استفاده از خطوط چند مداره دو ولتاژه در نواحی متراکم و پرمصرف

ناصر ابوالقاسمی - مهناز عطار
شرکت برق منطقه‌ای اصفهان

چکیده :

به علت رشد و گسترش بار در مناطق متراکم و پرمصرف ، خطوط جدید فوق توزیع و توزیع نیروی برق به صورت روزافزون توسعه میبابند. در این رابطه به علت اشغال فضاهای وسیع توسط این خطوط و حریمهای آنها ، احداث خطوط جدید با مسائل و مشکلات زیادی همراه است. ضمنا" خطوط متعدد و با فواصل نزدیک به هم در نواحی متراکم و پرمصرف مسکونی ، صنعتی و کشاورزی به غیر از اینکه به منظره عمومی این نواحی لطماتی وارد میسازد ، مشکلات متعددی از جهت مسائل اجتماعی و ایمنی افراد نیز در بر دارد.

از طرف دیگر بررسیها نشان میدهد که در اکثریت موارد خطوط فوق توزیع ۶۶ یا ۶۳ کیلوولت و حتی ۱۳۲ کیلوولت ، در مسیر خود با یک یا چند خط توزیع فشار متوسط ، هم راستا و یا موازی میباشند و در چنین حالاتی اگر به جای احداث خطوط مجزای موازی فوق توزیع و توزیع ، خط دو ولتاژه طراحی و نصب گردد مسائل و مشکلات مذکور به حداقل ممکن کاهش میبابد.

در این مقاله ضمن بررسی جنبه‌های مختلف خطوط چند مداره دو ولتاژه (فوق توزیع - توزیع)،یک نمونه نحوه تبدیل طرح برجهای استاندارد ۶۳ کیلوولت دو مداره وزارت نیرو را به برج دو ولتاژه (۲×۲۰ KV + ۲×۶۳ KV) مورد بررسی قرار داده و مشخصات فنی جدید برجها و مقایسه اقتصادی آنها را با دو خط مجزا و

موازی دو مداره ۶۳ کیلوولت و دو مداره ۲۰ کیلوولت مورد مطالعه قرار میدهیم. همچنین نشان داده میشود که این برجها در عین اینکه طبق طرح اولیه در خطوط ۶۳ کیلوولت دو مداره بکار گرفته خواهند شد ، میتوانند با تغییراتی در سایزهای برخی از اعضاء برجها و اضافه کردن کراس آرم مخصوص دو مدار ۲۰ کیلوولت در قسمت زیر کراس آرمهای ۶۳ کیلوولت ، با مشخصات جدید الکتریکی و مکانیکی و در اسپان معادل طراحی کمتر ، بعنوان برجهای دو ولتاژه چند مداره (۲×۶۳ KV + ۲×۲۰ KV) در خطوط چند مداره دو ولتاژه (فوق توزیع - توزیع) مخصوص نواحی متراکم و پرمصرف تبدیل شده و مورد استفاده قرار گیرد به قسمی که ضمن به مزایای فنی آن از نظر اقتصادی نیز بصرفه میباشد . هر چند که اصولا" میتوان برجهای چند مداره چند ولتاژه را نیز بصورت موردی و بر اساس شرائط اقلیمی و مشخصات فنی مورد نیاز ، دقیقا" طراحی و تولید و مورد استفاده قرار داد.

شرح مقاله :

۱ - مشخصات عمومی خطوط چند مداره - چند ولتاژه :

خطوط چند مداره (multicircuit) ، چند ولتاژه طی دهه‌های گذشته در اغلب کشورهای صنعتی که دارای پیک توان مصرفی بالا و رشد بار سالیانه متوسط میباشند توسعه زیادی یافته است خصوصا" در رابطه با کشورهائی که از درجه تراکم بالا در نواحی شهری و صنعتی برخوردار میباشند (در کاربردهای انتقال - فوق توزیع ، فوق توزیع - توزیع و حتی انتقال - فوق توزیع - توزیع) مزایای این خطوط استفاده از آنها را در نواحی متراکم و پرمصرف کشور ما مانند نواحی اطراف شهرهای بزرگ و محورهای بزرگ صنعتی و غیره نیز بتدریج ضروری ساخته است.

اصولا" نواحی و محورهای مصرفی که میتواند کاربرد این خطوط خصوصا" در نوع فوق توزیع - توزیع آن را توجیه نماید عبارتند از :

- قطبهای وسیع صنعتی و مجتمع‌های بزرگ کارخانجات
- محورهای صنعتی - مسکونی پربار (مانند محور صنعتی جاده کرج و محور صنعتی جاده تهران در اصفهان و غیره)
- محورهای صنعتی - کشاورزی

- محورهای کشاورزی - روستائی (بدلیل اقتصادی بودن احتمالی خط دو ولتاژه نسبت به خطوط مجزای فوق توزیع و توزیع یک ولتاژه)
- رینگهای فوق توزیع و توزیع اطراف شهرها و شهرکهای جدید
- ایجاد ارتباطات توزیع فشار متوسط (۲۰ و یا ۳۳ کیلوولت) بین پستهای فوق توزیع (۶۳/۲۰ و یا ۱۳۲/۲۰ ، ۱۳۲/۳۳ کیلوولت) از طریق نصب یک یا دو مدار توزیع روی خطوط فوق توزیع رابطه بین این پستها به منظور بالابردن قدرت عملیاتی و انجام مانورهای لازم روی خطوط توزیع در شرایط اضطراری
- تغذیه بارهای پراکنده در حوالی مسیر خطوط ۶۳ و ۱۳۲ کیلوولت مانند ایستگاههای مخابراتی ، ایستگاههای پمپاژ ، روستاهای کوچک ، بارهای پراکنده کشاورزی و در مواردی اتصال نیروگاههای کوچک و متوسط آبی و یا دیزلی پراکنده به شبکه (از طریق شبکه فشار متوسط) بوسیله نصب یک یا دو مدار توزیع روی برجهای خط ۶۳ و ۱۳۲ کیلوولت .

مهمترین عامل در استفاده از خطوط چند مداره چند ولتاژه کاهش عرض (right of way Corridor) نسبت به مجموع r.o.w خطوط مجزای یک ولتاژه هم راستا و موازی میباشد . پارامتر مشخص کننده این عامل " شاخص بازده مسیر " یا " r.o.w. efficiency index بر حسب MVA/m (توان ظاهری انتقالی بازاء هر متر عرض مسیر خط) میباشد .

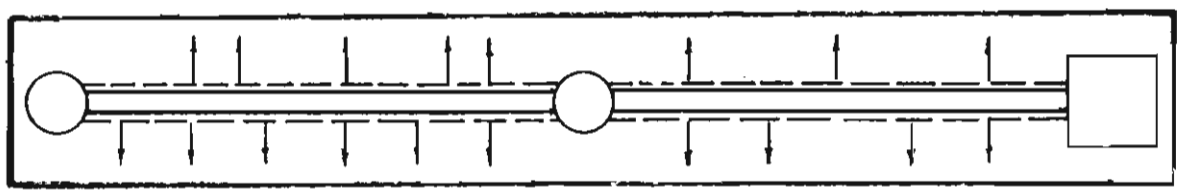
استفاده از روشهائی که در طرح خطوط compact منجر به کاهش طول کراس آرمها و ابعاد برج میگردد مانند استفاده از زنجیره‌های V شکل و Y شکل و با استفاده از مقره‌های line post سرامیکی یا composite (سیلیکون - پلاستیک) بعنوان "ایزولاتور کراس آرم" در فشار متوسط در رابطه با خطوط چند مداره ، چند ولتاژه نیز باعث افزایش بیشتر شاخص بازده مسیر (MVA/m) و هر چه بهینه‌تر نمودن آنها میگردد .

بعلت اهمیت نسبی بیشتر خطوط چند مداره چند ولتاژه و عبور از نواحی متراکم و پرمصرف مسکونی ، صنعتی و غیره ، این خطوط لازم است از جنبه‌های مختلف الکتریکی ، مکانیکی و حفاظتی با درجه اطمینان بالاتری طراحی شده و در محاسبات مربوط به طراحی مکانیکی و الکتریکی آنها ضرائب اطمینان بالاتری منظور گردد .

