



دانشکده فنی مهندسی مکانیک

گروه مهندسی مکانیک

پایان نامه

برای دریافت درجه کارشناسی ارشد در رشته مهندسی مکانیک گرایش طراحی کاربردی

عنوان

مدل سازی دینامیکی جاذب ارتعاشی خطوط فشار قوی (*Stockbridge Damper*) و
بررسی تأثیر پارامترهای کابل مستهلک کننده (*Damping Cable*) بر روی مقدار
جذب انرژی با استفاده از روش آنالیز مودال تجربی

استاد راهنما

دکتر مرتضی همایون صادقی

استاد مشاور

دکتر کمال جهانی

پژوهشگر

مسعود مینایی

دی ماه 1389

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

«رب لا تدرك فرط»

واثبت خير الواشين»
• •

تقدیم بہ

شاہدیت غزل زندگیم:

«رویا»

تقدیر و تشکر

حمد و سپاس خداوند مهربان را که هرگز مرا به فراموشی نسپرد، گر چه گاه در بوران زندگی او را فراموش کردم. ستایش بی حد خدایی را که به بهانه هر حاجتی به تمنا ندایش زخم و هر لحظه که راز دلم سنگینی کند، با او نجوا گویم و هر خواهشی را بی هیچ واسطه‌ای از او طلبم. جز او را ندا نخواهم کرد، که چون غیر او را بخوانم دعایم بی پاسخ ماند و جز به او امید نخواهم بست که چون به غیر او امید بندم به ناامیدی‌ام درخواهد کشاند. خداوندی که بزرگترین نعمت خویش، قوه تعقل را بر انسان ارزانی داشت تا بیندیشیم و زندگی کنیم، باشد که در راه او و سعادت خلق او گام برداریم.

با بوسه گرمی بر دستان پدر و مادر مهربان و فداکارم که وجودشان برایم همه مهر است و وجودم برایشان همه رنج، از زحماتشان صمیمانه سپاسگزاری می‌کنم. نیز از برادران گرامیم، پیمان و علی که همواره در تمام مراحل زندگی و تحصیل از هیچ کوششی در حقم دریغ نکردند، متشکرم. از همسر عزیز و مهربانم که در دوره کارشناسی ارشد همواره همراه، یاری‌گر و مشوق من بوده و صبورانه مشقات تمام پایان‌نامه حاضر را در کنارم تحمل نمود، صمیمانه تشکر می‌نمایم.

از استاد راهنمای گرانقدرم جناب آقای دکتر مرتضی همایون صادقی، الگوی علمی و اخلاقی‌ام که طی انجام پایان‌نامه با راهنمایی‌های ارزنده خود یاریم کردند، نهایت تشکر و قدردانی را می‌نمایم. همچنین از استاد مشاور ارجمندم جناب آقای دکتر کمال جهانی که با کمک‌های بی‌دریغ خود همواره مرا بهره‌مند کردند و نیز از استاد عزیزم جناب آقای دکتر موسی رضایی که ارزشیابی پایان‌نامه را با نهایت دقت و نکته‌سنجی انجام دادند، کمال امتنان و تشکر را دارم.

از آقایان دکتر زهساز و مهندس کریمانی در آزمایشگاه مقاومت مصالح دانشکده مهندسی مکانیک، دکتر صفا در آزمایشگاه شیمی آلی دانشکده شیمی و مهندس گلابی در شرکت آذر ماشین چاپ تبریز به دلیل هم‌فکری و نیز در اختیار گذاشتن امکانات آزمایشگاهی و کارگاهی‌شان بی‌نهایت متشکرم. از آقایان مهندس سید نورانی و مهندس نجفی که در قسمت GA و نیز شبیه‌سازی و انیمیشن، همراهی‌ام کردند، سپاسگزارم.

