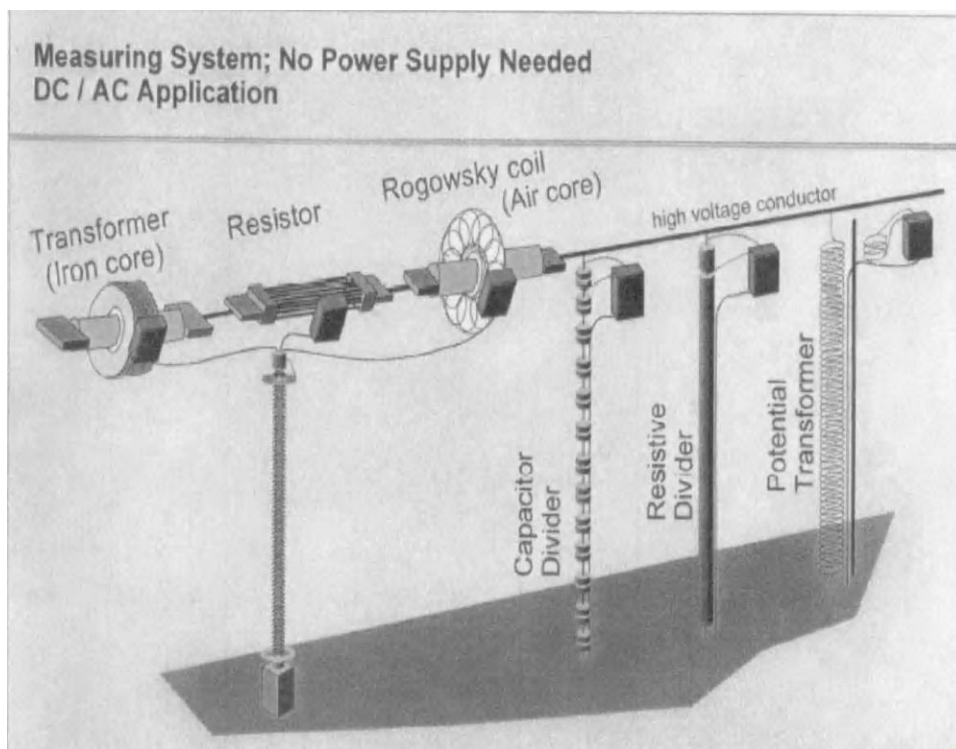


فصل سوم: محاسبات مربوط به ترانسفورمر های جریان و ترانس

زمین

۳-۱- روشهای اندازه گیری جریان و ولتاژ

با توجه به اینکه مقادیر جریان و ولتاژ در شبکه های قدرت نسبتا بزرگ است و استفاده از مقادیر واقعی و اتصال مسقیم دستگاه اندازه گیری به شبکه جهت اندازه گیری و حفاظت نتوجیه فنی و عملی ندارد، لذا از روشهای مختلفی برای نمونه گیری و اندازه گیری ولتاژ ها و جریانها استفاده می شود، روش القایی (ترانس)، روش (Rogowsky coil)، روش نوری، روش اهمی و روش ترکیبی القایی/اهمی روشهای معمول در اندازه گیری جریان و روشهای القایی، اهمی و تقسیم ولتاژ خازنی روشهای اندازه گیری ولتاژ می باشد. در روش (Rogowsky coil) همانطور که در شکل (۳-۱) نشان داده شده است در ترانس اندازه گیری از یک سیم پیچ با هسته هوایی و یک سیم پیچ با هسته آهنی و مقاومت های محدود کننده جهت حل مشکل اشباع استفاده شده است که یکی از جدیدترین روشها می باشد ولی بدلیل هزینه بالا هنوز به صورت تجاری و اقتصادی در بازار وارد نشده است.



شکل (۳-۱) - نمایش ترانس جریان با ساختار Rogowsky

۳-۲- استانداردهای معتبر مورد استفاده برای ترانس های جریان

با توجه به حساسیت سیستم های حفاظت در شبکه های تولی و انتقال انرژی و وابستگی شدید عملکرد سیستم های اندازه گیری و حفاظت به مقادیر اندازه گیری شده توسط ترانسهای جریان و ولتاژ ، رعایت محدودیتها و شرایطی برای انتخاب تجهیزات اندازه گیری از لحاظ دقت و مشخصه های عملکردی ضرورت دارد لذا استاندارد هایی در این خصوص تدوین شده است که در جدول زیر به آنها اشاره شده است.

Important Standards			
IEC	60044-1	1996/12	Current Transformers
IEC	60044-1	2000/07	Current Transformers (amendment 1)
IEC	60044-6	1992/03	Current Transformers (transient performance TP)
IEC	60044-2	1997/02	Voltage Transformers
BS EN	60044-1		Current Transformers
ANSI	C57.13	1993	Current Transformers
AS	1675	1986	Current Transformers
IEC	185	1978	Obsolete !
BS	7626	1993	Obsolete !
BS	3938	1973	Obsolete !
VDE	0414		Specifications for Instrument Transformers
Additional			
CEI	(Italy)	SEN	(Sweden)
CSA	(Canada)	SEU	(Suisse)
NF	(France)	ABNT	(Brasil)

www.sbargh.ir

جدول (۱-۳) _ معرفی استاندارد های ترانس های اندازه گیری جریان

۳-۳- تعیین ابعاد ترانس های اندازه گیری جریان

ابعاد ترانس های اندازه گیری جریان به پارامتر هایی نظیر نسبت تبدیل ، ALF ، بردن نامی ، کلاس دقت و نقطه زانوی منحنی مغناطیسی (knee point) بستگی دارد که معمولا با در نظر گرفتن برخی ملاحظات علمی و فنی و نقطه نظرات کارفرما ابعاد نهایی ترانس های جریان تعیین می شود.

حداقل مشخصات مورد نیاز رله های جدید ، محل نصب ، توابع حفاظتی رله ، بردن^۱ رله ، بردن کابل و ترانس جریان و اندازه جریان اتصال کوتاه و ثابت زمانی سیستم و حداکثر زمان مورد نیاز که سیستم باید بتواند جریان اتصال کوتاه را تحمل کند ، اطلاعات تکنیکی است که معمولا برای تعیین ابعاد ترانس جریان

^۱ burden

در نظر گرفته می شود علاوه بر اینها ، نوع استاندارد بین المللی مورد نظر کارفرما ، مشخصات اسناد قرار دادی و خواسته های کارفرما از جمله مواردی است که می تواند ابعاد و مشخصات ترانسها را متاثر سازد.

