

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

انتقال اطلاعات از طریق خطوط انتقال انرژی الکتریکی

PLC

چکیده:

گزارش حاضر در جهت آشنایی هر چه بیشتر با فناوری انتقال اطلاعات از طریق خطوط برق یا PLC است. انتقال اطلاعات از طریق خطوط برق از سال‌ها پیش در سطح ولتاژ فشار قوی انجام گرفته است.

ولی امروزه، کاربرد جدید این فناوری مربوط به استفاده از آن در سطح ولتاژ متوسط وضعیف شبکه‌ی الکتریکی می باشد. در واقع با این فناوری، اطلاعات به مصرف‌کننده‌های نهایی نیز ارسال می - شود و مشترکین برق می توانند از سرویس‌های جدید انتقال اطلاعات بهره بگیرند.

امید که این گزارش مورد استفاده دانشجویان و پژوهشگران علاقمند قرارگیرد و رضایت خداوند مهربان را در پی داشته باشد.

فهرست مطالب

عنوان	صفحه
فصل اول	۱
مقدمه	۲
۱- تاریخچه	۳
۲- ۱-۱- معرفی تکنولوژی	۵
۳- ۲-۱- ساختار شبکه PLC	۷
۱-۲-۱- شبکه دسترسی	۱۲
۲-۲-۱- شبکه توزیع	۱۵
۳-۱- ۳- بررسی مزایا و معایب سیستم مخابراتی PLC	۱۸
۱-۴. ۱-۳-۱- مزایای سیستم PLC	۲۰
۲-۴. ۲-۳-۱- معایب سیستم PLC	۱۹
۴-۱- ۴- کاربردهای مختلف سیستم PLC	۲۰
۱-۵. ۱-۴-۱- کنترل تجهیزات خانگی	۲۰
۲-۵. ۲-۴-۱- شبکه سازی خانگی	۲۰
۳-۵. ۳-۴-۱- دسترسی به اینترنت	۲۱
۴-۵. ۵-۴-۱- پخش برنامه‌های رادیویی	۲۳
۵-۵. ۶-۴-۱- تلفن	۲۳
۶-۵. ۷-۴-۱- کاربردهای دیگر PLC	۲۵
۱-۲- ۱- تجهیزات PLC در سطح توزیع	۲۹
۷-۵. ۲-۱-۲- تکرار کننده	۳۰
۸-۵. ۳-۱-۲- ترانسفورماتور	۳۱
۹-۵. ۴-۱-۲- Couplers	۳۳
۱۰-۵. ۵-۱-۲- نصب تجهیزات	۳۳
فصل سوم	۳۶
۱-۳- مدل کانال شبکه خط قدرت	۳۶
۲-۳- ۲- مشکلات فنی موجود در به کارگیری فناوری PLC	۳۹
۱-۶. ۱-۲-۳- ظرفیت سیستم های PLC	۴۰
۲-۶. ۲-۲-۳- فاصله	۴۰
۱- SNR ^۱ یا نسبت سیگنال به نویز	۴۱

فهرست مطالب

<u>صفحه</u>	<u>عنوان</u>
۴۱.....	۳-۶. ۳-۲-۳- ساختار شبکه
۴۲.....	۴-۶. ۴-۲-۳- تداخل
۴۳.....	۷-۳-۳- مشکلات دیگر موجود در به کارگیری فناوری PLC
۴۴.....	۳-۴- باندهای فرکانسی و روش‌های مدولاسیون
۴۶.....	۷-۱-۴-۳- DSSS
۴۶.....	۷-۲-۴-۳- OFDM
۴۶.....	۷-۳-۴-۳- GMSK
۴۷.....	۸-۳-۵- PLC های نسل بعد
۴۹.....	فصل چهارم
۴۹.....	۴-۱- نحوه شبیه سازی
۵۰.....	نمودار EB خروجی
۵۱.....	۹- روند برنامه نویسی ونتیجه در نرم افزار MATLAB
۵۲.....	۵-۱- نتیجه گیری
۵۴.....	فصل پنجم
۵۵.....	منابع و مراجع

فهرست اشکال

<u>صفحه</u>	<u>عنوان</u>
-------------	--------------

شکل (۱-۱): RTU	۵
شکل (۲-۱): بلوک دیاگرام PLC در خطوط انتقال	۶
شکل (۳-۱): نمودار تک خطی خط انتقال قدرت با وجود PLC	۶
شکل (۴-۱): اصول کلی PLC	۸
شکل (۵-۱): نمایش کلی یک سیستم PLC	۱۰
شکل (۶-۱): نمایش کلی یک سیستم PLC با پهنای باند کم	۱۰
شکل (۷-۱): ساختار کلی شبکه PLC و خانواده های آن در شبکه توزیع	۱۱
شکل (۸-۱): ساختار PLT با پهنای باند وسیع در شبکه توزیع	۱۲
شکل (۹-۱): نحوه ی اتصال شبکه خانگی و دسترسی	۱۳
شکل (۱۰-۱): سیستم معمول ولتاژ پایین در آلمان	۱۴
شکل (۱۱-۱): کابل هایی که اغلب در سیستم های دسترسی و خانگی استفاده می شود	۱۵
شکل (۱۲-۱): نحوه اتصال ایستگاه های HV/MV به یکدیگر	۱۶
شکل (۱۳-۱): نحوه اتصال اینترنت و PSTN به شبکه PLC	۱۷
شکل (۱۴-۱): نحوه ایجاد تداخل توسط خطوط قدرت	۲۳
شکل (۱۵-۱): نحوه تخصیص فرکانس برای کاربردهای همزمان از خط تلفن	۲۴
شکل (۱۶-۱): نمونه ای از شبکه شدن تجهیزات اداری و خانگی	۲۵
شکل (۱۷-۱): برخی از کاربردها و مزایای فناوری PLC	۲۷
شکل (۱-۲): تجهیزات PLC در شبکه های توزیع و دسترسی	۲۵
شکل (۲-۲): نمونه ای از یک مودم (CPE)	۲۷
شکل (۳-۲): چند نمونه ای از یک مودم های تجاری موجود در بازار به همراه اسم شرکت های سازنده	۳۰
شکل (۴-۲): نمونه ای از دو تکرار کننده در اتاق کنترل و کابینت خیابان	۳۱
شکل (۵-۲): نمونه هایی از چند TE	۳۲
شکل (۶-۲): نمونه هایی از واحدهای متصل کننده - به ترتیب از راست به چپ؛ متصل کننده القایی ولتاژ پایین	۳۳
شکل (۱-۳): پاسخ فرکانسی انتقال MTL تطبیق برای کوپلینگ مد معمولی و تفاضلی در گستره یک کیلومتر	۳۷
شکل (۲-۳): مقادیر ظرفیت متناظر برای روش های کوپلینگ و سطوح ارسالی توان متفاوت	۳۸
شکل (۳-۳): پاسخ ضربه کانال یک شبکه پیچیده	۳۹
شکل (۴-۳): مقادیر ظرفیت مربوطه	۳۹
شکل (۵-۳): سه روش متداول مدولاسیون مورد استفاده در PLC	۴۵
شکل (۳-۴): نمودار EB خروجی	۵۰

فهرست جداول

صفحه

عنوان

۱۵.....	جدول (۱-۱): مشخصات فنی کابل‌های
۴۹.....	جدول (۱-۴): سناریوهای تعریف شده
۵۰.....	جدول (۲-۴): مقادیر ورودی به کانال

فصل اول

مقدمه

مقدمه :

فناوری انتقال اطلاعات از طریق خطوط برق سرف کننده نهایی، یکی از فناوری‌های رو به رشد در بسیاری از کشورهای پیشرفته‌ی جهان است. بسیاری از کشورهای در حال توسعه نیز، برای استفاده و بکارگیری این فناوری در سطح شبکه‌ی برق مطالعاتی انجام داده و برخی از آنها به نصب آن پرداخته‌اند. یکی از مهمترین ویژگی‌های استفاده از سیستم PLC، عدم نیاز به ایجاد شبکه جدید برای تبادل اطلاعات و استفاده از شبکه الکتریکی موجود می باشد. این تکنولوژی به خاطر برخورداری از مزایایی همچون عدم اتلاف هزینه و زمان برای ساخت کانال مخابراتی جدید، می تواند انتخابی مناسب در بازار سرویس های با پهنای باند وسیع باشد. از طرفی با توجه به اینکه بخش بزرگی از یک

شبکه الکتریکی را قسمت فشار ضعیف تشکیل می دهد، این فناوری یکی از بهترین روش ها از لحاظ پوشش جغرافیایی می باشد.

۱-تاریخچه :

^۱ PLC از سالها قبل در خطوط فشار قوی (۶۳KV, ۱۳۲KV, ۲۳۰KV, ۴۰۰KV) برای اهداف کنترلی و حفاظتی بین نیروگاهها و پست های فشار قوی و مراکز کنترلی (دیسپاچینگ) استفاده می شود. برای مثال می توان به کنترل تنظیم تولید نیروگاهها از راه دور (تنظیم نقطه مرجع نیروگاه)، ارتباط تلفنی بین پست های فشار قوی و نیروگاهها، ارسال مقدار توان، انرژی، ولتاژ و جریان کل شبکه به مرکز دیسپاچینگ، فرامین حفاظتی و... نام برد. در واقع PLC انتقال داده های مخابراتی را در خطوط فشار قوی بر عهده دارد و این اطلاعات از طریق هادی های فشار قوی انتقال می یابد(هادی های فشار قوی معمولاً از نوع ^۲ ACSR هستند). انتقال اطلاعات از طریق PLC معمولاً به صورت آنالوگ صورت می گیرد که برای مدولاسیون سیگنالهای ارسالی از روش های مختلفی استفاده می

۱-Power Line Carrier

۲-Aluminum Conductor Steel Reinforced

شود. این سیگنال ها معمولاً در محدوده فرکانسی کیلو هرتز (فرکانس های پائین که در ایران بین ۴۰ KHz تا ۵۰۰ KHz) کار می کنند و به همین دلیل ظرفیت انتقال نسبتاً کمی را ارائه می دهند که البته با توجه به این که اطلاعات کنترلی و حفاظتی شبکه قدرت خیلی حجیم نیست تا کنون PLC در شبکه قدرت جایگاه خود را حفظ کرده است.

کاربرد PLC به تدریج به خاطر سادگی آن در سیستم توزیع برق (۳۳KV به پایین) در بعضی از کشورهای پیشرفته مانند ژاپن و بعد از آن در اروپا و آمریکا شروع شد. علت اصلی استفاده از این سیستم در بخش توزیع، اتوماسیون شبکه توزیع بود. اتوماسیون توزیع به معنی نظارت (Monitoring) و کنترل سیستم توزیع از یک مرکز اصلی مانند شرکت توزیع یا برق منطقه ای است. یعنی کلیه فرامین به کلیدهای قدرت، خازن ها، راکتورها و یا فرامین حفاظتی از راه دور صورت گیرد. چنین بستری در صنعت برق نیازمند کانال های مخابراتی است. همان طور که می دانیم امروزه کانال های مخابراتی بسیار زیادی که هر کدام مزایا و معایب خاص خود را دارند در دسترس است. در این شرایط برای طراحان، PLC (در سیستم های توزیع به ^۱DLC نیز معروف است) به خاطر وجود هادی های الکتریکی در سطح توزیع ساده ترین گزینه بود.

امروزه سعی بر این است که اتصال به اینترنت از طریق اتصال به خروجی های برق به آسانی میسر شود. ارسال اطلاعات از طریق خطوط قدرت یا PLT^۲ از خطوط الکتریکی موجود به منظور انتقال پهنای باند مخابراتی به درون شبکه خانگی و ارائه سرویس های مخابراتی درون خانه ها و شرکت ها استفاده می کند و مهمترین مزیت آن استفاده از شبکه برق موجود بدون نیاز به ایجاد کانال های مخابراتی جدید می باشد [۱].

با وجود مزایایی که PLC می تواند ارائه دهد تنها مواردی که توسعه این تکنولوژی را به عقب انداخته است، اموری همچون چگونگی استاندارد سازی و مشکلات اقتصادی می باشد. بدون تکامل و توسعه در ایجاد استانداردهای مناسب به صورت جهانی، نمی توان PLT را به عنوان یک تکنولوژی درخور و بدون خطر مورد استفاده قرار داد. همچنین این تکنولوژی قادر است به عنوان یک جایگزین برای شبکه های مخابرات بین المللی موجود مورد استفاده قرار گیرد و همه نوع خدمات از جمله سرویس های صوتی، سرویس های دیتا و خصوصاً فاکس و دسترسی به اینترنت پر سرعت و کم هزینه برای تمامی منازل را فراهم کند. بنابراین هدف اصلی ارائه روشی برای بهره برداری از خطوط قدرت داخلی به عنوان شبکه های گسترده محلی پر سرعت است که بتوانند اطلاعات صوتی و تصویری دیجیتال را در کنار دیگر اطلاعات حمل کنند.

مطالعات بیشمار و آزمایشات بسیار زیاد نشان داده است که امکان استفاده از فرکانس های بالا و پهنای باند بیشتر برای انتقال از طریق شبکه برق وجود دارد و با فرکانس های حدود ۱/۶ تا ۳۰

۱ - Distributed Line Carrier

۴ - Power Line Telecommunication

مگاهرتز می‌توان به نرخ انتقال اطلاعات تا حداکثر چند صد مگابیت بر ثانیه با استفاده از ظرفیت شبکه‌های توزیع در مراحل ولتاژ فشار ضعیف^۱ و ولتاژ فشار متوسط^۲ دست یافت [۲].

این نتیجه به صورت بالقوه یک نوآوری بزرگ است که می‌تواند ارزش اقتصادی قابل ملاحظه‌ای داشته باشد. به عنوان یک نمونه امکان دسترسی به اینترنت از طریق پریزهای برق را می‌توان نام برد. امری که باعث خواهد شد عظیم‌ترین علوم و دانش بشری در تمامی جهان و در یک زمان برای همگی در دسترس باشد و از طرفی هزینه‌های دسترسی بالای اینترنت که هم‌اکنون مانع بزرگی برای کاربران است به طرز قابل توجه‌ای تغییر خواهد کرد. در آخر باید توجه داشت که استفاده از شبکه‌های الکتریکی برای انتقال اطلاعات بدون محدودیت نیز نمی‌باشد و مشکلاتی دارد، که از جمله آنها می‌توان به اغتشاشات الکترومغناطیسی^۳ فرکانس بالا و تداخل با باند فرکانسی رادیوهای آماتور فعلی اشاره کرد که در فصول بعدی بیشتر توضیح داده خواهد شد.

فصل اول این گزارش به معرفی و کلیات فنی فناوری PLC می‌پردازد. در فصل‌های دوم و سوم مزایا، کاربردها و مشکلات فناوری PLC آورده می‌شود. در فصل چهارم مشخصات عرضه‌کنندگان تجهیزات PLC بیان می‌شود. در فصل‌های پنجم و ششم هزینه خرید و روش‌های انتقال تکنولوژی PLC آورده شده و سپس در فصل هفتم منابع مورد نیاز برای انتقال و انطباق فناوری در کشور بیان می‌گردد. در پایان و در فصل هشتم نیز، طول عمر فناوری PLC و زمان استفاده موثر از آن آورده خواهد شد.

۱-۲- ۱ معرفی تکنولوژی :

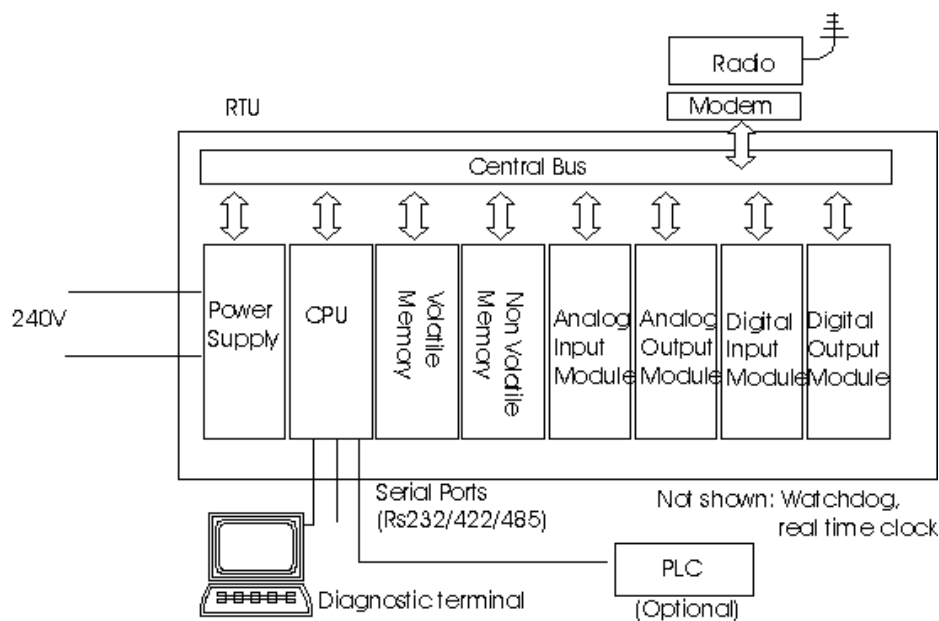
اجزای اصلی یک سیستم شامل PLC که امروزه در سطوح مختلف سیستم قدرت به کار گرفته می‌شود شامل موارد زیر می‌باشد [۳]:

RTU - (Remote Terminal Unit): این دستگاه شامل تعدادی ورودی و خروجی آنالوگ و دیجیتال می‌باشد. وظیفه‌ی اصلی RTU تبدیل سیگنال‌های ارسالی به سیگنال‌های قابل انتقال از طریق کانال مخابراتی است که شامل قسمت‌هایی مثل CPU، کارت‌های ورودی و خروجی آنالوگ و دیجیتال و مودم می‌باشد. شکل زیر یک نمونه RTU صنعتی را نشان می‌دهد.

