

MODULACIÓN GMSK PARA TRANSMISIÓN DE INFORMACIÓN A TRAVÉS DE LÍNEAS ELÉCTRICAS

GMSK Modulation on Power Line Communication

RESUMEN

En este documento se presentan los resultados obtenidos al desarrollar una simulación en el entorno de desarrollo integrado *Matlab*[®], a través de su *Blockset* de comunicaciones, en el cual se analizó el comportamiento de la modulación *GMSK* (*Gaussian Minimum Shift Keying*) frente a diferentes perturbaciones introducidas a un canal de comunicaciones constituido por un conductor eléctrico AWGN.

PALABRAS CLAVES: Canal de transmisión, espectro, filtro, modulación, oscilador controlado por voltaje, relación señal ruido.

ABSTRACT

This document presents the results to develop a simulation in the integrated development environment Matlab[®], through its Communications Blockset, which analyzed the performance of the GMSK (Gaussian Minimum Shift Keying) against different perturbations introduced to a communications channel comprising an AWGN electrical conductor.

KEYWORDS: *Transmission channel, spectrum, filter, modulation, voltage-controlled oscillator, signal to noise ratio.*

1. INTRODUCCIÓN

Actualmente, la transmisión de información ocupa uno de los escaños más importantes dentro de la escala de prioridades de desarrollo tecnológico, ya que el acceso a medios de comunicación más veloces y confiables asegura en gran medida el éxito de un individuo, de una industria, o incluso, de toda una nación. Sin embargo, aun en pleno siglo XXI, existen en el globo terráqueo sitios remotos que no se encuentran cubiertos por ningún tipo de sistema de comunicaciones, lo cual explica en gran medida la falta de desarrollo y la pobreza que se destaca como un común denominador de todos estos lugares (esto sin mencionar los atrasos que esta situación causa en el sistema educativo) [1].

Si bien el panorama en cuanto a redes de comunicaciones en sectores remotos es algo oscuro, la situación es menos preocupante si se analiza desde el punto de vista de la cobertura de las redes de distribución de energía eléctrica, ya que estas logran llegar a sectores apartados, debido principalmente a que su aparición se dio mucho antes que el de las redes de comunicaciones. Así pues, la situación descrita anteriormente, proporciona una estrategia de solución al problema de cobertura de las redes de comunicaciones, consistente en la utilización del amplio y confiable sistema de distribución de energía eléctrica, con el objetivo de transmitir información de manera eficaz hasta sectores muy apartados. La tecnología que hace posible esta novedosa aplicación de

ANDRES AGUDELO R.

Ingeniero Electricista
Universidad Tecnológica de Pereira
maucio_0719@hotmail.com

PABLO CESAR BERNAL G.

Ingeniero Electricista
Universidad Tecnológica de Pereira
pablobernal84@gmail.com

EDWIN ANDRÉS QUINTERO

Ingeniero Electrónico
Especialista en Pedagogía
Magíster en Instrumentación Física
Profesor Asistente
Universidad Tecnológica de Pereira
equintero@utp.edu.co

las redes de distribución de energía eléctrica, se conoce con el nombre de *PLC* (*Power Line Communications*) [2].

A pesar de lo anterior, el cableado de distribución de energía eléctrica se encuentra expuesto a un sinnúmero de interferencias externas con las cuales interactúa a lo largo de su extensión, tales como campos electromagnéticos de transformadores, interferencias de señales de *RF*, y a la intromisión de usuarios no deseados debido al hurto de energía. Todos estos aspectos hacen necesario establecer técnicas de modulación que permitan proteger la información transmitida por las líneas eléctricas, para así garantizar una comunicación veloz y confiable que logre conectar sitios recónditos con el mundo civilizado.

La técnica de modulación *GMSK* (*Gaussian Minimum Shift Keying*), derivada de *MSK*, resulta ser una modulación supremamente útil, ya que optimiza el uso del ancho de banda, al utilizar un filtro *Gaussiano* de pre-modulación, suavizando de esta manera la señal que se desea transmitir. Así pues, en el presente documento se presentan los resultados obtenidos al realizar la simulación de un sistema de transmisión de información a través de líneas eléctricas (*PLC*), implementando modulación *GMSK* con el objetivo de minimizar los efectos indeseados introducidos en la señal a transmitir, debidos principalmente a la presencia de armónicos indeseados de origen externo.