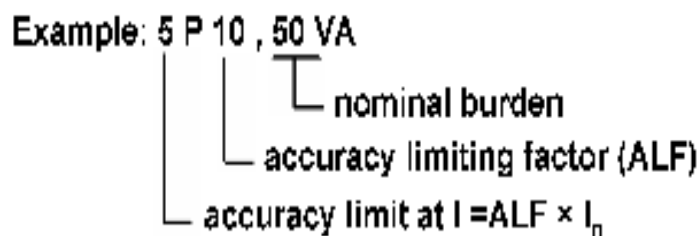
۳-۴ - طبقه بندی ترانس های جریان

استاندارد IEC-44 ترانسهای جریان را از نظر کلاس دقت و در شرایط حالت ماندگار برای کلاس 5P,10P مطابق جدول (۳-۲) طبقه بندی می کند .

کلاس دقت	در جریان نامی اولیه			محدوده جریان اولیه در خطای نامی
	خطای جریان	جابجایی زاویه فاز	جابجایی زاویه فاز	کل خطا (خطای مجموع)
	%	MINUTE	CENTIRAD	%
5P	±1	±60	±1.8	5
10P	±3	-	-	10

جدول (۳-۲) - طبقه بندی بر اساس استاندارد IEC44

به عنوان مثال نحوه نمایش مشخصات ترانس جریان در استاندارد IEC به شکل زیر می باشد:



تعریف ریاضی هر کدام از خطا های فوق مطابق روابط (۳-۱) تا (۳-۳) می باشد :

(۳-۱) خطای نسبت یا جریان
$$F_i = 100 \frac{|I_{sec} n_n - I_{prim}|}{I_{prim}}$$

(۳-۲) خطای فاز یا زاویه
$$\Delta \phi_i = \text{angle}(I_{sec}) - \text{angle}(I_{prim})$$

(۳-۳) خطای مجموع
$$F_i = 100 \frac{\sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T (|n_n I_{sec}(t) - I_{prim}(t)|)^2 dt}}{I_{prim rms}}$$

مطابق استاندارد IEC44-6 کلاس های تعریف شده برای ترانسهای جریان مختلف به شکل زیر

میباشد :

TPS	دارای هسته آهنی است و رفتار آن با مشخصه مغناطیسی و مقاومت ثانویه سیم پیچ مدل می شود و مشابه کلاس X استاندارد BS می باشد.
TPX	هسته آهنی و بدون محدودیت در شار پسماند می باشد و ساختار مکانیکی آن مشابه کلاس P استاندارد IEC44-1 می باشد و حالت گذرا مشخصه اضافی آن می باشد.
TPY	دارای هسته آهنی با فاصله هوایی می باشد و پسماند به 10% محدود می شود.
TPZ	پسماند بسیار کم و قابل صرفنظر کردن است و خطا برای مولفه AC محاسبه می شود

و میزان خطا در کلاس های فوق الذکر برای ترانس های جریان به شرح زیر است.

کلاس	خطای نسبت	خطای فاز	خطای مجموع در اضافه جریان نامی
TPX	$\pm 30 \text{ min}$ $\pm 0.5\%$		$\varepsilon \leq 10\%$
TPY	$\pm 60 \text{ min}$ $\pm 1\%$		$\varepsilon \leq 10\%$
TPZ	$\pm 180 \pm 18 \text{ min}$ $\pm 1\%$		$\varepsilon \leq 10\%$ ONLY FOR AC COMPONENT

مقدار پارامتر اجرایی (واقعی) ترانس جریان در حالت ماندگار ALF' از رابطه (۳-۴) قابل محاسبه است

$$ALF' = ALFn \cdot \frac{P_n + P_{CT}}{p' + P_{CT}} \quad (3-4)$$

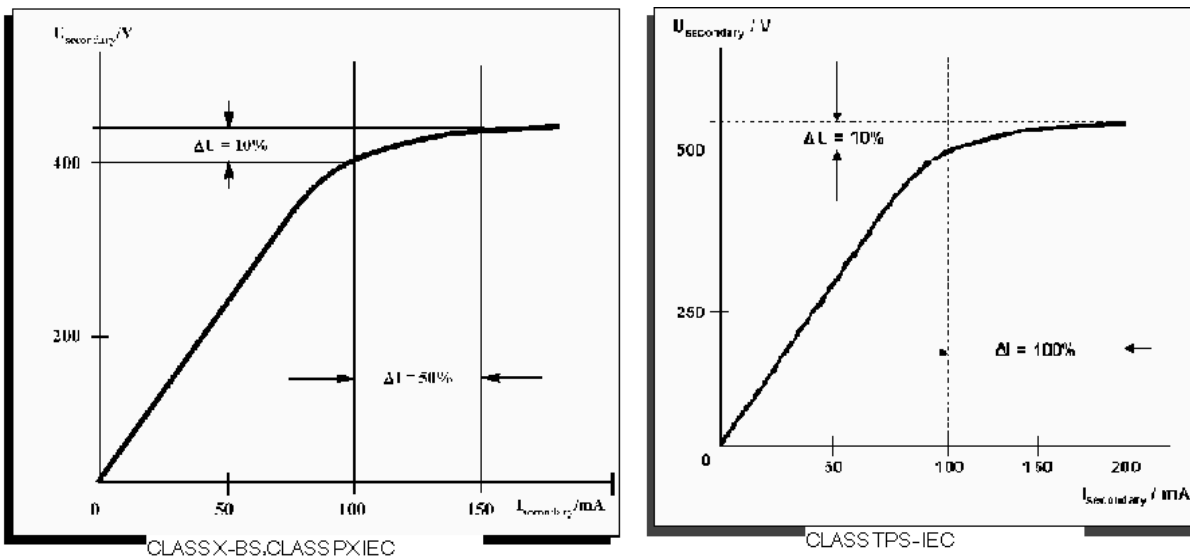
ALF' مقدار واقعی ضریب محدودیت دقت و P_n مقدار بردن خروجی نامی و P_{CT} بردن داخلی ترانس جریان ، p' مقدار واقعی بردن و $ALFn$ مقدار نامی ضریب دقت می باشد. همیشه ، بردن نامی بزرگتر و $ALFn$ بزرگتر به مفهوم عملکرد بهتر نمی باشد بلکه مقدار ALF' واقعی بزرگتر می تواند تضمینی برای عملکرد و دقت بهتر باشد.

