IGS-I-EL-007(0)	آذر ۱۳۹۶
Approved	مصوب

شرکت ملي گاز ايران

مديريت پژوهش و فنآوري

امورتدوين استانداردها

IGS
GasPlus.ir

دستورالعمل بازرسی

سیستم زمین

Earthing System

براي استفاده ازاستانداردها فقط به آخرين نسخه منتشرشده درسايت استانداردها مراجعه گردد

دفتر مدیرعامل

شرکت ملی گاز ایران

تاریخ: ۱۳۹۶/۱۱/۲۹
شماره: گ ۰/دب/۴۶۱/۰-۱۸۲۱۵

ابلاغ مصوبه هیأت مدیره

مدیر محترم پژوهش و فناوری

باسلام،

به استحضار می‌رساند در جلسه ۱۷۶۷ مورخ ۱۳۹۶/۱۱/۱۵ هیات مدیره ، نامه شماره گ۹/۰۰۰/۱۴۷۹۹۱ مورخ ۹۶/۱۱/۸ مدیر پژوهش و فناوری درمورد تصویب نهایی استانداردها به شرح زیر مطرح و مورد تصویب قرار گرفت :

۱. مشخصات فنی خرید عمل کننده هیدرولیکی شیرآلات

IGS-M-IN-304(1)

۲. دستورالعمل نگهداری وتعمیرات پوشش خطوط لوله تحت بهره‌برداری

IGS-O-TP-001(0)

IGS-I-GN-008(0)

۳. دستورالعمل بازرسی‌لیفتراک

۴. دستورالعمل نگهداری وتعمیرات برپایه ریسک وطبقه‌بندی پیامدها

IGS-O-MN-002(0)

۵. دستورالعمل بازرسی مخازن تحت فشار در زمان بهره برداری

IGS-I-PM-001(0)

۶. دستورالعمل بازرسی سیستم زمین (Earthing system)

IGS-I-EL-007(0)

این مصوبه به منزله مصوبه مجمع عمومی شرکت‌های تابعه محسوب و برای کلیه شرکت‌های تابعه لازم الاجرا می‌باشد .

الهام ملکی

دبیر هیات مدیره

رونوشت : مدیرعامل محترم شرکت ملی گاز ایران و رییس هیات مدیره
: اعضای محترم هیات مدیره
: مشاور و رییس دفتر محترم مدیر عامل
: رییس کل محترم امور حسابرسی داخلی
: رییس محترم امور حقوقی
: رییس محترم امور مجامع

GasPlus.ir

فهرست

عنوان **صفحه**

مقدمه ۴
۱– هدف و دامنه کاربرد ۴
۲– مراجع ۵
۳–تعاریف و اصطلاحات ۵
۴– ایمنی ۱۱
۵– اندازه گیری مقاومت الکتریکی سیستم زمین ۱۱
۵–۱– بازرسی چشمی ۱۱
۵–۲– بازرسی و نگهداری دورهای ۱۲
۵–۳– بازهٔ زمانی اندازه گیری مقاومت الکتریکی سیستم زمین ۱۵
۵–۴– معیار پذیرش مقدار مقاومت الکتریکی سیستم زمین ۱۵
۵–۵– نحوه همبندی انواع سیستمهای زمین ۱۶
۵–۶– ملاحظات عمومی در ارتباط با مشکلات اندازه گیری ۱۶
۵–۷– فرم جامع بازرسی از سیستم زمین ۱۷
۶– بازرسی همبندی سیستم زمین ولتاژ بالا – سیستم زمین ولتاژ پایین ۱۷
۶–۱– مقدمه ۱۷
۶–۲– اضافه ولتاژ در سیستمهای ولتاژ پایین در حین خطای زمین ولتاژ بالا ۱۷
۶–۳– همبندی سیستم زمین ولتاژ بالا – سیستم زمین ولتاژ پایین ۲۰
۶–۴– الزامات همبندی سیستم زمین ولتاژ بالا و سیستم زمین ولتاژ پایین ۲۵
۶–۵– فرم بازرسی سیستم زمین ولتاژ بالا – ولتاژ پایین ۲۵
پیوست الف– ایمنی ۲۶
پیوست ب – روشهای کاربردی اندازهگیری مقاومت الکتریکی سیستم زمین ۲۸
پیوست پ – مقاومت ویژهٔ خاک و انواع روشهای اندازه گیری آن ۳۹
پیوست ت – ملاحظات عمومی در ارتباط با مشکلات اندازه گیری ۴۴
پیوست ج– همبندی سیستم زمین ولتاژ بالا – سیستم زمین ولتاژ پایین در آرایش *TN* ۴۷
پیوست چ – محاسبه افزایش پتانسیل زمین ۵۰

GasPlus.ir

پیوست ح – نحوه استخراج ولتاژ تماس مجاز به هنگام خطای اتصال زمین ۵۴
پیوست خ– الگوریتم بازرسی سیستم زمین ولتاژ بالا و سیستم زمین ولتاژ پایین متصل..... ۵۵
پیوست د– الگوریتم بازرسی سیستم زمین ولتاژ بالا و سیستم زمین ولتاژ پایین مجزا ۵۶
پیوست ذ– فرمهای جامع بازرسی از سیستم زمین ۵۸

فهرست شکل‌ها

شکل۱ : اندازه گیری مقاومت دو سر اتصالات با میکرو اهم متر چهار ترمیناله..... ۱۳
شکل۲– آرایش مختلف سیستم های زمین در پست ترانسفورماتوری و تاسیسات ولتاژ پایین ۱۸
شکل۳– اندازه گیری مقاومت بین دو سیستم زمین (حلقه) با میکرو اهممتر ۲۴
شکل ب–۱: تشریح روش افت پتانسیل (*FOP*) ۲۹
شکل ب–۲: منحنی نوعی امپدانس بر حسب فاصله پروب پتانسیل برای روش افت پتانسیل. ۲۹
شکل ب–۳ : روش آزمون°۱۸۰/°۹۰ ..... ۳۴
شکل ب–۴: نتایج نوعی از روش آزمون °۱۸۰/°۹۰. ..... ۳۴
شکل ب–۵: روش تست ۳ ترمیناله با کلمپ *CT* ۳۵
شکل ب–۶ : اندازه گیری مقاومت بوسیلهٔ روش کلمپ ۳۷
شکل پ–۱: تغییرات مقاومت زمین: *(a)* نمک، *(b)* رطوبت، و *(c)* دما ۳۹
شکل پ–۲: روش چهار نقطه ای ۴۱
شکل پ–۳: اندازه گیری مقاومت خاک یک میله ۴۲
شکل ج–۱– طرحواره پست ترانسفورماتور با یک الکترود زمین مشترک حفاظتی/خنثی در سیستم *TN* ۴۸
شکل ج–۲– طرحواره پست ترانسفورماتور با دو الکترود زمین مجزای مستقل حفاظتی/خنثی در سیستم *TN* ... ۴۹
شکل چ–۱– نحوه تشکیل ولتاژ *EPR* در اثر رخداد اتصال کوتاه تکفاز ۵۱
شکل چ–۲– جریان اتصال کوتاه زمین در حالت کلی در شبکه های بالای *1KV* ۵۲
شکل چ–۳– مدار معادل شکل چ–۲..... ۵۳
شکل چ–۴– ساختار استاندارد یک طرح پست ترانسفورماتور زمینی(مرجع استاندارد *BS 7671:2015*) ۵۳
شکل چ–۵– ساختار استاندارد محدود کردن جریان اتصال کوتاه در شبکه توزیع ولتاژ متوسط ۵۴
شکل ح–۱– ولتاژ تماس مجاز ۵۵

GasPlus.ir

فهرست جداول

جدول ۱– مقادیر قابل قبول برای مقاومت اتصالات و همبندی ها در پست های توزیع ۱۲

جدول۲– مقدار مجاز مقاومت الکتریکی انواع سیستم زمین..... ۱۶

جدول ۳– محاسبات ولتاژهای Uf , $U1$, $U2$ در حالت های مختلف توزیع شبکه های ولتاژ پایین ۱۹

جدول ۴– حداقل الزامات همبندی سیستم های زمین ولتاژ بالا و سیستم زمین ولتاژ پایین ۲۱

جدول ۵– حداکثر ولتاژ تنش بر حسب زمان عملکرد سیستم حفاظتی فشار قوی ۲۲

جدول ب–۱: روش ۶۱.۸٪ : فاصله گذاری پروب تست برای اندازه های متفاوت شبکه..... ۳۰

جدول ب–۲: ضرایب روش شیب..... ۳۲

جدول ب–۳: مقایسهٔ مزایا و محدودیتهای روشهای مختلف اندازه گیری مقدار مقاومت سیستم زمین ۳۸

جدول پ–۱: بازهٔ خطا بر اساس فاصله گذاری بین پروبها ۴۳

GasPlus.ir

مقدمه

طراحی و اجرای صحیح سیستم زمین و همچنین اجرای سیستم هم‌پتانسیل سازی طبق استانداردهای مرجع و معتبر از عواملی هستند که باعث عملکرد صحیح سیستم‌های حفاظتی می‌گردد. پس از طی مرحلهٔ طراحی و در مرحلهٔ اجرا، نظارت و بهره برداری از سیستم، انجام اندازه‌گیری‌های مقاومت الکتریکی سیستم زمین ضروری بوده و همواره چگونگی انجام صحیح این بازرسی‌ها و اندازه‌گیری‌ها با دقت قابل قبول و مورد اطمینان، یکی از دغدغه‌های بهره‌برداران می‌باشد. از طرفی باید با همبندی همه بدنه‌ها و اجزای ساختمانی تا جایی که ممکن است از بروز اختلاف پتانسیل جلوگیری شود.

یکی از چهار رخدادی که منجر به ایجاد شدیدترین اضافه ولتاژ موقت در تاسیسات ولتاژ پایین می‌شود، ایجاد خطا بین سیستم ولتاژ بالا و سیستم زمین ولتاژ بالا در پستهای ترانسفورمری که تاسیسات ولتاژ پایین را تغذیه می‌کند، می باشد. در اثرخطای بین سیستم ولتاژ بالا و زمین، پتانسیل زمین ولتاژ بالا ناشی از این اتصالی افزایش یافته و این افزایش پتانسیل زمین با توجه به نوع آرایش سیستم زمین ولتاژ پایین و نحوه همبندی (متصل، جدا) سیستم زمین ولتاژ بالا و سیستم زمین ولتاژ پایین، به سمت ولتاژ پایین منتقل شده و منجر به ایجاد اضافه ولتاژهای خطا و تنش در سمت ولتاژ پایین می‌شود. به منظور رعایت ایمنی در تاسیسات ولتاژ پایین در مقابل این خطا و جهت جلوگیری از برق گرفتگی یا شکست عایقی هادی‌ها، ولتاژخطا و ولتاژ تنش ایجاد شده، باید در محدوده مجاز باشند.

این اضافه ولتاژهای موقت با توجه به نوع آرایش سیستم زمین ولتاژ پایین و نحوه همبندی (متصل،جدا) سیستم زمین ولتاژ بالا و سیستم زمین ولتاژ پایین محاسبه شده و به منظور رعایت ایمنی در تاسیسات ولتاژ پایین در مقابل این خطا، باید الزامات مربوط به اضافه ولتاژهای ذکر شده رعایت شود. در صورتی که دو سیستم زمین ولتاژ بالا و سیستم زمین ولتاژ پایین متصل باشند، باید الزامات افزایش پتانسیل زمین برای ولتاژ تماس و ولتاژ استرس رعایت شود. در صورتی که دو سیستم زمین ولتاژ بالا و سیستم زمین ولتاژ پایین از هم مجزا باشند، باید الزامات ولتاژ استرس و صحت جداسازی بین دو سیستم زمین رعایت شود.

از اینرو می بایست متصل بودن یا مجزا بودن دو سیستم زمین ولتاژ بالا و سیستم زمین ولتاژ پایین تاسیسات شرکت ملی گاز ایران مطابق با الزامات این دستورالعمل مورد بازرسی قرار گیرد.

۱– هدف و دامنه کاربرد

هدف از نگارش این دستورالعمل عبارت است از :

الف – اندازه‌گیری مقاومت الکتریکی سیستم زمین

ب– بازرسی همبندی سیستم زمین فشار قوی – سیستم زمین فشار ضعیف

توجه: نحوه همبندی بین سیستمهای زمین از قبیل برق، سیستم حفاظت در مقابل صاعقه و مخابرات با سیستم زمین ابزار دقیق در حال بررسی می باشد .

این دستورالعمل در تمامی شرکت‌های تابعه شرکت ملی گاز ایران قابل اجرا خواهد بود.

GasPlus.ir

۲- مراجع

- BS 7430:2011+A1:2015 " Code of Practice for Protective Earthing of Electrical Installations"

- IEEE Std 81-2012 "IEEE Guide for Measuring Earth Resistivity, Ground Impedance, and Earth Surface Potentials of a Grounding System"

- IPS-E-EL-100(1):2012 " Engineering Standard for Electrical System Design"

- NFPA 70:2014 "National Electrical Code"

- IEC 60364-4-44:2007 +A1:2015 – "Low-voltage electrical installations –Part 4-44: Protection for safety– Protection against voltage disturbances and electromagnetic disturbances"

- BS 7671:2008+A3:2015-Chapter44: "Protection against voltage disturbances and electromagnetic disturbances"

- BS EN 50522(2010): "Earthing of power installations exceeding 1 kV a.c."

-IPS-M-SF-325(1): "Material and Equipment Standard for Personnel Safety and fire-fighters protective equipment"

-UK Power Network-ECS 06-0024:2015 " Earting Testing and Measurments"

GasPlus.ir

۳- تعاریف و اصطلاحات

۳-۱- زمین مرجع/ دور (Reference/Remote Earth):

یک مفهوم تئوری است که به الکترود زمین امپدانس صفر که در فاصلهٔ بینهایت از زمین تحت تست قرار گرفته اشاره دارد. در عمل زمین دور زمانی در دسترس است که مقاومت متقابل بین زمین تحت تست و الکترود تست قابل چشم پوشی باشد. پتانسیل زمین دور بطور طبیعی صفر لحاظ می‌گردد.

۳-۲- الکترود زمین(Earth Electrode):

یک قطعه یا قسمت هادی گروهی که در تماس بسیار نزدیک با زمین بوده و با آن اتصال الکتریکی دارد. الکترود زمین میتواند شامل انواع سیم، نوار، تسمه، ارت، راد، صفحه، ... باشد که یا بصورت تکی یا مجموعه ای متصل به یکدیگر اند.

۳-۳- سیستم زمین محلی(Local Earth):

بخشی از زمین که در تماس با الکترود زمین بوده و پتانسیل الکتریکی آن الزاما صفر نمی باشد.

۳-۴- سیستم زمین یکپارچه(Global Earthing System):

سیستم زمین معادل که از همبندی سیستم زمین محلی حاصل می شود و باعث حذف ولتاژ تماس خطرناک خواهد شد.

۳–۵– الکترود زمین مستقل(Electrically Independent Earth Electrode):

از نظر الکتریکی، الکترودهای زمین مستقل الکترودهایی هستند که فاصله آنها از همدیگر بقدری است که درصورت عبور جریان بین یکی از آنها و زمین ، پتانسیل سایر الکترودها بطور قابل ملاحظه ای تغییر نکند.

۳–۶– مقاومت سیستم زمین (Earth Resistance):

مقاومت الکترود یا شبکه زمین نسبت به زمین مرجع می‌باشد.

۳–۷– پتانسیل زمین(Earth Potential):

پتانسیل الکتریکی نسبت به جرم کلی زمین که در داخل زمین یا روی سطح زمین اطراف الکترود زمین، هنگامی که جریان الکتریکی به زمین برقرار است، ایجاد می‌شود.

۳–۸– امپدانس زمین (Ground Impedance):

جمع برداری مقاومت و راکتانس بین یک الکترود، شبکه یا سیستم زمین و زمین دور است.

۳–۹– افزایش پتانسیل زمین (Earth Potential Rise):

اختلاف پتانسیل بین سیستم زمین و زمین مرجع اصطلاحا" افزایش پتانسیل زمین (EPR) گفته می شوند.

۳–۱۰–تجهیزات الکتریکی(Electrical Equipment):

وسایل، تجهیزات، لوازم، دستگاهها و مصالحی اند که برای تولید ، انتقال و توزیع مصرف انرژی بکار می روند .از قبیل ترانسفورماتورها ، مولدها، تجهیزات حفاظتی، تابلو فشار متوسط و ضعیف ، تجهیزات اندازه گیری و ...

۳–۱۱– تاسیسات الکتریکی(Electrical Installation):

مجموعه ای است از تجهیزات الکتریکی به هم پیوسته برای انجام هدف یا اهداف معین که دارای مشخصه های هماهنگ و مرتبط باشند .

۳–۱۲– پست ترانسفورماتور (Transformer Substation):

قسمتی از یک سیستم قدرت، متمرکز در محلی خاص، که اساسا شامل پایانه های خطوط انتقال و توزیع، سوئیچ گیر و ساختمان/محفظه و ترانسفورماتورها میباشد. بطور معمول یک پست برق شامل امکانات مورد نیاز جهت ایمنی و کنترل میباشد (بعنوان مثال تجهیزات حفاظتی). در پست ترانسفورماتور زمینی، سوئیچگیرهای HV وLV و ترانسفورماتورها یا بصورت متمرکز در یک ساختمان/ محفظه قرار داده شده اند و یا بصورت مجزا .

۳–۱۳– قسمت برقدار(Live Part):

هرسیم یا هادی که با نیت برق دار شدن آن در بهره برداری عادی مورد استفاده قرار می گیرد و شامل هادی خنثی نیز می باشد. ولی بطور قراردادی هادی مشترکی حفاظتی – خنثی (PEN) را شامل نمی شود .

۳–۱۴– بدنه هادی (Exposed – Conductive Part):

بدنه هادی (فلزی) و اجزای دیگر تجهیزات الکتریکی که هادی می باشند و میتوان آنها را لمس نمود و بطور عادی برق دار نیستند اما در حالت وجود اتصالی ممکن است برقدار شوند .

GasPlus.ir

۳-۱۵- بدنه هادی بیگانه (Extraneous Conductive Part):

بدنه هادی است که جزء تاسیسات الکتریکی نمی باشد ولی قادر است پتانسیلی که معمولاً پتانسیل زمین است در معرض تماس قرار دهد (در اثر بروز اتصالی برقدار گردد)

یادآوری : مصادیق هادی بیگانه را می توان به موارد ذیل اشاره کرد :

- اسکلت فلزی ساختمان
- قسمتهای فلزی ساختمان درب ، پنجره
- کف ودیوارهای غیرعایق مثل کف های بتونی

۳-۱۶- هادی (Conductor):

المانی است که جهت عبور دادن جریان الکتریکی در نظر گرفته میشود. مثلا هادیهای یک خط یا یک کابل.

۳-۱۷- هادی فاز:

هادی است مربوط به سیستم جریان متناوب برای انتقال انرژی الکتریکی که غیر از هادی خنثی می باشد.

۳-۱۸- هادی خنثی (Neutral Conductor):

هادی است که به نقطه خنثی سیستم وصل بوده و می تواند در انتقال انرژی الکتریکی از آن استفاده کرد.

۳-۱۹- هادی حفاظتی (Protective Conductor):

هادی است که برای حفاظت در برابر برق گرفتگی لازم می باشد و هریک از اجزای ذیل را به هم وصل می کند :

بدنهٔ هادی، ترمینال اصلی اتصال به زمین، الکترود زمین، نقطه زمین شده منبع تغذیه، قسمتهای هادی بیگانه و نقطهٔ خنثی مصنوعی (ترانس کمکی).

۳-۲۰- هادی مشترک حفاظتی – خنثی (PEN) :

هادی است زمین شده که به صورت اشتراکی هر دو وظیفه هادی های خنثی و حفاظتی را برعهده دارد.

۳-۲۱- ولتاژ تماس(Touch Voltage):

ولتاژی است که به هنگام بروز خرابی در عایق بندی ، بین قسمت هایی که همزمان قابل لمس می باشند ظاهر شود.

۳-۲۲- ولتاژ گام (Step Voltage):

ولتاژ بین دو نقطه از سطح زمین که از یکدیگر ۱ متر فاصله دارند.این فاصله ،طول گامهای بلند یک شخص در نظر گرفته می شود.

۳-۲۳- ولتاژ خطا (Uf: Fault Voltage):

اختلاف پتانسیلی که بین بدنه هادی تجهیزات فشار ضعیف و زمین ناشی از خطای اتصال کوتاه بدنه به زمین در سمت فشار قوی بوجود می آید .

GasPlus.ir

۳-۲۴- ولتاژ تنش(Stress Voltage):

ولتاژی است با فرکانس قدرت که در مدت زمان اتصال به زمین، بین یک بخش یا محفظه تجهیزات و سایر قسمتهای آن بوجود میاید و میتواند بر عملکرد عادی و ایمنی آن اثرگذار باشد.این ولتاژ به عایق اعمال می شود.

U1: ولتاژ تنش که در مدت زمان اتصال به زمین در سیستم فشار قوی ، بین هادی خط و بدنه هادی تجهیزات فشار ضعیف در پست ترانسفورماتور بوجود میاید.

U2: ولتاژ تنش که در مدت زمان اتصال به زمین در سیستم فشار قوی ، بین هادی خط و بدنه هادی تجهیزات فشار ضعیف در تاسیسات فشار ضعیف بوجود میاید.

۳-۲۵- ولتاژپایین(Low Voltage):

ولتاژ متناوب 1000 ولت و کمتر

۳-۲۶- ولتاژ خط ولتاژ پایین (U:Line-to-Line Voltage):

اختلاف پتانسیل بین دو فاز غیر هم نام سیستم ولتاژ پایین می‌باشد.

۳-۲۷- ولتاژ فاز ولتاژ پایین (U0):

- در سیستمهای TN و TT : مقدار نامی موثر اختلاف ولتاژ بین هادی فاز و زمین ولتاژ متناوب
- در سیستمهای IT: مقدار نامی موثر اختلاف ولتاژ بین هادی فاز و هادی نول یا هادی نقطه میانی ولتاژ متناوب، هر کدام مناسب است.

۳-۲۸- ولتاژ بالا (High Voltage):

ولتاژ متناوب بیشتر از 1000 V

۳-۲۹- تماس مستقیم(Direct Contact):

تماس افراد با قسمتهای برقدار را شامل می شود.

۳-۳۰- تماس غیر مستقیم(Indirect Contact):

تماس اشخاص با بدنه هادی که در شرایط بروز اتصالی برقرار شده اند .

۳-۳۱- جریان نامی(Continuous Current):

حداکثر جریانی است که بطور مداوم در شرایط تعیین شده بدون اینکه دمای وضعیت تعادل از میزان معینی تجاوز نماید می تواند از آن عبور کند.

۳-۳۲- اضافه جریان (Over Current) :

هرجریانی که بیش از جریان اسمی باشد.

۳-۳۳- جریان اتصال کوتاه(Short Circuit Current):

اضافه جریانی است که در نتیجه بروز اتصالی با امپدانسی بسیار کوچک بین هادی های برق داری که در شرایط عادی دارای اختلاف پتانسیل هستند ، ایجاد شود.

GasPlus.ir

۳-۳۴- برق گرفتگی(Electric Shock):

پدیده ای است پاتوفیزولوژیکی که در نتیجه عبور جریان الکتریکی از بدن انسان بوجود می آید.

۳-۳۵- جریان برق گرفتگی(Shock Current):

جریانی است که از بدن انسان عبور کند و مشخصه آن به نحوه ای باشد که احتمالاً موجب برق گرفتگی شود.

۳-۳۶- ترمینال اصلی زمین(Main Earthing Terminal):

ترمینال یا شینه ای(ارت بار) است که برای اتصال هادیهای حفاظتی شامل هادیهای همبندی برای هم ولتاژ کردن پیش بینی و نصب می شود.

۳-۳۷- همبندی برای هم ولتاژ کردن(Equipotential Bonding):

اتصالات الکتریکی است که پتانسیل بدنه های هادی و قسمتهای هادی بیگانه مختلف را اساساً به یک سطح می آورد

۳-۳۸- هادی همبندی برای هم ولتاژ کردن(Equipotential Bonding Conductor):

هادی حفاظتی است که همبندی برای هم ولتاژ کردن را تضمین می کند.

۳-۳۹- زره کابل(Armour):

پوششی است متشکل از نوار یا نوارهای فلزی یا مفتول های فلزی که بطور کلی از آن برای حفاظت کابل در برابر اثرهای مکانیکی خارجی استفاده می شود.

