



جمهوری اسلامی ایران
وزارت نیرو
پژوهشگاه نیرو

عنوان گزارش: استاندارد طراحی و مهندسی خطوط هوایی

عنوان پروژه: "بررسی، تحقیق و تهیه ضوابط و معیارهای فنی"

کد پروژه: PTRVT02

کارفرما: سازمان توانیر

پژوهشکده انتقال و توزیع نیرو

گروه پژوهشی خط و پست

آبان ماه ۱۳۸۲

پیشگفتار

گزارشات حاضر براساس موافقتنامه ۱۰۱-۸۰-۲۷۳ مورخ ۸۰/۷/۲۲ با موضوع "بررسی، تحقیق و تهیه ضوابط و معیارهای فنی" که مابین شرکت توانیر و پژوهشگاه نیرو منعقد شده است تهیه گردیده است. این گزارشات براساس استانداردهای موجود در زمینه شبکه و تجهیزات توزیع فشار متوسط و فشار ضعیف تدوین شده است. فهرست کلیه گزارشات در جدول صفحه بعد قید شده است.

لیست گزارشات مربوط به پروژه "بررسی، تحقیق و تهیه ضوابط و معیارهای فنی"

گزارشات کلی	رئوس کلی	شبکه‌های توزیع نیروی برق فشار متوسط و ضعیف	تابلوهای فشار ضعیف و متوسط برق	پستهای ۲۰ و ۳۳ کیلوولت هوایی و زمینی	انشعابات برق مشترکین
۱		طراحی خطوط توزیع هوایی	- تابلوهای فشار ضعیف و متوسط	- پستهای هوایی توزیع	- مقررات عمومی و خصوصی انشعابات برق مشترکین
۲		- هادیهای خطوط هوایی توزیع		- کلیات پستهای توزیع ۲۰ و ۳۳ کیلوولت زمینی	- کنتورهای اکتیو
۳		- یراق‌آلات خطوط هوایی		- تاسیسات پستهای ۲۰ و ۳۳ کیلوولت زمینی	- کنتورهای راکتیو
۴		- حریم خطوط هوایی		- معماری و ساختمان پستهای توزیع زمینی	- کنتورهای استاتیکی
۵		- کراس‌آرها و سرتیرهای خطوط توزیع هوایی		- سیستم زمین پستهای توزیع	- فیوزهای فشار ضعیف
۶		- تیرهای فلزی، بتونی و چوبی		- ترانسفورماتورهای توزیع	- کلیدهای اتوماتیک
۷		- مقره‌های توزیع		- کلیدهای قدرت ۲۰ و ۳۳ کیلوولت	- کنتاکتورهای نوع ضعیف
۸		- یراق‌آلات خطوط هوایی		- سکسیونرهای ۲۰ و ۳۳ کیلوولت	- کلیدهای قابل قطع زیربار
۹		- حریم خطوط هوایی		- کابل‌های فشار متوسط و ضعیف	- ترانسفورماتورهای ولتاژ ۲۰ و ۳۳ کیلوولت
۱۰				- کات‌اوت‌های فشار متوسط	- ترانسفورماتورهای جریان ۲۰ و ۳۳ کیلوولت
۱۱				- برقگیرهای فشار متوسط	- یراق‌آلات کابل‌های شبکه‌های توزیع

بخش اول
اصول طراحی و مهندسی

فهرست مطالب

لیست گزارشات

- ۱-هدف ۱
- ۲-دامنه کاربرد ۱
- ۳-تعاریف و اصلاحات ۱
- ۳-۱-ظرفیت جریانی ۱
- ۳-۲-کشش سیم T ۱
- ۳-۳-تنش σ ۱
- ۳-۴-فلش F ۱
- ۳-۵-پارامتر سیم A ۲
- ۳-۶-حداکثر مقاومت کششی ۲
- ۳-۷-ضریب اطمینان سیم N ۲
- ۳-۸-ضریب انبساط خط α ۲
- ۳-۹-اسپین S ۲
- ۳-۱۰-فاصله مجاز هوایی ۲
- ۳-۱۱-اسپین معادل S_{eq} ۲
- ۳-۱۲-اسپین قائم یا وزنی SV ۲
- ۳-۱۳-ضریب کشسانی E ۳
- ۳-۱۴-اسپین بادگیر SW ۳
- ۳-۱۵-اسپین الکتریکی ۳
- ۴-۱-اطلاعات مورد نیاز جهت طراحی خطوط هوایی ۴
- ۴-۱-۱-اطلاعات محیطی ۴
- ۴-۲-اطلاعات الکتریکی ۴
- ۵-معیارهای طراحی خطوط ۵
- ۵-۱-۱-کلیات ۵

۵.....	۲-۵- طراحی خطوط از نظر الکتریکی
۵.....	۱-۲-۵- تعیین افت ولتاژ و توان در خطوط توزیع
۱۱.....	۲-۲-۵- تعیین جریان اتصال کوتاه مجاز سیمهای توزیع
۱۳.....	۳-۲-۵- ظرفیت جریانی هادی
۱۳.....	۴-۲-۵- تعیین ولتاژ خط توزیع
۱۳.....	۳-۳-۵- مراحل انتخاب هادی از لحاظ الکتریکی
۲۰.....	۴-۴-۵- محاسبات مربوط به طراحی مکانیکی
	۱-۴-۵- روابط منحنی سیم، کشش در نقاط مختلف سیم، فلش برای هر اسپین، طول سیم در
۲۰.....	نقاط مختلف
۲۰.....	۱-۱-۴-۵- منحنی سیم و روابط فلش و طول سیم:
۲۳.....	۲-۱-۴-۵- رابطه کشش در سیم:
	۳-۱-۴-۵- روابط فلش و طول سیم برای حالتیکه نقاط نگهدارنده اختلاف ارتفاع داشته
۲۳.....	باشند
۲۴.....	۲-۴-۵- نیروهای وارد بر سیم و پایه:
۲۴.....	۱-۲-۴-۵- نیروهای وارد بر سیم
۲۴.....	۱-۱-۲-۴-۵- نیروی وزن سیم (برای طول یک متر)
۲۴.....	۲-۱-۲-۴-۵- نیروی وزن یخ روی سیم (برای طول یک متر)
۲۵.....	۳-۱-۲-۴-۵- نیروی باد (برای طول یک متر)
۲۶.....	۲-۲-۴-۵- نیروهای وارد بر پایه
۲۶.....	۱-۲-۲-۴-۵- مؤلفه قائم و افقی برآیند نیروهای کشش سیم در دو طرف
۲۶.....	۲-۲-۲-۴-۵- نیروی ناشی از باد روی سیم و مقره و پایه
۲۹.....	۳-۲-۲-۴-۵- محاسبه نیروی Uplift
۳۰.....	۳-۴-۵- معادله تغییر وضعیت
۳۰.....	۱-۳-۴-۵- تعریف معادله تغییر وضعیت
۳۰.....	۲-۳-۴-۵- هدف از معادله تغییر وضعیت
۳۱.....	۳-۳-۴-۵- رابطه معادله تغییر وضعیت

- ۳۳.....۴-۳-۴-۵- پیری سیم و اثرات آن در معادله تغییر وضعیت.
- ۳۳.....۵-۵- تعیین اسپین معادل طراحی و اسپنهای کاربردی، نوع و ارتفاع پایه‌ها و مشخصات خط در زمان اجرا.
- ۳۳.....۱-۵-۵- تعیین اسپین معادل طراحی برای یک سکشن.
- ۳۳.....۱-۱-۵-۵- تعیین سخت‌ترین شرایط:
- ۳۴.....۲-۱-۵-۵- تهیه جدول مقایسه.
- ۳۴.....۳-۱-۵-۵- تعیین فواصل مجاز.
- ۳۵.....۴-۱-۵-۵- تعیین ارتفاع پایه‌ها در جدول مقایسه:
- ۳۵.....۵-۱-۵-۵- برآورد اقتصادی و انتخاب نهایی اسپین.
- ۳۶.....۶-۱-۵-۵- در صورت مشخص بودن ارتفاع تیر.
- ۳۶.....۲-۵-۵- شرایط محدودکننده برای تعیین طول دقیق اسپین‌ها، تعیین محل پایه‌ها روی پروفیل و منحنی‌های کاربردی.
- ۳۶.....۱-۲-۵-۵- حداکثر اسپین وزنی.
- ۳۷.....۲-۲-۵-۵- حداکثر اسپین بادگیر.
- ۳۷.....۳-۲-۵-۵- حداکثر میزان انحراف زنجیره مقرر.
- ۳۸.....۴-۲-۵-۵- رسم منحنی کاربردی.
- ۴۰.....۵-۲-۵-۵- حداکثر اسپین الکتریکی.
- ۴۰.....۶-۲-۵-۵- نیروی بالا برنده.
- ۴۱.....۳-۵-۵- جداول نصب و منحنی‌های نصب.
- ۴۱.....۴-۵-۵- پایه‌گذاری روی پروفیل.
- ۴۱.....۱-۴-۵-۵- تهیه تمپلت:
- ۴۲.....۱-۱-۴-۵-۵- منحنی گرم.
- ۴۲.....۲-۱-۴-۵-۵- منحنی فاصله لازم سیم تا زمین.
- ۴۲.....۳-۱-۴-۵-۵- منحنی سرد.
- ۴۲.....۴-۱-۴-۵-۵- منحنی معمولی.
- ۴۲.....۲-۴-۵-۵- کنترل‌های پس از پایه‌گذاری روی پروفیل.

۴۳.....	۵-۵-۴-۱-۵- منحنی محل پایه استاندارد
۴۴.....	۵-۵-۴-۳- نحوه پایه گذاری روی پروفیل
۴۵.....	۵-۶-۶- مهار و انواع آن
۴۵.....	۵-۶-۱- موارد کاربرد
۴۵.....	۵-۶-۲- محاسبه نیروی کشش مهار
۴۷.....	۵-۶-۳- انواع مهار
۴۷.....	۵-۶-۳-۱- مهار ساده یا معمولی
۴۷.....	۵-۶-۳-۲- مهار اسپن (تیر به تیر)
۴۸.....	۵-۶-۳-۳- مهار پیاده روی (زانویی)
۴۸.....	۵-۶-۳-۴- مهار مرکب
۴۸.....	۵-۶-۳-۵- مهار سر
۴۹.....	۵-۶-۴- مشخصات سیم های مهار
۴۹.....	۵-۷-۷- فواصل مجاز خطوط هوایی
۴۹.....	۵-۷-۱- محاسبه فاصله هوایی
۵۰.....	۵-۷-۲- جداول کاربردی
۵۰.....	۵-۷-۲-۱- فاصله هوایی مجاز از تاسیسات
۵۰.....	۵-۷-۲-۲- فاصله هوایی مجاز تجهیزات خطوط از تاسیسات
۵۰.....	۵-۷-۲-۳- فاصله قائم مجاز هادی از کف
۵۱.....	۵-۷-۲-۴- فاصله قائم مجاز تجهیزات
۵۱.....	۵-۷-۳- شرایط کاربرد جداول
۵۱.....	۵-۸-۸- مثال کاربردی
۵۱.....	۵-۸-۱- مثال کاربردی طراحی مکانیکی
۵۴.....	۵-۸-۲- مثال کاربردی طراحی الکتریکی
۵۶.....	مراجع

فهرست اشکال

- شکل (۱-۵): منحنی تغییرات درصد افت ولتاژ با تغییرات حاصلضرب مسافت در توان (ولتاژ = $33KV$ ، کراس آرم ۲ متری، پایه ۱۲ متری، $Cos\phi = 0.9$) ۷
- شکل (۲-۵): منحنی تغییرات درصد افت ولتاژ با تغییرات حاصلضرب مسافت در توان (ولتاژ = $20KV$ ، کراس آرم $1/5$ متری، پایه ۱۲ متری، $Cos\phi = 0.9$) ۸
- شکل (۳-۵): منحنی تغییرات درصد افت توان با تغییرات حاصلضرب مسافت در توان (ولتاژ = $20KV$ ، کراس آرم $1/5$ متری، پایه ۱۲ متری، $Cos\phi = 0.9$) ۹
- شکل (۴-۵): تغییرات درصد افت توان با تغییرات حاصل ضرب مسافت در توان (ولتاژ = $33KV$ ، کراس آرم ۲ متری، $Cos\phi = 0.9$) ۱۰
- شکل (۵-۵): حداکثر جریان اتصال کوتاه مجاز سیمهای ACSR توزیع بر حسب زمان عبور این جریان ($T_n = 70^\circ C$ و $T_{max} = 180^\circ C$) ۱۲
- شکل (۶-۵): منحنی تغییرات جریان مجاز هادی فاکس نسبت به تغییرات دمای محیط ۱۷
- شکل (۷-۵): منحنی تغییرات جریان مجاز هادی مینک نسبت به تغییرات دمای محیط ۱۸
- شکل (۸-۵): توان تشعشعی در واحد سطح بر حسب قطر هادی ۱۹
- شکل (۹-۵): توان انتقال یافته از طریق جابجایی در واحد سطح (Cm^2) ۱۹
- شکل ۱۰-۵: منحنی سیم ۲۱
- شکل (۱۱-۵): منحنی تغییر فلش با تغییر اسپن در یک سکشن در دماهای مختلف (اسپن معادل = 70 متر، پارامتر سیم = 900 ، نوع منطقه = سبک و متوسط) ۲۲
- شکل (۱۲-۵): منحنی سیم در حالتی که پایه‌ها هم ارتفاع نیستند ۲۳
- شکل (۱۳-۵): سطح مقطع سیم به همراه پوشش یخ ۲۴
- شکل (۱۴-۵): قرار گرفتن طول سیم در مقابل باد ۲۵
- شکل (۱۵-۵): مؤلفه افقی برآیند نیروهای کشش سیم ۲۶
- شکل (۱۶-۵): فواصل مختلف روی پایه ۲۸
- شکل (۱۷-۵): محاسبه زاویه انحراف مقرر ۲۸
- شکل (۱۸-۵): نیروی بالا برنده ۳۰

- شکل (۱۹-۵) منحنی تغییر کشش با تغییر دما در یک سکشن مشخص (اسپن معادل = ۷۰ متر، پارامتر سیم = ۹۰۰، نوع منطقه سبک و متوسط..... ۳۲.....
- شکل (۲۰-۵): نمونه منحنی کاربردی برج آویزی ۳ درجه ۳۹.....
- شکل (۲۱-۵): یک نمونه از پروفیل به همراه منحنی‌های مربوطه..... ۴۳.....
- شکل (۲۲-۵): مهار ساده..... ۴۶.....
- شکل (۲۳-۵): مهار اسپن (تیر به تیر) ۴۷.....
- شکل (۲۴-۵): مهار پیاده‌روی یا زانویی ۴۸.....
- شکل (۲۴-۵): مهار سر ۴۹.....

فهرست جداول

جدول (۱-۵): مقدار ضریب K برای سطوح مختلف.....	۲۷
جدول (۲-۵): جدول مقایسه	۳۵
جدول (۳-۵): مقدار ضریب K_E با توجه به سطح مقطع و جنس هادیها و موقعیت فازها.....	۴۰
جدول (۴-۵): مشخصات سیم‌های مهار.....	۴۹
جدول (۵-۵): جدول مقایسه	۵۲

فهرست مطالب

۱- هدف

هدف از تدوین این گزارش تعیین اصول طراحی و مهندسی خطوط هوایی فشار متوسط و ضعیف می‌باشد.

۲- دامنه کاربرد

در این استاندارد نحوه محاسبات مکانیکی و الکتریکی خطوط توزیع هوایی بیان شده است.

۳- تعاریف و اصلاحات

۳-۱- ظرفیت جریانی

میزان حداکثر جریان مجاز عبوری از یک هادی را ظرفیت جریانی هادی گویند.

۳-۲- کشش سیم [T]

در هر نقطه از سیم نیرویی که در امتداد محور سیم بر آن نقطه وارد می‌شود کشش در آن نقطه نامیده می‌شود. به عبارت دیگر اگر سیم در نقطه‌ای پاره شود نیرویی که لازم است به آن نقطه اعمال شود تا سیم در حالت قبلی بایستد کشش در آن نقطه نامیده می‌شود. کشش در پایین‌ترین نقطه سیم افقی است و با H نشان داده می‌شود.

۳-۳- تنش [σ]

در هر نقطه از سیم نسبت کشش سیم به سطح مقطع را تنش در آن نقطه گویند.

۳-۴- فلش [f]

بیشترین فاصله قائم بین سیم و خط راست واصل نقاط اتصال سیم به پایه (دو پایه متوالی) را فلش یا شکم سیم می‌گویند. این بیشترین فاصله همواره (در پایه‌های هم ارتفاع و یا غیر هم ارتفاع) در نقطه وسط دو پایه حاصل می‌شود.

۳-۵- پارامتر سیم [a]

نسبت کشش افقی به وزن واحد طول سیم را پارامتر سیم گویند.

۳-۶- حداکثر مقاومت کششی^۱

مقدار نیرویی است که باید به سیم وارد شود تا سیم در آستانه پاره شدن قرار گیرد.

۳-۷- ضریب اطمینان سیم [n]

عددی است که با توجه به اهمیت خط برای آن در نظر گرفته می‌شود و برابر است با نسبت حداکثر مقاومت کشش سیم به حداکثر نیروی موجود وارد بر سیم. برای خطوط توزیع، بین مقادیر ۱/۸ تا ۲/۵ مناسب است.

۳-۸- ضریب انبساط خط [α]

نسبت تغییر طول نسبی سیم ناشی از حرارت به تغییر درجه حرارت را ضریب انبساط خطی آن سیم گویند.

۳-۹- اسپن [S]

فاصله افقی دو پایه مجاور را اسپن می‌نامند.

۳-۱۰- فاصله مجاز هوایی

حداقل فاصله لازم بین هادیها و تجهیزات خطوط از سطح زمین و تأسیسات اطراف خط را گویند.

