



شرکت ملی گاز ایران

مدیریت پژوهش و فناوری

امور تدوین استانداردها

IGS

این دستورالعمل با توجه به تجربیات عملی و فنی کارشناسان شرکت ملی گاز تهیه گردیده و استفاده از آن به مدت ۱ سال از زمان انتشار الزامی نبوده و صرفاً جهت راهنمایی می باشد. از کلیه کاربران محترم این دستورالعمل درخواست می گردد نظرات اصلاحی خود را جهت بررسی به امور تدوین استانداردها اعلام نمایند. بدیهی است پس از زمان مقرر اقدامات مقتضی بمنظور اخذ مصوبه ه. م. م جهت الزامی نمودن آن، صورت خواهد پذیرفت.

آزمونهای میدانی و ارزیابی عایق سیستمهای کابل قدرت (نو و کارکرده)

Field Testing and Evaluation of the Insulation of Power Cable Systems (new and aged)

فهرست مطالب

صفحه	عنوان
3	1- هدف
4	2- استانداردهای مرجع
6	3- تعاریف
8	4- ایمنی
8	4-1- شیوه‌های ایمن سازی
9	4-2- زمین کردن
11	5- آزمون عایقی بر روی سیستم کابل
11	5-1- هدف از انجام آزمون عایقی بر روی سیستم کابل
12	5-2- آزمون‌های متداول سیستم عایقی کابل
13	5-3- سطوح ولتاژی کابل‌های قدرت
14	5-4- انتخاب نوع آزمون در شرایط خاص
15	5-5- دوره‌های زمانی انجام آزمون نگهداری
16	5-6- سیستم عایق یک کابل
16	5-7- مراحل انجام آزمون‌های کابل
17	5-8- دشارژ سیستم کابل
18	5-9- ثبت اطلاعات آزمون
18	5-10- بررسی تاثیر شرایط محیطی بر روی نتایج حاصل از آزمون
19	5-11- انجام آزمون در شرایطی که امکان جداسازی کابل از تجهیز متصل به آن نباشد
19	6- آزمون اندازه‌گیری مقاومت عایقی (IR^1)
19	6-1- نحوه سیم‌بندی و اتصال دستگاه اندازه‌گیری مقاومت عایقی به کابل قدرت
21	6-2- آزمون پذیرش مقاومت عایقی کابل
22	6-3- پارامترهای تاثیر گذار بر روی مقدار اندازه‌گیری شده مقاومت عایقی کابل
23	6-4- ضریب اصلاح دمایی در آزمون مقاومت عایقی کابل
25	6-5- آزمون نگهداری مقاومت عایقی کابل
26	6-6- ولتاژ اعمالی به کابل در آزمون نگهداری IR
27	6-7- شاخص پلاریزاسیون (یا قطبیدگی) PI^2
27	6-8- آزمون IR بر روی عایق پوشش یا غلاف بیرونی کابل

¹ Insulation resistance² Polarization Index

- 28 9-6- بررسی محدودیت‌ها در آزمون اندازه‌گیری مقاومت عایقی
- 28 10-6- پروفیل مقاومت عایقی (IRP^3)
- 29 7- آزمون ولتاژ بالای AC^4 موسوم به $AC-Hipot^5$
- 29 1-7- آزمون پذیرش
- 29 2-7- آزمون نگهداری برای کابل‌های شیلددار
- 31 8- آزمون ولتاژ بالای DC^6 موسوم به $DC-Hipot$
- 33 9- آزمون ولتاژ AC با فرکانس بسیار پایین موسوم به VLF^7
- 33 1-9- استاندارد و دستورالعمل نحوه انجام تست
- 34 2-9- آزمون تحمل ولتاژ عایقی VLF
- 35 1-2-9- شیوه انجام آزمون
- 36 2-2-9- اتصال کابل به دستگاه VLF
- 37 3-9- آزمون تشخیصی VLF
- 39 1-3-9- شیوه انجام آزمون
- 39 2-3-9- معیارهای ارزیابی برای کابل‌های کارکرده/کهنه
- 40 3-3-9- نحوه محاسبه شاخص‌های ارزیابی
- 41 4-3-9- حالت‌های مختلف وضعیت کابل
- 43 10- آزمون تخلیه جزئی (PD^8) آنلاین و آفلاین
- 44 11- آزمون عکس برداری مادون قرمز یا ترموگرافی
- 45 پیوست 1- آزمون‌های عایقی برای سیستم‌های کابل با عایق کاغذی
- 46 پیوست 2- شناسنامه کابل
- 48 پیوست 3- برگه تست شیت آزمون اندازه‌گیری مقاومت عایقی (IR) با اعمال ولتاژ DC
- 50 پیوست 4- برگه تست شیت آزمون با ولتاژ AC در فرکانس بسیار پایین موسوم به VLF

³ Insulation resistance profiling

⁴ Alternating current

⁵ High potential voltage

⁶ Direct current

⁷ Very low frequency

⁸ Partial discharge

1- هدف⁹

این استاندارد به منظور انجام آزمون و ارزیابی عایقی کابل‌های قدرت در سطوح مختلف ولتاژ مورد نیاز شرکت ملی گاز ایران تا ولتاژ حداکثر 33 kV تدوین شده است.

