

Recibido 13 Septiembre 2019. Aceptado 17 Diciembre 2019. Publicado 20 Diciembre 2019.

ISSN 2448-7775

Software para la simulación de parámetros en la compensación vectorial del factor de potencia

EFRAIN VILLALVAZO LAUREANO*, RAMÓN O. JIMÉNEZ BETANCOURT, SERGIO A. VILLA AVIÑA, MARCO A. PEREZ GONZÁLEZ, JUAN M. GONZÁLEZ LÓPEZ.

Facultad de Ingeniería Electromecánica, Universidad de Colima
villalvazo@uclm.mx (* Autor de correspondencia)
rjimenez@uclm.mx
svavina@uclm.mx
marcoperez@uclm.mx
jmgr60@uclm.mx

RESUMEN En este artículo se presenta un software para la simulación de los principales parámetros eléctricos en sistemas de una fase con cargas inductivas, empleados para la compensación del factor de potencia en forma vectorial. Primero se realiza un análisis del estado del arte sobre la importancia del factor de potencia en el impacto en los sistemas eléctricos de cualquier tipo; posteriormente se continúa con ejemplificación de diferentes parámetros en forma gráfica, apoyándose en Matlab-Simulink, después se muestra el código completo en forma extendida para lograr el objetivo de todas las funciones del software y posteriormente se explica la forma de ligar el código con algunos diagramas de Simulink. El trabajo busca impactar en los beneficios de la compensación de las redes eléctricas monofásicas con cargas tipo inductivas y su beneficio al compensar adecuadamente el sistema para mejorar el factor de potencia. Por último, se marcan las áreas de oportunidad o mejoras que se podrán realizar posteriormente.

PALABRAS CLAVE — Software, Factor de Potencia, Desfasamiento

I. INTRODUCCIÓN

El incremento de la potencia reactiva y aparente, hacen menor el factor de potencia (FP). Consecuentemente, la disminución de las capacidades de producción, transmisión y distribución de la línea es la secuela de los efectos del factor de potencia bajo [1].

Para optimar la calidad de la energía de una red de distribución, se aplican dos tipos de topologías de corrección del factor de potencia, la corrección del factor de potencia con dispositivos pasivos y la corrección del factor de potencia con dispositivos activos. La primera tiene una respuesta pobre dinámica y carece de regulación de voltaje. Por lo tanto, la otra se ha empleado para el desarrollo de más prototipos [2]. Sin embargo, en este software sólo utiliza una compensación dinámica vectorial para la visualización de todos los parámetros que involucran el FP, sin llegar a ningún método de solución del problema. La corrección del factor de potencia es uno de los mayores problemas para mantener la alta eficiencia en los sistemas eléctricos de potencia. El bajo factor de potencia conlleva a tomar potencia extra de la fuente para cumplir con la misma demanda de carga [3].

El grado de utilización de la potencia, depende del FP de las cargas conectadas a la red. La mayoría de las cargas en la línea

de distribución, de naturaleza inductiva, consumen gran parte de la potencia reactiva; como resultado, el FP de la carga se deteriora, lo que lleva a la limitación del flujo de la potencia activa en la línea [4]; por tal motivo es necesario contrarrestar las cargas inductivas, inyectando capacitancias al sistema.

La calidad de la energía se ha convertido en un tema muy importante, se busca que los sistemas eléctricos tengan un bajo contenido en los armónicos para dar como resultado un incremento en el FP, mejorando la calidad de la energía [5]. Es muy importante tener instrumentos de buena calidad en la medición de los parámetros de la calidad de la energía; porque una buena calidad en las mediciones es una garantía para lograr una alta eficiencia en el FP [6]. El incremento en los reactivos y potencia aparente decrecen el FP; por lo tanto, se reduce la capacidad de producción, transmisión y distribución de la energía eléctrica [7].

La media de las mediciones del FP en un lapso de 24 horas está prácticamente por debajo del 0.9, que toma una enorme cantidad de energía adicional, penalizada por las compañías de energía eléctrica [8]. Las dificultades técnicas que se generan por el bajo factor de potencia en los sistemas de distribución de la energía eléctrica son:

- Alto consumo de corriente.
- Incremento de las pérdidas en conductores.
- Sobrecarga de transformadores, generadores y líneas de distribución.
- Incremento de las caídas de voltaje.