Fecha Recepción: 9 de Septiembre de 2010

Fecha aceptación: 15 de Noviembre de 2010

2. MODULACION GMSK (Gaussian Minimum Shift Keying)

GMSK es el acrónimo de Gaussian Minimum Shift Keying. Es un tipo de modulación derivada de la MSK (Minimum Shift Keying). GMSK es un esquema de modulación continua en fase. Se trata de una técnica que consigue suavizar las transiciones de fase entre estados de la señal, consiguiendo por lo tanto reducir los requerimientos de ancho de banda. Con GMSK, los bits de entrada representados de forma rectangular (+1;-1) son transformados en pulsos Gaussianos (señales de forma acampanada) mediante un filtro Gaussiano, para posteriormente ser suavizados por un modulador de frecuencia. En la figura 1 es posible apreciar como la fase se suaviza debido a la introducción del filtro Gaussiano, al hacer pasar la secuencia de datos 0100 por el modulador.

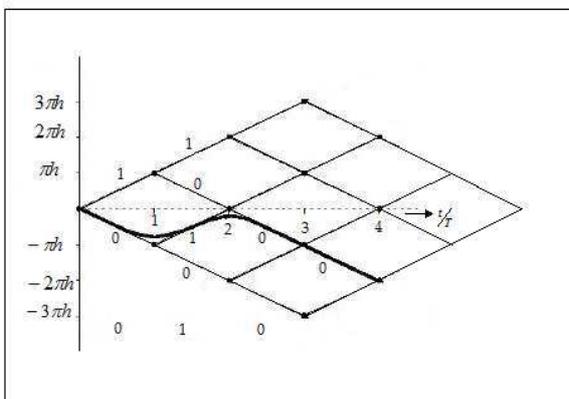


Figura 1. Diagrama de fase para GMSK.

En la mayoría de los casos, la duración del pulso Gaussiano supera la de un bit, dando lugar a lo que se conoce como interferencia inter-simbólica (ISI). El grado de esta superposición es determinado por el producto del ancho de banda del filtro Gaussiano y la duración de un bit. Este producto se conoce normalmente como BT. Cuanto menor sea el valor de BT mayor será el solapamiento entre pulsos Gaussianos. La portadora resultante es una señal continua en fase, lo cual es importante porque las señales con transiciones suaves entre fases requieren menor ancho de banda para ser transmitidas. Básicamente, en GMSK, los lóbulos laterales del espectro se reducen al pasar la señal codificada en NRZ (codificación digital polar sin retorno a cero [3]) a través de un filtro conformador de pulso Gaussiano. Por otra parte, este suavizado de la señal hace que el receptor tenga que realizar un trabajo mayor en la demodulación de la señal, ya que las transiciones entre bits no están bien definidas.

Además de usarse en la transmisión de datos por la red eléctrica, este tipo de modulación es muy utilizado también en redes celulares GSM, y en comunicaciones

aeroespaciales, debido fundamentalmente al poco ancho de banda necesario y a la robustez de la señal en medios hostiles. El filtro de premodulación está dado por:

$$h_G(t) = \frac{\sqrt{\pi}}{\alpha} \exp\left(-\left(\frac{\pi}{\alpha}\right)^2 t^2\right) \quad (1)$$

A continuación se presentará el modelo de un sistema de transmisión GMSK. En la Figura 2 se puede apreciar un sistema de transmisión que usa la modulación GMSK. A partir de este modelo es posible afirmar que:

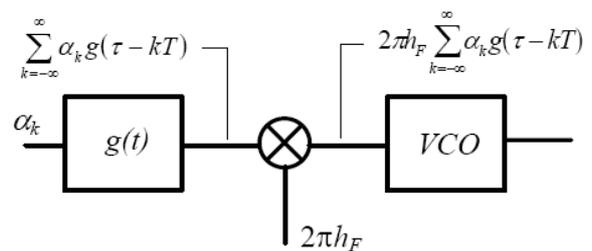


Figura 2. Esquema de un sistema de transmisión GMSK.

$$S(t) = A \cos[w_c t + \phi(t)] \quad (2)$$

$$\phi(t) = 2\pi h_f \int_{-\infty}^t \alpha_k g(t - KT) dt \quad (3)$$

Existen dos métodos para generar GMSK, uno consiste en la modulación por desplazamiento de frecuencia y el otro se realiza a través de la modulación por desplazamiento de fase en cuadratura [4]. En la Figura 3 se muestra la arquitectura de modulador GMSK basado en FSK. En este tipo de montaje se destaca el uso de un oscilador controlado por voltaje (VCO, Voltage controlled oscillator), utilizado con el objetivo de generar los desplazamientos de frecuencia.

