

INVESTIGACIÓN DEL EFECTO FLICKER EN UN SISTEMA INTERCONECTADO DE DOS GENERADORES

INVESTIGATION OF THE FLICKER EFFECT IN AN INTERCONNECTED SYSTEM OF TWO GENERATORS

Daniel Sánchez Jiménez

Tecnológico Nacional de México / IT de Ciudad Guzmán, México
m20291052@cdguzman.tecnm.mx

Jaime Jalomo Cuevas

Tecnológico Nacional de México / IT de Ciudad Guzmán, México
jaime.jc@cdguzman.tecnm.mx

Sergio Sandoval Pérez

Tecnológico Nacional de México / IT de Ciudad Guzmán, México
sergio.sp@cdguzman.tecnm.mx

José de Jesús García Cortes

Tecnológico Nacional de México / IT de Ciudad Guzmán, México
jjcortes@itcg.edu.mx

Isidro Ramos García

Tecnológico Nacional de México / IT de Ciudad Guzmán, México
isidro.rg@cdguzman.tecnm.mx

Recepción: 3/octubre/2021

Aceptación: 30/noviembre/2021

Resumen

Se ha desarrollado la investigación sobre el efecto flicker o parpadeo que se produce en un sistema interconectado de dos generadores eléctricos cuando existe una sincronización, disturbio o modificación en estos, se realiza una comparación del efecto cuando se produce por causas de los generadores y cuando se produce al conectar cargas a la red. Para la obtención de estos datos se realizaron pruebas en el software Simulink de Matlab donde se hace uso de un medidor de flicker que simula la percepción del ojo humano a través de una lámpara cuando se presenta el efecto y realiza una comparación entre los diferentes casos donde se obtiene el efecto con base en la severidad y el tiempo que permanece. A lo largo del artículo se menciona información referente al tema, así como antecedentes y referencias de trabajos similares para ayudar al lector a entender el presente tema, por último, se

presentan los resultados obtenidos en las simulaciones, se presenta la comparación y se da una respectiva conclusión.

Palabras Clave: Flicker, Simulink, Matlab, Generadores, Sincronización.

Abstract

Has been developed the research of the flickering effect that occurs in an interconnected system of two electrical generators when there is a synchronization, disturbance or modification in these, a comparison has been done between the effect when it occurs due to generators and when it occurs due to a load connecting to the network. To obtain these data, tests were carried out in Matlab Simulink software where a flicker meter is used to simulate the perception of the human eye through a lamp when the effect is presented and made a comparison between the different cases where the effect is obtained as a function of gravity and the time it remains. Throughout the article, information regarding the subject is mentioned, as well as antecedents and references of similar works to help the reader understand the present subject, finally, the results obtained in the simulations are presented, the comparison is presented and a respective conclusion is given.

Keywords: Flicker, Simulink, Matlab, generators, synchronization.

1. Introducción

La calidad de la energía según [1] es la combinación de voltaje ideal y corriente ideal, esto se refiere a las desviaciones entre el voltaje real y el voltaje ideal y con la corriente sucede igual. Los disturbios eléctricos afectan la calidad de la energía y dado que los sistemas eléctricos se encuentran interconectados pueden verse afectadas distintas áreas simultáneamente “Los armónicos y flickers son buenos ejemplos de problemas de calidad de la energía que se transfieren de una utilidad a otra a través de sistemas de energía interconectados” [2].

En el presente artículo nos enfocaremos en el flicker, el cual se puede describir como “variaciones continuas y rápidas de la corriente de carga de magnitud que causa variaciones de voltaje” [3], el efecto flicker se deriva del impacto de la

fluctuación de voltaje en las lámparas de modo que se perciba que parpadean por el ojo humano.

El visualizar este efecto provoca un grado de irritabilidad en el ser humano que puede provocar cansancio e incluso malestares. En [4] se llevaron a cabo pruebas de irritabilidad con diferentes personas y se realizó un análisis estadístico para determinar la factibilidad de utilizar el estándar IEC 61000-4-15 [5] que es uno de los estándares más populares en la medición de flicker.