۳-۶- نقطه زانوی^۲ منحنی مغناطیس شونددگی

مشخصه مهم دیگری که در استاندارد های بین المللی برای ترانس اندازه گیری جریان حایز اهمیت است ولتاژ نقطه زانو می باشد که در واقع نقطه زانوی منحنی مغناطیسی نمایانگر سطح اشباع هسته آهنی ترانس جریان می باشد و به مقدار جریان مغناطیس کنندگی، جنس هسته، نوع و اندازه هسته بستگی دارد. در استاندارد IEC تعریف نقطه زانو برای کلاس Px کاملاً مشابه نقطه زانو کلاس X استاندارد BS می باشد و به نقطه ای که به ازای ۱۰٪ افزایش مقدار موثر ولتاژ، مقدار موثر جریان مغناطیس شونددگی ۵۰٪ افزایش یابد ، اطلاق می شود و استاندارد IEC برای کلاس TPS ۱۰۰٪ افزایش جریان مغناطیس شونددگی به ازای ۱۰٪ افزایش ولتاژ را تعریف کرده است که در شکل (۳-۲) نمایش داده شده است.

www.sbargh.ir

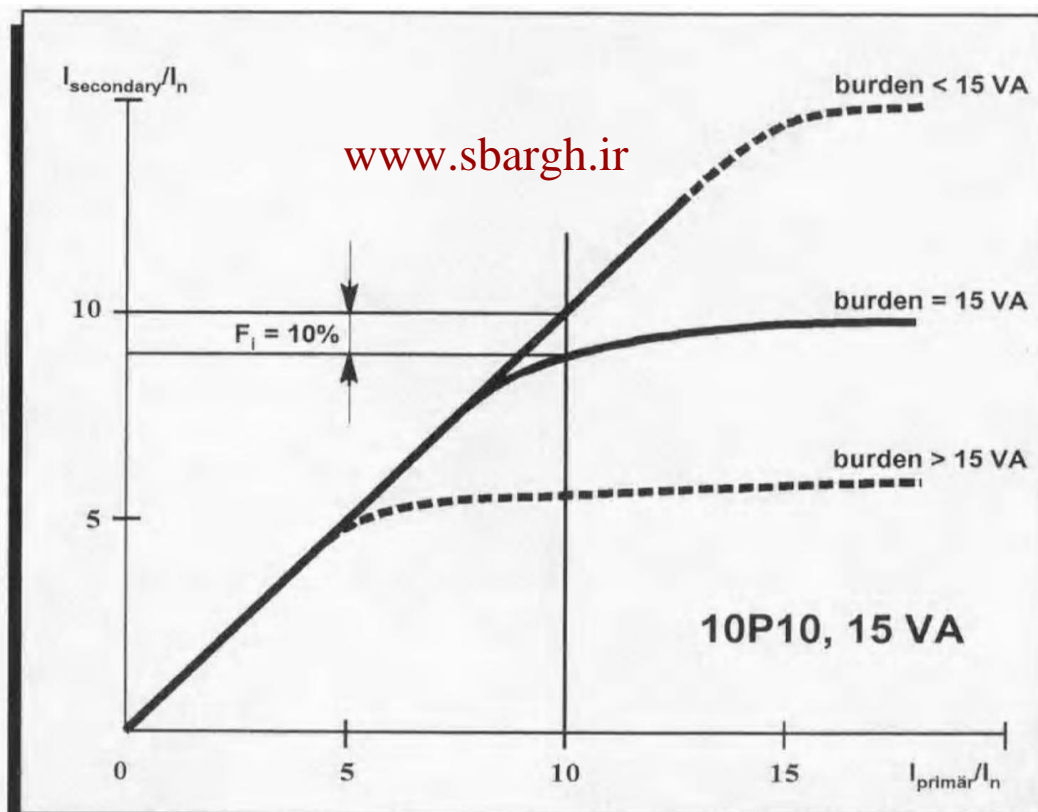
^۲ Knee point



شکل (۳-۲) - نمایش نقاط زانویی ولتاژ در دو کلاس مختلف ترانسهای جریان

با افزایش بردن بار خارجی ترانس جریان ، نقطه زانوی منحنی مغناطیس آن مطابق شکل (۳-۳) تغییر

می کند و با افزایش بار خارجی یک ترانس سطح نقطه زانو کاهش می یابد.



شکل (۳-۳) - نمایش تغییرات نقاط زانویی به ازای تغییر بار خارجی

۳-۶-۱- ارتباط بین نقطه زانویی ولتاژ و ضریب دقت ALFn

رابطه بین ضریب دقت ترانس های جریان و نقطه زانویی ولتاژ از طریق رابطه (۳-۵) بیان می شود:

$$K_{nee} = \frac{(R_n + R_{CT}) \cdot I_{2n} \cdot ALFn'}{1.3} = \frac{(P_n + P_{CT}) \cdot ALFn'}{1.3 \cdot I_{2n}} \quad (3-5)$$

با توجه به رابطه فوق می توان مشخصات ترانسهای اندازه گیری جریان که مطابق استاندارد IEC بیان

شده مطابق فرمت معمول در استاندارد BS بیان نمود و بالعکس. بعنوان مثال ترانس اندازه گیری جریان

به BS در استاندارد IEC: 600/1A, 5P10, 15VA, RCT=4OHM

معرفی می شود و ترانس جریان صورت $BS:600/1A, U_{Knee} = \frac{(15VA + 4VA) \cdot 10}{1.3 \cdot 1A} = 146V$

IEC BS:600/1A, UKnee=146V, RCT=4 Ohm مطابق استاندارد

$$P_N = \frac{1.3 \cdot UK_{nee} \cdot I_{2n}}{ALFn} - P_{CT} = \begin{matrix} ALFn = 10 & 15VA \\ ALFn = 20 & 10VA \\ ALFn = 30 & 2.5VA \end{matrix} \quad IEC:600/1A,$$

امکان پذیر است. و علامت

اختصاری CT ها در استاندارد ANSI به صورت C200 نمایش داده می شود در این استاندارد

ALFn=20 می باشد و جریان ثانویه 1A و ماکزیمم ولتاژ ترمینال ۲۰۰ ولت می باشد در استاندارد

$$P_n = I_n^2 \cdot R' = 10VA \quad \text{و} \quad R' = \frac{U_{TERM}}{20 \cdot I_n} = \frac{200V}{20 \cdot 1A} = 10ohm \quad \text{IEC معادل } 10P20, 10VA \text{ می باشد زیرا}$$

است و اگر جریان ثانویه 5A باشد این ترانس اندازه گیری جریان معادل 10P20, 50VA می باشد در جدول

(۳-۳) تعدادی از این تبدیل علائم اختصاری اشاره شده است.