۳-۴۰- تابلو(Switch Board):

ترکیبی است از لوازم قطع و وصل و یا ترکیبی که بطور کامل سوار شده و شامل کلیه اتصالات الکتریکی یا مکانیکی بین آنها باشد.

۳-۴۱- سیستم زمین ولتاژ بالا (HV Earth System):

عبارت است از سیستم زمینی است که برای حفاظت اشخاص در مقابل اختلاف سطح تماس زیاد به کار برده می شود. در صورت مجزا بودن، مستقل از زمین فشار ضعیف استفاده شود . کلیه قطعات فلزی تاسیسات الکتریکی که در ارتباط مستقیم با مدار الکتریکی قرار ندارند به این زمین وصل می شوند .

۳-۴۲- سیستم زمین ولتاژ پایین(LV Earth System):

عبارت است از سیستم زمینی است که مرکز ستاره کلیه دستگاههای الکتریکی و ادوات برقی (مثل مرکز ستاره سیم پیچی ترانسفورماتور و یا ژنراتور) به آن وصل می شود و باعث عملکرد صحیح دستگاهها و جلوگیری از ازدیاد ولتاژ الکتریکی فازهای سالم نسبت به زمین در موقع تماس یکی از فازها به زمین می باشد و درصورت مجزا بودن، مستقل از زمین ولتاژ بالا استفاده شود.

GasPlus.ir

۳-۴۳- سیستم زمین ولتاژ بالا و سیستم زمین ولتاژ پایین متصل:[1]

عبارت است از یک سیستم زمین مشترک در پست که وظیفه سیستم زمین حفاظتی در بخشهای ولتاژ بالا و ولتاژ پایین و همچنین سیستم زمین الکتریکی ولتاژ پایین را برعهده دارد.

۳-۴۴- سیستم زمین ولتاژ بالا و سیستم زمین ولتاژ پایین مجزا :[2]

عبارت است از دو سیستم زمین مستقل که یکی وظیفه سیستم زمین حفاظتی در بخشهای ولتاژ بالا و دیگری وظیفه سیستم زمین حفاظتی و سیستم زمین الکتریکی در بخشهای ولتاژ پایین را برعهده دارد.

۳-۴۵- سطح عایقی (Insulation Level):

ویژگی که برای یک آیتم خاص از تجهیزات با یک یا دو مقدار مشخص میشود و نشان دهنده ولتاژهای تحملی عایق میباشد.

۳-۴۶- اضافه ولتاژ موقتی (Temporary Over Voltage):

اضافه ولتاژ با فرکانس قدرت با زمان نسبتا طولانی است. (این اضافه ولتاژ ،میرائی ندارد یا میرائی آن ضعیف است.در بعضی شرایط، فرکانس آن میتواند چندین برابر بزرگتر یا کوچکتر از فرکانس قدرت باشد).

۳-۴۷- جریان خطا (IE):

قسمتی از جریان خطای زمین در سیستم ولتاژ بالا که در سیستم زمین پستهای ترانسفورمری جاری می باشد.

۳-۴۸- مقاومت سیستم زمین ولتاژ فشار قوی (*RE*):

مقاومت سیستم زمین فشار قوی (پستهای ترانسفورمری)

۳-۴۹- RA:

مقاومت سیستم زمین بدنه هادی تجهیزات ولتاژ پایین تاسیسات

۳-۵۰- مقاومت نقطه خنثی (RB):

مقاومت زمین خنثی سیستم ولتاژ پایین، برای سیستمهای ولتاژ پایینی که در آن سیستم زمین پستهای ترانسفورمری و خنثی سیستمهای ولتاژ پایین از لحاظ الکتریکی مستقل می باشند.

۳-۵۱- I_h:

جریان خطای که از طریق سیستم زمین *بدنه هادی تجهیزات ولتاژ پایین در طول یک دوره زمانی که خطای ولتاژ بالا و اولین خطا وجود دارد، جاری می شود. (به جدول ۴۴,۱ استاندارد* BS 7671 *مراجعه شود).*

[1] Common/Combined HV & LV Earth

[2] Separated HV & LV Earth

GasPlus.ir

۳-۵۲- Id:

جریان خطای منطبق با قوانین ۴۱۱,۶,۲ استاندارد BS 7671 ($R_A \times I_d \leq 50$ v) که از طریق سیستم زمین بدنه هادی تاسیسات ولتاژ پایین در طول اولین خطا در سیستم ولتاژ پایین جاری می شود. (به جدول ۴۴,۱ استاندارد BS 7671 مراجعه شود)

۳-۵۳- Z:

یک امپدانس (به عنوان مثال، یک امپدانس داخلی یا امپدانس خنثی مصنوعی) بین سیستم ولتاژ پایین و سیستم زمین می باشد.

۴- ایمنی

هنگام بازرسی سیستم زمین باید اقدامات احتیاطی و ایمنی انجام گیرد. زیرا یک ولتاژ مهلک می‌تواند بین الکترود زمین تحت تست و زمین دور بوجود آید. قطع برق یک تاسیسات، لزوماً سیستم زمین آن را بی خطر نمیکند؛ پتانسیل زمین می‌تواند تا چندین هزار ولت ناشی از بروز خطا و عملیات کلید زنی در تاسیسات مجاور، افزایش پیدا کند. ولتاژهای گام و تماس حول الکترود زمین تحت تست، تجهیزات تست و زمین دور نیز می‌تواند مهلک باشد. از اینرو اقدامات احتیاطی که جهت ایمنی و کاهش خطرات حین بازرسی از سیستم زمین باید لحاظ گردد در پیوست الف ارائه شده و رعایت آن الزام آور است.

۵- اندازه‌گیری مقاومت الکتریکی سیستم زمین

برنامهٔ بازرسی و نگهداری بطور خلاصه به شرح زیر است:

الف) بازرسی چشمی به صورت سالیانه؛

ب) بازرسی و نگهداری دوره ای به صورت پنج ساله.

۵-۱- بازرسی چشمی

بازرس باید هادیهای حفاظتی (رو زمینی)، اتصالات، گاردها و غیره را برای بررسی خوردگی، خرابی، آثار سوختگی، خرابگری یا سرقت بازرسی نماید. بازرس باید بطور چشمی تمامی الکترودهای زمین، همبندی و اتصالات را چک کند. همچنین بمنظور بررسی آسیبهای خوردگی و قطع ارتباطات، توجه ویژه‌ای به شرایط اتصال بی متال (اتصال دو فلز غیر هم جنس) داشته باشد.

بازرسی باید شامل موارد زیر باشد:

الف) شینهٔ زمین اصلی سیستم HV در شرایط عادی یا به بدنه ترانسفوماتور، تابلوهای HV و یا تابلوهای LV متصل باشد[۳]؛

ب) اتصالات همبندی بین اجزای سایت که مجاور یکدیگر قرار گرفتند؛

ت) شینهٔ سیستم زمین LV که در پست نصب شده است؛

ث) اگر پست دارای سیستم زمین LV/HV جداگانه‌ای باشد جداسازی دو سیستم زمین بازرسی و نگهداری مستمر شود؛

[۳] بازرسی همبندی سیستم زمین فشار قوی – فشار ضعیف پستهای زمینی

GasPlus.ir

ج) اتصال به هر مش زمین که در مجاورت هر سوئیچگیر تا سطح ۲۰ کیلو ولت اجرا شده باشد؛

ح) اتصال همبندی به فنسهای فلزی؛

خ) اتصال همبندی به بدنه فلزی.

۵-۲- بازرسی و نگهداری دوره‌ای

در این نوع بازرسی، علاوه بر بازرسی چشمی - جائیکه نیاز باشد - باید برای بررسی هادی زمین، الکترودهای زمین و صفحات زمین مدفون حفاری انجام گیرد.

بازرسی و نگهداری دوره‌ای شامل موارد زیر است:

۵-۲-۱- تست مقاومت اتصالات با استفاده از میکرو اهم متر

اندازه گیری مقاومت برای تمامی اتصالات در دسترس باید با استفاده از میکرو اهم متر مطابق شکل ۱ انجام گیرد. مقادیر بایستی با جدول ۱ مقایسه شود. هر اتصال که مقدار مقاومت بیش از اندازه تعیین شده داشته باشد، باید باز شده ، تمیز شده و تعمیر یا تعویض گردد.

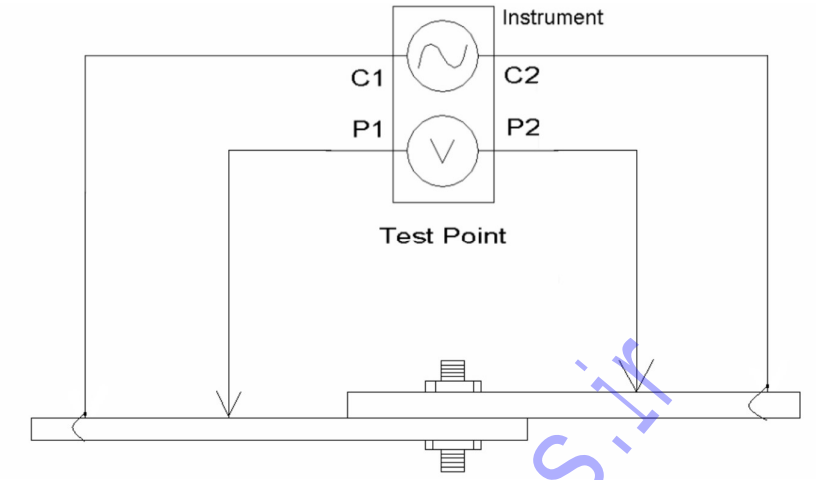
اخطار: تعمیر یا تعویض اتصالات موجود حتی اگر تاسیسات بی برق باشد می‌تواند خطر آفرین باشد. جریان اتصالی در یک سیستم زمین دور و یا ولتاژهای خطرناک ناشی از آن، می‌تواند به سیستم زمین تاسیسات اعمال شود. لذا احتیاط های ایمنی در زمان کار باید رعایت گردند.

جدول ۱ - مقادیر قابل قبول برای مقاومت اتصالات و همبندی ها در پست های توزیع

تجهیزات	مقادیر نوعی مورد انتظار	بیشینه مقادیر قابل پذیرش
اتصالات قابل جدا شدن (اتصال پیچ و مهره‌ای)	۵ μΩ تا ۵۰ μΩ	۱۰۰μΩ
بین هر دو قلم از تاسیسات یا تجهیزات که در فاصله ۲ متری از یکدیگر قرار دارند	۲۰۰ μΩ تا ۲۵۰۰ μΩ	(۲/۵ mΩ)۲۵۰۰ μΩ
بیشینه مقاومت بین هر دو قلم تجهیز در کل پست	-	(۱۰ mΩ)۱۰۰۰۰ μΩ
مقاومت نمونه بطول ۱ متر از نوار مسی به ابعاد ۲۵ mm ×۳mm یا هادی مسی ۷۰ mm2	۲۰۰ μΩ	[1]

GasPlus.ir

در موقع اندازه‌گیری، باید علاوه بر توجه به توصیهٔ سازندهٔ دستگاه میکرو اهم متر، محل قرارگیری لیدهای اندازه‌گیری نیز در نزدیکترین موقعیت ممکن نسبت به اتصالات بوده و عاری از هر گونه آلودگی باشد. (در صورت نیاز، از برس سیمی یا سمباده استفاده شود).



شکل ۱ : اندازه‌گیری مقاومت دو سر اتصالات با میکرو اهم متر چهار ترمیناله

۵–۲–۲– کنترل صحت همبندی تمامی بدنه فلزی در دسترس(ازقبیل تانک ترانسفورماتور) به سیستم زمین پست یا شبکه صحت همبندی بین اجزاء سایتی که در بازرسی چشمی اشاره شده است باید توسط میکرو اهم متر کنترل و با مقادیر جدول ۱ مقایسه شود.

۵–۲–۳– اندازه گیری مقدار مقاومت الکتریکی سیستم زمین در قیاس با مقادیر طراحی

مقاومت سیستم زمین در موارد زیر اندازه گیری شود:

الف) تاسیسات جدید- برای چک کردن اینکه مقاومت برابر یا کمتر از مقدار طراحی است؛

ب) تاسیسات موجود- برای چک کردن اینکه مقاومت برابر یا کمتر از مقدار لازم است و تغییر اساسی نداشته است.

مقاومت می‌تواند برای برآورده شدن موارد مقتضی ذیل لحاظ گردد:

الف) حفاظت لازم برای قطع منبع توان در صورت وقوع خطای زمین انجام گیرد؛

ب) استمرار و اندازهٔ خیز پتانسیل زمین در طول رخداد خطای زمین به اندازهٔ ولتاژ تماس محدود گردد.

روش های اندازه گیری مقدار مقاومت الکتریکی سیستم زمین در این دستورالعمل بسته به ابعاد سیستم زمین که شامل حالاتهای منفرد یا گسترده بوده و کاربردهای آن عبارتند از :

GasPlus.ir

۵-۲-۳-۱- انواع روشهای اندازه گیری مقدار مقاومت الکتریکی سیستم زمین منفرد و کاربردهای آن

اندازه‌گیری مقدار مقاومت الکتریکی سیستم زمین تحت تست منفرد با توجه به امکان یا عدم امکان جداسازی تجهیزات در نقطه تست مدار از سیستم زمین (مجزا / متصل) و همچنین بکارگیری یا عدم بکارگیری از الکترودهای ارت کمکی شامل حالتهای زیر می‌باشد:

۵-۲-۳-۱-۱- امکان جداسازی تجهیزات در نقطه تست مدار از سیستم زمین(مجزا) و بکارگیری الکترودهای ارت کمکی برای این منظور از روش ۶۱.۸٪ افت پتانسیل (استاندارد BS 7430) استفاده شود که در این حالت باید الزامات و شرایط انجام تست رعایت گردد. جزئیات آن در پیوست ب ارائه شده است.

۵-۲-۳-۱-۲- امکان جداسازی تجهیزات در نقطه تست مدار از سیستم زمین(مجزا) و عدم بکارگیری الکترودهای ارت کمکی

برای این منظور از روش اندازه‌گیری دو نقطه استفاده شود در این حالت باید الزامات و شرایط انجام تست رعایت گردد. جزئیات آن در پیوست ب ارائه شده است.

۵-۲-۳-۱-۳- عدم امکان جداسازی تجهیزات در نقطه تست مدار از سیستم زمین(متصل) و بکارگیری الکترودهای ارت کمکی

برای این منظور از روش ۶۱.۸٪ و با استفاده از کلمپ CT استفاده شود. در این حالت باید الزامات و شرایط انجام تست رعایت گردد . جزئیات آن در پیوست ب ارائه شده است.

۵-۲-۳-۱-۴- عدم امکان جداسازی سیستم زمین منفرد از شبکه گسترده و عدم بکارگیری الکترودهای ارت کمکی

برای این منظور از روش اندازه‌گیری ارت تستر کلمپی استفاده شود در این حالت باید الزامات و شرایط انجام تست رعایت گردد . جزئیات آن در پیوست ب ارائه شده است.

۵-۲-۳-۲- اندازه گیری مقدار مقاومت الکتریکی سیستم زمین گسترده (شبکه زمین)

برای اندازه‌گیری مقدار مقاومت الکتریکی سیستم زمین گسترده (شبکه زمین) باید از روش شیب (SLOPE) استفاده شود که جزئیات آن در پیوست ب ارائه شده است.

توجه۱- متناسب نبودن ابعاد دریچه ارت جهت بازرسی دلیل موجهی برای عدم انجام اندازه گیری فوق نبوده و می بایست اقدامات اصلاحی در جهت رفع مشکل ذکر شده صورت گیرد.

توجه۲- طبق بخش (2) (A) بند 250.53 استاندارد NFPA 70 : 2014 اگر مقدار مقاومت الکتریکی سیستم زمین مستقل(میله‌ای، لوله‌ای یا صفحه‌ای) نسبت به زمین ،۲۵ اهم یا کمتر باشد به الکترود ارت تکمیلی(اضافی) نیاز نیست.

GasPlus.ir

توجه۳- با توجه به وجود یکسری نواقص در مستندات و نقشه های فنی سیستم زمین تاسیسات از قبیل:

الف) عدم وجود مدارک محاسبات سیستم ارت تاسیسات

ب) عدم انطباق اجرا با مدارک فنی نهایی تایید شده

ج)نامشخص بودن مشخصات فنی الکترودهای به کاربرده شده در سیستم ارت (شامل طول ، قطر ، نوع الکترود و ...)

و همچنین وجود خطای ذاتی فرمولهای ارائه شده در استاندارد و خطاهای موجود در اندازه گیری در سایتها (شامل خطای ناشی از شرایط اندازه گیری و خطای ناشی از دستگاههای اندازه گیری و ...) امکان تعیین حد مجاز بیشینه برای مقدار مقاومت الکترود مجزا(مستقل) از شبکه بصورت دقیق مقدور نمی باشد. بنابراین تشخیص لزوم اقدام اصلاحی در خصوص الکترودهایی که مقدار مقاومت نامتعارف نسبت به سایر الکترودهای موجود در تاسیسات دارند با بازرس فنی میباشد.

توجه۳ : روشهای اندازه‌گیری مقاومت ویژهٔ خاک در پیوست پ تشریح است.

توجه۴ : جهت مقایسه نتایج هر دوره با دوره‌های قبل باید مسیر تست و محل میله ها برای یکبار توسط مجری ثبت گردد و اندازه‌گیری آتی مطابق با مسیر تست و محل میله‌ها و شرایط زمانی مشابه انجام شود.

توجه ۵ : در مواردی که از الکترودهای ارت کمکی برای اندازه‌گیری مقاومت سیستم زمین استفاده می‌شود نقشه ترسیمی سیستم زمین که شامل مسیر چیدمان الکترودها می‌باشد باید به پیوست ارائه گردد.

۵-۳- بازهٔ زمانی اندازه‌گیری مقاومت الکتریکی سیستم زمین

اندازه‌گیری مقدار مقاومت الکتریکی به عنوان بخشی از بازرسی دوره‌ای سیستم زمین باید با تشخیص امور بازرسی فنی آن سازمان در بدترین شرایط خاک (حداقل رطوبت خاک) انجام گیرد.

توجه مهم: مطابق با بند E.7.1 استاندارد IEC 62305-3:2010 و BS EN 62305-3:2011 و مطابق با جدول E.2 ، ماکزیمم فاصله زمانی بین دورهای بازرسی از سیستم حفاظت در مقابل صاعقه ارائه شده است و طی آن ماکزیمم بازه زمانی اندازه-گیریهای الکتریکی(شامل مقاومت سیستم زمین حفاظت در مقابل صاعقه، پیوستگی الکتریکی هادی میانی و ...) سالی یکبار ذکر شده است . بنابراین نکته، اندازه‌گیری مقاومت الکترکی سیستم زمین حفاظت در مقابل صاعقه باید سالی یکبار انجام شود.

۵-۴- معیار پذیرش مقدار مقاومت الکتریکی سیستم زمین

معیار پذیرش مقدار مقاومت الکتریکی سیستم زمین در انواع مختلف سیستم‌های زمین طبق جدول ۲۰ بند 7.11.11.7 استاندارد IPS-E-EL100(1):2012 تعیین شده است و می بایست مطابق به جدول ۲ رعایت شود.

GasPlus.ir

جدول۲- مقدار مجاز مقاومت الکتریکی انواع سیستم زمین

انواع سیستم زمین	حداکثرمقدار مقاومت بر حسب اهم
پست ولتاژ متوسط و ولتاژ بالا (M.V & H.V Substation)	۱
نیروگاه ولتاژ متوسط(M.V Power generation)	۱
سیستم توزیع ولتاژ پایین(L.V Distribution system)	۲
سیستم زمین نقطه نول فشار ضعیف (Plant Main earth grid)	۴
سیستم زمین اصلی(Main earth grid)	۱
سیستم حفاظت در مقابل صاعقه (Lightning protection system)	۵
تجهیزات ابزاردقیق،سیستمهای اندازه‌گیری،کنترل و مخابرات (Clean earth for instrumentation , control computer , and communication system)	۱

یادآوری ۱- مقدار مقاومت الکتریکی سیستم زمین سیستم حفاظت در مقابل صاعقه برای ساختمانهای مخابراتی طبق استاندارد IGS-E-IT-006(0) برای فرکانس DC زیر ۳ اهم توصیه شده و نحوه همبندی بین تمامی سیستمهای زمین به صورت مشترک می‌باشد.

یادآوری۲- با توجه به بند ۱۲ استاندارد IEEE 81:2012 درخصوص امپدانس گذرای سیستم زمین سیستم حفاظت در مقابل صاعقه و تاکید این استاندارد بر استفاده از دستگاههای اندازه‌گیری امپدانسی به جای دستگاههای اندازه گیری مقاومتی، استفاده از دستگاههای فوق برای اندازه‌گیری مقدار مقاومت سیستم زمین سیستم حفاظت در مقابل صاعقه تحت بررسی است و تا حصول نتیجه مناسب، استفاده از دستگاههای تست مقاومتی برای این منظور الزامی است.

۵-۵- نحوه همبندی انواع سیستمهای زمین

با توجه به اختلافات موجود بین استانداردها دراین خصوص ، چگونگی همبندی بین انواع مختلف سیستم زمین از قبیل برق، ابزار دقیق، مخابرات و سیستم حفاظت در مقابل صاعقه تحت بررسی است.

۵-۶- ملاحظات عمومی در ارتباط با مشکلات اندازه گیری

برای اندازه‌گیری صحیح و دقیق مقاومت الکتریکی سیستم زمین باید ملاحظاتی از قبیل پیچیدگی، الکترودهای تست، جریانهای مستقیم سرگردان، جریانهای متناوب سرگردان، تزویج بین رابطهای تست، اشیاء فلزی مدفون و مؤلفهٔ راکتیو امپدانس سیستم زمین بزرگ لحاظ گردد که جزئیات مربوطه در پیوست ت ارائه گردیده است.

GasPlus.ir

۵-۷- فرم جامع بازرسی از سیستم زمین

با توجه به انواع بازرسی از سیستم زمین مورد اشاره در متن دستورالعمل، فرمهای بازرسی از سیستم زمین به صورت زیر دسته‌بندی می‌شود:

۵-۷-۱- فرم بازرسی چشمی

اطلاعات بازرسی چشمی باید مطابق با فرم بازرسی چشمی سیستم زمین (فرم شماره ۱) تکمیل گردد.

۵-۷-۲- فرم‌های بازرسی دوره‌ای

اطلاعات بازرسی‌های دوره‌ای باید مطابق با فرمهای زیر تکمیل گردد.

- فرم اندازه‌گیری مقاومت اتصالات و همبندی‌ها در پستهای توزیع (فرم شماره ۲)
- فرم اندازه‌گیری مقدار مقاومت الکتریکی سیستم زمین (فرم شماره۳)

۶- بازرسی همبندی سیستم زمین ولتاژ بالا – سیستم زمین ولتاژ پایین

۶-۱- مقدمه

با توجه به آرایش سیستم زمین ولتاژ پایین و بدلیل یکی از موارد ذیل، شاهد اضافه ولتاژ موقت تماس و اضافه ولتاژ موقت بهره‌برداری(تنش) خواهیم بود که این موارد عبارتند از :[۴]

۱- خطا بین سیستم(سیستم‌ها) ولتاژ بالا و زمین
۲- از دست دادن نول در سیستم ولتاژ پایین
۳- زمین شدن تصادفی آرایش IT سیستم ولتاژ پایین
۴- اتصال کوتاه در تاسیسات ولتاژ پایین

یکی از این مواردی که منجر به ایجاد شدیدترین اضافه ولتاژ موقت در تاسیسات ولتاژ پایین می شود، ایجاد خطا بین سیستم ولتاژ بالا و سیستم زمین ولتاژ بالا در پستهای ترانسفورمری که تاسیسات ولتاژ پایین را تغذیه می‌کند، می‌باشد.

به منظور فراهم کردن ایمنی تاسیسات ولتاژ پایین در مقابل این رخداد اشاره شده باید الزاماتی را رعایت کرد.

۶-۲- اضافه ولتاژ در سیستمهای ولتاژ پایین در حین خطای زمین ولتاژ بالا

در هنگامی که خطای اتصال زمین در سمت پستهای ولتاژ بالا رخ می‌دهد، پتانسیل سیستم زمین ولتاژ بالا افزایش یافته و به سمت تاسیسات ولتاژ پایین منتقل می‌شود. این ولتاژ انتقالی ضمن افزایش سطح ولتاژ تماس در تاسیسات ولتاژ پایین، منجر به تحمیل اضافه ولتاژ بر روی ولتاژهای فاز به زمین یا فاز به نول[۵] (با توجه به آرایش سیستم زمین ولتاژ پایین) خواهد شد.

