



فهرست

فصل سیزدهم : نوسانات هادی هلی خط

۱۳-۱-۱	مقدمه	۳
۱۳-۲-۱	انواع نوسانات	۴
۱۳-۲-۱-۱	نوسانات آئولین	۵-۶
۱۳-۲-۲-۱	نوسانات هادی های فرعی	۷-۸
۱۳-۲-۳-۱	نوسانات حاصل از گالوپینگ	۹
۱۳-۲-۳-۱-۱	گالوپینگ چیست	۹-۱۳
۱۳-۲-۳-۲-۱	عوامل موثر بر گالوپینگ	۱۴-۱۵
۱۳-۲-۳-۳-۱	تخمین دامنه گالوپینگ و فواصل مورد نیاز	۱۵-۱۷
۱۳-۲-۳-۴-۱	اثرات مخرب پدیده گالوپینگ	۱۸
۱۳-۲-۳-۵-۱	روش های حفاظتی در مقابل پدیده گالوپینگ	۱۹-۲۰
۱۳-۲-۳-۶-۱	میراکننده های نوسانات	۲۰-۲۱



فصل سیزده

نوسانات هادی های خط



۱۳-۱- مقدمه

یک از عواملی که موجب کاهش فاصله بین هادی های خط گردیده و میتواند منجر به بروز قوس و قطع خط گردد

نوسانات هادی ها میباشد این نوسانات همچنین بر روی اتصالات و هادی های خط تاثیر نامطلوب داشته و منجر به فرسودگی زودرس، کاهش عمر مفید و نهایتاً پارگی آنها نیز میگردد.

به همین علت محققان و طراحان خطوط انتقال نیرو و همواره به دنبال شناخت دقیق تر این پدیده و یافتن راه هایی

جهت حذف یا کاهش اثر سوء آن بوده و هستند. در این بخش نوسانات قابل توجه هادی های خط معرفی و مشخصات مربوط به هر یک از آن ها به اختصار بیان میگردد.



۱۳-۲- انواع نوسانات

اصلی ترین نوسانات هادی های خطوط انتقال عبارت اند از :

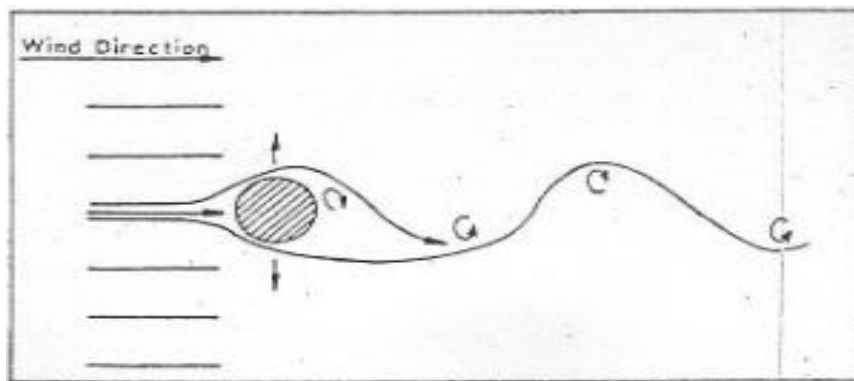
(aeolian oscillations)	نوسانات آئولین
(subconductors oscillations)	نوسانات هادی های فرعی
(galloping oscillations)	نوسانات گالوپینگ

