بنام خدا

دانشگاه فردوسی مشهد

دانشکده مهندسی

گروه برق

عملکرد کانال های PLC تک حامل در حضور ترازگر DFE حوزه زمان و فرکانس

محسن شیخ حسینی

ارائه شده جهت اخذ درجه کارشناسی ارشد در رشته مهندسی برق گرایش مخابرات- سیستم

استاد راهنما:

دکتر محمد مولوی

خرداد ۸۸

بسم الله الرحمن الرحيم

تقدیم

به نور، به امید

به صاحب الزمان (عج)

و به مولای مهربانم،

امام علی بن موسی الرضا (علیه السلام)

که عنایات بی کرانش همواره زندگی ام را تجلی بخشیده است.

و به استوارترین استقامت جهان،

پدرم،

و زلال ترین مهربانی عالم،

مادرم.

تقدیر وتشکر

«جا دارد از راهنمایی و محبت جناب استاد بزرگوار دکتر محمد مولوی که با راهنمایی عالمانه و دلسوزانهشان چراغ فرا روی من در طی نگارش این پژوهش بودند، کمال تشکر و قدردانی داشته باشم.

و شایسته است از خانواده ی محترم خودم و همسرم که طی دوران تحصیل، تلاش وافری برای ارتقای این جانب متحمل شده اند کمال ارادت و قدردانی را داشته باشم.

و در نهایت از حمایت مالی مرکز تحقیقات مخابرات ایران در شکل گیری پروژه حاضر تقدیر و تشکر داریم.»

تعهد نامه

اینجانب **محسن شیخ حسینی** دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته **مهندسی برق - مخابرات** دانشکده مهندسی دانشگاه فردوسی مشهد نویسنده پایان نامه عملکرد کانال های PLC تک حامل در حضور ترازگر DFB حوزه زمان و فرکانس تحت راهنمایی **دکتر محمد مولوی کاخکی** متعهد می شوم:

- تحقیقات در این پایان نامه توسط اینجانب انجام شده است و از صحت و اصالت برخوردار است.
- در استفاده از نتایج پژوهش های محققان دیگر به مرجع مورد استفاده استناد شده است.
- مطالب مندرج در پایان نامه تاکنون توسط خود یا فرد دیگری برای دریافت هیچ نوع مدرک یا امتیازی در هیچ جا ارائه نشده است.
- کلیه حقوق معنوی این اثر متعلق به دانشگاه فردوسی مشهد می باشد و مقالات مستخرج با نام « دانشگاه فردوسی مشهد » و یا « Ferdowsi University of Mashhad » به چاپ خواهد رسید.
- حقوق معنوی تمام افرادی که در به دست آمدن نتایج اصلی پایان نامه تأثیرگذار بوده اند در مقالات مستخرج از رساله رعایت شده است.
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه، در مواردی که از موجود زنده (یا بافت های آن ها) استفاده شده است ضوابط و اصول اخلاقی رعایت شده است.
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه، در مواردی که به حوزه اطلاعات شخصی افراد دسترسی یافته یا استفاده شده است، اصل رازداری، ضوابط و اصول اخلاقی انسانی رعایت شده است.

تاریخ

امضای دانشجو

مالکیت نتایج و حق نشر

- کلیه حقوق معنوی این اثر و محصولات آن (مقالات مستخرج، کتاب، برنامه های رایانه ای، نرم افزارها و تجهیزات ساخته شده) متعلق به دانشگاه فردوسی مشهد می باشد. این مطلب باید به نحو مقتضی در تولیدات علمی مربوطه ذکر شود.
- استفاده از اطلاعات و نتایج موجود در پایان نامه بدون ذکر مرجع مجاز نمی باشد.

بسمه تعالی

مشخصات رساله/پایان نامه تحصیلی دانشجویان

دانشگاه فردوسی مشهد

عنوان رساله/پایان نامه: عملکرد کانال های PLC تک حامل در حضور ترازگر DFB حوزه زمان و فرکانس

نام نویسنده: محسن شیخ حسینی

نام استاد(ان) راهنما: دکتر محمد مولوی کاخکی

دانشکده : فنی و مهندسی	**گروه:** مهندسی برق	**رشته تحصیلی:** مهندسی برق-مخابرات
تاریخ تصویب: ۱۳۸۶/۱۲/۲۰		**تاریخ دفاع: ۱۳۸۸/۳/۳۰**
مقطع تحصیلی: کارشناسی ارشد ●	**دکتری** ○	**تعداد صفحات: ۵۰**

چکیده رساله/پایان نامه :