۲ - موارد کاربرد خطوط چند مداره ، دو ولتاژه و طرحهای پیشنهادی :

طرحهای مختلف و متنوعی از این خطوط را میتوان با توجه به نیازهای موردی تهیه و باجراء در آورد. برخی مثالهای نمونه‌ای از موارد کاربرد این خطوط بشرح زیر میباشد :

- در حالت تغذیه دو پست فوق توزیع از یک پست انتقال بطوری که خط فوق توزیع رابط بین آنها با خطوط توزیعی که بارهای مسیر را تغذیه مینمایند هم راستا باشند.



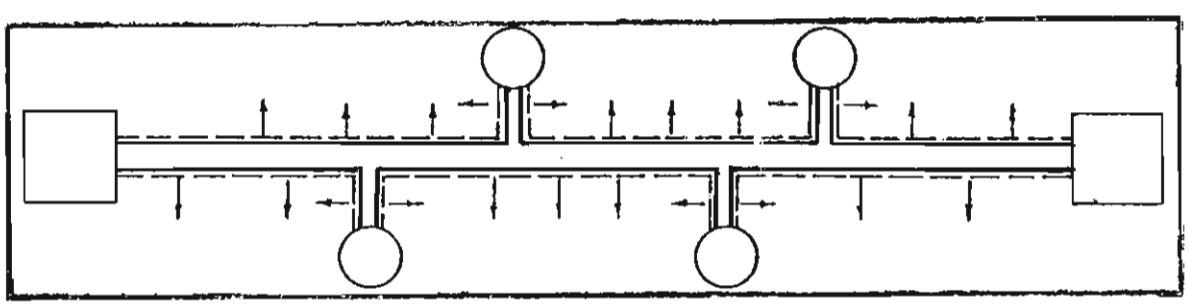
یک مدار ۶۳ کیلوولت — پست انتقال کاهنده

" " ۲۰ " " - - - - پست فوق توزیع

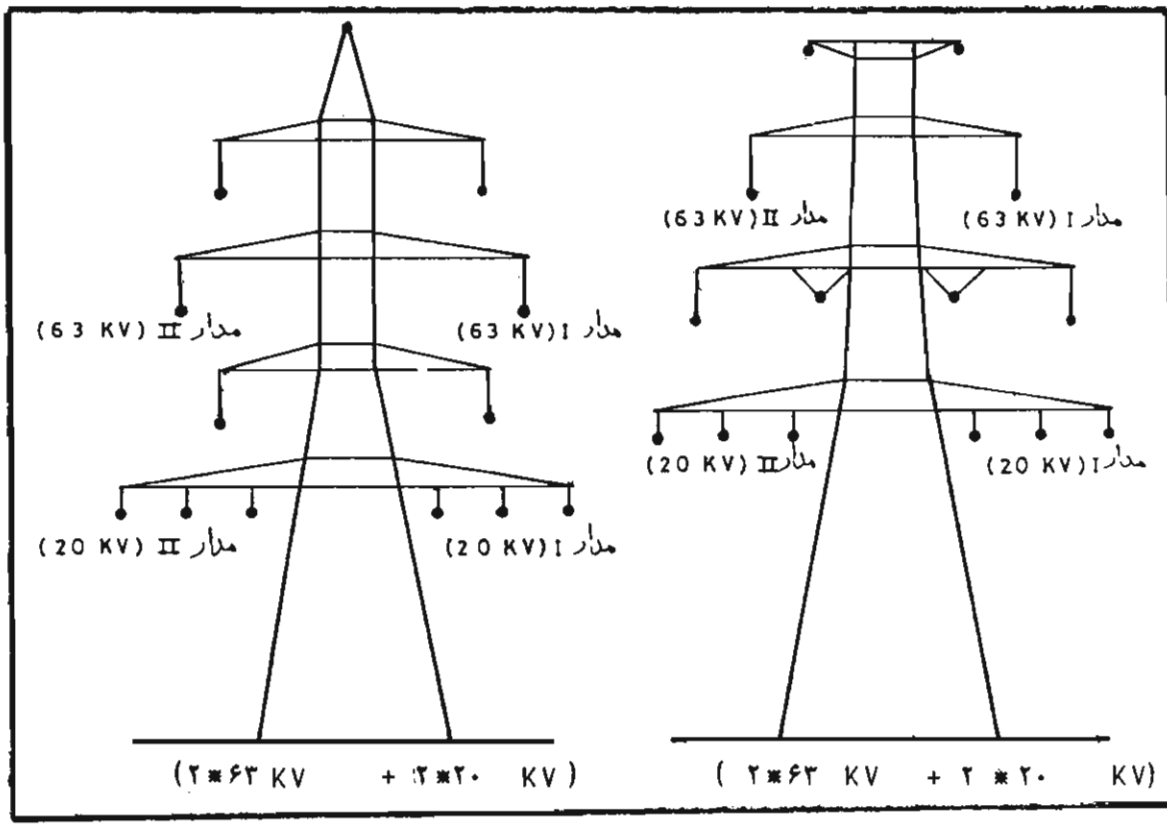
انشعاب ۲۰ کیلوولت از خط اصلی (۶۳/۲۰ یا ۱۳۲/۲۰ و غیره)

خط چهار مداره دو ولتاژه (۲ × ۲۰ kv + ۲ × ۶۳ kv)

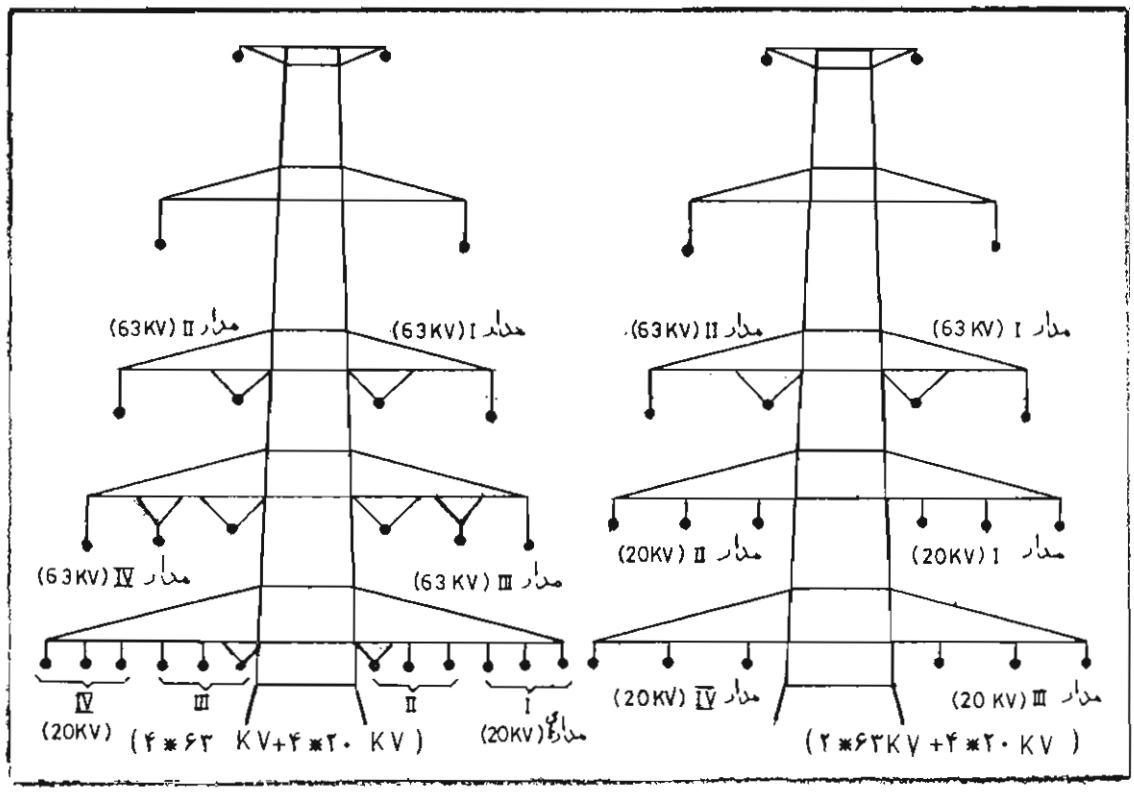
و یا در حالت تغذیه چند پست فوق توزیع از دو طرف توسط دو پست انتقال بطوری که در مسیر خطوط فوق توزیع بارهای متعدد توزیع فشار متوسط وجود داشته باشد .



و یا در حالات متنوع دیگر از جهت موازی بودن خطوط فوق توزیع و توزیع نیرو کاربرد خواهند داشت . در این موارد آرایش مدارها و فازها به اشکال زیر میتوانند طراحی گردند .



