



دانشگاه زنجان

دانشکده مهندسی

گروه برق

پایان نامه کارشناسی

گرایش: قدرت

عنوان: عیب یابی کابل با استفاده از امواج سیار

استاد راهنما: دکتر حسن رضا میرزایی

نگارنده: سیناعسگری

بهمن 95

فهرست

1	مقدمه
3	فصل اول : کابلهای الکتریکی
3-1-1	1-1 اجزا تشکیل دهنده کابلها
3-1-1-1	1-1-1 هادی
3-1-1-2	1-1-2 عایق
3-1-1-3	1-1-3 غلاف های حفاظت
3-1-1-4	1-1-4 شبکه بندی الکتریکی کابل
3-1-2	2-1 پارامترهای کابلهای قدرت
3-1-2-1	1-2-1 مقاومت هادی کابل
3-1-2-2	2-2-1 اندوکتانس کابل ها
3-1-2-3	3-2-1 راکتانس کابل
3-1-2-4	4-2-1 امپدانس کابل
3-1-2-5	5-2-1 مقاومت عایق کابل
3-1-2-6	6-2-1 ظرفیت خازنی کابل
3-1-2-7	7-2-1 تنش الکتریکی در کابلهای تک فاز
3-1-2-8	فصل دوم : امواج سیار
3-1-2-11	1-2-1 مشخصات و معادلات خط
3-1-2-19	2-2-1 خط انتقال به عنوان یک دو درب (two port)
3-1-2-20	3-2-1 انعکاس
3-1-2-21	1-3-2 انتهای خط امپدانس Z_0
3-1-2-22	2-3-2 انتهای خط باز
3-1-2-22	3-3-2 انتهای خط اتصال کوتاه

23	4-2 انعکاس در ابتدای خط.....
28	5-2 امواج سیار در حالت ولتاژ پله.....
35	6-2 قوانین انعکاس در خطوط انتقال.....
35	2-6-1 انتهای خط باز.....
36	2-6-2 انتهای خط اتصال کوتاه.....
38	3-6-2 انتهای خط مقاومت اهمی.....
40	7-2 رابطه شکل زمانی و شکل مکانی موج سیار.....
41	8-2 نمودار نردبانی.....
45	فصل سوم : عیب یابی کابل ها.....
45	3-1- کابل ها از نظر کاربرد.....
46	3-2- انواع عیب های یک کابل.....
46	3-3- روش های عیب یابی کابل ها.....
46	3-3-1- عیب یابی کابل با استفاده از مگر.....
49	3-3-2- عیب یابی کابل با استفاده از TDR.....
49	3-3-2-1- مزایای اندازه گیری TDR.....
49	3-3-2-2- عیب اندازه گیری TDR.....
49	3-3-3- انواع تست کابل با استفاده از TDR.....
51	فصل چهارم : کابل کواکسیال (RG 59).....
51	4-1- دسته بندی کابل های کواکسیال.....
49	4-1-1- thin net.....
51	4-1-2- thick net.....
52	4-2- مزایای کابل های کواکسیال.....
52	4-3- معایب کابل های کواکسیال.....
53	فصل پنجم : نتایج عملی عیب یابی در کابل ها.....
53	5-1- ولتاژ ضربه.....
59	5-2- ولتاژ پله.....
62	نتیجه گیری.....
63	منابع.....