مخابرات خطوط قدرت (PLC) تکنولوژی استفاده از شبکه قدرت جهت ارائه خدمات مخابراتی است. عدم نیاز به سیم کشی و نصب ساختار جدید، اصلی ترین علل روی آوری به استفاده از این تکنولوژی می باشند. اثرات چندراهه کانال و نویز ضربه ای مهمترین دلایل وقوع و شیوع خطا در فرایند ارسال اطلاعات در مخابرات خطوط قدرت می باشند. تکنیک OFDM به علت خواص ویژه خود نظیر نرخ بیت نسبتا بالا، مقاوم بودن در برابر اثرات چندراهه و نویز ضربه ای به عنوان گزینه مناسب برای مدولاسیون در سیستم های PLC مطرح شده است. اما این مدولاسیون دارای معایبی نظیر نسبت بالای توان ماکزیمم به متوسط در فرستنده و نیاز به همزمان سازی دقیق زیرحامل ها است.

از طرف دیگر نشان داده شده است که ارسال تک حامل با ترازگر حوزه فرکانس توانایی به چالش کشیدن تکنیک OFDM در سیستم های موبایل را دارد. در این پروژه ضمن معرفی سیستم های ارسال تک حامل با ترازگر حوزه فرکانس و تقسیم بندی های مختلف آنها، عملکرد سیستم های ارسال تک حامل با ترازگر DFE حوزه زمان و فرکانس در کانال های PLC شبیه سازی می شود. نهایتا نتایج حاصل با عملکرد سیستم های OFDM مقایسه می شود و بر مبنای این مقایسه، امکان استفاده از ارسال های تک حامل حوزه فرکانس در کانال های PLC مورد بررسی قرار می گیرد.

کلید واژه:

۱. مخابرات خطوط قدرت

۲. ارسال تک حامل با ترازگر حوزه زمان و فرکانس

۳. مدولاسیون OFDM

٤. نویز ضربه ای

۵. اثرات چندراهه کانال

امضای استاد راهنما:

تاریخ:

چکیده:

مخابرات خطوط قدرت (PLC) تکنولوژی استفاده از شبکه قدرت جهت ارائه خدمات مخابراتی است. عدم نیاز به سیم کشی و نصب ساختار جدید، اصلی ترین علل روی آوری به استفاده از این تکنولوژی می باشند. اثرات چندراهه کانال و نویز ضربه ای مهمترین دلایل وقوع و شیوع خطا در فرایند ارسال اطلاعات در مخابرات خطوط قدرت می باشند. تکنیک OFDM به علت خواص ویژه خود نظیر نرخ بیت نسبتا بالا، مقاوم بودن در برابر اثرات چندراهه و نویز ضربه ای به عنوان گزینه مناسب برای مدولاسیون در سیستم های PLC مطرح شده است. اما این مدولاسیون دارای معایبی نظیر نسبت بالای توان ماکزیمم به متوسط در فرستنده و نیاز به همزمان سازی دقیق زیرحامل ها است.

از طرف دیگر نشان داده شده است که ارسال تک حامل با ترازگر حوزه فرکانس توانایی به چالش کشیدن تکنیک OFDM در سیستم های موبایل را دارد. در این پروژه ضمن معرفی سیستم های ارسال تک حامل با ترازگر حوزه فرکانس و تقسیم بندی های مختلف آنها، عملکرد سیستم های ارسال تک حامل با ترازگر DFE حوزه زمان و فرکانس در کانال های PLC شبیه سازی می شود. نهایتا نتایج حاصل با عملکرد سیستم های OFDM مقایسه می شود و بر مبنای این مقایسه، امکان استفاده از ارسال های تک حامل حوزه فرکانس در کانال های PLC مورد بررسی قرار می گیرد.