در رابطه با نواحی بادانسیته بار بالا مانند محورهای صنعتی و مسکونی وسیع و یا قطبهای بزرگ صنعتی که توسط چندین پست فوق توزیع در نقاط مختلف آن تغذیه میگردند میتوان یک خط با تعداد لازم مدارهای فوق توزیع و توزیع طراحی نموده و مسیر آنرا بقسمی تعیین نمود که از پستهای فوق توزیع و یا نزدیکی آنها عبور نمایند (مسیر بهینه) . در این صورت برای تغذیه پست فوق توزیعی که با فاصله از خط اصلی قرار دارد خط انشعابی از خط اصلی با تعداد مدار کمتر نصب میگردد که این خط انشعابی فرعی در واقع مدارهای مربوط به آن پست فوق توزیع را روی آن ورود و خروج مینماید (مدارهای فوق توزیع و توزیع نیرو) این خطوط میتوانند برحسب مشخصات مورد نیاز در هر طرح و یا در نظر گرفتن جنبه‌های فنی و اقتصادی آن و انتخاب مسیرهای بهینه به صورت مختلف مانند (۴ × ۶۳ kv + ۴ × ۲۰ kv) ، (۳ × ۶۳ kv + ۴ × ۲۰ kv) ، (۲ × ۶۳ kv + ۴ × ۲۰ kv) ، (۲ × ۶۳ kv + ۲ × ۲۰ kv) و یا (۲ × ۶۳ kv + ۱ × ۲۰ kv) و غیره طراحی و اجراء گردند .



در محدوده تحت پوشش برق منطقه‌ای اصفهان محورهای متراکم و پرمصرف صنعتی - مسکونی جاده تهران جاده نائین ، جاده شیراز و غیره ، محور صنعتی متشکل از کارخانجات سیمان اصفهان ، سیمان سپاهان پلی‌اکریل ، داروسازی ، ایرانیت و کارخانجات متعدد دیگر ، محور صنعتی مسکونی ، جاده فرودگاه ، کاوه ، دولت آباد و غیره و حلقه‌های ۶۳ کیلوولت اطراف شهر اصفهان که شامل خطوط غرب ، جنوب ، سروش و مشتاق میگردد و تعداد زیادی از پستهای ۶۳/۲۰ کیلوولت داخل شهر اصفهان از آن تغذیه نموده یا خواهند نمود نمونه‌هائی از کاربرد این خطوط میباشند. (انشعاب‌گیری از این خطوط هم در رابطه با مدارهای فوق توزیع و هم در رابطه با مدارهای توزیع و یا ترکیب آنها با طرحهای خاص عملی میباشد).

۳ - بررسی مسائل خطوط چند مداره ، چند ولتاژه :

در خطوط چند مداره ، چند ولتاژه مسئله اساسی این است که وقتی یکی از مدارها نیاز به خاموشی و انجام تعمیرات داشته باشد کار تعمیراتی روی آن بدون خاموشی روی سایر مدارها انجام گردد و در واقع انجام کار تعمیراتی روی هر یک

از مدارها در حالت برقدار بودن و بهره‌برداری از سایر مدارهای خط انجام گردد (تنها هنگام تعمیرات یکمدار ، سیستم Autoreclosing سایر مدارها موقتا" بعلت دلایل حفاظتی از مدار خارج میگردند و پس از انجام کار مجددا" وارد مدار میگردند) ضمنا" اگر انجام کار تعمیرات روی مدار معیوب بدون خاموشی آن و با استفاده از وسایل HOT LINE باشد (وسایل کار روی خطوط برقدار که بدون خاموشی روی مدار معیوب ،بخش اعظم کارهای تعمیراتی آن انجام میگردد) . در اینصورت لازم است فواصل مدارها از یکدیگر و فواصل فازها از یکدیگر و از بدنه مناسب کار تعمیراتی با روش کار روی خطوط گرم در نظر گرفته شود ، علیهذا ، هنگام خاموشی یکمدار و انجام کار تعمیراتی روی آن در شرایط برقدار بودن سایر مدارهای روی برج ، مسائل زیر بایستی مورد بررسی و توجه قرار داده شوند .

۱-۳- بررسی تاثیرات مدارهای برقدار روی مدار بی‌برق :

وقتی یکی از مدارها برای تعمیرات قطع گردد در معرض هدایت و تحت تاثیرات القائی ناشی از میدانهای مغناطیسی و الکتریکی سایر مدارها که کماکان در حالت برقدار و مورد بهره‌برداری میباشند قرار دارد .

- هدایت در حالت وقوع اتصال کوتاه بین یک یا چند فاز با زمین در مدارهای برقدار اعمال میگردد بدین ترتیب که جریان اتصال کوتاه از طریق بدنه برج به سیستم زمین کننده برج و به زمین انتقال مییابد و در این شرایط ولتاژ بدنه برج نسبت به زمین دور (پتانسیل صفر) زیاد میگردد .
- تاثیرات القائی ناشی از میدانهای الکتریکی مدارهای برقدار هم در حالت بهره‌برداری نرمال و هم در شرایط بروز خطا در سیستم مطرح میباشد .
- تاثیرات القائی ناشی از میدانهای مغناطیسی مدارهای برقدار نیز هم در حالت بهره‌برداری نرمال و هم در شرایط بروز خطا در سیستم مطرح میباشد .

در سیستمهای مستقیما" زمین شده مانند سیستم کشور ما اثرات ناشی از اتصال زمین تکفاز در سیستم و یا روی یکی از مدارهای برقدار بحرانی‌ترین حالت را ایجاد مینماید و مسئله اساسی در اینجا این است که چگونه کارگرانی را که روی مدار خاموش کار نموده و مشغول تعمیرات میباشند را محافظت نمود . چنانچه در ذیل خواهیم دید روش مؤثر برای کاهش اثرات القائی مدارهای برقدار روی مدار بی‌برق در خط چند مداره خصوصا" در حالت وقوع اتصال زمین تکفاز در سیستم

یا یکی از مدارهای برقدار عبارت است از اتصال مؤثر فازها به زمین در مدار بی‌برق در دو انتهای آن و روی برجی که تعمیرات جریان دارد ، و در صورتی که محل کار روی مدار بی‌برق در طول قسمتی از خط گسترده باشد روی کلیه برجهائی که کارگران مشغول کار میباشند سه فاز مدار بی‌برق بیکدیگر وصل و به بدنه برج وصل میگردد و نشان داده خواهد شد که در این حالات ولتاژهای القائی خطرناک ایجاد نخواهد گردید .

۲-۳- بررسی ولتاژهای القائی در حالات مختلف روی مدار بی‌برق تحت تعمیرات :

ولتاژ القائی روی مدار بی‌برق به مشخصات هادیهای خط ، آرایش فازها و مدارهای خط (فواصل هندسی) و مهمتر از همه مقادیر جریانهای واقعی مدارهای دیگر مربوط میگردد .

مقادیر واقعی ولتاژهای القائی را میتوان در عمل روی خط و تحت حالات مختلف بی‌برق بودن هر یک از مدارها اندازه‌گیری و کنترل نمود بررسیهای مختلف روی خطوط چند مداره چند ولتاژه در کشورهای مختلف صنعتی مؤید این موضوع بوده است که در صورت استفاده از سیستم اتصال زمین مؤثر در نقاط مختلف مدار بی‌برق ولتاژهای القائی در حد خطر آفرین ایجاد نمیگردند.

