@rozhbin_electric

ترانسفورماتورهای جریان

تعاریف و اصطلاحات

ترانسفورماتور ابزار دقیق

ترانسفورماتوری است که برای تغذیه وسایل ابزار دقیق، آمپرمترها، کنتورها، رله ها و سایر دستگاه های مشابه به کار میرود.

ترانسفورماتورهای جریان

ترانسفورماتورهای جریان، ترانسفورماتورهای با توان پائین میباشند که در شرایط معمول بهره برداری، جریان ثانویه متناسب با جریان اولیه بوده، و اختلاف فاز مابین ثانویه و اولیه در جهت مناسب اتصالات تقریباً برابر صفر میباشد. میتوان گفت ترانسفورماتورهای جریان در شرایط اتصال کوتاه عمل میکنند. جریانی که باید اندازه گیری شود از سمت اولیه ترانسفورماتور عبور میکند. ادوات متصل به ثانویه ترانسفورماتور به صورت سری متصل میشوند.

ترانسفورماتورهای جریان مدارهای اندازه گیری و حفاظتی را از ولتاژ اولیه ایزوله مینمایند و همچنین ادوات اندازه گیری را در شرایط اضافه بار در مقابل اضافه جریان محافظت مینمایند.

یک ترانسفورماتور جریان میتواند چندین سیم پیچ ثانویه با مشخصات مشابه یا متفاوت داشته باشد که کاملاً از نظر مغناطیسی نسبت به یکدیگر ایزوله هستند. به عنوان مثال یک ترانسفورماتور جریان میتواند دارای دو خروجی اندازه گیری با کلاس دقت های متفاوت و یا سه خروجی یکی برای اندازه گیری و دو خروجی دیگر با ضریب حد دقت (ALF) متفاوت برای حفاظت داشته باشد.

سیم پیچ اولیه

سیم پیچی است که جریان تبدیل شونده از آن عبور میکند.

سیم پیچ ثانویه

سیم پیچی است که جریان مدارهای وسایل ابزار دقیق، کنتورها، رله ها یا دستگاه های مشابه را تأمین میکند.

مدار ثانویه

مدار خارجی است که بوسیله سیم پیچ ثانویه تغذیه میشود.

نسبت تبدیل واقعی

نسبت جریان واقعی اولیه به جریان واقعی ثانویه را نسبت تبدیل واقعی میگویند.

نسبت تبدیل اسمی

نسبت جریان اسمی اولیه به جریان اسمی ثانویه را نسبت تبدیل اسمی میگویند.

@rozhbin_electric

خطای جریان(خطای نسبت تبدیل)

خطائی که به علت برابر نبودن نسبت تبدیل اسمی و نسبت تبدیل واقعی در اندازه گیری جریان پیش می آید.

$$\text{خطای جریان(برحسب درصد)} = \frac{K_n I_S - I_P}{I_P} \times 100$$

که در آن:

K_n: نسبت تبدیل واقعی

I_P: جریان واقعی اولیه

I_S: جریان ثانویه است، در صورتیکه جریان I_P از مدار اولیه در شرایط اندازه گیری، بگذرد.

جابجائی فاز

جابجائی فاز عبارت است از زاویه بین بردارهای جریان اولیه و جریان ثانویه متناظر با آن، جهت این بردار چنان انتخاب میشود که اندازه این زاویه برای یک ترانسفورماتور ایده آل صفر درجه باشد.

جابجائی فاز موقعی مثبت خوانده می شود که بردار جریان ثانویه نسبت به بردار جریان اولیه تقدم فاز داشته باشد. این زاویه معمولاً بر حسب دقیقه یا صدم رادیان بیان میشود.

کلاس دقت

کلاس دقت مشخصه ای برای ترانسفورماتور جریان است که در شرایط کار تعیین شده، خطای ترانسفورماتور باید در حدود آن قرار گیرد.

بار

بار عبارت است از مقامت ظاهری مدار ثانویه بر حسب اهم و ضریب توان

بار معمولاً تحت عنوان توان ظاهری جذب شده بر حسب ولت آمپر در یک ضریب توان معین و در جریان اسمی ثانویه بیان میشود.

بار اسمی

بار اسمی مقدار باری است که الزامات دقت استاندارد بر پایه آن نهاده شده است.

خروجی اسمی

خروجی اسمی مقداری از توان ظاهری (برحسب ولت آمپر با ضریب توان تعیین شده) است که برای تغذیه مدار ثانویه در جریان اسمی ثانویه و تحت بار اسمی از ترانسفورماتور گرفته میشود.

بالاترین ولتاژ دستگاه

بالاترین مقدار ولتاژ مؤثر فاز به فاز که عایق بندی ترانسفورماتور نسبت به آن طراحی شده را بالاترین ولتاژ دستگاه گویند.

@rozhbin_electric

سطح عایقی اسمی

سطح عایقی اسمی، ترکیبی از مقادیر ولتاژ است که رفتار عایقی ترانسفورماتور را از نظر استقامت عایقی مشخص میسازد.

فرکانس اسمی

مقداری از فرکانس است که الزامات این استاندارد بر اساس آن می باشد.

جریان حرارتی کوتاه مدت اسمی I_{th}

جریان حرارتی کوتاه مدت اسمی مقدار جریان مؤثر اولیه است که یک ترانسفورماتور بدون آسیب دیدن به مدت یک ثانیه تحمل میکند، در حالیکه مدار ثانویه اتصال کوتاه شده است.

جریان دینامیک اسمی I_{dyn}

مقدار پیک جریان اولیه است که ترانسفورماتور بدون صدمه دیدن الکتریکی یا مکانیکی ناشی از نیرو های الکترو مغناطیسی می تواند تحمل کند، در حالیکه مدار ثانویه اتصال کوتاه شده است.

جریان حرارتی دائمی اسمی

مقدار جریانی است که میتواند بطور دائم در سیم پیچ اولیه جاری شود، در حالیکه سیم پیچی ثانویه به بار اسمی متصل شده باشد بدون اینکه تغییرات دما از مقادیر مشخص شده تجاوز نماید.