۱-Low Voltage (LV)

۲- Medium Voltage (MV)

۳-Electromagnetic Interference (EMI)



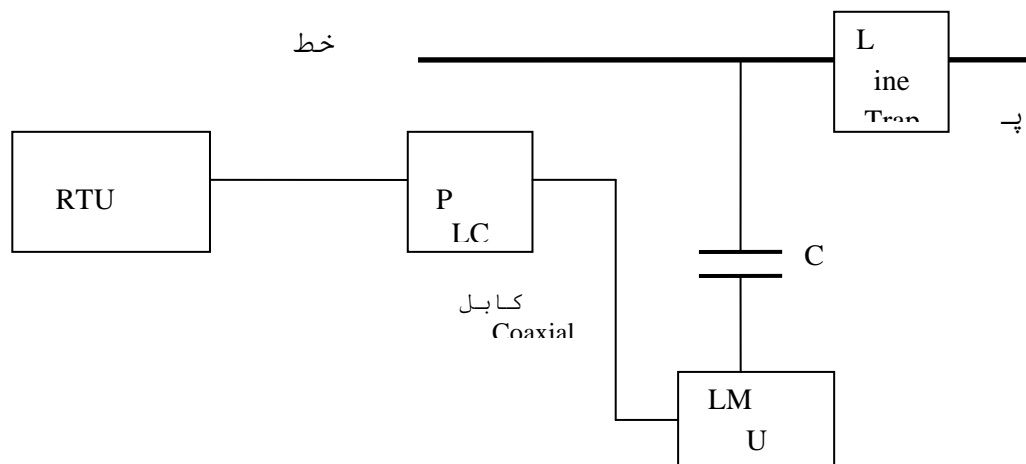
شکل (۱-۱): RTU

- تجهیزات مخابراتی شامل مدولاتور و دمدولاتورهای HF^1 و IF^2 ، تقویت کننده ها و فیلترهای مناسب (این گروه در خود دستگاه PLC قرار می گیرند).
- تجهیز تطبیق دهنده با کانال مخابراتی (در اینجا خطوط قدرت) یا LMU^3 . به منظور انتقال توان ماکزیمم از طریق کانال مخابراتی و جلوگیری از انعکاس امواج، باید امپدانس فرستنده و کانال برابر باشد.
- سیستم ایزوله کننده تجهیزات مخابراتی از ولتاژ بالا. (که معمولاً یک خازن که معروف به CVT است به کار گرفته می شود).
- کانال مخابراتی که در اینجا همان هادی های خطوط قدرت هستند.
- تله موج (Line Trap) که وظیفه آن جلوگیری از ورود اطلاعات به قسمت هایی به جز کانال مخابراتی مانند پست های فشار قوی می باشد.
- شکل های (۱-۲) و (۱-۳) به ترتیب بلوک دیاگرام و نمودار تک خطی PLC در شبکه قدرت را نشان می دهد.

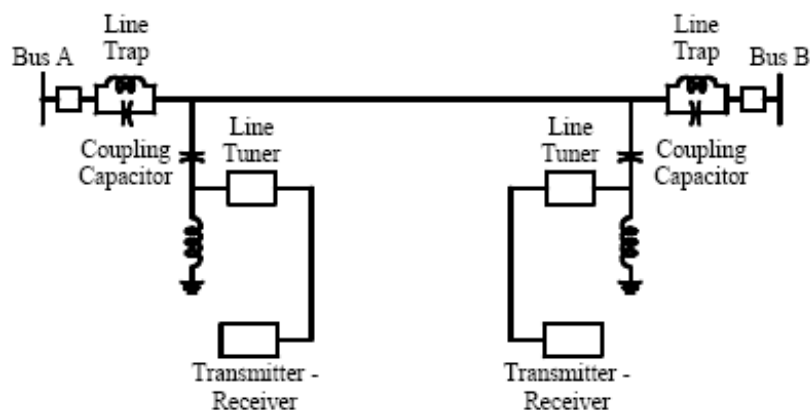
^۱-High Frequency

^۲-Intermedite Frequency

^۳-Line Matching Unit



شکل (۲-۱): بلوک دیاگرام PLC



شکل (۳-۱): نمودار تک خطی خط انتقال قدرت با وجود PLC

همان طور که قبلاً ذکر شد افزایش کاربرد PLC در سطح توزیع به خاطر اتوماسیون شبکه الکتریکی بود. علاوه بر اهداف کنترلی و نظارتی در اتوماسیون، اهداف دیگری مخصوصاً در سالهای اخیر مزید بر علت شدند تا استفاده از آن متوقف نشود.

با شروع تجدید ساختار در صنعت برق و به وجود آمدن بازارهای رقابتی برق، لزوم مشارکت مصرف کننده در بازار برق (از قبیل کنترل مصرف، مدیریت مصرف یا ^۱DSM، اندازه گیری مصرف به صورت Real Time برای اهدافی مانند پیش بینی بار و ...) احساس شد. لازمه مشارکت مصرف کننده در این بازار وجود تجهیزات مخابراتی موثر بین مصرف کننده های صنعتی، تجاری و حتی مسکونی در شبکه های توزیع برق است. PLC یکی از گزینه های موجود است که امکان پیاده سازی آن نسبتاً

ساده است و این بدان علت است که حداقل یکی از اجزای آن (هادیهای الکتریکی) بدون نیاز به نصب اضافی، در دسترس می باشد [۴].

به عنوان مثال با نصب تجهیزات اندازه گیری هوشمند یا ^۱AMR در سمت مصرف کننده و انتقال اطلاعات آن از طریق PLC به شرکت برق مزایای زیر عاید طرفین می شود:

- تعریف چند تعرفه برای مصرف برق
 - اندازه گیری توان راکتیو مصرفی
 - شناسایی دقیق مدل مصرف و امکان پیاده سازی فرایندهای مدیریت مصرف و مدیریت بار
 - تشخیص سوء استفاده از برق (برق دزدی)
 - تعیین مقدار واقعی تلفات الکتریکی شبکه و تلفات غیر فنی
 - قابلیت قطع و وصل برق به طور مثال برای مشترکینی که قبض خود را پرداخت نکرده اند.
- بعد از کاربردهایی که در بندهای فوق برای PLC ذکر شد، به تدریج با پیشرفت تکنولوژی و روی کار آمدن اینترنت و خدمات مخابراتی جدید، ایده تبادل اطلاعات با پهنای باند بالا (مثل اطلاعات صوتی و تصویری) از طریق خطوط برق شکل گرفت. البته ممکن است تغییراتی در آن لحاظ شود که باید به طور مفصل مسائل فنی و اقتصادی آن آنالیز شود.

۱-۲- ساختار شبکه PLC :

- PLC ها را می توان از لحاظ سرعت انتقال اطلاعات و کاربرد به سه دسته تقسیم کرد:
- PLC با سرعت کم (^۲۲۴۰۰ bps) که در خطوط توزیع فشار ضعیف و متوسط برای کاربردهای حفاظتی، اندازه گیری مصرف انرژی از راه دور و اتوماسیون تجهیزات خانگی از راه دور استفاده می شود.
 - PLC با سرعت متوسط (حداکثر تا ۶۴ Kbps) که در خطوط توزیع فشار متوسط و فشار قوی برای کاربردهای حفاظتی، کنترل نیروگاهها از راه دور و ارتباط پست ها و نیروگاهها استفاده می شود.
 - PLC با سرعت بالا (بیش از ۱Mbps) که در خطوط توزیع فشار ضعیف و متوسط برای کاربردهایی مثل انتقال اطلاعات صوتی و تصویری، اینترنت و ارتباط بین شرکت ها استفاده می شود.

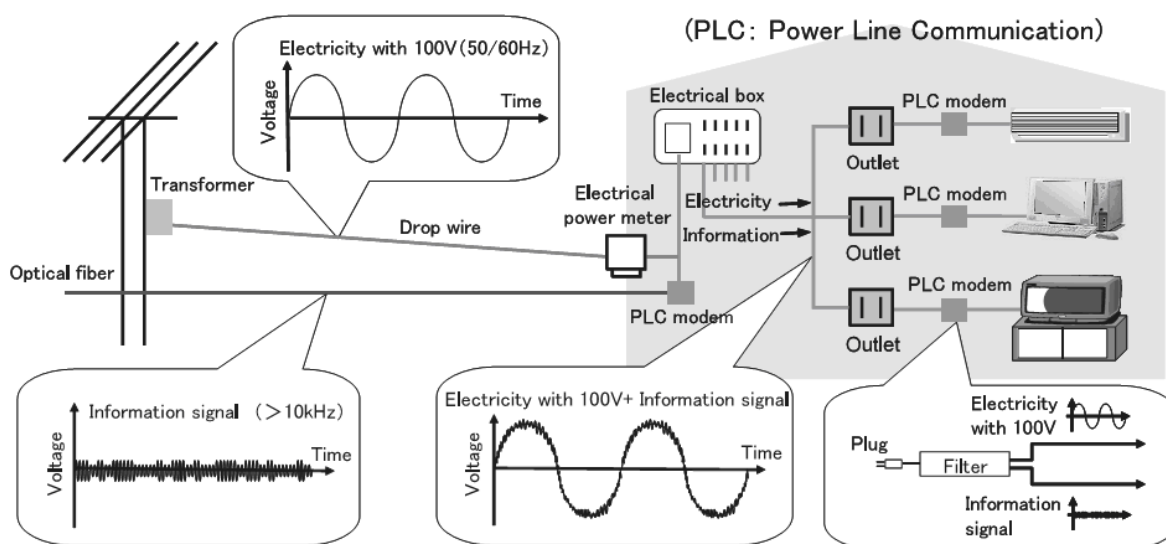
فناوری PLC که در آن از خطوط قدرت موجود به منظور فراهم سازی دسترسی به اینترنت استفاده می شود، اطلاعات را با اضافه کردن آن ها به امواج فرکانس بالا روی خطوط انتقال الکتریکی

۱- Automatic Meter Reading

۲- Bit Per Second

منتقل می‌کند. در واقع موج حامل^۱، اطلاعات مخابراتی را به وسیله اضافه کردن آن‌ها روی سیگنال ۵۰ یا ۶۰ هرتز قدرت مخابره می‌کند که این ارتباطات می‌تواند با پهنای باند وسیع روی خطوط برق^۲ با نرخ اطلاعات^۳ یک مگابیت در ثانیه و یا با پهنای باند کم^۴ با نرخ اطلاعات خیلی کمتر منتقل شود. در این روش مودم‌ها، هر کدام از درگاه‌های خروجی الکتریکی درون خانه یا اداره را به کامپیوتر متصل می‌کنند.

در شکل زیر اصول کلی این فناوری نشان داده شده است. همان طور که در شکل نشان داده شده است سیگنال‌های اطلاعاتی سوار شده بر روی خطوط برق در انتها توسط مودم جدا شده و به وسایل مورد نظر می‌رسد [۵].



شکل (۴-۱): اصول کلی PLC

اساساً فناوری PLC بر مبنای مدولاسیون و دمدولاسیون اطلاعات به وسیله یک سیگنال حامل که در محدوده فرکانس بالا کار می‌کند، شکل گرفته است. به طور کلی لایه‌های فیزیکی و روش کدگذاری آن بر اساس روش OFDM^۵ صورت می‌گیرد. با وجود این توانمندی آن در مقابله با تداخل و

۱-Carrier

۲-Broadband over Power Lines

۳- Bit Rates

۴- Narrowband over Power Lines

۵- Orthogonal Frequency Division Multiplex

اغتشاش‌ها^۱ اصلی‌ترین نگرانی طراحان محسوب می‌شود (اصول و روش کلی این فناوری به صورت شماتیک در شکل (۴-۱) نشان داده شده است).

اغلب پیشنهادها برای افزایش ظرفیت انتقال شبکه‌های PLC استفاده از فرکانس حاملی است که در محدوده ۱ تا ۳۰ مگا هرتز کار کند. از آن جا فرکانس برق شهر در ایالات متحده ۶۰ هرتز و در سایر کشورها ۵۰ هرتز است، دو نوع سیگنال خواهیم داشت و در نتیجه این مسئله خود یک محدودیت جدید محسوب می‌شود.

شکل (۵-۱) و (۶-۱) ساختار کلی یک سیستم PLC توزیع را نشان می‌دهند. به طور کلی در سیستم آمریکایی شبکه‌های توزیع برای توزیع برق به ۱۰ مصرف کننده نهایی از یک ترانسفورماتور توزیع استفاده می‌شود که این امر توانایی ایجاد و استفاده از شبکه های توزیع کوچکتر را فراهم می‌سازد. در مقابل در اروپا و آسیا، اغلب ترانسفورماتورهای توزیع ۱۰۰ تا ۲۰۰ مصرف کننده نهایی را تغذیه می‌کنند. البته این تفاوت در تاسیسات یا تفاوت در ساختار ترکیبی مصرف کننده می‌تواند به طرح‌های متفاوتی برای شبکه قدرت منجر شود. اختلاف طرح‌های شبکه و سیستم‌های قدرت نیز نیازمند استاندارد سازی است و در نتیجه میزان سختی کار بالاتر خواهد رفت. این در حالی است که در کشورهای مختلف نحوه رگولاسیون متفاوتی نیز وجود دارد. به همین دلیل است که هنوز هم تحقیقات بر روی این فناوری ادامه دارد و این فناوری هنوز به بلوغ خود نرسیده است [۵،۲].

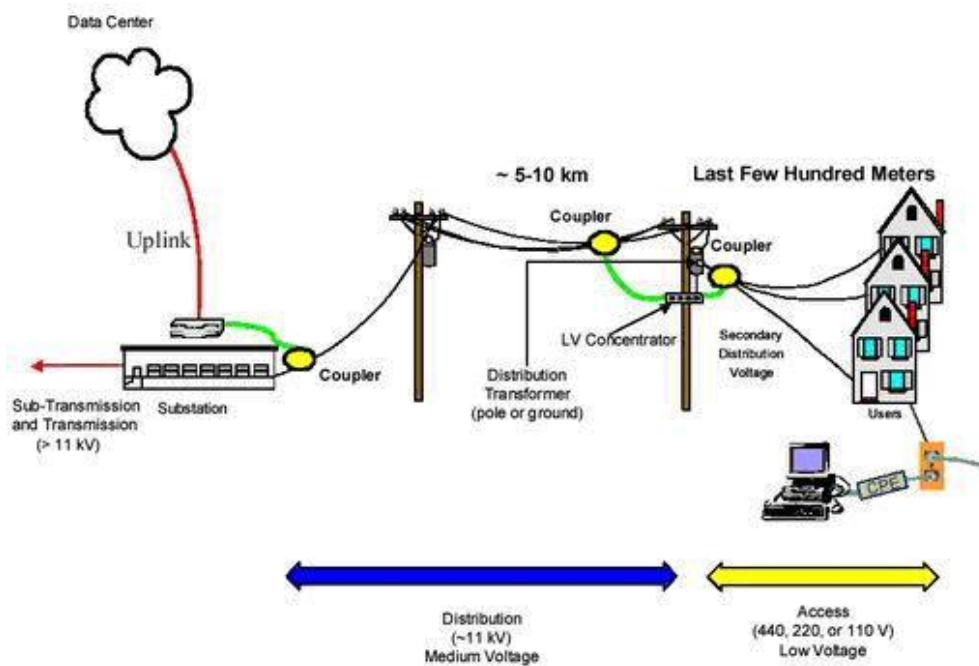
تکنولوژی PLC در شمال آمریکا از ولتاژ متوسط (۱-۵۰ کیلوولت) یا پایین (۱۰۰-۲۴۰ ولت) شبکه توزیع نیرو به عنوان زیرساخت مخابراتی برای انتقال امواج فرکانس بالا استفاده می‌کند شبکه PLC دو خانواده اصلی دارد:

- شبکه مخابراتی توزیع که هدفش اتصال PLC های ایستگاه‌های MV/LV به همدیگر است.
 - شبکه دسترسی^۲ یا PLC خارجی که خانه را به بیرون متصل می‌کند و هدفش اتصال مشتری به ایستگاه می‌باشد.
- سیستم خانگی^۳ نیز وظیفه توزیع سیگنال‌ها (که به عنوان مثال از شبکه دسترسی PLC می‌آید) به پریزهای برق داخل خانه (شبکه داخلی خانه) را عهده دار می‌باشد.