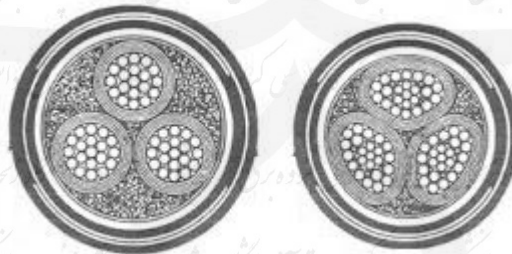
مقدمه

در سیستم قدرت کابل‌های الکتریکی^۱ بمنظور انتقال توان الکتریکی بین دو پست و بعنوان رابط بین یک منبع انرژی و یک دستگاه الکتریکی یا ماشین استفاده می‌شوند. شکل و اندازه کابلها از سیم‌های با عایق ضعیف (مثلاً سیم‌های تلفن) تا کابل‌های قدرت با ولتاژ بالا با عایق زیاد تغییر می‌کند (اتصال ژنراتورها به پستها). اگر چه کابلها از قسمتهائی هستند که کمتر در دید هستند ولی قابلیت اطمینان آنها در سرویس دهی اهمیت بسیار زیادی دارد. عدم توجه کافی به اهمیت کابلها ممکن است باعث خطا در شبکه و خسارات زیاد شود. در خطوط تلفن، وقوع خطا در قسمتی از کابل باعث قطع تعداد زیادی مشترک می‌شود. در تغذیه الکتریسیته برای روشنایی و مقاصد قدرت، خطا در یک فیدر که قسمتی از شبکه را تغذیه می‌کند می‌تواند باعث قطع سرویس برق تمام یک منطقه شود این مساله جدا از ناراحتی مشترکین باعث صدمات مالی به تولید کننده و قطع سرویس دهی می‌شود. در معادن، بیمارستانها و این قبیل جاها که پیوستگی سرویس دهی اهمیت بسیار دارد، خطای روی یک کابل می‌تواند نتایج بسیار جدی در بر داشته باشد. کابل باید قادر به انجام کاری که برای آن طراحی شده است با یک محدوده قابل قبول برای افزایش ولتاژ یا افزایش جریان بار مصرف کننده باشد. افزایش بیشتر در ولتاژ یا اضافه بار اگرچه الزاماً باعث قطع فوری نمیشود باعث کاهش طول عمر کامل می‌گردد. هرچه سطح مقطع یک خط الکتریکی اصلی بازای یک بار داده شده کمتر باشد تلفات انرژی بیشتر است و این تلفات باعث افزایش هزینه بهره برداری سیستم میگردد که باید محاسبه شود. برعکس، هرچه سطح مقطع بیشتر باشد. هزینه سرمایه گذاری اولیه بیشتر است و نظر به این که قسمت بزرگی از هزینه سیستم قدرت مربوط به کابلهاست پیدا کردن سطح مقطع بهینه حائز اهمیت می‌باشد. فاکتورهای دیگر در انتخاب کابل از نقطه نظر اقتصادی، طول عمر تقریبی آن و آمادگی آن برای تغییرات لازم متناسب با سیستم کابل در آینده بعد از نصب است. شناخت کامل این جنبه‌ها نیاز به مراقبت کامل در طراحی، ساخت، آزمایش‌ها خوابانیدن و سرویس و نگهداری کابلها و شبکه‌ها را نشان می‌دهد. برای انتقال، توزیع و مصرف قدرت الکتریکی طبیعتاً یکی از دو روش استفاده از خطوط هوایی و یا کابل‌های زیرزمینی انتخاب می‌شوند. به دلایل اقتصادی خطوط هوایی در سطح گسترده‌ای برای انتقال و توزیع الکتریسیته در مناطق روستایی که محدودیتهای زیست محیطی وجود ندارد به کار می‌روند در صورتی که در مناطق شهری استفاده از کابل‌های عایق‌دار که عمدتاً در زیرزمین کشیده میشوند، رایج است. استفاده از الکتریسیته در کارخانجات، مصارف خانگی و محلهای دیگر بطور عمده، توسط کابل انجام میشود زیرا

¹ - Electric cables

فصل اول : کابلهای الکتریکی

همه کابلها معمولاً شامل یک هادی با مقاومت کم می باشد که هدایت کننده جریان الکتریسیته است و عایقی دارند که هادیها را از یکدیگر و محیط اطراف جدا می سازد. در انواع زیادی از کابلها دو جز نامبرده طراحی کابل را کامل می کنند. با افزایش ولتاژ ساختمان کابل پیچیده تر می شود. اجزا اصلی دیگر کابل شامل شبکه^۱ بمنظور ایجاد میدان الکترواستاتیک شعاعی غلاف فلزی^۲ برای دور نگه داشتن رطوبت و یا بمنظور ایجاد یک عامل فشار آورنده به کابل ، زره^۳ برای حفاظت مکانیکی و حفاظت در مقابل خوردگی برای اجزا فلزی کابل و نیز تجهیزات مختلف اضافی دیگر نظیر استفاده از لوله در داخل یا خارج کابل برای انتقال گرمای تولیدی در کابل است.



شکل (1-1): کابل سه فاز

1-1-1 اجزا تشکیل دهنده کابلها

امروزه مس و آلومینیوم بیشترین مواد مورد استفاده در کابل سازی هستند. تمام کابلها شامل سه قسمت اساسی هستند، هادی که مسیری برای هدایت جریان الکتریکی را فراهم می کند. عایق که از اتصال مستقیم هادی با قسمتهای دیگر جلوگیری می نماید و حفاظت خارجی که کابل را در مقابل صدمات مکانیکی، شیمیایی با الکتروشیمیایی یا عوامل دیگر حفظ می کند.

