

## آشنایی با خطوط کمپکت

نویسنده :

زهره هادی کپور چالی

دانشکده صنعت آب و برق خراسان

[Zoherh-88hadi@yahoo.com](mailto:Zoherh-88hadi@yahoo.com)

شماره تلفن منزل : ۸۶۸۲۱۶۲ - ۰۵۱۱

### چکیده :

خطوط انتقال کمپکت به پایه ها یا برجهای خاص اطلاق نمی شود ، بلکه برحسب اینکه هدف از کمپکت سازی چه باشد ، می توان روش های مختلفی را بکار گرفت . به عبارت دیگر پهنای برج یا فاصله فازهای کناری که عملاً در محاسبه عرض باند عبور دخالت دارند ، برحسب اینکه خطوط انتقال معمولی یا خیلی کمپکت باشند می تواند در محدوده وسیعی تغییر نماید ، بنابراین خطوط کمپکت می تواند از انواع مختلفی تشکیل گردد که بر حسب شرایط جغرافیایی و جوی منطقه و سایر پارامترهای فنی و اقتصادی می تواند تغییر نماید . از آنجا که لازمه کمپکت سازی خطوط انتقال ، بکارگیری طرحهای ویژه و در برخی موارد استفاده از تجهیزات اضافی است ، لذا ممکن است در برخی موارد سرمایه گذاری لازم جهت احداث آنها در مقایسه با خطوط انتقال معمولی افزایش یابد ، اما اگر در محاسبات اقتصادی قیمت زمین نیز منظور گردد ، در اغلب موارد بکارگیری خطوط انتقال کمپکت ضمن دارا بودن مزیت های فنی ، توجیه اقتصادی نیز خواهد داشت . خطوط انتقال نیروی کمپکت ضمن اینکه دارای باند عبور کمتری هستند ، از نظر الکتریکی نیز دارای برتریهای زیادی نسبت به خطوط ساده می باشند که در این مقاله به آنها پرداخته می شود .

**کلمات کلیدی :** کمپکت - برج - فوق توزیع - انتقال

## مقدمه :

نظر به گسترش روز افزون خطوط انتقال ، هر روز شاهد نزدیکی بیش از پیش این خطوط به قلمرو زندگی بشر می شویم از آنجاییکه این خطوط گاهی از درون ملک شخصی و یا نزدیکی آن عبور می کند و طبق قوانین مربوط به حریم بایستی این املاک خریداری و آزاد گردند و تمامی ساختمانها و بناهای موجود در آنجا خراب و درختان واقع در حریم قطع گردند تلاشهای گسترده ای برای کاهش حریم و همچنین کاهش هزینه های آزاد سازی حریم و سرمایه گذاری برای زمین صورت می گیرد . یکی از روشهای مرسوم در این ارتباط استفاده از خطوط کمپکت می باشد .

در طرح خطوط کمپکت کاهش پهنا و ارتفاع خط مورد توجه بوده و کمیت اصلی و موثر در کاهش ابعاد و اندازه ها را فواصل ایزولاسیون بین فازها تشخیص می دهد .

کاهش فاصله ایزولاسیون بین فازها ضمن افزایش قدرت طبیعی ابعاد و اندازه بازوها و حجم و وزن اسکلت فلزی و فونداسیون برجهای را نیز تقلیل می دهند .

در این مقاله قصد داریم تا ضمن آشنایی با خطوط کمپکت به لزوم استفاده از آن اشاره نماییم .

## معرفی اجزا بکار رفته در برج های کمپکت

### برج ها ( نگهدارنده ها )

برای خط مورد نظر از نگهدارنده هایی استفاده شده است که به برج های Folded Plate یا به برج های تلسکوپی معروف می باشند . این پایه ها دارای یک ساختمان لوله ای شکل با رفتار طره ای می باشند به دلیل ارتفاع زیاد پایه های انتقال نیرو حمل و نقل آنها بصورت یکپارچه دشوار و غالباً غیر ممکن است . از این رو پایه های بلند معمولاً به چند قطعه طولی تقسیم می شوند . هر قطعه بصورت جداگانه ساخته شده ، با توجه به شیب دار بودن بدنه پایه و کاهش قطر آن در ارتفاع ، استقرار قطعات در داخل یکدیگر با اصطکاک بین سطح خارجی قطعه پایینی و سطح داخلی قطعه بالایی همراه بوده که انتقال تنش ها در ناحیه اتصال دوقطعه به کمک این اصطکاک انجام می شود . وجه تسمیه این پایه ها به دلیل وجود این نوع اتصال به لوله تلسکوپ شباهت دارد .

