

Soldadura por Resistencia



Elspec North America Nota de Aplicación

A pesar de que se ha tomado todo el cuidado necesario para asegurarse de que la información contenida en esta publicación sea información correcta, no aceptamos responsabilidad alguna por cualquier inexactitud. Nos reservamos el derecho a alterar o modificar, en cualquier momento, la información aquí contenida, a la luz o como consecuencia de desarrollos técnicos o de otro tipo. Las especificaciones técnicas aquí expuestas son válidas única y exclusivamente bajo condiciones de operación normales. No aceptamos responsabilidad alguna por cualquier mal uso del producto y no aceptamos responsabilidad legal alguna por daños directos ni indirectos.

AN-APPWLD-0204-02-SP

I. Sumario:

Es un hecho conocido que el comportamiento como carga eléctrica de las máquinas de soldadura por resistencia se caracteriza por cambios extremadamente rápidos, bruscos (“picos”) de potencia total, kVA, uno de cuyos componentes más significativos, la potencia reactiva, kvar, exhibe un comportamiento similar. Esas fluctuaciones rápidas de la carga son la causa de caídas de voltaje y provocan además niveles altos de parpadeo (“flicker” ó “flickering”) los cuales con frecuencia no están en conformidad con los límites recomendados por IEEE y/ó IEC, y generalmente exigidos por las empresas proveedoras del servicio de suministro de energía eléctrica (“utilities”). Esos problemas de calidad de energía son frecuentemente la fuente de una baja confiabilidad del proceso de soldadura y de una baja calidad de la misma así como un factor limitante de la producción y/o los servicios ofrecidos por la planta donde se realiza dicho proceso. El Equalizer de Elspec, un verdadero sistema de compensación de potencia reactiva en tiempo real (RTPFC: Real Time Power Factor Controller) resuelve problemas asociados con caídas de voltaje generados por altos niveles y cambios rápidos en el consumo de potencia reactiva, mejorando la calidad de la soldadura eléctrica, elevando la producción, reduciendo los costos de mantenimiento, aportando ahorros en energía, mejorando en sentido general, los diversos aspectos del proceso de soldadura en la planta de producción.



II. Compensación de Potencia Reactiva Convencional:

El control convencional de la compensación de la potencia reactiva es realizado normalmente por un microprocesador dedicado que mide el factor de potencia promedio del sistema en el transcurso de un cierto número de ciclos de la red (a 50 Hz ó 60 Hz), lo compara con un valor prescrito (valor deseado) de factor de potencia y energiza los condensadores en una secuencia escalonada utilizando para ello contactores electromecánicos. Las etapas de los condensadores se conectarán en un mínimo de 5 a 10 segundos y la adquisición total de la demanda de potencia reactiva nunca ocurrirá en tiempo debido a que el ciclo de soldadura se completa, termina, después de solo 15 a 26 ciclos de red lo cual es, a 60 Hz, un tiempo que oscila entre 250 y 430 milisegundos.

Los contactores electromecánicos además de estar expuestos a deterioro mecánico a través de su vida útil, generan sobre-voltajes transitorios con valores pico que pueden alcanzar hasta 1.63 pu y en ciertos casos, superiores a 2.0 pu (ver IEEE Std. 141-1993, Capítulos # 6 y # 8). Tales sobre-voltajes transitorios pueden afectar la operación normal de los componentes electrónicos que se encuentran en los diferentes equipos sensitivos de la planta de producción. Otro efecto perjudicial de dichos sobre-voltajes transitorios, si no se proveen tiempos de descarga adecuados entre los períodos de conexión y desconexión de dichos condensadores, es que los mismos provocan una reducción significativa de los tiempos de vida útil de los condensadores.

Debido a su lento tiempo de reacción, tanto los condensadores fijos como los conmutados electromecánicamente no pueden impedir ni las caídas de voltaje ni el parpadeo ni tampoco proveer instantáneamente la potencia reactiva. Además, en aplicaciones de soldadura donde los cambios rápidos de carga dominan el perfil de su comportamiento dinámico, el impacto de esos sistemas convencionales es mínimo en aspectos tales como ahorro de energía, calidad del producto, producción y utilización de la capacidad instalada de producción.

