

پارامترهای مخابراتی خطوط توزیع قدرت و حداقل سازی اثرات این پارامترها بر دیتای ارسالی

*** مهدی نصیری سروی

* داریوش عباسی مقدم
** زهره محدث

* کارشناس ارشد مخابرات دانشگاه علم و صنعت ایران
** دانشجوی مهندسی برق دانشگاه شهید باهنر کرمان
*** کارشناس ارشد کنترل صنایع مخابرات صا ایران

کلمات کلیدی: خط توزیع قدرت، نویز، تضعیف، نویز ضربه ای، کنسل کننده، طیف گسترده

مخابراتی دارند. بنابراین بررسی کامل مشخصات چنین کانالهایی جهت طراحی مودمها و تکنیکهای تصحیح خطا سرعت بالا، ضروری می باشد. فرکانس انتخاب شده بایستی از ۳۰ KHz زیادتر باشد، زیرا برای فرکانسهای کمتر از این مقدار، کوپلینگ موثر با خط انتقال با استفاده از خازنهای کوپلینگ مشکل بوده، نویز هارمونیک بسیار قوی بوده و اجزای الکتریکی بزرگ می شوند. بدلیل وجود خطوط توزیع در تمام مکانها، پتانسیل عظیمی برای سرویسهای مخابراتی سریع و قابل اطمینان وجود دارد. حوزه وسیعی از کاربردها مانند سرویسهای ارزان ساده کاربرد خانگی که نرخ بیت انتقال داده کمی دارند تا سرویسهای سرعت بالا مانند اینترنت، صوت روی اینترنت را در بردارد. در شکل ۱ ساختار لینک شبکه ولتاژ پایین اروپا نمایش داده شده است.

بدلیل عوامل مخرب موجود در این کانال سعی بر آنست که عوامل مخرب ذکر شده و در حد امکان راهکار مقابله با آنها بیان شود. البته برای هر عامل مخرب چندین مدل

چکیده

در این مقاله به بررسی خطوط توزیع قدرت از دید مخابراتی پرداخته می شود. عوامل موثر در این کانال توضیح داده شده و مدل آنها ذکر خواهد شد. عواملی مانند تضعیف، هارمونیکها، و تغییرات امپدانس اثر چندانی بر کارکرد در فرکانسهای کاری PLC1 نداشته و می توان اثر آنها را با فیلتر کردن یا افزایش توان فرستنده و استفاده از تکرار کننده ها جبران کرد. مشکل اصلی نویز بسیار عمده و فیدینگ ناشی از پدیده چند مسیری می باشد که توسط تکنیکهای تصحیح خطا، طیف گسترده، چند حاملی، فیلترینگ و روشهای وقتی حذف نویز ضربه ای با آن مقابله می شود

مقدمه

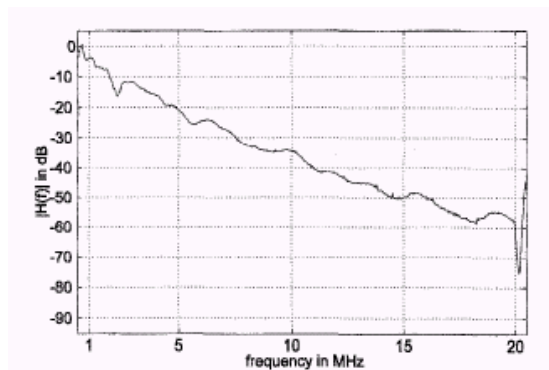
شبکه های توزیع قدرت ولتاژ پایین استفاده شده بعنوان شبکه مخابراتی تفاوت قابل توجهی با سایر کانالهای

¹ - Power Line Communication

شبکه سلفی که تیونر خط نامیده می شود تیون شده تا Insertion Loss در مرکز باند حامل را حداقل سازد. Line Trap نیز جهت حداقل سازی تلف توان حامل در خطوط فرعی بکار می رود.

۱- تضعیف انتقال

این پدیده در کلیه کانالهای مخابراتی وجود دارد. در خط قدرت تضعیف به عواملی مانند مسیر انتقال، شرایط آب و هوایی، فرکانس، کوپلینگ و عوامل دیگر بستگی دارد. در خطوط قدرت مهمترین عامل تضعیف، کرونا بوده که ناشی از یونیزه شدن فضای اطراف هادیهاست. این پدیده باعث اتلاف انرژی در ادوات قدرت شده و تداخل در سیستمهای مخابراتی را باعث می شود.



شکل ۲: تضعیف اتصال کابلی با طول ۱۵۰ متر بر حسب فرکانس

همانطور که در شکل ۲ دیده می شود با افزایش فرکانس تضعیف نیز افزایش می یابد. بنابراین اتصالات کابل زمین مشخصات پایین گذاری داشته و به این ترتیب برای فرکانسهای بالای ۵۰۰ KHZ پارامتر بسیار مهمی می باشد. تضعیف $A(f, l)$ یک خط با طول l برابر است با:

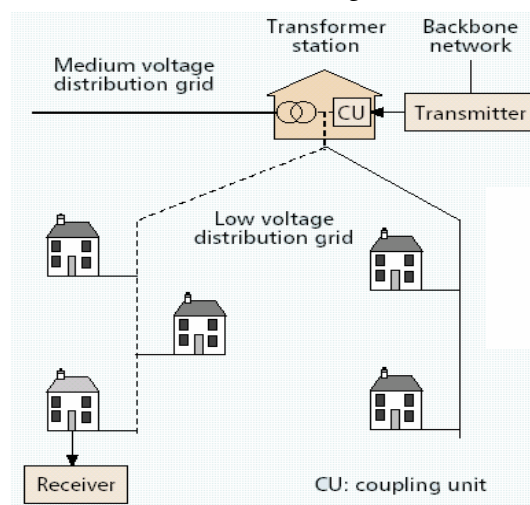
$$A(f, l) = \exp(-\alpha(f) \cdot l) \quad (1)$$

که ضریب تضعیف α برابر است با:

$$\alpha(f) = \alpha_R(f) + \alpha_G(f) \quad (2)$$

که $\alpha_R(f)$ بوسیله اثر پوستی ایجاد شده و $\alpha_G(f)$ ناشی از تضعیف دی الکتریک می باشد. با توجه به اینکه هر دو تضعیف با افزایش فرکانس افزایش می یابند معادله ۱ می تواند به صورت زیر نوشته شود:

PLC امنیت بیشتری نسبت به ماکروویو یا خطوط اجاره ای داشته و محیطی قابل اطمینان می باشد. این خطوط قابلیت اطمینان نسبتاً بالایی دارند زیرا ساختار محکم آنها در برابر خطرات طبیعی مانند برف و باران، باد و طوفان مقاوم است. در واقع قابلیت اطمینان این خطوط برای انتقال حامل بیشتر از قابلیت اطمینان آنها برای انتقال قدرت می باشد، زیرا عایق بندی کافی جهت داشتن عملکرد مناسب حامل دارند.