این استاندارد کابل‌های با عایق پلیمری و لاستیکی از نوع اکستروود شده (تزریقی) و عایق کاغذی و ورقه ورقه‌ای را در بر گرفته است.

آزمون‌های مورد اشاره در این استاندارد مربوط به مرحله بهره‌برداری و نگهداری از تاسیسات بوده و شامل آزمون‌های کارخانه‌ای¹⁰ نمی‌شود.

⁹ scope

¹⁰ Factory tests

2- استانداردهای مرجع¹¹

این استاندارد بر پایه استانداردها و مراجعی که در زیر لیست شده‌اند تدوین شده است:

- 2.1. IEEE Std 400(2012), IEEE Guide for Field Testing and Evaluation of the Insulation of Shielded Power Cable Systems Rated 5 kV and Above.
- 2.2. IEEE Std 400.1(2007), IEEE Guide for Field Testing of Laminated Dielectric, Shielded Power Cable Systems Rated 5 kV and Above with High Direct Current Voltage.
- 2.3. IEEE Std 400.2(2013), IEEE Guide for Field Testing of Shielded Power Cable Systems Using Very Low Frequency (VLF) (less than 1 Hz).
- 2.4. IEEE Std 400.3(2006), IEEE Guide for Partial Discharge Testing of Shielded Power Cable Systems in a Field Environment.
- 2.5. IEEE Std 43(2013), IEEE Recommended Practice for Testing Insulation Resistance of Electric Machinery.
- 2.6. IEEE Std 433(2009), IEEE Recommended Practice for Insulation Testing of AC Electric Machinery with High Voltage at Very Low Frequency.
- 2.7. IEEE Std 525(2007), IEEE Guide for the Design and Installation of Cable Systems in Substations.
- 2.8. ANSI/NETA ATS-2013, Standard for Acceptance Testing Specifications for Electrical Power Equipment and Systems.
- 2.9. ANSI/NETA MTS(2011), Standard for Maintenance Testing Specifications for Electrical Power Equipment and Systems.
- 2.10. "IEC 60502.4(2010), Power cables with extruded insulation and their accessories for rated voltages from 1 kV ($U_m = 1,2$ kV) up to 30 kV ($U_m = 36$ kV) – Part 4: Test requirements on accessories for cables with rated voltages from 6 kV ($U_m = 7,2$ kV) up to 30 kV ($U_m = 36$ kV)."
- 2.11. IEC 60060.3(2006), High-Voltage Test Techniques - Part 3: Definitions and Requirements for On-Site Testing.
- 2.12. IEC 60502.1(2009), Power cables with extruded insulation and their accessories for rated voltages from 1 kV ($U_m = 1,2$ kV) up to 30 kV ($U_m = 36$ kV) - Part 1: Cables for rated voltages of 1 kV ($U_m = 1,2$ kV) and 3 kV ($U_m = 3,6$ kV).

¹¹ Normative reference

2.13. IEC 60502.2(2005)¹², Power cables with extruded insulation and their accessories for rated voltages from 1 kV ($U_m = 1,2$ kV) up to 30 kV ($U_m = 36$ kV) - Part 2: Cables for rated voltages from 6 kV ($U_m = 7,2$ kV) up to 30 kV ($U_m = 36$ kV).

2.14. IPS-E-EL-100.1(2012). Engineering Standard For Electrical System Design (Industrial And Nonindustrial)

2.15. IPS-M-EL-271.2.(2014) , MATERIAL AND EQUIPMENT STANDARD FOR LOW VOLTAGE CABLES AND WIRES

2.16. IPS-M-EL-272.2.2014 , MATERIAL AND EQUIPMENT STANDARD FOR MEDIUM AND HIGH VOLTAGE POWER CABLES

2.17. IPS-I-EL-217(1)(2012), Inspection Standard for Pre commissioning Electrical Tests.

2.18. Nexans, "Insulation Resistance Testing of Low Voltage Cables in the Field"

2.19. Megger, "A Guide to Diagnostic Insulation Testing Above 1 kV".

2.20. Megger, "A Stitch in Time: The Complete Guide to Electrical Insulation Testing".

^{۱۲} ویرایش سوم این استاندارد در سال 2014 میلادی منتشر شده است.

3- تعاریف

3-1- ولتاژ نامی کابل: هر کابل قدرت دارای سه ولتاژ نامی است که به صورت $U_0/U (U_m)$ نمایش داده شده و به صورت زیر تعریف می‌شوند:

- U_0 □ ولتاژ نامی کابل در فرکانس قدرت مابین هادی فاز و شیلد کابل (ولتاژ فاز به زمین)
- U □ ولتاژ نامی کابل در فرکانس قدرت مابین هادی یک فاز و هادی فاز دیگر (ولتاژ فاز به فاز)
- U_m □ بیشترین مقدار ولتاژ سیستم برای تجهیزاتی که ممکن است مورد استفاده قرار گرفته باشند.