فهرست

عنوان **صفحه**

فصل اول: مقدمه

۱-۱ مقدمه ۲

فصل دوم: آشنایی با سیستم های PLC

۲-۱ معرفی شبکه قدرت ۵

۲-۱-۱ تقسیم بندی شبکه قدرت ۵

۲-۲ معرفی سیستم های PLC ۶

۲-۳ تاریخچه سیستم های PLC ۶

۲-٤ تجهیزات مورد استفاده در سیستم های PLC ۷

۲-۵ تقسیم بندی های سیستم های PLC ۸

۲-۶ استاندارد های سیستم های PLC ۱۰

فصل سوم: مشخصات سیستم های PLC

۳-۱ سازگاری الکترومغناطیسی EMC ۱۴

۳-۲ کانال در سیستم های PLC ۱۴

۳-۳ نویز در سیستم های PLC ۱۸

فصل چهارم: مدولاسیون در سیستم های PLC

٤-۱ مقدمه ۲۳

٤-۲ ارسال تک حامل با ترازشگر حوزه زمان ۲۳

٤-۳ مدولاسیون طیف گسترده ۲۳

٤-٤ مدولاسیون OFDM ۲۴

۴-۴-۱ مزایا و معایب مدولاسیون OFDM ۲۵

٤-٤-۲ پیاده سازی سیستم OFDM ۲٦

فصل پنجم: سیستم های ارسال تک حامل حوزه فرکانس

۵-۱ مقدمه و تاریخچه سیستم های ارسال تک حامل حوزه فرکانس.....۳۰

۵-۲ تقسیم بندی سیستم های ارسال تک حامل حوزه فرکانس ۳۰

۵-۳ مقایسه سیستم های ارسال تک حامل حوزه فرکانس با سیستم هایOFDM ۳۱

۵-۴ مدل سیستم ارسال تک حامل با ترازشگر DFE حوزه فرکانس ۳۲

فصل ششم: شبیه سازی و نتیجه گیری

۶-۱ مقدمه ۳۶

۶-۲ شبیه سازی نویز ضربه ای ۳۷

۶-۳ شبیه سازی عملکرد سیستم OFDM.....۳۹

۶-۴ شبیه سازی عملکرد سیستم های OFDM و تک حامل ۴۱

۶-۵ نتیجه گیری ۴۶

۶-۶ پیشنهادات ۴۶

مراجع ۴۹

فهرست شکل ها **شماره صفحه**

شکل۲-۱: ساختار شبکه قدرت ۵

شکل۲-۲: نحوه اتصال مودم در سیستم های PLC ۷

شکل۲-۳: نحوه اتصال ایستگاه پایه در سیستم های PLC ۷

شکل۲-۴: نحوه اتصال و عملکرد تکرار کننده ها در سیستم های PLC ۸

شکل۲-۵: نمایش طیف فرکانسی مورد استفاده استاندارد های CENELEC و FCC ۱۲

شکل۳-۱: نمایش اثرات چند راهه سیگنال در ناپیوستگی های امپدانس ۱۵

شکل۳-۲: نمودار پاسخ ضربه و فرکانسی کانال با ۴ مسیر انتشار ۱۷

شکل۳-۳: نمایش انواع نویز و چگالی طیف توان آن در کانال PLC ۱۹

شکل۳-۴: نمایش دوره زمانی نویز های AWGN و ضربه ای در یک دوره سمبول سیگنال ورودی ۲۰

شکل۳-۵: نمایش مدل زمانی نویز ضربه ای ۲۰

شکل۴-۱: سمبل های OFDM در حوزه فرکانس ۲۴

شکل۴-۲: نمونه ای از یک سمبل OFDM در حوزه زمان ۲۵

شکل۴-۳ : ساختار فرستنده OFDM ۲۶

شکل۴-۵: بلوک دیاگرام سیستم OFDM ۲۷

شکل۵-۱: دسته بندی های مختلف سیستم های ارسال تک حامل ۳۱

شکل۵-۲: ساختار سیستم های OFDM و ارسال تک حامل با ترازشگر در حوزه فرکانس ۳۲

شکل۵-۳: ساختار گیرنده سیستم ارسال تک حامل با ترازشگر DFE حوزه فرکانس ۳۳

شکل٦-۱: نمونه های نویز ضربه ای در یک سمبل سیگنال ورودی در محیط های با آلودگی کم به نویز ضربه ای ۳۷

شکل٦-۲: نمونه های نویز ضربه ای در یک سمبل سیگنال ورودی در محیط های با ۳۸

آلودگی متوسط به نویز ضربه ای

شکل٦-٣: نمونه های نویز ضربه ای در یک سمبل سیگنال ورودی در محیط های با آلودگی زیاد به نویز ضربه ای ٣٨

شکل ٦-٤: مقایسه عملکرد سیستم OFDM در دو حالت تحلیلی و شبیه سازی ٣٩

شکل٦-٥: مقایسه عملکرد سیستم OFDM در کانال PLC با آلودگی های متفاوت به نویز ضربه ای ٤٠

شکل ٦-٦: مقایسه عملکرد سیستم OFDM با زیرحامل های متفاوت در کانال PLC بدون آلودگی به نویز ضربه ای ٤٠

