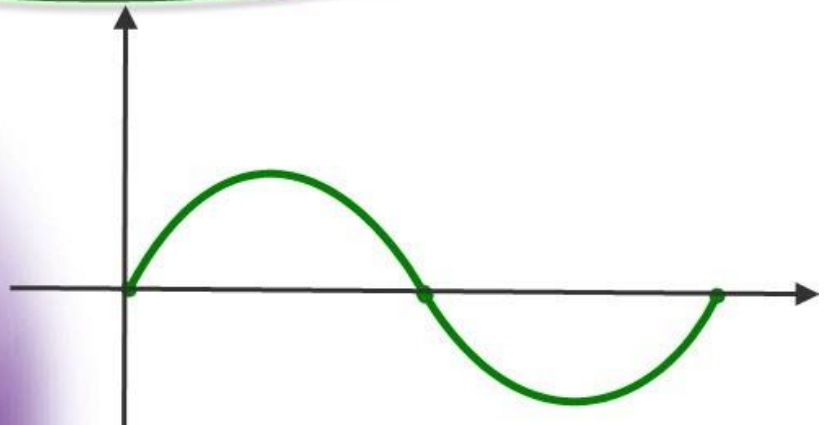


برای دریافت فایل Word پروژه به سایت **ویکی پاور** مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه



برای دریافت فایل Word پروژه به سایت **ویکی پاور** مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازم

موضوع پروژه:

مدلسازی دینامیکی، محاسبه نقطه تعادل و ارائه مدل الکتریکی

در بررسی نوسانات کالومینک و ارتعاشات آولین در

خطوط هوایی انتقال انرژی

برای خرید فایل word این پروژه [اینجا کلیک کنید](#).

( شماره پروژه = ۴۲۰ )

پشتیبانی: ۰۹۳۵۵۴۰۵۹۸۶

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت **ویکی پاور** مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازم



فصل اول :

# بررسی پدیده گالوپینگ در خطوط انتقال نیرو و روشهای کاهش اثرات آن

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت **ویکی پاور** مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازم

## چکیده

یکی از مشکلات خطوط انتقال نیرو در مناطق برف گیر و بادگیر نوسان هادیها در اثر وجود یخ بر روی هادیها و شدت باد است. این نوسانات مشکلات متعددی را در این خطوط ایجاد میکند و مشکل عمده آن است که بیشتر خطوط از مدار خارج می شوند. این امر موجب اختلال در شبکه خطوط انتقال نیرو می شود. در این پروژه علاوه بر اشاره بعلت ایجاد این پدیده به روشهای مقابله و کاهش اثرات آن اشاره خواهد شد.

### ۱-۱ : بررسی پدیده گالوپینگ

۱-۱-۱ : مقدمه

نوسانهای هادیها در مناطق مستعد به دو صورت ظاهر می شود: یکی از این حالتها نوسان هادی در اثر وزش باد نسبتاً شدید در شرایطی که بر روی هادیها یک لایه یخ وجود داشته باشد و حالت دوم در اثر افتادن یخ از روی هادی صورت می گیرد. با دقت نمی توان به وقوع پدیده گالوپینگ اشاره کرد اغلب در این پدیده هادیها با فرکانس پایین و دامنه زیاد نوسان میکنند و شکل آیرودینامیکی یخ نشسته شده بر روی هادی اثرات کلی در این نوسان دارد. باد و شرایط جوی منطقه به کمک همدیگر شرایط بوجود آمدن پدیده گالوپینگ را مهیا می سازند.

البته شرایط فیزیکی خط از جمله طول اسپنرها، نوع برجها (کششی و یا آویزی) و کشش سیم هادی و غیره اثرات قابل توجهی در ایجاد این پدیده دارند. بطور اختصار عوامل اصلی ایجاد پدیده

گالوپینگ عبارتند از:

- میزان یخ زدگی سیمها
- میزان باد منطقه

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

## • طول اسپن و نوع برجها

### ۱-۱-۲: علت های گالوپینگ

پدیده گالوپینگ حرکت عمودی سیم فرکانس کم و دامنه زیاد می باشد. این پدیده اکثراً با وزش باد نسبتاً شدید در حدود ۱۰ الی ۲۰ متر بر ثانیه و ثابت بر روی سطح یک سیم که بطور غیر یکنواخت از یخ پوشیده باشد بوجود می آید. معمولاً یخ روی قسمت باد خور سیم تشکیل می شود. در اثر برخورد باد به سطح یخ حالت غیر یکنواخت به خود می گیرد و این عامل باعث میشود که شکل آیرودینامیکی نقاط مختلف هادی فرق کند و نیروهای نامساوی در قسمت بالا و پایین هادی ایجاد شده و نتیجه این نیروهای نامساوی در هادی حرکتی با فرکانس پایین و دامنه کم تولید میکند. بعد از اینکه نوسان عمودی هادی شروع شد جمع برداری سرعت واقعی باد و سرعت حرکت سیم تولید یک سرعت ظاهری باد میکند که بطور متناوب زاویه ای بالا و یا پایین نسبت به سطح افق خواهد شد. در حالت کلی در اثر وزش باد دو نیروی مؤلفه عمومی و مؤلفه افقی در هادی ایجاد می شود.

اگر چه این پدیده حرکتهای شدیدی ایجاد میکند اما اغلب به سطح یخ زدگی و میزان باد منطقه بستگی دارد. معمولاً این پدیده با لایه یخ متوسط و نسبتاً نازک توأم با باد شدید شدید بوجود میآید. یک حالت دیگر نوسان هادیهها افتادن یخ می باشد. هنگامی که بر روی هادی یخ می نشیند وزن واحد طول هادی افزایش یافته و بارگذاری مکانیکی هادی بالا می رود و این بار گذاری بصورت انرژی پتانسیل ذخیره می گردد. معمولاً در شب که درجه حرارت محیط پایین است یخ سفت و سخت به هادی می چسبد و هنگامیکه آفتاب طلوع می کند و درجه حرارت محیط افزایش می یابد یخ روی هادی شل شده و شروع به ریزش میکند. در بدترین شرایط هنگامیکه یخ روی هادی یک مرتبه می ریزد انرژی پتانسیل ذخیره شده در یک لحظه آزاد می شود و موجب میشود که سیم به

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازم

شدت شروع به نوسان کند این نوسان در لحظات اول دارای ماکزیمم دامنه بوده ولی با مرور زمان مستهلک شده و دامنه نوسانات به صفر می رسد.

گالوپینگ به باد ملایم تا نسبتاً قوی با زاویه بیش از ۴۵ درجه به خط یخ و یا شبنم یخ زده نشسته شده بر روی هادی که حالت آیرودینامیکی را تغییر می دهد و موقعیت یخ نشسته شده که زاویه برخورد باد با سطح یخ را تعیین میکند نیاز دارد. یخ نشسته شده بر روی هادی در سه شکل میتواند اتفاق می افتد:

شبنم یخ زده ملایم

شبنم یخ زده شدید و یخ کامل

شبنم یخ زده شدید و یخ کامل به حد کافی چسبیده و سخت

دارای استحکام و دوام کافی و الاستیک می باشند. مکانیزم اصلی گالوپینگ بدین صورت مطرح گردیده که اگر رابطه زیر برقرار باشد گالوپینگ اتفاق خواهد افتاد:

$$1-1 \quad CL + CD \leq 0 \quad \text{مفهوم این}$$

معادله این است اگر مجموع CL (مؤلفه نیروی عمودی) و CD (مؤلفه نیروی کششی) مؤلفه های نیروی باد بر روی سیم کوچکتر و یا مساوی صفر باشد گالوپینگ ممکن است اتفاق بیفتد. در هر خط انتقال و در مناطق مستعد تحت شرایط خاص فیزیکی هادیها و شرایط جوی منطقه با یک سرعت باد مشخص گالوپینگ شروع می شود که این سرعت باد سرعت بحرانی نامیده می شود. اگر بتوان با اعمال روشهایی این سرعت باد را افزایش داد گالوپینگ دیرتر شروع خواهد شد. از میان روشهایی که بتوان سرعت بحرانی باد را افزایش داد میتوان به استفاده از وسایلی اشاره کرد که شکل آیرودینامیکی سیم را بیشتر افزایش داده و ضریب کششی را کاهش میدهند.

۱-۱-۳: انواع حرکت های گالوپینگ

انواع حرکت های ایجاد شده این شرح است:

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازم

حرکت عمودی

حرکت افقی

حرکت پیچشی

حرکت عمودی

مهمترین حرکت در نوسان هادیها می باشد و این حرکت در خطوط دو مداره موجب می شود که هادیها به هم نزدیک شده و حتی به همدیگر برخورد نمایند و این حرکت در خطوط دو مداره عامل تعیین کننده فاصله هادیها در مناطق مستعد برای گالوپینگ می باشد. موج حرکت عمودی تقریباً سینوسی می باشد و در حالت کلی به وسیله رابطه زیر داده می شود:

$$y = y_{\max} \sin \omega t \quad 1-2$$

با توجه به کوچک بودن اندازه حرکت افقی این حرکت در برر سی گالوپینگ در نظر گرفته نمی شود و این حرکت مشکلاتی را ایجاد نمی کند.

حرکت پیچشی هنگامی تولید می شود که هادی در اثر مرکز ثقل یخ نشسته شده بر روی هادی که معمولاً در جهت بادخور سیم تشکیل می شود پیچش نماید. این پیچش موجب می شود که زاویه برخورد باد با سطح یخ تغییر کرده و مؤلفه های نیرو و هادی عمودی و افقی تغییر نمایند و در این صورت شرایط گالوپینگ تغییر می نماید و بسته به اینکه این چرخش در جهت مثبت و یا منفی باشد. گالوپینگ تشدید یافته و یا متوقف خواهد شد. یک حرکت پیچشی در خطوط باندول در هنگام وقوع گالوپینگ مطرح میشود و آن بدین صورت است که نیروهای ایجاد شده در دوتا هادی که در باندول قرار گرفته اند یکی نیستند و این نیروها در هادی که در جهت بادخور قرار دارد بیشتر از هادی دومی است و این عامل باعث میشود که هادی اولی زودتر از هادی دومی شروع به گالوپینگ نماید. با توجه به اینکه دو تا بهمدیگر وصل شده اند لذا هادی دومی به تبعیت از هادی اولی (Spacers) هادی به وسیله جدا کننده ها شروع به نوسان خواهد کرد ولی با فاز و دامنه متفاوت.

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

با توجه به اینکه این دو تا نوسان دارای فاز و دامنه یکسان نیستند لذا به همدیگر نزدیک شده و در برخی موارد موجب میشود که هادیهاروی هم بیفتند و در اثر برخورد به همدیگر آسیب ببینند.

۴-۱-۱: خسارت ها و زیان های وارده

گالوپینگ موجب انواع آسیبهای سازه ای در خطوط انتقال میشود. برخی از این خسارتهای مستقیماً از نیروهای بزرگ که موجهای گالوپینگ به برجها اعمال میکنند ناشی می شود. برای مثال:

- ۱- کراس آرمها در برجهای فلزی و سایر سازه ها سقوط می کنند.
- ۲- اتصالات یراق آلات و مقره ها آسیب دیده و در برخی موارد شکسته میشوند، زنجیره مقره ها در می روند.

۳- نیروهای دینامیکی از قبیل شوکهایی که موجهای گالوپینگ در برج منعکس میشود به دمپرها آسیب می رسانند و در بعضی مواقع موجب شکستن وزنه ها و فرسودگی اتصالات میشوند.

- ۴- نیروهای دینامیکی موجب سست شدن کراس آرمها و انواع اتصالات در سازه ها میشوند
- ۵- اگر دامنه گالوپینگ به حد کافی بیشتر باشد اتصال الکتریکی بین فازها و یا فاز به بدنه میشود و موجب آسیب دیدن به سطح هادی ناشی از جرقه می شود و در بعضی مواقع آسیب به حدی بیشتر میشود که موجب قطع رشته هادر هادیها و افتادن سیمها به زمین می شوند.

۵-۱-۱: تعداد حلقه های گالوپینگ

گالوپینگ در حلقه های مختلف میتواند اتفاق بیفتد که بدترین آنها مد تک حلقه اسپن است و کل اسپن با یکحلقه نوسان میکند. این مد اکثراً در اسپنهای کوچکتر (کمتر از 150 متر) اتفاق می افتد. مد دوبل حلقه دارای دامنه کمتری است و این مد در اسپنهای متوسط و بلند اتفاق می افتد. چندین عامل تعداد حلقه هایی را که عملاً اتفاق می افتد تحت تأثیر قرار می دهد:

- ۱- انتهایی کردن که مانع مد تک حلقه میشود



برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

۲- پیچش هادی تحت وزن یخ نشسته شده بر روی آن که موجب بیشتر شدن پایداری آیرودینامیکی اسپن میشود.

۳- طول اسپن

۴- سرعت بحرانی باد.

با توجه به شرایط فوق توجه به گالوپینگ دوبل حلقه اهمیت بیشتری پیدا میکند. به وسیله رابطه تقریبی ۱-۳ میتوان فرکانس موج را برای تک حلقه و دوبل حلقه تعیین کرد:

$$f = \frac{0,5n}{\sqrt{D}}$$

۱-۳

که در آن تعداد حلقه ها (n) و D فلش بارگذاری سیم است. با توجه به اینکه این فلش عملاً غیر قابل دسترسی است لذا در هنگام بررسی پدیده گالوپینگ در حدود ۰,۵ اینچ یخ بر روی هادی و در شرایط بدون بار در نظر گرفته میشود.

۶-۱-۱: محاسبه دامنه گالوپینگ

با استفاده از فرمولهای تقریبی پیشنهاد شده میتوان بطور تقریبی محاسبه نمود. مسیر حرکت هادی در هنگام نوسان در یک مسیر بیضی شکل است و این مسیر در شکل شماره ۲ نشان داده شده است. ابعاد بیضی برای گالوپینگ تک حلقه از روابط ۴ و ۵ قابل محاسبه است:

$$A1=DL$$

$$A2=(1/4)A1$$

$$A3=0.3m$$

$$A4=A1+A2+A3$$

$$A5=(0.4)A4$$

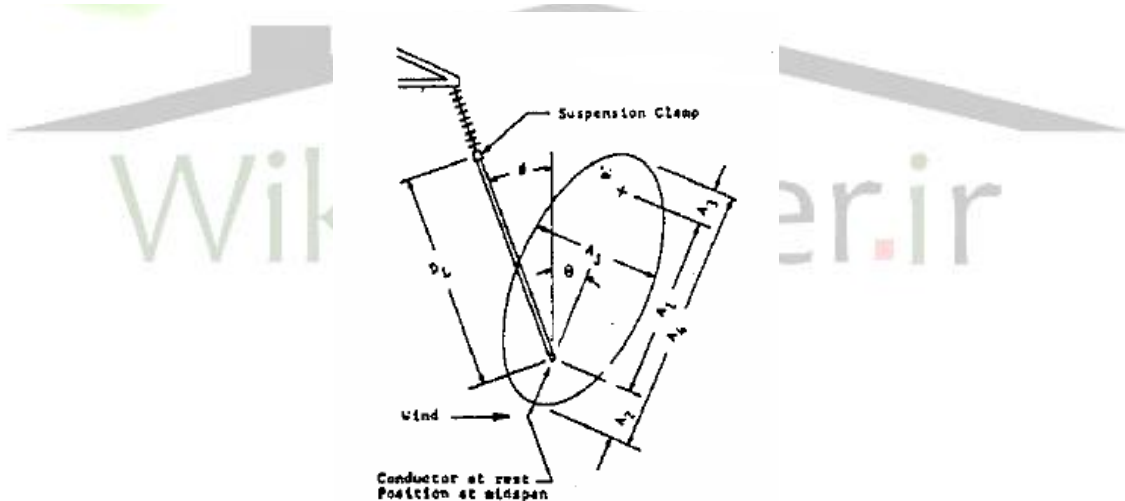
برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

در گالوپینگ دوبل حلقه از روابط (6 تا 10) برای تخمین ابعاد بیضی استفاده می شود:

$a = \sqrt{\left(\frac{L}{3}\right)^2 + S^2}$	$+ \sqrt{\frac{3a(L + \frac{8_s^2}{3L} - 2a)}{8}} \quad A_T = 0.3048$
$A_0 = 1/104 \sqrt{A_T = 0.3048}$	$A_T = 0.2 A_4$

نکته :

(10)  $\theta = \tan^{-1} \left( \frac{pc}{wc} \right)$  که در آن  $pc$ : نیروی باد در واحد طول هادی دارای یخ در سرعت باد (10) کیلوگرم بر متر مربع  $(2 \text{ lb} / \text{ft}^2)$ . (این فرض براساس فرمول پیشنهاد شده اعلام شده است).  $wc$ : وزن واحد طول هادی با  $12/7$  میلی متر ضخامت شعاعی یخ  $L$ : طول اسپن بر حسب متر  $s\%$  فلش سیم هادی  $A_T$ : قطر بزرگ بیضی  $A_0$ : قطر کوچک بیضی.



شکل ۱-۱

۱-۱-۷: انواع روشها برای کاهش اثرات گالوپینگ

الف - جلوگیری از یخ زدگی و یا ذوب کردن آن

ب- افزایش فواصل هوایی

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت **ویکی پاور** مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

ج- جداکننده میان فازها

د- دمپرهای آیرودینامیکی کششی

ه- دمپرهای حرکت عمودی

ی- وسایل کنترل حرکت پیچشی سایر روشهای حفاظتی نیز وجود دارد که بعلت اهمیت کم آنها در این پروژه آورده نشده است.

۸-۱-۱: نتیجه گیری

با توجه به مطالعات و برر سیهای انجام یافته، پدیده گالوپینگ در مناطق برف گیر و بادگیر اتفاق می افتد. لذا در طراحی خطوط جدید و یا در حال بهره برداری بایستی روشهای موجود را بکار بست. این روشها بطور اختصار عبارتند از:

۱. سعی شود که اسپنهای کوتاه استفاده شود

۲. اکثرآ از برجهای کششی استفاده شود

۳. فواصل میان فازها در روی برج (مخصوصاً در برجهای دو مداره) برای بدترین شرایط و نوسان هادپها کنترل شود

۴. در خطوط باندول به جای اسپسرها از جداکننده های حلقوی استفاده شود

۵. برای افزایش شکل آیرودینامیکی و یا دمپرهای کششی آیرودینامیکی استفاده شود

۶. از جداکننده های میان فازها برای کاهش دامنه گالوپینگ میتوان استفاده نمود

۷. استفاده از زنجیره مقررهای V شکل بجای زنجیر مقررهای A شکل میتواند دامنه نوسانات

هادپها را کاهش میدهد. لذا با این روشها در خطوط مختلف میتوان اثرات پدیده گالوپینگ در

خطوط انتقال نیرو را کاهش داد یا مانع آسیب دیدن تجهیزات خطوط و یا خارج شدن خطوط از

مدار شود.

۲-۱: کاهش دامنه نوسانات گالوپینگ از طریق انتخاب مناسب تجهیزات پراکنده

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

۱-۲-۱ : مقدمه

یکی از دیدنی ترین صحنه های حرکت هادیها در خطوط انتقال نیرو، جابجایی شدید هادی ها در زمان وقوع پدیده گالوپینگ است. در این حالت، هادی های یک اسپن، تحت تاثیر باد به حرکت در آمده و در مسیر حرکت خود حداکثر به اندازه شکم سیم، اما در جهت معکوس و به طرف بالا ارتفاع می گیرند، در حالیکه اسپن های مجاور، شکل سهمی منحنی خود را همچنان حفظ می کنند. لحظاتی بعد، وضعیت اسپن های مجاور با هم عوض می شود و این بار حرکت در جهت معکوس انجام می شود و هادی ها به طرف پایین حرکت می کنند.

خط انتقال در این حالت هر لحظه شبیه یک موج سینوسی به نظر می رسد، زیرا یک حرکت کامل نو سانی با دو دامنه کامل در آن دیده می شود. این اتفاق سازه ها را در معرض نیروهای غیر متعارف و بالقوه خطرناکی قرار می دهد.

مسئله کنترل گالوپینگ، تا مدتها به تلاشهای تحقیقاتی مهندسی پاسخ نمی داد. اخیرا یک موسسه مشاوره تحقیقاتی واقع در لکزینگتون، ما ساچوست، مجموعه ای از تجهیزات را برای جلوگیری از پدیده گالوپینگ ساخته است.

۱-۲-۲ : پدیده گالوپینگ

نوسانات بلند دامنه هادی ها یا گالوپینگ هنگامی در خطوط انتقال نیرو رخ می دهد که درجه حرارت هوا برابر نقطه انجماد (صفر درجه سانتیگراد) بوده و یخ بر روی سطح هادی تشکیل شود. این یخ بصورت یک جرم هلالی شکل و در سمت وزیدن باد تشکیل می شود. پس از تشکیل لایه نازکی از یخ و با افزایش سرعت باد، اثر سرد کنندگی باد باعث می شود که حرارت هادی ها باز هم کمتر شود. جمع شدن یخ در یک جهت باعث می شود که شکل دایره ای هادی تغییر کند.

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازم

بروز این اتفاق و وجود باد، شرایطی را فراهم می آورد که منجر به شروع حرکت و جابجایی شدید فازها و کم شدن فاصله مجاز بین آنها شود. در چنین شرایطی نه تنها سلامت فیزیکی خط به مخاطره می افتد، بلکه برخورد فازها با هم به خروج خط از مدار نیز می انجامد.

۱-۲-۳: استفاده از دستگاههای ضد گالوپینگ

شرکت پاسیفیک (در پورتلند، اورگان)، یکی از خطوط خود بنام ورلند به ترموپیس واقع در وایومینگ را از نظر احتمال برخورد هادی ها با یکدیگر مورد تحلیل قرار داد. خط متشکل از دو مدار انتقال و توزیع با ولتاژهای ۱۱۵ کیلوولت و ۳۴/۵ کیلوولت بر روی پایه های چوبی واحد بود بصورتی که مدار انتقال بالاتر از مدار توزیع قرار داشت طول اسپن ها بین ۸۸ تا ۱۰۷ متر بود. در حالی که مقره های سرامیکی از نوع ستونی، هادی های خط انتقال را که از نوع آلومینیم فولاد 7.26 ACSR Drake kcmil هستند، متصل به پایه نگه میدارند، مقره های میخی هادیهای توزیع را از نوع تمام آلومینیم ۱۹ رشته kcm (Cosmos 477) حمل میکنند.

در مدار توزیع فاصله عمودی بازوها از یکدیگر ۱/۵ متر و مقره های میخی در فاصله ۱۳۷ سانتی متری نسبت به محور تیر در طرفین بازوی بالایی قرار گرفته بودند و در بازوی پائینی فاصله مقره ها از محور تیر ۱۰۹ سانتیمتر بود. دو فاز بر روی بازوهای بالایی و یک فاز و یک سیم نول بر روی بازوی پائین تر قرار گرفته بودند. اتصال هادی ها به مقره های میخی توسط اتصالات "پیش فرم یافته" انجام شده بود تا هادی را در محل مقره حفاظت نماید.

شرکت پاسیفیک مسیرهای حرکت هادیهای انتقال نیرو و توزیع (یعنی مسیر حداکثر جابجایی هادیها، وقتی که به نقاط ثابتی مثل مقره ها بسته شده اند) را محاسبه کرد. در خط توزیع مسیرها برای دو حالت که شکم سیم ۱۵۲ سانتیمتر و ۲۲۴ سانتیمتر باشد (یعنی بترتیب برای اسپن های ۸۸ و ۱۰۷ متری) تعیین شد. وضعیت حرکت هادیهای توزیع در هنگامیکه شکم سیم ۲۲۴ سانتیمتر بود، نشان داد که بین فازها برخورد رخ میدهد.

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

یک دستگاه ضد گالوپینگ با نام تجاری MOD II AR که ضمن حفظ فاصله فازها با یکدیگر و سیم نول باعث پیچ خوردگی هادیها نیز میشود، در فاصله های یک سوم طول اسپن نصب شد. این فاصله نگهدار (Spacer) و پیچش دهنده (Twister)، شامل مقره ای بطول ۱۵۲ سانتیمتر با اتصال چشمی در دو طرف بود. کلمپ های دو طرف مقره ضمن اتصال به آن، با زاویه معینی به هادی متصل میشوند تا در زمان بروز گالوپینگ حالت پیچش را بوجود آورند.

پدیده پیچیدن هادی، اساس کنترل حرکت هادی است، هرگاه این زاویه پیچش حداقل ۹ درجه باشد، مقدار جابجائی کاهش می یابد و تحت چنین شرایطی از برخورد هادیها نیز اجتناب میشود. دمپهای AR را میتوان با چوب "خط گرم" بر روی خطوط توزیع نصب کرد و کلمپ ها بر روی آرمور رادهایی (Armor rods) که مناسب هادی و کلمپ باشند بسته میشوند.

برای خط انتقال هم یک پیچش دهنده مدل MOD III AR در یک سوم طول اسپن نصب شد. پیچش دهنده از یک وزنه ۹ کیلوگرمی آلومینیومی تشکیل شده که با اتصالات آلومینیومی به یک کلمپ آلومینیومی منتهی میشود. کل واحد بصورت وارونه بر روی آرمور رادهای هادیها بسته میشود و آزادانه تحت اثر وزن خود به طرفین هادی آویزان شده و در زاویه ای بین ۹۰ تا ۱۴۵ درجه به حالت تعادل می ایستد.

هنگامی که شرایط گالوپینگ وجود دارد دستگاه به همراه هادی شروع به بالا و پایین رفتن میکند حرکت دستگاه به سمت بالا و پایین باعث بوجود آمدن پیچش در هادی میشود، که این امر نیز به نوبه خود باعث کمتر شدن حالت آیرودینامیکی هادی شده و دامنه نوسانات را کاهش میدهد. اگر دستگاه تماما به یک سمت خم شود حرکت هادی متوقف میشود. برای مدار انتقال، کارگران خط، دستگاه نوسان گیر را در حالتی که خط خاموش است نصب می کنند.

در خطوط تحت بررسی که در آنها گالوپینگ اتفاق می افتاد با استفاده از دستگاههای AR تاثیرات تخریب کننده گالوپینگ تخفیف یافته و از برخورد میان هادیها نیز جلوگیری به عمل آمد. در مجموع شرکت پاسیفیک ۱۲۷ اسپن را با طول کلی ۱۱ کیلومتر به این وسیله مجهز نمود.

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

۴-۲-۱: پیدایش تکنولوژی پیچش دهنده برای جلوگیری از نوسانات بلند دامنه هادی ها در خطوط انتقال نیرو

مطالعه گالوپینگ، در آزمایشگاه تحقیقات سازه ای انستیتو تکنولوژی ماساچوست (MIT) به اواخر سالهای ۱۹۵۰ بر میگردد، یعنی زمانی که پروژه تحقیقاتی اصلی بر روی حرکت هادیها، با حمایت موسسه برق ادیسون (EEI) انجام شد. آلبرت اس. ریچاردسون که در MIT تحصیل کرده و درجه فوق لیسانس در مهندسی هوانوردی را در سال ۱۹۹۵ بدست آورد، مدیریت پروژه را عهده دار بود و نتایج زیر از آن حاصل شد.

۱. هادی های یخ گرفته و نیروهای بالا برنده باد باعث بروز گالوپینگ می شوند.
  ۲. تغییر در کشش، توزیع وزن و سختی سیم هادی در ایجاد گالوپینگ تاثیر مستقیم ندارد.
  ۳. تغییر در کیفیت آیرودینامیکی هادی یخ گرفته، حرکت هادی را کاهش می دهد.
  ۴. اصلاح آیرودینامیکی و مکانیکی هادی دو روش بودند که در تغییر و وضعیت هادی یخ گرفته تاثیر دارند.
  ۵. موثرترین راه حل برای مسئله گالوپینگ تغییر زاویه حمله باد می باشد.
- با پایان گرفتن پروژه، ریچاردسون به تحقیق در زمینه تکنولوژی دو نوع دمپر بنامهای "سن دمپر" و "وین دمپر" با کمکهای "بنیاد ملی علم" و وزارت انرژی آمریکا در MIT ادامه داد. "سن دمپر" برای کنترل گالوپینگ سیمهای مهار برجهای مرتفع تلویزیون و "وین دمپر" برای کنترل گالوپینگ خطوط هوایی شرکتی برق بکار می رفتند. "سن دمپر" از یک تابلک غلتان بهره می برد که ماسه در آن ریخته شده و در طول سیم مهار در حال گالوپینگ، بالا و پائین می رود.

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت **ویکی پاور** مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازم

“وین دمپر” از یک وزنه آزاد آلومینیمی استفاده می کند که در زیر هادی آویزان میشود تا در زمان گالوپینگ در هادی پیچش ایجاد کند. در اینجا زاویه پیچش هم در زاویه حمله باد تغییر ایجاد می کند و هم گالوپینگ را کنترل می کند.





برای دریافت فایل Word پروژه به سایت **ویکی پاور** مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

فصل دوم :

## مدلسازی گسترده نوسانات گالوپینگ خطوط هوایی انتقال انرژی با استفاده از شبیه سازی و آنالیز معادلات مشتقات جزئی

### چکیده

یکی از پارامترهای بسیار مهم در طراحی خطوط انتقال نیرو، نوسانات مکانیکی می باشد که در آن، گالوپینگ نقش عمده ای را به لحاظ تعیین فواصل بین فازها و فاز به زمین ایفا می کند. در این پروژه، ضمن بررسی پدیده نوسان گالوپینگ خطوط هوایی انتقال نیرو، مدل پارامتری گسترده این نوسان که از نوع معادلات مشتقات جزئی و معادله موج می باشد استخراج گردیده است. با در نظر گرفتن معادلات نوسانی هادی خطوط انتقال و استفاده از معادلات مشتقات جزئی حاکم بر هادی و در نظر گرفتن شرایط اولیه لازم، از روش های مختلف ریاضی و تک نیک های غیرخطی استفاده و به کمک نرم افزار های کامپیوتری نظیر MATLAB معادلات مورد ش بیه سازی قرار می گیرد. با استفاده از شبیه سازی های انجام شده می توان میزان دامنه نوسان هادی را در نقاط مختلف در طول یک اسپن، بر حسب زمان محاسبه نمود. همچنین ماکزیمم میزان دامنه این نوع نوسانات در این حالت و همینطور تحت تاثیر یخ و باد شبیه سازی و نتایج تحلیل گردیده است.

۱-۲ : مقدمه

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت **ویکی پاور** مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

خطوط انتقال نیروی برق، یکی از ارکان اساسی سیستم برق رسانی که نقش تبادل انرژی را از محل تولید به مصرف ایفا می کند. لذا داش تن خطوط پایدار و مطمئن از اولویت های شرکت های برق در سراسر دنیا می باشد. یکی از پارامترهای مهم مکانیکی در طراحی خطوط که عامل اصلی در تعیین فواصل فازی می باشد، نوسانات خط است. البته عواملی همچون نیروهای ناشی از بارگذاری مختلف مانند باد، برف و یخ و یا وزن سیم نیز در محاسبات مکانیکی و طراحی خط نقش دارند که می توانند در فواصل فازی موثر باشند. یخ و باد از جمله عواملی هستند که خطوط انتقال نیرو را دچار مخاطره می سازند. وزش بادهای تند یا ریزش یخ از روی هادی ها یا وجود همزمان یخ و برف ممکن است باعث بروز نوسانات گوناگون گردند. عدم طراحی صحیح و نادیده گرفتن شرایط و موقعیت مکانی و عبور خطوط در مناطق کوهستانی و برف گیر همراه با وزش بادهای شدید و سقوط یخ از روی هادی های خط، باعث ایجاد مشکلات زیادی شده است که یکی از این حوادث، وقوع نوسانات نوسان شدید هادی خطوط انتقال و از جمله پدیده موسوم به گالوپینگ و پیامدهای ناشی از آن است.

## ۲-۲ : انواع نوسان گالوپینگ

پدیده گالوپینگ به نوسانات عمودی هادیها ناشی از جدا شدن و سقوط یخ مستقر بر آنها همراه با وزش بادهای شدید اطلاق می شود. این پدیده می تواند نزدیک شدن فازها به یکدیگر و خطای فاز به فاز را همراه داشته باشد که می تواند باعث اتصالی و جرقه بین فازها، به هم تابیده شدن هادی ها و ایجاد تنش های دینامیکی بر روی برج تاور و حتی شکسته شدن آن شود. علیرغم مطالعات طولانی بیش از ۶۰ سال نسبت به پدیده گالوپینگ، تاکنون روش صددرصد مطمئنی جهت کنترل آن شناخته نشده است. ولی در سال های اخیر تحقیقات گسترده ای در زمینه روشهای پیش گیری میزان دامنه گالوپینگ صورت گرفته است به طور کلی روشهای تعدیل و یا تضعیف نوسان گالوپینگ را می توان به دو بخش خطوط در حال احداث و خطوط در حال بهره

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

برداری تقسیم نمود. جهت خطوط در حال احداث لازم است که شرایط محیط و عوامل جوی مانند باد، یخ، رطوبت و دما مورد توجه عمیق قرار گیرند.

در خطوط در حالت بهره برداری و برقدار می توان با استفاده از ابزار و وسائل مکانیکی مانند انواع دمپرها طراحی شده و یا اسپیسرهای بین فازی جهت تعدیل گالوپینگ استفاده نمود.

اما آنچه در این خصوص از اهمیت ویژه ای برخوردار است، شبیه سازی پدیده گالوپینگ در طول اسپن و تعیین و محاسبه ماکزیمم دامنه سیم است که در اثر نوسان گالوپینگ روی می دهد. همچنین ارزیابی و انتخاب ابزارهایی جهت تعدیل و کم کردن این دامنه به عنوان مثال استفاده از دمپرها از اهداف مهم در مطالعه پدیده گالوپینگ می باشد. در مقالات قبلی شبیه سازی پدیده گالوپینگ در وسط اسپن و در یک نقطه خاص انجام شده است. این شبیه سازی بر اساس دو درجه آزادی انجام شده است. اما لازم است که شبیه سازی با سه درجه آزادی یعنی در راستای محور افقی و در طول اسپن نیز انجام شود. نوسان گالوپینگ هادی می تواند به صورت های زیر رخ دهد.

#### ۱-۲-۲: گالوپ بدون یخ

هادی های بدون یخ که دارای قطر و رشته سیم های زیاد بیش از ۳۰ رشته هستند می توانند شرایط آیرودینامیکی لازم جهت جهش را ایجاد نمایند. این حالتی است که کمتر اتفاق می افتد و به جهش بدون یخ یا جهش های لخت موسوم است. همچنین هادی های گروهی ممکن است مشخصه آیرودینامیکی پیدا کنند که اجازه دهند، گالوپ در غیاب یخ رخ دهد. این مشخصه بناظر حفاظ آیرودینامیکی هادی یک طرف نسبت به هادی های طرف دیگر که بادخور هستند ایجاد می شود.

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت **ویکی پاور** مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

۲-۲-۲ : گالوپ با یخ و بدون باد

در هنگامی که یخ غیریکنواخت بر روی سطح هادی می نشیند، این امکان وجود دارد که گرمای هادی، باعث ذوب یکباره یخ و ریزش آن شود. که در این لحظه نیروی ضربه ای به هادی وارد می شود و موجب می شود تا هادی، حرکتی را به سمت بالا داشته باشد. به این حرکت، حرکت گالوپینگ با یخ و بدون باد گویند.

۲-۲-۳ : گالوپ با یخ و باد

به هنگام باران های یخی و بارش برف، سطح هادی بالا به یخ پوشیده می گردد. یخ معمولاً بر روی سطح بادخور هادی می نشیند. نشست یخ، باعث می شود که سطح مقطع هادی نامتقارن گردد. در عین حال، اگر باد با سرعت ملایم و پایدار به هادی بوزد، چرخش هادی را ایجاد می کند. در نتیجه بر نیروی وارده بر هادی، تغییراتی ایجاد می شود. و نوسان عمودی هادی به وجود می آید. این مسئله ناشی از تغییر مشخصه آیرودینامیکی است که به واسطه نامتقارن بودن سطح مقطع هادی ایجاد می شود. این نوع گالوپ در طبیعت بیشتر از انواع دیگر، رخ می دهد.

۲-۳ : اصول و مبانی نوسان گالوپینگ در خطوط هوایی

به طور کلی اجسام معلق در فضا تحت تأثیر نیروهای آیرودینامیکی قرار می گیرند. این نیروها عبارت است از نیروهای برآ، پسا، و ممان پیچشی که دو مورد نخست آن، بر مرکز آیرودینامیکی سطح مقطع جسم تأثیر می گذارند. همچنین ممان پیچشی باعث چرخش هادی حول محوری می شود.

نوسانات ناشی از نیروی برآی آیرودینامیکی، حرکت پرودینگ نوسان گالوپینگ را می تواند تقویت کند که نخستین بار این نظریه توسط دن هارتوگ در سال ۱۹۳۲ میلادی بیان شد. به دنبال آن دی ویژن به این نکته اشاره کرد که بر هادی های لخت، فقط نیروی پسای آیرودینامیکی وارد می شود و در صورتی که بر سطح هادی یخ بنشیند، به علت غیرمتقارن شدن سطح مقطع، نیروی

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت **ویکی پاور** مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

برای آیرودینامیکی بر آن اعمال می گردد. این نیروها با توجه به زاویه حمله باد بر قسمت یخ زده و همچنین با توجه به سرعت باد تغییر می کند.

مقدار نیروهای پسا، برآ و ممان پیچشی وارده بر هادی از رابطه ۱-۲ تا ۳-۲ بدست می آید:

$$D = \frac{1}{2} \rho_a dv_s^2 C_D(\alpha) \quad 2-1$$

$$L = \frac{1}{2} \rho_a dv_s^2 C_L(\alpha) \quad 2-2$$

$$M = \frac{1}{2} \rho_a dv_s^2 C_m(\alpha) \quad 2-3$$

که در آن:

$$\alpha = \alpha_s + \phi = \alpha_s + \arctan\left(\frac{-w_t}{U_\infty}\right) \quad 2-4$$

در روابط فوق:

D: نیروی پسا، L: برآ، M: ممان پیچشی،  $\rho_a$ : چگالی هوا

Vs: سرعت باد

• زاویه یخ

• زاویه برخورد باد

$C_D(\alpha)$  و  $C_L(\alpha)$  به عنوان ضرائب برآ و پسا می باشند که مقادیر آن بستگی به آزمایشات تونل باد

دارد طبق قانون دن هارتوگ، وقتی که معادله ۵-۲ برقرار باشد آن گاه پدیده گالوپینگ روی می دهد

:

$$\frac{dC_L(\alpha_s)}{d\alpha} + C_D(\alpha_s) < 0 \quad 2-5$$

معادله ۵-۲ بیان می کند که پدیده گالوپینگ در برخی از زوایای خاص  $(\alpha_s)$  روی می دهد. که به

طور نمونه حالت این نوسان برای چند زاویه برخورد متفاوت در جدول ۱-۲ آمده است.

