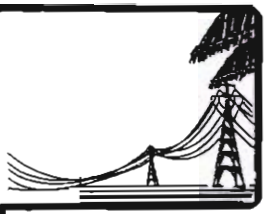


چهارمین کنفرانس
شبکه‌های توزیع نیرو

آنالیز حساسیت برای انتخاب کابل در سیستم‌های توزیع قدرت الکتریکی

فرهاد طهماسبی - محمدحسین امرالهی
شرکت مشانیر

چکیده

در این مقاله به پارامترهایی که در انتخاب مقطع کابل در محدوده ولتاژ فشارضعیف و متوسط موثر میباشد اشاره میگردد، سپس به کمک توابع حساسیت تاثیر عوامل مختلف روی انتخاب مقطع کابلها مطالعه میشود.

شرح مقاله

انتخاب مقطع کابلهای قدرت برای استفاده در سیستم‌های توزیع قدرت الکتریکی بر پایه معیارهای مهندسی معینی استوار است. مقطع کابل یا هادی برای جریان مجاز حرارتی مشخص در واقع سطح مقطع یا سایز بخشی از کابل که جریان را عبور میدهد خواهد بود. کلاس های ولتاژ عمدتا" برای سیستم توزیع الکتریکی در کانالها یا سینی کابل بکار میروند عبارتند از :

- ولتاژ ضعیف (۶۰۰ ولت و کمتر)
- ولتاژ متوسط (بیش از ۶۰۰ ولت)

این مقاله معیار انتخاب مقطع کابل را با استفاده از تکنیکهای حساسیت بسط خواهد داد . پارامترهای با حساسیت زیاد که روی مقطع کابل اثر میگذارند در هر کلاس ولتاژ میتوانند تعیین شوند و معیار طراحی بصورتیکه هم در سیستم AC و هم درسیستم DC بکار رود فرموله گردند .

هادیهای مسی و آلومینیومی با عایقهای ترموسینگ (EPR,XLPE) یا ترموپلاستیک . برای استفاده در سیستم های فوق تنها باتوجه به مشخصات الکتریکی خود مقایسه میشوند .

دراین مقاله فرض میشود کابلهای موردنظر احتیاجات مکانیکی نصب را برآورده میسازند و از یک سیستم توزیع معمولی و استاندارد که دارای یک سطح ولتاژ فشار ضعیف و یک سطح ولتاژ فشار متوسط است جهت معیار انتخاب مقطع کابل استفاده گردد .

۱- عوامل موثردرتعیین مقطع کابل

فاکتورهایی که ازنقطه نظر تکنیکی روی مقطع کابل اثرمیگذارند عبارتند از :

- سطح ولتاژ موجود و آتی
- ظرفیت جریان مجاز حرارتی
- شرایط درجه حرارت
- تنظیم ولتاژ مجاز
- استقامت در برابر اتصال کوتاه
- نوع نصب

۱-۱- ولتاژ سیستم - ولتاژ سیستمی که کابل در آن بکارمیرود با رده ولتاژ و موارد زیر مشخص خواهد شد :

- نوع ومحافظت عایق کابل که برمبنای سطح عایقی استفاده میشود .
- سطح مقطع هادی که براساس تنظیم ولتاژ مجاز بکار میرود .

۱-۲- ظرفیت مجاز حرارتی - از آنجائیکه وظیفه اصلی و اولیه کابل

انتقال جریان مجاز است ، لذا این جریان جزء نخستین ملاحظات در تعیین ابعاد هادی میباشد .

۳-۱- درجه حرارت - درجه حرارت بعنوان فاکتور مهم در تعیین مقطع کابل می باشد که خود تحت تاثیر عوامل زیر قرار میگیرد :

- درجه حرارت هادی
- درجه حرارت محیط
- نزدیکی و همجواری کابلهای نصب شده در کانالها
- عمق کابلهای دفن شده در زمین
- هدایت حرارتی محیط
- دوری یا نزدیکی منابع حرارتی
- نحوه تهویه (مصنوعی یا طبیعی)

۴-۱- تنظیم ولتاژ - تنظیم ولتاژ با استفاده از حداقل ولتاژ مورد قبول در ترمینال های بار تعیین میشود . این حداقل ولتاژ در کلاسهای ولتاژی مختلف متفاوت میباشد که درهرصورت ابعاد کابل می بایست به اندازه ای باشد که این محدودیت را پوشش دهد .

