

Ruido en un canal de comunicaciones a través de líneas eléctricas de potencia -PLC-

Noise in a communications channel through electric power lines - PLC-

Pablo Emilio Rozo García¹, Johann Alexander Hernández Mora², Jonnatan Jair Romero Leon³

1LIFAE, Ingeniería, Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Colombia. Email: perozog@udistrital.edu.co

2LIFAE, Ingeniería, Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Colombia. Email: jahernandezm@udistrital.edu.co

3 LIFAE, Ingeniería, Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Colombia. Email: jonnatanmono@gmail.com

RECIBIDO: abril 21, 2017. ACEPTADO: junio 02, 2017. VERSIÓN FINAL: noviembre 01, 2017

RESUMEN

Este artículo es un estudio sobre el ruido presente en las líneas eléctricas que índice fuertemente cuando estas se utilizan como canal de comunicación, se realiza mayor énfasis en el ruido impulsivo asincrónico (aperiódico) dado que este genera el mayor deterioro de la información en las comunicaciones por línea de potencia -PLC-, se hace necesario determinar sus causas, condiciones de generación y la forma para detectarlo dado su comportamiento estocástico. Se plantea y desarrolla una metodología de detección, que se implementó en un sistema de prueba en un hogar con una "licuadora" en dos etapas, la primera conexión y la segunda desconexión, los resultados son favorables y esto se demostró porque se encontró que hay presencia de ruido de tipo "Burst", como se indica teóricamente en la clasificación de ruido aperiódico.

PALABRAS CLAVE: Filtro, Línea Eléctrica, Ruido Impulsivo

ABSTRACT

This article is a study about the noise present in the electric lines that strongly index when these are used as communication channel, a greater emphasis is made on the asynchronous (aperiodic) impulsive noise since this generates the greatest deterioration of the information in the communications By power line-PLC, it is necessary to determine its causes, generation conditions and the way to detect it given its stochastic behavior. It is proposed and developed a detection methodology, which was implemented in a test system in a home with a "Blender" in two stages, the first connection and the second disconnection, the results are favorable and this was demonstrated because it was found that there is presence of "Burst" type noise, as theoretically indicated in the classification of aperiodic noise.

KEYWORDS: Filter, Power Line, Impulsive Noise

1. INTRODUCCIÓN

El área de comunicaciones ha sido uno de los más importantes del mundo y el que más ha evolucionado en las últimas décadas [1], [2]. Se ha transitado por las tecnologías de par trenzado, cable coaxial, fibra óptica, microondas, satélite e inalámbrico, y a su lado, las Comunicaciones de PLC Power Lines, que surgieron hace mucho tiempo y su uso se ha limitado a un pocas aplicaciones a nivel de las empresas que generan y distribuyen energía eléctrica, se han intentado penetrar en aplicaciones donde se requiere alta frecuencia, como las tecnologías de hogar inteligentes basadas en los conceptos de IoT (Internet de Cosas), donde aparecen aplicaciones como Seguimiento e inventario de activos,

Transporte, Servicio de Máquinas expendedoras, Red Inteligente, Automatización Industrial, Agricultura / Ganadería y Medicina y Deportes [2], [3].

La comunicación por líneas eléctricas ha sido objeto de estudio porque esta tecnología nos permite minimizar los costos [4] - [6]. Esto se logra porque la infraestructura del sistema eléctrico se utiliza, todos los sitios tienen acceso a ella y requiere poca inversión para establecer la transmisión de datos [7] - [9]. Sin embargo, el principal inconveniente de esta tecnología de comunicación son los ruidos generados, ya sea por el medio ambiente o por la naturaleza del medio de transmisión [10] - [12]. La sección 2 de este documento muestra una clasificación de los ruidos presentados en este medio, tales como el ruido

de fondo, ruido de banda estrecha y el ruido impulsivo, siendo esta última la mayor desventaja generada [13] - [15]. Esto se divide en el ruido periódico (síncrono y asincrónico) y el ruido aperiódico que es el más crítico, dada su presencia en la conmutación de equipo eléctrico con una densidad espectral alta [13] - [17]. Este documento se centra en el ruido impulsivo aperiódico o asincrónico. Se presenta una forma para detectarlo y poder ver su comportamiento en un ambiente real con cargas lineales. En la sección de resultados se indica la metodología e implementación necesaria para capturar el ruido impulsivo, y se muestran algunas de las pruebas que se realizaron en condiciones reales en un hogar con un electrodoméstico típico (Licuadora).