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت **ویکی پاور** مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

جدول ۱-۲ حالت نوسان گالوپینگ ناشی از زوایه برخورد باد

حالت	رعایت دن هارتوگ	$\alpha_s (rad)$
گالوپینگ	بله	۰/۳
گالوپینگ	بله	۰/۳۷۵
میرایی	خیر	۰/۴
میرایی	خیر	۲/۳۰
میرایی	خیر	۲/۷۰

#### ۲-۴ : مدل سازی گسترده نوسان گالوپینگ هادی و تحلیل آن

در این قسمت با توجه به جهات نیروهای وارده بر سطح مقطع هادی معادله نوسان آیرودینامیکی و مکانیکی حاکم بر حرکت یک هادی در طول یک اسپن از رابطه ۲-۶ تبعیت می کند.

$$P_C w_H - T w_{xx} = D \sin \phi + L \cos \phi$$

۲-۶

که در آن:

PC : چگالی هادی کیلوگرم بر متر

T : ثابت کشش نیوتن

L و D نیروی پسا و برآ می باشد.

برای حل معادله فوق می توان این معادله را بدون بعد و دیمانسیون نمود که لازم است فرضیات زیر منظور گردد.

$$t_{new} = \frac{V_{\infty}}{l} t_{old}$$

۲-۷

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت **ویکی پاور** مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

$$x_{new} = \frac{1}{l} x_{old} \quad 2-8$$

$$C = \sqrt{\frac{T}{P_c}} \quad 2-9$$

در فرضیات مورد اشاره در روابط فوق  $l$  و  $V_{\infty}$  به ترتیب طول اسپن و سرعت باد می باشند. با اعمال و جایگذاری فرضیات مندرج در روابط ۲-۷ تا ۲-۹ در رابطه ۲-۶ و استفاده از روابط ۲-۱ و ۲-۲ معادله مستخرج به صورت رابطه ۲-۱۰ خواهد شد.

$$W_H - \frac{C^2}{V_{\infty}^2} W_x = K \sqrt{1 + W_t^2} (c_l(\alpha) - W_t c_D(\alpha)) \quad 2-10$$

که در آن:

$$K = \frac{1}{2} \rho_a \frac{ld}{P_c} \quad 2-11$$

خواهد بود.

بدین ترتیب معادله حاصله فوق، یک معادله با مشتقات جزئی و غیر خطی است که باید به روش ریاضی مناسب آن را تحلیل نمود. لذا جهت حل معادله ۲-۱۰ می توان از تغییر متغیرهای  $\beta$  و  $\gamma$  به صورت معادلات زیر استفاده نمود.

$$\beta = \frac{1}{2} \left( W_t - \frac{C}{V_{\infty}} W_x \right) \quad 2-12$$

$$\gamma = \frac{1}{2} \left( W_t + \frac{C}{V_{\infty}} W_x \right) \quad 2-13$$

معادلات مشتقات جزئی این متغیرها به صورت زیر خواهد بود:

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت **ویکی پاور** مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

$$\beta_t + \frac{C}{V_{\infty}} \beta = \frac{1}{2} f(\beta + \gamma)$$

$$\gamma_t - \frac{C}{V_{\infty}} \gamma_x = \frac{1}{2} f(\beta + \gamma)$$

$$\beta + \gamma = W_t$$

۲-۱۴، ۱۵، ۱۶

که در معادلات فوق F تابع همان عبارت سمت راست معادله ۲-۱۰ است.

$$f = K \sqrt{1 + W_t^2} (c_t(\alpha) - W_t c_D(\alpha))$$

۲-۱۷

با کمک از معادلات ۲-۱۴ و ۲-۱۵ و استفاده از روش عددی ذوزنقه ای و همچنین برنامه نویسی با نرم افزار معادله ۲-۱۰ حل می گردد.

در راستای تحلیل معادلات مذکور، می توان مقدار دامنه در لحظه اولیه، تابع سینوسی خالص به صورت معادله زیر در نظر گرفت

$$W(x,0) = 0.004 \sin(n\pi x)$$

۲-۱۸

و مشتق زمانی نوسان دامنه در لحظه اولیه نیز به صورت معادله ۲-۱۹ منظور نمود. آنگاه معادلات زیر را خواهیم داشت.

$$W_t(x,0) = 0$$

۲-۱۹

$$\beta(x,0) = -0.002 \frac{C}{V_{\infty}} n\pi \cos(n\pi x)$$

$$\gamma(x,0) = +0.002 \frac{C}{V_{\infty}} n\pi \cos(n\pi x)$$

۲-۲۰، ۲۱

با تحلیل این معادلات و با فرض  $n=1$  موج اصلی با کمک برنامه نویسی با نرم افزار مطلب نمودارهای تغییرات دامنه نوسان و میزان ماکزیمم در طول یک اسپان بدست خواهد آمد. که در ادامه، این محاسبات جهت خط ۲۳۰ کیلوولت بیان می شود.

۲-۵ : شبیه سازی و تحلیل عددی معادله نوسانی گسترده گالوپ هادی



برای دریافت فایل Word پروژه به سایت **ویکی پاور** مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

در این قسمت به جهت شبیه سازی، اسپن نمونه ای از خط ۲۳۰ کیلو ولت با مشخصات مندرج در جدول ۲-۲ در نظر گرفته شده است.

جدول ۲-۲ مشخصات خط به ۲۳۰ کیلو ولت

مشخصات	مقدار
نوع هادی	درک
جرم واحد طول (کیلوگرم بر متر)	۱/۶۲۸
قطر هادی (میلیمتر)	۲۸/۴۲
طول اسپن (متر)	۲۴۲
کشش هادی (نیوتن)	۲۶۰۰۰
سرعت باد (متر بر ثانیه)	۱۰
چگالی هوا (کیلوگرم بر متر مکعب)	۱/۲۹۲۹

در ذیل حالات مختلف گالوپ بر روی اسپن نمونه و به صورت گسترده شبیه سازی، ارایه و تحلیل شده است که این نتایج با مراجع سازگاری دارد.

## ۲-۶ : بررسی تاثیر یخ و باد بر نوسان

### ۲-۶-۱ : تاثیر باد

همانطوری که اشاره شد، باد به تنهای می تواند عامل ایجاد کننده نوسان گالویی نگ هادی باشد. جهت بررسی تاثیر باد در ابتدا فرض می شود که بر روی هادی هیچ لایه یخی نبوده، زاویه حالت سکون صفر است.

جدول ۲-۳ میزان ماکزیم دامنه نوسان به ازای سرعتهای مختلف باد را نشان می دهد.

جدول ۲-۳ میزان ماکزیم دامنه نوسان به ازای سرعتهای مختلف باد

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت **ویکی پاور** مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

سرعت باد (متر بر ثانیه)	میزان ماکزیمم نوسان گالوپینگ
۱۰	۵
۱۵	۷/۹
۲۰	۱۰/۹

۲-۶-۲: اثر یخ و باد

حال اگر بر روی هادی، مقداری یخ نشسته باشد و باد نیز با سرعت ۱۰ متر بر ثانیه به طور ممتد بوزد آنگاه میزان دامنه نوسانات سیم مطابق شکل ۸ خواهد بود.

با توجه به شکل مشاهده می شود که وجود یخ اولاً باعث افزایش دامنه جابجایی عمودی می شود. ثانیاً در هنگامی که هادی به علت وجود یخ، زاویه پیچش اولیه داشته باشد. به علت نوسانات

پیچشی که ایجاد می شود دامنه بیشتری را نسبت به حالت قبل خواهد داشت. و هر چه جرم یخ در واحد طول هادی اضافه می گردد. میزان دامنه نوسانات نیز افزایش می یابد.

جدول ۲-۴ تاثیر میزان یخ در دامنه نوسان در سرعت های باد را نشان می دهد. که با افزایش میزان یخ روی هادی، دامنه نوسان نیز بیشتر شده است.

جدول ۲-۴ تاثیر میزان یخ در دامنه نوسان در سرعت های باد

سرعت باد (متر بر ثانیه)	میزان یخ (کیلو گرم بر متر)	میزان ماکزیمم نوسان
۱۰	۰/۱	۶
	۰/۲	۶/۷
۱۵	۰/۱	۱۰/۶
	۰/۲	۱۰/۸

۲-۷: نتیجه گیری

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت **ویکی پاور** مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

در این پروژه ابتدا پدیده گالوپینگ بررسی شد. آنگاه مدل پارامتری گسترده این نوسان که از نوع معادلات مشتقات جزئی و معادله موج می باشد استخراج گردید. با در نظر گرفتن معادلات نوسانی هادی خطوط انتقال و استفاده از معادلات مشتقات جزئی حاکم بر هادی و در نظر گرفتن شرایط اولیه لازم، از روش های مختلف ریاضی و تکنیک های غیر خطی استفاده و به کمک نرم افزار های کامپیوتری نظیر MATLAB معادلات مورد شبیه سازی قرار گردید.



برای دریافت فایل Word پروژه به سایت **ویکی پاور** مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

فصل سوم :

## طراحی و ساخت دمپر TDD با هدف رفع معضلات خطوط انتقال نیرو در برابر پدیده گالوپینگ



### چکیده

با توجه به برر سیهای انجام گرفته بر روی تعدادی از خطوط شبکه انتقال انرژی ایران که از مناطق کوهستانی و برف گیر عبور می کنند، مشخص شد که پدیده گالوپینگ یکی از اصلی ترین دلایل بروز خطا بر روی آنها می باشد. کنترل این پدیده و جلوگیری از وقوع آن بر روی خطوط میتواند تا حدود بسیار زیادی از زیانهای اقتصادی ناشی از گالوپینگ جلوگیری کند. مکانیزم گالوپینگ بسیار پیچیده است و فاکتورهائی مانند میرائی پیچشی کابل و سختی پیچشی آن، در وقوع گالوپینگ نقش اساسی دارند. نظر به تاثیر و زیانهای ناشی از پدیده گالوپینگ در خطوط انتقال نیرو، مقابله با این پدیده با بکارگیری روش های عملی ضروری می نماید.

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازم

یک TDD جاذب-دمپر ارتعاشی دینامیکی است. جاذب های ارتعاشی دینامیکی را معمولاً برای سیستمهایی که دارای میرائی ناچیز هستند به کار می برند. زیرا سیستم های با میرائی بالا معمولاً رفتار ارتعاشی متعادلی از خود نشان می دهند و احتیاجی به ایجاد تعادل در ارتعاشات آنها نیست. در سیستم کابلهای باندل، میرائی ذاتی سیستم کم است، به همین منظور از جاذب دینامیکی برای کنترل دامنه ارتعاشات آن استفاده می شود.

در این پروژه نتایج طراحی و ساخت دمپر TDD، با هدف رفع معضلات خطوط انتقال نیرو در برابر پدیده گالوپینگ ارائه گردیده، نمونه های طراحی و ساخته شده پس از بهینه سازی و انجام آزمونهای لازم در یک خط ۴۰۰ کیلوولت نصب و مورد بهره برداری قرار گرفت. این پروژه فعالیت های انجام شده را نشان می دهد.



۳-۱ : مقدمه

یکی از مسائل مهم در طراحی سازه های مهندسی بررسی اثرات متقابل سیال و جامد میباشد به نحوی که در محدوده کارکرد، سیستم دچار ناپایداری نگردد. مهمترین اثر سیال بر سازه ها بخصوص سازه های با انعطاف پذیری بالا نظیر خطوط انتقال، کابلها و نظایر آن، ناپایدار شدن آنها در فرکانس ها و دامنه تحریکات خاص است. در اثر ناپایداری در این سازه ها، نیروهای برا و پسا سبب ترکیب حرکات سازه در جهات مختلف شده و مدهای مختلف ارتعاشی سازه را با هم کوپل می کند. در این حالت خاص دامنه ارتعاش برای تحریک ثابت افزایش یافته و حتی پس از برداشته شدن تحریک خارجی، ارتعاش با دامنه بالا برای مدتهای طولانی ادامه می یابد. این ناپایداری در سازه های فضایی، خطوط انتقال تحت نام گالوپینگ نامیده می شود. مهمترین مشخصه پدیده گالوپینگ، فرکانس پایین، در حدود ۰،۱۵ تا ۱ هرتز و دامنه بزرگ از حدود ۰،۱ تا ۱۰ برابر اندازه

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازم

شکم کابل، است. پس از حادث شدن گالوپینگ، مشکلاتی در بهره برداری خطوط بوجود می آید که عمده این اثرات مخرب شامل کاهش فاصله ایزولاسیون بین هادیها، بروز قوس الکتریکی و باز و بسته شدن کلیدهای فشارقوی، کاهش فاصله ایزولاسیون بین هادیها و سیم زمین، اثرات تخریبی در پیچهای برج، اثرات مخرب بر یراق آلات و اتصالات برج، خوردگی فولاد برج و ضایع شدن برجهای چوبی در مواقعی که پدیده ماندگار می باشد، خوردگی هادیها، خوردگی جامپر، خوردگی دمپر و اسپیسر دمپر، برش پین مقره ها در زنجیره کششی، ضایع شدن کلمپ مقره های آویزی، تخریب رشته های فرعی هادیهای بانددل و زیانهای اقتصادی ناشی از قطع برق در صورتی که آسیبهای فوق منجر به قطعی طولانی گردد میباشد. مطالعات و تحلیلهای انجام شده نشان می دهد احتمال وقوع گالوپینگ در مناطق مختلف ایران وجود دارد. گزارشات و سوابق بهره برداری دریافتی از شرکت های برق منطقه ای آذربایجان، زنجان، اصفهان، غرب و خراسان این امر را تأیید می کند. گستردگی نسبی مناطق مستعد گالوپینگ در ایران لزوم یک برنامه ریزی صحیح را در جهت مقابله با این پدیده آشکار می سازد تا حدود زیادی از خسارات ناشی از آن جلوگیری می گردد.

پدیده تشدید بین نوسانات عمودی و پیچشی ممکن است باعث شود که سیستم ناپایدار شود، این پدیده، شروع گالوپینگ می باشد بنابراین تغییر فرکانسهای پیچشی و عمودی که باعث جلوگیری از تشدید بین این فرکانسها شود، می تواند راه حلی برای جلوگیری از گالوپینگ باشد که اساس کار دمپر TDD می باشد.

جاذب های دینامیکی ارتعاشات، اولین بار در سال ۱۹۰۹ اختراع شد. کار جدی بر روی این نوع جاذب های ارتعاشی پس از سال ۱۹۶۳ و در پی گسترش کاربرد پره های گردان هلی کوپتر شروع شد و اخیراً نیز در مکانیزم های دفاعی در مقابل زمین لرزه، پیشرفتهائی در این زمینه بدست آمده است. اما در مورد گالوپینگ و کابل های بانددل، دو نوع از مهمترین انواع و سایل ضد گالوپینگ برای کابلهای بانددل تاکنون ساخته شده که عبارتند از پاندول های که در کانادا ساخته شده اند

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت **ویکی پاور** مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

و GCD که وسیله ای است که در ژاپن ساخته شده است این دو نوع وسیله تنها فرکانس طبیعی پیچشی سیستم را بالا می برند ولی در میرائی آن هیچ تأثیر ندارند. جاذب مدل بدون هیچ تأثیری بر روی سختی پیچشی سیستم، تنها ممان اینرسی باندل را افزایش می دهد. جاذب ارتعاشی که در این پروژه به بررسی نحوه طراحی آن پرداخته خواهد شد، برای اولین بار توسط پرفسور جین لوئیس لیلیان و رنوارد کوتگن طراحی شد این نوع جاذب، از نوع جاذب های دینامیکی دارای میرائی است که خواص آن در ادامه به طور کامل بررسی خواهد شد.

## ۲-۳ : دمپر و نحوه عملکرد آن

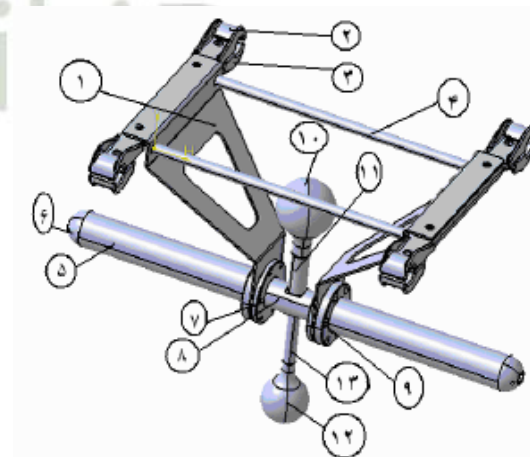
مکانیزم گالوپینگ بسیار پیچیده است و اثر میرائی پیچشی بر روی آن به خوبی مشخص نشده است. وجود میرائی پیچشی باعث جلوگیری از ورود انرژی به سیستم و هدر رفتن آن می گردد و بنابراین جلوگیری از ورود انرژی به سیستم باعث پیشگیری از وقوع ناپایداری در سیستم و یا در مواردی که سرعت باد بسیار زیاد است یا میزان یخ روی کابل زیاد است، کاهش دامنه نوسانات می گردد. میرائی ذاتی خطوط انتقال قدرت کم است، بنابراین، بالابردن میزان میرائی پیچشی در خطوط انتقال می تواند راهی برای جلوگیری از وقوع گالوپینگ در سیستم باشد. به طور کلی میزان انرژی ای که در این حالت بایستی در سیستم هدر شود، حدود چند دهم یک ژول برای هر دهانه است.

میزان میرائی پیچشی در سیستم ارتباط مستقیم با سختی پیچشی آن دارد. با بالارفتن سختی پیچشی باندل، میرائی پیچشی افزایش می یابد.

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

TDD و سیله ای است که هر دو عملیات ذکر شده را همزمان انجام می دهد. این و سیله نوعی جاذب ارتعاشی دینامیکی است. جاذب های ارتعاشی دینامیکی را معمولاً برای سیستم هایی که دارای میرائی ناچیز هستند به کار می برند.

زیرا سیستم های با میرائی بالا معمولاً رفتار ارتعاشی متعادلی از خود نشان می دهند و احتیاجی به ایجاد تعادل در ارتعاشات آنها نیست. در سیستم کابلهای بانند همانطور که گفته شد، میرائی ذاتی سیستم کم است به همین منظور از جاذب دینامیکی برای آن استفاده می شود. با جذب ارتعاشات پیچشی باعث تغییر نسبت بین فرکانسهای عمودی و پیچشی در بانند می شود که همان اثر است. پدیده گالوپینگ دارای فرکانس بسیار پایینی است که مقدار آن حدود ۰٫۱ تا ۱ هرتز است. این فرکانس به پارامترهای زیادی از جمله، سرعت باد، حجم، شکل و اندازه یخ موجود روی کابل بستگی دارد. تعیین دقیق پارامترهای مذکور در دهانه های مختلف یک خط انتقال، مقدور نمی باشد به همین دلیل نیاز به ساخت دمپری است که دارای قابلیت انعطاف باشد. اجزای اصلی TDD شامل موارد زیر می باشند. این اجزا در شکل ۳-۱ و جدول ۳-۱ نشان داده شده اند.



شکل ۳-۱ نمای TDD

جدول ۳-۱ اجزای اصلی TDD



برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

شماره قطعه	شرح قطعه
۱	بدنه اصلی TDD
۲	کلمپ بخش فوقانی
۳	کلمپ - بخش پایینی
۴	میله نگه دارنده بدنه اصلی
۵	لوله نگه دارنده لاستیک دمپر
۶	اتصال انتهایی لاستیک دمپر
۷	محفظه یاتاقان
۸	شفت اصلی
۹	صفحه اتصال لوله لاستیک به بدنه اصلی
۱۰	گوری فوقانی
۱۱	میله رابط گوری فوقانی به شفت اصلی
۱۲	گوری تحتانی
۱۳	میله رابط گوری تحتانی به شفت اصلی

### ۳-۳: روند طراحی و ساخت TDD

در این بخش مشخصات یک خط نمونه ارائه و پارامترهای لازم از آن برای طراحی استخراج می گردد. قیدهای حاکم بر خط و همچنین حدود فرکانس گالوپینگ تعیین می گردد.

#### ۳-۳-۱: مشخصات خط

خط انتخاب شده، خط ۴۰۰ کیلوولت دو مداره دو بانده محور شهید رجایی-سیکل ترکیبی گیلان در منطقه برق گیلان می باشد. شرایط آب و هوایی سنگین و دارای یخ بندان بوده، طول اسپن بین دو برج ۲۴۴ و ۲۴۵ برابر ۶۱۰ و کشش سکشن ۳۰۷۱ تا ۹۱۲۵ کیلوگرم می باشد.

#### ۳-۳-۲: تعیین فرکانسهای طبیعی و شکل مدها

با توجه به مشخصات خط مورد اشاره و استفاده از روابط ارائه شده در مرجع، فرکانس های طبیعی و شکل مدهای مربوطه محاسبه گردیده است. در جدول ۲-۳ پنج فرکانس طبیعی اول برای حالت های جابجایی و پیچش ارائه شده است.

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

جدول ۲-۳ فرکانس های طبیعی جابجایی و پیچش

ردیف	فرکانس طبیعی جابجایی	فرکانس طبیعی پیچش
۱	0.182574	0.270669
۲	0.365148	0.541338
۳	0.547723	0.812007
۴	0.730297	1.082675
۵	0.912871	1.353344

چنانکه از جدول ۲-۳ نیز مشاهده می گردد، فرکانس طبیعی دوم پیچش و سوم جابجایی امکان کوپل شدگی دارند و همچنین امکان پیدایش ناپایداری یا گالوپینگ در حوالی این فرکانس بیشتر خواهد بود. با توجه به وجود حدود 0/5% میرایی در خطوط، این فرکانس ها نیز کمتر شده و طراحی با توجه به بهینه سازیهای صورت گرفته در فرکانس ۴، ۰ هرتز صورت گرفته است.

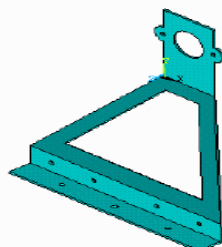
### ۳-۳-۳: تحلیل تنش در دمپرهای TDD

در این قسمت روش انجام تحلیل بدنه TDD به منظور انجام تحلیل تنش در بدنه آن و امکان استفاده مناسب با توجه به شرایط بارگذاری محیطی ارائه شده است. قطعات فولادی در نمونه صنعتی TDD ساخته شده قطعات فولادی CK45 از جنس فولاد انتخاب گردیده است و کلمپ های آلومینیومی در نمونه صنعتی TDD ساخته شده کلمپ های آلومینیومی از جنس آلومینیوم A413 انتخاب گردیده است. ضمناً سهولت نصب نیز در تهیه کلمپ نهایی در نظر گرفته شد.

الف: مدلسازی دمپر

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

مدلسازی دمپر با توجه به نقشه های طراحی که در گزارش مرحله چهارم ارائه گردید، صورت گرفته است. جهت تحلیل تنش، مدل سه بعدی دمپر در نرم افزار Ansys ایجاد گردید. شکل ۲-۳ مدل سه بعدی ایجاد شده را نشان می دهد.



شکل ۲-۳ مدل سه بعدی دمپر TDD

خواص ماده مورد استفاده برای مدلسازی دمپر مطابق جدول ۲-۳ می باشد. برای مش بندی مدل از المان های solid45 استفاده شده است که دارای هشت گره می باشد و برای مش بندی مدل های سه بعدی مورد استفاده قرار می گیرد. همچنین برای اعمال نیروی ناشی از وزن آونگ به سازه دمپر از المان Mass21 استفاده شده است که بصورت یک جرم متمرکز موجب انتقال نیروی وزن آونگ به بدنه دمپر می گردد. پس از مش بندی مدل، بارگذاری مدل و اعمال شرایط مرزی صورت می گیرد. با در نظر گرفتن تنش تسلیم فولاد معمولی که برابر با 215MPa می باشد و با توجه به ماکزیمم تنش ایجاد شده در دمپر می توان ضریب اطمینان را بصورت زیر محاسبه نمود:

$$n_s = \frac{215}{105} = 2.05$$

با توجه به ضریب اطمینان بدست آمده سازه از لحاظ تنش های ایجاد شده در آن در وضعیت مطلوبی می باشد. همچنین ماکزیمم تغییر شکل سازه در محل اتصال به هادی رخ می دهد و مقدار ماکزیمم آن برابر با ۰،۰۵۶ میلیمتر می باشد.

ب: محاسبه پارامترهای پاندول

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازم

در محاسبه پارامترهای پاندول یکی از مواردی که بایستی مورد توجه قرار بگیرد تمرکز جرم TDD است که نباید باعث ایجاد فشار بیش از حد روی کابل در جهت عمودی گردد. معمول این است که برای پرهیز از تاثیرات بد افزایش موضعی جرم، جرم مجموع TDD نباید بیشتر از ۱،۰ جرم کابل باشد.

علاوه بر این محدودیت، پاندول بایستی طوری طراحی شود که جرم بالایی در هنگام پیچش با کابلها برخورد نکند. که خود محدودیتی برای ابعاد آن به وجود می آورد.

مسأله سوم، رعایت فاصله تا زمین است. در طراحی TDD، فاصله ایمنی جرم پائینی با زمین یا باندهای زیرین بایستی رعایت شود. گرچه در هر صورت نصب TDD بر روی خط انتقالی که از پیش موجود بوده است، به هر حال باعث کاهش این فاصله می گردد اما با توجه به ضریب اطمینانی که برای این فاصله توسط طراحان خط در نظر گرفته شده است، نصب TDD بر روی خط، مشکلی ایجاد نمی کند. اما باید توجه داشت که طول TDD محدودیت دارد.

با توجه به محدودیتهای فوق الذکر و مقادیر معلوم به تعیین پارامترهای لازم برای طراحی پاندول پرداخته می شود.

روابط زیر در تعیین فرکانس های پاندول استفاده می شوند:

$$f_{pend} = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{K_{pend}}{I_{pend}}}$$

که  $f_{pend}$  فرکانس پاندول،  $K_{pend}$  سختی پیچشی پاندول و  $I_{pend}$  اینرسی پاندول می باشد.

$$I_{pend} = m_1 r_1^2 + m_2 r_2^2 + \frac{\rho \varphi_1 l_1^3}{3} + \frac{\rho \varphi_2 l_2^3}{3}$$

$$K_{pend} = K_{aT} = K_{int} - mgL$$

که در آنها  $\varphi_1$  و  $\varphi_2$  مساحت سطح مقطع های میله های ۱ و ۲ با طول های ۱، ۲ بوده ۱، ۲ برترتیب

شعاع گوی های پاندول می باشند،  $\rho$  چگالی میله ها،  $K_{aT}$  سختی پیچشی جاذب،  $K_{int}$  سختی

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازم

لاستیک متصل به پاندول است  $m$  جرم کل پاندول است علاوه بر این روابط،  $l$ ، فاصله مرکز جرم تا محور پاندول، از رابطه زیر محاسبه می شود:

$$L = \frac{m_1 \times (r_1 + l_1) + \rho l_1 \varphi_1 \times \frac{l_1}{2} - m_2 \times (r_2 + l_2) - \rho l_2 \varphi_2 \times \frac{l_2}{2}}{m_1 + \rho l_1 \varphi_1 + m_2 + \rho l_2 \varphi_2}$$

$$m = m_1 + \rho l_1 \varphi_1 + m_2 + \rho l_2 \varphi_2$$

در ادامه برای مشاهده نحوه تغییرات این پارامترها و تاثیرات متقابل آنها بر روی یکدیگر، بررسی های لازم انجام شد و با توجه به این بررسی ها، بهینه ترین مقادیر برای پاندول تعیین گردید. با هدف بهینه سازی طرح و رعایت ملاحظات فنی از نقطه نظر میدان الکتریکی که وجود لبه های تیز موجب تمرکز میدان و تشدید کرونا می گردد. به همین دلیل بایستی از وجود لبه های تیز در دستگاه TDD جلوگیری شود. به همین منظور در ساخت نمون ههای نهائی تغییراتی صورت گرفت. وزنه ها بصورت دمبلی و در مناطق اتصال میله به لاستیک و محفظه یاتاقان بصورت گرد طراحی شوند.

بمنظور جلوگیری از خورگی کلیه سطوح بدنه و پاندول تحت گالوانیزاسیون قرار می گیرند که باید فاقد ناهمواری و لبه ها و گوشه های تیز باشند و در صورت وجود بریدگی یا پلیسه و غیره قبل از گالوانیزاسیون باید این ضایعات تراشیده شده و با قطعه تحت پاشش شن و ماسه قرار گیرند.

۳-۳-۴: لاستیک

لاستیک بیوتیل که کوپلمری خطی است که از لاستیک های ویژه بوده و در نتیجه کوپلمریزاسیون ایزوبوتیلن و مقدار کمی ایزوپرن بدست می آید. خواص لاستیک بیوتیل عبارتند از: نفوذناپذیری و مقاومت در برابر گازها، مقاومت در مقابل اکسیژن و اوزن، مقاومت حرارتی، قدرت کششی زیاد، مدول بالا، مقاومت در برابر سایش و پارگی، جذب آب کم، خواص الکتریکی خوب، مقاومت نسبت به خزش، خواص دینامیکی نسبتاً خوب و مقاومت عالی در برابر حلالهای شیمیایی

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازم

به غیر از حلالهای پارافینی و اسیدهای غلیظ که این خواص می تواند عملکرد مورد انتظار از دمپر را ایجاد نماید.

الف: آمیزه مورد نیاز جهت لاستیک

x آمیزه پایه

بمنظور رسیدن به خواص مورد نیاز در لاستیک ۳ آمیزه بشرح ذیل مورد بررسی قرار گرفت.

آمیزه شماره ۱: شامل بیوتیل و لاستیک طبیعی NR به عنوان بخش پایه لاستیکی. برای افزایش مقاومت آمیزه در برابر اوزن از ترکیب IPDD به TMQ همراه واکس پارافین استفاده شد.

آمیزه شماره ۲: شامل بیوتیل و لاستیک اتیلن پروپیلن دی منومر به عنوان بخش پایه لاستیکی. برای افزایش میزان سختی از رزین کومارون استفاده شد.

آمیزه شماره ۳: شامل بیوتیل به عنوان بخش پایه لاستیکی. و از رزین کومارون برای افزایش سختی در آن استفاده شد.

x پرکننده ها

انتخاب نوع و مقدار پرکننده های مورد استفاده، به سختی، قدرت کششی و خواص مورد نیاز دیگر در آمیزه مربوط است. به طور کلی دوده هایی که ذرات ریزی دارند اثر تقویت کنندگی بیشتری داشته ولی فرآیندپذیری را کاهش می دهند. با افزایش تقویت کنندگی، قدرت کششی، مقاومت سایشی و مقاومت در برابر پارگی در آمیزه افزایش می یابد.

x تسهیل کننده های فرآیند

این دسته از مواد برای ایجاد سهولت در فرآیند و بهبود شرایط محصول به آمیزه اضافه می شوند. از جمله آنها می توان به رزینها، پل یاتیلن، استئارات روی، اسید استئاریک و پلی ایزوبوتیلن اشاره کرد. رزینهای کومارون-آیندن، سختی آمیزه های بیوتیل را بدون افت در خواص فیزیکی مکانیکی

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت **ویکی پاور** مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

افزایش می دهند و پس ززندگی قالب را در آمیزه هایی که حجم دوده آنها بالا است کاهش م  
یدهند.

#### x عوامل ضد اوزن

پلیمرهای بیوتیل به دلیل پایین بودن درجه غیراشباع به طور ذاتی در مقابل اوزن مقاومند. این مقاومت به طور قابل توجهی با تاثیر دیگر اجزاء آمیزه در آمیزه هایی که مقادیر زیادی پرکننده داشته و یا در معرض هوای آزاد قرار دارند کاهش می یابد. لذا استفاده از ضد اوزن سودمند خواهد بود.

#### x سامانه های پخت

به دلیل سرعت پایین پخت، در آمیزه های بیوتیل از شتابدهنده های بسیار فعال نظیر تیورام سولفایدها و همراه با گوگرد استفاده گردید. در مورد آمیزه های این تحقیق از زاویه ۳ درجه برای اندازه گیری استفاده شد و دمای رئومتر نیز مطابق با دمای پخت برابر با 150C قرار داده شد. نکته قابل توجه در مورد قالب گیری این قطعه نحوه لقمه گذاری درون قالب است. به دلیل طول زیاد این قطعه، به منظور احتراز از ایجاد حباب درون قطعه در حین قالب گیری، باید آمیزه به صورت نوارهای نازک به ضخامت ۲ تا ۳ میلیمتر و عرض ۳ تا ۴ سانتی متر درون قالب چیده شده و بار اصلی مواد در انتهای بدون زائده فلزی قالب قرار گیرد. اجزای مختلف دمپر TDD پس از طراحی و ساخت و کنترل کیفی، مونتاژ شده و محصول نهایی حاصل گردید. و بمنظور اطمینان از عملکرد آن، مورد آزمون قرار گرفت.

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت **ویکی پاور** مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

### ۳-۴ : آزمونها

تا کنون استاندارد بین المللی مستقلی در خصوص دمپرهاي TDD منتشر نشده است. بمنظور اطمینان از صحت رویه ساخت و عملکرد دراز مدت تجهیز در شرایط واقعی آزمون هایی مطابق جدول ۳-۳ انجام پذیرفت.

جدول ۳-۳ آزمون های انجام شده بر روی PDD

نمونه های مورد آزمون	آزمون های نمونه ای لازم
لاستیک	آزمون بازبینی ظاهری
	آزمون بازبینی ابعادی
	آزمون سختی Shore A
	آزمون ازن
	آزمون سختی پیچشی
	آزمون کشش
	آزمون جهندگی
بدنه ، گوی ها و لوله های نگه دارنده لاستیک	آزمون بازبینی ظاهری
	آزمون بازبینی ابعادی
	آزمون ضخامت پوشش گالوانیزه بدنه اصلی، گوی ها و میله ها و لوله های نگه دارنده لاستیک
	آزمون سختی
کلمپ های آلومینیومی	آزمون بازبینی ظاهری
	آزمون بازبینی ابعادی
دمپر TDD کامل شده	آزمون بازبینی ظاهری
	آزمون بازبینی ابعادی
	آزمون عملکردی TDD کامل شده (آزمون فرکانس هم آوایی)
	آزمون سختگی
	آزمون اتصال کوتاه



برای دریافت فایل Word پروژه به سایت **ویکی پاور** مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

### ۳-۴-۱: آزمون بازبینی ظاهری

این آزمون شامل بررسی ظاهری تک تک اجزا و TDD مونتاژ شده می باشد. وجود ترکهای عرضی بیش از ۲ میلیمتر، تخلخل، عیوب موادی، لبه های تیز یا برآمدگی، آلودگی، نقص ماشین کاری، تغییر شکل اجزا، عدم امکان عبور پیچ و مهره، وجود براده در شیارهای پیچ، وجود لایه اکسید در گالوانیزه، تغییر رنگ مواد، از جمله مواردی هستند که در بازبینی ظاهری مورد بررسی قرار می گیرند.

### ۳-۴-۲: آزمون بازبینی ابعادی

نمونه مورد بازبینی ابعادی قرار می گیرند و ابعاد آن با نقشه مطابقت داده می شود. تلورانس های زیر برای تمامی ابعاد در مواقعی که تلورانس های ویژه مد نظر نباشند مجاز شمرده می شود:

$$\pm (0.04d + 1/5) \text{mm} \quad \text{برای } d \leq 300 \text{mm}$$

$$\pm (0.025d + 6) \text{mm} \quad \text{برای } d > 300 \text{mm}$$

برای مقدار دوم، حداکثر تلورانس 500mm می تواند در نظر گرفته شود. اندازه ابعاد برحسب میلیمتر می باشد.

### ۳-۴-۳: آزمون سختی Shore A

این آزمون بر روی نمونه هایی به ضخامت حداقل 6mm و قطر حداقل 25mm برحسب Shore A انجام گرفت که نتیجه برای نمونه اولیه  $5 \pm 60$  می باشد.

### ۳-۴-۴: آزمون ازن

به منظور اطمینان از عملکرد مناسب لاستیک بکار رفته در ساخت دمپر TDD در درازمدت می بایست بر روی نمونه لاستیک آزمون ازن انجام گیرد.

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

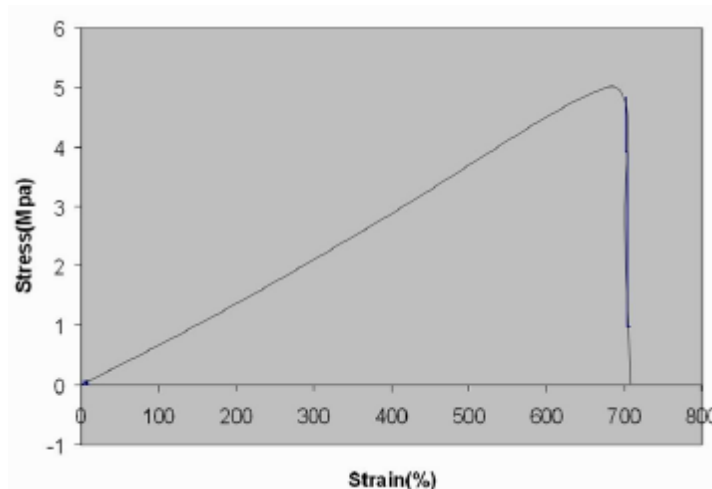
اوزن که در حقیقت شکل خاصی از اکسیژن است، می تواند روی خواص لاستیک تاثیر قابل ملاحظه ای داشته باشد. وقتی نمونه ای لاستیکی در معرض اوزن موجود در هوا قرار می گیرد، به ویژه در صورتیکه تحت تنش باشد، روی سطح آن در جهت عمود بر تنش ترک هایی بوجود می آید علامت مشخصه تخریب اوزنی که به این حالت تخریب ناشی از اوزن می گویند بدیهی است که این ترک ها به طور قابل ملاحظه ای خواص مکانیکی قطعه ای حاصل را تقلیل خواهند داد. درون محفظه آزمایش هوا با غلظت بالای اوزن وجود دارد. روشی که برای تولید اوزن به کار می رود معمولاً استفاده از چراغهای ماوراء بنفش است و غلظت اوزن می تواند از ۲۵ تا ۲۵۰ قسمت در 100000000 pphm عموماً ۵۰ یا ۸۰ تنظیم گردد. نمونه لاستیکی را بین دو گیره بسته تا تحت کشش قرار بگیرد و سپس آن را در اتاقک قرار می دهند. درجه حرارت اتاقک طبق استاندارد باید 40C باشد. نمونه ساخته شده با غلظت اوزن 60pphm و کشش ۲۰٪ پس از ۷۲ ساعت هیچگونه ترک خوردگی مشاهده نشد و مورد تایید قرار گرفت.

