# فصل یازدهم

# ترانسفورماتور زمین

## ۱۱ . ترانسفورماتور زمین – کمکی

درپستهای فشار قوی برای محدود نمودن جریان اتصال کوتاه یکفاز، ثابت نگه داشتن ولتاژ نقطه صفر و از همه مهمتر ایجاد نقطه صفر مصنوعی برای اتصال مثلث طرف یا ثالثیه ترانسفورماتورهای قدرت از وسیله ای بنام ترانسفورماتور زمین باید استفاده شود .

ضمنا مصرف کننده هائی بشرح زیر وجود دارند که بایستی با ولتاژ ۴۰۰ ولت سه فاز یا۲۳۰ ولت یک فاز تغذیه شوند :

- موتورهای الکتریکی پمپ ها و فن ها ی ترانسفورماتور ها و راکتورها، موتورهای الکتریکی سکسیونرها وکلیدهای فشار قوی، موتورهای الکتریکی سیستم های تهویه
- سیستم روشنایی ساختمانها ومحوطه تجهیزات بیرونی پست وحصارکشی دور پست
- سرویس ساختمانهای اداری وتغذیه موردی تجهیزات حفاظتی وباطری شارژر پست
- سیستم های روشنایی ،هیتر وتغذیه پانلها وتابلوهای محوطه و داخلی

جهت تامین مصرف فوق لازم است که ترانسفورماتوری در داخل پست نصب گردد تا پائین ترین ولتاژ فشار قوی ترانسفورماتورهای شبکه را به ولتاژ قابل مصرف تبدیل نماید .

ترانسفورماتور زمین به دو صورت زیر ساخته می شود :

- ترانسفورماتور زمین با یک سیم پیچ زیگزاگ که نقطه نوترال آن بطور مستقیم ویا توسط یک امپدانس به زمین متصل می شود .
- ترانسفورماتور زمین با دو سیم پیچ اولیه وثانویه که سیم پیچ اولیه آن با اتصال زیگزاگ بوده ونقطه نوترال آن می تواند بطور مستقیم یا توسط یک امپدانس بزمین متصل شودوسیم پیچ ثانویه آن بااتصال نوع ستاره وبا توان پیوسته مشخص جهت تغذیه کمکی در پست بکار میرود.

### ۱۱-۱ . خصوصیات

ترانسفورماتور زمین –کمکی پستها باید دارای خصوصیات کلی زیر باشد :

- بیرونی وخود ایستا
- سه فاز
- روغنی
- سیستم خنک کن طبیعی روغن و هوا
- باسیم پیچ های اولیه وثانویه جدا از هم
- دارای منبع انبساط روغن
- مناسب جهت شرایط محیطی محل نصب
- مقاوم در مقابل زنگ زدگی ،خوردگی وفرسایش
- دارای جعبه فلزی بسته جهت ورود کابل برای ولتاژهای کمتر از ۶۳ کیلوولت
- وجود امکان نصب فیوز یا MCCB در جعبهٔ طرف ۴۰۰ ولت
- اثرات گرمائی ودینامیکی جریان صفر را بدون هیچگونه آسیبی تحمل نماید
- باید بدون ایجاد آسیب مکانیکی قادر به تحمل نیروهای ناشی از قله موج جریان نامتقارن بـا در نظـر گرفتن شرایط اتصالی با راکتانس فوق گذرا باشد . این قله موج جریان از رابطه زیر بدست می‌آید :

$$I_c = KI_t \qquad (۱)$$

که در آن :

$I_c$ = قله موج جریان نامتقارن اولیه

K =( ۱ ) ضریب قابل استخراج از جدول شماره

I t = جریان حرارتی نامی

| X/R | | | | | K | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 45 | 65 | 100 | 250 | 1000 | 3.280 | 3.314 | 3.342 | 3.373 | 3.390 |
| 34 | | | | | 3.244 | | | | |
| 15 | 16 | 18 | 20 | 24 | 28 | 3.092 | 3.122 | 3.147 | 3.186 | 3.214 |
| | | | | | | 3.073 | | | | |
| 10 و کمتر | | 11 | | 12 | 13 | 2.940 | 2.973 | 3.003 | 3.030 | |

ضریب محاسبه قله موج جریان نامتقارن از جریان حرارتی نامی

«جدول شماره ۱ »