جریان تحریک

عبارت است از جریان مؤثر دریافت شده بوسیله سیم پیچی ثانویه یک ترانسفورماتور جریان وقتی که ولتاژ سینوسی با فرکانس اسمی به ترمینالهای ثانویه اعمال می شود، در اینحالت سیم پیچ های اولیه و هر سیم پیچ دیگر بصورت مدار باز میباشد.

خطای مرکب

در شرایط پایدار، مقدار مؤثر اختلاف بین:

الف) مقدار جریان لحظه ای اولیه

ب) حاصل ضرب مقدار جریان لحظه ای واقعی ثانویه در نسبت تبدیل اسمی ترانسفورماتور را خطای مرکب ترانسفورماتور گویند. علامت های مثبت جریان های اولیه و ثانویه بر اساس آئین نامه علامتگذاری ترمینالها میباشند.

خطای مرکب ε_c به عنوان درصدی از مقادیر جریان اولیه طبق فرمول زیر بیان میشود:

$$\varepsilon_c = \frac{100}{I_P}\sqrt{\frac{1}{T}\int_0^T (K_n i_s - i_p)^2 dt}$$

که در آن:

K_n: نسبت تبدیل اسمی

I_P: جریان واقعی اولیه

@rozhbin_electric

i_p مقدار جریان لحظه ای اولیه

i_s: مقدار جریان لحظه ای ثانویه

T: مدت زمان یک سیکل (دورهٔ تناوب)

تعاریف تکمیلی برای ترانسفورماتورهای جریان اندازه گیری

ترانسفورماتور جریان اندازه گیری

ترانسفورماتور جریانی است که برای تغذیه نشان دهنده های ابزار دقیق، کنتورها، و دستگاه های مشابه در نظر گرفته شده است.

حد جریان اولیه اسمی وسایل ابزار دقیق

به کمترین جریان اولیه، که در آن خطای مرکب ترانسفورماتور جریان اندازه گیری برابر یا بیشتر از ۱۰ درصد و مقدار بار ثانویه برابر بار اسمی باشد، حد جریان اولیه اسمی ابزار دقیق گویند.

یادآوری– به منظور حفاظت دستگاه هائی که توسط ترانسفورماتور ابزار دقیق تغذیه میشوند، در مقابل جریان های بالائی که در موقع بروز خطا در سیستم بوجود می آید، خطای مرکب باید بیشتر از ۱۰ باشد.

ضریب ایمنی وسایل ابزار دقیق (FS)

نسبت حد جریان اولیه اسمی به جریان اسمی اولیه را ضریب ایمنی ابزار دقیق گویند.

یادآوری– در مواقعیکه جریان های خطای سیستم از سیم پیچ اولیه ترانسفورماتور جریان عبور میکند، هر چند مقدار ضریب ایمنی وسیله (FS) کوچکتر باشد، دستگاهی که بوسیله ترانسفورماتور جریان تغذیه میشود ایمنی بیشتری خواهد داشت.

حد نیروی محرکه الکتریکی ثانویه (e.m.f)

عبارت است از حاصل ضرب ضریب ایمنی ابزار دقیق FS، در جریان اسمی ثانویه و جمع برداری بار اسمی و مقاومت ظاهری سیم پیچ ثانویه.

تعاریف تکمیلی برای ترانسفورماتورهای جریان حفاظتی

ترانسفورماتور جریان حفاظتی

ترانسفورماتور جریانی است که رله های حفاظتی را تغذیه میکند.

حد دقت اسمی جریان اولیه

مقداری از جریان اولیه است که تا آن مقدار، ترانسفورماتور جریان با الزامات خطای مرکب مطابقت میکند.

@rozhbin_electric

ضریب حد دقت عبارت است از

ضریب حد دقت نسبت حد دقت اسمی جریان اولیه به جریان اسمی اولیه میباشد.

حد نیروی محرکه الکتریکی ثانویه

حد نیروی محرکه الکتریکی ثانویه عبارت از حاصل ضرب ضریب دقت، جریان اسمی ثانویه، و جمع برداری بار اسمی و مقاومت ظاهری سیم پیچ ثانویه است.

استانداردها

فهرست زیر استانداردهای مربوط به ترانسفورماتورهای جریان که در کشورهای مختلف استفاده میشود را نشان میدهد:

بین المللی	IEC60044-1
آلمان	DIN VDE 0414
انگلستان	BS3938 BS3941
ایالات متحده آمریکا	ANSI C57.13
ژاپن	JEC 1201
کره	KSC 1706

شرایط بهره برداری

دمای محیط

ترانسفورماتورهای جریان بر طبق جدول زیر در سه طبقه رده بندی میشوند:

طبقه	حداقل دما (درجه سلیسیوس)	حداکثر دما (درجه سلیسیوس)
-۵/۴۰	-۵	۴۰
-۲۵/۴۰	-۲۵	۴۰
-۴۰/۴۰	-۴۰	۴۰
در انتخاب طبقهٔ دمائی، شرایط انبار داری و حمل و نقل نیز باید در نظر گرفته شود.		

ارتفاع از سطح دریا

ارتفاع از سطح دریا بیش از ۱۰۰۰ متر نیست.

مقادیر اسمی

جریان اسمی I_n (rms بر حسب آمپر)

مقادیر اسمی جریان اولیه و ثانویه که بر روی پلاک مشخصات داده شده است.

@rozhbin_electric

مقادیر استاندارد جریان اسمی اولیه بر حسب آمپر برابر:

۱۰-۱۲.۵-۱۵-۲۰-۲۵-۳۰-۴۰-۵۰-۶۰-۷۵

ویا ضریب و یا تقسیم آن بر ده میباشد.

مقادیری که زیر آن خط کشیده شده است مقادیر ترجیحی هستند.

مقادیر استاندارد اسمی ثانویه ۱،۲ و ۵ آمپر است اما مقدار ۵ آمپر ترجیح داده میشود.