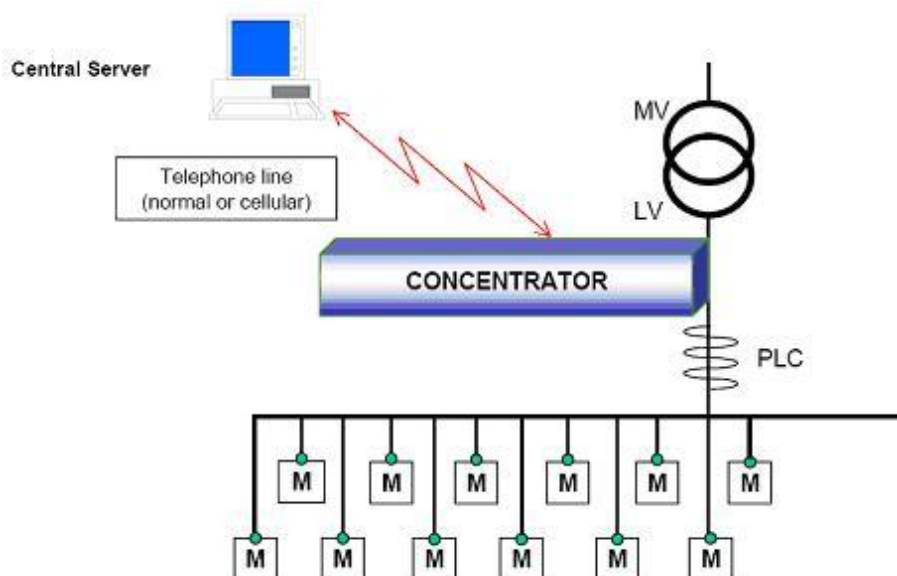
۱ - Disturbance

۲ - Access PLT

۳ - In-House PLT



شکل (۵-۱): نمایش کلی یک سیستم PLC



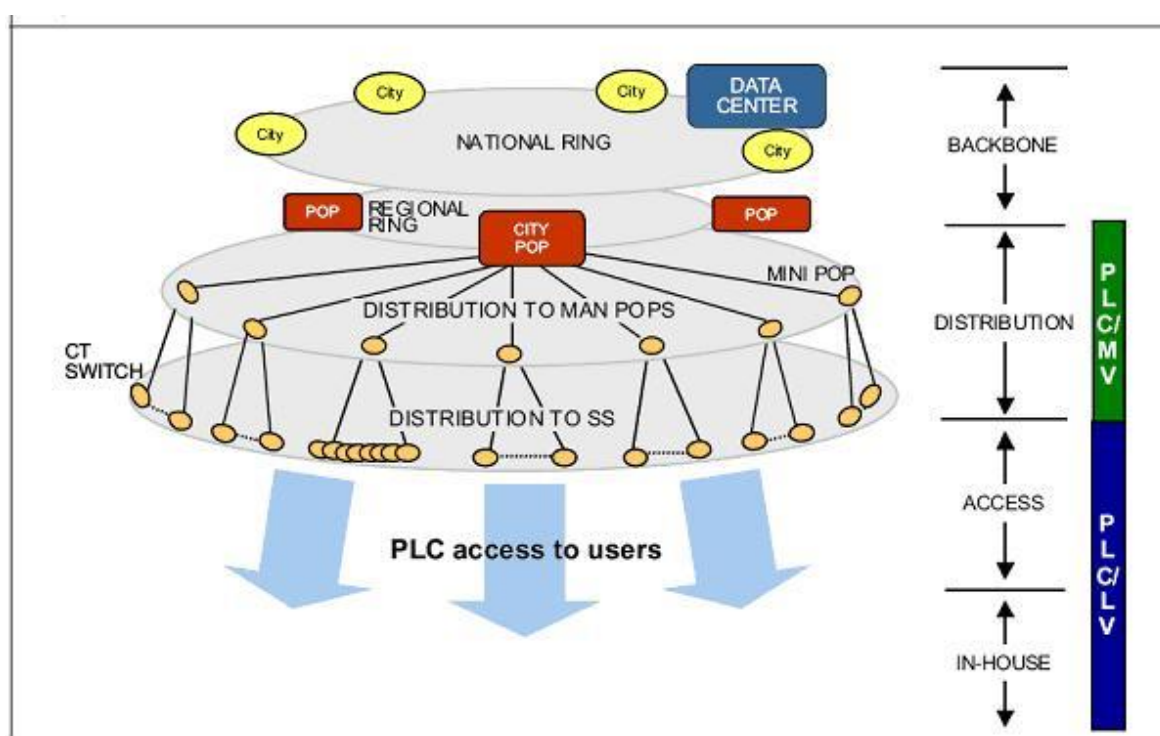
شکل (۶-۱): نمایش کلی یک سیستم PLC با پهنای باند کم

لازم به ذکر است که ایستگاه‌های MV/LV در ایران همان ترانسفورماتورهای ۲۰ KV/۴۰۰V می باشد. برای انتقال سیگنال مخابراتی از این ترانس، به خاطر خاصیت فیلتری ترانس باید از تجهیزات اضافی در این ایستگاهها استفاده شود که در ادامه به آنها اشاره می شود.

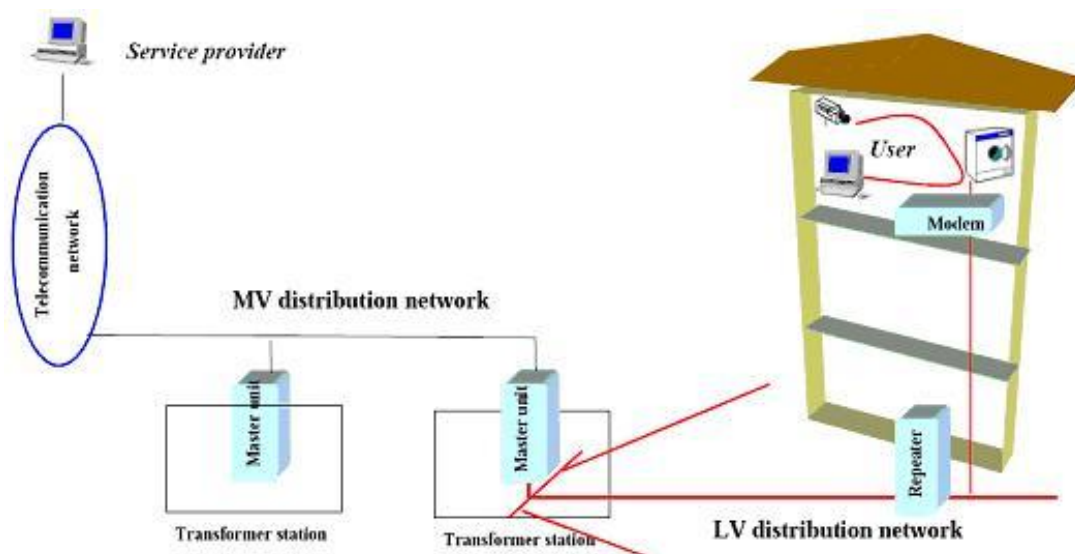
در شکل (۷-۱) در سمت راست، این سه خانواده و شبکه "زیرساخت اینترنت" و ارتباط آنها با یکدیگر نشان داده شده است. همان طور که در شکل نیز نشان مشاهده می شود شبکه دسترسی معمولاً در شبکه ولتاژ پایین و شبکه توزیع در شبکه ولتاژ متوسط قرار دارد.

خطوط قدرت نیز که از ترانسفورماتورهای ولتاژ پایین به خانه‌ها و مکان‌های تجاری می‌روند کابل‌های زیر زمینی هستند و در مکان‌های روستایی اغلب خطوط هوایی می‌باشند. به طور کلی سیستم‌های دسترسی PLC اروپایی از کابل‌های زمینی استفاده می‌کنند زیرا تابش امواج فرکانس بالا از خطوط هوایی بسیار بیشتر می باشد.

در شکل (۸-۱) نیز ساختار PLT با پهنای باند وسیع در شبکه توزیع MV/LV نمایش داده شده است.



شکل (۷-۱): ساختار کلی شبکه PLC و خانواده های آن در شبکه توزیع



شکل (۸-۱): ساختار PLT با پهنای باند وسیع در شبکه توزیع

۱-۲-۱- شبکه دسترسی :

شبکه ولتاژ پایین سیستم توزیع (در ایران ۴۰۰ V)، همان بخش دسترسی شبکه ارتباطات می باشد و PLC در این سطح ولتاژ، کاربرد بیشتری دارد. این بخش از شبکه، مودم‌های PLC یا CPEs^۱ (تجهیزات خانگی) را از طریق خطوط ولتاژ پایین به ترانسفورماتورهای PLC متصل می‌کند. پریزهای برق، محل اتصال مصرف کننده به شبکه ارتباطی می‌باشند. CPE ها و TE^۲ ها که به ترتیب در نقطه اتصال خانگی و ایستگاه‌های MV/LV واقع شده‌اند، بخشی از شبکه توزیع می‌باشند [۱].

شبکه دسترسی دو بخش دارد:

- بخش بین CPE تا تکرار کننده ها^۳ که از طریق خطوط برق ساختمان و در بعضی موارد از طریق شبکه ولتاژ پایین به یکدیگر متصل می شوند.
 - بخش بین تکرار کننده ها تا TE که از طریق شبکه ولتاژ پایین به یکدیگر وصل می شوند.
- تکرار کننده تجهیزاتی است که در طول مسیر ارسالی از آن برای تقویت سیگنال PLC استفاده می شود (توضیحات بیشتر در بند ۱-۲-۲ ارائه خواهد شد).
- مودم‌های PLT می توانند با شبکه های موجود LAN^۴ لینک شوند و تعداد زیادی کاربر را به طور همزمان به اینترنت متصل کنند، که این مورد مخصوصاً برای شرکت های کوچک مفید است.

۱- Customer Premise Equipments

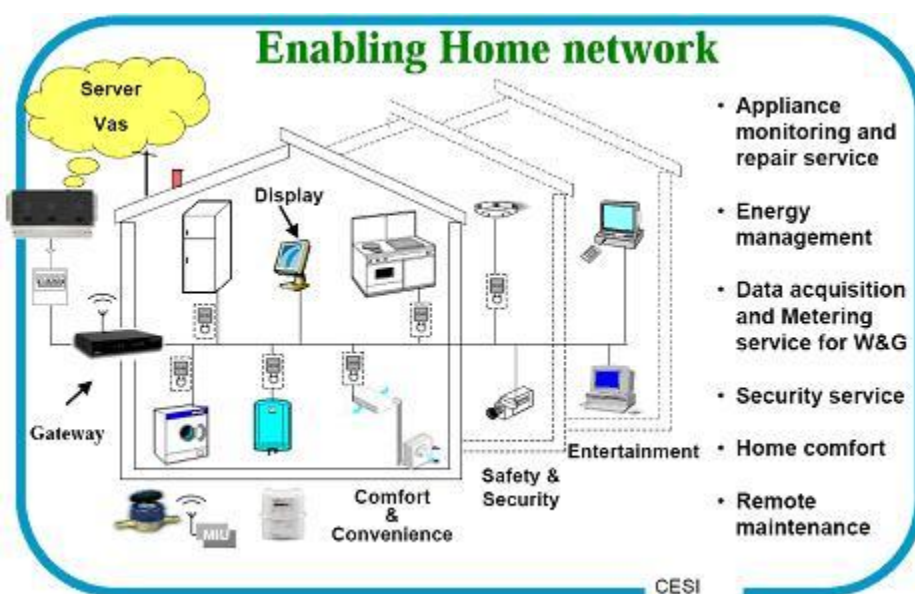
۲-Transformer Equipment

۳- Repeater

۴-Local Area Network

همچنین در خانه باعث می شود تمام پریزهای معمولی برق تبدیل به نقطه اتصال به اینترنت و VOIP^۱ گردند.

شکل (۹-۱) نحوه ی اتصال شبکه دسترسی و شبکه خانگی و همچنین بعضی از کاربردهای مدرن PLC مثل مدیریت انرژی الکتریکی، کنترل و نظارت وسایل خانگی از راه دور، اندازه گیری میزان مصرف برق، گاز، آب و... را نشان می دهد. Gateway نشان داده شده در شکل، تجهیز متصل کننده بین شبکه خانگی و شبکه ارتباطی بزرگتر (ارتباطات مخابراتی بیرون از ساختمان) می باشد.

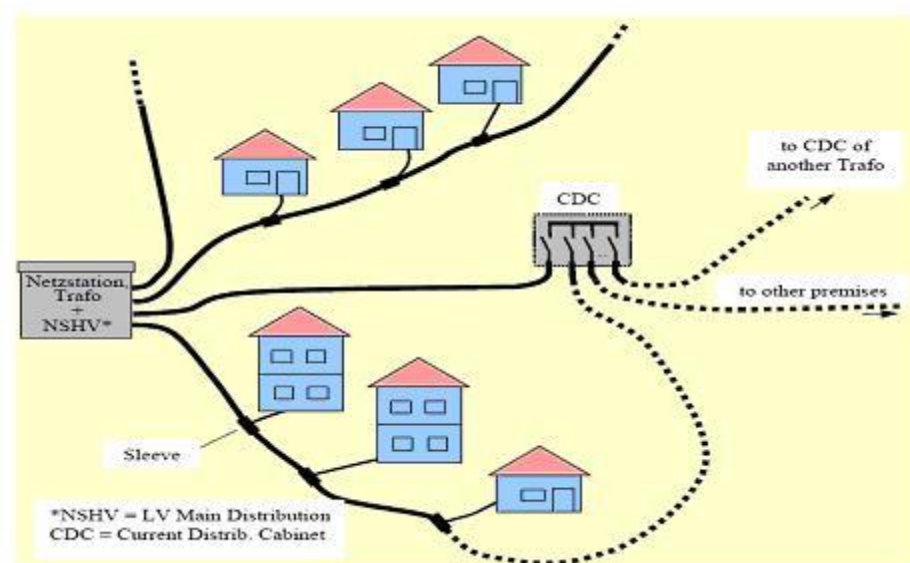


شکل (۹-۱): نحوه ی اتصال شبکه خانگی و دسترسی

شکل (۱۰-۱) شبکه معمول ولتاژ پایین توزیع آلمان را نشان می دهد، ترانسفورماتور LV (Trafo) مرکز شبکه است. هر کابل برق حدود ۳۰ تا ۴۰ خانه را تغذیه می کند که طول معمول آنها کمتر از ۱ کیلومتر است. اکثر هادیها زیر زمینی بوده و در مناطق روستایی ممکن است از سیم های هوایی استفاده شود. هر مشترک به وسیله یک غلاف^۲ به کابل برق متصل می شود.

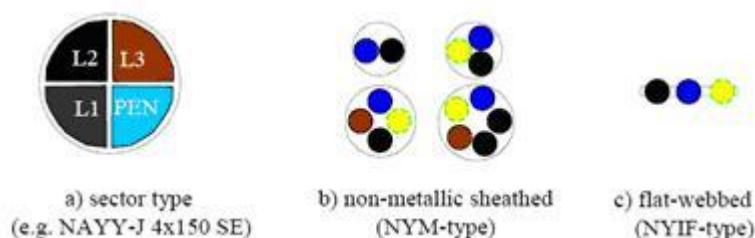
۲- Voice Over Internet Protocol

۲-Sleeve



شکل (۱-۱۰): سیستم معمول ولتاژ پایین در آلمان

کابل های معمول در سیستم های دسترسی و خانگی آلمان، سه نوع می باشند: قطاع^۱، غلاف غیرفلزی^۲ و سطحی به هم پیوسته^۳ (شکل ۱-۱۱) خطوطی که از ترانسفورماتورهای LV خارج می شوند، نوع قطاعی با سطح مقطع های مختلف هستند. در سیستم خانگی نیز کابل ها از نوع غلاف غیرفلزی یا شبکه مسطح می باشند.



شکل (۱-۱۱) کابل هایی که اغلب در سیستم های دسترسی و خانگی استفاده می شود

بعضی از مشخصات انتقال سیگنال HF سیم های برق معمول آلمان، که برای ارسال سیگنال از PLC استفاده می شود، در جدول (۱-۱) نشان داده شده است. همانطور که مشاهده می شود مشخصات امپدانس کاملاً متفاوت است که به دلیل شکل هندسی متفاوت سیم ها می باشد. مقدار افت در سیم های دسترسی به طور قابل توجهی از سیم های خانگی کمتر می باشد [۵،۷].

۱ - Sector

۲ - Non-metallic sheathed

۳ - Flat Webbed

جدول (۱-۱): مشخصات فنی کابل‌های شکل ۱-۱۱

Type of Cable	Description	Characteristic Impedance	Attenuation in dB/km at 1, 10 and 20 MHz
NAYY-J 4 x 150 SE	4-wire underground main line (150 mm ²)	22 Ω at 1 MHz symmetric mode	12.9 / 46.5 / 51
NAYY-J 4 x 50 SE	4-wire underground line to the premises (50 mm ²)	29 Ω at 1 MHz symmetric mode	16.8 / 53.8 / 58.9
NYM-J 3G x 1.5	3-non-metallic sheathed wires (1.5 mm ²)	75 Ω at 150 kHz	17 / 85.5 / 146
NYIF-J 3G x 1.5 NYIF-J 5G x 1.5	3-flat-webbed wires (1.5 mm ²) 5-flat-webbed wires (1.5 mm ²)	183 Ω at 150 kHz from line to next line	23 / 105 / 180

در واقع شبکه توزیع، TE های نصب شده در ایستگاه‌های MV/LV را به یکدیگر متصل می‌کند. این اتصال به روش‌های مختلفی صورت می‌گیرد. این روش‌ها می‌توانند به صورت ترکیبی نیز مورد استفاده قرار گیرند.

- شبکه ولتاژ متوسط می‌تواند ایستگاه‌های MV/LV مختلف را با استفاده از تجهیزات PLC ولتاژ متوسط به یکدیگر متصل کند. مانند شبکه‌های ولتاژ پایین، این ارتباط می‌تواند به صورت هوایی یا زمینی انجام گیرد.

- استفاده از فیبرهای نوری برای اتصال بین ایستگاه‌های MV/LV
- در کنار فیبرهای نوری و PLC در سطح ولتاژ متوسط، تکنولوژی‌های دیگر مانند LMDS^۱ می‌توانند به عنوان راه حل ترکیبی استفاده شوند.

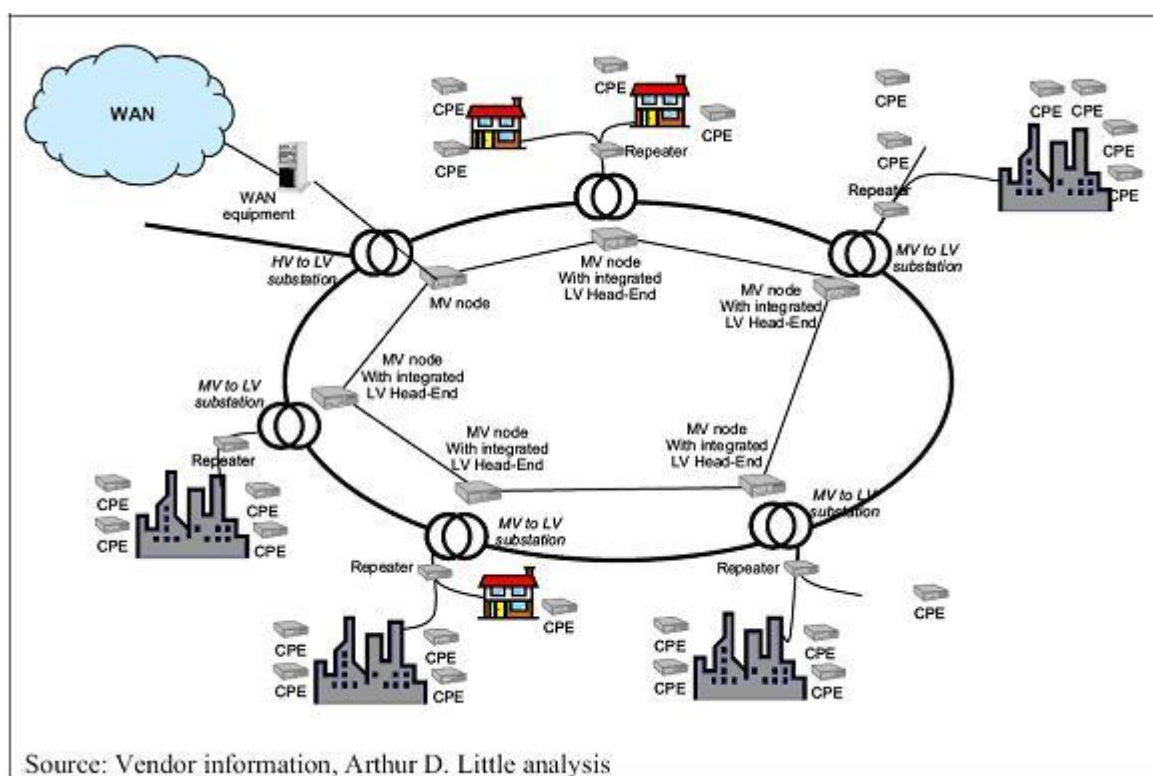
LDMS تکنولوژی انتقال اطلاعات به صورت بی سیم است که فرکانس کاری آن بین ۲۶ GHz تا ۲۹ GHz قرار دارد و در شبکه MV می‌تواند به همراه PLC استفاده شود. مشکل این تکنولوژی برد کوتاه آن است به طوری که در روزهای بارانی برد آن به یک و نیم مایل محدود می‌شود. معمولاً ایستگاه‌های MV/LV، با یکی از دو آرایش زیر به هم متصل می‌شوند:

- استفاده از یک ایستگاه HV/MV برای اتصال ایستگاه‌های MV/LV به صورت رینگ [شکل (۱-۱۲)]
- استفاده از لینک‌های MV که دو ایستگاه HV/MV را به هم متصل می‌کند و اجازه می‌دهد یک ایستگاه MV/LV با دو ایستگاه HV/MV تغذیه شود.