شکل ٦-٧: مقایسه عملکرد سیستم OFDM با زیرحامل های متفاوت در کانال PLC با آلودگی زیاد به نویز ضربه ای ٤١

شکل٦-٨: مقایسه عملکرد سیستم های OFDM، ارسال تک حامل با ترازشگر DFE حوزه زمان و فرکانس بدون استفاده از کدکننده کانال در محیط بودن آلودگی به نویز ضربه ای (فقط AWGN) ٤٢

شکل٦-٩: مقایسه عملکرد سیستم های OFDM، ارسال تک حامل با ترازشگر DFE حوزه زمان و فرکانس بدون استفاده از کدکننده کانال در محیط با آلودگی کم به نویز ضربه ای ٤٢

شکل ٦-١٠: مقایسه عملکرد سیستم های OFDM، ارسال تک حامل با ترازشگر DFE حوزه زمان و فرکانس بدون استفاده از کدکننده کانال در محیط با آلودگی متوسط به نویز ضربه ای ٤٣

شکل٦-١١: مقایسه عملکرد سیستم های OFDM، ارسال تک حامل با ترازشگر DFE حوزه زمان و فرکانس بدون استفاده از کدکننده کانال در محیط با آلودگی زیاد به نویز ضربه ای ٤٣

شکل٦-١٢: مقایسه عملکرد سیستم های OFDM، ارسال تک حامل با ترازشگر DFE حوزه زمان و فرکانس در حضور کدکننده کانال در محیط بودن آلودگی به نویز ضربه ای (فقط AWGN) ٤٤

شکل٦-١٣: مقایسه عملکرد سیستم های OFDM، ارسال تک حامل با ترازشگر DFE حوزه زمان و فرکانس درحضور کدکننده کانال در محیط با آلودگی کم به نویز ضربه ای ٤٤

شکل٦-١٤: مقایسه عملکرد سیستم های OFDM، ارسال تک حامل با ترازشگر DFE ٤٥

حوزه زمان و فرکانس درحضور کدکننده کانال در محیط با آلودگی متوسط به نویز ضربه ای
شکل٦-١٥: مقایسه عملکرد سیستم های OFDM، ارسال تک حامل با ترازشگر DFE حوزه زمان و فرکانس درحضور کدکننده کانال در محیط با آلودگی زیاد به نویز ضربه ای ۴۵

فهرست جدول ها **شماره صفحه**

جدول۳-۱: پارامتر های تضعیف و پارامتر های مسیر های چند راهه (N=4) ۱۶
جدول۳-۲: ضرایب تضعیف و تاخیر های زمانی کانال ۱۷
جدول۳-۳: پارامترهای نویز ضربه ای برای محیط های مختلف از لحاظ آلودگی به نویز ۲۱

فصل اول:

مقدمه

۱-۱ مقدمه

PLC[1] تکنولوژی استفاده از شبکه قدرت جهت ارسال سیگنال های مخابراتی و ارائه خدمات به کاربران است. این تکنولوژی از خطوط انتقال نیرو و سیم کشی داخل ساختمان ها به عنوان کانال مخابراتی برای انتقال اطلاعات استفاده می کند. در واقع در این تکنولوژی، سیستم ها و شبکه های مختلف مخابراتی توسط تجهیزات ویژه ای به شبکه قدرت تزویج می شوند و اطلاعات مخابراتی از طریق خطوط قدرت منتقل می شوند و در سمت دیگر نیز از طریق تجهیزات مخصوص دریافت و توسط مشتری مورد استفاده قرار می گیرد مهمترین دلایل روی آوری به استفاده از این تکنولوژی عبارتند از:

۱. سطح وسیعی از همه کشورها تحت پوشش شبکه قدرت الکتریکی قرار دارد و تمام صنایع و خانه ها به این شبکه متصل هستند.

۲. استفاده از این تکنولوژی نیاز به سیم کشی و نصب ساختار جدید ندارد.

