دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر

گروه برق- قدرت

پایان نامه

برای دریافت درجه کارشناسی ارشد در رشته مهندسی برق- قدرت

عنوان

تحلیل وطراحی شبکه هوایی عایق شده توزیع برق

استاد راهنما

دکتر مهرداد طرفدار حق

استاد مشاور

مهندس سعید قاسم زاده

پژوهشگر

کریم روشن میلانی

مرکز اطلاعات و مدارک علمی ایران
تهیه مدارک
۱۳۸۸/۱۰/۷

۱۲۸۳۲۵ - ۲۰۰۷۸۹۹

مهر ماه ۱۳۸۸

بسمه تعالی

بر خود فرض می‌دانم به مصداق حدیث شریف:

«من لم یشکر المخلوق لم یشکر الخالق»

از همه عزیزان علی الخصوص استاد گرانقدر جناب آقای دکتر "مهرداد طرفدار حق" که با رهنمودهایشان بنده را در تدوین این پایان نامه یاری نموده اند، استاد مشاور جناب آقای مهندس "سعید قاسم زاده" ، دوست ارجمند آقای مهندس "فیروز محمدی" که مشوق من در انجام این تحقیق بوده اند قدردانی نموده و تشکر خود را از آقای "ناصر عبدل زاده" و خانم"نسیم زارع پور نصیری" که در تایپ ، ترسیم جداول و اشکال قبول زحمت نموده اند ابراز داشته و موفقیت همه سروران را از درگاه ایزدمنان مسالت دارم.

همچنین از خانواده گرامیم که در مراحل انجام تحقیق و تکمیل پایان نامه بردباری نموده و در کلیه مراحل مشوق من بوده اند سپاسگزارم.

کریم روشن میلانی

نام خانوادگی: روشن میلانی نام: کریم

عنوان پایان‌نامه: تحلیل وطراحی شبکه هوایی عایق شده توزیع برق

استاد راهنما: دکتر مهرداد طرفدار حق

استاد مشاور: مهندس سعید قاسم‌زاده

مقطع تحصیلی: فوق لیسانس رشته: مهندسی برق گرایش: قدرت دانشگاه: تبریز

دانشکده: دانشکده مهندسی برق وکامپیوتر تاریخ فارغ‌التحصیلی:۱۳۸۸ تعداد صفحات:۷۹

کلید واژه : خطوط هوایی غیر لخت ،هادی روکش دار ،کابل خودنگهدار، کابل فاصله دار،طراحی مکانیکی

چکیده :

پیشرفت تکنولوژی و مدرن شدن زندگی اهمیت تداوم برقرسانی را دوچندان نموده است. وظیفه اصلی سیستم ها، تأمین انرژی مورد نیاز مشترکین بطور پیوسته و بدون قطع برق با کیفیت مطلوب می باشد. در آستانه وقوع تحولات عظیم تکنولوژی در مهندسی برق، فراگیر شدن کاربرد شبکه های غیر لخت به جهت سرعت بخشیدن به روند تغییرات فناوری در شاخه توزیع برق به لحاظ نقش تأثیر گذار آن بر روی اندیس های قابلیت اطمینان، بهبود ایمنی افراد جامعه، توسعه پایدار و حفظ محیط زیست، لزوم مطالعات گسترده در جهت بهره جویی از تجارب و اقدامات انجام یافته در کشورهای پیشرفته جهان اجتناب ناپذیر می باشد.

شناخت گونه های مناسب و تدوین مشخصات فنی هادی های روکش دار، کابل های خودنگهدار و کابل فاصله دار امکان تحلیل و طراحی مکانیکی این خطوط در شبکه های هوایی فشار متوسط را متناسب با شرایط آب و هوایی ایران و بارگذاری شبکه های توزیع کشور فراهم می نماید. در این پایان نامه ضمن بررسی سوابق و روش های اجرایی دیگر کشورها و با توجه به عدم وجود استانداردهای ملی و تازگی موضوع شبکه های هوایی عایق شده، مشخصه های عملکردی هادی های فوق استخراج و متدولوژی حاکم بر محاسبات مکانیکی آن استخراج می گردد. و شرایط بارگذاری مطلوب پروژه ها در ایران و جداول کشش فلش و منحنی های کاربردی برای نصب و استفاده عملی و صحیح آن شبکه ارایه می گردد.

امید است راه کارهای ارائه شده ضمن توجه پیش از پیش به نقاط ضعف شبکه، موجب پیمودن گامی هر چند کوتاه در برنامه ریزی در جهت اصلاح و افزایش پایداری شبکه باشد.