### کراس آرم های عایقی

تمام نگهدارنده های آویزی دارای عایق های قابل چرخش می باشند که هادی ها را به برج محکم می کنند این نوع بازوهای عایقی باعث می شوند که فشرده سازی بهتر صورت گیرد این نوع بازوها فاصله بین فاز و زمین را کاهش می دهند برای اینکه هادیها در انتهای بازوها محکم و فیکس و سبب کاهش فضای اشغال شونده می شوند . آزادی در حرکت مفصل ها مقداری از فشار نگه دارنده ها را کاهش می دهد بخصوص باعث کاهش نیروی پیچشی وارد بر این نوع کراس آرم های عایقی از دو قسمت تشکیل شده اند . یک قسمت آن ستون عایقی منحنی می باشد که در حالت افقی قرار گرفته و تحت نیروی فشاری می باشد و قسمت دیگر آن با زاویه بخصوصی بصورت مایل و تحت نیروی کششی قرار گرفته است و این دو قسمت در نقطه ای که هادی به آنها وصل می شود بهم متصل شده اند که به صورت محدودی قابلیت چرخشی دارند .

### عایق

برای ایزولاسیون خط مذکور از کراس آرم های عایقی و غلاف های زنجیری از جنس کامپوزیت استفاده می شود این نوع عایق ها دارای یک سری خصوصیات خوب برای فشرده سازی خطوط می باشند که بطور اجمالی آنها را بررسی می کنیم :

الف ( شکل ظاهری - Appearance ) : قطر کوچک هسته و زائده های نازک و کوچک و همچنین رنگ آن زیبایی و جلوه خاصی به آن می دهد .

ب ( سبک بودن - Light ness ) : وزان آن بین ۵ تا ۸ برابر کمتر از عایق های معمول در خطوط کلاسیک می باشد .

ج) قابلیت انعطاف پذیری - (Flexibility): هسته این نوع مقره ها از فایبر گلاس ساخته شده است که می تواند فوراً افزایش بار را تحمل کند و همچنین در مقابل فشار های مکانیکی مقاومت لازم را دارا می باشد و هنگام حمل و نقل در مقابل صدمات مقاومت بیشتری نشان می دهند شکل این نوع عایق ها سبب می شود که آنها دارای مشخصات رضایت بخش الکتریکی و مقاومت مطمئن در مقابل آلودگی باشند.

### خطوط کمپکت در ولتاژ های توزیع و فوق توزیع

تفاوت عمده خطوط توزیع و فوق توزیع با ردیف ولتاژ انتقال، در نوع کلاسیک، عدم استفاده از دسته هادیها، می باشد به عبارت دیگر محدود بودن مقدار ولتاژ و پدیده کرونا در این خطوط، موجب می شود تا پیش بینی دسته هادی بمنظور مقابله با این پدیده ضرورت نیابد. عدم وجود دسته هادی، افزایش خاصیت خازنی و طرح خطوط از نوع کمپکت را دشوار می سازد. ویژگی دیگر خطوط توزیع، عدم استفاده از برجها نوع اسکلت فلزی و پیش بینی پایه های چوبی و یا بتنی می باشد.

### طراحی خطوط کمپکت فوق توزیع با یک هادی در هر فاز

در حال حاضر اکثر شهرها، مراکز صنعتی، کشاورزی، تجاری، مجتمع های مسکونی، مراکز نظامی و ... زیر پوشش شبکه توزیع و فوق توزیع واقع شده، بطوریکه هر یک از مراکز مصرف فوق به ایستگاه 63/20kv با ظرفیت 5-30Mw مجهز هستند. ایستگاههای فوق توسط خطوط 63kv با ظرفیت 10-40Mw تغذیه می شوند تامین انرژی مذکور، مستلزم وجود شبکه گسترده 132/63kv در مناطق مصرف می باشد، بهمین علت در اکثر شهرها شبکه 63kv احداث شده، انرژی مورد نیاز از شبکه سراسری به شبکه فوق توزیع تحویل می شود، و از طریق این شبکه، شبکه توزیع 20kv و ایستگاههای 63/20kv مصرف کننده های عمده را تغذیه می کنند و نیز بار خطوط فوق توزیع در فاصله شبانه روز متغیر بوده، بین حداقل 2-5Mw و حداکثر 25-40Mw در نوسان می باشد. این نوع خطوط از نوع کلاسیک بوده و با برجهای نوع کلاسیک فلزی با فاصله هندسی  $GMD=8-8.5M$ ، یک یا دو مداره مجهز می باشند. خطوط فوق در بارهای 25-35Mw مربوط به ساعات پیک، قدرت راکتیو قابل ملاحظه 4-6Mvar را عرضه می کنند، افت ولتاژ بالایی را سبب می شود. بطوریکه بار راکتیو قابل ملاحظه فوق از خاصیت القایی نتیجه شده و با مجذور جریان خط افزایش می یابد.

