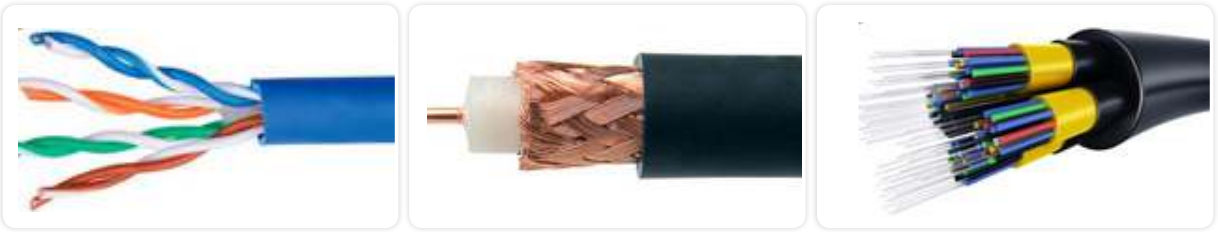
بررسی کابل‌های شبکه و تحلیل پارامترهای اساسی در تولید و طراحی کابل‌های شبکهٔ (LAN)

تحقیق و بررسی: حمید اوجاق فقیهی
(کارشناس ارشد مهندسی برق)

۱-مقدمه

با وجود پیشرفت تکنولوژی‌های بی‌سیم، بسیاری از شبکه‌های کامپیوتری هنوز هم به کابل‌ها و محیط‌های فیزیکی برای انتقال داده‌ها بین دستگاه‌های مختلف وابسته هستند. برای برقراری ارتباط در شبکه‌های کابلی و یا در هر شبکهٔ دیگر نیازمند کابل شبکه هستیم. کابل شبکهٔ Local Area Network (LAN) ارتباط بین دو یا چند کامپیوتر، سرور، روتر و ... را فراهم می‌کند.



فیبر نوری | کواکسیال | زوج تابیده

شکل ۱. انواع کابل شبکه

کابل‌های شبکه در چند نوع استاندارد تولید می‌شوند که هر کدام برای اهداف خاصی استفاده می‌شوند.

روش عملکرد آزمون‌های کابل شبکه بر اساس استانداردهای ANSI/TIA/EIA 568 B.1 و ISO/IEC 11801 مشخص می‌شوند. در سیستم ANSI به صورت Cat6، Cat5e، Cat3 و Cat7 طبقه‌بندی می‌شوند و در سیستم ISO نیز بر اساس کلاس‌های E، D، C و F نام‌گذاری می‌شوند.

امروزه از سه نوع کابل شبکه برای انتقال داده‌ها استفاده می‌شود:

- کابل‌های زوج تابیده شده یا Twisted Pair (که در اینجا به بررسی این کابل‌ها می‌پردازیم).
- کابل‌های کواکسیال
- کابل‌های فیبر نوری

۲- مزایای استفاده از کابل شبکه (LAN) زوج تابیده شده (Twisted Pair)

۲-۱- نصب آسان: نصب کابل شبکه بسیار ساده می‌باشد و به راحتی می‌توان با نصب سوکت یا کیستون(Key Stone) در کمتر از ۵ دقیقه از کابل استفاده کرد.