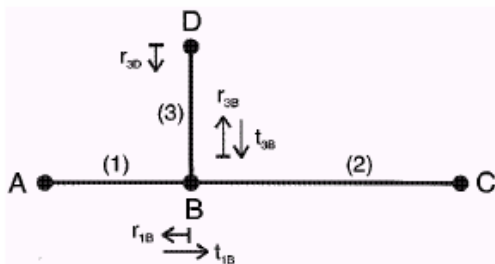


شکل ۱: ساختار لینک شبکه ولتاژ پایین اروپا

سیستم حامل قدرت از سه قسمت تشکیل شده است که عبارتند از:

- فرستنده، گیرنده و تجهیزات آنها
 - تجهیزات کوپلینگ و تیونینگ که اتصال به نقطه مورد نظر در خط قدرت را فراهم می کند.
 - سیستم ولتاژ بالا که بایستی مسیر مناسبی جهت انتقال انرژی فرکانس بالا بین ترمینالها فراهم کند.
- تجهیزات ترمینالها بجز تغییرات توان فرستنده که در محدوده ۱۰ تا ۱۰۰ وات بوده، صرفنظر از طول خط یکسان می باشد. کوپلینگ به کنداکتورهای قدرت توسط خازنهای کوپلینگ ولتاژ بالا انجام شده که حامل را هدایت کرده و از ورود انرژی ۵۰ هرتز به تجهیزات فرستنده و گیرنده جلوگیری می کند. این تجهیزات با

امپدانس معمولاً کوچک می باشد. $Z_H(f)$ ایستا بوده و نتیجتاً تغییرات امپدانس در شبکه خانگی صرفنظر می شود. بنابراین انتقال سیگنال علاوه بر مسیر مستقیم در سایر مسیرهای بین فرستنده و گیرنده نیز منتقل می شود. این پدیده باعث اثر چند مسیری با فیدینگ فرکانس انتخابی^۲ می شود. مطالعه انتقال درخطی بصورت زیر انجام می شود که لینک تنها شامل یک انشعاب که شامل بخشهای ۱، ۲ و ۳ با طولهای l_1 ، l_2 و l_3 و امپدانس مشخصه Z_{L1} ، Z_{L2} و Z_{L3} می باشد.



شکل ۳: انتقال سیگنال چند مسیری

جهت سادگی فرض می شود که A و C منطبق بوده که به معنی $Z_A = Z_{L1}$ و $Z_C = Z_{L2}$. نقاط باقیمانده برای انعکاس B و D با فاکتور انعکاسی I_{1B} و I_{3D} و I_{3B} و فاکتور انتقال t_{1B} و t_{3B} می باشند. با این فرض در عمل تعداد نامحدودی مسیر انتقال در اثر انعکاسات چند باره وجود خواهد داشت (یعنی $A \rightarrow B \rightarrow C$ ، $A \rightarrow B \rightarrow D \rightarrow B \rightarrow D \rightarrow B \rightarrow C$ ، $A \rightarrow B \rightarrow D \rightarrow B \rightarrow C$ و ...)، هر مسیر i دارای وزن g_i می باشد که تولید فاکتورهای انتقال و انعکاس مسیر را بیان می کند. تمام ضرایب انعکاسی و انتقال کوچکتر یا مساوی یک می باشند. این نیز به این دلیل می باشد که انتقال تنها در اتصالات^۳ رخ می دهد. هر چقدر انعکاس و گذر بیشتری در خط رخ دهد فاکتور وزندهی g_i کوچکتر می شود. با توجه به اینکه مسیرهای طولانی تر تضعیف بیشتری

$$A(f, l) = \exp(-k \cdot f^x \cdot l) \quad (3)$$

مقادیر k و x به نوع کابل بستگی داشته و ثابت هستند. با توجه به معادله ۳ تضعیف خطوط قدرت با افزایش طول و فرکانس افزایش می یابد. انعکاسات بازگشتی ناشی از عدم تطبیق امپدانس بار و شاخه ها در شبکه توزیع، اثر بسیار کمی در تضعیف داشته و تنها مقدار ناچیزی ریبیل در منحنی تضعیف ایجاد می کند. البته انعکاسات ناشی از عدم تطبیق امپدانس باعث پهنه چند مسیری شده و در صورت انتخاب نامناسب پالسهای ارسالی باعث تداخل خواهد شد. روش دیگر جهت مدل کردن تضعیف با استفاده از مدل مرجع وجود دارد [۴]. در این مدل از دو پارامتر جهت مدل سازی تضعیف استفاده شده که تضعیف به فرکانس انتخابی و قطر هادی بستگی دارد. در این مدل

$$\alpha(f) = \alpha_0 \sqrt{\frac{f}{f_0}} \quad (4)$$

که α_0 تضعیف در فرکانس f_0 می باشد. البته مدل های دیگری نیز برای تضعیف ارائه شده است. تضعیف خط بر حسب پارامترهای R, L, C و G خط برابر است با:

$$\alpha(f) = \frac{10\sqrt{2}}{\log(10)} \sqrt{\sqrt{(R^2 + (2\pi f)^2 L^2)(G^2 + (2\pi f)^2 C^2) + RG - (2\pi f)^2 CL}} \quad (5)$$

با افزایش توان ارسالی و بکار بردن تکرار کننده ها می توان اثر تضعیف را کاهش داد.

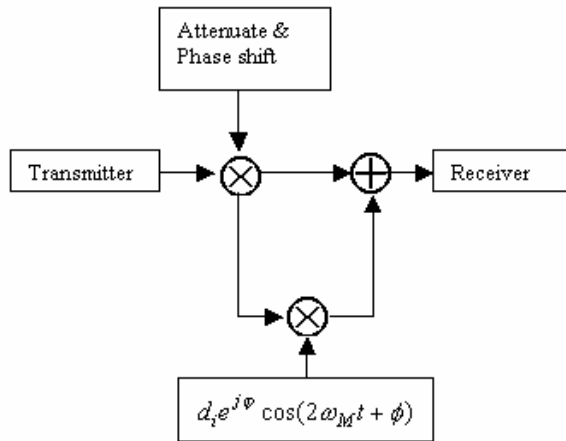
۲- پدیده چند مسیری

بر خلاف تلفن، شبکه دسترسی خط قدرت خط ارتباط نقطه به نقطه بین ایستگاه و مشتری نمی باشد. لینک دسترسی بین ایستگاه و مشتری شامل کابل های توزیع، کابل های اتصال خانگی و ... می باشد. امپدانس کابل خانگی Z_L بوده و مجموعه سیم بندی خانگی ۱ از دید شبکه دسترسی دارای امپدانس مختلط $Z_H(f)$ باشد که بدلیل نقاط و شاخه های اتصال زیاد در خانه این

^۲ - Frequency selective fading

^۳ - joint

^۱ - Indoor wiring.