3-2- سیستم کابل¹³: مجموعه‌ای از یک یا چند تکه کابل به همراه اتصالاتی چون سرکابل‌ها و مفصل‌ها را سیستم کابل گویند.

3-3- عایق اکستروود شده¹⁴: عایق‌هایی نظیر PE^{15} , $XLPE^{16}$, $TRXLPE^{17}$, EPR^{18} و غیره که توسط پروسه اکستروژن (یا تزریق) ساخته می‌شوند.

3-4- عایق ورقه ورقه‌ای¹⁹: عایق‌هایی نظیر $PILC^{20}$, $MIND^{21}$ و غیره که به صورت لایه لایه یا ورقه‌ای ساخته می‌شوند.

3-5- کابل شیلدار²²: یک کابل که در آن یک هادی عایق شده توسط یک پوشش هدایت کننده²³ در بر گرفته شده است.

3-6- کابل نو، کارکرده و کهنه²⁴: از نقطه نظر بهره‌برداری، در این استاندارد یک کابل تا زمانی که در سرویس قرار نگرفته باشد نو محسوب شده و در غیر اینصورت کارکرده نامیده می‌شود. همچنین، به کابلی که بیش از 5 سال از زمان بهره‌برداری و در سرویس قرار گرفتن آن گذشته باشد کابل کهنه اطلاق می‌شود.

¹³ Cable system

¹⁴ Extruded dielectrics

¹⁵ Polyethylene

¹⁶ Cross linked polyethylene

¹⁷ Tree retardant cross linked polyethylene

¹⁸ Ethylene propylene rubber

¹⁹ Laminated dielectrics

²⁰ Paper insulated lead covered

²¹ Mass impregnated non draining

²² Shielded cable

²³ پوشش هدایت کننده (conducting envelope) می‌تواند از جنس یک هادی رسانا مانند مس یا آلومینیوم و یا یک پلیمر نیمه هادی باشد.

²⁴ New, aged and old cable

7-3- جریان جذبی²⁵ (I_A): یکی از مولفه‌های جریان عبوری از عایق، تحت شرایطی است که به آن ولتاژ اعمال شده باشد. این مولفه جریانی ناشی از پدیده قطبی شدن مولکول‌های عایق بوده و از لحظه اعمال ولتاژ با گذشت زمان از یک مقدار نسبتاً بزرگ به سمت صفر کاهش می‌یابد. مقدار این مولفه به نوع و شرایط عایق بستگی دارد.

8-3- مقاومت عایقی²⁶ (IR_t): توانایی یک عایق الکتریکی در مقاومت کردن در مقابل عبور جریان از خود زمانی که به آن ولتاژ اعمال شده باشد را گویند. مقدار آن از تقسیم ولتاژ اعمالی به عایق بر جریان عبوری از آن پس از گذشت زمان t از شروع اعمال ولتاژ بدست می‌آید که می‌بایست برای دمای 40°C اصلاح شود. زمان t معمولاً 1 دقیقه (IR_1) و 10 دقیقه (IR_{10}) می‌باشد با این حال مقادیر دیگر هم می‌توانند استفاده شوند. در صورتیکه زمان‌های t_1 و t_2 با اعدادی بین 1 تا 10 نشان داده شوند منظور دقیقه و در صورتیکه با عدد 15 و یا بزرگتر نشان داده شوند منظور ثانیه هستند.

9-3- شاخص پلاریزاسیون (قطبیدگی)²⁷ ($P.I._{t/1}$): معیاری است برای ارزیابی کیفیت یک عایق و عبارت است از نسبت مقدار مقاومت عایق پس از گذشت زمان t_2 به مقدار مقاومت عایق پس از گذشت زمان t_1 (توجه شود که t_1 همواره کوچکتر از t_2 انتخاب می‌شود). در نتیجه این شاخص بدون واحد است. اگر زمان‌های t_1 و t_2 داده نشده باشند به ترتیب برابر 1 و 10 دقیقه در نظر گرفته می‌شوند. اما در صورتیکه این زمان‌ها با اعدادی بین 1 تا 10 نشان داده شوند منظور دقیقه و در صورتیکه با عدد 15 و یا بزرگتر نشان داده شوند منظور ثانیه هستند (مثلاً $P.I._{60/15}$ به معنی IR_{60s}/IR_{15s} است).

10-3- آزمون²⁸: در این استاندارد چند نوع آزمون مختلف در نظر گرفته شده است:

1-10-3- آزمون نصب²⁹: یک نوع آزمون میدانی است که بر روی یک کابل نو و درست پس از نصب آن و قبل از اتصال سرکابل و مفصل به آن انجام می‌شود.