El flicker suele ser generado en diferentes circunstancias, una de ellas es cuando una carga grande es conectada al sistema produciendo una baja en el voltaje, en este caso se observa un pico en la medición, pero luego se estabiliza, un ejemplo de carga es la activación de un compresor. Otra forma de generación del efecto flicker es el uso de cargas variables como lo pueden ser una soldadora del arco eléctrico donde el efecto puede permanecer durante todo el tiempo que se utilice esta carga, [6] y [7] son investigaciones sobre este tipo de cargas. El propósito de este trabajo es proveer información para otros estudios de investigación del efecto flicker. Información adicional sobre el efecto flicker y las fluctuaciones se puede consultar en [8]. En la figura 1 se muestra la forma típica de una señal de voltaje cuando el efecto flicker se presenta.

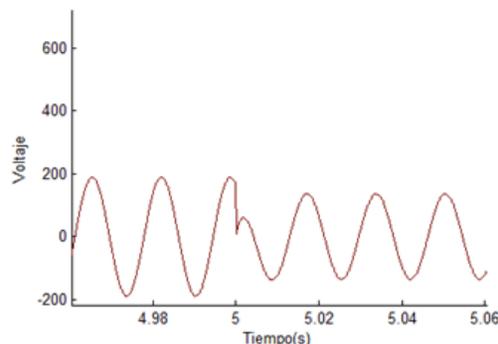


Figura 1 Señal de voltaje con efecto flicker.

2. Desarrollo

Medidor de flicker

Para realizar la medición del efecto flicker se utilizó un comando de Matlab llamado `power_flickermeter`, el cual fue desarrollado para ser utilizado en conjunto

con los bloques Simscape de Simulink y que está basado en el estándar IEC 61000-4-15, el desarrollo de este medidor se presenta en [9]. Este medidor ha sido utilizado en otras investigaciones, como en [10] donde fue utilizado para evaluar el efecto flicker en sistemas de energía renovable. El estándar en el que está basado el medidor de flicker se compone de 5 bloques. El primer bloque es un adaptador de voltaje para poderse utilizar con los componentes electrónicos que incluye el medidor sin que estos se vean afectados, está compuesto por un transformador de amplio rango de tensiones y un generador de señal para calibrar el dispositivo. El segundo bloque es un demodulador cuadrado que extrae la fluctuación de la señal que ha sido modulada por el disturbio. El tercer bloque está compuesto por 2 filtros, los cuales realizan la simulación de la percepción el ojo humano con una lampara. El cuarto bloque es básicamente un filtro pasa bajas para excluir señales no deseadas. El quinto bloque realiza un análisis estadístico de los datos obtenidos, este bloque no se incluye en el modelo trabajado en Simulink. En figura 2 se muestra el medidor de flicker utilizado el cual se basa en el estándar IEC 61000-4-15.

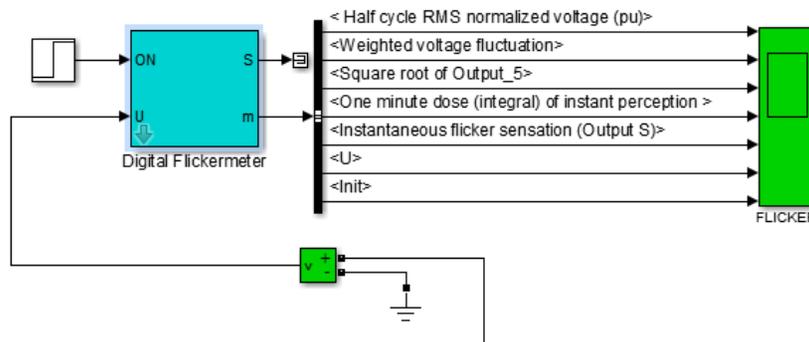


Figura 2 Medidor de flicker utilizado.