۲-۲- سازگاری: سازگاری با بیش از ۹۵٪ محصولات دیجیتال

جدول ۱. دسته‌بندی انواع کابل‌های شبکه بر اساس سرعت و پهنای باند

انواع دسته بندی کابل شبکه یا Lan				
نوع کابل	کاربری	ماکسیمم سرعت انتقال	پهنای باند	نوع کابل
کابل Cat 1	سیم تلفن	1Mb/s	1MHz	بدون شیلد (UTP)
کابل Cat 2	سیم تلفن	4Mb/s	4MHz	بدون شیلد (UTP)
کابل Cat 3	شبکه 10Base	16Mb/s	16MHz	بدون شیلد (UTP)
کابل Cat 4	شبکه حلقه ای	20Mb/s	20MHz	بدون شیلد (UTP)
کابل Cat 5	شبکه سریع	100Mb/s	100MHz	بدون شیلد (UTP)
کابل Cat 5e	شبکه گیگابیتی	1000Mb/s	100MHz	بدون شیلد (UTP)
کابل Cat 6	شبکه ۱۰ گیگابیتی	10Mb/s	250MHz	بدون شیلد یا شیلددار (STP / UTP)
کابل Cat 6a	شبکه ۱۰ گیگابیتی	10Mb/s	500MHz	شیلددار (STP)
کابل Cat 7	شبکه ۱۰ گیگابیتی	25Mb/s	600MHz	شیلددار (STP)
کابل Cat 7a	شبکه ۱۰ گیگابیتی	25Mb/s	1GHz	شیلد دار (STP)
کابل Cat 8	شبکه ۲۵ تا ۴۰ گیگابیتی	40Mb/s	2GHz	شیلد دار (STP)

۲-۳- هزینه: مقرون به صرفه بودن نسبت به شبکه‌های بی‌سیم یا فیبرنوری

۳- دسته‌بندی کابل‌ها بر اساس سرعت و پهنای باند

دسته‌بندی انواع کابل‌های شبکه در جدول شماره ۱ درج شده است. تفاوت در این نوع دسته‌بندی کابل‌ها به نوع روکش، کیفیت، سرعت و پهنای باند مربوط می‌شود. اعلام اختصاری در نوع دسته‌بندی کابل‌ها برای مثال e در cat5e و a در cat6a به ترتیب به معنی ارتقاء یافته Enhanced و افزایش یافته Augmented می‌باشد.

۴- اصطلاحات کابل شبکه

- کابل شبکهٔ Cat یا Category یا دسته‌بندی
- کابل شبکهٔ UTP یا Unshielded Twisted Pair یا زوج‌های به هم تابیدهٔ بدون محافظ
- کابل شبکهٔ FTP یا Foil Twisted Pair یا زوج‌های به‌هم تابیده با لایهٔ فویل
- کابل شبکهٔ SFTP یا Shielded Foil Twisted Pair یا زوج‌های به هم تابیدهٔ با محافظ و لایهٔ فویل
- کابل شبکهٔ ANTI UV یا ANTI UV یا ضد اشعهٔ آفتاب
- کابل شبکهٔ ANTI RODENT یا ANTI RODENT یا ضد جوندگی
- کابل شبکهٔ PVC یا Polyvinyl Chloride یا پی‌وی‌سی
- کابل شبکهٔ SWA یا Steel Wire Armor یا محافظ با جنس سیم فولادی
- کابل شبکهٔ HDPE یا High Density Polyethylene یا پلی‌اتیلن با چگالی بالا
- کابل شبکهٔ LSZH یا Low smoke zero Halogen یا کم‌دود و بدون هالوژن
- کابل شبکهٔ CST یا Corrugated Steel Tape یا نوار شیاردار فولادی

۵- انواع کابل شبکه از لحاظ جنس روکش و محیط استفاده

به طور کلی کابل شبکهٔ (LAN) از لحاظ محیط نصب به دو گروه اصلی تقسیم می‌شود:

- **کابل شبکه Indoor** که در فضای داخلی ساختمان استفاده می‌شود.
- **کابل شبکه Outdoor** که در فضای باز استفاده می‌شود.

کابل شبکهٔ Indoor معمولاً دارای روکشی از جنس PVC یا LSZH است و بر اثر عوامل محیطی مثل آب، گرما، سرما، گرد و غبار، نور خورشید، ضربه، کشش و ... مقاومت بالایی ندارند و در نتیجه با گذشت زمان فرسوده و بلااستفاده می‌شوند. ولی کابل شبکهٔ Outdoor دارای یک روکش اضافی معمولاً از جنس پلی‌اتیلن جهت حفاظت در برابر عوامل محیطی فوق است.

۶- انواع جنس هادی در کابل شبکه و اهمیت پارامترهای پروسه تولید هادی

شکل۲. نمایی از هادی مورد استفاده در کابل شبکه

۶-۱- کابل شبکهٔ تمام مس

بهترین مدل و جنس کابل از نظر انعطاف‌پذیری، سرعت بالا، مقاومت کم و پشتیبانی از PoE مدل تمام مس می‌باشد. به کابل‌های تمام مس به ترتیب Bare Copper (BC) و یا Copper Clad Copper نیز می‌گویند.