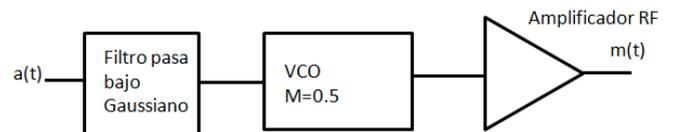


Figura 3. GMSK con FSK (Frequency Shift Keying Modulation).

La aplicación mostrada en la Figura 4 emplea un proceso de banda base en cuadratura seguido de un modulador de cuadratura. Con esta implementación, el índice de

modulación se puede mantener exactamente en 0,5. Este método posee además un menor costo de implementación.

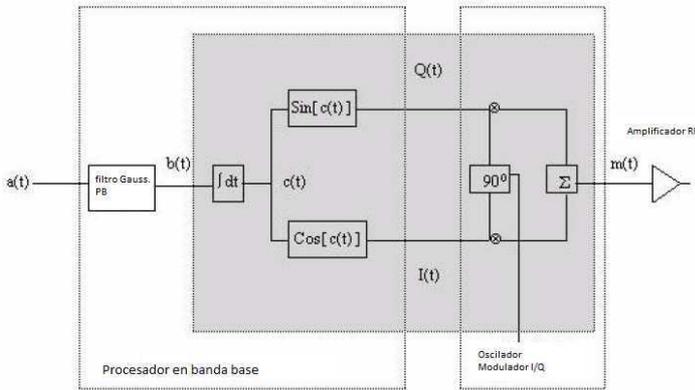


Figura 4. GMSK con QPSK (Quadrature Phase Shift Keying Modulation).

Las zonas entre el filtro pasa bajo y el amplificador, las cuales es posible observar en ambas figuras, cumplen con la misma función. Debido a problemas de tolerancia, la demodulación presenta algunas dificultades. El primer método requiere que el factor de desviación de frecuencia del VCO (Voltage Controlled Oscillator) sea exactamente igual a 0,5, pero el índice de modulación en los VCO convencionales oscila con la temperatura.

En términos generales, ambos métodos conducen a la misma señal modulada GMSK. El filtro Gaussiano pasa bajo tiene una respuesta al impulso relacionado a la siguiente ecuación [5]:

$$g(t) = \frac{1}{2T} \left[Q \left(2\pi B_t \frac{t-t/2}{\sqrt{\ln(2)}} \right) - Q \left(2\pi B_t \frac{t+t/2}{\sqrt{\ln(2)}} \right) \right] \quad (4)$$

Para:

$$0 \leq B_b T \leq \infty$$

Donde:

$$Q(t) = \int_t \frac{1}{\sqrt{2}} \exp \left(-\frac{x^2}{2} \right) dx \quad (5)$$

B_b : Es el ancho de banda del filtro gaussiano.

T : Es el periodo de los bits.

$B_N = B_b$: Es el ancho de banda normalizado.

3. SIMULACION Y RESULTADOS

El diseño y elaboración de esta simulación se llevó a cabo sobre el software *Matlab*[®], usando principalmente la herramienta de *Simulink*[®] con su *Blockset* de comunicaciones, el cual proporciona todas las ayudas necesarias para la elaboración de estas simulaciones. El desarrollo de la simulación de la modulación GMSK es relativamente simple. En la Figura 5 es posible apreciar el diagrama de la simulación GMSK utilizada para la obtención de datos estadísticos en el tiempo y en la frecuencia.