۳-۴-۵: آزمون سختی پیچشی  
سختی پیچشی لاستیک بکار رفته در TDD باید دارای مقداری متناظر با نسبت ابعادی مجموعه باشد. منظور از نسبت ابعادی شامل گوی و میله فوقانی و گوی و میله تحتانی می باشد. لاستیک از یک سر ثابت نگهداشته شده و با استفاده از یک بازوی مشخص از طرف انتهایی آن گشتاورهای مشخصی به آن وارد می گردد. مقدار گشتاور برحسب زاویه باید در این حالت ثبت می گردد. با محاسبه شیب منحنی گشتاور-زاویه پیچش مقدار سختی پیچشی محاسبه می شود. سختی پیچشی  $K$  تا حداکثر زاویه پیچش که کمتر از ۹۰ درجه می باشد باید در حدود  $0.05 \left[ \frac{kg.m}{rad} \right]$  باشد.

۳-۴-۶: آزمون کشش

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت **ویکی پاور** مراجعه کنید. فاقد آر م سایت و به همراه فونت های لازمه

این آزمون برای قطعات لاستیکی انجام گرفت. نتایج این آزمون در اشکال ۳-۳ نشان داده شده است.



شکل ۳-۳ منحنی تنش-کرنش مربوط به آزمون کشش

#### ۳-۴-۷: آزمون جهندگی

این آزمون به منظور بررسی میزان جهندگی توانایی بازپس دادن و عدم اتلاف انرژی ورودی لاستیک ها انجام می گیرد. که طی آن وزنه ای پاندولی استاندارد با انرژی حدود 0.5J به نمونه استاندارد لاستیکی برخورد نموده و میزان بازگشت آن به وضعیت اولیه مبنای محاسبات میزان جهندگی یا میزان اتلاف انرژی نمونه قرار می گیرد. نمونه استاندارد باید قرصی به ضخامت  $12 \pm 0.5$  و  $12 \pm 0.5$  میلی متر قطر باشد.

#### ۳-۴-۸: آزمون ضخامت پوشش گالوانیزه

تعیین ضخامت گالوانیزاسیون بر روی قطعات فولادی انجام می شود. روکش باید پیوسته، یکنواخت، تا حد امکان صاف و عاری از هر ماده ای باشد که برای استفاده صحیح از ماده روکش مضر می باشد. خال های کوچک روکش نشده قابل اغماض می باشند. ماکزیمم سطح بدون روکش، تا مقدار  $4\text{mm}^2$  مجاز می باشد اما سطح کلی بدون روکش نباید بیشتر از ۰.۵٪ از سطح کلی تقریبی قسمت فلزی باشد. سطح کل بدون روکش نباید از  $20\text{mm}^2$  فراتر رود.

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازم

روکش باید به اندازه کافی چسبندگی داشته باشد تا در مقابل استفاده های معمول از ماده، در برابر پوست انداختن و ورقه ورقه شدن مقاومت کند.

توجه: قسمت های با برجستگی پیچی، بعد از برجسته کردن گالوانیزه می شوند. مهره ها و ... قلاویز شده و بعد از گالوانیزه شدن محافظت می شوند.

نقاط در نظر گرفته شده باید نشانگر کیفیت گالوانیزاسیون یراق باشند. جهت نمونه برداری سطوح صاف و هموار انتخاب می گردد. در اینجا میانگین انداز هگیری شده بر روی هر نمونه بیش از ۱۱۰ میکرومتر می باشد.

۹-۴-۳: آزمون عملکردی TDD کامل شده یا آزمون فرکانس هم آوایی

هدف از این تست بدست آوردن فرکانس مجموعه مونتاژ شده می باشد. در این حالت فرکانس نمونه مونتاژ شده با فرکانس طراحی شده باید بر هم منطبق باشند. میزان انحراف از مقادیر طراحی شده باید در محدوده باند فرکانسی نهایی قرار گیرد.

حداقل فرکانس هم آوایی حدود ۳، ۰ هرتز و حداکثر آن باید بالای باشد. جهت محاسبه میزان کارآیی دمپر در ابتدا باید حدود فرکانس خط مشخص گردد. محاسبات و یا هم آوایی در ساخت دمپر باید بر اساس فرکانس گالوپینگ صورت پذیرد. مقدار دامنه برحسب فرکانس ترسیم شده و با محاسبه پهنای باندهای فرکانسی، مقادیر حداقل و حداکثر فرکانسی که دمپر در آن بهترین کارآیی را خواهد داشت مشخص می گردد.

محاسبه فرکانس مبنا: این فرکانس همان فرکانس کارکرد اصلی می باشد. در این فرکانس حداکثر دامنه دوران رخ خواهد داد.

محاسبه پهنای باند فرکانسی: پس از محاسبه فرکانس مبنا، فرکانس های حد بالا و پایین باید مشخص گردند. طبق تعاریف موجود این فرکانسها در مقادیر دامنه حداکثر رخ می دهند.

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

برای انجام این آزمون باید از تست ریگی که که بتواند فرکانس های نزدیک به فرکانس گالوپینگ را تولید کند استفاده کرد و برای انجام آزمون بایستی TDD را به دستگاه متصل نمود تا ارتعاشات تولیدی به منتقل TDD شود.

در صورتی که در آزمون هم آوایی فرکانس نمونه مونتاز شده در محدوده باندهای فرکانسی طراحی شده قرار نگیرد برای تغییر فرکانس مبنای، صرفا طول میله فوقانی باید کم و یا زیاد گردد. در این تغییرات صرفا طول میله ها تغییر کرده و این تغییرات باید به گون های باشند که علاوه بر رعایت فاصله مجاز خطوط در حین کارکرد برخوردی بین اجزای نوسانی و ساکن TDD گوی فوقانی و بدنه بوجود نیاید. تغییرات باید بگونه ای باشد که در حالت استاتیکی وزنه ها در راستای قائم قرار گرفته و تقارن حفظ گردد. لازم است تا تمامی اتصالات بصورت صلب صورت گرفته و همچنین مهار لاستیک ها در داخل لوله ها طوری صورت گیرد تا در حین کارکرد جابجایی نسبی بین لاستیک و بدنه صورت نگیرد.



۱۰-۴-۳: آزمون خستگی لاستیک

آزمون خستگی بر روی نمونه ساخته شده در مرحله تولید صنعتی برای ۸ ساعت کارکرد مداوم در فرکانس حدود هر تری با حداکثر دامنه صورت گرفت که تغییرات برای دو حالت قبل و بعد از تست ملاحظه نشد. جهت اطمینان از عملکرد مجموعه لازم است مجموعه برای چند ساعت در دامنه حداکثر بکار قرار گیرد. در این حالت نباید تغییرات فرکانسی و دامنه متناظر بیشتر از ۲۰ درصد مقدار اولیه باشد. مهمترین نکته در تست خستگی عدم شل و یا باز شدن قطعات می باشند که نمونه مورد تایید قرار گرفت.

۱۱-۴-۳: آزمون اتصال کوتاه

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

دمپرها در خطوط 400Kv باید بتوانند در برابر جریان اتصال کوتاه لحظ های 50KA در مدت 0.5s و حداکثر جریان اتصال کوتاه 125KA ایستادگی کنند. تحت شرایط فوق نه تنها دمپر TDD نباید تغییر شکل دائمی پیدا کنند، بلکه کلمپ ها نیز نباید روی سیم هادی بلغزند و آن را خراش دهند و یا زخمی کنند و یا باعث تغییر شکل آن شوند. همچنین خود کلمپها نیز نباید صدمه ببینند.

### ۳-۵: نصب نمونه در شبکه

پس از انجام موفق آزمونهای فوق الذکر بر نمونه های ساخته شده، دو نمونه از آنها بر روی یکی از خطوط دو بانده ۴۰۰ کیلوولت برق منطق های گیلان شهید رجایی- سیکل ترکیبی گیلان نصب گردید. پس از گذشت دو سال از زمان نصب این دمپرها هیچ گونه عیب و یا نقص فیزیکی در دمپر های نصب شده گزارش نگردیده است.

### ۳-۶: بحث و نتیجه گیری

با توجه به تحلیلهای انجام گرفته بر اساس اطلاعات سازمان هوا شناسی، احتمال وقوع گالوپینگ در مناطق مختلفی از ایران وجود دارد. این در حالی است که ناچاراً بسیاری از تحلیل های انجام گرفته بر اساس اطلاعات برداشت شده از محل ایستگاه های هواشناسی می باشد و کاملاً واضح است که شرایط محیطی میزان یخبندان، سرعت باد، درجه حرارت و... در مناطق کوهستانی و صعب العبور که در بسیاری از موارد محل عبور خطوط نیرو می باشد عمدتاً بسیار سخت تر از شرایط محل ایستگاه های هواشناسی می باشد و در نتیجه احتمال گستردگی بیشتر این پدیده کاملاً محتمل است. گستردگی نسبی مناطق مستعد گالوپینگ در ایران لزوم یک برنامه ریزی صحیح را در جهت مقابله و جلوگیری از این پدیده آشکار می سازد. تجهیز TDD با داشتن قابلیت های فنی لازم که در این پروژه به آن اشاره گردید راهکار مناسبی در جهت رفع معضلات ناشی از گالوپینگ

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت **ویکی پاور** مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

بوده که می تواند خسارت ها و ضررهای اقتصادی ناشی از این پدیده را کاهش دهد. ساخت و نصب موفقیت آمیز نمونه دمپرهای TDD در خط ۴۰۰ کیلوولت شهید رجایی-سیکل ترکیبی گیلان چشم انداز رسیدگی بیشتر و توسعه و بکارگیری این تجهیز را در سایر مناطق کشور بیش از پیش آشکار می سازد. ضمناً با توجه به عدم وجود استاندارد بین المللی مستقل در خصوص نتایج بررسی های انجام شده در خصوص دمپرهای TDD مشخص نمودن آزمون های لازم دمپرهای TDD می تواند در خصوص تحقیق و توسعه و بکارگیری سایر دمپرهای خطوط انتقال بکار گیرد.



برای دریافت فایل Word پروژه به سایت **ویکی پاور** مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

فصل چهارم :

## بررسی احتمال وقوع پدیده گالوپینگ در مناطق مختلف ایران و معرفی روشهای مقابله با آن

### چکیده

در این پروژه پس از معرفی پدیده گالوپینگ وضعیت وقوع این پدیده در مناطق مختلف ایران مورد بحث قرار می گیرد. در این قسمت با توجه به میزان وقوع یخبندان، سرعت باد و حداقل درجه حرارت در ۱۹ منطقه انتخابی، چگونگی وقوع گالوپینگ در این مناطق بررسی می شود. سپس خطوطی که در پنج برق منطقه ای آذربایجان، زنجان، اصفهان، غرب و خراسان دچار پدیده گالوپینگ شده اند مورد بررسی قرار می گیرند در ادامه روشهای موجود جهت مقابله با پدیده گالوپینگ معرفی می گردند. و نهایتاً سه نوع دمپر که از کارائی بالایی در مقابله با پدیده گالوپینگ برخوردار می باشند مورد بحث قرار می گیرند.

### ۱-۴ : مقدمه

گالوپینگ نوعی از ارتعاشات هادی است که دارای دامنه زیاد و فرکانس کم می باشد. اما به هر حال تشکیل یخ روی هادیها در مدت بارش بارانهای یخساز و طوفانهای همراه با تگرگ سبب می شود تا یک لایه یخ روی دور هادی را احاطه کند در این حالت وقتی باد به هادیها بوزد ممکن است سبب جهش هادی به سمت بالا و پاسسن شود .



برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازم

فرکانس نوسانات این پدیده معمولاً بین (۱-۲، ۰) هرتز با سرعت باد (۲۲-۷) متر بر ثانیه می باشد و این در حالی است که در مواردی با سرعت ۲۵ متر بر ثانیه نیز این پدیده مشاهده شده است. جهش هادیها در اثر گالوپینگ تحت تاثیر وزش بادهای تند یا در اثر تخلیه ناگهانی یخ از روی هادیها به وجود می آید و یا در اثر اتصال کوتاهیهای قوی حادث می شود. دامنه نوسانات این پدیده زیاد بوده و معمولاً از ۰/۱ تا یک برابر فلش هادیها متغیر می باشد.

بطور کلی عوامل ایجاد کننده پدیده گالوپینگ را میتوان سرعت، باد، درجه حرارت محیط، رطوبت نوع یخ روی سیم و ارتفاع برج دانست که قسمت بزرگ حرکت آن در جهت عمودی است. وقوع گالوپینگ در هادیهای پوشیده از یخ، به علت تغییر مشخصه آیرودینامیک نسبت به حالت اولیه بدون یخ می باشد و خواص آیرودینامیکی هادیها نیز با یکدیگر تفاوت دارد و هر هادی با توجه به سطح مقطع آن، جریان هوا و محیط اطراف آن دارای مشخصه خاص خود می باشد.

#### ۴-۲: بررسی احتمال وقوع گالوپینگ در مناطق مختلف ایران

همانطور که گفته شد پدیده گالوپینگ عموماً در اثر وزش باد یا وجود بار یخ غیر یکنواخت بر روی سیمها ایجاد می شود. از این رو امکان بروز پدیده بر روی خطوطی که از مناطق کوهستانی و برف گیر عبور می کنند بسیار زیاد است.

همچنین وزش باد شدید نیز یکی از عوامل ایجاد پدیده گالوپینگ می باشد که در این پروژه مورد بحث قرار نخواهد گرفت. با مطالعه و بررسی گزارشات سالانه سازمان هوا شناسی تعداد ۲۹ ایستگاه جهت تعیین چگونگی احتمال وقوع گالوپینگ در مناطق مختلف ایران انتخاب شدند. میزان حداقل درجه حرارت، تعداد روزهای یخبندان در سال و همچنین میزان سرعت وزش باد از معیارهای اصلی انتخاب ایستگاههای فوق می باشد.

ایستگاههای انتخاب شده به شرح زیر می باشد:

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازم

۱- آبعلی ۲- آوج ۳- اردبیل ۴- ارومیه ۵- الشتر ۶- اهر ۷- بروجن ۸- تکاب ۹- خدابنده ۱۰- خرمدره ۱۱- کوه‌رنگ ۱۲- خلخال ۱۳- خوی ۱۴- داران ۱۵- زرینه اوباتو ۱۶- زنجان ۱۷- سراب ۱۸- سقز ۱۹- شرق اصفهان ۲۰- شهرکرد ۲۱- فیروز کوه ۲۲- فیروز کوه (PO110) ۲۳- کنگاور ۲۴- ماکو ۲۵- مریوان ۲۶- مشکیل شهر ۲۷- منجیل ۲۸- فرودگاه همدان ۲۹- همدان

با توجه به عدم وجود اطلاعات مورد نیاز برای بررسی ایستگاههای ردیفهای ۲، ۵، ۷، ۹، ۲۱، ۲۲، ۲۵، ۲۶، ۲۷ ایستگاههای باقیمانده جهت بررسی نهائی انتخاب شدند.

اطلاعاتی که بر پایه آنها نمودارهای مورد نیاز کشیده شده است میانگینی از مجموعه اطلاعات ثبت شده در ایستگاه مورد نظر از بدو تاسیس تا کنون است که شامل فیلدهای زیر می باشد:

۱- تعداد روزهای سال همراه با بارش برف

۲- تغییرات سرعت باد در ماههای مختلف سال

۳- بیشترین سرعت بالا مشاهده شده و کمترین درجه حرارت هوا

۴- تعداد روزهای یخبندان در سال

باید در نظر داشت که اطلاعات فوق اطلاعات ثبت شده در محل ایستگاه هواشناسی می باشد در صورتیکه معمولاً شرایط حاکم بر مناطق کوهستانی و برف گیری که احتمال وقوع گالوپینگ در آنها وجود دارد از شرایط محلی ایستگاه هواشناسی به مراتب دشوارتر است.

همچنین لازم به یادآوری است که تمامی مناطق فوق از احتمال بالایی جهت وقوع پدیده گالوپینگ برخوردارند و این نمودار عملاً مقایسه‌ای بین مناطق یاد شده می باشد.

### ۳-۴ : سابقه وقوع گالوپینگ بر روی خطوط

در این پروژه خطوط پنج برق منطقه‌ای آذربایجان، زنجان، اصفهان، غرب و خراسان مورد بررسی قرار می گیرند. در این بررسی مناطقی که مستعد وقوع گالوپینگ می باشد مورد ارزیابی قرار خواهند گرفت.

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت **ویکی پاور** مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

فرکانس موج ایجاد شده از پدیده گالوپینگ با استفاده از فرمول زیر بدست می آید .

$$f = \frac{0.56n}{\sqrt{D}}$$

n: تعداد حلقه ها

D: فلش سیم (در حالت بارگذاری)

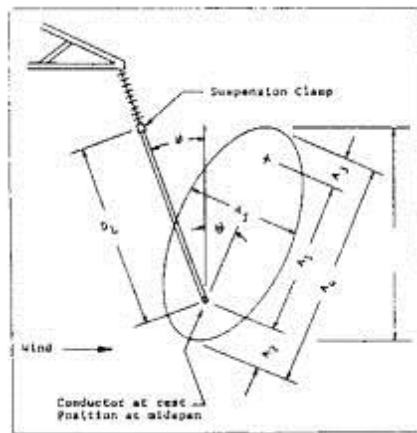
همچنین دامنه گالوپینگ بر حسب سرعت باد محاسبه می شود:

$$Y_{\max} = 0.26 \frac{V}{f}$$

V: سرعت باد بر حسب (m/s)

در ضمن ضریب ۰،۲۶ برای بدترین شرایط در نظر گرفته شده است.

سپس ابعاد بیضی های گالوپینگ را توسط فرمولهای زیر بدست می آوریم:



شکل ۱-۴ ابعاد بیضی های گالوپینگ

$$A_1 = D_L \quad A_4 = A_1 + A_2 + A_3$$

$$A_2 = \frac{A_1}{4} \quad A_5 = 0.4 A_4$$

$$A_3 = 3.0m$$

DL فلش سیم در لحظه ای است که بر روی سیم یخ وجود دارد و گالوپینگ شروع می شود برای

گالوپینگ دو حلقه از فرمول زیر استفاده می کنیم

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازم

$$A_4 = 0.3048 + \sqrt{\frac{3a \left( L + \frac{8s^2}{3L} - 2a \right)}{8}}$$

$$a = \sqrt{\left(\frac{L}{2}\right)^2 + S^2}$$

$$A_2 = 0.2 A_4$$

$$A_3 = 1.104 \sqrt{A_4 - 0.3048}$$

$$\phi = \text{tg}^{-1} \left( \frac{PC}{WC} \right)$$

PC: نیروی باد در واحد طول هادی در حالتی که هادی پوشیده از یخ می باشد که در این حالت سرعت باد ۱۳ متر بر ثانیه فرض شده است.

WC: وزن واحد طول هادی با در نظر گرفتن یخ شعاع یخ ۱۲/۷ mm.

L: طول اسپین

S: فلش سیم هادی با ۱۲/۷ mm یخ و بدون باد

A4: قطر بزرگ بیضی

A5: قطر کوچکتر بیضی

گالوپینگ تک حلقه اغلب در اسپنهای کوچک (کوچکتر از ۱۵۰ متر) اتفاق می افتد و در اسپنهای متوسط و بلند گالوپینگ دو حلقه یا بیشتر اتفاق می افتد. بنابراین مبنای بررسی فواصل هوایی میان فازها و فاز و سیم زمین در اسپنهای کوچک ابعاد بیضی تک حلقه و در اسپنهای متوسط و بلند ابعاد بیضی دو حلقه می باشد.

در بررسی خطوط انتقال نیرو در مناطق مختلف خطوط ۶۳ - ۱۳۲ - ۲۳۰ - ۴۰۰ کیلوولت مدنظر هستند. ابتدا شرکت برق منطقه ای آذربایجان سپس زنجان، اصفهان و در آخر برق منطقه ای غرب مورد بررسی قرار خواهند گرفت .

۴-۳-۱: بررسی خطوط انتقال نیروی شرکت برق منطقه ای آذربایجان

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازم

شرایط آب و هوایی منطقه آذربایجان عموماً سنگین می باشد. و در بعضی مناطق در نواحی کوهستانی شرایط آب و هوایی فوق سنگین بوده بارش برف توام با باد و کولاک شدید می باشد. در منطقه آذربایجان ۲۵ خط ۶۳ کیلوولت وجود دارد که در ۸ مورد آنها مشکلات گالوپینگ وجود دارد.

جدول ۱-۴ خطوط ۶۳ کیلوولت منطقه آذربایجان که با مشکل گالوپینگ همراه اند.

شرایط منطقه	تیپ برجها	طول	تعداد مولر	
سنگین	S,T	۴۴	۱	اهر-وزقان
سنگین	S,T	۵۳	۱	اهر-کلیبر
فوق سنگین	D,D10,D30	۵۴	۲	اهر-مهربان
فوق سنگین	D,D10,D30	۲۲	۲	تیکمه داش-دوزدوزان
سنگین	NN,AA,CC	۴۷	۲	میانه-کاغذ کتان
سنگین	D,D10,D30	۳۳	۲	تیکمه داش-هشترود
سنگین	S,T	۴۲	۱	هشترود-قره آغاج
سنگین	S,T	۴۶	۱	تکاب-ابراخوانوه

در دو خط اهر — وزقان و اهر — کلیبر برجها از نوع S بوده و فاصله بین کراس آرمها از فاصله مجاز کمتر است فاصله مجاز توسط فرمول زیر محاسبه می شود:

$$h = (A_1 + C_1 + 0.3) \cos \theta$$

برای خطوط ۶۳ کیلوولت  $C_1 = 0.95$

$$\theta = 30$$

h: فاصله مجاز عمودی بین کراس آرمها

C1: فاصله هوایی مجاز بین فازها

$\theta$ : زاویه انحراف زنجیره مقرر

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

بنابراین با توجه به محاسبات و اعمال مقادیر واقعی هنگام وقوع گالوپینگ مشکل برخورد هادی‌ها را خواهیم داشت علاوه بر این مشکل که باعث قطعی خطوط می‌شود. نوسانات باعث ایجاد خسارت مکانیکی به کلمپها و یراق آلات و برجها می‌شود.

در دو خط اهر – مهربان و تیکمه داش – دوزدوزان شرایط منطقه فوق سنگین است و باد شدید در اکثر روزهای سال وجود دارد. در این منطقه مشکل گالوپینگ حادثتر است بنحوی که در طراحی اولیه برجهای احداث شده یکی پس از دیگری سقوط کرده و باعث هزینه‌های زیادی شده‌اند و در طراحی مجدد از تیرهای چوبی با اسپن کوچک استفاده شده است. در این منطقه نیز  $h$  (فاصله مجاز بین کراس آرمها) از مقادیر واقعی زیادتر است و در موقع نوسان مشکلات عدیده‌ای خواهیم داشت.

سایر خطوط ۶۳ کیلوولت ذکر شده نیز دارای همین مشکلات هستند و هر ساله باعث تحمیل زیانهای مالی به برق منطقه‌ای مربوطه می‌شود.

تمامی خطوط ۱۳۲ کیلوولت آذربایجان در مناطقی واقع شده‌اند که دارای شرایط آب و هوایی سنگین هستند در این منطقه نیز در طول زمستان قطعی برق به مدت کم به علت برخورد فازها به همدیگر گزارش شده است در این منطقه درصد آسیبهای مکانیکی کمتر است ولی اکثر این خطوط با مشکل گالوپینگ همراه می‌باشند.

خطوط ۲۳۰ کیلوولت آذربایجان نیز در مناطق شرایط سنگین و فوق سنگین واقع شده‌اند و هادی این خطوط Canary و اسپن طراحی ۳۵۰ متر است. در این خطوط نیز مشکلات ناشی از گالوپینگ وجود دارد بعنوان مثال مثال خط ۲۳۰ کیلوولت تکمداره اهر – شفا که از پست ۲۳۰ کیلوولت اهر تا پست ۲۳۰ کیلوولت شفا واقع در شهر تبریز احداث شده با خط ۶۳ کیلوولت دو مداره اهر – مهربان تقریباً به حالت موازی قرار گرفته است. در این خط نیز مثل خط اهر – مهربان برجها پس از نصب سقوط کردند که علت آن عدم طراحی صحیح برای شرایط منطقه و غیر

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

مسطح بودن برجها و هادیها به وسایل جلوگیری کننده از گالوپینگ بوده است در خطوط ۴۰۰

کیلوولت آذربایجان که به شرح زیر است:

۱- خط تبریز - زنجان به طول ۲۹۶ کیلومتر

۲- خط تبریز - زنجان به طول ۳۰۰ کیلومتر (مدار دوم)

۳- خط تبریز - خوی به طول ۱۱۷ کیلومتر

شرایط مسیر عبوری این خطوط به گونه‌ای بوده است که خطوط زیاد دچار حوادث نشده است ولی در قسمتی از خط زیاران - تبریز در منطقه تاکستان مشکل وجود داشته است. مناطق عبوری این خطوط دارای شرایط آب و هوایی سنگین است ولی به علت اینکه خطوط تکمداره هستند احتمال نزدیک شدن فازها به همدیگر خیلی کم است ولی ممکن است در اثر نوسانات اتصالات یراق آلات و کراس آرمها دچار مشکل شده و حتی در اثر ضربه‌های وارده بشکند.

۲-۳-۴: خطوط انتقال موجود شرکت برق منطقه‌ای زنجان

تمامی خطوط ۶۳ کیلوولت زنجان از مناطقی عبور می‌کند که دارای شرایط آب و هوایی سنگین می‌باشد اما همگی دارای مشکلات ناشی از گالوپینگ نمی‌باشند اما در تعدادی از آنها این مشکل وجود دارد. به عنوان مثال خط ۶۳ کیلوولت دو مدار ماهنشان - زنجان به طول ۸۵ کیلومتر در اثر پرش هادی به علت افتادن یخ از روی آن در طول روز چندین بار قطع می‌شود. در خطوط ۲۳۰ کیلوولت که از مناطق با شرایط سنگین عبور می‌کند نیز مشکل گالوپینگ وجود دارد به عنوان مثال در خط لوشان - قزوین این نوسانات به حدی است که آسیبهای مکانیکی فراوانی را به دنبال دارد. در خطوط ۴۰۰ این منطقه نیز خط زیاران به تبریز با مشکل پارگی سیم زمین روبرو است که ناشی از نوسانات شدید سیم زمین است.

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت **ویکی پاور** مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

۳-۳-۴ : خطوط موجود شرکت برق منطقه‌ای اصفهان

تعداد ۶۹ خط ۶۳ کیلوولت در این منطقه وجود دارد که با توجه به شرایط جغرافیایی منطقه تعداد کمی از آنها در شرایط آب و هوایی سنگین هستند. خطوطی که با مشکل گالوپینگ همراهند با تعداد دفعات مشاهده شده در جدول زیر آمده است.

جدول ۲-۴ خطوط ۶۳ کیلوولت برق منطقه‌ای اصفهان که با مشکل گالوپینگ همراهند.

تعداد مشاهده گالوپینگ	نام خط
۷۰	سمیرم-شهر رضا
۵۰	آلونی-فرادنبه
۳۰	بهرنگ-کاشان
۳۰	سد-نجف آباد
۲۷	فارسان-شهر کرد
۲۲	سد-شهر کرد
۱۸	گلپایگان-بهرنگ
۱۵	بوئین-داران
۱۵	داران-سد
۱۰	شهر کرد-فرادنبه
۱۰	فرادنبه-مبارکه
۸	شهر کرد-ناغان
۶	شهر کرد-۴۰۰-شهر کرد
۲	گلپایگان-۴۰۰-گلپایگان

اکثر خطوط ۴۰۰ کیلوولت این منطقه تک مداره است و احتمال برخورد فازها به همدیگر کمتر است ولی در خط شمال - یزد که از منطقه کویری عبور می‌کند ناحیه دارای شرایط آب و هوایی خاصی می‌باشد در برخی مناطق در زمستان بارش شدید برف موجب یخ‌زدگی هادیها و قطعات برجها و زنجیره مقررها می‌شود و با تجمع یخ روی سیم فلش سیم از مقدار مجاز پایین‌تر می‌آید و با افتادن یخ هادی شروع به نوسان می‌کند که باعث برخورد فازها به همدیگر می‌شود.

۴-۳-۴ : خطوط نیروی شرکت برق منطقه‌ای غرب

در خطوط ۶۳ کیلوولت منطقه غرب که اکثراً از مناطقی با شرایط آب و هوایی سنگین عبور می‌کند مشکلات گالوپینگ به چشم می‌خورد. این مناطق، مناطق کوهستانی و ناهموار واقع در



برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

منطقه سرد سیری این ناحیه می باشد جدول زیر اسامی خطوطی که در یک سال دچار گالوپینگ شده اند با تعداد دفعات مشاهده شده را نشان می دهد.

جدول ۳-۴ خطوط ۶۳ کیلوولت برق منطقه ای غرب که در آن مشکل گالوپینگ وجود دارد

تعداد دفعات	تعداد مدار	خطوط
۸	۲	سنندج-۲ دیواندره
۱۳	۲	سنندج-مریوان
۲	۲	دیواندره-بیجار
۵	۲	سنندج-قروه

از سایر خطوط انتقال این منطقه در مورد گالوپینگ گزارشی وجود ندارد.

۴-۳-۵ : خطوط انتقال نیرو برق منطقه ای خراسان

در حدود ۲۵۰ کیلومتر از خطوط انتقال برق منطقه ای خراسان در مناطق کوهستانی برگیر و بادخیز واقع شده است.

به عنوان مثال خط ۱۳۲ کیلوولت شریعتی — سرخس به علت یخبندان و خط ۱۳۲ کیلوولت شریعتی — عطار به علت باد شدید و یخبندان دچار گالوپینگ می شوند. هادیهای مورد استفاده در این خطوط به ترتیب هاک و اوریول می باشند و اسپن طراحی نیز ۳۵۰ متر است که در دکلهایی با نوع M.S مورد استفاده قرار گرفته است.

در این خطوط در هنگام وقوع گالوپینگ مشکل ناشی از برخورد هادیها به یکدیگر و خسارات مکانیکی از جمله قطع شدن کابل، شکستن زنجیره مقره و فرسوده شدن یراق آلات گزارش شده است .

۴-۴ : روشهای جلوگیری و حفاظتی در مقابل پدیده گالوپینگ

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت **ویکی پاور** مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

برای جلوگیری از وقوع گالوپینگ یا کاهش اثرات نوسانات گالوپینگ روشهای مختلفی پیشنهاد شده است که این روشها شامل موارد زیر می باشد .

الف : جلوگیری از یخزدگی یا ذوب کردن یخ

ب : افزایش فاصله هوایی

ج : اسپیسر میان فازها

د : دمپرها

ذ : وسائل کنترل آثرو دینامیک

الف : جلوگیری از یخزدگی یا ذوب یخ

اغلب این سیستمها جهت جلوگیری از افزایش اضافه بار طراحی شده اند و در نتیجه می توانند از پدیده گالوپینگ نیز جلوگیری به عمل می آورند ، به روشهای زیر میتوان اشاره نمود:

- سیستم متحرک در طول خط
- ذوب کردن یخ بوسیله جریان الکتریکی بالا
- انتقال جریان بارهای هادیهای باندل شده از طریق فقط یکی از هادیها به وسیله استفاده از کموتاتورهای ویژه
- تابانیدن یک لایه سوپر هادی گرم روی هادی
- حلقه های پلاستیکی روی سیم فیکس می شود و از تجمع زیاد یخ جلوگیری میکند.
- وزنه های ضد پیچش
- روشهای الکترو دینامیکی ایمپالس جریان
- روشهای الکترو دینامیکی ایمپالس ولتاژ

ب : افزایش فواصل هوایی

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازم

با توجه به محاسبه بیضی های گالوپینگ دامنه گالوپینگ محاسبه شده و با توجه به آن می توان فاصله فازها را از همدیگر افزایش داد این فاصله را میتوان با افزایش طول گراس آرم و سطحی داد البته باید دقت کرد برج توانائی اضافه بار را داشته باشد.

ج : استفاده از اسپیسرهای میان فازها

یکی از وسائلی که برای جلوگیری از برخورد هادیها به همدیگر مورد استفاده قرار می گیرد استفاده از اسپیسرهای اینترفاز است. اسپیسرهای میان فازها به دسته های زیر تقسیم می شوند :

- اسپیسرهای کلاسیک
- اسپیسرهای حلقوی (Hoop spacer)
- اسپیسر چرخشی (Spacer twister)

د : دمپرها

این وسائل دارای گوناگونی فراوانی هستند. هر کدام از این وسائل به روشهای خاص خود باعث دمپ شدن نوسانان گالوپینگ می شوند و از وقوع گالوپینگ جلوگیری به عمل می آورند. از این بین به دمپرهای زیر می توان اشاره کرد :

۱- Detuning pendulum

۲- Torsionalless Galloping Damper

۳- Torsional Damping Detuner

۴- Spacer damrep

۵- دمپر کششی آئرو دینامیکی

ذ : وسائل کنترل آئرو دینامیکی

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازم

این وسائل با هدف ایجاد یک فرم آیرودینامیکی متغیر در طول سیم باعث جلوگیری از وقوع گالوپینگ می شود.

از جمله به وسائل زیر میتوان اشاره کرد:

۱- Air flow spoiler

۲- Winddamper

۳- AR spoiler

۴- AR twister

در پایان به شرح و تفصیل ۳ دمپر جدید و مهم می پردازیم.

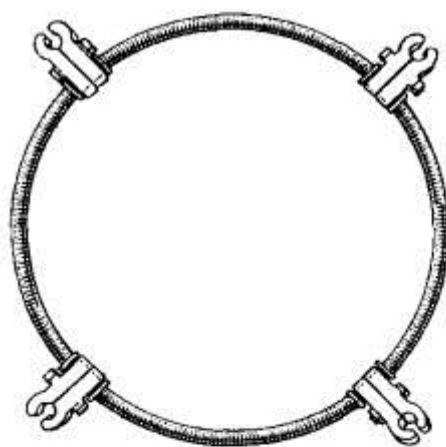
از جدیدترین و کارآمدترین دمپر ها میتوان به spacer Torsional Damping Detuner - damper-Spacer twister اشاره کرد.

Spacer-damper x

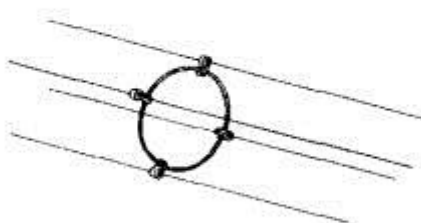
برای اینکه در طول وقوع گالوپینگ هادیهای باندل شده به همدیگر برخورد نکند و باعث سایش و خوردگی همدیگر نشوند از این وسیله استفاده می شود.

این وسیله توسط ریچارد سون و همکاران در سال ۱۹۹۶ به ثبت رسید این وسیله که برای جدا نگهداشتن هادیها باندل شده است برای باندهای ۲ تایی، ۳ تایی و ۴ تایی کاربرد دارد.

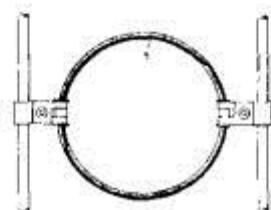
برای دریافت فایل Word پروژه به سایت **ویکی پاور** مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازم



الف



ب



ج

شکل ۲-۴ spacer-damper

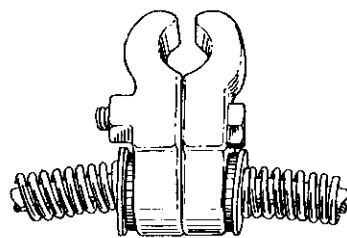
الف - برای باندهای ۴ تایی

ب - طریقه نصب بر روی خطوط

ج - برای باندهای ۲ تایی

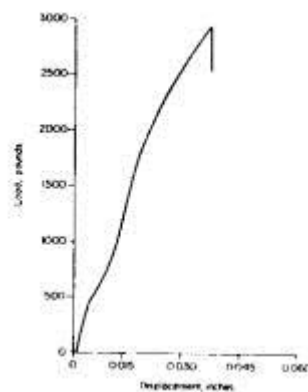
برای دریافت فایل Word پروژه به سایت **ویکی پاور** مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

Spacer-damper تو سطر کامپهای مخصوصی به هادیهای باندرل شده می شود که این کلمپا در محیط یک حلقه که از جنس مادهای سخت و محکم تشکیل شده است از همدیگر قرار گرفته اند و می توانند در آن به آزادی حرکت کنند. فواصل این کامپها توسط فنرهای از همدیگر تثبیت می شود بین این فنرها و کامپها واشرهای فولادی و پلاستیکی وجود دارد. شکل زیر این موضوع را بهتر نمایش می دهد.



شکل ۳-۴ کلمپهای spacer-damper

این کلمپها باید به خوبی طراحی شوند در غیر اینصورت باعث خوردگی و فرسودگی سیم می شود این وسیله از تکنولوژی کنترل سختی پیشچی بهره می جویند و باعث کم کردن نوسانات گالوپینگ می شود. در منحنی پایین مقدار جابجایی کلمپها بر حسب اینچ تحت تأثیر نیرو بر حسب پوند نشان داده شده است.



شکل ۴-۴ منحنی تغییرات جابجایی کلمپها تحت تأثیر نیرو

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

نصب یک spacer-damper برای هر ۱۰۰ متر از طول اسپن برای جلوگیری از برخورد هادیها به همدیگر در موقع گالوپینگ کافی است.

یکی از امتیازهای این وسیله قابلیت نصب سریع این وسیله است. همچنین روز به روز با پیشرفت تکنولوژی از وزن کل سیستم کاسته شده و به استحکام و کارائی آن افزوده می شود در ضمن هزینه آن نیز کمتر می شود. هزینه کمتر و آسانی نصب باعث افزایش استفاده از این وسیله شده است.

#### Spacer-Twister x

این که وسیله توسط ریچارد سون و همکاران در سال ۱۹۹۹ به ثبت رسید اساساً به عنوان جدا کننده میان فازها است ولی با استفاده از فناوری که در آن بکار رفته است تبدیل به یک damper شده است این وسیله می تواند حول لولاهائی که در دو انتهای آن تعبیه شده است پیچ بخورد. بنابراین با کنترل سختی پیچشی می تواند از وقوع گالوپینگ جلوگیری کند. شکل آن در ذیل آمده است.