۳-۱۱- اسپن معادل [S_{eq}]

اسپنی است که در یک سکشن با توجه به طول اسپنهای آن سکشن محاسبه می‌شود. مقدار اسپن معادل از رابطه روبرو محاسبه می‌شود:

^۱- Ultimate Tensile Strenght (UTS)

S_n : طول اسپن n ام

$$S_{eq} = \sqrt{\frac{\sum_{n=1}^n S_n^3}{\sum_{n=1}^n S_n}} \quad (1-3)$$

n : تعداد اسپن سگشن مورد نظر

۳-۱۲-۱۲-۳- اسپن قائم یا وزنی [Sv]

عبارت است از فاصله افقی بین دو نقطه مینیمم سیم در طرفین یک پایه. نیروی وارد بر پایه‌ها از حاصلضرب اسپن وزنی در وزن واحد طول به دست می‌آید. چون هر پایه‌ای نیروی قائم را تا حد خاصی می‌تواند تحمل کند، لذا هنگام انتخاب پایه‌ها و فاصله بین آنها از این اسپن استفاده می‌شود.

۳-۱۳-۱۳-۳- ضریب کشسانی [E]

فلزات اگر تحت نیروی کشش قرار گیرند، تغییر طول پیدا می‌کنند. تا یک نقطه مشخص (نقطه تسلیم) تغییرات طول فلز الاستیک بوده و نسبت به نیرو خطی است. در این محدوده نسبت تغییر تنش وارد بر سیم به تغییر طول نسبی سیم را ضریب کشسانی گویند.

۳-۱۴-۱۴-۳- اسپن بادگیر [Sw]

فاصله افقی بین نقاط وسط دو اسپن مجاور را اسپن افقی یا بادگیر می‌نامند. از این اسپن در محاسبه نیروی افقی وارد بر پایه استفاده می‌شود زیرا نیروی افقی ناشی از باد بر روی سیم، حاصلضرب اسپن بادگیر در نیروی باد وارد بر واحد طول سیم است.

۳-۱۵-۱۵-۳- اسپن الکتریکی

از نظر شرایط الکتریکی برای فلش در یک اسپن یک مقدار حداکثر تعیین می‌شود و چون افزایش اسپن با افزایش فلش همراه است، از نظر الکتریکی یک مقدار حداکثر برای اسپن وجود دارد. این اسپن، اسپن الکتریکی نامیده می‌شود.

فهرست مطالب

۱-۴- اطلاعات مورد نیاز جهت طراحی خطوط هوایی

۱-۱-۴- اطلاعات محیطی

جهت طراحی خطوط هوایی باید شرایط بارگذاری و محیطی به شرح زیر مشخص باشند:

- حداکثر درجه حرارت
- حداکثر درجه حرارت سالیانه و روزانه محیط
- حداقل درجه حرارت محیط
- سرعت باد
- ضخامت یخ
- میزان و نوع آلودگی
- شرایط EDS
- ارتفاع از سطح دریا

۲-۴- اطلاعات الکتریکی

- ولتاژ نامی سیستم
- حداکثر ولتاژ سیستم
- فرکانس نامی
- سطح اتصال کوتاه شبکه
- حداکثر جریان شبکه

فهرست مطالب

۵- معیارهای طراحی خطوط

۵-۱- کلیات

برای طراحی و انتخاب یک خط توزیع باید معیارهایی را از نقطه نظر الکتریکی و مکانیکی تعیین نمود که عبارتند از:

الف- معیارهای الکتریکی

- تعیین حداکثر افت ولتاژ
- انتخاب نوع هادی
- تعیین سطح اتصال کوتاه خط
- ظرفیت جریان دهی هادی

ب - معیارهای مکانیکی

- فلش هادی
- اسپین وزنی و معادل
- نیروی کشش هادی
- ارتفاع پایه
- قدرت پایه
- اسپین باد
- ضریب اطمینان

۵-۲- طراحی خطوط از نظر الکتریکی

۵-۲-۱- تعیین افت ولتاژ و توان در خطوط توزیع

از عوامل مهم تعیین نوع هادی مقدار افت ولتاژ آن می باشد. رابطه بین درصد افت ولتاژ و درصد تلفات بر حسب کیلووات برای یک سیستم سه فاز با طول واحد و بار متمرکز در انتهای خط بصورت زیر می باشد:

$$\text{درصد افت ولتاژ} = \frac{\sqrt{3}LI(R \cos \theta + X_L \sin \theta)}{V} \times 100 \quad (۱-۵)$$

$$\text{درصد افت توان} = \frac{SRL}{|V|^2 \cos \theta} \times 100 \quad (2-5)$$

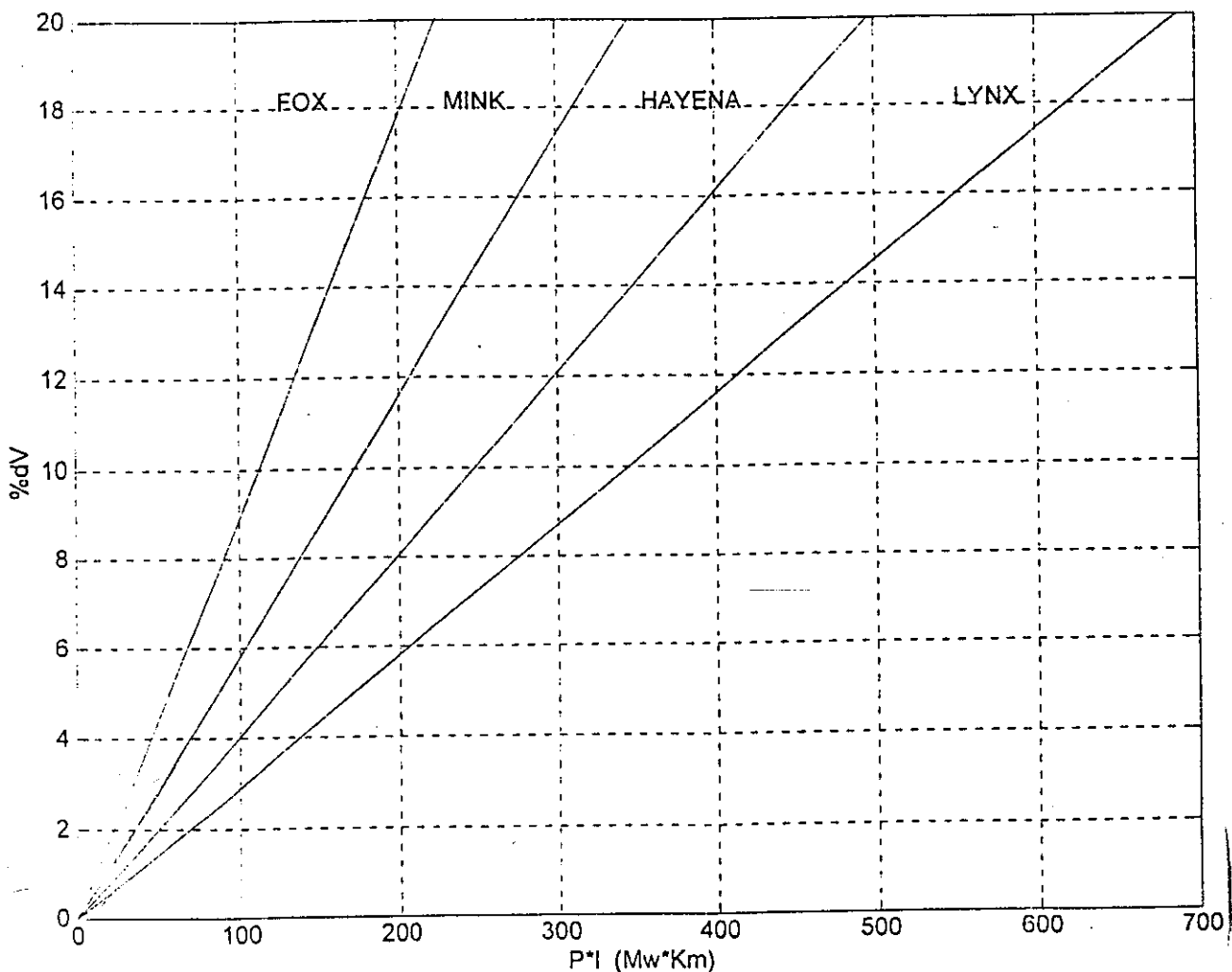
m	L : طول خط
Ω/m	R : مقاومت هادی
Ω/m	X : راکتانس هادی
	θ : زاویه ضریب توان
VA	S : توان ظاهری بار
V	V : ولتاژ بار بر حسب
A	I : جریان بار

مقدار درصد افت و ولتاژ و افت توان نباید از مقدار خواسته شده برای یک شبکه توزیع بیشتر باشد. با توجه به اینکه توان انتقالی برای یک خط توزیع مشخص می‌باشد و همچنین طول خط توزیع هم داده می‌شود طبق منحنی‌های (۱-۵) تا (۴-۵) میتوان مقدار در صد افت توان و در صد افت ولتاژ را برای هر نوع هادی مورد بررسی و مقایسه قرارداد و یک هادی با کمترین افت را انتخاب کرد. برای این کار می‌توان از منحنی‌هایی استفاده کرد که درصد افت ولتاژ بر حسب حاصلضرب توان در فاصله بیان می‌کنند. این منحنی‌ها این حقیقت را بیان می‌کنند که درصد افت ولتاژ به حاصلضرب توان انتقالی و فاصله وابسته است. مثلاً درصد افت ولتاژ یک خط ۱۰ کیلومتری که ۲۰ مگاوات توان را منتقل می‌کند با یک خط ۲۰ کیلومتری با ۱۰ مگاوات انتقال توان برابری می‌کند. طرز استفاده از منحنی‌های (۱-۵) تا (۲-۵) به این ترتیب است که با توجه به درصد افت ولتاژ مجاز و حاصلضرب توان نامی در طول خط، یک هادی را که درصد افت ولتاژ آن زیر مقدار مجاز است انتخاب می‌کنیم. در استفاده از این منحنی‌ها باید به این نکته توجه کرد که برای ولتاژهای نامی مختلف، منحنی‌های مختلفی وجود دارد و منحنی که استفاده می‌کنیم باید برای ولتاژ مورد نظر تنظیم شده باشند.

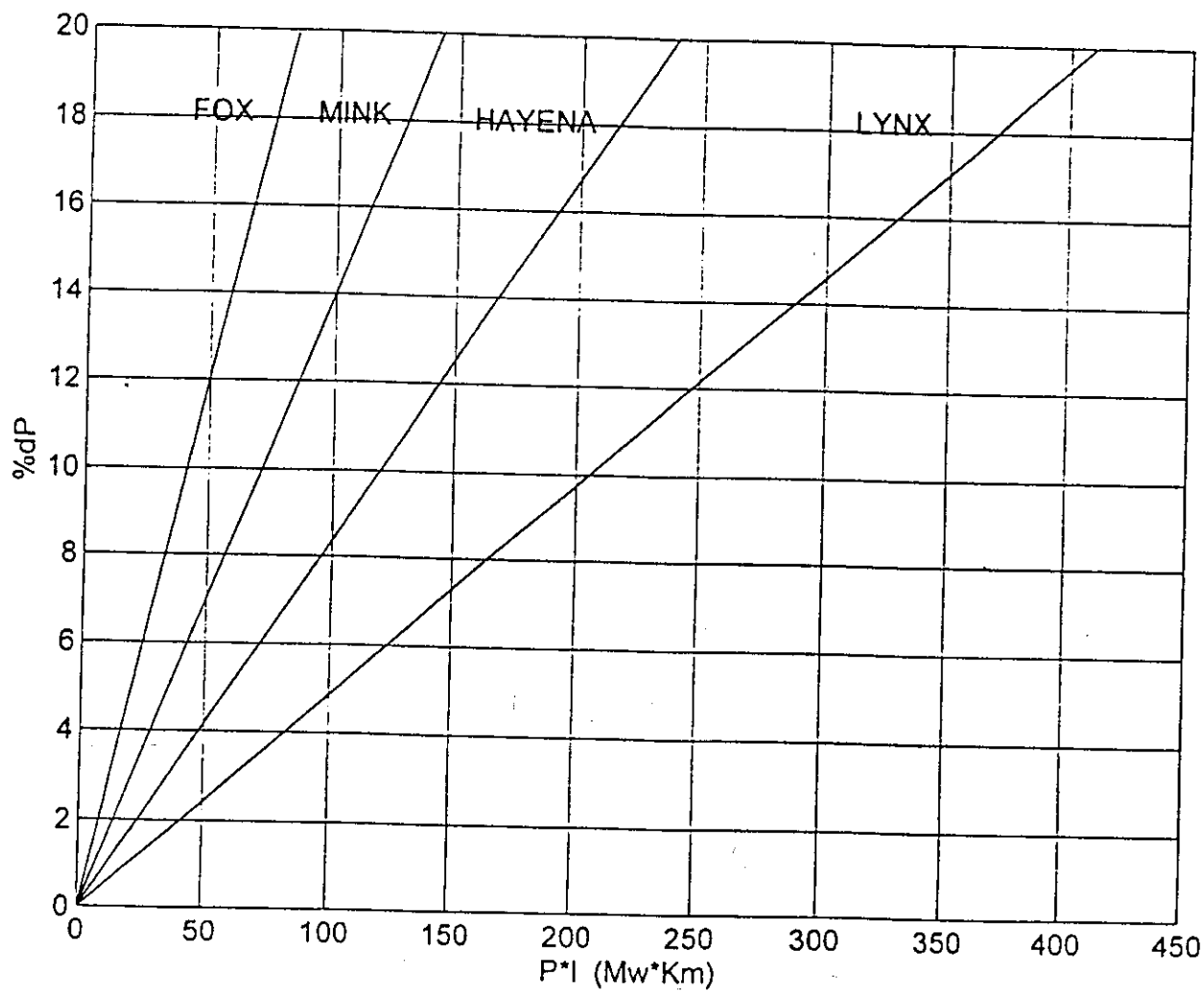
برای مثال یک خط انتقال ۳۳ کیلوولتی و ۱۰ مگاواتی به طول ۱۰۰ کیلومتر را در نظر بگیرید که حداکثر افت ولتاژ مجاز آن ۵ درصد است. از جدول مربوط به ۳۳ کیلوولت در می‌یابیم که هادی‌های نوع مینک و فاکس مناسب نمی‌باشند زیرا افت ولتاژ آن بیش از ۵ درصد است و باید از یکی از هادی‌های لینکس و هاینا استفاده کنیم.

این نمودارها با توجه به نوع هادی‌ها رسم شده‌اند. برای رسم این نمودارها R و X هادی مورد نظر را از جدول ارائه شده در این استاندارد استخراج کرده و با استفاده از رابطه درصد افت ولتاژ و $\cos\theta = 0.9$ محاسبه شده‌اند.

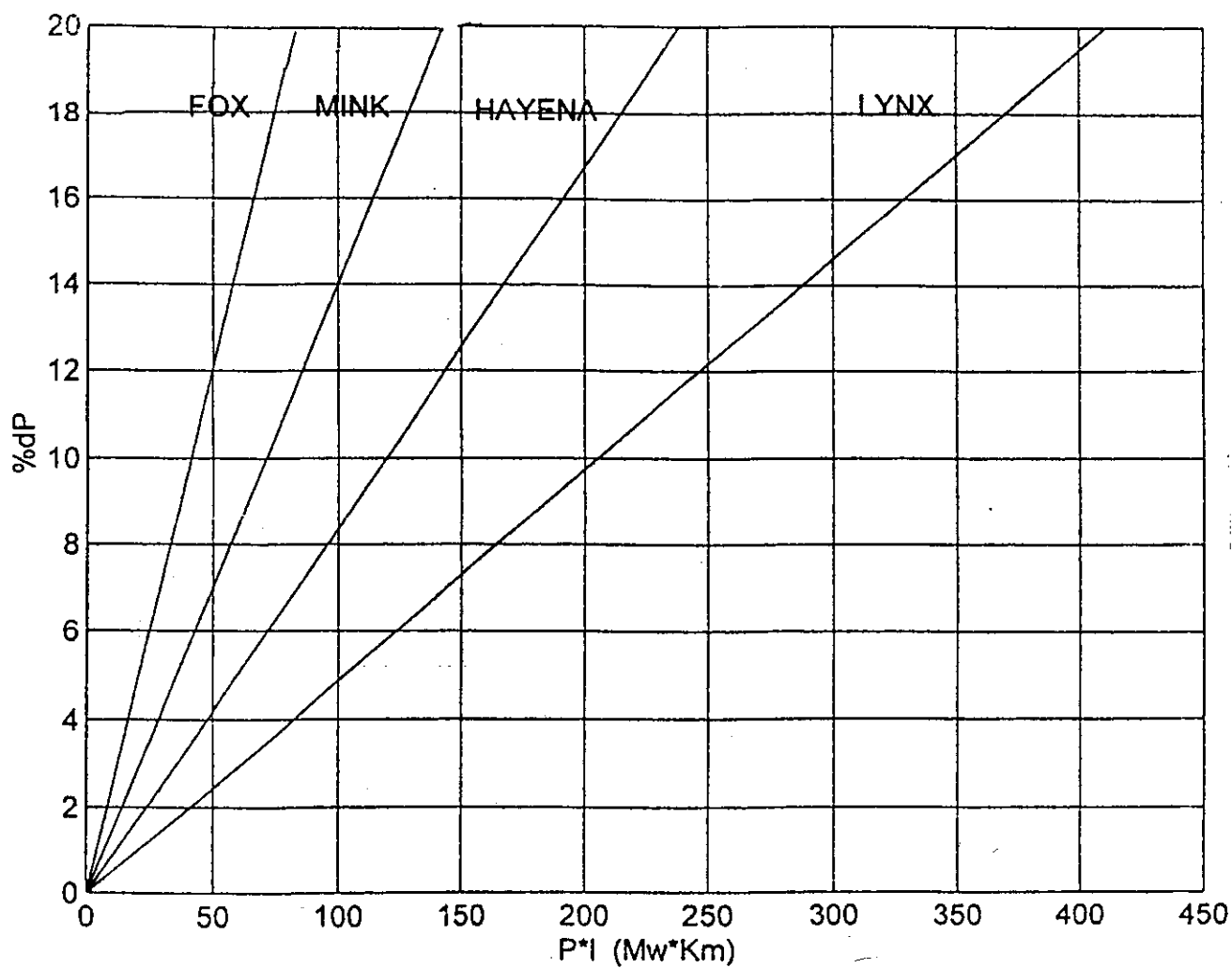
می‌توان به جای استفاده از رابطه درصد افت توان از نمودار آن برای بررسی مقدار افت توان هادی‌های مختلف استفاده کرد. نمودارهای (۳-۵) و (۴-۵) یک نمونه از این نوع نمودارها است که افت توان را برحسب حاصلضرب توان نامی در فاصله بیان کرده است.