۵-۱- استقامت دربرابر اتصال کوتاه - جریان اتصال کوتاه از عوامل موثر درتعیین ابعاد کابل ها خصوصا" در کلاسهای ولتاژی بالاتر میباشد که آثارحرارتی و دینامیکی بسیارشدیدی رابهمراه دارد . دامنه این جریان به سطح ولتاژ ، نوع اتصال و نوع حفاظت شبکه وابستگی دارد .

۱- نوع نصب - متداولترین انواع لوازم مورد نیاز درنصب کابلها عبارتند از :

- سینی کابل
- نردبان کابل
- لوله
- کانالهای زیرزمینی
- دفن مستقیم در زمین

۷-۱- معیارهای انتخاب کابل - معیارهای انتخاب ابعاد یک کابل برای عملکرد در یک درجه حرارت و یک وضعیت نصب مشخص عبارتند از :

- ظرفیت مجاز حرارتی
- تنظیم ولتاژ مجاز (رگولاسیون)
- استقامت در برابر جریان اتصال کوتاه

مقطع کابل می بایست طوری باشد که جریان بار را تحت شرایط نرمال و تنظیم ولتاژ مجاز تامین نماید و قادرباشد در برابر آثار حرارتی و دینامیکی ناشی‌از بروز خطای اتصال کوتاه تا زمان رفع‌خطا استقامت کند .

۱-۷-۱- ظرفیت جریان بار - (ICEA,NEC) جداول ظرفیت جریان‌بار را برای مقاطع مختلف کابل های استاندارد در درجه حرارتهای ۶۰تا ۹۰ درجه‌سانتیگراد با هادیهای مسی و آلومینیومی ارائه داده اند . ظرفیت کابلهایی که در این مقاله استفاده میشود براساس استانداردهای ICEA میباشد . ظرفیت یک کابل قبل از هرچیز با درجه حرارت مجاز عایق کابل محدود میگردد و درجه حرارت کاری بالاتر عایق،ظرفیت جریانی‌بالاتری را بدست میدهد . بعنوان نکته آخر در تعیین‌جریان مجازمیبایست به‌شرایط اضافه بار احتمالی کابلها نیز توجه شود .

۲-۷-۱- تنظیم ولتاژ - رابطه برداری بین ولتاژباس منبع (es) و ولتاژباس بار (er) و افت ولتاژ (vd) در شکل (1) نشان داده شده است .فرمول محاسبه ولتاژ (er) عبارتست از :

$$er = es + I.R.COS + I.R.SIN - \left(es^2 - (I.X.COS - I.R.SIN)^2\right)^{.5} \qquad (1\text{-}a)$$

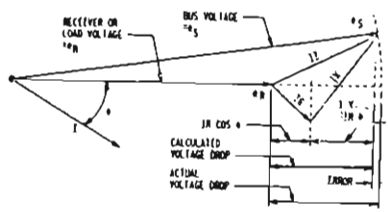
وفرمول تقریبی برای محاسبه افت ولتاژ (VD) بصورت زیر خواهد بود :

$$VD = I.R.COS + I.X.SIN \qquad (1\text{-}b)$$

در این روابط :

VD = افت ولتاژ (ولتاژ فاز به زمین) در ۱۰۰۰ فوت برحسب ولت
I = جریان خط برحسب آمپر
R = مقاومت الکتریکی خط در ۱۰۰۰ فوت برحسب اهم
COS = ضریب قدرت بار
SIN = ضریب راکتیو بار
X = برابر است با : $X = .002 \quad f(.1404 \text{ Log } s/r + .0153)$
f = فرکانس منبع به هرتز
r = شعاع هادی برحسب اینچ
s = فاصله معادل هادیها برحسب اینچ $S=(a.b.c)^{1/3}$
a,b,c فواصل بین کابلها میباشند .