Estos inconvenientes conducen a que se generen los siguientes factores:

- Incremento de la facturación eléctrica.
- Penalización de hasta un 120 % del costo de la facturación.

Al incrementar el factor de potencias se obtienen los siguientes beneficios:

- Reducción de los costos por facturación eléctrica.
- Eliminación del cargo por bajo factor de potencia.
- Bonificación de hasta un 2.5 % de la facturación cuando se tenga factor de potencia mayor a 0.9. [9].

II. DESARROLLO

Debido a la importancia que tiene el factor de potencia para mejorar la calidad de la energía en sistemas eléctricos de baja y alta tensión, es necesario mantenerlo en valores superiores a 0.9 para lograr un mejor aprovechamiento de la energía eléctrica; además del incremento en la demanda de energía eléctrica por el incremento en la producción industrial por un lado y por otro el incremento en el consumo de energía en los hogares debido a la adquisición de nuevos electrodomésticos, además de la necesidad urgente del cuidado de la energía y medio ambiente. Es prioritario hacer sistemas más eficientes, por lo que se optó por desarrollar un software que fuera capaz de simular los principales parámetros involucrados en la compensación del factor de potencia; de igual forma para brindar un panorama muy claro a los usuarios sobre el comportamiento dinámico de cada una de las variables que conforman este fenómeno; para con ello lograr una mejora en las variables eléctricas y por consecuencia aportar a la disminución de contaminantes por la producción de energía eléctrica, que en México la mayor parte son de fuentes provenientes del petróleo.

El primer punto para considerar es que cuando hay una línea eléctrica con cargas inductivas, se genera una disminución en el factor de potencia; entonces la corriente y el voltaje tienen un desfase de acuerdo con el valor de la carga, entre más grande es la carga inductiva; de forma inversa, el factor de potencia decreta aumentando el desfase. Para realizar las pruebas se empleó una carga inductiva (un motor eléctrico) conectado directamente a una fuente de voltaje alterno; el motor tiene las siguientes características técnicas: Motor monofásico abierto a prueba de goteo, serie Q2 A19, tensión 115/230 V, 60Hz, potencia 1.0 HP y 0.746 kW. Los datos del factor de potencia, voltaje, corriente y frecuencia se

tomaron con el medidor de calidad de la energía marca AEMC Instruments. Lo anterior se puede percibir en la Fig. 1; la cual cuenta con los siguientes datos: FP = 0.13, Voltaje = 127 V, Corriente = 60A y Frecuencia = 60Hz. Se observa claramente un gran desfase; debido al bajo factor de potencia.

Otro aspecto importante es que se genera un costo más alto de la energía para el desarrollo de la misma cantidad de trabajo efectivo. Esto debido a que la Comisión Federal de Electricidad incrementa los costos de la energía por el bajo factor de potencia y bonifica a los usuarios con un buen factor de potencia.

En la Fig. 2 se muestran las mediciones de los ángulos en forma gráfica del factor de potencia sin compensar y el compensado, el primero de 82.53° grados y el segundo prácticamente de cero; cuando no tiene la compensación el factor de potencia presenta un desfase de 82.53° grados y cuando se aplica la compensación se va a un valor muy cercano a los cero grados, que sería el valor ideal para cualquier sistema.

A causa de que en los sistemas eléctricos físicos hay diferentes niveles de voltaje, debido a las pérdidas en los diferentes elementos involucrados en la transmisión y distribución de voltaje; también se optó por probar con diferentes tipos de niveles de voltaje, corriente y factor de potencia con el propósito de analizar el comportamiento del desfase de la corriente y el voltaje. En la Fig. 3 se hacen ahora las pruebas con los datos de FP = 0.4, Voltaje = 130 V, Corriente = 70 A y Frecuencia = 60 Hz.

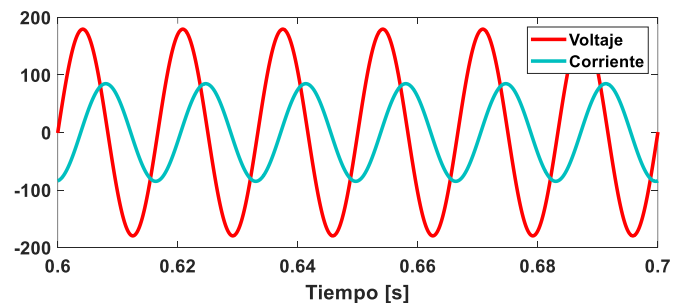


Fig. 1 Formas de onda con ángulo de 82.53, FP 0.13, 60A y 127 V sin compensar.