2. CLASIFICACION DEL RUIDO EN LAS COMUNICACIONES EN LINEAS ELECTRICAS DE POTENCIA

El ruido eléctrico interfiere con el canal de comunicación y afecta a los cables de distribución eléctrica, los cuales son particularmente susceptibles a este, produciéndose una reducción en la capacidad del canal para transmitir. A diferencia de las líneas de transmisión convencionales, en las que el ruido blanco gaussiano aditivo es la principal fuente de interferencia, los cables de conexión eléctrica se ven afectados por cinco tipos diferentes de ruido, que se clasifican según la duración, origen y ocupación del espectro



Figura 1. Ruidos típicos presentes en sistemas –PLC (Power Line Communication) –

Fuente: Arslan, Huseyin, Time Frequency Analysis of Noise Generated by Electrical Loads in PLC. 2010 17th IEEE International Conference on Telecommunications.

2.1 Ruido de fondo (tipo 1): este tipo de ruido tiene una densidad espectral de potencia relativamente baja y disminuye con la frecuencia; Es causada por la superposición de fuentes de ruido de baja intensidad. Se caracteriza por un espectro continuo que disminuye con la frecuencia creciente [18] - [20].

2.2 Ruido de banda estrecha (tipo 2): su forma de onda es sinusoidal con amplitudes moduladas. Este tipo de ruido tiene varias bandas, que son relativamente pequeñas y continuas en el espectro de frecuencia. La

principal causa de este ruido es la entrada de radiodifusión como emisoras de televisión y radio y emisiones de onda corta sobre el medio ambiente [18] - [21].

2.3 Ruido impulsivo periódico, asincrónico a la frecuencia principal (tipo 3): este tipo de ruido se presenta como impulsos que suelen tener una frecuencia de repetición entre 50 y 200 KHz y están en el espectro como líneas discretas frecuentemente espaciadas según la frecuencia de repetición. Este tipo de ruido es causado principalmente por el proceso de encender y apagar la fuente de alimentación [22] - [24].

2.4 Ruido impulsivo periódico, síncrono a la frecuencia principal (tipo 4): surge como pulsos con una frecuencia de repetición entre 50 y 100 Hz y sincrónico con la frecuencia principal de la línea eléctrica. Estos impulsos tienen una duración corta, en el vecindario de microsegundos, y tienen una densidad espectral de potencia que disminuye con la frecuencia. Este tipo de ruido suele ser causado por el funcionamiento de convertidores de potencia conectados al suministro eléctrico principal [22] - [24].

2.5 Ruido impulsivo aperiódico o asincrónico (tipo 5): este tipo de ruido se presenta como impulsos causados principalmente por la conmutación transitoria de la alimentación principal. Estos impulsos tienen una duración que oscila entre microsegundos y unos pocos milisegundos. Este tipo de ruido de la densidad espectral de potencia puede alcanzar valores de más de 50 dB por encima del ruido de fondo, por lo que es la principal causa de errores en las comunicaciones digitales a través de redes PLC [22] - [24].

Los ruidos tipo 1, 2 y 3, debido a su larga duración, pueden agruparse en "ruido de fondo generalizado". Sin embargo, los ruidos tipo 4 y 5 tienen características importantes. Su característica principal es su gran amplitud y corta duración. Estos son llamados "ruidos impulsivos" y su estudio es extremadamente importante ya que son la principal causa de error en la transmisión de datos sobre los PLC [25].

Para caracterizar el ruido impulsivo asincrónico, debido a su naturaleza especial, los parámetros básicos deben ser identificados [24] - [27], [28]:

- Que tan fuertes son los impulsos
- Cuando se producen los impulsos

Además, este tipo de ruido se puede dividir en dos grupos:

El primero se caracteriza por pocos impulsos que disminuyen la intensidad del ruido rápidamente. El segundo grupo se caracteriza por un gran número de pulsos de amplitud aproximadamente igual que puede terminar de repente. Estos son conocidos como "burst". A continuación se muestran estas dos clases [29], [30].