درحالت کلی می توان K را از رابطه تئوری زیر محاسبه نمود :

$$K = 1.2\{1 + \exp[-\pi(R/X]\} \times \sqrt{2} \qquad (۲)$$

در مواردیکه امپدانس های توالی صفر سیستم مشخص نشده باشند ،نسبت X / R باید برابر با نسبت راکتانس به مقاومت (DC) سیم پیچ درنظر گرفته شود .درمواردیکه ترانسفورماتور زمین – کمکی در سیستمی مورد استفاده قرار می گیرد که نسبت X / R آن درمحل استقرار ترانسفورماتور بزرگتر از ۱۰ می باشد، در این صورت مقادیر ا همی امپدانسهای توالی سیستم می باید مشخص گردد . دراین حالت سازنده این مقادیر را با X و R ترانسفورماتور زمین –کمکی ترکیب خواهد کرد تا براساس آن مقدار K مورد استفاده در محاسبه $I_c$ را تعیین نماید و در انجام این کار از مقاومت نقطه صفر ترانسفورماتور (درصورت وجود ) نباید صرفنظر کرد . ضریب ۱/۲ بر اساس استفاده از راکتانس گذرا در محاسبه جریان حرارتی وارد شده است .

**۱۱-۲ . تجهیزات جانبی ترانسفورماتور زمین – کمکی**

قلاب جهت بلند نمودن ترانسفورماتور، صفحات نگهدارنده ترانسفورماتور روی فونداسیون یا سکوی نگهدارنده، جعبه ورودی کابل برای سطح ولتاژ پائین تر از ۶۳ کیلوولت، دوترمینال مناسب جهت اتصال سیم زمین مسی با مقطع حداقل ۱۲۰ میلیمتر مربع، یک مجموعه رادیاتور با شیرهای مربوطه با بدنه کنگره ای، دریچه آدم رو در روی سقف ترانسفورماتور با ولتاژ اولیه ۶۳ کیلوولت ترجیحا طرف تپ چنجر بمنظور دسترسی به پیچ ها و اتصالات بوشینگها، دستگاه تنفس (رطوبت گیر )، شیر نمونه برداری روغن ، رله بوخهلز، ترمومتر نشاندهنده درجه حرارت روغن بالای ترانسفورماتور، بوشینگها، شاخکهای برقگیر برای بوشینگهای فاقد جعبه کابل ، تپ چنجر بدون ولتاژ، کنسرواتور، یک شیر جهت پرکردن وشیر دیگری جهت تخلیه روغن، نشاندهنده سطح روغن (باسطح ماکزیمم ومی نیمم روغن )، دریچه جهت بازرسی وتمیز کردن ، مارشالینگ باکس ، ترمومتر روغن وسیم پیچ .

## ۱۱-۳ . اطلاعات مورد نیاز جهت طراحی

**۱۱-۳-۱ .** مشخصات وویزگیهای شبکه وسیستمی که ترانسفورماتور زمین –کمکی درآن نصب می گردد شامل موارد زیراست :

- ولتاژ نامی
- ولتاژ حد اکثر
- تعداد فاز
- فرکا نس نامی

- گروه برداری
- جزئیات نحوه زمین کردن نقطه صفر
- جریان اتصال کوتاه سه فاز وتکفاز

**۲-۳-۱۱** . مشخصات محیطی وشرایط اقلیمی محلی که ترانسفورماتور زمین – کمکی در آن مورد بهره برداری قرار می گیرد :

- حد اکثر درجه حرارت محیط
- حد اکثر متوسط سالیانه درجه حرارت محیط
- حد اکثر متوسط روزانه درجه حرارت محیط
- حداقل درجه حرارت محیط
- ارتفاع از سطح دریا
- رطوبت نسبی
- میزان آلودگی
- شتاب زلزله

## ۱۱-۴ . شاخص ها و پارامترهای مشخص کننده طراحی

### ۱۱-۴-۱ . نوع ترانسفورماتور

ترانسفورماتورهای زمین – کمکی اساساًÝýý مشابه ترانسفورماتورهای معمولی نوع هسته ای میباشند ،که به دو طورت روغنی وخشک ساخته می شوند . به علت کاربرد این قبیل ترانسفورماتورها درمحیط های باز پستها وشرایط و آب وهوای ایران ، ترانسفورماتور خشک جهت

مصارف فضای باز دارای عمر کمتری درمقایسه با ترانسفورماتورهای نوع روغنی مـی باشـد . بـه ایـن دلیل نوع روغنی پیشنهاد گردیده است .