FIG. 1



PHASOR DIAGRAM FOR VOLTAGE REGULATION

۳-۷-۱- استقامت کابل دربرابر جریان اتصال کوتاه - تحت شرایط اتصال کوتاه ، درجه حرارت نهایی کابل به فاکتورهای زیر وابسته است :

- دامنه جریان اتصال کوتاه
- جنس و سطح مقطع هادی
- مدت زمان استمرار جریان خطا
- درجه حرارت هادی قبل از خطا

۲- معادلات استقامت اتصال کوتاه

معادلاتی برای استقامت اتصال کوتاه هادیهای مسی و آلومینیومی موجود میباشند که در زیر لیست گردیده اند .همچنین نمودارهای مربوط به این معادلات نیز در شکل های 2d,2c,2b,2a نشان داده شده اند .

۲-۲- هادی مسی با عایق ترموستینگ (EPR/XLPE) ،(شکل2a) در این هادیها رابطه‌زیربرقرار است :

$$(I/A)^2.t = .0297 \ LOG \ ((T2+234) /(T1+234)) \qquad (2\text{-}a)$$

I = جریان اتصال کوتاه برحسب آمپر
A = سطح مقطع هادی برحسب سیرکولارمیل (CM)
T1 = ماکزیمم درجه‌حرارت کارهادی (۹۰درجه سانتیگراد)
T2 = ماکزیمم‌درجه‌حرارت درشرایط‌اتصال‌کوتاه (۲۵۰درجه‌سانتیگراد)
t = زمان جریان اتصال کوتاه برحسب ثانیه

۲-۲- هادی مسی با عایق ترموپلاستیک (شکل 2b) - دراین‌حالت رابطه بصورت زیرمیباشد :

$$(I/A)^2.t = .0297 \ LOG \ ((T2+234) /(T1+234)) \qquad (2\text{-}b)$$

T1 = ماکزیمم درجه حرارت کار هادی (۷۵ درجه سانتیگراد)
T2 = ماکزیمم‌درجه‌حرارت درشرایط‌اتصال‌کوتاه (۱۵۰درجه‌سانتیگراد)

۳-۲- هادی آلومینیومی با عایق ترموپلاستیک (شکل2b) -دراینحالت میتوان ازرابطه‌زیراستفاده‌نمود :

$$(I/A)^2.t = .0125 \ LOG \ ((T2+228)) \qquad (2\text{-}c)$$

T1 = ماکزیمم درجه حرارت کار هادی (۹۰ درجه‌سانتیگراد)
T2 = ماکزیمم‌درجه‌حرارت درشرایط‌اتصال‌کوتاه (۲۵۰درجه‌سانتیگراد)

۴-۲- هادی آلومینیومی با عایق ترموپلاستیک (شکل2C)- رابطه‌زیربرای اینحالت صادق است :

$$(I/A)^2.t = .0125 \ LOG \ ((T2=228)/(T1+228)) \qquad (2\text{-}d)$$

T1 = ماکزیمم درجه‌حرارت کار هادی (۷۵ درجه‌سانتیگراد)
T2 = ماکزیمم‌درجه‌حرارت درشرایط‌اتصال‌کوتاه (۱۵۰درجه‌سانتیگراد)

همانطوریکه در این نمودارها دیده میشود زمان برطرف شدن خطا توسط جزء حفاظت کننده ،مقدار جریان اتصال کوتاه را که کابل مجبور است، تحمل کند تعیین می نماید. کابلهای کلاس ولتاژ متوسط با قطع کننده

نوع دیزنکتور مجبورند جریان خطا و استرسهای حرارتی و دینامیکی مربوط به زمانهای طویلتر رفع خطا (سه تا هشت سیکل)را تحمل کنند .در شرایطی که فیوز یا وسایل محدودکننده جریان بکار گرفته شوند باتوجه به زمان رفع خطای کمتر از نیم سیکل،جریان درطی خطا به مقدار قابل توجهی کاهش می یابد .