بعلت عدم وجود دسته هادی، خاصیت خازنی خطوط فوق ناچیز بوده، قدرت راکتیو خط را قدرت راکتیو حاصل از خاصیت القایی تشکیل می دهد. به همین علت حتی در هنگام برقراری جریان بار ناچیز اهمی، قدرت راکتیو قابل ملاحظه از نوع القایی متناسب با مجذور جریان خواهد بود. در بسیاری از موارد، قدرت راکتیو القایی حاصل از خط بعنوان قدرت راکتیو مصرف کننده تصور شده، شبکه مصرف و مصرف کننده ها به عنوان عامل قدرت راکتیو شناخته می شود. با همین تصور، با انجام پیش بینیهای خاص و وضع مقررات و دستورالعملهایی، کلیه مصرف کننده ها موظف به نصب خازن می شوند، تا بلکه میزان قدرت راکتیو در شبکه 63kv کاهش یابد. در حالیکه ۸۰٪ قدرت راکتیو ظاهر شده در شبکه 63kv از خاصیت القایی خطوط نتیجه شده و منبع مصرف آنرا خطوط 63kv نوع کلاسیک و طرح نامناسب هادیها و برجها تشکیل می دهد.

تنها راه مقابله با قدرت راکتیو القایی فوق، نصب خازن در طرف 63kv ایستگاههای 230/63kv و یا افزایش خاصیت خازنی خطوط و طرح خطوط کمپکت می باشد در اینصورت خط به ازاء مقادیر بالای جریان بار تا جریان بار اسمی قدرت راکتیو خازنی تولید نموده، اصطلاحاً خازنی می شود. افزایش خاصیت خازنی در این خطوط تنها از طریق کاهش فاصله بین فازها امکانپذیر می باشد.

در خطوط کلاسیک بمنظور جلوگیری از نزدیک شدن فازها به یکدیگر تحت تاثیر نیروی باد و بروز اتصالی فاز - فاز در طول اسپن، فاصله بین فازها چند برابر فاصله حداقل قابل قبول، مطابق ولتاژ دی الکتریک هوا (SMin) می شود.

در خطوط کمپکت با استفاده از جداکننده های ایزوله که در طول اسپن بین فازها در فواصل 20-40M از یکدیگر نصب می شوند، از جابجایی هادیهای فاز جلوگیری کرده، فاصله بین فازها دارای مقدار مناسب و حداقل را دارا خواهد بود.

خطوط 63kv معمولاً دارای قدرت راکتیو 20-30Mvar که از هر یک از ایستگاههای 230kv مصرف می کند چنانچه خطوط فوق توزیع از نوع کمپکت پیش بینی شوند ، قدرت طبیعی خط افزایش یافته و به 102 برابر رسیده ، قدرت راکتیو برقرار شده در بکه 230kv به 3Mvar کاهش یافته ، و افت ولتاژ و قدرت بهبود یافته ، ظرفیت ایستگاهها و شبکه 230kv و در نتیجه نیروگاهها افزایش خواهد یافت . شرایط فوق در مورد خطوط توزیع 20kv نیز صادق است .

افزایش قدرت طبیعی مستلزم کاهش امپدانس موجی و افزایش خاصیت خازنی خواهد بود . که ولتاژ های 20-63kv تنها از طریق کاهش فاصله هندسی بین فازها ( GMD ) امکانپذیر است . کاهش فاصله GMD و فاصله فازها در ولتاژهای فوق به سه طریق امکانپذیر است .

### طرح خطوط کمپکت 63kv با پایه چوبی یا بتنی

با توجه به اینکه خطوط 63kv در بخش عمده از مسیر خود ، در خارج از مناطق پر جمعیت و بیشتر در دشتها و کوهستانها و مزارع واقع می شوند ، راه حل مناسبتر بمنظور تامین حداقل فاصله فاز - فاز و کاهش هزینه ، استفاده از پایه های بتنی یا چوبی با اسپن 100m می باشد . در این حالت میزان فلش هادی از 2-3m تجاوز نخواهد کرد . در صورت استفاده از پایه های بتنی یا چوبی با ارتفاع 12m ، حداقل ارتفاع هادی از زمین 8-9m خواهد بود .