1-1-1-1 هادی^۴

هادیهای کابلها اکثراً از مس (Cu) و گاهی آلومینیوم (AL) می باشند. مس از ۴۵۰۰ سال قبل از میلاد مسیح در خدمت بشر بوده است. تا قبل از تولد صنعت برق در شروع قرن نوزدهم، چندان از آن استفاده

نمی شد. در حدود سال ۱۸۱۵ تولید سالانه مس دنیا 1800 تن در سال بود. امروزه تولید سالانه آن میلیونها تن می باشد. هر ساله از مس بصورت سیمهای با هدایت بالا، صفحه، نوارها، میله ها و قسمتهای مختلف استفاده می شود. بیشتر مس استفاده شده در صنعت برق بصورت سیم برای سیمهای عایق دار

1-Screen

2-Protective sheath

3-Armour

4-Conductor

است. اکثر کابل‌های فشار قوی از هادی مس بعلت هدایت خوب، کار آسان و منافع اقتصادی آن استفاده می‌کنند. فقط نقره است که دارای هدایت بیشتری نسبت به مسی است که البته به علت ملاحظات اقتصادی از آن برای کابل‌ها استفاده نمی‌شود. استفاده از آلومینیوم بعنوان هادی کابلها روز به روز افزایش می‌یابد. آلومینیوم سبکتر و ارزانتر از مس و چگالی آن حدود یک سوم چگالی مس است. آلومینیوم ضریب هدایت کمتری نسبت به مس دارد در نتیجه سطح مقطع کابل آلومینیومی بیشتر از کابل مسی است.

1-1-2 عایق¹

کاغذ آغشته² یکی از معمولترین عایقهاست که از درختان بویژه از برگ درخت مانیلا که بیشتر در فیلیپین می‌روید به دست می‌یابد. فیبرها³ در کاغذ دارای مقاومت الکتریکی و استقامت دی‌الکتریک کمتری هستند. بنابراین کاغذهایی انتخاب میشوند که طول فیبرها در آن حداقل باشد. فیبر درخت مانیلا این خاصیت را دارد. مقاومت تحمل ولتاژ کاغذ 70 kV/cm است که بعد از آغشته سازی به 600 kV/cm می‌رسد. معمولاً به روغن آغشته سازی رزین اضافه میشود تا از نشت روغن در کاغذ جلوگیری کند. پرمیتویته کاغذ بعد از آغشته سازی سه برابر می‌شود. امروزه در اکثر کشورها عایقهای مصنوعی جایگزین عایقهای کاغذی شده‌اند. در اثر پیشرفتهای انجام گرفته در سالهای اخیر مواد فوق با مشخصه‌های الکتریکی حرارتی و مکانیکی مختلف با توجه به مورد مصرف تهیه می‌شود. بنابراین می‌توان کابلها را برای کاربردهای مختلف و زمینه‌های خاص طراحی کرد.

1-1-3 غلاف‌های حفاظتی

برای حفاظت کابلها در مقابل رطوبت و خوردگی از غلاف‌های ترموپلاستیک⁴ مانند PVC و XLPE و یا غلاف‌های فلزی مانند غلاف‌های آلومینیومی و سربی استفاده می‌شود. غلاف‌های ترموپلاستیک روی کابل با عمل extrusion بصورت بدون درز قرار می‌گیرند. غلاف‌های PVC دارای مقاومت تنشی زیاد، قابلیت تحمل فشار حتی در درجه حرارت زیاد، مقاومت در مقابل تقریباً تمام ترکیبات شیمیایی موجود در خاک و بخصوص مقاومت در مقابل شعله و مقاومت در مقابل پیری دارد. تجربه نشان داده است که در بسیاری از موارد کابلهای فشار متوسط که در زمین خوابانیده می‌شوند به مقدار زیادی در معرض تنشهای مختلف و نیز در معرض رطوبت هستند ایراد این عایقها قابلیت اشتعال آنها و مشکلات حمل و نصب آنها است. غلاف سربی یکی از انواع غلافهای فلزی است که بیشتر برای کابلهای با عایق کاغذی

1-Insulation

2-Impregnated paper

3-Fibers

4-Thermoplastic

استفاده میشود و کار اصلی غلاف فلزی در این حالت حفاظت کاغذ در برابر رطوبت است. غلاف آلومینیومی نیز برای کابلها استفاده می‌شود. آلومینیوم بخاطر سبکی و مقاومت در مقابل رطوبت مانند غلافهای دیگر مورد استفاده قرار می‌گیرد. قابلیت هدایت بالای آلومینیوم امکان آن را فراهم می‌سازد که غلاف در بعضی مواقع بعنوان هادی نول استفاده شود. آلومینیوم تحت تأثیر ارتعاش نیست و حتی در درجه حرارت‌های بالا آسیبی نمی‌بیند بدین منظور در جاهایی که در معرض لرزشهای زیاد است (نظیر پلها یا در طول خط راه آهن) از آنها استفاده می‌شود.