۶-۲- کابل شبکهٔ آلومینیومی با روکش مس

این مدل نسبت به مدل تمام مس از انعطاف‌پذیری، سرعت بالا و مقاومت کمتری برخوردار است و از PoE پشتیبانی نمی‌کند. به کابل شبکهٔ آلومینیومی با روکش مس Copper Clad Aluminum (CCA) نیز می‌گویند.

۶-۳- کابل شبکهٔ فولادی با روکش مس

این مدل نسبت به مدل آلومینیومی با روکش مس از انعطاف‌پذیری، سرعت بالا و مقاومت کمتری برخوردار است و از PoE پشتیبانی نمی‌کند و به ندرت از آن استفاده می‌شود. به کابل شبکهٔ فولادی با روکش مس Copper Clad Steel (CCS) نیز می‌گویند.

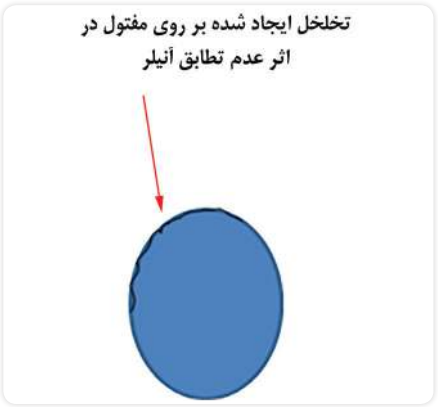
۷- عوامل‌مؤثر در تولید هادی کابل شبکه

۷-۱-کشش مفتول و آنیلینگ:

برای کشش مفتول حتماً باید از مس با خلوص بالا که نرمی و آنیل‌پذیری خوبی دارد استفاده شود. این امر به چند دلیل توصیه می‌شود. اول اینکه با استفاده از حدیدهٔ مناسب در کشش، هادی مقاومت DC را پاس می‌کند که این امر مستقیماً روی رفتار مقاومت AC تأثیر می‌گذارد.

به دلیل حساسیت کابل دیتا و دلیل کارکرد در دامنهٔ ولتاژ و نویز پایین و همچنین دامنهٔ فرکانس بالا و تطبیق امپدانس اهمیت بالایی دارد (امپدانس رابطهٔ مستقیمی با فرکانس دارد) و اگر چنانچه هادی مقاومت الکتریکی بالایی در هنگام عبور دیتاها داشته باشد، لینک عبور نمی‌تواند تطابق امپدانسی لازم را با فرستنده و گیرنده این دیتاها داشته باشد و این عدم تطابق امپدانس به معنای تلفات سیگنال در این لینک خواهد بود.

پارامترهای آنیل در کپستن‌های آنیلر (Annealer Capstans) در هنگام کشش، برای هادی کابل شبکه بسیار مهم است. ایجاد هرگونه تخلخل هر چند ناچیز روی هادی درهنگام آنیلینگ و عدم تطابق آنیلر، اثرات مخربی چون چسبندگی به عایق را منجر می‌شود. بنابراین اطمینان از پایداری و یکنواختی و تطابق آنیلر بسیار اهمیت دارد.



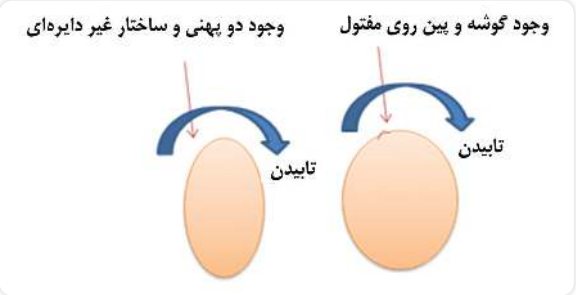
شکل۳. تخلخل روی مفتول

بهتر است مس استفاده شده از مفتول ریخته شده به روش آپ‌کست (UPCAST) باشد. تولید مفتول مسی به کمک خط ریخته‌گری آپ‌کست (UPCAST) بهره‌وری بیش از ۹۷ درصد دارد.

