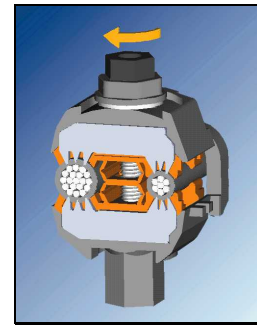


Isolatsiooni läbistavate klemmide tehnoloogia arengutee

G. Porcheray
Tyco Electronics / energeetikaosakond
SIMEL
Gevrey-Chambertin, PRANTSUSMAA



I. SISSEJUHATUS

Kui 1950. aastatel võeti kasutusele esimesed isoleeritud juhtmed, oli nende isolatsioonikihtiks kummi (neopreen) ja juhi materjaliks vask. Klemme täiendavalt ei isoleeritud ja kasutati peamiselt mehaanilisi poltklemme. Praktika näitas üsna pea, et isoleeritud juhtmed on küll ohutud liinimontööridele ja tarbijatele, kuid isolatsioonimaterjal (neopreen) ei ole kliimatingimustele küllalt vastupidav ja isolatsiooni kahjustumise tõttu tekkisid rikked. 1960. aastatel läks EdF (Electricité de France) Prantsusmaal üle PVC-isolatsioonile ja alumiiniumjuhtmetele. Kuigi isolatsiooniprobleemid näisid olevat lahendatud, esines klemmides ikkagi rikkeid, mille põhjustasid õhuga kokkupuutest tekkiv alumiiniumoksiidikiht ja isolatsiooni koorimine noaga. See töövõte rikkus juhtmesooni ja pani aluse traadi murdumisprotsessile, mida veelgi kiirendas juhtme vibratsioon. Sel ajal kasutati pressklemme koos termokahanevate kaablimanustega, kuid selgus, et PVC ei talu temperatuurimuutusi ja praguneb kandeneutraalile mõjuva tõmbekoormuse tagajärjel.

Et eelpool mainitud kahjustusi vältida, püstitas EdF koos klemme tootva ettevõttega Aluminium Pechiney endale kolm peamist ülesannet:

- 1) leida vastupidavam isolatsioonikiht
- 2) tagada töökindlam kontakt
- 3) võimaldada tarbijate ühendamist pinge all ja seejuures ohutult.

II. PÕHIKONSTRUKTSIOON

1 1977. a. valiti kasutamiseks põiksidestuses polüeteen. Nüüdseks on XLPE saanud enimtuntud isolatsioonimaterjaliks, mida isoleeritud madalpinge-õhuliinidel kasutatakse kõige rohkem tänu selle kõrgele vastupidavusele keskkonna- ja mehaanilistele mõjudele.

2 EdF kulutas kaks aastat isolatsiooni läbistava tehnoloogia uurimiseks, et isolatsiooni ei tuleks koorida. Iga kahe või kolme kuu järel käis EdF koos klemmide valmistajaga kohapeal isolatsiooni mõõtnas. Selle töö tulemusena loodi 1970. aastatel isolatsiooni läbistamise tehnoloogia samaaegselt teiste Euroopa riikidega (Saksamaa).

3 Lisaks sellele tõi isolatsiooni läbistamise tehnoloogia endaga kaasa veel ühe olulise teguri pinge all töötamise ohutuse suurendamiseks: juheta pole enam tarvis koorida ning juhtmeid saab ühendada kergelt ning kiiresti.

III. ETAPID TEHNOLOOGIA ARENGUS

Isolatsiooni läbistamise tehnoloogia on läbinud kolm peamist arenguetappi:

1. etapp: 1970. aastad

Klemmil oli kaks eraldi polti: üks põhi- ja teine haruliini jaoks. Isolatsioon läbistati ainult põhiliini juhtmel ja jaotusliini juhe kooriti. Poldid olid juhtmesoonega otseses elektrilises kontaktis ja isolatsioon kujutas endast jäika katet, kuna veekindlust ei nõutud. Kontaktpind oli alumiiniumisulamist.