1-1-4 شبکه بندی الکتریکی کابل¹

شبکه بندی الکتریکی در کابلها فقط برای کابل‌های با ولتاژ $U_0 > 0.6/1 \text{ kV}$ بمنظور تنظیم میدان الکتریکی و محدود کردن آن، هدایت جریانهای شارژی و تخلیه‌ای و حفاظت در مقابل تماس دست انجام می‌شود. بدین منظور شبکه کردن معمولاً شامل ترکیب لایه‌های هادی با اجزاء فلزی است.

1-2 پارامترهای کابل‌های قدرت

پارامترهای اصلی کابل‌های قدرت شامل مقاومت، راکتانس و خازن کابل می‌باشد که به توضیح آنها در این بخش خواهیم پرداخت. در ضمن کابلها علاوه بر هادی دارای اجزاء دیگر نظیر عایق شبکه نیز می‌باشند که در بعضی محاسبات کابلها نظیر تلفات باید در نظر گرفته شوند.

1-2-1 مقاومت هادی کابل

الف) مقاومت جریان مستقیم
برای اندازه گیری مقاومت طولی از هادی رشته ای تابیده شده باید ضریبی برای طول خطی سیم در هادی اعمال شود تا طول اضافی ناشی از تابیده بودن رشته‌ها را در بر گیرد. در کابل‌های چند رشته ای یک ضریب اضافی دیگر باید به کار رود تا طول اضافی ناشی از آرایش رشته‌ها را نشان دهد. مقاومت جریان مستقیم همچنین به دما نیز بستگی دارد و از فرمول زیر به دست می‌آید:

$$R_t = R_2 [1 + \alpha_{20}(t - 20)]$$

که در آن :

$$R_t = \text{مقاومت هادی در دمای } t_c \text{ (اهم)}$$

$$R_{20} = \text{مقاومت هادی در دمای } 20^\circ \text{ C (اهم)}$$

$$\alpha_{20} = \text{ضریب گرمایی هادی در } 20^\circ \text{ C}$$

¹- Cable screen

$$t = \text{دمای هادی (C - درجه سانتیگراد)}$$

ب) مقاومت جریان متناوب

اگر هادی یک کابل حامل جریان متناوب باشد، توزیع جریان در تمام سطح مقطع کابل بصورت یکنواخت نمی‌باشد و این بعلت دو اثر مستقل از یکدیگر بنامهای اثر پوستی¹ و اثر مجاورتی² می‌باشد. چنانچه هادی از تعداد زیادی عناصر دایره‌ای شکل هم مرکز ساخته شده باشد، عناصری که در مرکز هادی قرار دارند با شار مغناطیسی بزرگتری نسبت به آنهایی که در خارج قرار دارند احاطه می‌شوند. در نتیجه نیروی محرکه الکتریکی القاء شده بطرف مرکز هادی بزرگتر خواهد بود و این باعث می‌شود که تراکم جریان در مرکز هادی نسبت به سطح خارجی آن کمتر باشد. این جریان اضافی در سطح هادی بعلت اثر پوستی است و نتیجه آن افزایش در مقاومت مؤثر هادی می‌باشد. مقدار اثر پوستی با فرکانس جریان هادی و مقدار جریان و قطر هادی تغییر می‌کند. اثر مجاورتی بوسیله توزیع غیر یکنواخت میدان الکتریکی در اطراف هادیها در قسمتی از هادیها که در مقابل هم قرار گرفته‌اند ایجاد میشود که باعث افزایش مقاومت مؤثر هادی می‌گردد. اگر هادیها حامل جریانی در جهت مشابه باشند نیمه‌هایی از هادیها که در مجاورهم می‌باشند با شار مغناطیسی بیشتری از نیمه‌هایی که دورتر می‌باشند قطع می‌شوند و در نتیجه توزیع جریان در سطح مقطع یکنواخت نیست و مقدار بیشتر آن توسط نیمه‌های دورتر حمل می‌شود. اگر جریانه‌های هادیها خلاف جهت یکدیگر باشند نیمه‌های نزدیکتر به یکدیگر جریان متراکمتری را حمل می‌کنند. در هر دو مورد اثرات کلی باعث افزایش در مقاومت مؤثر هادی می‌شود. اثر مجاورتی با افزایش فاصله بین کابلها کاهش می‌یابد. برای هادیهای خیلی کوچک که جریان متوسطی از آنها عبور میکند میتوان از اثرات مجاورتی و پوستی چشم پوشی نمود. این اثرات بمقدار قابل ملاحظه‌ای در هادیهای بزرگتر افزایش می‌یابد و به دلایل اقتصادی و فنی لازم است که آنها را در طراحی هادیها به حداقل رساند.