۳- محاسبه حساسیت :

تکنیک آنالیز حساسیت از آنجایی که پارامترهای حساس را میتوان با محاسبه مشخص سازد بسیار مفید میباشد .در این تکنیک میتوان از پارامترهای کم اهمیت برای کلاسهای ولتاژی موردنظر صرف نظر نمود . در اینجا دو تابع حساسیت S1 و S2 بصورت زیر تعریف میشوند :

S1= حساسیت افت ولتاژ باتوجه به ولتاژ es
S2= حساسیت سطح مقطع هادی باتوجه به جریان اتصال کوتاه

۳-۱- حساسیت (S1) - معادله (1a) ولتاژ باس es را به ولتاژ باس er درضریب قدرت داده شده مرتبط میسازد S1 بعنوان حساسیت افت ولتاژ VD باتوجه به ولتاژ باس es بصورت زیر تعریف میگردد :

$$VD = es - er$$

$$S1 = VD/es = es^2/((es - (I.X.\sin \quad - I.R.\cos)^{.5})$$

در شکل(۳) نمودار مربوط به حساسیت S1 برحسب es نشان داده شده است.از این نمودار مشخص میشود که حساسیت S1 برای ولتاژ es درحدود یک پریونیت (۶۰۰ ولت) زیاد است ولی وقتی که ولتاژ باس es به رنج ولتاژ متوسط و بیشتر از آن افزایش می یابد این حساسیت کم میگردد .درکلاس ولتاژ ضعیف بطورکلی حساسیت S1 زیادتر از کلاس ولتاژ متوسط است زیرا درکلاس ولتاژ ضعیف ، تنظیم ولتاژ در سایزینگ کابل اجبارا" درنظر گرفته میشود درصورتیکه در کلاس ولتاژ فشار متوسط اصولا" افت ولتاژ کم است.

۳-۳- حساسیت (S2)- تابع حساسیت S2 درواقع رابطه بین جریان اتصال کوتاه (I) وسطح مقطع هادی(A)میباشد که از معادلات 2d,2c,2b,2a بدست می‌آید .حساسیتS7 با نوع هادی وماده عایقی‌کابل‌تغییر میکند . مشخصات حساسیت S2 برای انواع هادی باماده عایقی مختلف درشکل (۴)نشان‌داده شده است ومقدار S2 خودازروابط زیربدست میاید :

- هادی مسی با عایق ترموستینک : S2 =13.90 t
- هادی مسی با عایق ترموپلاستیک: S2 =18.89 t
- هادی آلومینیومی‌با عایق‌ترموسیتینک: S2 =21.30 t
- هادی آلومینیومی‌با عایق‌ترموپلاستیک: S2 =28.86 t

از شکل (۴) ملاحظه‌میشود که اگر زمان رفع خطا کوچکتر ازنیم سیکل‌باشد (از فیوز یا وسایل محدود کننده دامنه جریان استفاده گردد)سایز هادی از جریان اتصال کوتاه تاثیرپذیر نخواهدشد .ازطرف دیگرچنانچه زمان رفع خطابیش ازنیم سیکل(سه‌تاهشت سیکل)باشد (اگر دیژنکتورهای نوع خلاء و ...بکارگرفته شود)این جریان‌اتصال کوتاه است که سایزکابل را تعیین می کند .