Puudused:

- Tarbijaühenduse katkemise oht põhjustatuna koorimisest, peamiselt väikese ristlõikega ja täisjuhtmetel.
- Õnnetusjuhtumite oht, sest pingestatud liini monteerimisel oli polt pinges all.
- Korrodeerumise oht alumiiniumist klemmi ja vasest juhtme vahel.
- Poldi kinnikeeramine liiga suure pingutusmomendiga võis kahjustada juhtmeid.
- Kui poldi kinnikeeramisel kasutati liiga väikest pingutusmomenti, siis võis osa isolatsiooni jääda läbistamata.
- Jäiga katte purunemine külmades tingimustes.

2. etapp: 1980. aastad

Eraldi kinnikeeramine

Klemmil oli kaks eraldi polti: üks põhi-, teine haruliini jaoks. Ja läbistati mõlema isolatsioon. Poldid olid juhtmetega vahetus elektrilises kontaktis, nende konstruktsiooni iseloomustas lahtimurduv kaitsepea. Isolatsiooniks oli määrdega täidetud painduv kest, sest veekindlust ei nõutud. Kontaktmetalliks oli alumiiniumisulam.

Puudused:

- Õnnetusjuhtumite oht, sest poldid olid pinges all.
- Määrde vähesusest ja niiskuse sissepääsemisest tingitud korrosiooniprobleemid.

Üheaegne kinnikeeramine

Klemmil oli üks polt, mis üheaegselt surus nii põhi- kui harujuhet. Polt ei olnud juhtmetega otseses elektrilises kontaktis. Isolatsioon oli ühendusklemmi sisse ehitatud ja mingit veekindlust ei nõutud. Kontakt loodi isolatsiooni läbistavate kontakthammaste kaudu, mis olid valmistatud alumiiniumisulamist, tinatatud valgevasest või vasest.

Puudused:

- Pingutusmoment ei olnud kontrolli all, mis suurendas juhtmete läbilõikamise ohtu.
- Katmata metallosadest tingitud õnnetusjuhtumite oht.
- Korrodeerumisoht bimetalli kasutamise korral.

3. etapp: 1990. aastad

Eraldi kinnikeeramine

Klemmil oli kaks polti: üks põhi- ja teine haruliini jaoks. Isolatsioon läbistati kas põhi- ja haruliini juhtmel või ainult põhiliinil. Polt oli isoleeritud ja lahtimurduva kaitsepeaga. Klemmid olid üleni isoleeritud ja veekindlad. Kontakthambad olid valmistatud alumiiniumisulamist, valgevasest või vasest, mis oli kas katmata või tinatatud.

Üheaegne kinnikeeramine

Klemmil oli üks polt põhi- ja haruliini üheaegseks kinnitamiseks. See polt oli isoleeritud ja lahtimurduva kaitsepeaga. Klemmid olid üleni isoleeritud ja veekindlad tänu määrdega täidetud osadele. Kontakthambad olid valmistatud alumiiniumsulamist, valgevasest või vasest, mis oli kas katmata või tinatatud. See uue põlvkonna konstruktsioon täitis tarbija kõik peamised vajadused ja oli kooskõlas ohutusnõuetega.

Praegu teostatakse uurimisi, et täita uut nõuet koormatavuse kohta. Praegu kasutusel olev läbistamistehnoloogia ei võimalda luua kontakti nii kiiresti, et see välistaks elektrikaare tekkimise suurtel voolutugevustel.

IV. TEHNOLOOGIA FUNKTSIONAALNE ARENEMINE

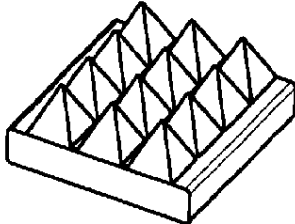
Tehnoloogia täiustamise järgnevad etapid hõlmasid järgmiste omaduste märkimisväärset edasiarendamist:

- kontakti konstruktsioon
- isolatsioonimaterjalid
- lahtimurduva kaitsepea pingutusmomendi juhtimine
- tihendussuutlikkus

A. Kontakti konstruktsioon

1. etapp:

Püramiidjas kuju, töödelduna alumiiniumsulamist profiilist



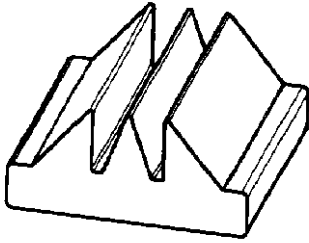
Eelised:

- hoiab ära vee sissepääsemise kaablisse
- kaabli isolatsiooni on kerge läbistada.