[4] BS 7671
[5] U_0

GasPlus.ir

در مواردی که خطای اتصال زمین در سمت پستهای ولتاژ بالا رخ می‌دهد، اضافه ولتاژهای زیر ممکن است بر روی تاسیسات ولتاژ پایین اثر بگذارد:

۱- ولتاژ خطای فرکانس قدرت(ولتاژ تماس)[۶]

۲- ولتاژ تنش (استرس) فرکانس قدرت[۷]

در تاسیساتی که دو سیستم زمین ولتاژ بالا (HV) و سیستم زمین ولتاژ پایین (LV) در مجاورت یکدیگر قرار می گیرند، دو شیوه در حال حاضر مورد استفاده قرار می‌گیرند:

۱- اتصال تمامی سیستم‌های زمین ولتاژ بالا (R_E) و سیستم‌های زمین ولتاژ پایین (R_B)

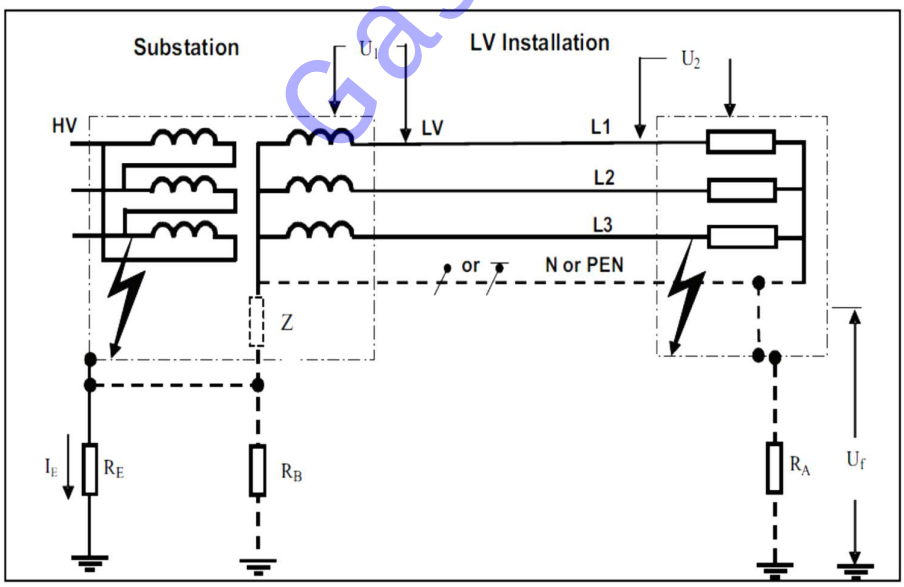
۲- جداسازی سیستم‌های زمین ولتاژ بالا (R_E) از سیستم‌های زمین ولتاژ پایین (R_B)

روش عمومی که بکار برده می‌شود، اتصال تمامی سیستم‌های زمین ولتاژ بالا (R_E) و سیستم‌های زمین ولتاژ پایین (R_B) می باشد.

اگر سیستمهای ولتاژ پایین کاملا" در منطقه تحت پوشش سیستم زمین ولتاژ بالا محدود شده باشد، سیستمهای زمین ولتاژ بالا و سیستم‌های زمین ولتاژ پایین باید اتصال متقابل داشته باشند.

شکل ۲، آرایش مختلف سیستم‌های زمین در پست ترانسفورماتوری و تاسیسات ولتاژ پایین را نشان می‌دهد.

شکل۲- آرایش مختلف سیستم های زمین در پست ترانسفورماتوری و تاسیسات ولتاژ پایین



GasPlus.ir

[6] U_f

[7] U_1 &U_2

جدول ۳، محاسبات اضافه ولتاژ موقت خطای فرکانس قدرت و اضافه ولتاژهای موقت استرس(تنش) فرکانس قدرت در حالت های مختلف توزیع شبکه های ولتاژ پایین ارائه شده است.

جدول ۳- محاسبات ولتاژهای U_f , U_1 , U_2 در حالت های مختلف توزیع شبکه های ولتاژ پایین[8]

نوع سیستم زمین	نوع اتصالات زمین	U_1	U_2	U_f
TT	R_B و R_E متصل	U_0	$R_E \times I_E + U_0$	0
	R_B و R_E جدا	$R_E \times I_E + U_0$	U_0	0
TN	R_B و R_E متصل	U_0	U_0	$R_E \times I_E$
	R_B و R_E جدا	$R_E \times I_E + U_0$	U_0	0
IT	R_E و Z متصل	U_0	$R_E \times I_E + U_0$	0
	R_A و R_E جدا	$U_0 \times \sqrt{3}$	$R_E \times I_E + U_0 \times \sqrt{3}$	$R_A \times I_h$
	R_E و Z متصل	U_0	U_0	$R_E \times I_E$
	R_A و R_E اتصال داخلی	$U_0 \times \sqrt{3}$	$U_0 \times \sqrt{3}$	$R_E \times I_E$
	Z و R_E جدا	$R_E \times I_E + U_0$	U_0	0
	R_A و R_E جدا	$R_E \times I_E + U_0 \times \sqrt{3}$	$U_0 \times \sqrt{3}$	$R_A \times I_d$

GasPlus.ir

توجه ۱: کادر خاکستری رنگ تاثیر خطای اتصال زمین در سمت ولتاژ پایین روی محاسبات اضافه ولتاژها، همزمان با رخداد خطا در سمت ولتاژ بالا را نشان می دهد.

یک نوع دیگر از اضافه ولتاژهای موقت، اضافه ولتاژ ناشی از زمین شدن اتفاقی هادی فاز در سیستم ولتاژ پایین IT با نول توزیع شده می باشد. در این وضعیت ، عایق یا اجزای تشکیل دهنده مجاز برای ولتاژ بین هادی‌های فاز و نول (U_0) می تواند موقتا استرسی با ولتاژ فاز به فاز (U) داشته باشد. ولتاژ استرس تا مقدار ولتاژ فاز به فاز (U) میتواند برسد.($U=\sqrt{3}\,U_0$)[9]

توجه ۲: در سیستمهای TT و TN عبارت "متصل" و "مجزا" به اتصال الکتریکی بین R_E و R_B اشاره دارد. برای سیستمهای IT عبارت "متصل" و "مجزا" به اتصال الکتریکی بین R_E و Z و اتصال الکتریکی بین R_E و R_A اشاره دارد.

[8] BS 7671

[9] BS 7671-442.4

اضافه ولتاژهای موقت خطا و استرس فرکانس قدرت (U_f ، U_1 وU_2) به منظور متصل نمودن سیستم زمین ولتاژ پایین به سیستم زمین ولتاژ بالا یا مجزا نمودن سیستم زمین ولتاژ پایین از سیستم زمین ولتاژ بالا در آرایشهای مختلف سیستم زمین ولتاژ پایین باید در محدوده مجاز قرار داشته باشد.

۶-۳- همبندی سیستم زمین ولتاژ بالا – سیستم زمین ولتاژ پایین

در تاسیسات که دو سیستم زمین ولتاژ بالا(HV) و سیستم زمین ولتاژ پایین (LV) در مجاورت یکدیگر قرار می گیرند و یک سیستم زمین یکپارچه را تشکیل نمی دهند، بدلیل بروز خطای اتصالی فاز به زمین در سمت ولتاژ بالا و با توجه به نوع آرایش سیستم زمین ولتاژ پایین[۱۰] و نحوه همبندی آن (متصل یا مجزا) به سیستم زمین ولتاژ بالا ، شاهد ایجاد اضافه ولتاژهای خطای فرکانس قدرت و استرس فرکانس قدرت در سمت ولتاژ پایین خواهیم بود. پس از آشنایی با اضافه ولتاژهای ناشی از این رخداد و محاسبات مربوط به آن، اطمینان از برآورده‌شدن الزامات مربوط به چگونگی همبندی سیستم زمین ولتاژ پایین و سیستم زمین ولتاژ بالا باید در شرایط دو گانه ذیل مورد بررسی و بازرسی قرار گیرد.جزییات مربوط به اضافه ولتاژهای خطا و استرس در آرایش TN و در حالتهای متصل و مجزا در پیوست ج ارائه شده است.

۶-۳-۱- متصل بودن سیستم زمین ولتاژ بالا و سیستم زمین ولتاژ پایین

به منظور بازرسی از همبندی سیستم زمین ولتاژ بالا و سیستم زمین ولتاژ پایین در حالت متصل و با توجه به آرایشهای مختلف سیستم زمین ولتاژ پایین، باید الزامات مربوط به افزایش پتانسیل زمین ایجاد شده ناشی از خطای فاز به زمین در سمت ولتاژ بالا برای ولتاژ تماس و ولتاژ استرس رعایت شود. برای این منظور در ابتدا باید با استعلام مقدار جریان محدود کننده[۱۱] و اندازه‌گیری مقدار مقاومت سیستم زمین ولتاژ بالا[۱۲]، حداکثر افزایش پتانسیل سیستم زمین ولتاژ بالا مطابق با پیوست چ محاسبه شود ، سپس زمان عملکرد رله حفاظتی خطای زمین بر مبنای جریان محدود کننده به دست آمده سپس ولتاژ تماس مجاز[۱۳] به هنگام خطای اتصال زمین در سمت ولتاژ بالا بر حسب زمان کل قطع رله حفاظتی از منحنی ح-۱ استخراج شود. آنگاه باید الزامات جدول ۴ رعایت گردد.[۱۴]

سیستم زمین ولتاژ بالا و سیستم زمین ولتاژ پایین در مواردی که از هم قابل تفکیک نباشند باید به هم متصل باشند. حالت دیگری رخ می دهد که سیستم زمین ولتاژ بالا و سیستم زمین ولتاژ پایین از هم قابل تفکیک هستند لیکن بر اساس شرایط طراحی به هم همبند می‌گردند.

[10] TT، TN و IT

[11] I_{NGR}

[12] R_E

[13] U_{TP}

[14] BS EN 50522-TABLE 2

GasPlus.ir

جدول ۴- حداقل الزامات همبندی سیستم های زمین ولتاژ بالا و سیستم زمین ولتاژ پایین

نوع سیستم فشار ضعیف		الزامات EPR		
		ولتاژ تماس(شرط ۱)	ولتاژ تنش(شرط ۲)	
			زمان خطا $t_f \leq 5$ s	زمان خطا $t_f > 5$ s
TT		غیر کاربردی	$EPR \leq 1200$ v	$EPR \leq 250$ v
TN		$EPR \leq F.U_{TP}$	$EPR \leq 1200$ v	$EPR \leq 250$ v
IT	هادی زمین حفاظتی توزیع شده است	مشابه سیستم TN	$EPR \leq 1200$ v	$EPR \leq 250$ v
	هادی زمین حفاظتی توزیع نشده است	غیر کاربردی	$EPR \leq 1200$ v	$EPR \leq 250$ v

توجه ۱- اگر هادی مشترک حفاظتی- خنثی یا هادی خنثی سیستم ولتاژ پایین فقط از طریق سیستم زمین ولتاژ بالا به زمین متصل شده باشد، مقدار F باید ۱ در نظر گرفته شود.

توجه ۲- مقدار F در حالت معمولی، ۲ در نظر گرفته شود.

مقادیر بالاتر F ممکن است جایی که اتصالات اضافی هادی حفاظتی – خنثی به زمین وجود دارد ، به کار برده شود.

برای خاکهای با ساختار خاص ، مقدار F تا ۵ می تواند برسد. زمانی که این قانون در خاکهای با اختلاف مقاومت ویژه بالا جایی که لایه‌های بالاتر مقاومت ویژه بالاتری دارد به کار برده می‌شود، توجه ویژه‌ای نیاز است. ولتاژ تماس در این موارد می‌تواند بیش از ٪ ۵۰ افزایش پتانسیل زمین باشد.

توجه ۳- U_{TP} از شکل ح- ۱پیوست ح به دست می‌آید.

در مواردی که تفکیک تابلوها و تاسیسات ولتاژ بالا از ولتاژ پایین ممکن نباشد(مانند پستهای تمام فلزی یا بتن مسلح که تابلوهای ولتاژ بالا و ولتاژ پایین آن از طریق اجزای فلزی ساختمان آن، یا میلگردهای بتن، به همدیگر وصل شده اند از یک سیستم زمین مشترک استفاده می شود و به دلیل مجاورت تجهیزات، امکان جداسازی سیستم های زمین وجود ندارد.

توجه۴ : شرط حداکثر مقاومت زمین مشترک یک اهم[15] ، یک شرط لازم بوده و کافی نمی باشد.

الگوریتم بازرسی سیستم زمین ولتاژ بالا و سیستم زمین ولتاژ پایین متصل در پیوست خ ارائه شده است.

[15] BS EN 7430

GasPlus.ir

۶-۳-۲- مجزا بودن سیستم زمین ولتاژ بالا و سیستم زمین ولتاژ پایین

به منظور بازرسی از همبندی سیستم زمین ولتاژ بالا و سیستم زمین ولتاژ پایین در حالت مجزا و با توجه به آرایشهای مختلف سیستم زمین ولتاژ پایین، باید الزامات مربوط به اضافه ولتاژ موقت استرس(تنش) فرکانس قدرت سمت ولتاژ پایین ناشی شده از اتصال فاز به سیستم زمین ولتاژ بالا رعایت گردد. همچنین باید صحت جدایی موثر سیستم زمین ولتاژ بالا و سیستم زمین ولتاژ پایین مجزا مورد بررسی و ارزیابی قرار گیرد و در صورتی که تمامی الزامات ارائه شده در زیر برقرار بود ، دو سیستم زمین از هم مجزا گردند.

۶-۳-۲-۱- الزامات اضافه ولتاژ موقت استرس فرکانس قدرت

اضافه ولتاژهای استرس باید مطابق با جدول۳ محاسبه شده و مقدار آنها از مقادیر ارائه شده در جدول ۵ کمتر باشد.[16]

جدول ۵- حداکثر ولتاژ تنش بر حسب زمان عملکرد سیستم حفاظتی فشار قوی

ولتاژ تنش مجاز قابل اعمال روی تجهیزات فشار ضعیف (ولتاژ)	مدت زمان خطای اتصال زمین در سیستم فشار قوی (زمان)
$U_1 \& U_2 \leq U_0 + 250$	$> 5\ s$
$U_1 \& U_2 \leq U_0 + 1200$	$\leq 5\ s$

GasPlus.ir

۶-۳-۲- بررسی صحت جدایی سیستم زمین ولتاژ بالا از سیستم زمین ولتاژ پایین[17]

وقتی که تاسیسات دارای دو سیستم زمین ولتاژ بالا و سیستم زمین ولتاژ پایین مجزا باشد، دو سیستم زمین میبایست به نحو موثری از یکدیگر جدا باشند. جدایی مؤثر بین دو سیستم زمین ممکن است در اثر عوامل زیر بطور کامل از بین رفته و یا ناکافی باشد:

- اتصال سهوی بین دو سیستم زمین در زمان نصب و یا در زمان تعمیرات و اصلاحات
- کافی نبودن فاصله بین دو سیستم زمین بدلیل اشتباه در طراحی، عدم وجود فضای کافی، وجود سازه یا تجهیزات فلزی مدفون در حد فاصل دو سیستم زمین.
- ممکن است دو سیستم زمین، کاملا مستقل باشند ولی از هادیهایی جهت ارتباط این دو سیستم با نقاط و تجهیزات مربوطه استفاده گردد که بدون عایق بوده و از نزدیکی یکدیگر عبور کند.

[16] BS 7671-table 44.2
[17] Separation Integrity Check

- ممکن است دو سیستم زمین، کاملا مستقل باشند و در نقاط مورد نیاز از هادیهای عایق دار جهت اتصال یا همبندی استفاده شده باشد ولی خود تجهیزات مرتبط به دو سیستم، در نزدیکی یکدیگر قرار داده شده باشند یا بدلیل شرایط محلی از طریق اجزا فلزی محل نصب، به یکدیگر وصل شده باشند.

توجه: به استناد بند 6.1.3 استاندارد BS EN 50522:2010 ، برای تاسیسات زیر 50KV ، در بسیاری موارد یک فاصلهٔ ۲۰ متری بین سیستمهای ارت مستقل بکار برده شده است. برای خاکهای با ساختار خاص، ممکن است مقادیر دیگری مناسب باشد.

توجه: فاصله مورد نیاز بین دو سیستم زمین مجزای ولتاژ بالا و ولتاژ پایین در تاسیسات، تابعی از عوامل مختلفی از جمله افزایش پتانسیل زمین روی سیستم زمین ولتاژ بالا، مقاومت مخصوص خاک، ولتاژ مجاز روی سیستم زمین ولتاژ پایین است و حداقل فاصله های گفته شده در استانداردها(۲۰متر، ۹متر،۸ متر، ...) ممکن است در برخی شرایط مناسب نبوده و دو سیستم را بطور مؤثر از یکدیگر جدا نکند. (مثلا زمانیکه مقاومت مخصوص خاک بسیار بالا باشد)

در صورتیکه در اثر یکی از عوامل یاد شده در بالا، جدایی مؤثر بین دو سیستم زمین مستقل وجود نداشته باشد ، عملا جداسازی کاری بی حاصل است.

لذا بازرس باید صحت جدایی موثر دو سیستم زمین مستقل ولتاژ بالا و ولتاژ پایین را به روش زیر مورد بررسی و ارزیابی قرار دهد.

۶-۳-۲-۲-۱- تجهیزات آزمون

به منظور انجام این آزمون تجهیزات زیر موزد نیاز می باشد:

- دستگاه اندازه‌گیری مقاومت زمین ۴ ترمیناله
- سیمهای رابط و اتصال دهنده‌های مناسب به تعداد ۴ عدد
- دستکش و کفش دی‌الکتریک عایق ولتاژ بالا کلاس ۱
- میکرو اهم‌متر ۴ ترمیناله
- سیم‌های رابط و گیره‌های مناسب به تعداد ۴ عدد

۶-۳-۲-۲- ۲-روش آزمون

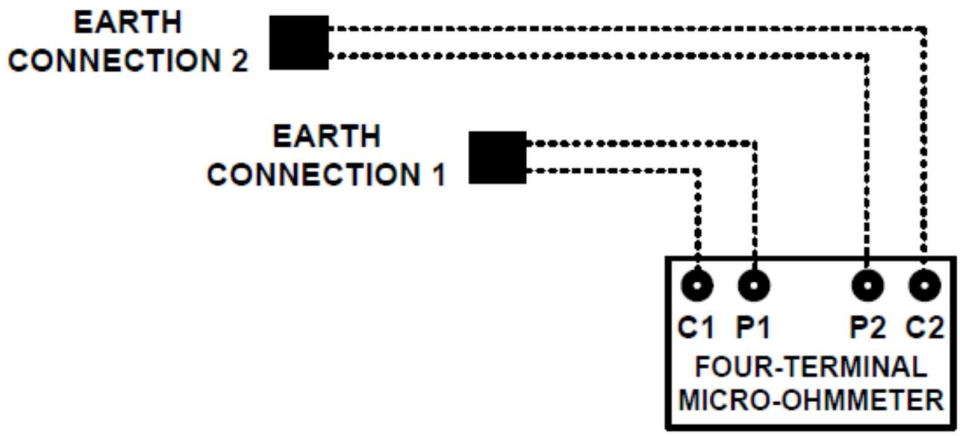
- مقاومت الکتریکی سیستم زمین ولتاژ بالا (R_{HV}) و مقاومت الکتریکی سیستم زمین ولتاژ پایین (R_{LV}) به صورت مستقل با استفاده از روش افت پتانسیل٪ ۶۱,۸ اندازه‌گیری شود.
- مقاومت حلقه زمین[18] (R_S) دو الکترود با زمین با استفاده از میکرو اهم‌متر به روش زیر اندازه‌گیری شود. شکل ۳ نشان دهنده روش آزمون می‌باشد.
  - ترمینالهای C_1 و P_1 میکرو اهم‌متر با گیره‌های مناسب به سیستم زمین ولتاژ بالا متصل شود.

[18] EARTH LOOP

GasPlus.ir

- ترمینالهای C_2 و P_2 میکرو اهم‌متر با گیره‌های مناسب به سیستم زمین ولتاژ پایین متصل شود.

- مقاومت بین سیستم زمین ولتاژ بالا و سیستم زمین ولتاژ پایین (R_S) اندازه‌گیری شود.



شکل۳- اندازه‌گیری مقاومت بین دو سیستم زمین (حلقه) با میکرو اهم‌متر

۶-۳-۲-۲-۳- تحلیل نتایج

اگر مقاومت الکتریکی سیستم زمین ولتاژ بالا (R_{HV}) و مقاوت الکتریکی سیستم زمین ولتاژ پایین (R_{LV}) دو الکترود توسط فاصله بزرگی جدا شده باشند آنگاه مقاومت الکتریکی بین سیستم زمین ولتاژ بالا و سیستم زمین ولتاژ پایین (R_S) از سری کردن مقاومت الکتریکی سیستم زمین ولتاژ بالا (R_{HV}) و مقاومت الکتریکی سیستم زمین ولتاژ پایین (R_{LV}) حاصل خواهد شد.

در صورتی که مقدار مقاومت الکتریکی بین سیستم زمین ولتاژ بالا و سیستم زمین ولتاژ پایین (R_S) کمتر از شاخص در نظر گرفته شده در زیر باشد، نشان دهنده درجه‌ای از کوپلینگ هدایتی از طریق خاک می‌باشد.

$$R_S > 0.9\ (R_{HV} + R_{LV})$$

(R_{HV}) : مقاومت الکتریکی سیستم زمین ولتاژ بالا

(R_{LV}): مقاوت الکتریکی سیستم زمین ولتاژ پایین

(R_S): مقاومت الکتریکی بین سیستم زمین ولتاژ بالا و سیستم زمین ولتاژ پایین

توجه: در ارزیابی یاد شده ، صحت اندازه گیری مقاومت الکتریکی سیستم زمین ولتاژ بالا و مقاومت الکتریکی سیستم زمین ولتاژ پایین نسبت به زمین، بویژه زمانی که مقاومت آنها کم باشد، بسیار مهم است.

توجه: دلیل اتصال دو سیستم زمین مستقل یا کافی نبودن فاصله جدایی آنها میبایست شناسایی و رفع گردد. در صورت عدم امکان، مشکل بودن و یا صرف هزینه بالا جهت جداسازی، هرگونه اقدام اصلاحی و تغییر میبایست با نظر و تایید واحدهای مهندسی صورت پذیرد.

الگوریتم بازرسی سیستم زمین ولتاژ بالا و سیستم زمین ولتاژ پایین مجزا در پیوست د ارائه شده است.

GasPlus.ir

۶-۴- الزامات همبندی سیستم زمین ولتاژ بالا و سیستم زمین ولتاژ پایین

۶-۴-۱- متصل بودن سیستم زمین ولتاژ بالا و سیستم زمین ولتاژ پایین

در این حالت همبندی بین تمامی تجهیزات ذیل به زمین مشترک الزامی است :

- بدنه ترانسفورماتور
- شیلد فلزی کابل های MV
- شیلد فلزی کابلهای LV
- بدنه های هادی تجهیزات HV (بدنه تابلوهای MV و. ..)
- بدنه های هادی بیگانه
- بدنه های هادی تجهیزات LV (بدنه تابلوهای LV سمت مصرف کننده)
- نقطه نول ترانسفورماتور

۶-۴-۲- مجزا بودن سیستم زمین ولتاژ بالا از سیستم زمین ولتاژ پایین

۶-۴-۲-۱- سمت ولتاژ بالا

در این مرحله اطمینان از برقراری همبندی بین تمامی تجهیزات ذیل به سیستم زمین ولتاژ بالا الزامی است :

- بدنه ترانسفورماتور
- شیلد فلزی کابل های MV
- بدنه های هادی تجهیزات HV (بدنه تابلوهای MV و. ..)
- بدنه های هادی بیگانه

۶-۴-۲-۲- سمت ولتاژ پایین

در این شرایط اطمینان از برقراری همبندی بین تمامی تجهیزات ذیل به سیستم زمین ولتاژ پایین الزامی است:

- شیلد فلزی کابلهای LV
- بدنه های هادی تجهیزات LV (بدنه تابلوهای LV سمت مصرف کننده)
- نقطه نول ترانسفورماتور
- بدنه های هادی تجهیزات LV (بدنه تابلوهای LV واقع در پست)

۶-۵- فرم بازرسی سیستم زمین ولتاژ بالا – ولتاژ پایین

۶-۵-۱- فرم بازرسی سیستم زمین ولتاژ بالا – ولتاژ پایین در حالت متصل و مجزا

بازرسی از همبندی سیستم زمین ولتاژ بالا – ولتاژ پایین باید در فرم‌های زیر در دوحالت متصل و مجزا تکمیل گردد.