	جریان ثانویه 1A	جریان ثانویه 5A
C100	10P20, 5VA	10P20, 25VA
C200	10P20, 10VA	10P20, 50VA
C400	10P20, 20VA	10P20, 100VA

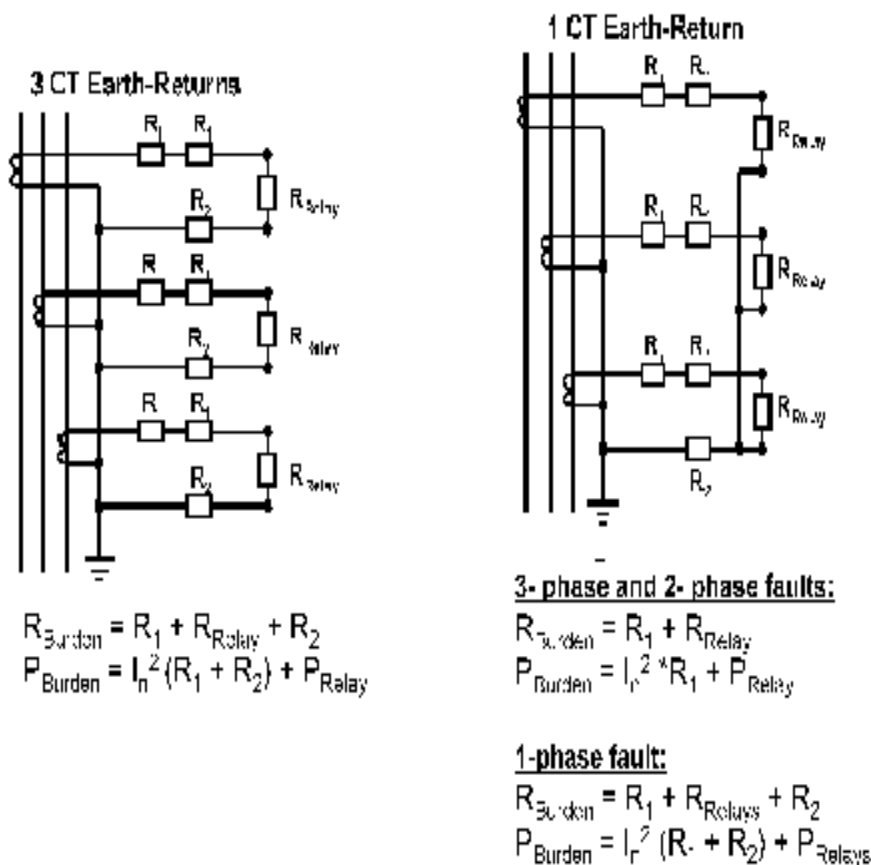
C800	10P20,40VA	10P20,200VA
------	------------	-------------

جدول (۳-۳) - مقایسه علائم اختصاری استاندارد IEC, ANSI

در استاندارد ANSI ترانس های جریان CLASS-C نوع CT های بوشینگی، هستند و نسبت تبدیل آنها قابل محاسبه است ولی در CLASS T نسبت تبدیل تنها از طریق تست می تواند تعیین شود و حداکثر خطای نسبت در این ترانس ها ۱۰٪ است.

۳-۷- بردن موثر واقعی

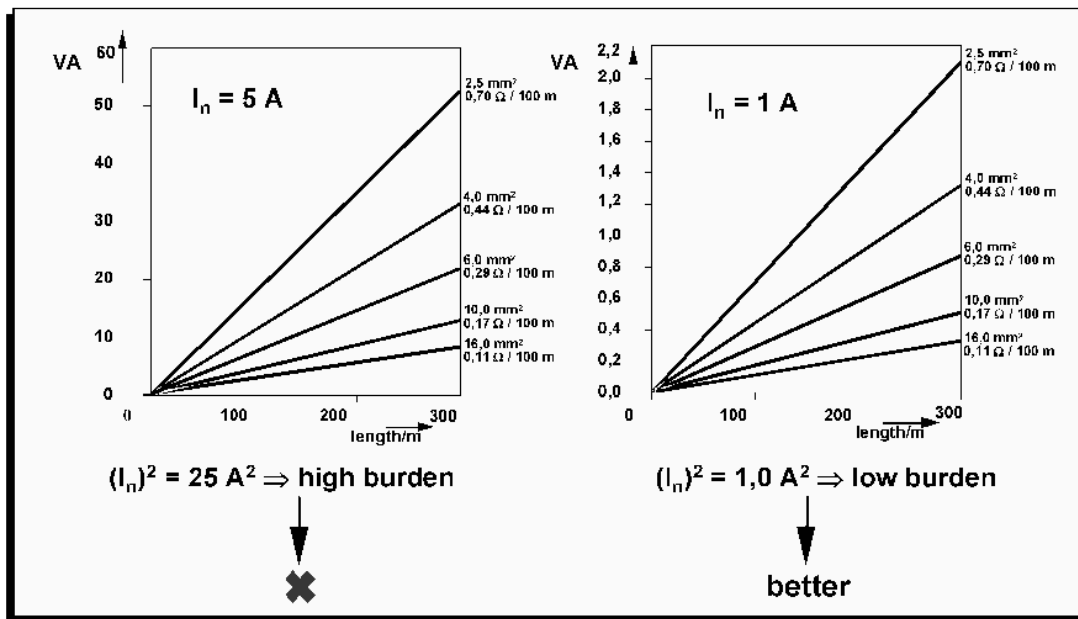
دو نوع آرایش جهت اتصال کرهای ترانسهای جریانی وجود دارد که در هر دو نوع نحوه محاسبه مقدار بردن موثر حایز اهمیت است در شکل (۳-۴) آرایشهای مختلف و نحوه محاسبه بردن واقعی در هر حالت آرایه شده است.



شکل (۳-۴) - آرایشهای مختلف اتصال ترانسهای جریان

۳-۸- جریان ثانویه ترانس های جریان

معمولا جریان نامی ثانویه ترانس ها ۱ یا ۵ آمپر می باشد ولی از آنجائیکه جریان ثانویه بیشتر ، تلفات بیشتری در پی خواهد داشت لذا استفاده از ترانس های اندازگیری جریان با ثانویه ۱ آمپر ارجحیت دارد و در شکل (۳-۵) این دو حالت با هم مقایسه شده است.



شکل (۳-۵) - مقایسه بردن مورد نیاز Ct برای جریانهای ثانویه ۱ و ۵ آمپر

۳-۹- ملاحظات مربوط به توابع حفاظتی مختلف در تعیین ترانسهای جریان

در حفاظت اضافه جریان Over current عملکرد رله از پدیده اشباع هسته ترانس جریان متاثر است ولی در صورتی که دامنه باقیمانده در شرایط خطا از میزان setting رله بیشتر باشد عملکرد رله صحیح خواهد بود لذا می توان مشخصات ترانس جریان مناسب برای این تابع حفاظت را از رابطه

$$ALF' = \frac{I_{set}}{I_n} \Rightarrow ALF'_n \cdot \frac{P_n + P_{CT}}{P' + P_{CT}} = \frac{I_{set}}{I_n}$$

ترانس در زمانی بیش از زمان عملکرد رله اضافه جریان اشباع کامل شود رله می تواند صحیح عمل نماید.

