

## اتصال زمین در شبکه های توزیع فشار ضعیف

رحیم سلیمان آذر

برق تهران

### چکیده =====

موضوع اتصال زمین در سیستمهای توزیع برق از مسائلی است که متأسفانه یا مورد توجه شرکت‌های برق منطقه‌ای واقع نشده و یا بدون توجه علمی و فنی به این موضوع، برقراری سیستم اتصال زمین از حاشیه پست‌های توزیع نیرو فراتر نرفته است. عدم درک اهمیت اتصال زمین مخصوصاً "در میان مسئولین و اکیپ‌های اجرایی شاید با بین‌خاطر باشد که بدون زمین کردن تاسیسات میتوان کلیدها را وصل و جریان برق را در شبکه برقرار کرد و باقی‌قضا یا هر چه باشد در مرکز توجه قرار ندارد. شاید اگر مکانیسمی پیدا میشد که قبل از برقراری سیستم اتصال زمین شبکه، کلیدها وصل نمیشدند و جریان برق برقرار نمیشد مجبور میشدیم با دقت و وسواس هر چه تمام‌تر نسبت به اتصال<sup>زمین</sup> شبکه‌های توزیع نیرو اقدام نمائیم. اساساً "در هر جا که تاسیسات الکتریکی وجود دارد زمین کردن تاسیسات هم برای حفاظت و ایمنی دستگا‌های الکتریکی و هم برای ادامه حیات اشخاص از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. قبل از پرداختن به شیوه‌ها و راه‌حلهای اجرایی لازم است علل و مبنای زمین کردن شبکه‌ها از زاویه علمی مورد مطالعه قرار گیرد

### ۱- زمین کردن الکتریکی =====

زمین کردن الکتریکی یعنی به زمین وصل کردن نقطه‌خنثای حقیقی یا مجازی شبکه‌های برق که جزئی از مدار الکتریکی میباشد، مانند زمین کردن مرکز ستاره سیم پیچی ترانسفورما تور (نقطه‌خنثای حقیقی) و یا زمین کردن ترانسفورما تورهای با سیم پیچی مثلث از طریق بوبین نوتر (نقطه‌خنثای مجازی). از سیم زمین الکتریکی غیر از موارد خاص اغلب در مواقعی که شبکه‌های برق بدون عیب نیز میباشند جریان عبور میکند.

و اهمیت آن وقتی ظاهر میشود که در شبکه‌های برق یک اتصال فاز به زمین بروز مینماید. در این حالت جریان فاز معیوب از طریق زمین به نقطه‌خنثای ترانسفورما تور برگشت داده میشود و میتوان با وسائل حفاظتی ارزان قیمت مانند فیوزها مداراتصالی را قطع کرد. در صورتیکه نقطه‌خنثای به زمین وصل نشده

باشد. جریان اتصالی فاز به زمین بعلت عدم وجود مسیر برگشت ناچیز و خیلی کم تراز جریان معمولی فاز بوده و فیوزهای بکار رفته برای جریان نرمال مدار را قطع نمیکنند. این امر موجب بالا رفتن ولتاژ فازهای سالم نسبت به زمین شده که خود موجب بروز اشکالاتی در ایزولاسیون شبکه خواهد بود و برای قطع مدار فاز معیوب در چنین سیستمی ناگزیر به استفاده از وسایل حفاظتی گران قیمت خواهیم بود. بدون پرداختن به مباحث بیشتر در این زمینه با توجه باینکه در اکثر قریب باتفاق شرکتهای برق منطقه ای، شبکه های فشار ضعیف با سیستم سه فاز ستاره ۳۸۰/۲۲۰ ولت با اتصال زمین مرکز ستاره بکار گرفته میشوند بحث خود را بر روی این سیستم و روشهای بهتر سازی، ایمن سازی، حفاظت دستگاهها و حفاظت اشخاص از برق گرفتگی معطوف میداریم.

### عوامل موثر در برق گرفتگی انسان =====

- محل تماس بدن به مدار برقدار
- مسیر عبور جریان برق از بدن انسان
- مقاومت الکتریکی بدن انسان
- مقدار جریان
- مدت عبور جریان از بدن
- فرکانس جریان

مقاومت الکتریکی بدن انسان را با توجه به شرایط مختلفه و بطور تجربی حدود ۱۱۵۰۰ اهم در نظر میگیرند و این حدی است که از نقطه نظر ایمنی بایستی در نظر گرفت و آنرا اساس محاسبات قرارداد جریانهای تا ۳ میلی آمپر شروع احساس و ۱۰ تا ۱۵ میلی آمپر تحریک عضلات دست و لرزش آن، جریانهای تا ۳۰ میلی آمپر تحریک قفسه سینه و تا ۵۰ میلی آمپر انقباض غیر مرتب و شدید ماهیچه های قلب، و از ۵۰ تا ۱۰۰ میلی آمپر خطر مرگ را به همراه دارند.

حد قابل تحمل انسان تا ۲۰ میلی آمپر میباشد، ضمناً " تحمل بدن انسان در برابر مقدار جریان به مدت زمان عبور جریان بستگی دارد و هر چه مقدار جریان عبوری از بدن بیشتر باشد برای جلوگیری از خسرات جانی مدت آن باید کاهش یابد و این موضوع قطع سریع مدارات اتصالی بوسیله وسایل حفاظتی و فیوزها را حائز اهمیت خواهد کرد که در محاسبات حفاظتی باید ملحوظ نظر باشد (منحنی اطمینان شکل ۱). اثر مرگبار جریان بستگی به فرکانس هم دارد و با تحقیقات انجام شده متاسفانه فرکانس ۵۰ هرتز خطرناکترین آنها میباشد. در فرکانسهای خیلی بالا شدت جریانهای زیاد موجب صدمه و انقباضات اعضای بدن نخواهد شد و بهمین علت در پزشکی از جریانهای چند هزار میلی آمپر با فرکانس خیلی زیاد برای مداوای

۲- زمین کردن حفاظتی

زمین کردن حفاظتی یعنی اتصال به زمین کلیه قطعات فلزی تاسیسات و دستگاههای الکتریکی که در ارتباط مستقیم با مدار الکتریکی قرار دارند و در حالت عادی باید بی برق باشند. این کار بمنظور حفاظت اشخاص در مقابل برق گرفتگی از اهمیت خاصی برخوردار است . ممکن است در این زمینه چندسئوال مطرح شود :