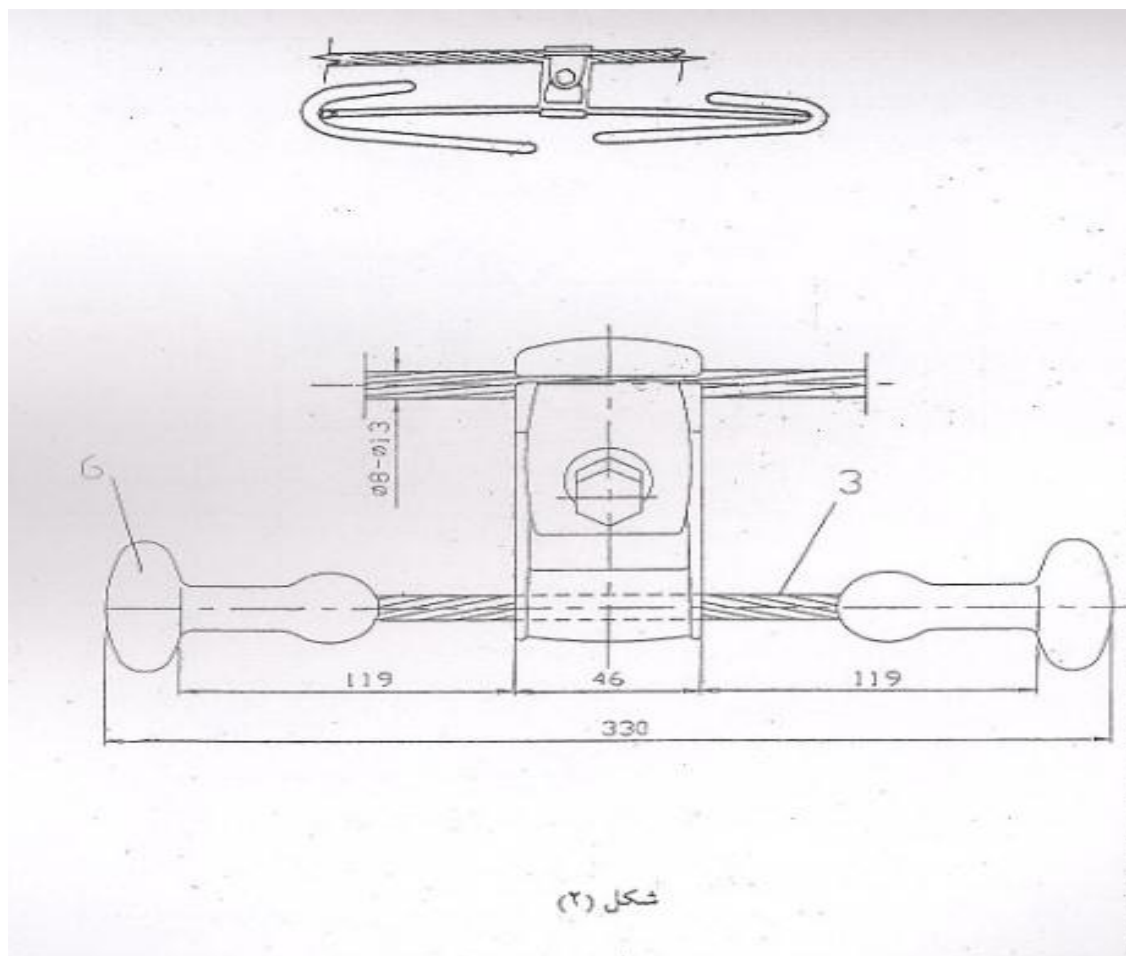
در ادامه به تشریح اجمالی هریک از نوسانات فوق پرداخته و در هر مورد راه هایی جهت حذف یا کاهش دامنه این نوسانات ارائه میگردد.



۱۳-۲-۱- نوسانات آئولین

این نوع نوسانات دارای دامنه کمی در حدود قطر سیم (سانتی متر) و فرکانس زیاد بین ۴ تا ۵۰ هرتز بوده و بر روی هر نوع سیم هادی اتفاق می‌افتد. سرعت باد برای ایجاد چنین نوساناتی کم است و به ندرت از ۱۵ متر بر ثانیه تجاوز میکند. در این حالت نوسانات یکنواخت و پایدار در تمام طول یک اسپن ایجاد می‌شود و آثار آن فرسودگی سیم‌های آلومینیومی در محل نگهدارنده بازوهای برج است. علت بروز این نوسانات وجود نیروهای ناشی از توده هوای گردابی که در جهات بالا و پایین سیم جریان دارند می‌باشد که تولید فشار نامتعادل کرده و باعث حرکت سیم در جهت بالا و پایین عمود بر جهت جریان هوا می‌شود (شکل یک). نوسانات آئولین معمولاً با نصب میراکننده‌ها (damper) در انتهای هر اسپن کنترل می‌شود. (شکل ۲)