اثرات القائی در حالت اتصال زمین تکفاز در یکی از مدارهای برقدار روی مدار بی‌برق بیشترین ولتاژ القائی را ایجاد مینماید (بعلت عدم تقارن زیاد در این نوع اتصالی و جریان برگشت از طریق زمین) ولتاژ القائی در اینحالت از رابطه زیر بدست می‌آید .

$$Ei = 2\pi \; F. \; 3Io \; . \; M.L.r_{rez}$$

که در آن

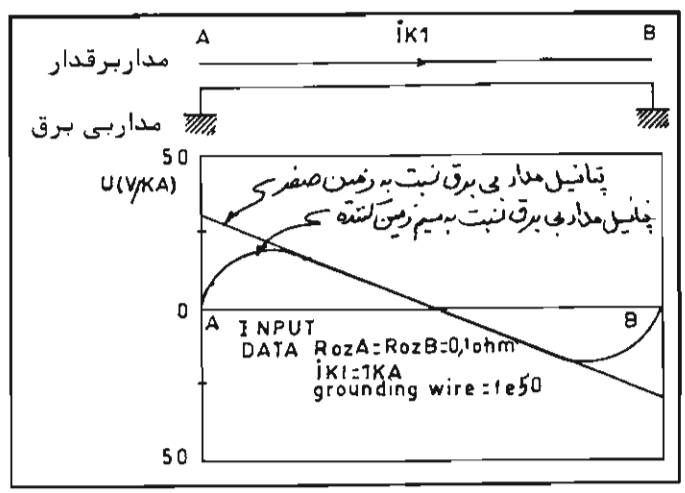
ولتاژ القائی طولی .	=	Ei(V)
مؤلفه صفر جریان اتصال زمین تکفاز	=	Io(A)
اندوکتانس متقابل مدارهای جریان دار بین مدارهای برقدار زمین و مدار بی‌برق زمین	=	M(H/km)
طول موازی مدارها	=	L(km)
ضریب کاهش ناشی از سیم زمین	=	r_{rez}

"joint reduction factor of compensating condoctors "

بعلت اختلاف مقادیر ولتاژ القاء شده که در حالات و محلهای مختلف اتصال زمین بوجود می‌آید ، لازم است آنالیزهائی برای محلهای مختلف اتصال زمین برای مدارهای برقدار و یا در سیستم ، انجام و نتایج مشخص گردند. لذا ابتدا حالت وقوع اتصال کوتاه تکفاز - زمین در سیستم و سپس حالت اتصال کوتاه روی یکی از مدارهای برقدار را بررسی میکنیم .

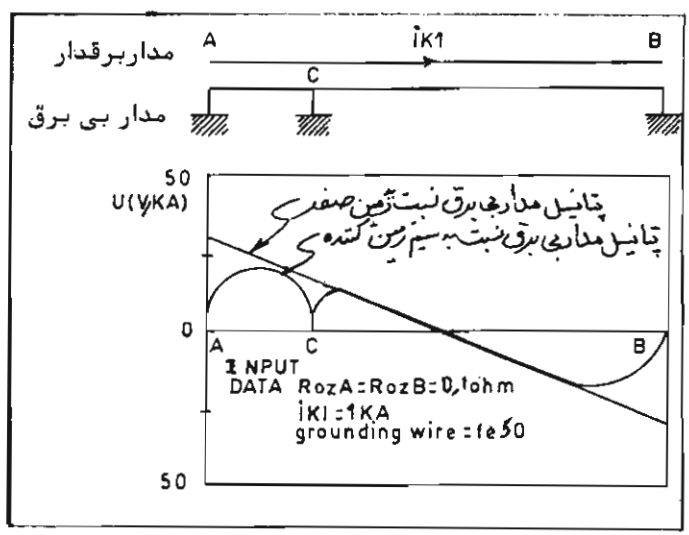
۱-۲-۳- اتصال کوتاه تکفاز - زمین روی سیستم :

در حالتی که اتصال زمین تکفاز روی نقطه‌ای از سیستم و خارج از محدود خط چند مداره اتفاق بیافتد جریان اتصال کوتاه از همه طول مدارهای مربوطه در طول خط چند مداره عبور مینماید .اگر مدار بی‌برق در دو نقطه زمین شود (در ابتدا و انتها) مانند سیم زمین کننده عمل نموده و بنابراین جریان اتصال کوتاه برگشتی از زمین را کاهش میدهد . در نقاط B و A مدار بی‌برق ، هادیها پتانسیلهای نقاط زمین شده B و A را خواهند داشت و چون تقریبا" جریان برگشتی از زمین وجود ندارد پتانسیل هادیها بصورت خطی در طول خط AB دیاگرام ذیل کاهش مییابد و پتانسیل سیم زمین کننده در نقاط B و A بسرعت مقادیر خود را بعلت عبور جریان از سیم زمین کننده و برجها تغییر میدهد و منجر به ایجاد اختلاف پتانسیل بین هادیهای مدار بی‌برق و برجها خواهد گردید ، مقادیر تقریبی این اختلاف پتانسیل در منحنی زیر نشان داده شده است .



"توزیع پتانسیل فاز-زمین مدار بی‌برق که در ابتدا و انتها زمین شده است برای هر طول بین A و B در شرایط وقوع اتصال کوتاه تکفاز-زمین در مدار برقدار"

مقدار افزایش ولتاژ روی برج مورد تعمیرات بشدت کاهش مییابد اگر روی این برج هادیهای مدار بیبرق را بهم وصل نموده و به بدنه اتصال دهیم . اختلاف پتانسیل متقاطع جریان متعادل کننده‌ای ایجاد میکند که از سیستم زمین کننده آن برج عبور نموده و همچنین از طریق سیستمهای زمین برجهای راست و چپ آن نیز عبور مینماید ، بنابراین افزایش ولتاژهائی بوجود میآورد که در شکل زیر بصورت تقریبی نشان داده شده است (در عمل بهتر است هادیهای مدار بیبرق در برجهای طرفین برج مورد تعمیرات هم برای اطمینان بیشتر زمین گردند) . با افزایش تعداد برجهائی که مجموعه هادیهای مدار بیبرق آنها به بدنه تاور وصل شده ، شرایط ولتاژ و جریان روی مدار بیبرق مشابه شرایط سیم زمین کننده خواهد گردید و درجه اطمینان بسیار بالائی تأمین میگردد.



" توزیع ولتاژ فاز - زمین در مدار بیبرق که در دو انتها زمین شده و در نقطه محل کار هم زمین شده باشد برای هر طول بین A و B تحت شرایط وقوع اتصال کوتاه تکفاز - زمین در مدار برقدار "

۲-۲-۳ - اتصال زمین تکفاز روی یکی از مدارهای برقدار خط :

برای بررسی ولتاژ القائی روی مدار بیبرق در حالت اتصال کوتاه تکفاز- زمین روی خود مدار برقدار (نه خارج آن) همان اصولی که در رابطه با اتصال زمین - تکفاز خارج از آن (روی سیستم) مصداق داشت جاری است. تنها اختلاف در اینجا این است که محل اتصال کوتاه زمین تکفاز نقطه‌ای است که جریان اتصال زمین IK1 تغییر جهت میدهد و باین ترتیب جهت ولتاژ القائی هم

تغییر مینماید . در این حالت اگر اتصال زمین تنها در یک طرف مدار بی‌برق انجام گردد هادیهای آن باعث کاهش عبور جریان اتصال زمین برگشتی نمیگردد . ولی وقتی دو انتهای مدار بی‌برق زمین گردد در اینحالت درجه مؤثر بودن هادیهای این مدار در کاهش جریان برگشتی از زمین بستگی به موقعیت و محل اتصالی تکفاز - زمین روی خط دارد . بیشترین درجه تاثیرپذیری وقتی است که اتصالی در طرفین اتقاق بیافتد و حداقل درجه تاثیرپذیری وقتی است که اتصالی در وسط خط اتفاق بیافتد و باین ترتیب با افزایش تعداد نقاط اتصال زمین شده هادیهای مدار برقدار کاهش قابل ملاحظه‌ای در ولتاژ القائی حاصل میگردد .

۳-۲-۳ - مقدار جریان اتصال زمین تکفاز IK1 :

پارامتر اصلی در مقدار ولتاژ القائی روی مدار بی‌برق مقدار آن IK1 میباشد که از مدار برقدار تحت اتصالی عبور میکند (اعم از اینکه این اتصال با روی سیستم اتفاق افتاده و یا روی خود این مدار باشد). مقدار جریان $3I_o$ که در مدار برقدار جریان میبابد مبنای محاسبه ولتاژهای القائی در مدار بی‌برق میباشد. برای این منظور محاسبات اتصال کوتاه شبکه در طرحهای موجود و توسعه آینده مشخص کننده مقادیر جریانهای اتصال کوتاه خواهد بود که بر اساس آن میتوان مقادیر ولتاژهای القائی روی مدار بی‌برق را در حالات مختلف اتصال کوتاه در سیستم محاسبه نمود. در حالت مدار بی‌برق دو طرف زمین شده ،اختلاف پتانسیل بین هادیها و بدنه برج در اثر وقوع اتصال کوتاه تکفاز - زمین روی سیستم و یا یکی از مدارهای برقدار همیشه خیلی کمتر از مقدار اختلاف پتانسیل بین هادی و زمین دور میباشد ، کاهش اختلاف پتانسیل بین هادیهای مدار بی‌برق و برجها همیشه با به هم بستن هادیها و اتصال آن به برج کاملا" تامین میگردد .