- ۱- بجای وصل بدنه فلزی دستگاههای الکتریکی به زمین چرا مبادرت به عایق بندی کامل نشود؟  
در عمل معلوم شد که عایق بندی کامل تمام دستگاههای الکتریکی و کف و دیوار ساختمانها غیر عملی است
- ۲- اگر نقطه خنثای ترانسفورماتور به زمین وصل نشود باز هم لزومی برای وصل بدنه فلزی دستگاههای الکتریکی وجود دارد ؟ ، آیا در صورت اتصال فاز به بدنه دستگاهها در حالتی که مرکز ستاره ترانسفورماتور به زمین وصل نشده و مسیر برگشت جریان اتصالی وجود ندارد، خطر برق گرفتگی از بین نمیرود ؟ ،

ظاهرا " اینطور بنظر میرسد که در این حالت خطر برق گرفتگی وجود ندارد ولی اگر در نقطه دیگری از همین مدار فاز دیگری بابد نه فلزی دستگاه یا زمین اتصال پیدا کند در این حالت شخصی که با بدنه فلزی دستگاه الکتریکی در تماس است تحت ولتاژ بین دو فاز قرار خواهد گرفت که  $\sqrt{3}$  برابر حالتی است که در آن مرکز ستاره به زمین وصل شده باشد. ملاحظه میگردد بهترین حفاظت انسان در برابر گرفتگی ناشی از اتصال فاز به بدنه دستگاههای الکتریکی ، وصل بدنه فلزی آنها به زمین میباشد که در اثر آن ولتاژ بدنه های فلزی و زمین یکسان شده و موجبی برای پیدایش اختلاف سطح الکتریکی خطرناک وجود نداشته باشد. برای ایمن کردن و حفاظت شبکه و رفع خطرات برق گرفتگی اشخاص، استانداردهای بین المللی شرایطی اعمال می کنند که بر اساس آن :

- دز اثر اتصال زمین یکی از فازها در شبکه سه فاز ولتاژ فازهای سالم نسبت به زمین از  $50\%$  ولت تجاوز نکند یعنی ولتاژ سیم نول از حدود  $50\%$  ولت بیشتر نشود .
- ولتاژ تماس از  $50\%$  ولت تجاوز نکند .
- در صورتیکه ولتاژ تماس بیشتر از  $50\%$  ولت باشد ، حفاظت شبکه سریعاً " مدارات اتصالی را قطع کند .

در شبکه  $220\%$  ولت اگر بدن مستقیماً " به سیم فاز تماس حاصل پیدا کند بشرطی که زمان اتصال از  $40\%$  میلی ثانیه تجاوز نکند بدن انسان تحمل لازم را خواهد داشت ولی وقتی که زمان تماس

تا ۷۰۰ میلی آمپر طول بکشد ولتاژ ۵۰ ولت بی خطر و قابل تحمل است .  
 برای دست یابی به قطع سریع مدار در حالت اتصال فاز به زمین لازم است شرایط زیر برقرار باشد

$$I_e = K \cdot I_n$$

$I_e$  جریان اتصالی و  $I_n$  جریان فیوز انتخابی و  $K$  ضریب تناسب است که تابعی از نوع شبکه ، محل نصب فیوز و نوع فیوز می باشد .

- ضریب  $K$  برای حفاظت شبکه توزیع نیرو تا محل کنتور  $K = 2/5$

- ضریب  $K$  برای حفاظت شبکه داخلی مصرف کننده بعد از کنتور

(فیوز تندکار و فیوز کندکار کمتر از ۵۰ آمپر)  $K = 3/5$

- فیوز کندکار بیشتر از ۶۳ آمپر  $K = 5$

- کلید مینا توری  $K = 3/5$

- کلیدهای خودکار مجهز به رله مغناطیسی  $K = 1/25$

و برای دست یابی به ولتاژ تماس کمتر از ۵۰ ولت لازم است مقاومت زمین الکتریکی را با زمین کردنهای متعدد (سیستم P.M.E) تا حد ۲ اهم کاهش دهیم و مشترکین برق را مجاب کنیم با زمین کردن اصولی بدنه فلزی دستگاههای الکتریکی بخشی از سیستم حفاظتی را تکمیل نمایند .

بدون " به بررسی و مطالعه حالات مختلف شبکه توزیع فشار ضعیف میپردازیم و نتایج حاصله را از آن استخراج میکنیم . برای اینکه مقایسه این شبکه ها با هم دیگر فراهم گردد .

مشخصات و مقادیر زیر را که با بیشتر شبکه های موجود مطابقت میکنند انتخاب میکنیم :

- شبکه توزیع فشار ضعیف هوایی با مشخصات سیم مسی ۴×۵۰ میلیمتر مربع بطول ۵۰۰ متر که مرکز ستاره ترانسفورما تور آن زمین شده است .

مقاومت الکتریکی زمین در مرکز ستاره  $R_o = 2$

مقاومت الکتریکی زمین مصرف کننده  $R_e = 5$

(مقاومت زمین در محل اتصال بدنه دستگاه با زمین)

مقاومت الکتریکی در حالتی که سیم فاز بطور اتفاقی به زمین اتصال مییابد  $R_f = 10$

مقاومت اهمی سیم ۵۰ میلیمتر مربع مسی  $R_l = 0/4$  /Km

مقاومت اندوکتیو سیمها در شبکه هوایی  $X_l = 0/6$  /Km

امپدانس سیم ۵۰ میلیمتر مربع مسی در شبکه هوایی  $Z_1 = \sqrt{R_1^2 + X_1^2} = 0/36$

ولتاژ بین فازها  $U = 380$  V

$$U_0 = \frac{U}{\sqrt{3}} \quad 220 \text{ V}$$

ولتاژ بین فازونول

$I_e$  جريان تماس

$U_e$  ولتاژ تماس

✱ پیشنهاد های اصلاحی برای ایمنی کردن شبکه های توزیع

با بررسیها و نتایج حاصله از رفتار شبکه که در ۱۱ حالت مختلف مورد بحث قرار گرفت توصیه های زیر پیشنهاد میگردد:

- ۱- نقطه خنثای مرکز ترانسفورما تور در محل پست ترانسفورما تور باید زمین شود و حداکثر مقاومت الکتریکی زمین نباید از ۵ اهم تجاوز نماید .
- ۲- در هر ۱۵۰ متر از طول شبکه هوایی و زمینی هادی نول باید مکرراً " زمین شود و حتی الامکان مقاومت زمین هر چاه از ۵ اهم تجاوز نکند در صورتیکه زمین نامناسب و خشک باشد و دستیابی به ۵ اهم مقدور نباشد فاصله بین چاهها نزدیکتر شود تا در مجموع مقاومت الکتریکی کل سیستم زمین در هر خط خارج شده از پست ترانسفورما تور از ۲ اهم تجاوز نکند در زمینهای مرطوب که مقاومت الکتریکی زمین کم است فاصله بین چاهها را میتوان بیشتر کرد .
- ۳- سطح مقطع سیم نول معادل سطح مقطع سیم فاز انتخاب شود تا در اتصال کوتاه بین فازونول و ولتاژ تماس از نصف ولتاژ فاز بیشتر نشود .
- ۴- سیم نول شبکه تحت هیچ شرایطی نباید فیوز داشته باشد .
- ۵- سیم نول در انتهای شبکه و در انتهای کلیه شاخه های فرعی حتماً " باید زمین گردد .
- ۶- برای جلوگیری از قطع سیم نول که فوق العاده خطرناک است ، سیم نول نباید تحت نیرو کشش زیاد قرار گیرد و ارتباط ها و بستهای سیم نول باید مطمئن و محکم و بادقت انجام شود .
- ۷- در موقع قطع سیم نول و برخورد آن با سیم فاز فیوز یا کلید سیم فاز باید طوری تنظیم شده باشد که بلافاصله مدار معیوب قطع گردد . لذا ضروریست شبکه طوری طراحی شود که جریان اتصالی فاز به نول در دورترین نقطه شبکه یا بدترین شرایط سیستم قطع سریع مدار را به همراه داشته باشد
- ۸- انتخاب فیوزها بر اساس جریان مجاز کابل و سیم شبکه ، کار غیر علمی و نادرستی است و شیوه انتخاب فیوز مناسب باید مبتنی بر جریان اتصال کوتاه در دورترین نقطه شبکه باشد . این کار عملاً " استفاده از ظرفیت کامل کابلها و سیمهای شبکه را بشدت کاهش میدهد که برای حل این مشکل و افزایش استفاده از ظرفیت هادیهای شبکه ناگزیر هستیم در نقاط مختلف در طول شبکه از فیوزهای میان راهی استفاده نمائیم و یا اینکه بجای فیوز ، کلیدهای خودکار ورله های حساس را بکار بگیریم که میزان بار انتقالی شبکه افزایش یابد .

- ۹- در صورتیکه در سیمهای ارت شبکه، ولتاژی بیش از ۵۰ ولت در اثر اتصال فاز به نول یا فاز به زمین ظاهر شود، ضروریست سیمهای ارت که در دسترس میباشند و احتمال تماس اشخاص با آنها وجود دارد با پوشش عایقی باشند .
- ۱۰- تا حد امکان تقسیم بار بر روی فازها بطور متعادل انجام شود .
- ۱۱- در زمین کردن حفاظتی، اتصال بدنه فلزی دستگاہها به زمین بدون اینکه بدنه دستگاہها به سیم نول یا سیم حفاظتی شبکه ( P'E ) وصل شده باشد ممنوع است و محل اتصال بدنه به سیم زمین و سیم نول باید کاملاً مطمئن بوده و بوسیله لحیم کردن، جوش دادن و یا پیچ و مهره که دور آن بارنگ یا لاک پر شود برقرار شود .
- ۱۲- از غلاف فلزی کابل‌های زمینی بعنوان هادی حفاظتی ( PE ) استفاده گردد و غلاف فلزی در دو طرف مفصل بهم مرتبط گردند و در کابل‌هایی که فاقد غلاف فلزی هستند برای برقراری سیستم ( P.M.E ) ضروریست هادی نول در محل مفصلها و در محل جعبه انشعاب مشترکین زمین شود .
- ۱۳- سعی شود مقاومت الکتریکی چاه زمین از ۵ اهم تجاوز نکند و در صورتیکه دستیابی به آن در زمینهای خشک و نامناسب مقدور نباشد فاصله چاههای ارت نزدیکتر انتخاب گردد و تعداد چاهها افزایش یابد تا در مجموع مقاومت الکتریکی زمین در هر شاخه از شبکه که مستقلاً زپست ترانسفورما تور تغذیه میگردد از 2 اهم تجاوز نکند .
- ۱۴- پایه‌های فلزی روشنائی معا بر روی پایه‌های هادی شبکه‌های برق رسانی باید در محل نصب، زمین شوند و با تدابیر لازم و نصب الکترودها و حلقه‌های کمر بندی و ولتاژ تماس و ولتاژ قدم را در اطراف پایه تا حد ۵۰ ولت کاهش داد . در این راستا پایه‌های فلزی روشنائی که در مسیر تردد زیاد مردم قرار دارند حائز اهمیت است . در صورتیکه کابل تغذیه پایه‌های روشنائی فاقد سیم حفاظتی ( PE ) باشد . سطح مقطع نول کابل روشنائی از ۱۶ میلیمتر مربع کمتر نباشد .
- ۱۵- در صورتیکه در زمینهای نامناسب حفر چاه نول و دستیابی به مقاومت الکتریکی ۵ اهم پرهزینه و مقرون به صرفه نباشد، کشیدن سیم حفاظتی ( PE ) بنام سیم ششم در شبکه‌های هوائی و یا استفاده از کابل‌های پنج رشته‌ای که یک رشته آن بعنوان هادی حفاظتی بکار گرفته میشود توجیه پذیر خواهد بود .
- ۱۶- هادی حفاظتی PE نباید در طول مسیر خود به سیم نول وصل گردد . ارتباط آن با سیم نول فقط در محل پست ترانسفورما تور توزیع خواهد بود .
- ۱۷- مشترکین را باید راهنمایی و آنها را مجاب کرده دستگاہهای الکتریکی خود را با شرایط ذکر

شده زمین کنند و اصول و شرایط زمین کردن حفاظتی را رعایت نمایند .

۱۸- مشترکین و مصرف کنندگان های انرژی الکتریکی را باید راهنمایی کرد که به غیر از فیوززایی — کنتور از فیوزهای با آمپراژ کم و به تعداد زیاد در مسیرهای لوازم الکتریکی خود استفاده نمایند تا در صورت بروز اتصال فاز به بدنه دستگاه الکتریکی، قطع سریع مدار معیوب میسر گردد. شاید سه شاخه های فیوز دار که فیوز آن متناسب با جریان همان دستگاه می باشد و تعویض فیوز بر راحتی انجام میگیرد راه حل مناسبی باشد .