در حفاظت دیستانس Distance protection باید در شرایطی که ترانس می خواهد وارد ناحیه اشباع

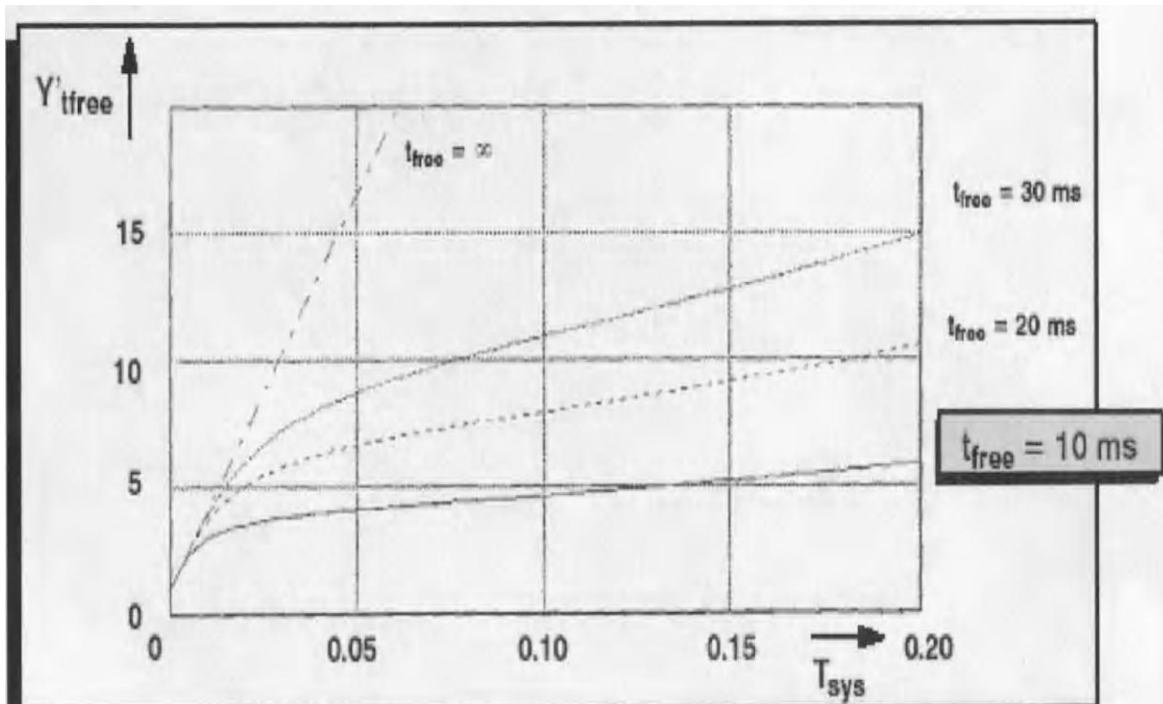
شود دامنه جریان باقیمانده و زاویه فاز ، به عبارتی امپدانس اندازگیری شده عملکرد رله در zone 1 دچار

خطا نکند و عملکرد در ناحیه یک بدون تاخیر باشد.

در حفاظت دیفرانسیل Differential protection ترانس های جریان باید در شرایط خطای خارجی ناحیه حفاظتی دیفرانسیل به اشباع نروند و در زمان t_{free} به ازای ماکزیمم جریان اتصال کوتاه وارد اشباع نشود و برای ترانس های جریان با ثابت زمانی بالا ماکزیمم جرکن عبوری از ترانس جریان ، نباید از مقدار

$$I_{SC} = \frac{I_n \cdot ALF'_n}{Y'_{tfree}}$$

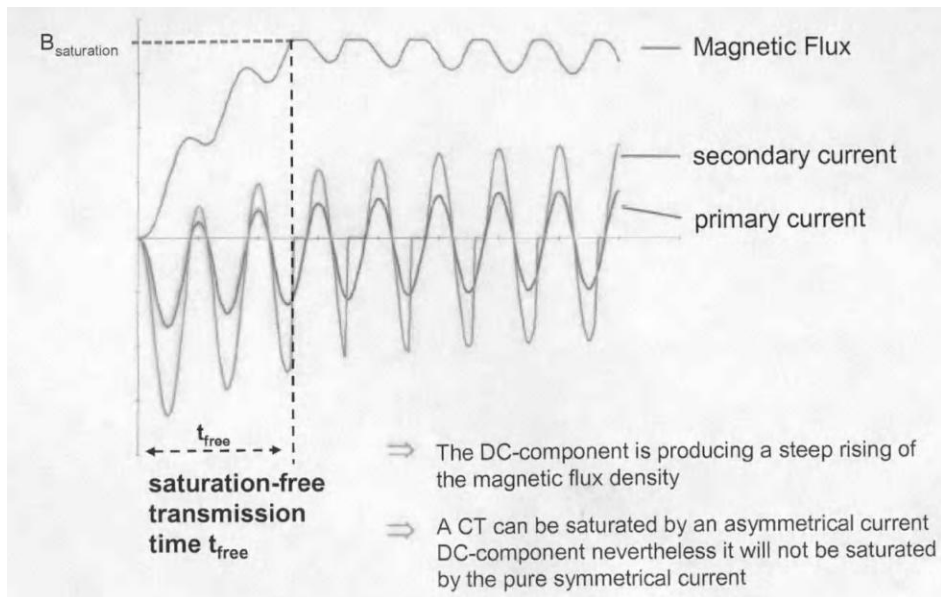
بزرگتر باشد که Y'_{tfree} از منحنی هایی مشابه شکل (۳-۶) بدست می آید.