La red eléctrica de una planta puede presentar problemas con armónicos, cuya identificación debe ser una prioridad importante antes de decidir la instalación de cualquier tecnología para la compensación de potencia reactiva. Los armónicos tanto de voltaje como de corriente, generados por las cargas no lineales de la planta, pueden amplificarse cuando son instalados sistemas convencionales de condensadores ya sean fijos o conmutados. Pueden agregarse en serie, con cada grupo o etapa de condensadores,

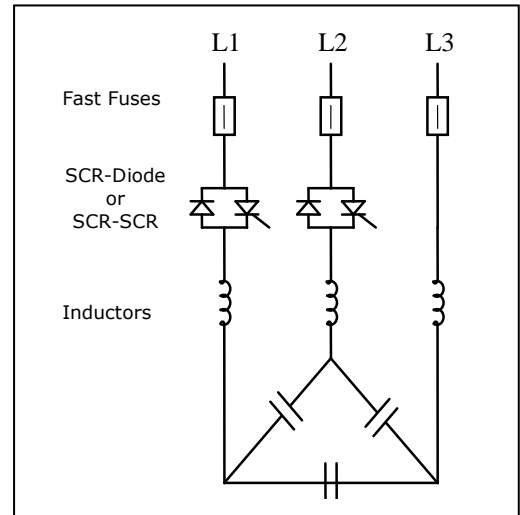
reactores sintonizados o no para evitar la resonancia y proveer un cierto grado de filtrado de armónicos. En el documento IEEE Std. 519-1992 se hace un resumen de los problemas relacionados con los armónicos, las condiciones de resonancia así como los límites recomendados de distorsión armónica en corriente y tensión.

FIGURA 1

Soluciones en Tiempo Real:

Los RTPF, que fueron diseñados para reemplazar a los equipos usados frecuentemente en soluciones para la compensación de potencia reactiva convencionales, utilizan elementos de conmutación electrónica que pueden energizar varios grupos (etapas) de condensadores sin generar sobrevoltaje transitorio alguno. La Figura 1 muestra un diagrama de bloques típico con fusibles de acción rápida para proteger cada fase así como cada interruptor SCR-Diodo o SCR-SCR conectado a inductores en serie con los grupos de condensadores.

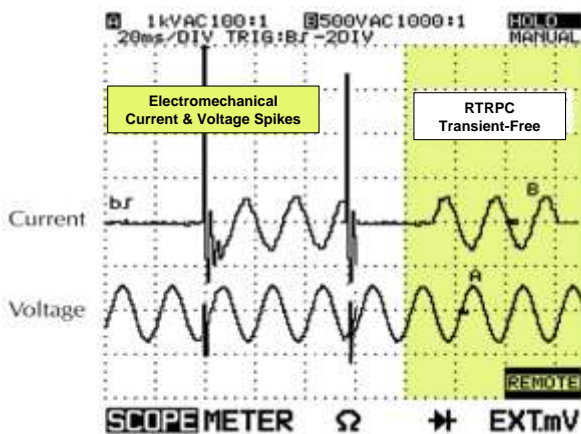
A diferencia de los interruptores basados en contactores electromecánicos, los elementos de conmutación electrónica no se gastan o deterioran durante el proceso de conmutación. Por lo tanto virtualmente no hay límite al número posible de operaciones de conmutación, revolucionando así los conceptos operacionales básicos de los sistemas de bancos de condensadores. Como resultado se obtiene una operación de conmutación de grupos de condensadores libre de sobre voltajes transitorios y se eliminan así los excesivos estreses por sobrevoltaje en los condensadores.



RTRPC

La Figura 2 ilustra gráficamente la diferencia operacional entre un sistema RTPFC conmutado estáticamente y un banco de condensadores convencional. Aunque actualmente existen en el mercado varios sistemas de condensadores conmutados estáticamente que ofrecen conmutación libre de sobrevoltaje transitorio y respuesta mejorada a demanda de potencia reactiva, esos sistema aún conectan la compensación en etapas o pasos.