Obtención del efecto flicker durante la sincronización de dos generadores

El propósito de hacer pruebas con generadores es el verificar si se produce el efecto flicker cuando se realiza la sincronización de los generadores o cuando existe una perturbación en el sistema y si es así saber si es parecido al de una carga variable o una carga simple. Además, se hace una comparación de los efectos cuando son producidos por la agregación de cargas y cuando se crean por causa

de los generadores. Como un antecedente similar a esta investigación se puede referir a [11] donde se realiza la utilización de dos modelos de máquinas asíncronas en la simulación de perturbaciones que pueden tener como consecuencia variaciones lentas de tensión y aparición del fenómeno de parpadeo o flicker debidas a parques eólicos conectados a la red eléctrica y [12] donde se hace un estudio con sistemas fotovoltaicos y llegan a la conclusión de que no hay una correlación directa entre la producción de flickers y los sistemas fotovoltaicos. Otros estudios donde se relacionan generadores con el efecto de flicker son [13] y [14] donde se muestra el comportamiento del sistema cuando se realiza un salto de fase, en [15] se muestran estudios recientes sobre la mitigación del efecto por causas del salto de fase.

“Los generadores síncronos se caracterizan por un núcleo laminado de estator con ranuras uniformes, que aloja un devanado de CA de tres, dos o una fase y un rotor de saliente variable o excitado por corriente continua de CC” [16]. Para el uso y parametrización de los bloques de Simulink se utilizó como fuente de información [17]. La primera prueba realizada consistió en hacer una sincronización perfecta en la cual los parámetros de ambos generadores son iguales, en este caso solo se observa la señal escalón entrante que se usa para activar el medidor. En la figura 3 se observa la gráfica de la sensación instantánea del flicker obtenida por el medidor.

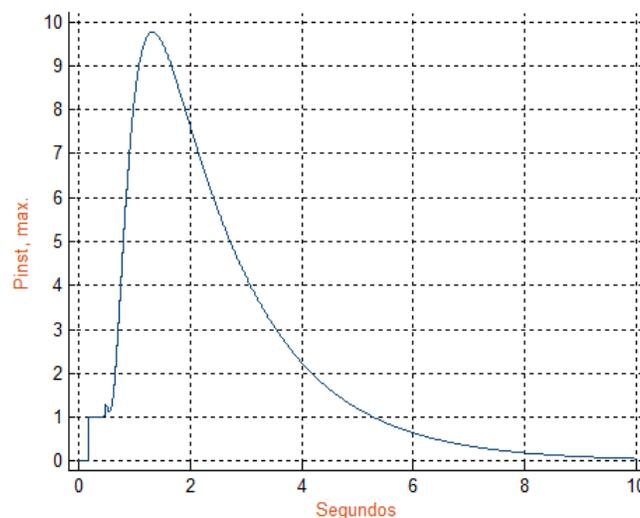


Figura 3 Sincronización correcta de generadores.

La gráfica anterior fue obtenida al realizar la simulación del acoplamiento de dos generadores en paralelo, en el segundo 5 se hace el enganche del segundo generador, pero al tener ambos generadores los mismos parámetros no surge un efecto. En la figura 4 se muestra la conexión de los generadores. El sistema empleado es de baja potencia, como el que se encuentra en una residencia común con 5 kVA por generador. En la figura 5 se muestran algunos de los parámetros utilizados en la máquina síncrona.