اولین سیستم PLC در سال ۱۹۲۰ میلادی راه اندازی شد و کاربرد های اولیه این سیستم ها منحصر به شبکه قدرت بود و به مرور زمان کاربرد های دیگر این سیستم ها نظیر کاربرد های خانگی و صنعتی مطرح شد. پیاده سازی شبکه دسترسی سیستم های مخابراتی، ارسال و تحویل سرویس هایی نظیر اینترنت پر سرعت، پیاده سازی شبکه های کامپیوتری مهمترین کاربردهای امروزی این سیستم ها می باشند، که منجر به ظهور تکنولوژی جدید مخابرات باند وسیع خطوط قدرت در صنعت مخابرات شده اند. این سیستم ها بر مبنای کاربرد، سطح ولتاژ و طیف فرکانسی مورد استفاده دارای تقسیم بندی های متفاوتی می باشند. علیرغم مزایای قابل توجه سیستم های PLC، پیاده سازی آن ها در عمل با مشکلاتی مواجه است. اثرات چندراهه[2] کانال و نویز ضربه ای[3] مهمترین دلایل وقوع و شیوع خطا در فرایند ارسال اطلاعات در مخابرات خطوط قدرت می باشند. با توجه به انواع مختلف کابل های مورد استفاده شبکه قدرت، تغییرات بار و تجهیزات متصل به شبکه، امپدانس سیستم های PLC متغیر است و این تغییرات امپدانس منجر به ناپیوستگی و عدم تطبیق امپدانس سیستم های PLC می شود و عدم تطبیق امپدانس در این سیستم ها منجر به اثرات چندراهه و ایجاد دره های فرکانسی در پاسخ فرکانسی کانال می شود. به طور کلی کانال PLC، یک کانال چندراهه و انتخابگر فرکانسی و متغیر با زمان است. نویز در سیستم های PLC متفاوت از سیستم های موبایل[4] است. برخلاف اکثر سیستم های مخابراتی، نویز در محیط های PLC فقط با نویز AWGN[5] مدل نمی شود و علاوه بر نویز AWGN دارای مولفه های دیگری نیز می باشد. در یک تقسیم بندی کلی نویز در این سیستم ها به دو دسته نویز رنگی پس زمینه[6] و نویز ضربه ای تقسیم می شود و سپس بر این مبنا مدل می شود. مشکلات

[1]- Power Line Communication
[2] - Multipath Effects
[3] - Impulsive Noise
[4] - Wireless
[5] - Additive White Gaussian Noise
[6] - Generalized Background Noise

سازگاری الکترومغناطیسی و عدم وجود استانداردهای یکسان از دیگر مشکلات این سیستم ها می باشند. مدولاسیون مورد استفاده برای این سیستم ها باید توانایی تطبیق با مشخصات فوق را داشته باشد. تاکنون مدولاسیون های ارسال تک حامل حوزه زمان، طیف گسترده و OFDM[1] در مراجع مختلف برای این سیستم ها مورد استفاده قرار گرفته است و بر مبنای نتایج حاصل، مدولاسیون OFDM به علت خواص ویژه خود نظیر نرخ بیت نسبتا بالا، مقاوم بودن در برابر اثرات چندراهه و نویز ضربه ای به عنوان گزینه مناسب برای این سیستم ها مطرح شده است.

از طرف دیگر اخیرا سیستم های ارسال تک حامل با ترازگر حوزه فرکانس[2] در سیستم های موبایل مطرح شده اند که علیرغم دارا بودن عملکرد مشابه و یا حتی بهتر در مقایسه با سیستم های OFDM، بعضی معایب سیستم های OFDM را نیز مرتفع می کنند. در این پروژه ضمن معرفی ارسال تک حامل با ترازگر حوزه فرکانس، به تاریخچه، تقسیم بندی های مختلف و مزایای آن نسبت به سیستم های OFDM پرداخته می شود و عملکرد این مدولاسیون را در سیستم های PLC تحت تاثیر اثرات چندراهه و نویز ضربه ای شبیه سازی می شود. نهایتا بر مبنای مقایسه نتایج حاصله با عملکرد مدولاسیون OFDM در سیستم های PLC نسبت به استفاده از ارسال تک حامل با ترازگر حوزه فرکانس در کانال های مخابرات خطوط قدرت قضاوت خواهد شد.

در فصل دوم این گزارش ابتدا شبکه قدرت به طور مختصر مورد بررسی قرار می گیرد و سپس به معرفی سیستم های PLC، تاریخچه، تجهیزات مورد استفاده، انواع تقسیم بندی و فعالیت های استانداردسازی در این سیستم ها پرداخته خواهد شد. مشخصات سیستم های PLC شامل مشکلات سازگاری الکترومغناطیسی، مدل کانال و نویز در فصل سوم ارائه خواهد شد و در فصل چهارم مدولاسیون های مورد استفاده در این سیستم ها مورد بررسی قرار گرفته است. فصل پنجم به ارسال تک حامل حوزه فرکانس و تقسیم بندی های آن در سیستم های موبایل اختصاص دارد و نهایتا در فصل ششم شبیه سازی ها، نتیجه گیری و پیشنهادات برای ادامه کار ارائه شده است.