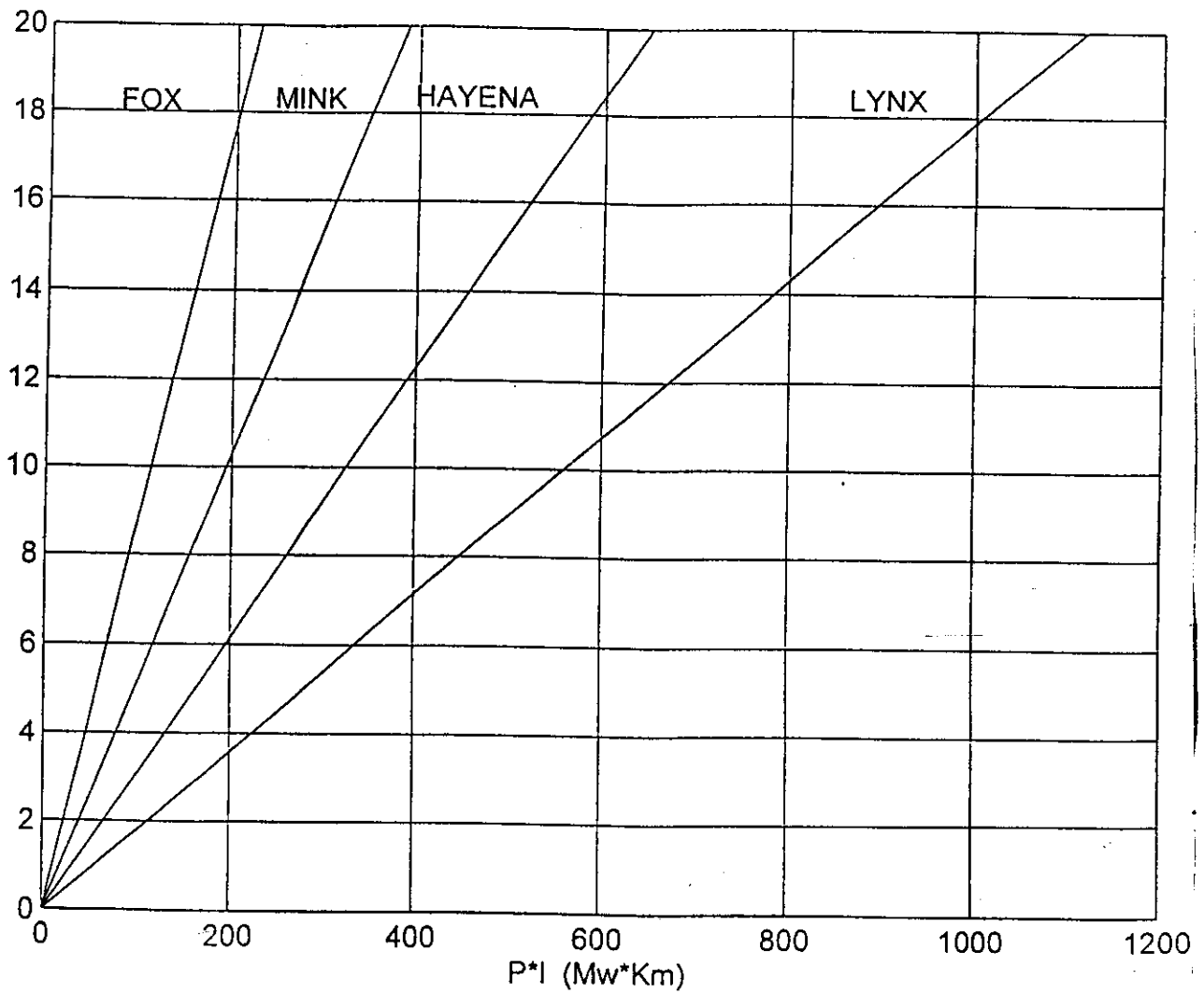
شکل (۱-۵): منحنی تغییرات درصد افت ولتاژ با تغییرات حاصلضرب مسافت در توان (ولتاژ = ۳۳kV، کراس آرم ۲ متری، پایه ۱۲ متری، $\cos\phi = 0.9$)



شکل (۲-۵): منحنی تغییرات درصد افت ولتاژ با تغییرات حاصلضرب مسافت در توان (ولتاژ = ۲۰ kV، کراس آرم ۱/۵ متری، پایه ۱۲ متری، $\cos\phi = 0.9$)



شکل (۳-۵): منحنی تغییرات درصد افت توان با تغییرات حاصلضرب مسافت در توان (ولتاژ = ۲۰kV، کراس آرم ۱/۵ متری، پایه ۱۲ متری، $\cos\phi = 0.9$)



شکل (۴-۵): تغییرات درصد افت توان با تغییرات حاصل ضرب مسافت در توان (ولتاژ=۳۳kV، کراس آرم ۲ متری، $\cos\phi = 0.9$)

۵-۲-۲- تعیین جریان اتصال کوتاه مجاز سیمهای توزیع

جریان اتصال کوتاه مجاز سیمهای استاندارد شده خطوط توزیع (مسی و ACSR) بر حسب زمان عبور این جریان در شکل (۴-۵) رسم شده است. در رسم این نمودار برای هادی از یک جنس از رابطه زیر استفاده شده است:

$$I = \sqrt{4.184 \times \frac{A^2 W C}{\alpha \rho_{T_n} \times t \times 10^6} A_n [1 + \alpha (T_{\max} - T_n)]} \quad (3-5)$$

و برای هادی ACSR از دو نوع جنس فولاد و آلومینیوم از رابطه زیر استفاده می‌شود:

$$I = \sqrt{4.184 \times \frac{A^2 W^2 C_1 + A_1 A_2 W_2 C_2}{t \times 10^6 \times \alpha_1 \times \rho_{T_n}} \times \sqrt{\ln(1 + a_1 (T_{\max} - T_n))}} \quad (4-5)$$

اندیس ۱ مربوط به آلومینیوم و اندیس ۲ مربوط به فولاد است.

در روابط فوق:

I : حداکثر جریان اتصال کوتاه بر حسب KA

t : زمان عبور جریان اتصال کوتاه بر حسب ثانیه

A : سطح مقطع هادی بر حسب ثانیه

W : چگالی وزنی بر حسب گرم بر سانتی متر مکعب

α : ضریب حرارتی ویژه بر حسب کالری بر گرم درجه سانتیگراد

ρ_{T_n} : مقاومت ویژه در دمای T_n $\left[\frac{\Omega \cdot mm^2}{m} \right]$

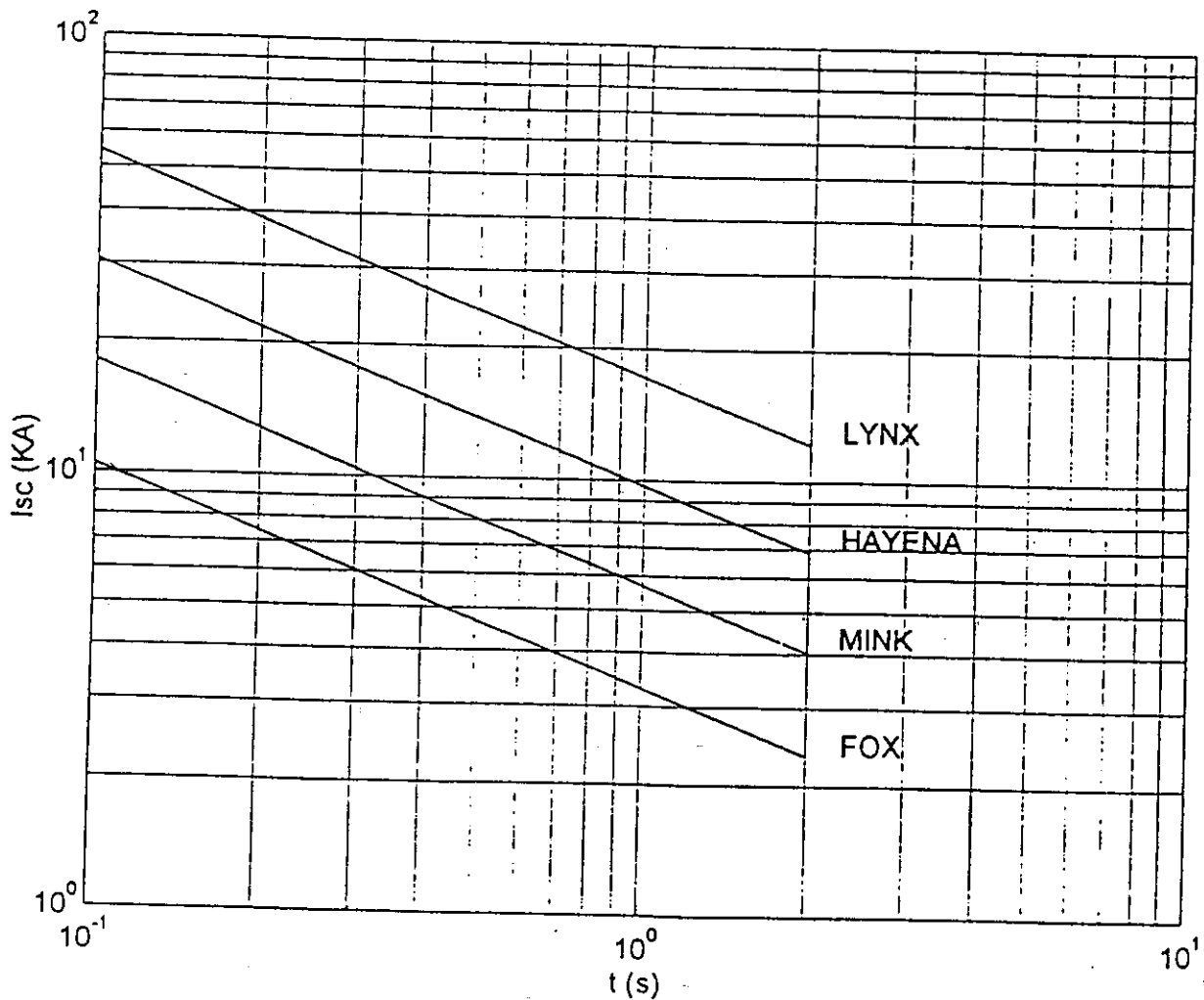
T_n : دمای اولیه هادی بر حسب درجه سانتیگراد

T_{\max} : دمای ماکزیمم بر حسب درجه سانتیگراد

C: ضریب حرارتی ویژه (cal/gr^oC)

با توجه به سطح اتصال کوتاه داده شده و زمانی که لازم است هادی این مقدار جریان را تحمل کند تا وسایل حفاظتی مثل فیوزها و مدارشکن‌ها عمل کنند، نوع هادی موردنظر را میتوان بدست آورد. برای

مثال در صورتیکه سطح اتصال کوتاه ۱۰ کیلوآمپر در زمان ۰/۵ ثانیه موردنظر باشد، هادی‌های مینک و فاکس غیر قابل قبول می‌باشند، چون دارای سطح اتصال کوتاهی کمتر از مقدار ۱۰ کیلوآمپر در ۰/۵ ثانیه هستند.



شکل (۵-۵): حداکثر جریان اتصال کوتاه مجاز سیمهای ACSR توزیع بر حسب زمان عبور این جریان ($T_n = 70^\circ C$) و ($T_{max} = 180^\circ C$)

۵-۲-۳- ظرفیت جریانی هادی

ظرفیت جریانی هر هادی با توجه به حداکثر دمای مجاز هادی، فشار هوا، سرعت باد، مقاومت و قطر هادی مشخص میشود که این شرایط را با توجه به شرایط محیطی خط مشخص می‌کنیم. البته باید بدترین حالت ممکن یعنی همزمانی بدترین شرایط را در هنگام طراحی مد نظر داشته باشیم. نمودارهای دمای محیط بر حسب جریان دهی برای هادی ACSR با توجه به مقدار فشار هوای ۰/۹۵ اتمسفر و سرعت باد ۶۰ سانتی متر بر ثانیه در شکل‌های (۵-۶) و (۵-۷) رسم شده‌اند.

۵-۲-۴- تعیین ولتاژ خط توزیع

تعیین ولتاژ یک خط توزیع با توجه به توان انتقالی و طول خط مشخص می‌شود. همچنین برای تعیین ولتاژ یک خط توزیع باید به استانداردهای کشور مربوطه مراجعه نمود و سطح ولتاژ مشخص شده در آن استاندارد را استخراج کرد. برای تعیین ولتاژ و نوع هادی، یک هماهنگی بین بندهای ۵-۲-۱ و ۵-۲-۲ و ۵-۲-۳ باید ایجاد شود که ولتاژ و هادی انتخاب شده تمامی شرایط این سه بند را فراهم آورد.

۵-۳- مراحل انتخاب هادی از لحاظ الکتریکی

تعیین ولتاژ و نوع هادی شامل ۳ مرحله است:

گام ۱:

در ابتدا با توجه به منحنی درصد افت ولتاژ بر حسب حاصلضرب توان در فاصله، تمام هادی‌هایی که افت ولتاژی زیر مقدار مجاز دارند به دست می‌آوریم. در استفاده از این منحنی به این نکته باید توجه کرد که در صورتی که توان نامی خط بر حسب KVA داده شده باشد، باید با ضرب این عدد در ضریب توان داده شده در اطلاعات طراحی، توان نامی خط را بر حسب کیلووات بدست آوریم و سپس آن را در طول خط ضرب کنیم.

گام ۲:

مقدار جریان اتصال کوتاه و زمان آن در اطلاعات طراحی آورده شده است. با استفاده از منحنی‌های اشاره شده در قسمت ۵-۲-۲ از بین هادی‌های انتخاب شده در قسمت اول، آنهایی را که شرایط خواسته شده از نظر سطح اتصال کوتاه و زمان آن برآورده می‌کنند، مشخص می‌کنیم.

گام ۳:

ظرفیت جریان هادی‌های انتخاب شده در گام دوم را مشخص می‌کنیم و آن را با ماکزیمم جریان بار مقایسه می‌کنیم. در بدست آوردن ظرفیت جریانی هادی از قانون تعادل گرمایی استفاده می‌شود. یعنی مجموع گرماهای تولید شده در خط باید برابر مجموع گرماهای خارج شده از خط باشد تا دمای خط از حد مجاز بیشتر نشود. انرژی گرمایی تولید شده در خط ناشی از دو منبع تلفات اهمی، تابش خورشید و دمای محیط بیرون است و این انرژی گرمایی از دو طریق می‌تواند دفع شود:

یکی از طریق تشعشع و دوم از طریق اثر جابجایی.

توضیحات بالا را در قالب روابط ریاضی زیر می‌توان بیان کرد:

$$I^2 R + 10^5 W_s = 10^5 (W_c + W_r) A \quad (5-5)$$

A: سطح مقطع هادی بر حسب cm^2

W_r : توان حرارتی دفع شده به صورت تشعشعی بر حسب (W/cm^2)

W_c : توان حرارتی خارج شده در واحد سطح در اثر جابجایی (W/cm^2)

W_s : توان جذب شده از تابش خورشید بر حسب (W/cm)

R: مقاومت واحد طول هادی (Ω/km)

I: جریان هادی (آمپر)

W_r و W_c و W_s را از روابط زیر می‌توان مشخص کرد:

$$W_s = \alpha S d \quad (6-5)$$

d: قطر هادی (cm)

α : ضریب جذب انرژی خورشیدی $0.7 < \alpha < 1$

این ضریب بستگی به شرایط سطحی هادی دارد و مقدار آن برای:

- هادی نو (با سطح شفاف و بدون آلودگی سطحی) برابر ۰/۶

- هادی کاملاً کهنه (با رنگ سیاه و آلودگی سطحی کامل) برابر یک می‌باشد.

- مقدار این ضریب برای خطوط معمولی برابر ۰/۷ و برای خطوط قدیمی ۰/۹ در نظر گرفته می‌شود.

S: انرژی بر واحد سطح (W/cm^2) ($0.084 < S < 0.118$)

$$W_r = 5.704 \times E \left[\left(\frac{T_c}{1000} \right)^4 - \left(\frac{T_a}{1000} \right)^4 \right] \quad (7-5)$$

مقدار این توان بستگی به زاویه تابش و زاویه سمت خورشید و همچنین عرض جغرافیایی محل نصب خط توزیع دارد. مقدار آن بین ۰/۰۸۴ تا ۰/۱۱۸ (وات بر سانتیمتر مربع) متغیر است و بیشترین مقدار آن در مناطق جنوبی ایران برابر با ۰/۱۰۲ وات بر سانتیمتر مربع در نظر گرفته می‌شود.

E: ضریب تشعشع. معمولاً ۰/۸ در نظر گرفته می‌شود.

T_c : دمای هادی (بر حسب کلوین)

T_a : دمای محیط (بر حسب کلوین)

شکل (۸-۵) نمودار توان تشعشعی در واحد سطح را بر حسب قطر هادی نشان می‌دهد. در این محاسبات دمای هادی ۷۵ درجه سانتیگراد در نظر گرفته شده است و دمای محیط از صفر تا ۶۰ درجه با پله‌های ۵ درجه تغییر کرده است.

W_c به چند روش محاسبه می‌شود. در اینجا رابطه Frich & Schuring توضیح داده می‌شود. شکل رابطه بصورت زیر است:

$$W_c = \frac{5.27 \times 10^{-4}}{T_{av}^{0.123}} \sqrt{\frac{PV}{d}} \Delta t \quad [W/Cm^2] \quad (8-5)$$

P: فشار جو بر حسب اتمسفر

V: سرعت باد بر حسب سانتیمتر بر ثانیه

d: قطر هادی

Δt : تغییرات دما ($T_c - T_a$)

T_{av} : میانگین دمای محیط و هادی برحسب کلونین

$$T_{av} = \frac{T_{\alpha} + T_c}{2} \quad (9-5)$$

شکل (۹-۵) نمودار توان خارج شده بر اثر جابجایی، برحسب قطر هادی را نشان می‌دهد. برای استفاده از رابطه فوق در ابتدا جریان نامی هادی را از رابطه $I_L = \frac{S}{\sqrt{3}V}$ محاسبه کرده و سپس آن را با مقدار جریان بدست آمده از رابطه تعادل توان مقایسه می‌کنیم.

از دیگر روشهایی که برای محاسبه جریان مجاز هادی استفاده می‌شود موارد زیر را می‌توان نام برد:

۱- D. R. Schuring & C.W. Frick

۲- A. webs که توسط استاندارد DIN/VDE پیشنهاد شده است.