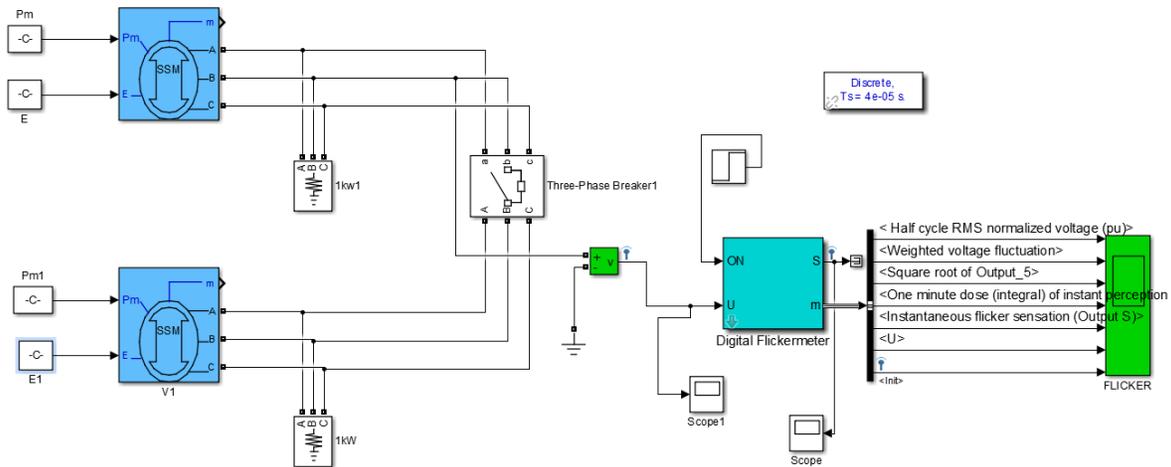


Figura 4 Conexión de generadores.

Simplified Synchronous Machine (mask) (link)

Implements a 3-phase simplified synchronous machine. Machine is modeled as an internal voltage behind a R-L impedance. Stator windings are connected in wye to an internal neutral point.

Configuration Parameters Load Flow

Nominal power, line-to-line voltage, and frequency [Pn(VA) Vn(Vrms) fn(Hz)]:

[5e3 230 60]

Inertia, damping factor and pairs of poles [H(sec) Kd(pu_T/pu_w) p()]:

[inf,0,2]

Internal impedance [R(pu) X(pu)]:

[0.22/15 0.22]

Initial conditions [dw(%) th(deg) ia,ib,ic(pu) pha,phb,phc(deg)]:

[0 1.43122 0.716215 0.716215 0.716215 -3.34575 -123.346 116.654]

Sample time (-1 for inherited)

-1

Figura 5 Parámetros del generador.

La segunda prueba realizada fue disminuyendo la frecuencia del generador a conectar a la mitad de la frecuencia del primer generador que son 30 Hz, la conexión se realiza en el segundo 5 con una configuración en paralelo entre ambos generadores. En la figura 6 se observa la señal obtenida en esta prueba.

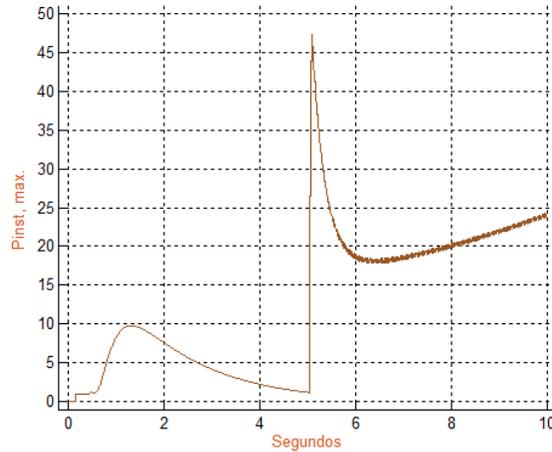


Figura 6 Efecto flicker por variación de frecuencia en los generadores.

En la figura anterior se observa una gran elevación en la percepción del flicker en el segundo 5 que es cuando se hace la conexión de los generadores, además se observa que la sensación instantánea del flicker continúa por lo que se puede considerar como una carga variable. Se realizó también la prueba con una frecuencia más cercana al primer generador que son 59 Hz. En la figura 7 se muestra el resultado.

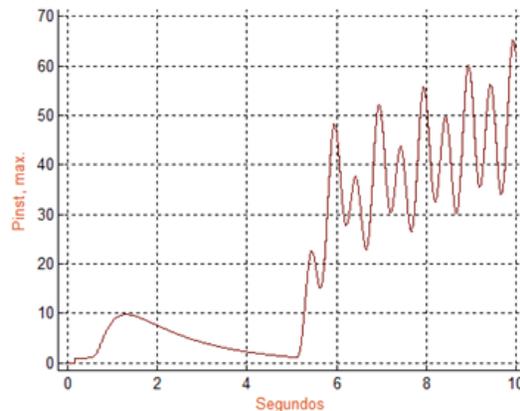


Figura 7 Efecto flicker por variación de frecuencia a 59Hz.