با توجه به ساختار رینگ هر دو معماری، در صورت بروز خرابی در هر یک از تجهیزات، انتقال اطلاعات مختل نمی‌شود. البته باید متذکر شد که در آرایش دوم لازم است فیبر نوری در هر دو ایستگاه HV/MV موجود باشد.

شکل (۱۲-۱) نحوه اتصال شبکه مخابراتی را به شبکه الکتریکی در سطح ولتاژ MV نشان می دهد. در این شکل همچنین، نحوه تبادل اطلاعات از ایستگاه MV/LV به مشترکین نشان داده شده است.

توسعه PLC های ولتاژ متوسط از اهمیت بالایی برخوردار است، زیرا به همان اندازه باعث توسعه اقتصادی و عرضه فناوری می شود و اجازه می دهد از وسایل و تجهیزات فعلی شبکه برق برای اتصال ایستگاه مختلف ولتاژ پایین استفاده کرد [۶].



Source: Vendor information, Arthur D. Little analysis

شکل (۱۲-۱) نحوه اتصال ایستگاه های HV/MV به یکدیگر

۱-۲-۳- اتصال به شبکه های ارائه دهنده خدمات (اینترنت و شبکه^۱ PSTN):

در بعضی از نقاط شبکه توزیع PLC لازم است که اتصالاتی به شبکه های خدمات دهنده به منظور مهیا کردن دسترسی به اینترنت و سرویس های تلفن برقرار گردد. همان طور که در شکل (۱۳-۱) نشان داده شده است شبکه اینترنت و تلفن از طریق یک سوئیچ به داخل شبکه توزیع ولتاژ متوسط تزریق شده است.

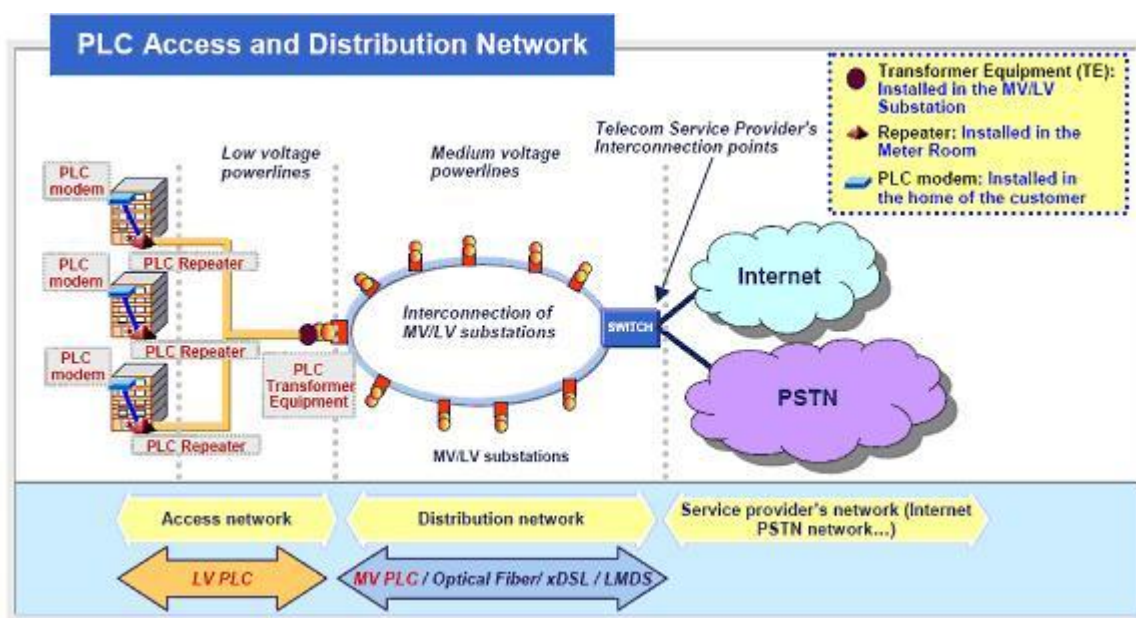
دیگر سرویس های ارزش افزوده مانند سرویس های تصویری و چند رسانه ای می تواند در این بخش از شبکه اضافه شود و به صورت مستقیم توسط اپراتورهای ارائه دهنده PLC در دسترس

۱-Public Switched Telephone Network

مشترکان قرار گیرد. سرویس های تصویری مانند تلویزیون های کابلی یا HDTV^۱ که در آن تصاویر ویدئویی به صورت Real Time ارسال می شود. در اینصورت نیازی به کابل کشی جدید برای ارسال این اطلاعات نیست.

بسته به سرویس های پیشنهادی انعطاف پذیری زیادی در این نوع از تجهیزات موردنیاز برای اتصال وجود دارد. در حالت کلی تجهیزات سوئیچینگ برای این کار لازم است.

یکی دیگر از فواید PLC این است که در تماس های تلفنی بین دو مشترک که در نقاط مختلف یک شبکه محلی توزیع یکسان قرار گرفته اند لازم نیست که مشترک به اپراتور شبکه PSTN سوئیچ شود. به این معنا که سرویس های صوتی برای دو مشترک در نقاط مختلف یک شبکه توزیع یکسان است هیچ هزینه ای در بر ندارد [۱].



شکل (۱-۱۳) نحوه اتصال اینترنت و PSTN به شبکه PLC

۲-۱-۳- بررسی مزایا و معایب سیستم مخابراتی PLC :

برای بررسی محیط های مخابراتی سیستم اتوماسیون توزیع، پارامترهای متعددی در نظر گرفته می شود که هر یک از لحاظ فنی، اقتصادی، کاربردی و مدیریتی حائز اهمیت می باشند. این معیارها عبارتند از:

- مستقل بودن از شبکه و تغییرات آن

۱- High Definition Television

- عدم تأثیرپذیری از شرائط جغرافیائی
- نرخ خطا در ارسال داده‌ها
- سرعت کانال در ارسال داده‌ها
- قابلیت ارتباط با فواصل دور
- امکانات توسعه با توجه به گسترش شبکه MV
- هزینه‌های نصب اولیه
- هزینه‌های بهره برداری و نگهداری
- هزینه‌های توسعه
- مدیریت و کنترل مستقل
- محدودیتهای اعمال شده از طرف سایر سازمانها
- سهولت تعمیر و نگهداری
- ایمنی اطلاعات

۱-۳-۱- مزایای سیستم PLC :

- مزایای سیستم PLC به عنوان یک روش ارسال اطلاعات در شبکه برق با توجه به معیارهای ذکر شده در بند قبل شامل موارد زیر می باشد [۸].
- به دلیل استفاده از خطوط برق، نیاز به نصب مسیر ارتباطی نبوده که این به معنای عدم اتلاف هزینه و زمان برای ساخت کانال ارتباطی جدید می باشد.
 - سیستم PLC از جمله محیط‌های مخابراتی در صنعت برق می باشد که کاملاً مستقل بوده و مدیریت و کنترل آن در دست شرکت‌های برق می باشد.
 - محیط مخابراتی PLC از نوع کابلی یا سیم هوایی بوده و در صورت بروز خطا محل آن براحتی قابل ردیابی و شناسایی است.
 - دسترسی به هر نقطه شبکه توزیع در هر زمان میسر بوده و شبکه مخابراتی به موازات آن قابل گسترش است. بنابراین توسعه شبکه PLC دارای پیچیدگی نمی باشد.

- سیستم PLC سرعت قابل قبولی در بخش ولتاژ ضعیف و سیستم خانگی دارد (با توجه به انتخاب پهنای باند زیاد در این سطوح). در کاربردهایی که از PLC در بخش ولتاژ ضعیف استفاده می شود، با توجه به اینکه فواصل ارسال سیگنال کم می باشد، می توان به سرعت بالایی برای تبادل اطلاعات دست یافت.
- هزینه تعمیر و نگهداری PLC نسبتاً پایین بوده، به گونه ای که معمولاً پس از نصب آنها نیازی به سرویس های دوره ای خاصی نمی باشد.

۱-۳-۲- معایب سیستم PLC :

با وجود مزیت های ذکر شده برای سیستم PLC، این روش دارای معایبی است که می تواند باعث محدود کردن کاربرد این فناوری شود. بر اساس بخش های قبلی، که در آنها مشکلات مهم این سیستم توضیح داده شد، برخی از مهمترین معایب استفاده از این روش شامل موارد زیر می باشد [۹]:

- تغییرات امپدانس
- تضعیف زیاد در مسیر ارتباطی و ایجاد امواج ساکن در طول مسیر
- وجود نویز ایمپالس تصادفی و یکنواخت
- تداخل از منابع خارجی مجاور خطوط فشارقوی
- وجود کلیدهای مجزا کننده
- تعداد شاخه های زیاد
- سرعت کم انتقال اطلاعات در سطح ولتاژ متوسط (با توجه به انتخاب پهنای باند کم در آن سطح)
- هزینه بالای مبدل و مودم های PLC

۱-۴- کاربردهای مختلف سیستم PLC :

با توجه به توضیحاتی که در مورد مسائل فنی، اجزای تشکیل دهنده، مزایا و معایب سیستم PLC در بخش های قبلی ارائه شد، در این بخش کاربردهای مختلف این سیستم در سطوح مختلف شبکه برق بیان می شود [۱۰].

۱-۴-۱- کنترل تجهیزات خانگی^۱ :

در این روش کانال مخابراتی PLC، همان سیم کشی برق داخل خانه است. این تکنیک در اتوماسیون سیستم های خانگی به منظور کنترل از راه دور لوازم منزل و نیز روشنایی بدون نیاز به نصب هیچگونه سیم های کنترلی اضافی به کار می رود.

به طور کلی این دستگاه ها با یک موج حامل با فرکانسی بین ۲۰ تا ۲۰۰ کیلوهرتز کار می کنند، موج حامل به وسیله سیگنال های دیجیتال مدوله می شود. هر گیرنده در این سیستم یک آدرس دارد که می توان به وسیله سیگنال های منتقل شده روی سیم کشی خانه به طور مشخص به آن فرمان داد و در گیرنده این سیگنال ها را کد گشایی^۲ کرد. از آن جا که سیگنال حامل ممکن است برای خانه های مجاور و یا آپارتمان هایی با یک سیستم توزیع مشابه استفاده شود، نقشه های کنترلی آن ها یک آدرس خانه نیز خواهند داشت.

۱-۴-۲- شبکه سازی خانگی^۳ :

کاربرد دیگر تکنولوژی ارتباطات از طریق خطوط برق، استفاده از آن برای وصل کردن کامپیوترهای خانگی و دستگاه های جانبی است. در حال حاضر هیچ استاندارد جهانی برای ارتباطات از طریق خطوط برق وجود ندارد. با این حال استانداردهایی^۴ برای شبکه کردن لوازم خانگی، بوسیله تعدادی از شرکت ها و کارخانجات در این زمینه گسترش یافته است و تحقیقات بر روی این زمینه همچنان ادامه دارد [۱۱].

۱-۴-۳- دسترسی به اینترنت :

همان طور که قبلاً گفته شد، کاربرد تکنولوژی PLC، اینترنت پر سرعت از طریق خطوط برق (BPL^۵) می باشد که دسترسی به اینترنت با پهنای باند وسیع روی خطوط معمولی برق را مهیا می کند. کاربر لازم است تنها یک کامپیوتر و یا هر وسیله دیگری که یک مودم BPL دارد را در پریز برق وارد کند تا اینترنت پر سرعت بدست آورد.

۱- Home Control

۲- Decode

۳-Home Networking

۴- Universal Power line Association , Home Plug Power line Alliance

۵- Broadband over Power Line

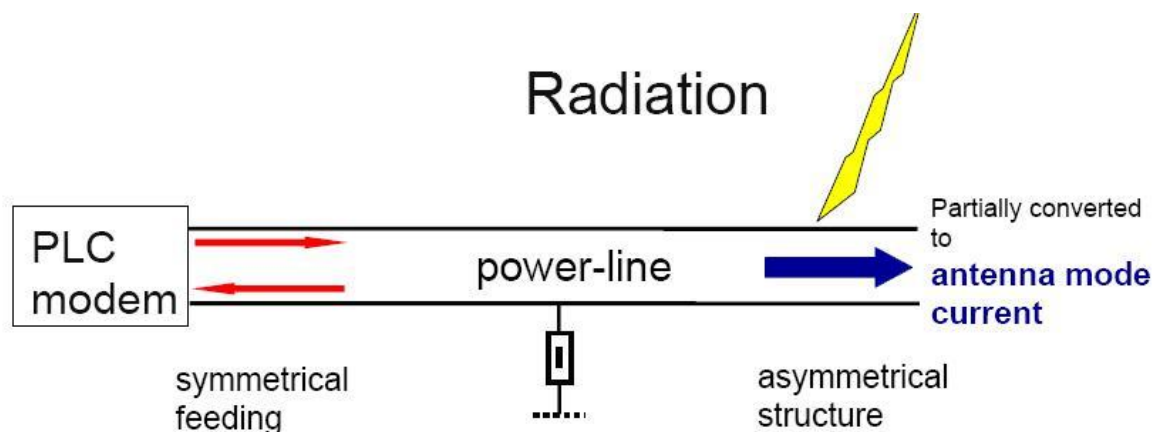
BPL مزایای زیادی نسبت به ارتباط از طریق کابل معمولی یا DSL دارد. زیرساخت گسترش یافته موجود اجازه دسترسی به اینترنت به مردم در جاهای بیشتری می‌دهد با این وجود گوناگونی در مشخصه فیزیکی شبکه الکتریکی و نبود استاندارد^۱ IEEE نمایانگر این است که از مهیا شدن تکنولوژی تا استاندارد و فراگیر شدن آن فاصله زیادی وجود دارد و مقدار پهنای باندی که یک سیستم BPL در مقایسه با ارتباط از طریق کابل و ارتباط بی سیم می‌تواند مهیا کند مورد سؤال است. انتقال سریع اطلاعات نیازمند سیگنال‌هایی با فرکانس بالا و پهنای باند وسیع است. مودم‌های PLC اطلاعات را در محدوده فرکانس‌های متوسط و بالا (۱/۶ تا ۳۰ مگاهرتز) انتقال می‌دهند، به طور کلی سرعت این مودم‌ها از ۲۵۶ کیلوبایت بر ثانیه تا ۲/۷ مگابایت بر ثانیه متغیر است. توسط تکرار کننده واقع در اتاق اندازه‌گیری این سرعت تا بالای ۴۵ مگابایت بر ثانیه می‌رسد و می‌تواند به ۲۵۶ مودم PLC متصل شود. در ایستگاه‌های ولتاژ متوسط سرعت اینترنت تا ۱۳۵ مگابایت بر ثانیه افزایش می‌یابد (اخیراً سرعت ۲۰۰ مگابایت بر ثانیه نیز ایجاد شده است). برای اتصال به اینترنت می‌توان از ارتباطات بی سیم و یا مسیر (شبکه) های فیبر نوری استفاده کرد.

البته این سیستم مشکلاتی نیز دارد. مشکل اصلی این است که خطوط برق ذاتاً محیطی بسیار نویزدار است. هر زمان که وسیله‌ای روشن یا خاموش شود، سیگنال ضربه‌ای در خطوط برق القا می‌شود. این وسایل نویزهای هارمونیک‌داری را در خطوط برق القا می‌کنند و در نتیجه سیستم باید طوری طراحی شود که با این مشکل واقعی کنار بیاید و بتواند در این محیط کار کند. پهنای باند وسیع روی خطوط برق در اروپا نسبت به آمریکا با سرعت بیشتری گسترش یافته است و پیاده سازی این تکنولوژی در اروپا با موفقیت به انجام رسیده است چون ولتاژ اصلی ترانسفورماتورها برای مناطق مسکونی در آنجا بین ۲۲۰ تا ۳۰۰ ولت می‌باشد. از آنجا که ترانسفورماتورهای ۱۱۰ ولت در آمریکای شمالی به کار گرفته شده اند، در نتیجه استفاده از تکنولوژی پهنای باند روی خطوط قدرت به شکل کندتر و تنها برای تعداد معدودی از مصرف کنندگان در حال شکل گیری است.

تقریباً همه شبکه‌های بزرگ قدرت، برق را در ولتاژ بالا منتقل می‌کنند تا اتلاف توان انتقالی کم شود سپس نزدیک مصرف‌کننده از ترانسفورماتورهای کاهنده استفاده می‌کنند. از آنجایی که سیگنال‌های BPL نمی‌تواند به آسانی از ترانسفورماتور رد شود (به دلیل ماهیت سلفی و ایجاد فیلتر

پائین گذر در برابر سیگنال)، مؤلفه‌های فرکانس بالای آن حذف می‌شود و جبران‌کننده^۱ یا تکرار کننده در ترانسفورماتورها مورد نیاز است. تفاوت سیستم های برق‌رسانی، در آمریکای شمالی و اروپا در به کارگیری موثر BPL است. در آمریکای شمالی تعداد کمی از مشترکین به یک ترانسفورماتور توزیع متصل شده اند در حالی که در اروپا ممکن است ده ها تا صدها خانه به یک ایستگاه جزء متصل شده باشند. از آنجا که سیگنال های BPL از طریق ترانسفورماتورهای توزیع قابل انتشار نیستند به تکرار کننده های بیشتری در آمریکای شمالی نیاز است. از طرفی چون تعداد خانه‌های کمتری از یک خط استفاده می‌کنند و پهنای باند ثابت است سرعت وصل شدن خانه‌ها به اینترنت در آمریکا نسبت به اروپا بیشتر است.