1-2-2 اندوکتانس کابل‌ها

اندوکتانس یک هادی حامل جریان متناوب بصورت شار کلی دربرگیرنده هادی تقسیم بر جریان عبوری از آن تعریف می‌شود. در کابل‌های الکتریکی نیز از این روش برای محاسبه اندوکتانس کابل استفاده می‌شود.

برای محاسبه اندوکتانس کابل یک المان استوانه‌ای شکل از کابل به شعاع X و ضخامت dx را در نظر می‌گیریم.

¹ -Skin effect

² -Proximity effect

دانشگاه زنجان دانشکده مهندسی گروه برق آزمایشگاه پروژه برق دانشگاه زنجان دانشکده مهندسی گروه برق آزمایشگاه پروژه برق دانشگاه زنجان دانشکده مهندسی گروه برق آزمایشگاه پروژه برق دانشگاه زنجان دانشکده مهندسی گروه برق آزمایشگاه پروژه برق دانشگاه زنجان

گیریم. طول مسیری که شار مغناطیسی حاصل از جریان عبوری کابل در المان استوانه‌ای شکل طی می‌کند برابر $(2\pi x)$ و سطح مقطع مسیر شار $(dx \cdot l)$ است. طبق قانون آمپر شدت میدان مغناطیسی در کابل از رابطه زیر که یکی از روابط اساسی الکترومغناطیسی است محاسبه می‌شود:

$$\oint H \cdot dL = I$$

در رابطه فوق H شدت میدان مغناطیسی، I جریان عبور کننده از سطح بسته مورد نظر و dL المان طولی در مسیر انتگرال گیری است. رابطه فوق بیانگر این مسأله است که انتگرال حاصل ضرب شدت میدان مغناطیسی در طول هر مسیر بسته برابر با جریان عبوری از سطح حاصل از مسیر می‌باشد. در نتیجه با توجه به ثابت بودن H روی المان استوانه‌ای خواهیم داشت:

$$H \times 2\pi x = I \quad \Rightarrow \quad H = \frac{I}{2\pi x} \quad \text{At/m}$$

چگالی میدان مغناطیسی برابر خواهد بود با:

$$B = \mu H \quad \text{Wb/m}^2$$

شار عبوری از المان استوانه‌ای به ضخامت dx از رابطه زیر بدست می‌آید:

$$d\phi = B dx \cdot L$$

اندوکتانس واحد طول خط برابر است با:

$$L = 2 \times 10^{-7} \ln \frac{R}{r} \quad \text{Henry}$$

در رابطه بالا اندوکتانس مربوط به شار عبور کننده از داخلی هادی در نظر گرفته نشده است. نظر به این که معمولاً از غلافهای فلزی برای کابلها استفاده میشود میدان مغناطیسی در خارج کابل وجود ندارد.

1-2-3 راکتانس کابل¹

راکتانس برای هر رشته از کابل سه رشته‌ای و یا تک رشته‌ای را می‌توان از فرمول زیر دست آورد:

$$X = 2\pi fL \times 10^{-2} \quad (\text{ohm/km})$$

وقتی که f فرکانس بر حسب هرتز و L اندوکتانس بر حسب mH/km است.