نوسان قطر مفتول در هنگام کشش، حتی‌الامکان نباید بیشتر ۰/۰۰۵ میلی‌متر باشد. سطح مس باید تمیز و بدون براده و گردوخاک باشد. همچنین به اصطلاح روی مفتول، گل مس وجود نداشته باشد. بهترین روش آنیلینگ، آنیلر بدون تماس است که از جمله آن می‌توان به آنیلینگ پلاسما اشاره کرد.

۷-۲- دو پهنی و پین روی مفتول

دوپهنی و بیضی بودن مفتول و هر ساختار غیر دایره‌ای از جمله گوشه و پین روی مفتول که بیشتر در آنیلر اتفاق می‌افتد، در هنگام چرخش(تابیدن) موجب به‌هم‌ریختگی پارامترهای الکتریکی انتقال می شود.



شکل۴. نمایش پین و ساختار دوپهنی و غیر دایره‌ای

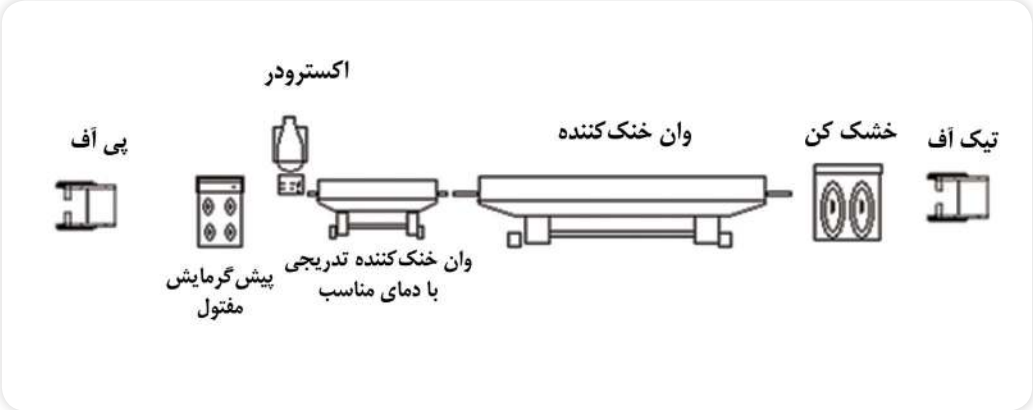
همان‌طور که اشاره شد، این موارد روی مفتول مس در هنگام کشش، در مرحله عایق کاری موجب چسبندگی عایق به این سطوح می‌شود و در هنگام چرخش(تابیدن) موجب به‌هم‌ریختگی پارامترهای الکتریکال انتقال از جمله ظرفیت خازنی و دی‌الکتریک عایق می‌شود که در فرکانس‌های بالا مهم است. شایان ذکر است که تراورس و آهنگ جمع‌شوندگی مفتول روی قرقره خیلی حایز اهمیت نمی‌باشد، ولی بهتر است رعایت شود.

۷-۳- مرحلهٔ اکسترود عایق کابل شبکه

در هنگام اکسترود، عایق استفاده از مستربچ‌های افزودنی بر پایه پلی‌اتیلن حتماً باید کنترل شده و میزان آن هر قدر پایین‌تر باشد، باعث بهبود عدد مقاومت عایقی شده و در انتقال بهتر دیتا مؤثر است. توصیه شده که برای عایق پلی‌اتیلن، مستربچ در حدود ۱ الی ۱/۵ درصد کافی می‌باشد.