۱۹- هماهنگی بین مقاومت زمین حفاظتی با فیوز سرراه در محل مشترکین و مصرف کنندگان باید برقرار باشد . بطوریکه اگر جریان اسمی فیوز سرراه I باشد مقاومت الکتریکی زمین عبارت خواهد بود از:

$$R_e = \frac{U_e}{K \cdot I_n} = \frac{50}{3.5 I_n}$$

برای فیوز ۶ آمپری

$$R_e = \frac{50}{3.5 \times 6} = 2,4$$

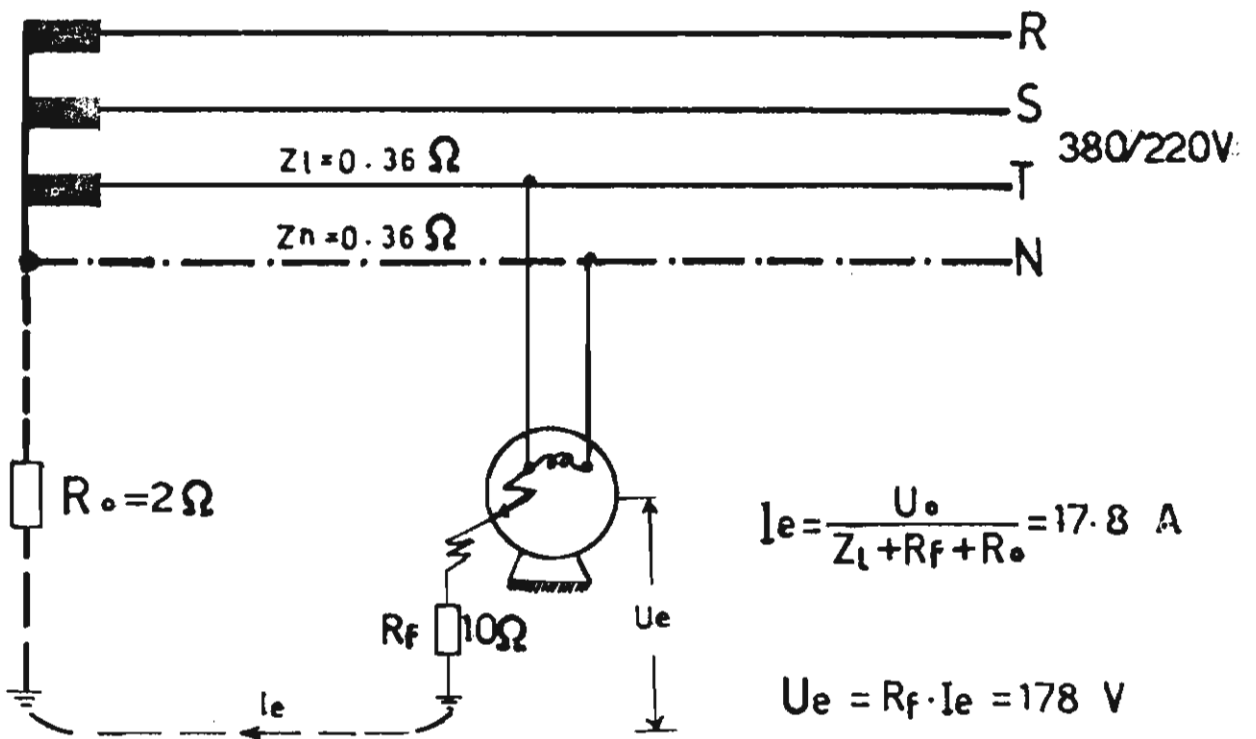
برای فیوز ۱۶ آمپری

$$R_e = \frac{50}{3.5 \times 16} = 0,9$$

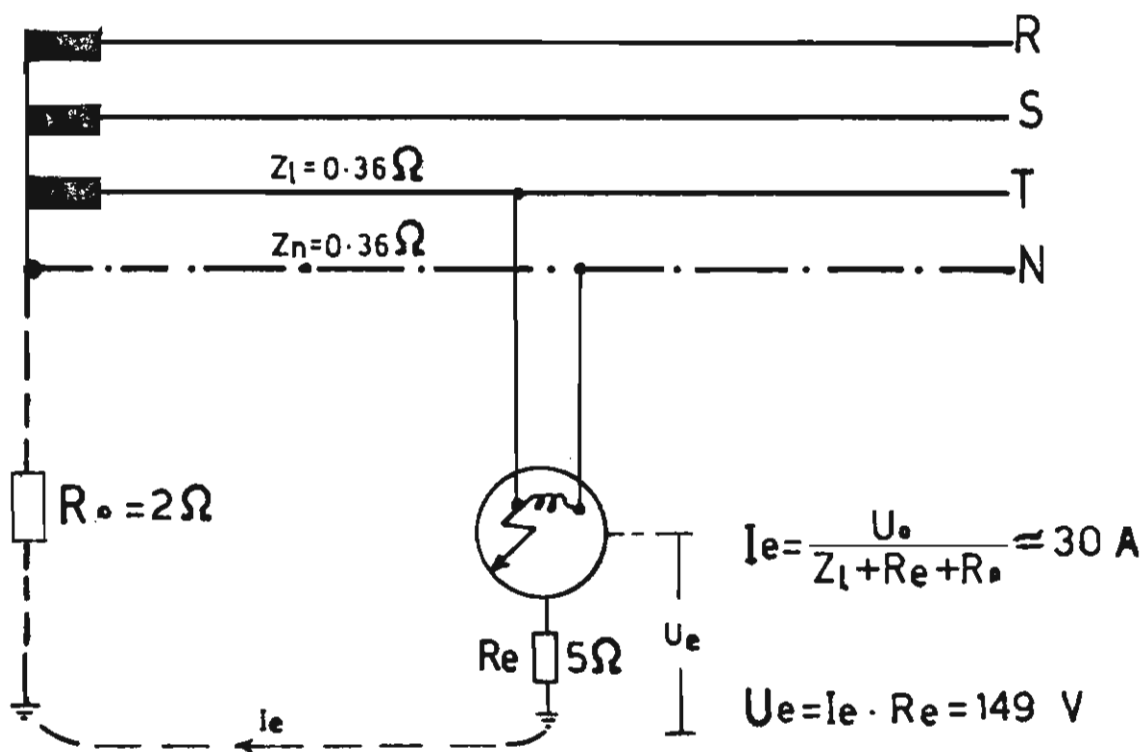
ملاحظه میگرداند استفاده از فیوزهای با جریان اسمی بالاتر موقعیت زمین حفاظتی را دشوار خواهد کرد لذا انتخاب فیوزهای با جریان کم و معادل مصرف دستگاهها حائز کمال اهمیت است .