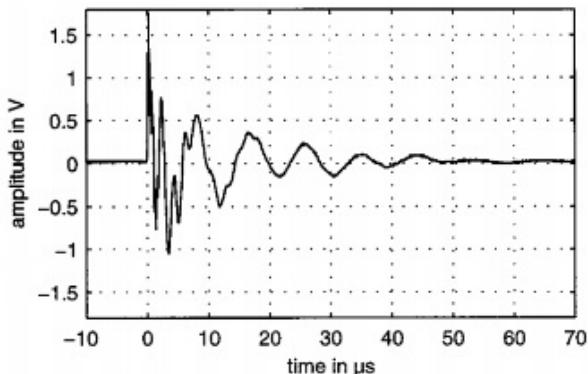


Figura 2. Ruido impulsivo de clase 1 [29].

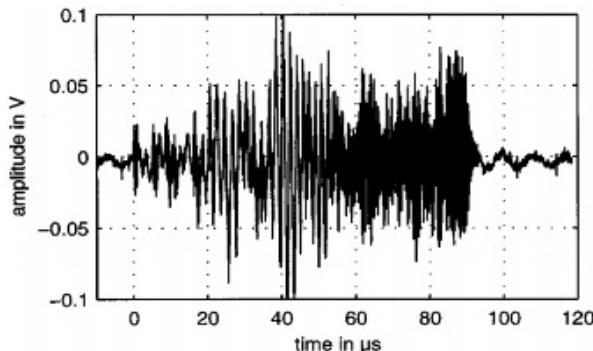


Figura 3. Ruido impulsivo clase 2, "burst" [29].

Debido a la importancia del PLC, se han realizado diversos estudios [31], [32], [33] - [34] sobre las características más importantes del ruido impulsivo. Como muestran estos estudios, las características más importantes para identificar el ruido impulsivo son:

- Amplitud y distribución de la probabilidad
- Duración del pulso y su distribución de probabilidad
- Tiempo entre pulsos (tiempo de llegada inter) y su distribución de probabilidad

En [19], la caracterización del ruido impulsivo asincrónico se propone de acuerdo a una clasificación por la causa que lo genera. Para esta investigación solo se tuvo en cuenta la conexión y desconexión de la licuadora a la red eléctrica.

3. METODOLOGIA

3.1 Selección del ruido más crítico

Dada la clasificación del ruido en un canal de comunicación de línea de alimentación, se desea observar el ruido de impulso aperiódico, porque es el más crítico y genera varios problemas en ese medio de comunicación.

Para obtener esto, es necesario seleccionar un entorno eléctrico -en el caso de las redes residenciales- para realizar un procedimiento para detectar la presencia de ruido impulsivo aperiódico cuyas fuentes generadoras son los electrodomésticos. Además, los registros deben ser tomados a ciertos intervalos del día que son representativos para su detección.

3.2 Características y preparaciones para la medición

Para caracterizar y modelar el ruido impulsivo asincrónico (aperiódico) en las líneas eléctricas, es necesario establecer características y condiciones que permitan datos favorables [10], [18], [19], [27], [33] - [36]. Para una medición correcta del ruido impulsivo, deben considerarse los siguientes parámetros:

3.2.1 Aparatos eléctricos generadores de ruido

Estos son pueden ser:

Congelador
Licuadora
Lavadora
Computador portátil
Televisión

Para el caso se muestran ruidos generados por un Licuadora.

3.2.2 Dispositivos de medición y frecuencia de muestreo

Se utilizó un osciloscopio Rigol DS-1052E y se tomarán 8120 muestras para cada medición.