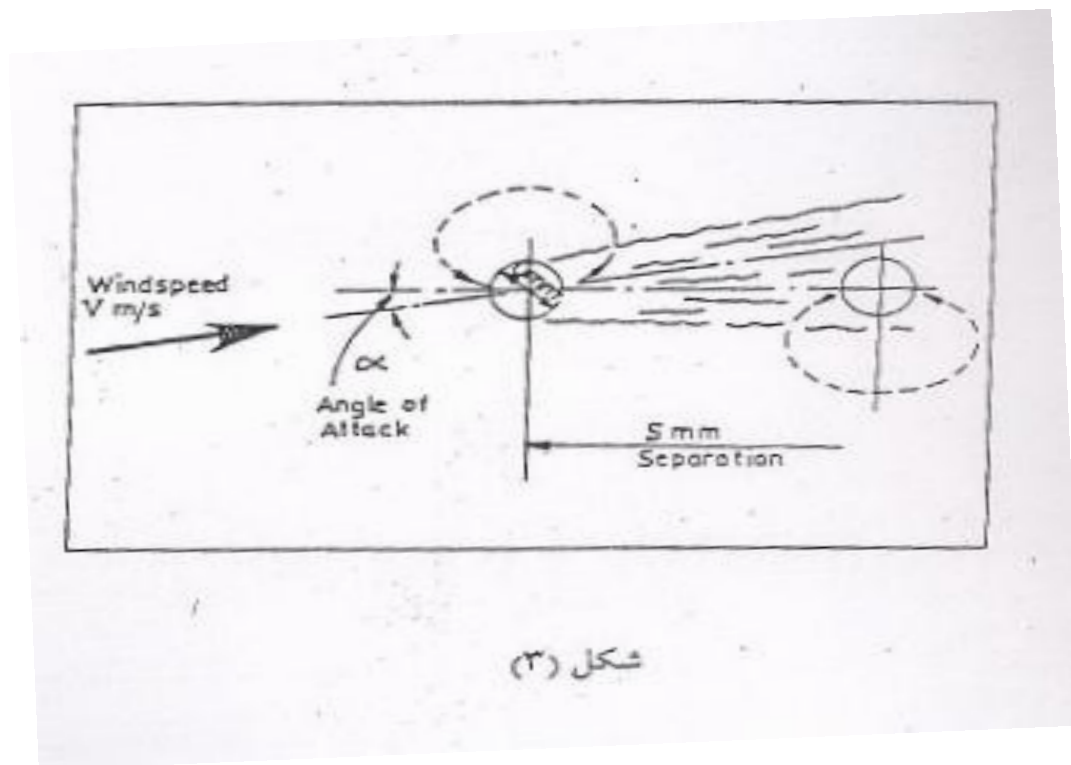






۱۳-۲-۲-نوسانات هادی های فرعی

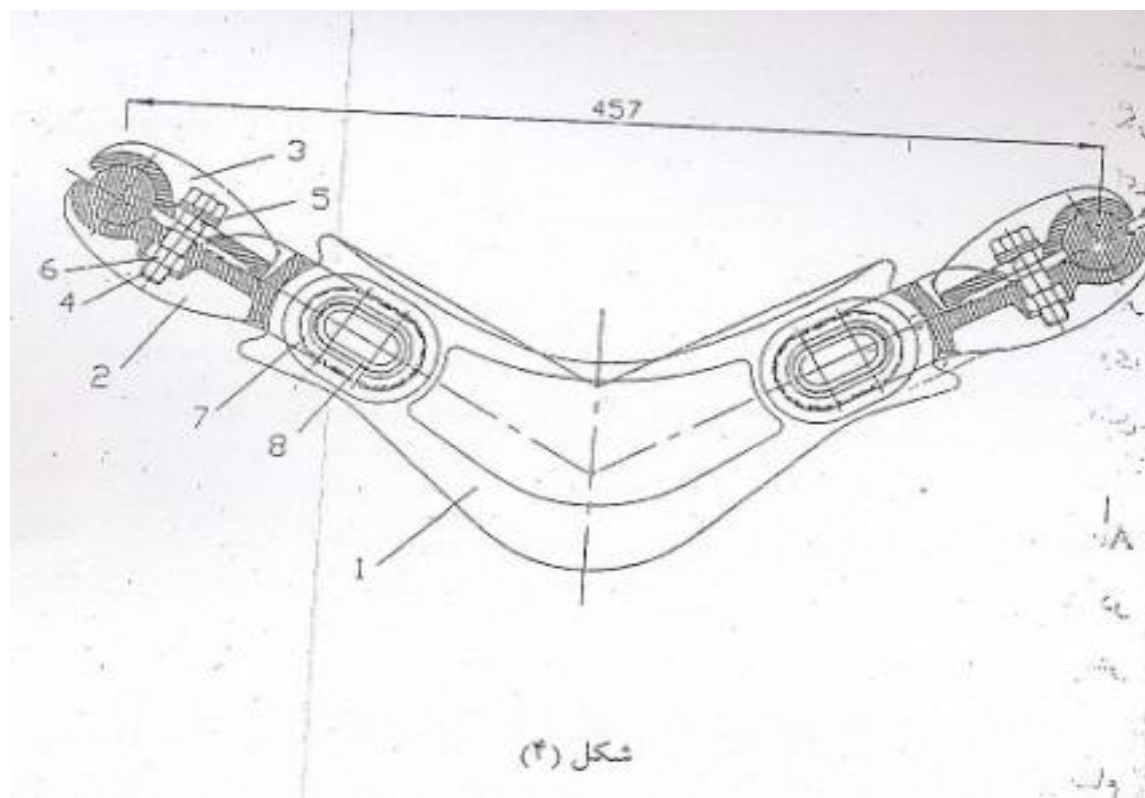
- دلیل ایجاد این نوسانات قرار گرفتن یک هادی در سمت وزش باد و هادی دیگر در طرف محفوظ از باد است که در سرعت معینی از باد ایجاد نوسان میکند. (شکل ۳)



شکل (۳)