**۱۱-۴-۲ . فرکا نس کار**

فرکانس کار ترانسفورماتور زمین – کمکی ۵۰ هرتز می باشد .

**۱۱-۴-۳ . سیستم خنک کننده**

سیستم خنک کنندگی ترانسفورماتور زمین – کمکی به علت ظرفیت کم از نوع گردش طبیعی روغن وهوا م باشد .

**۱۱-۴-۴ . ظرفیت نامی**

بار ترانسفورماتور زمین – کمکی در شرایط عادی تنها شامل مـصارف داخلـی پـست وتلفـات هـسته (جریان مغناطیس کننده ) است .

برای هر ترانسفورماتور زمین – کمکی دو نوع ظرفیت بشرح زیر تعریف می شود :

الف – ظرفیت کوتاه مدت (روش اول وروش دوم )

ب – ظرفیت پیوسته

**الف: ظرفیت کوتاه مدت**

ظرفیت کوتاه مدت یک ترانسفورماتور زمین – کمکی در حقیقت همان ظرفیت اصـلی آن اسـت .این ظرفیت که برحسب (K V A) بیان می شود بطور کلی برابر است با حاصلـضرب ولتـاژ فـاز بـه زمین برحسب کیلوولت در حداکثر جریان اتصال زمین ترانسفورماتور .

- روش های تعیین ظرفیت کوتاه مدت

برحسب اینکه ترانسفورماتور زمین – کمکی بطور مستقیم یا توسط مقاومت محدودکننده جریان به زمین اتصال یابد روش های گوناگونی جهت تعیین ظرفیت آن می توان بیان نمود . استفاده از مقاومت در نوترال ترانسفورماتور زمین – کمکی معمولاً درحال حاضر در پستها متداول نیست .

**روش اول :محدود کردن جریان اتصال زمین ۲۵ % مقدار جریان اتصال کوتاه سه فاز**

دراین روش ترانسفورماتور زمین –کمکی ببگونه ای طراحی می گردد که جریان اتصال زمین به حدود $\frac{1}{4}$ جریان اتصال کوتاه سه فاز سیستم محدودگردد. در این صورت نسبت راکتا نس توالی صفر به راکتانس توالی مثبت سیستم کمتر از ۱۰ خواهد بود که این امر از افزایش ولتاژ گذارای سیستم به مقدار بیش از حد مجاز ممانعت خواهد کرد .

**روش دوم : محدود کردن جریان اتصال زمین به ۶۰ % مقدار جریان اتصال کوتاه سه فاز**

این روش مشابه روش اول می باشد با این تفاوت که جریان اتصال زمین در آن مقدار بیشتری خواهد داشت واین امر سبب می شود که ترانسفورماتور زمین –کمکی بطور تقریباً کاملی زمین گردد وحداقل اضافه ولتاژ گذرا در سیستم ایجاد شود . دراین حالت نسبت راکتانس توالی صفر سیستم نسبت به توالی مثبت کمتراز ۳ خواهد بود .

**ب – ظرفیت پیوسته**

منظور از ظرفیت پیوسته ترانسفورماتور زمین –کمکی حداکثر جریان عبوری از آن بطور دائم می باشد بدون آنکه افزایش دمای آن از حد مجاز خود تجاوز نماید . درحقیقت عوامل متعددی سبب می شود که در شرایط عادی نیز از ترانسفورماتور جریان پیوسته ای عبور نماید که باید قادر به تحمل آن باشد.این عوامل بطور خلاصه بشرح زیر می باشند :

- تغذیه بارهای کمکی یک پست با در نظر گرفتن نامتعادلی بار ، تلفات کابلها وضریب قدرت موتورها

- ناتعادلی بارهای خازنی
- جریان هارمونیک سوم
- وجود یک جریان اتصال زمین بامقاومت بالا که توسط رله های حفاظتی آشکارنشده باشد

-وجود متداول ظرفیت نامی ترانسفورماتورهای زمین- کمکی بصورت جداول شماره (۲)زیر می‌باشد

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 5 | 6.3 | 8 | 10 | 12.5 | 16 | 20 | 25 |
| 31.5 | 40 | 50 | 63 | 80 | 100 | 125 | 160 |
| 200 | 250 | 315 | 400 | 500 | 630 | 800 | 1000 |
| & up | | | | | | | |