En la prueba con 59 Hz se puede observar una gran variación y un incremento de la percepción del flicker conforme avanza el tiempo. En la última prueba con los generadores se realizó una conexión errónea entre las fases de los generadores en el segundo 5. En la figura 8 se muestra la señal obtenida en esta prueba.

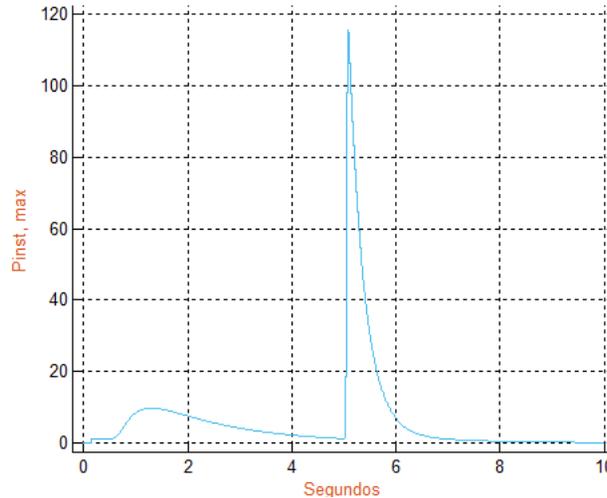


Figura 8 Flicker obtenido por conexión errónea de fases.

Se puede observar que en el caso anterior la severidad del flicker es mayor, pero este se estabiliza más rápidamente. Cabe aclarar que esta prueba en la práctica no podría ser realizable debido a que la mayoría de los generadores cuentan con protecciones en caso de este tipo de error.

Obtención del efecto flicker al agregar cargas a la red

Cuando se agrega una carga de gran potencia a la red suele producirse el efecto flicker, normalmente se trata de motores eléctricos de alguna máquina o electrodoméstico, pero puede tratarse de una carga puramente resistiva como puede ser un calentador o una lámpara. Para visualizar el efecto en simulación se agrega una carga puramente resistiva en el segundo 5 de la simulación. En la figura 9 se muestra la señal obtenida al agregar una carga puramente resistiva de 5 kW. Se puede apreciar un pequeño incremento en la percepción del efecto flicker cuando se conecta la carga, pero se estabiliza con gran rapidez. En la próxima prueba se agrega una potencia inductiva de 500 VAR, figura 10.

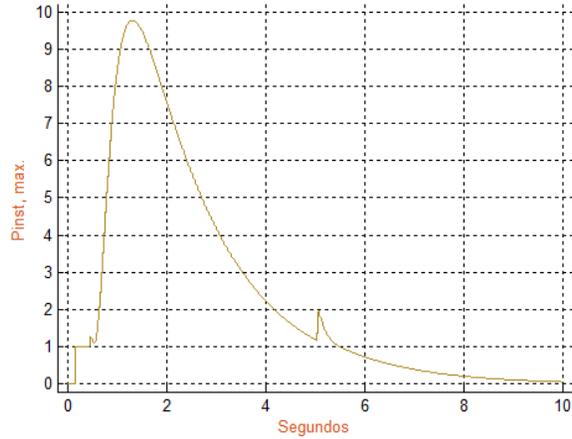


Figura 9 Flicker obtenido al agregar carga puramente resistiva.

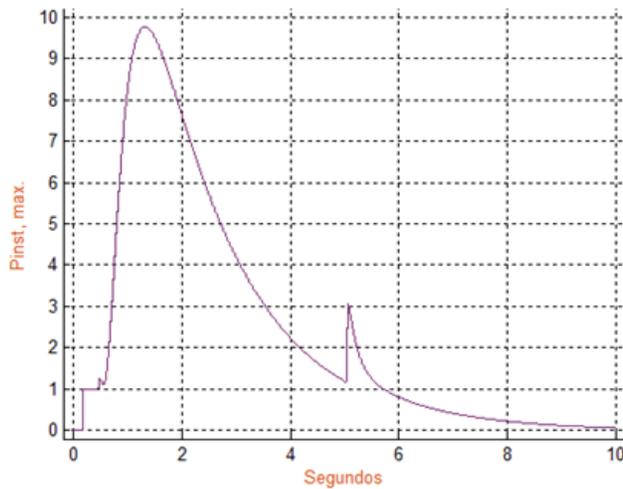


Figura 10 Señal obtenida con carga resistiva-inductiva.