۴- مقایسه‌هادی مسی باهادی‌آلومینیومی:

ملاحظات اشاره شده در قبل نشان می‌دهد که برای معیار تعیین مقطع کابل ها که در این مقاله فرمول بندی شده ما می‌توانیم موارد زیر را باتوجه به انتخاب مس بعنوان یک هادی الکتریکی برای توزیع قدرت مطرح نمائیم :

۴-۱- ولتاژ کم (۶۰۰ ولت و کمتر) برای یک سایز هادی معین :

- مس ظرفیت جریانی بالاتری داراست، شکل (۵)
- مس تنظیم ولتاژ بهتری رادارا است، شکل (۶)

۴-۲- ولتاژ متوسط (بیش از ۶۰۰ ولت)

- مس ظرفیت جریانی بالاتری دارد. (شکل 5)
- برای جریان اتصال‌کوتاه‌مشخص مس نیازمقطع کوچکتردارد

۵- نتیجه گیری :

درتمامی پروژه‌ها می بایست جنبه‌های فنی - اقتصادی و عملی کار برای برقراری حالت بهینه درطراحی مدنظر قرارگیرند. این موضوع در مورد استفاده از قدرت الکتریکی در امر توزیع به شکل انتخاب مناسب کابلها خودنمایی میکند . کابل در واقع هادی روکشداری است که در تمام طول خود از محیط خارج ایزوله شده باشد . استفاده از کابلها بخاطر عدم نیاز به حریم‌ها گسترده خطوط هوایی ازطریق دفن مستقیم در زمین یا عبور از داخل کانالهای بتنی و حفظ بافت و زیبایی محیط و دارا بودن ضریب اطمینان بالا روز بروز بیشترمیشود . انتخاب نوع وسطح مقطع مناسب و بهینه برای کابلهای موجود در چنین سیستم هایی بخاطر داشتن حداکثر صرفه‌جویی در هزینه‌های اولیه ساخت و استفاده‌های بعدی با توجه به سیر صعودی افزایش توان مصرفی مورد نیاز و انتقال آن حائز اهمیت است. در این مقاله به عواملی که بر روی مقطع کابل در محدوده ولتاژ فشار ضعیف ومتوسط تاثیر میگذارند اشاره شد و سپس توابع حساسیت S1, S2 برای تعیین مقطع کابل درکلاس ولتاژ مشخص معرفی گردیدند .

۶- منابع :