بسمه تعالی

چکیده

فهرست مطالب

فهرست جداول

فهرست شکل ها

فهرست اختصارات

فصل اول: بررسی منابع و سوابق پژوهش ۱

۱-۱ مقدمه و تاریخچه ۲

۱-۲- دلایل استفاده از شبکه های هوایی عایق شده ۳

۱-۲-۱-کاهش قطعی ها وافزایش قابلیت اطمینان ۳

۱-۲-۲- شاخه زنی درختان و برخورد پرندگان ۵

۱-۲-۳- افزایش ایمنی وکاهش برق گرفتگی افراد جامعه ۸

۱-۳ - ساختار شبکه های هوایی عایق شده ۱۰

۱-۳-۱ – هادی ۱۰

۱-۳-۲- روکش ۱۲

۱-۳-۳ – سیم مسنجر ۱٤

۱-٤ – هادی هوایی روکش دار (CC) ۱٤

۱-۵- کابل خود نگهدار هوایی (ABC) ۲۰

۱-۵-۱- مشخصه مکانیکی ۲۰

۱-۵-۲- مشخصه های الکتریکی ۲۲

۱-٦- شبکه هوایی کابل فاصله دار(ASC) ۲۷

۱-٦-۱- ساختار شبکه کابل فاصله دار ۲۹

۱-٦-۲- مشخصات فنی سیم نگهدارنده (مسنجر) ۳۱

۱-٦-۳- مقایسه کابلهای فاصله دار با شبکه های با هادی روکش دار ۳۱

۱-٦-٤- مقایسه کابلهای فاصله دار با شبکه های با کابلهای خودنگهدار ۳۳

۱-٦-٥- مزایای منحصر بفرد کابلهای فاصله دار ٣٤

فصل دوم : روش طراحی خطوط هوایی عایق شده ٣٧

۲-۱- مقدمه ٣٨

۲-۲ تعاریف ٣٩

۲-۳- اصول اساسی طراحی خطوط هوایی عایق شده ٤٠

۲- ٤- تعیین شرایط آب وهوایی ٤١

۲ -٥- محاسبات کشش وفلش سیم ٤٥

۲-٥-۱- سطح مقطع ٤٦

۲-٥-۲- وضعیت بارگذاری ٤٧

۲-٥-۳- اسپن غالب ٤٩

۲-٥-٤- بارمنتجه ٥٠

۲-٦- معادله تغییر وضعیت ٥٢

۲-٦-۱- محدودیتهای کشش سیم ٥٢

۲-۷- کشش و فلش سیم مسنجر ٥٣

۲-۸- کاربرد نرم افزار محاسبه کشش و فلش ٥٦

۲-۹- محاسبات نیروی وارده به پایه ها ٥٧

فصل سوم : نتایج و بحث ٥٨

۳-۱- بحث پیرامون نتایج حاصله ٥٩

۳-۲- منحنی های کاربردی فلش-اسپن خطوط هوایی عایق شده ٦٣

۳-۳- نتیجه‌گیری و پیشنهادات ٧١

منابع مورد استفاده ٧٣

ضمیمه : زیر برنامه محاسبات کشش و فلش و بار منتجه ٧٧

فهرست جداول :

عنوان	صفحه
جدول (۱-۱)- تغییرات شاخص SAIDI متوسط مدت زمان قطعی سیستم شرکت CEMIC	۵
جدول (۱-۲)- نرخ بروز عیب سالانه در هر ۱۰۰ مایل آمریکا	٦
جدول (۱-۳): هادی هوایی روکش دار (CC) فشار متوسط مطابق هادیهای لخت استاندارد شبکه های توزیع ایران - ولتاژ ۲۰ و۳۳کیلوولت	۱۷
جدول (۱-٤): هادی هوایی روکش دار20 kV با هادی آلومینیوم آلیاژی , طبق استاندارد ملی فنلاند بشماره :SFS 5791	۱۷
جدول (۱-۵) :مشخصه فنی وشرایط عملکرد هادی هوایی روکش دار(CC) طبق استانداردداسترالیا بشماره AS/NZS 3672 (جدول: J1)	۱۸
جدول (۱-٦): مشخصه فنی هادی هوایی روکش دارضخیم (CCT) طبق استانداردداسترالیا بشماره AS/NZS 3672 (جدول: J2)	۱۹
جدول (۱-۷): کابلهای خودنگهدار فشار متوسط هوایی (HV-ABC)با سه رشته کابل منوفاز (پیچیده شده بدور سیم مسنجر) - دارای شیلد فلزی	۲۵
جدول (۱- ۸) : سیم های مسنجر (Messenger wire) مخصوص کابلهای خودنگهدار (فشار متوسط) و کابل فاصله دار	۲٦
جدول (۱ -۹) : هادی روکش دار(سه لایه)تمام آلومینیومی مخصوص شبکه کابل فاصله دار (ASC)	۳٦
جدول(۲-۱): وضعیت بارگذاری در مناطق چهارگانه آب و هوایی کشور	٤۲
جدول(۲-۲): شرایط بارگذاری در منطقه پروژه	٤۳
جدول(۲-۳): درصد کشش مجاز در حالت نرمال (EDS) و حداکثر درصد کشش مجاز انواع هادی های عایق شده	٤۸
جدول(۲-٤): میزان کشش اولیه سیم نگهدارنده کابل فاصله دار نمونه Hendrix	۵٤
جدول (۲-۵): میزان فلش سیم مسنجر کشیده شده برحسب cm	۵۵
جدول (۲-٦): حداکثر طول اسپن قابل عبور در دمای 15^{oC} با حداکثر ۲۵٪ UTS	۵۵
جدول (۳-۱): نتایج کشش و فلش انواع شبکه های هوایی عایق شده در دمای ۲۰درجه سانتی گراد و سطح مقطع هادی ۱۵۰میلیمتر مربع UTS=50%	٦۱
جدول (۳-۲): کشش هادیهای هوایی روکش دار CC-ACSR	٦۳

جدول (۳-۳): کشش هادیهای هوایی روکش دار آلومینیوم آلیاژی CC-AAAC ۶۳
جدول (۳-٤): مقایسه دو گونه سیم مسنجر بکار رفته در کابل خودنگهدار فشار متوسط ٦٦
جدول (۳-۵): مقایسه دو گونه سیم مسنجر بکار رفته در کابل فاصله دار فشار متوسط ٦٧

فهرست شکل ها:

عنوان **صفحه**

شکل (۱-۱)- کاهش میزان شاخه زنی درختان با بکارگیری هادی های هوایی عایق شده ٦
شکل (۱-۲)- شبکه کابل فاصله دار در عبور از مناطق پردرخت و جنگل ۷
شکل (۱-۳)- مقایسه قطر نهایی انواع ساختار هادی هوایی فشرده شده ۱۱
شکل (۱-٤)- انواع آرایش های شبکه های هوایی عایق شده ۱۳
شکل (۱-٥)- ساختار هادی های روکش دار ۱٤
شکل (۱-٦)- ساختار کابل خودنگهدار فشار متوسط ۲۰
شکل (۱-۷)- برش مقطعی کابل خودنگهدار فشار قوی HV-ABC- ۲۳
شکل (۱-۸)- ساختار خطوط کابل فاصله دار - ASC ۲۷
شکل (۱-۹)- مقایسه تقریبی قیمت شبکه هوائی با هادیهای لخت، روکش دار، فاصله دار و خودنگهدار ۳۳
شکل (۱-۱۰)- احداث چند شبکه کابل فاصله دار بر روی یک پایه بتونی ۳٤
شکل (۱-۱۱)- عبور خط هوایی فاصله دار از اسپن های خیلی بزرگ ۳٤
شکل (۲-۱)- نقشه پهنه بندی مناطق آب و هوایی (چهارگانه) کشور برای احداث خط هوایی ٤۳
شکل(۲-۲)- بار منتجه ناشی از باد و قطر یخ بر روی هادی روکش شده ٥۱
شکل (۲-۳)- بار منتجه ناشی از باد و قطر یخ بر روی خودنگهدار ٥۱
شکل(۲-٤)- نرم افزار محاسبات مکانیکی کشش و فلش خطوط هوایی - PDLD ٥٦
شکل (۳-۱)- منحنی های فلش هادی هوایی روکش دار (CC-ACSR) ٦٤
شکل (۳-۲)- منحنی های فلش هادی هوایی روکش دار آلومینیوم آلیاژی (CC-AAAC) ٦٥
شکل (۳-۳)- مقایسه فلش کابل خودنگهدار فشار متوسط مقطع $3*70^{mm2}$ نمونه با نوع NOKIA AB دارای دو نوع سیم مسنجر مختلف ٦۷
شکل (۳-٤)- مقایسه فلش کابل فاصله دار مقطع $3*150^{mm2}$ نمونه با نوع Hendrix دارای دو نوع سیم مسنجر مختلف ٦۷
شکل (۳-٥)- منحنی های فلش کابل خودنگهدار فشار متوسط (HV-ABC) ٦۹
شکل(۳-٦)- منحنی های فلش کابل های فاصله دار(ASC) ۷۰
شکل (۳-۷)- مقایسه میزان فلش انواع خطوط هوایی عایق شده سطح مقطع ۱٥۰^{mm2} و دمای روز نرمال ۲۰ درجه سانتی گراد ۷۱

فهرست علائم اختصاری :

شرح	واحد بر حسب :
α : ضریب انبساط طولی	$(°C^{-1})$
Δ : شل شدگی هادی[1]	(m)
ε : پدیده پیری[2] هادی ناشی از کشیده شدن و تثبیت رشته ها که ناشی از یکی از خواص فلزات تحت کشش (کرنش[3]) می باشد.	—
ρ : چگالی یخ	(kg/m^3)
σ : (تنش[4]) یا فشار بر متر مربع	(mpa)
A : سطح مقطع کل هادی	(mm^2)
A_a : سطح مقطع بخش آلومینیومی هادی	(mm^2)
A_s : سطح مقطع بخش فولاد هادی	(mm^2)
C : ثابت منتج شده از منحنی سهمی شکل کاتینری (cutenary) هادی	(m)
C_h : ثابت سهمی شکل (کاتینری) W_n مولفه افقی بار توزیع شده هادی	(m)
C_v : ثابت سهمی شکل(کاتینری) W_v مولفه عمودی بارتوزیع شده هادی	(m)
d : قطر هادی	(m)
D : فلش هادی	(m)
E : مدول الاستیسیته	(mpa)=kg/mm^2
h : اختلاف ارتفاع بین نقاط بسته شدن هادی ($= y_2 - y_1$)	(m)
H :مولفه افقی کشش	(N)
S : طول اسپن هادی ($= X_2 - X_1$)	(m)
S_h : اسپن بادخور بر روی سازه (پایه)	(m)
S_r : اسپن معادل طراحی هادی (ruling) در هر سکشن	(m)
S_v : اسپن وزنی بر روی سازه (پایه)	(m)
m : وزن واحد طول هادی	(kg/m)
P : فشار باد	(Pa)
r : ضخامت شعاعی یخ	(m)
t : متوسط دمای سطح هادی	(° C)

[1] - slack
[2] -Creep
[3] -Strain
[4] - stress

T : کشش محوری یا مماس بر امتداد هادی	(N)
T_a : متوسط کشش در امتداد محور هادی	(N)
V : مولفه عمودی کشش T	(N)
W : بار منتجه یکنواخت (وزن،نیروی باد و ...) بر روی واحد طول هادی	(N/m)
W_h : مولفه افقی ناشی از بار یکنواخت بر روی هادی	(N/m)
W_v : مولفه عمودی ناشی از بار یکنواخت بر روی هادی	(N/m)
β : زاویه باد نسبت به امتداد هادی (درجه)	deg
ϕ : ضریب اطمینان فاکتور استحکام که میزان تغییر پذیری مواد در نقشه های ساخت و غیره را مـورد توجه قرار می دهد.	—
γ_x: ضریب درصد بارگذاری که میزان نیروها، اهمیت (ساختار)، مسائل ایمنی و غیره را مورد توجه قرار می دهد.	—
F_b : نیروی روی پایه (دکل) نسبت به تنش های غیر متعادل هادی ناشی از شرایط غیر عادی به عنوان مثال پارگی یکی از هادی (معیوب).	(kN)
F_c : نیروی وارده به هادی ناشی از فشار باد روی ناحیه مشخص شده از هادیها. (Ld = ناحیه)	(kN)
F_s : نیروی وارده به پایه ها (دکل ها) ناشی از نیروی باد	(kN)
F_t : نیروی روی پایه (ناشی از کشش هادی در حالت عادی) بعلاوه فشار باد به تناسب آن	(kN)
G_c : بارهای ساکن عمومی ناشی از وزن هادیها.	(kN)
G_s : بارهای ساکن عمومی ناشی از وزن المان های (غیر هادی)	(kN)
R_n : استحکام نامی قطعه و المانها	(kN)