- فرکانس این نوسانات ۱ تا ۵ هرتز و در باد با سرعت ۵ تا ۱۵ متر بر ثانیه اتفاق میافتد و حرکت سیم در مسیر بیضی شکل صورت میگیرد و دامنه آن در حدود ۰,۵ متر میباشد.
- جهت کنترل این نوسانات در خطوط باندل از فاصله نگهداری های ارتعاش گیر (spacer damper) استفاده میشود . (شکل ۴)
-





۱۳-۲-۳- نوسانات حاصل از گالوپینگ

- علی رغم اینکه نوسانات حاصل از پدیده گالوپینگ به ندرت و غالباً در فصل زمستان اتفاق میافتد، لیکن به علت دامنه بزرگ و نوسانات و خطراتی که میتواند به دنبال داشته باشد همواره مورد توجه خاص بوده و در طراحی پیش بینی های لازم برای تقلیل اثرات سوء آن اتخاذ میگردد. به همین علت در اینجا مشخصه های پدیده پالوپینگ، اثرات آن و راه های پیشگیری از آن را به طور جامع تری نسبت به نوسانات قبلی مورد بررسی قرار میدهیم.

• ۱۳-۲-۳-۱- گالوپینگ چیست؟

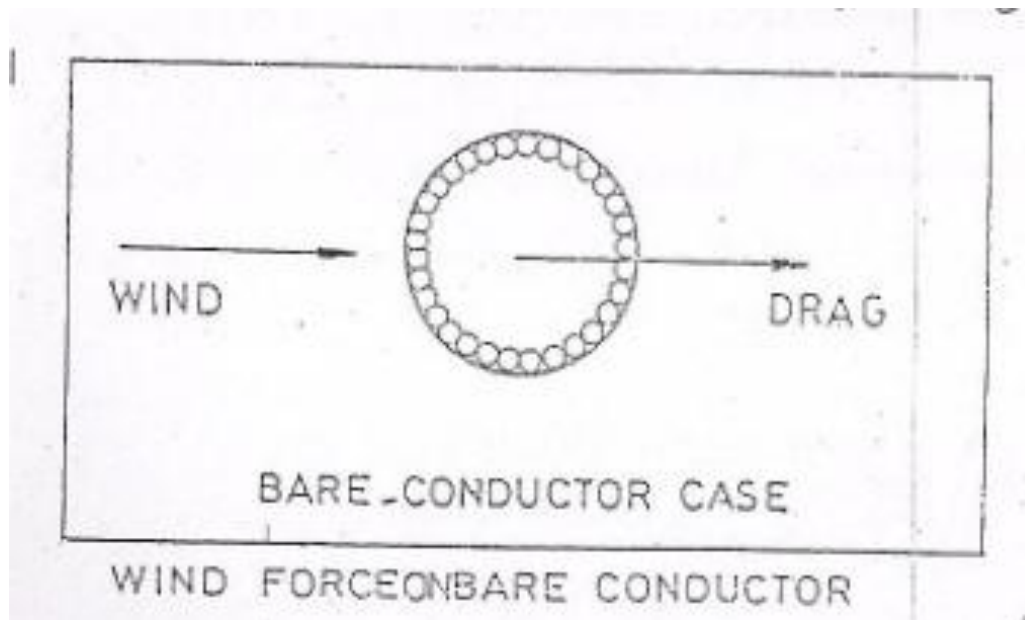
- نوسانات ناگهانی سیم های خطوط فشار قوی بادامنه زیاد و فرکانس کم را گالوپینگ گویند.
- گالوپینگ در اثر وزش باد و یا خالی شدن بار یخ غیر یکنواخت از روی سیم و بعضاً در اثر اتصال کوتاه های قوی حادث میشود دامنه نوسانات این پدیده همانطور که ذکر شد زیاد بوده و از ۰,۱ تا یک برابر فلش هادی ها نیز ثبت شده است.
- فرکانس نوسانات این پدیده معمولاً بین (۰,۵-۱) هرتز با سرعت باد (۷-۱۸) متر بر ثانیه میباشد و در این حالت است که در مواردی با سرعت باد ۲۵ متر بر ثانیه نیز این پدیده به وجود آمده است.