۲۰- با تدابیر و اتخاذ تصمیمات لازم از طریق وزارت نیرو، شرکتهای برق منطقه ای باید اهمیت تاسیسات الکتریکی داخلی مشترکین را مورد توجه قرار دهند و بدون انجام صحیح سیستم حفاظتی الکتریکی از تأمین برق خودداری نمایند . شاید لازم باشد، شرکتهای موسساتی مجاز به سیم کشی داخلی خانه ها و کارگاهها باشند که از طرف وزارت نیرو در این زمینه آموزش دیده و مجوز سیم کشی دریافت داشته باشند . بدیهی است با توجه به اهمیت موضوع و گذاری انشعاب برق به متقاضیان باید منوط به ارائه گواهی انجام سیستم حفاظتی داخلی با اندازه گیری مقاومت الکتریکی زمین حفاظتی باشد .

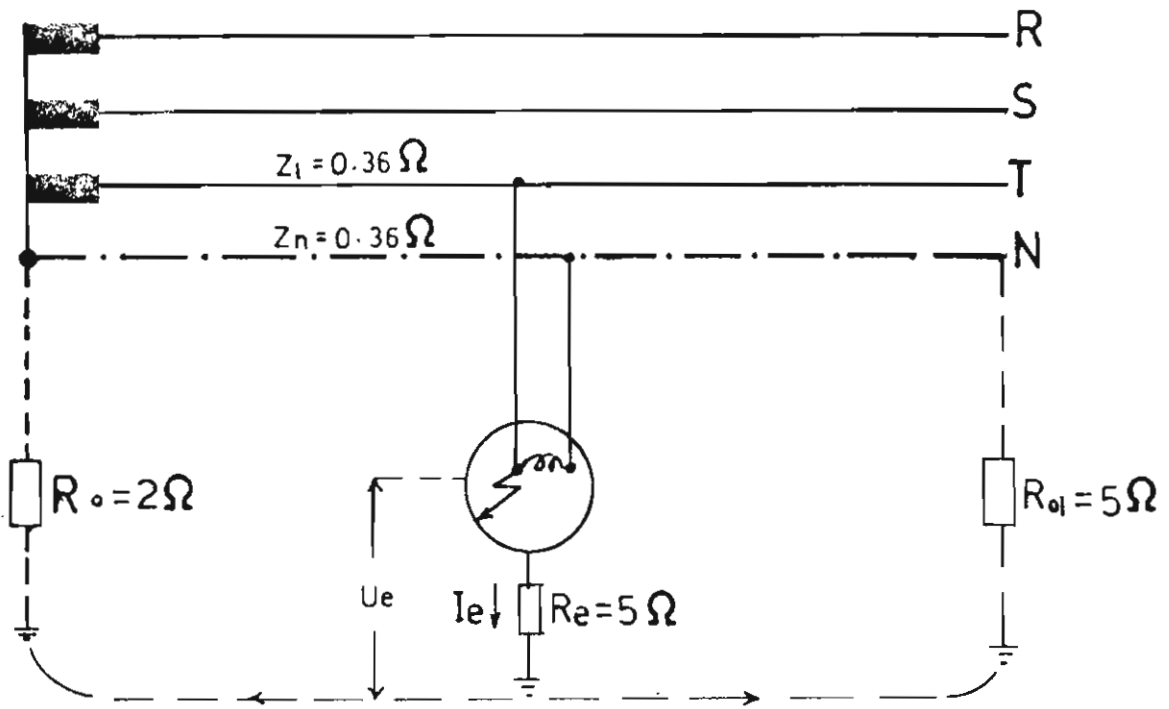
①



②

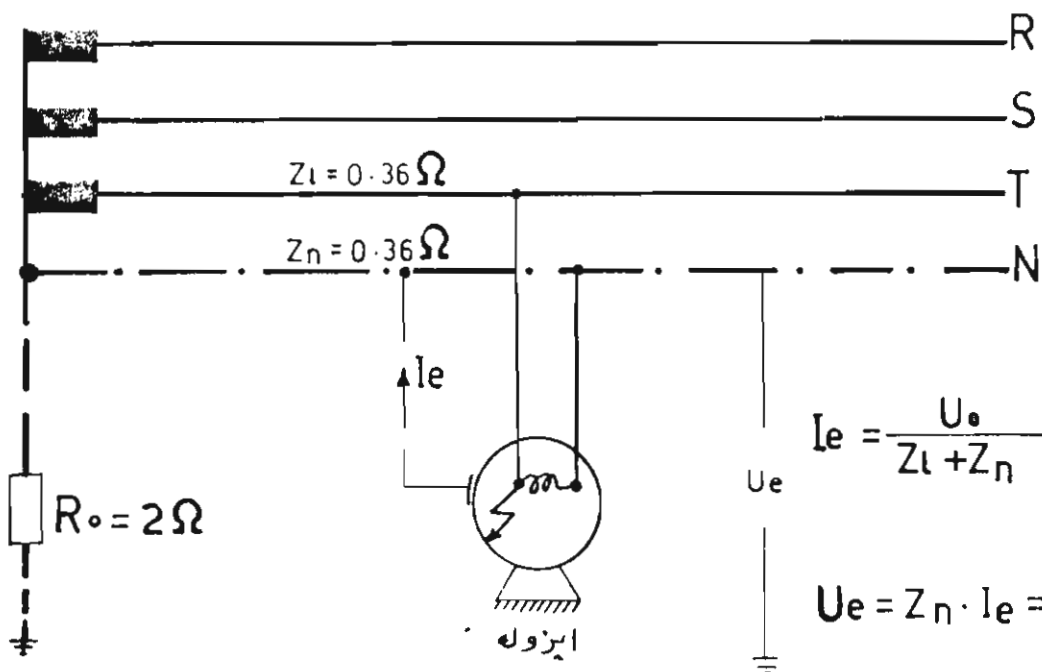


3



$$I_e = \frac{U_o}{(Z_l/2 + R_e) + \frac{R_o(Z_n + R_{o1})}{R_o + Z_n + R_{o1}}} = 33 \text{ A} \quad , \quad U_e = 165 \text{ V}$$