مقادیر متداول ظرفیت نامی ترانسفورماتورهای زمین –کمکی(کیلو ولت آمپر)

«جدول شماره۲ »

باتوجه به نیاز پستهای موجود ایران و پیش بینی اندازه پستهای آینده از میان ظرفیتهای جدول شماره (۲) مذکور میتوان ظرفیتهای زیر را برحسب کیلوولت آمپر به عنوان ظرفیت نامی ترجیحی انتخاب نمود: ۲۵۰ ، ۳۱۵ ، ۴۰۰ ، ۵۰۰ ، ۸۰۰

**۱۱-۴-۵ . مقدار نامی ولتاژ سیم پیچها**

مادامیکه شرایط بهره برداری انتخاب مقدار بالاتری را توصیه ننماید مقدار نامی ولتاژ باید برابر ولتاژ فاز به فاز سیستم مورد نظر باشد .

ولتاژ نامی سیم پیچ اولیه را باتوجه به سطوح موجود در پستها میتوان ۶۳ ، ۳۳ ، ۲۰ ، یا ۱۱ کیلوولت وولتاژ نامی سیم پیچ ثانویه را ۴۰۰/۲۳۰ ولت انتخاب نمود .

**۱۱-۴-۶ . حداکثر ولتاژ سیم پیچ ها**

- حداکثر ولتاژ سیم پیچ اولیه ۱۲ ، ۲۴ ، ۳۶ ، ۷۲/۵ کیلوولت

- حداکثر ولتاژ ثانویه ۴۰۰/۲۳۰ ولت

**۱۱-۴-۷ . جریان نامی**

جریان نامی برابر جریان نامی مربوط به توان نامی سیم پیچ در ولتاژ وفرکانس نامی می باشد ، که با توجه به ظرفیت نامی وولتاژ نامی ترانسفورماتور قابل محاسبه می باشد .

**۱۱-۴-۸ . امپدانس ولتاژ**

امپدانس ولتاژ ترانسفورماتورهای زمین –کمکی که ولتاژ اولیه آنها ۲۰ کیلوولت می باشد از ۳/۵ تا ۸ درصد متغیر است . امپدانسس ولتاژ ترانسفورماتورهای زمین –کمکی با ولتاژ اولیه ۳۳ کیلوولت ۶ تا ۹ درصد وامپدانس ولتاژ ترانسفورماتورهای زمین –کمکی با ولتاژ ۶۳ کیلوولت ۷ تا ۱۰ درصد می باشد بنابراین میتوان مقادیر زیر را جهت امپدانس ولتاژ ترانسفورماتورهای زمین –کمکی پیشنهاد نمود:

- ترانسفورماتورهای با ولتاژ اولیه ۱۱ و۲۰ و۳۳ کیلوولت ۶ %
- ترانسفورماتورهای با ولتاژ اولیه ۶۳ کیلوولت ۷ %

**۱۱-۴-۹ . راکتانس**

انتخاب مقدار راکتانس ترانسفورماتو زمین –کمکی بستگی به راکتانس توالی مثبت سیستم و ترانسفورماتور (X 1) دارد . در صورتی که بخواهیم ترانسفورماتور سیستم مورد نظر را به صورت راکتانسی زمین نماید ، مقدار راکتانس آن باید بگونه ای باشد که مقدار X 1 / XO سیستم

وترانسفورماتور زمین –کمکی بیش از ۱۰ و یا ترجیحاً بیش از ۳ نباشد تا از هر گونه افزایش ولتاژ ناشی از قطع جریان در نقطه صفر جلوگیری بعمل آید .

**۱۱-۴-۱۰ . بهره برداری در ولتاژ بالاتر از ولتاژ نامی**

ترانسفورماتور زمین –کمکی بایستی قادر باشد در ولتاژی بالاتر از ۱۰۵ درصد و کمتر از ۱۱۰ درصد ولتاژ نامی کار کرده وقادر به تحویل جریان نامی در ولتاژ کار ۱۰۵ در صد ولتاژ نامی باشد.