بر اساس این بررسیها این نتیجه کلی حاصل میگردد که در خطوط چند مداره و تحت بهره‌برداری وقتی روی یک مدار کار تعمیراتی ضرورت یابد میتوان اینکار را تنها با خاموش کردن آن مدار و بدون قطع جریان بهره‌برداری از مدارهای دیگر و با رعایت دستورالعملهای مربوطه انجام داد .

۴ - اضافه نمودن دو مدار ۲۰ کیلوولت به برجهای ۶۳ کیلوولت دو مداره استاندارد وزارت نیرو :

در این بررسی سعی میکنیم برجهای ۶۳ کیلوولت دو مداره استاندارد وزارت

نیرو را با اضافه نمودن کراس آرم ۲۰ کیلوولت در زیر کراس آرمهای موجود به برجهای چهار مداره دو ولتاژه تبدیل نمائیم (به منظور استفاده در خط دو ولتاژه ۲۰ KV × ۲ + ۶۳ KV × ۲) و یا در موارد خاص میتوان تنها یک مدار ۲۰ کیلوولت به برج اضافه نمود (خط سه مداره و ولتاژ ۲۰ KV × ۱ + ۶۳ KV × ۲) اضافه نمودن دو مدار ۲۰ کیلوولت روی برج استاندارد باعث تغییرات بشرح زیر میگردد.

الف - بارهای ناشی از دو مدار ۲۰ کیلوولت اضافه شده به برج (در رژیمهای مختلف بارگذاری) باعث overload شدن برج و از دست رفتن پایداری مکانیکی آن میگردد و در این رابطه لازم است

- اسپان معادل طراحی (و به تبع آن اسپانهای وزن و باد برج) کاهش یابند .
- تعدادی از اعضاء اصلی (Legmembers) و اعضاء مهاری (bracings) برج در قسمت بدنه زیر کراس آرم ۲۰ کیلوولت تقویت گردند .
- کراس آرم ۲۰ کیلوولت از نظر سازه‌ای برای بارهای وارده در حالات مختلف بارگذاری طراحی و برای اتصال آن به بدنه برج اتصالات لازم و مقاطع قابی شکل روی بدنه برج طرح و ساخته شوند .

ب - اسپان الکتریکی کاهش مییابد و مقدار آن در برج دو ولتاژه با توجه به حداقل فاصله فازهای ۲۰ کیلوولت محاسبه میگردد .

ج - ارتفاع مفید طراحی برج کاهش مییابد و مقادیر مختلف آن برای ترکیبات گوناگون بدنه مشترک بدنه‌های الحاقی و پایه‌های الحاقی با توجه به ارتفاع هادیهای ۲۰ کیلوولت مشخص میگردد. در اینجا اختلاف ارتفاع کراس آرم ۲۰ کیلوولت با پائین‌ترین کراس آرم ۶۳ کیلوولت ۴/۱ متر (برای تأمین حداقل فاصله ۳/۵ متر بین فازهای ۲۰ و ۶۳ کیلو ولت و با توجه به وضعیت سازه‌ای بدنه برج) در نظر گرفته شد که به این ترتیب ارتفاع مفید طراحی به مقدار ۳/۵ متر کاهش مییابد.

مشخصات برج ۶۳ کیلوولت دو مداره استاندارد شده وزارت نیرو بشرح زیر میباشد :

پایه وسط خط مقره آویزی تا ۳° انحراف — DC3
پایه زاویه مقره کششی تا ۳۰° انحراف — DC30
پایه زاویه مقره کششی تا ۶۰° انحراف و پایه انتهایی (Dead - end) — DC60/D.E

انواع پایه‌ها (دو مداره)

اسپان معادل طراحی	۳۰۰ m	
اسپان باد	۳۳۰ m	
اسپان وزن	۶۰۰ m	
اسپان الکتریکی	۳۵۰ m	
هادی اصلی	LYNX	
سیم گارد	مغز سیم فولاد LYNX	

این برجها برای سه منطقه آب و هوائی ایران ، منطقه سبک ، متوسط و سنگین طراحی و استاندارد شده است . ما در اینجا بعنوان نمونه طرح تبدیل برج وسط خط DC3 به برج چهار مداره دو ولتاژه را مورد بررسی قرار میدهیم . در این بررسی برج DC3 با بدنه الحاقی ۳ متری و پایه الحاقی ۶ متری و در منطقه آب و هوائی متوسط در نظر گرفته شده است ، بدیهی است میتوان با همین روش انواع دیگر برجها و همچنین برای شرایط آب و هوائی سبک و سنگین نیز بررسی را تعمیم داده و نتایج مورد نظر را استنتاج نمود . برای تأمین پایداری مکانیکی برج تبدیل یافته سه راه حل وجود دارد .

راه حل اول - کاهش قابل ملاحظه در اسپان معادل طراحی (و نتیجتا" در اسپانهای وزن و باد برج) بقسمی که نتایج آنالیز سازه‌ای برج نشان دهنده حالت پایدار آن باشد .

راه حل دوم - عدم تغییر در اسپان معادل طراحی و بدین منظور تغییر کامل طرح بدنه برج در قسمت زیر کراس آرم ۲۰ KV از جهت ابعادی و سایزهای اعضاء .

راه حل سوم - کاهش متوسط در اسپان معادل طراحی و تقویت تعدادی از اعضاء بدنه برج در قسمت زیر کراس آرم ۲۰ کیلوولت (بدون تغییر در ابعاد بدنه برج)

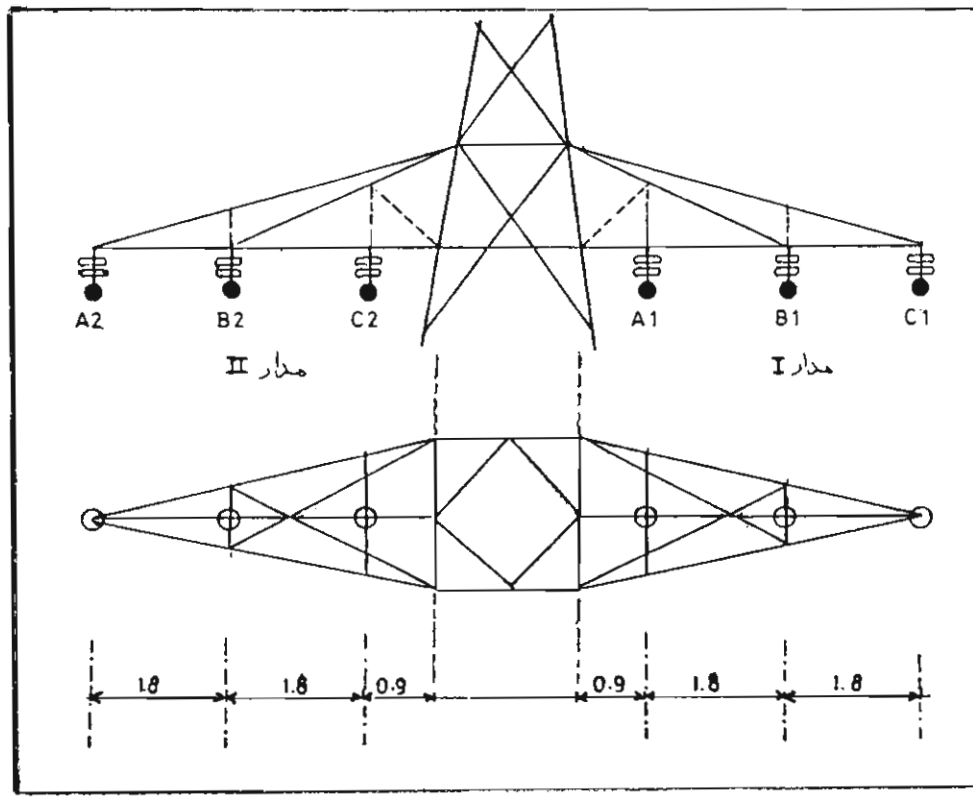
طرح اول بعلت کاهش قابل ملاحظه در اسپان معادل طراحی تعداد پایه‌ها را زیاد نموده و طرح را غیراقتصادی میسازد.