- فرم جامع بازرسی سیستم زمین ولتاژ بالا – ولتاژ پایین متصل(فرم شماره ۴)

- فرم جامع بازرسی سیستم زمین ولتاژ بالا – ولتاژ پایین مجزا (فرم شماره ۵)

GasPlus.ir

۶-۵-۲- فرم بازرسی چشمی

بازرسی چشمی از همبندی سیستم زمین ولتاژ بالا – ولتاژ پایین باید در فرم‌های زیر در دوحالت متصل و مجزا تکمیل گردد.

- فرم جامع بازرسی چشمی سیستم زمین ولتاژ بالا – ولتاژ پایین متصل(فرم شماره ۶)
- فرم جامع بازرسی چشمی سیستم زمین ولتاژ بالا – ولتاژ پایین مجزا (فرم شماره ۷)

۷-پیوستها

پیوست الف- ایمنی

اقدامات احتیاطی که جهت ایمنی و کاهش خطرات حین بازرسی از سیستم زمین باید لحاظ گردد شامل موارد زیر است:

۱) صلاحیت: تمامی کار بایستی تحت کنترل و هدایت شخص ذیصلاح انجام گیرد. تمامی پرسنل درگیر در روند تست بایستی اشخاص آموزش دیده باشند. از تماس مستقیم با سیم های ارتباطی دستگاه و میله ها در طول تست خودداری نمود(مگر موارد خاص که آموزش لازم در این ارتباط برای پرسنل ذیربط برگزار شده باشد) توجه ویژه شود که سیم های ارتباطی دستگاه از میان زمینهای قابل دسترس عموم و یا احشام عبور داده نشود.

۲) آذرخش: اگر رخداد آذرخش (قابل رؤیت یا شنیدن) محتمل بوده و اعلان خطر صاعقه صادر شده باشد، کار نبایستی شروع و یا ادامه پیدا کند؛ چرا که احتمال تحت تأثیر قرار گرفتن شبکه‌ای که به سیستم زمین متصل است وجود دارد. اگر در شبکه های متصل به سیستم زمین، کلید زنی ناشی از اتصالی رخ دهد، کار نباید انجام شود.

۳) تجهیزات حفاظتی شخصی: ارتباط میله های دستگاه ارت تستر (اجزای هادی بیگانه) با آرایش سیستم زمین می‌تواند باعث ولتاژ تماس بالایی شود. در نتیجه باید کفش عایقی مناسب، لباس ضد حریق و دستکش عایق (۷/۵ کیلو ولت) در طول انجام تست پوشیده شود.

۴) تجهیزات تست: برای اطمینان از ایمنی کاربر و سازگاری عملکرد روی سیستم زمین، تمامی تجهیزات تست انتخاب شده بایستی در راستای ایمنی مطابق با دستهٔ IV استاندارد BS EN 61010 و در راستای عملکرد مطابق با استاندارد BS EN 61557 باشد. اگر تجهیز دیگری استفاده گردد نبایستی درجهٔ ایمنی و عملکرد پایینی را فراهم نماید. رابطهای تست عایق دار بایستی بطور مناسب ارزیابی شده و از طول و استحکام کافی برای کشیده شدن در طول مسیر برخوردار باشد. رابطهای جریان و ولتاژ بایستی از رنگهای متفاوت باشد تا اینکه از سردرگمی موقع اتصال به دستگاه تست جلوگیری شود. پیوستگی رابطها بایستی قبل از استفاده بررسی شود. بایستی یک کفپوش عایقی که به اندازهٔ کافی بزرگ باشد برای تجهیزات تست و اپراتور در دسترس بوده و موقع تست استفاده شود.

GasPlus.ir

۵) مسیر تست: مسیر تست بایستی طوری انتخاب شود که تا حد امکان مستقیم بوده ضمن اینکه هر گونه خطری را کاهش دهد. تا آنجائیکه ممکن است مسیر نبایستی از جاده‌ها و یا پیاده‌روهای پر رفت و آمد عبور کند مگر اینکه اقدام احتیاطی مناسب و علامت‌های مقتضی در محل در نظر گرفته شود. جائیکه رابطها بصورت حلقه جمع شده باشد بایستی قبل از شروع تست بطور کامل باز شود تا اینکه اندوکتانس رابط و خطای اندازه‌گیری پتانسیل را کاهش دهد. رابطهای تست نبایستی ترجیحاً موازی با خطوط برق هوایی برای یک طول قابل ملاحظه امتداد یابد. بمنظور مقایسه های آتی میبایست مسیر تست و محل میله ها ثبت گردد.

۶) ارتباط: در زمان تست مقاومت زمین، شخص با صلاحیت که مسوولیت انجام کار با اوست میبایست در مسیرهای طولانی، ارتباط دائمی با نفراتی داشته باشد که در نقطه ای دور از محل تست، وظیفه جابجایی وایرها و میله های تست را دارند.

۷) تست وجود ولتاژها روی سیستم زمین: قبل از هر گونه تست زمین، لازمست از عدم وجود ولتاژهای سرگردان روی زمین تحت تست مطمئن شد. یک آشکار ساز ولتاژ تأیید شده بمنظور انجام این کار ترجیح داده می‌شود.

GasPlus.ir

پیوست ب – روشهای کاربردی اندازه‌گیری مقاومت الکتریکی سیستم زمین

تمامی روشهای اندازه‌گیری مقاومت الکتریکی سیستم زمین اشاره شده در متن دستورالعمل به شرح زیر می‌باشد:

ب–۱– روش افت پتانسیل(FOP)[19]

ب–۱– ۱– کلیات

در این روش مطابق شکل (ب-۱) جریان بین الکترود زمین (G) و پروب جریان (CP) دستگاه سه یا چهار ترمیناله عبور داده شده و ولتاژ بین G و پروب پتانسیل (PP) اندازه‌گیری می‌شود، همانطور که در شکل (ب-۱) نشان داده شده است، برای به حداقل رساندن تأثیرات بین الکترودی به دلیل مقاومت متقابل، پروب جریان در فاصلهٔ قابل توجهی از الکترود زمین تحت تست قرار می‌گیرد. نوعاً این فاصله حداقل پنج برابر بزرگترین ابعاد الکترود زمین تحت تست است. پروب پتانسیل معمولاً همسو با پروب جریان قرار می‌گیرد ولی می‌تواند در جهت مخالف آن همانطور که در شکل (ب-۱) نشان داده شده قرار بگیرد. پس از برآورده شدن معیار برای پروب جریان، محل قرارگیری پروب پتانسیل برای اندازه‌گیری دقیق مقاومت الکترود زمین بسیار مهم می‌باشد. لازم است محل قرار گیری طوری انتخاب شود که پروب پتانسیل از تأثیرات هر دو پروب جریان و الکترود زمین تحت تست آزاد باشد. یک روش عملی برای تعیین اینکه پروب پتانسیل از تأثیرات سایر الکترودها مستقل است، بدست آوردن چندین قرائت اندازه‌گیری بوسیلهٔ حرکت دادن پروب پتانسیل بین شبکه زمین و پروب جریان است. با قرائت کردن دو یا سه مقاومت ثابت متوالی می‌توان فرض کرد که مقدار مقاومت صحیح نشان داده شده است (روش شیب مسطح). شکل (ب-۲) نمودار نوعی از مقادیر امپدانس بر حسب فاصلهٔ PP از زمین را نشان می‌دهد. منحنی نشان داده شده با خط ممتد بیان می کند که در شرایط همسویی الکترودهای جریان و پتانسیل، مقدار مقاومت در نزدیکی الکترود زمین صفر و در نزدیکی پروب جریان بینهایت می‌شود. منحنی متناظر با PP و CP در جهات مخالف، بوسیلهٔ منحنی نقطه چین نشان داده می شود . منحنی نشان داده شده در شکل (ب-۲) برای خاک یکنواخت[20] است. برای خاک های غیر یکنواخت این منحنی ممکن است شیب مسطح نداشته باشد. برای یک خاک یکنواخت، منحنی نقطه چین نشان داده شده در شکل (ب-۲) همیشه به منحنی ممتد از سمت پایین نزدیک می‌شود. در عین حال نوسانات منحنی، در خاک های غیر یکنواخت در شرایط PP و CP در جهات مخالف ، قابل ملاحظه تر است.

توجه: اندازه‌گیری دقیق امپدانس با این روش زمانی بدست می‌آید که بتوان سیستم زمین موضوع مطالعه را بشکل نیم کره‌ای با مرکز الکتریکال[21] برای اندازه‌گیری فواصل پروب متفاوت نشان داد. اکثر شبکه‌های زمین ایزوله با هندسهٔ ساده را می‌توان مشابه نیمکره معادل نشان داد. برای شبکه‌های زمین پیچیده نظیر سیستم زمین پستهای بزرگ و حتی سیستم زمین پستهای کوچک با سیستم های نول خنثی و شیلد بهم پیوسته، مدل سازی نیمکره به سهولت بدست نمی آید.

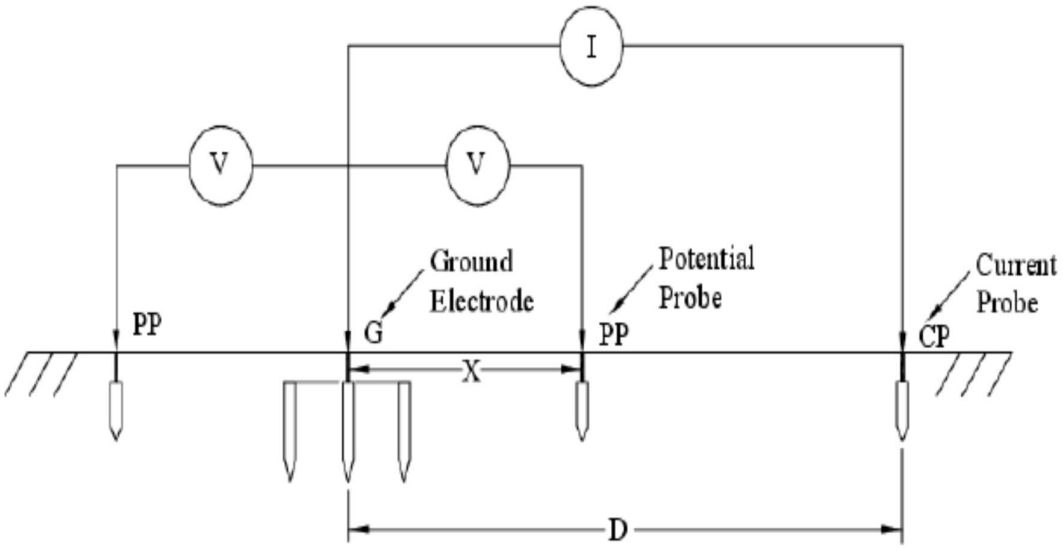
---

[19] Fall Of Potential (FOP)

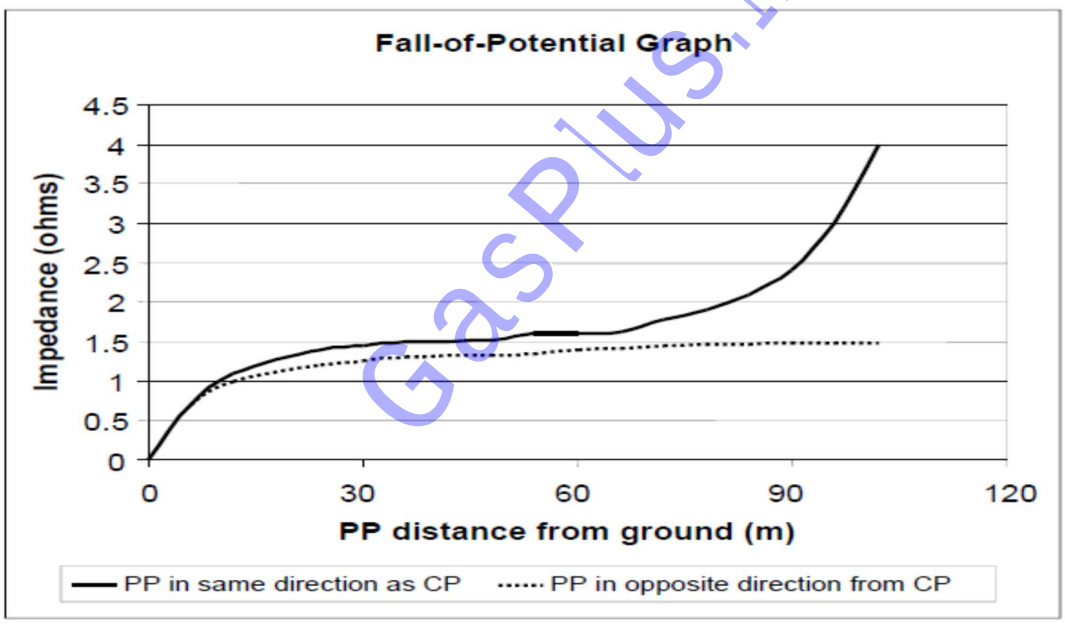
[20] منظور از خاک یکنواخت، خاکی است که دارای ترکیب شمیایی یکنواخت و دانه بندی یکسان و مشابه در آن واحد حجم باشد.

[21] **مرکز الکتریکال مؤثر:** نقطه‌ای روی سیستم زمین است که اکثر جریان تست در آن جاری می‌شود.

GasPlus.ir



شکل ب-۱: تشریح روش افت پتانسیل (FOP)



GasPlus.ir

شکل ب-۲: منحنی نوعی امپدانس بر حسب فاصله پروب پتانسیل برای روش افت پتانسیل.

ب–۱– ۲– انواع روشهای افت پتانسیل

ب–۱–۲–۱– روش ۶۱.۸٪

روش ۶۱.۸٪ برای اندازه گیری مقاومت الکترود سیستم های زمین کوچک نظیر پستهای توزیع زمینی و ترانسفورماتورهای هوایی مناسب می‌باشد که مرکز الکتریکال آن مشخص است . برای بدست آوردن نتایج اندازه‌گیری قابل اطمینان، سطوح مقاومت پروب جریان و ولتاژ بایستی به اندازهٔ کافی از هم دور باشند تا از همپوشانی سطوح ممانعت شود. پروبهای ولتاژ و جریان بایستی در یک خط مستقیم در راستای سیستم زمین تحت تست باشد. آزمون ۹۰°/۱۸۰° بایستی برای چک کردن صحت نتایج بدست آمده انجام بشود (بخش ب–۱–۲–۳ را ملاحظه نمایید).

یک فاصلهٔ ۵۰ متر بین شبکهٔ زمین و پروب ممکن است مورد استفاده قرار گیرد که معمولاً برای سیستمهای زمین کوچکتر مناسب است و مقاومت اندازه‌گیری شده زمانیکه پروب ولتاژ در ۶۱.۸٪ فاصلهٔ بین الکترود زمین و پروب جریان قرار بگیرد برابر مقدار صحیح خواهد بود. اگر سیستم الکترود زمین با اندازهٔ متوسط و شامل چندین میله باشد، از اینرو فاصله بایستی افزایش یابد.

جدول ب–۱– روش ۶۱.۸٪ : فاصله گذاری پروب تست برای اندازه های متفاوت شبکه

۷۰٪ فاصله الکترود جریان از مرکز سیستم زمین (m)	۶۱.۸٪ فاصلهٔ الکترود جریان از مرکز سیستم زمین (m)	۵۰٪ فاصله الکترود جریان از مرکز سیستم زمین (m)	فاصلهٔ الکترود جریان از مرکز سیستم زمین (m)	بزرگترین بعد شبکهٔ زمین تحت تست (m)
۳۷	۳۱	۲۵	۵۰	کوچک یا الکترود منفرد
۷۰	۶۲	۵۰	۱۰۰	۵
۱۰۵	۹۳	۷۵	۱۵۰	۱۰
۱۴۰	۱۲۴	۱۰۰	۲۰۰	۲۰

برای اثبات دقت قرائت اول، بایستی پروب ولتاژ به ۵۰٪ و ۷۰٪ فاصله جابجا شود و نتایج حاصله قرائت شود. در صورتیکه نتایج اندازه‌گیری بدست آمده ۵٪± مقدار بدست آمده از آزمون ۶۱.۸٪ باشد، آنگاه اولین قرائت بایستی بعنوان مقدار صحیح در نظر گرفته شود.

اگر نتایج بدست آمده با یکدیگر همخوانی نداشته باشند، بایستی الکترود جریان به فاصلهٔ دورتری منتقل و مراحل آزمون دوباره تکرار شود. تمامی مراحل بایستی تکرار شود تا اینکه هر دو نتیجه حداکثر ۵٪± از اولین قرائت (۶۱.۸٪) اختلاف داشته باشد.

GasPlus.ir

نکته: روش ذکر شده در بالا زمانیکه الکترود زمین مقاومت کمی (۱ Ω یا کمتر) داشته باشد، رضایتبخش نخواهد بود. این مشکل معمولاً بوسیلهٔ بدست آوردن منحنی مقاومت زمین که تحت آزمون شیب بسط داده شده قابل حل است (بخش ب-۱- ۲-۲ را ملاحظه نمایید).

ب-۱- ۲-۲- افت پتانسیل- روش شیب

این روش برای شبکه‌های الکترود زمین که سطح بزرگی را پوشش می‌دهند از قبیل مش پستها می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد. مراحل انجام این روش به شرح زیر است:

الف) فاصلهٔ پروب جریان انتخاب شود. انتخاب فاصله برای پروب جریان CP تا حدی اختیاری است. ولی بهتر است تا آنجا که در سایت امکان پذیر است در فاصله دور از شبکه زمین مربوطه انتخاب شود.

ب) مقاومتهای R_1 ، R_2 و R_3 با کوبیدن پروب پتانسیل به ترتیب در فواصل ۰.۲CP ، ۰.۴CP و ۰.۶CP اندازه‌گیری نمایید.

ج) ضریب تغییر شیب $\mu = (R_3 - R_2)/(R_2 - R_1)$ را محاسبه نمایید.

د) مقدار PP_T/CP متناظر با μ محاسبه شده را از جدولی مشابه جدول (ب- ۲) استخراج کنید.

ه) با قرار دادن پروب پتانسیل در فاصلهٔ PP_T، مقاومت را اندازه‌گیری کنید.

نکته: طبق استاندارد BS 7430 به منظور بدست آوردن مقدار پارامتر PP_T/CP بایستی به جدول تهیه شده توسط سازندهٔ دستگاه مراجعه نمود.

اگر مقدار μ محاسبه شده خارج از بازهٔ اطلاعات تهیه شده بوسیلهٔ سازنده یا جدول (ب-۲) باشد، بایستی پروب جریان به فاصلهٔ دورتری منتقل شود و مراحل تست دوباره تکرار گردد. در صورتیکه با دور کردن الکترود جریان پارامتر باز هم در محدودهٔ اعداد جدول نبود، ممکن است علت این اختلال ناشی از از وجود سازه‌های مدفون در زیر خاک و همراستای مسیر اندازه‌گیری باشد. لذا می‌بایست راستای الکترودهای جریان و ولتاژ را تعویض و آزمایش را تکرار نمود و یا از روش ۹۰°/۱۸۰° برای چک کردن نتایج استفاده نمود (بخش ب-۱- ۲-۳)

جدول ب-۲: ضرایب روش شیب

GasPlus.ir

μ	PP_T/CP	μ	PP_T/CP	μ	PP_T/CP
0.40	0.643	0.80	0.580	1.20	0.494
0.41	0.642	0.81	0.579	1.21	0.491
0.42	0.640	0.82	0.577	1.22	0.488
0.43	0.639	0.83	0.575	1.23	0.486
0.44	0.637	0.84	0.573	1.24	0.483
0.45	0.636	0.85	0.571	1.25	0.480
0.46	0.635	0.86	0.569	1.26	0.477
0.47	0.633	0.87	0.567	1.27	0.474
0.48	0.632	0.88	0.566	1.28	0.471
0.49	0.630	0.89	0.564	1.29	0.468
0.50	0.629	0.90	0.562	1.30	0.465
0.51	0.627	0.91	0.560	1.31	0.462
0.52	0.626	0.92	0.588	1.32	0.458
0.53	0.624	0.93	0.556	1.33	0.455
0.54	0.623	0.94	0.554	1.34	0.452
0.55	0.621	0.95	0.552	1.35	0.448
0.56	0.620	0.96	0.550	1.36	0.445
0.57	0.618	0.97	0.548	1.37	0.441
0.58	0.617	0.98	0.546	1.38	0.438
0.59	0.615	0.99	0.544	1.39	0.434
0.60	0.614	1.00	0.542	1.40	0.431
0.61	0.612	1.01	0.539	1.41	0.427
0.62	0.610	1.02	0.537	1.42	0.423
0.63	0.609	1.03	0.535	1.43	0.418
0.64	0.607	1.04	0.533	1.44	0.414
0.65	0.606	1.05	0.531	1.45	0.410
0.66	0.604	1.06	0.528	1.46	0.406
0.67	0.602	1.07	0.526	1.47	0.401
0.68	0.601	1.08	0.524	1.48	0.397
0.69	0.599	1.09	0.522	1.49	0.393
0.70	0.597	1.10	0.519	1.50	0.389
0.71	0.596	1.11	0.517	1.51	0.384
0.72	0.594	1.12	0.514	1.52	0.379
0.73	0.592	1.13	0.512	1.53	0.374
0.74	0.591	1.14	0.509	1.54	0.369
0.75	0.589	1.15	0.507	1.55	0.364
0.76	0.587	1.16	0.504	1.56	0.358
0.77	0.585	1.17	0.502	1.57	0.352
0.78	0.584	1.18	0.499	1.58	0.347
0.79	0.582	1.19	0.497	1.59	0.341

GasPlus.ir

ب–۱–۲–۳– افت پتانسیل – روش ۹۰°/۱۸۰°

این تکنیک بایستی بعنوان مکمل روش شیب (ب-۱-۲-۲) یا روش ۶۱.۸٪ (ب-۱-۲-۱) به منظور کنترل صحت نتایج بدست آمده استفاده شود. برای انجام تست، دستگاه اندازه‌گیری بایستی مطابق شکل (ب-۳) آرایش داده شود.

پروب جریان C2 بایستی تا حد امکان دورتر از سیستم ارت تحت تست نصب گردد و پروب ولتاژ P2 بایستی با زاویهٔ بین ۹۰ تا ۱۸۰ درجه نسبت به مسیر الکترود جریان قرار بگیرد. یک تعداد از تستها با جابجایی الکترود ولتاژ - بدون جابجایی الکترود جریان- در فواصل $0.2D_C$ ، $0.4D_C$ و $0.6D_C$ انجام گیرد. پارمتر D_C فاصلهٔ پروب جریان C2 از شبکهٔ زمین[۲۲] و $\%D_C$ فاصلهٔ موقعیت پروب ولتاژ P2 از شبکهٔ زمین و بصورت درصدی از فاصلهٔ الکترود C2 است. وقتی نمودار رسم شود - آن بایستی منحنی تخت باشد - اما هرگز به مقدار مقاومت واقعی نخواهد رسید؛ سپس با قیاس کردن (استقراء نمودن)، مقدار مقاومت واقعی ممکن است تخمین زده می‌شود (شکل ب-۳).