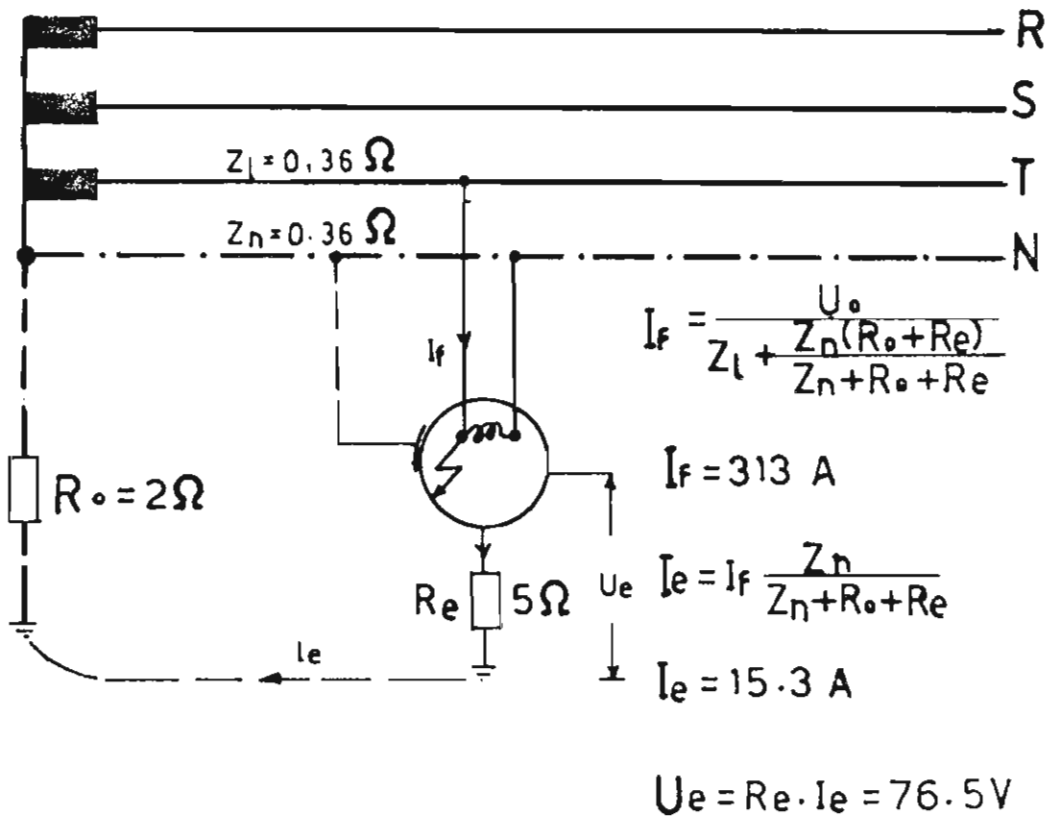
4



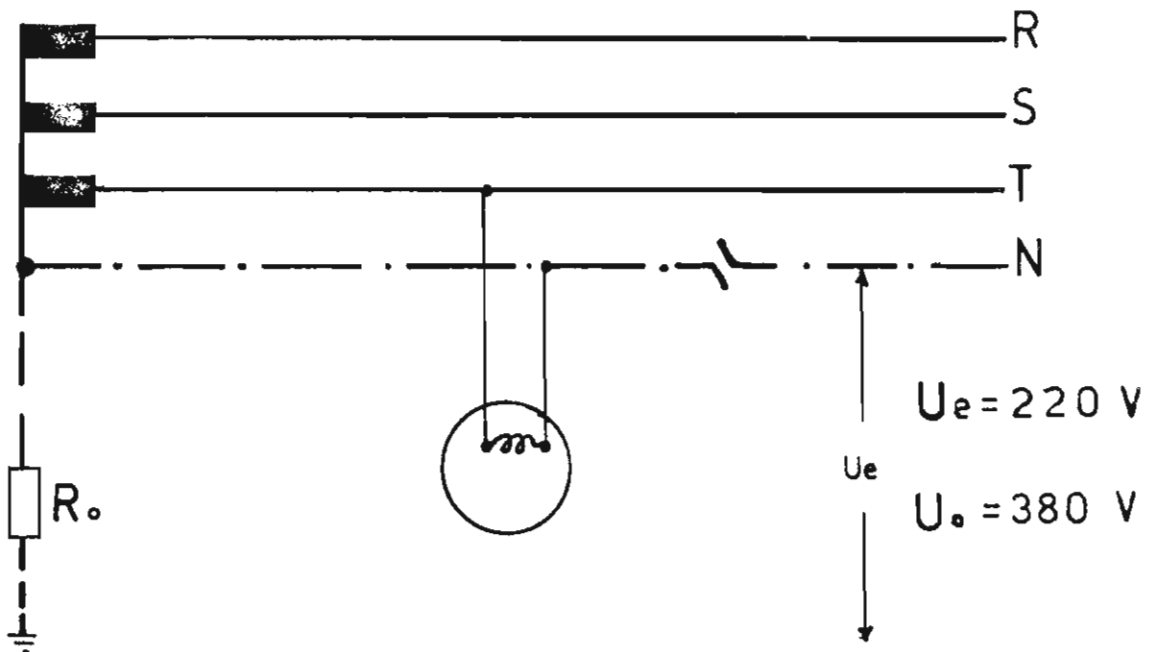
$$I_e = \frac{U_o}{Z_l + Z_n} = 305 \text{ A}$$