Puudused

- kulukas valmistamine.

Noa kontseptsioon, ekstrudeeritud alumiiniumisulamist profiilist



Eelised:

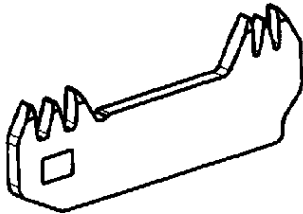
- kergem valmistada.

Puudused:

- lõikab isolatsiooni sarnaselt noaga ja laseb sisse niiskust, kui paigaldustöid viiakse läbi külmakraadide juures
- lõikab kaablisoont, kui pingutusmomenti ei kontrollita
- kaabli isolatsiooni läbistamiseks läheb vaja suuremat pingutusmomenti.

2. etapp:

Kontakthambad (alumiiniumisulam või tinatatud vask).



Eelised:

kergem valmistada

klemmi süvenditesse kerge paigaldada.

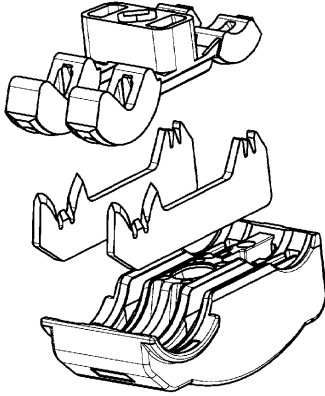
Puudused:

ilma veetõkketa raske vältida korrodeerumist alumiiniumi ja vase vahel.

3. etapp:

Kontakthambad + tihendusosad

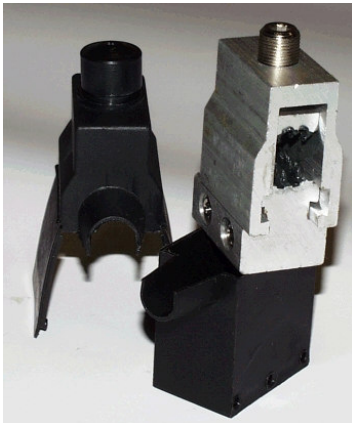
Kontakthambad nagu varemgi, kuid paigutatuna vettpidavasse tihenduskesta, mis on täidetud määrdega.



B. Isolatsiooni konstruktsioon

1. etapp:

1970. aastatel oli katteks jäik plastkarp, mis ühtlasi kaitses liinimontööre elektrijuhiga otsese kokkupuutumise eest.



Eelised:

- lihtne paigaldada.

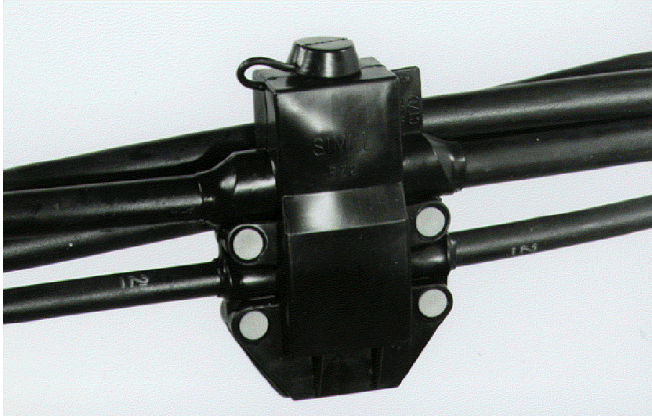
Puudused:

- piiratud veekindlus
- tundlikkus külmade ilmastikutingimuste suhtes
- kasutada on võimalik teatud kindlaid kaablistlõikeid
- ei ole ühendusega integreeritud.

2. etapp:

Eraldi kinnikeeramine

Kest oli painduv ja ümbritses juhtmeid paremini tänu jäikade plastkinnitite survele.



Eelised:

- lihtne paigaldada
- saab kasutada suurema hulga ristlõigete korral.

Puudused:

- ei ole veekindel (välja arvatud määrdega täite korral)
- ei ole ühendusega integreeritud.