2-10-3- آزمون پذیرش³⁰: یک نوع آزمون میدانی است که بر روی کابل نو درست پس از نصب کابل و اتصال سرکابل و مفصل به آن و قبل از در مدار قرار گرفتن و بهره‌برداری از آن انجام می‌شود.

3-10-3- آزمون نگهداری³¹: یک نوع آزمون میدانی است که بر روی کابل‌هایی که در حال بهره‌برداری هستند انجام می‌شود.

11-3- دمای نقطه شبنم³² (T_d): دمایی است که هوای مرطوب برای آنکه به حد اشباع برسد، بایستی تا آن دما سرد شود. در دمای پایین‌تر از این دما کل آب موجود در هوا تقطیر خواهد شد. آب تقطیر شده چنانچه بر روی سطح یک شی جامد تشکیل شود شبنم نامیده می‌شود.

²⁵ Absorption current

²⁶ Insulation resistance

²⁷ Polarization index

²⁸ Test

²⁹ Installation test

³⁰ Acceptance test

³¹ Maintenance test

4- ایمنی³³4-1- شیوه‌های ایمن سازی³⁴

ایمنی پرسنل در هنگام انجام تمامی آزمون‌هایی که در این استاندارد بررسی شده‌اند دارای اهمیت بسزایی است. تمامی کابل‌ها و تجهیزات تحت تست الزاماً می‌بایست از تغذیه اصلی قطع شده و از سیستم به نحو مناسب ایزوله شوند، مگر در شرایط خاص و با رعایت دستورالعمل‌های مربوطه و دریافت مجوزهای لازم. همواره شیوه‌های ایمن‌سازی مناسبی می‌بایست بکار برده شوند. شیوه‌های ایمن‌سازی الزاماً می‌بایست شامل موارد زیر باشند (تنها محدود به این موارد نمی‌شوند):

دستورالعمل‌های کاربردی بهره‌برداری ایمن در سطح شرکت ملی گاز ایران، استانداردهای ملی و بین‌المللی، مانند:

1. National Electrical Safety Code (NESC)
2. IEEE Std 510, IEEE Recommended Practices for Safety in High Voltage and High Power Testing.
3. NFPA 70E, Standard for Electrical Safety in the Workplace.
4. ANSI/NETA ATS-2013, Standard for Acceptance Testing Specifications for Electrical Power Equipment and Systems (Section 7.3.3: Cables, Medium and High Voltage).
5. ANSI/NETA MTS-2011, Standard for Maintenance Testing Specifications for Electrical Power Equipment and Systems (Section 7.3.3: Cables, Medium and High Voltage).

6. دستورالعمل‌های مربوط به حفاظت فیزیکی از لوازم و وسایل شرکت ملی گاز ایران

7. دستورالعمل وسایل و تجهیزات حفاظت فردی در شرکت ملی گاز ایران

پیش از انجام هرگونه تستی فاصله عایقی مجاز³⁵ برای تجهیزات مختلف بر اساس ولتاژ آزمون و ولتاژ تجهیزات برقرار مجاور می‌بایست تعیین شود:

- (1) در سرهای انتهایی سیستم کابل موارد زیر در نظر گرفته شود: (1) سرهای انتهایی کابل می‌بایست از هرگونه رطوبت و آلودگی تمیز شوند. (2) در حین آزمون حداقل فاصله عایقی مجاز (فاصله هوایی) بین سر هادیها و هادیها با زمین رعایت گردد. (3) هر موقع که ولتاژ اعمالی به کابل قطع شده است و کابل تحت آزمون نیست، می‌بایست آن را زمین کرد. (4) سرهایی از کابل که دور از محل انجام آزمون هستند می‌بایست با استفاده از علائم مناسبی، انجام یک تست ولتاژ بالا بر روی آن‌ها هشدار داده شود.

³² Dew point temperature

³³ Safety

³⁴ مطالب این بخش برگرفته از استاندارد IEEE Std 400.2-2013 بخش 4.1 در صفحه 5 و NFPA 70E می‌باشد.

³⁵ Clearance

جدول (1) حداقل فواصل عایقی مجاز هوا

ردیف	سطح ولتاژ	حداقل فاصله هوایی مجاز
1	$\leq 300V$	1mm (0ft0.03in.)
2	$> 300V \leq 750V$	2mm (0ft0.07in.)
3	$> 750V \leq 2kV$	5mm (0ft0.19in.)
4	$> 2kV \leq 15kV$	39mm (0ft1.5in.)
5	$> 15kV \leq 36kV$	161mm (0ft6.3in.)
6	$> 36kV \leq 48.3kV$	254mm (0ft10.0in.)
7	$> 48.3kV \leq 72.5kV$	381mm (1ft3.0in.)
8	$> 72.5kV \leq 121kV$	640mm (2ft1.2in.)
9	$> 138kV \leq 145kV$	778mm (2ft6.6in.)
10	$> 161kV \leq 169kV$	915mm (3ft0.0in.)