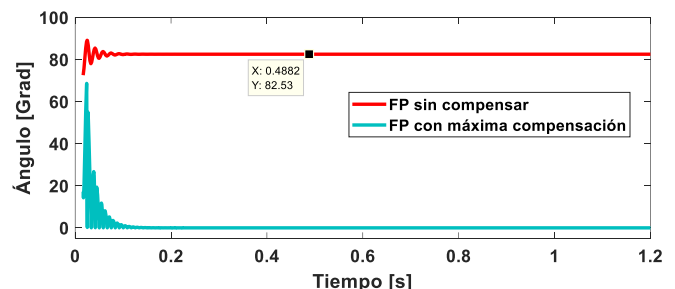


Fig. 2 Medición del ángulo de 82.53°, FP 0.13, 60A y 127 V sin compensar (rojo), y con compensación (azul).

En la Fig. 3 es posible observar que entre mayor es el factor de potencia es menor el desfase; esto implica que ambos se comportan de forma inversa; porque mientras uno aumenta el otro disminuye. En la Fig. 4 se visualiza la medición de los ángulos en forma gráfica, el primero sin hacer ninguna compensación dando como resultado un ángulo de 66.42° y el compensado tendiente a cero. De igual forma que en el caso anterior cuando no se tiene ningún tipo de compensación el desfase es alto, de 66.42°; sin embargo, haciendo el ajuste de la compensación tiende a valor muy pequeño cercano a cero grados.

Otras cosas que se pueden analizar con este Software es el cambio en la corriente del sistema eléctrico; puesto que sin compensar el sistema demanda de más corriente para realizar el mismo trabajo, y con una compensación al máximo la corriente disminuye notablemente, lo cual produce un ahorro importante de energía del sistema y, por lo tanto, una disminución en automático del gasto en pesos por rubro de energía eléctrica. Esto se puede visualizar claramente con la Fig. 5, mostrada en color azul, la corriente sin compensar con un factor de potencia de 0.13 con compensación nula, y en color rojo con una compensación al máximo.

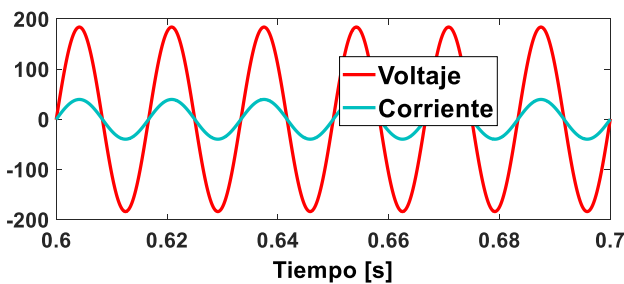


Fig. 3 Corriente y voltaje con un FP de 0.4 sin compensar.

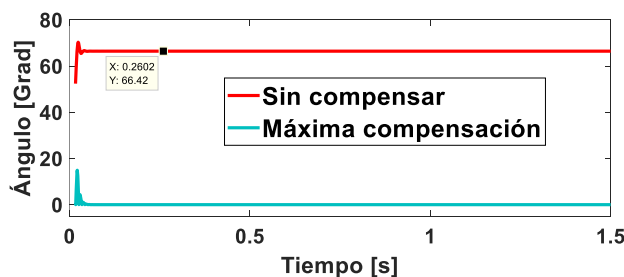


Fig. 4 Ángulo de 66.42° con FP 0.4 sin compensar (rojo), y con compensación (azul).

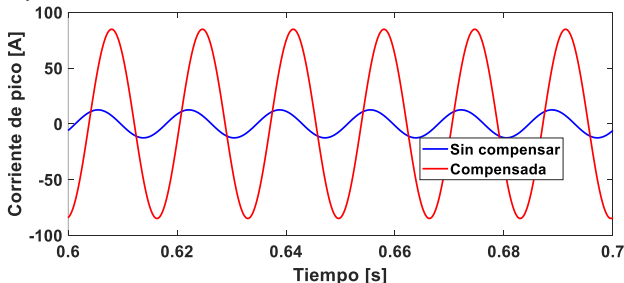


Fig. 5 Corriente pico con un FP de 0.13 sin compensar (azul), y con compensación (rojo).