شکل (۳-۶) - منحنی های تعیین کننده ماکزیمم جریان مجاز عبوری از ترانس جریان در حفاظت دیفرانسیل

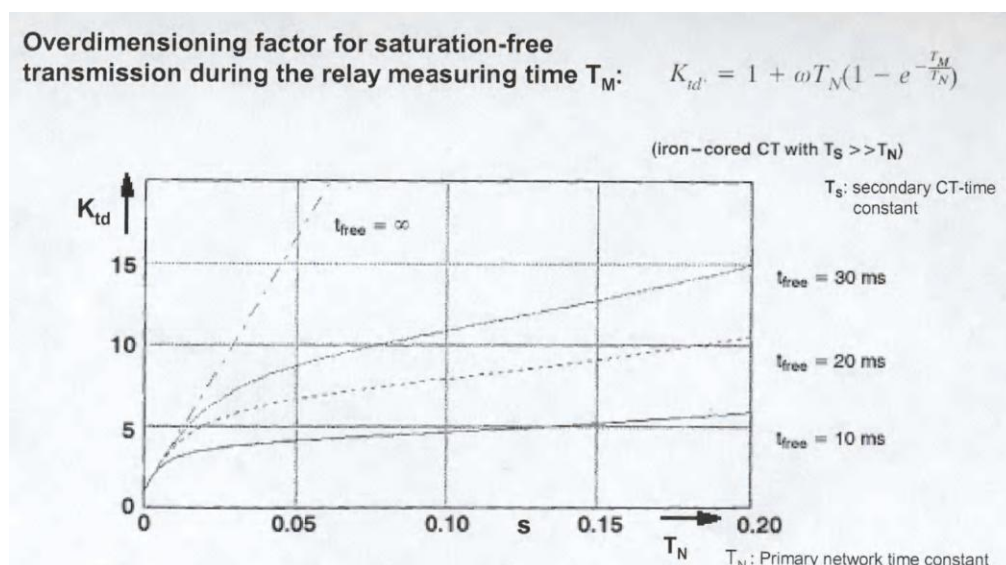
۳-۱۰- رفتار حالت گفرای ترانسفورمر ها www.sbargh.ir

و جود جریان نام بقارن و مولفه DC جریان منجر به افزایش شدید چگالی شار مغناطیسی می شود و این امر باعث می شود هسته ترانسهای جریان به سرعت اشباع شوند همانطور که در شکل (۳-۷) نمایش داده شده است با اشباع شدن هسته ترانس جریان شکل موج جریان ثانویه (با ورود به ناحیه اشباع) از حالت سینوسی خارج می شود و تغییرات شکل موج جریان اولیه را به طور کامل دنبال نمی کند زمانی که طول می کشد تا ترانس جریان در شرایط وجود مولفه مستقیم جریان به اشباع برود (SATURATION-FREE TRANSMISSION TIME) در محاسبات ابعاد ترانسهای جریان از اهمیت ویژه ای برخوردار است و با t_{free} نمایش داده می شود:



شکل (۳-۷) - نمایش تغییرات جریان ثانویه و منحنی مغناطیس شونده در صورت وجود مولفه dcl

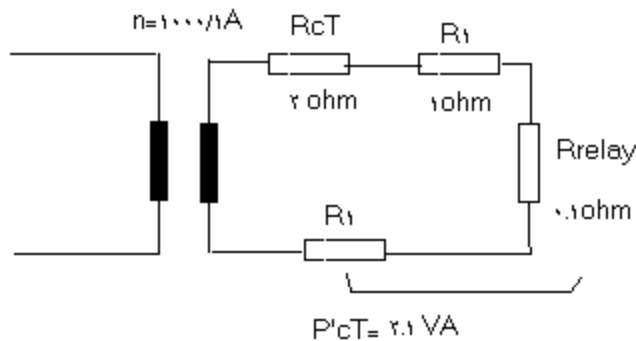
از طرفی زمانی که رله نیاز دارد تا شرایط خطا را اندازه گیری کند و فرمان تریپ را صادر کند نیز از اهمیت بالایی برخوردار است و این زمان باید کمتر از زمان t_{free} باشد و گرنه عملکرد رله با خطا مواجه خواهد شد ، معمولاً بمنظور پیشگیری از عملکرد ناصحیح رله در محاسبات ترانس جریان، یک سری ضرایب تصحیح در نظر گرفته می شود که این ضرایب تابعی از زمان عملکرد رله و t_{free} می باشند و T_N ثابت زمانی شبکه در طرف اولیه می باشد. برای تعیین ضرایب تصحیح ابعاد ترانس جریان، منحنی هایی برای زمان t_{free} مختلف مورد استفاده قرار می گیرد که یک نمونه از آن در شکل (۳-۸) آورده شده است.



شکل (۳-۸) - منحنی های تعیین ضرایب تصحیح ابعاد ترانس جریان

۱۱-۳- محاسبات ترانسفورمر های جریان

در این بخش محاسبات ابعاد ترانس جریان در دو حالت مختلف با لحاظ نمودن تاثیر حالت‌های گذرا و حالت ماندگار برای نمونه آورده شده است: مدار ثانویه ترانس جریان و بردن و نسبت تبدیل و مشخصات در شکل (۳-۹) نمایش داده شده است



شکل (۳-۹)- مشخصات CT و مدار ثانویه ترانس جریان

ترانس جریان 1000/1A, 10VA و 5P20 مفروض است میزان جریان اتصال کوتاه ماکزیمم به

صورت زیر محاسبه می شود:

$$ALF' = ALF_n \cdot \frac{P_n + P_{CT}}{P' + P_{CT}} = \frac{10 + 2}{2.1 + 2} = 30$$

,TN=0, steady state $t_{free} = \infty$,

$$I_k = ALF' \times I_n = 30kA$$

,TN=50ms, transient $t_{free} = \infty$,

$$I_k = \frac{ALF}{K_{td}} \times I_n = \frac{30}{16} = 1.87kA$$

,TN=100ms, transient

$$I_k = \frac{ALF}{K_{td}} \times I_n = \frac{30}{4} = 7.5KA$$

$t_{free} = 10ms$,

۱۲-۳- رو شهای اتصال نقطه نوترال به زمین :

۱-۱۲-۳- اتصال ایزوله یا با مقاومت زیاد :

در این روش ، با استفاده از ترانس کمکی و ایجاد مقاومت زیاد ، نقطه نوترال به زمین متصل می شود این روش که روش استاندارد می باشد باعث کاهش جریان خطا(فالت) می شود ولی از سوی دیگر در هنگام خطاهای زمین منجر به بروز اضافه ولتاژ های شدید در حدود ۲.۵ تا ۳.۵ برابر ولتاژ نامی می شود در این روش طراحی به گونه ای انجام می شود که جریان در نقطه نوترال در شرایط خطا و اتصال کوتاه کمتر از ۱۰ آمپر باشد.

