SISTEMAS ELÉCTRICOS INDUSTRIALES Y DE POTENCIA

PROPUESTA PARA EL MEJORAMIENTO DEL FACTOR DE POTENCIA EN LA UNIVERSIDAD CENTRAL "MARTA ABREU" DE LAS VILLAS

PROPOSAL FOR THE IMPROVEMENT OF THE POWER FACTOR AT THE "MARTA ABREU" CENTRAL UNIVERSITY OF LAS VILLAS

Ing. César Gallardo Sánchez[1], Ing. Reinier Herrera Casanova [2], Dr. Jorge Luis García Jacomino

1-César Gallardo Sánchez. Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas, Cuba.
E-mail: cgallardo@uclv.cu
2- Reinier Herrera Casanova. Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas, Cuba.
E-mail: rhcasanova@uclv.cu
3- Jorge Luis García Jacomino. Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas, Cuba.
E-mail: jacomino@uclv.edu.cu

Resumen: El factor de potencia es un indicador importante en os aspectos relacionados con el consumo de la energía eléctrica, por lo que debe mantenerse este parámetro dentro de los niveles establecidos. Mediante un estudio realizado a varios servicios de la Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas se pudo detectar que existían serias afectaciones en este parámetro. Por tanto, el objetivo fundamental de esta investigación es proponer una variante que permita elevar este parámetro a los niveles recomendados por la Empresa Eléctrica mediante la utilización de un banco fijo de capacitor que actualmente se encuentre en desuso en el centro. De esta forma se pueden reducir las afectaciones económicas y se mejora la calidad de del servicio eléctrico.

Abstract: *The power factor is an important indicator in the aspects related to the consumption of the electric energy, reason why this parameter must be maintained within the established levels. A study of several services of the "Marta Abreu" Central University of Las Villas revealed that there were serious affectations in this parameter. Therefore,*

the main objective of this research is to propose a variant that allows to raise this parameter to the levels recommended by the Electric Company through the use of a fixed capacitor bank that is currently in disuse in the center. In this way the economic effects can be reduced and the quality of the electric service is improved.

Palabras Clave: Factor de Potencia; Capacitores
Keywords: *Power Factor; Capacitors*

1. Introducción

El suministro de energía eléctrica a los servicios de cualquier demanda, teniendo en cuenta el aseguramiento y racional funcionamiento del Sistema Electroenergético Nacional es con un factor de potencia del cliente de 0,90.

En la inspección realizada por la Oficina Nacional para el Uso Racional de la Energía (ONURE) a la Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas en el mes de octubre del año 2016 se señalaron una serie de deficiencias relacionadas con el tema de la energía eléctrica, entre las cuales se encuentran las penalizaciones que presenta la entidad por tener un factor de potencia inferior a 0,9 en tres de los 12 servicios analizados, esto provocó una seria afectación económica de 3228,28 CUP en el año 2015 y 2663,71 CUP hasta el mes de agosto del año 2016, para un total de 5892,09 CUP en este período de tiempo.

Hasta este momento n se había realizado ningún estudio en la institución con el objetivo de solucionar este problema por lo que la presente investigación consiste en realizar una propuesta para solucionar en la mayor medida posible este problema. Este estudio se realizó tomando en cuenta datos históricos comprendido entre los años 2011-2016.

1.1. Análisis sobre el factor de potencia

A los efectos de la determinación de la facturación, el suministrador facturará la cantidad que resulte de multiplicar el importe de la cuenta correspondiente, sin incluir penalizaciones, por 0,92 y dividir el producto por el factor de potencia real (obtenido en la última comprobación efectuada), cuando este sea hasta 0,96, esto para la bonificación por factor de potencia. Para la penalización el suministrador facturará la cantidad que

resulte de multiplicar el importe de la cuenta correspondiente, sin incluir penalizaciones, por 0,90 y dividir el producto por el factor de potencia real (obtenido en la última comprobación efectuada), cuando este sea menor de 0,90.