El desarrollo de esta simulación inicia con un generador de pulsos que representa la señal de datos que se va a transmitir, este generador posee una amplitud de 1 y un periodo en segundos de 0.022. Posteriormente, la señal ingresa a un discretizador con un tiempo de muestreo de $1,5 \times 10^{-6}$, para luego pasar por el modulador GMSK el cual tiene un producto BT de 0.3. Después de pasar por el modulador, la señal entra al canal AWGN donde se le adiciona una proporción de ruido referente a un $SNR=40$. Seguidamente la señal va hacia el demodulador GMSK, el cual posee los mismos parámetros que el modulador. En este punto la señal de datos es recuperada, para ser llevada a un osciloscopio y a un elemento de cálculo de tasa de errores (medidor de BER), para de esta manera realizar una comparación gráfica y numérica entre la entrada y la salida. El tiempo utilizado en esta simulación fue de 0,1s.

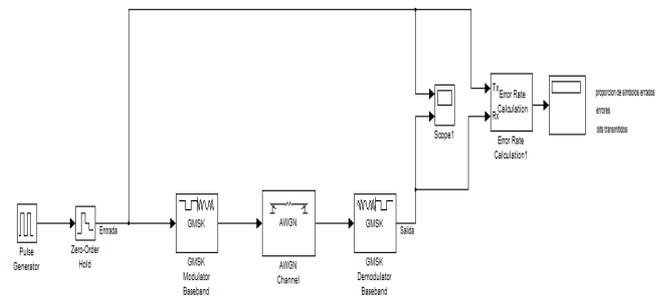


Figura 5. Diagrama de la simulación GMSK.

En la figura 6 se muestran las señales de entrada y salida involucradas en el sistema. Como entrada, se utilizó una onda cuadrada unipolar, cuyos posibles valores son solamente 0 y 1, simulando de esta manera los datos a transmitir.

Para la realización de esta modulación se manejó una relación señal ruido $SNR = 60$, evidenciándose de esta manera la presencia de un leve retraso entre la onda de salida y entrada, debido principalmente al tiempo de procesamiento requerido por los diferentes bloques que componen el sistema (ver figura 5).

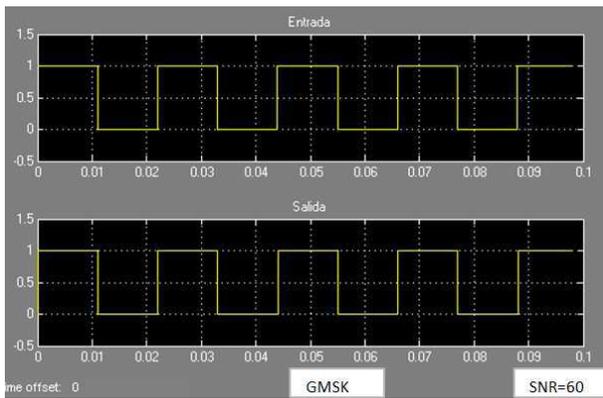


Figura 6. Señal de entrada y de salida en el dominio del tiempo GMSK.

Por otra parte, la tabla 1 muestra la respuesta de la modulación *GMSK* para un tiempo de muestreo de $1,5 \times 10^{-6}$ y un tiempo de simulación de 0,01s, realizando una variación en el *SNR* y manteniendo los parámetros nombrados anteriormente para observar su comportamiento.

SNR	tiempo de simulación 0,01 tiempo de muestreo 1.5e-6		
	bits transmitidos	bits errados	proporcion bits transmitidos y errados
5	6666	16	0,0024
10	6666	16	0,0024
20	6666	16	0,0024
40	6666	16	0,0024
80	6666	16	0,0024
160	6666	16	0,0024
320	6666	16	0,0024

Tabla 1. Análisis estadístico: relación señal a ruido vs proporción de bits errados *GMSK*.

Finalmente, se desarrolló un análisis en el cual se mantuvo constante la relación señal ruido, se varió el tiempo de simulación y se tomaron datos de la cantidad de bits errados en función del tiempo. Estos resultados se presentan en la tabla 2.

t de sim	SNR=40 tiempo de muestreo 1,5e-6	
	bits transmitidos	bits errados
0,001	66	16
0,015	1,00E+04	32
0,025	1,667E+04	48
0,035	2,333E+04	64
0,045	3,00E+04	80
0,065	4,333E+04	96
0,075	5,00E+04	112
0,085	5,667E+04	128
0,095	6,333E+04	144
0,1	6,67E+04	160

Tabla 2. Análisis estadístico bits errados vs tiempo de simulación *GMSK*.