فصل اول

بررسی منابع و سوابق پژوهش

بسمه تعالی

۱ – ۱- مقدمه و تاریخچه:

با اینکه بیش از چهل سال از عایق کردن خطوط هوایی لخت شبکه های توزیع می گذرد و لیکن تحقیقات و مطالعات برای تکمیل و رفع مشکلات آنها از جمله حفاظت در مقابل صاعقه، افزایش پایداری مکانیکی در شرایط نامساعد جوی، غلبه برافزایش وزن و سطح بادخور، افزایش چرخه عمر روکش عایقی و..... هنوز در حال انجام است.

نسل اول روکش دار کردن هادی ها با استفاده از یک لایه نازک عایق به دور هادی ها آغاز گردید. این *هادی های روکش دار*[5] "CC" همانند هادی های لخت در هوای آزاد و بین دو نگهدارنده به پایه ها محکم شده ویا به ساپورتهای موجود دردو طرف اسپن با استفاده از یراق آلات خاص آن محکم می شوند. در هادی های روکش دار تحمل نیروی کشش وزن زیاد مغزی فولادی ، مشکلات عدم کمپکت شدن کامل ، حفاظت در مقابل برخورد صاعقه و جایگزینی هادی ها با آلیاژ های خاص آلومینیومی جزو موارد در حال تحقیق است.

مقارن با روکش دار شدن رشته ها،نسل دومی از شبکه های عایق شده در شبکه های فشار ضعیف بصورت مجموعه ای از هادی های روکش دار بهم تابیده شده هوایی بنام "*کابل های خودنگهدار*[6] ABC " استفاده شدند.کابل های خودنگهدارنده[7] فشار ضعیف به مجموعه کابل های دوتایی و یا بیشتر از دو اطلاق می گردد که بهم تابیده شده و مجموع رشته های آنها دسته بندی شده اند. در نوع کابلهای خودنگهدار فشار متوسط بعلت افزایش وزن بسیار زیاد آنها از یک سیم فولادی مسنجر[8] در مرکز این مجموعه بعنوان سیم نگهدارنده یا حمّال استفاده می شود. متناسب با طول اسپن و تحمل نیروهای وارده، سیم مسنجر باید دارای سطح مقطع و استقامت کششی مناسب باشد. این سیم در شبکه کابل خودنگهدار فشار ضعیف نقش هادی نول را نیز بعهده دارند. کاربرد کابلهای خودنگهدار وانتخاب صحیح بارگذاری سیم مسنجر و انجام محاسبات مکانیکی برای مقادیر کشش و فلش مجاز از مباحث مورد بررسی و مطالعات این پایاننامه می باشد که در فصل بعدی بیشتر توضیح داده خواهد شد.

امروزه نسل جدیدی از شبکه های هوایی عایق شده در کشورهای پیشرفته در حال اجرا می باشد که بر مبنای تجارب گذشته و ضمن رفع مشکلات شبکه های هوایی عایق شده قبلی، دستاوردهای جدید خطوط کمپکت شده در شبکه های توزیع برق را محقق مینماید.با بکار گیری یک فاصله نگهدار (اسپیسر عایقی) مابین سیم مسنجر و فازهای هادی هوایی روکش دار، این شبکه ها

---

[5] -Covered Conductor = CC
[6] -Aerial Bundle Cable = ABC
[7] -Self Support
[8] -Messenger wire

به شبکه "*کابل فاصله دار هوایی* [9] ASC" مشهور گردیده اند.این سیستم در شبکه های فشار متوسط و بدلیل وزن زیاد ، مشکلات عیب یابی و بهره برداری و انشعاب گیری از کابلهای خودنگهدار معرفی شده اند.کابل فاصله دار دارای سه هادی روکش دار ضخیم می باشد که در رئوس فاصله نگهدار عایقی (اسپیسر) لوزی یا ستاره شکل بسته شده اند . این شبکه از یک رشته سیم فولادی با تحمل کششی زیاد که بین دو پایه کشیده شده است ، آویزان می گردد. تغییر در میزان کشش این سیم بعد از اضافه شدن این هادی ها و نیز نحوه محاسبات سطح بادخور، وزن واحد طول در انواع شرایط آب وهوایی ، نحوه اجرا و احداث صحیح این شبکه ها بعنوان دیگر مباحث مورد مطالعه در این پایاننامه میباشد.

در این فصل ابتدا بمنظور فراهم شدن شرایط انجام تحلیل ها ،ضمن معرفی ساختار تشکیل دهنده ومشخصات فنی سه گونه شبکه های هوایی عایق شده شامل هادی های روکش دار، کابل خودنگهدار و کابل فاصله دار در سطح ولتاژ فشار متوسط توضیح داده می شود. در فصل های بعدی روش طراحی الکتریکی و مکانیکی هادیهای هوایی عایق شده و منحنی های کاربردی این شبکه ها متناوب با شرایط بارگذاری کشور ارایه میگردد. این پایاننامه صرفاً به بررسی شبکه های هوایی عایق شده فشار متوسط می پردازد.