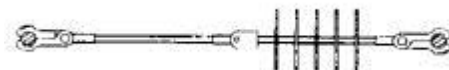
شکل ۴-۵ Spacer-Twister

همانطور که در شکل دیده می شود این وسیله از دو طرف توسط گیره‌هائی به هادی محکم می شود. در انتهای این گیره‌ها لولایی وجود دارد که می تواند حول محور خود بچرخد. مابین دو لوله عایقی وجود دارد که به اندازه کافی طولانی است که دو فاز را با فاصله مجاز از همدیگر دورنگه دارد.

ساختار دیگری از این وسیله به شکل زیر است:

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت **ویکی پاور** مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

میله عایق بلند به دو قسمت تقسیم شده که این دو قسمت توسط لولایی مفصلی شکل به هم مرتبط هستند تغییرات انجام شده در شکل زیر آمده است.



شکل ۴-۶ Spacer Twister پیشرفته

یکی از مشخصات بارز این وسیله آسانی و سریع بودن نصب آن است که آن را از سایر دمپرهای متمایز می سازد.

نصب ۲ عدد از Spacer-Twister برای هر اسپن برای جلوگیری از نوسانات گالوپینگ کافی می شد. این وسیله برای فازهایی که به صورت جناقی یا عمودی نصب شده اند کاربرد دارد به علت هزینه کمتر این وسیله استفاده از آن رو به گسترش است.

The Torsional Damper and Detuner (TDD) ×  
این دمپر وسیله ای است که از ترکیب detuning (جابجا کردن فرکانسهای عمودی و پیچشی) که از رزونانس جلوگیری می کند با Torsional Damping که انتقال انرژی را محدود می سازد. به عنوان راه حل مشکل گالوپینگ استفاده می کند. این راه حل برای خطوط هوایی امکانپذیر است زیرا مقدار انرژی پیچشی که لازم است میرا شود نسبتاً کم است (چند دهم ژول در یک اسپن). پس TDD وسیله ای است که اثر detuning و میرا کردن پیچش را با هم ترکیب کرده است. کل سیستم بوسیله چهار قید به باندل دوتائی متصل شده است. هادیها می توانند حول محور ۱ چرخش داشته باشند. پاندول با دو وزنه  $m_1$  و  $m_2$  می تواند حول محور ۲ بچرخد. این پاندول به دو لوله پلاستیکی متصل شده است.



برای دریافت فایل Word پروژه به سایت **ویکی پاور** مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

بنابراین وقتی پاندول حول محور ۲ می چرخد تغییر شکل ناشی از پیچش در لاستیکها پدید می آید و این اثر در حقیقت میرا کردن پیچش در TDD می باشد. وزن کل سیستم تقریباً 30kg است و مرکز ثقل آن G1 در حدود ۳۵ سانتیمتر زیر محور ۱ می باشد. بنابراین برای کل هادی این وسیله مانند یک پاندول عمل کرده و سختی پیچشی را افزایش می دهد. این اثر detuning مربوط به TDD است.

### نتایج عملی

این نتایج مربوط به یک خط انتقال 380kv در بلژیک است. فازها از هادیهای دوتائی باندل شده (AMS 620 mm<sup>2</sup>) تشکیل شده اند. آزمایش بر روی دو اسپن مختلف که مشخصات یکسانی دارند انجام شده است. بر روی یکی از اسپن ها دو دستگاه TDD نصب شده است. می فهمیم که TDD واقعاً چگونه عمل می کند از ۵ تا ۲۵، فاز بدون TDD در حالت عادی حرکتی ندارد. ولیکن یک لرزش خیلی محدود در فازی که TDD بر روی آن نصب شده مشاهده می شود. این اثر رزونانس TDD است. این حرکت TDD، بیشتر انرژی وارد شده را جذب می کند و از تبدیل انرژی باد به حرکت های عمودی شدید جلوگیری می کند به عکس از دقیقه ۲۶ تا ۳۵ یک دامنه نوسان بزرگ روی فاز محافظت شده پیشرفت می کند در حالیکه حرکت آرام فاز حفاظت شده بتدریج ناپدید می شود.

پس می توان نتیجه گرفت که در بین وسائلی که تاکنون ساخته شده است TDD مؤثرترین آنها در کنترل گالوپینگ است .

### ۴-۵ : نتیجه گیری

در این پروژه نشان داده شده است که با توجه به تحلیل های انجام گرفته بر اساس اطلاعات سازمان هوا شناسی، احتمال وقوع گالوپینگ در مناطق مختلفی از ایران وجود دارد. این در حالی

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازم

است که ناچاراً بسیاری از تحلیلهای انجام گرفته بر اساس اطلاعات برداشت شده از محل ایستگاههای هواشناسی می باشد و کاملاً واضح است که شرایط محیطی (میزان یخبندان، سرعت باد، درجه حرارت و ...) در مناطق کوهستانی و صعب العبور (که در بسیاری از موارد محل عبور خطوط نیرو می باشد) عمدتاً بسیار سخت تر از شرایط محل ایستگاههای هواشناسی می باشد و در نتیجه احتمال گستردگی بیشتر این پدیده کاملاً محتمل است. گستردگی نسبی مناطق مستعد گالوپینگ در ایران لزوم یک برنامه ریزی صحیح را در جهت مقابله و جلوگیری از این پدیده آشکار می سازد. توجه به روشهای نوین مقابله با پدیده گالوپینگ و استفاده از آنها می تواند تا حدود زیادی از خسارات ناشی از این پدیده جلوگیری بعمل آورد.



برای دریافت فایل Word پروژه به سایت **ویکی پاور** مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازم

فصل پنجم :

## شبیه سازی پدیده یخ زدگی کابل ها به روش

### براساس داده های سازمان هواشناسی کشور

CRREL (Cold Regions Research & Engineering Laboratory)



#### چکیده

سرعت باد و ضخامت یخ دو کمیت بسیار مهم در بارگذاری برج های خطوط انتقال نیرو محسوب می شوند. بطور معمول در مورد سرعت باد و جهت وزش آن اندازه گیری مناسبی در ایستگاه های هواشناسی ایران انجام می گیرد که با توجه به این اطلاعات می توان براساس تحلیل آماری، توابع توزیع و پارامترهای مربوطه را برای باد بعنوان یک متغیر تصادفی استخراج نمود. ولیکن در مورد یخزدگی کابل ها (و ضخامت یخ دور کابل) هیچگونه اندازه گیری انجام نمی گیرد. برای برطرف کردن این نقیصه از روش های شبیه سازی یخزدگی استفاده می شود. در این

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازم

پروژه ضمن معرفی روش CRREL در مدل سازی ضخامت یخ روی کابل ها، نتایج حاصل برای ضخامت یخ معمولی و یخ سنگین براساس آمار هواشناسی ۴۰ ساله شهر تهران، ارائه می گردد.

## ۱-۵ : مقدمه

در سازمان هواشناسی کشور، اطلاعات مربوط به پارامترهای مختلف آب و هوایی در طول سال از ایستگاه های سراسر کشور بصورت فایل های متنی Text جمع آوری می شود. در مورد سرعت باد و جهت وزش آن اطلاعات در طول روز و هر سه ساعت یکبار اندازه گیری می شوند، که با توجه به این اطلاعات می توان بیشترین سرعت باد روزانه، ماهانه و سالانه را تعیین نمود. اما در مورد یخ و ضخامت یخ زدگی، در سازمان هواشناسی ایران هیچگونه اندازه گیری صورت نگرفته است. در سال های اخیر، بعضی از کشورهای اروپایی و آمریکایی شروع به اندازه گیری ضخامت یخ دور کابل ها نموده اند. اما از آنجا که با این اطلاعات محدود نمی توان در مورد ضخامت یخ بوجود آمده روی کابل ها در طول عمر بهره برداری دکل نظر قطعی داد، لذا در این کشورها از روش های شبیه سازی یخ استفاده می شود. در روشهای شبیه سازی فوق الذکر سعی می شود محیط دستگاه مدل ساز در آزمایشگاه مطابق با شرایط جوی باشد که برای کابل در ارتفاع دکل وجود دارد، سپس با استفاده از روابط مختلفی که از پارامترهای متنوع جوی و محیطی تشکیل شده است، مقدار ضخامت یخ در هر ساعت تخمین زده می شود. در مرحله بعد ضخامت یخ حاصله با آنچه که در سال های اخیر بطور واقعی ثبت شده است، مقایسه می گردد و در نهایت بهترین رابطه ای که با کمترین عوامل محیطی بیشترین دقت را برای تخمین ضخامت یخ نتیجه دهد بعنوان فرمول تخمین ضخامت یخ انتخاب می گردد.

یکی از روش های شبیه سازی که در این گزارش به تشریح آن خواهیم پرداخت و در مدل سازی ضخامت یخ روی کابل ها از آن استفاده شده روش CRREL است. این روش که توسط آزمایشگاه مهندسی و تحقیقات مناطق سردسیر ارتش آمریکا ارائه شده است، حاصل همکاری این گروه با

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازم

مرکز ملی اطلاعات هواشناسی ایالات متحده NCDC، مرکز هواشناسی نیروی هوایی ارتش آمریکا AFCCC و ایستگاه های هواشناسی مختلف در این کشور بوده است. تحقیقات و آزمایش های این گروه از سال ۱۹۹۴ تا ۲۰۰۱ میلادی انجام گرفته و در نهایت این روش شکل گرفته است، که براحتی می تواند توسط چند پارامتر ساده هواشناسی مقدار یخ بوجود آمده روی کابلها را شبیه سازی نماید. در روش CRREL برای مدلسازی ضخامت یخ نیاز به اطلاعات خام هواشناسی نظیر: شدت بارش ساعتی Precipitation Rate، سرعت باد ساعتی در هنگام بارش در ارتفاع سیم Wind Speed in Cable Level، دمای هوا در هنگام بارش Temperature During the Precipitation، نوع بارش تگرگ، برف و باران و... یا پدیده می باشد.

این اطلاعات به ترتیب در سازمان هواشناسی کشور بصورت زیر موجود است:

الف: شدت بارش

شدت بارش ساعتی در ایستگاه های هواشناسی کشور اندازه گیری نمی شود و تنها مقدار بارش روزانه در ستونی تحت عنوان RRR (برحسب mm) ثبت می گردد. لذا بایستی با توجه به نوع بارش (با کدهای پدیده WW مشخص می گردند) و با در نظر گرفتن کل ساعات بارندگی شبانه روز مقدار شدت بارش را در هر ساعت تعیین نمود.

ب: سرعت باد

سرعت باد و جهت وزش آن هر سه ساعت یکبار ثبت می شود و لذا باید فرض نمود که سرعت باد در هر سه ساعت ثبت اطلاعات ثابت باقی بماند و برابر بیشترین سرعت بادی باشد که برای هر سه ساعت ثبت شده است. همچنین سرعت باد در ارتفاع ۱۰ متر (سرعت پایه باد یا باد سنج) اندازه گیری می شود و در حالیکه بطور معمول معمولاً ارتفاع کابلها بیش از این مقدار است و بنابراین باید با یک تخمین مناسب مقدار سرعت باد در ارتفاع باد سنج را به سرعت باد در ارتفاع کابل تبدیل نمود.

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت **ویکی پاور** مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازم

پ: دمای هوا در هنگام بارش

دمای هوا نیز همانند سرعت باد هر سه ساعت یکبار اندازه گیری می شود. اطلاعات ثبت شده معمولاً به دو صورت دمای خشک و دمای مرطوب می باشد. در مدلسازی انجام گرفته از دمای هوای خشک استفاده می شود و البته این مقدار بطور مستقیم وارد فرمول ضخامت یخ نمی شود، بلکه جهت تعیین زمان شروع و اتمام دوره یخ زدگی از آن استفاده می گردد.

ت: پدیده Phenomenon

پدیده در حقیقت مشخص کننده نوع شرایط جوی در هر سه ساعت از روز می باشد. اطلاعات ثبت شده برای پدیده در سازمان هواشناسی بصورت کدهای مشخص می گردد. این کدهای WW که از صفر ۰ تا ۹۹ تغییر می کنند، نشانگر پدیده های مختلف نظیر رعد و برق، تگرگ، برف شدید، باران شدید و... هستند. اما معمولاً کدهای بین ۵۰ تا ۹۹ مربوط به بارندگی هستند. از مهمترین عواملی که در تعیین ضخامت یخ و نحوه رشد آن مؤثرند می توان به شدت بارش Precipitation Rate و سرعت باد Wind Speed در هنگام یخ زدن بارندگی اشاره نمود. متأسفانه بر اثر یخ زدگی باد سنج ها بخوبی کار نمی کنند و سرعت بادی که توسط باد سنج نشان داده می شود از مقدار واقعی آن کمتر است، لذا حضور فردی متخصص در ایستگاه ها لازم و ضروری است تا بطور دائم باد سنج را از ذرات یخ پاکسازی کند. از طرفی مقدار بارش در طی روز در ظرف ساده ای جمع آوری می شود و در آخر هر روز مقدار نهایی آن ثبت می گردد و بنابراین تعیین نوع بارش در ساعات مختلف تنها با استفاده از کدهای WW امکان پذیر خواهد بود. با استفاده از این کدها می توان نوع بارش را در هر ساعت مشخص نمود و با توجه به نوع آن، سهم

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازم

آن ساعت از بارش را در میزان یخ بوجود آمده، پیرامون کابل در طی هر دوره یخ زدگی تعیین نمود.

## ۲-۵: روش ارائه شده توسط CRREL در مدلسازی ضخامت یخ

در این روش ساده درحقیقت ضخامت یخ معادل و یکنواختی که دور تا دور کابلها بصورت شعاعی تشکیل می شود، با توجه به مقدار بارش، سرعت باد و رطوبت نسبی هوا، طبق فرمول زیر برای هر ساعت از روز بصورت باران منجمد Freezing Rain مدل شده و در آخر دوره یخ زدگی ضخامت های بوجود آمده با هم جمع زده می شوند. هر دوره یخ زدگی زمانی شروع می شود که دمای هوا زیر ۱ درجه سانتیگراد باشد و هنگامی پایان می پذیرد که دمای هوا از ۱ درجه سانتیگراد بالاتر رود.

$$R_{eq} = \sum_{j=1}^N \frac{1}{\rho_i \pi} \left[ (P_j \rho_0)^2 + (3.6 V_j W_j)^2 \right]^{1/2} \quad 1-5$$

که در رابطه فوق:

Req: ضخامت یکنواخت یخ دور سیم برحسب (mm)

Pj: شدت بارش برحسب (mm/h)

P0: چگالی آب (1gr/cm<sup>3</sup>)

Pi: چگالی یخ منجمد (0.9gr/cm<sup>3</sup>)

Vj: سرعت باد در ارتفاع سیم درز امین ساعت (m/s)

Wj: امین وزن آب مایع موجود در واحد حجم هوا در ساعت برحسب (gr/m<sup>3</sup>)، که جهت

محاسبه آن می توان از فرمول تقریبی زیر که توسط Best 1994 ارائه شده است استفاده نمود.

$$W_j = 0.067 P_j^{0.846} \quad 2-5$$

N: تعداد ساعاتی است که یخ بصورت پیوسته روی کابل تشکیل شده (دوره یخ زدگی).

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

۱-۲-۵: تبدیل اطلاعات روزانه بارش و سه ساعته باد به اطلاعات ساعتی و تبدیل انواع بارش به باران منجمد

کدهای WW نشان دهنده پدیده های مختلف آب و هوایی در هر سه ساعت از روز می باشند، این کدها از ۰ تا ۹۹ تغییر کرده و هر عدد معرف نوع آب و هوای خاص یا بارشی خاص در سه ساعت گذشته می باشد. کدهای بین ۵۰ تا ۹۹ مشخص کننده نوع بارندگی هستند. براساس این کدها می توان سهم هر سه ساعت بارندگی را از بارش روزانه در تشکیل مقدار یخ تعیین نمود. همچنین در این جدول ضرایبی برای تبدیل انواع بارش به باران یخ زده ارائه شده است، که در حقیقت تأثیر بارش هر سه ساعت را در میزان یخی که در آخر هر دوره یخ زدگی بدست می آید، نشان می دهد.

پس از آنکه کد بارش هر سه ساعت تعیین شد، با استفاده از فرمول ۳-۵ جمع ضرائب روزانه محاسبه می گردد و سپس با استفاده از رابطه ۳-۵ سهم بارش هر سه ساعت از روز تعیین می گردد و از تقسیم این مقدار بر عدد ۳ (کدها سه ساعت یکبار ثبت می گردند) سهم ضریبی مقدار بارش در هر ساعت  $\lambda$  در هر دوره سه ساعته مشخص می گردد با این عمل فرض کرده ایم که مقدار بارش در سه ساعت بطور یکنواخت صورت گرفته باشد.

در نهایت از ضرب مقدار  $\lambda$  در مقدار بارش روزانه RRR مقدار بارش در هر ساعت  $P_j$  از سه ساعت ثبت شده برای آن پدیده بدست می آید (رابطه ۳-۵)

$$T.F_{(TotalFactors)} = \sum_{j=1}^8 3 \times \gamma_{3h}$$

$$\lambda_j^{(3)} = \frac{3 \times \gamma_{3h}}{T.F}$$

$$\lambda_j^{(1)} \lambda_j = \frac{3 \times \gamma_{3h}}{3 \times T.F} \Rightarrow P_j = \lambda_j \times RRR$$

۵-۳

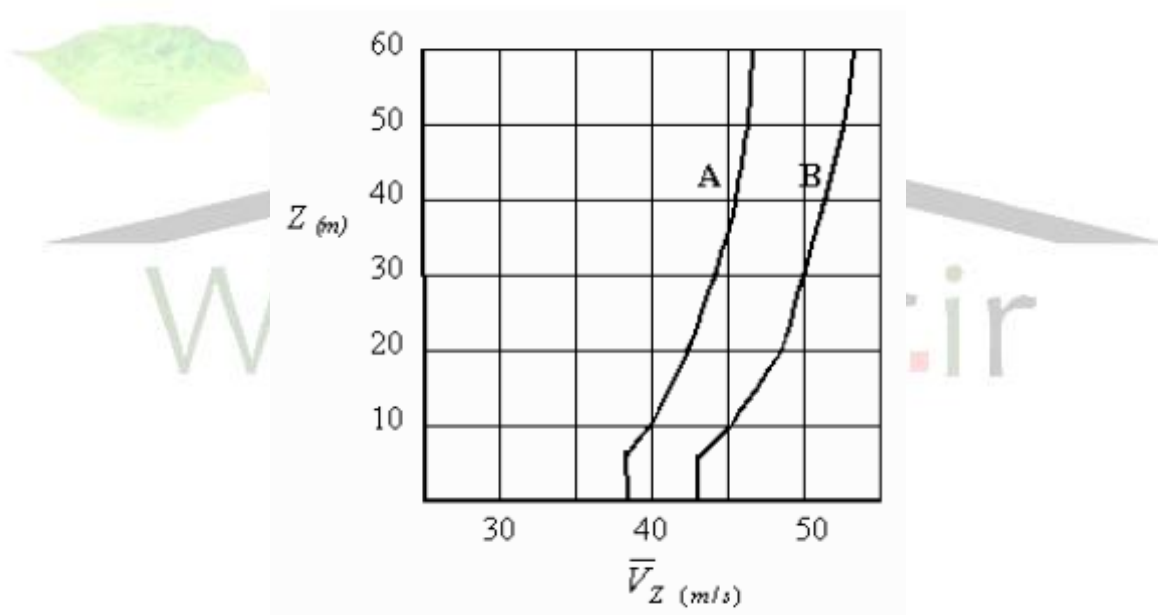


برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

در مورد سرعت باد ساعتی نیز فرض بر آنست که سرعت باد در هر ساعت از دوره ثبت سه ساعته برابر مقدار ثبت شده برای آن سه ساعت باشد.

۲-۲-۵: تبدیل سرعت پایه باد به سرعت واقعی در ارتفاع سیم

همانطور که قبلاً نیز اشاره شده سرعت پایه باد ارتفاع باد سنج معمولاً در ارتفاع ۱۰ متری از سطح زمین اندازه گیری می شود، از طرفی می دانیم با افزایش ارتفاع به علت از بین رفتن نیروی اصطکاک بین هوا و زمین سرعت باد افزایش می یابد، لذا باید در تحلیل نیروهای ناشی از شکل ۱-۵ فشار باد ارتفاع سیم یا نقطه اثر نیروی ناشی از باد نسبت به سطح زمین مد نظر قرار گیرد.



شکل ۱-۵ دیاگرام سرعت باد بر حسب ارتفاع از سطح زمین

جهت محاسبه سرعت باد در ارتفاع سیم فرمولهای متعددی ارائه شده است، که یکی از بهترین آنها بر طبق استاندارد ASCE 7-93 (1993) بصورت زیر می باشد:

$$V_W = V_0 \left( \frac{h_W}{h_A} \right)^{\left( \frac{1}{7} \right)}$$

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

که در رابطه فوق :

$V_W$  : سرعت باد در ارتفاع سیم برحسب (m/s)

$V_0$  : سرعت تپایه باد در ارتفاع ۱۰ متری برحسب (m/s)

hw : ارتفاع سیم از سطح زمین

$h_A$  : ارتفاع بادسنج می باشد که معمولاً در ارتفاع ۱۰ متری قرار دارد.

از آنجا که میانگین ارتفاع سیمها در دکلهای تحت بررسی معمولاً در حدود ۳۵ متری از سطح زمین تخمین زده شده است، می توان جهت خلاصه تر شدن عملیات بارگذاری از این ارتفاع برای بارگذاری باد دکل ها استفاده نمود . لذا با جایگذاری این مقدار در رابطه فوق خواهیم داشت:

$$V_W = V_0 \left( \frac{35}{10} \right)^{\left( \frac{1}{7} \right)} = 1.2 V_0$$

۵-۴

البته برای بارگذاری دقیق تر می توان پارامترهای آماری باد را در ارتفاع پایه محاسبه نمود و مقادیر بدست آمده را برای سایر ارتفاعات با استفاده از رابطه خطی فوق به آسانی محاسبه نمود. اصلاح دیگری که بر روی سرعت باد انجام می گیرد (غیر از اصلاح مربوط به ارتفاع سیم) در ارتباط با پدیده تند باد (Gust Factor) می باشد . هنگامیکه سرعت باد زیاد باشد بر اثر برخورد با موانع طبیعی بصورت گردباد در می آید که به آن تند باد می گویند. از آنجا که سرعت تند باد در هر نقطه دائماً در حال تغییر است، در محاسبات خط انتقال در حالت تند باد از ضریب تند باد که معمولاً در حدود ۱،۳ در نظر گرفته می شود استفاده می شود.

طبق گفته بالا رابطه ۴-۵ در نهایت برای تخمین سرعت واقعی باد بصورت زیر در خواهد آمد :

$$V_W = 1.3 \times (1.2 V_0) = 1.56 V_0$$

۵-۵

که در رابطه فوق  $V_0, V_W$  برحسب (m/s) می باشند.

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

از طرفی باید توجه داشت که اطلاعات سازمان هواشناسی برای سرعتهای باد سه ساعته، بر حسب Knot می باشند

(تقریباً هر Knot برابر ۰،۵۰۶ متر بر ثانیه است. بنابراین در فرمول ۵-۵ علاوه بر ضریب اصلاح ارتفاع و ضریب گرد باد، مقدار فوق نیز در سرعت باد ضرب میشود.

۳-۲-۵: اثر جهت وزش باد در مقدار ضخامت یخ معادل

تجربه نشان داده است که بیشترین ضخامت یخ هنگامی بر روی کابل ها یا سیمها تشکیل می شود که زاویه وزش باد دقیقاً عمود بر مسیر خط یا سیم ها باشد. لذا چنانچه بخواهیم اثر زاویه خط با جهت وزش باد را در فرمول ۱-۵ وارد نمائیم، این فرمول به شکل زیر در خواهد آمد.

$$R_{eq} = \sum_{j=1}^N \frac{1}{\rho_j \pi} \left[ (P_j \rho_0)^2 + (3.6 V_j W_j)^2 \right]^{1/2} \times \sin(\theta - \phi)$$

که در آن  $\theta$  زاویه سیم یا خط و  $\Phi$  جهت وزش باد بر حسب درجه می باشند. اما از آنجا که در مطالعات ما، جهت وزش باد و زاویه آن با راستای سیم نامشخص است و از طرفی امکان دارد مسیر انتقال در نقاطی دقیقاً عمود بر جهت باد گردد، فرض کردیم همواره جهت وزش باد عمود بر امتداد خط انتقال بوده و سینوس زاویه بین خط و جهت وزش باد برابر یک باشد.

۴-۲-۵: شروع و پایان دوره یخ زدگی

در مدلسازی انجام گرفته فرض شده است که هر دوره یخ بندان زمانی شروع شود که دمای هوا زیر یک درجه سانتیگراد باشد و تا هنگامیکه دمای هوا زیر ۱ درجه سانتیگراد است هر نوع بارندگی با توجه به نوع آن و روندی که در بخش بیان شد، به یخ تبدیل گردد.

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازم

از طرفی فرض شده است چنانچه دمای هوا در ۶ ساعت متوالی بالای یک درجه سانتیگراد باقی بماند کلیه یخ موجود بر روی سیم ها ذوب می شود، اما اگر دمای هوا در این مدت زمانی زیر یک درجه سانتیگراد بماند ضخامت یخ بوجود آمده در دوره جدید به یخ دوره قبل اضافه می گردد. با محدود کردن ساعات گرم شدن هوا امکان آنکه یخی از دوره قبل باقی مانده باشد و احتمالاً در نظر گرفته نشود، از بین می رود. پس از اعمال موارد مطرح شده در بخشهای فوق فرمول ۱-۵ برای محاسبه ضخامت یخ در هر سه ساعت متوالی بصورت زیر در خواهد آمد :

$$R_{eq} = \frac{3}{0.9\pi} \left[ (P_j \times 1)^2 + \left[ (3.6 \times V_j \times 0.7867) \right. \right. \\ \left. \left. (0.067P_j^{(0.846)}) \right]^2 \right]^{1/2}$$

و یا

$$R_{eq} = 1.061 \left[ (P_j)^2 + \left[ (0.1897 \times V_j P_j^{(0.846)}) \right]^2 \right]^{1/2}$$

در تعیین نوع تابع توزیع متغیرهای تصادفی از روشی ساده و در عین حال دقیق تحت عنوان روش مربع خبی Chi-Square استفاده شد. از جمله روش های دیگری که در این زمینه وجود دارند می توان به روشهای اسمیروف و کلموگروف، اشاره نمود. به منظور آشنا شدن با جزئیات این روشها خواننده می تواند به کتب آمار و احتمالات مراجعه نماید.

۵-۲-۵: اثر تعداد سالهای ثبت اطلاعات در پارامترهای توزیع حدی نوع اول در توزیع حدی نوع اول ثابت های توزیع با توجه به سال های ثبت اطلاعات متفاوت خواهند بود. چنانچه تابع توزیع حدی نوع اول را بصورت زیر در نظر بگیرید:

$$F_X(x) = \exp[-\exp(-a(X-u))]$$

پارامترهای  $a, u$  از روابط زیر قابل محاسبه خواهند بود :

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

$$a = C_1 / \sigma_X \quad , u = \mu_X - \left[ \frac{C_2}{a} \right]$$

در روابط فوق ضرائب  $C_1, C_2$  را می توان بنحوی تغییر داد تا توزیع حدی نوع اول برای یک دوره بازگشت مشخص مورد استفاده قرارگیرد. این ضرائب در حالت یک دوره بازگشت بینهایت فرض کردند برابر مقادیر متعارف توزیع یعنی  $C_1=1.2826$ ؛  $C_2=0.57721$  خواهند بود.

برای سرعت باد معمولاً دوره بازگشت ۵۰ سال در نظر گرفته می شود، لذا باید در هنگام تولید مقادیر تصادفی در آنالیز مونت کارلو Monte Carlo Method، که یکی از روشهای عددی در تعیین احتمال خرابی سازه ها بحساب می آید، و یا تعیین مقادیر اسمی از ضرائب  $C_1=1.1607, C_2=0.5485$  در تشکیل تابع توزیع استفاده نمود.

همچنین برای بیشترین ضخامت یخ سالیانه همانطور که در ادامه این فصل خواهیم دید تابع توزیع حدی نوع اول بخوبی بر داده ها منطبق گشته است و از آنجا که این اطلاعات بر اساس دوره ثبت ۴۰ ساله بدست آمده اند، باید از مقادیر در تشکیل تابع توزیع و تولید مقادیر تصادفی و یا تعیین مقادیر اسمی یخ استفاده نمود.

### ۳-۵: پارامترهای آماری مربوط به متغیر تصادفی ضخامت یخ

همانطور که قبلاً بیان شد، بارهای ناشی از یخ زدگی در دو حالت یخ معمولی و یخ سنگین مورد ارزیابی قرار می گیرند. می توان مقدار ضخامت یخ را برای شهر تهران با توجه به خصوصیات اقلیمی آن در آخر هر روز محاسبه کرد و با توجه به مقادیر بدست آمده مقدار بیشترین ضخامت یخ را در آخر هر ماه و یا آخر هر سال تعیین نمود.

پس از تعیین مقادیر فوق به آسانی می توان مقادیر میانگین، انحراف معیار و نوع توابع توزیع را برای ضخامت یخ معمولی (بیشترین ضخامت یخ ماهیانه) و یخ سنگین (بیشترین ضخامت یخ سالیانه) تعیین نمود.

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

جدول ۱-۵: پارامترهای آماری ضخامت یخ در حالات معمولی و سنگین

شماره	نوع منطقه (پهنه بندی)	دوره ثبت اطلاعات (سال)	ضخامت معمولی یخ ماهانه (mm)			بیشترین ضخامت یخ (mm)		
			میانگین	آخر آمار	نوع توزیع	میانگین	آخر آمار	نوع توزیع
تهران	سنگین	40	4.91	3.83	Extreme Type I	7.21	4.25	Extreme Type I

#### ۵-۴: نتیجه گیری

چنانکه ملاحظه شد، در صورت بکارگیری روش شبیه سازی CRREL، امکان تحلیل آماری متغیر ضخامت یخ و استخراج مقادیر اسمی ضخامت یخ برای استفاده در آیین نامه بارگذاری تعیین «برج های خطوط انتقال نیرو فراهم می آید. در پروژه این مهم «ارزیابی قابلیت اعتماد سازه های خطوط انتقال نیرو برای هشت شهر کشور به انجام رسیده است. با توسعه دامنه فعالیت به سایر شهرهایی که دارای ایستگاه هواشناسی هستند، مبنای علمی و اصولی برای برآورد بار یخ در آیین نامه بارگذاری خطوط انتقال نیرو فراهم خواهد شد.

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت **ویکی پاور** مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازم

فصل ششم :

## در نظر گرفتن شکم و تغییر جهت خط در محاسبه توزیع میدان مغناطیسی و الکتریکی در اطراف خطوط انتقال نیرو و بررسی تأثیر آن



چکیده

محاسبه دقیق توزیع میدان مغناطیسی در اطراف خطوط انتقال با در نظر گرفتن شکم خط و تغییر جهت خط موجب محاسبه دقیق ولتاژ و جریان های القایی در ساختارهای حساس به تداخلات الکترومغناطیسی مجاور خطوط و نیز سیستم های موجود در حریم مشترک با خطوط انتقال نظیر لوله های گاز، کابلها و خطوط مخابراتی و ... می گردد. این امر موجب می گردد تا تمهیدات حفاظتی برای کاهش و تعدیل انرژی نامطلوب القایی ناشی از خطوط فشارقوی روی سیستم های مذکور به صورت مکفی و به صرفه انتخاب گردد. در این پروژه برای اولین بار روشی

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت **ویکی پاور** مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازم

برای در نظر گرفتن شکم خط و نیز تغییر جهت خط در حالت سه فاز و نتایج حاصل از اجرای بسته نرم افزاری که بدین منظور تهیه شده، ارائه گردیده است.

## ۱-۶: در نظر گرفتن شکم و تغییر جهت خط در محاسبه توزیع میدان مغناطیسی در اطراف خطوط انتقال نیرو و بررسی تأثیر آن

۱-۱-۶: مقدمه

دانستن میدان مغناطیسی در اطراف خطوط انتقال برای محاسبه میزان ولتاژ و جریان القایی در تجهیزات مجاور خط انتقال و نیز در سیستم های موجود در حریم مشترک با آن نظیر لوله های گاز خطوط و کابلهای مخابراتی و ریل قطار و ... لازم و ضروری می باشد همچنین گذر خطوط انتقال از مجاورت مراکزی که در تداخلات الکترومغناطیسی حساس می باشند و یا نصب مراکز مذکور در مجاورت خطوط انتقال محاسبه میدان مغناطیسی اطراف خطوط انتقال را به منظور محاسبه ولتاژ و جریان القایی و در نظر گرفتن تمهیدات مقتضی و به صرفه نیاز دارد. ضمن اینکه در سالهای اخیر توجه زیادی به اثرات بیولوژیک میدان مغناطیسی خطوط روی بدن انسان شده و روشهای متعددی برای تعدیل و کاهش میدان مغناطیسی اطراف خطوط فشارقوی ارائه شده است که پیش زمینه آن محاسبه میدان مغناطیسی در اطراف خطوط می باشد.

معمولاً میدان مغناطیسی اطراف خطوط انتقال را با فرض موازی بودن هادیهای خطوط با زمین مسطح و بدون در نظر گرفتن شکم خط محاسبه می کنند. در این محاسبات معمولاً ارتفاع هادیهای خط از سطح زمین برابر با ارتفاع خط در محل برجها، در ارتفاع مینیمم خط در وسط اسپن و در ارتفاع متوسط در نظر گرفته می شود. فرضیات مذکور مقادیر ولتاژ و جریان القایی غیر دقیقی را در موارد کاربردی مذکور نتیجه خواهد داد که این امر موجب می گردد که در مواردی تمهیدات حفاظتی در نظر گرفته شده برای کاهش و تعدیل اثرات نامطلوب مذکور ناکافی و در



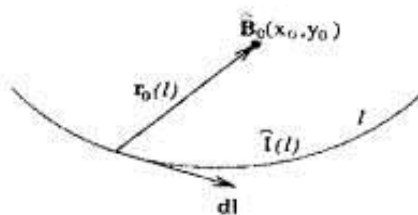
برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آر م سایت و به همراه فونت های لازمه

مواردی دیگر بسیار پر هزینه و غیر اقتصادی تمام شود. لذا محاسبه دقیق میدان مغناطیسی در اطراف خطوط انتقال با در نظر گرفتن شکم و تغییر جهت خط، تمهیدات مکفی و به صرفه را برای کاهش و تعدیل اثرات نامطلوب ولتاژ و جریان القایی در موارد کاربردی مذکور نتیجه خواهد داد. در روشی برای محاسبه میدان دقیق مغناطیسی با در نظر گرفتن شکم خط در مورد خطوط تک فاز ارائه شده است. در این پروژه ضمن بدست آوردن نتایج پروژه مذکور برای اولین بار روابط برای خطوط سه فاز توسعه داده شده است ضمن اینکه تعداد این انتخابی در طرفین اسپن مورد نظر و میزان خطای متوجه نیز مورد بررسی قرار گرفته است. همچنین در این پروژه برای اولین بار میدان مغناطیسی در نقاط تغییر جهت خطوط سه فاز نیز محاسبه شده است و در این رابطه بسته نرم افزاری برای محاسبه میدان مغناطیسی با در نظر گرفتن شکم خط و نقاط تغییر جهت خط تهیه شده و با استفاده از آن تأثیر شکم و تغییر جهت خط در توزیع میدان مغناطیسی متوجه در اطراف خطوط انتقال مورد بررسی قرار گرفته است.

۲-۱-۶: محاسبه میدان مغناطیسی در اطراف خطوط انتقال با در نظر گرفتن شکم خط با توجه به شکل ۱-۶ میدان مغناطیسی ناشی از یک هادی حامل جریان در نقطه  $(x_0, y_0, z_0)$  با استفاده از قانون بیوساوار برابر است با:

$$\vec{B}_0 = \mu_0 \int \frac{\vec{I}(l) dl \times \vec{a}_0(l)}{4\pi |r_0(l)|^2} \quad (1)$$

که  $a_0(l)$  پارامتر مکانی در طول مسیر جریان،  $I(l)$  جریان خط،  $r_0(l)$  بردار از منبع به نقطه میدان،  $a_0(l)$  بردار واحد در جهت  $r_0(l)$  و  $dl$  المان دیفرانسیلی در جهت جریان می باشد.



برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازم

شکل ۱-۶ کاربرد قانون بیوساوار

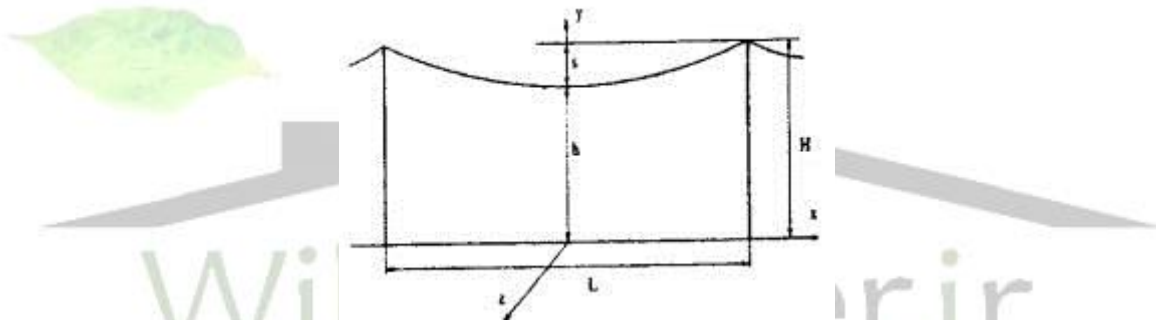
معادله یک سیم آویخته از دو نقطه مطابق شکل ۲-۶ برابر است با:

$$y = \frac{1}{a} \cosh(ax) - y_d \quad (۲)$$

با توجه به مشخصات نشان داده شده در شکل ۳-۶ در وسط اسپن و در محل برج شرایط مرزی زیر باید ارضاء گردد:

$$a = \frac{1}{h + y_d} \quad (۳)$$

$$\frac{H + y_d}{h + y_d} - \cosh\left(\frac{L}{2(h + y_d)}\right) = 0 \quad (۴)$$



شکل ۲-۶ پارامترهای آرایش هندسی مسأله

المان دیفرانسیلی dl با توجه به رابطه (۲) برابر است با:

$$dl = dx \left( \frac{dy}{dx} a_x + a_x \right) = dx (\sinh(ax) a_x + a_x) \quad (۵)$$

$$r_0 = (x_0 - x) a_x + \quad (۶)$$

$$\left( y_0 - \left( \frac{1}{a} \right) \cosh(ax) - y_d \right) a_y + z_0 a_z \quad (۷)$$

با جایگزینی (۵) و (۶) در (۱) داریم:

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت **ویکی پاور** مراجعه کنید. فاقد آر م سایت و به همراه فونت های لازم

$$B_0 = \frac{\mu_0 \hat{I}}{4\pi} \int_{-L/2}^{L/2} \left[ \frac{z_0 \sinh(ax)}{d} a_x - \frac{z_0}{d} a_y - \frac{1}{a} \frac{\cosh(ax) - (y_0 + y_d) - (x - x_0) \sinh(ax)}{d} a_z \right] dx$$

که:

$$d = \left[ \left( (x - x_0)^2 + z_0^2 + \left( \frac{1}{a} \cosh(ax) - (y_0 + y_d) \right)^2 \right)^{\frac{3}{2}} \right] \quad (8)$$

نتیجه فوق که برای یک اسپن بدست آمده است را می توان برای چندین اسپن گسترش داد. همچنین در حالت واقعی خطوط چند فازه جریان ها در روابط مذکور دامنه و فازهای مختلف دارند. آنگاه اگر تعداد هادیهای روی دکل M تا باشد، خواهیم داشت:

$$\hat{B}_0 = \frac{\mu_0}{4\pi} \sum_{i=1}^M \sum_{k=-N}^N \int_{-L/2}^{L/2} (J_x a_x + J_y a_y + J_z a_z) dx \quad (9)$$

که:

$$J_x = \frac{\hat{I}_i z_0 \sinh(ax)}{4\pi d_i} \quad (10)$$

$$J_y = -\frac{\hat{I}_i z_0}{4\pi d_i} \quad (11)$$

$$J_z = -\frac{\hat{I}_i \left[ \frac{1}{a} \cosh(ax) - (y_0 - y_d) \right]}{4\pi d_i} \quad (12)$$

$$\frac{\hat{I}_i (x - x_0 + kL) \sinh(ax)}{4\pi d_i}$$

$$d_i = \left[ \left( (x - x_0 + kL)^2 + z_0^2 + \left( \frac{\cosh(ax)}{a} - y_0 - y_d \right)^2 \right)^{\frac{3}{2}} \right] \quad (13)$$

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازم

پارامتر N در (۹) تعداد اسپنهای طرف راست و چپ را در نقطه مورد نظر نشان می دهد. حال با توجه به فرم بسته ارائه شده برای محاسبات شکم، جریانهای برگشتی زمین را با استفاده از عمق نفوذ مختلط و تئوری تصویر و با استفاده از روابط زیر در محاسبات وارد می کنیم.

$$\alpha = \sqrt{2} \delta_s e^{-j\frac{\pi}{4}} \quad (14)$$

$$\delta_s = 503 \sqrt{\frac{\rho_s}{f}} \quad (15)$$

$$J_x = \frac{\hat{I}_s z_0}{4\pi} \left[ \frac{\sinh(\alpha, x)}{d_s} - \frac{\sinh(\alpha, x)}{d'_s} \right] \quad (16)$$

$$J_y = -\frac{\hat{I}_s z_0}{4\pi} \left[ \frac{1}{d_s} - \frac{1}{d'_s} \right] \quad (17)$$

$$J_z = \frac{\hat{I}_s}{4\pi} \left[ \frac{\frac{\cosh(\alpha, x) - (y_0 - y_{sh})}{a_s} (x - x_0 + kL) \sin(\alpha, x)}{d_s} + \frac{\frac{\cosh(\alpha, x) - (y_0 - 2y_{sh} - \alpha)}{a_s}}{d'_s} + \frac{(x - x_0 + kL) \sin(\alpha, x)}{d'_s} \right] \quad (18)$$

$$\left[ \frac{\left( (x - x_0 + kL)^2 + z_0^2 \right)^{\frac{3}{2}}}{\left( \frac{\cosh(\alpha, x)}{a_s} - (y_0 - 2y_{sh} - \alpha) \right)^2} \right] \quad (19)$$

۳-۱-۶: محاسبه توزیع میدان مغناطیسی در اطراف خطوط انتقال با در نظر گرفتن شکم خط در

حالت تکفاز با استفاده از بسته نرم افزاری تهیه شده

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت **ویکی پاور** مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

در حالت تک فاز روابط (۹)، (۱۳)، (۱۹)، (۱۶)، (۱۷) و (۱۸) با توجه به موقعیت هادی خط نسبت به محورهای مختصات که در شکل ۲-۶ نشان داده شده است، به صورت زیر اصلاح می گردد:

$$\hat{B}_0 = \frac{\mu_0}{4\pi} \sum_N \int_{l_2}^{l_1} (J_x a_x + J_y a_y + J_z a_z) dx \quad (20)$$

$$d = \left[ \frac{(x - x_0 + kl)^2 + z_0^2 + \left( \frac{\cosh(ax)}{a} - y_0 - y_d \right)^2}{2} \right] \quad (21)$$

$$d' = \left[ \frac{(x - x_0 + kl)^2 + z_0^2 + \left( \frac{\cosh(ax)}{a} - (y_0 - 2y_d - \alpha) \right)^2}{2} \right] \quad (22)$$

$$J_x = \frac{\hat{I} z_0}{4\pi} \left[ \frac{\sinh(ax)}{d} - \frac{\sinh(ax)}{d'} \right] \quad (23)$$

$$J_y = -\frac{\hat{I} z_0}{4\pi} \left[ \frac{1}{d} - \frac{1}{d'} \right] \quad (24)$$

$$J_z = -\frac{\hat{I}}{4\pi} \left[ \frac{\frac{\cosh(ax)}{a} - (y_0 - y_d)}{d} - \frac{(x - x_0 + kl)\sin(ax)}{d} + \frac{\frac{\cosh(ax)}{a} - (y_0 - 2y_d - \alpha)}{d'} + \frac{(x - x_0 + kl)\sin(ax)}{d'} \right] \quad (25)$$

نرم افزار پروژه در حالت تکفاز بر اساس روابط (۲۰) تا (۲۵) نوشته شده است. شکل های (۳)، (۴) و (۵) پروفیل های توزیع میدان مغناطیسی را در حالت خط تکفاز و با در نظر گرفتن شکم خط نشان می دهند.

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

مقاومت زمین در تمام موارد  $100\text{ohm.m}$ ، جریان خط  $100$  آمپر و فرکانس قدرت  $60\text{Hz}$  در نظر گرفته شده است. در محاسبات پروفیل میدان مغناطیسی تعداد سه اسپن در طرفین اسپن مورد نظر لحاظ شده است. نتایج بدست آمده توسط نرم افزار تهیه شده با نتایج بدست آمده از تطابق دارد.

می دانیم که پروفیل میدان درست در زیر خط می باشد، نکات زیر نتیجه می گردد:

۱- با افزایش ارتفاع نقطه مورد محاسبه از سطح زمین و نزدیک شدن به خط انتقال تأثیر شکم خز افزایش می یابد.

۲- شکم خط با توجه به نزدیکتر بودن نقطه وسط اسپن به نقاط مورد محاسبه، میدان بالاتری را نسبت به سایر نقاط در طول اسپن نتیجه می دهد که با توجه به نکته ۱ این تأثیر با افزایش ارتفاع نقطه مورد محاسبه از سطح زمین افزایش می یابد.

از پروفیل های منتجه نتیجه می گردد که با افزایش شکم خط و نزدیک شدن خط به نقاط محاسبه میدان که در ارتفاع  $1\text{m}$  از سطح زمین در نظر گرفته شده است میدان مغناطیسی منتجه به خصوص در وسط اسپن افزایش می یابد. حال با استفاده از نرم افزار مذکور انتخاب تعداد مناسب اسپن برای محاسبه دقیق میدان را مورد بررسی قرار می دهیم. در روش ارائه شده تعداد اسپنها در طرف راست و چپ اسپن مورد نظر در قالب  $N$  در رابطه  $(20)$  لحاظ شده است. سؤالی که در اینجا مطرح می شود آن است که برای محاسبه پروفیل میدان در طول اسپن مورد نظر چند اسپن را در طرف راست و چپ اسپن مورد نظر باید در محاسبات لحاظ کنیم تا مطمئن باشیم که توزیع بدست آمده دقیق می باشد. برای بررسی این مطلب اختلاف میدان مغناطیسی را برای مسأله شکل ۲-۶ در دو حالت  $N = 3\&2$  نشان داده شده است. همین کار برای  $N = 4\&3$  و برای  $N = 5\&4$  بدست آمده است. که در زیر نتیجه می گردد:

۱- اختلاف میدانهای منتجه در وسط اسپن و درست در زیر خط می نیمم می باشد و با دور شدن از خط و دور شدن از وسط اسپن و نزدیک شدن به برجهای اختلاف میدانها در دو حالت افزایش

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازم

می یابد. این نکته با توجه به این مطلب می باشد که نقطه و وسط اسپن و در ست در زیر خط برای اسپنهای طرفین اسپن مورد نظر در حکم نقطه دور بوده و کمترین اختلاف میدان را با تغییر تعداد اسپنها نسبت به سایر نقاط مورد محاسبه دیگر خواهد داشت. اما با دور شدن از خط و نیز نزدیک شدن به برجها تأثیر اسپنهای طرفین اسپن مورد نظر در مقایسه با تأثیر اسپن مورد نظر قابل مقایسه شده و تأثیر آن به صورت افزایش اختلاف میدان در شکلهاى منتجه مشاهده می گردد.

۲— با افزایش تعداد اسپنهای در نظر گرفته شده در طرفین اسپن مورد نظر میزان اختلاف کاهش می یابد که این مطلب به این معنی می باشد که با افزایش  $N$  به مقدار دقیق میدان نزدیک می شویم انتخاب تعداد  $N$  بستگی به میزان دقت مورد نیاز و البته زمان محاسبات دارد. در این مورد با توجه به نتایج حاصله مشاهده می گردد که انتخاب سه اسپن در طرفین اسپن مورد نظر دقت کافی را نتیجه خواهد داد.

۴-۱-۶: محاسبه توزیع میدان مغناطیسی در اطراف خطوط انتقال با در نظر گرفتن شکم خط و تغییر جهت خط در حالت سه فاز  
در حالت سه فاز روابط (۹)، (۱۳)، (۱۶)، (۱۷)، (۱۸) و (۱۹) با توجه به موقعیت هادیهای خط در آرایش افقی به صورت زیر اصلاح می گردد:

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت **ویکی پاور** مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازم

$$\hat{B}_0 = \frac{\mu_0}{4\pi} \sum_{i=1}^3 \sum_{k=-N}^N \int_{-L/2}^{L/2} (J_x a_x + J_y a_y + J_z a_z) dx \quad (26)$$

$$d_i = \left[ \frac{(x - x_0 + kL)^2 + (z_0 - z_i)^2 + \left( \frac{\cosh(ax)}{a} - v_0 - y_d \right)^2}{2} \right]^{\frac{3}{2}} \quad (27)$$

$$d'_i = \left[ \frac{(x - x_0 + kL)^2 + (z_0 - z_i)^2 + \left( \frac{\cosh(ax)}{a} - (y_0 - 2y_d - \alpha) \right)^2}{2} \right]^{\frac{3}{2}} \quad (28)$$

$$J_x = \frac{\hat{I}_i (z_0 - z_i)}{4\pi} \left[ \frac{\sinh(ax)}{d_i} - \frac{\sinh(ax)}{d'_i} \right] \quad (29)$$

$$J_y = -\frac{\hat{I}_i (z_0 - z_i)}{4\pi} \left[ \frac{1}{d_i} - \frac{1}{d'_i} \right] \quad (30)$$

$$J_z = \frac{\hat{I}_i}{4\pi} \left[ \frac{\frac{\cosh(ax)}{a} - (v_0 - y_d)}{d_i} \frac{(x - x_0 + kL) \sin(ax)}{d_i} + \frac{\frac{\cosh(ax)}{a} - (y_0 - 2y_d - \alpha)}{d'_i} + \frac{(x - x_0 + kL) \sin(ax)}{d'_i} \right] \quad (31)$$

که  $\hat{I}_i$  برای خط فاز می باشد. جریان خط سه فاز نیز به صورت زیر در نظر گرفته شده است:

$$I_1 = I \angle 0^\circ$$

$$I_2 = I \angle -120^\circ \quad i = 1, 2, 3$$

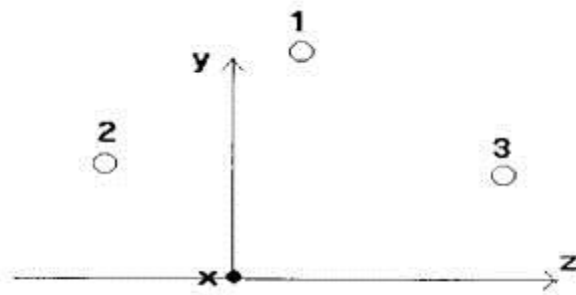
$$I_3 = I \angle +120^\circ$$

در حالت کلی با در نظر گرفتن موقعیت دلخواه هادیهای فاز با توجه به شکل ۳-۶ روابط (۲۷) تا

(۳۱) به صورت زیر اصلاح می گردند.



برای دریافت فایل Word پروژه به سایت **ویکی پاور** مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازم



شکل ۳-۶ موقعیت هادیهای خط سه فاز

$$d_i = \left[ \left( (x - x_0 + kL)^2 + (z_0 - z_i)^2 + \left( \frac{\cosh(a_i x)}{a_i} - y_0 - y_{di} \right)^2 \right)^{\frac{3}{2}} \right] \quad (32)$$

$$d'_i = \left[ \left( (x - x_0 + kL)^2 + (z_0 - z_i)^2 + \left( \frac{\cosh(a_i x)}{a_i} - (y_0 - 2y_{di} - \alpha) \right)^2 \right)^{\frac{3}{2}} \right] \quad (33)$$

$$J_x = \frac{\hat{I}_i (z_0 - z_i)}{4\pi} \left[ \frac{\sinh(a_i x)}{d_i} - \frac{\sinh(a_i x)}{d'_i} \right] \quad (34)$$

$$J_y = -\frac{\hat{I}_i (z_0 - z_i)}{4\pi} \left[ \frac{1}{d_i} - \frac{1}{d'_i} \right] \quad (35)$$

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت **ویکی پاور** مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

$$J_z = -\frac{j_1}{4\pi} \left[ \frac{\frac{\cosh(a_1 x)}{a_1} - (v_0 - v_{\phi})}{d_1} \frac{(x - x_0 + kL) \sin(a_1 x)}{d_1} + \frac{\frac{\cosh(a_1 x)}{a_1} - (v_0 - 2v_{\phi} - \alpha)}{d'_1} \frac{(x - x_0 + kL) \sin(a_1 x)}{d'_1} \right]$$

(۳۶)

که  $z_i, y_{di}$  برای  $i=1,2,3$  موقعیت هادیهای خط سه فاز را نسبت به محورهای  $Y$  و  $Z$  می باشد. روابط برای محاسبه تغییر جهت با تفکیک میزان تغییر جهت در راستاهای محورهای مختصات و استفاده از روابط مذکور نتیجه می گردد. نرم افزار تهیه شده در حالت سه فاز بر اساس روابط (۳۲) تا (۳۶) نوشته شده است.

۵-۱-۶: محاسبه توزیع میدان مغناطیسی در اطراف خط انتقال سه فاز با استفاده از نرم افزار تهیه شده

پروفیل توزیع میدان مغناطیسی را در اطراف یک خط سه فاز و با در نظر گرفتن شکم و تغییر جهت خط با استفاده از نرم افزار تهیه شده نشان می دهند.

خط در نظر گرفته شده دارای مشخصات زیر می باشد:

- آرایش افقی

- فاصله گذاری فازها: 20m

- ارتفاع خط در محل برجها: 10m

- شکم خط: 2.m (این مقدار اگرچه غیر واقعی است، اما صرفاً برای وضوح بیشتر در تغییر جهت

خط انتخاب شده است.)

- طول اسپن: 50m

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

- میزان تغییر جهت خط: 10.8 deg

- مقاومت ویژه زمین 100 ohms.m

- فرکانس قدرت: 50 HZ

- جریان خط: 100A

-  $N = 3$  سه اسپن در طرفین تغییر جهت خط برای محاسبات در نظر گرفته شده است.

محاسبات در ارتفاع 1m از سطح زمین انجام شده است.

۶-۱-۶: نتیجه گیری و پیشنهاد

در این پروژه روشی برای محاسبه پروفیل توزیع میدان مغناطیسی در اطراف خطوط انتقال با در نظر گرفتن شکم و تغییر جهت خط ارائه و بسته نرم افزاری برای پیاده سازی آن تهیه گردیده است. نتایج بدست آمده از بسته نرم افزاری مذکور نشان می دهد که در نظر گرفتن شکم خط تأثیر قابل توجهی را در میدان مغناطیسی منتجه، به ویژه در مجاورت نقاط وسط اسپن که تأثیر شکم خط قابل توجه می باشد، خواهد داشت.

این تأثیر خود را در قالب ولتاژها و جریانهای القایی و تداخلات الکترومغناطیسی در ساختارها و سیستم های موجود در مجاورت خطوط و یا قرار گرفته در حریم مشترک با خط به ویژه در مجاورت اسپن نشان می دهد که این امر موجب می گردد که تمهیدات حفاظتی برای کاهش و تعدیل اثرات القایی نامطلوب مذکور به صورت مکفی و به صرفه انتخاب گردد.

۶-۲: تأثیر شکم خط در محاسبه توزیع میدان الکتریکی در اطراف خطوط انتقال فشار

قوی

- چکیده

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

روشهای معمول برای محاسبه توزیع میدانهای الکتریکی متوجه از خطوط انتقال فرض می کنند که خطوط انتقال موازی با زمین مسطح می باشند. تأثیر شکم خط صرفنظر گردیده یا با در نظر گرفتن ارتفاع متوسط که با توجه به ارتفاع ماکزیمم و مینیمم خط از سطح زمین تعریف می گردد، لحاظ می گردد. در این پروژه ضمن توسعه روابط برای محاسبه میدانهای الکتریکی بدون در نظر گرفتن شکم خط، روشی برای محاسبه دقیق توزیع میدانهای الکتریکی در اطراف خطوط انتقال با در نظر گرفتن شکم خط ارائه گردیده است. نتایج محاسبات انجام شده با نرم افزار تهیه شده نشان می دهد که شکم خط تأثیر قابل توجهی را در توزیع میدان الکتریکی در اطراف خطوط انتقال فشار قوی خواهد داشت.

محاسبه و اندازه گیری میدانهای متوجه از خطوط انتقال نیرو یکی از موضوعات تحقیقی مهم در سالهای گذشته بوده است. تحقیقات انجام گرفته در مورد اثرات بیولوژیک میدانهای الکتریکی و مغناطیسی متوجه از خطوط انتقال نشان می دهد که تنها در معرض قرار گرفتن طولانی مدت میدانهای مغناطیسی متوجه از خطوط انتقال و در صورتی که مقدار آن از مقدار آستانه مجاز تعیین شده بیشتر باشد خط ابتلاء به سرطان را افزایش می دهد و در مقابل میدانهای الکتریکی خطری را به لحاظ افزایش ریسک ابتلاء به سرطان (که عمده نگرانیهای اثرات بیولوژیک میدانهای متوجه از خطوط انتقال نیرو را شامل می گردند) ایجاد نمی کند. در این مورد مرجع مروری دقیق و جامع از تحقیقات به عمل آمده ارائه می دهد.

اما کرونای متوجه از خطوط انتقال EHV و UHV که اثرات خود را به صورت تلفات کرونا، نویز صوتی و تداخلات رادیویی نشان می دهد، متأثر از شدت میدان الکتریکی در سطح هادی خط می باشد. شدت میدان الکتریکی هم وابسته به آرایش خط می باشد. از طرفی محاسبه مقدار دقیق شدت میدان الکتریکی متوجه از خطوط، تعیین دقیق مقدار ولتاژ و جریان القایی در تجهیزات اطراف خطوط انتقال و انجام تمهیدات مقتضی و به صرفه و رعایت حریم مجاز را نتیجه خواهد داد. همچنین با محاسبه دقیق میدان الکتریکی متوجه از خطوط انتقال می توان حریم خطوط انتقال

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

را با توجه به میدان الکتریکی که بر اساس قانون مصوب حریم برای کشور ما 5Kv/cm می باشد، بطور دقیق محاسبه نمود. در میدانهای مغناطیسی با در نظر گرفتن شکم خط، بطور دقیق محاسبه گردید و در این پروژه روشی برای محاسبه دقیق میدانهای الکتریکی متوجه از خطوط انتقال فشار قوی با در نظر گرفتن شکم خط ارائه می گردد. نتایج محاسبات با نرم افزار تهیه شده نشان می دهد که در خطوط فشار قوی که شکم خط قابل ملاحظه می باشد، شکم خط تأثیر قابل توجهی را در توزیع میدان الکتریکی در اطراف خطوط انتقال خواهد داشت.

۱-۲-۶: محاسبه میدان الکتریکی بدون در نظر گرفتن شکم خط

شکل ۴-۶ یک بار و تصویر آن را نسبت به صفحه زمین هادی نشان می دهد. فرض زمین هادی با توجه به زمان سستی  $\tau = \rho \varepsilon$  فوق العاده پایین زمین ۰،۱ تا ۱۰۰ نانو ثانیه در مقایسه با پیروید فرکانس قدرت منطقی می باشد.

با توجه به سیستم مختصات نشان داده شده در شکل ۴-۶ شدت میدان الکتریکی بار  $q_i$  که در واقع بار خطی خط انتقال قرار گرفته در این نقطه و در راستای محور Z می باشد در نقطه  $A(x,y)$  برابر است با:

$$E_a = \left( \frac{q_i}{2\pi\varepsilon_0} \right) \left( \frac{1}{d_i} \right) \quad ۶-۳۷$$

$$d_i^2 = (x - x_i)^2 + (y - y_i)^2 \quad ۶-۳۸$$

مؤلفه های افقی و عمودی شدت میدان برابر است با:

$$E_{x,a} = E_a \cos \theta = \left( \frac{q_i}{2\pi\varepsilon_0} \right) \left( \frac{x - x_i}{d_i^2} \right) \quad ۶-۳۹$$

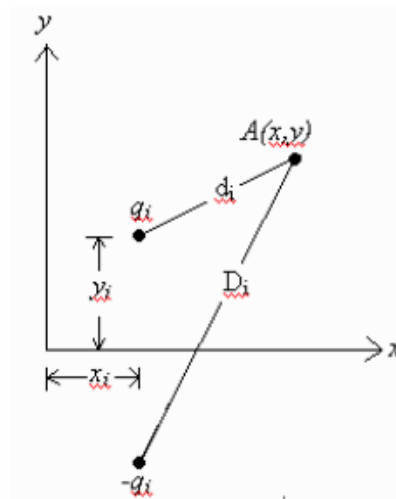
$$E_{y,a} = E_a \sin \theta = \left( \frac{q_i}{2\pi\varepsilon_0} \right) \left( \frac{y - y_i}{d_i^2} \right) \quad ۶-۴۰$$

بطور مشابه شدت میدان الکتریکی ناشی از بار تصویر  $-q_i$  برابر است با:

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت **ویکی پاور** مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

$$E_{x,-a} = E_{-a} \cos \theta = \left( \frac{-q_i}{2\pi\epsilon_0} \right) \left( \frac{x - x_i}{D_i^2} \right) \quad ۶-۴۱$$

$$E_{y,-a} = E_{-a} \sin \theta = \left( \frac{-q_i}{2\pi\epsilon_0} \right) \left( \frac{y + y_i}{D_i^2} \right) \quad ۶-۴۲$$



شکل ۶-۴ بار و تصویر آن نسبت به صفحه زمین هادی

مؤلفه های افقی و عمودی منتجه کلی ناشی از بار  $q_i$  و تصویر آن برابر خواهند بود با :

$$E_{x_a} = \left( \frac{q_i}{2\pi\epsilon_0} \right) (x - x_i) \left( \frac{1}{d_i^2} - \frac{1}{D_i^2} \right) \quad ۶-۴۳$$

$$E_{y_a} = \left( \frac{q_i}{2\pi\epsilon_0} \right) \left( \frac{y - y_i}{d_i^2} - \frac{y + y_i}{D_i^2} \right) \quad ۶-۴۴$$

همین روش را می توان برای فازهای دیگر نیز انجام داد. در نتیجه مؤلفه های افقی و عمودی

منتجه کل ناشی از یک سیستم n فازه برابر خواهد بود با:

$$\vec{E}_x = \vec{E}_{x_a} + \vec{E}_{x_b} + \dots \quad ۶-۴۵$$

$$\vec{E}_y = \vec{E}_{y_a} + \vec{E}_{y_b} + \dots \quad ۶-۴۶$$

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آر م سایت و به همراه فونت های لازم

با توجه به مختلط بودن بار فازها، متعاقباً مؤلفه های افقی و عمودی منتجه نیز کمیتی مختلط بوده و می توان آنها را به فرم زیر بیان نمود:

$$\vec{E}_x = \vec{E}_{ix} + i\vec{E}_{ix} \quad ۶-۴۷$$

$$\vec{E}_y = \vec{E}_{iy} + i\vec{E}_{iy} \quad ۶-۴۸$$

البته روابط فوق را می توان در قالب مؤلفه های حقیقی و موهومی بصورت زیر نیز بیان نمود:

$$\vec{E}_r = E_{rx} \vec{u}_x + E_{ry} \vec{u}_y \quad ۶-۴۹$$

$$\vec{E}_i = E_{ix} \vec{u}_x + E_{iy} \vec{u}_y \quad ۶-۵۰$$

بنابراین:

$$\vec{E} = (E_{rx} \cos \alpha + E_{ry} \sin \alpha) + j(E_{ix} \cos \alpha + E_{iy} \sin \alpha) \quad ۶-۵۱$$

که  $\alpha$  زاویه بردار منتجه با توجه به سطح افق می باشد. از ۶-۵۱ نتیجه می گردد که در هر نقطه از فضا نوک بردار میدان الکتریکی منتجه روی یک مسیر بیضی حرکت می کند. اندازه و جهت محورهای اصلی و کوچک آن را می توان با به توان رساندن رابطه ۶-۵۱ و مساوی صفر قرار دادن مشتق آن نسبت به بصورت زیر بدست آورد.

$$\begin{aligned} \frac{dE^2}{d\alpha} = 0 \Rightarrow \tan^2 \alpha (E_{rx} E_{ry} + E_{ix} E_{iy}) + \\ \tan \alpha (E_{rx}^2 - E_{ry}^2 + E_{ix}^2 - E_{iy}^2) - \\ (E_{rx} E_{ry} + E_{ix} E_{iy}) = 0 \end{aligned} \quad ۶-۵۲$$

با حل معادله درجه دوم فوق دو جواب بدست می آید که با قرار دادن آنها در ۶-۵۱ بردار محورهای اصلی و کوچک بیضی میدان بدست می آید. معمولاً میدان منتجه در یک نقطه را همان اندازه نیم قطر اصلی بیضی میدان در نظر می گیرند. حال نیم قطر اصلی بیضی میدان الکتریکی را برای یک خط سه فاز تک مداره محاسبه می کنیم. با فرض ولتاژهای خط به صورت:

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازم

$$[V] = V_m [\sin(\omega t + \Phi), \sin(\omega t + \Phi - 120^\circ), \sin(\omega t + \Phi + 120^\circ)]$$

و با تعریف:

$$J_i = (x - x_i) \left( \frac{1}{d_i^2} - \frac{1}{D_i^2} \right)$$

$$K_i = \left( \frac{y - y_i}{d_i^2} - \frac{y + y_i}{D_i^2} \right)$$

رابطه ۴۴-۶ را می توان به صورت زیر نوشت:

$$E_{y_a} = \left( \frac{q_a}{2\pi\epsilon_0} \right) K_a$$

$$= V_m \cdot K_a \left[ M_{11} \sin(\alpha t + \Phi) + M_{12} \sin(\alpha t + \Phi - 120^\circ) + M_{13} \sin(\alpha t + \Phi + 120^\circ) \right]$$

$$E_{y_b} = \left( \frac{q_b}{2\pi\epsilon_0} \right) K_b$$

$$= V_m \cdot K_b \left[ M_{21} \sin(\alpha t + \Phi) + M_{22} \sin(\alpha t + \Phi - 120^\circ) + M_{23} \sin(\alpha t + \Phi + 120^\circ) \right]$$

$$E_{y_c} = \left( \frac{q_c}{2\pi\epsilon_0} \right) K_c$$

$$= V_m \cdot K_c \left[ M_{31} \sin(\alpha t + \Phi) + M_{32} \sin(\alpha t + \Phi - 120^\circ) + M_{33} \sin(\alpha t + \Phi + 120^\circ) \right]$$

۶-۵۳

که عناصر M عناصر ماتریس معکوس ضرایب پتانسیل می باشند. دقت داریم که در عمل بار خط در دست نمی باشد اما می توان از طریق ضرایب پتانسیل که تابعی از آرایش خط می باشد، بار خطوط را به ولتاژ آنها که در دست می باشد مرتبط نمود. آنگاه مؤلفه عمودی کل برابر خواهد شد با:

$$E_y = V_m \left[ \begin{aligned} &(K_a M_{11} + K_b M_{21} + K_c M_{31}) \sin(\alpha t + \Phi) + \\ &(K_a M_{12} + K_b M_{22} + K_c M_{32}) \sin(\alpha t + \Phi - 120^\circ) \\ &+ (K_a M_{13} + K_b M_{23} + K_c M_{33}) \sin(\alpha t + \Phi + 120^\circ) \end{aligned} \right]$$



برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آر م سایت و به همراه فونت های لازمه

$$= V_m \begin{bmatrix} K_{ya} \sin(\omega t + \Phi) + K_{yb} \sin(\omega t + \Phi - 120^\circ) \\ K_{yc} \sin(\omega t + \Phi + 120^\circ) \end{bmatrix} \quad 6-54$$

و یا به فرم فازوری:

$$E_y = V_m [K_{ya} \angle \Phi + K_{yb} \angle \Phi - 120^\circ + K_{yc} \angle \Phi + 120^\circ] \quad 6-54$$

با تجزیه رابطه ۶-۵۴ به مؤلفه های حقیقی و موهومی، دامنه مؤلفه عمودی کل برابر خواهد شد با:

$$E_y = \left[ (K_{ya} - 0.5K_{yb} - 0.5K_{yc})^2 + 0.75(K_{yc} - K_{yb})^2 \right]^{1/2} V_m \quad 6-55$$

با ساده کردن رابطه ۶-۵۵ مؤلفه عمودی خط مذکور به صورت زیر نتیجه می گردد:

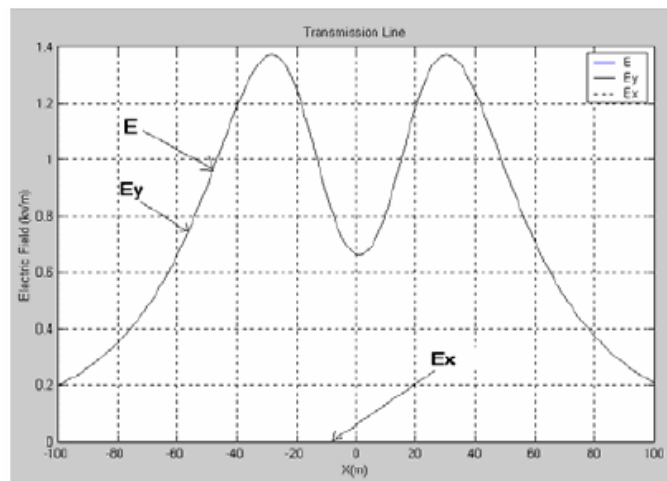
$$E_y = K_y V = (K_{ya}^2 + K_{yb}^2 + K_{yc}^2 - K_{ya}K_{yb} - K_{yb}K_{yc} - K_{yc}K_{ya})^{1/2} V$$

$$K_{ya} = K_a M_{11} + K_b M_{21} + K_c M_{31}$$

$$K_{yb} = K_a M_{12} + K_b M_{22} + K_c M_{32}$$

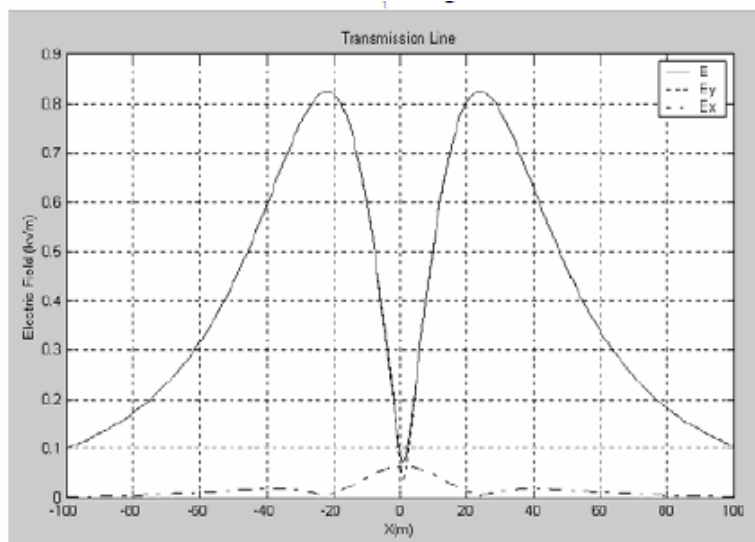
$$K_{yc} = K_a M_{13} + K_b M_{23} + K_c M_{33} \quad 6-56$$

مؤلفه افقی میدان به روش مشابه فوق و با جایگزینی بجای K بدست می آید. برای محاسبه مؤلفه های افقی، عمودی و کل میدان الکتریکی متوجه از خطوط انتقال نرم افزاری تهیه شده است. شکل های ۶-۵ تا ۶-۷ نمونه هایی از مؤلفه های افقی، عمودی و کل میدان الکتریکی بعضی خطوط موجود در ایران را نشان می دهند.

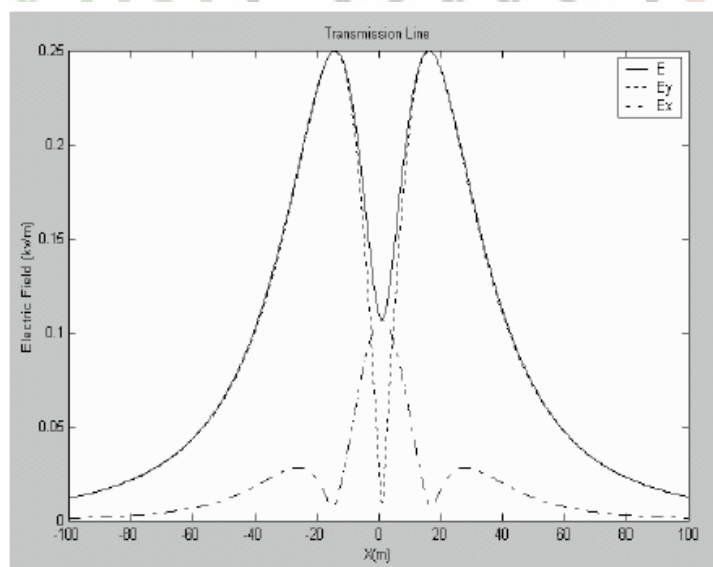


برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرمان سایت و به همراه فونت های لازمه

شکل ۵-۶ مؤلفه های افقی، عمودی و کل میدان الکتریکی مربوط خطوط 400Kv، آرایش افقی، ارتفاع خط از سطح زمین  $H=35m$ ، فاصله گذاری بین فازها  $S=22.7m$ ، آرایش باندلها  $3*0.0157m$ ، فاصله بین زیر هادیهای در باندل  $B=0.45m$ ، محاسبات برای سطح زمین انجام شده است.

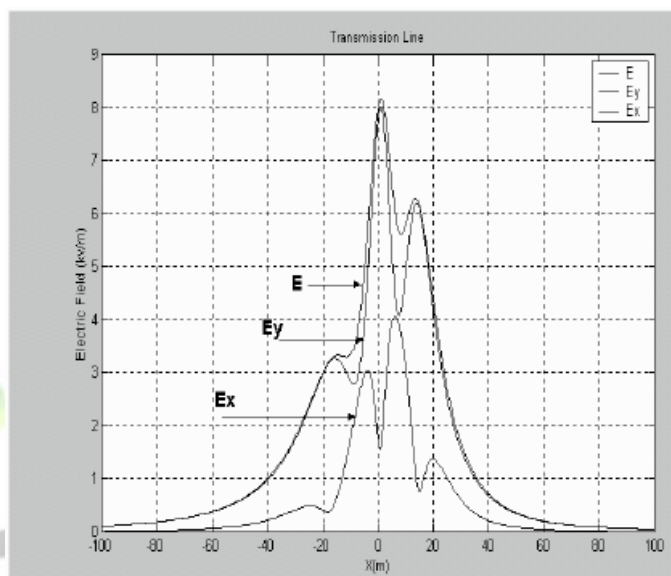


شکل ۶-۶ مؤلفه های افقی، عمودی و کل میدان الکتریکی مربوط به خط 400Kv، آرایش افقی، ارتفاع خط از سطح زمین  $H=35.9m$ ، فاصله گذاری بین فازها  $S=10.4m$ ، آرایش باندلها  $3*0.0157m$ ، فاصله بین زیر هادیهای در باندل  $B=0.45m$ ، محاسبات در ارتفاع از سطح زمین انجام شده است.



برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازم

شکل ۶-۷ مؤلفه های افقی، عمودی و کل میدان الکتریکی مربوط به خطوط 132Kv، آرایش افقی، ارتفاع خط از سطح زمین  $H=25.90$ ، فاصله گذاری بین فازها  $S=6.4m$ ، آرایش باندلها  $1*0.0157m$ ، فاصله بین زیر هادیهای در باندل  $B=0.45$ ، محاسبات در ارتفاع 4m از سطح زمین انجام شده است. مشخصات مربوط به هر خط در زیر شکل ها آورده شده است. نرم افزار تهیه شده قابلیت محاسبه میدان خطوط با هر آرایش دلخواه دارد که یک نمونه از آن در شکل ۶-۸ آورده شده است.



شکل ۶-۸ مؤلفه های افقی، عمودی و کل میدان الکتریکی مربوط به یک خط 400Kv با آرایش دلخواه در مختصات  $A(0,10), B(12,12), C(-14,18)$  آرایش باندلها  $2*0.0157m$ ، فاصله بین زیر هادیهای در باندل  $B=0.45m$ ، محاسبات در ارتفاع 4m از سطح زمین انجام شده است.