Con el objetivo de observar si el sistema presenta un comportamiento lineal, se construyó una curva de número de bits errados vs. tiempo de simulación. La curva obtenida se presenta en la figura 7. Nótese que el comportamiento del sistema es bastante lineal, lo cual en

comunicaciones reviste gran importancia, ya que esta cualidad de los sistemas de transmisión define la aparición de errores debidos a distorsiones de retardo, conocidas como *jitter*.

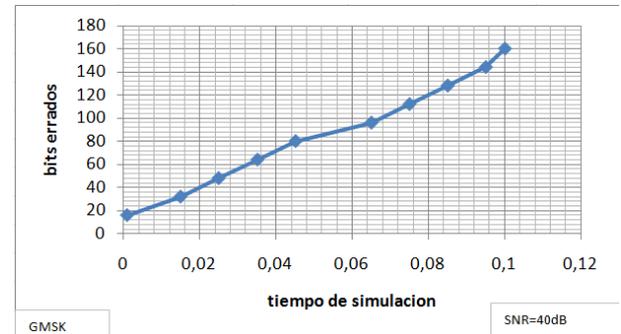


Figura 7. Bits errados vs tiempo de simulación *GMSK*.

Para finalizar, en la figura 8 se muestra el espectro de la señal recibida, representado sobre un rango de frecuencias positivas. Nótese como los armónicos indeseados dados por la relación señal ruido fueron eliminados gracias a la implementación de la modulación *GMSK* con el fin de transmitir los datos a través de una línea de transmisión *AWGN*.

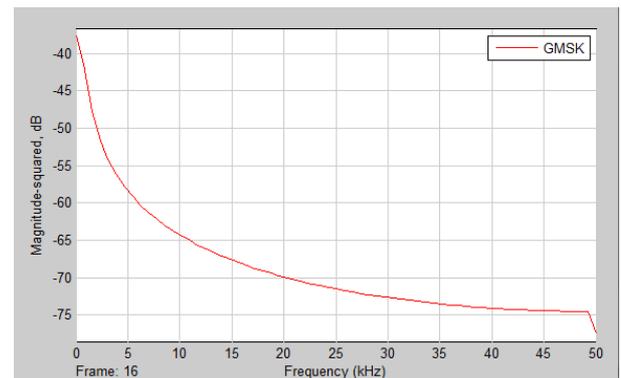


Figura 8. Espectro de la señal cuadrada presentada en el receptor, después del demodulador.

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

La modulación por desplazamiento mínimo *Gaussiano* *GMSK* resulta ser relativamente simple de implementar, además de ofrecer la ventaja de proteger la información transmitida de las perturbaciones externas a la línea de comunicación. Únicamente presenta una dificultad circuital consistente en la implementación del filtro *Gaussiano* de pre-modulación.

Gracias a los resultados obtenidos en este trabajo, es posible concluir que la modulación *GMSK* permite realizar una transmisión estable ausente de variaciones causadas por frecuencias instantáneas, siendo idónea para la implementación en redes *PLC*, aunque se encuentra limitada a zonas de baja potencia.

5. BIBLIOGRAFÍA

[1] EKOPLC, *La Tecnología PLC en los Programas de Fomento de la Sociedad de la Información*, 2004, Disponible en: <http://www.ekoplcn.net/noticias/programa-fomento/fundamentos-plc.htm>

[2] J. Álvarez, *Transmisión de Datos por la Red Eléctrica*, Disponible en: <http://www.victorgarcia.org/files/PLC-v2.0RC.pdf>

[3] S. Haykin, *Digital Communication Systems*, I Edición, Jhon Wiley & Sons, Londres, 2001.

[4] University of Hull, *Personal Communications Programme, Digital Modulation and GMSK, From the Report Entitled "Electromagnetic Compatibility Aspects of Radio-Based Mobile Telecommunication Systems"*, United Kingdom. Disponible en: http://www.emc.york.ac.uk/reports/linkpcp/pcp_emc.pdf

[5] B. Sklar, *Digital Communication:s Fundamentals and Applications*, Prentce Hall PTR, II Edición, New Jersey, 2000.