Üheaegne kinnikeeramine

Isolatsioon on klemmiga integreeritud.



Eelised:

- tervikkonstruktsioon
- klemmi ja keerdjuhtme parem ühendamine.

Puudused:

- vee sissetungi vältimiseks puudub spetsiaalne tihend
- korrodeerumisoht
- alumiiniumjuhtmete jaoks läheb vaja alumiiniumist kontakthambaid ja vaskjuhtmete jaoks vasest kontakthambaid.

3. etapp:

Jäik isolatsioonimaterjal koos sisseehitatud kummitihenditega, mis on määrdega täidetud.



Eelised:

- kõik funktsioonid on integreeritud klemmi konstruktsiooni
- tänu painduvatele tihenditele sobib paremini suurema hulga kaablistlõigete korral
- veekindel.

C. Poldi konstruktsioon

1. etapp:

Poldid olid kas kaitstud terasest või alumiiniumisulamist 5 mm kuuskantsüvendpeaga.

Puudused:

- puudub pingutusmomendi kontroll
- pingutusmoment piiratud 5 mm ava tõttu
- spetsiifiline ja kulukas konstruktsioon
- vahetu kokkupuude pinge all olevate osadega.

2. etapp:

Poldid valmistati kas kaitstud terasest või alumiiniumisulamist 10 või 13 mm kuuskantpeaga, lahtimurduva kaitsepea valikuvõimalusega.

Eelised:

- pingutusmomendi kontroll.

Puudused:

- spetsiifiline ja kulukas konstruktsioon
- vahetu kokkupuude pinge all olevate osadega.

3. etapp:

Standardsed 8 või 10 mm poldid, kas kuumsukeldusgalvaanitud, tsinkkattega (dacromet-protsess) või roostevabast terasest, varustatud plastist või metallist kaitsepeaga.

Eelised:

- standardne polt
- usaldusväärne pingutusmomendi kontroll tänu metallist löikepeale
- ohutu liinimontööridele, sest poldid ei ole pinge all.

Puudused:

- tundlikud kuumsukeldusgalvaanimise protsessile, mis võib mõjutada pinguldatust

- vormimisprotsessi ja keskkonningimuste tõttu on raske tagada plastist kaitsepea töökindlust.

V. TEHNOLOOGILISED UUENDUSED

Nüüdiskonstruksioon pakub töökindlamat, ohutumamat ja lihtsamat lahendust nii paigaldajatele kui ka klientidele. Läbistamistehnoloogia korral on voolu läbilaskevõime suhtes alati olnud kahtlusi, kuidas nii väike kontaktpind suudab pikka aega läbi lasta piisavat voolu.

Kontakti toimimise parandamisel on aluseks võetud praktilised kogemused ja karmides tingimustes temperatuurimuutustega läbiviidud katsed. Peamine tähelepanu on suunatud kontakti töökindlusele klemmi kasutuskestuse vältel.

A. Kontaktpind

Läbistamistehnoloogia algusaegadel arendasid konstruktorid edasi paljasjuhtmete ühendamisel saadud kogemusi, mis hõlmasid peamiselt paralleelvagude tehnoloogiat. Kontaktpinna sama suhte juures oli läbistatav ala lai ja järelkult isolatsiooni läbistamiseks vajalik pingutusmoment suur, mida liinimontöörid ei pruukinud välistingimustes tagada. Peamine erinevus paralleelvagudega klemmide ja isolatsiooni läbistavate klemmide vahel oli see, et paralleelvagudega klemmid ei ole enne paigaldamist korrosiooni eest kaitstud. See sundis konstrueerima laia kontaktpinna ja rakendama tugevat survet, et saavutada vajalik kontakttakistus ja voolutugevus. Läbistamistehnoloogia üks peamisi eeliseid on see, et alumiinium ei ole oksüdeerunud enne paigaldamist. Klemmiga kokkupuutuvat kontaktpinda ei ole enne paigaldamist vaja puhastada. Tänu tugevale kontaktsurvele ja kontaktpunkti suurepärasele paarimisele piki juhti osutus isolatsiooni läbistamise tehnoloogia peamiseks uuenduseks voolu läbilaskevõimet silmas pidades.

Kontaktpunkti paarimine

Näidatud on peamised juhtmed.