طرح دوم باعث تغییر کلی در بخش اعظم ساختمان برج میگردد و در این شرایط بهتر است کلا" برج جدیدی طراحی گردد، ولی طرح سوم هم از نظر فنی و هم از نظر اقتصادی مطلوب میباشد ، چون اولا" در ساختمان بدنه برج بجز تعویض برخی از اعضاء با سایزهای تقویت شده و اضافه کردن کراس آرم ۲۰ کیلوولت تغییر قابل ملاحظه‌ای ایجاد نمیکردد ، و ثانیا " کاهش متوسط در اسپان معادل طراحی و بالنتیجه اسپانهای وزن و باد برج با کاهش طول اسپان ناشی از کم شدن ارتفاع مفید پایه (بعلت اضافه شدن مدارهای ۲۰ کیلوولت) و با کاهش اسپان الکتریکی (به لحاظ فاصله کمتر فازها در مدارهای ۲۰ کیلوولت) هماهنگی داشته و طرح را بسمت هر چه بهینه نمودن آن هدایت مینماید . (با توجه باینکه ارتفاع مفید طراحی ۳/۵ متر کم میگردد ، ارتفاع مفید طراحی در برج DC3 از (۲۵ m - ۱۳) به (۲۱/۵ m - ۹/۵)،در برج DC30 نیز به همین صورت و در برج DC60 از (۲۱ m - ۱۳) به (۱۷/۵ m - ۹/۵) تبدیل میگردد که کاهش اسپان متوسط ناشی از آن با کاهش اسپان معادل و اسپانهای وزن و باد برج ، و اسپان الکتریکی هماهنگی نسبی داشته و ضمنا" از تنوع ارتفاعات مفید مناسبی برخوردار میباشد .

۵ - طراحی برج چهار مداره دو ولتاژه ۶۳ و ۲۰ کیلو ولت با توجه به برج استاندارد ۶۳ کیلوولت دو مداره وزارت نیرو :

۵-۱- تعیین فواصل فازها و انتخاب هادی ۲۰ کیلوولت :

با توجه به راه حل سوم فوق‌الذکر لازم است بارهای وارده از سیمهای ۲۰ کیلوولت در رژیمهای بارگذاری مختلف بر برج اعمال گردد ، ولی در ابتدا برای تعیین فاصله فازهای مناسب و طول کراس آرمهای ۲۰ کیلوولت آنها را متغیر اختیار نموده و بقسمی که اسپان الکتریکی (با توجه به فاصله فازها) از ۲۶۰ متر کمتر نگردد و ضمنا" با توجه به حداکثر انحراف زنجیره ایزولاتور فاز کناری (جنب بدنه برج) حداقل فاصله مجاز فاز - زمین (بدنه) رعایت گردد . بر این اساس ، سعی و خطاهای متعدد فواصل بهینه فازهای ۲۰ کیلوولت دو مدار و فاصله فاز - بدنه (برای فاز جنب بدنه) را بصورت زیر مشخص نمود.



متر ۰/۹ = فاصله فاز کناری از بدنه برج (در حالت عادی)

متر ۱/۸ = فواصل فازهای ۲۰ کیلوولت در هر مدار

(فاصله ۱/۸ متر بین فازها با توجه به حداقل اسپان الکتریکی ۲۶۰ متر و فاصله ۰/۹ فاز کناری تا بدنه با توجه به انحراف ماکزیمم زنجیره ایزولاتور در اثر باد شدید و ملاحظات تعمیراتی بدست می‌آید.) هادیهای استاندارد شده توسط وزارت نیرو برای ۲۰ KV عبارت از هادیهای HYENA, DOG, MINK میباشند .

هادی MINK از نظر مکانیکی برای چنین طرحی ضعیف بوده (U.T.S=۲۲۰۵ kg) و از نظر الکتریکی هم برای خطوط اصلی ۲۰ Kv مناسب میباشد (۰/۵۴۰ Ω/Km = RDC 20°C) هادی DOG هر چند از نظر الکتریکی مناسب میباشد (۰/۲۷۲ Ω/Km = RDC 20 C) ولی از نظر مکانیکی با U.T.S = ۳۳۱۰ kg در مقابل هادی HYENA که دارای مشخصه U.T.S = ۴۱۵۵ kg میباشد ضعیفتر بوده و در نتیجه فلش بیشتری ایجاد مینماید و موجب کاهش طول اسپان میگردد در حالی که هادی HYENA از نظر مکانیکی قویتر و از نظر الکتریکی هم مناسب میباشد (۰/۲۷۰ Ω/Km = RDC20 C) و باین ترتیب هادی HYENA برای طرح انتخاب میگردد (در موارد استثنائی که شرایط آب و هوائی منطقه فوق سنگین باشد میتوان از هادی HOURSE با U.T.S = ۶۱۱۰ kg که از نظر مکانیکی خیلی قوی بوده و نیز از نظر الکتریکی با ۰/۳۹۳ Ω/Km = RDC 20 C نسبتا "

مناسب میباشد استفاده نمود.)

۲-۵- طرح سازه‌ای کراس آرم ۲۰ کیلوولت و تعیین اعضاء جایگزین و اضافه شده در بدنه برج :

جهت طراحی و اضافه کردن کراس آرم KV ۲۰ از برنامه کامپیوتری طراحی سازه TRW استفاده شده است . برای اینکار نخست از طرح برج استاندارد شده KV ۶۳ استفاده شده و مختصات گره‌ها و اعضاء برج ، مشخصات نبشیهای مورد استفاده و همچنین load های اعمال شده بر گره‌ها ناشی از هادی LYNX ، سیم گارد و باد بر برج در منطقه آب و هوائی متوسط و اسپان معادل ۳۰۰ متر به برنامه داده میشود . برنامه در وهله اول ، طرح فیزیکی برج را بررسی کرده و پرسپکتیو سازه معرفی شده را ارائه میدهد . در این مرحله تصمیمات لازم انجام گرفته و پس از اطمینان از معرفی صحیح ساختمان برج ، برنامه اصلی جهت تحلیل سازه اجراء میگردد .
خروجی این برنامه شامل اطلاعات کاملی از وضعیت برج ، میزان جابجائی گره‌ها ، XL و KL/R ، وزن و سطح نبشیها و همچنین ضریب اطمینان هر عضو میباشد که با بررسی این پارامترها میتوان پایداری و بهینه بودن سازه را مورد تحلیل قرار داده و در صورت نیاز ، اعضاء را تصحیح نمود . از آنجا که برج فوق قبلا" با این برنامه طراحی گردیده است ، از همین طرح برای برج دو ولتاژه ۶۳ و ۲۰ کیلوولت استفاده شده و پس از اطمینان از اجرای صحیح برنامه که گویای معرفی صحیح برج میباشد به اضافه کردن کراس آرم ۲۰ کیلوولت پرداخته میشود . طرح الکتریکی داده شده مربوط به فواصل فازهای ۲۰ کیلوولت از یکدیگر و فاصله فاز کناری از بدنه و فاصله مدارهای KV ۲۰ با پائین‌ترین فازهای ۶۳ کیلوولت که در واقع موقعیت قرار گرفتن کراس آرم ۲۰ کیلوولت را روی بدنه برج و طول آنرا مشخص مینماید اعمال نموده و سپس بارهای ناشی از سیمهای ۲۰ کیلوولت را در نقاط اثر مربوطه روی کراس آرم مشخص مینمائیم (برای حالات مختلف بارگذاری و در اسپانهای مختلف).

برای اعضاء کراس آرم ۲۰ کیلوولت سعی شده است از همان تیپهای نبشی که در ساختمان برج استاندارد ۶۳ کیلوولت بکار رفته استفاده گردد . بقسمی که نبشیهای انتخاب شده از نظر مقاومت مکانیکی برای کراس آرم KV ۲۰ مناسب باشند . مجددا" برج جدید گره‌گذاری و اعضای آن نامگذاری میشوند ، بارگذاری کراس آرم KV ۲۰ در ترکیبات مختلف بارگذاری با توجه به اسپانهای جدید معادل

طراحی که آنها نیز بر اساس اسپان الکتریکی جدید و ارتفاعات مفید طراحی جدید برج (با توجه به اضافه شدن مدارهای KV ۲۰) انتخاب میگردند محاسبه شده است این اسپان ابتدا ۲۵۰ متر در نظر گرفته شده و پس از محاسبه بارهای هادی LYNX (۶۳ کیلوولت) و سیم گارد و هادی HYENA (۲۰ کیلوولت) در این حالت ، تغییرات به برنامه اعمال میشود . مراحل قبل تکرار و اجرای برنامه تا اخذ فایل نهائی پیش میرود .