نوع کلاسیک این نوع خطوط تحت عنوان خطوط موقت یا خطوط اسپن کوتاه در حال حاضر با استفاده از دو پایه افقی احداث شدند ، در این خطوط خاصیت خازنی ناچیز و قدرت راکتیو بالا بوده ، فاصله فاز - فاز به 3m می رسد ، در حالیکه با نصب مناسب هادیها و پیش بینی جداکننده های ایزوله ، این فاصله را می توان به 0.8m کاهش داد . علت عمده کاهش ، جابجایی هادیها در پی کاهش طول اسپن خواهد بود . پایه ها با حداقل فاصله بین فازها 0.8m و استفاده از جداکننده ایزوله در طول اسپن می باشد .

در روش دیگر نصب هادیها فاصله فاز - فاز معادل ارتفاع زنجیر مقرر شده و به 1.2m می رسد ، متقابلاً از نصب جدا کننده های ایزوله صرفنظر نمود ، یا به تعداد کمتر ، ( دو سری ) جدا کننده در هر اسپن نصب کرد .

متقابلاً در این حالت تعداد زنجیرهای مقرر در هر پایه یک ردیف بیش از زنجیر مقرر در پایه روش قبل می باشد . و باز هم در روش دیگر پهنای خط بطور قابل ملاحظه تقلیل می یابد ، در این حالت نیز می توان جدا کننده ایزوله را حذف نمود نیز با توجه به اینکه وزن هر سه هادی به یک نقطه منتقل می شود ، ضروری خواهد بود تا زنجیر مقرر فوقانی با دو یا سه ردیف پیش بینی شود .

### خطوط 20kv کمپکت با یک هادی در هر فاز

خطوط توزیع 20kv معمولاً بر روی پایه های بتنی یا چوبی ، بصورت یک یا دو مداره پیش بینی و احداث می شوند . افت عمده انرژی در این خطوط از افت ولتاژ ناشی می شود ، بطوریکه در شرایط بهره برداری عادی و در انتهای خطوط و نقاط مصرف افت ولتاژ وجود دارد . بمنظور جبران این افت معمولاً از تجهیزات کمپانزه کننده بار راکتیو نظیر خازنها در انتهای خط استفاده می کنند . بخش عمده افت ولتاژ از اندوکتانس بالای خط ناشی می شود ه با توجه به برقراری جریان بار زیاد ، افت قابل ملاحظه ولتاژ را بوجود می آورد .

افت ولتاژ تحت تاثیر بار اکتیو بطور چشمگیری در خطوط توزیع تغذیه مراکز صنعتی با بار 10-15mw بچشم می خورد ، بطوریکه در پاره ای از موارد راه اندازی واحدها و موتورها با قدرت بالا ، بعلت افت ولتاژ در انتهای خط را غیر ممکن می سازد . خطوط فوق بطور دایم قدرت راکتیو قابل ملاحظه ای دارند .

بمنظور پیش بینی تعداد کمتر پایه ها در این خطوط ، معمولاً اسپن بین پایه ها مقدار حداکثر ممکن را دارا بوده و به 70-100m می رسد . افزایش اسپن افزایش فاصله بین فازها را در طول اسپن ایجاد می کند که خاصیت خازنی خط را کاهش می دهد . در خطوط کمپکت 20kv ، فاصله بین فازها در محل پایه ها و در طول اسپن به 0.4m کاهش یافته ، تقلیل فاصله فازها بمقدار فوق ، خاصیت خازنی خط را تا ۳۰٪ افزایش می دهد . خطوط توزیع 20kv در معمولی ترین حالت بصورت افقی بر روی Cross ARM نصب می شود .