مسعود مینایی

دی ماه 1389

نام خانوادگی: مینایی	نام: مسعود
<p>عنوان پایان نامه: مدلسازی دینامیکی جاذب ارتعاشی خطوط فشار قوی (<i>Stockbridge Damper</i>) و بررسی تأثیر پارامترهای کابل مستهلک کننده (<i>Damping Cable</i>) بر روی مقدار جذب انرژی با استفاده از روش آنالیز مودال تجربی</p>	
<p>استاد راهنما: دکتر مرتضی همایون صادقی استاد مشاور: دکتر کمال جهانی</p>	
<p>مقطع تحصیلی: کارشناسی ارشد رشته: مهندسی مکانیک گرایش: طراحی کاربردی دانشگاه: تبریز دانشکده: مکانیک تاریخ فارغ التحصیلی: دی 1389 تعداد صفحات: 107</p>	
<p>کلید واژه ها: دمپر استاکبریج، ارتعاشات خطوط فشار قوی، خط انتقال قدرت، کابل دمپر، میرایی سازه‌ای، جاذب ارتعاشی، آنالیز مودال تجربی، شناسایی سیستم، الگوریتم ژنتیک.</p>	
<p>چکیده:</p> <p>در خطوط فشار قوی، عوامل محیطی به دلیل ایجاد ارتعاشات عرضی کابل انتقال قدرت، اثرات مخربی روی تجهیزات خطوط انتقال بر جای می‌گذارد. برای کاهش نرخ خرابی‌ها، انرژی مکانیکی انتقال یافته بایستی به طریقی جذب شود. به این منظور از جاذب‌های دینامیکی در سیستم انتقال قدرت استفاده می‌شود. یکی از متداول‌ترین جاذب‌های دینامیکی، <i>Stockbridge Damper</i> است که در فاصله مناسبی از دو سر مقره، و بر روی کابل نصب می‌شود.</p> <p>با توجه به صنعتی بودن این موضوع و عدم امکان دسترسی همگانی به نتایج حاصله، تعداد مقالات اندکی در این زمینه قابل دسترسی است که همین امر ضرورت تحقیق و بررسی موضوع در داخل کشور را دو چندان می‌کند. همچنین تحقیقات انجام شده، بیشتر بر روی تأثیر مستهلک کننده‌ها در کاهش نوسانات خطوط انتقال نیرو و نیز فواصل نصب آن معطوف بوده و بررسی دینامیک مستهلک کننده‌ها چندان مورد توجه محققان قرار نگرفته است.</p> <p>در این پایان‌نامه قصد داریم ضمن پر کردن خلأ مذکور، خود دمپر <i>Stockbridge</i> را از دیدگاه ارتعاشی مورد بررسی، و تجزیه و تحلیل قرار دهیم. این امر علاوه بر کمک به رشد علمی کشور، زمینه‌ای مناسب برای تلفیق نتایج به دست آمده از این تحقیق با نتایج تحقیقات دیگر فراهم می‌آورد، تا بتوان به رویکرد دقیق‌تر و کامل‌تری در خصوص تأثیر این نوع دمپر‌ها در کاهش نوسانات کابل انتقال قدرت دست یافت. هدف از این پایان‌نامه: 1- مدل سازی ریاضی چهار درجه آزادی دمپر <i>Stockbridge</i>، 2- مدل سازی عددی جهت بررسی پاسخ به تغییر مکان هارمونیک دمپر با استفاده از یک نرم‌افزار عددی، و 3- بررسی تأثیر پارامترهای کابل دمپر در رفتار ارتعاشی سیستم با استفاده از روش آنالیز مودال تجربی است. در انتها، به منظور صحت‌سنجی، نتایج آزمایشگاهی با نتایج تحلیلی مقایسه خواهند شد. لازم به ذکر است که تمرکز این پایان‌نامه، بر روی هدف سوم می‌باشد.</p>	

فهرست مطالب

فصل اول: مقدمه و مروری بر ادبیات فن

- 1-1) مقدمه و تعریف موضوع..... 2
- 2-1) اهمیت موضوع و جایگاه آن در مهندسی 4
- 3-1) تعریف مسأله 5
- 4-1) مروری بر ادبیات فن..... 5

فصل دوم: مواد و روش‌ها

- 1-2) شبکه خطوط هوایی انتقال نیرو..... 10
- 2-2) انواع ارتعاشات خطوط انتقال نیرو..... 12
- 2-2-1) ارتعاشات عرضی (ناشی از جریان‌های گردابی)..... 12
- 2-2-2) ارتعاشات گالوپینگ..... 15
- 2-2-3) ارتعاشات افقی..... 17
- 3-2) جاذب ارتعاشی..... 17
- 4-2) طراحی سیستم جاذب..... 21
- 5-2) انرژی اتلافی بر اثر میرایی..... 23
- 2-5-1) میرایی لزجی..... 24
- 2-5-2) میرایی لزجی معادل..... 26
- 3-5-2) میرایی کولمب..... 26
- 4-5-2) میرایی سازه‌ای..... 28
- 6-2) انواع دمپرهای خطوط انتقال نیرو..... 30