Al revisar la prueba anterior se puede observar un ligero aumento de la severidad del flicker. Por lo que se pudiera esperar que, al utilizar por ejemplo un motor, el flicker sea más notorio. Para hacer una comparación se reemplazó la componente inductiva por una capacitiva de igual potencia, en la figura 11 se observa el resultado. Al contrario que la carga inductiva la carga capacitiva disminuyó la intensidad de la sensación del flicker, sin embargo, si se eleva demasiado la componente capacitiva se elevará también la percepción del flicker como se observa en la figura 12 que es la gráfica obtenida después de agregar 2000VAR de componente capacitiva.

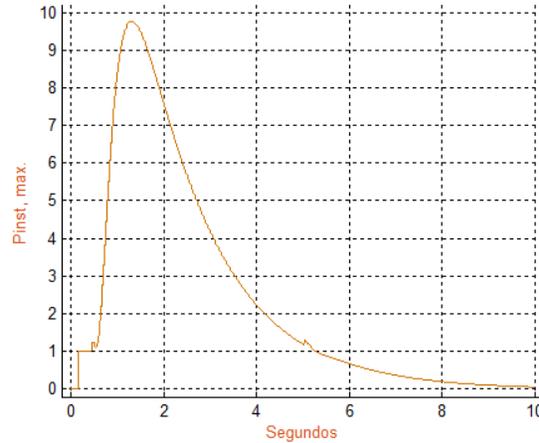


Figura 11 Señal obtenida de la carga resistiva-capacitiva.

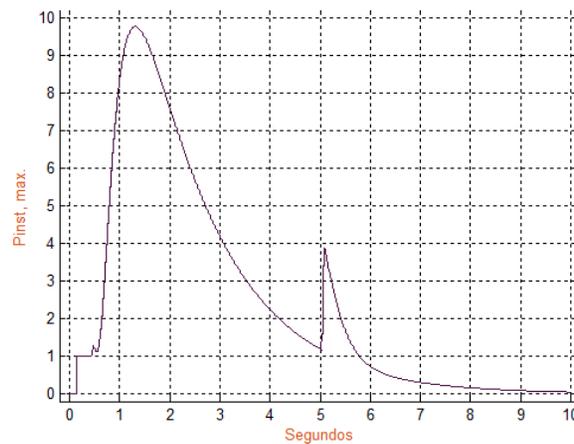


Figura 12 Señal obtenida incrementando la componente capacitiva.

En general es muy difícil ver valores de este tamaño en cargas capacitivas pero el efecto va de acorde a la proporción que se tiene de carga capacitiva conforme a carga resistiva o inductiva, es decir mientras mas grande sea la carga resistiva o inductiva mayor será la componente capacitiva que se necesita para contrarrestar el efecto flicker.

Comparación de los métodos de obtención del efecto flicker

En las secciones anteriores se mostró la severidad del efecto flicker utilizando diferentes métodos para su obtención, ahora se ilustrarán esos resultados en una tabla de comparación de manera que quede más claro las características que componen a cada uno. A continuación, se muestran las comparaciones en tabla 1.

Según la tabla 1 el método con el que más severidad tiene el efecto flicker es cuando se cambia la frecuencia de un generador a 59 Hz siendo este también el de mayor duración.

Tabla 1 Comparación entre las pruebas del efecto flicker.