مشکل عمده دیگر قدرت سیگنال و فرکانس عملیاتی آن است. معمولاً سیستم از فرکانس ۱۰ تا ۳۰ مگاهرتز استفاده می‌کند که بوسیله اپراتورهای رادیویی، فرستنده‌های موج کوتاه بین‌المللی و بسیاری از سیستم‌های ارتباطی (مانند نظامی، هوایی و ...) استفاده می‌شود. از آنجا که خطوط قدرت بدون محافظ الکتریکی می‌باشند می‌توانند باعث انتشار امواج و در نتیجه تداخل با سایر سیگنال های بی سیم در اتمسفر (سیگنال های رادیویی پلیس و آمبولانس ها) شود. این مساله در صورت نزدیک بودن آنتن های مخابراتی به خطوط قدرت شدت می‌یابد. در شکل (۱-۱۴)، نحوه ایجاد تداخل توسط خطوط قدرت نشان داده شده است.



شکل (۱-۱۴): نحوه ایجاد تداخل توسط خطوط قدرت

سیستم‌های BPL جدید از مدلاسیون OFDM استفاده می‌کنند که با حذف کردن فرکانس‌هایی مشخص، موجب می‌شود کمتر با سرویس‌های رادیویی تداخل کنند.

۸-۱. ۱-۴-۵- پخش برنامه‌های رادیویی :

گاهی PLC برای انتقال برنامه‌های رادیو بوسیله خطوط برق یا تلفن بکار می‌رود. این کاربرد در آلمان و سوئیس آزمایش شده است. در این موارد برنامه‌های رادیو بوسیله ترانسفورماتورهای مخصوصی روی خطوط برق سوار می‌شوند و برای جلوگیری از تداخل‌های غیرقابل کنترل، فیلترهایی برای فرکانس‌های حامل سیستم‌های دارای PLC در ایستگاه‌های توزیع نصب شده‌اند.

۱-۴-۶- تلفن :

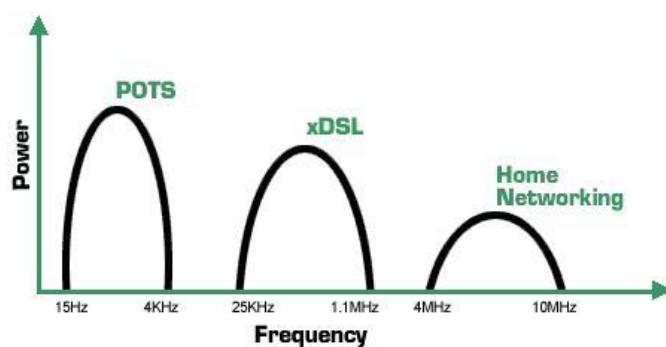
با فراهم شدن سرویس‌های تلفن از طریق VOIP (پروتکل H.۳۲۳ و SP)، موقعیت PLC به عنوان شبکه ارتباطی جایگزین برای مکمل کردن شبکه دسترسی اپراتورهای ارتباطی، پررنگ‌تر شده است. تکنولوژی VOIP در حال رسیدن به کیفیت سرویس‌های سنتی سوئیچ تلفن می‌باشد. انتظار می‌رود که VOIP جایگزین سرویس‌های معمول تلفن گردد. و هم اکنون نیز در اروپا و آمریکا بعضی از اپراتورها سرویس‌های تجاری VOIP ارائه می‌دهند و مقبولیت خوبی نیز بین مشترکین پیدا کرده است.

یکی از فواید PLC این است که برای تماس‌های تلفنی بین مصرف‌کننده‌های نهایی که در شبکه محلی توزیع یکسانی قرار گرفته‌اند نیاز به سوئیچ به اپراتورهای شبکه ارتباطی PSTN نمی‌باشد.

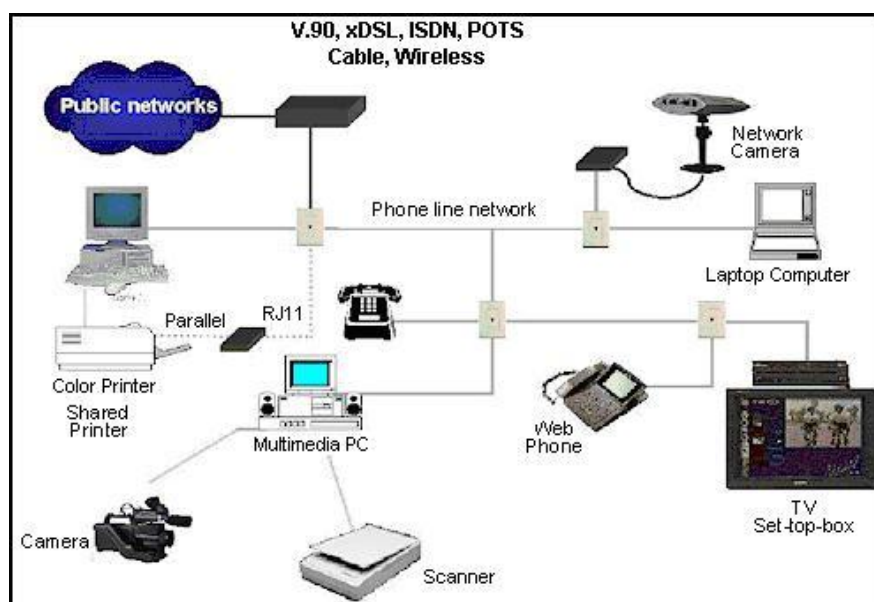
به طور مشابه برای اینکه از خطوط تلفن موجود بتوان استفاده‌هایی به جز کاربرد عادی تلفن (POTS)^۱ داشت، باید به نوعی از تداخل سیگنال‌های متفاوت ارسالی در خط تلفن جلوگیری شود. بدین منظور از روش FDM^۲ استفاده می‌شود (همانند PLC خطوط قدرت). در این روش برای هر کاربرد یک فرکانس مشخص در نظر گرفته می‌شود. در شکل (۱-۱۵) این مطلب برای سه کاربرد POTS، xDSL (برای دسترسی به اینترنت) و شبکه کردن تجهیزات خانگی (شکل ۱-۱۶) و اداری نشان داده شده است.

۱-Plain Old Telephone Service

۲-Frequency Division Multiplexing



شکل (۱-۱۵): نحوه تخصیص فرکانس برای کاربردهای همزمان از خط تلفن



شکل (۱-۱۶): نمونه ای از شبکه شدن تجهیزات اداری و خانگی

۱-۴-۷- کاربردهای دیگر PLC :

علاوه بر موارد ذکر شده این فناوری کاربردهای دیگری نیز دارد که در ادامه بصورت فهرست وار بیان شده اند:

اندازه گیری خودکار^۱:

۱-Automatic Meter Reading (AMR)

تعریف چند تعرفه برای مصرف برق، اندازه گیری توان راکتیو مصرفی، شناسایی دقیق مدل مصرف و امکان پیاده سازی فرایندهای مدیریت مصرف و مدیریت بار، تشخیص سوء استفاده از برق (برق دزدی) از جمله کاربردهای آن می باشد [۱۲].

مدیریت تقاضا^۱:

امروزه با به وجود آمدن بازارهای رقابتی برق، لزوم مشارکت مصرف کننده در بازار برق (از قبیل کنترل مصرف، مدیریت مصرف یا DSM، اندازه گیری مصرف به صورت Real Time برای اهدافی مانند پیش بینی بار و ...) احساس شده است. لازمه مشارکت مصرف کننده در این بازار وجود تجهیزات مخابراتی موثر بین مصرف کننده های صنعتی، تجاری و حتی مسکونی در شبکه های توزیع برق است. PLC یکی از گزینه های موجود است که امکان پیاده سازی آن نسبتا ساده است و دلیل این امر آن است که حداقل یکی از اجزای آن (هادیهای الکتریکی) بدون نیاز به نصب مجدد، از قبل در دسترس است.

- پیش بینی و مدیریت بار
- کنترل از راه دور ایستگاه های مبدل های توزیع
- تحلیل اضافه بار^۲ مبدل های توزیع
- سنجش از راه دور (پارامترهای الکتریکی مختلفی همچون؛ ولتاژ، جریان، توان و ...)
- برطرف کردن عدم تعادل فازهای شبکه با فرمان مستقیم به کلیدهای مربوطه
- تشخیص خرابی ها و مشکلات شبکه از راه دور
- مشخص سازی علت خرابی
- تشخیص سرقت دسترسی های غیر مجاز به شبکه
- ارائه صورت حساب واقعی (نه تخمینی) از مصرف برق مشترکان: با توجه به این که در یک سیستم اتوماسیون اطلاعات مصرف مشترکین به صورت Real Time به شرکت های برق منتقل

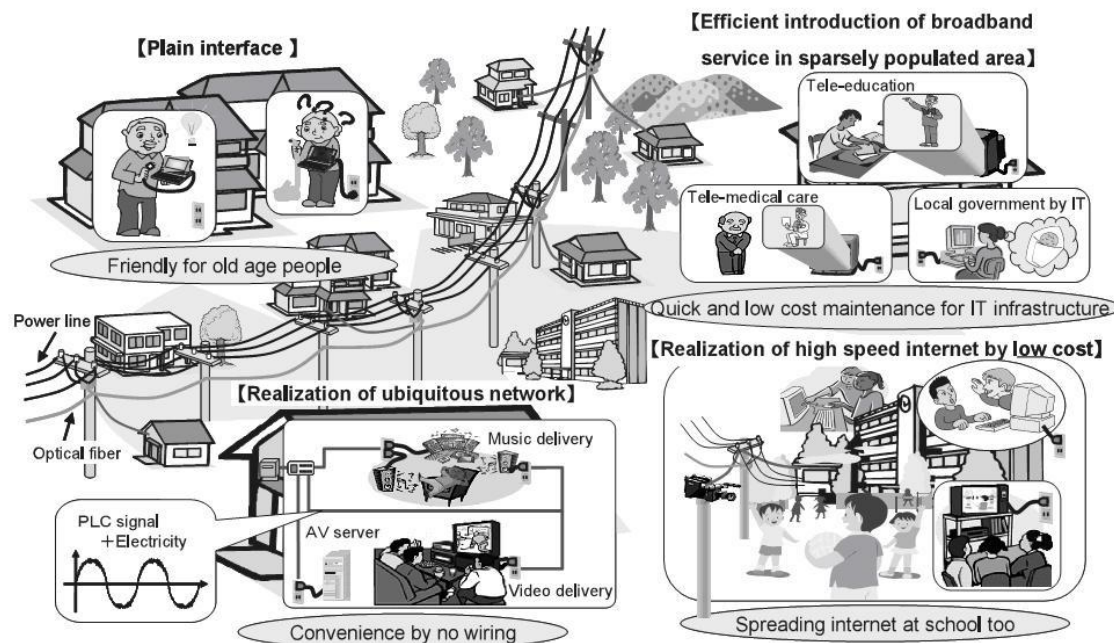
۱ - Demand side management

۲ - Overload Analysis

می شود، صورت حساب مصرف انرژی آنها به صورت دقیق خواهد بود که علت آن متفاوت بودن قیمت برق مصرفی در ساعات مختلف روز است.

- تعرفه انعطاف پذیر و متغیر

در شکل (۱-۱۷) برخی از کاربردها و مزایای سیستم PLC نشان داده شده است. از جمله این کاربردها می توان به ارائه انواع سرویس ها مانند آموزش از طریق اینترنت و تلویزیون های کابلی اشاره کرد. برخی از مزایایی که در شکل مشخص شده اند شامل دسترسی آسان به اینترنت بدون نیاز به سیم کشی جدید، اتصال مناطق دور افتاده به شبکه اینترنت و استفاده از وسعت شبکه برق به منظور ایجاد یک شبکه مخابراتی وسیع می باشد.



شکل (۱-۱۷): برخی از کاربردها و مزایای فناوری PLC

فصل دوم :
معرفی محیط
انتقال

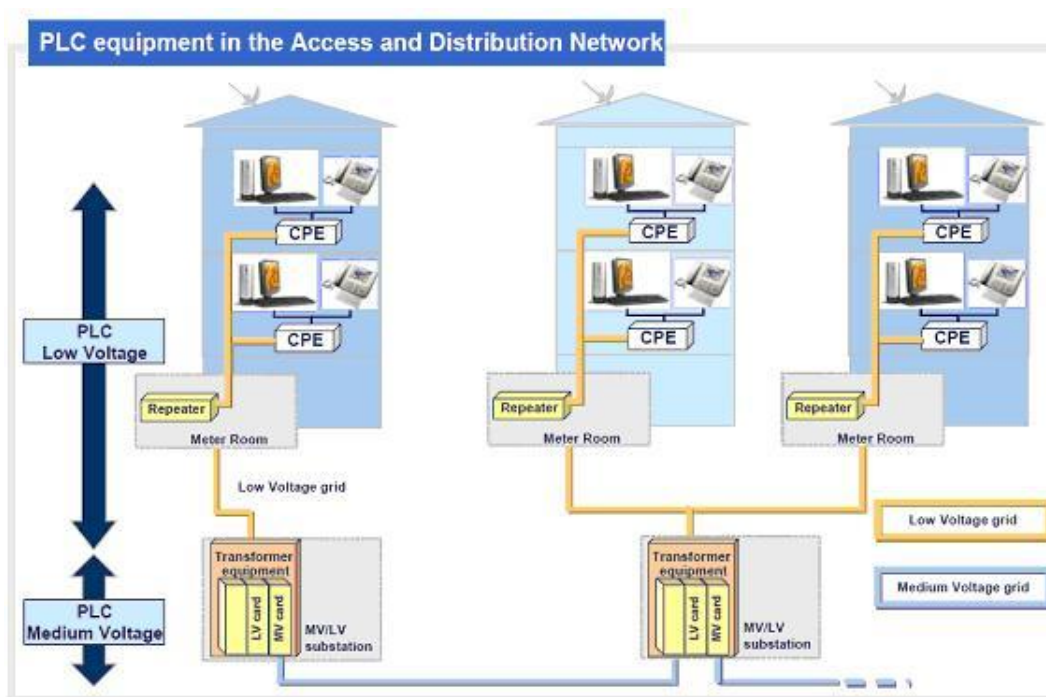
فصل دوم :

۱-۲- تجهیزات PLC در سطح ت :

سه گروه اصلی تجهیزات PLC عبارتند از : CPE ، مکرار کننده یا تجهیزات واسط (IE) و وسایل مبدل (TE) که در ادامه به بررسی ویژگی‌های کلی آنها می‌پردازیم [۶].

۲-۸. ۱-۱-۲- تجهیزات مورد نیاز مشترکین

مودم یا تجهیزات لازم مشترکین (CPE) یکی از تجهیزات PLC است که در خانه مشترک واقع شده است و به وسیله پریز برق CPE هم سیگنال مخابراتی و هم برق را دریافت می‌کند. CPE صوت و اطلاعات را از هم جدا می‌کند (شکل ۱-۲) و آنها را به وسایل مورد نظر مشترکین می‌رساند، مانند کامپیوترها و تلفن‌های عادی (با سوکت‌های RJ۴۵، Ethernet، USB، RJ-۱۱). انواع مختلفی CPE وجود دارد: CPE فقط برای اینترنت (Ethernet and/or USB)، CPE برای اینترنت و تلفن (سوکت‌های RJ-۱۱ + Ethernet and/or USB) و در آخر CPE فقط برای صدا (RJ-۱۱).



شکل (۱-۲): تجهیزات PLC در شبکه‌های توزیع و دسترسی

در کنار PLC استفاده از Wi-Fi^۱ نیز هم اکنون در حال توسعه برای CPE ها می باشد. با استفاده از این تکنولوژی می توان تجهیزات خانگی را به صورت بی سیم به شبکه مخابراتی که توسط خطوط برق به ساختمان مصرف کننده رسیده متصل کرد. سازنده ها رقابت زیادی بر سر ساخت دستگاه های CPE دارند و تکنولوژی های آن مدام در حال پیشرفت می باشد (از نظر شکل، وزن، ابعاد و ...) که نمونه هایی از آن در شکل زیر آورده شده است.



شکل (۲-۲): نمونه ای از یک مودم (CPE)



شکل (۳-۲): چند نمونه ای از یک مودم های تجاری موجود در بازار به همراه اسم شرکت های سازنده

۲-۱-۲- تکرار کننده^۲ :

تکرار کننده ها یا تجهیزات میانی سیگنال هایی که از TE به خطوط ولتاژ پایین LV خانگی در نقاط اتصال خانگی (فاصله ای تا حدود ۳۰۰ متر) می آیند را تقویت و دوباره تزریق می کند، که معمولاً

۱-Wireless Fidelity

۲-Repeater

در اتاق کنتور^۱ در ساختمان یا در بعضی نقاط واسط بین خطوط ولتاژ پایین بین ایستگاه‌های MV/LV و خانه مشترک قرار می‌گیرد.

بعضی اوقات تکرار کننده به عنوان گره میانی برای توسعه پوشش یا افزایش پهنای باند در نقاط مشکل‌دار شبکه (به دلیل افت سیگنال بین TE و CPE در مسافت‌های طولانی ...) استفاده می‌شوند، و به طور مستقیم مصرف کنندگان نهایی را سرویس نمی‌دهند. و در بعضی مواقع نیز، بسته به توپولوژی الکتریکی شبکه، نیازی به تکرار کننده نمی‌باشد، زیرا TE یک ارتباط کیفیت بالا با CPE برقرار می‌کند.