- 30.....(1-6-2) دمپرهاى موثر جهت کاهش ارتعاشات عرضى و ناشى از جريانهاى گردابى.....
- 30.....(1-1-6-2) دمپرهاى استاك بريچ.....
- 33.....(2-1-6-2) دمپرهاى مارپيچ.....
- 33.....(2-6-2) دمپرهاى کاهش دهنده ارتعاشات گالوپينگ و حركتهاى پيچشى.....
- 34.....(1-2-6-2) وايندمپير.....
- 35.....(2-2-6-2) پاندول ناميزان كننده.....
- 35.....(3-2-6-2) دمپير استوانه‌اى سوراخ‌دار.....
- 36.....(4-2-6-2) دمپير ناميزان كننده پيچشى.....
- 37.....(7-2) روش انجام آزمايش‌ها.....
- 38.....(8-2) آناليز مودال.....
- 39.....(9-2) آناليز مودال تجربى.....
- 42.....(10-2) معادلات حركت دمپير بدون در نظر گرفتن اثر ميرايى.....
-(1-10-2) ارتعاشات اجبارى دمپير استاك‌بريچ بدون ميرايى با استفاده از معادلات
- 42..... لاگرانژ.....
-(2-10-2) ارتعاشات آزاد دمپير استاك‌بريچ بدون ميرايى با استفاده از روش ماتريس
- 49..... سفتى.....
- 52.....(3-10-2) ارتعاشات اجبارى دمپير استاك‌بريچ با در نظر گرفتن اثر ميرايى.....
- 55.....(1-3-10-2) نيروى منتقل شده توسط دمپير.....
- 56.....(2-3-10-2) انرژى تلف شده توسط دمپير استاك‌بريچ.....
- 57.....(11-2) الگوريتم ژنتيك.....
- 59.....(12-2) تجهيزات آزمايشگاهى به كار رفته.....

فصل سوم: نتايج و بحث

- 64.....(1-3) نتايج و داده‌هاى عددى حاصل از روش ريلى-ريتز.....

- 66 2-3 شناسایی مشخصات دینامیکی دمپر استاک‌بریج
- 69 1-2-3 روش اول جهت تعیین مدول یانگ کابل دمپر
- 71 2-2-3 روش دوم جهت تعیین مدول یانگ کابل دمپر
- 74 3-3 نتایج و داده‌های حاصل از تست آنالیز مودال و الگوریتم ژنتیک
- 97 4-3 تأثیر پارامترهای کابل دمپر بر روی توان اتلافی
- 101 5-3 نتیجه‌گیری
- 103 6-3 پیشنهادات

فصل چهارم: مراجع

- 105 مراجع

فهرست شکل‌ها

- شکل 1-1: تأثیر عوامل محیطی بر هادی خطوط انتقال قدرت به همراه دمپر. 4
- شکل 2-1: مدل آلتوت برای خط هوایی انتقال و دمپر 5
- شکل 3-1: مدل رو بوتوم 6
- شکل 4-1: مدل اسپاگر با یک درجه آزادی 7
- شکل 5-1: مدل اسپاگر با دو درجه آزادی 7
- شکل 1-2: شبکه خطوط انتقال نیرو. 10
- شکل 2-2: کابل رشته‌ای مورد استفاده در خطوط انتقال. 11
- شکل 3-2: نمونه‌ای از یک مقره 11
- شکل 4-2: پل تخریب شده تاکوما 13
- شکل 5-2: تولید گردابه حین عبور جریان سیال از اطراف استوانه 13
- شکل 6-2: گردابه ایجاد شده در مقطع عرضی پل تاکوما 14
- شکل 7-2: پل جایگزین شده تاکوما 14
- شکل 8-2: تغییر شکل خط انتقال بعد از یخ‌زدگی 16
- شکل 9-2: اضافه کردن جاذب ارتعاشی به سیستم اصلی 18
- شکل 10-2: پاسخ $\frac{X_1}{F_0/k_1}$ در مقابل ω/ω_{22} برای $\mu = 0.2$ 20
- شکل 11-2: اثر نسبت جرم m_2/m_1 بر فرکانس‌های دورانی طبیعی. 21
- شکل 12-2: قطعه میرا کننده 22
- شکل 13-2: انرژی اتلافی بر اثر میرایی لزجی. 25
- شکل 14-2: ارتعاشات آزاد با میرایی کولمب. 27
- شکل 15-2: دمپر استاک بریج و اجزای آن. 31
- شکل 16-2: دمپر $R - 2$ که در آن $F_A = F_B$ و $M_A = M_B$ 32
- شکل 17-2: دمپر $R - 4$ که در آن $F_A \neq F_B$ و $M_A \neq M_B$ 32
- شکل 18-2: دمپر مارپیچ و نحوه اتصال آن بر روی خط انتقال. 33