شکل ۴: مدل چند مسیری کانال خط قدرت

۳- نویز

نویزهای موثر در خطوط قدرت عبارتند از:

أ. نویز زمینه

چگالی طیف قدرت این نویز تابعی کاهشی از فرکانس بوده و بطور متوسط برابر است با:

$$N(f) = 10^{(K_{lT} l_{Te} - 3.95 \times 10^{-5} f / \text{Hz})} \text{ [W / KHz]} \quad (9)$$

مقدار K با زمان و مکان فرستنده/گیرنده l_{Tr}, l_{Te} تغییر می کند. K برای پریودهای طولانی از زمان ثابت بوده و در طول روز و شب بدون تغییر بوده اما برای محیطهای مختلف روستایی، شهری و صنعتی متفاوت می باشد. برای محیطهای مختلف k تقریباً توزیع گوسی با متوسط $-5/64$ و انحراف استاندارد $0/5$ می باشد.

ب. نویز پالسی

این نویز در اثر سوئیچینگ تولید می شود. اندازه گیری ها نشان می دهد که این نویز بطور متوسط در هر ثانیه یکبار رخ می دهد. در مکانهای صنعتی این مقدار بزرگتر خواهد بود و در نقاط نیمه شهری این پدیده بیشتر در روز و ساعات ۷ تا ۹ و ۱۹ تا ۲۴ اتفاق افتاده و پریود آن دو بار در ثانیه می باشد. حداکثر رخداد این نویز در تمام محیطها ۵ بار در ثانیه می باشد. این نویز و توزیع آن در مدل کانال بطور مبسوط بحث می شود.

N محدود می شود.

تاخیر مسیر برابر است با

$$\tau_i = \frac{d_i \sqrt{\epsilon_r}}{c_0} = \frac{d_i}{v_p} \quad (6)$$

که ϵ_r ثابت دی الکتریک، c_0 سرعت نور، و d_i طول کابل می باشد. $A(f, d)$ تضعیف کابل با فرکانس و فاصله افزایش می یابد. بنابراین پاسخ فرکانسی از A تا C می تواند بصورت زیر بیان شود:

$$H(f) = \sum_{i=1}^N g_i A(f, d_i) e^{-j2\pi f \tau_i} \quad (7)$$

برای شبکه های پیچیده تر می توان به طریق مشابهی عمل کرد.

در این قسمت مدل آماری چند مسیری که باعث فیدینگ شده و ناشی از مدولاسیون امپدانس اصلی می باشد بیان می شود (اثرات تغییر امپدانس و مقدار تغییرات آن در بخشهای بعدی ذکر خواهد شد). مدولاسیون امپدانس در اثر ورود و خروج غیر خطی بارها به شبکه قدرت ایجاد می شود. در این قسمت تنها فرایند باند باریک منظور شده و در پهنای باند چند هزار هرتز فرکانس غیر انتخابی^۱ است. اندازه گیریهای عملی نشان می دهد که فرایند فیدینگ سیگنال قویترین مولفه های طیفی را در $\pm 2f_M$ اطراف فرکانس حامل دارد که f_M فرکانس سیکل AC (۵۰ هرتز) می باشد. مدل داده شده برای این کانال بصورت زیر می باشد

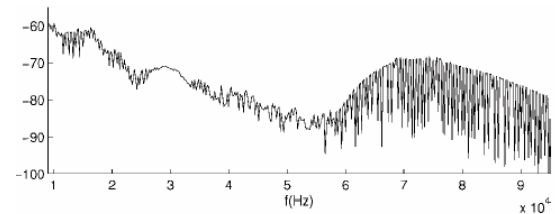
$$\hat{d}_f(t) = d_\tau e^{j\psi} \cos(2\omega_m t + \phi) \quad (8)$$

که ψ, ϕ و d_τ جهت حداقل سازی مربع دامنه بردار خطا بین مشاهدات و مدل انتخاب می شوند که $-\frac{\pi}{2} \leq \psi \leq \frac{\pi}{2}$ و $w_m = 2\pi f_m$. مدل چند مسیری پیشنهادی برای خطوط قدرت با متوسط سیگنال دریافتی نرمالیزه شده بصورت زیر است:

^۱ - Nonfrequency selective

ج. نویز سنکرون

این نویز توسط یکسو کننده های کنترل شده سیلیکونی SCR تولید شده که در مضارب ۵۰ هرتز بوجود می آید. این نویز بطور منظم رخ نداده ولی اگر یکبار رخ دهد ساعتی زیادی حضور دارد.



شکل ۵: مثالی از نویز سنکرون (dB(W/KHz) در محیط نیمه شهری

که دیده شد واریانس نویز مجموع واریانس سه نویز است که عبارتند از:

- نویز ایستان
- نویز پیوسته سیگلی
- نویز گسسته سیگلی

نوع اول (نویز ایستان) نویز متغیر با زمان است و n_1 برابر صفر بوده و θ_1 مقداری اختیاری است. نوع دوم و سوم نویزهای متناوب می باشند. جزء سوم نویز پالسی بوده و طولانی تر از نویز دوم می باشد.

۳-۱-۱- مدل کانال

بدلیل ورود و خروج بارهای مختلف در شبکه مدل این کانال نامشخص می باشد. نویز در خطوط قدرت به نویز پالسی و نویز زمینه تقسیم می شود. جهت تحلیل اثرات آنها در خطوط قدرت فرض می شود که نویز زمینه w_k نویز گوسی سفید جمع شونده (AWGN) بوده که دارای متوسط صفر و واریانس σ_w^2 است و نویز پالسی i_k توسط رابطه زیر بدست می آید:

$$i_k = b_k g_k \quad (11)$$

که b_k فرآیند پواسون زمان رسیدن (ورود نویز) بوده و g_k فرآیندی گوسی با متوسط صفر و واریانس σ_i^2 می باشد. از نظر فیزیکی این مدل به این معنی است که سیمهای داده ارسالی بطور مستقل توسط نویز پالسی با احتمال b_k با دامنه تصادفی g_k هدف قرار گیرند (hit). اگر a_k سیگنال ارسالی باشد در اینصورت سیگنال دریافتی می تواند بصورت زیر بیان شود:

$$r_k = a_k + n_k \quad (12)$$

$$n_k = w_k + i_k = w_k + b_k g_k \quad (13)$$

تابع چگالی احتمال نویز عبارت است از:

$$p_{nk}(n_{kR}, n_{kI}) = (1 - \varphi)G(n_{kR}, 0, \sigma_w^2) \times G(n_{kI}, 0, \sigma_w^2) \quad (14)$$

$$\varphi G(n_{kR}, 0, \sigma_w^2 + \sigma_i^2) G(n_{kI}, 0, \sigma_w^2 + \sigma_i^2)$$

د. نویز باند باریک نامرتب با فرکانس سیستم توزیع

اغتشاشات تلویزیون (۱۵/۶۲۵ KHz) برای استاندارد اروپایی (Pal) و انواع مختلف نویز در اثر منابع تغذیه سوئیچی و ... از این نوع می باشند.