3.2.3 Dispositivos de acoplamiento

Debe existir una etapa de acoplamiento entre la fuente de alimentación y los dispositivos y cargas de medición, para evitar dañar los picos de voltaje durante la conexión de las cargas. Es importante conocer la respuesta en frecuencia de la fuente de alimentación, de modo que no permita que entre ruidos innecesarios en el equipo de medición. La forma más básica de acoplamiento se muestra a continuación:

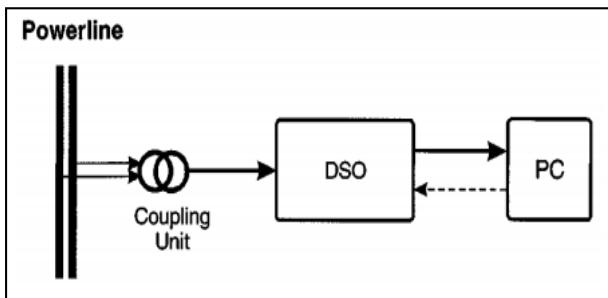


Figura 4. Diagrama esquemático del sistema de medición [10]. El acoplamiento más común es dado por un transformador, debido a que proporciona aislamiento galvánico. Es importante destacar que este transformador debe ser para altas frecuencias.

3.2.4 Filtrado de la frecuencia principal y los armónicos

Para evitar la intrusión de baja frecuencia (<1 kHz) que pueda afectar a la medición, es necesario utilizar un filtro de paso alto.

3.2.5 Horas en que se realizará la medición

Dependiendo del momento en que se pueda realizar la medición, el ruido de fondo de la red tiene diferentes niveles, siendo alto en las horas punta [18], [37], ya que en este momento el sistema de potencia tiene cargas mayores debido a que hay más usuarios conectados.

3.2.6 Software de almacenamiento y procesamiento de información

Las muestras generadas por el osciloscopio se guardaron en un portátil con procesamiento MATLAB® instalado, con el fin de realizar un análisis más profundo en el software de datos.

3.3 Condiciones para la medición

Puesto que se espera eliminar la frecuencia principal de la red y sus armónicos impares más cercanos, es necesario implementar un filtro de paso alto ya que la información de interés está en frecuencias de 1 kHz. La ventaja de los filtros pasivos es que no requieren polarización y ancho de banda elevado, en comparación con los filtros activos.

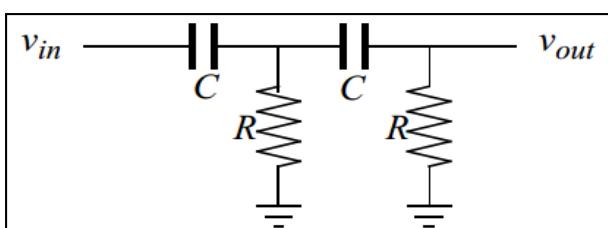


Figura 5. Esquema de filtro de paso alto de segundo orden compuesto por dos filtros de primer orden en cascada.

3.3.1 Simulación del filtro

El circuito fue simulado en el programa Multisim® y su implementación fue la siguiente:

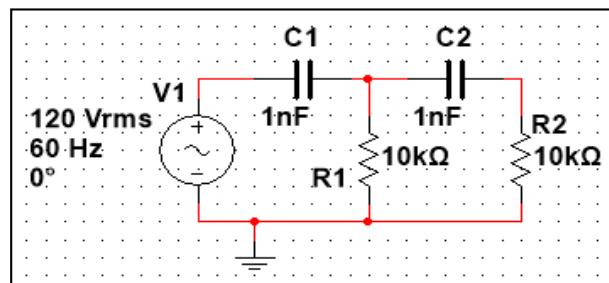


Figura 6. Filtro simulado

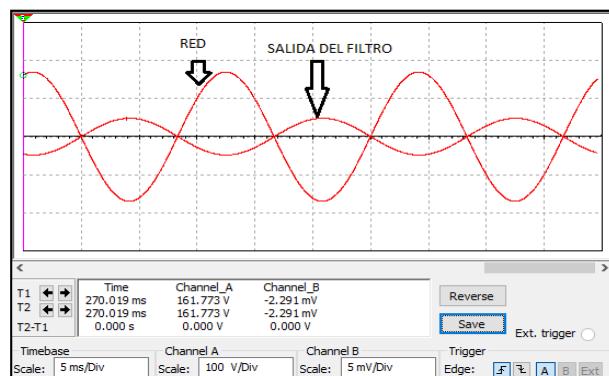


Figura 7. Respuesta del filtro a la frecuencia de 60 Hz, el canal (a) muestra la frecuencia de 60 Hz y el canal (b) muestra la respuesta del filtro donde el componente de 60 Hz tiene una amplitud inferior a 10 mVpp.