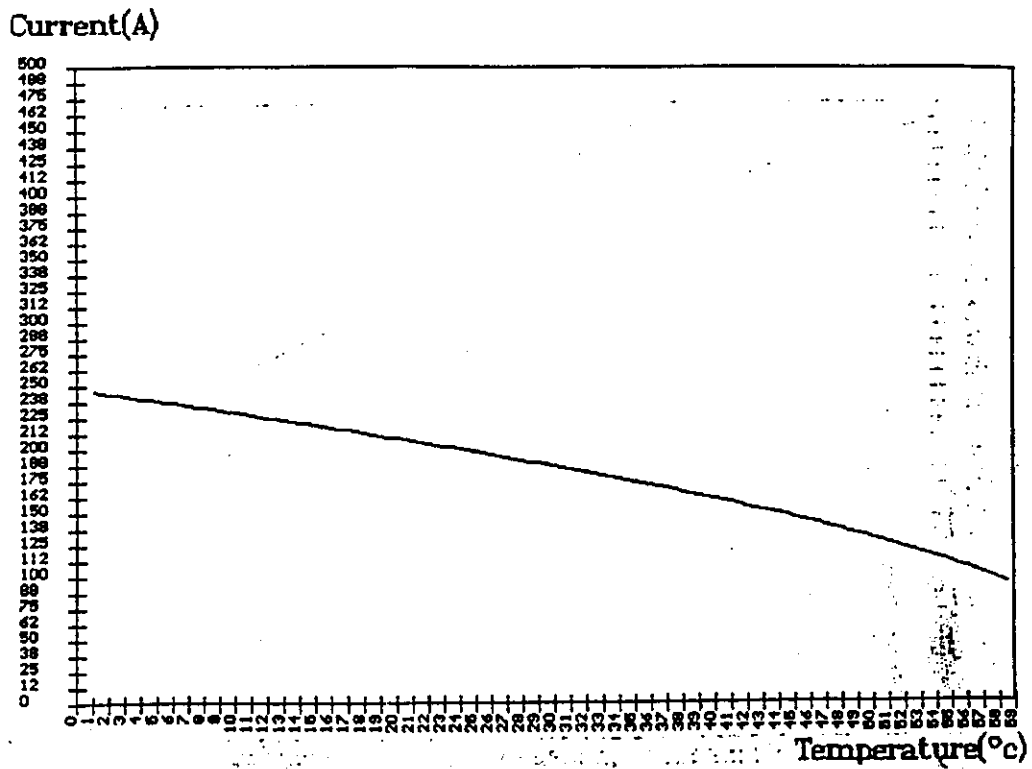
۳- روش H.E. House و P.D. Tuttle این روش توسط ANSI/IEEE پیشنهاد شده است.

۴- روش M.W. Davis

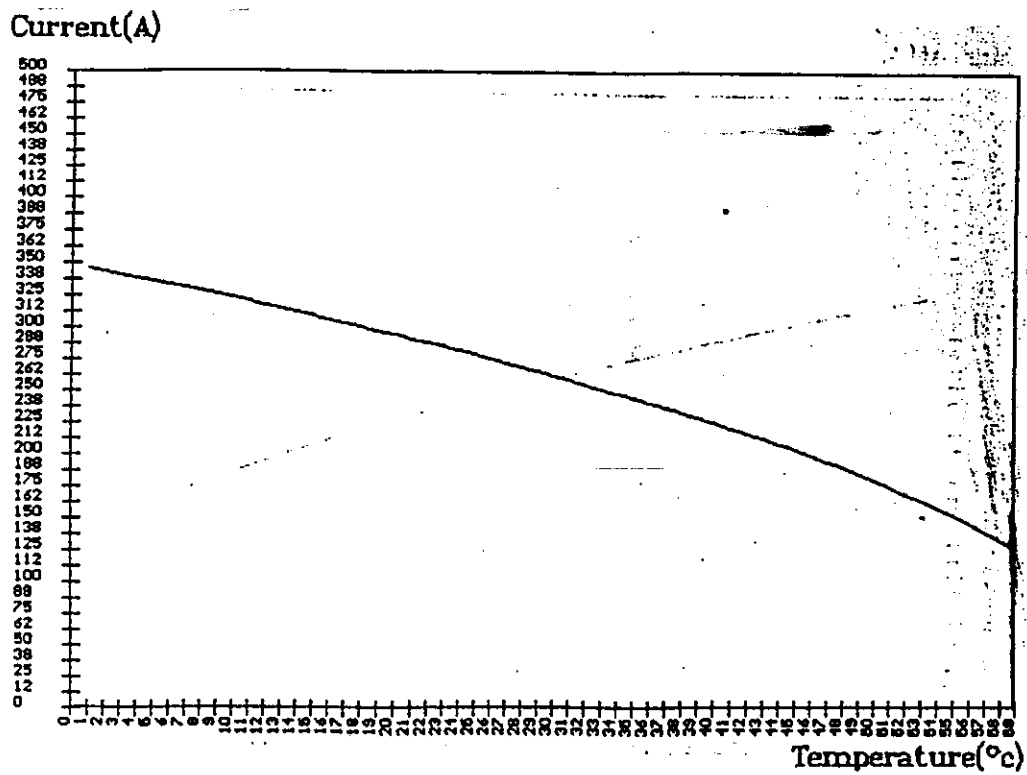
۵- روش V.V. Baurgsdourf & L.G. Nikitina

۶- روش E.E. Hutchings & S. Butterworth

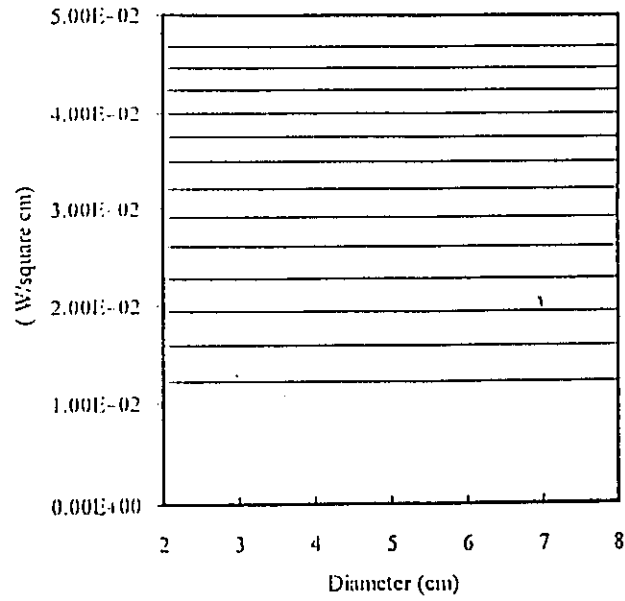
برای اطلاع از این روشها مراجعه به استاندارد هادی‌های خطوط انتقال نیرو جلد ۲۰۱ نگارش مهندسين مشاور نیرو پیشنهاد می‌شود.



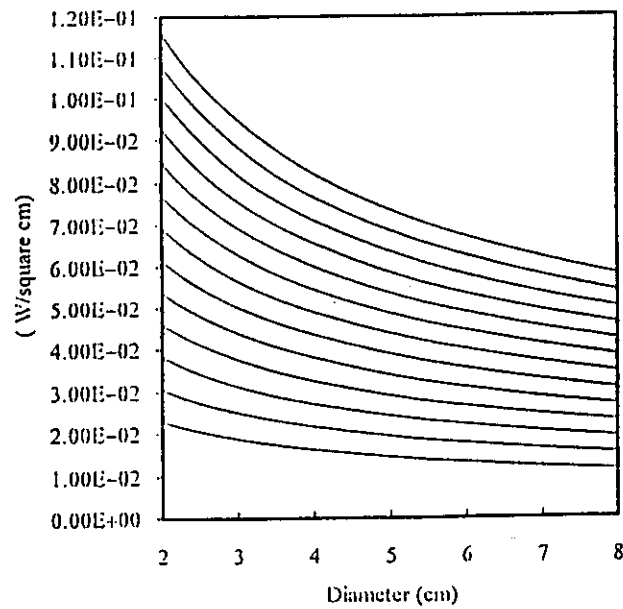
شکل (۵-۶): منحنی تغییرات جریان مجاز هادی فاکس نسبت به تغییرات دمای محیط



شکل (۵-۷): منحنی تغییرات جریان مجاز هادی مینک نسبت به تغییرات دمای محیط



شکل (۸-۵): توان تشعشعی در واحد سطح برحسب قطر هادی



شکل (۹-۵): توان انتقال یافته از طریق جابجایی در واحد سطح (Cm^2)

۵-۴- محاسبات مربوط به طراحی مکانیکی

هر خط انتقال انرژی باید علاوه بر داشتن مشخصات لازم برای پایداری الکتریکی دارای یک سری مشخصات مکانیکی نیز باشد تا در تمام شرایط جوی پایداری مکانیکی خود را حفظ کند. در طراحی مکانیکی خطوط توزیع انرژی هدف این است که خط طرح شده در تمام شرایط جوی احتمالی پایداری مکانیکی خود را با ضریب اطمینان لازم حفظ کرده و در عین حال از نظر اقتصادی هم مقرون به صرفه باشد.

۵-۴-۱- روابط منحنی سیم، کشش در نقاط مختلف سیم، فلش برای هر اسپن، طول سیم در نقاط مختلف

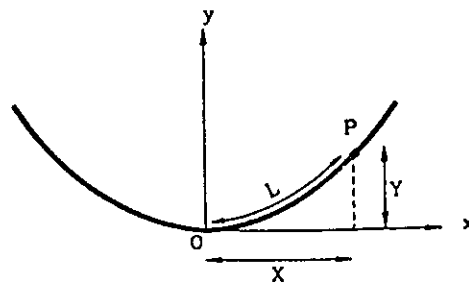
۵-۴-۱-۱- منحنی سیم و روابط فلش و طول سیم:

در طراحی مکانیکی خط، معادله منحنی سیم از اهمیت زیادی برخوردار است، زیرا با داشتن آن برای شرایط جوی مختلف می‌توان فلش و کشش سیم را کنترل کرد. مقدار کشش سیم در هیچ شرایطی نباید از حد مجاز پارگی آن تقسیم بر ضریب اطمینان مورد نظر بیشتر شود. به همین دلیل مقدار آن همیشه در سخت‌ترین شرایط (بیشترین کشش) کنترل می‌شود. مقدار فلش برای یک اسپن با بارگذاری ثابت، مرتبط با کشش است. بدین ترتیب که با کم شدن فلش، کشش افزایش می‌یابد و چون نباید مقدار کشش از حد مشخصی فراتر رود مقدار فلش نمی‌تواند از حد مشخصی کمتر شود. در مقابل اگر فلش خیلی افزایش پیدا کند بعلاوه حفظ فاصله مجاز از زمین ارتفاع پایه‌ها بلند می‌شود که اقتصادی نیست. بنابراین فلش در یک محدوده مشخصی می‌تواند تغییر کند.

برای نوشتن رابطه منحنی سیم اگر از تعادل نیروهای افقی و عمودی در شکل (۵-۱۰) استفاده شود روابط بین طول سیم از مبدا تا نقطه $P(L)$ ، فاصله افقی نقطه P از مبدا (x) و فاصله قائم آن از مبدا (Y) هر سه بر حسب متر، بصورت زیر بدست خواهند آمد.

$$L_{(x)} = a \sinh \frac{x}{a} \quad (۱۰-۵)$$

$$Y(x) = a \left(\cosh \frac{x}{a} - 1 \right) \quad (۱۱-۵)$$



شکل ۵-۱۰: منحنی سیم

با بسط دو رابطه قبل و با در نظرگیری جمله‌های اول و دوم با تقریب قابل قبول روابط زیر حاصل می‌شود:

$$Y(x) = \frac{x^2}{2a} + \frac{x^4}{24a^3} \quad (12-5)$$

$$L(x) = x + \frac{x^3}{6a^3} \quad (13-5)$$

معادله $Y(x)$ با سهمی در یک جمله $\frac{x^4}{24a^3}$ تفاوت دارد و با تقریب می‌توان به رابطه زیر رسید:

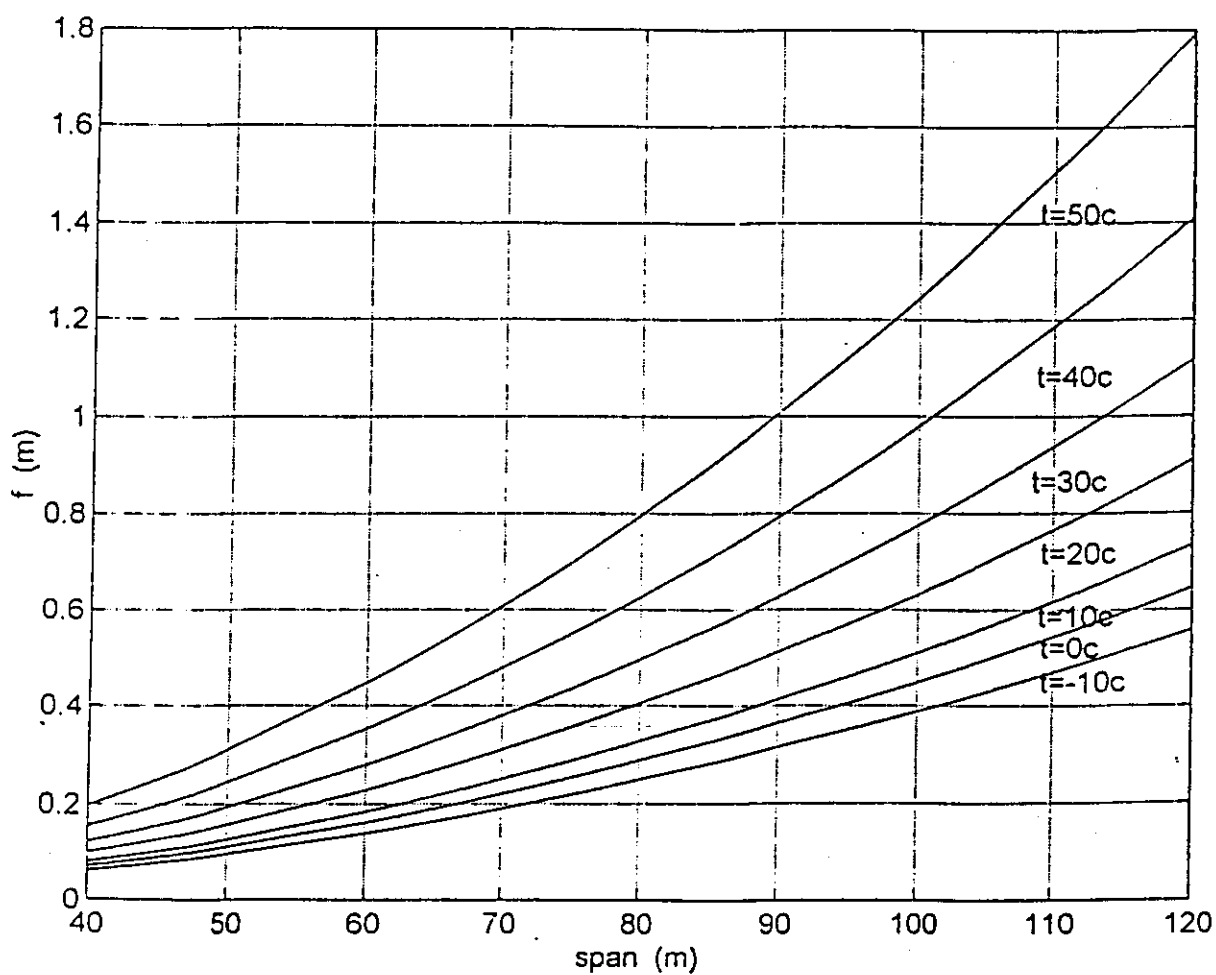
$$Y(x) = \frac{x^2}{2a} \quad (14-5)$$

طول کل سیم در اسپن و مقدار فلش (Y_{max}) مطابق روابط زیر حساب می‌شوند.

$$\text{فلش } f = Y_{max} = \frac{S^2}{8a} = \frac{WS^2}{8H} [m] \quad (15-5)$$

$$\text{طول کل سیم در اسپن } L = S + \frac{S^3}{24a^2} [m] \quad (16-5)$$

W وزن واحد طول سیم (با در نظر گرفتن وزن یخ در صورت وجود) است.
در شکل (۱۱-۵) منحنی تغییر فلش بر حسب تغییر اسپن نشان داده شده است.



شکل (۵-۱۱): منحنی تغییر فلش با تغییر اسپن در یک سگشن در دماهای مختلف (اسپن معادل = ۷۰ متر، پارامتر سیم = ۹۰۰۰، نوع منطقه = سبک و متوسط)

۵-۴-۱-۲- رابطه کشش در سیم:

کشش در نقاط مختلف سیم از رابطه زیر بدست می آید.

$$T(x) = W.Y(x) + H \quad [Kg] \quad (۱۷-۵)$$

در نقاط نگهدارنده سیم که $Y(x)$ است کشش بصورت زیر خواهد بود:

$$T = W.f + H \quad [Kg] \quad (۱۸-۵)$$

کشش سیم در سخت ترین شرایط باید به اندازه ای باشد که ضریب اطمینان موردنظر (n) برآورده شود.