Radiaalpaarimine



Pikipaarimine

B. Kontaktsurve

Selle kontseptsiooni sihiks on ühtlasi juhtmesoonete avaldatava surve kontrolli all hoidmine, nii et juhtmeid ei kahjustata ega lõigata, mis võiks mõjutada juhtme mehaanilist tugevust kandeneutraalil.

Selle kriteeriumi täitmise võtmeteguriteks on poldi valik, rakendatav pingutusmoment ja kontaktpind. Erinevate poldi materjalide ja kaitsekihtide tõttu võib sama rakenduse juures olla vaja rakendada erinevaid pingutusmomente.

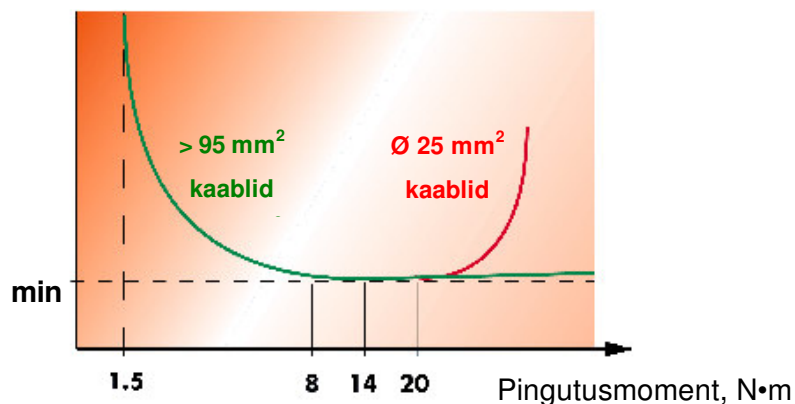
Poldi materjali mõju pingutusmomendile on näidatud alljärgnevas tabelis:

keskpärane	= 1
aktsepteeritav	= 2
küllaltki hea	= 3
hea	= 4
väga hea	= 5

Katte kirjeldus	Vastupidavus korrosioonile	Kinni-keeramise efektiivsus	Efektiivsuse hajumine	Maksumus	Üldmärkused
Tsinkkate (Dacromet)	3	5	5	3	16/20
Tsinkkattega teras	2	3	2	4	11/20
Roostevaba teras	5	2	2	1	10/20
Kuumsukeldusgalvaanitud teras	4	1	1	3	9/20

Kõverast nähtub, et kindla kontakti saamiseks tuleb rakendada õiget pingutusmomenti.

Takistus (Ω)

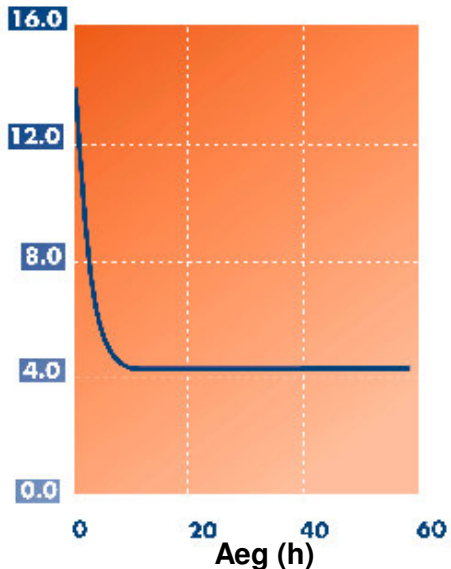


C. Lõtvumise efekt

Konstruktorid võtsid pingutusmomenti juhtimisel arvesse lõtvumisteguri. Katsetega tehti kindlaks, et rakendatud pingutusmoment väheneb oluliselt esimese 20 tunni jooksul pärast paigaldamist. Lõtvumisnähtus on nüüd saadud kontrolli alla ja see on üks võtme parameeter klemmide konstrueerimisel.