Consideraciones:

- ✓ Se penalizará con un factor de potencia menor de 0,9.
- ✓ Entre 0,9 y 0,92, no habrá penalización ni bonificación, quedando la factura sin variación.
- ✓ Se bonificará con un factor de potencia de 0,92 hasta 0,96.
- ✓ Cuando el factor de potencia sea mayor de 0,96, se bonifica hasta 0,96.

La penalidad o bonificación por el factor de potencia se efectúa automáticamente y se informa en la facturación, aunque en una columna independiente.

A continuación, se muestran una serie de gráficos que muestran el comportamiento del factor de potencia en el período de tiempo analizado, debe aclararse que solo se muestran los servicios que presentan bajo factor de potencia.

Se puede ver que el servicio Cámara 3 presenta problemas con el factor de potencia en todos los años, en el caso del servicio Planta Piloto presenta afectaciones en el factor de potencia desde el año 2014 hasta el 2016 y en el caso del servicio Sede Pedagógica Banco 2 (Varela BCO2) presenta afectaciones desde el año 2012 hasta el 2016. Además, el estudio demostró que existen otros servicios que, aunque no fueron señalados por la inspección de la ONURE también presentan problemas con el factor de potencia, entre ellos se encuentran: Centralito, Centro de Bioactivos Químicos, Centro de Ingeniería Genética y Biotecnología y Facultad de Cultura Física Área 2.

Figura 1. Comportamiento del factor de potencia.

1.2. Factor de potencia y factores que influyen en su comportamiento

Cualquier máquina eléctrica (motor, transformador, etc.) alimentado en corriente alterna, consume dos tipos de energía:

• La energía activa (P) corresponde a la potencia activa medida en (kW), se transforma integralmente en energía mecánica (trabajo) y calor (pérdidas).

• La energía reactiva (Q) corresponde a la potencia reactiva medida en (kVAr); sirve para alimentar circuitos magnéticos en máquinas eléctricas y es necesaria para su funcionamiento. Es suministrada por la red o por condensadores previstos para ello.

• La energía aparente (S) es la potencia aparente suministrada por la red de distribución, medida en (kVA).

Una gran parte de los receptores o equipos industriales consumen potencia reactiva en su operación normal. Los motores eléctricos (desde 60 hasta 65%), los transformadores (un 25 %), las líneas aéreas, reactores, convertidores y otros equipos consumen el resto (desde 10 hasta 20 %) de la potencia reactiva total de carga del sistema, que puede llegar a ser comparable o aún mayor que la potencia activa en determinados tipos de receptores.

Una instalación industrial corriente tiene un factor de potencia natural que puede ser relativamente bajo en el rango de 0,6 a 0,8. Este bajo factor de potencia se debe a la presencia de motores asincrónicos subcargados, el uso de convertidores electrónicos para el suministro de corriente directa, la utilización de dispositivos de inducción, de unidades de climatización, y el empleo de lámparas fluorescentes en lugar de lámparas incandescentes.

El factor de potencia (F.P) de la instalación es el cociente de la potencia activa (P) consumida por la instalación y la potencia aparente (S) suministrada a la instalación.

El valor del factor de potencia está comprendido entre 0 y 1, un valor próximo a 1 indica un consumo de energía reactiva poco importante y optimiza el funcionamiento de una instalación.

$$FP = \frac{P(kW)}{S(kVA)} \qquad (1)$$

Con frecuencia el (cosφ) tiene el mismo valor que el factor de potencia, el valor para el (cos φ) se considera solo para una frecuencia fija (en el caso de Cuba 60 Hz). Sin embargo, en presencia de armónicos el (cos φ) no toma en cuenta la potencia transportada por los armónicos.

El factor de potencia medido es característico del tipo de carga, en la Tabla 7 se muestra el valor del (cos φ) para algunos aparatos.

Tabla 1. Valor del (cos φ) para distintas cargas.