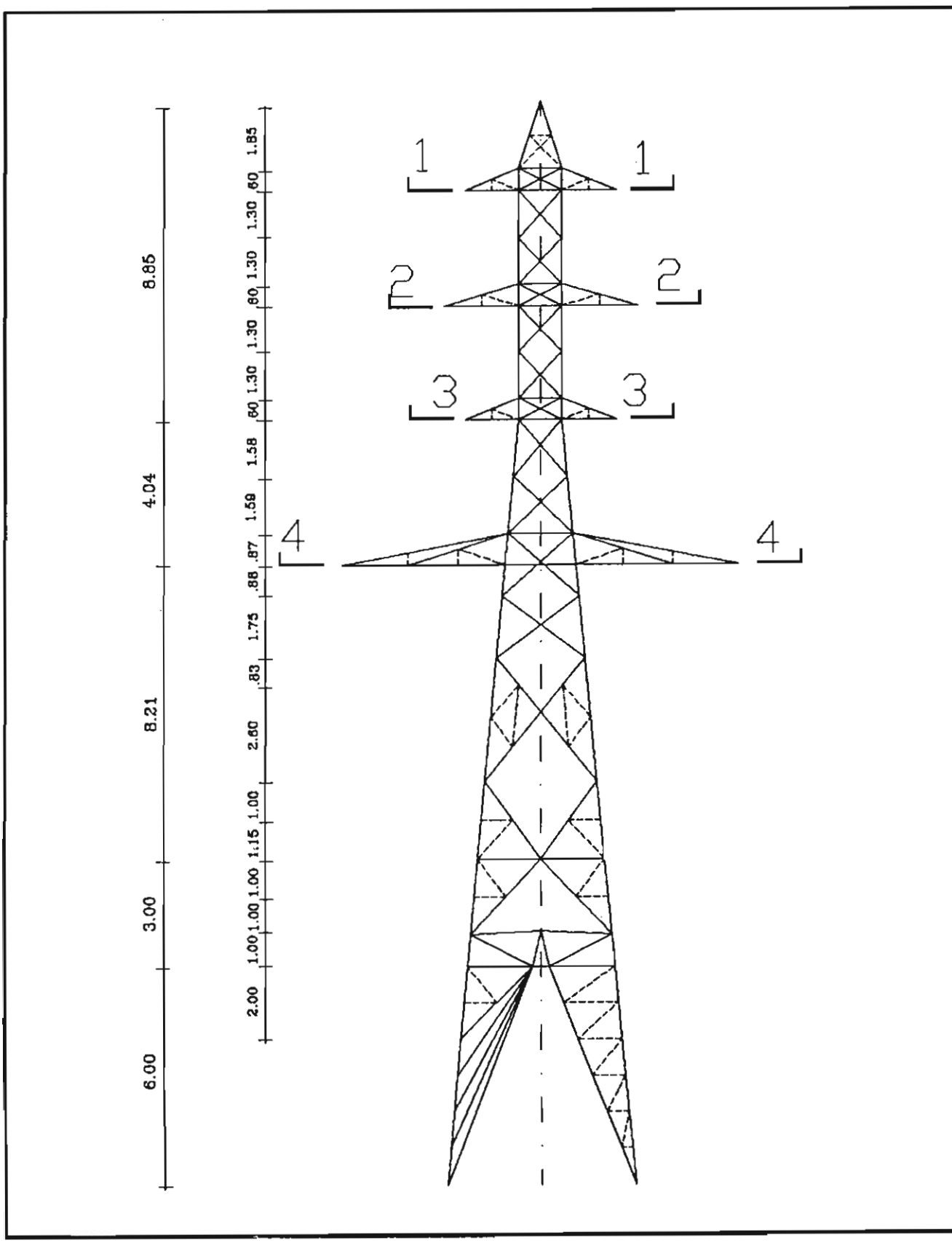
بررسی اطلاعات خروجی نشاندهنده میزان جابجائی چرخشی زیادی در گره ابتدائی Basic Body میباشد ، که با قوی کردن اعضای section مربوطه و اضافه کردن دو عضو ضربدری به آن ، این جابجائی غیرمجاز از بین میرود . میزان جابجائی روی کراس آرم KV ۲۰ نیز زیاد است که طی چندین مرحله اجرای برنامه برای طرحهای مختلف کراس آرم از جهت اعضاء اصلی و اعضاء مهاربندی آن و استفاده از نبشیهای مختلف و کاهش مرحله‌ای اسپان معادل طراحی نهایتا" طرح قابل قبول واپتیمم کراس آرم (با جابجائی مجاز) در اسپان معادل طراحی ۲۲۵ متر بدست می‌آید . (شکلهای پیوست) جدول صفحه بعد مشخصات اعضاء جایگزینی (تقویت شده) و اعضاء اضافه شده به بدنه برج و مشخصات اعضاء کراس آرم KV ۲۰ را در طرح نهائی نشان میدهد. بنابراین بر اساس طراحی و محاسبات انجام شده مشخصات برج جدید چهار مداره دو ولتاژه ۶۳ و ۲۰ کیلوولتی بشرح زیر در می‌آید .

اسپان معادل طراحی =	۲۲۵	m
اسپان باد =	۲۴۸	m
اسپان وزن =	۳۹۴	m
اسپان الکتریکی =	۲۶۰	m

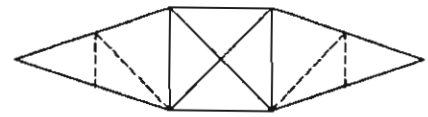
ضمنا" ابعاد فونداسیون برج جدید هم مقداری افزایش میابد و میتوان با توجه به کاهش مقادیر اسپانهای فوق‌الذکر برج چهار مداره نسبت به برج دو مداره ۶۳ کیلوولت ، سایزهای برخی اعضاء در قسمت بالائی برج را تعدیل نمود (در جهت کاهش وزن برج) . در صفحات بعد جدول مشخصات اعضاء جدید برج ، نمای جبهه عرضی برج و نمای افقی کراس آرمهای آن آورده شده و مشخصات حالات بارگذاری در منطقه متوسط ، جداول فلش و کشش و جداول مؤلفه‌های بار برای هادیهای لینکس ، هاینا و سیم گارد در حالات مختلف بارگذاری و نهایتا" دیاگرامهای بارگذاری برج جدید بصورت ضمیمه میباشند .

جدول مشخصات اعضای کراس آرم 20 KV واعضای اضافه شده به بدنه اصلی

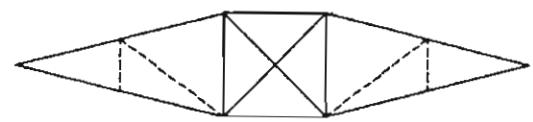
شماره عضو	گره های طرفین		سایز	طول	وزن
379	57	116	60x6	98.499	5.343
380	58	117	60x6	98.499	5.343
381	59	118	60x6	98.499	5.343
382	60	119	60x6	98.499	5.343
383	58	116	60x6	98.499	5.343
384	59	117	60x6	98.499	5.343
385	60	118	60x6	98.499	5.343
386	57	119	60x6	98.499	5.343
387	58	128	60x6	276.392	14.992
388	59	129	60x6	276.392	14.992
389	57	126	60x6	276.392	14.992
390	60	127	60x6	276.392	14.992
391	116	117	50x4	139.299	4.254
392	117	118	50x4	139.299	4.254
393	118	119	50x4	139.299	4.254
394	116	119	50x4	139.299	4.254
395	117	125	45x6	90.000	3.596
396	123	124	45x6	180.000	7.192
397	124	131	45x6	77.143	3.082
398	120	121	45x6	180.000	7.192
399	121	130	45x6	77.143	3.082
400	119	122	45x6	90.000	3.596
401	62	123	45x6	475.118	18.984
402	63	123	45x6	475.118	18.984
403	61	120	45x6	475.118	18.984
404	64	120	45x6	475.118	18.984
405	61	62	45x5	180.416	6.090
406	62	63	45x5	180.416	6.090
407	63	64	45x5	180.416	6.090
408	61	64	45x5	180.416	6.090
409	62	128	35x4	295.967	6.203
410	63	129	35x4	295.967	6.203
411	61	126	35x4	295.967	6.203
412	64	127	35x4	295.967	6.203
413	58	131	45x4	216.555	5.933
414	59	131	45x4	216.555	5.933
415	60	130	45x4	216.555	5.933
416	57	130	45x4	216.555	5.933
417	123	128	60x6	184.262	9.995
418	123	129	60x6	184.262	9.995
419	120	127	60x6	184.262	9.995
420	120	126	60x6	184.262	9.995
421	125	131	45x6	102.857	4.110
422	122	130	45x6	102.857	4.110
423	128	131	45x4	86.622	2.373
424	129	131	45x4	86.622	2.373
425	126	130	45x4	86.622	2.373
426	127	130	45x4	86.622	2.373
427	124	128	45x4	39.400	1.079
428	124	129	45x4	39.400	1.079
429	121	126	45x4	39.400	1.079
430	121	127	45x4	39.400	1.079
431	26	30	50x4	353.470	10.794
432	28	32	50x4	353.470	10.794
433	61	63	45x5	255.147	8.612
434	62	64	45x5	255.147	8.612