- شکل 2-19: نصب وایندمپر بر روی خط انتقال. 34
- شکل 2-20: پاندول نامیزان کننده. 35
- شکل 2-21: دمپر استوانه‌ای سوراخ‌دار 36
- شکل 2-22: دمپر نامیزان کننده پیچشی 36
- شکل 2-23: تست دمپر استاک‌بریج با استفاده از لرزه‌ساز 38
- شکل 2-24: نمونه‌ای از مسیر آنالیز مودال تجربی برای دستیابی به پاسخ سیستم 41
- شکل 2-25: نیروی تحریک خارجی وارد شده بر دمپر 42
- شکل 2-26: جابجایی و دوران کابل دمپر 42
- شکل 2-27: دیاگرام پیکره آزاد کابل دمپر 43
- شکل 2-28: دیاگرام پیکره آزاد وزنه دمپر 46
- شکل 2-29: شماتیک دمپر استاک‌بریج و تغییر مکان اجزای اصلی آن 50
- شکل 2-30: نیرو و ممان ناشی از تغییر مکان $x_a = I$ در حالتی که چرخش $\varphi_a = 0$ 50
- شکل 2-31: نیرو و ممان ناشی از چرخش $\varphi_a = I$ در حالتی که تغییر مکان $x_a = 0$ 50
- شکل 2-32: طرح یک کروموزوم دارای N_p متغیر رمز شده 58
- شکل 2-33: الگوریتم ژنتیک 59
- شکل 2-34: لرزاننده الکترومغناطیس. 60
- شکل 2-35: مولتی آنالایزر پالس 4 کاناله *B&K 3560* 60
- شکل 2-36: آمپلی فایر 4 کاناله هوشمند *Nexus* 61
- شکل 2-37: کالیبراتور *B&K* 61
- شکل 2-38: نیروسنج *PCB 208C03* 61
- شکل 2-39: نحوه چیدمان نیروسنج ها 61
- شکل 2-40: شتاب سنج *DJB* 62
- شکل 2-41: کابل های آنتی نویز *ENDEVCO* 62
- شکل 2-42: دستگاه‌های بکار رفته و نحوه چیدمان آنها جهت اندازه‌گیری پاسخ فرکانسی. 62
- شکل 3-1: نمودار اول مربوط به شکل مود اول و نمودار دوم مربوط به شکل مود دوم نیمه کوتاه دمپر. 65
- شکل 3-2: نمودار اول مربوط به شکل مود اول و نمودار دوم مربوط به شکل مود دوم نیمه بلند دمپر. 66

- شکل 3-3: سطح مقطع مدل‌سازی شده کابل دمپر در نرم‌افزار *Autodesk Inventor* 67
- شکل 4-3: مدل وزنه دمپر در نرم‌افزار *Autodesk Inventor* 69
- شکل 5-3: فیکسچرهای طراحی شده جهت بستن نمونه به فک‌های دستگاه کشش 70
- شکل 6-3: آزمایش کشش جهت تعیین مدول الاستیک کابل دمپر 71
- شکل 7-3: آزمایش خمش جهت اندازه‌گیری *EI* کابل دمپر 72
- شکل 8-3: نمودار مقایسه نتایج تحلیلی و آزمایشگاهی برای اتلاف توان نرمالیزه شده بر حسب سرعت، حاصل از تست آنالیز مودال مربوط به دمپر 1 77
- شکل 9-3: نمودار نتایج بهینه‌سازی حاصل از الگوریتم ژنتیک برای اتلاف توان نرمالیزه شده بر حسب سرعت، مربوط به دمپر 1 77
- شکل 10-3: نمودار مقایسه نتایج تحلیلی و آزمایشگاهی برای اتلاف توان نرمالیزه شده بر حسب جابجایی، حاصل از تست آنالیز مودال مربوط به دمپر 1 78
- شکل 11-3: نمودار نتایج بهینه‌سازی حاصل از الگوریتم ژنتیک برای اتلاف توان نرمالیزه شده بر حسب جابجایی، مربوط به دمپر 1 78
- شکل 12-3: نمودار مقایسه نتایج تحلیلی و آزمایشگاهی برای اتلاف توان نرمالیزه شده بر حسب سرعت، حاصل از تست آنالیز مودال مربوط به دمپر 2 81
- شکل 13-3: نمودار نتایج بهینه‌سازی حاصل از الگوریتم ژنتیک برای اتلاف توان نرمالیزه شده بر حسب سرعت، مربوط به دمپر 2 81
- شکل 14-3: نمودار مقایسه نتایج تحلیلی و آزمایشگاهی برای اتلاف توان نرمالیزه شده بر حسب جابجایی، حاصل از تست آنالیز مودال مربوط به دمپر 2 82
- شکل 15-3: نمودار نتایج بهینه‌سازی حاصل از الگوریتم ژنتیک برای اتلاف توان نرمالیزه شده بر حسب جابجایی، مربوط به دمپر 2 82
- شکل 16-3: نمودار مقایسه نتایج تحلیلی و آزمایشگاهی برای اتلاف توان نرمالیزه شده بر حسب سرعت، حاصل از تست آنالیز مودال مربوط به دمپر 3 85
- شکل 17-3: نمودار نتایج بهینه‌سازی حاصل از الگوریتم ژنتیک برای اتلاف توان نرمالیزه شده بر حسب سرعت، مربوط به دمپر 3 85
- شکل 18-3: نمودار مقایسه نتایج تحلیلی و آزمایشگاهی برای اتلاف توان نرمالیزه شده بر حسب جابجایی، حاصل از تست آنالیز مودال مربوط به دمپر 3 86