۱–۲ – دلایل استفاده از شبکه های هوایی عایق شده

۱-۲-۱- کاهش قطعی ها و افزایش قابلیت اطمینان

آمار سالیانه خاموشیهای مشترکین در ایران نشان می دهد که بطور متوسط بیش از ٦١ درصد خاموشیها در بخش شبکه فشار متوسط کشور است[۱] . این درحالی است که بدلایل اقتصادی و هزینه کمتراحداث،طول شبکه فشار متوسط هوایی کشور بیش از ٢٦ برابر و شبکه فشار ضعیف ۸ برابر طول شبکه های کابل زیر زمینی میباشد[۲] . آمارخاموشیها در شرکت توزیع برق آذربایجان شرقی برای سهم عوامل اتفاقات خطوط هوایی شبکه های فشار متوسط با هادی های لخت در ایجاد قطعی ها بیشتر از ۹۲٪ می باشد[۳].

در اکثر کشور های جهان بغیر از مراکز پایتخت و مناطق شهری بزرگ، شبکه های توزیع انرژی با خطوط های هوایی بیشتر از شبکه های رایج کابل زمینی میباشد. خطوط هوایی توزیع برق در معرض انواع صدمات عمدی، خوردگی شیمیایی، برخورد صاعقه ، شرایط نامساعد جوی ، طوفان و اتصال کوتاه های موقت ودائمی ناشی از برخورد هادی های لخت بهم وبه بدنه می باشند. بر اساس آمار حوادث خطوط هوایی شرکت توزیع برق استان آذربایجان شرقی درسال

[9] - Aerial Spacer Cable = ASC

۱۳۸۷ بیشترین عوامل ایجاد خاموشیها که سهمی بالغ بر ٦٥ درصد دارند ؛ اتفاقات و حوادثی به شرح ذیل بوده اند که ارتباط مستقیمی با بدون عایق بودن هادی های هوایی خطوط دارند[٤] :

۱ – *عوامل خارجی* با ۳۰ درصدفراوانی و جمع تعداد اتفاق ٤٦۲۲ مورد در طی سال

۲ – *برخورد پرندگان وشاخه درختان ۱۲/۵ درصد با تعداد ۱٦۷۰ مورد درطول سال*

۳ – *عوامل جوی* با ۱۰ درصدفراوانی و تعداد ۱۱۸۰ مورد در طول سال

٤ – *پارگی سیم وبرخورد هادی ها به هم وبه بدنه ۹/۵ درصد با ۵۱۷ مورد در سال.*

انجام مطالعات پژوهشی برای رسیدن به اقدامات اصلاحی و پیش گیرانه در این بخش ها میتواند مثمر ثمر باشد. بکارگیری هادیهای روکش دار خطوط هوایی در فیدرهای پرعارضه اروپا میزان اتصالات و قطعی را ۷۵ درصد کاهش داده است[۵] [٦] روزه یکی از اقتصادی ترین روشهای کاهش قطعی ها ناشی از خطوط هوایی با سیم های لخت در کشورهای پیشرفته جایگزینی هادیهای هوایی عایق شده با یکی از گونه های هادی روکشدار کابل خودنگهدار و یا کابل فاصله دار می باشد[۷]. آمار منتشر شده از نرخ حوادث و اتفاقات در شبکه هوایی کشور فنلاند در بین سالهای ۱۹۹۸ حاکی از آن است که با بکارگیری هادیهای رکش دار نرخ خطا بطور متوسط از تعداد ٤/۵ خطا به ازای هر ۱۰۰ کیلومتر در خطوط با هادیهای لخت به تعداد ۰/۹ خطا در هر ۱۰۰ کیلومتر کاهش می یابد[۵]. از نظر اقتصادی نیز با بکارگیری شبکه های عایق شده و اختصاص هزینه اندک (۲۵ درصدی) می توان منجر به افزایش قابلیت اطمینان خطوط هوایی در حد شبکه کابلی گردید در حالی که احداث شبکه کابل زیرزمینی بیش از پنج برابر هر کیلومتر خط هوایی هم مقطع هزینه در بردارد. در کشورهای اسکاندیناوی با سی سال تجربه استفاده از خطوط هوایی عایق شده ، نرخ عیب متوسط ۰/۰۰۹ عیب در کیلومتر در سال است[۸].

بر اساس آمار شرکت توزیع CEMIG برزیل با بیش از پنج میلیون مشترک ، جایگزینی خطوط توزیع هوایی لخت با خطوط روکش دار (کابل فاصله دار) نرخ عیب را از ۰/۹ عیب در کیلومتر در سال به ۰/۰٤ یعنی به کمتر از ۱/۲۰ کاهش داده است . جدول (۱–۱) مقادیر SAIDI (اندیس قابلیت اطمینان = متوسط زمان خاموشی سیستم به ازای هر مشترک در سال) شبکه های با هادی لخت، روکش دار و خودنگهدار را در توزیع برق کشور برزیل نشان می دهد[۹].

جدول (۱-۱) – تغییرات شاخص (SAIDI) متوسط مدت زمان قطعی سیستم شرکت CEMIG

کابل خودنگهدار	کابل روکش دار	هادی لخت	نوع قطعی
۱	۱/٤	۲/۵	برنامه ریزی شده
۰/٤	۱/۱	۵/۲	برنامه ریزی نشده
۱/٤	۲/۵	۷/۷	کل

بر اساس بولتن آمار منتشر شده سازمان برق کره جنوبی (KEPCO) در سال ۲۰۰۳، یکی از شاخص‌های مطلوب مدیریتی وزارت نیروی آن کشور ، عدد ۱۹ دقیقه برای متوسط زمان خاموشی هر مشترک در سال (SAIDI) بوده که در مقایسه با مقادیر مشابه برای سایر کشورهای پیشرفته یک عملکرد موفق تلقی می‌گردد. یکی از دلایل رسیدن به این شاخص در نتیجهٔ تبدیل ۹٦ درصد کل شبکهٔ هوایی لخت به نوع عایق شده می‌باشد[۱۰].