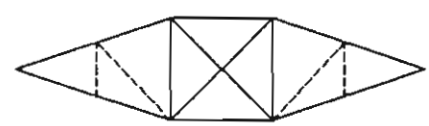
(الف ـ ۲) : " نمای جبهه عرضی برج چهارمداره دوولتاژه ۶۳ و ۲۰کیلوولتی"



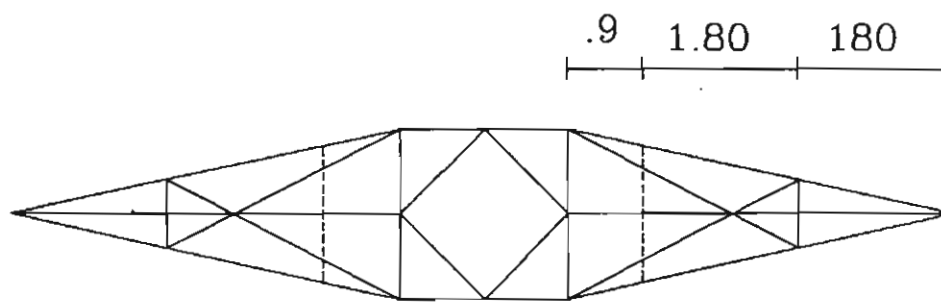
SECTION 1-1



SECTION 2-2



SECTION 3-3



SECTION 4-4

(الف ـ ۳) : " نمای افقی کراس آرمهای برج چهارمداره دوولتاژه ۶۳ و ۲۰ کیلوولتی "

۶- مقایسه اقتصادی بین یک خط چهار مداره ، دو ولتاژه ۶۳ و ۲۰ کیلوولت با دو خط مجزای دو مداره ۶۳ و ۲۰ کیلوولت :

برای انجام این مقایسه لازم است ابتدا ، هزینه‌های یک خط مجزای دو مداره ۶۳ کیلوولت با برجهای استاندارد را با هزینه یک خط مجزای دو مداره ۲۰ کیلو ولت پایه بتنی جمع نموده و سپس مجموع هزینه آنها را با هزینه احداث یک خط چهار مداره، دو ولتاژه ۶۳ و ۲۰ کیلوولت طبق طرح ارائه شده فوق مقایسه نمائیم. در اینجا چون هزینه‌های مربوط به خرید و نصب هادیها در هر دو حالت تقریبا" یکسان میباشد کافی است هزینه‌های مربوط به ایزولاتور و پایه و قسمتهای جانبی آن (کراس آرم ، فونداسیون ، مهار و غیره) را مورد مقایسه قرار دهیم .

بنابراین هزینه‌های زیر شامل قیمت لوازم ، مصالح و دستمزدهای نصب برای پایه ، فونداسیون ، مقره ، یراق‌آلات و غیره (منهای سیم اصلی و سیم گارد) بازاء یک کیلومتر شبکه میباشد.

هزینه تقریبی پایه فونداسیون و ایزولاتور در خط ۶۳ کیلوولت دو مداره : ۶-۱

= ۲۹۲۵۰۰۰۰ ریال (ضریب مربوط به پایه ، فونداسیون و ایزولاتور ۰/۶۵) × (هزینه کل احداث ۴۵۰۰۰۰۰۰)

هزینه تقریبی پایه و کراس آرم و ایزولاتورها و پی سازی و مهار در خط ۲۰ کیلوولت دو مداره پایه بتونی : ۶-۲

= ۱۳۷۵۰۰۰۰ ریال (ضریب مربوط به پایه کراس آرم ایزولاتور و غیره ۰/۵۵) × (هزینه کل احداث ۲۵۰۰۰۰۰۰)

جمع هزینه‌های دو خط مجزای دو مداره ۶۳ و ۲۰ کیلوولتی : ۶-۳

= ۴۳۰۰۰۰۰۰ ریال (هزینه ۶-۲ ۱۳۷۵۰۰۰۰) + (هزینه ۶-۱ ۲۹۲۵۰۰۰۰)

قیمت	قیمت	تعداد	ضریب	هزینه	هزینه تقریبی پایه
واحد	واحد	متوسط	افزایش		فونداسیون
نصب	خرید	پایه	مربوط	۶-۱	ایزولاتورها درخط : ۶-۴
برج	برج	درکیلو	به		دوولتاژه
		مترخط	اسپان		

(۱۲۰ + ۱۲۸۰) × ۴/۴۴ +(۳۰۰ /۲۲۵)×۲۹۲۵۰۰۰۰ (۲ × ۶۳ Kv + ۲ × ۲۰ Kv)

	متوسط افزایش قیمت		متوسط افزایش وزن
ریال	فونداسیون		برج (kg)
۴۱۹۹۲۵۶۰ =	۴/۴۴ × ۱۰۰۰۰۰	+	۴۱۰ ×

چنانچه ملاحظه میگردد مجموع هزینه‌های خط چهار مداره ، دو ولتاژه (فوق توزیع - توزیع نیرو) معمولا" از مجموع هزینه‌های احداث خطوط مجزای دو مداره فوق توزیع و توزیع نیرو کمتر بوده ضمن اینکه خطوط چند مداره ، چند ولتاژه دارای مزایای ارزنده‌ای بوده و استفاده از آنها در مناطق متراکم و پرمصرف الزامی میباشد.

نتیجه :

رشد و توسعه مصرف انرژی الکتریکی در نواحی شهری ، صنعتی و غیره همواره توسعه شبکه برقرسانی و از جمله نصب خطوط فوق توزیع و توزیع نیروی جدید را الزامی میسازد . از طرف دیگر درجه تراکم زیاد و گسترش محدوده‌های مکانی روزافزون در این نواحی نصب خطوط متعدد را ، بعلت محدودیت فضای لازم ، با مشکلات زیادی از جنبه‌های مختلف آن مواجه میسازد . و باین ترتیب استفاده از خطوط چند مداره ، چند ولتاژه خصوصا" در کاربرد فوق توزیع - توزیع نیرو که بخش اعظم خطوط تغذیه کننده در این نواحی را شامل میشود در دستورکار قرار داده است . در این مقاله ضمن بررسی مزایای خطوط چند مداره ، چند ولتاژه (فوق توزیع ، توزیع نیرو) برای نواحی متراکم و پرمصرف و عوامل موثر در طراحی آنها ، مسائل این خطوط بررسی و روشها و راه‌حلهای مربوطه ارائه گردید. سپس

بمنظور افزایش قابلیت برجهای ۶۳ کیلوولت دو مداره استاندارد وزارت نیرو بقسمی که بتوان با اضافه نمودن کراس آرم ۲۰ کیلوولت آنرا به برج چهار مداره دو ولتاژه ۶۳ و ۲۰ کیلوولت تبدیل نموده و در اینگونه خطوط مورد استفاده قرار داد بررسیها و طرح و محاسبات کامپیوتری با استفاده از نرم‌افزار TRW بعمل آمده و در نهایت بهترین طرح که کمترین تغییرات در ساختمان برج ایجاد نموده و ضمناً" کاهش در اسپان معادل طراحی ، اسپان باد ، اسپان وزن و اسپان الکتریکی معقول و متناسبی را در بر داشته باشد و بعلاوه از نظر اقتصادی هم بصرفه باشد انتخاب گردید .

بطور کلی در مقاله بصورت محوری مبحث نحوه کاربرد و الزامی بودن استفاده از این خطوط در مناطق متراکم و پر مصرف را از دیدگاههای فنی - اقتصادی و جنبه‌های دیگر آن مورد بررسی قرار داده شد .

منابع :

1- OVERHEAD ELECTRIC POWER LINES BY G.C.GRACY

2- CIGRE TRANSMISSION OPEN CONFERENCE 1989 GROOP 22 OVERHEAD LINES

3- TRANSMISSION & DISTRIBUTION INTERNATIONAL

4- STANDARD TRANSMISSION TOWERS FOR IRAN (63 KV D.C) BY : DR.A.M. RANJBAR AND DR.N.SAEED

5- DESIGN OF TRANSMISSION TOWERS BY COMPUTER (IRAN ELECTRIC POWER RESEARCH CENTER)