نسبت تبدیل اسمی K_n

نسبت جریان اولیه اسمی به جریان ثانویه اسمی را نسبت تبدیل اسمی میگویند. که به صورت کسر ساده نشده بر رو پلاک مشخصات درج میشود. مانند 100A/5A

جریان حرارتی دائمی اسمی

جریان حرارتی دائمی اسمی همان جریان اسمی اولیه است، مگر اینکه غیر از این تعیین شده باشد.

مقادیر استاندارد خروجی اسمی

مقادیر استاندارد خروجی اسمی تا ۳۰ ولت آمپر بقرار زیر است:

۲.۵-۵-۱۰-۱۵-۳۰ ولت آمپر

مقادیر بالاتر از ۳۰ ولت آمپر را نیز میتوان بر حسب نیاز انتخاب و بکار برد.

مقادیر اسمی جریان های کوتاه مدت

ترانسفورماتورهای جریان دارای سیم پیچی اولیه یا هادی ثابت باید از الزامات زیر باشد:

- **جریان حرارتی کوتاه مدت اسمی I_{th}**

جریان حرارتی کوتاه مدت اسمی I_{th} باید برای ترانسفورماتور تعیین شود.

- **جریان دینامیکی اسمی I_{dyn}**

مقدار جریان دینامیکی اسمی I_{dyn} معمولاُ باید ۲.۵ برابر مقدار اسمی جریان حرارتی کوتاه مدت I_{th} باشد و در غیر اینصورت مقدار آن باید روی پلاک مشخصات ترانسفورماتور ذکر گردد.

حدود افزایش دما

افزایش دما یک ترانسفورماتور جریان وقتی که جریان اولیه ای معادل جریان حرارتی دائمی اسمی ناشی از بار خروجی با ضریب توان واحد از آن می گذرد، نباید از مقادیر داده شده در جدول زیر تجاوز نماید. مقادیر جدول زیر بر اساس شرایط بهره برداری میباشد.

@rozhbin_electric

کلاس عایقی	حداکثر افزایش دما (کلوین)
Y	۴۵
A	۶۰
E	۷۵
B	۸۵
F	۱۱۰
H	۱۳۵

اگر دمای محیط از مقادیر داده شده در بخش شرایط بهره برداری تجاوز یابد، از افزایش دمای مجاز در جدول فوق به اندازهٔ این مقدار اضافی کم میشود.

الزامات عایقی

سطوح عایقی اسمی برای سیم پیچ اولیه

سطح عایقی اسمی سیم پیچ اولیه یک ترانسفورماتور جریان بر پایه بالاترین ولتاژ دستگاه U_m مشخص میشود.

- برای ترانسفوماتور جریان بدون سیم پیچ اولیه مدار آن $U_m = 0.72$ کیلو ولت فرض میشود
- برای سیم پیچ های $U_m = 0.72$ کیلو ولت یا ۱.۲ کیلو ولت، سطح عایقی اسمی توسط ولتاژ استقامت نسب با فرکانس شبکه مطابق جدول زیر تعیین میشود.
- برای سیم پیچ های $U_m = 3.6$ کیلو ولت تا ۳۶ کیلو ولت، سطح عایقی اسمی توسط ولتاژ استقامت موج ضربه صاعقه و ولتاژ استقامت اسمی با فرکانس شبکه باید مطابق جدول زیر تعیین گردد.

بالاترین ولتاژ دستگاه U_m (مقدار مؤثر) (کیلو ولت)	ولتاژ استقامت اسمی با فرکانس شبکه (مقدار مؤثر) (کیلو ولت)	ولتاژ استقامت اسمی موج ضربه صاعقه (پیک) (کیلو ولت)
۰.۷۲	۳	–
۱.۲	۶	–
۳.۶	۱۰	۴۰
۷.۲	۲۰	۶۰
۱۲	۲۸	۷۵
۱۷.۵	۳۸	۹۵
۲۴	۵۰	۱۲۵
۳۶	۷۰	۱۷۰

@rozhbin_electric

تخلیه جزئی

الزامات تخلیه جزئی برای همه ترانسفورماتورهای جریان که U_m آنها کمتر از ۷.۲ کیلو ولت نباشد قابل اجـرا اسـت. سـطح تخلیه جزئی مشخص شده در جدول زیر مشخص شده است:

نوع زمین کردن سیستم	ولتاژهای زمون تخلیه جزئی (مقدار مؤثر) (کیلوولت)	سطوح مجاز تخلیه جزئی(پیکوکولمب)	
		نوع عایق بندی	
		غوطه ور در مایع	جامد
نقطه خنثی سیستم زمین شده (ضریب اتصال زمین ≤1.5)	U_m	۱۰	۵۰
	$1.2\ U_m / \sqrt{3}$	۵	۲۰
عایق شده یا سیستم بطور مؤثر زمین نشده (ضریب اتصال زمین ≥1.5)	$1.2\ U_m$	۱۰	۵۰
	$1.2\ U_m / \sqrt{3}$	۵	۲۰
یادآوری ۱– اگر سیستم خنثی تعریف نشده باشد، مقادیر داده شده برای سیستم عایق شده یا سیستم هـای بطـور مـؤثر زمین نشده معتبر خواهد بود.			
یادآوری ۲– سطح تخلیه جزئی مجاز همچنین برای دیگر فرکانسهای متفاوت از فرکانس اسمی معتبر است.			

الزامات عایقی بین بخش ها

برای سیم پیچ های اولیه و ثانویه که به دو یا چند بخش تقسیم شده اند، ولتاژ استقامت عایقی با فرکانس شبکه بین آن بخشها باید **۳ کیلو ولت مؤثر** باشد.

الزامات عایقی برای سیم پیچ های ثانویه

ولتاژ استقامت عایقی با فرکانس شبکه سیم پیچ ثانویه باید ۳ کیلو ولت (مقدار مؤثر) باشد.

الزامات عایقی بین حلقه ها

ولتاژ استقامت اسمی برای عایق بندی حلقه ها باید ۴.۵ کیلو ولت پیک باشد.