[۱] مجموعه مقالات IEEE

[2] ELECTRIC CABLES HANDBOOK BICC

[3] OPERATIONS RESEARCH HAMDY A.TAHA

FIG: 2a

ALLOWABLE SHORT CIRCUIT CURRENTS FOR INSULATED COPPER CONDUCTORS

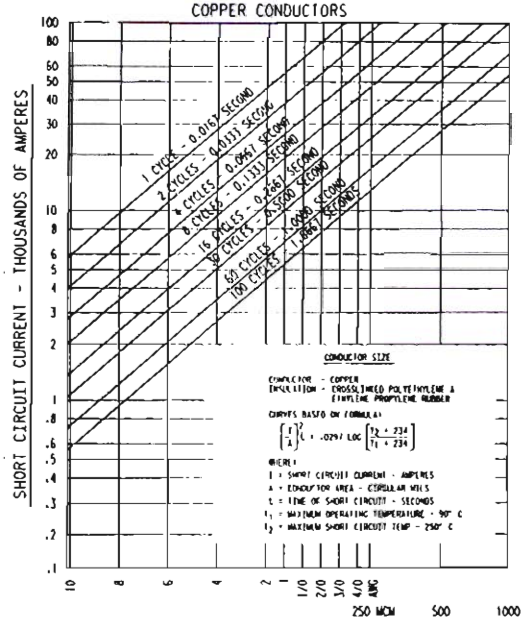


FIG: 2b

ALLOWABLE SHORT CIRCUIT CURRENTS FOR INSULATED COPPER CONDUCTORS

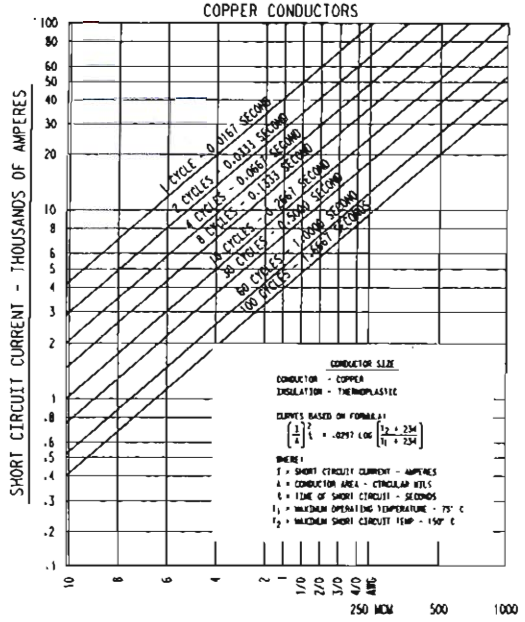


FIG: 2c

ALLOWABLE SHORT CIRCUIT CURRENTS FOR INSULATED ALUMINUM CONDUCTORS

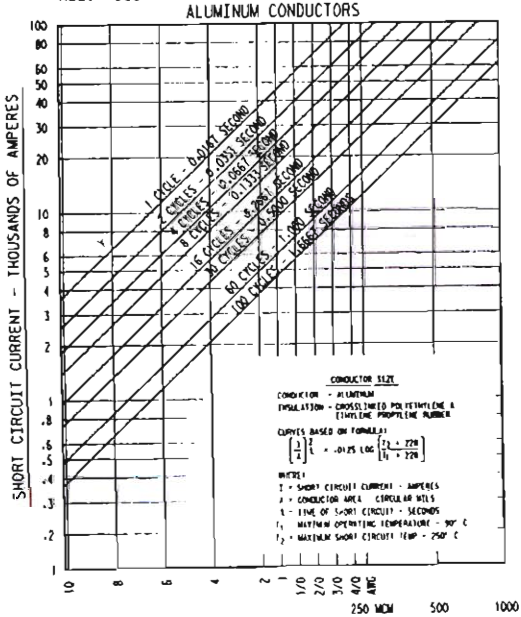
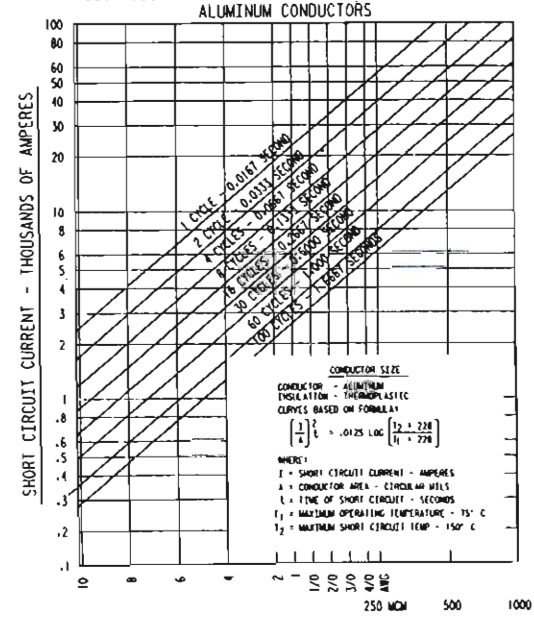