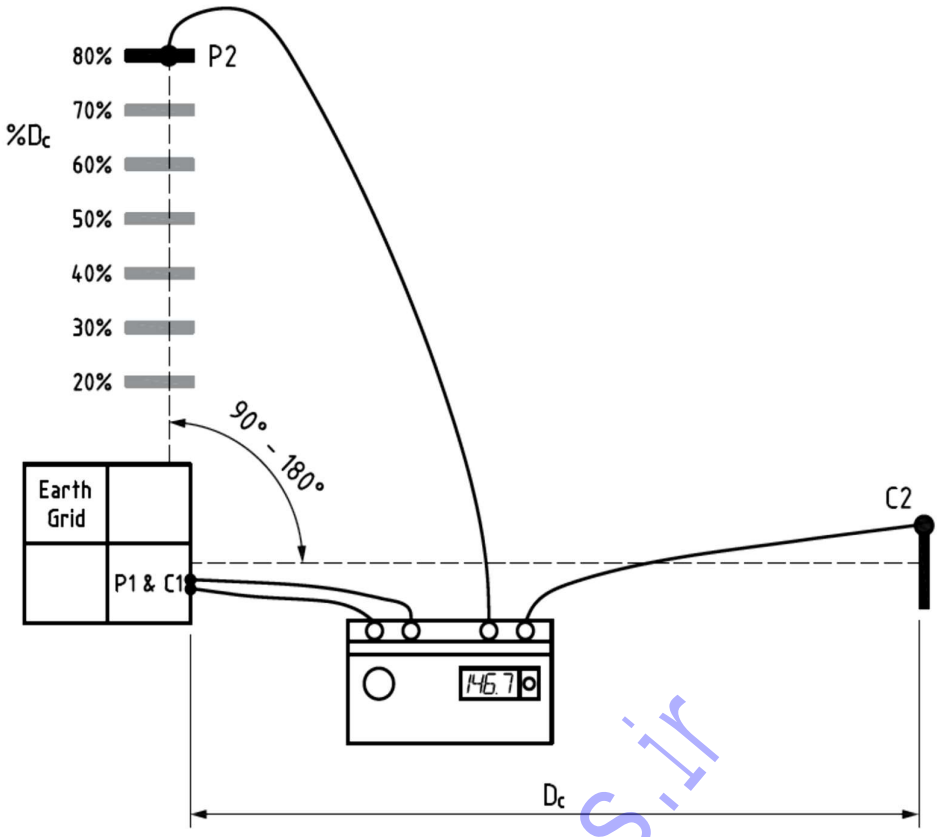
نکته: اشیاء فلزی مدفون شده یا کابلها می‌تواند یک منحنی بد شکل را تولید کند که ممکن است منجر به نتایج نادرست بشود.

ب–۱–۲–۴– افت پتانسیل– روش ۶۱.۸٪ و با استفاده از کلمپ CT

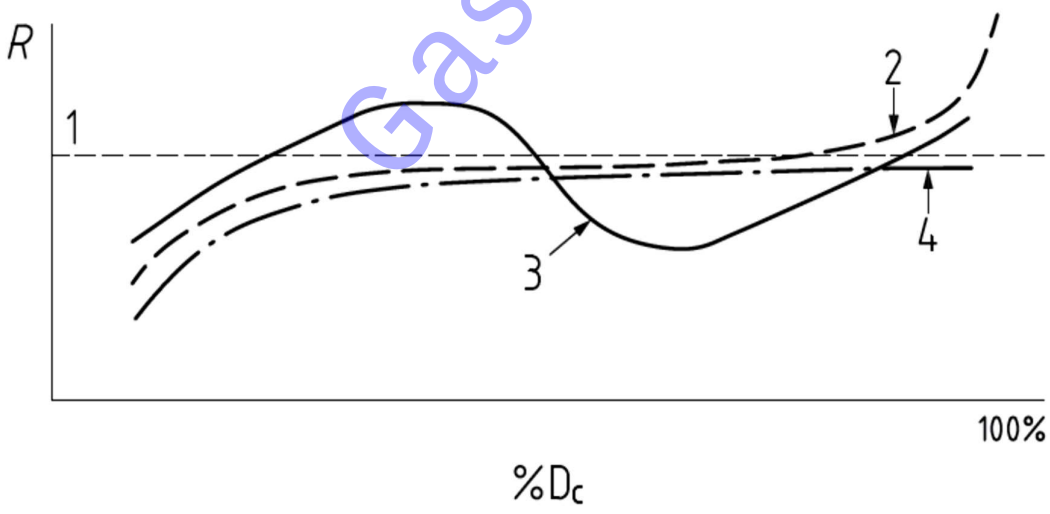
این روش افت پتانسیل مشابه روش ۶۱,۸٪ افت پتانسیل می باشد با این مزیت که از آن می توان برای اندازه‌گیری مقاومت سیستم زمین بدون قطع کردن اتصالات و همچنین برای اندازه گیری مقاومت الکتریکی سیستم زمین (الکترود) مجزا (بدون قطع کردن اتصالات) استفاده نمود. دراین روش بایستی تمام شرایط روش افت پتانسیل ۶۱,۸٪ را رعایت نمود. کلمپ جریان حول الکترود تحت تست قرار می‌گیرد (شکل ب-۵ تستر ۳ ترمیناله با کلمپ CT را نشان می‌دهد) و با توجه به این که تمامی اتصالات سیستم زمین مورد نظر برقرار مانده است در نتیجه جریان تزریق شده به وسیلهٔ دستگاه در مسیرهای موازی تقسیم می شود با استفاده از کلمپ جریان دستگاه میزان جریان دریافتی الکترود مورد نظر را اندازه‌گیری می‌کند و بر اساس سهم جریان میزان مقاومت الکتریکی الکترود سیستم زمین مورد نظر محاسبه می گردد. با این روش اندازه‌گیری تنها مقدار مقاومت الکترود زمین که اندازه‌گیری‌ها روی آن انجام شده به دست خواهد آمد.

GasPlus.ir

[۲۲] در استاندارد مرجع IEEE Std 81 این فاصله همانطور که در بخشهای قبلی آمده با پارامتر CP نشان داده شده است.



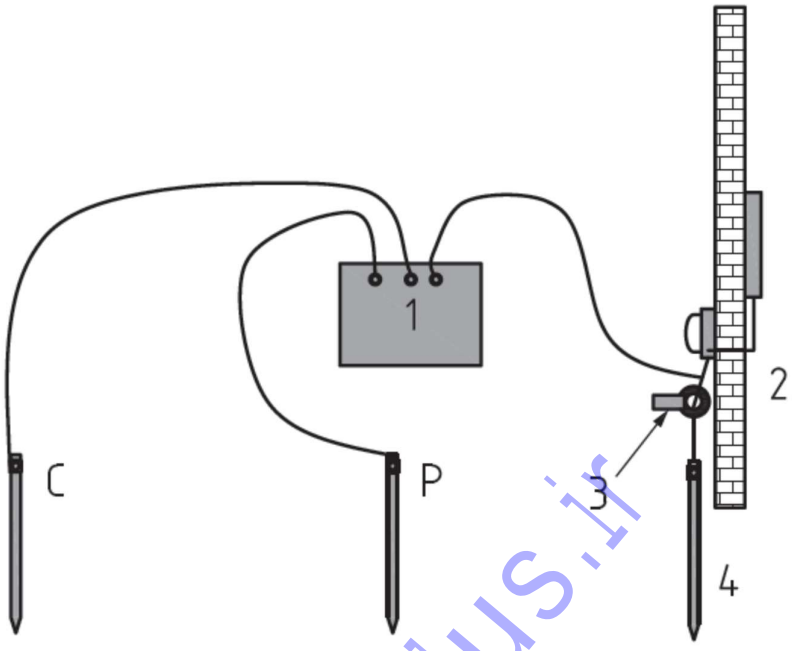
شکل ب-۳: روش آزمون°۱۸۰/°۹۰



شکل ب-۴: نتایج نوعی از روش آزمون °۱۸۰/°۹۰.

GasPlus.ir

منحنی ۱: مقاومت واقعی، منحنی ۲: منحنی مورد انتظار از آزمون شیب، منحنی ۳: تأثیر ساختارهای فلزی مدفون شده روی نتایج و منحنی ۴: منحنی مورد انتظار از آزمون ۹۰°/۱۸۰° می‌باشد.



۱ دستگاه تست ۳ کلمپ اندازه‌گیری جریان

۲ تاسیسات ۴ الکترود

شکل ب-۵: روش تست ۳ ترمیناله با کلمپ CT

GasPlus.ir

ب-۲- روش دو نقطه

در بعضی مواقع کوبیدن میله‌های اندازه‌گیری دستگاه ارت تستر امکان پذیر نیست و یا فضای لازم جهت سیم کشی وجود ندارد. در صورتی که نزدیکی الکترود زمین، یک سیستم لوله کشی آب گسترده مدفون، فوندانسیون گسترده و یا سیم نول[۲۳] وجود داشته باشد، به راحتی بدون کوبیدن الکترود می‌توان مقاومت شبکه اتصال زمین را اندازه‌گیری کرد. در این روش، مقاومت الکترود زمین مد نظر در سری با یک الکترود زمین کمکی اندازه‌گیری می‌شود. فرض می‌شود مقاومت زمین کمکی در مقایسه با مقاومت الکترود زمین مورد نظر قابل صرفنظر کردن است. مقدار اندازه‌گیری شده نشان دهندهٔ مقاومت زمین مورد نظر است.

[۲۳] الکترود زمین کمکی

یکی از کاربردهای این روش اندازه‌گیری میلهٔ زمین کوبیده شده نسبت به نزدیکترین خانهٔ مسکونی است. نوعاً، امپدانس سیستم زمین خانهٔ مسکونی بعلت همبند شدن با سیم نول سیستم منبع توان کم می‌باشد. با استفاده از این قبیل سیستم زمین بعنوان زمین کمکی می‌توان نتایج تست با دقت معقولی را ارائه داد.

بدیهی است این روش زمانیکه زمین مورد نظر مقاومت کمی داشته باشد دارای خطای بزرگی خواهد بود. اگر مقاومت زمینهای مورد نظر و کمکی خیلی به هم نزدیک باشد، مقاومت متقابل بین دو زمین می‌تواند منشاء خطا باشد.

ب–۳– اندازه‌گیری مقاومت بوسیلهٔ کلمپ یا روش بدون کوبیدن الکترود

دستگاه کلمپ، مقاومت الکترود زمین را بوسیلهٔ بستن روی هادی زمین، اندازه‌گیری می‌کند(شکل ب–۶). دستگاه کلمپ وقتی روشن می‌شود، یک ولتاژ با فرکانس تعریف شده– معمولاً بین ۱ kHz و ۳.۴ KHz به داخل سیستم زمین مجتمع شامل الکترود تحت اندازه‌گیری(تست) القاء می‌کند. ولتاژ القاء شده باعث عبور جریان (I_{test}) در داخل سیستم زمین چند بار زمین شده می‌شود که بوسیلهٔ دستگاه اندازه‌گیری می‌گردد. نسبت ولتاژ به جریان (امپدانس) تعیین و بصورت دیجیتال توسط دستگاه نشان داده می‌شود.

این روش بر اساس این فرض که امپدانس نول (یا شیلد) سیستم زمین که در نقاط متعدد زمین شده و خود الکترود مورد بحث اندازه گیری نیز جز آن می باشد در مقایسه با الکترود زمین تحت تست بسیار کوچک است استوار می باشد . در این حالت می توان امپدانس ذکر شده را صفر فرض کرد ($Z_{eq}=0$) . با این فرض مقدار قرائت شده تقریباً مقاومت الکترود زمین تحت تست را نشان می‌هد.

نکته: دقت دستگاه کلمپ مبتنی بر پوشش مناسب و تنظیم گیره‌ها است. نیاز است که دستگاه کلمپ بطور متوالی کالیبره شود تا از عملکرد مناسب دستگاه اطمینان پیدا کرد.

این روش کاربردی و بطور گسترده برای خطوط توزیع و انتقال بکار می‌رود. برخی از محدودیت های کاربردی به شرح زیر است:

الف) استفاده از این روش برای اندازه‌گیری مقاومت الکترود زمین متصل شده به سیستم زمین با امپدانس نسبتاً پایین محدود شده است.

ب)اگر راکتانس القایی سیستم نول یا شیلد (که در نقاط متعدد زمین شده است) در مقایسه با مقاومتی که اندازه‌گیری می‌شود قابل ملاحظه باشد، یک خطای بزرگ می‌تواند در اندازه‌گیری آزمون وارد گردد. این مسأله بطور ویژه‌ای در مورد دستگاه کلمپ که نیاز به فرکانس بالای تست در بازهٔ ۱ kHz الی ۳.۴ KHz برای تداوم اشکال بهم پیوسته دارد صادق می‌باشد. فرکانس تزریق شده به مدار تست، امپدانس راکتیو مدار را افزایش می‌دهد و اگر اندوکتانس قابل توجه باشد می‌تواند بطور گسترده‌ای نتایج آزمون را منحرف سازد.

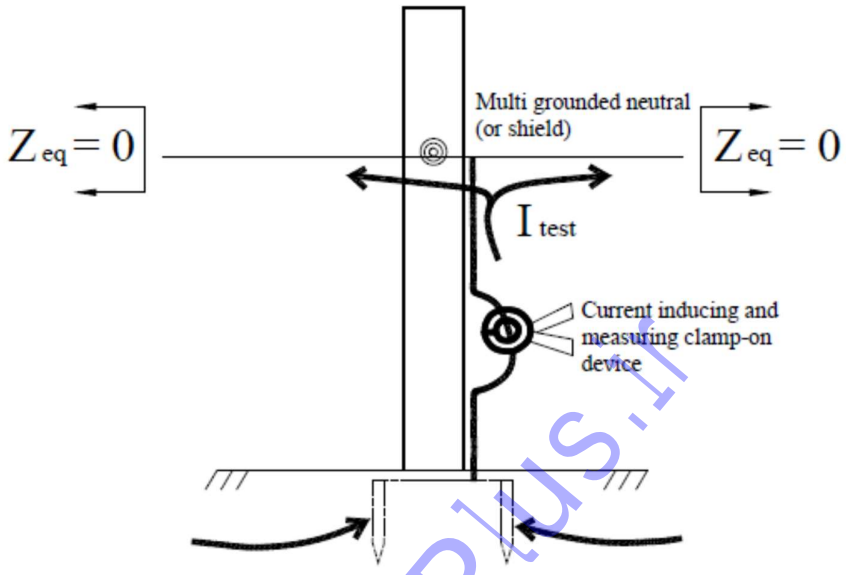
پ)اتصالات زنگ زده روی سیستم نول (یا سیم شیلد) می‌تواند در نتایج تأثیر بگذارد.

ت)این روش برای اندازه‌گیری مقاومت الکتریکی سیستم زمین الکترودهای چند بار متصل شده (چندگانه) ازقبیل

GasPlus.ir

شبکهٔ زمین پستها، مش یا زمین‌های ساختمان کاربردی نمی‌باشد. به غیر از پایه‌ای که اندازه‌گیری می‌شود ، سایر اتصالات زمین ساختمان یا مش را قطع نمایید.

ث)نویز فرکانس بالا در سیستم می‌تواند در نتایج تأثیر بگذارد. یک نسبت بالای نویز به سیگنال (SNR) می‌تواند در طول اندازه‌گیری زمین مقاومت بالا رخ دهد.



شکل ب-۶ : اندازه‌گیری مقاومت بوسیلهٔ روش کلمپ

GasPlus.ir

جدول ب-۳: مقایسهٔ مزایا و محدودیت‌های روشهای مختلف اندازه‌گیری مقدار مقاومت سیستم زمین

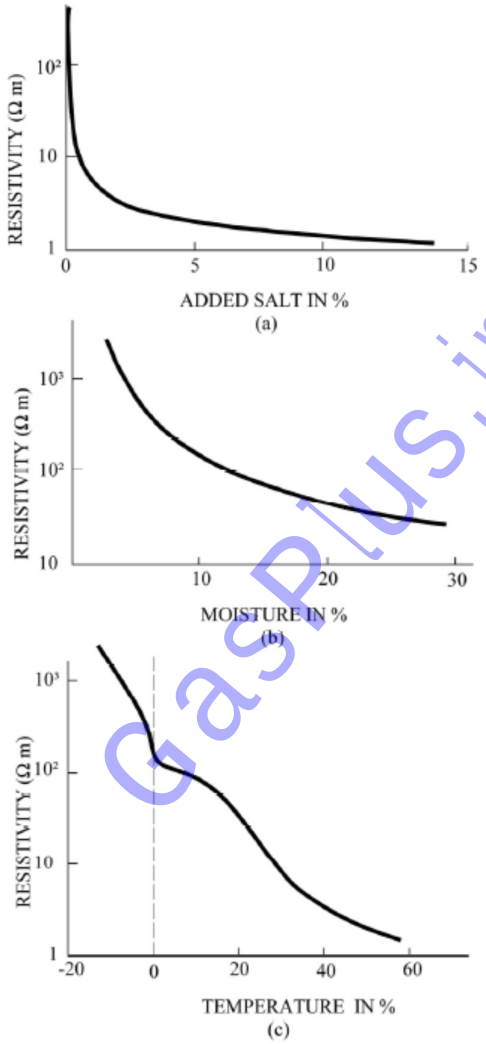
روش اندازه‌گیری	کاربرد	مزایا	محدودیت‌ها
روش ۶۱.۸٪	سیستم‌های ارت کوچک تا متوسط و ساده از نظر توپولوژی	کاملا مطمئن و منطبق با استاندارد IEEE 81، اجرا و کنترل پروسه تست برای کابر ساده است، کمترین میزان محاسبات و تعداد کم جابجایی الکترودها	عدم کارائی در سیستم‌های ارت گسترده، زمان بر، دقت پایین در صورت مشخص نبودن مرکز سیستم ارت، نیاز به شرایط عالی بمنظور اندازه‌گیری از قبیل متقارن بودن الکترود ارت، همگن بودن جنس خاک و ...
روش شیب	سیستم‌های ارت بزرگ همچون پستهای اولیه	آگاهی از مرکز الکتریکال سیستم ارت ضروری نیست و همچنین فواصل طولانی برای الکترودها لازم نمی‌باشد.	احتیاج به مقداری محاسبات ریاضی دارد.
روش ۹۰° -۱۸۰°	سیستم-های ارت کوچک تا متوسط و ساده از نظر توپولوژی	در روشهای ۶۱.۸٪ و شیب در صورتیکه احتمال عبور تاسیسات فلزی از زیر زمین وجود داشته باشد به منظور کنترل کردن نتایج به کار می‌رود.	همواره مقدار مقاومت اندازه‌گیری شده کمتر از مقدار واقعی خواهد بود.
روش کلمپ ارت تستر (بدون کوبیدن میله)	سیستم‌های ارت ساده که مسیرهای برگشت ارت وجود داشته باشد.	در صورتیکه امکان جداسازی سیستم ارت از سازه‌های فلزی خارج از خاک وجود نداشته باشد. بدون نیاز به کوبیدن الکترودهای ارت کمکی.	فقط در سیستم‌های گسترده با اتصالات موازی متعدد به زمین کاربرد دارد و نسبت به نویز حساس است.
روش ۶۱.۸٪ و با استفاده از کلمپ CT	سیستم‌های ارت کوچک تا متوسط	در صورتیکه امکان جدا نمودن سیستم ارت از سازه‌ها و تجهیزات وجود نداشته باشد.	حساسیت به نویز و لزوم تکرار اندازه‌گیری‌ها برای هر الکترود در سیستم ارت
دو نقطه	سیستم‌های ارت کوچک	در مواردی که امکان کوبیدن میلهٔ کمکی وجود نداشته باشد.	احتیاج به یک سیستم ارت مجزا در فاصله مناسب و با مقدار مقاومت مشخص و مقادیر قرائت شده نیاز به تفسیر دارد.

GasPlus.ir

پیوست پ – مقاومت ویژهٔ خاک و انواع روشهای اندازه‌گیری آن

پ–۱– کلیات

مقاومت نسبت به زمین هر الکترود زمین بوسیلهٔ مقاومت خاک احاطه کنندهٔ آن تعیین می‌شود. تکنیکهای بکار رفته برای اندازه‌گیری مقاومت خاک اساساً همان است که برای اکثر اندازه‌گیری‌ها بکار می‌رود. مقاومت خاک تنها با نوع خاک تغییر نمی‌کند بلکه بستگی به دما، رطوبت، عمق، محتوای مواد معدنی و فشردگی دارد (شکل پ–۱). مقاومت خاک بطور آرام با کاهش دما از ۲۵°c به ۰°c افزایش پیدا می‌کند. زیر دمای ۰°c، مقاومت بطور سریع افزایش می‌یابد.



شکل پ–۱: تغییرات مقاومت زمین: (a) نمک، (b) رطوبت، و (c) دما

GasPlus.ir

پ–۲– روشهای اندازه‌گیری مقاومت ویژهٔ خاک

پ–۲–۱– روش چهار نقطه‌ای

یک روش خوب برای اندازه‌گیری مقاومت ویژهٔ حجم بزرگی از زمین دست نخورده، روش چهار نقطه‌ای است. چهار پروب کمکی به عمق b و به فاصلهٔ a (در امتداد یک خط) در زمین کار گذاشته می‌شود. یک جریان آزمون I بین دو پروب بیرونی عبور داده می‌شود و پتانسیل V بین دو پروب داخلی توسط پتانسیومتر یا ولتمتر امپدانس بالا اندازه‌گیری می‌شود. سپس، از نسبت V/I مقاومت R در واحد اهم بدست می‌آید.

دو گونهٔ متفاوت از روش چهار نقطه‌ای به شرح زیر غالباً استفاده می‌گردد:

۱- فاصلهٔ یکسان یا آرایش ونر *(Wenner)*: با این آرایش، همانطور که در شکل (پ - ۲ الف) نشان داده شده پروبها در فاصلهٔ یکسان از هم قرار می‌گیرند. فاصله بین دو پروب مجاور a می‌باشد. مقاومت ویژهٔ ρ از رابطهٔ زیر محاسبه می‌شود:

$$\rho = \frac{4\pi aR}{1+\frac{2a}{\sqrt{a^2+4b^2}}-\frac{a}{\sqrt{a^2+b^2}}} \qquad (پ-۱)$$

از لحاظ تئوری، الکترودها بایستی تماس های نقطه‌ای داشته باشند یا الکترودهای نیم کره‌ای به شعاع b فرض بشود. در عمل، چهار میله در راستای یک خط مستقیم به فواصل یکسان در بازه‌ای بطول a از هم قرار می‌گیرند و عمق فرو رفتگی از ۰.۱a تجاوز نمی‌کند. در این صورت می‌توان فرض کرد که b=0 و رابطهٔ (پ-۱) بصورت زیر خلاصه می‌شود:

$$\rho = 2\pi aR \qquad (پ-۲)$$

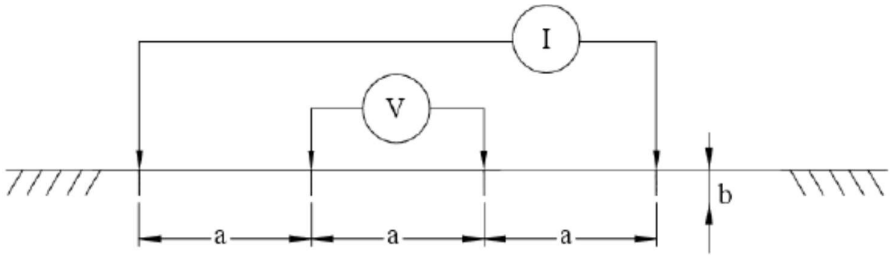
با استفاده از رابطهٔ (پ-۲) مقاومت ویژهٔ خاک بصورت تقریبی در عمق a بدست می‌آید.

۲- فاصلهٔ نابرابر یا آرایش شلومبرگر-پالمر *(Schlumberger-Palmer)*: یک نقطهٔ ضعف روش ونر افت سریع اندازهٔ پتانسیل بین دو الکترود داخلی است وقتیکه فاصلهٔ بین آنها نسبتاً مقادیر بزرگی انتخاب شود. بطور تاریخی، دستگاهها برای اندازه‌گیری مقادیر پتانسیل کم نامناسب می‌باشند، هرچند که در تجهیزات مدرن این عیب تا اندازهٔ زیادی تقلیل پیدا کرده است. عیب دیگر روش ونر اینست که بایستی هر چهار پروب به ازای هر عمقی که در آن اندازه‌گیری انجام می‌شود تغییر مکان یابد. آرایش نشان داده شده در شکل (پ-۲ ب) می‌تواند برای اندازه‌گیری مقاومت خاک وقتیکه پروبهای جریان در فاصلهٔ دورتری از هم قرار گرفته یا برای تسریع در انجام تست به ازای چندین موقعیت متفاوت پروب جریان استفاده بشود. در روش شلومبرگر، پروبهای داخلی در فاصلهٔ نزدیکی از هم و پروبهای خارجی در فاصلهٔ دورتری از هم قرار می‌گیرند. بر خلاف روش ونر، که نیاز به جابجایی تمامی پروبها برای محاسبهٔ مقاومت خاک در عمقهای مختلف دارد، روش شلومبرگر تنها نیاز به جابجایی پروبهای خارجی برای اندازه‌گیری های متعاقب دارد.