Aparato	Carga(%)	(cos φ)	tan φ
Horno de inducción	-	0,85	0,62
Horno de resistencia	-	1,00	0,00
Soldador monofásico por arco	-	0,50	1,73
Soldadora rotativa	-	0,80	0,75
Lámpara incandescente	-	1,00	0,00
Lámpara fluorescente	-	0,50	1,73
Motor asincrónico	0	0,17	5,80
	25	0,55	1,58
	50	0,73	0,94
	75	0,80	0,75
	100	0,85	0,62

- ✓ **Problemas ocasionados por un bajo factor de potencia**

Problemas técnicos:

• Mayor consumo de corriente.

• Aumento de las pérdidas en conductores.

• Sobrecarga de transformadores, generadores y líneas de distribución.

• Incremento de las caídas de voltaje.

Problemas económicos:

• Incremento de la facturación eléctrica por mayor consumo de corriente.

• Penalización en el costo de la facturación.

- ✓ **Beneficios por corregir el factor de potencia**

Beneficios en los equipos:

• Disminución de las pérdidas en conductores.

• Reducción de las caídas de tensión.

• Aumento de la disponibilidad de potencia de transformadores, líneas y generadores.

• Incremento de la vida útil de las instalaciones.

✓ **Beneficios económicos:**

• Reducción de los costos por facturación eléctrica.

• Eliminación del cargo por bajo factor de potencia.

• Bonificación en la facturación cuando se tenga factor de potencia mayor a 0,92.

Puede entonces decirse que la afectación que se presenta en el factor de potencia de algunos servicios puede ser causada por la presencia de cargas eléctricas como las relacionadas en la tabla anterior, con una mayor incidencia de las lámparas fluorescentes no compensadas y de los motores asincrónicos subcargados. Por este motivo se hace necesario entonces buscar algún método que permita corregir el factor de potencia en los servicios afectados a un valor superior o igual a 0,9.

2. Metodología

El método de valoración del factor de potencia (F.P) es el que se detalla a continuación: el factor de potencia se determina mensualmente como resultado de la medición de la energía reactiva en el mismo período, obteniéndose la tanφ = kVAr.h / kW.h y para esta relación el coseno de φ correspondiente. En caso que el servicio no tenga instalado equipo de medición de energía reactiva, se tomará como factor de potencia del mismo el promedio resultante de mediciones realizadas durante 24 horas como mínimo.

Las cargas inductivas requieren potencia reactiva para su funcionamiento, pero esta demanda de reactivos se puede reducir e incluso anular si se colocan capacitores en paralelo con la carga. Cuando se reduce la potencia reactiva, se mejora el factor de potencia de la instalación. A continuación, se muestra el procedimiento que debe seguirse para determinar la potencia reactiva requerida para elevar el factor de potencia.

Potencia reactiva (Q) requerida para elevar el FP_1 a un FP_2:

$$Qc = P * [\tan(cos^{-1}FP1) - \tan(cos^{-1}FP2)] \quad (2)$$

Donde:

Qc = potencia reactiva que debe entregar el banco de capacitores, (kVAr).

P = potencia activa obtenida de la facturación de la energía eléctrica (kW).

FP1 = factor de potencia medio pesado de la instalación (El factor de potencia medio pesado es el que corrientemente se emplea por las empresas distribuidoras de energía eléctrica para facturar la energía que se suministra a una empresa industrial dada).

FP2 = factor de potencia que se quiere obtener después de la compensación.

Después que se obtenga la potencia reactiva debe dividirse este valor por el valor promedio del tiempo en el cual se efectuaron las mediciones para obtener el valor de potencia reactiva del banco.

3. Resultados y discusión

En el Centralito de la universidad existe un banco de capacitores que no se está utilizando, con las siguientes características:

Voltaje nominal: 460 V

Potencia del banco: el banco está formado por 12 unidades de 10 kVAr cada una, por lo que el banco puede entregar una potencia de 120 kVAr.

Por tanto, este banco se podría instalar en alguno de los servicios de la universidad que presentan afectaciones en el factor de potencia para solucionar este problema. A continuación, se aborda lo referente a la ubicación del mismo.