۵-۴-۱-۳- روابط فلش و طول سیم برای حالاتیکه نقاط نگهدارنده اختلاف ارتفاع داشته باشند

با توجه به شکل (۱۲-۵) روابط زیر استخراج می شود:

$$f_H + f \left(1 + \frac{h}{4f}\right)^2 \quad [m] \quad (۱۹-۵)$$

$$f_L = f \left(1 - \frac{h}{4f}\right)^2 \quad [m] \quad (۲۰-۵)$$

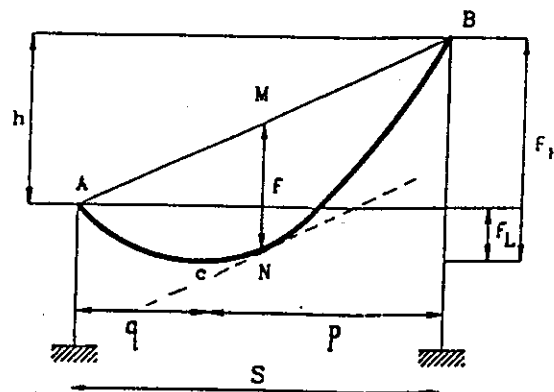
و مانند پایه های هم ارتفاع:

$$f = \frac{S^2}{8a} \quad [m] \quad (۲۱-۵)$$

$$L = S + \frac{S^3}{24a^2} + \frac{h^2}{2S} \quad [m] \quad (۲۲-۵)$$

$$L = L_0 + \frac{h^3}{2S} \quad [m] \quad (۲۳-۵)$$

(L_0 طول سیم در حالتی که پایه ها هم ارتفاع هستند)



شکل (۱۲-۵): منحنی سیم در حالتی که پایه ها هم ارتفاع نیستند

۵-۴-۲- نیروهای وارد بر سیم و پایه:

نیروهایی که در صفحه قائم بر سیم وارد می‌شوند شامل نیروی وزن سیم، نیروی وزن یخ و نیروی باد و نیروهای وارد بر پایه شامل برآیند نیروهای کشش سیم در دو طرف پایه و نیروی باد می‌باشند. در پایه‌های مماسی برآیند نیروهای کشش سیم در دو طرف پایه فقط مؤلفه قائم دارد ولی در پایه‌های گوشه‌ای این نیرو مؤلفه افقی نیز خواهد داشت. مؤلفه قائم ممکن است بطرف بالا^۱ یا بطرف پایین^۲ باشد که در بخش ۵-۴-۲-۲ توضیح داده خواهد شد.

۵-۴-۲-۱- نیروهای وارد بر سیم

$W[Kg\ f]$

۵-۴-۲-۱-۱- نیروی وزن سیم (برای طول یک متر)

۵-۴-۲-۱-۲- نیروی وزن یخ روی سیم (برای طول یک متر)

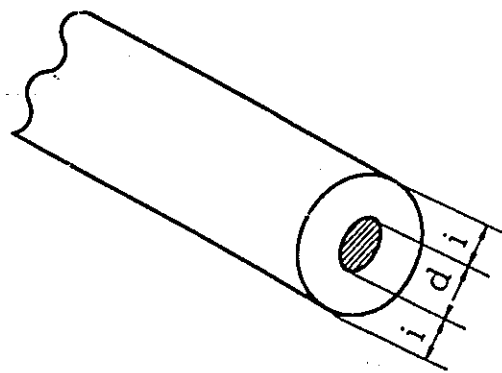
$$W_i = \rho \times V = 0.913 \times \pi i (i + d) \times 10^{-3} \left[\frac{Kg}{m} \right]$$

(۲۴-۵)

ρ : وزن مخصوص یخ (gr/cm^3)

i : ضخامت یخ دور سیم (mm)

d : قطر سیم (mm)



شکل (۱۲-۵): سطح مقطع سیم به همراه پوشش یخ

^۱ -Uplift

^۲ -Downlift

۳-۱-۲-۴-۵- نیروی باد (برای طول یک متر)

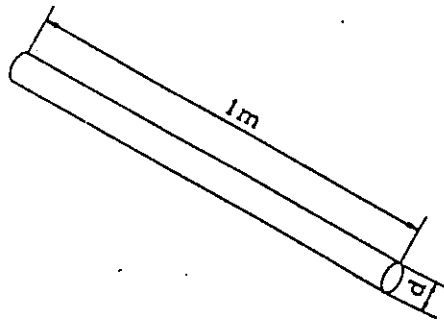
$$W_w = P_w \times A \quad [kg \cdot m] \quad (25-5)$$

$$A = d \times 10^3 \times 1 \quad [m] \quad (26-5)$$

$$W_w = P_w \times d \times 10^3 \quad \left[\frac{Kg}{m} \right] \quad (27-5)$$

P_w : فشار باد $\left(\frac{Kg}{m} \right)$

A : سطح مؤثر بادخور سیم در طول یک متر (m)



شکل (۱۴-۵): قرار گرفتن طول سیم در مقابل باد

توجه شود که اگر روی سیم لایه یخ وجود داشته باشد قطر کل $(d+2i)$ منظور می‌شود.

رابطه فشار باد وارد بر سیم $\left(\frac{kg}{m^2} \right)$ و سرعت باد $\frac{m}{s}$ طبق استاندارد VDE بصورت زیر است:

$$P_w = \frac{V^2}{16} \quad (28-5)$$

۵-۴-۲-۲- نیروهای وارد بر پایه

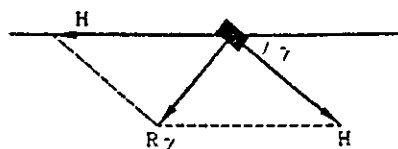
نیروهای وارد بر پایه در تعیین پایه اهمیت زیادی دارند و با داشتن برآیند نیروها می توان نوع و اندازه پایه را مشخص کرد. این نیروها عبارتند از:

۵-۴-۲-۱- مؤلفه قائم و افقی برآیند نیروهای کشش سیم در دو طرف

مؤلفه قائم برآیند کشش در دو طرف پایه برابر با وزن سیمی بطول اسپن وزنی (با در نظر گرفتن وزن یخ در صورت وجود) بعلاوه وزن مقره می باشد. مؤلفه افقی برآیند کشش سیم در دو طرف پایه در پایه های مماسی تقریباً صفر است ولی در پایه های گوشه ای مطابق شکل (۵-۱۵) قابل محاسبه است. (برای یک سیم)

$$R_{\gamma} = 2HS \sin \frac{\gamma}{2} [Kg] \quad (29-5)$$

γ زاویه بین امتدادهای خط در دو طرف یک پایه در زاویه



شکل (۵-۱۵): مؤلفه افقی برآیند نیروهای کشش سیم

۵-۴-۲-۲- نیروی ناشی از باد روی سیم و مقره و پایه

- نیروی افقی باد روی سیم که به پایه وارد می شود از رابطه زیر بدست می آید:

$$W_{H1} = S_w \times (W_w \times \rho) \quad [Kg] \quad (30-5)$$

S_w : اسپن بادگیر

W_w : حداکثر نیروی باد روی یک متر از طول سیم

ρ : ضریبی که با توجه به مدت وزش باد در سال و مسائل اقتصادی منظور می شود. در جاهاییکه

مقدار ρ مشخص نشده است برای اطمینان مقدار آن ۱ در نظر گرفته می شود.

- نیروی باد روی مقره از رابطه مقابل حساب می شود:

$$W_s = P_w \times (L \times d \times J) \quad [Kg] \quad (31-5)$$

P_w : فشار باد

L : طول مقره یا زنجیره مقره

d : قطر مقره یا زنجیره مقره

J : ضریبی که برای جبران فضاهاى باز بین مقره‌ها استفاده شده است و معمولاً ۰/۵ در نظر گرفته می‌شود.

- نیروی باد روی پایه از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$W_p = KSv^2 \quad [Kg] \quad (32-5)$$

S : سطح بادخور پایه

v : سرعت باد ($\frac{m}{s}$) و K ضریبی است که مقدار آن از جدول (۱-۵) بدست می‌آید.

جدول (۱-۵): مقدار ضریب K برای سطوح مختلف

مقدار K	نوع سطح بادگیر
۰/۰۶۲۵	با مقطع دایره و قطر کمتر از ۵ سانتیمتر (مثل سیم)
۰/۰۵	با مقطع دایره و قطر بیشتر از ۵ سانتیمتر (پایه استوانه‌ای)
۰/۰۸۱۲	با مقطع تخت

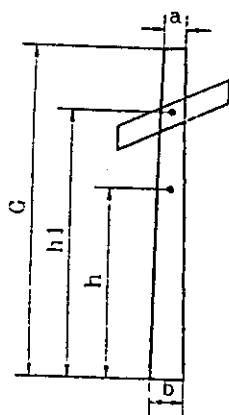
این نیرو در مرکز ثقل پایه وارد می‌شود. اگر فاصله مرکز ثقل پایه از زمین h فرض شود این نیرو گشتاوری باندازه $W_p \times h$ به پایه تیر وارد می‌کند. نیروی وارده بر نقطه نگهدارنده سیم در تیر که سبب گشتاوری به این اندازه در پای تیر می‌شود (W_{H2}) از رابطه زیر بدست می‌آید:

(h_1 فاصله نقطه نگهدارنده سیم از زمین است)

$$W_{H2} = \frac{W_p \times h}{h_1} [Kg] \quad (33-5)$$

اگر ابعاد بالا و پایین تیر a و b و طول تیر از زمین G باشد h از رابطه زیر بدست می‌آید.

$$h = \frac{b - \sqrt{\frac{a^2 + b^2}{2}}}{b - a} \times G \quad (34-5)$$



شکل (۵-۱۶): فواصل مختلف روی پایه

کل نیروی افقی که باد از طریق سیم و مقره و خود پایه به پایه وارد می‌کند و در انتخاب پایه مؤثر است (W_H) بصورت زیر بدست می‌آید.

$$W_H = (W_{H1} + W_s) \times N + W_{H2} [Kg] \quad (۳۵-۵)$$

N : تعداد سیم‌ها

- در اینجا با داشتن نیروهای افقی و عمودی که به مقره وارد می‌شود می‌توان زاویه انحراف مقره را مطابق شکل (۵-۱۷) بدست آورد.

$$W_V = S_V \times W [Kg] \quad (۳۶-۵)$$

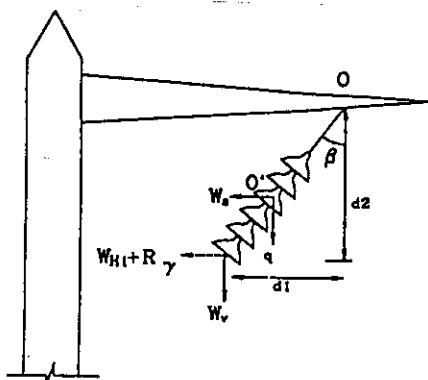
$$W_{H1} = S_W \times (W_W \times \rho) [Kg] \quad (۳۷-۵)$$

$$W_s = P_W \times (L \times d \times J) [Kg] \quad (۳۸-۵)$$

W_V : نیروی ناشی از وزن سیم [Kg]

S_V : اسپین وزنی [m]

W : وزن واحد طول سیم [Kg/m]



شکل (۵-۱۷): محاسبه زاویه انحراف مقره

$$\frac{d_1}{d_2} = \frac{W_{H1} + R\gamma + \frac{W_s}{2}}{W_v + \frac{q}{2}} \quad (39-5)$$

q: وزن زنجیره مفره [Kg]

$R\gamma$: نیروی ناشی از زاویه‌دار بودن خط [Kg]

$$\Rightarrow \tan \beta = \frac{W_{H1} + R\gamma + \frac{W_s}{2}}{W_v + \frac{q}{2}} \quad (40-5)$$

۳-۲-۲-۴-۵- محاسبه نیروی Uplift

اگر دو پایه در یک اسپن مختلف الارتفاع باشند و نقطه مینیمم منحنی سیم در خارج از فاصله بین دو اسپن باشد در اینصورت به پایه پایینی نیرویی به سمت بالا وارد خواهد شد که نیروی Uplift نامیده می‌شود. شرط اینکه نقطه مینیمم منحنی سیم خارج از فاصله بین دو اسپن قرار گیرد یعنی نیروی Uplift داشته باشیم این است که $f < \frac{h}{4}$ یا $S < \sqrt{2ah}$ باشد.

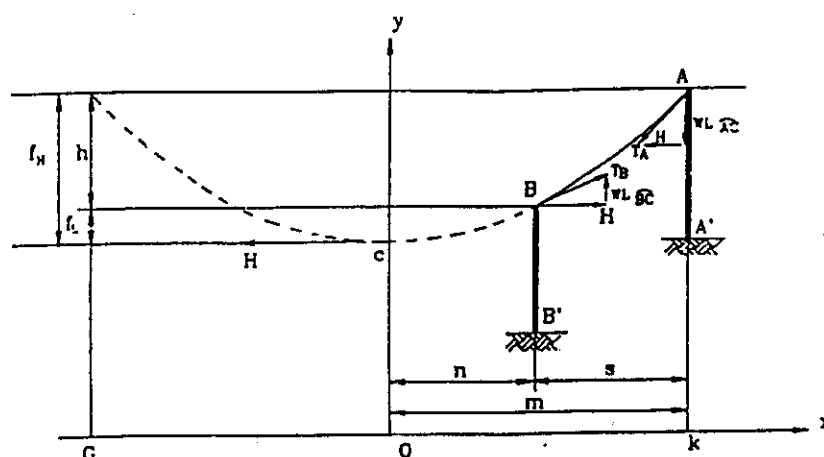
مؤلفه قائم نیروی Uplift برابر است با وزن طولی از سیم که بین پایه کوچکتر و نقطه مینیمم قرار گرفته است و مؤلفه افقی آن H می‌باشد.

$$\vec{T}_B = \vec{W}_L + \vec{H} \quad (41-5)$$

و مقدار عددی برآیند این دو مؤلفه بصورت زیر محاسبه می‌شود:

$$T_B = H + Wf_L \quad (42-5)$$

f_L : اختلاف ارتفاع پایه پایین‌تر و نقطه مینیمم منحنی است.



شکل (۵-۱۸): نیروی بالا برنده

۵-۴-۳- معادله تغییر وضعیت

۵-۴-۳-۱- تعریف معادله تغییر وضعیت

معادله تغییر وضعیت یک معادله درجه سوم برحسب کشش (و یا تنش) سیم است. در این معادله با معلوم بودن مشخصات سیم و طول اسپین معادل، با داشتن شرایط در یک وضعیت آب و هوایی اولیه (H, t, W) و نیز مقادیر t' و W' از شرایط وضعیت جدید می‌توان کشش وضعیت جدید (H) را محاسبه کرد. (t) و t' به ترتیب دمای محیط در شرایط اولیه و وضعیت جدید هستند.

۵-۴-۳-۲- هدف از معادله تغییر وضعیت

در طراحی خطوط انتقال و توزیع انرژی باید در هیچ یک از شرایط جوی فلش و کشش سیم از حد مجاز بیشتر نشوند. بنابراین کشش در موقع نصب باید مشخص شود و مقداری انتخاب شود که در بدترین شرایط مقادیر کشش و فلش سیم از مقادیر مجاز، تجاوز نمایند. در معادله تغییر وضعیت، یک وضعیت آب و هوایی به همراه کشش سیم در این وضعیت شرایط اولیه را تشکیل می‌دهند و با استفاده از آن می‌توان کشش را در هر وضعیت آب و هوایی دیگر محاسبه کرد. کشش سیم برای انواع رژیم‌های آب و هوایی و در رژیم استقرار برای درجه حرارت‌های مختلف در حوالی درجه حرارت متوسط منطقه حساب می‌شود تا در موقع سیم‌کشی آنها استفاده شود.

۵-۴-۳-۳- رابطه معادله تغییر وضعیت

با در نظر گرفتن تغییرات طول سیم ناشی از تغییر دما و ناشی از تغییر کشش معادله تغییر وضعیت بصورت زیر بدست می‌آید:

$$H^3 + \left[\frac{AES^2W^2}{24H^2} + \alpha AE(t' - t) - H \right] H'^2 - \frac{AES^2W'^2}{24} = 0 \quad (۴۳-۵)$$

t و t' : درجه حرارت محیط در حالات اول و دوم به سانتیگراد

W و W' : وزن ظاهری واحد طول هادی [Kg/m]

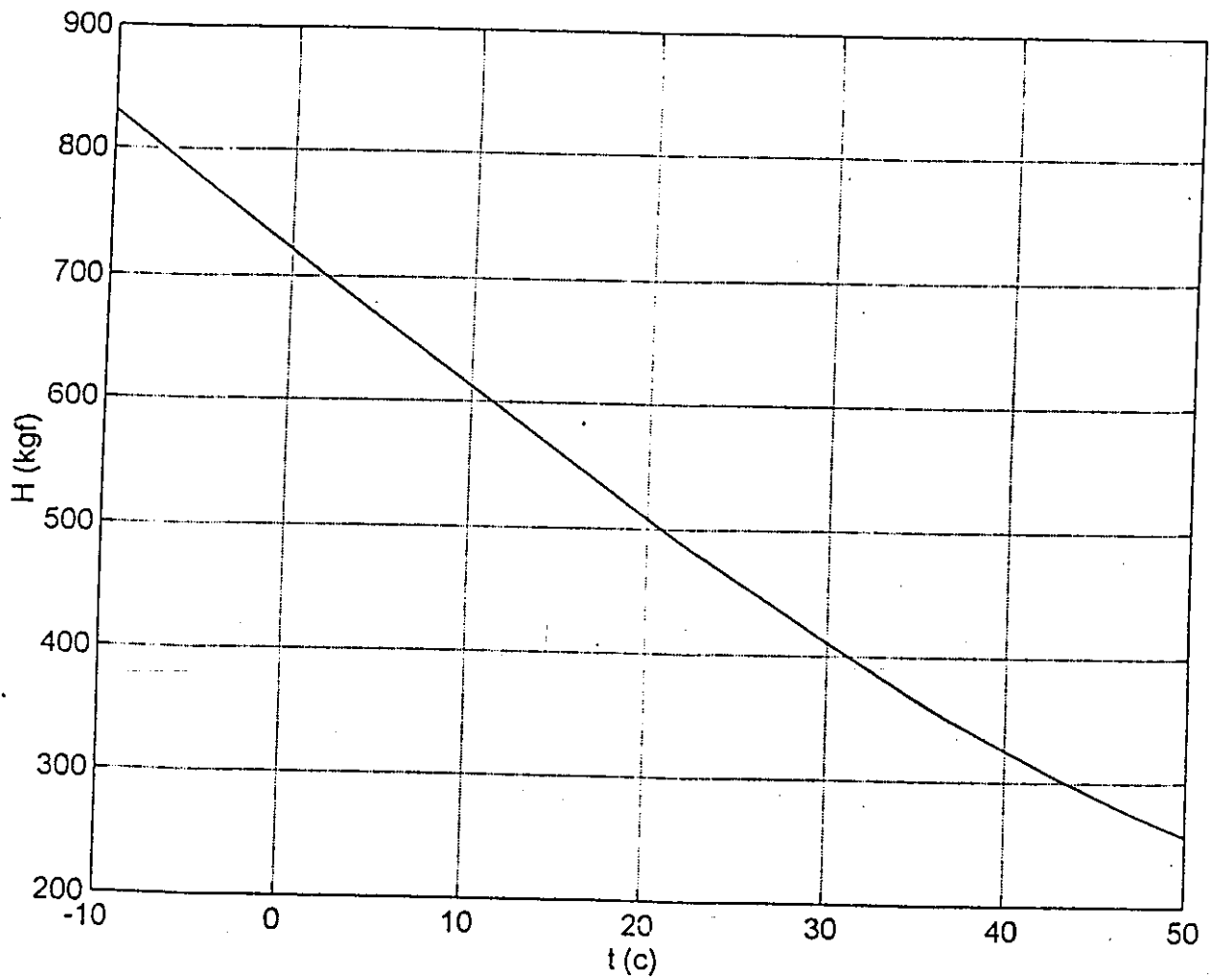
A: سطح مقطع هادی بر حسب میلیمتر مربع

α : ضریب انبساط طولی (۱/°C)

E: مدول الاستیسیته یانگ بر حسب کیلوگرم بر میلیمتر مربع

H و t: مربوط به شرایط اولیه در بدترین حالت و H' و t' مربوط به شرایط ثانویه

شکل (۵-۱۹) منحنی تغییر کشش با تغییر دما را نشان می‌دهد که از این رابطه رسم شده است.