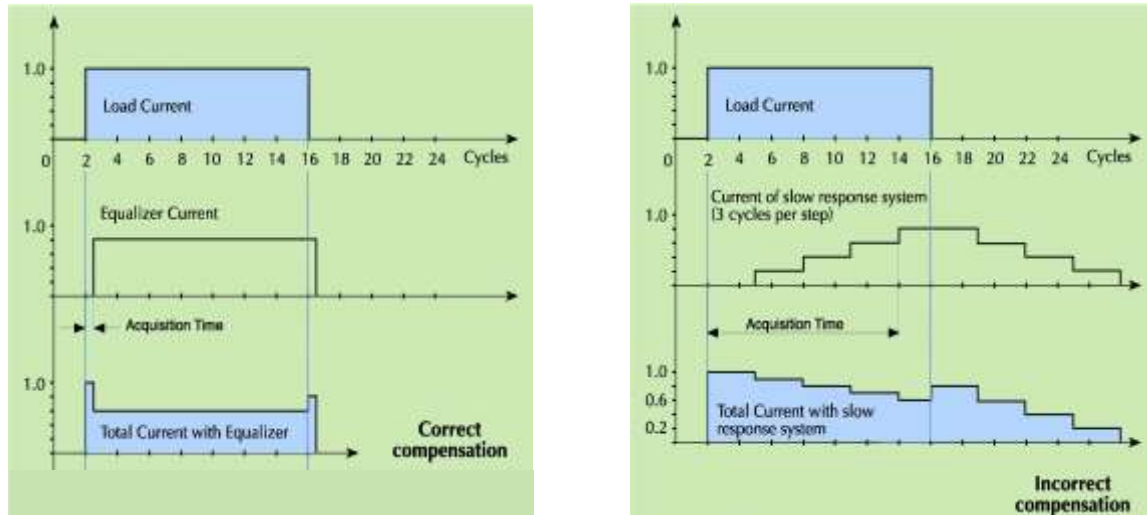
FIGURA 2



El criterio clave para aplicaciones de soldadura es el retraso antes de la adquisición total, i.e., el tiempo empleado por el sistema para la medición, el cálculo y la conexión de la demanda de potencia reactiva total. Los condensadores en los RTPFC verdaderos son mantenidos cargados todo el tiempo. Los algoritmos del controlador del Equalizer de Elspec aseguran que la conexión eléctrica completa a la red se realice en menos de un ciclo de red, que a 60 Hz representa un tiempo de entre 4 y 16.66 milisegundos, y en el momento del cruce por cero de la onda de corriente y cuando el voltaje de

pre carga del condensador es igual al voltaje de la red. La Figura 3 ilustra la diferencia de comportamiento entre un sistema RTPFC de Elspec con menos de un ciclo de tiempo de adquisición total y un sistema electrónico estándar con respuesta escalonada. Como puede observarse en esta representación gráfica, la red eléctrica recibe muchos más beneficios del sistema Equalizer de Elspec.

FIGURA 3



El arranque de un motor o grupo de motores de inducción que repiten de forma frecuente ciclos de arranque-para, así como las operaciones de soldadura eléctrica por resistencia, se caracteriza por demandar de la red eléctrica, por tiempos que pueden oscilar desde menos de un ciclo (soldadura eléctrica por resistencia eléctrica), hasta alrededor de varios ciclos de red e incluso llegar a varios segundos (motores de inducción grandes) valores altos de potencia reactiva, kvar (también de potencia activa, kW y consecuentemente de potencia total kVA). Un equipo como el Equalizer de Elspec es una solución para minimizar los efectos negativos de esos tipos de perfiles de carga rápidamente fluctuantes ya que provee casi instantáneamente la compensación de la potencia reactiva, eliminando virtualmente el parpadeo y mejorando el comportamiento de la estabilidad del voltaje. La naturaleza libre de sobrevoltajes transitorios de los elementos de conmutación hacen al Equalizer ideal no solo para grandes plantas industriales sino también para plantas con equipos y tecnologías en operación, cuyo funcionamiento confiable depende en gran medida de la calidad de la energía: es decir, plantas con cargas sensitivas tales como ocurre con los hospitales, clínicas, aeropuertos, bolsas de valores, centros de procesamiento de datos, etc.