۳-۱-۲- توزیع آماری نویز کلی DLC

در شبکه های ولتاژ بالا، نویز کانال ممکن است ناشی از رعد و برق، عملیات وقفه ای مدار، و ناپای داریهای تولید شده در ایستگاه قدرت باشد. نشان داده می شود که نویز موجود در خطوط قدرت فرآیندی ایستان دوری بوده و توزیع دامنه در همان فاز منبع AC دارای توزیع گوسی است. واریانس این فرآیند $\sigma_{PL}^2(t)$ یک تابع دوری با پیروی T/2 بوده که T تناوب برق شهر می باشد. واریانس نویز مجموع ناریانس سه نوع نویز بوده و برابر است با:

$$\sigma_{PL}^2 = \sum_{i=1}^3 A_i |\sin(2\pi f t + \theta_i)|^{n_i} \quad (10)$$

که $f = \frac{1}{T}$ فرکانس ولتاژ AC، A_i پارامتر دامنه، θ_i پارامتر فاز و n_i درجه پالسی^۱ می باشند. همانطور

^۱ - Degree of impulsiveness.

کدینگ و مدولاسیون از مدل توضیح داده شده استفاده می شود.

۳-۲- تابع انتقال

تابع تبدیل کانال یک متغیر مختلط بصورت زیر می باشد

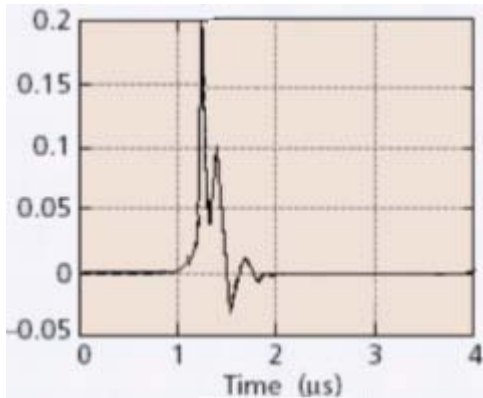
$$H(f) = |H(f)|e^{-j\varphi_H(f)} \quad (18)$$

که $|H(f)|$ مشخصه فرکانسی کانال و $\varphi_H(f)$ مشخصه فاز کانال می باشند. تابع مشخصه و پاسخ ضربه کانال برابر است با:

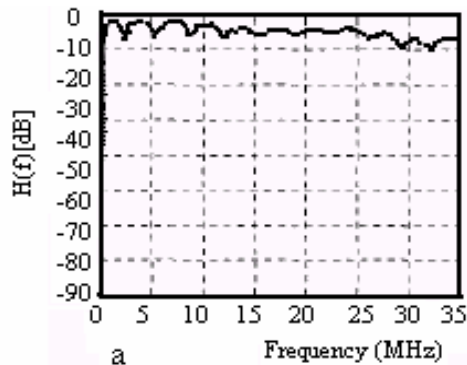
$$H(f) = FT\{h(t)\} = \int_{-\infty}^{\infty} h(t)e^{-j2\pi ft} dt \quad (19)$$

$$h(t) = IFT\{H(f)\} = \int_{-\infty}^{\infty} H(f)e^{j2\pi ft} df$$

که FT تبدیل فوریه و IFT تبدیل فوریه معکوس می باشند. تابع مشخصه و پاسخ طیفی با استفاده از اندازه گیری بدست آمده و در شکل‌های ۸ و ۹ نشان داده شده اند [۱۸].



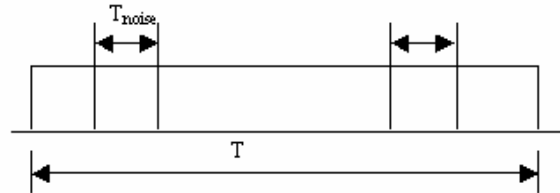
شکل ۷: پاسخ ضربه کانال خط قدرت



شکل ۸: پاسخ طیفی (تابع انتقال) کانال بهترین مورد

که در آن n_{kR} و n_{kI} قسمت‌های حقیقی و موهومی $G(x)$ بوده و φ احتمال وقوع نویز پالسی بوده و $G(x)$ چگالی گوسی تعریف شده بصورت زیر است:

$$G(x, m_x, \sigma_x^2) = \frac{1}{\sigma_x \sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{(x-m_x)^2}{2\sigma_x^2}\right) \quad (15)$$



شکل ۶: دوره زمانی نویز ضربه ای در خط قدرت

رخداد نویز تصادفی تقریباً توزیع پواسون داشته که بمعنی این است که زمان وقوع نویز پالسی فرایندی پواسون با نرخ λ واحد بر ثانیه بوده، بنابراین رخداد k بار در t ثانیه توزیع احتمال بصورت زیر دارد:

$$P_k(t) = e^{-\lambda t} (\lambda t)^k / k! \quad k = 0, 1, 2 \quad (16)$$

اگر متوسط دوره زمانی نویز ضربه ای T_{noise} و دوره سیگنال T باشد که معمولاً زیادتر از نویز پالسی (برست) می باشد، با فرض اینکه P_i متوسط کل رخداد نویز با دوره T و p_0 متوسط دوره بدون نویز پالسی در زمان T باشد که در آن تنها نویز AWGN وجود دارد، در اینصورت:

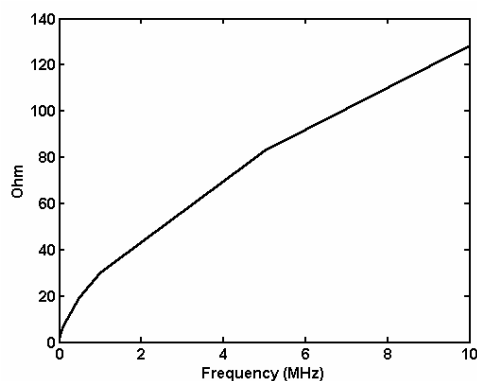
$$\begin{aligned} p_i &= \left[\sum_{k=0}^{\infty} e^{-\lambda T} \frac{(\lambda T)^k}{k!} (k T_{noise}) \right] / T \\ &= \lambda T_{noise} \left[\sum_{k=1}^{\infty} e^{-\lambda T} \frac{(\lambda T)^{k-1}}{(k-1)!} \right] \\ &= \lambda T_{noise} \left[\sum_{k=0}^{\infty} e^{-\lambda T} \frac{(\lambda T)^k}{(k)!} \right] \\ &= \lambda T_{noise} \end{aligned} \quad (17)$$

پاسخ ضربه و پاسخ فرکانسی مدل ارائه شده در شکل‌های ۶ و ۷ نشان داده شده اند [۱۰]. همانطور که دیده می شود در پهنای باند بزرگ رفتار کانال انتخاب فرکانسی^۱ می باشد اما در پهنای باند کوچک تقریباً یکنواخت عمل می کند. در شبیه سازی رفتار تکنیکهای