Isolatsiooni läbistamiseks, optimaalse kontaktpinna saavutamiseks ja juhtme sees hammaste stabiilse kinnitumise tagamiseks on rakendatava pingutusmomenti suuruse leidmisel arvestatud kaabli ristlõiget, poldi materjali, plastkestasid ja kontakthambaid. Näiteks 70 mm² juhtmele ettenähtud klemmi, tsingiga kaetud 8-8 terasest (dacromet-protsess) valmistatud poldi, 50% klaaskiuga polüamiidist plastkesta ja vaskhambaste korral on lõtvumiskõver järgmine:

Pingutusmoment (N·m)



Eesmärgiks on säilitada lame kõver kogu klemmi kasutuskestuse vältel. Kõver on saadud temperatuurimuutustega läbiviidud laboratoorses katsetes, mis hõlmavad ka lühiskatset, nagu on ette nähtud rahvusvaheliste standardite (NF, ESI, VDE, ANSI, NEMA, IEC) nõuetes.

VI.KATSE NÕUDED

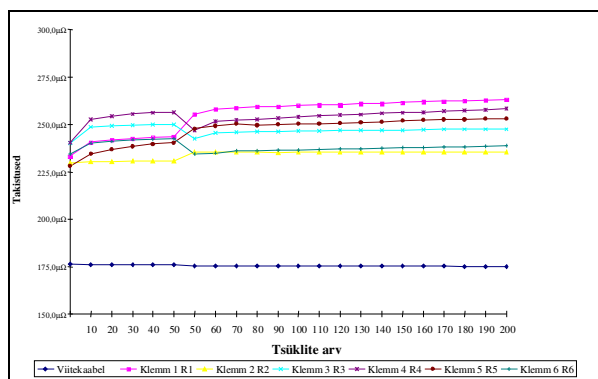
Temperatuurimuutuste katsed:

Et teha kindlaks klemmide elektriline käitumine, viidi läbi tsükliliste temperatuurimuutustega katsed. Nende katsete eesmärgiks oli klemmidele mõju avaldada neid vahelduvalt kuumutades ja jahutades. Iga tsükli vältel mõõdeti järgmist:

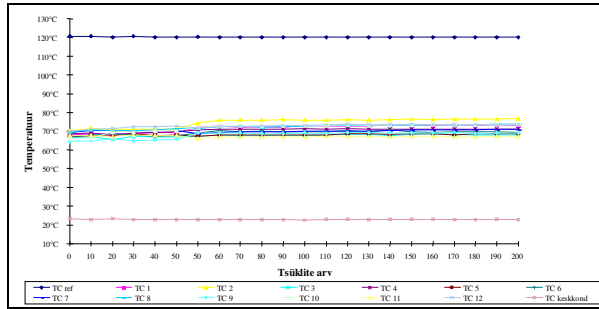
- elektritakistust ümbritseva keskkonna temperatuuril
- temperatuuri selle stabiliseerumise vältel.

Elektritakistus ja temperatuur peavad katse ajal jääma stabiilseks. Stabiilsuse nõuded on kindlaks määratud vastavates standardites. Prantsusmaal viiakse tsükliliste temperatuurimuutustega katseid läbi vastavalt standardile NF C 33-004.

Siin on kujutatud tüüpilised mõõdetud takistused 0 kuni 200 tsükli korral.



Siin on kujutatud tüüpilised mõõdetud temperatuurid tsükli 0 kuni 200 korral.