A la faceta de compensación de potencia reactiva en tiempo real hay que agregarle otras características que incrementan aún más los beneficios que pueden ser obtenidos y las opciones que están disponibles, con el sistema Equalizer:

- Control y mayor estabilidad del voltaje
- Filtrado de armónicos
- Proveer potencia reactiva a la red
- Ahorro de energía
- Reducción de las pérdidas del sistema
- Reducción de los costos de mantenimiento
- Calidad mejorada del producto
- Más producción en menos tiempo
- Modos de operación y control del factor de potencia independientes
- Control remoto de los parámetros del sistema de compensación
- Analizador-registrador integrado de energía y de calidad de energía de la red trifásica
- Autodiagnóstico de prueba y reporte de errores
- Característica "Scan" para incrementar el tiempo de vida útil de los condensadores

III. Caída de Voltaje y Reducción del parpadeo:

La caída de voltaje es minimizada debido a la corrección del factor de potencia en tiempo real y a la reducción en el consumo de potencia reactiva de los transformadores de soldadura durante el ciclo de soldadura. Los dos diagramas siguientes, Figuras 4 y 5, ilustran la caída de voltaje provocada por la impedancia interna del transformador y la carga de la soldadura.

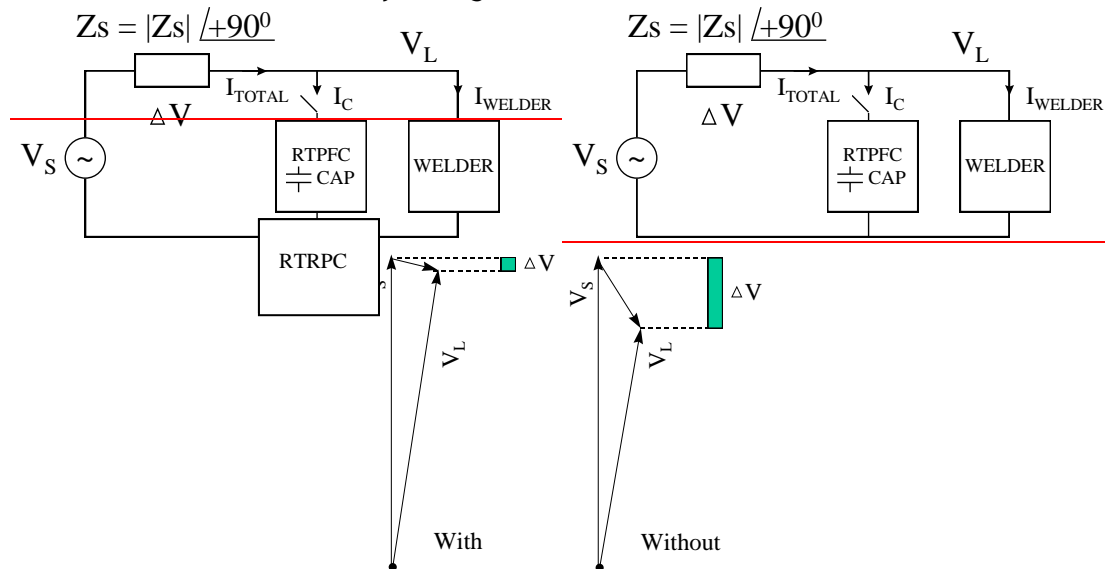


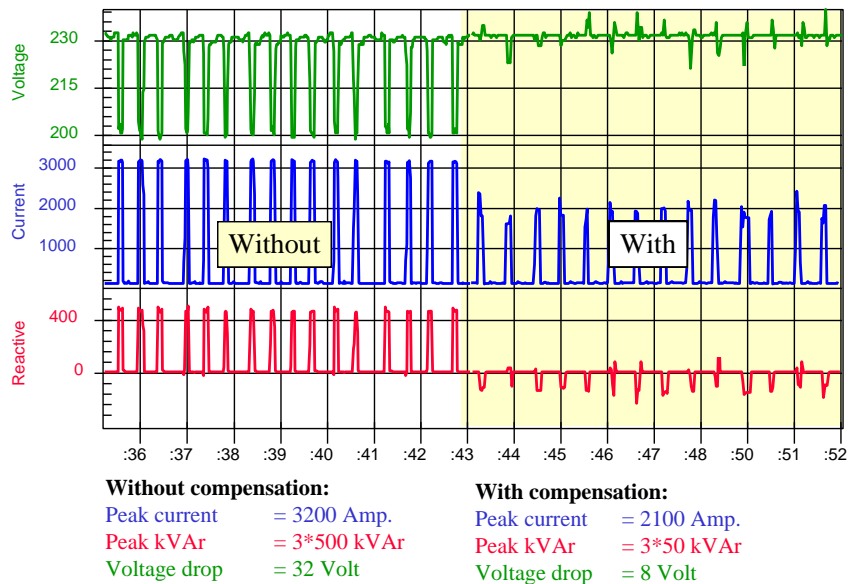
FIGURA 4

FIGURA 5

El transformador representa una carga inductiva y como tal introduce un desfase de 90° entre el voltaje y la corriente. Un dispositivo de soldadura es también una carga típicamente inductiva con un bajo factor de potencia que introduce un desfase adicional de $70-80^\circ$. Por lo tanto, la dirección del vector caída de voltaje, ΔV , se desplaza dos veces: primero debido a la impedancia interna del transformador y segundo debido a la corriente de la carga inductiva del soldador. Ver Figura 3 y Figura 4. El vector ΔV funciona en una dirección casi opuesta a la del vector de la fuente, i.e., V_s : voltaje de alimentación del transformador. La compensación del factor de potencia con el Equalizer de Elspec reduce sustancialmente la corriente y desplaza la dirección de la caída de voltaje en $70-80^\circ$. Como resultado, la caída de voltaje total se reduce drásticamente, estabilizando el voltaje de línea y eliminando la causa principal que provoca el “flickering”. Las soluciones de Elspec son reconocidas por las más importantes empresas eléctricas alrededor del mundo como aquellas que proveen soluciones en calidad de energía a compañías de soldaduras y que minimizan los problemas del parpadeo.