- به طور کلی عوامل ایجاد پدیده گالوپینگ را میتوان سرعت، جهت با و درجه حرارت محیط، رطوبت، نوع یخ روی سیم و ارتفاع برج دانست که قسمت بزرگ حرکت آن در جهت عمودی میباشد.
- وقوع گالوپینگ در هادی های پوشیده از یخ، به علت تغییر مشخصه آیرودینامیک نسبت به حالت اولیه بدون یخ میباشد. مشخصه و خواص آیرودینامیکی هادی ها نیز با یکدیگر تفاوت دارد و هر هادی با توجه به سطح مقطع آن، جریان هوا و محیط اطراف آن دارای مشخصه خاص خود میباشد.
- خطوط دوباندل دارای چنان مشخصات آیرودینامیکی هستند که بدون یخ نیز امکان وقوع گالوپینگ وجود دارد. گالوپینگ در سیم های پوشیده از یخ به علت نیروی بالا برنده lift ایجاد میشود. این نیرو از حرکات متناوب هادی ها نتیجه شده و این در صورتی است که سیم تحمل حرکت های پریودیک را داشته باشد.
- فرکانس ایجاد شده در گالوپینگ معمولاً یکدهم تا یکصدم نوسانات میباشد. در حالتی که سرعت باد در هر دو مورد یکسان است. دامنه نوسانات در گالوپینگ نیز بیشتر از یک متر و در نوسانات در حدود چند سانتی متر میباشد. این دو پدیده به طور مستقیم با یکدیگر مرتبط نیستند.

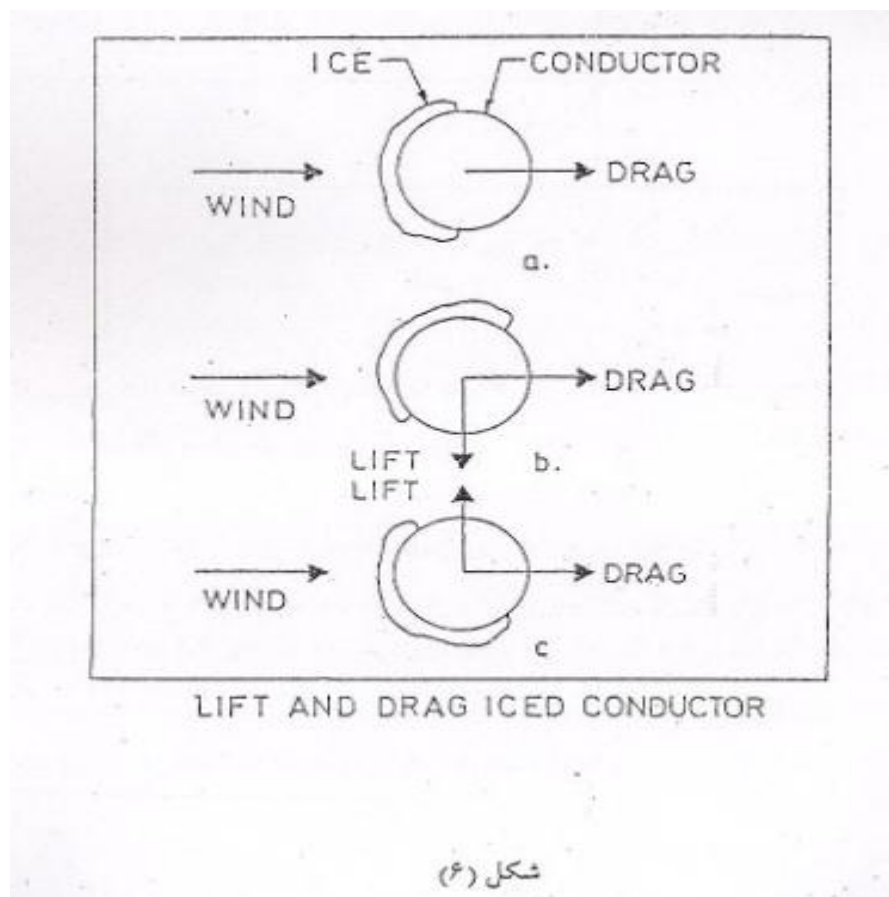


- مکانیزم حرکت متناوب سیم ها اولین بار در سال ۱۹۳۲ توسط شخصی به نام den hartog بیان گردید که سیم های بدون یخ مطابق شکل (۵) فقط تحت تاثیر نیروی آیرودینامیکی drag قرار دارند.