در اکسترودر باید دقت شود که فرآیند شکل‌گیری مولکول‌ها (اکسترود روی عایق) کاملاً یکنواخت باشد. به همین منظور، پروسهٔ خنک‌کاری عایق، اهمیت فراوانی دارد. تغییر ساختار عایق (هر ساختار غیر دایره‌ای) باعث تغییر ضخامت عایق شده و این تغییر دی‌الکتریک خازن را برهم می‌زند. به همین دلیل توصیه شده از روش مناسبی برای پروسه خنک‌کاری عایق استفاده شود. در این روش مفتول قبل از اکسترود، وارد مرحلهٔ پیش گرمایش شده و سپس عایق شده و بعد از آن نیز بلافاصله وارد وان خنک‌کننده نمی‌شود. بلکه پروسهٔ خنک‌کاری به تدریج و با تنظیم دمای مناسب در وان اولیهٔ خنک کننده انجام می‌شود و سپس وارد وان نهایی خنک‌کننده می‌شود. در واقع این عمل باعث کنترل میزان چسبندگی مفتول به عایق شده که در مرحلهٔ بعد یعنی تابیدن (از لحاظ لقی مفتول) بسیار اهمیت دارد.

استفاده از خشک‌کن مناسب برای عایق اهمیت فراوانی دارد. زیرا به دلیل وجود سختی آب و نمکین بودن آن، در صورت خشک نشدن عایق، هنگامی که روی قرقره جمع می‌شود باعث رسوب نمک و تخریب ساختار فیزیکی عایق شده و باعث بر هم زدن پارامترهای انتقال از جمله تأخیر در دریافت سیگنال می‌گردد. به طور کلی کیفیت ظاهری سطح مس و عایق در میزان ارسال و دریافت سیگنال دیتا از مهم‌ترین عوامل هستند و اگر سیگنال (یکی از زوج‌ها) به موقع دریافت نشود و یا با تأخیر دریافت شوند به موقع



شکل۵. فرآیند عایق‌کاری مفتول کابل شبکه

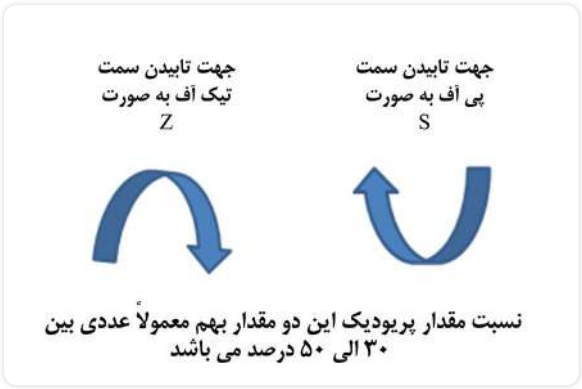
با سیگنال‌های دیگر ترکیب نشده و باعث از بین رفتن بخشی از آن می‌شود.

برای تیک‌آف(Take off)، توصیه شده است که عایق روی قرقره بزرگ جمع نشود تا میزان فشار بر لایه‌های زیرین قرقره زیاد نباشد.

۷-۴- مرحله تاب زوج کن

نحوه تابیدن سیم‌ها از مهم‌ترین بخش‌های پروسهٔ تولید کابل‌های شبکه می‌باشد. نحوهٔ تاب و طول تاب صحیح در این قسمت بسیار اهمیت دارد. همانطور که می‌دانیم یکی از مهم‌ترین روش‌های کاهش اثرات نویز جانبی تابیدن رشته‌ها می‌باشد. حال آنکه هرچه این عملکرد به طور صحیح انجام شود اثرات زیادی در کاهش نویزهای جانبی خواهد داشت. هرچه میزان طول تاب کمتر باشد، زوج‌ها قدرت پاک‌کنندگی بیشتری در قبال سیگنال‌های نویز خواهند داشت. از این رو در کابل‌های شبکه CAT6/UTP به دلیل اینکه هیچ پوشش ضد نویزی (فویل و شیلد) وجود ندارد، معمولاً برای از بین بردن اثرات نویز از طول تاب‌های جمع‌تری نسبت به نوع FTP و SFTP استفاده می‌شود. عدد طول تاب در زوج‌های کناری نباید یکسان بوده و همچنین نباید بیش از هم به یکدیگر نزدیک باشند. حتی هم ضریب هم نیز نباید داشته باشند، زیرا استفاده از ضرایب یکسان، اثرگذاری و القای بیشتر زوج‌ها نسبت به‌هم شده و اثر مستقیمی در پارامتر همشنوایی (Cross talk) دارد. همچنین تابیدن به روش فوق و با ضرایب مناسب باعث حفظ هارمونیک ارسال دیتاها شده و از ارسال آن به صورت پالس‌های شیب‌دار جلوگیری می‌کند که با توجه به سری فوریه این سیگنال دیگر سیگنال درستی در انتها دریافت نخواهد شد.