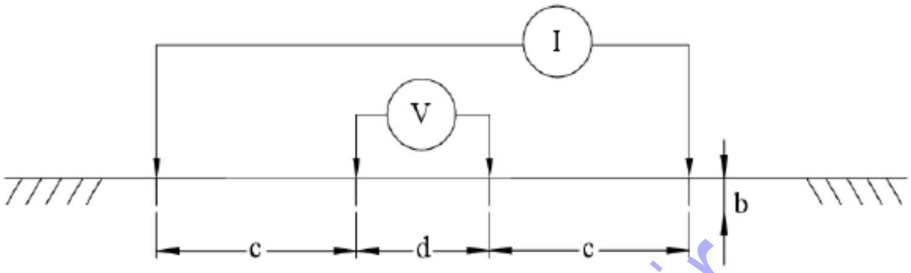
اگر عمق الکترود مدفون(b) در مقایسه با فاصلهٔ جدایی پروبها (c و d) کوچک باشد و c>2d باشد، آنگاه مقاومت ویژه طبق رابطهٔ زیر محاسبه می‌شود:

GasPlus.ir

$$\rho = \pi c(c + d)R/d \quad \text{(پ-۳)}$$



(الف)



(ب)

شکل پ-۲: روش چهار نقطه‌ای

الف) پروبهای تست بطور یکسان فاصله گذاری شده‌اند (آرایش ونر). ب) پروبهای تست بطور نابرابر فاصله گذاری شده-اند(آرایش شلومبرگر-پالمر).

مقاومت محاسبه شده از رابطهٔ (پ-۳)، مقاومت ویژه در عمق تقریبی [2c+d]/2 است که فاصلهٔ پروبهای جریان (بیرونی) از مرکز تست می‌باشد.

پ-۲-۲- روش سه نقطه‌ای یا تغییر عمق

در این روش، اندازه‌گیری‌های مقاومت زمین چندین دفعه در ارتباط با افزایش تدریجی میلهٔ زمین در عمق تکرار می‌شود. هدف از این روش نفوذ دادن بیشتر جریان تست از عمق زمین است. مقدار مقاومت اندازه‌گیری شده منعکس کنندهٔ مقاومت ویژه به ازای هر عمق میله خواهد بود. سیستم زمین الکترود میلهٔای برای این اندازه گیری ترجیح داده می‌شود زیرا دو مزیت مهم ارائه می‌دهد:

۱- مقدار تئوری مقاومت سیستم زمین الکترود میلهٔای به آسانی و با دقت قابل قبولی قابل محاسبه است.

۲- کوبیدن میلهٔ زمین همچنین این تایید که چگونه عمق میله‌ها می‌تواند در طول نصب کمک و راهنما باشد، را میدهد.

اشکال این روش اینست که میله ممکن است در طی کوبیده شدن لرزش داشته که پی‌آمد آن داشتن تماس ضعیف با خاک در امتداد طول میله است. از اینرو ساخت یک تبدیل برای بدست آوردن مقاومت صحیح دشوار است.

GasPlus.ir

روش تغییر عمق اطلاعات مفیدی دربارهٔ ماهیت خاک در مجاورت میله (پنج الی ده برابر طول میله) را ارائه می‌دهد. اگر حجم بزرگ (سطح و عمق بزرگ) از خاک مورد آزمون باشد، بدلیل اینکه کوبیدن میلهٔ بلند در بعضی از خاکها غیر عملی است ترجیح داده می‌شود از روش چهار نقطه‌ای استفاده گردد.

با فرض اینکه شعاع میله r در مقایسه با طول میله l کوچک و مقاومت خاک یکنواخت باشد، مقاومت ویژهٔ خاک با تقریب خوبی از رابطهٔ زیر محاسبه می‌شود:

$$\rho = \frac{R2\pi l}{\ln\left(\frac{4l}{r}\right)-1} \qquad (پ-۴)$$

برای هر طول l از میله، مقاومت ویژهٔ اندازه‌گیری شدهٔ R مقدار مقاومت ویژهٔ ρ را تعیین می‌کند که وقتی بر حسب l رسم شود یک جنبهٔ بصری برای تعیین تغییرات مقاومت زمین با عمق را بدست می‌دهد. از منحنی بدست آمده می‌توان مدل معادل خاک[۲۴] را بدست آورد و در صورتیکه امکان حصول آن بطور صحیح ممکن نباشد، دو راه حل زیر پیشنهاد می‌شود:

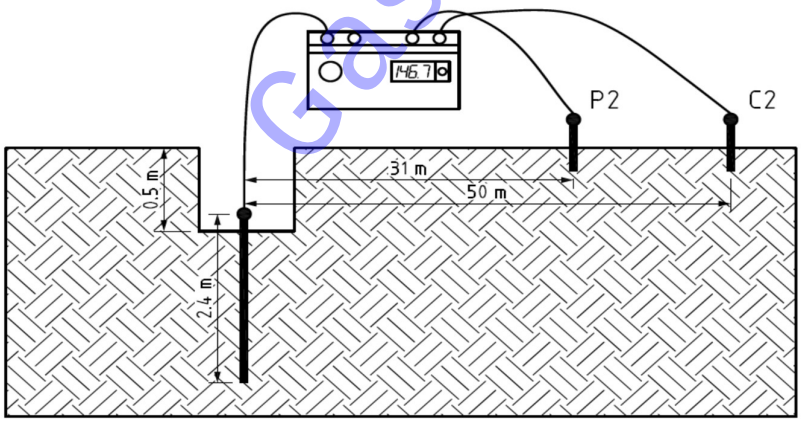
۱- با عمیق فرو بردن میله در خاک اندازه‌گیری تداوم یابد.

۲- با استفاده از داده های اندازه‌گیری شده و بکار گیری تکنیکهای تحلیلی، یک مدل مقاومت زمین معادل محاسبه شود.

پ-۲-۳- روش آزمون تک میله

تکنیک بکار رفته با عنوان *روش آزمون تک میله*، روشی است ساده برای تخمین مقاومت ویژهٔ خاک که برای اغلب تاسیسات توزیع از آن استفاده می‌شود. در این روش کافیست مطابق شکل (پ-۳) میله تا عمق ۲.۴ متر در زمین بطور عمودی کوبیده شود و با قرائت مقاومت اندازه‌گیری شده، مقاومت ویژهٔ خاک طبق رابطهٔ (پ-۴) محاسبه می‌گردد.

نکته: این روش بطور خاص برای سیستمهایی که الکترود LV و HV از هم جدا شده‌اند می‌تواند استفاده گردد.



شکل پ-۳: اندازه‌گیری مقاومت خاک یک میله

[۲۴] برای کابردهای مهندسی برق قدرت، مدل معادل دو لایه به اندازهٔ کافی در بسیاری از انواع دقیق می‌باشد. با وجود این، راه حلهای کامپیوتری در دسترس می‌باشند که بطور مؤثری مدلهای خاک چند لایه برای تکنیکهای اندازه‌گیری مختلف را تخمین می‌زند.

GasPlus.ir

پ–۳– راهنمایی روی انجام اندازه‌گیری میدان

پ–۳–۱– تداخل‌ها

وقتی اندازه‌گیری با استفاده از روش‌های تغییر عمق یا روش چهار نقطه‌ای انجام می‌شود، احتیاط گردد تا از تداخلهای ناشی از ساختارها یا مدارت جلوگیری شود. این تداخل‌ها ممکن است اکتیو یا پسیو باشد. تداخل های پسیو شامل(اما محدود به آنها نیست) فنسهای فلزی، زمین دکلهای برق خط انتقال یا توزیع، فنداسیون ساختمانهای بزرگ، اشیاء فلزی مدفون شده، و لوله‌های فلزی می‌باشد. این تداخل های پسیو می‌تواند بعنوان یک مدار اتصال کوتاه عمل کند و پتانسیل بوجود آمده در خاک ناشی از جریان تست تزریقی را مخدوش نماید.

تداخل های اکتیو شامل(اما محدود به آنها نیست) خطوط انتقال یا توزیع موازی، مدارات مخابراتی موازی، و جریانهای dc سرگردان می‌باشد. پروبهای تستی را بکار ببرید که از موادی ساخته شده که ولتاژ گالوانیک بین پروبها را به حداقل می‌رساند. تداخلهای اکتیو می‌تواند یک منبع جریان باشد که به جریان تست تزریقی اضافه شده یا از آن کسر می‌گردد، بار دیگر، پتانسیل روی پروب تست پتانسیل را مخدوش می‌کند.

دلیل دوم و مهم برای اجتناب از منابع جریان اکتیو موازی اینست که امکان این وجود دارد که ولتاژ خطرناک بتواند روی سیم تست از طریق القاء الکترومغناطیس کوپل گردد. با چند صد پا از سیم کشیده شده موازی با یک خط دارای جریان بار بزرگ، ممکن است ولتاژ کافی در سیمها القا شود و باعث یک شوک شدید به شخصی که در سری با انتهای سیم و یکی از پروبهای تست است می‌گردد.

اخطار از موازی قرار دادن طول درازی از رابطهای تست موازی با منابع جریان بزرگ اجتناب نمایید.

پ–۳–۲– تداخل فاصله گذاری پروب روی دقت آزمون

بسته به تغییرات مقاومت خاک با عمق، فاصله گذاری پروب برای روش ونر می‌تواند بطور قابل ملاحظه‌ای دقت مدل خاک چند لایه محاسبه شده را تحت تأثیر قرار دهد. همانطور که در جدول (پ – ۱) نشان داده شده، بازه‌های خطاهای مقاومت برای یک شبکهٔ زمین می تواند برای فاصلهٔ پروبها بعنوان تابعی از ابعاد شبکهٔ زمین پایه گذاری شود.

جدول پ–۱: بازهٔ خطا بر اساس فاصله گذاری بین پروبها

بازهٔ خطای (٪) مقاومت شبکه	فاصله گذاری بین دو پروب (٪ طول شبکه)
٪۵۰– الی ٪۳۰+	٪۴۰
٪۳۳– الی ٪۹+	٪۱۰۰
٪۱۷– الی ٪۹+	٪۳۰۰

GasPlus.ir

پیوست ت – ملاحظات عمومی در ارتباط با مشکلات اندازه گیری

ملاحظات عمومی در ارتباط با مشکلات اندازه‌گیری شامل موارد زیر است:

۱)پیچیدگی‌ها: اندازه‌گیری‌های مقاومت خاک (پیوست ت را ملاحظه نمایید)، امپدانس زمین و گرادیان پتانسیل زمین شامل یک تعداد پیچیدگیهایی است که در دیگر اندازه‌گیری‌های مقاومت، امپدانس و پتانسیل با آن مواجه نمی‌شویم. در بعضی شرایط، لازمست که چندین اندازه‌گیری انجام شود تا منحنی‌ها رسم و شرایط تحلیل بشود. جریانهای سرگردان و دیگر فاکتورها می‌تواند با اندازه‌گیری‌ها تداخل ایجاد کنند. با توسعه و رشد صنعت در مجاور پستهای برق، انتخاب یک الگو و محل مناسب برای پروبهای تست بمنظور انجام آزمون مقاومت مشکل شده است. اتصال سیمهای رو زمینی، لوله‌های آب مدفون، غلافهای کابل، مسیرهای راه‌آهن مجاور، سیستمهای انتقال و غیره می‌تواند همگی روی مدار الکتریکی تأثیر گذاشته و خطاهای قابل ملاحظه‌ای را وارد نماید.

۲)الکترودهای تست: چندین روش اندازه‌گیری امپدانس زمین که در فصل بعدی دربارهٔ آن توضیح داده شده است نیاز به استفاده از الکترودهای تست جریان و ولتاژ دارد. امپدانس الکترودهای تست می‌تواند تاثیر قابل ملاحظه‌ای روی دقت اندازه-گیریهای امپدانس داشته باشد. اگر آزمون زمین با استفاده از روش آزمون دو نقطه‌ای انجام گیرد، در صورتیکه امپدانس الکترود تست در مقایسه با زمین مورد تست قابل چشم پوشی باشد آنگاه خطای اندازه‌گیری به حداقل می‌رسد. برعکس، برای روش آزمون سه نقطه‌ای، در صورتیکه امپدانس الکترود تست هم اندازه با دامنهٔ امپدانس زمین تحت تست باشد آنگاه خطای اندازه گیری حداقل می‌شود.

در اندازه‌گیری امپدانس با استفاده از روش افت پتانسیل، الزامات الکترودهای تست چندان بحرانی نیست.

دستگاهها نیاز به جاری کردن جریان کافی در مدار تست دارند تا اینکه اندازه‌گیری‌های آزمون صحیح و نتایج آن معتبر باشد. آگاهی از مدار آزمون به این دلیل لازمست که اگر مقاومت الکترود تست خیلی بالا باشد ممکن است جریان تولیدی توسط دستگاه تست ناکافی باشد. جریان آزمون ناکافی بصورت زیر تعریف می‌شود:

الف) جریان از حساسیت دستگاه پایین‌تر باشد؛

ب) جریان هم مرتبه به لحاظ دامنه، از جریانهای سرگردان در زمین باشد؛

ج) هر دو مورد الف و ب.

در نوع الف، تنها اقدام اصلاحی قابل دسترس در سایت اندازه‌گیری افزایش جریان تست است. این می‌تواند بوسیلهٔ افزایش ولتاژ منبع توان یا بوسیلهٔ کاهش مقاومت الکترودهای درگیر شده در مدار جریان انجام شود. افزایش ولتاژ منبع توان بعلت محدودیت‌ها در دستگاه اندازه‌گیری گزینهٔ ممکن نیست. اگر یک دستگاه با ولتاژ بالاتر استفاده بشود باید مراقب بود تا از پتانسیل های خطرناک روی الکترودها و رابطهای تست اجتناب گردد. اغلب دستگاههای تست ولتاژ ۵۰ ولت یا کمتر تامین می‌کنند.

اخطار: اگر ولتاژ تست از ۵۰ ولت تجاوز کند، خطر شوک به هر شخصی که با هادی‌های برق دار تماس پیدا کند وجود دارد.

GasPlus.ir

اغلب مواقع یک روش بسیار مؤثر برای افزایش جریان تست، کاهش مقاومت الکترود جریان است. مقاومت الکترود تست بوسیلهٔ عمیق فرو بردن میله در داخل خاک، ریختن آب حول میله، یا اضافه کردن میله‌ها و اتصال آنها بصورت موازی می‌تواند کاهش یابد. افزودن نمک به آبی که دور الکترود تست ریخته می‌شود به مقدار بسیار کم خواهد بود؛ رطوبت یک الزام اصلی است. اگر الکترود جریان از میله‌های زمین موازی تشکیل شده باشد، فاصله گذاری مناسب (نزدیکتر از طول الکترود جریان فرو رفته در خاک نباشد) بین میله‌های زمین می‌تواند اثر مقاومتهای متقابل را به حداقل برساند.

بیشینه مقادیر مقاومتهای الکترود پتانسیل و جریان به نوع دستگاهی که استفاده می‌شود بستگی دارد.

اگر جریانهای سرگردان موقع انجام تستهای جریان مستقیم (dc) وارد شوند، تداخل بوسیلهٔ تنظیم کردن جریان تست به مقدار قابل ملاحظه‌ای بالاتر از جریانهای سرگردان dc زمین تخفیف می‌یابد. وقتی تست با جریان متناوب یا ac بجای سیگنال dc انجام شود، تداخل بوسیلهٔ تنظیم نمودن فرکانس سیگنال تست به فرکانسی که در جریانهای سرگردان موجود نمی‌باشد یا با استفاده از سیگنال نویز تصادفی تخفیف می‌یابد.

پروب پتانسیل با مقاومت بالا نسبت به زمین دور همچنین باعث تداخل ولتاژ اندازه‌گیری شده توسط دستگاه می‌شود. اگر این مقاومت در مرتبهٔ یکسانی از بزرگی امپدانس ورودی دستگاه باشد، ولتاژ واقعی بین ولتاژ اندازه‌گیری شده و ولتاژ دو سر مقاومت الکترود پتانسیل تقسیم می‌شود. در حالتی که مقاومت خاک کم باشد، خطای ایجاد شده بوسیلهٔ این خطا قابل صرفنظر کردن است اما در نوع محیط خاک شنی یا سنگلاخ کاربر می‌تواند مقاومت الکترود را کاهش دهد تا این خطا تقلیل یابد. بعبارت دیگر، اگر این تداخل غالب شود مقاومت نشان داده شده کمتر از مقاومت واقعی خواهد شد.

۳)جریانهای مستقیم سرگردان: رسانای الکتریسیته در خاک الکترولیتی است و جریان مستقیم در واکنش‌های شیمیایی و اختلاف پتانسیل حاصل می‌شود. پتانسیل‌های مستقیم بین انواع متفاوتی از خاک و بین خاک و فلز بوسیلهٔ عملیات گالوانیک تولید می‌شود. سیستم‌های حفاظت کاتدیک خطوط لوله، مسیرهای راه‌آهن dc، و خطوط انتقال dc نمونه هایی از منابع جریانهای dc در خاک هستند. پتانسیل های گالوانیک، پلاریزاسیون و جریانهای مستقیم سرگردان می‌توانند بطور جدی با اندازه‌گیریهای جریان dc تداخل پیدا کنند. بنابراین در اندازه‌گیری بجای جریانهای dc از جریانهای متناوب یا بعضی مواقع از جریانهای پالسی منظم استفاده می‌شود. با وجود این، زمانیکه از جریانهای متناوب بجای جریانهای dc در اندازه‌گیری مقاومت استفاده می‌شود مقادیر حاصل نسبتاً دقیق خواهد بود، اما آنها برای کاربردهای جریان متناوب ممکن است دقیق نباشد. جریانهای القایی سولار، که می‌تواند شبه dc باشد ممکن است روی نتایج تست تأثیر گذار باشد.

۴)جریانهای متناوب سرگردان: جریانهای متناوب سرگردان در زمین، در سیستم زمین تحت تست، و در الکترودهای تست پیچیدگی دیگری را اضافه می‌کند. تأثیرات جریان متناوب در اندازه‌گیری مقاومت زمین بوسیلهٔ بکارگیری فرکانسی که در جریان سرگردان موجود نمی‌باشد یا بوسیلهٔ سیگنال نویزی تصادفی تخفیف می‌یابد. اغلب دستگاههای اندازه‌گیری از فرکانسهای بین ۵۰ الی ۳۴۰۰ هرتز استفاد می‌کنند. استفاده از فیلترها یا دستگاههای اندازه‌گیری باند باریک، یا هردو، برای فائق آمدن بر تأثیرات جریانهای متناوب سرگردان در اغلب مواقع نیاز است.

GasPlus.ir

۵)تزویج بین رابطهای تست: تزویج القایی می‌تواند بین مؤلفه‌های دو یا چند مدار ac بوسیلهٔ اندوکتانس متقابل که دو مدار را به هم مرتبط می‌سازد رخ بدهد. تأثیر تزویج بین رابطهای تست زمانی مهم می‌شود که مقادیر کمی از امپدانس زمین اندازه-گیری شود. هرگونه ولتاژ تولید شده در رابط پتانسیل بعلت تزویج ناشی از جریان جاری در رابط جریان بطور مستقیم روی ولتاژ واقعی اضافه شده و خطای اندازه گیری را باعث می‌شود. در فرکانس ۵۰ و ۶۰ هرتز تزویج متقابل بین دو رابط تست موازی ممکن است حدود ۰.Ω۱/۱۰۰m بشود. در نتیجه، خطا می‌تواند محسوس باشد برای اینکه زمین با مقدار امپدانس پایین معمولاً در شبکه‌های زمین که سطح بزرگی را پوشش می‌دهد اتفاق می‌افتد و معمولاً رابطهای تست طویل لازم می‌شود تا به زمین دور دسترسی پیدا کرد. بدین ترتیب، تزویج بین رابطهای تست می‌تواند خطای بزرگی را وقتیکه شبکه زمین سطح بزرگی را پوشش می‌دهد و بطور نسبی امپدانس پایینی دارد، وارد کند.

برعکس، شبکهٔ زمین که سطح کوچکی را پوشش می‌دهد بطور نسبی امپدانس زمین بالایی دارد، و رابطهای تست کوتاهتری را برای دسترسی به زمین دور اجازه می‌دهد. بدین ترتیب می‌توان انتظار داشت تأثیرتزویج روی اندازه‌گیری زمینهای وسیع و امپدانس پایین وخیم‌تر شود.

تزویج رابط تست معمولاً روی اندازه‌گیری زمینهایی که مقاومت ۱۰ Ω یا بزرگتر دارند قابل چشم پوشی است، تقریباً همیشه روی اندازه‌گیری‌های ۱ Ω یا کمتر مهم است و می‌تواند در بین بازهٔ ۱ Ω الی ۲۰ Ω قابل ملاحظه باشد.

تزویج رابط می‌تواند بوسیلهٔ مسیرگزینی مناسب رابطهای پتانسیل و جریان به حداقل برسد. وقتی امکان تزویج رابط تست وجود دارد، مسیر گزینی مناسب می‌تواند شامل جداسازی رابطها یا قرار دادن رابطها در موقعیت °۹۰ از هم باشد.

۶)اشیاء فلزی مدفون: اشیاء فلزی مدفون شده، از قبیل ریل و خطوط لولهٔ فلزی در مجاورت زمین تحت تست تأثیر قابل ملاحظه‌ای روی نتایج تست خواهد داشت. وقتی اندازه‌گیری روی اشیاء فلزی مدفون شده انجام شود خطوط پتانسیل زمین کج شده و گرادیان افزایش می‌یابد.

هر موقع که وجود ساختارهای فلزی مدفون شده در سطحی که اندازه‌گیری‌های مقاومت خاک انجام می‌شود مورد شک باشد و محل این ساختارها شناخته شده باشد، با در یک ردیف قرار دادن پروبهای تست در راستای عمود بر مسیر این ساختارها تأثیر این ساختارها روی اندازه‌گیری مقاومت می‌تواند به حداقل برسد. پروبهای تست تا حد ممکن دورتر از ساختارهای فلزی قرار گیرد.

۷)مؤلفهٔ راکتیو امپدانس سیستم زمین بزرگ: اندازهٔ امپدانس سیستم زمین بزرگ می‌تواند کم باشد (کمتر از ۱Ω)، اما می‌تواند دارای مؤلفهٔ راکتیو قابل ملاحظه‌ای باشد. برای چنین اندازه‌گیری هایی، در صورتیکه فرکانس تست دستگاه های تست قدری بیشتر یا کمتر از فرکانس سیستم قدرت باشد، اندازه‌گیری ها با دقت بالایی حاصل می‌شود.

GasPlus.ir

پیوست ج– همبندی سیستم زمین ولتاژ بالا – سیستم زمین ولتاژ پایین در آرایش TN

ج– ۱– پیش‌گفتار

در تاسیسات ، هدف اصلی این است که با همبندی همه بدنه ها و اجزای ساختمانی تا جایی که ممکن است از بروز اختلاف پتانسیل جلوگیری شود. اما در پستهای ترانسفورماتور که دو ولتاژ بالاو ضعیف در کنار هم قرار دارند ، حالتی پیش می آید که باید از دو اتصال به زمین مختلف استفاده شود تا ایمنی برقرار بماند در این ارتباط نکات ذیل مورد توجه قرار می گیرد :

۱- یک پست ترانسفورماتور (پست زمینی) فضایی است که به آن فضای عملیاتی گفته می شود. فضای عملیاتی اختصاصی فضایی است که در آن کارهای اختصاصی برقی انجام می شود و در نتیجه فقط ورود افراد کاردان و خبره به آنها آزاد است.

۲- دراین فضاها هر دو ولتاژ فشارقوی (11-20-33 KV) و فشار ضعیف (400v) در کنار هم قراردارند.

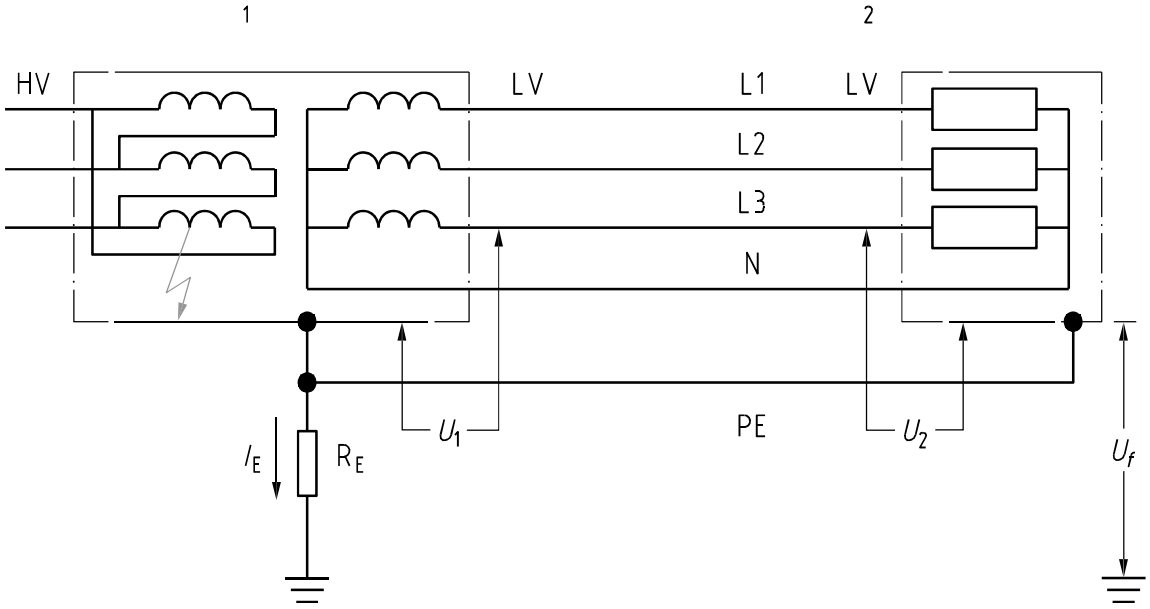
۳- فقط حالتی مورد توجه قرار می گیرد که در آن بین یکی از فازهای فشار قوی و بدنه هادی تابلوی فشار قوی یا ترانسفورماتور ، اتصال کوتاه ایجاد می شود.