(2) در صورتی که کابل تحت تست با استفاده از یک کلید قدرت از مابقی سیستم ایزوله شده باشد، می‌بایست آن کلید قدرت در مقابل اعمال ولتاژ آزمون (DC و یا AC) به کابل از یک طرف و ولتاژ بهره‌برداری طرف دیگر کلید دارای تحمل الکتریکی باشد.

(3) زمانی که از فاصله هوایی بعنوان عایق استفاده می‌شود، مانند وضعیتی که سرکابل از انتهای کابل جدا شده است، فاصله هوایی باید به اندازه‌ای باشد که ایزولاسیون بین ولتاژ آزمون اعمالی به کابل و ولتاژ بهره‌برداری اعمالی به تجهیزات الکتریکی مجاور برقرار باشد.

(4) کلیه تجهیزات کمکی و فرعی متصل به سیستم کابل مانند صاعقه‌گیر، موتور و باید در هنگام آزمون از آن جدا شوند مگر در موارد خاص که در این صورت باید مجوزهای مربوطه اخذ گردد.

در انتهای پروسه انجام یک تست ولتاژ بالا بر روی کابل، توجه به نکات زیر توصیه می‌شود:

(1) کابل‌ها و سیستم‌های کابل و تجهیزات آزمون دشارژ شوند. دشارژ کردن کابل تا زمانیکه این عمل تکمیل شود باید به دقت پایش گردد.

(2) ملزومات اتصال به زمین کابل و تجهیزات آزمون می‌بایست حفظ شود تا از وقوع پدیده شارژ مجدد کابل در اثر خاصیت خازنی و خاصیت جذبی دی‌الکتریک³⁶ جلوگیری شود.

4-2- زمین کردن³⁷

سیستم‌های کابل می‌توانند از طریق اتصال هادی و شیلد فلزی آن به زمین، دشارژ شوند. در صورتیکه از پیوستگی شیلد فلزی کابل مطمئن نیستید سر دیگر شیلد فلزی را نیز زمین کنید.

³⁶ Dielectric absorption

³⁷ مطالب این بخش برگرفته از استاندارد IEEE Std 400.2-2013 بخش 4.2 در صفحه 6 می‌باشد.

در هنگام تست، استفاده از یک سیستم زمین منفرد در محل آزمون توصیه می‌شود. شیلد فلزی کابل به زمین سیستم متصل شود. اگر در زمان انجام آزمون این اتصال از بین رفته و یا در وضعیت بدی قرار دارد، باید ترمیم شده و یا تعویض گردد. یک کابل زمین ایمن می‌بایست بدنه تمامی تجهیزات آزمون را به زمین سیستم متصل کند. تمامی بخش‌های فلزی تجهیزات می‌بایست به نقطه زمین مشترک همبندی شوند. اگر تجهیز آزمون از نوع ولتاژ بالا است، باید از یک کابل زمین ایمن خارجی برای اتصال کابل تحت تست به زمین سیستم استفاده شود. این کابل می‌بایست تحمل هدایت جریان اتصال کوتاه را در هنگام آزمون داشته باشد. زمانیکه اتصالات تجهیز آزمون به کابل تحت تست متصل شدند، این زمین ایمن را می‌توان جدا کرد و تست را آغاز نمود.

اگر در تجهیز آزمون استفاده از یک زمین محلی پیشنهاد و یا توصیه شده است، با هدف داشتن یک پتانسیل زمین منفرد قابل قبول می‌بایست این زمین را به زمین سیستم متصل کنید.

در اجرای اتصالات تجهیزات آزمون به زمین مراقبت‌های لازم صورت بگیرد به گونه‌ای که از وقوع هرگونه قطع شدگی احتمالی آن جلوگیری شود. پیشنهاد می‌شود تا کلمپ‌های زمین قابل حمل و ملحقات اتصال به زمین طبق استاندارد IEC 61230 ساخته و آزموده شوند.

5- آزمون عایقی بر روی سیستم کابل

تمامی کابل‌های قدرت در طول عمر بهره‌برداری خود در معرض انواع تنش‌های حرارتی، الکتریکی و مکانیکی قرار می‌گیرند که در نتیجه آن، مواد عایق کابل دچار یک فرآیند پیرشدگی تدریجی می‌شود. یکی از شناخته شده‌ترین پدیده‌هایی که موجب پیرشدگی عایق‌هایی نظیر پلی اتیلن (PE) و پلی اتیلن کراس لینک (XLPE) می‌شود، پدیده تشکیل درخت آبی³⁸ و درخت الکتریکی³⁹ است. پیرشدن عایق به معنی تنزل کیفیت یا به عبارت دیگر کهنه شدن کابل است. وقتی یک کابل کهنه می‌شود، دیگر خصوصیات فیزیکی یک کابل نو را ندارد. در واقع با کاهش استقامت الکتریکی عایق کابل، احتمال و خطر وقوع شکست در کابل افزایش می‌یابد.