در بازدید گروه اعزامی از توزیع برق آذربایجان‌شرقی از سازمان برق کره جنوبی (KEPCO) که در فروردین ماه سال ۱۳۸۳ انجام پذیرفت تکنیک جدید استفاده از روکش عایقی XLPE بر روی سیم‌های لخت هوایی و جایگزینی هادی های روکش دار در شبکه‌های فشار متوسط و فشار ضعیف مناطق شهری و روستایی مشاهده گردید. این روش باعث شده بود که شبکه‌های توزیع بدون هیچ گونه نگرانی و به صورت مارپیچی در داخل کوچه‌های تنگ و خیابان‌های سئول کشیده شده و در میان برج‌ها و ساختمان‌های بلند مرتبه که هر لحظه امکان پرتاب یا افتادن اشیاء فلزی بر روی شبکه وجود داشت، کشیده شوند [۱٤~۱۱]. این بازدید منجر گردید تا استفاده از این نوع از هادی‌ها در ایران به طور جدی از سال ۱۳۸٤ با تعریف پروژه تحقیقاتی در مورد ساخت داخل هادی‌های روکش‌دار و کاربرد آزمایشی آن آغاز گردید. همکاری سه جانبه تیم تحقیقاتی متشکل از کارشناسان صنعت برق (شرکت توزیع نیروی برق آذربایجان شرقی)، اساتید دانشکده مهندسی برق دانشگاه تبریز و کارشناسان یکی از واحدهای تولیدی سیم و کابل کشور ، شرایط اولیه را برای تولید داخل مهیا نموده و اجرای پایلوت هادی‌های روکش‌دار برای اولین بار در شبکه‌های توزیع ایران در همان سال انجام گرفت[۱۵].

۱-۲-۲- شاخه زنی درختان و برخورد پرندگان

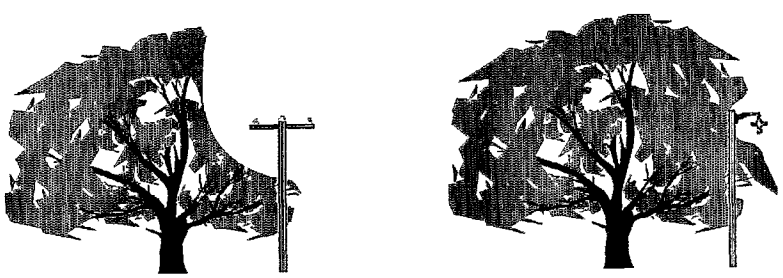
درعبور خطوط هوایی از مناطق پر درخت، شرکت های برق باید هر ۳ الی ۵ سال یکبار نسبت به شاخه زنی درختان اقدام نمایند. در غیر اینصورت نرخ بروز خطا در آن فیدر ها افزایش می یابد. روکش دار کردن هادی ها می تواند بطور موثر تعداد خطاهای ناشی از اتصالی درختان را کاهش دهد.مطالعات قابلیت اطمینان خطوط هوایی شبکه های توزیع توسط شرکت Hendrix برای شرکت های برق ایالات متحده در بین سالهای 1995 الی 1997 نشان می دهد

که نرخ بروز عیب در هر ۱۰۰ مایل در سال با بکارگیری شبکه کابل فاصله دار مطابق با جدول (۱-۲) به میزان ۲۵ درصد کاهش یافته است که بیشترین تاثیر ناشی از شاخه درختان بوده است[۱۶].

جدول(۱-۲)- نرخ بروز عیب سالانه در هر ۱۰۰ مایل آمریکا

نوع عیب	هادی لخت	هادی روکش دار	کابل فاصله دار
شاخه درختان	۱۷/۶	۶/۶	۱/۸
حیوانات و پرندگان	۱۲/۱	۵/۹	۲/۹
برخورد صاعقه	۳/٤	۱/۹	۱/۰
عیب نامشخص	۵/۹	۲/۶	۱/۰
سایر اتصالات	۱۱/۳	٤/۶	۵/۹
جمع	۵۰/۳	۲۱/۷	۱۲/۵

در طی سالهای اخیر اکثر شرکت های برق در جهان که با مشکلات شاخه زنی درختان و اعتراض تشکل های سبز حامی حفظ محیط زیست مواجه شده اند، علاقمند به بکارگیری هادی های عایق شده گردیده اند تا میزان حجم شاخه زنی در آن مناطق کاهش یابد[۱۷]. هادی های روکش شده برای حفاظت کامل در مقابل اتصال دائم بین فاز و زمین طراحی نشده اند بلکه برای جلوگیری از تخلیه جرقه در برخورد شاخه درختان قابل بکارگیری هستند. هادی متناسب از این نوع به هادی های روکش دار درختی معروف بوده (tree wire) و در شبکهٔ کابلهای فاصله دار نیز به بکار برده می شوند[۱۸] . این هادیها در مقابل انواع شرایط نا مساعد جوی نیز مقاوم هستند. در مرجع [۱۹] بیان گردیده است که در طراحی و محاسبات مکانیکی شبکه های کابل فاصله دار می توان تحمل وزن افتاده درخت که در اطراف آن قرار دارد را نیز لحاظ نمود این روش بسیار کارسازتر و مناسب تر از انجام تعمیرات برای هادی های پاره شده و تعویض پایه های شکستهٔ خطوط خواهد بود[۱۷]. شکل (۱-۲) میزان تاثیر کاهش حجم شاخه زنی در باند آزادسازی خطوط هوایی لخت با روکش شده را نشان می دهد.