3.3.2 Ensamblaje de medición

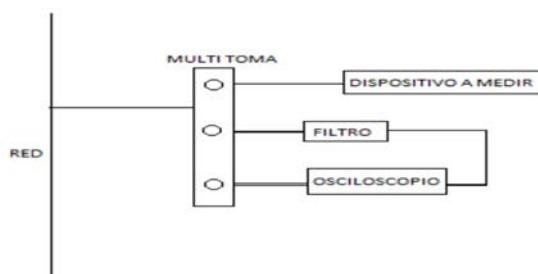


Figura 8. Diagrama de bloques del conjunto realizado para realizar mediciones



Figura 9. Arquitectura del circuito implementado para realizar las mediciones, de derecha a izquierda: osciloscopio, tapón y dispositivo de medición (Licuadora).

4. RESULTADOS

4.1. Procedimiento de medición

Se procedió a configurar el osciloscopio para que este se active solamente cuando detecte un flanco de subida de más de $50V/\mu s$, ya que de esta manera se asegura que solo se tome en cuenta los eventos impulsivos previamente definidos. El osciloscopio en donde se realizaron las mediciones RIGOL DS-1052E se configuró de la siguiente manera.

- Se conectó al canal 1 la salida del filtro mediante una sonda directa (sin atenuación), escala de 2V a 10V dependiendo de la amplitud del impulso que muestre el equipo generador de ruido de interés.
- Se conectó al canal 2 la frecuencia de la red mediante una sonda atenuada (10x) en escala de 10V.
- El modo de disparo del trigger se configura en modo pendiente con referencia a tierra, ésta pendiente varía desde $1V/\mu s$ hasta $50V/\mu s$ dependiendo de la duración del impulso (variable para cada equipo).
- Barrido de pantalla único de duración variable de $500\mu s$ hasta 5ms, para de este modo poder registrar los impulsos generados, bien sean aislados o en burst, es de resaltar que un periodo de la frecuencia de red cabe en una ventana de $5\mu s$.
- Para el almacenamiento de las muestras se usó una memoria USB, la profundidad de guardado se pone en máximo, logrando así guardar 8120 muestras por medida, en formato CSV, de las cuales son útiles las últimas 4000 que son las que quedan registradas a partir del disparo del trigger.

Además de ello, el proceso de medición fue el siguiente:

Para cada equipo generador de ruido, se procede a alistar el osciloscopio y dejarlo a la espera del flanco que genera el ruido y se procedió a cambiar de estado la fuente de ruido, en estas se llevaron a cabo cuatro mediciones y se registraron cuando estas aportan datos, estas son:

- Conexión a la multitoma.
- Desconexión a la multitoma.
- Encendido del equipo.
- Apagado del equipo.

La visualización de los datos obtenidos del osciloscopio se hizo mediante la elaboración de un algoritmo en Matlab, se creó una figura para la visualización de la información, para de esta forma registrar los parámetros correspondientes.

4.2 Mediciones con la Licuadora

4.2.1 Conexión a la red (enchufe)

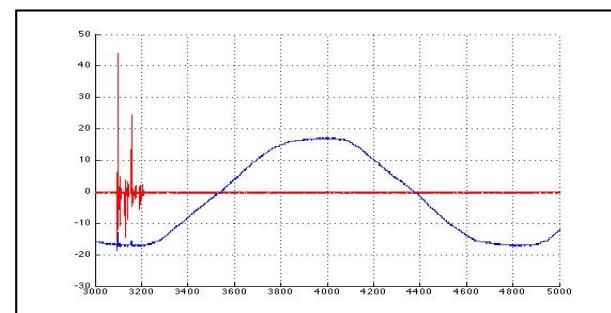


Figura 10. Conexión a la red eléctrica. Registro de ruido aperiódico - Primera muestra -