۷-۴-۱- ظرفیت خازنی در تاب زوج کن - یکی از مهم‌ترین پارامترهایی که در تابیدن مورد نظر است حفظ ظرفیت خازنی ایجاد شده توسط عایق می‌باشد. هر چه میزان نوسان در مقدار این ظرفیت خازنی کمتر باشد پارامترهای الکتریکی در تست فلوک[1] کمتر تحت تأثیر قرار گرفته و در نتیجه لینک بهتری خواهیم داشت. برای اینکه این نوسانات به حداقل مقدار خود برسد (با فرض اینکه مراحل تولید مفتول و عایق با دقت کافی همراه بوده است) باید میزان لقی بین عایق و مفتول به حداقل مقدار خود برسد تا نوسانی در ظرفیت خازن ایجاد شده و همچنین دی‌الکتریک موجود در این فضا نباشد. بهترین روش از بین بردن لقی تابیدن در جهت عکس تاب قبلی یا BACK TWIST می‌باشد.



شکل۶. جهت تابیدن به سمت پی‌آف(Pay off) و تیک‌آف (Take off)

۷-۴-۲- شکل اعمال بک‌تویست به زوج‌ها - نکته مهم در دستگاه تاب استفاده از چرخ دنده‌ها در تنظیم طول تاب است. زیرا در این صورت سرعت و سایر پارامترها لینک می‌شوند. در سیستم غیر از دنده لینک‌کردن سرعت کمان و قرقره جمع‌کن و تنشن مناسب سخت خواهد شد و ممکن است طول تاب را به‌هم بزند و سبب تغییر در دی‌الکتریک عایق گردد.

۷-۴-۳-پلاستیک تفکیک‌کننده زوج‌هایا کراس فیلر(CROSS WEB) به صورتی در مرکز چهار زوج کابل شبکه قرار گرفته است که هر زوج از زوج دیگری کاملاً تفکیک شود و از ایجاد هرگونه نویز توسط زوج‌های کابل شبکه بر روی یکدیگر جلوگیری می‌کند. در کابل‌های شبکهٔ cat5e به بعد در داخل کابل شبکه تعبیه شده‌اند.

شکل ۷. نمایی از کراس‌وب (Cross Web)

مقالات

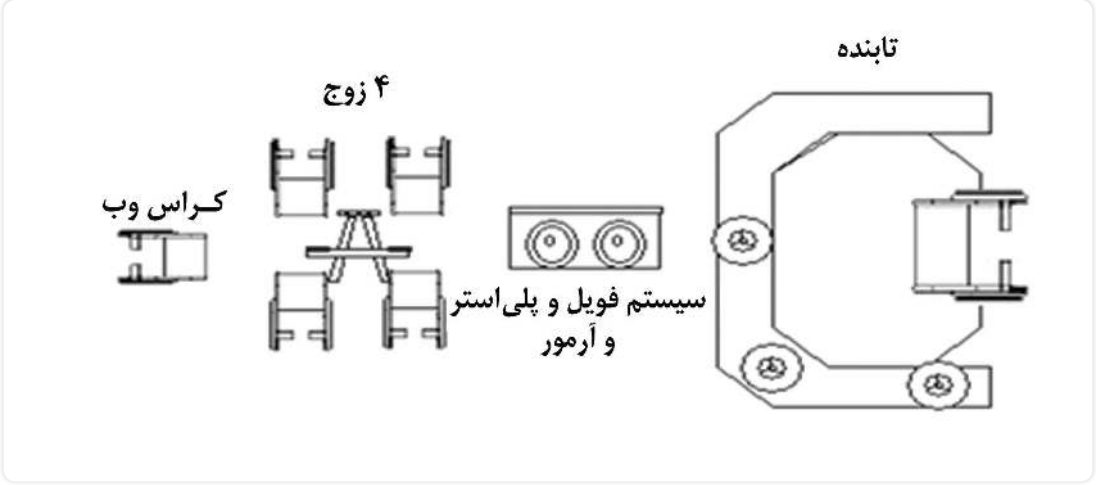
برای پوشش‌دادن عایق در فرکانس‌های بالاتر از کراس‌فیلر استفاده می‌شود که ضریب دی‌الکتریک یکسانی در طول کابل ایجاد می‌کند. در تولید و اکسترود کراس‌وب باید دقت شود از قالب و نازل مناسب با ارتفاع پره‌های یکسان استفاده شود، طوری که زوج‌ها به راحتی در فواصل پره‌ها قرار گرفته و هیچ بیرون‌زدگی از حداکثر ارتفاع پره‌ها نداشته باشند. در بهترین حالت نباید عایق‌ها به لبه‌های کراس‌فیلر فشار آورد زیرا باعث فشار و برهم‌خوردگی فواصل عایق شده و ظرفیت خازنی در طول کابل تغییر خواهد کرد. از مهم‌ترین دلایل استفاده از کراس‌فیلر که معمولاً از جنس پلی‌اتیلن می‌باشد (به دلیل سبک بودن و استحکام مناسب) علاوه بر ایجاد و تثبیت فواصل یکسان میان زوج‌ها و تثبیت دی‌الکتریک و ظرفیت خازنی این است که لایهٔ بعدی اعم از روکش و فویل به راحتی روی عایق‌ها قرار گیرد. این مرحله در ماشین تابندهٔ یک‌بارتاب (Single Twist) انجام می‌شود.