شکل (۲-۴): نمونه‌ای از دو تکرار کننده در اتاق کنتور و کابینت خیابان^۲

۲-۱-۳- ترانسفورماتور :

ترانسفورماتور (TE) یکی از تجهیزات PLC می باشد که در ایستگاه‌های مبدل MV/LV نصب می‌شود. این وسیله سیگنال‌های ورودی را که از شبکه توزیع PLC (کابل‌های ولتاژ متوسط، فیبرهای نوری و غیره) می آیند به شبکه دسترسی (کابل های ولتاژ پایین) تزریق می‌کند. اطلاعات پایین دست از طریق TE به CPEs یا تکرار کننده‌ها در ترکیب‌های دو نقطه‌ای تا چند نقطه‌ای، انتقال داده می‌شوند.

TE های جدید، ترکیب ماژولی انعطاف پذیری دارند و دارای کارت های الکترونیکی زیر می باشند:

۱-Meter Room

۲-Street cabinet

- کارت‌های LV، که سیگنال‌های ورودی از شبکه توزیع PLC را بر روی شبکه ولتاژ پایین کابل‌های الکتریکی تزریق می‌کنند.
- کارت‌های MV که اجازه می‌دهد ایستگاه‌های MV/LV در شبکه ولتاژ متوسط با یکدیگر ارتباطات داخلی داشته باشند.
- کارت‌های Fast Ethernet یا Gigabyte Ethernet: برای اتصالات داخلی بین ایستگاه‌های MV/LV از طریق واسطه‌های متداول RJ-45 یا GbE، که اجازه می‌دهد از فیبرهای نوری یا دیگر تکنولوژی‌های موجود برای شبکه توزیع PLC (xDSL^۱، LMDS و غیره) استفاده کرد.
- کارت‌های نصب شده در TE بسته به نقششان در شبکه متفاوت خواهند بود.



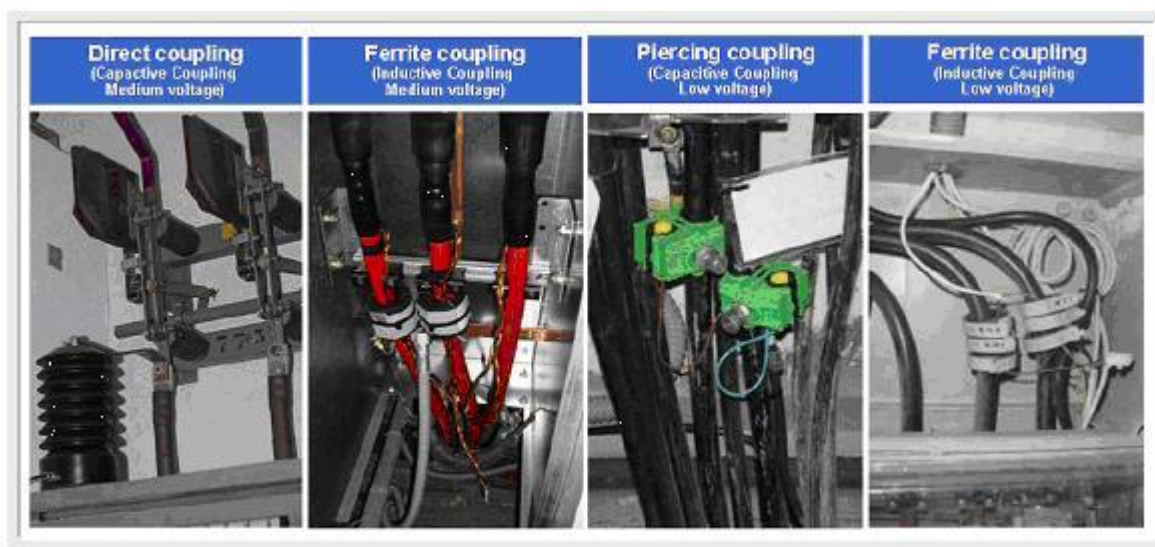
شکل (۲-۵): نمونه‌هایی از چند TE

^۱ - Digital subscriber line (refers to all types of Subscriber Line: Asymmetric and Symmetric)

۳-۸. ۲-۱-۴ - Couplers :

این تجهیزات در واقع واحدهای متصل کننده (یا کوپلینگ) می باشند که برای تزریق و تصحیح سیگنال های مخابراتی از تجهیزات PLC به خطوط قدرت (LV,MV) به کار گرفته می شود. این وسایل شامل دو نوع کلی می باشند (شکل ۲-۶ را ببینید)

- متصل کننده های خازنی که سیگنال را با تماس مستقیم با خطوط قدرت تزریق می کند.
 - متصل کننده های القایی که سیگنال ها را به روش القا (به عنوان مثال متصل کننده های هیدراکسید آهن) تزریق می کنند.
- روش های انتخاب کوپلینگ مورد استفاده باید بر اساس کیفیت سیگنال و راحتی نصب، و با توجه به مشخصات خاص در هر گره از شبکه، صورت گیرد.
- امروزه روش های کوپلینگ در حال پیشرفت هستند و به طور مؤثری زمان نصب، روش عمل، کارایی و امنیت آنها بالا رفته است.



شکل (۲-۶): نمونه هایی از واحدهای متصل کننده - به ترتیب از راست به چپ؛ متصل کننده القایی ولتاژ پایین، - متصل کننده های خازنی ولتاژ پایین، متصل کننده القایی ولتاژ بالا، متصل کننده های خازنی بالا

۴-۸. ۲-۱-۵ - نصب تجهیزات :

پروژه نصب CPE آسان است و به راحتی، بدون نیاز به سیم کشی اضافی به پریز برق متصل می شود. کامپیوتر نیازمند کارت اینترنت یا اتصال USB و یا دیگر وسایل معمول برای اتصال به اینترنت می باشد. تلفن نیاز به هیچ فرآیند خاصی در نصب ندارد.

در مسیرهای طولانی یا نویزی برای تقویت سیگنال PLC باید از تکرار کننده استفاده شود. نصب تکرار کننده ها در محل ورود به ساختمان و یا در مکان های مشخصی از شبکه توزیع انجام می شود. برای نصب TE، از یک کارت LV برای مشترکینی که از سمت ولتاژ پایین ترانس تغذیه می شوند، استفاده می شود. بسته به تکنولوژی مورد استفاده برای اتصالات داخلی ایستگاه های MV/LV در حلقه شبکه توزیع PLC، دیگر کارت ها مانند MV و غیره نیز استفاده خواهد شد. مستقل از طبیعت ناهمگن شبکه الکتریکی و کهنگی بعضی از تجهیزات، همه روش های پیاده سازی از عهده مسائل اولیه نصب بر می آیند. تجهیزات با پیشرفت تکنولوژی مدام در حال کوچک و سبک تر شدن هستند که نصب را در اکثر نقاط آسان می کنند. علاوه بر این، تولید کننده ها عملکردهای جدیدی برای تسهیل فرآیند نصب، ایجاد کرده اند. قابلیت های خود شکل بندی هم اکنون در تجهیزات PLC به کار می رود و روز به روز در حال توسعه هستند (در واقع در این قابلیت در صورت نقص در نصب تجهیز، نشانه هایی برای آگاهی به نصب کننده داده می شود) [۲].

فصل سوم :

مدل کانال شبکه

خط قدرت

فصل سوم :

۳-۱- مدل کانال شبکه خط قدرت -

تابع انتقال کانال یک تطبیق انتقال خط قدرت به صورت زیر است:

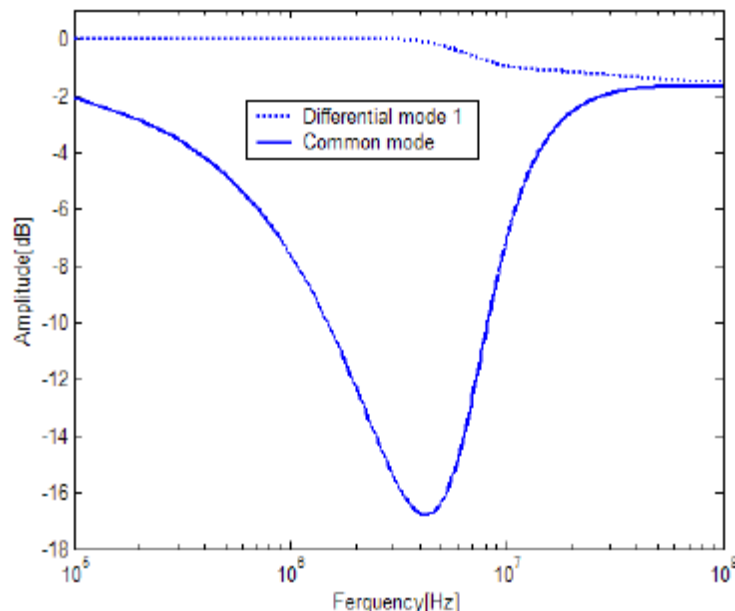
در حالتی که اتصال تطبیق نباشد قسمتی از سیگنال انتشاری به خاطر عدم تطبیق امپدانس خط به فرستنده باز می گردد انتشار در طول یک خط قدرت در زیر آمده است. رابطه زیر مدل کانال شبکه چند مسیره را به راحتی بیان می کند:

$$H(f) = \sum_{i=1}^N g_i e^{-\alpha(f) d_i} e^{-j\beta(f) d_i}$$

که N تعداد مسیرهای ختم شده به گیرنده، ضریب تضعیف، ضریب فاز، طول i امین مسیر و g_i ضریب وزنی مسیر i ام است.

اگر چه با مدل انتشار ثابت که متناسب برای خطوط قدرت هوایی MV است ولی بهتر از کابل های خاکی زیر زمینی است.

(شکل ۳-۱) نمایش پاسخ فرکانسی یک کانال تطبیق در گستره یک کیلومتر برای سیستم MTL است. زمانی که سیستم تطبیق باشد، سیگنال در گیرنده بازتاب پیدا نمی کند و مسیر یک مسیر مستقیم نقطه به نقطه است در این حالت تنها تضعیف از مسیر MTL به وجود می آید. شکل ۱ الف پاسخ فرکانسی را برای دو شیوه کوپلینگ به تصویر می کشد: مد معمول و مد تفاضلی مد اول. مد معمولی تضعیف بیشتری را نسبت به مد تفاضلی خصوصا در فرکانس های پایین نشان می دهد. زمانی که فرکانس افزایش می یابد تضعیف هر دو پیکربندی قابل مقایسه می شود همچنین این نکته قابل ذکر است که هر دو سیستم اتلاف بسیار کمی را در فرکانس های بالا با گستره تکرار کننده بیش از یک کیلومتر نشان می دهند.

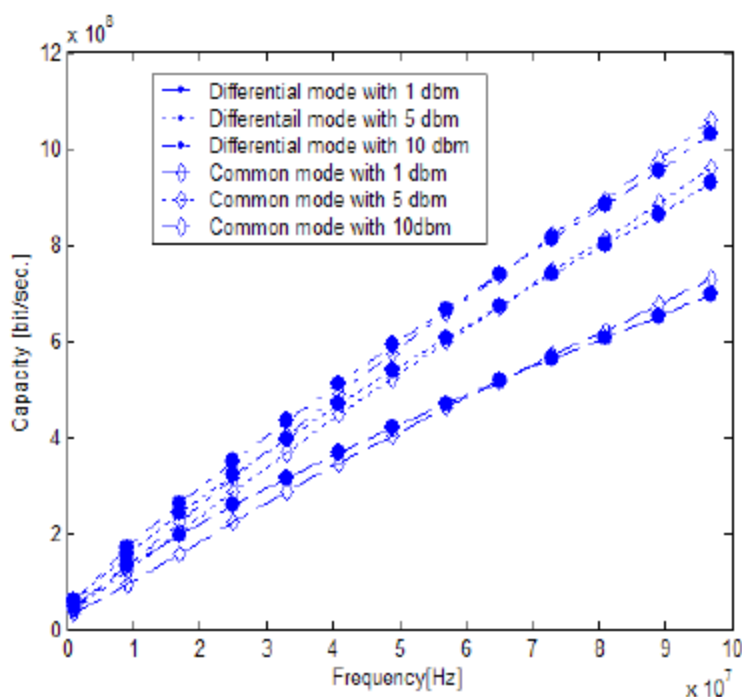


شکل (۳-۱): پاسخ فرکانسی انتقال MTL تطبیق برای کوپلینگ مد معمولی و تفاضلی در گستره یک کیلومتر

این حقیقت که خطوط هوایی قدرت MV مانند یک سیستم انتقال با تضعیف کم عمل می کنند نشان دهنده این واقعیت است که در نرخ های بالا داده با صحت تحویل می شود. همچنین، با توجه به وجود پتانسیل تداخلی موجود در سرویس ها که به تفصیل شرح داده شد خود دلیلی برای نگرانی است.

(شکل ۳-۲) ظرفیت پربابی کانال BPL برای سیستم انتقال تطبیق شده با سطوح ارسالی قدرت متفاوت با تکرار کننده یک کیلومتر را نشان می دهد. براساس شکل ۱ الف اگر سیستم MTL تطبیق شده ایده ال باشد، در پهنای باند کانال بیش از ۵۰MHz با ارسال توان ۱۰dBm میتوان تقریباً به نرخ ۶۰۰ Mbps رسید.

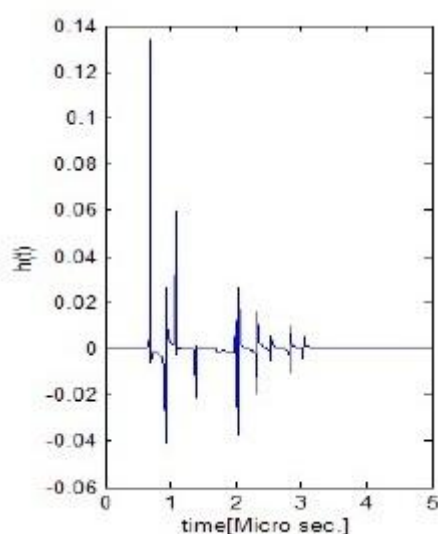
در واقعیت تضعیف کم طبیعی سیستم های MTL به طور گسترده به فاکتورهای زیادی بستگی دارد.



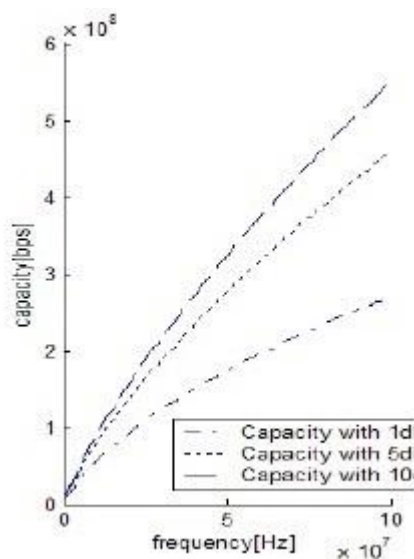
شکل (۳-۲): مقادیر ظرفیت متناظر برای روش های کوپلینگ و سطوح ارسالی توان متفاوت در یک شبکه خط قدرت واقعی تعداد زیادی شاخه و اتصال بین فرستنده و گیرنده وجود دارد. این شاخه ها باعث بی اثر شدن پاسخ فرکانسی انتقالی کانال به سبب چند مسیریگی می شوند. برای مشاهده این واقعیت یک شبکه پیچیده را شبیه سازی می کنیم. در این شبکه بین فرستنده و گیرنده سه شاخه وجود دارد که هر کدام یک کیلومتر از هم فاصله دارند. انتهای هر کدام از این شاخه ها مدار باز است بنابراین ضریب انعکاس در هر کدام واحد است.

همچنین فرض میکنیم که امپدانس خط بین فرستنده و گیرنده تطبیق است. پاسخ ضربه کانال این سیستم در (شکل ۳-۳) آمده است. شبیه سازی مورد نظر ۱۲ مسیر عمده را نشان می دهد. ۱۲ پالس با زمان رسیدن متفاوت متمایز شده اند (شکل ۳-۴) توضیح کاملی برای مقادیر ظرفیت کانال در این شبکه است. میانگین ظرفیت در این شبکه با توان ارسالی ۱۰ dBm برای پهنای باند ۵۰ MHz در حدود ۳۰۰ Mbps است.

واضح است که اتصالات و شاخه های بین فرستنده و گیرنده به طور گسترده ظرفیت سیستم را در مقایسه با حالت ایده آل نقطه به نقطه کاهش می دهد.



شکل (۳-۳): پاسخ ضربه کانال یک شبکه پیچیده



شکل (۳-۴) مقادیر ظرفیت مربوطه

۲-۲-۲- مشکلات فنی موجود در به کارگیری فناوری PLC :

چون PLC از شبکه الکتریکی برای ارتباط استفاده می کند، مشخصه های این شبکه در عملکرد PLC موثر است. مهمترین مسائل فنی که سیستم PLC با آن روبرو است عبارتند از:

- ظرفیت سیستم های PLC
- فاصله دسترسی به شبکه اینترنت
- ساختار شبکه
- تداخل

۳-۲-۱- ظرفیت سیستم های PLC :

پهنای باند موجود برای سیستم های PLC، بطور اشتراکی توسط مشترکین استفاده می شود. با توجه به اینکه کاربرهایی وجود دارند که به صورت همزمان از این سیستم استفاده می کنند، بنابراین ظرفیت این سیستم ها عامل مهمی در استفاده کاربران خواهد بود. آزمایش های به عمل آمده در آلمان نشان می دهد که به هرکدام از ۲۵ کاربری که ۲Mbs را مشترکاً استفاده می کنند، نرخ انتقال اطلاعات ۱,۳Mbs تعلق می گیرد. این بدان علت است که زمان بدون استفاده بودن سیستم خیلی بیشتر از زمان مورد استفاده بودن آن است. البته با افزایش روز افزون سرعت PLC ها و استفاده از تکنیک هایی مثل میانگیری^۱ و بارگذاری از قبل^۲، استفاده از امکانات ویدیویی نیز مهیا شده است. حداکثر ظرفیت موجود در بازار فعلی ۲۰۰ Mbs می باشد که به دلیل غیر قابل استفاده بودن تمام فرکانس ها به خاطر تداخل، سرعت واقعی از این کمتر خواهد بود. اگر چه تکنیک هایی مثل استفاده از فیلتر برای رفع این مشکل وجود دارد ولی باعث افزایش قیمت تمام شده کالا می شود. در ایران به هر ترانس LV (ترانس فشار ضعیف ۴۰۰ V / ۲۰ KV) در حدود ۵۶ مشترک متصل می باشد و اگر هر یک از این مشترکین پهنای باند زیادی برای افزایش سرعت اینترنت بخواهند، باید تجهیزات PLC مورد استفاده ظرفیت بالایی داشته باشد. خوشبختانه از سال ۲۰۰۷ میلادی شرکت های تولید کننده PLC به سرعت قابل قبولی برای تبادل اطلاعات رسیده اند و این مشکل رو به بهبودی است. با توجه به تولیدات امروزی تقریباً همه شرکت ها، قابلیت سرویس دهی به این تعداد مشترک در ایران را خواهند داشت و با وجود PLC های سرعت بالای فعلی و استفاده از تکنیک هایی مثل اختصاص هر واحد PLC به یک فاز، مشکلی در سرعت انتقال اطلاعات برای مشترکین به وجود نمی آید.