Enseguida se muestra el código completo para el cálculo del factor de potencia.

```

clc
clear
v=127.;
f=60;
I=60;
fp=0.13;
theta=acos(fp);
m=fp:.01:1;
[r1 c1]=size(m);
c= zeros(size(m));
l=((v/I)*sin(theta))/(pi*2*f);
r=(v/I)*cos(theta);
p=v*I*cos(theta);
for n=1:1:c1
    fpd=m(n);
    thetad=acos(fpd);
    Id=I*cos(theta)/cos(thetad);
    Ic=I*sin(theta)-Id*sin(thetad);
    c(n)=Ic/(2*pi*f*v);
end
    
```

El código específico para el cálculo del ángulo se muestra en las líneas siguientes:

```

function Angulo = fcn(Fp)
    Angulo=acosd(Fp);
End
    
```

Como se observa en las líneas iniciales, primero el software se debe alimentar con los parámetros reales del sistema como es la corriente, frecuencia, voltaje y factor de potencia; posteriormente se continúa haciendo un recorrido en forma vectorial desde el factor de potencia real hasta la unidad con incrementos de 0.01. Posteriormente se continúa con el cálculo de los parámetros deseados, como la corriente compensada, los valores del factor de potencia y el capacitor. Cabe aclarar que para realizar la visualización de todos los parámetros que se procesan en el software es necesario ligar el programa con el siguiente diagrama en Simulink que se muestra en la Fig 6.

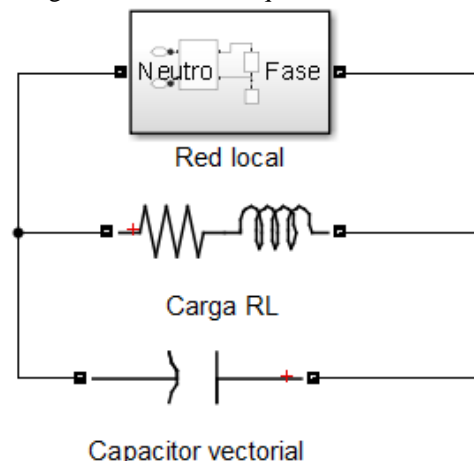


Fig. 6 Diagrama de enlace del Software.

Para el cálculo del ángulo de desfase se emplea un módulo de función para enlazar la última parte del código, Fig. 7.

En la Fig. 6, la parte nombrada como red local representa un sistema semejante a cargas de tipo resistivas e inductivas; las primeras no afectan el factor de potencia; no obstante, la segunda dependiendo del valor de la inductancia afecta en mayor o menor parte al FP. Para esto, el elemento de la parte inferior de la figura es un capacitor que se va a cambiar en forma dinámica por medio de un vector desde el programa de Matlab; el cual será recibido en Simulink. El capacitor está colocado en paralelo para lograr mejorar el FP, al inicio en los sistemas se colocaban bancos de capacitores fijos, pero en la actualidad todos los sistemas son dinámicos y este modelo permite visualizar en forma dinámica el comportamiento de varios sistemas con diferentes tipos de resistencias e inductancias; así como, de diversos valores de voltaje y de corriente.

III. CONCLUSIONES

Es un software amigable con los usuarios del área de ingeniería eléctrica o similar. También cuenta con la elaboración de gráficas con respecto al tiempo de los principales parámetros eléctricos; además es adaptable a las condiciones de cualquier red eléctrica monofásica. Es posible la comparación de los parámetros sin compensación del factor de potencia y con la compensación máxima del FP.

Los resultados que se obtienen con el software pueden aplicarse de forma directa a las redes eléctricas en forma real; sólo se deben ajustar los parámetros del programa a los de la red que se desea calcular. Sin embargo, como trabajo futuro o área de oportunidad se está trabajando para el cálculo con respecto al tiempo del costo beneficio de los sistemas compensados; y falta ligar el costo beneficio de la compensación con el precio de la energía con un buen factor de potencia y con un factor de potencia pobre.