5-1- هدف از انجام آزمون عایقی

مهمترین هدف از انجام آزمون عایقی بر روی یک سیستم کابل، سنجش و ارزیابی استقامت عایقی آن در برابر ولتاژی مشابه با ولتاژ بهره‌برداری آن است. تجربیات و آزمایشات متعدد نشان داده است که برای تجهیزات AC، ولتاژ متناوب بهترین نوع ولتاژ جهت تست اینگونه از تجهیزات است. به همین دلیل کارخانه‌های سازنده تجهیزات برقی در موقع ساخت این گونه وسایل، از این نوع ولتاژ برای تست تجهیزات تولیدی خود استفاده می‌کنند. با این حال برخی از مشکلات در راه استفاده از ولتاژ متناوب مانند نیاز به داشتن توان بالا برای تجهیزات آزمون به منظور شارژ خازنی تجهیزات برقی به ویژه کابل‌ها، استفاده از انواع دیگر ولتاژ نظیر ولتاژ DC را رواج داده است. این در حالیست که بر اساس استانداردهای معتبر بین‌المللی و جهانی مانند IEEE Std 400 استفاده از ولتاژ DC برای کابل‌های ترموپلاستیکی مضر بوده و طبق تجربیات استفاده از ولتاژ مستقیم جهت تست کابل‌های پلیمری برق به معنای تخریب ناخواسته آن‌ها است که عملاً کاربر هیچ گونه نقشی در آن ندارد.

بنابراین یافتن شیوه‌های جدید تست کابل که بتواند میزان آسیب‌پذیری آن‌ها را به حداقل ممکن برساند و طول عمر این سرمایه ملی را افزایش دهد یکی از اهداف اساسی تدوین این استاندارد است. در این راستا تمام تلاش بر این است که در هنگام آزمون موارد زیر رعایت شود:

1. تست عایقی بر اساس اصول علمی شناخته شده صورت پذیرد.
2. از تجربه کاربران در برنامه آزمون‌ها استفاده شود.
3. در هنگام انجام آزمون خسارتی به بخش‌های سالم کابل وارد نشود.
4. مدت زمان تست با دلایل و مدارک مستند مشخص باشد.
5. در هنگام انجام آزمون تنها نقاط معیوب کابل دچار شکست شوند و سایر نقاط سالم باقی بمانند.
6. عملیات تست عایقی صرفاً به خود کابل محدود نشده و علاوه بر آن عناصر مرتبط با آن (مفصل و سرکابل) نیز مورد بررسی دقیق قرار گیرند.

³⁸ Water treeing

³⁹ Electrical treeing

2-5- آزمون‌های متداول سیستم عایقی کابل

به منظور تست و ارزیابی وضعیت عایق یک سیستم کابل، آزمون‌ها و روش‌های مختلفی در استانداردها و گزارشات فنی معتبر گزارش شده‌اند. در زیر و بر اساس استانداردهای IEEE 400-2012 و ANSI/NETA ATS 2013 مهمترین آزمون‌های متداول و پیشرفته کابل‌های قدرت فهرست شده است:

1-2-5 تحمل ولتاژ دی الکتریک⁴⁰

1-1-2-5 تحمل ولتاژ دی الکتریک با ولتاژ DC، موسوم به DC-Hipot*

2-1-2-5 تحمل ولتاژ دی الکتریک با ولتاژ AC در فرکانس بسیار پایین موسوم به VLF⁴¹*

3-1-2-5 تحمل ولتاژ دی الکتریک با ولتاژ AC در فرکانس 20-300 Hz، موسوم به AC-Hipot*

4-1-2-5 تحمل ولتاژ دی الکتریک با ولتاژ AC میرا شده موسوم به DAC⁴²

2-2-5 پاسخ دی الکتریک⁴³

1-2-2-5 ضریب قدرت/اتلاف (تانژانت دلتا)⁴⁴*

1-1-2-2-5 با ولتاژ AC در فرکانس 20-300 Hz

2-1-2-2-5 با ولتاژ AC در فرکانس بسیار پایین موسوم به VLF*

2-2-2-2-5 مقاومت عایقی⁴⁵ (IR) یا جریان ناشی⁴⁶ (در ولتاژ DC)*

3-2-2-2-5 ولتاژ بازیافتی⁴⁷

4-2-2-2-5 جریان پلاریزاسیون (قطبیدگی) و دیپلاریزاسیون⁴⁸

5-2-2-2-5 اسپکتروسکوپی (طیف نگاری) دی الکتریک⁴⁹

⁴⁰ Dielectric voltage withstand

⁴¹ Very low frequency

⁴² Damped AC

⁴³ Dielectric response

⁴⁴ Power/dissipation factor (tan delta)

⁴⁵ Insulation resistance

⁴⁶ Leakage current

⁴⁷ Recovery voltage

⁴⁸ Polarization/Depolarization current

⁴⁹ Dielectric spectroscopy

3-2-5 تخلیه جزئی⁵⁰ (PD)*

1-3-2-5 به روش Online (بهنگام) (با ولتاژ AC در فرکانس 50 Hz)