۱- Buffering

۲- Pre-loading

۳-۲-۲- فاصله :

فاصله ارسال سیگنال از محل اتصال شبکه مخابراتی اصلی به PLC تا محل دریافت مصرف کننده، نقش مهمی در پیاده سازی سیستم PLC دارد. عوامل تعیین کننده و مهم در فاصله پیموده شده سیگنال PLC، امپدانس، تضعیف و نویز می باشند [۱۳].

- **امپدانس:** هر چقدر امپدانس خطوط مورد استفاده بیشتر باشد، فاصله طی شده سیگنال کمتر خواهد بود.

- **تضعیف:** این عامل که با واحد db^1 اندازه گیری می شود، باعث کاهش دامنه سیگنال ارسالی می گردد. در دریافت سیگنال توسط مشترک، توان آن باید در محدوده استاندارد معین شده باشد.

- **SNR^۲ یا نسبت سیگنال به نویز:**

این عامل با واحد db سنجیده می شود و هرچه بیشتر باشد، جدا کردن اطلاعات در مقصد راحتتر خواهد بود. منابع نویز در شبکه الکتریکی متنوع است. برای مثال می توان به نویز ایجاد شده توسط انواع موتورهای الکتریکی و آلودگی های موجود در سطح هادی خطوط که باعث نشت جریان می شوند اشاره کرد. قابل ذکر است که در شبکه های ولتاژ متوسط به دلیل کمتر بودن تعداد مصرف کننده هایی که مستقیماً به آن وصل می شوند، نویز کمتری وجود دارد و در نتیجه فاصله بیشتری توسط سیگنال طی می شود. تجربه نشان داده در خطوط ولتاژ پایین، که بیشترین استفاده PLC در آن ها می باشد، نویز بیشتری وجود دارد به طوری که انتقال اطلاعات بیش از چند صد متر را غیر ممکن می کند. بنابراین در موقع خرید باید به کیفیت تجهیزاتی مثل Modem ها یا Coupler ها که در کاهش نویز موثر هستند، توجه شود.

جمع آوری اطلاعات از نقاط مختلف شبکه به لحاظ تضعیف، امپدانس و SNR قبل از پیاده سازی PLC، از اهمیت بسزایی برخوردار است. چرا که این اطلاعات نشان دهنده قابلیت پیاده سازی PLC در آن نقاط می باشد. در این صورت نواحی از شبکه، که بکارگیری تجهیزات PLC در آن مناسب می باشد شناسایی و از سرمایه گذاری برای نصب تجهیزات در نواحی نامناسب جلوگیری می شود.

۳-۲-۳- ساختار شبکه :

شبکه الکتریکی ایران شامل قسمت های انتقال (سطح EHV^3)، فوق توزیع (سطح HV^4) و توزیع و مصرف (سطوح MV و LV) می شود. بخش LV شبکه الکتریکی بهترین قسمت برای تزریق سیگنال PLC می باشد چرا که به مصرف کننده نزدیکتر می باشد و ترانسفورماتورهای کمتری در

۱-Decibel

۲- Signal to Noise Ratio

۳- Extra High Voltage

۴- High Voltage

مسیر آن قرار می گیرد. در شبکه ایران برای ایجاد تعادل بین سه فاز، بار مصرفی مشترکین را بین سه فاز شبکه تقسیم می کنند. در نتیجه سیگنال PLC باید در هر سه فاز بخش LV موجود باشد.

همان طور که قبلاً ذکر شد تعداد متوسط مشترکین متصل به یک ترانس توزیع در ایران حدود ۵۶ مشترک می باشد. البته در شهرهای بزرگ این عدد به ۱۰۰ هم می رسد. همچنین بعضی از مصرف کننده های بزرگ توسط یک ترانس به شبکه MV متصل می شوند. برای کاربرد های جدید، سرعت فعلی PLC های Corinex و Current (۲۰۰ Mbps) برای استفاده در هر ۳ فاز کافی به نظر می رسد (برای یک ترانسفورماتور). در کاربرد هایی که در آینده نیاز به سرعت بیشتری خواهند داشت می توان از ۳ واحد PLC (3*200Mbps) برای هر ترانسفورماتور LV استفاده کرد.

عامل محدود کننده برای استفاده از PLC در سطح MV، ترانس ها می باشند. زیرا ترانس سیگنال PLC را به شدت تضعیف می کند. بدین منظور سیگنال PLC توسط Coupler یا Bridge از طرف MV به طرف LV انتقال داده می شود.

خطوط ولتاژ متوسط حامل انرژی الکتریکی با فرکانس ۵۰Hz می باشد. این خطوط کانال بسیار مطلوبی برای انتقال داده نبوده و اغلب مشکل آفرین می باشند. تضعیف سیگنال، دامنه نویز ناشی از بارهای الکتریکی (به طور مثال بارهای موتوری و ادوات الکترونیک قدرت که با توجه به عملکرد سوئیچینگ آنها در ایجاد نویز دخیلند) و تغییرات شکل بندی (تغییر شبکه در اثر باز و بسته شدن کلیدهای قدرت در فیدرها) از عوامل اصلی کاهش کیفیت انتقال سیگنال، که تابعی از زمان و مکان بوده، می باشند. بعلاوه خطوط توزیع را نمی توان به علت تغییرات سریع امپدانس و عدم تطبیق امپدانس در محل اتصال کابل و خط هوایی، یک محیط ارتباطی همگن فرض نمود. شاخه انشعابی خطوط هوایی و کابل ها از عوامل اصلی تضعیف و اعوجاج فاز در انتقال اطلاعات می باشد. در چنین شرایطی باید اطلاعات جامعی از شبکه توزیع در خصوص رفتار تجهیزات شبکه توزیع هنگام عبور سیگنال مخابراتی در اختیار داشته باشیم. این تجهیزات عبارتند از:

- ترانسفورماتور قدرت
 - بانکهای خازنی
 - کابلها
 - خطوط هوایی
 - ترانسهای ولتاژ و جریان (ترانس های اندازه گیری) و ...
 - مشخصه های بدست آمده برای هر دستگاه شامل :
 - امپدانس (تابع فرکانس) $Z(f)$
 - تابع انتقالی $H(f)$ یا پاسخ فرکانسی دستگاه
- با در نظر گرفتن توابع فوق، بررسی تقریبی مدل ریاضی کانال امکان پذیر خواهد بود و می توان مشکلات مطرح شده در بالا را آنالیز کرد.

مشکل دیگر ارتباطی در شبکه MV و LV تزریق سیگنال از طریق شبکه LV به شبکه MV و تلفات آن می باشد (در ارتباطات دو طرفه وقتی که از طرف مشترک نیز اطلاعات به سطح MV منتقل می شود).

۳-۲-۴-تداخل :

مطالعات انجام شده در اروپا نشان می دهد که استفاده وسیع از PLC باعث ایجاد تداخل فرکانسی بین سیگنال های PLC و سیگنال های رادیویی می شود. سیگنال های PLC با توان خیلی کمی به خطوط قدرت تزریق می شوند. برای مثال سیگنال های تلفن های همراه و یا ADSL ده تا صد برابر سیگنال PLC قویتر می باشند. بنابراین تداخل ناشی از استفاده از سیستم های PLC به خاطر توان بالای آن ها نیست، بلکه ناشی از استفاده وسیع و فرکانس مورد استفاده آنها می باشد. مساله دیگر ایجاد تداخل توسط سیستم های دیگر مثل قطار های سریع السیر یا ارتباطات رادیویی درون شهری بر روی سیستم های PLC می باشد که این مشکل یکی از دلایل رشد کند تکنولوژی PLC بوده است [۱۴].

از آنجا که در کشورهای مختلف باندهای فرکانسی مختلفی برای ارتباطات رادیویی در نظر گرفته شده است، قبل از استفاده از سیستم PLC باید مطالعات لازم در این راستا صورت بگیرد. بدین منظور در کشور ما نیز باید دید که آیا استاندارد های ارائه شده توسط سازنده از لحاظ ایجاد تداخل برای استفاده مناسب می باشند یا خیر.

به طور کلی می توان مشکلات فنی در به کارگیری PLC را به صورت زیر دسته بندی کرد:

- تغییرات امپدانس
- ایجاد تضعیف زیاد در مسیر ارتباطی
- وجود نویز تصادفی و ضربه ای
- تداخل از منابع خارجی مجاور خطوط فشارقوی
- وجود کلیدهای مجزا کننده
- تعداد شاخه ها و فیدرهای زیاد
- تطبیق طراحی متناسب با طول فیدرها و مسائل فرکانسی
- قطع شدن مسیر ارتباطی هنگام خرابی و یا تعمیرات دوره ای
- مشکلات در تعیین محل خطا و تعمیر خرابی های کابل ها
- سرعت نسبی کم انتقال اطلاعات
- عواملی که در به کارگیری PLC باید مورد توجه قرار گیرند:
- توسعه استانداردهای PLC با توجه به شرایط موجود در ایران
- شرکت در مجامع بین المللی PLC برای آگاهی از پیشرفت های اخیر در فناوری PLC
- گسترش PLC در کنار فناوری های دیگر

- ایجاد انگیزه در شرکت های توزیع جهت استفاده از ساختار موجود در سرویس های مخابراتی

۳-۳- مشکلات دیگر موجود در به کارگیری فناوری PLC :

علاوه بر مشکلات فنی معرفی شده مشکلات دیگری نیز در به کارگیری این فناوری وجود دارد. این مشکلات شامل مشکلات اجرایی و اقتصادی می باشد.

مشکلات اجرایی در هر کشور نیز با توجه به فضای حاکم بر آن متفاوت است به طور مثال چند نمونه از آن عبارت است از:

- قوانین موجود در هر کشور

بعضی از قوانین حقوقی و مالی در کشور ممکن است بسیار محدود کننده باشند و شرکت های تامین کننده خدمات PLC نتوانند کار خود را به صورت بهینه و فنی پیش ببرند.

- عملکرد شرکت های طرف قرارداد (مثلاً شرکت های توزیع و شرکت های خصوصی واسطه)

نحوه عملکرد شرکت هایی که مسئولیت اجرایی پیاده سازی PLC را بر عهده دارند در بررسی مشکلات اجرایی قابل توجه است. به طور مثال، اینکه آیا شرکت های توزیع مستقیماً تحت نظارت دولت هستند یا به طور مستقل عمل می کنند و موارد دیگر، عواملی هستند که در اجرای تکنولوژی PLC در ایران موثر هستند.

- کمبود سرمایه گذار اولیه

با توجه به اینکه فناوری PLC در سطح توزیع نوپا می باشد، برای راه اندازی آن در سطح وسیع، نیاز به سرمایه گذاری اولیه بالایی مخصوصاً برای اتصال شبکه مخابراتی به شبکه برق می باشد [۵]. کمبود سرمایه گذاری در صنایع بزرگ یکی از مشکلات همیشگی در ایران بوده است، به طوری که سرمایه گذار اصلی دولت بوده و همواره جای خالی بخش خصوصی احساس می شود.

از دیگر مشکلات به کارگیری تکنولوژی PLC در ایران، هزینه و قیمت تجهیزات PLC برای مصرف کنندگان نهایی است. به طور مثال اگر یک مصرف کننده خانگی ایرانی بخواهد سیستم PLC را در سطح ساختمان خود پیاده سازی کند، و بدون سیم کشی اضافه در ساختمان از سیم های برق برای انتقال اطلاعات استفاده کند باید Plug های مربوطه (مودم های مخصوص) که نسبتاً قیمت بالایی دارد (به طور متوسط ۲۰۰۰۰۰۰ ریال) را تهیه کند. ممکن است برای بسیاری از خانواده ها و ادارات ایرانی تهیه این تجهیزات مقرون به صرفه نبوده و از راههای دیگری برای انتقال اطلاعات استفاده شود.

۳-۴- باندهای فرکانسی و روشهای مدولاسیون :

فناوری انتقال PLC در باند فرکانس ۱,۶MHz تا ۳۰MHz کار می کند. حامل های چندگانه به صورت همزمان مدیریت می شوند تا حداکثر توان عملیاتی سیستم، حاصل شود. پهنای باند PLC در دو بخش مجزا (زیر- باند) قابل تفکیک است (بخش دسترسی و بخش خانگی) که هر کدام به قسمت-

های ارتباطی مختلفی تخصیص داده می‌شوند. بخش دسترسی از زیر-باند فرکانسی پایین (تا حداکثر ۱۲ مگاهرتز) استفاده می‌کند. دلیل این کار، مسافت‌های طولانی تر و محیط آغشته به نویز در این بخش است، پس فرکانس کمتر انتخاب می‌شود تا تداخل به حداقل برسد. در حالی که بخش خانگی معمولاً در فرکانس‌های بالاتری (۱۲ تا ۳۰ مگاهرتز) کار می‌کند [۱].

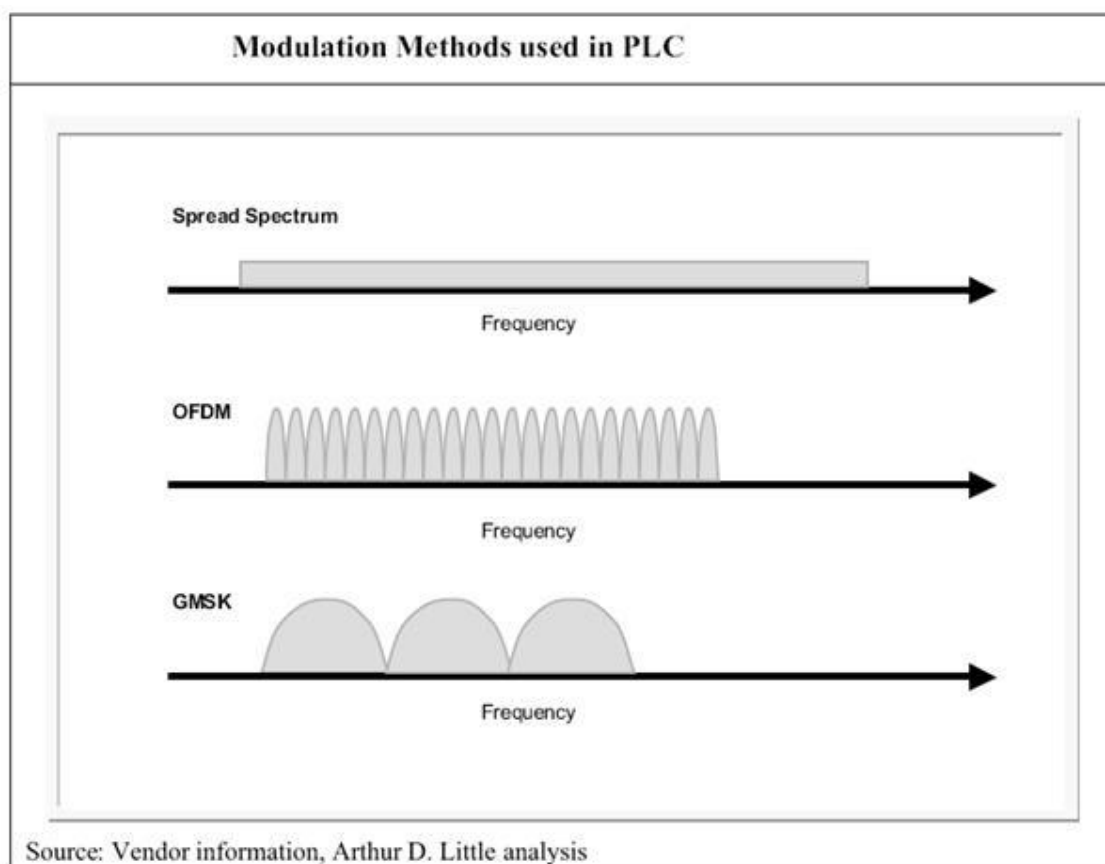
در فناوری PLC مشخصات سیم‌های الکتریکی استفاده شده، باید بهینه باشد، همچنین ظرفیت اطلاعاتی زیادی مهیا کند و انرژی تزریق شده را مینیمم کند، به طوری که سطح تابش الکترومغناطیس با استانداردهای ^۱ EMC سازگار باشد. در مدولاسیون سیگنال‌های مخابراتی روی سیگنال حامل سوار شده و از طریق کانال ارسال می‌شوند، در واقع مدولاسیون دیتاهای موجود را قابل ارسال روی کانال می‌کند. روش‌های مدولاسیون بی‌شماری برای انتخاب در سیستم ارتباطی PLC وجود دارد که هر کدام فواید و معایب خاص را دارند. با این حال روش‌های انتقال PLC هنوز در جوامع بین‌المللی استانداردسازی نشده است. می‌توان روشهای مدولاسیون را در خانواده‌های زیر تقسیم بندی کرد:

- Direct Sequence Spread Spectrum Modulation (DSSS)
- Orthogonal Frequency Division multiplex (OFDM)
- Narrow band modulation of which GMSK^۲ is a variant

برای جزئیات بیشتر به کتاب‌های مربوط به Digital Communication مراجعه شود.

۱-Electromagnetic Compatibility

۲- Gaussian Minimum Shift Keying



شکل (۵-۳) سه روش متداول مدولاسیون مورد استفاده در PLC

۵-۸. ۳-۴-۱ - DSSS :

روش DSSS به طور گسترده در کاربردهای نظامی به منظور بدست آوردن استحکام در مقابل نفوذ عوامل بیگانه استفاده می‌شود. این روش چگالی طیفی پایینی را با پخش کردن سیگنال روی کل باند فرکانسی ایجاد کرده و با پهنای باند پایین و مناسب در مقابل انتشار تاخیر چند مسیر، استحکام قابل قبولی در مقابل تمامی انواع تداخلات فراهم می‌کند. به همین خاطر برای انتقال اطلاعات با سرعت پایین، مناسب می‌باشد. این روش ساده و از لحاظ اقتصادی به صرفه و تحت بخشی از استانداردهای Wireless LAN و IEEE ۸۰۲.۱۱b می‌باشد.