---

[1] - Orthogonal Frequency Division multiplexing

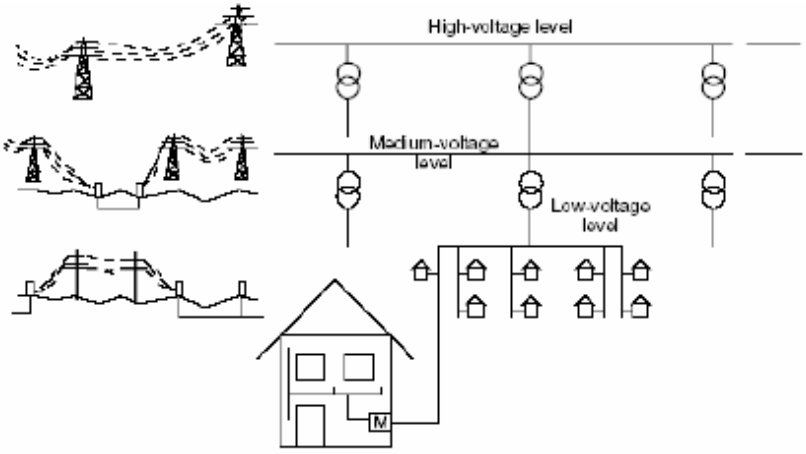
[2] - Single-Carrier Transmission with Frequency Domain Equalization

فصل دوم:

آشنایی با سیستم های PLC

۲-۱- معرفی شبکه قدرت

برای بررسی و آنالیز ارسال اطلاعات با استفاده از شبکه قدرت، ابتدا لازم است یک آگاهی و شناخت کلی از شبکه قدرت داشته باشیم. مجموعه تاسیسات و تجهیزات الکتریکی شامل نیروگاه، پست های الکتریکی، سیم های هوایی و زیرزمینی که وظیفه تولید و توزیع توان الکتریکی را بر عهده دارند، شبکه قدرت نام دارد.



شکل۲-۱: ساختار شبکه قدرت [۱]

۲-۱-۱- تقسیم بندی شبکه قدرت

شبکه قدرت بسته به سطح ولتاژ مورد استفاده به سه زیر شبکه تقسیم می شود [۲]:

۱. **شبکه ولتاژ بالا**: ولتاژ مورد استفاده در این شبکه بالای ۳۶ کیلو ولت است. اغلب توسط کابل های هوایی پیاده سازی می شود و نیروگاه را به شبکه ولتاژ متوسط متصل می کند.

۲. **شبکه ولتاژ متوسط**: محدوده ولتاژ مورد استفاده در این شبکه بین ۱ تا ۳۶ کیلو ولت است. این شبکه وظیفه تأمین توان مورد نیاز شهرها و صنایع بزرگ را به عهده دارد و توسط سیم کشی زیرزمینی و هوایی پیاده سازی می شود.

۳. **شبکه ولتاژ پایین**: سطح ولتاژ مورد استفاده در این شبکه زیر ۱ کیلو ولت است که برای مشتریان خانگی در اکثر دنیا ۲۲۰ ولت و در ایالات متحده امریکا ۱۱۰ ولت است. این شبکه توان الکتریکی مورد نیاز مشتریان خانگی و صنایع کوچک را بر عهده دارد و چون شبکه ولتاژ پایین می تواند به عنوان شبکه دسترسی برای سیستم های مختلف مخابراتی مورد استفاده قرار بگیرد، اکثر توجه ها در سیستم های PLC به این بخش از شبکه قدرت معطوف است.

۲-۲- معرفی سیستم های PLC

PLC تکنولوژی استفاده از شبکه قدرت جهت ارسال سیگنال های مخابراتی و ارائه خدمات به کاربران است. در این تکنولوژی سیستم ها و شبکه های مختلف مخابراتی توسط تجهیزات ویژه ای به شبکه قدرت تزویج می شوند و اطلاعات و دیتا از طریق خطوط قدرت منتقل می شوند و در سمت دیگر نیز از طریق تجهیزات مخصوص دریافت و توسط مشتری مورد استفاده قرار می گیرد. با توجه به این که شبکه قدرت سطح وسیعی از کشور ها را تحت پوشش خود قرار داده است و به علت عدم نیاز به سیم کشی و نصب ساختار جدید، استفاده از این شبکه برای پیاده سازی شبکه های دسترسی سیستم های مخابراتی مناسب و اقتصادی است.