El siguiente gráfico ilustra el impacto masivo que tiene una máquina de soldar trifásica en el sistema eléctrico que alimenta a una planta industrial para la fabricación de mallas de alambre. La Figura 6 ilustra las fotos instantáneas de los parámetros de voltaje, corriente y potencia reactiva, kvar, “antes” y “después” de la ejecución de la soldadura por resistencia que une cada alambre de 12 milímetros de diámetro que conforma la malla. Este sistema en particular fue compensado con un Equalizer de 1,400 kvar el cual ofreció una respuesta de $\frac{1}{2}$ ciclo de red a la demanda de potencia reactiva total, lo cual redujo la caída de voltaje en un 75 %, i.e., desde un 13.8 % hasta un 3.4 %; redujo los picos de corriente hasta el 65 % de sus niveles anteriores y al reducir los picos de kvar en un 90 %, virtualmente eliminó todos los requerimientos de potencia reactiva al sistema de suministro de energía. La resolución ó tamaño de las etapas es aproximadamente el 50 % de la más pequeña etapa de condensadores en el sistema Equalizer: en este caso $\frac{1}{2}$ de 100 kvar = 50 kvar por fase.

FIGURE 6



IV. Calidad de la Soldadura y Mejoramiento del Resultado del Proceso.

En plantas de soldadura de mallas, donde se usan muchas máquinas de soldadura multipunto, es posible sincronizar el encendido (energización) de cabezas (electrodos) individuales de soldadura y en ese caso, tanto las fluctuaciones de corriente como de voltaje son más predecibles y por lo tanto más controlables con el Equalizer de Elspec. Los fabricantes de automóviles, suministradores de componentes de automóviles, así como compañías que fabrican partes y piezas metálicas, sin embargo, normalmente usan grandes números de máquinas de soldar para producir sus respectivos productos finales. En los lugares donde opera simultáneamente una gran cantidad de máquinas de soldar individuales, como por ejemplo ocurre en una planta de automóviles, el potencial de coincidencia de golpes de soldaduras es extremadamente alto, por lo que se producen perturbaciones de voltaje muchos mayores.