Método	Percepción instantánea máxima	Duración en Segundos
Sincronización correcta	0	0
Sincronización con frecuencias 30 Hz	43	>5
Sincronización con frecuencia 59 Hz	65	>5
Sincronización con conexión errónea de las fases	115	1.5
Agregando una carga puramente resistiva de 5 kW	2	0.3
Agregando carga resistiva de 5 kW con componente inductiva de 500 VAR	3	0.3
Agregando carga resistiva de 5kW con componente capacitiva de 500 VAR	1.3	0.2
Agregando carga resistiva de 5kW con componente capacitiva de 2000 VAR	3.9	0.8

3. Conclusiones

Con lo investigado y el resultado de las simulaciones podemos concluir que un generador eléctrico puede ser también un generador de flickers cuando este no se encuentra totalmente estable ya que, si un generador perdiera un poco de velocidad y su frecuencia disminuyera con respecto al otro, se produciría el efecto, esto puede explicar por qué a veces parpadean las luces del hogar sin estar utilizando alguna carga crítica pero habría que constatarlo con más investigaciones por eso como trabajo futuro proponemos la realización de las pruebas de laboratorio con este sistema, para validar los resultados de simulación. Estas pruebas se encuentran en proceso de desarrollo y serán publicadas en un siguiente trabajo.

4. Bibliografía y Referencias

- [1] Bollen, M. H., & Gu, I. Y. (2006). Signal processing of power quality disturbances (Vol. 30). John Wiley & Sons.
- [2] Kennedy, B. W. (2000). Power quality primer. McGraw-Hill Education.
- [3] Gutiérrez, J. J., Saiz, P., Leturiondo, L. A., Azcarate, I., Redondo, K., & Lazkano, A. (2016). Flicker measurement in real scenarios: reducing the

- divergence from the human perception. *Electric Power Systems Research*, 140, 312-320.
- [4] Fuchs, E., & Masoum, M. A. (2011). *Power quality in power systems and electrical machines*. Academic press.
- [5] I. E. C. (2003). 61000-4-30, *Electromagnetic Compatibility (EMC)—Part 4: Testing and Measurement Techniques*. Power quality measurement methods.
- [6] Ozgun, O., & Abur, A. (2002). Flicker study using a novel arc furnace model. *IEEE Transactions on power delivery*, 17(4), 1158-1163.
- [7] Klempka, R. (2021). An Arc Furnace as a Source of Voltage Disturbances—A Statistical Evaluation of Propagation in the Supply Network. *Energies*, 14(4), 1076.
- [8] Cidrás, J., & Carrillo, C. (2002). El fenómeno del parpadeo. Universidad de Vigo. Dpto de Ingeniería Eléctrica: http://webs.uvigo.es/carrillo/publicaciones/Apuntes_Flicker_prot.pdf.
- [9] Bertola, A., Lazaroiu, G. C., Roscia, M., & Zaninelli, D. (2004, September). A Matlab-Simulink flickermeter model for power quality studies. In 2004 11th International Conference on Harmonics and Quality of Power (IEEE Cat. No. 04EX951) (pp. 734-738). IEEE.
- [10] Meshram, D. K. (2015) Power generation by renewable energy sources maintaining efficiency and power quality. In *Journal of Energy Research and Environmental Technology (JERET)*.
- [11] Feijóo, A. E., Carrillo, C., & Cidrás, J. (2000). Modelos de generadores asíncronos para la evaluación de perturbaciones emitidas por parques eólicos. *Proceedings of the X Reunión de Grupos de Investigación en Ingeniería Eléctrica*, Santander, Spain, 1-5.
- [12] Mombauer, W. (2006). Flicker caused by phase jumps. *European transactions on electrical power*, 16(6), 545-567.
- [13] Riepnies, A., Kirkham, H., Faris, A. J., & Engels, M. (2017, July). Phase jumps in PMU signal generators. In 2017 IEEE Power & Energy Society General Meeting (pp. 1-5). IEEE.

- [14] Niemi, A., Lehtonen, M., & AbdelHadi, H. A. R. (2017, September). Analysis of solar irradiance variations as a source of flicker associated with PV systems. In 2017 IEEE PES Innovative Smart Grid Technologies Conference Europe (ISGT-Europe) (pp. 1-6). IEEE.
- [15] Hu, Y., Siriburanon, T., & Staszewski, R. B. (2020). Oscillator flicker phase noise: A tutorial. *IEEE Transactions on Circuits and Systems II: Express Briefs*.
- [16] Boldea, I. (2005). *Synchronous generators*. CRC press.
- [17] Perelmuter, V. (2020). *Electrotechnical Systems: Simulation with Simulink® and SimPowerSystems™*. CRC Press.