۳-۱۲-۲- اتصال با واسطه راکتور :

در این روش ، جریان حاصل از خطای اتصال کوتاه به شدت کاهش می یابد و محدود می شود و حداکثر اضافه ولتاژ های حاصل در شرایط بروز خطا و اتصال کوتاه به ۲.۵ برابر مقدار نامی محدود می شود ولی این روش بسیار گران و هزینه بر است و در نیروگاههای قدیمی معمول بوده است و در این روش نیز جریان در نقطه نوترال در شرایط خطا و اتصال کوتاه کمتر از ۱۰ آمپر می باشد.

۳-۱۲-۳- اتصال با یک مقاومت کوچک :

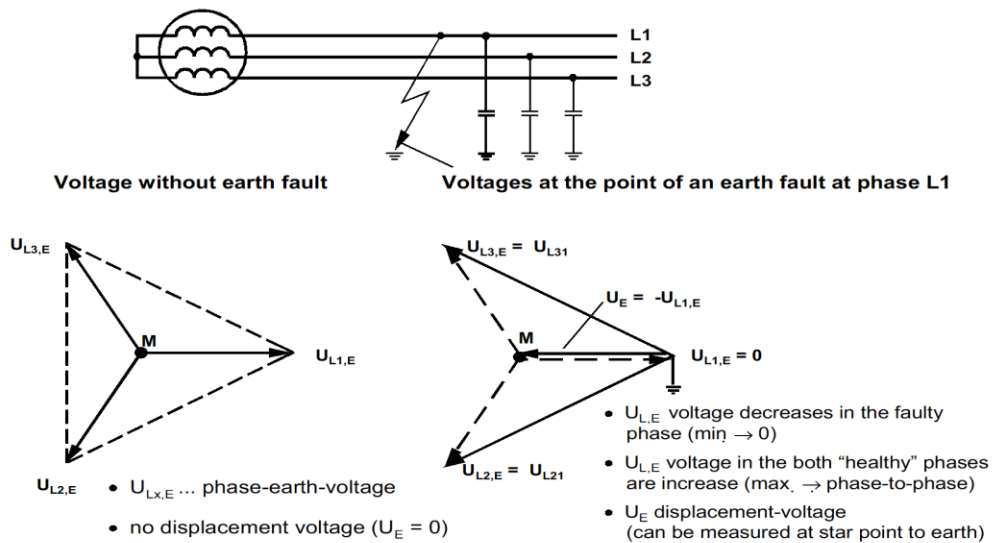
در این روش اضافه ولتاژ های حاصل در هنگام بروز خطا بسیار کوچکتر است ولی در صورت طولانی شدن زمان خطا سیم پیچهای استاتور صدمه خواهند دید و در این روش جریان نوترال بین ۲۰ تا ۴۰۰ آمپر در نظر گرفته می شود و کاربرد این روش در نیروگاههای بسیار کوچک و کاربرد های صنعتی می باشد.

۳-۱۲-۴- اتصال مستقیم به زمین :

در این روش نقطه نوترال مستقیماً به زمین متصل می شود ، این حالت باعث می شود اضافه ولتاژ ها شدیداً کاهش یابد و اندازگیری ها برای توابع حفاظتی دقیقتر باشد، ولی بروز خطا و اتصال کوتاه صدمه زیادی به ژنراتور می زند و جریان نشتی مولفه در نقطه نوترال جاری می شود و کاربرد آن در ژنراتور های ولتاژ پایین می باشد.

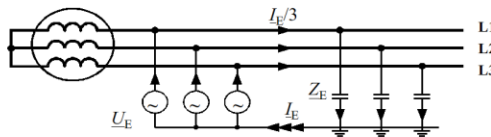
۳-۱۳- محاسبات مربوط به ترانس کمکی نوترال سیم پیچهای استاتور ژنراتور:

در طراحی ترانس نوترال مساله از دیدگاه محدود کردن جریان خطا ، محدود کردن اضافه ولتاژ های ناشی از بروز خطا و از دیدگاه حذف اختلالات ناشی از فالت های طرف فشار قوی (شبکه) بر روی جریان نوترال قابل طرح ، بحث و بررسی می باشد . لذا همانطور که در دیاگرام برداری شکل (۳-۱۰) و شکل (۳-۱۱) نمایش داده شده است می توان جریان و ولتاژ را در هنگام بروز اتصال کوتاه و خطای زمین محاسبه نمود.



شکل (۳-۱۰) - دیاگرام برداری محاسبه ولتاژ در هنگام بروز خطای زمین

Model:



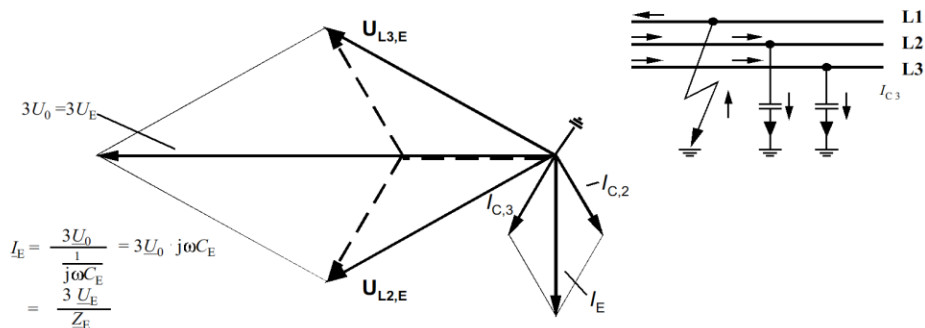
Equivalent voltage U_E at the point of fault