۲-۳- تاریخچه سیستم های PLC

پیشینه تاریخی استفاده از تکنولوژی PLC به سالهای آخر قرن نوزده و اوایل قرن بیست میلادی بر می گردد. در سال ۱۸۹۷ میلادی قابلیت ارسال سیگنال خطوط قدرت ثابت شد و در سال ۱۹۰۵ میلادی امکان اندازه گیری راه دور کنتورها توسط شبکه قدرت فراهم شد. تا اینکه در سال ۱۹۲۰ میلادی اولین سیستم PLC با مدولاسیون ASK[1] روی خطوط قدرت ولتاژ بالا راه اندازی شد که این سیستم با استفاده از توان ارسالی ۱۰ وات و طیف فرکانسی ۱۵ تا ۵۰۰ کیلو هرتز امکان ارتباط دو طرفه برای فاصله ای در حدود ۹۰۰ کیلو متر را فراهم کرد. این سیستم جهت ایجاد ارتباط بین پست های شبکه و نیروگاه قدرت مورد استفاده قرار می گرفت و به مرور زمان برای اندازه گیری و کنترل راه دور نیز مورد استفاده قرار گرفت. در فاصله زمانی سال های ۱۹۳۰ تا ۱۹۳۵ سیستم های PLC روی شبکه های ولتاژ پایین و متوسط به منظور مدیریت بار شبکه پیاده سازی شد که این سیستم ها با استفاده از مدولاسیون های ASK و FSK[2] امکان مخابرات یک طرفه را فراهم می آوردند. بتدریج و با استفاده از مدولاسیون های مناسب و افزایش نرخ بیت امکان برقراری ارتباط دو طرفه نیز در این سیستم ها فراهم شد. اختراع و پیدایش تکنولوژی مدار مجتمع و میکروپروسسور و بکارگیری این تکنولوژی در سیستم های PLC منجر به بهبود روش های مدولاسیون، کنترل خطا و افزایش نرخ بیت شد تا این که در سال ۱۹۹۰ میلادی ایده ارائه سرویس های باند وسیع توسط خطوط قدرت مطرح شد و به علت نیاز این سرویس ها به نرخ بیت بالا توجه ها و تحقیقات به طیف فرکانسی بالای ۱ مگاهرتز معطوف شد. اولین سیستم آزمایشی PLC باند وسیع به منظور ارائه اینترنت در سال ۱۹۹۷ میلادی در انگلستان توسط شرکت Nor. Web راه اندازی شد. این شرکت در سال ۱۹۹۹ به علت غیر اقتصادی بودن این طرح از ادامه کار منصرف شد. بعد از این چندین شرکت اروپایی سیستم های مشابهی را توسط شبکه قدرت ولتاژ پایین راه اندازی کردند و امروزه با تکمیل این تکنولوژی امکان ارائه خدمات با نرخ بیت بالا و در حدود ۲۰۰ مگا بیت بر ثانیه توسط سیستم های PLC فراهم شده است [۳ و ۴].

---

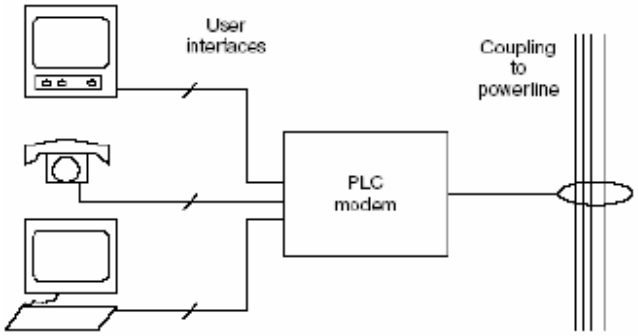
[1] - Amplitude Shift Keying
[2] - Frequency Shift Keying

۲-۴- تجهیزات مورد استفاده در سیستم های PLC

ارسال اطلاعات و سیگنال های مخابراتی روی خطوط قدرت نیازمند نصب تجهیزات و وسایل واسط جهت تبدیل سیگنال های مخابراتی به فرم قابل ارسال توسط خطوط قدرت است. مهمترین تجهیزات مورد استفاده در سیستم های PLC عبارتند از [۱]:

۱. مودم های PLC

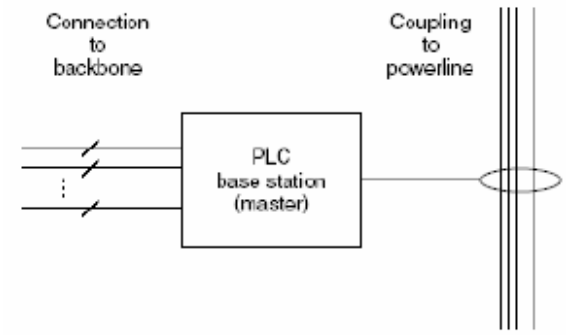
مودم های PLC از یک طرف با استفاده از روش های تزویج مناسب به شبکه قدرت متصل می شوند و از طرف دیگر مودم های PLC ارتباط مناسب بین تجهیزات مخابراتی مورد استفاده توسط مشتریان و شبکه دسترسی را برقرار می کنند. در واقع مودم های PLC رابط بین شبکه دسترسی و مشتریان می باشند.