$$U_e = Z_n \cdot I_e = 110 \text{ V}$$

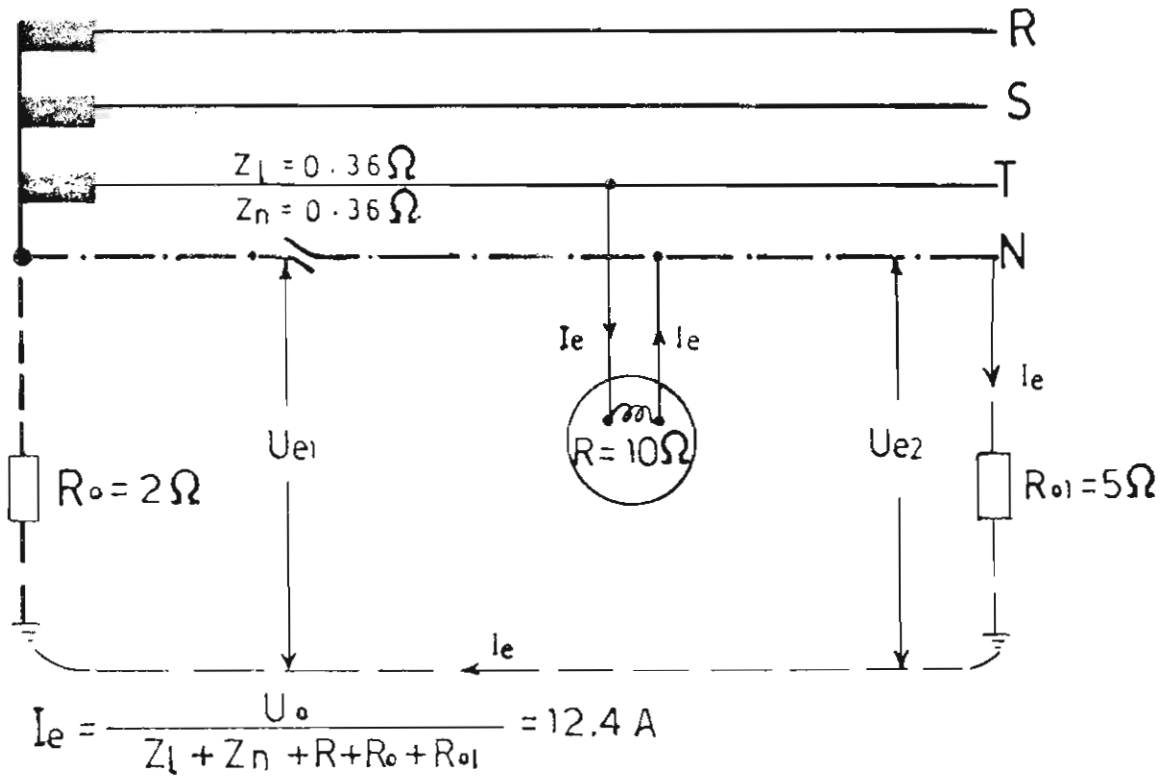
5



6



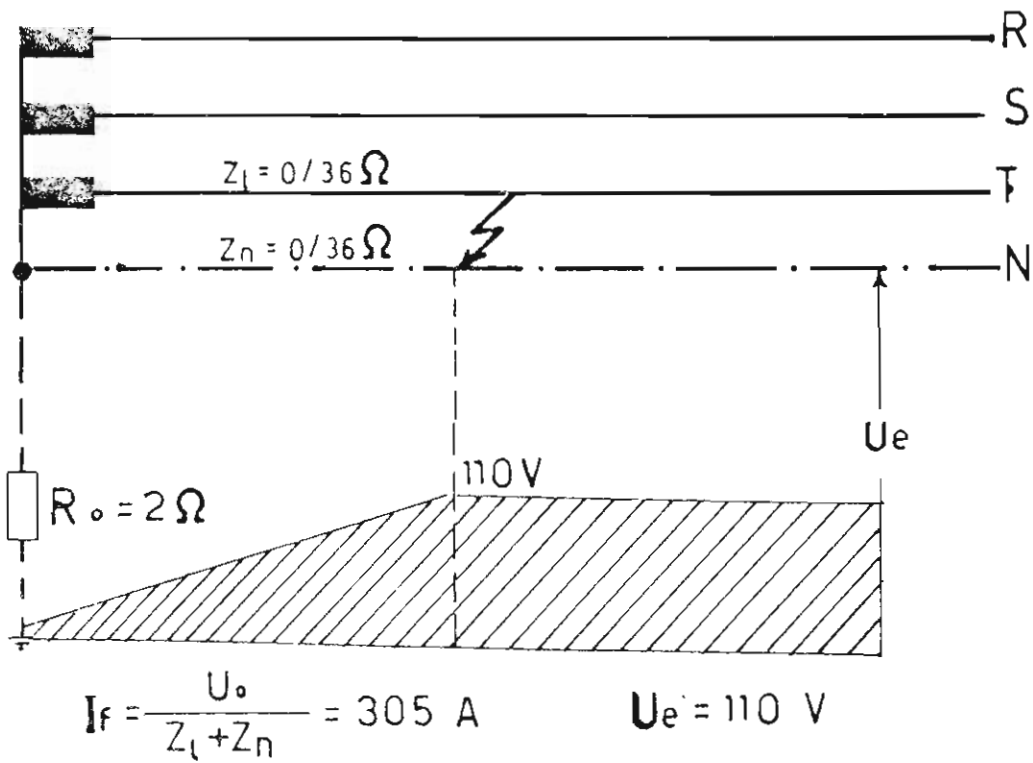
7



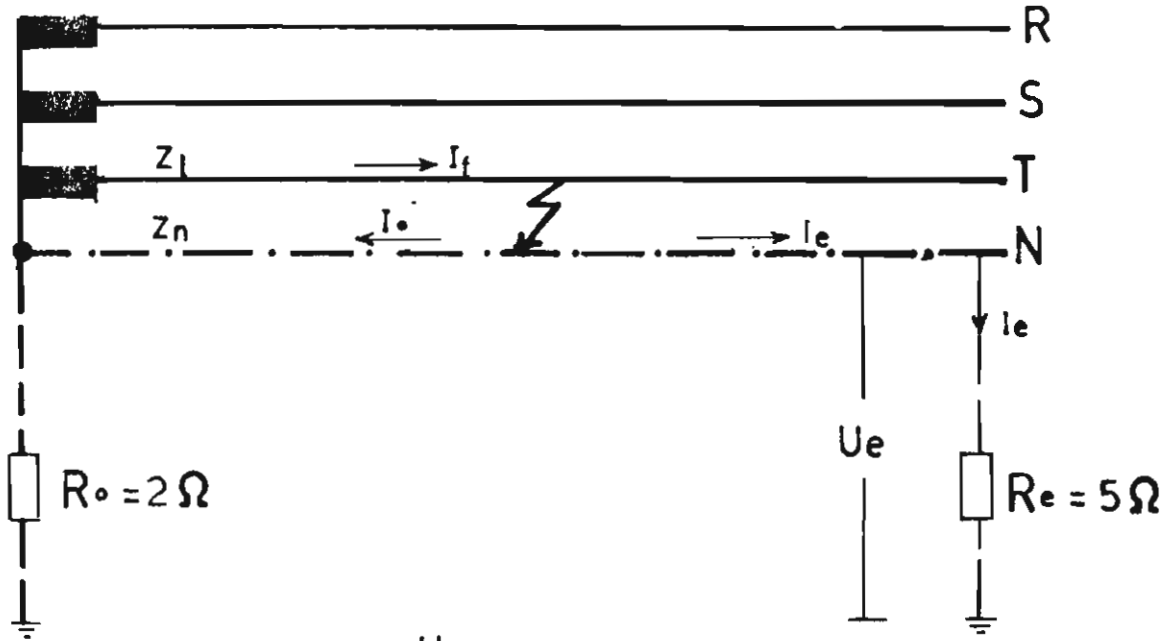
$U_{e1} = R_0 \cdot I_e = 24.8 \text{ V}$