En la soldadura por resistencia eléctrica, la potencia suministrada a los puntos del equipo de soldar es directamente proporcional al cuadrado del voltaje. Una caída de voltaje de cualquier clase- dejando a un lado una grande en magnitud- se traduce directamente en una caída de la calidad de la soldadura, impactando tanto la penetración como la fortaleza de la soldadura misma. La siguiente ecuación aporta una representación matemática de la relación entre el por ciento de reducción en potencia suministrada al electrodo de soldar y las caídas de voltaje. Usando esta fórmula y el ejemplo mostrado en la Figura 6, una caída del voltaje del 13.8 % resultaría en una caída correspondiente en la potencia suministrada a los electrodos del soldador de alrededor del 26 %.

$$\%P_{del} = (1 - \%V_{drop})^2$$

$\%P_{del}$ = Por ciento reducción en potencia suministrada.
 $\%V_{drop}$ = Por ciento de caída de voltaje.

La Figura 7 detalla la medición, realizada por un consultante independiente, del impacto de un sistema Equalizer en la corriente de DC en el electrodo (ó cabeza) de soldar. Este soldador es uno de un total de 57 unidades instaladas en una línea de producción de una planta para la fabricación y el ensamblaje de chasis de automóviles.

En todo momento la estabilización de la corriente de DC de la cabeza de soldar, después de la instalación del Equalizer de Elspec, resultó en un perfeccionamiento de la calidad de la soldadura. Adicionalmente, el uso de los electrodos de soldar se redujo en un 27 % por un período de producción de tres turnos consecutivos, esto es, 24 horas. Fueron obtenidos ahorros adicionales a largo plazo debido a la reducción de tiempos perdidos y al incremento de los niveles de producción que resultó de una reducción de parada de las líneas de producción que antes eran frecuentes por la baja calidad de las soldaduras.

FIGURE 7

Los controladores de máquinas de soldar que utilizan retroalimentación a lazo cerrado para monitorear la potencia suministrada a cada soldador pueden obtener grandes beneficios de una solución de Elspec. Si se mantiene durante el ciclo de soldadura un nivel de potencia por debajo del umbral requerido predeterminado, el controlador de lazo cerrado de soldadura inicia un re-golpe de soldadura. El número de veces que ocurre un re-disparo de soldadura afecta directamente de forma negativa la productividad de cualquier ciclo del proceso. La causa más común de un re-disparo es el bajo voltaje, y con un sistema RTPFC verdadero que reduce significativamente las caídas de voltaje (“sags”), puede esperarse claramente que incremente la salida del proceso (elevación de la producción). La Figura 8 ilustra el impacto de un sistema Equalizer de Elspec en los parámetros de voltaje, corriente y potencia reactiva, kvar, de una línea de ensamblaje de automóviles.

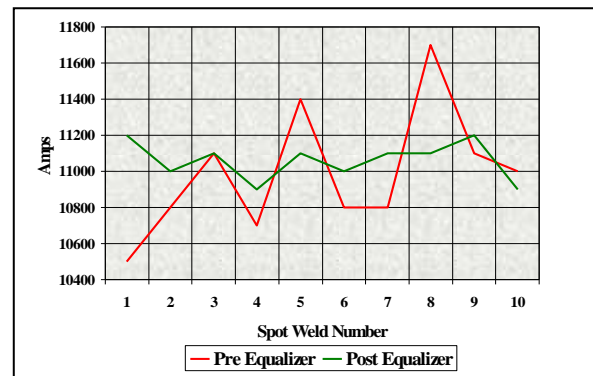
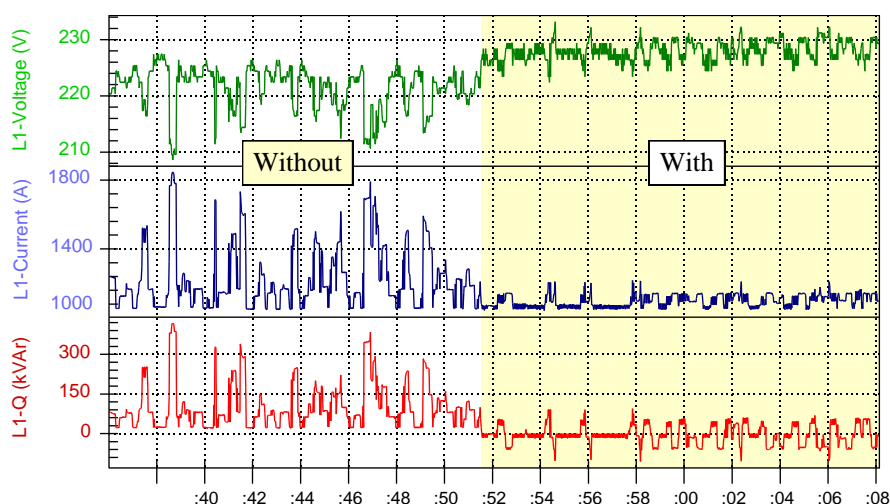