- شکل 3-19: نمودار نتایج بهینه‌سازی حاصل از الگوریتم ژنتیک برای اتلاف توان نرمالیزه شده بر حسب جابجایی، مربوط به دمپر 3 86
- شکل 3-20: نمودار مقایسه نتایج تحلیلی و آزمایشگاهی برای اتلاف توان نرمالیزه شده بر حسب سرعت، حاصل از تست آنالیز مودال مربوط به دمپر 4 89
- شکل 3-21: نمودار نتایج بهینه‌سازی حاصل از الگوریتم ژنتیک برای اتلاف توان نرمالیزه شده بر حسب سرعت، مربوط به دمپر 4 89
- شکل 3-22: نمودار مقایسه نتایج تحلیلی و آزمایشگاهی برای اتلاف توان نرمالیزه شده بر حسب جابجایی، حاصل از تست آنالیز مودال مربوط به دمپر 4 90
- شکل 3-23: نمودار نتایج بهینه‌سازی حاصل از الگوریتم ژنتیک برای اتلاف توان نرمالیزه شده بر حسب جابجایی، مربوط به دمپر 4 90
- شکل 3-24: نمودار مقایسه نتایج تحلیلی و آزمایشگاهی برای اتلاف توان نرمالیزه شده بر حسب سرعت، حاصل از تست آنالیز مودال مربوط به دمپر 5 93
- شکل 3-25: نمودار نتایج بهینه‌سازی حاصل از الگوریتم ژنتیک برای اتلاف توان نرمالیزه شده بر حسب سرعت، مربوط به دمپر 5 93
- شکل 3-26: نمودار مقایسه نتایج تحلیلی و آزمایشگاهی برای اتلاف توان نرمالیزه شده بر حسب جابجایی، حاصل از تست آنالیز مودال مربوط به دمپر 5 94
- شکل 3-27: نمودار نتایج بهینه‌سازی حاصل از الگوریتم ژنتیک برای اتلاف توان نرمالیزه شده بر حسب جابجایی، مربوط به دمپر 5 94
- شکل 3-28: منحنی‌های تحلیلی اتلاف توان برای پنج عدد دمپر تست شده 96
- شکل 3-29: منحنی‌های اتلاف توان برای نسبت EI های مختلف از پارامترهای کابل دمپر 97
- شکل 3-30: مقایسه منحنی‌های اتلاف توان برای نسبت L های مختلف از پارامترهای کابل دمپر 98
- شکل 3-31: مقایسه منحنی‌های اتلاف توان برای نسبت μ های مختلف از پارامترهای کابل دمپر 99
- شکل 3-32: مقایسه منحنی‌های اتلاف توان برای نسبت (EI, L, μ) های مختلف از پارامترهای کابل دمپر .. 100