۶-۲-۲: محاسبه میدان الکتریکی با در نظر گرفتن شکم خط

در این قسمت روشی دقیق برای محاسبه توزیع میدان الکتریکی منتجه از خطوط انتقال نیرو با در نظر گرفتن شکم (خط ارائه خواهد شد. آرایش هندسی مسأله در شکلهای قبل نشان داده شده است که با توجه به سیستم مختصات نشان داده شده معادله سیم آویخته به صورت زیر نتیجه می گردد:

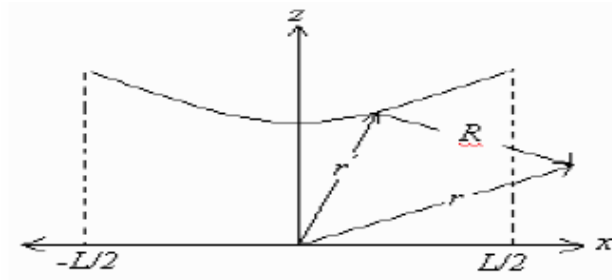
$$z' = z(x') = h + 2\alpha \sinh^2\left(\frac{x'}{2\alpha}\right)$$

۶-۵۷

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آر م سایت و به همراه فونت های لازم

که  $h$  ارتفاع مینیمم خط در وسط اسپن،  $H$  ماکزیمم ارتفاع خط در محل برجها و  $L$  طول اسپن می باشد.  $\alpha$  از حل شرایط مرزی به صورت زیر بدست می آید:

$$2 \frac{H-h}{L} u = \sinh^2(u) \quad u = \frac{L}{4\alpha} \quad 6-58$$



شکل ۹-۶ آرایش هندسی خط با در نظر گرفتن شکم خط

میدان الکتریکی ناشی از یک خط تک سیمه برابر است با:

$$\vec{E}(\vec{r}) = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \int_{C_1(\vec{r}')} \lambda(\vec{r}') \frac{\vec{R}}{R^3} dl' \quad 6-59$$

چگالی بار خطی بوده که به ولتاژ الکتریکی هادی خط بستگی دارد. آنگاه با توجه به تئوری تصویر میدان متوجه رابطه ۶-۵۹ به صورت زیر اصلاح می گردد:

$$\vec{E}(\vec{r}) = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \int_{C_1(\vec{r}')} \lambda(\vec{r}') \frac{\vec{R}_1}{R_1^3} dl'_1 - \frac{\kappa}{4\pi\epsilon_0} \int_{C_2(\vec{r}')} \lambda(\vec{r}') \frac{\vec{R}_2}{R_2^3} dl'_2 \quad z \geq 0 \quad 6-60$$

که:

$$\kappa = \frac{\epsilon_{eq,r} - 1}{\epsilon_{eq,r} + 1} \quad \epsilon_{eq,r} = \epsilon_{2,r} - \frac{i}{2\pi f \epsilon_0 \rho} \quad 6-61$$

K به خاطر مختلط بودن نفوذپذیری زمین معادل، یک فاکتور مختلط می باشد. در واقع میدان در

هوا، متوجه میدانهای تولید شده بوسیله منحنی سیم  $C_1(\vec{r}')$  و تصویر آن  $C_2(\vec{r}')$

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

می باشد. در معادلات مذکور:

$$R_1 = |\bar{R}_1|, \quad \bar{R}_1 = (x - x')\hat{x} + (y - y'_0)\hat{y} + (z - z')\hat{z}$$

$$R_2 = |\bar{R}_2|, \quad \bar{R}_2 = (x - x')\hat{x} + (y - y'_0)\hat{y} + (z + z')\hat{z}$$

که  $z' = z(x')$  از رابطه ۵۶-۶ بدست می آید و موقعیت ثابت هادی تک سیمه روی محور  $Y$  می

باشد. این پارامتر امکان در نظر گرفتن هادی بیشتر در یک  $n$  خط فازه را فراهم می کند.

در فرکانس قدرت قسمت موهومی رابطه ۶۱-۶ به لحاظ دامنه، پنج تا شش برابر قسمت حقیقی

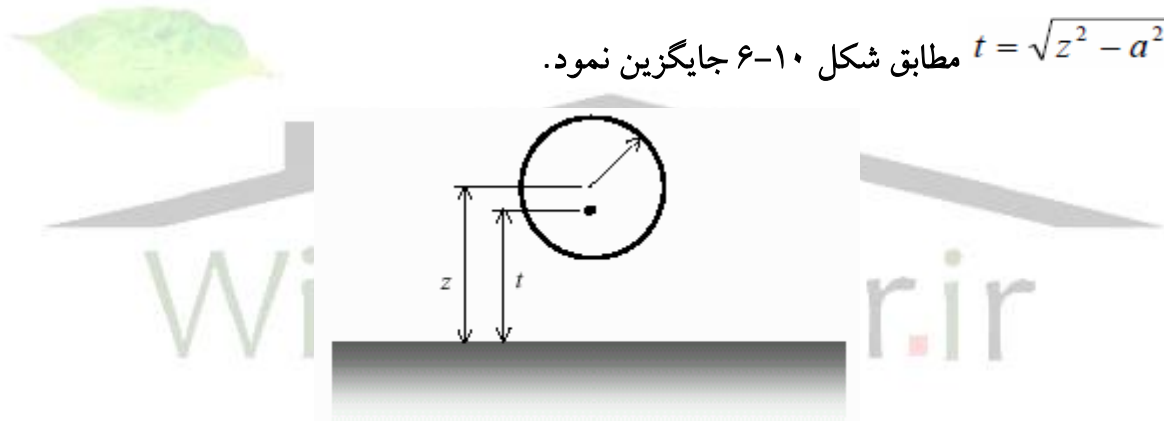
بوده و که همان نتیجه تئوری تصویر معمول را خواهند داد. رابطه ۶۱-۶ میدان الکتریکی ناشی از

یک هادی تک سیمه را با چشم پوشی از شعاع هادی نتیجه می دهد. هنگامی که یک هادی استوانه

ای با شعاع  $a$  در نظر گرفته شود آنگاه میتوان آن را با یک بار خطی قرار گرفته در موقعیت

$$t = \sqrt{z^2 - a^2}$$

مطابق شکل ۱۰-۶ جایگزین نمود.



شکل ۱۰-۶ آرایش یک هادی استوانه ای قرار گرفته در بالای زمین

اما برای خطوط انتقال هوایی با توجه به اینکه  $z \gg a$ ، با تقریب قابل قبولی می توان هادی واقعی

را در محل محورهایشان در نظر گرفت.

حال برای بدست آوردن  $\lambda(\bar{r}')$  کافی است از ولتاژ خط، با توجه به رابطه زیر استفاده نماییم:

$$V(\bar{r}) = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \left[ \int_{C_1(\bar{r}')} \frac{\lambda(\bar{r}')}{R_1} dl'_1 - \int_{C_2(\bar{r}')} \frac{\lambda(\bar{r}')}{R_2} dl'_2 \right] \quad z \geq 0$$

۶-۶۲

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازم

در این محاسبات فرض می گردد که چگالی بار در طول خط ثابت می باشد.

برای  $x=0$  ,  $y=y'_0$  ,  $z=h-a \Rightarrow V=V_0$  آنگاه خواهیم داشت:

$$\lambda = \frac{2\pi\epsilon_0 V_0}{I_1 - I_2}$$

۶-۶۳

که:

$$I_1 = \int_0^{L/4\alpha} \frac{\cosh(2u) du}{\sqrt{u^2 + [a/2\alpha + \sinh^2(u)]^2}}$$

۶-۶۴

$$I_2 = \int_0^{L/4\alpha} \frac{\cosh(2u) du}{\sqrt{u^2 + [(2h-a)/2\alpha + \sinh^2(u)]^2}}$$

۶-۶۵

ولتاژ هادی می باشد. زاویه فاز فی را می توان برای در نظر گرفتن خط  $n$  فازه بکار

برد. بنابراین چگالی بار در حالت کلی یک کمیت مختلط می باشد. آنگاه با داشتن چگالی بار،

میدان الکتریکی در هر نقطه در روی زمین برابر خواهد شد با:

$$\vec{E}(x, y, z) = \frac{\lambda\alpha}{2\pi\epsilon_0} [I_3 - I_4] \quad z \geq 0$$

۶-۶۶

که:

$$I_3 = \int_{-u_0}^{u_0} \frac{[(x-2\alpha u)\hat{x} + (y-y'_0)\hat{y} + (z-z')\hat{z}] \cosh(2u) du}{[(x-2\alpha u)^2 + (y-y'_0)^2 + (z-z')^2]^{3/2}}$$

۶-۶۷

$$I_4 = \int_{-u_0}^{u_0} \frac{[(x-2\alpha u)\hat{x} + (y-y'_0)\hat{y} + (z+z')\hat{z}] \cosh(2u) du}{[(x-2\alpha u)^2 + (y-y'_0)^2 + (z+z')^2]^{3/2}}$$

۶-۶۸

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

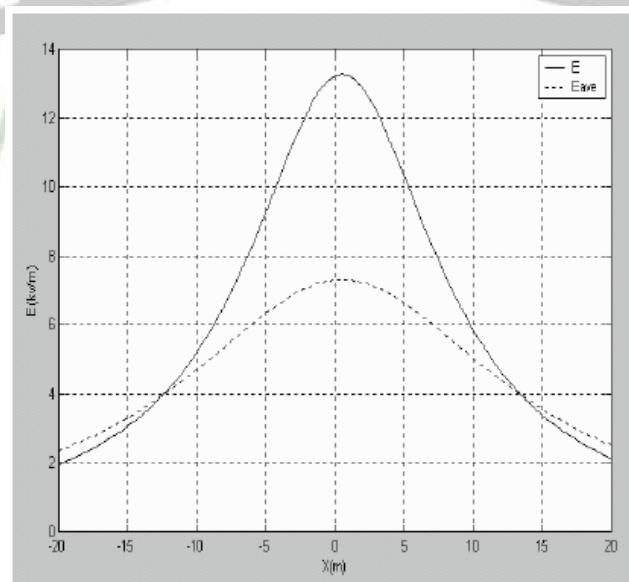
حال با استفاده از روابط متوجه تأثیر شکم خط را در توزیع میدان الکتریکی در اطراف خط انتقال مورد بررسی قرار می دهیم. برای این منظور برنامه کامپیوتری MATLAB در محیط و به صورت- m فایل تهیه شده است.

شکل‌های ۶-۱۱، ۱۲، ۱۳ پروفیل‌های دامنه میدان الکتریکی متوجه و مؤلفه های آنها در دو حالت را با در نظر گرفتن شکم خط و بدون در نظر گرفتن شکم خط فرض هادی مستقیم در اطراف یک خط انتقال نوعی و در سطح زمین با استفاده از برنامه کامپیوتری تهیه شده نشان می دهد. برای محاسبه میدان الکتریکی بدون در نظر گرفتن شکم خط و با فرض هادی مستقیم، ارتفاع خط برای محاسبه میدان الکتریکی، ارتفاع متوسط و به صورت زیر در نظر گرفته می شود

$$H_{av} = H - (2/3)S$$

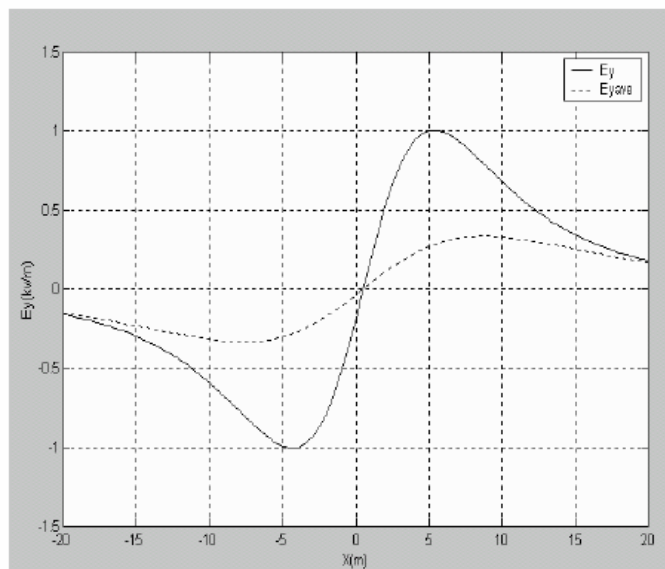
۶-۶۹

که H ارتفاع ماکزیمم خط در محل برج و S شکم خط می باشد که در محاسبات منحنیهای زیر نیز از آن استفاده شده است.

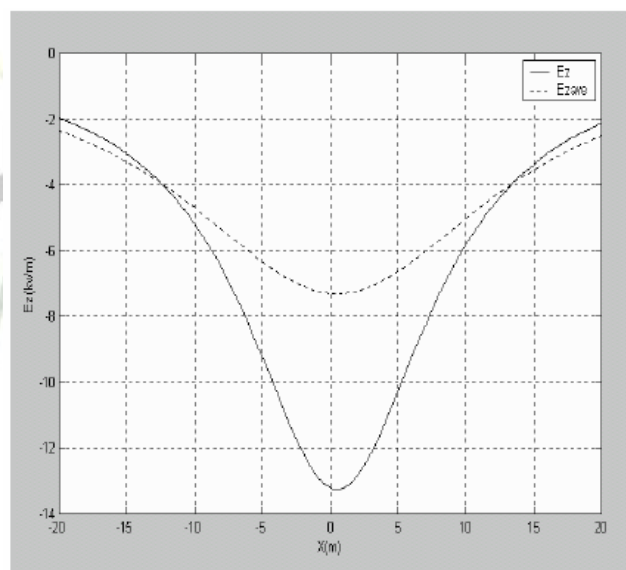


شکل ۶-۱۱ پروفیل میدان الکتریکی با در نظر گرفتن و بدون در نظر گرفتن شکم خط 400Kv، طول اسپین 400m، ارتفاع خط در وسط اسپین 8.5m، ارتفاع خط در محل برجها 25.65m، شکم خط 17.15m محاسبه میدان با در نظر گرفتن خط مستقیم قرار گرفته در ارتفاع متوسط

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت **ویکی پاور** مراجعه کنید. فاقد آر م سایت و به همراه فونت های لازمه



شکل ۹-۶ مؤلفه  $y$  پروفیل میدان الکتریکی شکل ۸-۶



شکل ۱۰-۶ مؤلفه  $z$  پروفیل میدان الکتریکی شکل ۸-۶

همانطور که مشاهده می گردد شکم خط افزایش قابل توجهی را در میدان متوجه در ناحیه و سط اسپن نتیجه خواهد داد که فرض در نظر گرفتن ارتفاع متوسط را در این نواحی بطور اساسی زیر سؤال میبرد و عدم دقت آن را در نواحی مذکور نشان می دهد.



برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازم

۳-۲-۶: نتیجه گیری

محاسبه دقیق توزیع میدان الکتریکی متوجه از خطوط انتقال فشار قوی م تواند منجر به محاسبه دقیق ولتاژ و جریان القایی متوجه از میدانهای مذکور در تجهیزات مجاور خطوط انتقال فشار قوی گردیده و تمهیدات مقتضی و به صرفه برای کاهش تداخلات مذکور و نیز رعایت حریم مجاز را امکان پذیر سازد. معمولاً برای محاسبه میدانهای الکتریکی متوجه از خطوط انتقال آنها را بطور موازی با زمین مسطح فرض می کنند و برای لحاظ کردن شکم خط، ارتفاع خط را برابر ارتفاع متوسط تعریف شده در رابطه ۳۶-۶ در نظر می گیرند. در این پروژه ضمن توسعه روابط برای محاسبه میدانهای الکتریکی با فرض مذکور، روشی برای محاسبه دقیق میدانهای الکتریکی متوجه از خطوط انتقال فشار قوی با در نظر گرفتن شکم خط ارائه گردید. نتایج محاسبات انجام شده با نرم افزار تهیه شده نشان می دهد که در خطوط انتقال فشار قوی که شکم خط قابل ملاحظه می باشد، اعتبار فرض ارتفاع متوسط برای محاسبه میدان های الکتریکی متوجه به ویژه در وسط اسپن به شدت نقض می گردد که در این مورد محاسبات برای خطوط انتقال فشار قوی کشور ایران انجام گرفته است.

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت **ویکی پاور** مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازم

فصل هفتم :

## ارتعاشات آئولین در خطوط هوایی انتقال نیرو، تحلیل سیستم بدون دمپر خارجی



چکیده

در این پروژه هدف ارائه یک مدل ریاضی جهت بررسی ارتعاشات آئولین (عرضی) خطوط هوایی انتقال نیرو با در نظر گرفتن اثر خمشی، کشش کابل و میرایی سازه ای و بدون وجود جاذب خارجی دفع کننده انرژی بر روی آن می باشد. از آنجاییکه راندمان سازه ای در خطوط انتقال ایجاب می کند که پروفیل کابل مسطح و یا به بیان دیگر نسبت افت ماکزیمم به طول دهانه خط کمتر از  $1/8$  باشد می توان تحلیل دینامیک سازه کابل را خطی در نظر گرفت. بنابراین برای بررسی سیستم ابتدا یک مدل ریاضی برای پاسخ آزاد کابل با فرض وجود صلبیت خمشی و نیروی کششی ثابت در خطوط بدست آمده است. با توجه به اینکه در مدل ریاضی بدست آمده، دانستن صلبیت

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازم

خمشی کابل لازم و ضروری است و از آنجاییکه روش های تحلیلی تعیین صلبیت خمشی کابل های رشته ای با دقت کافی همراه نمی باشد، جهت تعیین مقدار صلبیت خمشی کابل، روشی آزمایشگاهی پیشنهاد شده است.

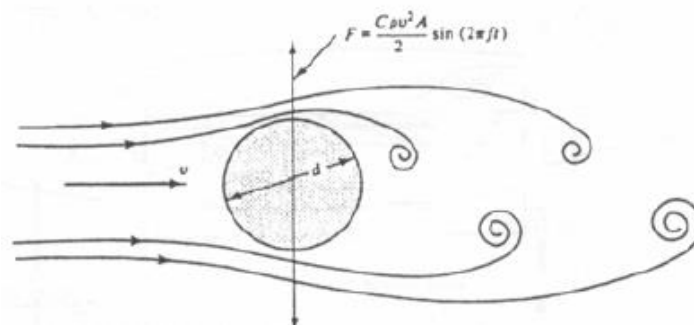
نتایج عددی حاصله از این روش نشان میدهد که در تحلیل سیستم، اثر صلبیت خمشی در مدهای ارتعاشی بالاتر از مد دهم خط انتقال و با افزایش نیروی کشش طولی کابل قرار گرفته بین دو دکل، قابل صرف نظر می باشد. سپس روشهای تعیین خود میرایی خطوط انتقال مورد بررسی قرار گرفته و پس از آن نیز با در نظر گرفتن یک تابع میرایی برای کابل، مدل ریاضی پاسخ کابل به نیروی تحریک خارجی (باد) تعیین و بررسی شده اند. در انتها هم نتایج حاصله از دو مدل ریاضی جهت تایید و تصدیق با نتایج اقتباس شده از ادبیات فن مقایسه شده اند.

## ۱-۷ : مقدمه

اهمیت نوسانات کابل های خطوط هوایی انتقال نیرو و به خصوص نوع عرضی 2 آن مساله ای است که در دهه های اخیر بسیار مورد توجه واقع شده است. در خطوط هوایی انتقال نیرو عمدتاً نوسانات ناشی از باد و باران و عوامل طبیعی می باشد. ارتعاشات آئولین خطوط انتقال نیرو و نوسانات پیش بینی نشده در این کابلها بسیار نگران کننده است چرا که اغلب باعث تنش های مکانیکی بسیار زیاد و در نتیجه پارگی کابل و شکست مقره ها و فرسودگی خستگی مکانیکی در کابل های خطوط نیرو و همچنین باعث اتصال و به هم خوردن کابلها و یا سقوط دکلها می شود. ارتعاشات آئولین بدون وابستگی به تعداد خطوط عبوری و حتی گاهی سرعت باد در همه حالات وجود دارد که در تمامی خطوط منفرد و باندد جفتی در محدوده ۱۰۰-۱۰ هرتز فرکانسی مشاهده شده است. البته این ارتعاشات در محدوده ۵۰-۵ هرتز و جریان پایدار باد با سرعت ۸-۱ متر بر ثانیه فرکانسی هم رخ میدهد. عامل اصلی ایجاد لرزش آئولین در خطوط هوایی انتقال را می توان

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

برخورد جریان پایای باد به خط انتقال نیرو و گردابه هایی دانست که در پشت آن تشکیل و منجر به تولید نیروهای نوسانی در جهت عمود بر جریان شکل ۷-۱ و فشار متناوب بر طرفین کابل و در نهایت حرکت تناوبی کابل می شوند [۲]. به همین علت به این نوسانات ارتعاشات عرضی ناشی از جریان های گردابی کارمان نیز [۲] گفته می شود.



شکل ۷-۱ برخورد جریان باد با خط انتقال نیرو و تشکیل جریان های گردابی متناوب در پشت آن دامنه ارتعاشات عرضی خطوط نیرو با توجه به شرایط فوق حدود ۰،۰۱ قطر کابل تا یک قطر کابل گزارش شده است اغلب روشهای مورد استفاده برای جلوگیری و رفع خرابی های ناشی از خستگی در کابل های خطوط انتقال نیرو، در اثر ارتعاشات عرضی آئولین، بر مبنای جذب انرژی مکانیکی انتقال یافته توسط نیروی باد است که با بکارگیری و نصب دمپر های دینامیکی در محل مناسب از دو سر مقره تحقق می یابد. تعداد زیادی جذب کننده انرژی برای کاهش نوسانات خطوط انتقال نیرو وجود دارد که متداول ترین آنها دمپر استاک بریج می باشد.

این جاذب در سال ۱۹۲۵ برای اولین بار توسط جورج استاک بریج بکار گرفته شده است. دمپر استاک بریج شامل دو جرم متمرکز معلق متصل شده به دو انتهای یک کابل فولادی کشسان می باشد که در وسط دارای گیره ای است که از طریق آن دمپر به صورت صلب به خط انتقال نیرو متصل می شود. در واقع میرا کننده یک سیستم جرم و فنر می باشد که از طریق تنظیم کردن طول کابل فولادی کشسان و یا وزن جرم های متصل شده به آن، با فرکانس ارتعاش القاء شده به وسیله جریان تون می شود. هنگام نوسان خطوط انتقال نیرو در اثر عوامل خارجی، مثل باد، نوسانات به گیره دمپر انتقال یافته و از طریق آن، کابل فولادی و دو جرم متصل به آن نوسان می کنند. انرژی در

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

دمپر استاک بریج با تبدیل انرژی جنبشی ناشی از نوسان به انرژی حرارتی در اثر اصطکاک بین رشته های کابل فولادی-تلف می شود. البته نوع حرکات دو جرم متصل به کابل فولادی به نوعی کاهش دهنده دامنه نوسان سیستم است علاوه بر از بین رفتن انرژی، سیستم جرم و فنر به صورت یک جاذب دینامیکی ارتعاش عمل می کند. پدیده دوم هنگامی که دستگاه با فرکانس تولید گردابه به خوبی تون (تنظیم و هماهنگ) شده باشد در کاهش ارتعاش القاء شده به وسیله جریان بسیار موثر است.

طبق رابطه  $P_w \leq P_c + P_D$  که در آن  $P_w$ ، توان ورودی توسط باد،  $P_c$  انرژی تلف شده توسط کابل و  $P_D$  انرژی تلف شده توسط دمپر دینامیکی است، اگر میزان دفع انرژی توسط هادی و جاذب دینامیکی نصب شده بر روی آن بیشتر از میزان انرژی ورودی توسط باد باشد، دامنه نوسانات سیستم به میزان بیشتری کاهش خواهد یافت. تا کنون مطالعات زیادی در خصوص مدل سازی ارتعاشات عرضی خطوط انتقال نیرو صورت گرفته است که از آن جمله می توان تعیین فرکانس های طبیعی خطوط باندل انتقال نیرو با استفاده از معادلات حرکت یک کابل منعطف الاستیک در سال ۱۹۷۲ توسط سیمپسون و بررسی ارتعاشات عرضی خطوط نیرو و تعیین دامنه ارتعاشی آن با استفاده از توان را نام ورودی باد توسط هاگدورن و کراس در سال ۱۹۹۱ برد.

اما نکته حائز اهمیت در نظر نگرفتن صلبیت خمشی کابل مدل های ارائه شده تا کنون است در [۲]. در این پروژه، ابتدا با در نظر گرفتن صلبیت خمشی و نیروی کششی ثابت، یک مدل ریاضی جهت بررسی ارتعاشات آزاد آئولین خطوط منفرد انتقال نیرو بدست می آوریم و پس از تعیین فرکانس های طبیعی سیستم، با تعریف یک تابع که بیانگر و توصیف کننده اتلاف انرژی در کابل های رشته ای خطوط نیرو باشد، به بررسی پاسخ سیستم نسبت به نیروی تحریک خارجی (باد) می پردازیم.

۱-۱-۷: ارتعاشات آزاد کابل های رشته ای خطوط انتقال نیرو



برای دریافت فایل Word پروژه به سایت **ویکی پاور** مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

$$u(x, t) = \varphi(x)\psi(t) \quad 7-2$$

آنگاه معادله ۱ به صورت زیر نوشته خواهد شد:

$$\frac{1}{m\varphi(x)} [E_c I_c \frac{d^4 \varphi(x)}{dx^4} - S \frac{d^2 \varphi(x)}{dx^2}] = -\frac{1}{\psi(t)} \frac{d^2 \psi(t)}{dt^2} = \omega^2 \quad 7-3$$

و یا به عبارت دیگر:

$$E_c I_c \frac{d^4 \varphi(x)}{dx^4} - S \frac{d^2 \varphi(x)}{dx^2} - \omega^2 m \varphi(x) = 0 \quad 7-4$$

$$\frac{d^2 \psi(t)}{dt^2} + m \omega^2 \psi(t) = 0 \quad 7-5$$

بدیهی است که جواب معادله ۵ به صورت زیر خواهد بود:

$$\psi(t) = \psi_0 \sin(\omega t + \beta) \quad 7-6$$

برای معادله ۴، با توجه به شرایط مرزی دو سر مفصل دکلها داریم:

$$\begin{cases} x=0 \rightarrow \varphi=0, \frac{d^2 \varphi(x)}{dx^2} = 0 \\ x=l \rightarrow \varphi=0, \frac{d^2 \varphi(x)}{dx^2} = 0 \end{cases}$$

و با فرض جاگذاری  $\varphi(x) = A e^{inx}$  در معادله ۴ داریم:

$$E_c I_c (n^2)^2 + S n^2 - m \omega^2 = 0 \quad 7-7$$

از طرف دیگر با اعمال شرایط مرزی در جواب عمومی معادله ۴-۷ داریم:

$$\varphi_r(x) = A_r \sin(nx) \quad 7-8$$

$$n = \frac{r\pi}{l} \quad 7-9$$

که در آن  $\varphi_r(x)$  بیانگر مدهای اصلی ارتعاشی می باشد. با استفاده از معادلات ۷ و ۹ فرکانسهای

طبیعی سیستم عبارتند از:

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت **ویکی پاور** مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

$$\omega_r^2 = \left(\frac{r\pi}{l}\right)^2 \cdot \frac{S}{m} \left[1 + \left(\frac{r\pi}{l}\right)^2 \frac{E_c I_c}{S}\right] \quad 7-10$$

البته در این جا دانستن صلبیت خمشی کابل مهم و لازم است، که اغلب در کابل های رشته ای با دقت کافی همراه نمی باشد زیرا در این کابلها هنگام خمش، رشته هایی که در سمت کشش می باشند ممکن است جا بجا شوند و رشته هایی که در سمت فشار می باشند ممکن است کمانش کنند.

۷-۱-۳: روش آزمایشگاهی جهت تعیین صلبیت خمشی

کابل های رشته ای خطوط انتقال با توجه به رابطه ۱۰ فرکانس طبیعی یک ریسمان کشیده شده  $E_c I_c = 0$ ، با نیروی داخلی  $S$ ، جرم واحد طول و  $L$  طول به صورت زیر خواهد بود:

$$\omega_{r,0} = \left(\frac{r\pi}{l}\right) \cdot \sqrt{\left(\frac{S}{m}\right)} \quad 7-11$$

حال اگر فرض کنیم:

$$\alpha = \frac{E_c I_c}{S l^2} \pi^2 \quad 7-12$$

با توجه به روابط ۱۰ و ۱۱، ۱۲ داریم:

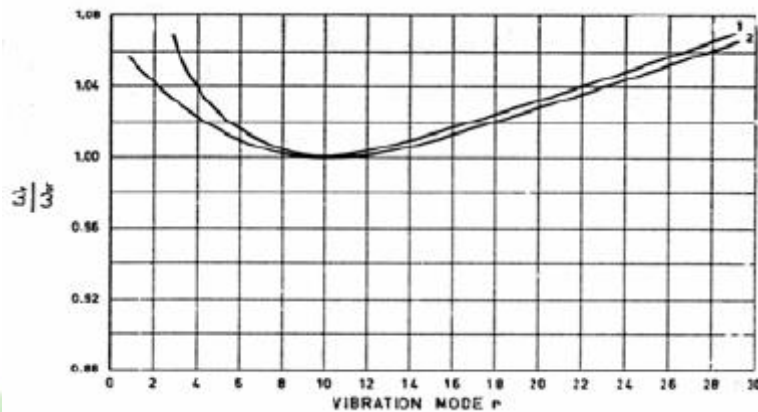
$$\omega_r = \omega_{0r} (1 + \alpha \cdot r^2)^{1/2} \quad 7-13$$

که در آن  $\lambda_r = \frac{2l}{r}$  طول موج مد  $r$  ام با شرایط تکیه گاهی دو سر مفصل می باشد. بدین ترتیب با انجام تست های آزمایشگاهی بر روی یک کابل خاص و در مد های مختلف می توانیم با اندازه گیری مقدار  $\omega_r$  و محاسبه مقدار  $\omega_{0r}$  با استفاده از معادله ۱۳ مقدار  $\alpha$  و در نهایت مقدار  $E_c I_c$  را بدرستی محاسبه کنیم. شکل های ۳ تا ۶ نسبت فرکانس های طبیعی  $\frac{\omega_r}{\omega_{0r}}$  و مقدار  $\alpha$  را برای یک

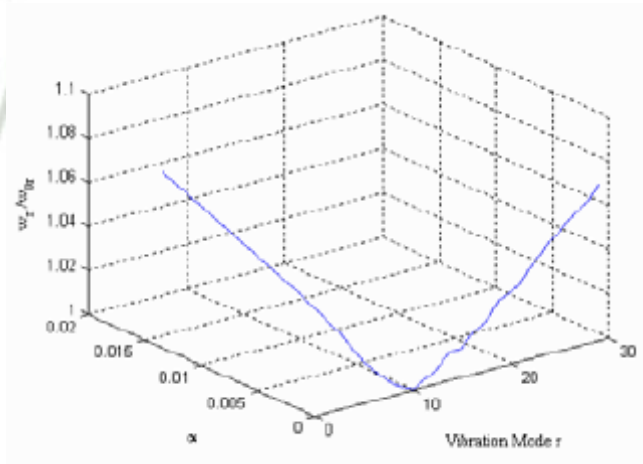


برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آر م سایت و به همراه فونت های لازم

کابل به طول دهانه ۴۶،۵۳ متر و قطر خارجی ۳۱،۵ میلی‌متر، در دو نیروی کشش طولی مختلف نشان میدهد که در آنها مقادیر آزمایشگاهی از مرجع اقتباس شده است. با توجه به شکلهای مذکور، هر چه قدر مدهای بالاتر ارتعاشی را در نظر بگیریم اثر در نظر گرفتن صلبیت خمشی کاهش می یابد.



شکل ۳-۷ مقدار  $\frac{\omega_r}{\omega_{0r}}$  نسبت به مد ارتعاشی  $r$ ، منحنی اول با نیروی کشش 3000kgf منحنی دوم با نیروی کشش 4900kgf



شکل ۴-۷ نمایش تغییرات  $\alpha$  و  $\frac{\omega_r}{\omega_{0r}}$  نسبت به مد ارتعاشی  $r$ ، با نیروی کشش 3000kgf

علاوه بر این البته لازم به ذکر است که هر چه طول کابل

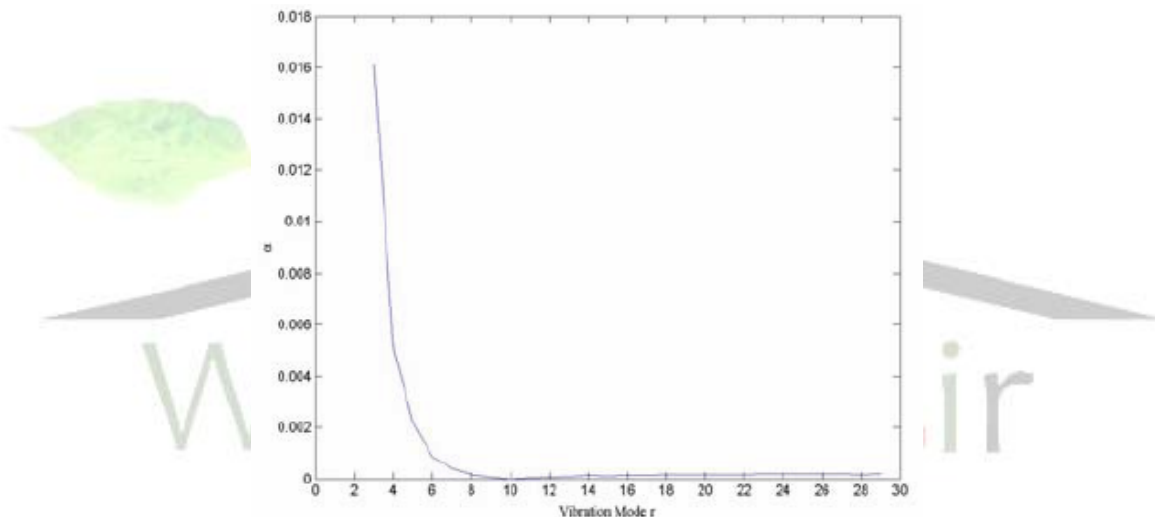
برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

کمتر باشد مقدار خطای معادله ۱۳ در مد های پایین برای تعیین از طریق تست آزمایشگاهی بیشتر می شود و همچنین هر چه مد پایین تر باشد اثر شرایط مرزی ابتدایی و انتهایی روی رفتار کابل بیشتر خواهد بود.

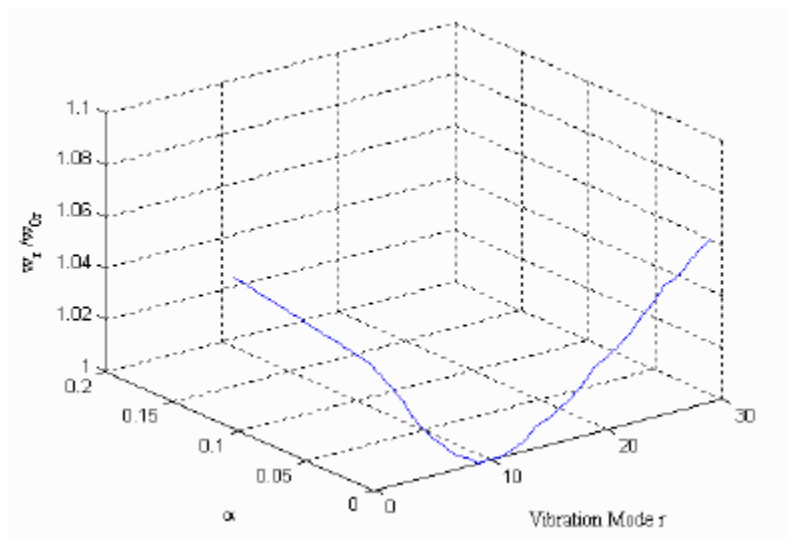
با توجه به معادله ۸ تغییر شکل کابل در مد ۲ ام مشخص است. حال اگر ارتعاش با فرکانس  $\omega_r$  و در مد اصلی صورت با استناد به معادلات ۲ و ۶ و ۸ تغییر مکان کابل بگیرد در هر لحظه به صورت زیر خواهد بود.

$$u_r(x,t) = A_r \sin\left(\frac{r\pi x}{l}\right) \sin(\omega_r t + \beta_r)$$

۷-۱۴



شکل ۵-۷ مقدار  $\alpha$  نسبت به مد ارتعاشی ۲، با نیروی کشش 3000kgf



برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

شکل ۶-۷ نمایش تغییرات  $\alpha$  و  $\omega_{0r}$  نسبت به مد ارتعاشی  $r$ ، با نیروی کشش 4900kgf

با در نظر گرفتن  $P_r(t)$  به عنوان مختصات اصلی تعمیم یافته که بیانگر دامنه تغییر شکل در یک مد خاص است، داریم:

$$u_r(x, t) = P_r(t) \sin\left(\frac{r\pi x}{l}\right) \quad 7-15$$

با فرض  $\varphi_r(x) = \sin\left(\frac{r\pi}{l}x\right)$  معادله فوق به صورت زیر ساده می شود:

$$u_r(x, t) = P_r(t)\varphi_r(x) \quad 7-16$$

با توجه به اینکه حرکت کلی سیستم، متشکل از مجموع حرکت مد های ارتعاشی آن است، بنابراین پاسخ لحظه ای هر نقطه از کابل به صورت زیر بدست می آید:

$$u(x, t) = \sum_r P_r(t)\varphi_r(x) \quad 7-17$$

اصل تعامد مدهای ارتعاشی سیستمهای گسسته و ممتد توسط بسیاری از محققین مورد بررسی قرار گرفته است از این خاصیت مهم می توان جهت تعیین انرژی جنبشی و پتانسیل کابل استفاده نمود. طبق این اصل، انرژی جنبشی یا پتانسیل کل سیستم برابر خواهد بود با مجموع انرژی پتانسیل و جنبشی هر مد.