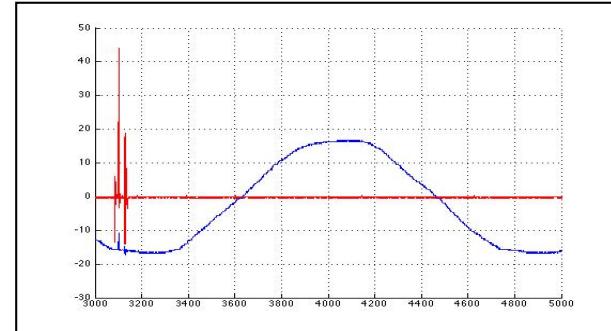


Figura 11. Conexión a la red eléctrica. Registro de ruido aperiódico - Segunda muestra -

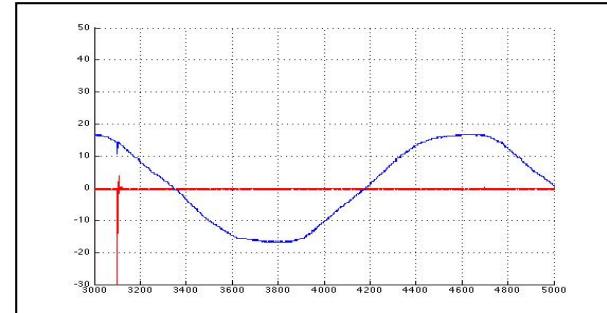


Figura 12. Conexión a la red eléctrica. Registro de ruido aperiódico - Tercera muestra -

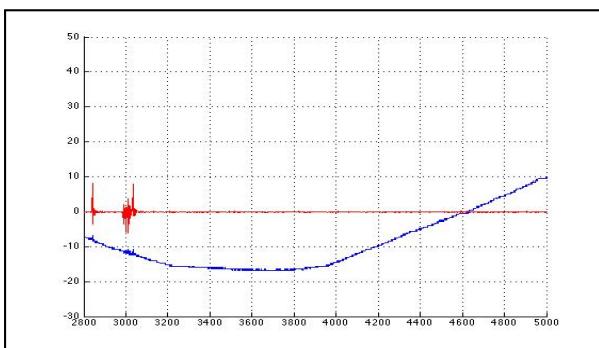


Figura 13. Conexión a la red eléctrica. Registro de ruido aperiódico - Cuarta muestra -

4.2.2 Desconexión de red

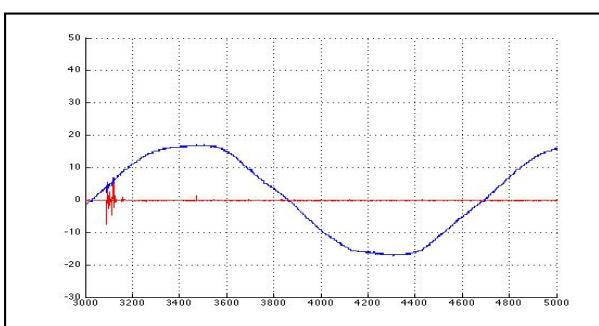


Figura 14. Desconexión de red. Registro de ruido aperiódico - Primera muestra -

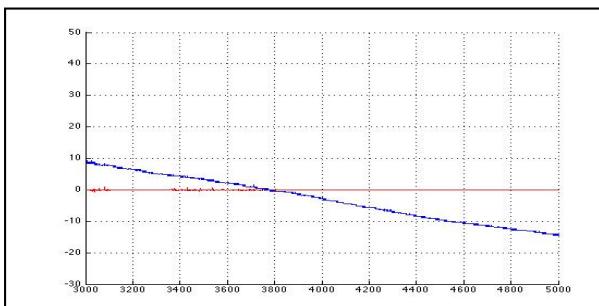


Figura 15. Desconexión de red. Registro de ruido aperiódico - Segunda muestra -

5. CONCLUSIONES

Las comunicaciones por línea eléctricas de potencia (PLC) tienen cinco (5) tipos de ruidos que afectan el correcto funcionamiento de este medio de comunicación de una forma u otra. Sin embargo, el ruido impulsivo asíncrono (aperiódico) genera más problemas para la pérdida de comunicación.