FIGURE 8



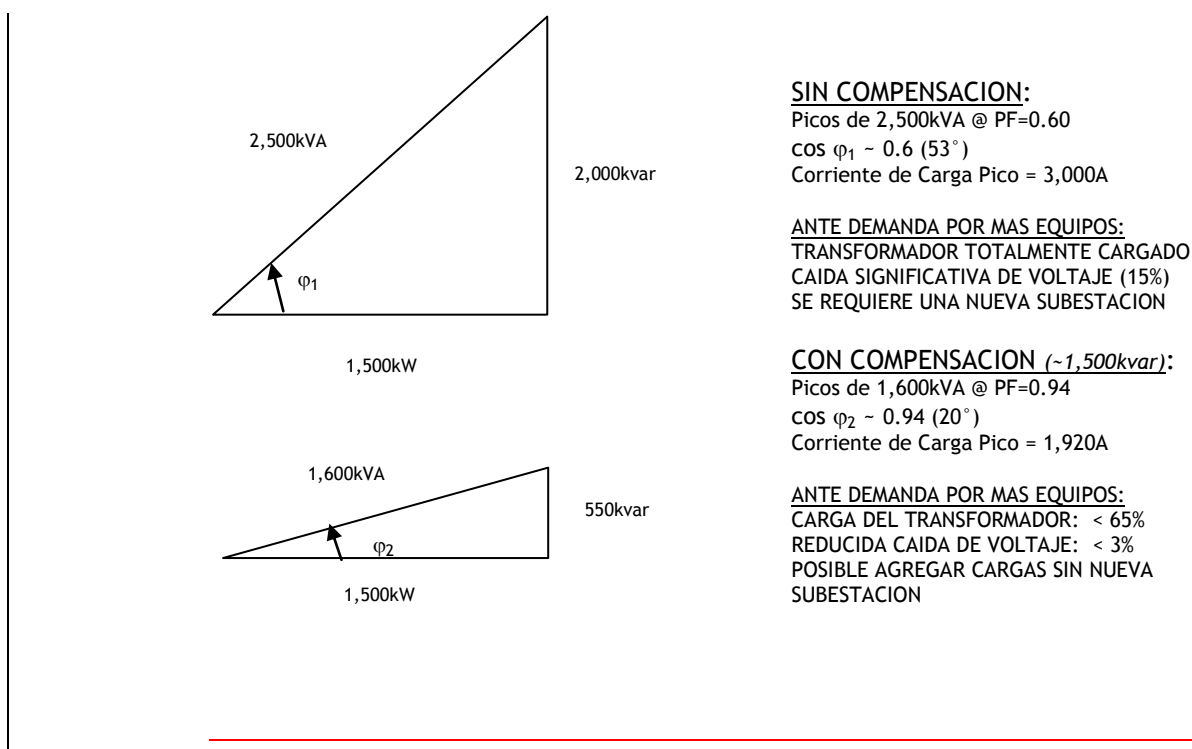
V. Se Incrementa la Capacidad del Sistema y se Reducen las Pérdidas.

La compensación de potencia reactiva reduce la magnitud de la potencia aparente, kVA, y su corriente de carga asociada. Todos los puntos “aguas arriba” del punto de conexión del sistema RTPFC se beneficiarán con esta reducción de la corriente.

Ahorros de capital: Reduce potencialmente la inversión en transformadores adicionales, ductos, cables y otros elementos a través de los que circula la electricidad y que forman parte de la infraestructura eléctrica de la planta.