فهرست جداول

- جدول 3-1: نتایج تست آنالیز مودال برای دمپر 1 76
- جدول 3-2: پارامترهای مجهول بهینه‌سازی شده به کمک الگوریتم ژنتیک برای توان نرمالیزه شده بر حسب سرعت، مربوط به دمپر 1 79
- جدول 3-3: پارامترهای مجهول بهینه‌سازی شده به کمک الگوریتم ژنتیک برای توان نرمالیزه شده بر حسب جابجایی، مربوط به دمپر 1 79
- جدول 3-4: نتایج تست آنالیز مودال برای دمپر 2 80
- جدول 3-5: پارامترهای مجهول بهینه‌سازی شده به کمک الگوریتم ژنتیک برای توان نرمالیزه شده بر حسب سرعت، مربوط به دمپر 2 83
- جدول 3-6: پارامترهای مجهول بهینه‌سازی شده به کمک الگوریتم ژنتیک برای توان نرمالیزه شده بر حسب جابجایی، مربوط به دمپر 2 83
- جدول 3-7: نتایج تست آنالیز مودال برای دمپر 3 84
- جدول 3-8: پارامترهای مجهول بهینه‌سازی شده به کمک الگوریتم ژنتیک برای توان نرمالیزه شده بر حسب سرعت، مربوط به دمپر 3 87
- جدول 3-9: پارامترهای مجهول بهینه‌سازی شده به کمک الگوریتم ژنتیک برای توان نرمالیزه شده بر حسب جابجایی، مربوط به دمپر 3 87
- جدول 3-10: نتایج تست آنالیز مودال برای دمپر 4 88
- جدول 3-11: پارامترهای مجهول بهینه‌سازی شده به کمک الگوریتم ژنتیک برای توان نرمالیزه شده بر حسب سرعت، مربوط به دمپر 4 91
- جدول 3-12: پارامترهای مجهول بهینه‌سازی شده به کمک الگوریتم ژنتیک برای توان نرمالیزه شده بر حسب جابجایی، مربوط به دمپر 4 91
- جدول 3-13: نتایج تست آنالیز مودال برای دمپر 5 92
- جدول 3-14: پارامترهای مجهول بهینه‌سازی شده به کمک الگوریتم ژنتیک برای توان نرمالیزه شده بر حسب سرعت، مربوط به دمپر 5 95

جدول 3-15: پارامترهای مجهول بهینه‌سازی شده به کمک الگوریتم ژنتیک برای توان نرمالیزه شده بر حسب جابجایی، مربوط به دمپر 5	95
جدول 3-16: درصد تغییر توان تلف شده به ازای تغییر EI	97
جدول 3-17: درصد تغییر توان تلف شده به ازای تغییر L	98
جدول 3-18: درصد تغییر توان تلف شده به ازای تغییر μ	99
جدول 3-19: درصد تغییر توان تلف شده به ازای تغییر EI, L, μ	100

فصل اول

مقدمه و مروری بر

ادبیات فن

1-1) مقدمه و تعریف موضوع

انرژی الکتریکی به واسطه قابلیت تبدیل به صورت‌های دیگر انرژی و بازدهی بیشتر نسبت به سوخت‌های فسیلی اهمیت خاصی در زندگی بشر دارد. انتقال انرژی الکتریکی به وسیله مجموعه‌ای از کابل‌ها که به صورت زمینی یا هوایی بین دو نقطه نصب می‌شوند، انجام می‌گیرد که در اصطلاح به آن شبکه خطوط انتقال نیرو گفته می‌شود. با توجه به این که اتلاف انرژی الکتریکی در انتقال آن در ولتاژهای بالا بسیار کمتر از انتقال این نیرو در ولتاژهای پایین بوده و به واسطه این که نصب کابل حامل الکتریسیته با ولتاژ بالا در زمین، کاری خطرناک و حتی غیر قابل انجام است، بهترین و ایمن‌ترین شیوه برای انتقال انرژی الکتریکی استفاده از خطوط هوایی می‌باشد. نصب این خطوط در فاصله بعضاً طولانی بین شهرها بسیار پر هزینه و دارای مشکلات خاصی است که برای حفظ آنها باید تدابیر خاصی اندیشید. اولین نکته در طراحی خطوط هوایی انتقال نیرو بعد از انتخاب درست مسیر، مشخصات الکتریکی آن است، ولی در این بین باید جنس تجهیزات و عوامل مکانیکی موثر در افزایش نرخ خرابی خطوط نیز در نظر گرفته شود. به عنوان مثال جنس هادی‌ها و پایه‌های آن باید طوری انتخاب شوند که در مقابل نیروهای وارد، مقاومت لازم را داشته و همراه با کارایی رضایت‌بخش، در یک مدت طولانی احتیاج به تعمیر و نگهداری کمتری داشته باشند. به طور کلی یک شبکه خطوط هوایی انتقال نیرو باید از نقطه نظر مکانیکی در مقابل بدترین شرایطی که احتمال وقوع آن در منطقه نصب هست، استقامت داشته باشد نه در مقابل بدترین شرایط ممکن. چرا که هزینه لازم برای حفاظت شبکه در بدترین شرایط ممکن بسیار بالا بوده و بنابراین از لحاظ مالی موجه است که احتمال آسیب تنها در نامساعدترین شرایط جوی محل نصب شبکه مورد توجه قرار گیرد. معمولاً تعیین بدترین شرایط محتمل بر اساس نتایج آماری دقیق اداره هواشناسی از نظر میزان برف و یخ، سرعت باد، حداکثر و حداقل درجه حرارت محیط و درجه حرارت متوسط تعیین می‌شوند.