^۱ - frequency Selective

میدهد که رابطه تقریبی اندازه امپدانس بعنوان تابعی از فرکانس بصورت زیر است:

$$|Z(f)| = 0.005f^{0.63} \quad (20)$$

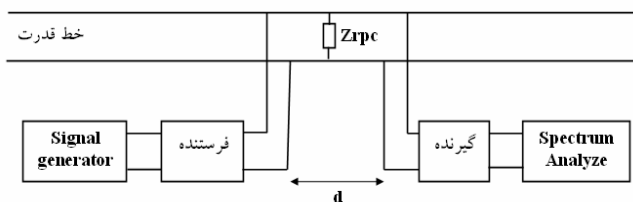


شکل ۱۰: تغییرات امپدانس خط قدرت بر حسب فرکانس

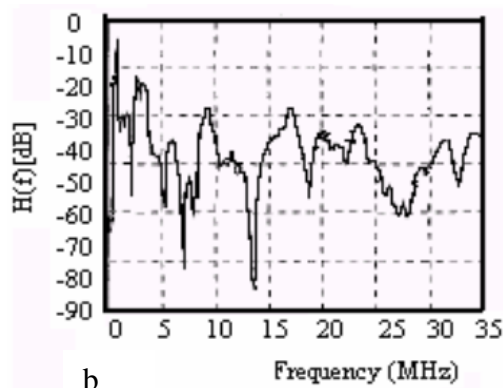
۵- روش اندازه گیری پارامترها

در این بخش روش اندازه گیری پارامترها ارائه می شود. برای این منظور به کوپلر شبکه، Network Analyzer و کامپیوتر نیاز می باشد. برای اندازه گیری نویز و امپدانس جهت اجتناب از اثر تضعیف فرستنده و گیرنده در یک نقطه به خط قدرت متصل می شوند [۳]. برای اندازه گیری نویز نیازی به فرستنده نیست و بدون ارسال سیگنال گیرنده نویز را اندازه گیری می کند.

برای اندازه گیری امپدانس نیز فرستنده بطور مستقیم قبل از گیرنده قرار می گیرد ($d \cong 0$). با داشتن امپدانس فرستنده و گیرنده می توان امپدانس خط را بدست آورد. برای اندازه گیری تضعیف به دو گیرنده نیاز می باشد که یکی بلافاصله بعد از فرستنده قرار گرفته شده و دیگری در فاصله d مورد نظر قرار می گیرد. تفریق این دو تلفات، تلفات خط را می دهد.



شکل ۱۱: بلوک دیاگرام روش اندازه گیری نویز، امپدانس و تضعیف



شکل ۹: پاسخ طیفی (تابع انتقال) کانال بدترین مورد

۴- تغییرات امپدانس

بدلیل ورود و خروج بارهای الکتریکی مختلف در شبکه امپدانس متغیر با زمان بوده و دارای نوسانات زیادی می باشد. اهمیت امپدانس از این جهت است که در صورت عدم تطبیق امپدانس توان سیگنال در گیرنده از دست می رود و عدم تطبیق باعث پدیده چند مسیری خواهد شد که در بخشهای قبلی بحث و بررسی شد. اندازه گیریهای عملی نشان می دهد که رفتار امپدانس بعنوان تابعی از فرکانس بستگی به طبیعت سلفی/خازنی بار و ترانسفورمرهای توزیع داشته و بسته به مکانهای مختلف متفاوت می باشد. امپدانس شبکه می تواند برای چندین هزار متر در شبکه ثابت در نظر گرفته شود. امپدانس همچنین می تواند تابعی از زمان باشد. بطور کلی امپدانس شبکه های ولتاژ پایین ناشی از عوامل زیر می باشد:

- امپدانس ترانسفورمرهای توزیع: که با افزایش فرکانس افزایش می یابد.
- امپدانس مشخصه کابل استفاده شده: رنج وسیعی از کابلها استفاده می شود که می توانند بعنوان اتصال سریال سلفیها و مقاومتها در نظر گرفته شود
- امپدانس تجهیزات متصل به شبکه: این امپدانس بین ۱۰ تا ۱۰۰۰ اهم تغییر می کند.

اندازه گیریهای عملی در هلند و آلمان نشان می دهد که ماکزیمم مقدار اندازه امپدانس ۲۰ اهم در فرکانس KHz ۲۰ و ۸۰ اهم در ۱۰۰ KHz بوده و مقدار متوسط بین ۵ تا ۱۷ اهم می باشد. نتایج یک اندازه گیری در ژاپن نشان

۶- مقابله با اثرات مخرب خط قدرت

پارامترهایی مانند تضعیف را می توان با استفاده از تکرار کننده ها از بین برد و روی عملکرد مخابراتی اثری نمی گذارد. تغییرات امپدانس در اطراف فرکانس ۵۰ هرتز باعث بوجود آمدن مدولاسیون شده و در فرکانسهای بالا اثری نداشته و می توان به راحتی با یک فیلتر اثرات آن را از بین برد. هارمونیکهای موجود در خطوط قدرت نیز عمدتاً در مضارب ۵۰ هرتز وجود داشته و برای فرکانسهای بالای ۳۰ KHz بسیار ضعیف شده و اثر چندانی ندارند. در شبکه های HVDC که مولفه های هارمونیک بزرگ می باشند از فیلتر استفاده می شود. اما موثرترین عامل مخرب در خط قدرت نویز می باشد. نویزهای غیر سنکرون و تصادفی بسادگی توسط کدهای تصحیح خطا جبران می شوند. مشکل عمده این کانالها نویز ضربه ای می باشد. روشهای مبارزه با نویز پالسی و تصادفی عبارتند از:

- ۱- استفاده از کدهای تصحیح خطا برای غلبه بر AWGN و نویز پالسی همراه لایه گذاری^۱
- ۲- استفاده از فیلتر در ورودی دریافت کننده جهت کاهش اثر هارمونیکها، فیلتری مانند $\frac{\sin(x)}{x}$ می تواند در ورودی گیرنده قرار گرفته طوریکه نولهای طیفی در مضارب فرکانس برق شهر قرار گیرند.
- ۳- حذف کننده وقفی نویز پالسی

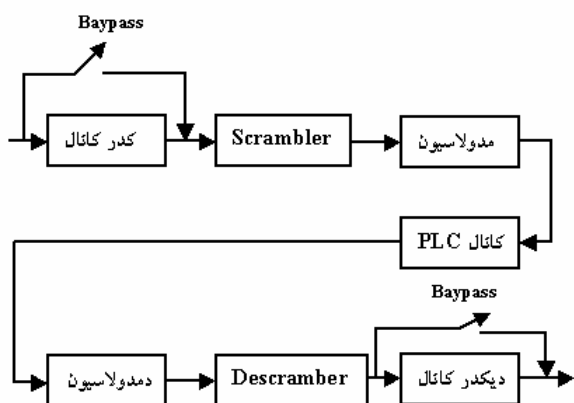
در مواردی که پدیده چند مسیری عملکرد را بسیار تخریب کند از تکنیکهای دایورسیتی استفاده می شود. در خط قدرت بیشتر از تکنیکهای دایورسیتی زمانی و فرکانسی استفاده می شود. دایورسیتی زمان شامل ارسال داده در چندین زمان مختلف (ارسال چندین باره داده) می باشد. جهت استقلال داده های دریافتی در کانالهای فیدینگ بایستی زمان بین تکرار داده ها بزرگتر از زمان کوهرنس t_c باشد. دایورسیتی فرکانسی نیز شامل ارسال داده یکسان در چندین فرکانس حامل می باشد. جهت

استقلال داده های دریافتی در کانالهای فیدینگ بایستی فاصله بین فرکانس حاملهای تکرار داده بزرگتر از پهنای باند کوهرنس f_c باشد.