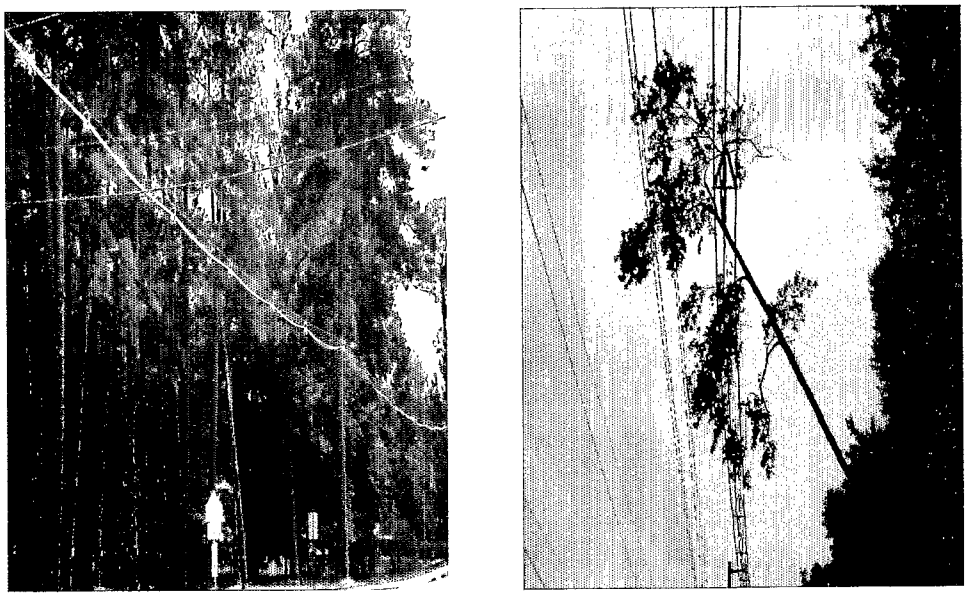


شکل(۱-۱)- کاهش میزان شاخه زنی درختان با بکارگیری هادیهای هوایی عایق شده

مرگ و میر پرندگان و حیوانات نیز یکی از عوامل بروز قطعی و خاموشیها در شبکه های هوایی توزیع می باشد که همه ساله مطالعات و پژوهشهایی برای غلبه بر این مشکل انجام می پذیرد.

در سال ۱۳۸۵ طرح پایلوت ۱۲ کیلومتر تعویض هادی های لخت با هادی روکش‌دار به سطح مقطع $۳\times۷۰mm^۲$ در یکی از مناطق پرنده‌خیز استان آذربایجان شرقی واقع در بخش لیلان شهرستان ملکان که دارای آمار خاموشی بالای ناشی از برخورد پرنده بود، اجرا گردید.

نتایج عملی کاهش قطعی و خاموشی‌ها در منطقه بحرانی لیلان که دارای اتصالات و قطعی‌های مداوم ناشی از پرنده‌زدگی در طی هشت ماهه اول هر سال بود، بدست آمده است. بعد از اجرای ۱۲ کیلومتر تعویض هادی ها خط هوایی ۲۰ کیلوولت با هادی‌های روکش‌دار ساخت داخل کشور ، این خاموشی‌ها به میزان قابل توجهی نسبت به مدت مشابه سال قبل از آن حتی در فصول برداشت محصول کاهش یافته است. میزان انرژی توزیع نشده در هشت ماهه دو سال قبل از اجرای طرح (سال‌های ۸٤ و ۸۵) هر کدام به طور متوسط بالغ بر ۱٤مگاوات ساعت بودند که با اجرای طرح به میزان ۵ مگاوات ساعت تقلیل یافت. کاهش تعداد قطعی‌های حفاظتی ثبت شده از تعداد ۹۲ قطعی به تعداد ۱۷ مورد، دلالت بر مثمر ثمر بودن این اقدام در کاهش خاموشی‌ها دارد[۲۰] .



شکل (۱-۲)- شبکه کابل فاصله دار در عبور از مناطق پر درخت و جنگل

۱-۲-۳- افزایش ایمنی وکاهش برق گرفتگی افراد جامعه

گستردگی شبکه های هوایی توزیع با سیم های لخت توزیع در سطح معابر شهری و روستایی باعث بروز حوادث و مشکلات عدیده ای می گردد. بررسی نرخ آمار برق گرفتگی مربوط به سیمهای هوایی لخت حاکی از این واقعیت است که روکش دار کردن هادیهای هوایی لخت می تواند گامی موثر در جهت افزایش ایمنی در صنعت برق وافراد جامعه باشد. یکی از دلایل اصلی گسترش سریع و روز افزون جایگزینی کابلهای هوایی خودنگهدار بجای سیمهای لخت در این امر می باشد. استفاده از کابلهای خودنگهدار و هادیهای روکش دار هوایی می تواند یکی از راهکارهای موفق جهت کاهش احتمال بروز حوادث ناخواسته باشد [۲۳~۲۱].

در سال ۲۰۰٤ تحقیقی در انگلستان دُر مورد جایگزینی خطوط ۱۱ کیلو ولت لخت با هادیهای روکش دار جهت افزایش ایمنی افراد انجام گرفت. در طی ۱۳ سال تا مارس ۲۰۰٤ تعداد ۲۳۸ نفر بر اثر برق گرفتگی در شبکه های توزیع که ۹۰٪ آنها بر اثر برخورد با خطوط هوایی ولتاژ متوسط ۱۱ کیلو ولت بوده است فوت کرده اند. نتایج مطالعه نشان داد که با جایگزینی تمام خطوط ۱۱ کیلو ولت در هر سال جلوی مرگ ٤ نفر و زخمی شدن ٦ نفر را می توان گرفت. با در نظر گرفتن بهره پول معادل ۳٪ در سال و تعمیم موضوع به ٦۰ سال مدت بهره برداری از خط می توان ۱٤۱ میلیون پوند صرفه جویی نمود. از طرف دیگر با در نظر گرفتن هزینهٔ اضافی ناشی از جایگزینی خطوط متعارف با خطوط با هادیهای روکش دار معادل ۳۲۰۰ پوند و نصب خطوط روکش دار جدید معادل ۱٦٤۰۰ پوند در هر کیلومتر و با در نظر گرفتن طول کل خطوط ۱۱ کیلو ولت انگلستان، این پروژه تعویض و جایگزینی تمامی شبکه هوایی به روکش به هیچ وجه اقتصادی نبوده بلکه استفاده از خطوط ترکیبی برای نقاط پرحادثه توجیه پذیر بوده و ضروری می گردد[۲٤].