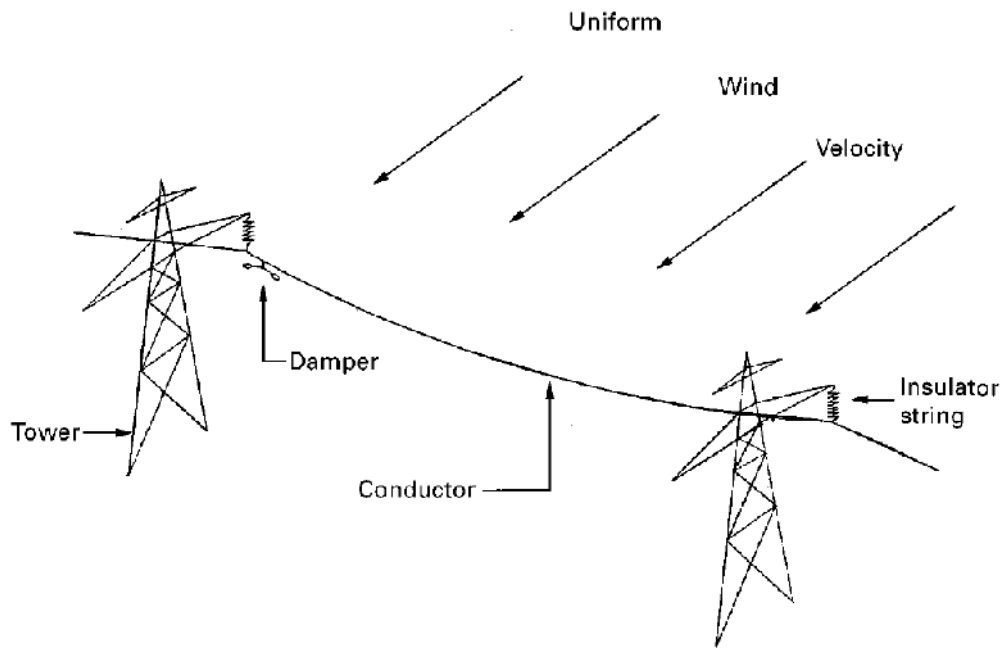
همان‌طور که اشاره شد، حفظ خطوط انتقال نیرو روش‌های خاص هر منطقه جغرافیایی را می‌طلبد ولی اصولاً کابل و دکل در معرض چند ورودی مشترک قرار دارند که از آن جمله می‌توان به باد، باران، برف، تگرگ، زلزله، رعد و برق و... اشاره کرد. در این میان شاید باد اصلی‌ترین و عمومی‌ترین مشکل خطوط انتقال در سراسر جهان باشد.

حرکت سیال هوا بر روی کابل با توجه به سرعت باد و میزان عدد رینولدز، جنس، نوع و میزان زبری کابل، نیروها و فرکانس‌های متفاوتی را ایجاد می‌کند که این نیروهای نوسانی می‌توانند باعث ارتعاش کابل و در نهایت افزایش نرخ تخریب در کابل و اتصالات آن شوند. تجربه نشان داده است که دامنه ارتعاشات کابل‌های خطوط هوایی انتقال نیرو به طور کلی می‌تواند حتی از چندین برابر اندازه قطر کابل هم بیشتر شده، تا جایی که باعث برخورد کابل با سطح زمین در موارد خاص شود. به طور کلی نوسانات کابل می‌تواند باعث پارگی کابل، شکستن مقره، شکست کابل از سر مقره و تجهیزات نگهدارنده کابل و دکل شود و در عین حال خطرات زیادی برای ساکنین به وجود آورد. همچنین شل شدن سر اتصالات و آزاد شدن کابل و یا حتی شکست خود رسانی در حین نوسان و در اثر خستگی مکانیکی بعید به نظر نمی‌رسد.

بدین جهت، از آنجایی که کابل‌های فشار قوی انتقال نیرو یکی از مهم‌ترین اجزاء جهت انتقال نیروی برق تولید شده از نیروگاه تا مصرف‌کننده می‌باشند و با توجه به وجود خرابی‌های متعدد در کابل‌های فشار قوی خطوط انتقال نیروی کشور، به خصوص در نواحی کوهستانی و بادخیز، و همچنین از آنجایی که نوسانات عرضی و تخریب‌های مکانیکی آن، از مهم‌ترین و عمومی‌ترین عوامل در افزایش نرخ خرابی خطوط هوایی انتقال نیرو می‌باشد، بررسی و مدل‌سازی این نوسانات حائز اهمیت و به لحاظ کاربردی در کاهش نرخ خرابی سیستم‌های قدرت، بسیار مفید خواهد بود.