Offline به روش 2-3-2-5

1-2-3-2-5 با ولتاژ AC در فرکانس 20-300 Hz

2-2-3-2-5 با ولتاژ AC در فرکانس بسیار پایین موسوم به VLF

4-2-5 بازتاب امواج در حوزه زمان⁵¹ (TDR)5-2-5 عکس برداری مادون قرمز حرارتی⁵² یا ترموگرافی*

برخی از آزمون‌ها و روش‌های ذکر شده در بالا در حال حاضر در مرحله توسعه و ارزیابی بوده و تا به امروز صنعتی نشده و لذا دارای قابلیت اطمینان بالا نیستند. برخی دیگر از روش‌ها نیز بسیار نوپا و نوین بوده و در نتیجه نیاز به بررسی بیشتر دارند و امید است تا در نسخه‌های آتی به این استاندارد افزوده شوند. به همین خاطر، در این استاندارد تنها تعدادی از آزمون‌های معتبر و متداول انتخاب و شرح داده شده‌اند (مواردی که با علامت "*" متمایز شده‌اند).

3-5- سطوح ولتاژی کابل‌های قدرت

مطابق استاندارد (1) IPS-E-EL-100 سطوح مختلف ولتاژ می‌تواند به صورت زیر تعریف گردد:

- ولتاژ پائین (LV): به عنوان ولتاژهای پائینتر از 1000 ولت در یک سیستم سه فاز چهار سیمه 50 هرتز تعریف می‌شود. سیستم 400/230 ولت به عنوان ولتاژ استاندارد ولتاژ پائین مورد قبول قرار گرفته است. اگرچه ولتاژ 110 ولت AC برای توانهای کوچک یا سیستمهای کنترل و ولتاژ 25 ولت AC برای سیستم بازرسی عمومیت دارد.
- ولتاژ متوسط (MV): به عنوان ولتاژهای بالاتر از 1000 ولت تا 10000 ولت در یک سیستم سه فاز سه سیمه 50 هرتز تعریف می‌شود. ولتاژهای 3/3 کیلو ولت و 6 کیلو ولت بسته به شرایط فنی، اقتصادی، ولتاژهای در دسترس امکانات عمومی و تجهیزات مشابه استفاده شده در نقاط مختلف ممکن است مورد استفاده قرار گیرد.
- ولتاژ بالا (HV): به عنوان ولتاژهای 10000 ولت و بالاتر در یک سیستم سه فاز سه سیمه 50 هرتز به شرح 10، 11، 20، 33، 63، 66، 132، 230 کیلو ولت تعریف می‌شود.

مطابق استانداردهای (2) IPS-M-EL-271 و (2) IPS-M-EL-272 سطوح ولتاژ کابل‌های قدرت به صورت زیر تعریف گردد:

- کابل‌های ولتاژ پائین (LV): کابل‌های با سطوح ولتاژ $0.6/1(1.2)$ [U0/U (Um)]، کابل‌های ولتاژ پایین نامیده می‌شوند و این کابل‌ها برای سرویس‌های با ولتاژهای پائینتر از 1000 ولت استفاده می‌شود.

⁵⁰ Partial discharge⁵¹ Time-domain reflectometry⁵² Thermal infrared imaging

- کابل‌های ولتاژ متوسط (MV) : کابل‌های با سطوح ولتاژ 3.6/6(7.2) [U₀/U (U_m)]، کابل‌های ولتاژ متوسط نامیده می شوند.
- کابل‌های ولتاژ بالا (HV) : کابل‌های با سطوح ولتاژ 6/10(12) ، 12/20(24) ، [U₀/U (U_m)] 18/30(36) و ولتاژهای بالاتر کابل‌های ولتاژ بالا نامیده می شوند.

در این استاندارد سطوح مختلفی از کابل‌های قدرت را که در تاسیسات نفت و گاز ایران مورد استفاده قرار می گیرند، به شرح جدول (2) در نظر گرفته شده است:

جدول (2): سطوح ولتاژ کابل‌های قدرت به کار رفته در صنعت نفت و گاز ایران

ولتاژ موثر نامی کابل			طبقه‌بندی سطح ولتاژ
فاز به فاز (U) [kV]	فاز به زمین (U ₀) [kV]	بالاترین ولتاژ سیستم (U _m) [kV]	
1	0,6	1,2	فشار ضعیف (LV)
3,0	1,8	3,6	فشار متوسط (MV)
3,3	1,9	3,6	
6	3,6	7,2	
6,6	3,8	7,2	
10	6	12	فشار قوی (HV)
11	6,35	12	
20	12	24	
22	12,7	24	
30	18	36	
33	19	36	