استفاده از تکنیک طیف گسترده نیز بدلیل طبیعت امن این نوع مدولاسیونها مناسب می باشد. در خطوط قدرت بیشتر از تکنیک رشته مستقیم استفاده می شود. استفاده از تکنیکهای چند حاملی بدلیل پهنای باند کم مربوط به هر زیر حامل نیز مناسب بوده و امروزه بیشتر از این تکنیکها استفاده می شود.

۶-۱- تکنیکهای تشخیص و تصحیح خطا

در این کانالها بدلیل وجود فیدینگ ناشی از پدیده چند مسیری و تقویت کننده های غیر خطی، مدولاسیون های پوش ثابت ترجیح داده می شوند. تکنیکهای تشخیص خطا تنها برای کاربردهای غیر بلادرنگ استفاده می شوند. تکنیکهای تصحیح خطای عادی می تواند بر نویز تصادفی غلبه کند اما برای غلبه بر نویز پالسی بایستی از کدها با قابلیت تصحیح خطای بالا همراه با عمل لایه گذاری استفاده کرد. شکل ۱۲ بلوک دیاگرام لینک مخابراتی قدرت را نشان می دهد.



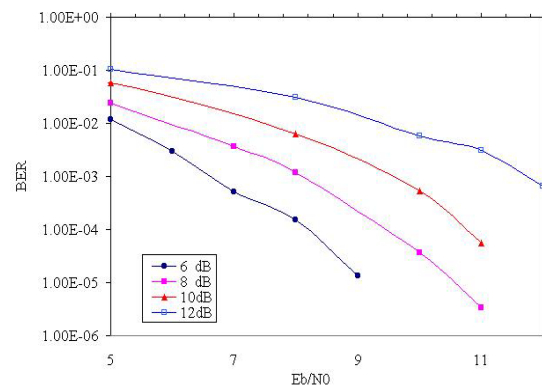
شکل ۱۲: بلوک دیاگرام لینک مخابراتی PLC

کدهای تصحیح خطای همینگ بدلیل قابلیت تصحیح خطای یک بیت در خط قدرت مورد استفاده قرار نمی گیرند، کدهای گلی نیز دارای سرعت پایینی بوده و برای کاربردهای بلادرنگ مناسب نمی باشند. برای انتقال داده

^۱ - interleaving

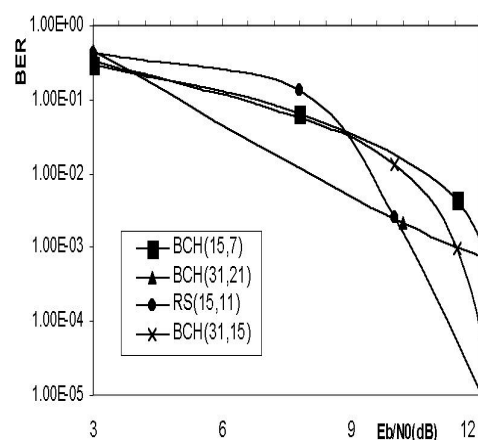
BCH که کدهای سریع با

قابلیت تصحیح خطای مناسب می باشند، استفاده می شود، اما برای انتقال داده با نرخ بیت بالا از تکنیکهای کدینگ قویتری مانند Reed Solomon یا توربو کدها استفاده می شود. این کدها، کدهای پیچیده ای هستند، کد Reed Solomon دارای قابلیت تصحیح خطای بلوکی بوده و توربو کد بدلیل استفاده از تکنیکهای لایه گذاری و دیکدینگ تکرار نرم تصمیمی عملکرد بسیار مناسبی دارا هستند. این کدها به خصوص برای کاربردها با نرخ داده های بالا که بهره کدینگ اضافی جهت داشتن عملکرد مطلوب لازم است، مناسب هستند. با افزایش طول فشرده کد و طول لایه گذار عملکرد این کد بهبود می یابد. در شکلهای زیر عملکرد این تکنیکها در خط قدرت نشان داده شده است [۱۶، ۱۵، ۱۲، ۱۳، ۱۴].



شکل ۱۳: عملکرد توربو کد با نرخ ۱/۲ و K=۳ در پرست 2

ms و بلوک پیغام ۱۰ ms و $\frac{\sigma_{Nburst}^2}{\sigma_{N0}^2}$ مختلف



شکل ۱۴: عملکرد کدهای بلوکی در خط قدرت با Pb=8dB, Tb=2.5 ms

جهت مدولاسیون سیگنالهای دیجیتال در خطوط قدرت، می توان از مدولاسیونهای مختلفی استفاده کرد. مدولاسیونهای پایه مانند MSK، FSK، PSK و GMSK می توانند برای نرخ بیت کم مورد استفاده قرار گیرند. تکنیکهای پیشرفته تر مانند MQAM، MPSK، MFSK و OFDM می توانند برای نرخ بیتهای بالاتر استفاده شوند. انتقال زمانی اطلاعات، روش دیگری است که جهت ارسال اطلاعات استفاده می شود. در این روش اطلاعات پس از وقوع پرست ارسال می شوند. با این روش احتمال خطای پایینی خواهیم داشت و عملکرد کد در این روش بسیار مناسب بوده، اما تخمین پرست و سنکرونیزاسیون بسیار مشکل می باشد.

مدولاسیون سیگنالهای طیف گسترده متفاوت است. با توجه به اینکه پهنای باند خطوط قدرت ۲۵ MHz است، اثرات طیف گسترده محدود می باشد. استفاده از مدولاسیون حامل ساده در خطوط قدرت ممکن است، اما جهت کاهش اثرات تاخیر می توان از متعادل کننده استفاده کرد که قیمت را بالا می برد [۹]. عملکرد این مدولاسیون در شکل نمایش داده شده است. طیف گسترده از تکنیکهای رشته مستقیم (DS)، پرش فرکانس (FH) و چیرپ استفاده می شود. مقایسه پرش فرکانس و رشته مستقیم نشان می دهد که: سیستم FH در برابر تداخل مقاومتر از DS بوده در عوض پهنای باند DS کمتر از FH می باشد. زمان رهگیری FH کمتر از DS بوده اما تجهیزات آن بمراتب پیچیده تر می باشد. همانطور که دیده می شود هر روش دارای مزایا و معایب خاص خود می باشد. مدولاسیون چیرپ جهت غلبه بر مشکلات خاص سیستمهای طیف گسترده مرسوم که نیازمند اکتساب و رهگیری کد باعث پیچیده شدن طرح CSMA می باشد، پیشنهاد شده است. در خطوط قدرت از چیرپی استفاده می شود که از ۱۰۰ KHz تا ۴۰۰ KHz را جاروب می کند.