۷-۴-۳-۱- دلایل استفاده از ماشین تابندهٔ یک‌بارتاب (Single Twist):
برای تابیدن رشته‌های ۴ زوج کابل شبکه از دستگاه یک‌بارتاب استفاده می‌شود و دلیل این استفاده آن است که به‌هم خوردگی تاب در این نوع ماشین به وجود نمی‌آید. در بانچرهای دو بار تاب (Double Twist) در دورهٔ دوم و انتهای کمان جمع‌کن تاب دوم باعث خرابی تاب و به‌هم خوردگی طول تاب رشته‌های زوج شده می‌شود. در این ماشین چرخش قرقره به اندازه کمان است. رشته‌ها فقط در لحظه ورودی گایدر کمان تابیده می‌شوند و طول تاب به صورت یکنواخت حفظ می‌شود. در این نوع ماشین‌ها به دلیل ماهیت تابیدن و انجام یک‌بارتاب روی رشته‌ها، نوارزنی و فویل‌زنی به راحتی انجام می‌شود.

۷-۵- مرحلهٔ روکش
در اینجا به بعضی از نکاتی که در هنگام روکش‌زنی باید توجه داشت اشاره می‌کنیم:

- جنس روکش کابل شبکه بر اساس استاندارد و نوع کاربرد آن انتخاب می‌شود و بر اساس این انتخاب باید دستگاه اکسترودر روکش‌زن با قالب و نازل مناسب و ماردون مخصوص آن مواد انتخاب شود.
- تنظیم دمای صحیح مواد مورد استفاده در اکسترودر (با توجه به فرمت پروفایل دمایی ماده اولیه) اهمیت فراوانی دارد. ابتدا باید از کارکرد تمامی ترموکوپل‌ها و هیترهای اکسترودر در قسمت‌های سیلندر و کله‌گی اطمینان حاصل شود تا روکش‌زنی با کیفیت و یکنواخت باشد.
- حتی‌الامکان از کشنده کاترپیلار با حداقل فشار پاسکال استفاده شود تا ساختار فیزیکی لایه‌های پایینی بهم نریزد. همچنین کشنده می‌تواند به صورت کپستن با شعاع خمش بالا (برای کاهش تنش روی کابل) انتخاب شود.
- معمولاً برای جمع کن از قرقره‌های چوبی کوچک (۴۰۰ mm) با ظرفیت کمتر استفاده می‌شود.

پی‌نوشت:
۱. دستگاهی است جهت تست پارامترهای کابل شبکه



شکل ۸. دستگاه تابنده یک‌بار تاب (Single Twist)