FIG: 2d

ALLOWABLE SHORT CIRCUIT CURRENTS FOR INSULATED ALUMINUM CONDUCTORS



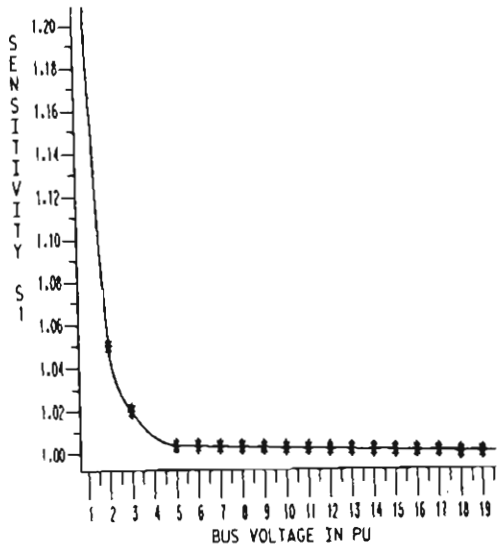
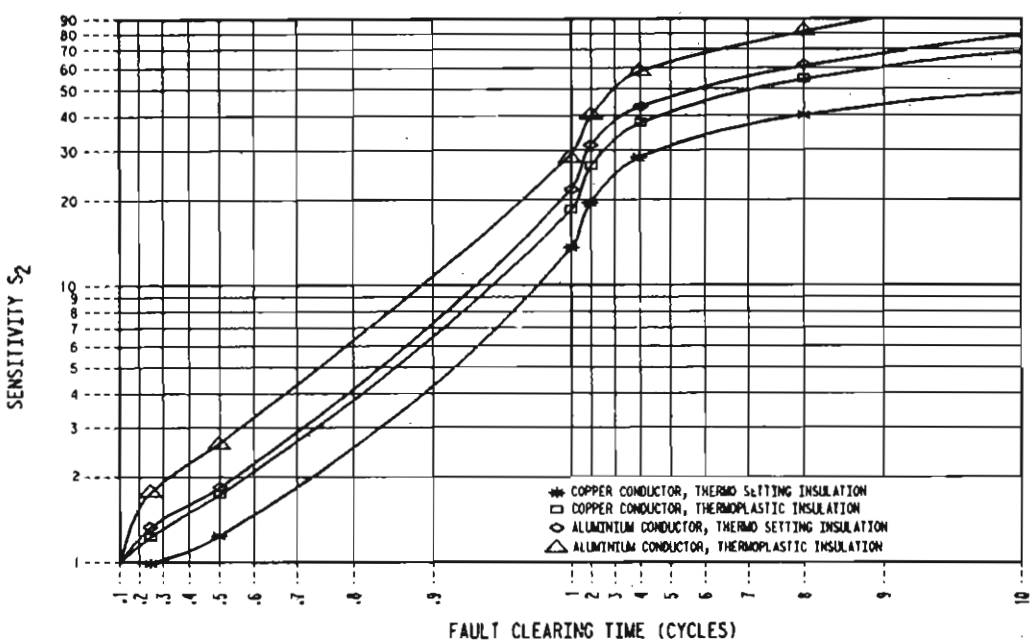


FIG. 3 PLOT OF SENSITIVITY S1 OF VOLTAGE DROP WITH RESPECT TO BUS VOLTAGE

FIG. 4

COMPARISON OF SENSITIVITY S_2 OF CONDUCTOR SIZE WITH FAULT CLEARING TIME FOR COPPER & ALUMINIUM CONDUCTOR



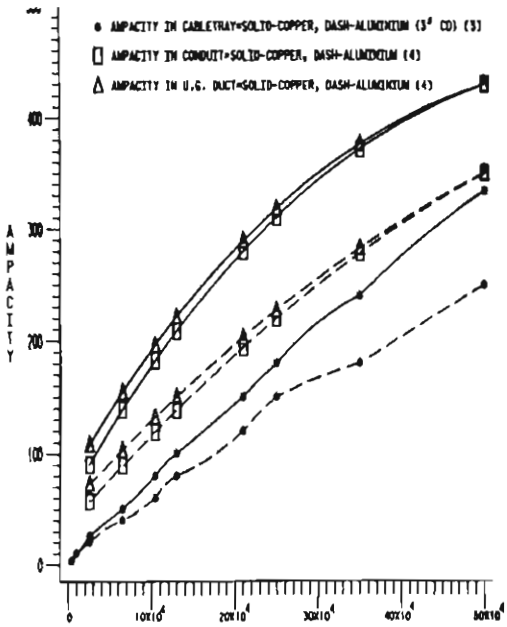


FIG. 5 COMPARISON OF AMPACITIES OF COPPER AND ALUMINIUM CONDUCTOR FOR VARIOUS CONDUCTOR SIZES WITH THERMO SETTING INSULATION (600V, 90°C, 1-3/C CABLE)