۴- اگر در حالت بروز اتصال بین فاز و بدنه هادی در فشار قوی حوزه اثر آن محدود به فضای عملیاتی اختصاصی می بود ، به دلیل محدود بودن دسترسی به آنها فقط برای پرسنل کاردان، رعایت مسایل کمتری برای ایمنی لازم می شد. اما اینگونه نیست و حوزه اثر این اتفاق تا دورترین نقطه شبکه توزیع فشار ضعیف و تاسیسات ادامه دارد .

ج–۲– حالت اول : بکارگیری سیستم زمین مشترک در پستهای ترانسفورماتور زمینی

در شکل ج-۱ ، طرحواره یک پست ترانسفورماتور زمینی که دارای تنها یک اکترود زمین است نشان داده شده است که همه بدنه هادی تجهیزات HV , LV و هادی خنثی فشار ضعیف را به زمین مشترک وصل می کند. اگر مقاومت این الکترود زمین مشترک نسبت به جرم کلی زمین R_E باشد و درصورت وقوع اتصالی بین یک هادی فاز با بدنه هادی در فشار قوی شدت جریان برابر I_E باشد ، ولتاژ بدنه های هادی فشار قوی و فشار ضعیف هر دو نسبت به جرم کلی زمین برابر با $R_E.I_E$ (ولت) خواهد بود.

GasPlus.ir



شکل ج-۱- طرحواره پست ترانسفورماتور با یک الکترود زمین مشترک حفاظتی/خنثی در سیستم TN

نظر به اینکه در سیستم TN که دارای یک اتصال به زمین در پست ترانسفورماتور است ، بدنه هادی تجهیزات فشار ضعیف از طریق یک هادی مشترک حفاظتی/خنثی (PEN) یا هادی حفاظتی(PE) به بدنه های هادی فشار قوی وصل می باشد ، پتانسیل U_f که پتانسیل خطا نامیده می شود برابر همین مقدار خواهد بود :

$$U_f = R_E.I_E$$

این ولتاژی است که ممکن است هر فردی را که در هر منطقه ای از تاسیسات با یکی از بدنه هادی فشار ضعیف در تماس است دچار برق گرفتگی نماید. البته ولتاژ تماس U_c (ولتاژی که ایجاد برق گرفتگی می کند) ، قدری کوچکتر از U_f خواهد بود :

$$U_c < U_f$$

از طرف دیگر ولتاژ تنش هر فاز فشار ضعیف نسبت به بدنه ترانسفوماتور (بدنه فشار قوی) یا U_1 که قبل از وقوع اتصال کوتاه برابر U_0 بود بعد از وقوع اتصال کوتاه در همان مقدار باقی می ماند :

$$U_1 = U_0$$

هم چنین ولتاژ تنش هر فاز فشار ضعیف نسبت به بدنه تجهیزات مصرف کننده یا U_2 بدون تغییر باقی می ماند :

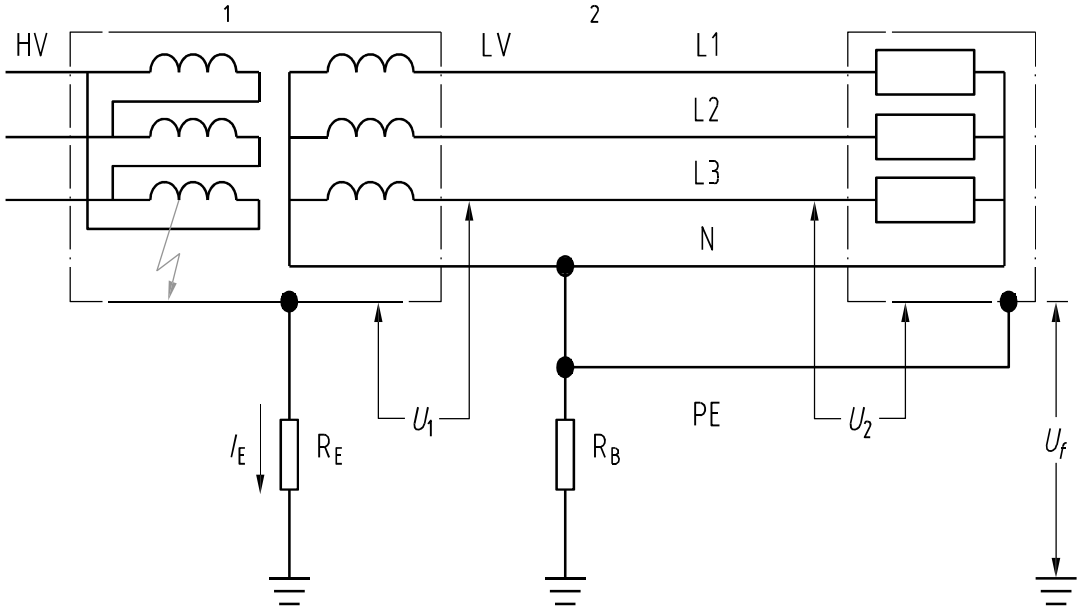
$$U_2 = U_1 = U_0$$

نتیجه اینکه ولتاژ اتصال کوتاه U_f، علاوه بر ولتاژ هادی فشار ضعیف U_0، بر عایق بندی فشار ضعیف در تابلوها و تجهیزات فشار ضعیف در پست ترانسفورماتور تحمیل نخواهد شد زیرا بدنه ترانسفورماتور و نقطه خنثی فشار ضعیف به همدیگر وصل بوده و ولتاژ آنها به یک اندازه بالا می رود.

ج – ۳– حالت دوم : بکارگیری سیستم های زمین مجزا در پستهای ترانسفورماتور زمینی

GasPlus.ir

در شکل ج-۲ طرحواره یک پست ترانسفرماتور زمینی که دارای دو اکترود اتصال زمین مستقل است نشان داده شده است.



شکل ج-۲- طرحواره پست ترانسفورماتور با دو الکترود زمین مجزای مستقل حفاظتی/خنثی در سیستم TN

بدنه هادی فلزی ترانسفورماتور به یک الکترود زمین (زمین حفاظتی) و هادی خنثی فشار ضعیف همراه با بدنه های هادی تجهیزات فشار ضعیف به یک الکترود زمین دیگر (زمین الکتریکی) که مستقل از اولی است وصل شده اند. اگر مقاومت الکترود زمین حفاظتی فشار قوی نسبت به جرم کلی زمین R_E باشد و شدت اتصالی بین یک هادی فاز با بدنه هادی در فشار قوی برابر I_E باشد ، فقط ولتاژ تنش بدنه هادی ترانسفورماتور نسبت به جرم کلی زمین به اندازه $R_E.I_E$ (ولت) بالا خواهد رفت، در حالی که ولتاژ تنش بدنه هادی تاسیسات فشار ضعیف نسبت به زمین و ولتاژ هر فاز فشار ضعیف نسبت به بدنه ها در تاسیسات فشار ضعیف، هیچ تغیری نخواهد کرد.

اما ولتاژ تنش هر یک از فازهای فشار ضعیف نسبت به بدنه هادی ترانسفورماتور به اندازه $U_f = R_E.I_E$ بالا خواهد رفت یعنی ولتاژ U_1 دیگر برابر U_0 (قبل از خطای اتصال کوتاه) نخواهد بود بلکه برابر خواهد بود با:

$$U_1 = U_0 + R_E.I_E$$
$$U_2 = U_0$$
$$U_f = 0$$

این ولتاژی است (U_1) که ممکن است منجر به شکست عایقی تجهیزات فشار ضعیف گردد.

GasPlus.ir

ج– ۴– نتیجه گیری

از حالت ۱ و ۲ می توان نتایج مقدماتی ذیل را بدست آورد :

ج–۴–۱– داشتن دو اتصال به زمین مجزا و مستقل در یک پست ترانسفورماتور

درصورت وقوع اتصالی بین فاز و بدنه در طرف فشار قوی دارای مزیت و اشکال زیر است :

مزیت : خطر برق گرفتگی به علت اتصال فاز به بدنه در طرف فشار قوی وجود نخواهد داشت.

اشکال : تابلوهای فشار ضعیف در پست ترانسفورماتور باید دارای عایق بندی بالاتری نسبت به بدنه باشند درغیراین صورت ، ممکن است بعلت بالارفتن ولتاژ بین فاز و خنثی شکست عایق بندی پیش آید.

ج–۴–۲– داشتن یک اتصال به زمین مشترک در پست ترانسفورماتور

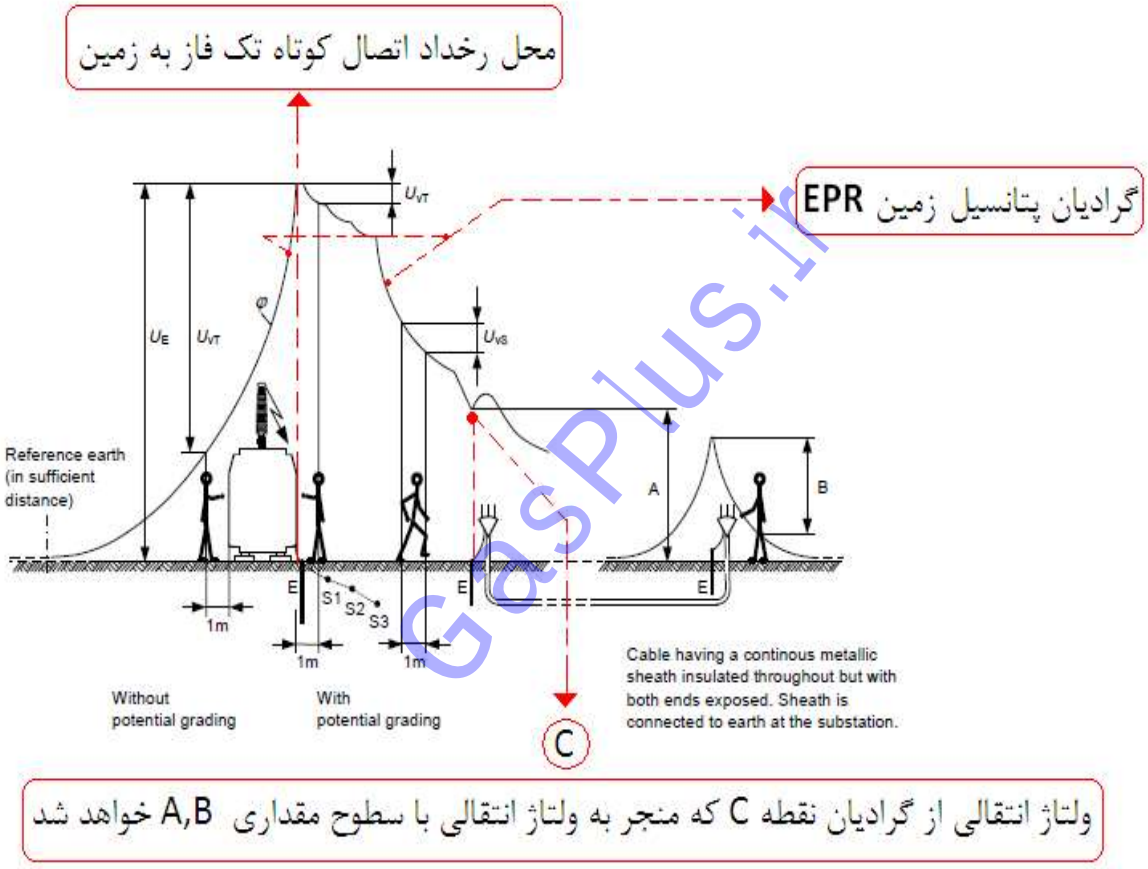
درصورت وقوع اتصالی بین فاز و بدنه در طرف فشار قوی دارای مزیت و اشکال زیر است :

مزیت : برپایی یک الکترود زمین بسیار ساده تر و ارزانتر از دو الکترود است.

اشکال : اگر شرایط مناسب نباشد (مقاومت R_E به قدر کافی کوچک نباشد یا I_E بیش از حد بزرگ باشد) مقدار $U_f = R_E.I_E$ بزرگ و خطر آفرین خواهد بود یعنی ممکن است در تاسیسات برق گرفتگی و آتش سوزی ایجاد کند.

GasPlus.ir

افزایش پتانسیل زمین(EPR) که با نام اختصاری U_E شناسایی می شود، در شکل چ-۱ نشان داده شده است. این گرادیان ولتاژ φ که نسبت به زمین مرجع حاصل می شود ناشی از رخداد اتصال کوتاه تک فاز نسبت به زمین است و منجر به ولتاژهای تماسی U_{VT} و گام U_{VS} در حوزه استقرار ترانسفورماتور قدرت خواهد شد که مقدار آن بسته به موقعیت قرارگیری شخص در حوزه ولتاژی مربوطه تعیین می شود. U_E حداکثر ولتاژ EPR است .همانطور که در شکل نشان داده شده است چگونه سطحی از گرادیان ولتاژ EPR در نقطه C، منجر به ولتاژ انتقالی در خارج از حوزه استقرار ترانسفورماتور قدرت با سطوح مقداری A,B خواهد شد.در صورتی که شیلد کابل از یک طرف زمین شده باشد منجر به ولتاژ انتقالی A و در صورتی که از دو طرف زمین شده باشد منجر به ولتاژ انتقالی B خواهد شد.



شکل چ-۱- نحوه تشکیل ولتاژ EPR در اثر رخداد اتصال کوتاه تکفاز

(مرجع استاندارد BS EN 50522:2010)

GasPlus.ir

در حالت کلی مقدار ولتاژ U_E به صورت کلی در شبکه های با ولتاژ بالای 1KV به صورت ذیل محاسبه می شود:

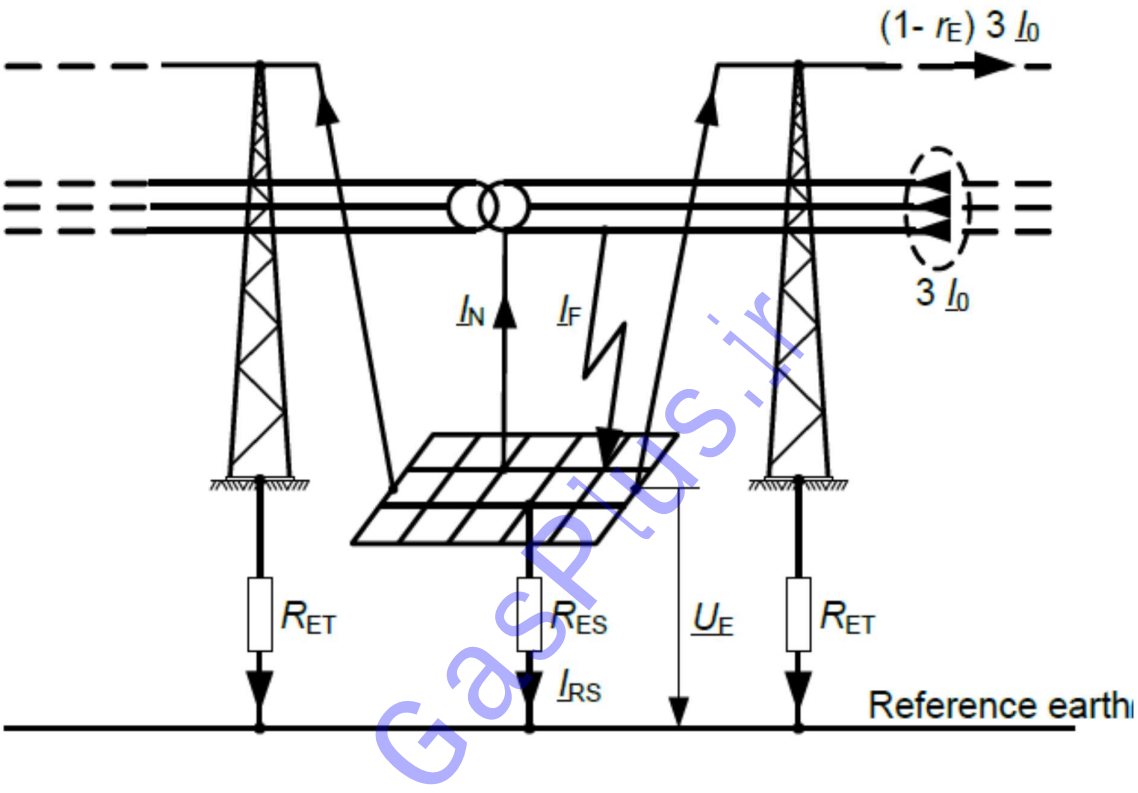
$$U_E = I_E . Z_E \qquad (۱)$$

که پارامترها در رابطه (۱) به صورت ذیل محاسبه می شود:

$$Z_E = \frac{1}{\frac{1}{R_{ES}} + n\frac{1}{Z_\infty}}$$

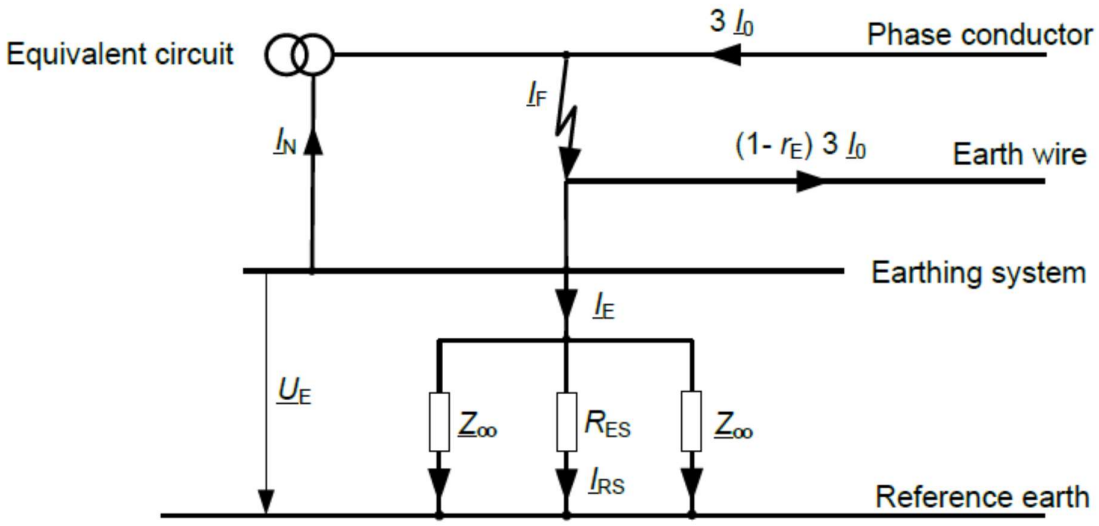
$$I_E = r_E . (I_F - I_N)$$

$$I_F = 3I_0 + I_N$$



GasPlus.ir

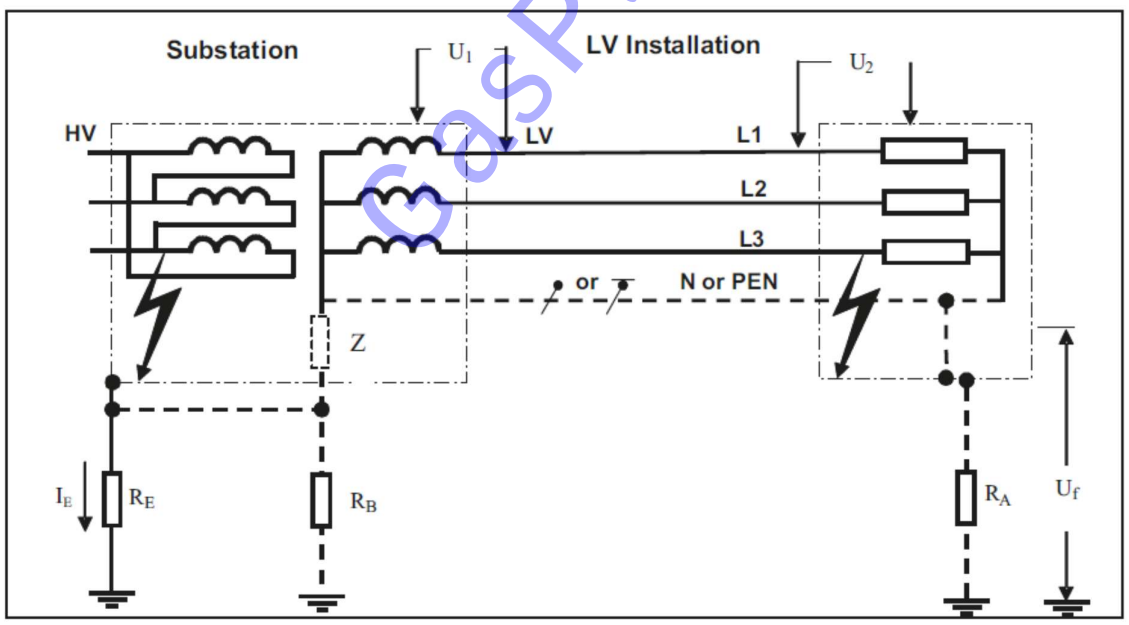
شکل چ-۲- جریان اتصال کوتاه زمین در حالت کلی در شبکه های بالای 1KV



شکل چ-۳- مدار معادل شکل چ-۲

(مرجع استاندارد BS EN 50522:2010)

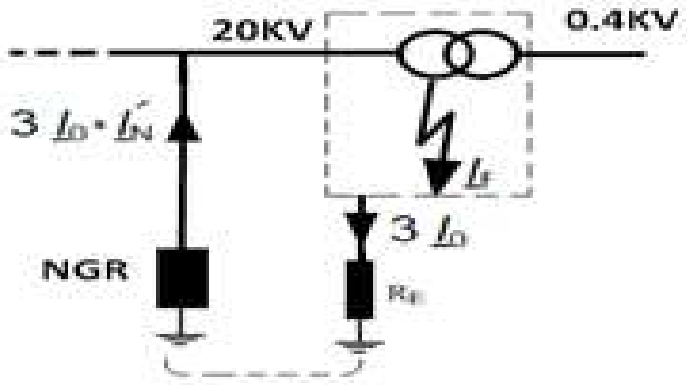
با قیاس این شبکه کلی با ساختار استاندارد یک طرح پست ترانسفورماتور زمینی در شکل چ-۴ نحوه محاسبات مقداری تغییر خواهد کرد:



شکل چ-۴- ساختار استاندارد یک طرح پست ترانسفورماتور زمینی(مرجع استاندارد BS 7671:2015)

GasPlus.ir

قطعا جریان اتصال کوتاه تکفاز در شبکه توزیع ولتاژ متوسط اعم از شبکه توزیع شهری و یا تولید نیروگاهی داخل تاسیسات ، توسط محدود کننده ای جریان NGR در یک سطح قابل شناسایی برای رله های حفاظتی محدود خواهد شد.(شکل چ- ۵) با قیاس شکل چ-۵ با شکل چ-۲ و چ-۳ روابط محاسبه ولتاژ EPR به صورت ذیل خلاصه می شود :



شکل چ-۵- ساختار استاندارد محدود کردن جریان اتصال کوتاه در شبکه توزیع ولتاژ متوسط

$$I_E = I_F = 3I_0 = I'_N = I_{NGR}$$
$$r_E = 1$$
$$I_N = 0$$
$$R_E \cong R_{ES} \| Z_{ES} \| Z_{ES}$$

به این ترتیب مقدار ولتاژ U_E به صورت رابطه ذیل محاسبه می شود:

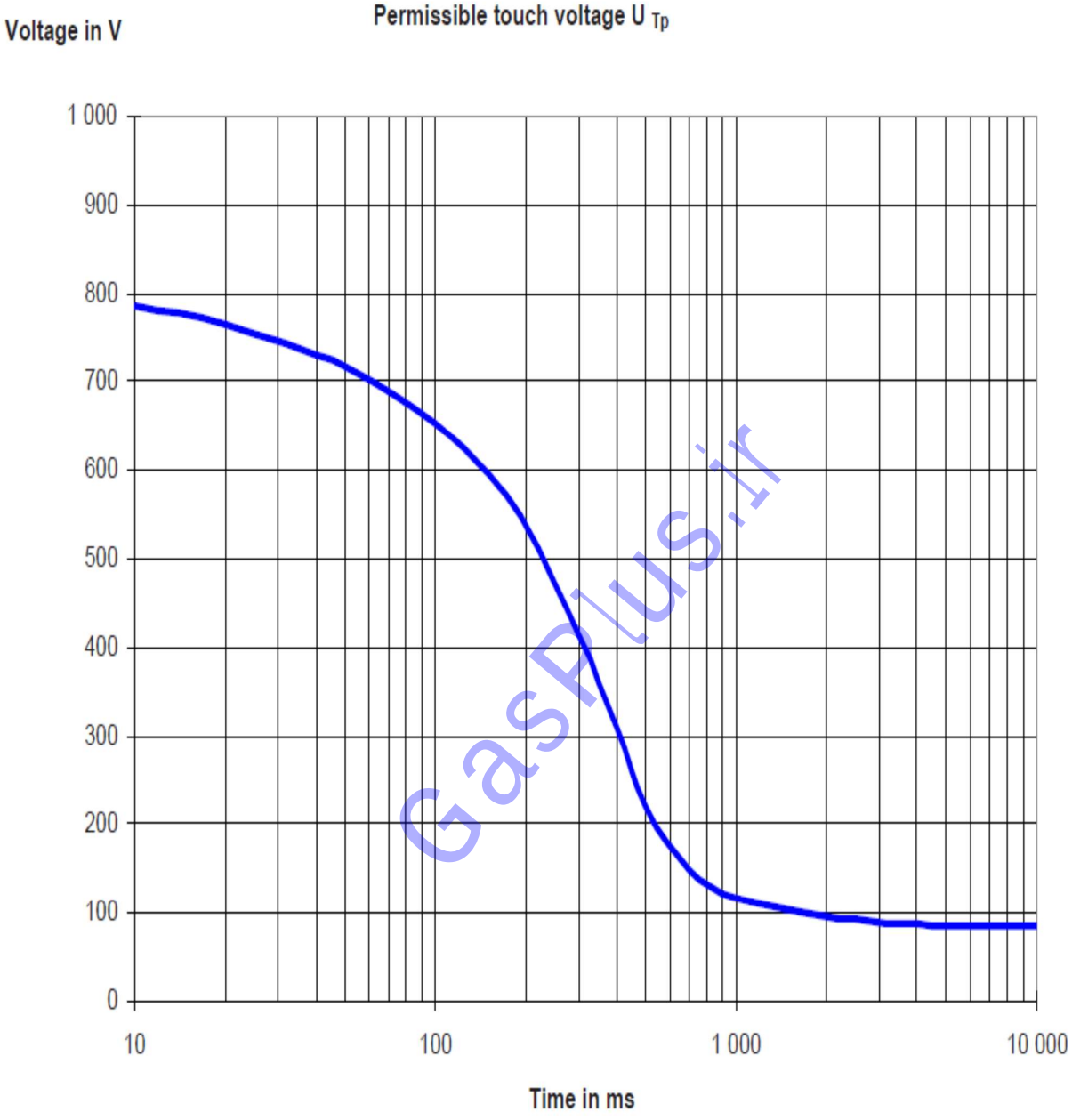
$$U_E = R_E . I_{NGR}$$

مقدار جریان I_{NGR} از دفاتر فنی معاونت بهره برداری شرکت های برق منطقه ای که تغذیه فیدرهای ولتاژ متوسط را تامین می کنند، قابل استعلام است.

از طرفی مقدار مقاومت الکتریکی سیستم زمین فشار قوی می بایست با استفاده از روش افت پتانسیل محاسبه شود. بدین ترتیب مقدار ولتاژ U_E محاسبه خواهد شد.

GasPlus.ir

شکل ح- ۱ مقدار سطح ولتاژ تماس مجاز بر حسب زمان کل قطع رله حفاظتی و قطع کننده نشان می دهد. در صورتی زمان قطع حفاظت بزرگتر از ۱۰ ثانیه در نظر گرفته شود مقدار ولتاژ تماس مجاز ۸۰ ولت در نظر گرفته شود.

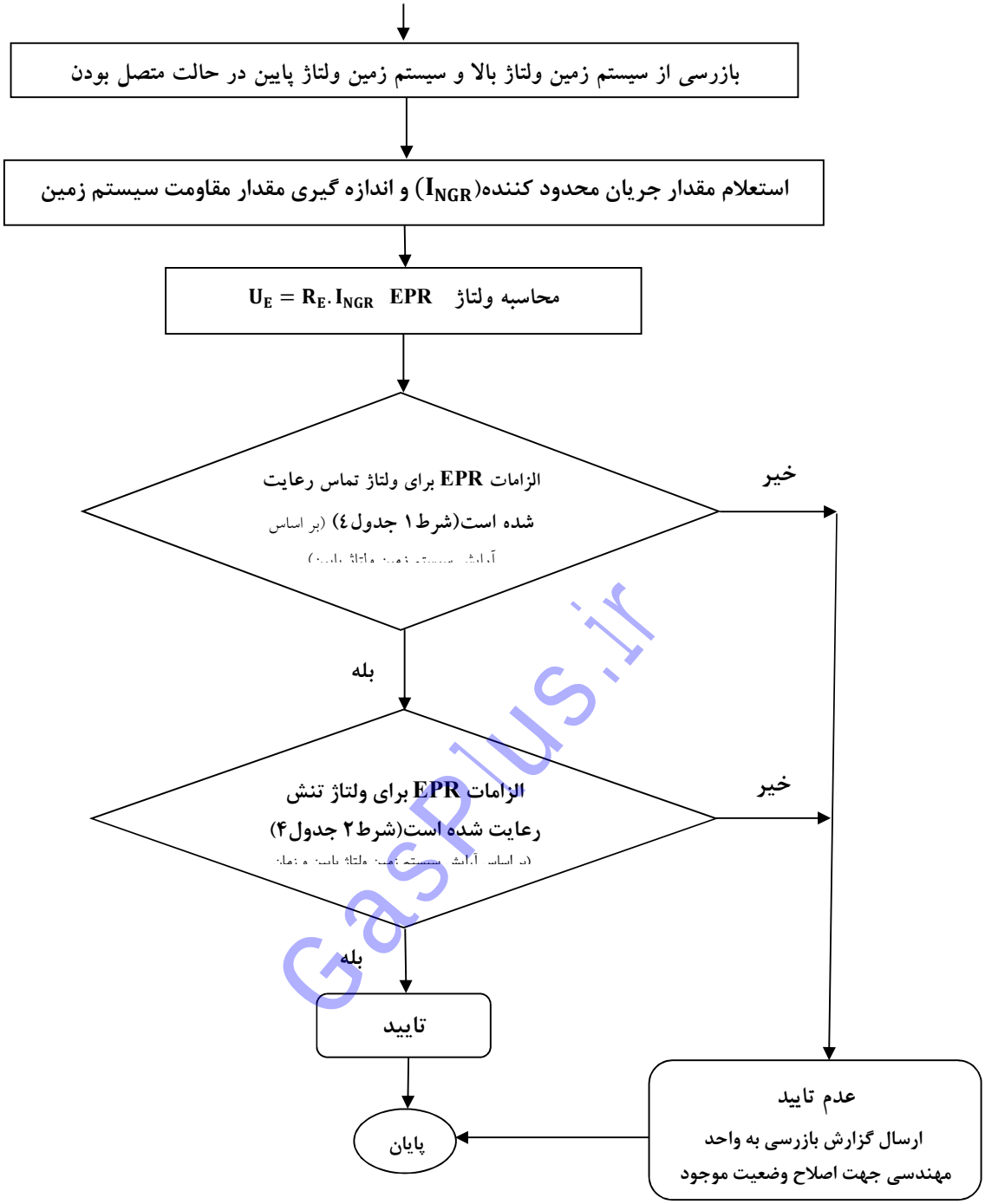


GasPlus.ir

شکل ح-۱- ولتاژ تماس مجاز

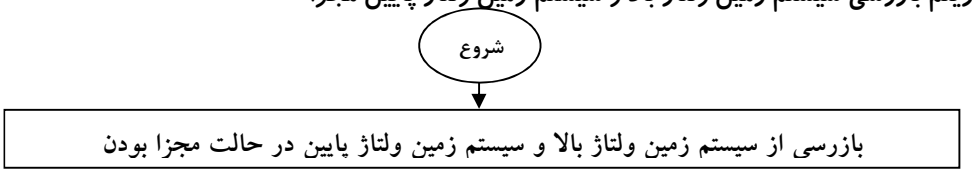
پیوست خ– الگوریتم بازرسی سیستم زمین ولتاژ بالا و سیستم زمین ولتاژ پایین متصل

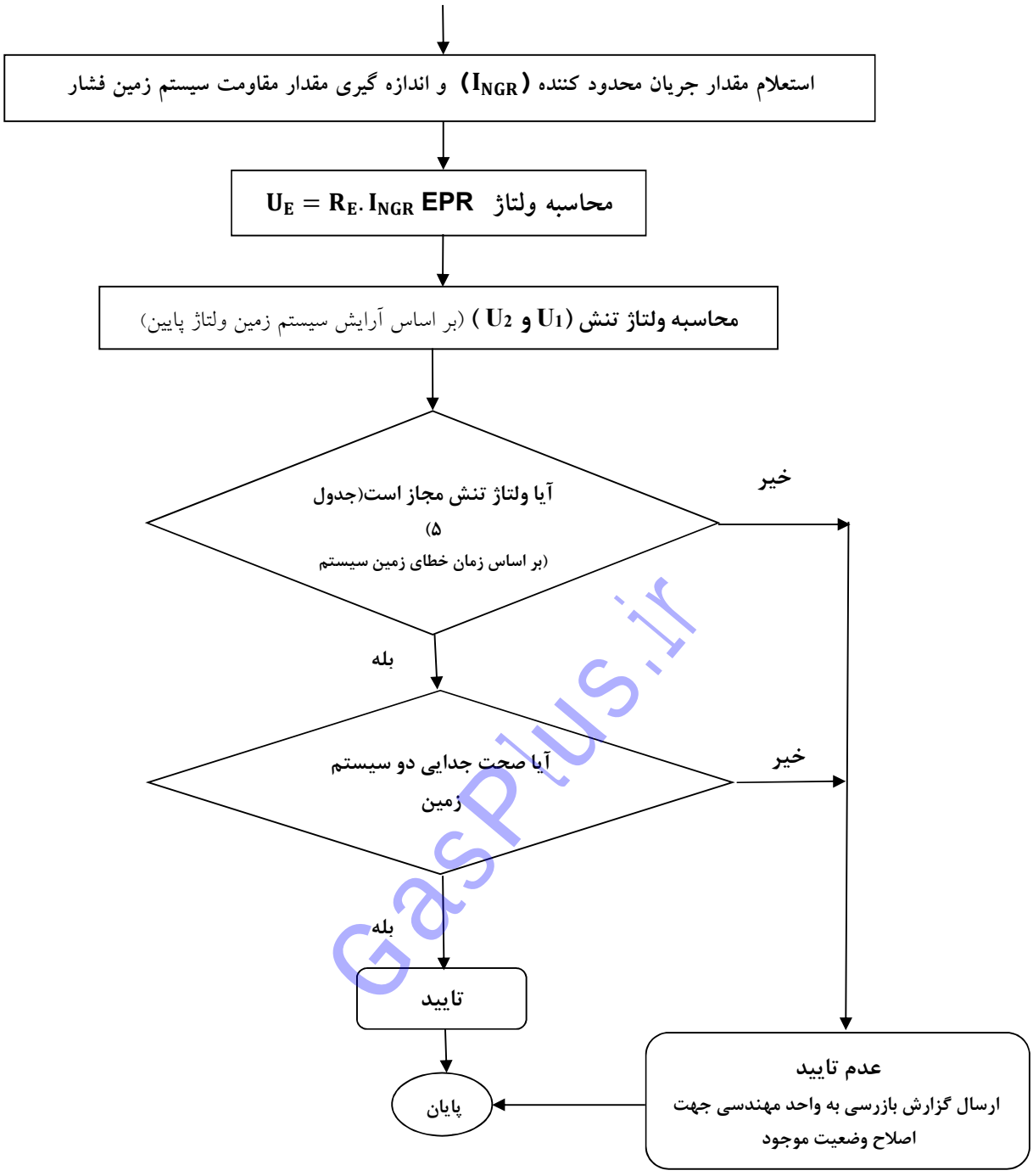
شروع



GasPlus.ir

پیوست د- الگوریتم بازرسی سیستم زمین ولتاژ بالا و سیستم زمین ولتاژ پایین مجزا




استعلام مقدار جریان محدود کننده (I_{NGR}) و اندازه گیری مقدار مقاومت سیستم زمین فشار
محاسبه ولتاژ EPR $U_E = R_E . I_{NGR}$
محاسبه ولتاژ تنش (U_1 و U_2) (بر اساس آرایش سیستم زمین ولتاژ پایین)
آیا ولتاژ تنش مجاز است(جدول ۵) (بر اساس زمان خطای زمین سیستم
خیر
بله
آیا صحت جدایی دو سیستم زمین
خیر
بله
تایید
عدم تایید
ارسال گزارش بازرسی به واحد مهندسی جهت اصلاح وضعیت موجود
پایان

GasPlus.ir

پیوست ذ– فرمهای جامع بازرسی از سیستم زمین

GasPlus.ir

	فرم بازرسی چشمی سیستم زمین **(فرم شماره ۱)**	شماره سند : شماره ویرایش : تاریخ بازرسی: صفحه ۵۹ از ۳

نام شرکت اصلی:	نام شرکت فرعی/منطقه:

عنوان	ردیف	محل بازرسی	موارد که کنترل شود		آسیب دیده (Damaged)		زنگ زده (Corroded)		ناپیدا (Missing)		نتیجه بازرسی	
			بلی	خیر	بلی	خیر	بلی	خیر	بلی	خیر	تایید	عدم تایید
شینه زمین اصلی H.V	۱											
	۲											
	⋮											
	n											
اتصالات همبندی بین اجزاء طرح	۱											
	۲											
	⋮											
	n											
شینه ارت نول L.V	۱											
	۲											
	⋮											
	n											

GasPlus.ir

	فرم بازرسی چشمی سیستم زمین **(فرم شماره ۱)**	شماره سند : شماره ویرایش : تاریخ بازرسی: صفحه ۲ از ۳

عنوان	ردیف	محل بازرسی	موارد که کنترل شود							
			آسیب دیده (Damaged)		زنگ زده (Corroded)		ناپیدا (Missing)		نتیجه بازرسی	
			بلی	خیر	بلی	خیر	بلی	خیر	تایید	عدم تایید
اتصالات مش زمین	۱									
	۲									
	⋮									
	n									
اتصالات همبندی بدنه فلزی	۱									
	۲									
	⋮									
	n									
اتصالات همبندی به فنس فلزی	۱									
	۲									
	⋮									
	n									

GasPlus.ir

	فرم بازرسی چشمی سیستم زمین **(فرم شماره ۱)**	شماره سند : **INS-FO-65** شماره ویرایش : **01** تاریخ بازرسی: صفحه ٦١ از ٣

موارد که کنترل شود			آسیب دیده (Damaged)		زنگ زده (Corroded)		ناپیدا (Missing)		نتیجه بازرسی	
عنوان	ردی ف	محل بازرسی	بلی	خیر	بلی	خیر	بلی	خیر	تایید	عدم تایید
اتصال همبندی پست مشتری شریک شده	۱									
	۲									
	:									
	n									

ردیف	بازرسی چشمی سیستم زمین	نتیجه بازرسی		نتیجه نهایی بازرسی		بازرس فنی
		تایید	عدم تایید	تایید	عدم تایید	
۱	شینه زمین اصلی H.V					نام:
۲	اتصالات همبندی بین اجزاء طرح					تاریخ:
۳	شینه ارت نول L.V					امضاء:
۴	اتصالات مش زمین					
۵	اتصالات همبندی بدنه فلزی					
۶	اتصالات همبندی به فنس فلزی					
۷	اتصال همبندی پست مشتری شریک شده					

GasPlus.ir

	فرم بازرسی دوره‌ای سیستم زمین **(مقاومت اتصالات و همبندی‌ها در پستهای توزیع)** **(فرم شماره ۲)**	شماره سند : INS-FO-66 شماره ویرایش: ۰۱ تاریخ بازرسی: صفحه ۱ از ۱

نام شرکت اصلی:	نام شرکت فرعی/منطقه:

ردیف	تجهیز	بیشینه مقدار قابل قبول (μΩ)	مقاومت اندازه‌گیری شده (μΩ)	نتیجه بازرسی	
				تایید	عدم تایید
۱					
۲					
۳					
٤					
٥					
٦					
۷					
۸					
۹					
۱۰					
۱۱					
۱۲					
۱۳					
۱٤					
۱٥					
۱٦					
۱۷					
۱۸					

GasPlus.ir

بازرسی فنی
نام:
تاریخ:

شرکت انتقال گاز ایران (سهامی خاص)	**فرم بازرسی دوره‌ای سیستم زمین** **(اندازه‌گیری مقاومت الکتریکی سیستم زمین)** **(فرم شماره ۳)**	شماره سند : شماره ویرایش : تاریخ بازرسی: صفحه ۱ از ۱

* در مواردي كه از الكترودهاي ارت كمكي براي اندازه‌گيري مقاومت سيستم زمين استفاده مي‌شود نقشه ترسيمي

نام شرکت اصلی: | **نام شرکت فرعی/منطقه:**

ردیف	نام و موقعیت سیستم زمین **CMMS CODE**	برق: L.V Distribution system	برق: M.V Power generation	برق: M.V&H.V Substation	ابزار دقیق	سیستم حفاظت در مقابل صاعقه	روش اندازه‌گیری سیستم زمین: منفرد: 70%	منفرد: 61.8%	منفرد: 50%	منفرد: 61.8% & CT	منفرد: Two Point	منفرد: Clamp Earth	شبکه: Sloop	مقدار مقاومت الکتریکی: منفرد	مقدار مقاومت الکتریکی: شبکه فرعی	مقدار مقاومت الکتریکی: شبکه اصلی گسترده	نتیجه بازرسی: تایید	نتیجه بازرسی: عدم تایید	توضیحات* (شماره نقشه پیوست ذکر شود)

مجری / پیمانکار	دستگاه نظارت	بازرسی فنی
نام :	نام :	نام :
تاریخ :	تاریخ :	تاریخ :

سيستم زمين كه شامل مسير چيدمان الكترودها مي‌باشد بايد به پيوست ارائه گردد.

GasPlus.ir

	فرم جامع بازرسی سیستم زمین ولتاژ بالا – ولتاژ پایین متصل (فرم شماره ٤)	شماره سند : شماره ویرایش: تاریخ بازرسی: صفحه ۱ از ۱

شرکت اصلی:

شرکت فرعی/ منطقه :

I_{NGR} =	U_{TP} =
R_E =	F =
EPR = I_{NGR}× R_E =	F × U_{TP} =

نوع آرایش سیستم زمین ولتاژ پایین

IT ☐ IT(هادی زمین حفاظتی توزیع شده) ☐ IT(هادی زمین حفاظتی توزیع نشده) ☐	TN ☐	TT ☐

بررسی الزامات EPR برای ولتاژ تماس

IT(هادی زمین حفاظتی توزیع شده)	TN	TT
EPR ≤ F × U_{TP} ☐	EPR ≤ F × U_{TP} ☐	غیر کاربردی
EPR > F × U_{TP} ☐	EPR > F × U_{TP} ☐	

بررسی الزامات EPR برای ولتاژ تنش

t_f > 5 s ☐	t_f ≤ 5 s ☐
EPR ≤ 250 v ☐	EPR ≤ 1200 v ☐
EPR > 250 v ☐	EPR > 1200 v ☐

نتیجه نهایی

نوع آزمون	نتیجه تست	
	تایید	عدم تایید
بررسی الزامات EPR برای ولتاژ تماس		
بررسی الزاماتEPR برای ولتاژ تنش		
نتیجه نهایی		

مشخصات بازرس فنی

نام :

تاریخ :

امضا :

GasPlus.ir

	فرم جامع بازرسی سیستم زمین ولتاژ بالا – ولتاژ پایین مجزا (فرم شماره ۵)	شماره سند : شماره ویرایش: تاریخ بازرسی: صفحه ۱ از ۱

شرکت اصلي :

شرکت فرعي/ منطقه :

نوع آرايش سيستم زمين ولتاژ پايين

IT ☐ IT(هادي☐زمين حفاظتي توزيع شده) IT(هادي ☐زمين حفاظتي توزيع نشده)	TN ☐	TT ☐

U_0 =	R_{LV} =
U_1 =	R_{HV} =
U_2=	R_S =

بررسی الزامات ولتاژ تنش

$t_f > 5$ s ☐	$t_f \leq 5$ s ☐
U_1 & $U_2 \leq U_0 + 250$ v	U_1 & $U_2 \leq U_0 + 1200$ v ☐
U_1 & $U_2 > U_0 + 250$ v	U_1 & $U_2 > U_0 + 1200$ v ☐

بررسي صحت جدايي دو سيستم زمين

$R_S > 0.9\ (R_{HV} + R_{LV})$ ☐

$R_S \leq 0.9\ (R_{HV} + R_{LV})$ ☐

نتيجه نهايي

نوع آزمون	نتيجه تست	
	تاييد	عدم تاييد
بررسي الزامات ولتاژ تنش		
بررسي صحت جدايي دو سيستم زمين		
نتيجه نهايي		

مشخصات بازرس فني

نام :

تاريخ :

امضا :

GasPlus.ir

	فرم جامع بازرسی چشمی سیستم زمین ولتاژ بالا – ولتاژ پایین متصل (فرم شماره٦)	شماره سند: شماره ویرایش: تاریخ بازرسی: صفحه ۱ از ۱

شرکت اصلی:

شرکت فرعی/ منطقه :

در این حالت همبندی بین تمامی تجهیزات ذیل به زمین مشترک الزامی است :

۱–بدنه ترانسفورماتور	☐
۲– شیلد فلزی کابل های MV	☐
۳– شیلد فلزی کابلهای LV	☐
٤– بدنه های هادی تجهیزات HV (بدنه تابلوهای MV و. ..)	☐
٥– بدنه های هادی بیگانه	☐
٦– بدنه های هادی تجهیزات LV (بدنه تابلوهای LV سمت مصرف کننده)	☐
۷– نقطه نول ترانسفورماتور	☐

نتیجه نهایی

نوع آزمون	**نتیجه تست**	
	تایید	**عدم تایید**
همبندی تمامی تجهیزات به زمین مشترک		

مشخصات بازرس فنی

نام :

تاریخ :

امضا :

GasPlus.ir

	فرم جامع بازرسی چشمی سیستم زمین ولتاژ بالا – ولتاژ پایین مجزا (فرم شماره ۷)	شماره سند : **شماره ویرایش:** **تاریخ بازرسی:** **صفحه ۱ از ۱**

شرکت اصلی:

شرکت فرعی / منطقه :

در این حالت همبندی بین تمامی تجهیزات ذیل به سیستم زمین ولتاژ بالا الزامی است.

۱- بدنه ترانسفورماتور	☐
۲- شیلد فلزی کابل های MV	☐
۳- بدنه های هادی تجهیزات HV (بدنه تابلوهای MV و. ..)	☐
۴- بدنه های هادی بیگانه	☐

در این حالت همبندی بین تمامی تجهیزات ذیل به سیستم زمین ولتاژ پایین الزامی است.

۱- شیلد فلزی کابلهای LV	☐
۲- بدنه های هادی تجهیزات LV (بدنه تابلوهای LV سمت مصرف کننده)	☐
۳- نقطه نول ترانسفورماتور	☐
۴- بدنه های هادی تجهیزات LV (بدنه تابلوهای LV واقع در پست)	☐

نتیجه نهایی

نوع آزمون	نتیجه تست	
	تایید	عدم تایید
همبندی تمامی تجهیزات به زمین ولتاژ بالا		
همبندی تمامی تجهیزات به زمین ولتاژ پایین		
نتیجه نهایی		

مشخصات بازرس فنی

نام :

تاریخ :

امضا :

GasPlus.ir