Todos los beneficios aportados por los capacitores se derivan de sus posibilidades de generación de potencia reactiva, las que permiten suministrar localmente dichas necesidades de reactivo a las cargas. La mejoría del factor de potencia, la liberación de capacidad eléctrica y la reducción de las pérdidas de potencia y de las caídas de voltaje se hacen efectivas desde el punto de ubicación hacia la fuente de suministro. Por lo tanto, los máximos beneficios de los capacitores se obtienen cuando estos se ubican cerca de las cargas.

Dentro de un circuito industrial los capacitores pueden tener las siguientes ubicaciones:

1) En los bornes de motores asincrónicos (unidad motor-capacitor).
2) En las pizarras de fuerza de baja tensión.
3) En los centros generales de distribución de baja tensión.

4) En el centro general de distribución de media tensión.

Para el caso de la universidad la ubicación más adecuada pudiera ser en los centros generales de distribución de baja tensión. Después de analizar una serie de cuestiones técnicas se llegó a la conclusión de que una posible ubicación del banco de capacitores pudiera ser conectar dicho banco por secundario del banco de transformadores que alimenta el teatro universitario, recordando que el efecto del banco se refleja aguas arriba y que por tanto puede mejorar el factor de potencia del servicio Planta Piloto que es en definitiva el que mayores afectaciones económicas presenta dentro de los servicios penalizados por bajo factor de potencia.

El banco de transformadores del teatro universitario es un banco trifásico compuesto por tres unidades monofásicas de 100, 100 y 167 kVA respectivamente que presentan conexión (Y-Δ), dicho banco se alimenta por primario a un voltaje de línea de 4,16 kV y por secundario se obtiene un voltaje cercano a 240 V. Pero el banco de capacitores presenta un voltaje nominal de 460V, por tanto, debe aplicársele una corrección por voltaje mediante la siguiente expresión:

$$Qtotal = Q * \left(\frac{V1}{V2}\right)^2 \quad (3)$$

Donde:

Q total = Potencia reactiva resultante después de aplicar la corrección por voltaje, (kVAr).

Q = Potencia reactiva del banco de capacitores, (kVAr).

V1 = voltaje de línea real, (V).

V2 = voltaje nominal del banco de capacitores, (V).

$$Q\ total = 120 * \left(\frac{240}{460}\right)^2 = 32.7\ kVAr$$

A analizar el resultado obtenido anteriormente se puede verse que el nivel de reactivo que se obtiene con esta variante es bastante pequeño, y aunque puede ayudar en alguna medida, no se resuelve el problema totalmente.

Otra solución podría ser reconectar el banco de capacitores a través del banco de transformadores que se encuentra ubicado en el centralito que fue donde siempre estuvo

conectado, aquí el inconveniente radica en que se incrementaran las pérdidas de energía debido a la energización de este banco de transformadores, además en estas condiciones el banco de capacitores debe entregar su potencia nominal (120 kVAr), como este es un banco fijo en horarios donde la carga sea baja, puede producirse un incremento del voltaje en algunos nodos de la red debido al alto nivel de reactivo que puede llegar a circular por la líneas, lo que podría ocasionar algunas afectaciones.

4. Conclusiones

Luego de realizar la presente investigación se arribaron a las siguientes conclusiones:

- Se analizó el comportamiento del factor de potencia en el centro determinándose que hay tres servicios que presentan problemas siendo el de *planta piloto* el que presenta las mayores afectaciones.
- Existen múltiples variantes para resolver este problema, pero se optó por la utilización de un banco fijo de capacitores que existía en desuso en el centro.
- La ubicación del banco puede ser en varios lugares, pero desde el punto de vista del aporte de reactivo la conexión más óptima es a 460 V en el centralito.

5. Referencias bibliográficas

[1] Guía técnica de la distribución eléctrica en baja tensión Schneider Electric. "Compensación de Energía Reactiva", 2001.

[2] IEEE Std. 141-1993: IEEE Recommended Practices for Electric Power Distribution for Industrial Plants.

[3] Departamento de Capacitación Schneider Electric. "Curso de Calidad de la Energía", 2015.