شکل (۵-۱۹) منحنی تغییر کشش با تغییر دما در یک سگشن مشخص (اسپن معادل = ۷۰ متره پارامتر سیم = ۹۰۰، نوع منطقه سبک و متوسط).

۵-۴-۳-۴- پیری سیم و اثرات آن در معادله تغییر وضعیت

سیم در اثر کشش وارد بر آن، پس از گذشت زمان، اضافه طولی پیدا خواهد کرد که فلش را افزایش و کشش را کاهش می‌دهد. دخالت دادن اثرات پیری در معادله تغییر وضعیت به دو صورت ممکن است. روش اول منظور کردن درجه حرارت معادل پیری (Δt) است، بدین نحو که مطابق استاندارد برای هر سیمی در هر شرایط جوی یک درجه حرارت معادل پیری در نظر گرفته شده و آن میزان حرارتی است که اضافه طول ناشی از آن با اضافه طول ناشی از پیری سیم برابر است و بنابراین در هنگام سیم‌کشی درجه حرارت محیط به اندازه Δt کمتر از درجه حرارت واقعی در نظر گرفته می‌شود. (مقدار Δt برای خطوط توزیع ۱۵ درجه در نظر گرفته می‌شود)

روش دیگر استفاده از جداول فلش و کشش اولیه و فلش و کشش بعد از پیری است. بدین نحو که ابتدا با در نظر گرفتن سخت‌ترین شرایط همواره با بیشترین کشش بعنوان شرایط اولیه، نمودار فلش و کشش برای دماهای مختلف و اسپنهای مختلف رسم می‌شود. همین کار برای سیم بعد از پیری نیز انجام می‌شود و سپس نمودارهای بدست آمده کنترل می‌گردد. اگر در یک محدوده طول اسپن، کشش در یکی از شرایط از مقدار حداکثر فراتر رفته باشد در آن محدوده طول اسپن آن شرایط را شرایط اولیه در نظر گرفته و تمام مقادیر با شرایط اولیه جدید، بدست آمده و رسم می‌شوند و دوباره نمودارها کنترل می‌شوند. به این ترتیب نمودار کشش و فلش صحیح کاربردی برای شرایط مختلف بدست می‌آید.

۵-۵- تعیین اسپن معادل طراحی و اسپنهای کاربردی، نوع و ارتفاع پایه‌ها و مشخصات خط در زمان اجرا

۵-۵-۱- تعیین اسپن معادل طراحی برای یک سکشن

برای این منظور باید مراحل زیر انجام شود.

۵-۵-۱-۱- تعیین سخت‌ترین شرایط:

برای تعیین سخت‌ترین شرایط از جداول کشش و فلش برای رژیمهای مختلف، استفاده می‌شود. برای بدست آوردن این جداول باید یک شرط اولیه (W_1 و t_1 و H_1) موجود باشد. برای این منظور، در یک رژیم دلخواه W_1 (نیروهای وارد بر واحد طول سیم در صفحه عمود بر سیم) و t_1 (درجه حرارت محیط) که مشخص هستند در نظر گرفته می‌شوند با فرض پارامترهای مختلف برای سیم در این رژیم،

کشش‌های اولیه مختلف (H_1) بدست می‌آید. بنابراین به ازاء هر مقدار پارامتر سیم یک شرایط اولیه وجود دارد. با این شرایط اولیه بازاا طول اسپنهای مختلف و برای شرایط جوی مختلف مقادیر فلش، کشش و ضریب اطمینان محاسبه می‌شوند. برای پارامتر و طول اسپن مقادیری قابل قبول هستند که نتایج بدست آمده از آنها در شرایط مختلف از مقادیر مجاز تجاوز نکند. در این جداول می‌توان برای اسپنهای مختلف، سخت‌ترین شرایط را استخراج کرد.

۵-۱-۲- تهیه جدول مقایسه

برای این منظور به ازاء هر پارامتر در جدول کامپیوتری مربوط به آن محدودیتهای زیر اعمال می‌شود تا در آن پارامتر اسپنهای قابل قبول استخراج شوند.

۱- اسپنهایی که در تمام شرایط ضریب اطمینان لازم را دارا هستند مشخص می‌شوند.

۲- از اسپنهای مشخص شده مقادیر کمتر از حداکثر اسپن بادگیر و حداکثر اسپن وزنی مشخص می‌شوند. (این محدودیتها در بندهای ۵-۲-۱ و ۵-۲-۲ ذکر شده‌اند).

۳- از اسپنهای بدست آمده پس از مرحله قبل مقادیری که در شرط حداکثر اسپن الکتریکی (و یا حداکثر فلش الکتریکی) صدق می‌کنند استخراج می‌شوند. (این شرط در بند ۵-۲-۴ توضیح داده شده است).

در هر یک از اسپنهایی که برای هر پارامتر تعیین شده است (از سه مرحله قبل) فلش حداکثر تعیین می‌شود.

۵-۱-۳- تعیین فواصل مجاز

در این مرحله فاصله مجاز استاندارد سیم از زمین مشخص می‌شود (با استفاده از جداول فواصل مجاز) به مقدار استخراج شده از جدول ۰/۵ متر برای خطا در پروفیل و جابجایی پایه روی زمین در اثر آشتباه یا عوارض اضافه می‌کند.

$$۰/۵ + \text{مقدار استخراج شده} = \text{فاصله مجاز سیم از زمین} \quad (۴۴-۵)$$

۵-۱-۴- تعیین ارتفاع پایه‌ها در جدول مقایسه:

با مشخص بودن فاصله مجاز سیم از زمین و همچنین مقادیر فلش حداکثر بازاا پارامترهای مختلف می‌توان ارتفاع مورد نیاز پایه‌ها (h_s) را تعیین نمود و در جدول وارد کرد. پس از انجام چهار مرحله فوق جدولی بصورت جدول (۵-۲) با ستونهای زیاد بدست می‌آید.

جدول (۵-۲): جدول مقایسه

a		
S		
f_{max}		
h_s		

اکنون با توجه به محدوده ارتفاع نقاط نگهدارنده (کراس آرمها) برخی از h_s های بدست آمده که در این محدوده نیستند حذف می‌شوند.

۵-۱-۵- برآورد اقتصادی و انتخاب نهایی اسپن

بازاء پارامترهایی که مقادیر h_s در آنها قابل قبول است، اسپنهای مختلفی وجود دارد که هرچه اسپن بزرگتر انتخاب شود ارتفاع پایه هم بزرگتر بدست می‌آید که ممکن است تعداد پایه‌ها زیاد شود و اقتصادی نباشد.

بنابراین در این مرحله از کار، یک برآورد اقتصادی باید صورت بگیرد و پارامتری که اسپن حداکثر و ارتفاع پایه بهینه را می‌دهد انتخاب شود. (دقت شود که پارامتر a انتخاب شده برای شرایط اولیه در نظر گرفته شده می‌باشد و برای رژیمهای دیگر مقدار پارامتر از تقسیم مقدار کشش بر وزن واحد طول بدست می‌آید.)

۵-۱-۶- در صورت مشخص بودن ارتفاع تیر

در اینصورت با توجه به فاصله مجاز سیم از زمین حداکثر فلش تعیین می‌گردد و در محدوده مجاز بدست آمده نیز می‌توان یک برآورد اقتصادی بین طول اسپن و سائز تیرها با توجه به حداکثر و مقادیر استاندارد شده اندازه تیرها انجام داد.

۵-۵-۲- شرایط محدودکننده برای تعیین طول دقیق اسپن‌ها، تعیین محل پایه‌ها روی پروفیل و منحنی‌های کاربردی

۵-۵-۲-۱- حداکثر اسپن وزنی

نیروی قائم وارد بر پایه‌ها از حاصلضرب طول اسپن وزنی در وزن واحد طول سیم (در صورت وجود یخ، وزن یخ هم لحاظ می‌شود) بعلاوه وزن زنجیره مقره همراه با یخ بدست می‌آید و چون هر پایه‌ای نیروی قابل تحمل خاصی دارد بنابراین در هنگام پایه‌گذاری باید به این مساله توجه داشت تا نیروی بیشتری به آن وارد نشود. محدودیت فوق حداکثر اسپن وزنی را برای پایه موردنظر مشخص می‌کند. حداکثر اسپن وزنی از رابطه ۴۵-۵ محاسبه می‌شود

$$SV_{(\max)} = \frac{W - W_{fi} \times S_{FV}}{W_C + W_{ice} \times S_{FV}} \quad (45-5)$$

نیروی قائم طراحی پایه (kg)

W_{fi} : بار قائم حاصل از وزن زنجیره مقره (kg)

W_{ice} : وزن واحد طول یخ تشکیل شده روی سیم (kg/m)

S_{FV} : ضریب اضافه بار (برای خطوط توزیع برابر یک گرفته می‌شود)

حداقل اسپن وزنی برای پایه‌های آویزی از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$SV_{(\min)} = \frac{T_w + T_t}{W_C} \cot \beta - \frac{W_{fi}}{W_C \times 2} \quad (46-5)$$

T_t : نیروی افقی حاصل از زاویه مسیر خطوط (kg)

T_w : نیروی افقی ناشی از باد (kg)

B : زاویه انحراف زنجیره مقره

حداقل اسپن وزنی برای پایه‌های کششی از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$S_V = \frac{W_u - W_{fl} \times S_{FV}}{(W_C + W_{ice}) \times S_{FV}} \quad (۴۷-۵)$$

W_u نیروی بالابر در نظر گرفته شده در طراحی پایه

۵-۲-۲-۵- حداکثر اسپین بادگیر

نیروی افقی وارد بر پایه ناشی از باد روی سیم از حاصلضرب اسپین بادگیر در نیروی باد وارد بر واحد طول بدست می‌آید. مجموع این نیرو و نیروهای افقی دیگر وارد بر پایه که در بند ۵-۲-۴-۲ به آنها اشاره شده نباید از حداکثر نیروی افقی مورد تحمل پایه بیشتر شود. این محدودیت حداکثر اسپین بادگیر را مشخص می‌کند و در هنگام پایه‌گذاری روی پروفیل باید توجه شود که هیچ اسپینی از حداکثر اسپین بادگیر بزرگتر نشود.

حداکثر اسپین بادگیر از رابطه (۴۸-۵) محاسبه می‌شود:

$$S_W = \frac{T - T_t \times S_{ft} - T_{wf} \times S_{fw}}{0.0625V_0^2 \times d \times 10^{-3} \times S_{fw}} \quad (۴۸-۵)$$

T : نیروی افقی طراحی پایه (kg)

T_{ft} : نیروی افقی حاصل از فشار باد بر سطح سیم (kg)

T_{wf} : نیروی افقی حاصل از باد روی سطح زنجیره مقره (kg)

T_t : نیروی افقی حاصل از کشش سیم (kg)

S_{ft} و S_{fw} : ضرایب اضافه بار طبق طراحی پایه (برای خطوط توزیع برابر با یک در نظر گرفته می‌شوند)

V_0 : سرعت مبنای باد (m/s)

d : قطر سیم mm (در صورت وجود یخ بجای d از $d+2t$ که t ضخامت یخ استفاده می‌شود)

۵-۲-۲-۳- حداکثر میزان انحراف زنجیره مقره

چنانچه در بند ۵-۲-۴-۲ بیان شد میزان انحراف زنجیره مقره برحسب نیروهای وارده طبق رابطه

(۴۰-۵) محاسبه می‌شود.

اگر پایه مشخص باشد باید بین نیروهای وارد بر سیم تعادلی برقرار نمود که در رابطه (۴۰-۵) β از

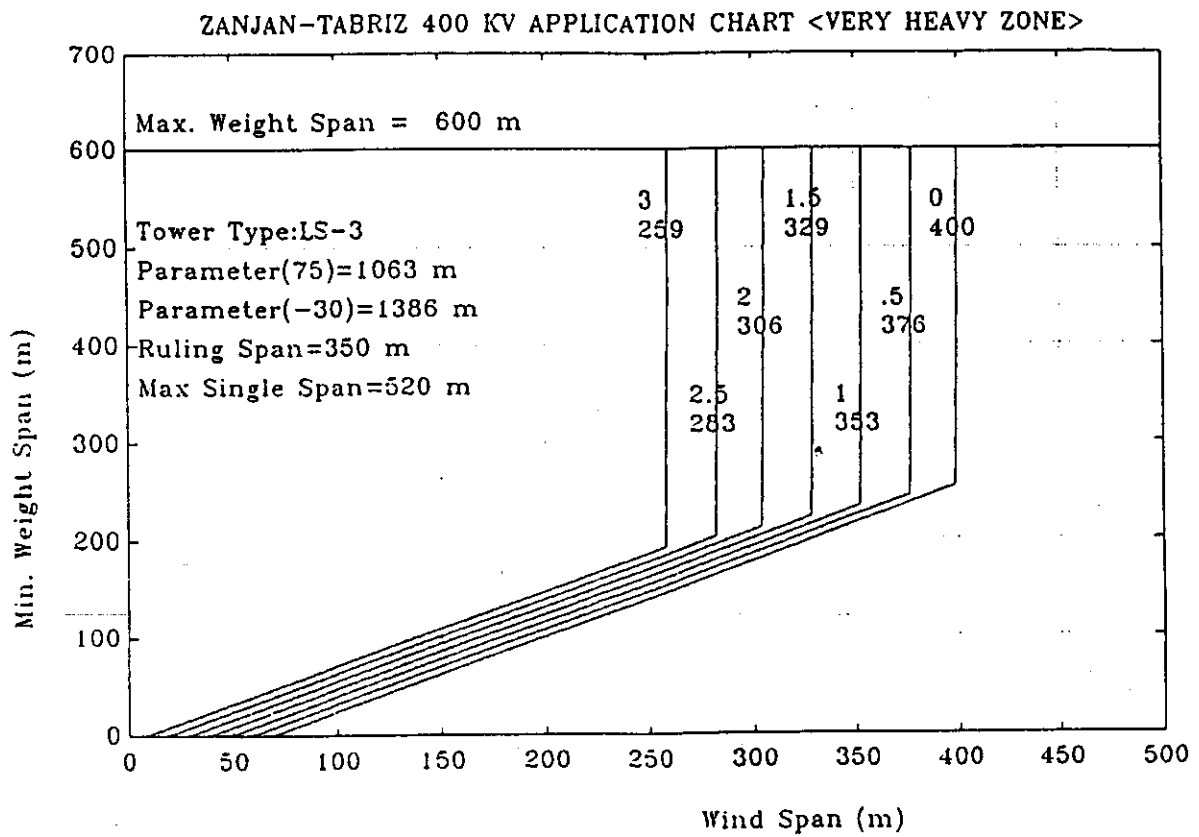
β_{max} (که برای پایه مورد نظر تعیین شده است) بیشتر نشود. β_{max} حداکثر زاویه‌ای است که در یک

پایه میانی با توجه به نوع کراس آرم، مقره می‌تواند با امتداد قائم داشته باشد.

۵-۲-۴- رسم منحنی کاربردی

برای برقراری سه شرط فوق در صفحات مختصات (S_v و S_w) یک سری منحنی با عنوان منحنی کاربردی رسم می‌شود. برای رسم منحنی کاربردی مراحل زیر طی می‌شود:

۱. حداکثر اسپن وزن از رابطه شماره (۴۵-۵) محاسبه و به صورت یک خط افقی رسم می‌شود.
 ۲. حداکثر اسپن باد از رابطه شماره (۴۸-۵) برای زوایای مختلف پایه محاسبه و به صورت خط قائم ترسیم می‌شود.
 ۳. حداقل اسپن وزنی برای پایه‌های آویزی از رابطه (۴۶-۵) و برای پایه‌های کششی از رابطه (۴۷-۵) محاسبه می‌شود.
- اکنون با حدود فوق یک محدوده برای انتخاب S_v و S_w در صفحه (S_v و S_w) به دست می‌آید که نقاط داخل آن مجاز و بقیه نقاط غیرمجاز هستند.
- شکل (۲۰-۵) یک نمونه از این نمودارها را برای یک خط 400 kV نشان می‌دهد.



شکل (۵-۲۰): نمونه منحنی کاربردی برج آویزی ۳ درجه

۵-۲-۵-۵- حداکثر اسپن الکتریکی

طبق استاندارد VDE رابطه بین حداقل فاصله فازها (PC)، فلش در حداکثر درجه حرارت (f_{max})، طول زنجیره مفره (L_i) و ولتاژ خط (u) بصورت زیر است:

$$PC = Ke \sqrt{f_{max} + L_i} + \frac{u}{150} \quad (۴۹-۵)$$

PC و f_{max} و L_i برحسب متر و u برحسب کیلوولت است.

Ke ضریبی است که با توجه به نوع سیم و موقعیت فازها طبق جدول (۳-۵) تعیین می‌شود. در صورت مشخص بودن کراس آرم و آرایش سیمها روی پایه، PC مشخص است پس این رابطه f را محدود می‌کند که با معلوم بودن پارامتر سیم به محدودیت اسپن منتهی می‌شود.

۵-۲-۵-۶- نیروی بالا برنده

در طول مراحل پایه‌گذاری بایستی به نیروی بالا برنده هم توجه شود (مطابق بند ۵-۴-۲-۲-۳) در صورتیکه حذف نیروی بالا برنده ممکن نباشد باید این مقدار محاسبه و در تعیین پایه دخالت داده شود.