واضح است که انرژی جنبشی المانی از کابل به طول  $dx$  در مد  $r$  ام به صورت زیر خواهد:

$$dT_r = m dx \frac{u_r^2}{2} = \frac{m}{2} \dot{P}_r^2(t) \sin^2\left(\frac{r\pi x}{l}\right) dx \quad 7-18$$

بنابراین انرژی جنبشی کل کابل در مد  $r$  ام عبارتست از:

$$T_r = \int_0^l dT_r dx \rightarrow T_r = \frac{ml \dot{P}_r^2(t)}{4} \quad 7-19$$

و با توجه به اصل تعامد مد های ارتعاشی، داریم:

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آر م سایت و به همراه فونت های لازمه

$$T_{total} = \sum_r \frac{ml \dot{P}_r^2(t)}{4} \quad ۷-۲۰$$

به همین ترتیب، برای انرژی پتانسیل المانی از کابل داریم:

$$dV_r = \frac{1}{2} k u^2 \quad ۷-۲۱$$

که در آن  $k$ ، ثابت فنر معادل کابل است و به صورت زیر محاسبه می شود:

$$k = (m \dot{d}x) \omega_r^2 \quad ۷-۲۲$$

بنابراین با استفاده از معادلات ۱۰ و ۲۲ مقدار و با استفاده از معادلات ۱۵ و ۲۱ انرژی پتانسیل کل کابل به صورت زیر بدست می آید:

$$V_{total} = S \frac{P_r^2(t)l}{4} \left(\frac{r\pi}{l}\right)^2 \cdot \left(1 + \frac{E_c I_c}{S} \frac{r^2 \pi^2}{l^2}\right) \quad ۷-۲۳$$

اگر از معادله ۱۳ استفاده کنیم، معادله ۲۳ به صورت زیر در خواهد آمد:

$$V_{total} = S \frac{P_r^2(t)l}{4} \left(\frac{r\pi}{l}\right)^2 \cdot (1 + \alpha r^2) \quad ۷-۲۴$$

با توجه به اینکه خود میرایی در کابل های خطوط انتقال نیرو و اتلاف انرژی بین رشته های تشکیل دهنده آن از طریق اصطکاک مساله ای حائز اهمیت و غیر قابل صرف نظر می باشد، برای تصحیح مدل بدست آمده در بخش گذشته لازم است با تعریف تابعی که بیانگر میرایی داخلی و سازه ای سیستم باشد مدل ریاضی کابل اصلاح شده و نتایج حاصل از آن بررسی شوند. بدین منظور با تعریف تابع میرایی، مدل ریاضی حرکت کابل میرا شونده و پاسخ آن به نیروی تحریک خارجی بدست آمده است.

۷-۱-۴: خود میرایی کابل های خطوط انتقال نیرو و روشهای تعیین آن

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازم

یک سیستم مکانیکی بدون میرایی، مانند آنچه که تا کنون مورد بررسی قرار گرفته است، قابلیت آن را دارد که به طور آزادانه با دامنه ثابت و بدون محدودیت زمانی به نوسان خود ادامه دهد چرا که هیچ عاملی جهت دفع انرژی مکانیکی آن در نظر گرفته نشده است. برای یک سیستم با تحریک خارجی مثل باد وجود میرا کننده انرژی باعث می شود که دامنه نوسانات در تشدید بی نهایت نشود این یک اصل شناخته شده است که کابل های رشته ای تحت کشش، میرایی داخلی دارند. مشاهده نوسانات کابلها نشان داده است که با افزایش فرکانس نوسانات دامنه نوسانات کاهش می یابد. به عنوان مثال در حالت ارتعاش گالوپینگ که فرکانس نوسان بسیار پایین و کمتر از یک هرتز است، احتمال برخورد کابل های خطوط نیرو با زمین دور از انتظار نیست.

در صورتیکه اطلاعات کاملی درباره میرایی کابل بدست آورده شود، می توان روشی جهت تخمین ماکزیمم دامنه نوسان روی یک خط خاص بدست آورد. البته برای این منظور باید بتوان انرژی ورودی توسط باد را تخمین زد که در این خصوص فارکوهار سون و مک هوگ، در آزمایش تونل باد، ماکزیمم انرژی ورودی به کابل های رشته ای تحت کشش را بدست آوردند. برای بدست آوردن اطلاعات لازم در خصوص خود میرایی کابلها مراحل متعددی از روشهای تحلیلی و تجربی باید صورت گیرد که به طور مثال اندازه گیری انرژی تلف شده کابل در حال نوسان و اثر آن بر روی فرکانس های طبیعی و تغییر مکان کابل که توسط روابط ۱۰ و ۱۷ توصیف شده اند و در نهایت بدست آوردن یک تابع در مختصات اصلی که توصیف کننده میرایی سیستم باشد، قابل ذکر هستند. مرحله آخر از اهمیت خاصی در علم مکانیک برخوردار است زیرا معلوم می شود که آیا خاصیت تعامد با در نظر گرفتن میرایی همچنان وجود دارد یا خیر و در صورت وجود آیا عبارات وابسته در تابع میرایی قابل صرف نظر کردن می باشند تا بتوان خاصیت تعامد مدهای اصلی سیستم غیر میرا را به سیستم های میرا شونده تعمیم داد.

روشهای زیادی برای تعیین انرژی تلف شده توسط کابلها وجود دارد که می توان آنها را به دو گروه عمده تفکیک کرد: روش نرخ کاهش و روش نوسانات اجباری

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

۷-۱-۴-۱: روش نرخ کاهش

در روش نرخ کاهش کابل را تحت یک فرکانس تشدید نو سان می دهند و سپس با قطع واحد تحریک نوسان، دامنه نوسان در ارتعاش آزاد کابل، به علت خود میرایی کابل، میرا می شود. در این حالت نرخ کاهش دامنه نوسان، با نرخ کاهش انرژی جنبشی کابل متناسب خواهد بود و به عبارت دیگر انرژی تلف شده توسط کابل با کاهش انرژی جنبشی آن برابر است. اشکال عمده این روش، طریقه قطع واحد تحریک می باشد چرا که حائز اهمیت است کابل تنها در یکی از مدهای اصلی خود نوسان کرده و از هر گونه ارتعاش ناخواسته و گذرا در هنگام قطع واحد تحریک اجتناب شود و مدهای دیگر، خصوصاً مدهای پایین تحریک نشوند. مزیت اصلی این روش این است که یک آزمایش می تواند اطلاعات کاملی از خود میرایی کابل در محدوده وسیعی از دامنه نوسان ارائه دهد.

۷-۱-۴-۲: روش نوسانات اجباری

با توجه به وجود خود میرایی در کابل، اگر سیستم بخواهد در یک فرکانس و دامنه خاص به طور پایا نوسان کند، می بایست از طریق تحریک خارجی توان لازم حرکت پایا تامین شود نوسان اجباری. در این روش توان تلف شده توسط خود جذبی کابل برابر است با توان لازم اندازه گیری شده برای به نوسان در آوردن کابل. با بکار گیری تجهیزات مناسب، می توان روی یک اسیلوسکوپ جابجایی کابل در نقطه تحریک، نیروی تحریک و اختلاف فاز بین آن دو را بدست آورد. اگر سیگنال جابجایی به یک کانال اسیلوسکوپ و سیگنال نیرو به کانال دیگر داده شود یک حلقه بسته روی اسیلوسکوپ مشاهده خواهد شد که در واقع همان حلقه پسماند یا هیستریسیس می باشد که سطح داخلی آن انرژی بر واحد سیکل بوده که به کابل داده می شود و در شرایط پایا این انرژی همان انرژی دفع شده توسط کابل است. مشکل عمده این روش از آنجا ناشی می شود که در هنگام اندازه گیری توان ورودی به سیستم، نوسانات باید پایا باشد. در غیر این صورت

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازم

مقدار توان اندازه گیری شده علاوه بر توان تلف شده، شامل توان صرف شده جهت تغییر انرژی جنبشی نیز می باشد. از مزایای این روش سادگی انجام آن می باشد.

برای استفاده از هر یک از روشهای فوق هنگام تست، شرایط ذیل حائز اهمیت هستند

۱- واحد تحریک نباید جزیی از دینامیک سیستم مورد آزمایش واقع شود. اگر واحد تحریک به صورت صلب به کابل متصل شود، اینرسی قسمت هایی از واحد تحریک که در حال حرکت می باشند، جزئی از سیستم مورد آزمایش قرار می گیرند و باعث تغییر فرکانس طبیعی و تغییر شکل کابل حین نوسان می شوند.

۲- کنترل فرکانس واحد تحریک باید بسیار دقیق باشد و از تغییرات جزئی فرکانس تا حد امکان جلوگیری شود. چرا که در فرکانس های پایین میرایی سیستم کم است و خطای کوچکی در اندازه گیری فرکانس باعث ایجاد خطایی بزرگ در اندازه گیری دامنه نوسان می شود.

۳- با توجه به طول دهانه مورد آزمایش و فرکانس های مد نظر، و سایل اندازه گیری باید از دقت کافی برخوردار باشند.

آزمایش هایی توسط کلارن و دیانا روی میرایی کابل های رشته ای انجام شده است نشان می دهد که تابع میرایی کابل نمی تواند شامل عبارتهای وابسته باشد. اگر تابع میرایی شامل عبارتهای وابسته باشد، تغییر شکل کابلی که در مد ۲ ام نوسان می کند فقط توسط  $A_r \sin((r\pi/l)x)$  بیان نمی شود.

البته باید توجه داشت که حتی وقتی هیچ گونه میرایی در کابل وجود نداشته باشد، اگر یک کابل در مد ۲ ام نوسان کند تغییر شکل آن فقط توسط بیان نشده و در واقع حرکت شامل ترکیبی از مدها خواهد بود و تغییر شکل توسط توابعی از  $A_r \sin((r\pi/l)x)$  هم بیان می شود. اما اگر میرایی سازه ای کوچک باشد و فاصله فرکانس های ام s طبیعی از یکدیگر به قدر کافی باشد، اثر ضرایب مدهای ۲ ام آنقدر کوچک می شود که می توان از ۲ در مقایسه با مدهای دیگر صرف نظر کرد.

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت **ویکی پاور** مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

۷-۱-۵: مدل ریاضی حرکت خط انتقال نیروی میرا شونده

و پاسخ آن به نیروی تحریک خارجی برای دستیابی به مدل ریاضی ارتعاش اجباری کابل میرا شونده، ابتدا یک تابع که بیانگر انرژی تلف شده کابل و میرایی سیستم به صورت تحلیلی باشد، در نظر می گیریم:

$$\begin{cases} 2D = \sum_r \frac{h_r}{2\Omega} \dot{P}_r^2(t) \cdot l, E_r = \pi \frac{h_r l}{2} u^2, F = h \frac{u}{\Omega} \\ h_r = H \lambda_r^{-3}, H = \frac{c}{(\pi l / 2)} \end{cases}$$

۷-۲۵

که در آن  $D$ ، تابع دفع انرژی کابل،  $E_r$ ، انرژی تلف شده در یک سیکل برای کابل نوسان کننده در مد  $r$  ام،  $F$  تابع نیروی میرایی  $h_r$ ، میرایی سازه ای کابل،  $\lambda_r = \frac{2r}{l}$  طول موج،  $\Omega$  فرکانس نیروی تحریک و  $C$  ثابت تناسب است.

سپس با استفاده از روابط ۲۰، ۲۴ و ۲۵ رابطه لاگرانژ و تغییر مکان هر نقطه از خط انتقال نیرو را به نیروی تحریک هارمونیک خارجی بدست می آوریم. معادله لاگرانژ به صورت زیر داده شده است

$$\frac{d}{dt} \left( \frac{\partial T}{\partial \dot{P}_r} \right) + \frac{\partial V}{\partial P_r} + \frac{\partial D}{\partial P_r} = \Gamma_r$$

۷-۲۶

که در آن  $\Gamma_r$  نیروی تعمیم یافته لاگرانژ است و از طریق محاسبه کار مجازی بدست خواهد آمد. با جایگذاری روابط مذکور در معادله ۲۶ و معادله ۲۷ به صورت ذیل خواهد شد:

$$2ml \ddot{p}_r + \frac{\pi^2 r^2}{2l} S(1 + \omega^2) p_r + \frac{h_r}{2\Omega} l \dot{p}_r = \Gamma_r$$

۷-۲۷

حال اگر فرض کنیم:

$$\begin{cases} \Gamma_r = \Gamma_{r0} \cdot e^{i\Omega t} \\ P_r = P_{r0} \cdot e^{i\Omega t} \end{cases}$$

۷-۲۸



برای دریافت فایل Word پروژه به سایت **ویکی پاور** مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازم

با جایگذاری روابط فوق در معادله ۲۷ برای معادله ۲۹ خواهیم داشت:

$$P_{r0} \left[ -\frac{ml}{2} \Omega^2 + i \frac{h_r l}{2} + S \frac{\pi^2 r^2}{2l} (1 + \alpha r^2) \right] = \Gamma_{r0} \quad 7-29$$

حال اگر فرض کنیم:

$$v = \frac{\pi}{l} \sqrt{S/m} \cdot \sqrt{1 + \alpha r^2} \quad 7-30$$

با یادآوری معادله ۱۰، واضح است که:

$$\omega_r = v.r \quad 7-31$$

مجددا با فرض:

$$\begin{cases} \rho_r = \frac{h_r l^2}{S r^2 \pi^2 (1 + \alpha r^2)} \\ \eta = \frac{H}{8 \pi^2 l S} \end{cases} \quad 7-32$$

و یادآوری معادله ۲۵ رابطه فوق به صورت زیر خلاصه می شود:

$$\rho_r = \eta_r \frac{1}{(1 + \alpha r^2)} \quad 7-33$$

بدین ترتیب با اعمال تغییر متغیر های فوق، معادله ۲۹ به فرم ذیل نوشته شود

$$P_{r0} = \Gamma_{r0} \frac{2l}{S r^2 \pi^2 (1 + \alpha r^2)} \cdot \frac{1}{(1 - \Omega^2 / \omega_r^2) + i \rho_r} \quad 7-34$$

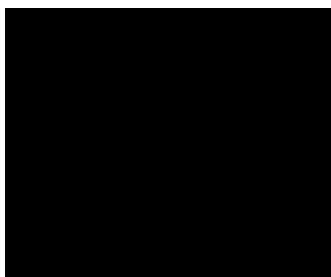
و یا به

عبارت دیگر:

$$P_{r0} = Q \frac{M - iN}{M^2 + N^2} \Gamma_{r0} \quad 7-35$$

که در آن:

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازم



۷-۳۶

حال برای تعیین مقدار نیروی تعمیم یافته لاگرانژ  $\Gamma_r$  فرض میکنیم که نیروی تحریک  $F = F_0 e^{i\Omega t}$  در فاصله از سمت چپ به خط انتقال نیرو اعمال شود. حال با توجه به کار مجازی، داریم:

$$\Gamma_{r0} = F_0 \varphi_r(x_0) \rightarrow \Gamma_{r0} = F_0 \sin\left(\frac{r\pi}{l} x_0\right) \quad 7-37$$

بدین ترتیب با استناد به معادلات ۳۵ و ۱۷ و ۳۷ جابجایی هر نقطه از کابل نسبت نیروی تحریک هارمونیک به صورت ذیل خواهد بود:

$$\begin{aligned} u(x, t) &= u(x) e^{i\Omega t} = \sum_r P_{r0} e^{i\Omega t} \sin\left(\frac{r\pi}{l} x\right) \\ &= \sum_r e^{i\Omega t} Q \frac{M - iN}{M^2 + N^2} F_0 \sin\left(\frac{r\pi}{l} x_0\right) \sin\left(\frac{r\pi}{l} x\right) \end{aligned} \quad 7-38$$

که در آن  $u(x)$  دامنه جابجایی کابل در نقطه است. عبارت  $e^{i\Omega t}$  می تواند گویای این مطلب باشد که دامنه جابجایی هر نقطه از کابل با فرکانس  $\Omega$ ، به طور هارمونیک تغییر خواهد کرد.

لازم به ذکر است که به لحاظ ریاضی برای تعیین مقدار جابجایی خط انتقال، سری بدست آمده در معادله ۳۸ و دیگر معادلات از این دست، باید از  $r=1$  تا  $r=\infty$  هم جمع شوند. اما در عمل می توان سری را تا تعداد محدودی از جمع کرد. اگر فرکانس نیروی تحریک  $\Omega$  منطبق بر یکی از فرکانس های طبیعی سیستم  $\omega_r$  باشد، در این حالت  $P_{r0}$  مقدار برای تمام مقادیر  $r$  غیر از مقدار مربوط به فرکانس تحریک بسیار کوچک خواهد بود. در صورتیکه فرکانس تحریک منطبق بر یکی از فرکانس های طبیعی سیستم نباشد، مقدار فقط برای مقادیر مربوط به دو فرکانس بالاتر و پایین تر

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازم

از قابل ملاحظه خواهد بود. در واقع به عنوان یک معیار سری را می توان تا مقادیری از جمع کرد که برای آنها شرط زیر برقرار باشد:

$$\omega_r \leq 3\Omega$$

۷-۳۹

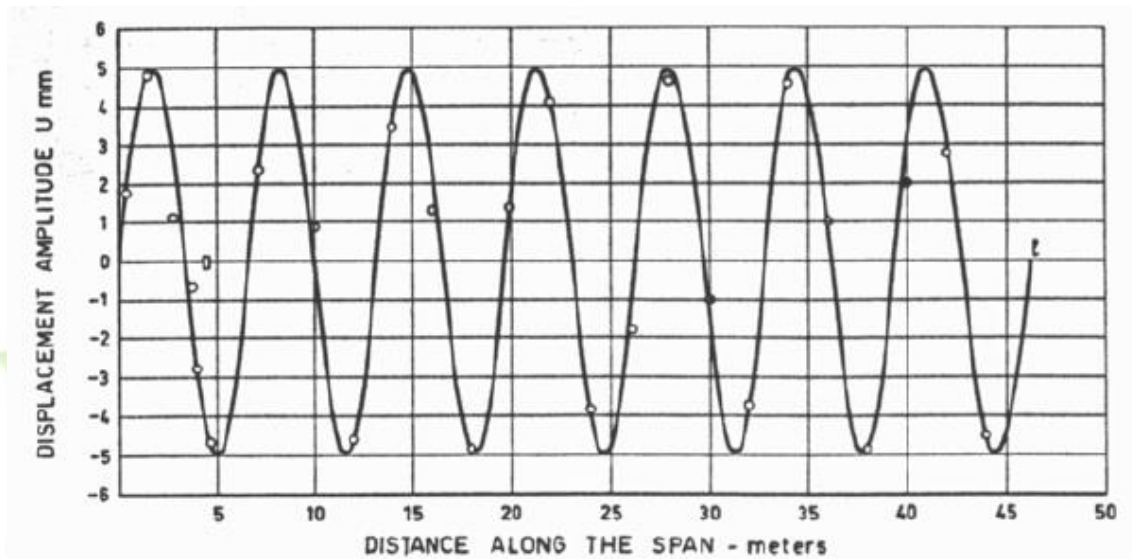
۶-۱-۷: بحث و نتیجه گیری

در بخش نخست پروژه مدل ریاضی پاسخ آزاد خط انتقال نیرو با فرض صلبیت خمشی ثابت در آن، تحلیل و بررسی و از طریق آن مدهای حرکت آزاد خط انتقال نیرو معادله ۸ و فرکانس های طبیعی سیستم خطی معادله ۱۰ بدست آمدند. بعلاوه با توجه به اهمیت صلبیت خمشی در معادلات حاکم و اثر آن در روابط سیستم، مقدار تاثیر صلبیت خمشی در خطوط انتقال نیرو با توجه به نیروی کشش کابل و مد ارتعاشی سیستم بحث و بررسی شد (شکل های ۵ تا ۹) پس از آن جهت شناسایی دقیق تر رفتار خط انتقال نیرو نسبت به محرک هارمونیک خارجی و تطبیق مدل قبلی با واقعیت سیستم های انتقال نیرو، با تعریف تابعی برای میرایی سازه ای سیستم، مدل ریاضی تصحیح و در نهایت با استناد به نتایج بدست آمده از مدل اول و تلفیق آن با مدل جدید، معادلات حرکت لحظه ای و نقطه ای خط انتقال میرا بدون وجود دمپر خارجی تحلیل و بررسی شدند.

تعیین پاسخ لحظه ای هر نقطه از خط انتقال نیرو می تواند مبنای تحقیقات بیشتر در زمینه های دیگر باشد. با توجه به اینکه تحقیقات انجام گرفته در این پروژه، جهت بررسی پاسخ خط انتقال نیرو به تحریک هارمونیک بوده است، می توانیم با گسترش و تعمیم جوابها برای نیروی غیر هارمونیک، مساله را برای نیروی باد با در نظر گرفتن توان ورودی به خط انتقال شبیه سازی کنیم. در شکل های ۱۰ تا ۱۲ تغییر شکل کابل مرتعش در دو فرکانس شدید متفاوت و یک فرکانس میانی غیر شدید نشان داده شده است. خطوط پیوسته از حل تحلیلی و نتایج مساله و نقاط گسسته دایره ای شکل از تست آزمایشگاهی استخراج شده اند. همانطور که اشاره شد هر چه مدهای بالاتر در خط انتقال - در بخش نیرو در نظر گرفته شوند خطای معادلات حرکت بدست آمده، با توجه به

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازم

تعیین صلبیت خمشی از طریق تست آزمایشگاهی، کمتر و نتایج حاصله دقیق تر خواهند بود. به همین علت در این قسمت مد های ارتعاشی ۱۴ م و ۱۵ م خط انتقال نیرو مد نظر قرار گرفته اند. همانطور که دیده می شود نتایج مدل ریاضی برای پاسخ ارتعاشی خط انتقال نیروی مورد آزمایش نه تنها در فرکانسهای تشدید، بلکه در فرکانس غیر تشدید دارای دقتی قابل قبول است. لازم به ذکر است که ماکزیمم خطا بین نتایج تحلیلی و مقادیر آزمایشگاهی حدوداً ۵ می باشد.



شکل ۷-۷ تغییر شکل خط انتقال نیرو به طول ۴۶،۴۳ متر با قطر خارجی کابل ۲۷ میلیمتر، نیروی کشش

داخلی ۲۲۵۰ کیلوگرم نیرو، نیروی تحریک ۵ نیوتن در نقطه ۴،۶۴ متری از سمت چپ،

$\alpha = 0.15 \times 10^{-3}$ ,  $H = 1000 \text{ kg.m}$  فرکانس تحریک  $116 \frac{\text{rad}}{\text{sec}}$  فرکانس مد چهاردهم کابل

## ۷-۲: بررسی نرخ خرابی خطوط انتقال قدرت ناشی از نوسانات عرضی و اثر نصب

### دمپر استاک بریج در کاهش آن

- چکیده

در این پروژه هدف، بررسی و آنالیز نرخ خرابی خطوط هوایی انتقال قدرت در اثر ارتعاشات عرضی ناشی از عوامل طبیعی محیط جغرافیایی باد و برف و همچنین میزان اثرگذاری نصب مناسب دمپر های استاک بریج در کاهش نرخ خرابی خطوط با استفاده از شبیه سازی پارامترها و

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

حرکات واقعی خط انتقال قدرت میباشد. بدین منظور با استفاده از پارامترهای فیزیکی و مکانیکی کابل های فشار قوی خطوط انتقال قدرت - از جمله صلبیت خمشی و کشش طولی - حرکات عرضی این خطوط ناشی از عوامل طبیعی اثرگذار بر خط شبیه سازی شده است. علاوه بر این، برای تحلیل و تعیین میزان اثرگذاری نصب دمپرهای استاک بریج در کاهش نوسانات خط، دینامیک یک دمپر استاک بریج نوع 2-R با تغییر مکان هارمونیک گیره ای که به آن متصل شده است، با هدف بررسی پارامترهای موثر در کاهش نوسانات خط و تعیین نیروی جاذب دینامیکی وارده از طرف دمپر به خط انتقال آنالیز شده است. سپس برای تعیین لزوم نصب مناسب دمپر استاک بریج و میزان اثرگذاری آن در کاهش نوسانات و نرخ خرابی خطوط، با استناد به شبیه سازی خط و دمپر، سیستم با ایده ای نو و با فرض دمپر به عنوان جزئی از دینامیک سیستم مورد بررسی قرار گرفته است. در انتها، جهت تایید شبیه سازی های انجام گرفته، نتایج تحلیلی حاصل از شبیه سازی انجام شده توسط نرم افزار MATLAB با نتایج آزمایشگاهی اقتباس شده از ادبیات فن، مقایسه شده اند. همچنین برای نمایش مقدار کارآمدی و لزوم نصب مناسب دمپر استاک بریج در کاهش نوسانات و نرخ خرابی خطوط، میزان ارتعاشات عرضی خطوط مختلف انتقال قدرت در هنگام نصب دمپر با حالت های بدون دمپر و نصب غیر مناسب مقایسه شده اند.

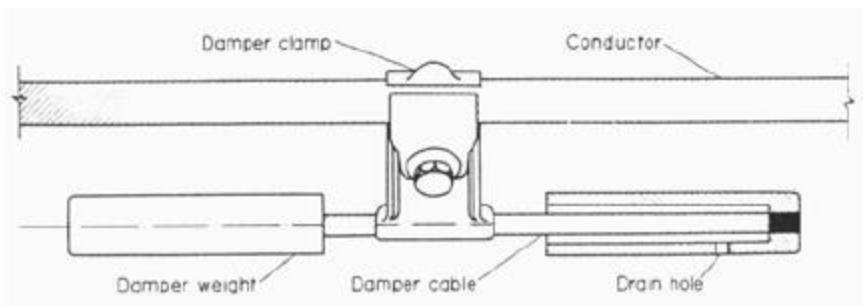
۷-۲-۱: مقدمه

اولین نکته در طراحی خطوط هوایی انتقال نیرو، مشخصات الکتریکی و هزینه لازم برای احداث شبکه می باشد. با توجه به هزینه بالا و مدت زمان طولانی احداث شبکه در نظر گرفتن عوامل مکانیکی موثر در کاهش و یا افزایش نرخ خرابی خطوط، به لحاظ حفظ شبکه در برابر عوامل تخریب کننده طبیعی بسیار حائز اهمیت خواهد بود. به عبارت دیگر یک خط انتقال به لحاظ مکانیکی باید در مقابل بدترین شرایط آب و هوایی که احتمال وقوع آن در منطقه نصب خط می رود، استقامت لازم و کافی را داشته باشد. در بین عوامل مخرب خطوط هوایی، نوسانات ناشی از

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آر م سایت و به همراه فونت های لازمه

باد، باران، برف از مهمترین و شایع ترین عوامل تخریب کننده خطوط می باشند. نوسانات عرضی آئولین پیش بینی نشده در این کابل ها بسیار نگران کننده و مخرب است، چرا که باعث تنش های بسیار زیاد و در نتیجه پارگی کابل و فرسودگی خستگی مکانیکی در کابل های هوایی خطوط نیرو و همچنین باعث اتصال و به هم خوردن کابل ها و یا سقوط دکل ها می شود. عامل اصلی ایجاد لرزش آئولین در خطوط هوایی انتقال را می توان برخورد جریان پایای باد به خط انتقال قدرت و وجود گردابه هایی دانست که در پشت کابل تشکیل و منجر به تولید نیروهای نوسانی در جهت عمود بر جریان و فشار متناوب بر طرفین کابل و در نهایت حرکت تناوبی کابل می شوند. ارتعاشات آئولین بدون وابستگی به تعداد خطوط عبوری و حتی گاهی سرعت باد در همه حالات وجود دارد که در تمامی خطوط منفرد و جفتی و در محدوده فرکانسی ۱۰-۱۰۰ هرتز مشاهده شده است. البته این ارتعاشات در اثر جریان پایدار باد با سرعت 1-8 m/s در محدوده فرکانسی ۵-۵۰ هرتز رخ می دهد. دامنه ارتعاشات عرضی خطوط نیرو با توجه به شرایط فوق حدود ۰،۰۱ قطر کابل تا یک قطر کابل گزارش شده است.

اغلب روش های مورد استفاده برای کاهش نرخ خرابی های ناشی از خستگی در کابل های خطوط انتقال نیرو، در اثر ارتعاشات عرضی، بر مبنای جذب انرژی مکانیکی انتقال یافته توسط نیروی باد به خط صورت می گیرد که با بکارگیری و نصب دمپر های دینامیکی در محل مناسب از یک یا دو سر مقره تحقق می یابد که متداول ترین آنها دمپر استاک بریج می باشد. شکل ۷-۸



شکل ۷-۸ دمپر استاک بریج و اجزای آن

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

این نوع میراکننده یک سیستم جرم و فنر است که از طریق تنظیم کردن طول کابل فولادی کشسان و یا وزن جرم های متصل شده به آن می تواند با فرکانس ارتعاش القاء شده به وسیله جریان، تون هماهنگ شود. هنگام نوسان خطوط انتقال نیرو در اثر عوامل خارجی، مثل باد، نوسانات از طریق کابل خط انتقال به گیره دمپر انتقال یافته و از طریق آن، کابل فولادی دمپر و دو جرم متصل به آن نوسان می کنند. انرژی در دمپر استاک بریج با تبدیل انرژی جنبشی ناشی از نوسان به انرژی حرارتی - در اثر اصطکاک بین رشته های کابل فولادی - تلف می شود. حال اگر میزان دفع انرژی توسط هادی و جاذب دینامیکی نصب شده بر روی خط بیشتر از میزان انرژی ورودی توسط باد باشد، دامنه نوسانات سیستم به میزان بیشتری کاهش خواهد یافت.

در همین راستا در سال ۱۹۷۸ دوتارد و همکارانش نوسانات خطوط هوایی را به هم راه جاذب های نوع بررسی کردند. هاگدرون در سال ۱۹۸۲ مدل ریسمان نامتناهی را برای ارتعاشات یک خط انتقال برق به همراه جاذب متصل در ابتدای آن در نظر گرفت. در سال ۱۹۷۳ مایرسکو استفاده از معادله موج غیر خطی مرتبه دوم، ارتعاش صرفاً عمودی را مدل کرد و جواب را به فرم سری بدست آورد. در سال ۱۹۷۲ نواک یک مدل چند درج آزادی را برای ارتعاشات صرفاً عمودی ارائه کرد که در آن از معادله عمودی حرکت برای هر مود استفاده شده بود. در سال ۱۹۷۴ آلنوت و همکارانش ارتعاشات خطوط انتقال نیرو را با مدل سازی یک دمپر دینامیکی به صورت جرم و فنر میراکننده بررسی کردند و در نهایت محدوده کارکرد مفید دمپر استاک بریج بر روی خط انتقال را تعیین کردند. اما نکته حائز اهمیت در نظر نگرفتن صلبیت خمشی و میرایی سازه ای کابل در مدل های ارائه شده تا کنون است.

در این پروژه هدف بررسی و آنالیز ارتعاشات عرضی سیستم مرکب کابل و دمپر با نگاهی نو و روشی کاملاً متفاوت نسبت به آنچه تا کنون انجام شده می باشد. بدین منظور ابتدا با استناد به مدل ریاضی ارتعاشات اجباری عرضی خط انتقال بدون دمپر و سپس از طریق بررسی دینامیک دمپر استاک بریج به عنوان یک سیستم دو درجه آزادی و آنالیز مودهای ارتعاشی، نیروی وارد از طرف

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

دمپر به خط انتقال ناشی از حرکت هارمونیک گیره دمپر بدست آمده است که در نهایت با استناد به دو تحلیل انجام شده، نوسانات آئولین خط به همراه یک یا چند دمپر استاک بریج، با در نظر گرفتن دمپر ها به عنوان جزئی از دینامیک سیستم، شبیه سازی شده است.

۷-۲-۲: شبیه سازی خط انتقال قدرت بدون دمپر استاک بریج

معادلات حرکت آزاد خط انتقال و فرکانس طبیعی سیستم به صورت زیر قابل تعریف است:

$$\omega_r^2 = \left(\frac{r\pi}{l}\right)^2 \cdot \frac{S}{m} \left[1 + \left(\frac{r\pi}{l}\right)^2 \frac{E_c I_c}{S}\right]$$

$$u_r(x, t) = A_r \sin\left(\frac{r\pi x}{l}\right) \sin(\omega_r t + \beta_r) \quad ۷-۴۰، ۴۱$$

که در آن  $E_c I_c$  صلبیت خمشی کابل،  $S$  نیروی کشش طولی کابل،  $m$  جرم واحد طول کابل،  $l$  طول کابل و  $u$  حرکت عرضی کابل است. البته در معادلات ۷-۴۰ و ۷-۴۱ مقدار صلبیت خمشی کابل و نحوه تعیین آن بسیار حائز اهمیت است، چرا که روش های تحلیلی در کابل های رشته ای غالباً با دقت کافی همراه نمی باشند، زیرا در این کابل ها هنگام خمش، رشته هایی که در سمت کشش می باشند ممکن است جابجا شوند و رشته هایی که در سمت فشار می باشند ممکن است کمابش کنند. در مرجع روشی آزمایشگاهی جهت تعیین صلبیت خمشی کابل رشته ای خطوط هوایی انتقال ارائه شده است.

نتایج حاصل از شبیه سازی های انجام شده توسط این روش بیانگر این است که در این خطوط هر چه طول و نیروی کششی کابل بیشتر و مود ارتعاشی بالاتری از خط در نظر گرفته شود، خطای روش آزمایشگاهی پیشنهاد شده و اثر در نظر گرفتن صلبیت خمشی در معادلات ۷-۴۰ و ۷-۴۱ کاهش پیدا می کند.

با توجه به اینکه حرکت کلی سیستم، متشکل از مجموع حرکت مود های ارتعاشی آن است، پاسخ لحظه ای هر نقطه از کابل به صورت زیر بدست می آید:

$$u(x, t) = \sum_r P_r(t) \varphi_r(x) \quad ۷-۴۲$$



برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آر م سایت و به همراه فونت های لازمه

با توجه به مختصات تعمیم یافته تعریف شده برای تعیین پاسخ لحظه ای هر نقطه از کابل، با تعیین مقدار کل انرژی جنبشی، پتانسیل و انرژی تلف شده ناشی از میرایی سازه کابل، معادله حرکت سیستم تحت اثر نیروی تحریک هارمونیک خارجی  $F = F_0 \cdot e^{i\Omega t}$  که در فاصله  $x_0$  از سمت چپ به خط انتقال نیرو اعمال می شود، به صورت زیر بدست می آید:

$$u(x,t) = u(x) \cdot e^{i\Omega t} = \sum_r P_{r0} e^{i\Omega t} \sin\left(\frac{r\pi}{l} x\right) \quad 7-43$$

که در آن:

$$P_{r0} = Q \frac{M - iN}{M^2 + N^2} F_0 \sin\left(\frac{r\pi}{l} x_0\right) \quad 7-44$$

$$\left[ \begin{array}{l} Q = \frac{2l}{Sr^2 \pi^2 (1 + \alpha r^2)}, \alpha = \frac{E_c I_c}{Sl^2} \\ N = \rho_r = \frac{h_r l^2}{Sr^2 \pi^2 (1 + \alpha r^2)} \\ M = 1 - \Omega^2 / \omega_r^2, h_r = \frac{\bar{c}}{(\pi l / 2)} \lambda_r^{-3} \end{array} \right. \quad 7-45$$

و  $\Omega$  فرکانس تحریک نیروی خارجی در فاصله  $x_0$  از سمت چپ کابل و  $h_r$  میرایی سازه ای مود  $r$  ام کابل است.

۷-۲-۳: تحلیل دینامیک دمپر استاک بریج و تعیین نیروی دینامیکی اعمال شده از طرف دمپر به کابل

جهت شبیه سازی دمپر و تعیین نیروی وارده از طرف آن به خط انتقال، ابتدا با استناد به یک مدل دو درجه آزادی برای دمپر نوع 2-R که میرایی سازه ای ندارد، مساله را برر سی کرده و سپس با استفاده از آنالیز مودهای ارتعاشی، سیستم مفروض را به دو سیستم یک درجه آزادی - که هر یک

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

بیانگر خصوصیات یکی از درجات آزادی دمپر است- تفکیک می کنیم. بدین ترتیب اثر دینامیکی و نیرویی هر یک از مودهای ارتعاشی دمپر بر روی خط انتقال نیرو کاملاً مشخص می شود. تحلیل و آنالیز دمپر با این روش دو مزیت عمده خواهد داشت:

با استفاده از آن می توان به تحلیل دینامیک مجموع دمپر و خط انتقال نیرو دست پیدا کرد. این نوع آنالیز بهترین توضیح را در خصوص پارامترهای موثر دمپر در کاهش نرخ خرابی سیستم بیان می کند.