مدولاسیون چیرپ دارای مشخصات همبستگی فوق العاده ای دارد و گیرنده این سیستم بسیار شبیه گیرنده

۶-۲ روش کنسل سازی

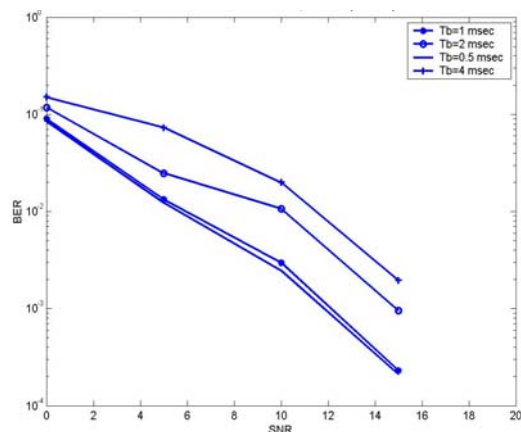
همانطور که دیدیم خط قدرت کانال ضعیفی بوده و دارای سطح بسیار بالایی از نویز، تغییرات امپدانس، تضعیف و نویز سوئیچینگ می باشد و علاوه بر این جهت جلوگیری از تداخلات رادیویی باند فرکانسی و متوسط سطح سیگنال در فرستنده محدودیت دارند. بعنوان مثال سطح سیگنال در ژاپن بایستی کمتر از ۳۰ dB باشد. برای مقابله با مشکل اول می توان از تکنیکهای کدینگ کانال تشخیص و تصحیح خطا و همچنین تکنیکهای طیف گسترده و چند حاملی استفاده کرد که می تواند اثرات نویز پالسی و تداخل باند باریک را حذف کند. استفاده از روشهای تفاضلی در ارسال دیتا عملکرد را بهبود می بخشد اما به SNR بسیار بالایی نیاز دارد.

جهت حذف ISI ناشی از پدیده چند مسیری می توان از متعادل کننده ها استفاده کرد. همسان ساز بهینه MLSE بوده که متعادل کننده بهینه بوده اما غیر عملی است. متعادل کننده دیگر DFE است که غیر خطی بوده و در دو مرحله ISI را حذف می کند. فیلتر مستقیم^۱ تمام ISI را حذف نکرده بلکه مقداری از آن در فیلتر فیدبک حذف می شود. این عمل باعث ملایم شدن تغییرات فیلتر می شود. این متعادل کننده همچنین اثرات نویز را حداقل می سازد. می توان از الگوریتم بازگشتی RLS^۲ استفاده کرد. عملکرد این الگوریتم برای کانالهایی که مشخصه تخت با تغییرات آرام زمانی دارند مفید و مناسب می باشد، بنابراین برای نرخ بیت و پهنای باند کم عملکرد این الگوریتم در خطوط قدرت نسبتاً خوب می باشد. علاوه بر موارد ذکر شده، فیلتر حذف تداخل باند باریک می تواند بدین منظور بکار برده شود.

مهمترین منبع نویز نویز پالسی (برست) می باشد که در مضارب فرکانس برق انجام می شود. اغلب سیستمها سعی می کنند جهت مقابله با این نویز تلاش می کنند با محدود ساختن نرخ انتقال داده (۱۵ تا ۳۰ بیت بر ثانیه)، و استفاده

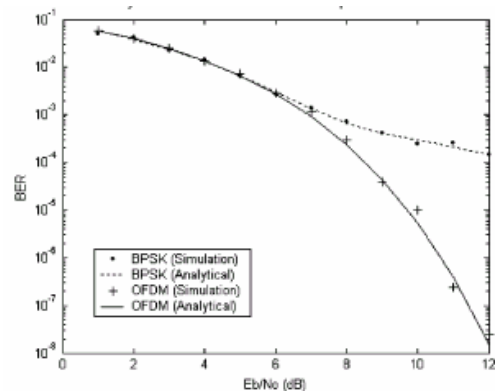
FH را ندارد. به

همین دلیل این روش از هر دو روش FH و DS بهتر می باشد. علاوه بر این برای مواردی که انرژی در حوزه فرکانس و زمان بطور هموار توزیع شود، ساخت فیلترهای مورد نیاز در تکنولوژی چیرپ بسیار ساده و ارزان می باشد. در استاندارد آمریکایی CEBUS از مدولاسیون چیرپ استفاده شده است.



شکل ۱۵: تکنیک رشته مستقیم DSSS در خط قدرت با $N=16$, $R_b=1$ Mbps, $P_b=10$ dB

تکنیک دیگر تکنیک چند حاملی OFDM است این تکنیک در مقابل نویز مقاوم بوده و مشکلات داپلر موجود در سایر کانالها را بدلیل ثابت بودن اجزاء نخواهد داشت، تنها مشکل این تکنیک، افست زمانی است که با تخمین افست و تصحیح می توان آنرا تصحیح کرد.

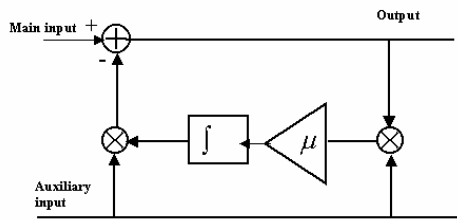


شکل ۱۶: عملکرد نتایج تحلیلی و شبیه سازی شده OFDM و سیستم BPSK

^۱ - Feed forward

^۲ - recursive least square

همبستگی بین باقیمانده خروجی ورودی مرجع وجود نداشته و ورودی انتگرالگیر صفر شود. آنگاه خروجی انتگرالگیر ثابت مانده تا اینکه ورودی تغییر کند.