**۱۱-۴-۱۱ . افزایش دما پس از بارگذاری جریان کوتاه مدت**

دمای سیم پیچ ترانسفورماتور زمین –کمکی پس از بارگذاری کوتاه مدت تا ۱۰ ثانیه نباید از مقادیر جدول شماره (۶) تجاوز نماید .

| نوع ترانسفورماتور | کلاس حرارتی | نوع هادی سیم‌پیچ |
|---|---|---|
| روغنی A | $250^{\circ C}$ | مس |
| | $200^{\circ C}$ | آلومینیوم |

افزایش دمای مجاز سیم پیچ ترانسفورماتور زمین –کمکی

«جدول شماره ۶»

درصورتیکه ترانسفورماتور زمین –کمکی با راکتور حذف کننده قوس ساخته شود و برمبنای بند (۳)استاندارد IECشماره ۲-۷۶ ازمایش شود ، افزایش درجه حرارت سیم پیچ راکتور نباید از مقادیر زیر تجاوز نماید :

- ۸۰ درجه سانتی گراد برای جریان پیوسته
- ۱۰۰ درجه سانتی گراد برای جریان نامی مشخص شده برای ۲ ساعت
- ۱۲۰ درجه سانتی گراد برای جریان نامی مشخص شده برای ۳۰ دقیقه

**۱۱-۴-۱۲ . فاصله خزشی بوشینگها**

حداقل فاصله خزشی بوشینگهای ترانسفورماتور زمین-کمکی باتوجه به سطح آلودگی محیط نصب باید مطابق باجلد ۲۱۰این استاندارد انتخاب گردد. لازم به ذکر است که با توجه به توصیه استاندارد IEC شماره ۱۸۵ نسبت حداقل فاصلهٔ خزشی به حداقل فاصلهٔ قوس عموماً نباید از $\frac{3/5}{1}$ بیشتر باشد.

**۱۱-۴-۱۳. گروه برداری**

گروه برداری ترانسفورماتور زمین –کمکی بصورت ZNyn11 و Znyn5 می تواند باشد .

**۱۱-۴-۱۴. تپ چنجر**

تپ چنجردرطرف اولیه ترانسفورماتور زمین –کمکی نصب ودامنهٔ آن باتوجه به فاصله دورترین نقطه پست از ترانسفورماتور انتخاب می گردد. معمولاً تپ چنجر بصورت غیر قابل قطع و وصل زیر ولتاژ وبا دامنه ۲/۵ $\%$ × ۲ ± خواهد بود که جوابگوی احتیاجات پست ها می باشد. لذا چنین تپ چنجری برای ترانسفورماتورهای زمین-کمکی پست ها انتخاب می گردد .

**۱۱-۴-۱۵. سطح صدا**

سطح صدای اندازه گیری شده بر طبق استاندارد IEC I شماره ۵۵۱ ، بایستی در سطح کمتر از ۶۰ دسی بل باشد .

**۱۱-۴-۱۶. استقامت سیم پیچ ها در برابر اتصال کوتاه**

سیم پیچ های اولیه وثانویه ترانسفورماتور زمین –کمکی بایستی در برابر اتصال کوتاه شبکه مربوطه مقاوم باشد . سطح اتصال کوتاه بستگی به محل پست داشته ومقدار آن میتواند ۲۵ ، ۲۰ یا ۱۶ کیلو آمپر و به مدت ۲ ثانیه باشد .

## ۱۱-۵ . انتخاب ترانس زمین –کمکی پست کرج

### ۱۱-۵-۱ . مشخصات سیستم

- ولتاژ نامی 20 kv

-ولتاژ حداکثر 24 kv

-فرکانس نامی 50 Hz

-گروه برداری Z 11

N y n

-قدرت اتصال کوتاه شبکه

الف ) : ۲۳۰ کیلوولت 40 kA

ب ) : ۶۳ کیلوولت 5.31 kA

-نحوه زمین کردن نقطه صفر مستقیم زمین شده

شرایط محیطی محل نصب

- حداکثر درجه حرارت محیط 45 $^{\circ}c$

-حداکثر متوسط روزانه درجه حرارت محیط 35 $^{\circ}c$

-حداکثر متوسط سالیانه درجه حرارت 25 $^{\circ}c$

-حداقل درجه حرارت -25 $^{\circ}c$

-ارتفـاع از سـطح دریـا ۱۸۰۰ متر

- حـد اکثـر سـرعت بـاد ۳۰ متـر

برثانیه

- میزان آلودگی سبک

- رطوبت نسبی ٪۷۵

**۱۱-۵-۲ . تعیین پارامترها،مشخصه های طراحی وانتخاب ترانسفورماتور**

باتوجه به جداول واستانداردهایی که در درس آمده داریم :