Dada la naturaleza del ruido impulsivo asíncrono (aperiódico) y su carácter estocástico, es necesario desarrollar un sistema de detección apropiado a partir de

filtros de segundo orden y en diferentes condiciones dentro de la red eléctrica.

Se determinó que el tipo de ruido obtenido en las prueba obedece a el ruido impulsivo asíncrono del grupo 2, es decir, que tiene un gran número de pulsos de amplitud aproximadamente igual que terminan de repente. Por lo tanto hay un alto contenido de ruido tipo "burst"

El ruido impulsivo asíncrono (aperiódico) tipo "Burst" por su amplitud y duración es el más crítico de los ruidos porque reduce la calidad de las comunicaciones por líneas eléctricas –PLC-, por este motivo se requiere hacer un análisis matemático para caracterizarlo, modelarlo y atenuarlo dentro de la red eléctrica

Para futuras investigaciones, dado que el ruido impulsivo asíncrono aperiódico es de tipo estocástico, es necesario realizar una mayor cantidad de pruebas con diferentes tipos de cargas y aplicar diversos procesos estadísticos que pueden conducir a la comprensión de este tipo de ruido y llegar a atenuarlo, entre ellos, las más distinguidas son los de Gauss, Poisson, Poisson-Gauss y las cadenas de Markov.

6. REFERENCIAS

- [1] Rehman A, Bashir N, Hassan N and Yuen C. "Impact of Home Appliances on the Performance of Narrow-Band Power Line Communications for Smart Grid Applications". IEEE 2016.
- [2] Mudrievskyi S. "Power line Communications: State of the art in research, development and application". AEUE International Journal of Electronics and Communications AEUE - International Journal of Electronics and Communications, 68, 575–577. doi:10.1016/j.aeue.2014.04.003, 2014.
- [3] Kuzlu M, Pipattanasomporn M and Rahman S. "Review of Communication Technologies for Smart Homes/Building Applications". IEEE Innovative Smart Grid Technologies Conference (ISGT-ASLA), Bangkok, Thailand, November 4-6, 2015.
- [4] Barmada S, Musolino A, Raugui M, Rizzo R and Tucci M. "A wavelet based method for the analysis of impulsive noise due to switch communications in power line communications (PLC) systems". IEEE Transactions on Smart Grid, Vol 2, No. 1, March 2011.
- [5] Zuberi K "Thesis Powerline carrier (PLC) communications system". Master of Science in Internetworking at royal institute of technology,