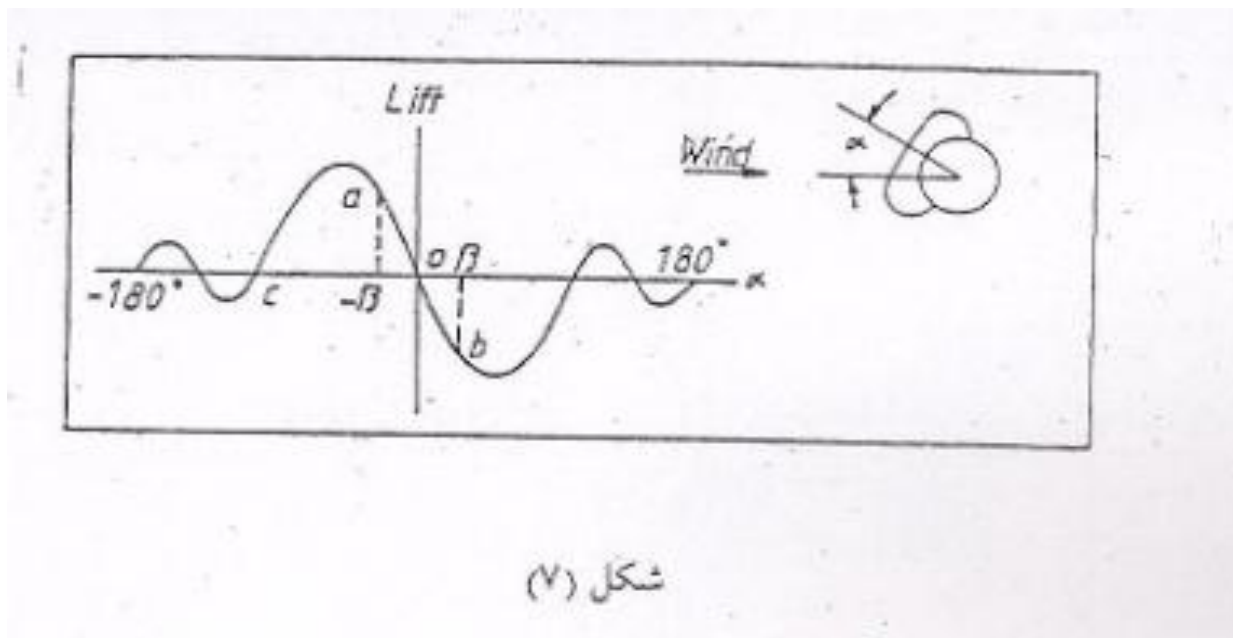


- اما در سیم های دارای یخ نیروی lift نیز وجود دارد که این نیرو بستگی به زاویه برخورد باد با سطح یخ دارد . در شکل (۶) جهت نیروی lift نشان داده شده است .





- اگر نیروی lift در واحد طول هادی تابعی از زاویه برخورد با (a) تحت سرعت V باشد، منحنی حاصل مطابق شکل (۷) خواهد بود.



شکل (۷)



۱۳-۲-۳-۲- عوامل موثر در گالوپینگ

- وقوع گالوپینگ به عوامل زیر بستگی دارد:
 - ۱- باد شدید با زاویه بیش از ۴۵ درجه نسبت به امتداد خط
 - ۲- یک لایه یخ یا شبنم یخ زده بر روی سیم که دارای مشخصات آیرودینامیکی مناسب باشد.
 - ۳- وضعیت یخی که روی سیم مینشینند با توجه به ناپایداری آیرودینامیکی آن ، لایه های یخ ممکن است به سه شکل ایجاد گردد :
- **۱- یخ نرم :**
- بیشتر در کوهستان ها اتفاق میافتد و ظاهری پر مانند و ساختمان دانه دانه و دانسیته حدودا کمتر از 6 g/cm^3 دارد. چسبندگی آن به هادی ضعیف و ناچیز است و تاثیر کمی در وقوع گالوپینگ دارد. لیکن اگر یک لایه سیلندری از آن هادی را بپوشاند و باد ملایمی بوزد ، احتمال وقوع نوسانات گالوپینگ وجود دارد . نوسانات با دامنه بزرگ و فرکانس کم ارتباط مستقیم با قطر یخ داشته و دمپرهای طراحی شده برای سیم های با قطر کم معمولا بی اثر است .



• ۲- یخ سفت :

- بی رنگ است ولی بر اثر ترکیب با حباب های هوا به رنگ تیره در میاید . دانسیته آن بین $6-9(g/cm^3)$ بوده و خاصیت چسبندگی زیادی دارد .

• ۳- یخ شیشه ای :

به عنوان یخ آبی هم شناخته میشود . صاف و شفاف بوده و دانسیته ای بین ۹-۹۲ دارد و چسبندگی آن به هادی عالیست . یخ سخت و شیشه ای عامل اصلی اکثر گالوپینگ هاست .

۱۳-۲-۳- تخمین دامنه گالوپینگ و فواصل مورد نیاز:

در سال ۱۹۳۹ توسط A.E.DAVISON یک روش سیستماتیک برای تخمین اینکه چه مقدار فاصله بین بیضی های حاصل از نوسانات گالوپینگ در فاز های مختلف مورد نیاز میباشد ارائه گردید که بر اساس مشاهدات متعدد دامنه و مد اشکال به دست آمده بود . در شکل (۸) یک بیضی گالوپینگ نشان داده شده است .