توان جذب شده توسط یک دمپر حقیقی، مجموع توان های جذب شده توسط دو مود ارتعاشی آن است. این کار هر چند به اندازه کافی دقیق است ولیکن وقتی می خواهیم نیروی وارد شده از طرف دمپر حقیقی به کابل را در فرکانس های مختلف بدست آوریم، استفاده از مجموع نیروهای اعمالی از طرف مودهای طبیعی دمپر، کمی با آنچه از تست های آزمایشگاهی بدست می آید متفاوت خواهد بود. بنابراین برای دستیابی به روش تحلیلی مناسب، دمپر استاک بریج را با دو درجه آزادی مورد بررسی قرار می دهیم. از آنجاییکه دمپر مورد بررسی از نوع مقارن است، می توان فرض کرد که دو نیمه متصل به گیره دارای یک خواص فیزیکی و هندسی هستند. در واقع می توانیم مطالعه خود را به یک سیستم یک سرگیر دار با جرم متمرکز که می تواند حرکات عرضی و دورانی داشته باشد- همانند شکل ۷-۸ محدود کنیم. بدین ترتیب با استناد به شکل های ۷-۹ و ۷-۱۰ که بیانگر مودهای ارتعاشی دمپر هستند، می توان معادلات حرکت سیستم دو درجه آزادی دمپر را با فرض حرکت هارمونیک گیره دمپر  $u_a = U_a \sin(\Omega t)$  به صورت زیر بدست آورد:

$$\left\{ \begin{array}{l} M \ddot{x}_a + \frac{h_{xx}}{\Omega} \dot{x}_a + k_{xx} x_a - GM \ddot{\phi}_a - \frac{h_{x\phi}}{\Omega} \dot{\phi}_a \\ \quad - k_{x\phi} \phi_a = \frac{h_{xx}}{\Omega} \dot{u}_a + k_{xx} u_a \\ J_a \ddot{\phi}_a + \frac{h_{\phi\phi}}{\Omega} \dot{\phi}_a + k_{\phi\phi} \phi_a - GM \ddot{x}_a - \frac{h_{\phi x}}{\Omega} \dot{x}_a \\ \quad - k_{\phi x} x_a = -\frac{h_{\phi x}}{\Omega} \dot{u}_a - k_{\phi x} u \end{array} \right.$$

۷-۴۶

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آر سایت و به همراه فونت های لازمه

که در آن:

$\times$  مرکز ثقل جرم متصل شده به کابل فولادی،

$\times$  نقطه انتهایی اتصال کابل به جرم متمرکز دمپر،

$\times$  جرم متمرکز دمپر،

$\times$   $J_a$  ممان اینرسی جرم  $M$  حول نقطه  $o'$

$\times$   $J_o$  ممان اینرسی جرم  $M$  حول نقطه  $o$

$\times$   $L$  طول کابل دمپر،

$\times$   $G$  فاصله بین دو نقطه  $o$  و  $o'$

$\times$   $x_a$  تغییر مکان عمودی نقطه  $o'$

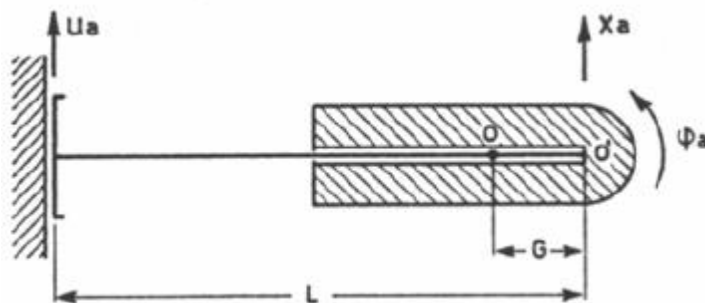
$\times$   $\phi_a$  زاویه چرخش جرم  $M$

$\times$   $k_{xx}$  مقدار نیروی ایجاد شده در راستای حرکت عمودی در نقطه  $o'$  وقتی که  $x_a = 1$  و  $\phi_a = 0$  باشد،

$\times$   $k_{\phi\phi}$  گشتاور ایجاد شده در اثر چرخش واحد  $\phi_a$  در حالیکه  $x_a = 0$  و

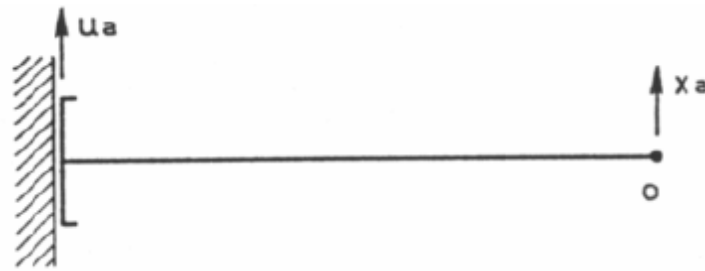
$\times$   $k_{x\phi}$  مقدار نیروی ایجاد شده در راستای حرکت عمودی در نقطه  $o'$  است وقتی که  $\phi_a$  چرخش

یک واحد بوده و  $x_a = 0$  باشد  $o'$  است وقتی که چرخش  $\phi_a$  یک واحد بوده و  $x_a = 0$  باشد



شکل ۷-۹ شکل شماتیک دمپر استاک بریج و تغییر مکان اجزای اصلی آن

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت **ویکی پاور** مراجعه کنید. فاقد آر م سایت و به همراه فونت های لازمه



شکل ۷-۱۰ مود اول حرکت دمپر



شکل ۷-۱۱ مود دوم حرکت دمپر

با استناد به معادلات حرکت دمپر و در نظر گرفتن  $x_a = X.e^{j\omega t}$  و  $\varphi_a = \Phi.e^{j\omega t}$  برای حرکات عرضی و پیچشی دمپر، فرکانس های طبیعی دمپر به صورت زیر بدست می آید:

$$\omega_{1,2} = 2k \frac{(1/3)L^2 M + J_a - LGM \pm \dots}{MJ_a - M^2 G^2}$$

$$\frac{\sqrt{[(1/3)L^2 M + J_a - LGM]^2 - (1/3)L^2 (MJ_a - M^2 G^2)}}{MJ_a - M^2 G^2}$$

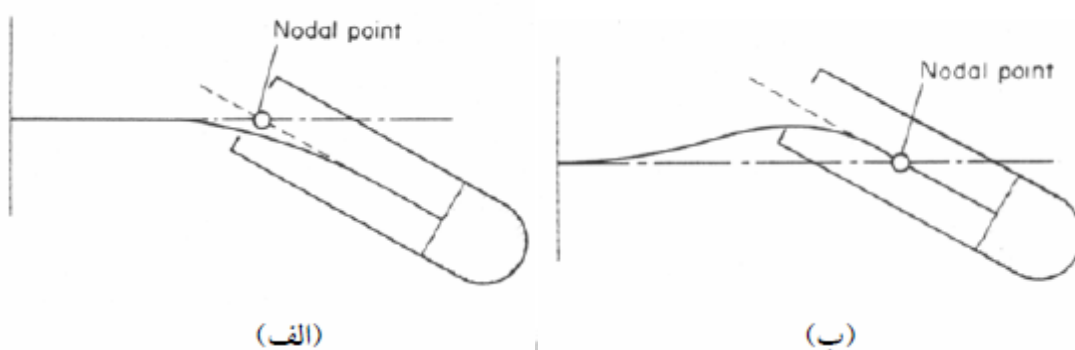
۷-۴۷

نتایج تست های آزمایشگاهی بیانگر اینست که:

نسبت  $\frac{\omega_1}{\omega_2}$  در معادله ۷-۴۵ حدود ۳ تا ۵ می باشد و علاوه بر آن مود اول ارتعاش با حرکت عمودی مرکز ثقل جرم  $M$  متمرکز دمپر، و حرکت ناچیز چرخشی آن و مود دوم ارتعاش با چرخش جرم متمرکز دمپر حول مرکز ثقلش و اغلب بدون حرکت عمودی همراه است. به عبارت دیگر به طور تقریبی می توان مود اول ارتعاش را با حرکت عرضی یک تیر یک سر گیر دار به همراه جرم متمرکز متصل شده به انتهای آن شبیه سازی کرد و به طور مشابه مود دوم ارتعاشی را با حرکت یک تیر یک سر گیر دار که انتهای آن یک دیسک نصب شده باشد به طوریکه دیسک

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازم

بتواند حول مرکز ثقل وزنه دوران کند -شبیبه سازی کرد حال با توجه به اینکه معادله حرکت ارتعاشی سیستم دو درجه آزادی دمپر استاک بریج و فرکانس های طبیعی آن بدست آمده است، با استناد به اصل تعامد مود های ارتعاشی می توانیم سیستم مورد نظر را به دو سیستم یک درجه آزادی تبدیل کنیم تا از این اثر دینامیکی هر یک از مودها و نیروی وارده از طرف دمپر بر روی خط انتقال نیرو کاملاً مشخص شود.



شکل ۷-۱۲ مدهای سیستم دو درجه آزادی دمپر.

الف: (مود اول) - ب: (مود دوم)

بدین ترتیب با توجه به دستگاه معادلات حرکت دمپر، نیروی منتقل شده ناشی از حرکت هارمونیک

گیره دمپر به خط انتقال نیرو با صرف نظر از ممان اینرسی گیره دمپر و با فرض  $u_a = U_a \sin(\Omega t)$

و  $x_a = X.e^{i\alpha} e^{i\Omega t}$  و  $\phi_a = \Phi.e^{i\beta} e^{i\Omega t}$  که در آن  $\alpha$  و  $\beta$  به ترتیب اختلاف فاز  $x_a$  و  $\phi_a$  نسبت به  $u_a$

می باشند، به صورت زیر بدست می آید:

$$F_a = 2MU_a \Omega^2 \frac{A+iB}{C}$$

۷-۴۸

که در آن پارامترها به صورت زیر تعریف شده اند:

$$A = -K_{xx} \gamma^2 M^3 \Omega^6 + \gamma [(1 + \mu^2) K_{xx} c + (1 - \mu^2) e].$$

$$M^2 \Omega^4 - e(1 + \mu^2)(c + \gamma K_{xx}) M \Omega^2 + (1 + \mu^2)^2 e^2$$

$$B = -M \mu \Omega^2 [K_{xx} \gamma^2 M^2 \Omega^4 - 2e \gamma M \Omega^2 + e(1 + \mu^2)(c - \gamma K_{xx})]$$

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازم

$$C = \gamma^2 M^4 \Omega^8 - 2\gamma M^3 c \Omega^6 - 2ec(1 + \mu^2)M\Omega^2 + (1 + \mu)^2 e^2 + [(1 + \mu^2)c^2 + (1 - \mu^2)2e\gamma]M^2\Omega^4$$

و همچنین:

$$\left[ \begin{array}{l} \gamma = \frac{J_a}{MG^2} - 1, k_{xx} = K_{xx}, k_{\phi\phi} = 4k, h_{xx} = 4h \\ c = K_{xx}(1 + \gamma) + K_{\phi\phi} - 2K_{\phi x}, \quad \frac{k_{x\phi}}{G} = K_{x\phi} \\ k_{\phi x} = 2kL, h_{\phi\phi} = \frac{4hL^2}{3}, h_{x\phi} = 2hL, \frac{h}{k} = \mu \\ e = K_{\phi\phi} - K_{xx}K_{\phi x}^2, \frac{k_{\phi\phi}}{G^2} = K_{\phi\phi}, k_{\phi\phi} = \frac{4kL^2}{3} \end{array} \right.$$

۷-۴۹

۷-۲-۴: شبیه سازی خط انتقال به همراه دمپر استاک بریج

برای شبیه سازی خط انتقال قدرت به همراه دمپر نصب شده بر روی آن و بدست آوردن پاسخ سیستم مرکب و تعیین ماکزیمم دامنه ارتعاش کابل و دمپر دو روش مجزا می توان در نظر گرفت. روش اول، روشی است که در آن دمپر به عنوان نیروی تحریک خارجی برای کابل در نظر گرفته می شود و در روش دوم دمپر به عنوان بخشی از دینامیک سیستم فرض خواهد شد و بر خلاف روش اول، به جای اثرات نیرویی و دینامیکی، تمامی پارامترهای موثر دمپر به طور مستقیم وارد تحلیل می شوند. در این جا مساله را با استناد به مزایای روش دوم تحلیل و بررسی می کنیم.

برای یک کابل رشته ای بدون دمپر خارجی، ماکزیمم دامنه ارتعاشی در فرکانس تشدید رخ می دهد و یا به عبارت دیگر در فرکانس های مربوط به مودهای اصلی ارتعاش. به همین ترتیب نیز برای یک کابل رشته ای کشیده شده به همراه یک یا چند دمپر خارجی نصب بر روی آن، ماکزیمم دامنه ارتعاش در فرکانس تشدید رخ می دهد. البته بسیار واضح است که این فرکانس های تشدید با فرکانس های تشدید فقط یک کابل رشته ای بدون دمپر فرق خواهد داشت، چرا که هم وزن سیستم به علت افزوده شدن دمپر به آن تغییر کرده است و هم دینامیک سیستم. بدین جهت لازم است با استفاده از یک روش تحلیلی، فرکانس های تشدید سیستم مرکب کابل و دمپر بدست آیند.

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آر م سایت و به همراه فونت های لازمه

فرض کنیم که نیروی تحریک  $F = F_0 e^{i\Omega t}$  در نقطه  $x_0$  از سمت چپ کابل به آن اعمال می شود. حال با فرض نصب یک دمپر در فاصله  $l_1$  از سمت چپ مقره و  $l_2$  از سمت راست مقره و با استناد به معادله حرکت ارتعاشی سیستم، فرکانس طبیعی سیستم مرکب به صورت زیر محاسبه می شود:

$$S\omega \sqrt{\frac{m}{S}} \sin \omega \sqrt{\frac{m}{S}} \frac{l_1+l_2}{l} - \sin \omega \sqrt{\frac{m}{S}} l_1 \cdot \sin \omega \sqrt{\frac{m}{S}} l_2 (B_2 \frac{A}{C} + \omega^2 M_2) = 0 \quad 7-50$$

از طریق حل معادله مشخصه سیستم مرکب خط هوایی شبکه انتقال و دمپر، مقادیر فرکانس های طبیعی سیستم مورد نظر به طور کامل تعیین میشوند. به عبارت دیگر بی شمار مقدار  $\omega$  ایی که این معادله را ارضاء می کنند، هر کدام یک فرکانس تشدید سیستم خواهند بود که در طراحی خط با توجه به شرایط آب و هوایی باید در نظر گرفته شوند.

با استناد به مدهای اصلی ارتعاشی سیستم و با معرفی مختصات اصلی سیستم مرکب:

$$\begin{cases} \Phi_r(x_1) = \sin \omega_r \sqrt{\frac{m}{S}} x_1 \\ \Phi_r(x_2) = H_r \sin \omega_r \sqrt{\frac{m}{S}} x_2 \\ H_r = \frac{B_{r2}}{B_{r1}} \end{cases} \quad 7-51$$

$$P_r(t) = \sin(\omega_r t + \beta_r) \quad 7-52$$

می توان انرژی های جنبشی، پتانسیل و تلف شده سیستم مرکب کابل و دمپر را به صورت تابعی از مختصات اصلی سیستم بدست آورد. لازم به ذکر است که با توجه به اصل تعامد مدهای ارتعاشی در سیستم های ممتد بدون میرایی، کل انرژی در حین حرکت سیستم عبارتست از مجموع انرژی هر یک از مدها.

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

انرژی جنبشی سیستم مرکب عبارتست از مجموع انرژی های جنبشی کابل دمپر استاک بریج  $T_a$  و جرم گیره دمپر  $T_M$  که دمپر را به کابل اتصال داده است. به عبارت دیگر:

$$T = \sum_{r=1}^{\infty} (T_{cr} + T_{ar} + T_{Mr}) \quad ۷-۵۳$$

که در آن:

$$T_{cr} = \frac{1}{4} m \sum_1^{\infty} \dot{P}_r^2(t) \left[ \begin{array}{l} l_1 + H_r^2 l_2 - \frac{1}{2\omega_r} \sqrt{\frac{S}{m}} \\ (\sin 2\omega_r \sqrt{\frac{m}{S}} l_1 + H_r^2 \sin 2\omega_r \sqrt{\frac{m}{S}} l_2) \end{array} \right]$$

$$T_{ar} = M \left[ \begin{array}{l} \left( \frac{e - MD_0 \omega_r^2 + M\omega_r^2 T_0}{\gamma M^2 \omega_r^4 - M\omega_r^2 c + e} \right)^2 + \\ \left( \frac{M\omega_r T_0}{\gamma M^2 \omega_r^4 - M\omega_r^2 c + e} \right)^2 \frac{J_a}{MG^2} \end{array} \right]$$

$$\dot{P}_r^2(t) \sin^2 \omega_r \sqrt{\frac{m}{S}} l_1, T_{Mr} = \frac{M_2 \dot{P}_r^2(t) \sin^2 \omega_r \sqrt{\frac{m}{S}} l_1}{2}$$

$$D_0 = k_{xx} \left[ (1 + \gamma) - \frac{l}{2} G \right]$$

$$T_0 = \left[ 1 - \frac{l}{2} G \right]$$

انرژی پتانسیل سیستم مرکب عبارتست از مجموع انرژی های پتانسیل کابل  $V_c$  و دمپر استاک بریج  $V_a$  به عبارت دیگر:

$$V = \sum_{r=1}^{\infty} (V_{cr} + V_{ar}) \quad ۷-۵۴$$

که در آن:



برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

$$V_{cr} = \frac{1}{4} S P_r^2(t) \left[ \begin{array}{l} l_1 + H_r^2 l_2 - \frac{1}{2\omega_r} \sqrt{\frac{S}{m}} \\ (\sin 2\omega_r \sqrt{\frac{m}{S}} l_1 + H_r^2 \sin 2\omega_r \sqrt{\frac{m}{S}} l_2) \end{array} \right]$$

$$V_{ar} = P_r^2(t) \sin^2 \omega_r \sqrt{\frac{m}{S}} l_1 \cdot \left[ k_{xx} \left( \frac{e - MD_0 \omega_r^2}{\gamma M^2 \omega_r^4 - M \omega_r^2 c + e} - 1 \right)^2 + \right. \\ \left. 2k_{\phi x} \left( \frac{M \omega_r^2 T_0}{G[\gamma M^2 \omega_r^4 - M \omega_r^2 c + e]} \right) \cdot \left( \frac{e - MD_0 \omega_r^2}{\gamma M^2 \omega_r^4 - M \omega_r^2 c + e} - 1 \right) \right. \\ \left. + k_{\phi\phi} \left( -\frac{M \omega_r^2 T_0}{G[\gamma M^2 \omega_r^4 - M \omega_r^2 c + e]} \right)^2 \right]$$

انرژی تلف شده سیستم مرکب عبارتست از مجموع انرژی های تلف شده کابل  $D_c$  و دمپر استاک بریج  $D_a$ . به عبارت دیگر:

$$D = \sum_{r=1}^{\infty} (D_{cr} + D_{ar})$$

۷-۵۵

که در آن:

$$D_{cr} = \frac{1}{4} \frac{h_r}{\Omega} \dot{P}_r^2(t) \left[ \begin{array}{l} l_1 + H_r^2 l_2 - \frac{1}{2\omega_r} \sqrt{\frac{S}{m}} \\ (\sin 2\omega_r \sqrt{\frac{m}{S}} l_1 + H_r^2 \sin 2\omega_r \sqrt{\frac{m}{S}} l_2) \end{array} \right]$$

$$D_{ar} = \frac{\dot{P}_r^2(t)}{2\Omega} \sin^2 \omega_r \sqrt{\frac{m}{S}} l_1 \cdot \left[ h_{xx} \left( \frac{e - MD_0 \omega_r^2}{\gamma M^2 \omega_r^4 - M \omega_r^2 c + e} - 1 \right)^2 - \right. \\ \left. 2h_{\phi x} \left( -\frac{M \omega_r^2 T_0}{G[\gamma M^2 \omega_r^4 - M \omega_r^2 c + e]} \right) \cdot \left( \frac{e - MD_0 \omega_r^2}{\gamma M^2 \omega_r^4 - M \omega_r^2 c + e} - 1 \right) \right. \\ \left. + h_{\phi\phi} \left( -\frac{M \omega_r^2 T_0}{G[\gamma M^2 \omega_r^4 - M \omega_r^2 c + e]} \right)^2 \right]$$

با وجود مقادیر انرژی های جنبشی، پتانسیل و تلف شده سیستم مرکب کابل و دمپر، با استفاده از معادله لاگرانژ محاسبه تغییر مکان کابل نسبت به هر نیروی تحریک هارمونیک و یا غیرهارمونیک که توسط سری فوریه قابلیت تبدیل به نیروهای هارمونیک را داشته باشد، امکان پذیر است.

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت **ویکی پاور** مراجعه کنید. فاقد آر م سایت و به همراه فونت های لازمه

بدین ترتیب با استفاده از معادله لاگرانژ و تغییر متغیرهای زیر و با جایگذاری معادلات ۵۳ و ۵۴ و ۷-۵۵ در معادله فوق داریم:

$$\frac{d}{dt} \left( \frac{\partial T}{\partial \dot{P}_r} \right) + \frac{\partial V}{\partial P_r} + \frac{\partial D}{\partial \dot{P}_r} = \Gamma_r \quad 7-56$$

$$\begin{cases} m_r^* = \frac{2(T_{cr} + T_{ar} + T_{Mr})}{\dot{P}_r^2} \\ h_r^* = \frac{2(D_{cr} + D_{ar})}{\dot{P}_r^2} \Omega \\ k_r^* = \frac{2(V_{cr} + V_{ar})}{P_r^2} \end{cases}$$

7-57

$$\ddot{P}_r m_r^* + \dot{P}_r \frac{h_r^*}{\Omega} + P_r k_r^* = \Gamma_r \quad 7-58$$

7-58

که در آن  $\Gamma_r$  عبارتست از نیروی تعمیم یافته که با توجه به مختصات تعمیم یافته و نحوه اثر نیروی خارجی بر سیستم و با استناد به کار مجازی و با فرض  $\Gamma_r = \Pi_r \cdot e^{i\Omega t}$  و  $P_r = P_r \cdot e^{i\Omega t}$  به صورت زیر بدست می آید:

$$P_r = \Pi_r \frac{k_r^* - m_r^* \Omega^2 + ih_r^*}{(k_r^* - m_r^* \Omega^2)^2 + h_r^{*2}}$$

7-59

و با توجه به مختلط بودن  $P_r$  داریم:

$$\text{Re} = \frac{k_r^* - m_r^* \Omega^2}{(k_r^* - m_r^* \Omega^2)^2 + h_r^{*2}} \quad \text{Im} = \frac{h_r^*}{(k_r^* - m_r^* \Omega^2)^2 + h_r^{*2}}$$

7-60

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت **ویکی پاور** مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

$$\Pi_r = F_0 \Phi_r(x_0) \quad ۷-۶۱$$

در نهایت با استناد به معادلات مذکور و مختصات تعمیم یافته تعریف شده، تغییر مکان هر نقطه از طول کابل به صورت زیر محاسبه خواهد شد:

$$\begin{cases} U(x) = \sum_1^{\infty} r \Phi_r(x) F_0 \Phi_r(x_0) (\text{Re} - i \text{Im}) \\ u(x, t) = U(x) e^{i\Omega t} \end{cases} \quad ۷-۶۲$$

۷-۲-۵: بحث و نتیجه گیری

تعیین پاسخ لحظه ای هر نقطه از سیستم مرکب خط انتقال نیرو و دمپر استاک بریج و تعیین ماکزیمم دامنه ارتعاشات می تواند بسیار حائز اهمیت و کاربردی در زمینه کاهش نرخ خرابی خطوط هوایی و شبکه های توزیع باشد. با توجه به اینکه تحقیقات انجام گرفته در این پروژه، جهت بررسی پاسخ سیستم مرکب خط هوای انتقال و دمپر استاک به تحریک هارمونیک بوده است، می توان با گسترش و تعمیم جواب ها برای نیروهای غیرهارمونیک، مساله را برای نیروی باد با داشتن تابع و پروفیل نیرو و با استفاده از بسط سری فوریه و یا با در نظر گرفتن توان ورودی از طرف باد به خط انتقال، براحتی شبیه سازی کرد. از خصوصیات دیگر شبیه سازی انجام شده می توان به قابلیت بسط مدل برای دو یا چند دمپر بر روی سیستم اشاره کرد.

حال برای نمایش صحت شبیه سازی سیستم مرکب کابل و دمپر و مقدار کارایی مدل در تعیین حرکات واقعی خط انتقال با وجود دمپر استاک بریج، ابتدا نتایج تحلیلی حاصل از شبیه سازی انجام شده بر اساس تئوری ارائه شده توسط نرم افزار MATLAB برای یک سیستم مرکب با خصوصیات معلوم را با داده های آزمایشگاهی یک مدل مشابه مطالعاتی و با نتایج تئوری مرجع مقایسه می کنیم. سپس برای نمایش مقدار کارآمدی نصب مناسبت دمپر در کاهش نوسانات خطوط هوایی انتقال نیرو، نتایج شبیه سازی دامنه نوسانات خط برای یک سیستم بدون دمپر با

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

نتایج سیستم های شامل یک و دو دمپر مقایسه شده است که در تمامی تست ها و آزمایشات خصوصیات فیزیکی و مکانیکی کابل، نیروی تحریک و دمپر شبیه سازی شده به شرح زیر است:

خط انتقال نیرو به طول ۴۶،۴۳ متر با قطر خارجی کابل ۲۹،۹۷ میلیمتر ACSR جرم واحد طول کابل  $H = 9810 N.m$ ،  $1.47 kg/m$  نیروی تحریک 5N در نقطه ۴،۶۴ متری از سمت چپ  $S = 22072.5 N$  و  $\alpha = 0.15 \times 10^{-3}$ .

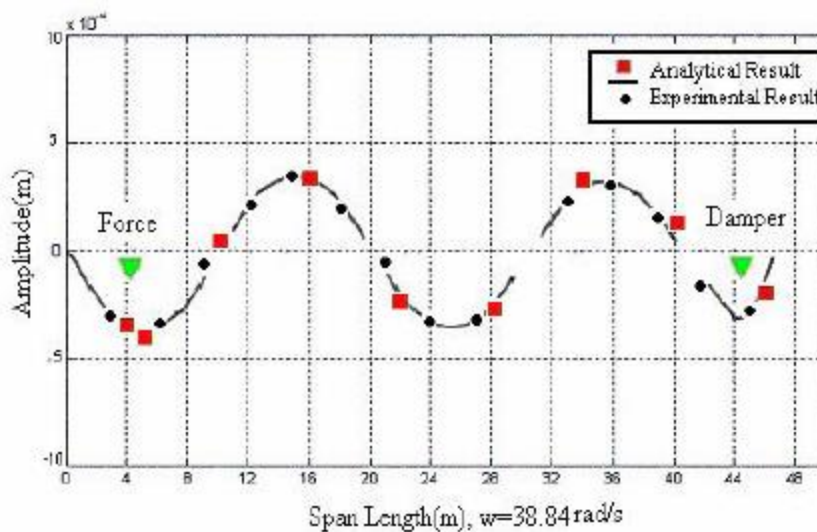
شکل های ۷-۱۴ و ۷-۱۳ منحنی تغییرات دامنه نوسانات سیستم مرکب کابل و دمپر را در دو فرکانس مختلف نشان می دهد.

در این شکل های علامت مقادیر بدست آمده از مدل مرجع دمپر به عنوان جزئی از دینامیک سیستم علامت • مقادیر موجود تست های آزمایشگاهی و خطوط پیوسته نتایج حاصل از شبیه سازی مدل سیستم معادله توسط نرم افزار MATLAB می باشد. با بررسی شکل ها، مشاهده می شود که بین نتایج حاصله از روش تحلیلی در نظر گرفته شده در این پروژه و مقادیر آزمایشگاهی و همچنین مقادیر مدل مرجع تفاوت چندانی وجود نداشته و ماکزیمم خطا، کمتر از ۱۰٪ است.

در ادامه برای نمایش کارآمدی نصب دمپر در کاهش نوسانات عرضی آئولین خطوط هوایی انتقال نیرو، در شکل های ۷-۱۵ و ۷-۱۶ دامنه نوسانات سیستم مرکب از خط و یک دمپر در دو فرکانس مختلف با دامنه نوسانات سیستم بدون دمپر مقایسه شده است و در شکل های ۷-۱۷ و ۷-۱۸ دامنه نوسانات سیستم مرکب از خط و یک دمپر در دو فرکانس مختلف با دامنه نوسانات سیستم شامل دو دمپر مقایسه شده است. با توجه به شکل های مذکور دیده می شود که به هنگام نصب یک دمپر دامنه نوسانات نسبت به خط بدون دمپر ده برابر کاهش و در صورت نصب دو دمپر، دامنه نوسانات نسبت به حالت یک دمپر، نصف خواهد شد. به بیان بهتر در صورت نصب دو دمپر بر روی خط انتقال دامنه در محل مناسب نوسانات نسبت به خط بدون دمپر بیست برابر کاهش پیدا خواهد کرد. بنابراین بسیار واضح است که با نصب دو دمپر استاک بریج نرخ خرابی خطوط هوایی انتقال نیرو

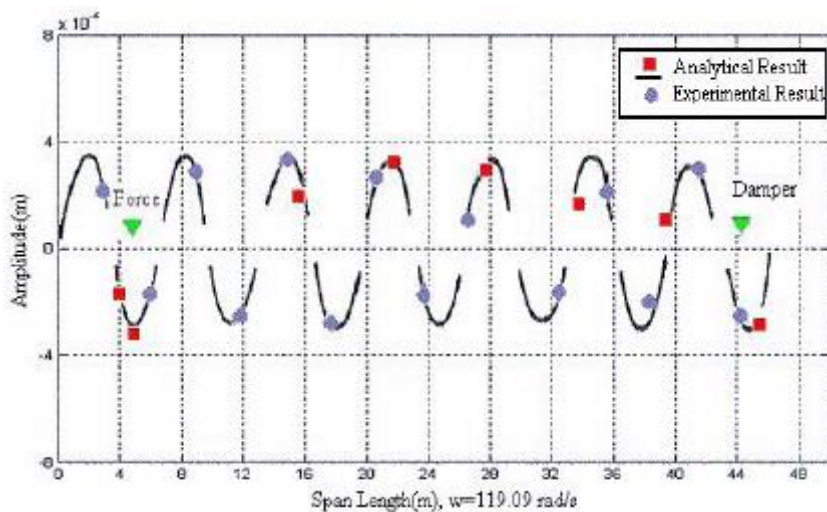
برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

ناشی از ارتعاشات عرضی تا حد قابل ملاحظه ای کاهش پیدا خواهد کرد. البته لازم به ذکر است که محل نصب دمپر در کاهش و یا افزایش دامنه نوسانات خط بسیار حائز اهمیت است، چراکه نصب دمپر در محل های خاص و نامناسب از طول دهانه خط باعث افزایش ناگهانی دامنه نوسانات در یک محدوده خاص و بعضاً ناهماهنگی آن نسبت به خط می شود. در شکل ۷-۱۹ ارتعاشات آئولین یک سیستم با طول دهانه ۱۰۰ متر، متشکل از دو دمپر در دو حالت نصب مناسب و نامناسب با هم مقایسه شده است. همانطور که دیده می شود در حالت نصب نامناسب دمپر دامنه نوسانات بیشتر از دو برابر حالت نصب مناسب خواهد بود.

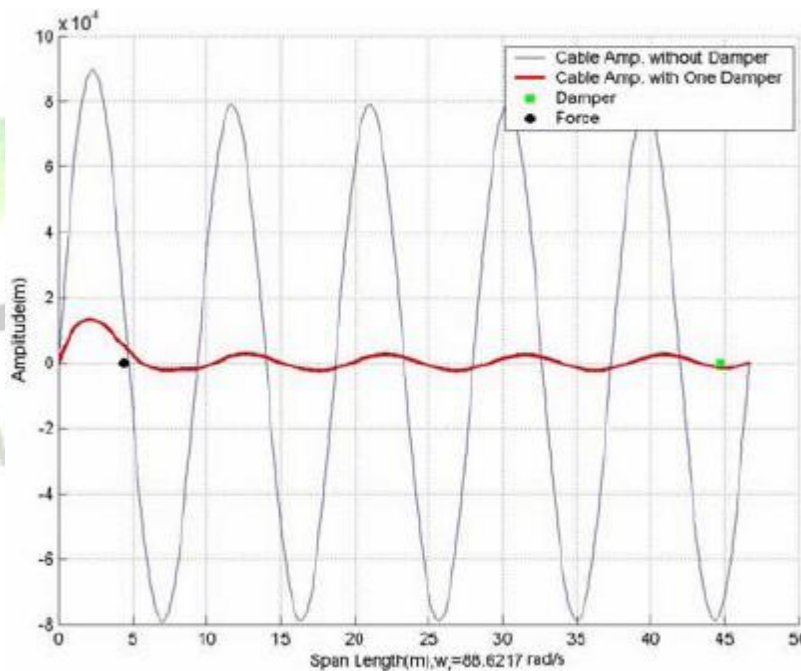


شکل ۷-۱۳ مقایسه داده های تحلیلی و آزمایشگاهی در فرکانس تحریک  $\Omega = 38.84 \frac{rad}{sec}$

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آر سایت و به همراه فونت های لازمه



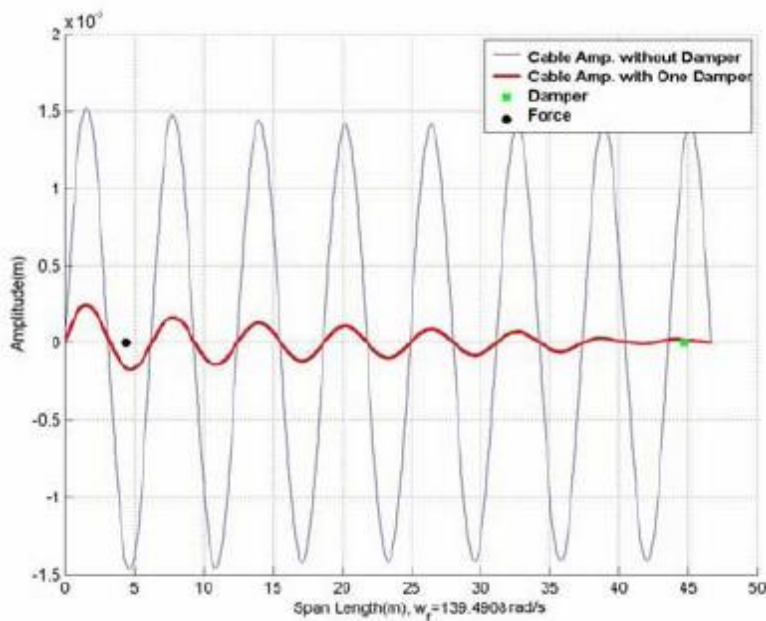
شکل ۱۴-۷ مقایسه داده های تحلیلی و آزمایشگاهی فرکانس تحریک  $\Omega = 119.09 \frac{rad}{sec}$



شکل ۱۵-۷ مقایسه دامنه نوسانات خط بدون دمپر و خط به همراه یک دمپر در فرکانس تحریک

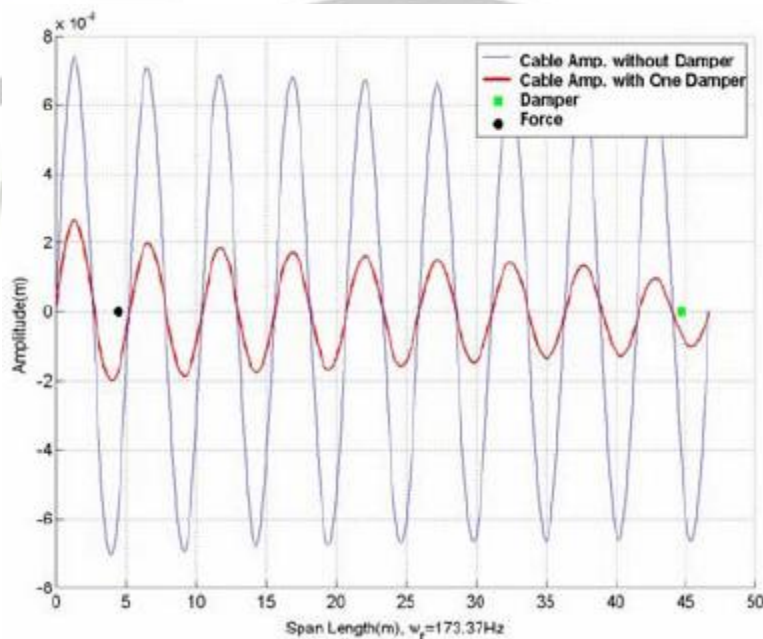
$$\Omega = 88.6217 \frac{rad}{sec}$$

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه



شکل ۱۶-۷ مقایسه دامنه نوسانات خط بدون دمپر و خط به همراه یک دمپر در فرکانس تحریک

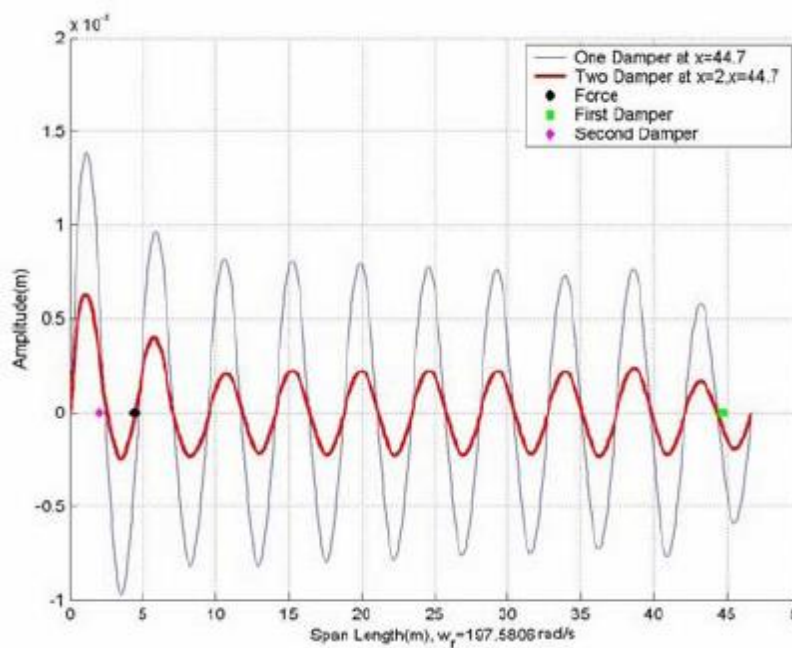
$$\Omega = 139.498 \frac{\text{rad}}{\text{sec}}$$



شکل ۱۷-۷ مقایسه دامنه نوسانات خط بدون دمپر و خط به همراه یک دمپر در فرکانس تحریک

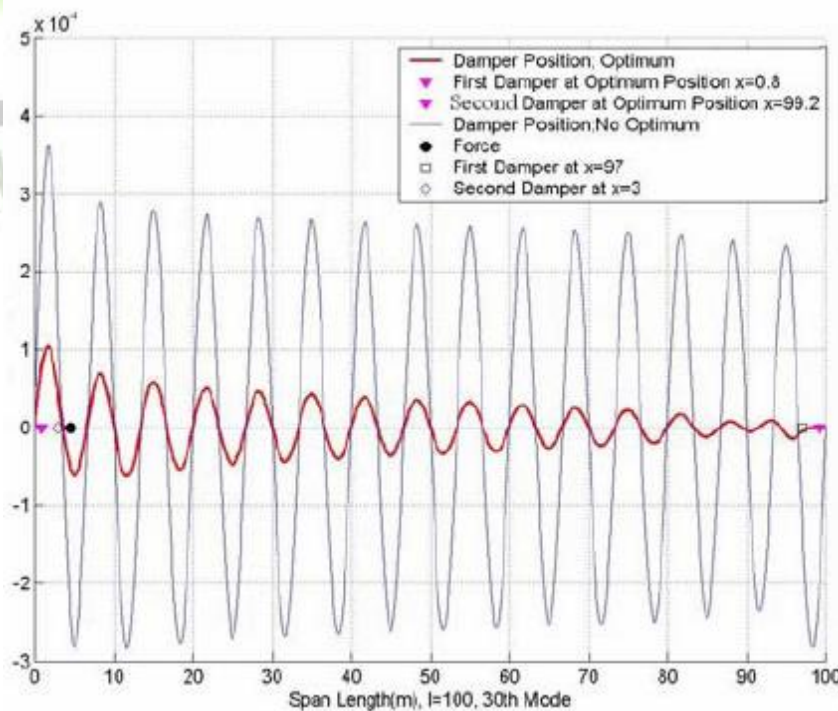
$$\Omega = 173.37 \frac{\text{rad}}{\text{sec}}$$

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آر م سایت و به همراه فونت های لازمه



شکل ۱۸-۷ مقایسه دامنه نوسانات سیستم متشکل از یک و دو دمپر در فرکانس تحریک

$$\Omega = 197.5806 \frac{\text{rad}}{\text{sec}}$$



شکل ۱۹-۷ مقایسه دامنه نوسانات سیستم متشکل از دو دمپر در فرکانس تحریک مود ۳۰ام در دو حالت

نصب مناسب و غیر مناسب.



برای دریافت فایل Word پروژه به سایت **ویکی پاور** مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازم

## منابع :

- ۱- بیست و دومین و بیست و سومین کنفرانس بین المللی برق
- ۲- کتاب بررسی سیستم های قدرت ، هادی سعادت
- ۳- سازمان هواشناسی کشور
- ۴- شرکت برق منطقه ای استان فارس
- ۵- منابع اینترنتی
- ۶- مدلسازی دینامیکی نوسانات گالوپینگ خطوط هوایی، احمد غلامی و محمد میرزایی