برای کاهش نرخ خرابی‌ها، انرژی مکانیکی انتقال یافته بایستی به طریقی جذب شود. به این منظور از جاذب‌های دینامیکی در سیستم انتقال قدرت استفاده می‌شود. یکی از متداول‌ترین جاذب‌های دینامیکی، دمپر استاک‌بریج¹ است که در فاصله مناسبی از دو سر مقره و بر روی کابل نصب می‌شود.

¹ Stockbridge Damper



شکل 1-1: تأثیر عوامل محیطی بر هادی خطوط انتقال قدرت به همراه دمپر [1].

2-1) اهمیت موضوع و جایگاه آن در مهندسی

با توجه به صنعتی بودن این موضوع و عدم امکان دسترسی همگانی به نتایج حاصله، تعداد مقالات اندکی در این زمینه قابل دسترسی است که همین امر ضرورت تحقیق و بررسی موضوع در داخل کشور را دو چندان می‌کند. همچنین تحقیقات انجام شده، بیشتر بر روی تأثیر مستهلک کننده‌ها در کاهش نوسانات خطوط انتقال نیرو و نیز فواصل نصب آن معطوف بوده و بررسی دینامیک مستهلک کننده‌ها چندان مورد توجه محققان قرار نگرفته است.

در این پایان‌نامه قصد داریم ضمن پر کردن خلأ مذکور، خود دمپر استاک‌بریج را از دیدگاه ارتعاشی مورد بررسی و تجزیه و تحلیل قرار دهیم. این امر علاوه بر کمک به رشد علمی کشور، زمینه‌ای مناسب برای تلفیق نتایج به دست آمده از این تحقیق با نتایج تحقیقات دیگر فراهم می‌آورد، تا بتوان به رویکرد دقیق‌تر و کامل‌تری در خصوص تأثیر این نوع دمپرها در کاهش نوسانات کابل انتقال قدرت دست یافت.

3-1) تعریف مسأله

در این پایان‌نامه قصد داریم پس از مدل‌سازی ریاضی دمپر استاک‌بریج به صورت یک سیستم با چهار درجه آزادی، به مدل‌سازی عددی جهت بررسی پاسخ به تغییر مکان هارمونیک دمپر با استفاده از یک نرم‌افزار عددی پرداخته و سپس تأثیر پارامترهای کابل دمپر در رفتار ارتعاشی سیستم را با استفاده از روش آنالیز مودال تجربی مورد مطالعه و بررسی قرار دهیم. در انتها، به منظور صحت‌سنجی، نتایج آزمایشگاهی را با نتایج تحلیلی مقایسه خواهیم کرد.

4-1) مروری بر ادبیات فن

تحقیقات درباره ارتعاشات خطوط هوایی انتقال نیرو و اثر جاذب‌های ارتعاشی بر روی آن‌ها از حدود سال‌های 1930 آغاز شده است و مطالعات زیادی در خصوص مدل‌سازی نوسانات ارتعاشات عرضی و گالوپینگ خطوط هوایی انتقال نیرو صورت گرفته است که در زیر به آن‌ها اشاره می‌شود.

تعیین فرکانس‌های خطوط انتقال نیرو با استفاده از روش ماتریس انتقال، تعیین فرکانس‌های خطوط چند کابلی و جفتی در سال 1927 توسط سیمپسون [2].

در سال 1932 هارتوگ یک مدل یک درجه آزادی برای بررسی گالوپینگ خطوط انتقال برق ارائه کرد که توسط آن معیاری برای کابل تحت نیروی آیرودینامیک به دست آورد. اما این مدل ساده اهمیت پیش‌پیش را در نظر نمی‌گرفت [3].

در سال 1961 پارکینسون یک مدل یک درجه آزادی با جرم متمرکز را برای تحلیل یک پلانچ به شکل منشور مربعی و با فرض تحریک تک مودی به کار گرفت [4].

در سال 1974 آلنوت و همکارانش ارتعاشات خطوط انتقال نیرو را با مدل‌سازی یک دمپر دینامیکی به صورت جرم و فنر میرا کننده نشان داده شده در شکل 2-1، بررسی کردند و در نهایت محدوده کارکرد مفید دمپر استاک‌بریج بر روی خط انتقال را تعیین کردند [5].



شکل 2-1: مدل آلنوت برای خط هوایی انتقال و دمپر [5].