شکل ۱۸: حلقه کنسل کننده همبستگی

۷- کاربردها

مخابرات خطوط قدرت کاربردهای زیادی دارد. از جمله می توان به موارد زیر اشاره کرد:

۱. نیازهای عمومی: ارتباطات نقطه به نقطه
۲. نیازهای حفاظتی کنترلی: جهت کنترل و مونیتورینگ ایستگاههای قدرت (ارتباط بلادرنگ).
۳. اتوماسیون (عمده ترین کاربرد سیستمهای غیر متمرکز و در بر گیرنده فعالیتهایی همچون کنترل محیطهای ساختمانی)
۴. ارسال دیتای مخابراتی با نرخ بیت بالا مانند صوت، داده و اینترنت

۸- جمع بندی

در این مقاله عوامل مخرب در خط قدرت بعنوان یک محیط مخابراتی ذکر شد. دیده شد که تضعیف با زمان و فرکانس متغیر بوده اما می توان با اثرات این پدیده از طریق افزایش سطح توان ارسالی و همچنین استفاده از تکرار کننده ها مقابله کرد. تغییرات امپدانس نیز بدلیل ورود و خروج بارها در ساعات مختلف و اتصالات سری و موازی مختلف متفاوت می باشد. تغییرات امپدانس تنها مدولاسیون دامنه در فرکانس ۵۰ هرتز ایجاد کرده که بدلیل عدم استفاده از این فرکانس اثری بر عملکرد مخابراتی ندارد. عامل مخرب اصلی نویز و خصوصا نویز ضربه ای بوده که پیرویدیک بوده و با تکنیکهای تصحیح

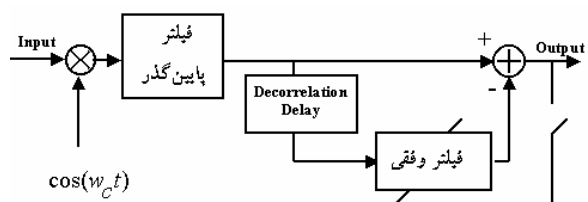
از حامل فرکانسی که در طیف سیگنال مخابراتی بین پیکهای نویز با این اثر مقابله کنند. اما این هارمونیکها ± 0.05 درصد تغییر کرده و هارمونیکها سینوسی ایده آل نیستند. بعنوان مثال تغییر ± 0.05 در فرکانس ۵۰ هرتز، فرکانس از $49/975$ تا $50/025$ تغییر می کند. برای هارمونیک ۲۰۰ ام این فرکانسها به $10/005$ تا $9/995$ تغییر می کند که پهنای آن ۱۰ هرتز می باشد. بنابراین فیلترهای استفاده کننده از فیلتر ثابت به تغییرات نویز هارمونیک حساس و آسیب پذیر هستند. جهت مقابله با این اثرات بایستی از فیلترهای وفقی استفاده شود. فیلتر وفقی برای حذف این نویز در مرجع [۱۶] آورده شده است. الگوریتم LMS استفاده شده برای تعدیل ضرایب فیلتر بصورت زیر است:

$$w_N(n) = w_N(n-1) + 2\mu y_N(n)e(n), \quad n = 1, 2, 3, \dots$$

$$e(n) = d(n) - y_N^T(n)w_N(n-1)$$

(۲۱)

که n زمان ایندکس، N تعداد تپهای فیلتر، $w_N(n)$ بردار ضرایب تپ فیلتر، $d(n)$ نویز دمداوله شده خط قدرت و $y_N(n)$ بردار اخیر نویز خط قدرتمدودوله شده تاخیر دار می باشد. $e(n)$ نویز زمینه می باشد [۱۶]. جهت همگرایی بایستی $\mu < \frac{1}{\lambda_{\max}}$ شکل ۱۷ این فیلتر را نشان می دهد.



شکل ۱۷: کنسل کننده وفقی نویز هارمونیک

بدلیل تغییرات زمانی بار و مشخصات کانال روش وفقی استفاده می شود. بلوک دیاگرام اصلی این سیستم که حلقه کنسل کننده همبستگی (CCL) نامیده می شود در شکل ۱۸ نشان داده شده است. عمل کنسل کنندگی بوسیله تعدیل دامنه سیگنال ورجع و ماکزیمم سازی همبستگی با ورودی اصلی و تفریق آن از ورودی اصلی بدست می آید. تعدیل تا زمانی انجام می شود که

OFDM، طیف گسترده و کنسل کننده های وفقی

با آن مقابله می شود.

۹- مراجع

- line communication channels," IEEE Trans. PRD, vol. 9, no. 2, Apr. 1994.
9. M. H. L. Chan and R.W. Donaldson, "Amplitude, width, and interarrival distribution for noise impulses on intrabuilding power line communication networks," IEEE Trans. Electromag. Comp., Vol. 31, No. 3, Aug. 1989.
10. M. Karl and K. Dostert, "Selection of an Optimal Modulation Scheme for Digital Communications over Low Voltage Power Lines," IEEE 4th Int'l. Symp. Spread Spectrum Tech. and Apps. vol. 3, 1996.
11. M. Gotz, M. Rapp, and K. Dostert, "Power Line Channel Characteristics and Their Effect on Communication System Design", IEEE Communications Magazine • April 2004
12. D. Abbasi Moghadam, V.T.T. Vakili, "An Efficient Code For Power Line Communication, 18th International Power System Conference, Iran, Tehran, October 2003
۱۳. وحید طباطبا وکیلی، داریوش عباسی. مقدم، "کاربرد کدهای تصحیح خطا جهت بهبود در مخابرات خطوط قدرت"، هفدهمین کنفرانس بین المللی برق تهران، آبان ۱۳۸۱
۱۴. داریوش عباسی مقدم، و. وکیلی "انتقال داده در خطوط ولتاژ بالای HVAC و HVDC با روش انتقال زمانی"، هجدهمین کنفرانس بین المللی برق تهران، مهر ۱۳۸۲
۱۵. داریوش عباسی مقدم، "مخابرات داده در خطوط قدرت"، نوزدهمین کنفرانس بین المللی برق، تهران، آذر ۱۳۸۳
- 16- Jin-Der Wang, H. Joel Trussell, "Adaptive Harmonic Noise Cancellation with an Application to Distribution Power Line _ Communications", IEEE trans. on comm., VOL. 36, NO. I, JULY 98
1. Manfred Zimmermann and Klaus Dostert, "A Multipath Model for the Powerline Channel", IEEE Trans. On Comm., Vol. 50, No. 4, April 2002
2. Manfred Zimmermann and Klaus Dostert, "Analysis and Modeling of Impulsive Noise in Broad-Band Powerline Communications", IEEE trans. on electromag. comp. , vol. 44, no. 1, feb. 2002
3. Olaf G. Hooijen, "A Channel Model for the Residential Power Circuit Used as a Digital Communications Medium", IEEE TRANS. ON ELECTROMAG. OMP. , VOL. 40, NO. 4, NOV. 1998
4. SaSo TomaiiE, and Anton Umek, "A Simple Formula for Calculation of Power Loss in Digital Transmission Lines", IEEE Trans. On Comm., Vol. 40, No. 3, March 1992
5. David Cooper and Tony Jeans "Narrowband, Low Data Rate Communications on the Low-Voltage Mains in the CENELEC Frequencies— Part II: Multiplicative Signal Fading and Efficient Modulation Schemes", IEEE Trans. On Power Deli, Vol. 17, No. 3, July 2002
6. V. Degardin, M. Lienard and P. Degauque, "Optimisation of equalisation algorithm for power line communication channel" Electronic Letters 6th March 2003 Vol. 39 No. 5
7. Zimmermann, m. and k. Dosert. " Analysis and modeling of impulsive noise in broad-band Powerline communications", IEEE Trans. On Electromagn. Comp., Vol .44. No .1. Feb. 2000
8. M. H. L. Chan, D. Friedman, and R. W. Donaldson, "Performance enhancement using forward error correction on power