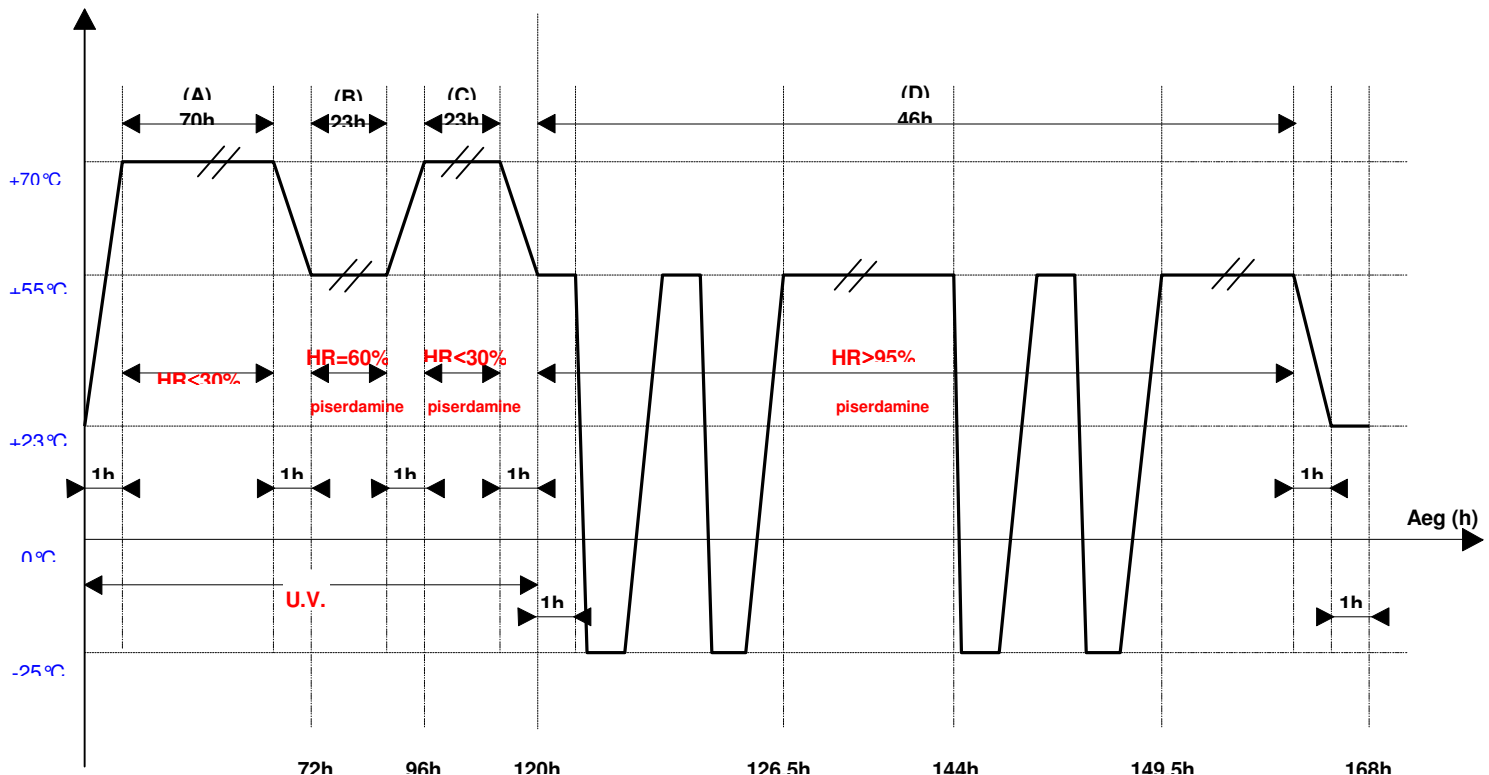


Tarbijate kvaliteetse elektrienergiaga varustamise nõuded andsid ettevõtetele tõuke parandada kontakti talitlust, hoides ära kõik muud häirivad asjaolud, nagu korrosioon ja vee sissetungimine. Enamus ettevõtteid otsustas valida veekindla ühenduse. See uus nõue muutus peamiseks konstruktsioonile esitatavaks tingimuseks, esimesena püstitas selle nõude EdF Prantsusmaal. Eesmärgiks oli saavutada ühenduspunkti terviklik kaitse vee eest ja isoleeritus. Kriteeriumide määramiseks koostati spetsifikatsioon, mis on nüüd Prantsuse standardis NF C 33-020. Kindlaks määrati kombineeritud katse veekindluse ja isolatsiooni kontrollimiseks. See katse (tuntud kui "6 kV katse") viiakse läbi järgmiselt:

- Paigaldada klemmid katsekaablitele.
- Sukeldada sõlm 30 minutiks 30 cm vee alla.
- Rakendada vee ja juhtmete vahele üheks minutiks 6 kV pinge.
- Läbilööki ei tohi tekkida.

Lisaks sellele nõudis EdF ka pikaajalise talitluse kontrollimiseks vanandamise kliimakatseid, mis seisnesid niiskusele, temperatuurikõikumistele, ultraviolettkiirgusele ja piserdamisele allutamises kuue nädala vältel (nagu näidatud tabelis). See katse on kindlaks määratud Prantsuse standardis NFC 20-540.