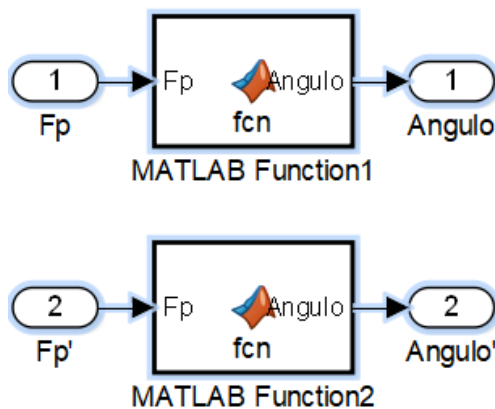


Fig. 7 Enlace del código del ángulo de desfase.

IV. AGRADECIMIENTOS

A la Universidad de Colima por su gran apoyo a la investigación de distintos tipos de proyectos y a PRODEP por su apoyo a la generación de conocimiento aplicado en México.

REFERENCIAS

- [1] Ramazan Bayindir, E. K. (2011). An Intelligent Power Factor Correction Approach Based on Linear Regression. International Conference on Machine Learning and Applications and Workshops, 313-315.
- [2] Sujata Powniker, S. S. (2016). Development of Active Power Factor Correction. IEEE International WIE Conference on Electrical and Computer Engineering (WIECON-ECE), 212-216.
- [3] Rahul K Garg, N. G. (2016). Experimental Analysis of Power Factor Correction Using Magnetic Energy Recovery Switch. IEEE 7th Power India International Conference, 1-6.
- [4] Sreejith.S, U. B. (2014). Application of D-STATCOM as Load Compensator for Power Factor Correction. International Conference on Control, Instrumentation, Communication and Computational Technologies, 595-600.
- [5] S. Hr. Aghay Kabolia, M. M. (2014). Controlling Methods for Power Factor Correction of Storage Devices Connected into Smart Grid. 3rd IET International Conference on Clean Energy and Technology, 1-6.
- [6] Zeinab Sudi, E. M. (2012). Correction in SEPIC Converter Utilizing Input/Output Voltage Waveforms Sampling. IEEE International Conference on Power and Energy, 1-6.
- [7] Ramazan Bayindir, E. K. (2011). An Intelligent Power Factor Correction Approach Based on Linear Regression. International Conference on Machine Learning and Applications and Workshops, 313-315.
- [8] Ke Wang, H. H. (2017). Study on Power Factor Behavior in High-Speed Railways. IEEE Transactions on Transportation Electrification, 1-11.
- [9] CFE (16/Feb/2019). Comisión Federal de Electricidad. Obtenido de: <https://app.cfe.mx/Aplicaciones/CCFE/Tarifas/TarifasCRECasa/Tarifas/TarifaDAC.aspx>

BIOGRAFÍAS



EFRAIN VILLALVAZO LAUREANO Doctor en Ingeniería por la Universidad Popular Autónoma del Estado de Puebla. Profesor en la Facultad de Ingeniería Electromecánica de la Universidad de Colima desde 1998. Sus áreas de interés comprenden los estudios de control automático, la electrónica, eficiencia redes eléctricas y lógica difusa.



RAMÓN O. JIMÉNEZ BETANCOURT Doctor en Ciencias por el CINVESTAV, nivel 1 del Sistema Nacional de Investigadores SNI. Ha desarrollado diferentes proyectos de investigación en sistemas eléctricos de potencia. Es profesor investigador desde 1999 en la Universidad de Colima.



SERGIO A. VILLA AVIÑA Estudiante de octavo semestre de la carrera de Ingeniería en Mecatrónica en la Facultad de Ingeniería Electromecánica de la Universidad de Colima, sus áreas de interés la robótica, mecatrónica y sistemas eléctricos de potencia; además de la eficiencia energética.



MARCO PEREZ Maestro en Ciencias por el CINVESTAV (2001). Profesor de la Facultad de Ingeniería Electromecánica de la Universidad de Colima desde 2000. Sus intereses académicos son el análisis y simulación del control y operación de sistemas eléctricos de potencia. La instrumentación virtual y la programación de herramientas didácticas.



JUAN MIGUEL GONZALEZ Doctor en Ciencias por el CINVESTAV (2009). Ha realizado estancias postdoctorales en la Universidad de Waterloo. Profesor en la Facultad de ingeniería electromecánica de la Universidad de Colima desde 2014. Sus áreas de interés comprenden el análisis de sistemas eléctricos de potencias, las energías renovables y la enseñanza de tópicos de ingeniería en el ambiente de realidad expandida y realidad virtual.