$U_{e2} = R_{01} \cdot I_e = 62 \text{ V}$

8



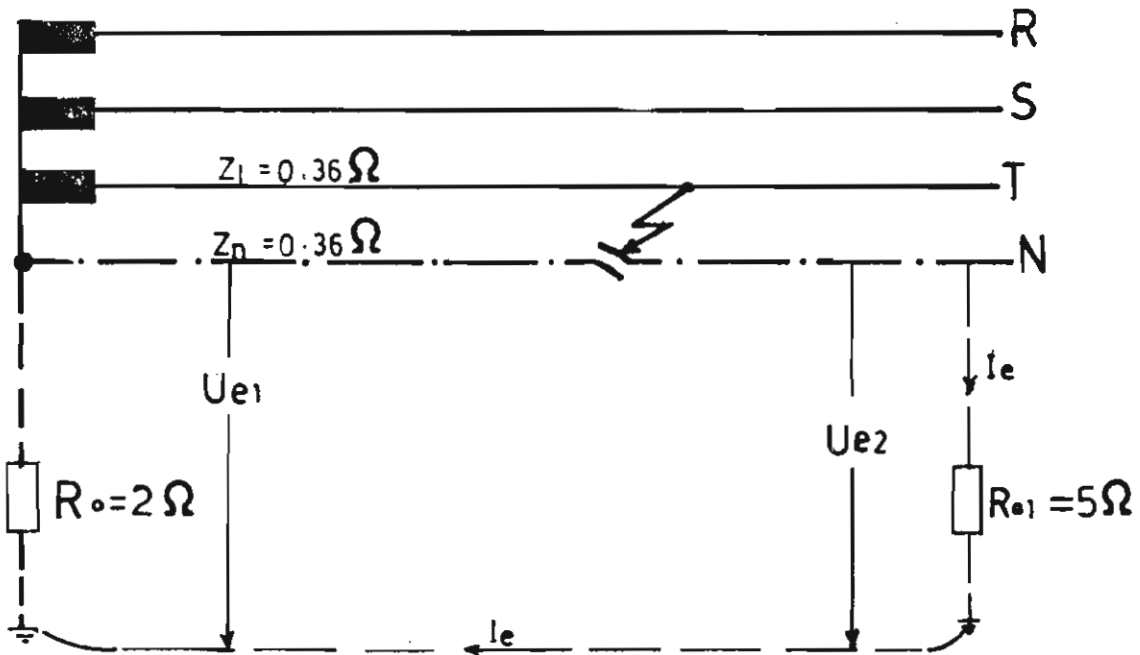
9



$$I_f = \frac{U_o}{Z_l/2 + Z_n/2 (Z_n/2 + R_e + R_o)} = 150 \text{ A}$$

$$I_e = \frac{Z_n/2}{Z_n/2 + R_e + R_o} \times I_f = 3/8 \text{ A} \quad , \quad U_e = 19 \text{ V}$$

10

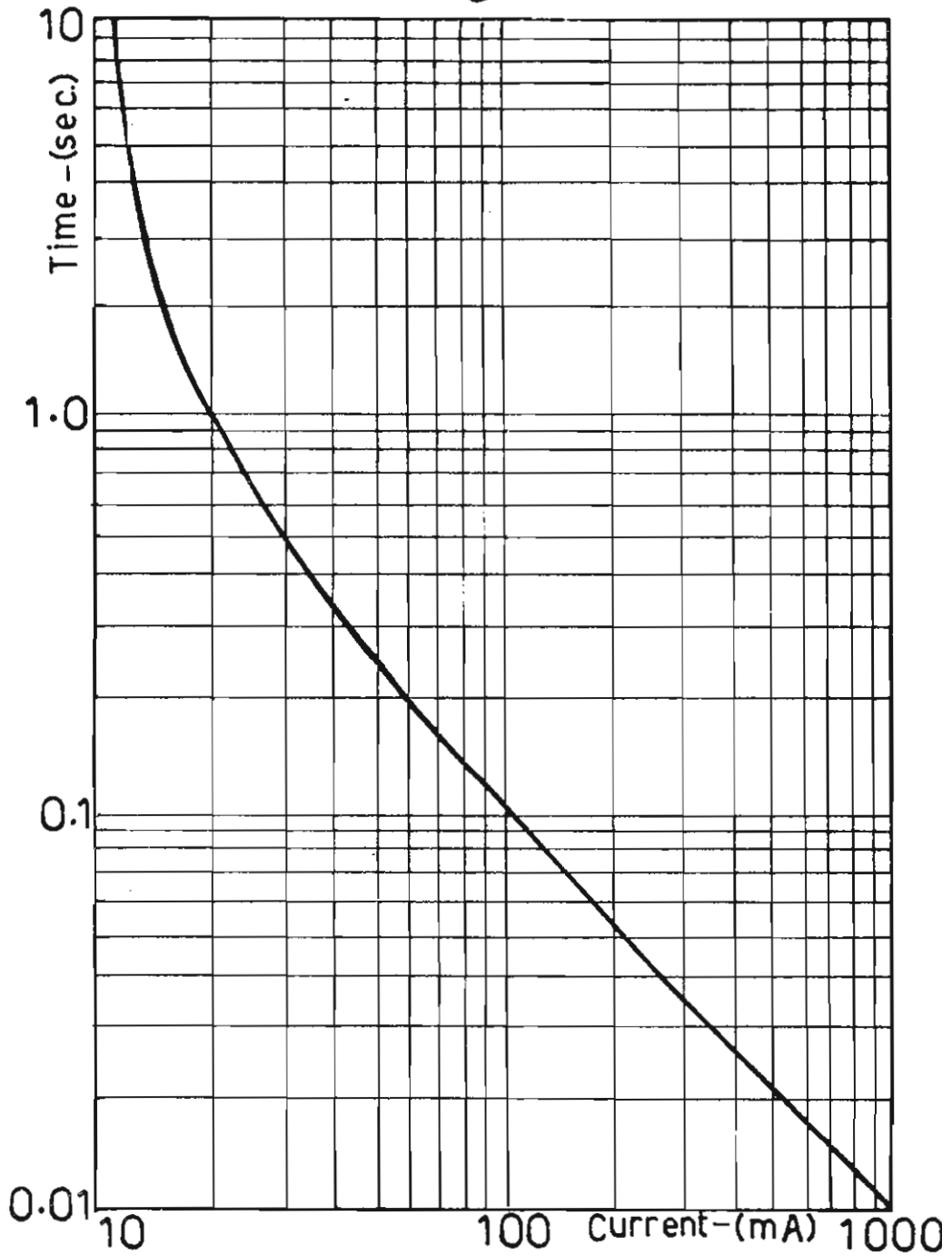


$$I_e = \frac{U_o}{Z_l + Z_n + R_o + R_{o1}} \approx 30 \text{ A}$$

$$U_{e1} = 60 \text{ V}$$

$$U_{e2} \approx 150 \text{ V}$$

شکل ۱



منحنی اطمینان