با توجه به به فاصله فاز - فاز اندازه هندسی (GMD) حتی به 2M می رسد. یا طرح مناسب خط و پیش بینی جدا کننده های ایزوله، بطوریکه سه فاز در طول خط در سه راس مثلث واقع شوند. فاصله بین فازها به 0.5M محدود می شود. و قدرت راکتیو مصرف شده خط به ۵۰٪ کاهش یافته و این مقدار کاهش قدرت صرفه جویی قابل ملاحظه ناشی از کاهش افت ولتاژ را به همراه خواهد داشت و قدرت طبیعی نیز 0.7mw افزایش می یابد. در این خطوط نصب جداکننده های ایزوله بمنظور جلوگیری از نزدیکی فازها و ارزش آنها ضروری است. نصب جداکننده های ایزوله محاسبات مکانیکی خط را تحت تاثیر قرار داده موجب می شود تا میزان فلش و طول اسپین نسبت به خطوط معمول تغییر نماید. گرچه وزن جدا کننده ها محدود می باشد ولی تشکیل یخ و برق بر روی جداکننده ها، کشش در هادیها و میزان فلش را افزایش داده، در حالیکه نیروی کشش قابل تحمل هادیها محدود می باشد، راه حل مناسب کاهش اسپین بین پایه ها، افزایش تعداد پایه ها خواهد بود.

### برجهای انتقال کامپوزیتی

بدنه این برجها از قدرت عایقی بالایی برخوردارند. و فاقد کراس آرم می باند لذا دارای دید ظاهری کمتری هستند. با اضافه کردن اسپیسرهای عایق کامپوزیتی یا پلیمری در بین فازها، نوسانات هادی ها کمتر شده و می توان فاصله فازها را کاهش داد و در نتیجه برجها و خطوط را تا مقدار زیادی فشرده کرد. همچنین برای کارگرانی که در حالت خط گرم از برج بالا می روند ایمن تر بوده و امواج الکترومغناطیس نیز که در اطراف برجهای فلزی دارای چگالی بسیار بالایی می باشد، بدلیل خاصیت عایقی در اطراف بدنه برجهای کامپوزیتی به حالت عادی است و به این لحاظ اثرات بیولوژیکی در دراز مدت بر روی این کارگران کمتر می باشد. از دیگر خصوصیات این برجها نصب آسان، نیاز به نیروی کمتر، نیاز به تجهیزات کمتر، وزن کمتر (حدود ۱/۳ نوع مشابه) زمان کمتر جهت نصب (۱ روز در مقابل ۳ تا ۵ روز برای نوع مشابه) و مقاومت بالا در مقابل خوردگی می باشند.

### خطوط کمپکت چند فاز

در مواقعی که خط انتقال جوابگوی بار موجود نمی باشد می توان با افزایش سطح ولتاژ خط و پست به هدف رسید. در این حالت یک نقطه سر به سر میان صرفه جویی ناشی از افزایش ولتاژ خط و افزایش هزینه پستها وجود دارد. اما این روش در مکانهایی که محدودیت حریم داریم عملی نیست در این حالت می توان از خطوط کمپکت ۶ یا ۱۲ فاز جهت بالابردن ظرفیت خطوط انتقال استفاده نمود. این کار برای اولین بار در سال ۱۹۸۷ در نیویورک با تبدیل خط دو مداره ۱۱۵ کیلوولت به خط ۹۳ کیلوولت ۶ فاز با موفقیت انجام شد.

در ابتدای کار چگونگی عملکرد رله ها برای خطوط جدید مورد بحث بود برای این منظور رله های حفاظتی ابتدا توسط شبیه ساز و سپس با انواع خطاها در سطح ولتاژ پایین آزمایش شدند. وقوع دو خطا بطور طبیعی در طول مدت آزمایش نیز مناسب بودن عملکرد رله ها را ثابت کرد. با توجه به تعدد فازها و در نتیجه فاصله کم بین فازها اسپیسرهای عایقی بین فازهای بگونه ای طراحی شده اند که با استفاده از آنها می توان در فواصل طولانی ساختار فشرده خط را حفظ کرد. مطالعات نشان داد خطوط کمپکت چند فاز تا حدود زیادی میدانهای الکتریکی و مغناطیسی را کاهش می دهند و در نتیجه دارای اثرات بیولوژیکی کمتری نیز می باشند و برای احداث یک خط جدید هنگامی که محدودیت فضا عامل مهمی است، هزینه بیشتر خطوط ۶ یا ۱۲ فاز برای انتقال توان بالاتر در یک حریم محدود انتخاب جذابی محسوب می شود.

## مراجع :

- ۱- مهندس طهماسبقلی شاهرخشاهی - بررسی مطالعات و تحقیقات انجام شده در زمینه انتقال در شوری سابق .
- ۲- قدرت اله حیدری - بهینه سازی ابعاد و وزن دکلها از طریق انتخاب فاصله مناسب هادیها هفدهمین کنفرانس بین المللی برق - تهران ، آبان ۱۳۸۱ .

3-" EHV Compact Lines " – a new solution by : L.paris – university of pisa and A.Clereci and M.Landonio . CIGRE 1991