الزامات تکمیلی برای ترانسفورماتورهای جریان اندازه گیری

هانگونه که قبلاً اشاره گردید ترانسفورماتور جریانی است، که برای تغذیه نشان دهنده های ابزار دقیق، کنتورها، و دستگاه هـای مشابه در نظر گرفته شده است. بارزترین مشخصات یک ترانسفورماتور جریان اندازه گیری عبارتند از:

- بازهٔ کارکرد ۵ تا ۱۲۰ درصد جریان اسمی (برای ترانسفورماتورهای خاص بازهٔ کارکرد میتواند از ۱ تا ۲۰۰ درصد تعیین گردد)
- دقت بالا
- بار کم (توان خروجی کم)
- ولتاژ اشباع پائین (ضریب امنیت)

@rozhbin_electric

تعیین کلاس دقت برای ترانسفورماتور جریان اندازه گیری

برای ترانسفورماتورهای جریان اندازه گیری، تعیین کلاس دقت توسط بالاترین درصد خطای جریان مجاز در جریان اسمی برای کلاس دقت مربوطه مقرر شده است، تعیین گردد.

کلاس های دقت استاندارد

کلاس های دقت استاندارد برای ترانسفورماتورهای جریان اندازه گیری عبارت است از:

۰.۱–۰.۲–۰.۵–۱–۳–۵

حدود خطای جریان و جابجائی فاز برای ترانسفورماتورهای جریان اندازه گیری

برای کلاس های دقت ۰.۱– ۰.۲– ۰.۵ و ۱ خطای جریان و جابجائی فاز در فرکانس اسمی، در حالیکه بار ثانویه مقداری **بین ۲۵ تا ۱۰۰ درصد بار اسمی** است، نباید از مقادیر داده شده در جدول زیر تجاوز نماید:

کلاس دقت	درصد خطای جریان(نسبت تبدیل) در درصدی از جریان اسمی نشان داده شده در زیر (±)				جابجائی فاز در درصدی از جریان اسمی نشان داده شده در زیر (±)							
					دقیقه				صدم رادیان			
	۵	۲۰	۱۰۰	۱۲۰	۵	۲۰	۱۰۰	۱۲۰	۵	۲۰	۱۰۰	۱۲۰
۰.۱	۰.۴	۰.۲	۰.۱	۰.۱	۱۵	۸	۵	۵	۰.۴۵	۰.۲۴	۰.۱۵	۰.۱۵
۰.۲	۰.۷۵	۰.۳۵	۰.۲	۰.۲	۳۰	۱۵	۱۰	۱۰	۰.۹	۰.۴۵	۰.۳	۰.۳
۰.۵	۱.۵	۰.۷۵	۰.۵	۰.۵	۹۰	۴۵	۳۰	۳۰	۲.۷	۱.۳۵	۰.۹	۰.۶
۱.۰	۳.۰	۱.۵	۱.۰	۱.۰	۱۸۰	۹۰	۶۰	۶۰	۵.۴	۲.۷	۱.۸	۱.۸

برای کلاس دقت ۰.۲S و ۰.۵S، خطای جریان و جابجائی فاز ترانسفورماتورهای جریان برای کاربردهای خاص(به ویژه برای اتصال به کنتورهای الکتریکی خاصی که جریان هایی بین ۵۰ میلی آمپر تا ۶ آمپر را، که بین ۱ و ۱۲۰ درصد بار نامی است، اندازه گیری می کنند) در فرکانس اسمی وقتی که بار ثانویه مقداری بین ۲۵ تا ۱۰۰ درصد بار اسمی است، نباید از مقادیر داده شده در جدول زیر تجاوز کند. ضریب توان بار ثانویه برای آزمون باید ۰.۸ تأخیری داشته باشد، اگر بار از ۵ ولت آمپر کمتر باشد، ضریب توان باید برابر ۱ باشد. بار آزمون به هیچ وجه نباید از ۱ ولت آمپر کمتر باشد.

کلاس دقت	درصد خطای جریان(نسبت تبدیل) در درصدی از جریان اسمی نشان داده شده در زیر (±)					جابجائی فاز در درصدی از جریان اسمی نشان داده شده در زیر (±)								
						دقیقه				صدم رادیان				
	۱	۵	۲۰	۱۰۰	۱۲۰	۱	۵	۲۰	۱۰۰	۱۲۰	۱	۵	۲۰	۱۰۰	۱۲۰
۰.۲S	۰.۷۵	۰.۳۵	۰.۲	۰.۲	۰.۲	۳۰	۱۵	۱۰	۱۰	۱۰	۰.۹	۰.۴۵	۰.۳	۰.۳	۰.۳
۰.۵S	۱.۵	۰.۷۵	۰.۵	۰.۵	۰.۵	۹۰	۴۵	۳۰	۳۰	۳۰	۲.۷	۱.۳۵	۰.۹	۰.۹	۰.۹
یادآوری– این جدول فقط برای ترانسفورماتورهایی که جریان اسمی ثانویه ۵ آمپری دارند کاربرد دارد.															

@rozhbin_electric

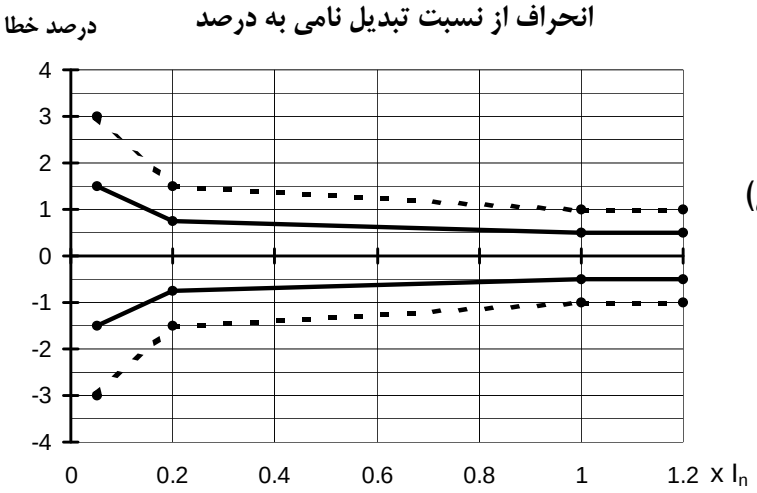
برای کلاس های ۳ و ۵، خطای جریان در فرکانس اسمی وقتی که بار ثانویه مقداری **بین ۵۰ تا ۱۰۰ درصد بار اسمی** است نباید از مقادیر داده شده در جدول زیر تجاوز نماید.