- [6] KTH IT –Universitylet, Kista, Stockholm, Sweden.
- [7] Radford D. "New Spread spectrum Technologies enable low cost control applications for residential and commercial use. Intellon corporation. .
- [8] Doster Klaus. "Power line communication". Prentice Hall PTR, New Jersey 2001.
- [9] Torres Maria del Pilar. "Revista de derecho informatico" No. 67 Febrero de 2004. Alfa Reds ISSN 1681-5726.
- [10] http://www.powerline.com.
- [11] Zimmermann Manfred and Doster Klaus. "Analysis and modeling of impulsive noise in broad band powerline communications". IEEE Transactions on Electromagnetic compatibility, Vol 44, No. 1, February 2002.
- [12] Hooije, O. "A channel model for the residential power circuit used as a digital communication medium. IEEE trans. Electromagn. Compat. Vol 40, pp 331-336. Aug 1998.
- [13] Philipps H. "Modeling of powerline communication channels". In Proc 3rd Int. Symp Power Line Communications and its applications. Lancaster, U:K 1999 pp 45-51.
- [14] Husein Arslan. "Time Frecuency analysis of noise generated by electrical loads en PLC". IEEE 17th International Conference on ommunications. 2010s.
- [15] Zimmermann, "Modeling and analysis of noise effects on broadband power-line communications". ISPLC 2000.
- [16] Balakirsky, "Modeling and analysis of noise effects on broadband power-line communications". ISPLC 2003.
- [17] _____, "Modeling and analysis of noise effects on broadband power-line communications", Power Delivery, IEEE transactions on, vol 20, No. 2 pp 630-637, April 2005.
- [18] Corropo f, Arrabal J, Del Rio L y Muñoz J. "Analysis of the cyclic short-term variation of indoor power line channels" Selected areas in communications, IEEE Journal on, vol 24, No. 7 pp 1327-1338, July 2006.
- [19] Mlynek Petr, Misurec Siri and Koutny Martin. "Noise Modeling for Power Line Communication Model". IEEE 2012.
- [20] Chandran Aniruddha, Gupta Aniket, Mailick Dhritiman and Kurmar Amresh. "Performance of BFSK over PLC Channel Corrupted with Background Nakagami Noise". IEEE 2010.
- [21] Yin Jun, Zhu Xu and Huang Yi. "Modeling of Amplitude-Correlated and Occurrence-Dependent Impulsive Noise for Power Line Communication". Signal Processing for Communications Symposium. IEEE ICC 2014.
- [22] Weyepe J.A., Snyders A.J. and Ferreira H.C. "Implementation of a Gap Recorder for Measuring Impulsive Noise Error Distributions in Power Line Communications Using the Fritzhma Model". IEEE International Symposium on Power Line Communications and its Applications 2012.
- [23] Güzelgöz Sabih, Celebi Hasan, Güzel Tayyar, Arslan Hüseyin and Mihecik Kivanc. "Time Frecuency Analysis of Noise Generated by Electrical Loads in PLC". 17th International Conference on Telecommuinucations. 2010.
- [24] Cortés José, Díez Luis, Cañete Francisco and López Jesús. "Analysis of the Periodic Impulsive Noise Asynchronous with the Mains in Indoor PLC Channels". IEEE 2009.
- [25] Degardin V, Lienard M, Zeddam A. "Classification and characterization of impulsive noise on indoor powerline used for data communications". Transactions on Consumer Electronics, Vol. 48, No. 4,November2002.
- [26] Kim Y, Bae J.N., and Kim J.Y. "Performance of Power Line Communication Systems with Noise Reduction Scheme for Smart Grid Applications". IEEE Trans, Consum.Electron. Vol 57. No. 1, pp 46-52, Feb 2011.
- [27] Al-Naffouri T.Y, Quadeer A.A., Al-Shaalon F.F. and Hmida H. "Impulsive Noise Estimation and Cancellation in DSL Using Compresive Sampling". IEEE ISCAS 2011.
- [28] P. a C. Lopes and J. a B. Gerald, "Improving bit error rate under burst noise in OFDM power line communications," Digit. Signal Process. A Rev. J., vol. 51, pp. 47–53, 2016.
- [29] Gaëtan Ndo, Fabrice Labeau and Marthe Kassouf. "A Markov Middleton model for bursty impulsive noise in modeling and receiver design". IEEE



- Transactions on Power Delivery, Vol 28, No. 4, October 2013
- [30] Tran Trung H, Do Dung D, and Huynh Tue H. "PLC Impulsive Noise in Industrial Zone: Measurement and Characterization". International Journal of Computer and Electrical Engineering. Vol 5, No. 1 February 2013.
 - [31] Chan Morgan and Donaldson Robert. "Amplitude width and interarrival distribution for noise impulse on intrabuilding poweline communications network". IEEE Transactions on Electromagnetic compatibility, Vol 31, No. 3, August 1989.
 - [32] Tlich Mohamed, Chaouche Hassina, Zeddam Ahmed. "Impulsive noise characterization at source". IEEE 2008
 - [33] Khangosstar Javad, Zhamp Li and MehboobAnsor. "An experimental analysis in time and frequency domain of impulsive noise over power lines". IEEE International Symposium on Power Line Communications and Its Applications2011.
 - [34] Antoniali Massimo, Versolatto Fabio and Tonello Andrea. "An experimental characterization of the PLC noise at the source". IEEE Tansactions on Power Delivery 2015.
 - [35] Kural Faruk and Safak Mehmet. "An experimental investigation of impulsive noise on low voltage powerlines".
 - [36] Krejci Jaroslav and Zeman Tomas. "Analysis and modeling impulsive noise generated by household appliances". Information and communication technologies and services, Vol 12, No. 1, March 2014.
 - [37] Saboliu Dubravko and Bazant Alen. "Indoor network noise in the broadband PLC range". CIRED 18th International Conference on Electricity Distribution. Turin, 6-9 June 2005.