Temperatuurid



Pärast kuuenädalalist katset viiakse läbi ülalkirjeldatuga sarnane isolatsioonikatse, rakendades vee all 1 kV pinget veekindluse määramiseks ja 6 kV pinget pliikuulile isolatsioonitakistuse määramiseks.

VII. RAKENDUSED

A Haruühendus isoleeritud või kaetud madalpinge-õhuliinidel

See on kõige enamlevinum rakendus, kus ühendused jäävad kliimatingimuste mõjutada ja liinimontöörid peavad hakkama saama paigaldamisraskustega. Samas on see ohutu tehnoloogia, mis väldib juhtme koorimist ja võimaldab klemme ühendada pinge all.

B Haruühendus madalpinge maakaablil

Seda tehnoloogiat kasutatakse kahe põhiliini omavaheliseks ühendamiseks. Sel juhul paigaldatakse klemmid kaablitel karpis, mis tuleb täita vaigu või geeliga. Maakaabli vahetu ühendamine on järgmine aste, mis on praegu väljatöötamisel.

Euroopa, Aasia ja Ladina-Ameerika on praeguseks selle tehnoloogiaga rohkem tuttavad.

VIII. KOKKUVÕTE

Pikaajalise elektrilise ja mehaanilise talitluse nõuded konstruktsioonile vajasis uut lähenemist. Insenerid pidid lahenduse leidma kolmele peamisele probleemile:

- Leida tihendusmaterjal ja konstruktsioon, mis sobiks juhtmete paljude läbimõõtude korral ning samal ajal peaksid vastu ultraviolettkiirgusele ja survele klemmi kasutuskestuse vältel (rohkem kui 20 aastat).
- Leida klaaskiuga tugevdatud termoplast, mis peaks vastu mehaanilisele koormusele ja temperatuuri tsüklilise kõikumise ja kliimatingimuste mõjudele.
- Määrata minimaalne/maksimaalne pingutusmoment, mis kindlustab isolatsiooni piisava läbistamise, et luua elektriline kontakt ning säilitada juhtmete mehaaniline tugevus mitmesugustel paigaldustemperatuuridel.

Kõik ülalesitatud nõuded on selgelt kindlaks määratud Prantsuse standardis NFC 33-020 ja järgmise kahe aasta jooksul lisatakse need Euroopa **CENELEC** standardisse.

IX. AUTORIST

Gilles Porcheray lõpetas Dijoni Tehnikainstituudi (IUT) Prantsusmaal mehaanikainsenerina 1971. aastal. Tema eriala hõlmab ka elektrivälja analüüsi ja klemmide konstrueerimist. 1974. a. läks ta SIMELisse tööle projektijuhiks ja on praegu isoleeritud madalpinge-õhuliinide tarvikute tootejuht Tyco Electronicsi energeetikaosakonnas. Aastatel 1974 kuni 1985 töötas ta tootearendusinsenerina, tegeldes peamiselt isolatsiooni läbistavate klemmidega. Viis aastat juhib ta Euroopa komiteed, mis töötab välja madalpinge isoleeritud õhuliinide standardit.

X. TÄNUAVALDUS

Autor tänab kõiki kolleege, kes aitasid kirjeldatud tooteid konstrueerida ja katsetada, hr André Duponti kaastöö eest konstrueerimisel ja hr Pierre Deschamps'i kaastöö eest katseprogrammide täitmisel.

XI. VIITED

- 1) Brian W. Callen, AMP, "Load relaxation in Insulation Piercing Connectors" ("Isolatsiooni läbistavate klemmide lõtvumine koormuse mõjul"), 1998.
- 2) Electrical ageing test of connectors used on overhead (OH) aerial bundled conductors (ABC) (Õhuliinide keerdjuhtmete klemmide elektriline vanandamiskatse).

CIREN 97 konverentsi toimetised nr 438

EDF DER GECC : T. Le Corre

SIMEL : P. Deschamps

MALICO : D. Falliex

GIMELEC : C. Daviet

- 3) R.S. Timsit, AMP, "High performance connectors in Power Distribution Systems" ("Kõrgetasemeliste kasutusomadustega klemmid elektrijaotussüsteemides").