جدول (۳-۵): مقدار ضریب Ke با توجه به سطح مقطع و جنس هادیها و موقعیت فازها

ضریب Ke			سطح مقطع	نام سیم	جنس سیم
۰.۱۷۰	۰.۱۶۵	۰.۱۸۵	۱۶		مس
۰.۱۷۰	۰.۱۶۵	۰.۱۸۵	۲۵		
۰.۱۶۵	۰.۱۶۲	۰.۱۷۵	۳۵		
۰.۱۶۵	۰.۱۶۲	۰.۱۷۵	۵۰		
۰.۱۶۵	۰.۱۶۲	۰.۱۷۵	۷۰		
۰.۱۷۰	۰.۱۶۵	۰.۱۸۵	۴۲/۷۷	فاکس	آلومینیوم با هسته فولاد
۰.۱۷۰	۰.۱۶۵	۰.۱۸۵	۷۳/۶۵	مینک	
۰.۱۶۵	۰.۱۶۲	۰.۱۷۵	۱۲۶/۴۳	هاینا	
۰.۱۶۵	۰.۱۶۲	۰.۱۷۵	۲۲۶/۲	لینکس	

۵-۵-۳- جداول نصب و منحنی‌های نصب

پس از انتخاب پارامتر سیم و طول اسپن معادل، برای نصب خط نیاز به منحنی‌های فلش و کشش در زمان نصب می‌باشد. برای تهیه منحنی‌های نصب ابتدا باید جداول نصب تهیه شود. این جداول به کمک معادله تغییر وضعیت و با در نظر گرفتن شرایط نصب بدون یخ و باد بدست می‌آیند.

از این جداول می‌توان بازاء پارامتر نصب سیم و اسپن معادل انتخاب شده مقادیر فلش و کشش سیم را برای دماهای مختلف نصب در اسپنی بطول اسپن معادل استخراج کرد. چون در اسپنهای یک سکشن، کشش افقی برابر است بنابراین با تغییر طول یک اسپن در سکشن، کشش آن تفاوتی پیدا نمی‌کند و مقادیری که در جدول نصب برای طول اسپن معادل آورده شده‌اند برای دیگر طول اسپنهای آن سکشن نیز برقرار است.

اما با افزایش اسپن، فلش افزایش پیدا می‌کند:

$$f = \frac{WS^2}{8H}$$

$$\Rightarrow f = f_{eq} \left(\frac{S}{S_{eq}} \right)^2 \quad [m] \quad (5-50)$$

$$f_{eq} = \frac{WS_{eq}^2}{8H}$$

S_{eq} : اسپن معادل و f_{eq} فلش در این اسپن است.

با در نظر گرفتن رابطه بالا می‌توان نمودار فلش را برحسب اسپن رسم کرد. چون در دماهای مختلف مقادیر f_{eq} متفاوت است برای یک اسپن معادل انتخاب شده بازاء دماهای مختلف، نمودارهای مختلفی از فلش برحسب اسپن معادل وجود دارد. شکل (۵-۱۱) نمونه‌ای از این نمودارها را برای دماهای مختلف نشان می‌دهد.

۵-۵-۴- پایه‌گذاری روی پروفیل

۵-۴-۱- تهیه تمپلت:

پس از تعیین اسپن معادل طراحی، پارامتر کاربردی سیم و حداقل ارتفاع پایه برای پایه‌گذاری روی پروفیل تمپلت فلش تهیه می‌شود و از آن استفاده می‌شود. تمپلت از جنس پلاستیک مخصوصی بنام

سولتد شفاف است که روی آن منحنی‌هایی رسم شده است. منحنی‌های مشخص شده زیر روی تمپلیت رسم می‌شوند:

۵-۴-۱-۱- منحنی گرم

در این منحنی برای رعایت فاصله مجاز سیم تا زمین حداکثر فلش ممکن در نظر گرفته می‌شود. بنابراین منحنی گرم براساس حداکثر درجه حرارت و مدول الاستیسیته نهایی و پیری سیم رسم می‌شود.

۵-۴-۱-۲- منحنی فاصله لازم سیم تا زمین

این منحنی همان منحنی گرم است که باندازه h به سمت پایین آورده شده است. (h فاصله لازم سیم تا زمین در حداکثر فلش است.)

۵-۴-۱-۳- منحنی سرد

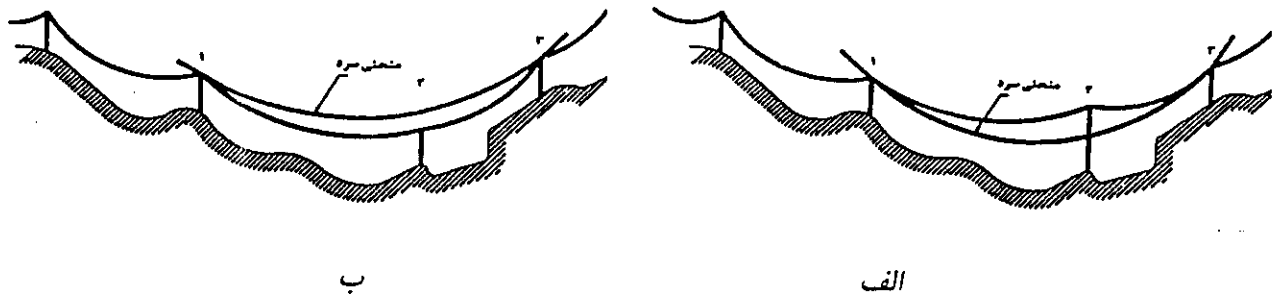
برای کنترل نیروی بالابرنده، حداقل فلش اولیه و انحراف زنجیره مقرر از منحنی سرد استفاده می‌شود. این منحنی در حداقل درجه حرارت بدون یخ و باد، با در نظر گرفتن مدول الاستیسیته اولیه رسم می‌شود.

۵-۴-۱-۴- منحنی معمولی

این منحنی در درجه حرارت معمولی منطقه و مدول الاستیسیته نهایی و پیری بوسیله بقیه محدودیتها و عوارض زمین محل دقیق پایه مشخص می‌شود.

۵-۴-۲- کنترل‌های پس از پایه‌گذاری روی پروفیل

پس از رسم منحنی باید روی پروفیل حریمهای مجاز سیم، اسپن بادگیر و اسپن وزنی کنترل شود تا مقادیر مجاز را دارا باشند. اگر در یک اسپن، پایه‌ای توان تحمل نیروهای وارد بر آنرا نداشته باشد از مهار استفاده می‌شود. وجود نیروی بالا برنده توسط منحنی سرد کنترل می‌شود. بدین نحو که در جائیکه احتمال وجود نیروی بالابرنده می‌رود مانند اشکال (۵-۲۱-الف) و (۵-۲۱-ب) منحنی سرد بین دو پایه ۱ و ۳ قرار داده می‌شود.



شکل (۵-۲۱): یک نمونه از پروفیل به همراه منحنی‌های مربوطه

اگر این منحنی از نقطه نگهدارنده سیم در پایه ۲ بالاتر باشد نشان دهنده این است که در شرایط آب و هوایی سرد در پایه ۲ نیروی بالابرنده وجود خواهد داشت (شکل ۵-۲۱-ب) و در غیر اینصورت خیر (شکل ۵-۲۱-الف).

در صورت وجود نیروی بالابرنده موارد زیر می‌تواند صورت گیرد:

الف) به جای پایه غیرکششی از پایه کششی که بتواند نیروی بالابرنده را تحمل کند استفاده می‌شود.

ب) در پایه‌گذاری تغییراتی داده می‌شود که پایه فوق حذف شود.

پ) به تناسب کمبود نیروی قائم، وزنه به زیر زنجیره مقرره آویزان شود.

ت) از مهار استفاده شود.

در انتهای پایه‌گذاری در هر سکشن اگر اسپن آخر خیلی کوتاه یا خیلی بلند باشد می‌توان مقدار اضافی یا کاستی اسپن آخر را بین اسپنهای دیگر تقسیم کرد و یا از اسپن آخر بطرف عکس شروع به پایه‌گذاری دوباره و مناسب می‌شود.

۵-۵-۴-۱-۵- منحنی محل پایه استاندارد

منحنی تعیین محل پایه استاندارد زیر منحنی فاصله مجاز سیم تا زمین قرار می‌گیرد و بگونه‌ای است که طول خطوط قائم بین این منحنی و منحنی گرم در تمام نقاط منحنی برابر اولین طول پایه استاندارد است.

۵-۴-۳- نحوه پایه‌گذاری روی پروفیل

در پایه‌گذاری روی پروفیل تعیین محل پایه با توجه به موقعیت زمین و طول اسپن معادل و تعیین ارتفاع پایه با توجه به اطلاعات و محدودیت‌های ذکر شده به نحوی که از نظر اقتصادی بهترین حالت باشد موردنظر است. برای شروع پایه‌گذاری، اولین پایه، پایه انتهایی مناسب در نظر گرفته می‌شود و سپس برای تعیین محل پایه‌های بعدی به اندازه اسپن معادل طراحی از پایه قبلی جلو رفته اگر در این نقطه امکان نصب پایه بود پایه گذاشته می‌شود و در صورت وجود موانع باید محل پایه در جای دیگر به نحوی قرار گیرد که در چهارچوب شرایط محدود کننده قرار بگیرد و اقتصادی باشد. برای این کار و رسم منحنی سیم دو راه وجود دارد:

- اگر بدلایلی محل پایه مشخص و تغییرناپذیر باشد در آن نقطه خط قائمی رسم می‌شود و محدوده ارتفاع نقطه نگهدارنده برای پایین‌ترین فاز روی آن مشخص می‌شود. اکنون تمپلت روی پروفیل به نحوی جابجا می‌شود که همراه خطوط متعامد پروفیل با خطوط متعامد تمپلت موازی باشند و در این حالت منحنی گرم به نحوی بین دو پایه قرار می‌گیرد که شرایط زیر را تامین کند:

الف) از نقطه نگهدارنده پایه قبلی و از یکی از نقاط مجاز نگهدارنده پایه جدید بگذرد.

ب) منحنی فاصله مجاز سیم تا زمین بر روی تمپلت با خط زمین پروفیل مماس یا کمی بالاتر باشد. و در این حالت منحنی سیم رسم می‌گردد.

- اگر محل پایه مشخص نباشد و امکان پایه‌گذاری در نقاط مختلفی وجود داشته باشد تمپلت آنقدر روی پروفیل (با حفظ توازی خطوط تمپلت و پروفیل) جابجا می‌شود که:

الف) منحنی گرم از نقطه نگهدارنده سیم در پایه قبلی بگذرد،

ب) منحنی فاصله مجاز سیم تا زمین با خط زمین پروفیل مماس یا کمی بالاتر از آن باشد.

در این حالت منحنی گرم مکان هندسی نقاط نگهدارنده سیم در پایه بعدی است. پس از رسم منحنی در هنگام پایه‌گذاری روی پروفیل حتی اگر در طول مسیر خط زاویه‌ای وجود نداشته باشد باید با توجه به مقاومت پایه‌ها و نیروهای موجود در منطقه بعد از هر چند پایه غیرکششی یک پایه کششی بعنوان ستون خط نصب شود.

۵-۶- مهار و انواع آن

۵-۶-۱- موارد کاربرد

برای حفظ پایداری مکانیکی در طول خط باید پایه به نوعی باشد که قدرت تحمل نیروهای وارد بر آن را داشته باشد. گاهی پایه‌ها قدرت تحمل نیروهای وارد بر آنها را ندارند و یا محل نصب به گونه‌ای است که قدرت تحمل پایه در برابر نیروهای وارد بر آن کم می‌شود (مثلا زمین شیبدار، زمین باتلاق و ...) در اینگونه موارد از مهار استفاده می‌شود.

۵-۶-۲- محاسبه نیروی کشش مهار

بطور کلی مهار باید اختلاف نیروی افقی وارد بر پایه و نیروی قدرت پایه را جبران کند. نیروهای افقی وارد بر پایه عبارتند از: نیروی ناشی از زاویه‌دار بودن خط و نیز نیروی ناشی از باد که از طریق سیم و مقره و خود پایه به پایه وارد می‌شود. همانگونه که در بند ۵-۴-۲-۲ محاسبه شد اندازه این نیروها مطابق زیر بدست می‌آید.

$$W_{H1} = S_w \times (W_w \times \rho) \quad [kg]$$

نیروی ناشی از باد روی سیم

$$W_s = P_w \times (L \times d \times J) \quad [kg]$$

نیروی ناشی از باد روی مقره

$$W_p = K S v^2 \quad [kg]$$

نیروی ناشی از باد روی خود پایه در مرکز ثقل پایه

$$W_{H3} = \frac{W_p \times h}{h_1}$$

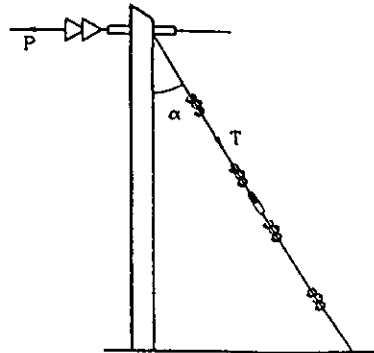
نیروی ناشی از باد روی خود پایه در راس پایه

$$R_r = 2HS \sin \frac{\gamma}{2} \quad [Kg]$$

نیروی ناشی از زاویه‌دار بودن خط

با توجه به شکل (۵-۲۲) نیروی کشش (T) مطابق رابطه زیر است:

$$T = \frac{P}{\sin \alpha} \quad [Kg] \quad (۵-۵۱)$$



شکل (۵-۲۲): مهار ساده

که در رابطه اخیر P اختلاف برآیند تمام نیروهای فوق با نیروی مقاومت پایه می‌باشد. بنابراین با محاسبه نیروهای فوق و داشتن زاویه مهار نسبت به پایه می‌توان نیروی کشش مهار را محاسبه کرد. برای محاسبه برآیند نیروهای وارد بر پایه بدترین حالت که حالت هم جهت بودن نیروهاست در نظر گرفته می‌شود بنابراین نیروی برآیند (M) مطابق رابطه زیر بدست می‌آید.

$$M = W_{H1} + 3 \times (W_{H1} + W_S + R_r) \quad [Kg] \quad (5-52)$$

ممکن است به جای نصب یک مهار از چند مهار استفاده شود. در اینصورت مجموع قدرت تحمل آنها محاسبه خواهد شد.

در نهایت نیروی کشش مهار یا مهارها مطابق رابطه زیر بدست می‌آید.

$$T = \frac{M - Kf}{\sin \alpha} \quad [Kg] \quad (5-53)$$

در رابطه فوق f قدرت اسمی تحمل کشش پایه و K تعداد پایه‌های مورد استفاده می‌باشد. در صورتیکه محل نصب مهار به پایه با محل نصب سیم به پایه اختلاف ارتفاع داشته باشند نیروی کششی که مهار باید تحمل کند T است که از رابطه زیر حساب می‌شود:

$$T' = \frac{h}{h_2} \times \frac{M - Kf}{\sin \alpha} \quad (5-54)$$

h_1 : ارتفاع محل نصب سیم از پای تیر

h_2 : ارتفاع محل نصب مهار از پای تیر

۵-۶-۳- انواع مهار

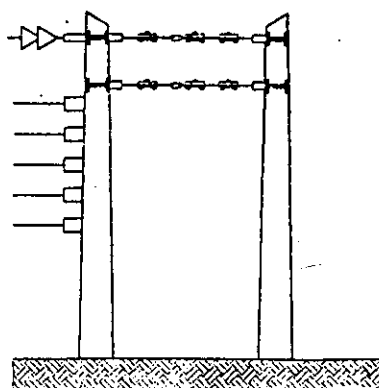
انواع مهار از نظر نحوه نصب و محل استفاده عبارتند از :

۵-۶-۳-۱- مهار ساده یا معمولی

در این حالت پایه توسط سیم فولادی گالوانیزه‌ای که از یکطرف به سر پایه و از طرف دیگر به میله مهار به صفحه یا کنده مهار در زمین متصل می‌باشد، مهار می‌شود. این نوع مهار برای مقابله با نیروی برآیند کشش سیم وارد بر پایه روی تپه نصب می‌شود برای مقابله با نیروی کشش وارد از طرف تپه به پایه در جهت عکس شیب تپه از این نوع مهار استفاده می‌گردد (شکل ۵-۲۲)

۵-۶-۳-۲- مهار اسپین (تیر به تیر)

از این نوع مهار برای جاهایی که فاصله کافی برای نصب مهار معمولی در پشت تیر موجود نمی‌باشد استفاده می‌گردد. در این حالت پایه توسط پایه دیگری که در نقطه مناسبی نصب می‌گردد مهار می‌شود. دو پایه معمولاً توسط سیم فولادی مهار به هم متصل می‌شوند ولی در جاهائیکه زیبایی محل مدنظر باشد می‌توان برای اتصال دو پایه از تعدادی نبشی استفاده کرد.



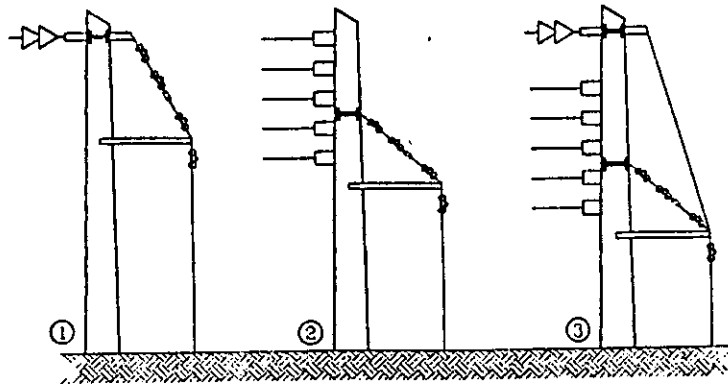
شکل (۵-۲۳): مهار اسپین (تیر به تیر)

۵-۳-۳-۶-۳- مهار پیاده‌روی (زانویی)

از این نوع مهار در جایی استفاده می‌شود که فاصله‌ای بیش از یکی دو متر در پشت تیر جهت نصب مهار موجود نباشد. نصب این مهار مطابق شکل (۵-۲۳) است.