Utilización del servicio: Existe la posibilidad de agregar equipos (cargas) adicionales a las redes eléctricas y transformadores de sub-estaciones ahora existentes. Ver Figura 9.

FIGURE 9



Ahorro de Energía: Un sistema RTPFC de Elspec trabaja para reducir tanto la corriente fundamental de carga a 60 Hz como sus componentes armónicos, contribuyendo al ahorro de energía en redes tanto de bajo voltaje (LV) como de mediano voltaje (MV) en dos formas:

- Disminuyendo la corriente fundamental de carga así como las pérdidas por calentamiento I^2R en cables, barras y transformadores. En el ejemplo de la Figura 8 la corriente de carga pico fue reducida en 1,000 A. Asumiendo que sea igual 0.01Ω la resistencia equivalente de la red, incluyendo el enrollado del secundario del transformador, en ese caso los ahorros obtenidos simplemente debido a la reducción de la corriente, incluyendo la reducción asociada a las pérdidas I^2R , es de alrededor de 16 kW. Esta reducción no toma en cuenta la frecuencia de los picos de carga de soldadura que podrían incrementar sustancialmente estos ahorros.
- Asumiendo que el RTPFC esta equipado con reactores de sintonía para filtrar armónicos, los valores RMS de corriente y las pérdidas I^2R asociadas a esos valores RMS serán eliminadas. Una característica de los armónicos es que ellos tienden a circular en la “piel” ó superficie exterior de los conductores eléctricos (“skin effect” en Inglés), generando pérdidas por el efecto “piel” en los enrollados de los

transformadores, cables, etc. Esas pérdidas por efecto “piel” son directamente proporcional a tanto la magnitud de la corriente elevada al cuadrado como al orden del armónico también elevado al cuadrado. Los armónicos de corriente de orden superior, por lo tanto, provocarán pérdidas superiores, más altas, por efecto “piel” en una base por-Ampere. La reducción de esas pérdidas por efecto “piel” con un sistema Equalizer de Elspec simultáneamente reducirá la sobre-carga de los transformadores de la sub-estación y resultará en ahorros adicionales de energía.

VII. Conclusiones:

Claramente, el sistema Equalizer de Elspec ofrece beneficios potenciales que van mucho más allá de los beneficios que se obtienen con los sistemas electrónicos convencionales de condensadores ya sean estos sistemas Standard, conmutados electro-mecánicamente o fijos. La tecnología de Elspec hace posible tanto la mejora de la calidad del producto como el incremento de la producción, el filtrado de armónicos, la eliminación del “flicker”, costos minimizados de mantenimiento, reduce las caídas de voltaje, perfecciona la flexibilidad financiera de la infraestructura y genera ahorros de energía en sentido general. Todos esos beneficios potenciales deberían estar en un análisis económico concluido para la instalación de este equipo. Debido a los altos costos de tener que repetir (volver a hacer) trabajos que ya debían estar terminados, altos tiempos de paradas de producción y desperdicios asociados, ocurre en algunos casos, en diversas plantas de manufactura, que los ahorros de costos por reducción de demanda y de consumo de energía en kWh son algunas veces la porción más pequeña de los ahorros generales, tomados en su conjunto, en la planta. En muchos casos alrededor del mundo, el retorno de la inversión (ROI: “Return Of Investment”) basado en la reducción de desperdicios y/o el incremento del tiempo efectivo de producción (por concepto de reducción de paradas provocadas por causas asociadas a mala calidad de energía) ha resultado ser inferior a 6 - 12 meses.

Para más información acerca de la tecnología de Elspec:

Contacte nuestras oficinas corporativas:

**Espec North America, Inc.
500 West South Street
Freeport, IL 61032
United States of America**

**(T) +1.815.266.4210
(F) +1.815.266.8910**

Ó envíenos su email a:

ena@elspecna.com

Ó visítenos en nuestra página Web:

www.elspecna.com



Nota del Autor: Este documento fue presentado en su forma original en "Power System World 2004" como un documento técnico titulado: "*Power Quality Solutions for Dynamic Welding*" ("*Soluciones de Calidad de Energía para Cargas en Soldadura Dinámica*"). Se le han hecho algunas modificaciones para propósitos ilustrativos y de mercadeo.