DAVISON ثابت کرد که در اصلی ترین (بزرگترین) گالوپینگ مشاهده شده هادی داخل بیضی باقی میماند و ابعاد بیضی به صورت زیر خواهد بود :



$A_1 = D^L$, the loaded sag

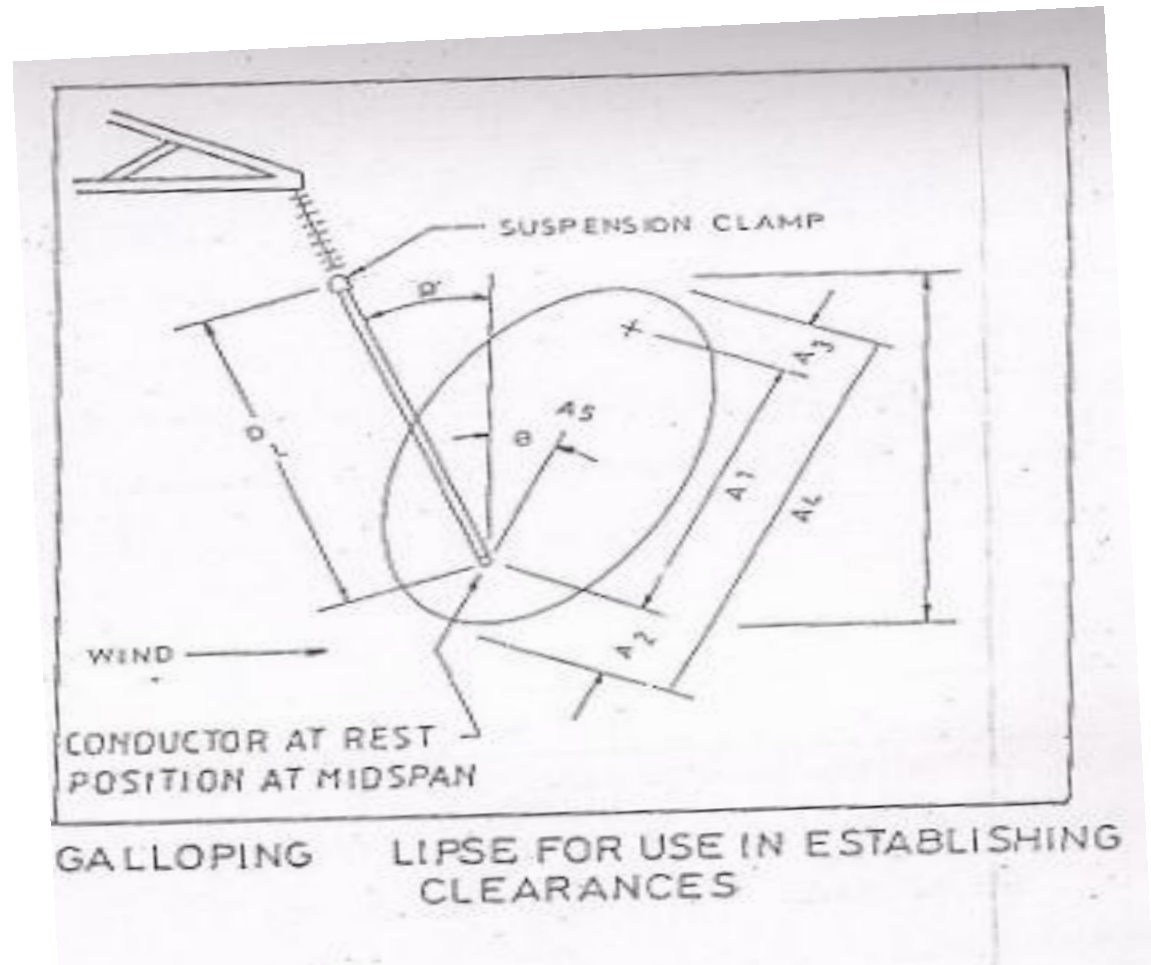
$$A_2 = A_1/4$$

$$A_3 = 0.3 \text{ m (1 foot)}$$

$$A_4 = A_1 + A_2 + A_3$$

$$A_5 = 0.4 A_4$$

$$\theta = \phi/2$$





- بنابراین میتوان وضعیت بیضی های فازهای مجاور را بررسی و در صورتی که در فاصله هوایی تخلیه الکتریکی فرار گرفته باشند موقعیت آن ها را اصلاح نمود و بدین ترتیب از بروز قوس بین فازها در صورت وقوع گالوپینگ پیشگیری کرد . در جدول شماره (۱) فواصل مورد نیاز در ولتاژهای مختلف ارائه شده است.