4-5- انتخاب نوع آزمون در شرایط خاص

- 1) بهره‌برداری از یک کابل نو که بدون اتصال مفصل و سرکابل برای یک دوره زمانی طولانی انبار و یا در زمین دفن شده است (به عنوان رزرو در کنار کابل‌های مهم و حیاتی): در صورتیکه کابل به صورت مناسب و محافظت شده‌ای انبار/دفن شده است پیشنهاد می‌شود آزمون‌های سه گانه نصب، پذیرش و نگهداری بر روی کابل انجام شود. در غیر اینصورت (قراردادن کابل در معرض مستقیم تابش خورشید و رطوبت، سیلد نکردن سرهای انتهایی کابل و غیره) استفاده از آزمون

نگهداری به جای آزمون‌های نصب و پذیرش کفایت می‌کند. البته پیشنهاد می‌شود جهت ارزیابی بهتر در ابتدا و انتهای پروسه انبار/دفن کردن، با استفاده از آزمون اندازه‌گیری مقاومت عایقی وضعیت کابل بررسی و ثبت شود.

(2) تعویض بخشی از کابل کارکرده با کابل نو: قبل از اتصال کابل نو به کابل کارکرده می‌بایست آزمون نصب بر روی کابل نو انجام شود. پس از نصب مفصل و اتصال کابل نو به کابل کارکرده، بر روی سیستم جدید می‌بایست آزمون نگهداری انجام شود (به عبارت دیگر انجام آزمون پذیرش برای ترکیب کابل نو و کابل کهنه مجاز نیست).

(3) تعمیر کابلی که دچار عیب شده با نصب سرکابل/مفصل جدید: در این حالت پیشنهاد می‌شود جهت حصول اطمینان از صحت اجرای عملیات نصب سرکابل/مفصل، آزمون نگهداری متناسب با نوع کابل انجام و نتایج ثبت شود.

(4) تست کردن بر روی قرقره⁵³: در صورتیکه به منظور ارزیابی سالم ماندن کابل در شرایط حمل و یا انبار نیاز باشد که کابل بر روی قرقره تست شود، برای کابل‌های شیلددار انجام آزمون اندازه‌گیری مقاومت عایقی و یا تست Hipot با استفاده از VLF و در سطح ولتاژ آزمون نگهداری پیشنهاد می‌شود. توجه شود که در مورد کابل‌های بدون شیلد بدلیل فراهم نبودن یک سیستم زمین مناسب در اطراف کابل ممکن است انجام تست بر روی کابل منجر به نتایج درستی نشود.

5-5- دوره‌های زمانی انجام آزمون نگهداری

بر اساس استاندارد ANSI/NETA MTS-2011 پیوست B که در مورد زمانبندی تکرار آزمون‌های برنامه تعمیر و نگهداری تجهیزات برقی بحث می‌کند، دوره‌های زمانی مناسب برای انجام این برنامه‌ها بر اساس دو شاخص تعیین می‌شوند:

(1) میزان اهمیت تجهیز با توجه به باری که تغذیه می‌کند (کم، متوسط و زیاد).

(2) وضعیت تجهیز از نظر میزان سلامت، کیفیت و نو بودن (ضعیف، متوسط و خوب)

بر این اساس هر چه اهمیت تجهیز بیشتر باشد و/یا از نظر کیفیت در وضعیت بدتری باشد، نیاز است تا آن تجهیز در بازه‌های زمانی کوتاهتری مورد آزمون و ارزیابی قرار گیرد و برعکس. طبق استاندارد اشاره شده در بالا برای کابل‌های قدرت بازه زمانی از 9 ماه تا 90 ماه (7,5 سال) با توجه به شاخص‌های بالا متغیر است.

با جمع بندی مطالب فوق در این استاندارد پیشنهاد می‌شود که آزمون‌های ارزیابی عایقی بر روی کابل‌های قدرت با درجه اهمیت زیاد هر 2 سال حداقل یک بار انجام شود. برای کابل‌های با درجه اهمیت متوسط این زمان می‌تواند تا حداکثر هر 4 سال یکبار افزایش یابد. برای کابل‌های با درجه اهمیت کم، بسته به تشخیص کارشناس مربوطه این زمان قابل افزایش خواهد بود.

تذکر - در صورتیکه با انجام آزمون‌های تشخیصی بر روی کابل و مقایسه آن با نتایج ثبت شده قبلی مشخص شود که وضعیت کیفیت عایقی کابل رو به تنزل گذاشته است، پیشنهاد می‌شود تا بنا به تشخیص کارشناس مربوطه آزمون‌های ارزیابی عایقی کابل در دوره‌های زمانی کوتاهتری انجام شود.

تذکر - در کابل‌های با درجه اهمیت زیاد چنانچه بنا به هر دلیلی امکان انجام آزمون‌های نگهداری هر 2 سال حداقل یک بار قابل انجام نباشد، این استاندارد پیشنهاد می‌کند تا از روش‌های پایش آنلاین نظیر تخلیه جزئی (PD) برای این گونه از کابل‌ها استفاده شود.

⁵³ On-reel testing