شکل۲-۲: نحوه اتصال مودم در سیستم های PLC [۱]

۲. ایستگاه پایه PLC

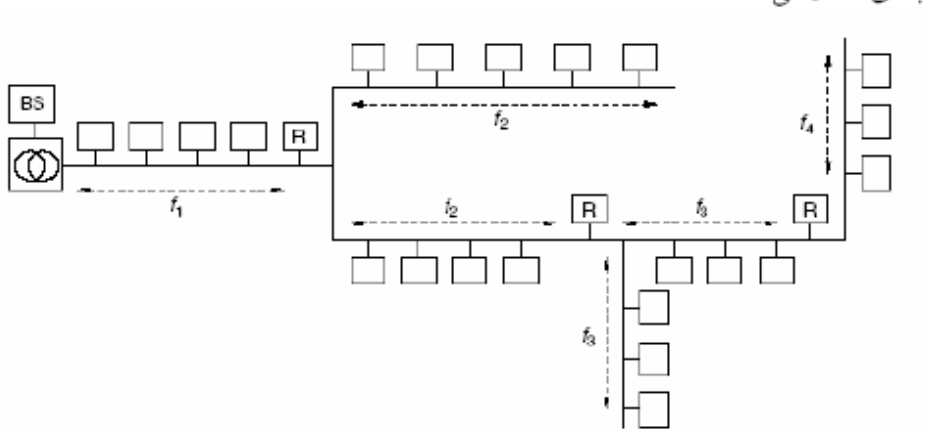
اتصال و تزویج سیستم ها و شبکه های مخابراتی مختلف به شبکه قدرت توسط ایستگاه پایه انجام می شود. علاوه بر این ایستگاه پایه می تواند جهت کنترل عملکرد شبکه دسترسی مورد استفاده قرار بگیرد. مودم و ایستگاه پایه دو عنصر اصلی و جدایی ناپذیر هر سیستم PLC می باشند.



شکل۲-۳: نحوه اتصال ایستگاه پایه در سیستم های PLC [۱]

۳. **تکرارکننده**

سطح توان سیگنال در سیستم های PLC به علت تشعشعات الکترومغناطیسی و ایجاد نویز برای سایر سیستم ها محدود است که این مسأله باعث کاهش فاصله سرویس دهی این سیستم ها می شود. برای افزایش فاصله سرویس دهی در سیستم های PLC از تکرار کنند ها استفاده می شود. تکرار کنند ها شبکه دسترسی را به چندین قطعه تقسیم می کنند و با تقویت سیگنال دریافتی و انتقال فرکانسی مناسب، آن را به قطعه بعدی اعمال می کنند.



شکل۲-۴: نحوه اتصال و عملکرد تکرار کننده ها در سیستم های PLC [۱]

۴. **PLC Gateways**

اتصال مستقیم مودم به پریز های دیواری منجر به اتصال مستقیم مودم به شبکه دسترسی و ایستگاه پایه می شود و هیچ گونه ایزولاسیونی بین بخش داخل خانه و خارج خانه وجود ندارد. برای ایجاد ایزولاسیون لازم اتصال مودم به شبکه به صورت غیر مستقیم و از طریق Gateway انجام می پذیرد. در واقع Gateway با جداسازی فرکانسی بخش داخل خانه و خارج خانه ایزولاسیون لازم این دو بخش را فراهم می کند.

۲-۵- تقسیم بندی های سیستم های PLC

سیستم های PLC از لحاظ سطح ولتاژ مورد استفاده به سه دسته زیر تقسیم می شوند:

۱. **سیستم های PLC ولتاژ بالا**

این سیستم ها از شبکه ولتاژ بالای الکتریکی به عنوان کانال برای انتقال اطلاعات استفاده می کنند ولی به علت سطح بالای تداخل و نویز در شبکه قدرت ولتاژ بالا، انتقال اطلاعات در این شبکه مشکل است. بنابراین پیاده سازی سیستم های PLC ولتاژ بالا غیر اقتصادی است.