- نوع ترانس سه فاز روغنی

الف ) شرایط نصب فضای باز

ب ) نوع مخزن بامنبع منبسط

- فرکانس نامی ۵۰ هرتز

- سیستم خنک کننده $ONAN$

- ظرفیت نامی

الف ) ظرفیت پیوسته ۵۰۰ $KVA$

ب ) ظرفیت کوتاه مدت :

ظرفیت کوتاه مدت $= \frac{500\times10^3}{\%7} = 5714/3$ $KVA$

ظرفیت کوتاه مدت = ۵۷۱۵ $KVA$

- مقدار ولتاژ نامی سیم پیچ ها :

الف ) ولتاژ سیم پیچ اولیه ۲۰ $KV$

ب ) ولتاژ سیم پیچ ثانویه /۴ $KV$

- حداکثر ولتاژ سیم پیچ ها :

الف )ولتاژ سیم پیچ اولیه ۲۴ $KV$

ب ) ولتاژ سیم پیچ ثانویه ۱/۱ $KV$

- حدود جریان اتصال زمین نسبت به مقدار جریان اتصالی سه فاز ٪۶۰

مقدارجریان نامی اولیه

$$I_n = \frac{500\times10^3}{\sqrt{3}\times20\times10^3} \approx$$ ۱۴/۴۵ $A$

رابطه راکتانس توالی صفر نسبت به توالی مثبت : $\frac{x_o}{x_1} \le 3$

- استقامت عایقی بوشینگها وترمینالهای سیم پیچهای اولیه ونقطه صفر :

ولتاژ ایستادگی صاعقه (فاز به زمین ) = ۱۲۵ $KV_p$

ولتاژ ایستادگی فرکانس شبکه ( فاز به زمین ) = ۵۰ $KV_{rms}$

با توجه به اینکه ارتفاع محل نصب ۲۰۰۰ متر بالاتر از سطح دریا است پس :

ولتاژ ایستادگی صاعقه ( فاز به زمین ) = ۱۲۵ × ۱/۱ = ۱۳۷/۵ $KV_p$

ولتاژ ایستادگی فرکانس شبکه ( فاز به زمین ) = ۵۰ × ۱/۱= ۶۵ $KV_{rms}$

(به ازای هر ۱۰۰ متر بالاتر از ۱۰۰۰ متر ، ۱٪ درصد اضافه شده )

ولتاژ های استاندارد

ولتاژ ایستادگی صاعقه = ۱۷۰ $KV_p$

ولتاژ ایستادگی فرکانس شبکه = ۷۰ $KV_{rms}$

از آنجائیکه نقطه صفر مستقیماً زمین می شود جهت اطمینان کافی می توان از ستون دوم جدول شماره (۴) استفاده نمود

بنابراین استقامت عایقی نقطه صفر = ۱۲ $KV$

- افزایش مجاز دما :

با توجه به اینکه دمای سیم پیچ وروغن در شرایط استاندارد به ترتیب $^{\circ c}$ ۶۵ و $^{\circ c}$ ۶۰ است ، بنابراین چون ارتفاع ۲۰۰۰ متر بالاتراز سطح دریا (۱۰۰۰ متر بیشتر از شرایط استاندارد) است به ازاء هر ۴۰۰ متر بیشتر از ۱۰۰۰ متر ، افزایش دما ۱ درجه کاهش می یابد .

$$۴۵ ^{\circ c} - ۴۰ ^{\circ c} = ۵$$

پس : برای سیم پیچ $۶۵ - ۵ = ۶۰ ^{\circ c}$

برای روغن $۶۰ - ۵ = ۵۵ ^{\circ c}$

با اعمال ضریب ارتفاع از سطح دریا

$$۶۰ - \frac{60 \times 3}{100} = ۵۸/۲ ^{\circ c}$$

$$۵۵ - \frac{55 \times 3}{100} = ۵۳/۳۵ ^{\circ c}$$

- فاصله خزشی بوشینگها :

$$۲۴ \times ۲۵ (mm/kn) = ۶۰۰ \ mm$$

- امپدانس ولتاژ : ٪۶

- سطح اتصال کوتاه قابل تحمل ۲۵ $KA$