۵-۳-۳-۶-۴- مهار مرکب

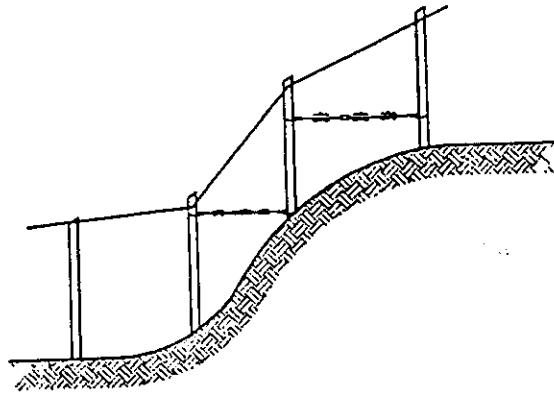
برای استحکام بیشتر مهار می‌توان از این سیستم استفاده نمود که در واقع ترکیبی از مهار اسپن و مهار ساده می‌باشد.



شکل (۵-۲۴): مهار پیاده‌روی یا زانویی

۵-۳-۳-۶-۵- مهار سر

این نوع مهار شبیه مهار اسپن است با این تفاوت که به جای نصب تیر مهار از تیرهای خط جهت نگهداری یکدیگر استفاده می‌شود. مثلاً وقتی خط از روی تپه‌هایی با شیب تند عبور می‌کند هر تیر باید برای استحکام بیشتر و جلوگیری از بطرف پایین کشیده شدن مهار شود در این مواقع هر تیر توسط تیر دیگر و مانند شکل (۵-۲۵) مهار می‌شود.



شکل (۵-۲۵): مهار سر

۵-۶-۴- مشخصات سیم‌های مهار

جدول (۴-۵): مشخصات سیم‌های مهار

	سیم‌های مهار معمولی		سیم‌های مهار با قدرت زیاد		سیم‌های مهار با قدرت خیلی زیاد	
قطر کلی سیم (mm)	۹/۵	۱۲/۷	۹/۵	۱۱۲/۷	۹/۵	۱۲/۷
تعداد رشته سیم‌ها	۷	۷	۷	۷	۷	۷
قطر هر رشته (mm)	۳/۱۷	۴/۱۶	۳/۱۷	۴/۱۶	۳/۰۵	۴/۲
حداکثر مقاومت کششی (Kgr)	۱۶۳۰	۳۳۶۰	۴۹۰۰	۸۵۴۰	۷۰۰۰	۱۲۲۰۰

۵-۷- فواصل مجاز خطوط هوایی

۵-۷-۱- محاسبه فاصله هوایی

فاصله هوایی که برای یک خط در نظر گرفته می‌شود از مجموع سه فاصله مبنا، الکتریکی و مکانیکی

بدست می‌آید.

فاصله هوایی = فاصله مبنا + فاصله الکتریکی + فاصله مکانیکی
 الف) فاصله مبنا: این فاصله فقط با در نظر گرفتن موقعیت خط و شرایط منطقه (با فرض ثابت بودن سیم و بدون برف بودن آن) سنجیده می‌شود.

ب) فاصله الکتریکی: این فاصله براساس مشخصات الکتریکی خط (ولتاژ و میدان الکتریکی ناشی از آن) بدست می‌آید.

ج) فاصله مکانیکی: این فاصله با در نظر گرفتن شرایط مکانیکی هادی (حرکت و جابجایی، تغییرات فلش و ...) بدست می‌آید.

۵-۷-۲- جداول کاربردی

در ادامه، فاصله هوایی لازم برای خطوط توزیع در شرایط مکانی مختلف در چهار بخش آورده شده است.

۵-۷-۲-۱- فاصله هوایی مجاز از تاسیسات

در جدول (۱) استاندارد حریم خطوط، فاصله هوایی مجاز هادیها خط از تاسیسات مختلف آورده شده است. این مقادیر برای تاسیسات مختلف و مقادیر ولتاژ ۳۸۰V و ۱۱ KV و ۲۰ KV و ۳۳ KV آورده شده است.

۵-۷-۲-۲- فاصله هوایی مجاز تجهیزات خطوط از تاسیسات

این مقادیر در جدول (۲) استاندارد حریم خطوط، برای تاسیسات مختلف و ولتاژهای ۳۸۰V و ۱۱ KV و ۲۰ KV و ۳۳ KV آورده شده است.

۵-۷-۲-۳- فاصله قائم مجاز هادی از کف

جدول (۳) استاندارد حریم خطوط فاصله قائم هادیهای خط را از سطح نشان می‌دهد. این مقادیر برای مکانهای مختلف و برای مقادیر ولتاژ ۳۸۰V و ۱۱ KV و ۲۰ KV و ۳۳ KV آورده شده است.

۵-۷-۲-۴- فاصله قائم مجاز تجهیزات

جدول (۴) استاندارد حریم خطوط فاصله قائم تجهیزات برقدار بی حفاظ خط از سطح را نشان می دهد. این مقادیر برای مکانهای مختلف و مقادیر ولتاژ ۳۸۰V و ۱۱ KV و ۲۰ KV و ۳۳ KV آورده شده است.

۵-۷-۳- شرایط کاربرد جداول

اندازه‌هایی که بعنوان حداقل فاصله مجاز خطوط در جداول آمده است باید در شرایطی که حداکثر فلش روی خط مورد نظر وجود دارد کنترل شوند. در دو حالت زیر فلش حداکثر است.

۱. حالتی که محیط دارای دمای 50°C (در صورتیکه دمای هادی بیشتر از 50°C باشد آن دما در نظر گرفته می شود) و بدون باد است.
۲. حالتی که محیط دارای دمای 0°C ، بدون باد و همراه با حداکثر یخ موجود است.

۵-۸-۱- مثال کاربردی

۵-۸-۱-۱- مثال کاربردی طراحی مکانیکی

هدف طراحی مکانیکی یک خط توزیع با مشخصات: نوع منطقه سبک و متوسط، طول خط ۱۰ کیلومتر، نوع سیم مینک، ولتاژ خط ۲۰ kV و ضریب اطمینان طراحی مکانیکی ۲/۵ می باشد. با توجه به اینکه ضریب اطمینان برای مقاومت مکانیکی سیمها ۲/۵ در نظر گرفته شده است و با توجه به فرمول زیر برای تعیین حداکثر فلش الکتریکی که در زیر محاسبه خواهد شد محدوده اسپنهای مجاز شناخته خواهند شد:

$$PC = Ke\sqrt{f_{\max} + L} + \frac{U}{150} \Rightarrow 1.2 = 0.85\sqrt{f_{\max} + 0} + \frac{20}{150} \Rightarrow f_{\max} = 1.574$$

در رابطه زیر $Ke = 0.85$ برای هادی آلومینیم با هسته فولاد، مینک، می باشد و $PC = 1/2$ که برابر حداقل فاصله فازها می باشد انتخاب شده است مقدار f_m فلش ماکزیمم ۱/۵۷۴ بدست آمده است برای تعیین ارتفاع پایه‌ها باید حریم مجاز خط مشخص شود در این مثال

$$\text{حریم مجاز هادیها از زمین} = 6/2 + 0.5 = 6.7\text{m}$$

با استفاده از مطالب فوق جدول مقایسه را تشکیل می‌دهیم و در سطر آخر جدول (۷-۱) مقایسه حداکثر نیروی افقی وارد بر پایه‌های مماسی محاسبه و نوشته می‌شود. این نیرو از شرایط حداکثر باد حاصل می‌شود برای پایه ۱۲ متری و اسپن ۸۰ متری این نیرو برابر است با:

$$\text{قدرت لازم پایه مماسی} = \frac{h}{h_1} \times K S V^2 + 3 \times (S \times W_w) = \frac{5.2}{12-0.6} \times [0.0812 \times (0.3 \times 12) \times (16 \times 126)] + 3 \times [80 \times (126 \times 10.98 \times 10^{-3})] = 60 \text{ [kg]}$$

(در محاسبه این نیرو از نیروی باد وارد بر مقره صرف‌نظر شده است.)

چون طول اسپن در تمام موارد ۱۲ متر محاسبه شده، برآورد اقتصادی بین طول اسپن و قدرت لازم پایه باید صورت گیرد و اقتصادی‌ترین اسپن و قدرت پایه انتخاب شوند، پس از بررسی اقتصادی بین مقاومت پایه‌ها و طول اسپن، مقدار پارامتر سیم $a = ۶۵۰$ و اسپن معادل $Seq = ۸۵$ و ارتفاع پایه ۱۲ متر اقتصادی‌ترین حالت می‌باشد که شرایط f_m و ضریب اطمینان حداقل $۲/۵$ را هم برآورده می‌سازد.

جدول (۵-۵): جدول مقایسه

a	۶۵۰	۶۵۰	۶۰۰	۶۰۰	۵۵۰	۵۵۰	۵۰۰	۵۰۰	۴۵۰	۴۵۰	۴۰۰	۴۰۰
S (m)	۸۵	۷۵	۸۵	۷۵	۸۰	۷۵	۷۵	۷۰	۷۵	۶۵	۷۰	۶۰
f_{max} (m)	۱/۴۹	۱/۱۷	۱/۵۷	۱/۲۳	۱/۴۸	۱/۳	۱/۴۱	۱/۲۳	۱/۵۶	۱/۱۷	۱/۵۳	۱/۱۲
ضریب اطمینان	۲/۵۵	۲/۵۶	۲/۶۸	۲/۶۸	۲/۸۳	۲/۸۳	۳/۰۲	۳	۳/۲۷	۳/۲۱	۳/۵۸	۳/۴۸
ارتفاع محل نصب سیم از زمین (m)	۸/۱۹	۷/۸۷	۸/۲۷	۷/۹۳	۸/۱۷	۸	۸/۱۱	۷/۹۳	۸/۲۶	۷/۸۷	۸/۲۳	۷/۸۲
ارتفاع پایه (m)	۹/۸۹	۹/۵۷	۹/۹۷	۹/۶۳	۹/۸۷	۹/۷	۹/۸۱	۹/۶۳	۹/۹۶	۹/۵۷	۹/۹۳	۹/۵۲
ارتفاع نرم شده (m)	۱۲	۱۲	۱۲	۱۲	۱۲	۱۲	۱۲	۱۲	۱۲	۱۲	۱۲	۱۲
قدرت لازم برای پایه (Kg)	۶۲۱	۴۸۲	۶۲۱	۵۸۰	۶۰۰	۵۸۰	۵۸۰	۵۶۰	۵۸۰	۴۴۰	۵۶۰	۴۲۰

تهیه تمپلت:

طبق آنچه در بخش ۵-۵-۴-۱ بیان شد منحنیهای سرد و گرم و معمولی و فاصله مجاز سیم تا زمین و نیز منحنی محل پایه استاندارد رسم می‌شود و براساس آنها تمپلت تهیه می‌شود و سپس روی پروفیل (با توجه به عوارض و شکل زمین) پایه‌گذاری صورت می‌گیرد و محل دقیق پایه‌های مماسی و گوشه‌ای و زاویه پایه‌های گوشه‌ای مشخص می‌شود.

قدرت پایه‌های گوشه‌ای:

در این مرحله می‌توان قدرت لازم برای پایه‌های گوشه‌ای را محاسبه کرد.

برایند افقی نیروی کشش سیم در دو طرف + نیروی باد بر سیم + نیروی باد بر پایه = مجموع نیروهای وارد بر پایه

گوشه‌ای

بعنوان مثال اگر در نقطه‌ای خط باندازه 30° تغییر مسیر داده باشد:

$$\begin{aligned} \text{قدرت پایه} &= \frac{h}{h_1} (KSV^2) + 3 \times \left[S_w \times W_w \times \cos \frac{\gamma}{2} + 2H \sin \frac{\gamma}{2} \right] = \frac{5.2}{12-0.6} \\ &\times [0.0812 \times (0.3 \times 12) \times (16 \times 126)] \\ &+ 3 \times [85 \times (126 \times 10.98 \times 10^{-3}) \times \cos 15 + 2 \times 870.48 \times \sin 15] \\ &= 268.8 + 3 \times (113.6 + 450.6) = 1961 \text{ kg} \end{aligned}$$

بنابراین نیاز به دو پایه با قدرت نرم شده 1200 Kg و یا یک پایه 1200 Kg و مهار شود.

استفاده از مهار در صورت لزوم

اگر در جایی از مسیر خط، پایه توان مقاومت کامل در برابر نیروهای وارد بر آن را نداشته باشد به تناسب موقعیت ممکن است از یکی از انواع مهار استفاده شود. بنابراین باید نیروی وارد بر پایه‌ها کنترل نهایی شود. همچنین نیروی uplift باید کنترل شود و در صورت لزوم برای مقابله با آن از مهار استفاده شود.

در مثال فوق اگر در نقطه مذکور از یک پایه 1200 Kg و مهار استفاده شود نیروی مقاومت مهار بصورت زیر محاسبه می‌شود. (فاصله محل نصب سیم‌ها از زمین $h_1 = 11/4 \text{ m}$ و مهار ساده در فاصله $h_2 = 8 \text{ m}$ از سطح زمین به پایه متصل می‌شود. همچنین فرض می‌شود نقطه اتصال سیم مهار به زمین بگونه‌ای است که زاویه α برابر 60° می‌باشد.)

$$T' = \frac{h_1}{h_2} \times \frac{M - k_f}{\sin \alpha} = \frac{11.4}{8} \times \frac{1961 - 1 \times 1200}{\frac{\sqrt{3}}{2}} = 1252 \text{ kg}$$

جدول نصب و منحنیهای نصب:

برای پارامتر بدست آمده جدول نصب تهیه می‌شود و سطر مربوط از جدول استخراج می‌شود. در جدول مربوط به پارامتر ۶۵۰ سطر مربوط به اسپن معادل ۸۵m استخراج می‌شود و منحنیهای کشش و فلش نصب تهیه می‌شود. با استفاده از منحنیهای نصب بدست آمده نصب خط صورت می‌گیرد و کنترل میزان کشیده شدن سیم از طریق منحنی فلش در یک اسپن مشخص و یا از طریق منحنی کشش در هر اسپن دلخواه صورت می‌گیرد. در حین اجرای خط همواره باید رعایت فاصله هوایی مدنظر باشد.

۵-۸-۲- مثال کاربردی طراحی الکتریکی

یک خط توزیع به طول ۱۰ کیلومتر جهت انتقال ۵/۵ مگا ولت آمپر توان با ضریب توان ۰/۹ مد نظر می‌باشد. سطح ولتاژ و نوع هادی که باید در این خط توزیع بکار رود را تعیین کنید به گونه‌ای که در صد افت ولتاژ مجاز حداکثر ۵ درصد و سطح اتصال کوتاه لازم ۷ کیلوآمپر در مدت زمان ۰/۵ ثانیه را برآورده سازد.

با توجه به توان انتقالی و طول خط، حاصلضرب این دو مقدار ۵/۵ مگا ولت آمپر در کیلومتر را میدهد. ولی نمودارهای ما برحسب MWKM می‌باشند، پس مقدار ۵/۵ را در عدد ضریب توان ضرب می‌کنیم و مقدار تقریبی ۵ مگاوات در کیلومتر به دست می‌آید. طبق بند ۵-۲-۱ می‌بینیم که بر اساس نمودارها سیم مینک با ولتاژ ۲۰ کیلوولت و سیم فاکس با ولتاژ ۳۳ کیلوولت جوابگو می‌باشند. در مرحله بعدی بند ۵-۲-۲ را وارد موضوع می‌کنیم. سطح اتصال کوتاه ۷ کیلوآمپر در زمان ۰/۵ ثانیه را می‌بینیم. محل تقاطع ۷ کیلوآمپر و ۰/۵ ثانیه زیرمنحنی مینک قرار دارد، پس از دو حالت موجود سیم مینک انتخاب می‌شود. ظرفیت جریانی هادی به طور کاملاً دقیق از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$I^2 R + 10^5 W_s = 10^5 (W_c - W_r) A$$

در این رابطه W_s بصورت زیر می‌باشد:

$$W_s = \alpha s d$$

برای مناطق موجود در ایران $\alpha = 0/8$ و $S = 0/1$ بطور متوسط بهترین ضرائب می‌باشند.

پس برای هادی مانند مینک با $d = 1/1 \text{ cm}$ مقدار W_s برابر می‌شود با:

$$W_s = 0/8 \times 0/1 \times 1/1 = 0/088 \text{ W/cm}$$

$$W_r = 5/7 \cdot 4 \times E \left[\left(\frac{T_c}{1000} \right)^4 - \left(\frac{T_a}{1000} \right)^4 \right]$$

E: ضریب تشعشع که برای هادی‌ها معمولاً ۰/۸ در نظر گرفته می‌شود.

T_c دمای هادی و T_a دمای محیط که هر دو برحسب کلونین می‌باشند. باید مقدار T_c را برابر حداکثر دمای مجاز هادی که معمولاً عددی بین ۷۵ درجه سانتیگراد یا ۳۴۸ درجه کلونین و ۸۰ درجه سانتیگراد ($353^\circ K$) می‌باشد قرار داد.

$$W_c = \frac{5.27 \times 10^{-4}}{T_{av}^{0.123}} \sqrt{\frac{PV}{d}} \Delta t \quad (W/cm^2)$$

حال می‌توان برحسب مقادیر موجود و شرایط محیطی مقدار جریان مجاز هادی را بدست آورد که دارای سطح ولتاژ ۲۰ کیلوولت است. مقدار جریان خط $I_L = \frac{S}{\sqrt{3} \times V_L}$ برحسب کیلوآمپر مقدار $\frac{5.5M}{\sqrt{3} \times 20V}$ می‌باشد که تقریباً برابر ۱۶۲ آمپر است. از مقایسه I_L با جریان بدست آمده از رابطه تعادل

گرمایی، مناسب یا نامناسب بودن هادی مشخص می‌شود

فهرست مطالب

مراجع

- ۱- استاندارد هادی‌های خطوط انتقال نیرو- جلد ۲۰۱- محاسبات جریان اتصال کوتاه، جریان مجاز هادی‌ها و حد مجاز جریان- مهندسین مشاور نیرو- نگارش اول ۱۳۷۷.
- ۲- استاندارد خطوط هوایی توزیع- جلد اول: مبانی طراحی جداول کاربردی- پژوهشگاه نیرو- دی‌ماه ۱۳۷۹.

بخش دوم
معیارها و ویژگیهای فنی
(مصادق ندارد)

بخش سوم
آزمونها
(مصدق ندارد)

بخش چهارم
آئین کار و روشهای اجرایی
(مصدق ندارد)