بطور خلاصه عمده ترین معایب و مشکلات استفاده از شبکه های توزیع هوایی با هادیهای لخت را می توان به شرح زیر برشمرد[۲۰] :

کاهش پایداری شبکه :

- برخورد سیم ها به هم و ایجاد اتصالی ها
- پرتاب یا برخورد اشیاء به شبکه
- قطعی برق ناشی از عوامل جوی و سوانح
- ایجاد نشتی برق و افزایش تلفات شبکه های توزیع برق
- تیر کجی یا تیر شکستگی (به عنوان نمونه برخورد خودروها)
- سرقت سیم شبکه یا امکان استراق برق و یا استفاده از برق غیر مجاز
- جمپر سوزی پارگی سیم (بعلت خوردگی و یا برق غیر مجاز)
- اتصالی سیم معابر به نول و سوختن لوازم برقی مشترکین
- خوردگی شیمیائی سیم ها ...
- برخورد صاعقه و عدم عملکرد صحیح سیستم های حفاظتی برقگیر

صدمه به محیط زیست

- سقوط درختان یا برخورد شاخه های آن
- آسیب به محیط زیست و صدمه به زیبایی و معماری شهری
- مرگ و میر حیوانات و پرندگان
- مسائل مرتبط با حریم و باند آزاد سازی (ROW)

کاهش ایمنی

- خطرات برق گرفتگی بیشتر ناشی از تماس مستقیم و غیر مستقیم افراد
- ایجاد آتش سوزی بر اثر اتصالی ها
- کاهش حوادث برق گرفتگی پرسنل فنی شرکت های برق

کاربرد هادیهای روکش شده در شبکه های قدرت بسرعت در حال افزایش است. بطوریکه گزارش های اجرای آزمایشی آنها در خطوط انتقال 132kV و کابل خودنگهدار 96kV آمده است [۲۵] [۲۶]. اخیراً تحقیقاتی برای توسعه استفاده از هادی روکش دار (CC) برای کاربرد آنها در خطوط فشار قوی از جمله خطوط انتقال 110kV در کنفرانس جهانی شبکه های فشار قوی جهان (سیگره= 2004) منتشر شده است [۲۷] . این خطوط بدلیل قابلیت های کمپکت شدن ساختار آنها ، کاهش میدانهای الکترومغناطیسی و نیز افزایش قابلیت اطمینان شبکه ها نسبت به هادی های لخت در ارجحیت توسعه آتی خواهند بود.

۱-۳ - ساختار شبکه های هوایی عایق شده

بطور کلی تجهیزات الکتریکی بکار رفته در هر هادی هوایی عایق شده شامل دو قسمت "هادی" و "روکش" می‌شود.

۱-۳-۱- هادی :

به قسمتی از هادی روکش شده که وظیفه رسانایی جریان را بعهده اطلاق میگردد. این رسانا عموماً از مفتول های بهم تابیده شده آلومینیوم ۱۳۵۰ساخته شده است.هادی تمام آلومینیوم (AAC)[۱۰] به دلیل وزن سبک و ارزان بودن آلومینیوم به عنوان هادی مناسب شبکه های هوایی عایق شده بطور وسیعی در انواع گونه های خطوط مورد استفاده قرار می گیرد[۲۸].

با توجه به اینکه استفاده از روکش موجب افزایش قطر نهایی هادی و افزایش سطح بادخور و وزن واحد طول هادی می گردد لذا شرایط حدی در محاسبات مکانیکی موجب رسیدن کشش هادی به درصدغیرمجاز و حد نیروی پارگی سیم مذکور می گردد. این افزایش بارها می تواند همچنین نیروی مضاعفی بر پایه ها، کراس آرم و کلمپ ها وارد نماید. لذا بمنظور تأمین استقامت کششی آنها به دو گونه عمل می گردد:

الف- تقویت مکانیکی بخش رسانای هادی

ب- اضافه کردن سیم مسنجر

هر گاه ساختار خط هوایی روکش دار همانند هادی های لخت به گونه ای باشد که هر هادی فاز بصورت منفرد بایستی قادر به تحمل حد نیروی کشش را داشته باشدو بصورت مستقل به گیره ای انتهایی و ساپورت های نگهدارنده وصل شده باشند، بایستی با انتخاب گونه های دیگر برای بخش رسانای هادی های هوایی رایج به شرح زیر راه کار لازم برای تقویت خود هادی و ممانعت از پارگی آنر تامین نمود.

i. هادی با آلیاژ آلومینیوم (AAAC)[۱۱]
ii. هادی با مغزی فولادی (ACSR)[۱۲]
iii. هادی با مغزی آلیاژی (ACAR)[۱۳]
iv. هادی با مغزی کمپوزیت (ACCC)[۱۴]

---

[10] - All Aluminum Conductor = AAC
[11] - All Aluminum Alloy Conductor = AAAC
[12] - Aluminum Conductor Steel Reinforce = ACSR
[13] - Aluminum Conductor Alloy Reinforce = ACAR
[14] - Aluminum Conductor Composite Core =ACCC