1-2-4 امپدانس کابل²

امپدانس Z برای هر رشته از کابل سه رشته‌ای و یا تک رشته‌ای از فرمول زیر بدست می‌آید:

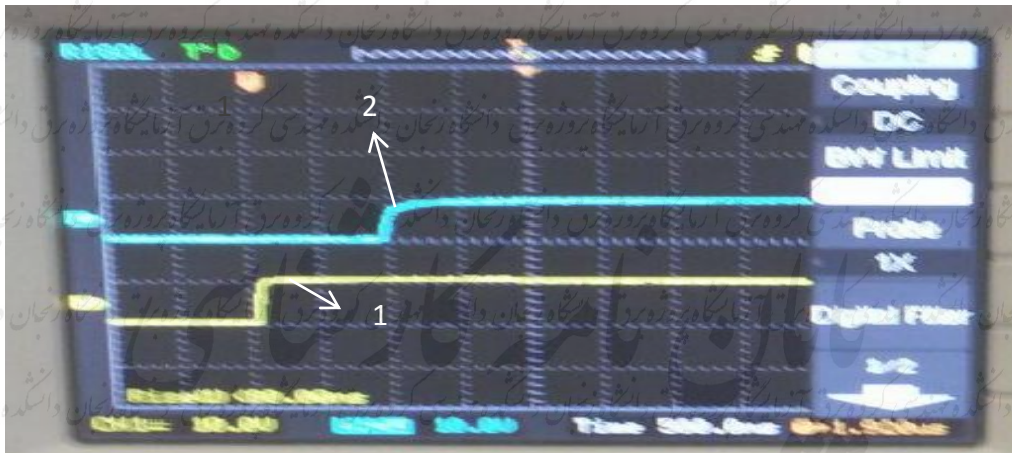
$$Z = \sqrt{R^2 + X^2} \quad (\text{ohm/km})$$

که در آن: R اندوکتانس و X راکتانس کابل است.

¹ - Cable reactance

² - Cable impedance

حالت چهارم: اتصال مقاومت 75 اهمی به انتهای کابل 200 متری



شکل (5-13): 1- موج پله ابتدای کابل 2- ولتاژ در انتهای کابل

$$z_1 = 75$$

$$r = \frac{z_1 - z_c}{z_1 + z_c} = 0$$

$$V_y = r V_x = 0$$

$$V_v = V_x + V_y = V_x$$

بدلیل برابر بودن امپدانس انتهای کابل با امپدانس مشخصه آن ، در انتهای کابل انعکاس نخواهیم

داشت یعنی موج رفت با رسیدن به انتهای کابل منعکس نمی شود و موج برگشت صفر می باشد (شکل 1).

ولتاژ در انتهای کابل همان ولتاژ موج رفت می باشد یعنی ولتاژ انتهای کابل برابر با ولتاژ ابتدای کابل می باشد (شکل 2) .

نتیجه گیری :

با استفاده از موج ضربه و همچنین موج پله ، می توان عیب هایی که برای یک کابل ممکن است اتفاق بیفتد (مانند اتصال کوتاه ، اتصال باز در هر نقطه ای از کابل) را مشخص کرد مثلا اگر در انتهای کابل

اتصال کوتاه رخ دهد موج ضربه (یا موج پله) با رسیدن به انتهای کابل باید بصورت منفی به ابتدای کابل منعکس می شود و همچنین اگر این اتصال کوتاه قبل از انتهای کابل رخ دهد ، موج برگشتی در زمان کمتری منعکس خواهد شد.

منابع

[1] دکتر مسعود علی اکبرگلکار . طراحی و بهره‌برداری از سیستم‌های توزیع انرژی الکتریکی . چاپ اول

. چاپخانه دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی. خرداد 1380

[2] مشارکت کنندگان ویکی‌پدیا، «Coaxial cable»، ویکی‌پدیای انگلیسی، دانشنامه آزاد (بازیابی

در ۴ مارس ۲۰۰۹)

[3] فرستنده‌های FM. صفحه ۹۰. تالیف: مهندس امین الله مستوفی. انتشارات عبادی

[4] دکتر حسین محسنی، مبانی مهندسی فشارقوی الکتریکی، چاپ ششم، موسسه انتشارات دانشگاه

تهران، 1393

[5] www.irantransformer.com/ /سیم-پیچ‌های-ترانسفورماتور

[6] www.shopcctv.ir/ -rg59- کابل-کواکسیال-ارجی

[7] www.power-engineering.blogspot.com/1390/05/11/post-5/

[8] www.mechanism.ir/index.php/equipment/transformer/729-transformer-coil

[9] NOVINIUM Novinium rejuvenation instructions: power cables, inspect & pinpoint, Version 20130212, 2013, pp. 1-17

[10] W. Stagi, W. Chatterton, "Cable rejuvenation - past, present and future. International Conference on Insulated Power Cables, JICABLE-2007, 2007, paper No. C-7214

[11] J.A. Strickland, "Time domain reflectometry measurements. Tektronix Measurement Concepts, 2013.