۵-۸. ۳-۴-۲ - OFDM :

روش OFDM شامل تعداد زیادی از حامل‌های با پهنای باند باریک می‌باشد که کنار یکدیگر قرار گرفته‌اند (با یک فاصله کوچک برای جلوگیری از تداخل)، بنابراین سیگنال روی کل پهنای باند پخش می‌شود. این روش هم کار مدولاسیون و هم انتقال اطلاعات چندتایی (Multiplexing) را انجام می‌دهد. استفاده از تعداد زیادی حامل (بیش از ۱۲۰۰ حامل) این انعطاف پذیری را می‌دهد که اگر یک حامل در فاصله‌ای از پهنای باند، با عامل اختلالی روبرو شود می‌توان آن را نادیده گرفت، و حامل‌های دیگر به کار خود ادامه می‌دهند و از این اختلال مصون می‌مانند. بنابراین این روش

تکنیک ارتباطاتی قابل اطمینانی ارائه می‌دهد. OFDM در مقابل Frequency Selective Fading Channels و انتشارهای طولانی مقاوم است و تداخل Inter symbol (ISI) ایجاد شده از انتشار چند مسیر، که مشکل اساسی در PLC های پرسرعت می باشد را برطرف می کند و در کل کارایی بالایی دارد.

مشکل اصلی این نوع مدولاسیون پیچیدگی و نیاز به تقویت کننده‌های قدرت کاملاً خطی برای پرهیز از تداخل در باندهای فرکانسی بالا می‌باشد.

OFDM فناوری جدیدی نیست و در بسیاری از سیستم‌های ارتباطی دیگر نظیر^۱ ADSL،^۲ DAB،^۳ TDT^۴ و ... استفاده شده است.

۸-۷. ۳-۴-۳ - GMSK :

GMSK نوع خاصی از مدولاسیون باند باریک می باشد که اطلاعات را در فاز حامل ارسال می کند که نتیجه آن بسته‌های سیگنال ثابت می‌باشد. این روش امکان استفاده از تقویت کننده‌های ساده‌تری بدون تولید هر گونه هارمونیک های اختلالی را فراهم می کند. با مدیریت هم زمان حامل‌های مختلف در باندهای فرکانسی، سرعت انتقال متفاوتی حاصل می‌شود. این مدولاسیون در مقابل پارازیت‌های خارجی مقاوم بوده و در تلفن سیار (GSM) و محصولات شرکت ASCOM استفاده شده است.

۹-۳-۵ - PLC های نسل بعد :

با ظهور تراشه های جدید، پهنای باند PLC افزایش یافته و کارایی ها نیز پیشرفت کرده است. در نسل جدید PLC، مشخصات جدیدی اضافه شده و اجازه می دهد شبکه‌های PLC انواع سرویس‌ها را پشتیبانی کنند و سرویس‌های قبلی نیز توسعه یابند. به طور مثال پشتیبانی کامل از VOIP، افزایش تعداد تماس‌های صوتی مجاز در شبکه، پشتیبانی از VLAN و OVLAN، Multicast (فرستادن اطلاعات به شبکه ها به طور همزمان) و غیره.

افزایش پهنای باند اجازه استفاده از سرویس‌هایی مانند: Hi Fi Audio streaming و HDTV streaming و ... را فراهم می کند. علاوه بر این:

- در تجهیزات نسل جدید PLC عملیات نصب بسیار راحت تر می‌شود.
- تجهیزات plug-and-play، قابلیت‌های شکل بندی خودکار شبکه و قابلیت‌های کنترل از راه دور را به PLC می دهند.
- اندازه تجهیزات کوچکتر می شود.

۱- Asymmetric Digital Subscriber Line

۲- Digital Audio Broadcasting

۳- Terrestrial Digital Television

۴- Digital Video Broadcasting

مکانیزم‌های تشخیصی پیشرفته برای مدیریت شبکه، نگهداری و کنترل از راه دور و یکپارچگی در سیستم ایجاد می شود.

فصل چهارم : نتایج شبیه سازی

فصل چهارم :
 ۴-۱- نحوه شبیه سازی :

برای شبیه سازی، ابتدا یک سیگنال با مقادیر رندوم از ۱ و ۰ به عنوان دیتا تعریف می کنیم . سپس برای شبیه سازی از یک کانال فرضی عبور می دهیم ، در این کانال که همراه با یک نویز گوسی است جمع خواهد شد و در گیرنده به همراه نویز عمل دمدولاسیون انجام می شود سپس باید مقدار خطاهایی که این کانال از فرستنده تا گیرنده در پی داشته را محاسبه و نمودار Bit Error Rate متناظر با آن را رسم کنیم . در این پروژه که سیگنال دریافتی از چند مسیرطبق سناریوهای جدول زیر در فرمول قرار می گیرند و باعث ایجادکانال های مختلف با مشخصات مختلف و تاخیر های غیر یکسان می شود وارد گیرنده می شود. همانطور که در شکل نیز مشخص است هرچه تاخیر کمتر باشد درصد خطا نیز کمتر است. بنابراین انجام محاسبات در نرم افزار مطلب کمی زمان بر خواهد بود در این پروژه داریم :

$$y(t) = \underbrace{a_0 x(t)}_{LOs} + \underbrace{a_1 R_1 x(t)}_{Rayleigh} + \underbrace{a_2 R_2 x(t - \tau)}_{Delayed.Rayleigh}$$

جدول (۴-۱): سناریوهای تعریف شده

Scenario			τ (Samples)	Comments
----------	--	--	---------------------	----------

۱	۱ .۰	۰	۰	۰	Validation
۲	۱ .۰	۰ .۲	۰	۰	Ricean flat fading
۳	۱ .۰	۰	۰ .۲	۰	Ricean flat fading
۴	۱ .۰	۰	۰ .۲	۸	Ricean frequency selective fading
۵	۰	۱ .۰	۰ .۲	۰	Rayleigh flat fading
۶	۰	۱ .۰	۰ .۲	۸	Rayleigh frequency selective fading

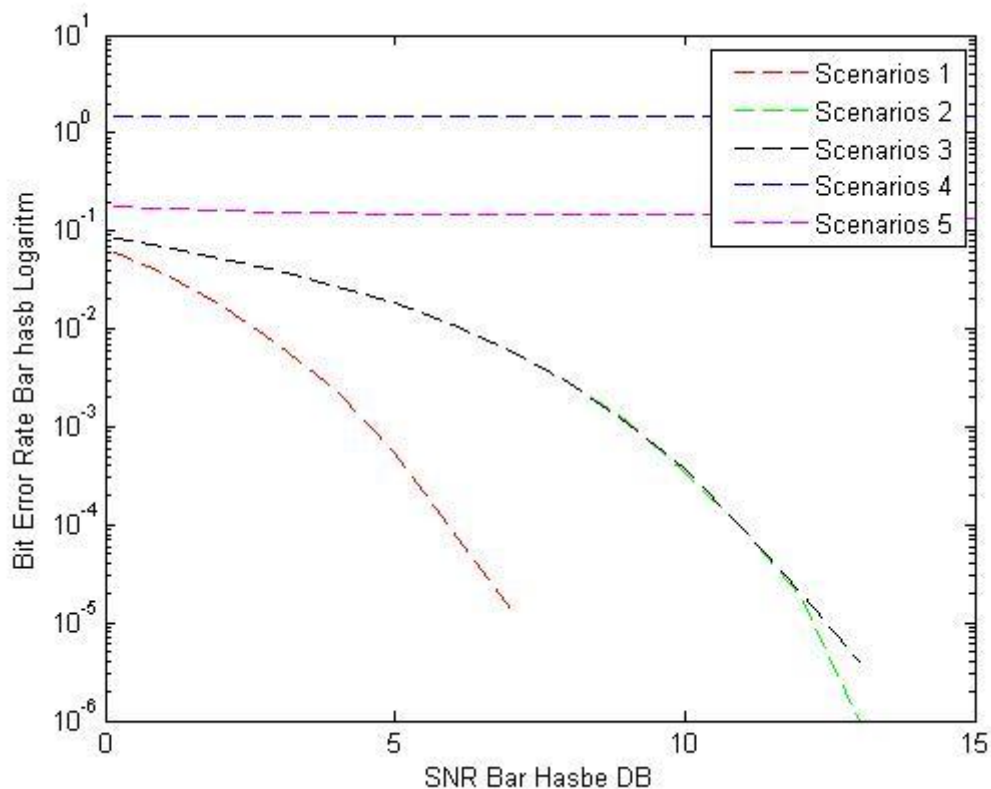
تعداد رشته بیت های ورودی به کانال ۱۰۰۰ رشته و مقادیر نویز ۱۰۰۰ بیت در نظر گرفته شده

جدول (۴-۲): مقادیر ورودی به کانال

bit=randint(۱,۱۰۰۰);	سیگنال ورودی
noise=awgn(signal_out,snr);	تعیین مقدار نویز
SNRdb=۱۰;	SNR
۴	M

نمودار EB خروجی :

برای محاسبه این شبیه سازی در نرم افزار مطلب حدود ۲ دقیقه زمان خواهد برد .
سیگنال های نمایش داده شده در شکل مربوط به سناریو های ۱ تا ۵ می باشد .



شکل (۴-۳): نمودار EB خروجی

۹- روند برنامه نویسی ونتیجه در نرم افزار MATLAB :

در این پروژه بعد از تعریف متغیرهای لازم به دریافت سیگنال اصلی که یک رشته بیت ۱۰۰۰ تایی می باشد آنرا با نویز سفید گوسی که متناظر با سیگنال اصلی است جمع می شود و با مدلاسیون bpsk روی کانال منتقل میشود حال وقت ایجاد تاخیر ها، ایجاد مدل های کانال هاست که از طریق فرمول فوق شبیه سازی میشود که ۵ کانال با تاخیرهای متفاوت ایجاد شده اند و در آخر در قسمت گیرنده این سیگنالها که حال هر کدام دارای تاخیر هایی میباشد با عمل دمدلاسیون آشکار سازی شده و مقدار Bit Error Rate هر مسیر مشخص می شود.

۵-۱- نتیجه گیری :

در پایان به عنوان یک جمع بندی کلی می توان گفت در بین برتری ها و مزایای این فناوری که باعث شده به یکی از تکنولوژی های مطرح برای دسترسی به اینترنت مبدل شود موارد اصلی زیر بیشتر دخیل می باشند.

- استفاده از زیرساخت های موجود (شبکه فعلی برق) که اجازه می دهد پوشش بسیار بیشتری نسبت به دیگر تکنولوژی ها داشته باشد.
- گسترش و نصب سریع، آسان و ماژولار
- نصب سریع و آسان تجهیزات خانگی
- هزینه سرمایه و عملیات مشابه xDLS و کمتر از سرویس های کابلی

- توانایی انتقال اطلاعات و فراهم کردن سرویس های پهن باند برابر یا بهتر از دیگر تکنولوژیهای

موجود

هر یک از فناوری های PLC ، فیبر نوری، ماهواره و wireless هم اکنون در مرحله بلوغ از عمر خود قرار داشته و امکان پیاده سازی در کشور را دارند. اما آنچه که باعث برتری یک روش بر دیگری می شود؛ مزایا، معایب و مشکلات موجود در به کارگیری آن است. البته در بعضی موارد روش های ذکر شده قابل جایگزینی با یکدیگر نیستند. به لحاظ کیفی، با توجه به سرعت بالا و عدم وجود تداخل، تکنولوژی فیبرنوری دارای طول عمر بالاتری نسبت به PLC و ماهواره بوده و همچنان در حال پیشرفت بوده و می توان PLC را در کنار آن استفاده کرد.

اگر چه سرعت انتقال داده ها در تکنولوژی فیبر نوری بالا می باشد، ولی استفاده از PLC با توجه به آمادگی خطوط در بسیاری از موارد مخصوصاً در محدوده شهری که مسافت کوتاهتر است، مفیدتر است. در مناطق شلوغ با مسافت طولانی نیز استفاده از فیبر نوری و PLC در کنار هم توصیه می شود. در این صورت می توان از قابلیت انتقال اطلاعات با حجم بالا در فیبرنوری در کنار مزیت های PLC استفاده کرد. استفاده از تکنولوژی ماهواره در سطح دسترسی در مناطق دور افتاده را نمی توان به راحتی با PLC جایگزین کرد و با توجه به تکنولوژی کنونی استفاده از ماهواره هنوز توجیه خود را دارد.

از طرفی همانطور که قبلاً به آن اشاره شد، فناوری PLC در سطح شبکه انتقال و اخیراً نیز در سطح خانگی مورد استفاده قرار گرفته است. بنابراین به لحاظ جذب و پذیرش این فناوری در قسمت های مختلف شبکه ی برق مشکل چندانی وجود ندارد. در واقع برای یک شرکت برق، پذیرش فناوری های فیبرنوری و PLC با توجه تجربه کشورهای دیگر، به مراتب آسانتر از فناوری های مشابه مثل ماهواره است.

اگر چه از به کارگیری PLC در خطوط فشارقوی چندین دهه می گذرد، امروزه فناوری PLC در سطوح خانگی و دسترسی برای استفاده در سرویس های پیشرفته (نظیر اینترنت پر سرعت، تماس تلفنی از طریق خطوط برق و شبکه های هوشمند^۱) در حال تجاری شدن است. نمونه هایی از به کارگیری PLC در این کاربردها در آمریکا و اروپا دیده می شود. برای مثال هم اکنون ۱۵۰۰۰ خانه در آمریکا مجهز به تجهیزات PLC می باشند. در استرالیا، سنگاپور، مالزی و اندونزی نیز فعالیتهایی

برای پیاده‌سازی کاربردهای با پهنای باند بالای PLC انجام شده است. پیش‌بینی شد که تا پایان سال ۲۰۰۸ در اروپا، ۹ درصد از کل ظرفیت شبکه‌ی پهنای باند وسیع، توسط PLC اشغال شود. این آمار نشان دهنده‌ی رشد قابل توجه PLC در سطوح ولتاژ پایین، با وجود تکنولوژی‌های رقیب می‌باشد. در کل برای بررسی طول عمر فناوری PLC با توجه به مطالب گفته شده و پیشرفت‌های اخیر در این تکنولوژی در سطوح ولتاژ پایین و متوسط، استفاده از آن به عنوان یک روش ترکیبی با تکنولوژی‌های دیگر می‌تواند در سطوح خانگی و دسترسی، تثبیت شود. در صورت ورود این فناوری به ایران با استانداردسازی مناسب و استفاده از روش‌های بهینه نصب و راه‌اندازی، عمر این تکنولوژی قابل قبول خواهد بود و سرمایه‌گذاری در آن می‌تواند مثمر ثمر باشد.

با توجه به تجربه‌ی کشورهای دیگر و آمار مذکور که حاکی از سرمایه‌گذاری کلان در فناوری PLC می‌باشد و اینکه در این کشورها آغاز استفاده از کاربردهای جدید PLC در کنار تکنولوژی‌های رقیب به کمتر از یک دهه برمی‌گردد، انتظار می‌رود به کارگیری توأم این تکنولوژی با فناوری‌های دیگر، حداقل بین دو تا سه دهه‌ی دیگر نیز ادامه خواهد داشت.

فصل پنجم :

منابع

منابع و مراجع :

- [١] K.H.Zuberi, "Powerline Carrier (PLC) Communications Systems" , Master of Science in Internetworking- MS Thesis, Royal Institute of Technology, September ٢٠٠٣.
- [٢] Paul Topfer, "Technology Review of Powerline Communications (PLC) Technologies and Their Use in Australia" , The Department of Communications, Information Technology and the Arts , ٢٠٠٣.
- [٣] B. A. Mork, et al, "Power Line Carrier Communications System Modeling ", International Conference on Power Systems Transients (IPST'٠٥) in Montreal, Canada on June ١٩ – ٢٣, Paper No. IPST'٠٥ - ٢٤٧, ٢٠٠٥.
- [٤] M Hosono et al, "Improved Automatic meter reading and load control system and its operational achievement" , ٤th international conference on metering, apparatus and tariffs for electricity supply pp ٩٠ – ٩٤, ٢٦ – ٢٨, IEE , October ١٩٨٢.
- [٥] [www. plugtek.com](http://www.plugtek.com)
- [٦] K Dostert, "Telecommunications over the Power Distribution Grid- Possibilities and Limitations" ,Proc ١٩٩٧ Internat. Symp. on Power Line Comms and its Applications pp ١ – ٩, ١٩٩٧.
- [٧] G Duval, "Applications of power line carrier at Electricity de France", Internat. Symp. on Power Line Comms and its Applications pp ٧٦ – ٨٠, Proc ١٩٩٧.
- [٨] Paul Topfer, "Technology Review of Powerline Communications (PLC) Technologies and Their Use in Australia" , The Department of Communications, Information Technology and the Arts , ٢٠٠٣.
- [٩] K Dostert, "Telecommunications over the Power Distribution Grid- Possibilities and Limitations", Proc ١٩٩٧ Internat. Symp. on Power Line Comms and its Applications pp ١ – ٩, ١٩٩٧.
- [١٠] G Duval, "Applications of power line carrier at Electricity de France", Internat. Symp. on Power Line Comms and its Applications pp ٧٦ – ٨٠, Proc ١٩٩٧.

- [١١] J Newbury, "Communication requirements and standards for low voltage mains signaling", IEEE trans. on Power Delivery, Vol ١٣ no ١, pp ٤٦-٤٩, Jan ١٩٩٨.
- [١٢] M Hosono et al, "Improved Automatic meter reading and load control system and its operational achievement", ٤th international conference on metering, apparatus and tariffs for electricity supply pp ٩٠-٩٤, ٢٦-٢٨, IEE, October ١٩٨٢.
- [١٣] Paul Topfer, "Technology Review of Powerline Communications (PLC) Technologies And Their Use in AUSTRALIA", The Department of Communications, Information Technology and the Arts, ٢٠٠٣.
- [١٤] David J. Dolezilek, "Choosing Between Communications Processors, RTUS, And PLCs as Substation Automation Controllers", Schweitzer Engineering Laboratories, INC. Pullman, Washington USA, ٢٠٠٠.