrkude **põhilahenduseks**. Ühtlasi on tekkinud vajadus ehitada olemasolevad TN-C- ja IT-juhistikud ümber TN-S-juhistikeks. TN-S-juhistik võib alata elektritarbijate liitumispunktis, olles enne seda välja ehitatud TN-C-juhistikuna (joonis 4.8).



Joonis 4.8 TN-C-S-juhistik

Sellise TN-C-S-juhistiku võib näiteks moodustada TN-C-juhistik, mis ulatub elamute korruskilpideni, korterites on aga nõuetekohane TN-S-juhistik. Vaja on, et neutraal- ja kaitsejuht ei oleks pärast hargnemist enam üheski kohas kokku ühendatud. Elektromagnetiliste häirete vältimiseks tuleb PEN-juhi hargnemispunkt PE- ja N-juhiks ühendada peapotentsiaaliühtlustussüsteemiga. TN-C-S-juhistikku võib siiski lugeda vaid ajutiseks lahenduseks ümberehituste käigus. Enamasti tuleb sihiks seada nõuetekohase TN-S-juhistiku väljaehitamine.