کلاس دقت	درصد خطای جریان(نسبت تبدیل) در درصدی از جریان اسمی نشان داده شده در زیر (±)	
	۵۰	۱۲۰
۳	۳	۳
۵	۵	۵

حدود فاز برای کلاس های ۳ و ۵ تعیین نمی شود.

معمولاً ترانسفورماتورهای با کلاس دقت ۰.۵ برای اتصال به ادوات اندازه گیری دقیقتر مثل کنتورها استفاده میشود. برای ادوات اندازه گیری با دقت پائین تر معمولاُ از ترانسفورماتورهای با دقت اندازه گیری ۱ بکار می رود.
نمودارهای زیر محدودهٔ خطا و فاز مجاز برای کلاس دقت یک و نیم را نشان میدهد.

انحراف از نسبت تبدیل نامی به درصد

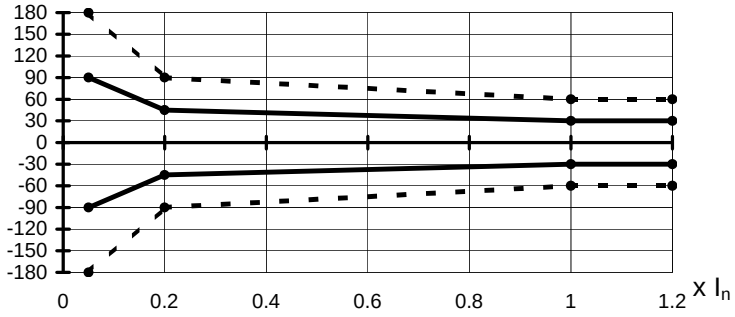


(محدودهٔ بار مصرفی بین ۲۵٪ تا ۱۰۰٪ توان خروجی اسمی)

مرز محدودهٔ مجاز خطا برای کلاس دقت یک .....

مرز محدودهٔ مجاز خطا برای کلاس دقت نیم ———

انحراف جابجائی فاز به دقیقه



(محدودهٔ بار مصرفی بین ۲۵٪ تا ۱۰۰٪ توان خروجی اسمی)

مرز محدودهٔ مجاز خطا برای کلاس دقت یک .....

مرز محدودهٔ مجاز خطا برای کلاس دقت نیم ———

@rozhbin_electric

همانگونه که از نمودارهای فوق و از اعداد موجود در جداول ملاحظه میگردد، در جریان های کمتر از جریان نامی خطای مجاز برای نسبت تبدیل (خطای اندازه) و انحراف جابجائی فاز (خطای زاویه) بیشتر خواهد بود.
بنابر این در انتخاب ترانسفورماتور جریان اندازه گیری هر چقدر جریان اسمی ترانسفورماتور به جریان واقعی نزدیک تر باشد دقت اندازه گیری ترانسفورماتور بیشتر خواهد بود.
نکته قابل توجه دیگر اینکه دقت اندازه گیری ترانسفورماتورهای جریان برای کلاس دقت های کمتر از کلاس یک، در محدودهٔ بار خروجی بین ۲۵ تا ۱۰۰ درصد بار نامی حفظ میشود. بنابر این انتخاب توان خروجی ترانسفورماتور در عملکرد ترانسفورماتور بسیار مؤثر خواهد بود. زیرا علاوه بر تأثیر بر دقت ترانسفورماتور بر ضریب امنیت دستگاه ابزار دقیق تأثیر خواهد گذاشت.

تأثیر توان خروجی بر ضریب امنیت

همانگونه که در تعارف ذکر گردید، نسبت حد جریان اولیه اسمی به جریان اسمی اولیه را ضریب ایمنی ابزار دقیق گویند. که نشان دهندهٔ اضافهٔ جریان بصورت مضرب جریان اسمی اولیه به جریانی است که هسته اندازه گیری در **بار اسمی** به اشباع میرود، یعنی جریان ثانویه به مضرب ضریب امنیت در جریان اسمی ثانویه محدود خواهد شد. ضریب امنیت بصورت یک عدد حداکثر داده میشود.
همانگونه مشاهده میگردد، ضریب امنیت در بار نامی تعریف میشود. در صورتیکه بار ثانویه برابر بار اسمی ترانسفورماتور نباشد، ضریب امنیت از رابطهٔ زیر محاسبه میگردد:

$$n' = \frac{S_i + S_n}{S_i + S_R} \times n$$

S_i تلفات ترانسفورماتور بر حسب VA
S_n توان اسمی بر حسب VA
S_R بار ثانویه بر حسب VA
n ضریب امنیت اسمی
n' ضریب امنیت در باری کمتر از بار نامی

برای روشن شدن مطلب به مثال زیر توجه فرمائید:
مثال: یک دستگاه ترانسفورماتور جریان اندازه گیری با مشخصات زیر را در نظر بگیرید:
Ratio:100/5 Cl: 1 FS5 5VA
بار ثانویه ترانسفورماتور عبارت است از:

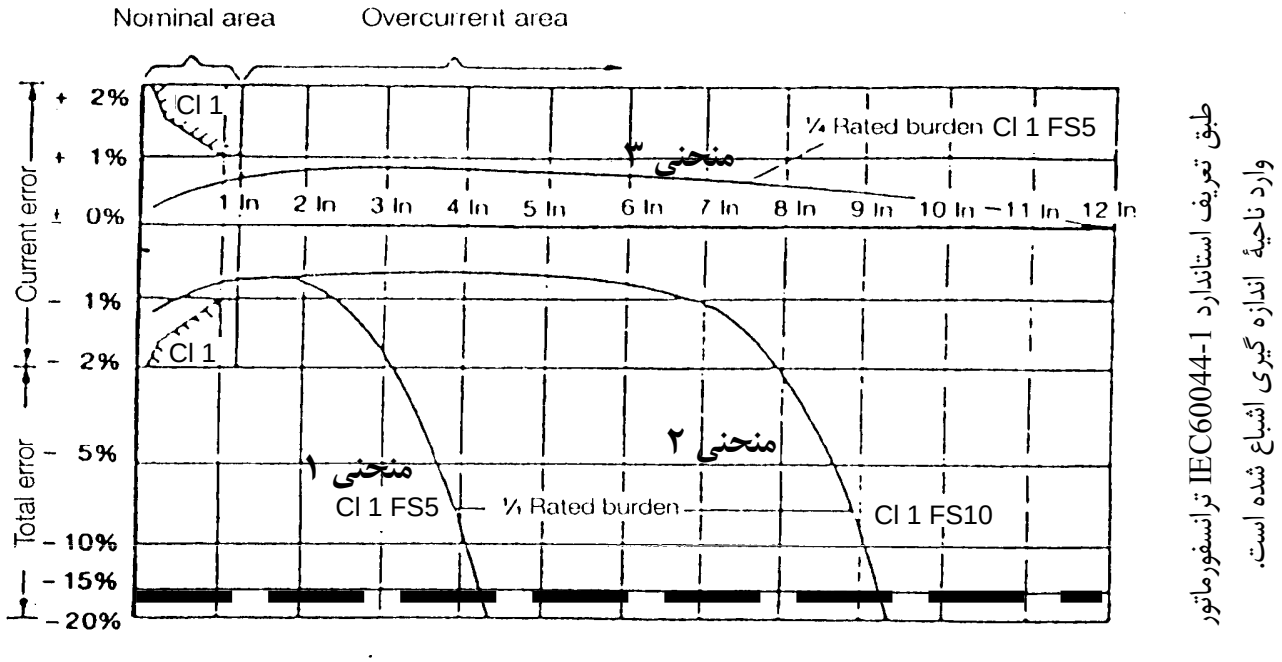
یک دستگاه آمپر متر	1.5 VA
دو متر سیم با مقطع ۲.۵ میلیمتر مربع	0.36VA
مجموع بار مصرفی (S_R)	1.86 VA

$S_i < 0.3\ VA$
با توجه به رابطهٔ فوق ضریب امنیت از رابطهٔ زیر برابر خواهد بود با:

$$FS' = \frac{0.3 + 5}{0.3 + 1.86} \times 5 \approx 12.3$$

@rozhbin_electric

همانگونه که مشاهده میگردد، این ضریب بیش از مقدار مجاز برای FS ≤ 5 میباشد، کـه در صـورت افـزایش جریـان در اولیـه ترانسفورماتور، ادوات اندازه گیری متصل به ثانویه آسیب خواهند دید.
نمودار زیر خطای مرکب را در ضرائب جریان نشان میدهد:



منحنی اشباع ترانسفورماتور اندازه گیری (ضریب امنیت)

- خط مشخص شده با خط چین نشان دهندهٔ محدودهٔ مجاز خطـای ترکیبـی بـرای ترانسـفورماتور انـدازه گیـری طبـق استاندارد IEC60044-1 میباشد.
- **منحنی ۱:** این منحنی خطای ترکیبی ترانسفورماتور اندازه گیری جریـان بـا کـلاس دقـت یـک، ضـریب امنیـت ۵ (1FS5) و در **بار نامی** را نشان میدهد. همانگونه که مشاهده میشود، در حدود چهار برابر جریـان نـامی خطـای ترکیبـی بیش از ده درصد شده است. به عبارت دیگر جریان ثانویه ترانسفورماتور طبق اسـتاندارد IEC60044-1 وارد ناحیـه اشـباع شده است.
- **منحنی ۲:** این منحنی خطای ترکیبی ترانسفورماتور اندازه گیری جریـان بـا کـلاس دقـت یـک، ضـریب امنیـت ۱۰ (1FS10) و در **بار نامی** را نشان میدهد. همانگونه که مشاهده میشود، در حدود نه برابر جریان نامی خطای ترکیبی بیش از ده درصد شده است. به عبارت دیگر جریان ثانویه ترانسفورماتور طبق استاندارد IEC60044-1 وارد ناحیـه اشـباع شـده است.
- **منحنی ۳:** این منحنی خطای ترکیبی ترانسفورماتور اندازه گیری جریان با کلاس دقـت یـک، ضـریب امنیـت ۵ و در **یک چهارم بار** نامی را نشان میدهد. همانگونه که مشاهده میشود، جریـان ثانویـه ترانسـفورماتور حتـی تـا دوازده برابـر

@rozhbin_electric

جریان نامی وارد ناحیهٔ اشباع نشده است. در حقیقت با افزایش جریان در مدار اولیه، جریان در مدار ثانویه نیز بصورت خطی افزایش خواهد یافت، و این امر باعث میشود که به ادوات اندازه گیری در مدار ثانویه ترانسفورماتور آسیب وارد شود.

الزامات تکمیلی برای ترانسفورماتورهای جریان حفاظتی

ضرایب استاندارد حد دقت

ضرایب استاندارد حد دقت عبارت اند از :

۵-۱۰-۱۵-۲۰-۳۰

کلاس های دقت برای ترانسفوماتورهای جریان حفاظتی

تعیین کلاس دقت

در مورد ترانسفورماتورهای جریان حفاظتی کلاس دقت توسط بیشترین درصد خطای مرکب مجاز در حد دقت جریان اسمی که برای آن کلاس دقت مقرر شده است، تعیین میشود و بدنبال آن حرف P قرار میگیرد.