Voltage	115 (KV)	138 (KV)	230 (KV)	345 (KV)	500 (KV)
Phase-phase (m)	0.46	0.46	0.76	1.07	1.83
Phase-Gnd (m)	0.30	0.30	0.61	0.76	1.22



۱۳-۲-۳-۴- اثرات مخرب پدیده گالوپینگ

- پس از حادثه شدن گالوپینگ ، مشکلاتی در بهره برداری خطوط به وجود میاید که قسمتی از آن ها عبارت اند از :
- ۱- کاهش فاصله ایزولاسیون بین هادی ها ، بروز قوس الکتریکی و باز بسته شدن کلیدهای فشار قوی.
- ۲- کاهش فاصله ایزولاسیون بین هادی ها و سیم زمین.
- ۳- اثرات تخریبی در پیچهای برج.
- ۴- اثرات مخرب بر یراق آلات و اتصالات برج.
- ۵- خوردگی فولاد برج و ضایع شدن برج های چوبی در مواقعی که پدیده ماندگار میباشد.
- ۶- خوردگی هادی ها.
- ۷- خوردگی جامپر ها.
- ۸- خوردگی دمپر و اسپیسر دمپر .
- ۹- برش بین مقره ها در زنجیره کششی.
- ۱۰- ضایع شدن کلمپ مقره های آویزی.
- ۱۱- تخریب رشته های فرعی هادی های باندل .
- ۱۲- زیان های اقتصادی ناشی از قطع برق در صورتی که آسیبهای فوق منجر به قطعی طولانی گردد.



۱۳-۲-۳-۵- روش های حفاظتی در مقابل پدیده گالوپینگ

- با توجه با مطالب ذکر شده قبلی ، ضرورت مقابله با آثار سوء پدیده گالوپینگ بیشتر نمایان میگردد . این کار را میتوان به روش های زیر انجام داد:
- ۱- جلوگیری از ایجاد یخ روی سیم به وسیله ذوب کردن آنها ، که به علت معایب زیر در حال حاضر کمتر مورد استفاده قرار میگیرد:
- - جهش ناگهانی سیم پس از افتادن یخ و بروز قوس الکتریکی.
- - برای ایجاد حرارت بالا به سیم با مقاومت زیاد نیاز است که این کار تلفات انتقال توان را افزایش میدهد.
- ۲- افزایش طول بازوی وسط (بین ۰,۴۵-۱ متر) برای برج هایی که ترتیب قرار گرفتن هادیها بطور عمودی میباشد.
- ۳- افزایش فاصله بین هادی ها.
- ۴- استفاده از جداکننده بین فازها.



- ۵- استفاده از Drag Damper که دمپرهای خاصی بوده و تاثیر زیادی بر میرا سازی نیروی آیرودینامیکی Drag روی هادی ها دارد. با این کار نیروی Lift تحت شرایطی قرار میگیرند که انرژی ناچیز و مختصری را برای تداوم گالوپینگ تامین مینمایند.
- ۶- استفاده از دمپرهای نوسانی (seismic damper) .
- ۷- استفاده از end point damper .
- ۸- استفاده از تجهیزات کنترل کننده حرکت چرخشی.
- ۹- انتخاب مسیر خط مناسب و عدم عبور از مناطق مستعد وقوع این پدیده.

۱۳-۲-۳-۶- میرا کننده های نوسانات (vibration damper)

میراکننده های نوسانات دارای انواع مختلف میباشند ولی متداول ترین نوع آن معروف به دمپرهای استوک بریج (stockbridge damper) میباشند که در اینجا به اختصار تشریح میگردد.

- در صورتی که یک وزنه در یک نقطه غیر از نقطه گره نوسان ، بر روی هادی نصب گردد باعث میرا شدن نوسان با تبدیل انرژی نوسانی به اصطکاک و هیستریزیس مکانیکی میشود.

در میرا کننده نوسان نوع استوک بریج دو وزنه به صورت هم محور بر روی یک سیم ۷ رشته ای فولادی نصب میشوند. سیم فوق به وسیله یک نگهدارنده (clamp) بر روی هادی اصلی قرار میگیرد به طوری که جهت سیم و هادی یکسان یکسان میباشد.



فاصله بین هادی وسیم حدود ۱۰۰ میلیمتر است . سیم و وزنه ها دارای فرکانس رزونانس پایین در حدود ۵ هرتز میباشد . ضمنا یک فرکانس رزونانس دیگر در حدود ۲۵ تا ۶۰ هرتز وجود دارد که به وسیله دمپر میرا میگردد . محل نصب دمپرها معمولا مطابق جدول شماره (۲) انتخاب میشود . ضمنا تعداد مورد نیاز دمپرها بر حسب طول اسپن تغییر میکند .

	S_1 (متر)	S_2 (متر)
ACSR Curlew	۱/۶۸	۲/۸۵
ACSR Canary	۱/۵۵	۲/۶۲
ACSR Lynx	۱/۲۱	۲/۰۴
S.W. 7 No 6	۰/۹۳	۱/۵۷
S.W. 7 No 8	۰/۷۷	۱/۳۱

جدول شماره (۲) - نمونه ای از فواصل محل نصب دمپرها:

$$S_1 = 0.000415 d \sqrt{H/\omega}$$

فرمولی که محل نصب دمپر بر اساس آن محاسبه میشود.

$$S_2 = 0.000703 d \sqrt{H/\omega}$$