$$I_E = 3 \cdot I_{E/3} = 3 \cdot U_E / Z_E$$

$I_{E/3}$... earth fault current in one phase

Z_E ... earth impedance at one phase

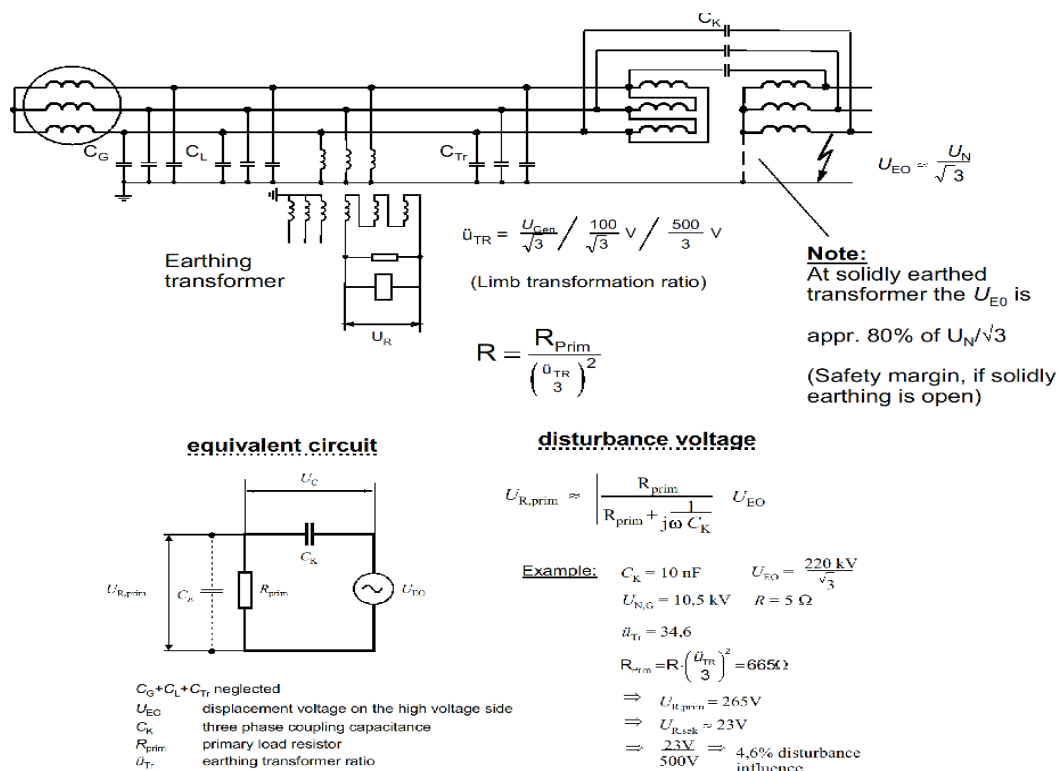
Vector diagram: earth fault in phase L1



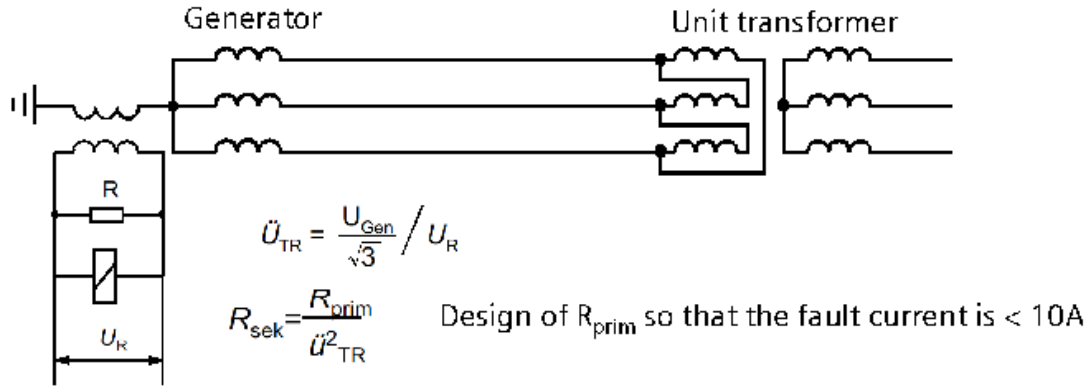
شکل (۳-۱۱) - دیاگرام برداری محاسبه ولتاژ و جریان در هنگام بروز خطای زمین

همانطور که مشاهده می شود در صورت بروز اتصال کوتاه بر روی یک فاز اضافه ولتاژی حدوده برابر ولتاژ نامی بر روی نقطه نوترال ایجاد می شود حال می توان با طراحی مقاومت مناسب در نقطه نوترال دامنه اضافه ولتاژ و جریان را تا حدودی کنترل نمود.

در صورت بروز خطا و اتصال کوتاه در شبکه به واسطه خازن کوپلینگ بین سیم پیچهای ترانسفورمر اختلالاتی در سمت ژنراتور منتقل می شود که این اختلالات قابل محاسبه است و باید تاثیر فالتهای خارجی حتی المقدور تعدیل شود تا عملکرد حفاظتی را مختل ننماید. و در شکل (۱۲-۳) نحوه محاسبه اختلالات ناشی از خطای خارجی در طرف ژنراتور محاسبه شده است و می توان بر اساس این محاسبات ترانس نوترال مناسب را جهت اتصال نقطه نوترال سیم پیچ استاتور ژنراتور به زمین مطابق شکل (۱۳-۳) به گونه ای طراحی نمود که جریان اولیه ترانس کمکی کمتر از ۱۰ آمپر در شرایط خطا باشد و ولتاژ دو سر مقاومت محدود کننده بین ۲۵۰ تا ۵۰۰ ولت باشد تا مقاومت خیلی کوچک نشود و اثر اختلالات نیز به گونه ای تعدیل شود که سیستم حفاظت اشتباه عمل نکند.



شکل (۱۲-۳) - محاسبات اختلالات ناشی از خطای خارجی در سمت فشار قوی در طرف ژنراتور



شکل (۱۳-۳) - اتصال نقطه نوترال به زمین از طریق ترانس و مقاومت (روش ایزوله)

۳-۱۴ - یک نمونه از محاسبات ترانس زمین

اطلاعات زیر از طرف سازنده ژنراتور یا کارفرما فراهم می شود

Basic Data:

Nominal Voltage of the Network U_{grid}	245 kV
Frequency f	50 Hz
Coupling Capacity of Unit transformer C_c	0,0087 μ F complete
Rated Voltage U_r	15,75 kV

Data for Grounding Transformer:

Secondary Voltage of Star Point Transformer U_{sec}	0,5 kV (Definition)
Transmission Ratio: $T_R = U_r / (\sqrt{3} * U_{sec})$	18,19
Protection range	90 % (Definition)
Safety factor S_f	2 (Definition)
Earthing factor for grounded networks E_f	0,8 (Definition)

بر اساس روابط زیر محاسبات انجام می شود و توان حالت گذرای ترانس در زمان ۲ ثانیه محاسبه می شود:

Calculation:

Primary Current: $I_{cprim} = (U_{grid} / \sqrt{3}) * 2 * E_f * \pi * f * C_c$ 0,309 A
 Secondary Current: $I_{csec} = I_{cprim} * T_R$ 5,63 A
 Load Resistor $R = (1 / S_f) * 0,1 * (U_{sec} / I_{csec})$ 4,44 Ohm => appr. 4,4

Ohm

Current of Load Resistor R with 100 % UE:

$I_{rmax} = U_{sec} / R$ 113,6 A => appr. 114 A
 for $t \leq 20$

sec

Required Power of Grounding Resistor: $P = U_{sec} * U_{sec} / R$ 56,8 kVA => appr.
57 kVA

Primary Ground Fault Current: $I_{prim} = U_{sec} * I_{rmax} / (U_r / \sqrt{3})$ 6,25 A