کلاس های دقت استاندارد

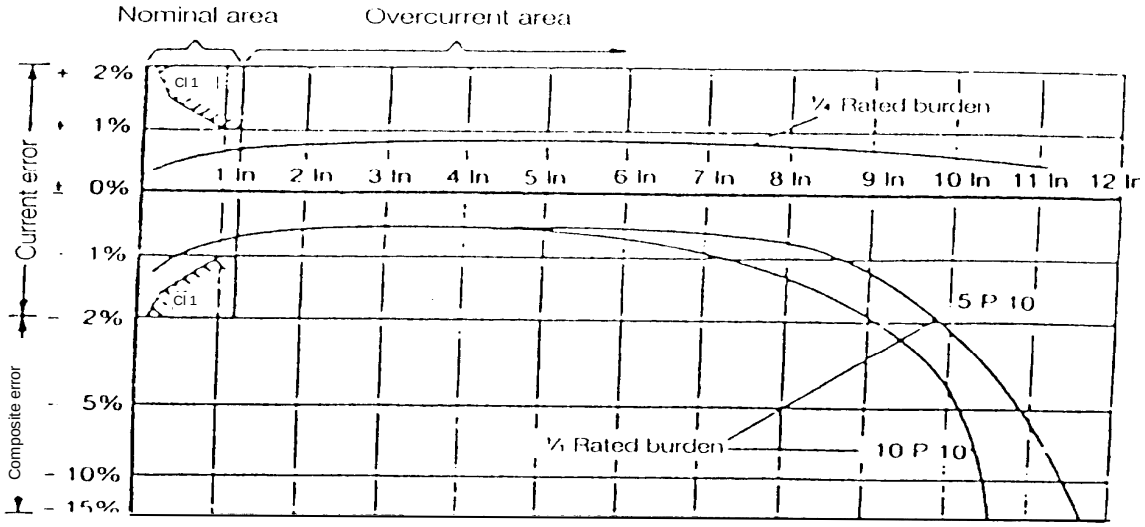
کلاس های دقت برای ترانسفورماتورهای جریان حفاظتی عبارتند از:

۵P و ۱۰P

حدود خطای جریان، جابجائی فاز و خطای مرکب در فرکانس اسمی و بار اسمی نباید از مقادیر مندرج در جدول زیر تجاوز نماید:

کلاس دقت	خطای جریان در جریان اسمی اولیه (بر حسب درصد)	جابجائی فاز در جریان اسمی اولیه		خطای مرکب در حد دقت جریان اسمی اولیه(برحسب درصد)
		دقیقه	صدم رادیان	
۵P	± ۱	± ۶۰	± ۱.۸	۵
۱۰P	± ۳	-	-	۱۰

ترانسفورماتورهای حفاظتی باید جریان ثانویه در محدودهٔ اضافه بار تا حد ممکن به صورت خطی متناسب با جریان اولیه باشد. این ترانسفورماتورها عملکرد ادوات متصل به ثانویه را در صورت بروز اتصال کوتاه تضمین مینمایند. بدین صورت که در یک ضریب حد دقت مشخص ۵ یا ۱۰ (مضرب جریان اسمی) در بار اسمی، خطای مرکب کمتر از ۵ در صد (برای دقت ۵P) و ۱۰ درصد (برای دقت ۱۰P) کمتر خواهد بود. بنابراین هسته ثانویه در مضربی از جریان اولیه به اشباع خواهد رفت.



@rozhbin_electric

در ترانسفورماتورهای جریان حفاظتی دقیقاً مانند ترانسفورماتورهای جریان اندازه گیری، عملکرد ترانسفورماتور در توان اسمی میباشد و در صورت تغییر بار ثانویه در بار اسمی همانگونه که در شکل بالا مشاهده میگردد، ترانسفوماتور بیش از ضریب حد دقت به اشباع نخواهد رفت.

بار ثانویه

بار ترانسفورماتور جریان با تلفات ادوات اندازه گیری یا حفاظتی متصل به ثانویه و همچنین تلفات سیم های رابط مشخص میگردد.

در جدول زیر تلفات داخلی برخی از ادوات آورده شده است:

Device	Loss (VA)
Current meter	0.7-1.5
Rectifier current meter	0.001-0.25
Multi range current meter	0.005-5
Current recorder	0.3-9
Bimetallic ammeter	2.5-3
Power Meter	0.2-5
Power Recorder	3-12
Power factor meter	2-6
Power factor recorder	9-16
Meter	0.4-1
Relay	
N-relay	14
Excess current relay	0.2-6
Excess current time lag relay	3-6
Directional relay	10
Bimetal relay	7-11
Distance relay	1-30
Differential relay	1-15
Transformer current strip switch	0.2-15
Controller	5-180

برای محاسبهٔ تلفات سیم های ارتباطی میتوان از رابطهٔ زیر استفاده نمود:

$$P=\frac{I^2\times 21}{q_{cu}\ x\ 56}.VA$$

I جریان اسمی ثانویه

l فاصله بر حسب متر

q_{cu}مقطع سیم بر حسب میلیمتر مربع

@rozhbin_electric

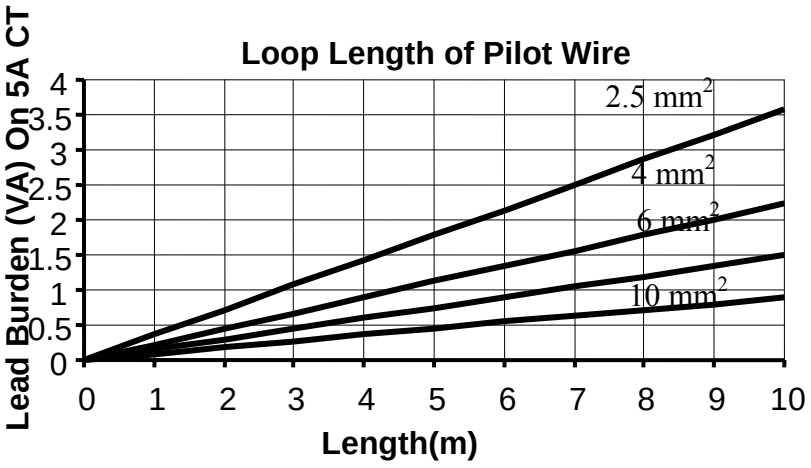
برای مقاطع مختلف تلفات در جدول و نمودار زیر آورده شده است:

تلفات بر حسب VA برای جریان ۵ آمپر

	1m	2m	3m	4m	5m	6m	7m	8m	9m	10m
2.5 mm^2	0.36	0.71	1.07	1.43	1.78	2.14	2.50	2.86	3.21	3.57
4.0 mm^2	0.22	0.45	0.67	0.89	1.12	1.34	1.56	1.79	2.01	2.24
6.0 mm^2	0.15	0.30	0.45	0.60	0.74	0.89	1.04	1.19	1.34	1.49
10.0 mm^2	0.09	0.18	0.27	0.36	0.44	0.54	0.63	0.71	0.80	0.89

تلفات بر حسب VA برای جریان ۱ آمپر

	10m	20m	30m	40m	50m	60m	70m	80m	90m	100m
1.0 mm^2	0.36	0.71	1.07	1.43	1.78	2.14	2.50	2.86	3.21	3.57
2.5 mm^2	0.14	0.29	0.43	0.57	0.72	0.86	1.00	1.14	1.29	1.43
4.0 mm^2	0.09	0.18	0.27	0.36	0.45	0.54	0.63	0.71	0.80	0.89
6.0 mm^2	0.06	0.12	0.18	0.24	0.30	0.36	0.42	0.48	0.54	0.60
10.0 mm^2	0.04	0.07	0.11	0.14	0.18	0.21	0.25	0.29	0.32	0.36



همانگونه که ملاحظه میگردد، در صورتیکه جریان ثانویه ۱ آمپر باشد، تلفات اتصالات بسیار کاهش مییابد. بنابراین در مـواردی که فاصلهٔ ادوات اندازه گیری تا ترانسفورماتور زیاد باشد، از ترانسفورماتورهای جریان با خروجی ۱ آمپر استفاده می شود.

@rozhbin_electric

چگونگی انتخاب ترانسفورماتور جریان

۱- کاربرد

بر حسب اینکه آیا ترانسفورماتور برای حفاظت استفاده میشود یا اندازه گیری، ترانسفوماتور حفاظتی یا اندازه گیری انتخاب میشود.

۲- حداکثر ولتاژ سیستم (ولتاژ کاری)

ترانسفورماتور جریان باید به گونه ای انتخاب شود از نظر ایزولاسیون بتوان ولتاژ مؤثر فاز را تحمل نماید.

۳- جریان اسمی اولیه

ترانسفورماتور جریان باید به گونه ای انتخاب شود که جریان اولیه اسمی از جریان مدار بیشتر بوده و حتی الامکان نزدیک به آن باشد.

۴- جریان اسمی ثانویه

جریان اسمی ثانویه ترانسفورماتور بر اساس ادوات متصل به ثانویه انتخاب میگردند. همانگونه که در بخش بار نیز اشاره گردید، در مواردی که فاصلهٔ بین ادوات اندازه گیری یا حفاظتی از ترانسفورماتور جریان زیاد باشد، برای کاهش تلفات سیم های ارتباطی معمولاً از ترانسفورماتورهائی با جریان ثانویه اسمی ۱ آمپر استفاده میشود.

۵- فرکانس

فرکانس ترانسفورماتور باید همان فرکانس شبکه انتخاب شود.

۶- جریان حرارتی کوتاه مدت اسمی جریان دینامیکی اسمی (I_{th}/I_{dyn})

حداکثر جریانی است که ترانسفورماتور بدون رسیدن به درجهٔ حرارتی که موجب بروز آسیب به ترانسفورماتور شود در یک ثانیه تحمل نماید.

در صورتیکه جریان اتصال کوتاه مشخص نشده باشد، میتوان با رابطهٔ زیر آن را محاسبه نمود:

$$I_{th} = \frac{P_k}{V_n \times \sqrt{3}}$$

P_k قدرت قطع شبکه در نقطه ای که ترانسفورماتور قرار میگردد بر حسب MVA میباشد. (در صورتیکه مشخص نباشد میتوان از ظرفیت قطع کلید قدرت Breaker استفاده نمود)

V_n ولتاژ خط به خط بر حسب کیلوولت

لازم به ذکر است تحمل جریان حرارتی کوتاه مدت برای ترانسفورماتور بسیار ضروری میباشد. زیرا در صورتیکه ترانسفوماتور نتواند جریان خطا را تحمل نماید، کل سیستم حفاظت عمل نخواهد کرد. جریان اتصال کوتاه بر روی مدار اولیه اثر حرارتی دارد. ضمناً در صورت بروز اتصال کوتاه، پیک اول جریان بطور تقریبی ۲.۵ برابر جریان حرارتی کوتاه مدت خواهد شد. لذا اینکه ترانسفورماتور بتواند جریان دینامیک را تحمل نماید حائز اهمیت است.

۷- بار

همانگونه که اشاره گردید، بار ترانسفورماتور بر اساس مصرف ادوات متصل به ترانسفورماتور جریان و تلفات اهمی تعیین میگردد.

@rozhbin_electric

۸- کلاس دقت

بر اساس حسب کاربرد ترانسفورماتور جریان(اندازه گیری – حفاظتی) تعیین میگردد. مقدار کلاس دقت بر حسب کاربرد تعیین میگردد. برای ترانسفورماتور جریان اندازه گیری، دقت مورد نیاز اندازه گیری تعیین کنندهٔ کلاس دقت خواهد بود. مثلاً با توجه به دقت اندازه گیری در کنتور ها کلاس ۰.۵ مناسب تر است. برای ادواتی مانند آمپر متر که دقت پائین تری دارند کلاس ۱ مورد استفاده میباشد. به طور کلی دقت ترانسفورماتور جریان اندازه گیری باید از دقت ادوات متصل به آن بیشتر باشد.

۹- کلاس عایقی

بر اساس کلاس عایقی مورد نیاز سیستم تعیین میگردد.

۱۰- ضریب حد دقت – ضریب امنیت ابزار دقیق

برای ترانسفورماتورهای حفاظتی ضریب حد دقت مشخص کنندهٔ درجهٔ حفاظت میباشد.

۱۱- شرایط محیطی

شامل درجهٔ حرارت محیط و ارتفاع میباشد.