

Modos de funcionamiento de los SAI: un nuevo algoritmo para conseguir una eficiencia sin precedentes



Resumen

La tecnología de los SAI estándar que se encuentra disponible en la actualidad y que se considera la solución ideal y más fiable para las grandes instalaciones, es la de doble conversión y sus variantes de configuración.

En el modo doble conversión el SAI ofrece aislamiento frente a problemas de calidad en la alimentación eléctrica. Además permite controlar la tensión y la frecuencia de salida independientemente de las condiciones de entrada de tensión y frecuencia que haya en cada momento.

No obstante, podemos plantearnos la siguiente pregunta: ¿es la doble conversión la única solución posible para resolver estos tipos de perturbaciones?

Aunque se ha demostrado que la tecnología de doble conversión presenta una alta fiabilidad a la hora de proteger las instalaciones frente a casi cualquier tipo de perturbación, ésta tiene un inconveniente muy importante: la eficiencia energética. Para proporcionar este alto nivel de protección los SAI de doble conversión funcionan constantemente en el modo de máxima protección, lo que hace que tengan que consumir una gran cantidad de energía.

Por lo tanto habría que preguntarse: ¿existe una solución más eficaz para ofrecer protección a las instalaciones críticas?

La solución ideal es un SAI capaz de diferenciar entre los distintos tipos de perturbaciones eléctricas y responder utilizando el modo de funcionamiento más eficaz y efectivo posible en cada situación. Chloride, lo ha conseguido al desarrollar un producto revolucionario denominado **Trinergy**.

1. Introducción

En las instalaciones de energía críticas, como son los centros de datos, el uso de los SAI de doble conversión se ha considerado siempre la mejor opción para ofrecer a las cargas un alto nivel de protección frente a casi todos los tipos de perturbaciones eléctricas de la red.

El uso de un SAI de doble conversión sigue siendo la solución principal para ofrecer protección frente a condiciones de alimentación eléctrica específicas.

A lo largo del tiempo el procesamiento de señales digitales (DSP) y la tecnología de control vectorial patentada por Chloride han hecho posible la introducción de soluciones específicas más eficientes. Una de estas soluciones es la doble conversión inteligente, lanzada por Chloride al mercado de los SAI en el año 1998. La doble conversión inteligente se diseñó para vigilar de forma continua la alimentación

principal, así como para identificar la instancia en la que ésta es capaz de alimentar a la carga directamente a través de la línea de bypass. Esta tecnología se utiliza ahora ampliamente en productos trifásicos desde 10 kVA a 800 kVA.

Mientras que la doble conversión inteligente permite una reducción significativa de las pérdidas de energía del SAI, en algunos casos las condiciones de línea no resultan suficientes para funcionar de forma constante en el modo de alto rendimiento. Esto puede deberse a la existencia de una perturbación en la alimentación principal o a las características de la carga (en concreto, la distorsión y el desplazamiento de la corriente). Esto hace que, a veces, el SAI tenga que funcionar permanentemente en el modo de protección máxima de doble conversión.

Modos de funcionamiento de los SAI:

un nuevo algoritmo para conseguir una eficiencia sin precedentes

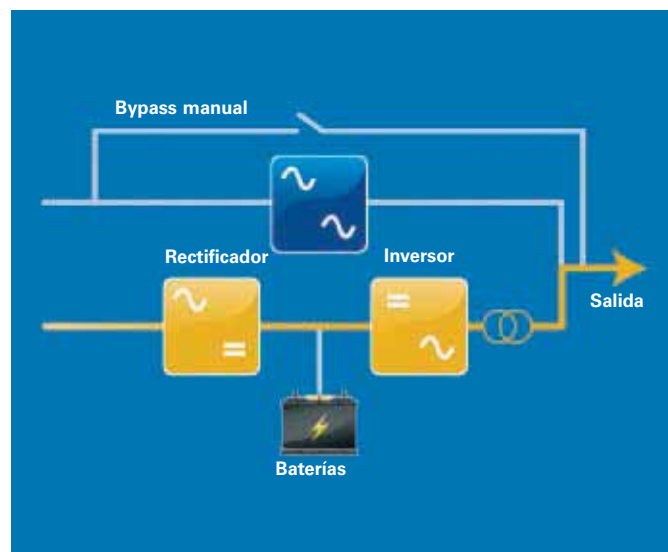


Figura 1: Diagrama típico de bloques simplificado de un SAI de doble conversión (VFI) con transformador de salida.

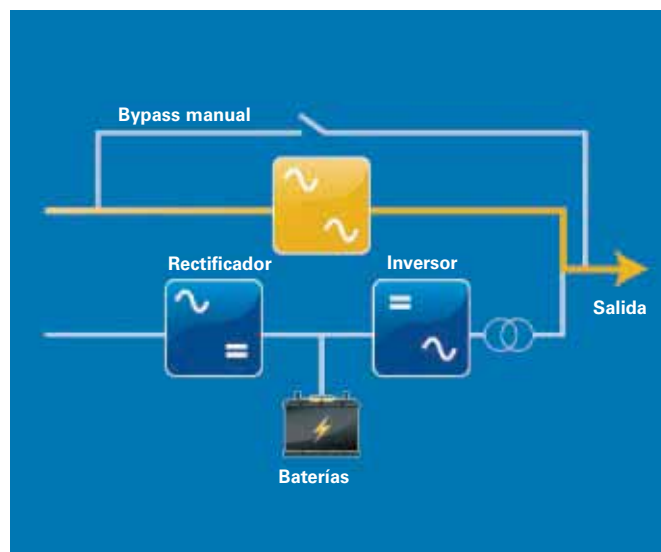


Figura 2: Diagrama de bloques simplificado que funciona con prioridad en la línea de bypass. El inversor se sincroniza de forma continua con la línea de bypass y queda listo para aceptar la carga siempre que sea necesario.

Tras la adopción extendida de estas configuraciones era evidente que hacía falta encontrar soluciones más avanzadas. Este sistema debería ser capaz de discernir entre los diferentes tipos de perturbaciones así como de ofrecer un acondicionamiento acorde al nivel y al tipo de perturbación, en lugar de usar una única solución (doble conversión o doble conversión inteligente) para todos los tipos de alteraciones eléctricas.

Existen algunas perturbaciones (como sags, fluctuaciones de tensión, armónicos, etc.) que pueden compensarse con filtros, principalmente activos, lo que evita la necesidad de que la energía fluya a través de la línea.

2. ¿Qué pasa si el SAI estándar ya tiene un filtro activo?

Lo tiene. Si el SAI se encuentra en el modo de conversión inteligente, el inversor está inactivo y siempre está listo para alimentar inmediatamente a la carga. Por lo tanto, el inversor puede utilizarse para compensar las perturbaciones que existen desde la alimentación principal a la carga y viceversa y, al mismo tiempo, ser capaz de aislar por completo la carga de la alimentación principal sin tener que usar la solución de doble conversión. Es posible que se produzcan fallos en la alimentación principal o que la compensación solicitada sea superior al valor que el inversor es capaz de ofrecer, en cuyo caso el SAI activará de forma inmediata y sin corte el modo de doble conversión.

Hoy en día, estas soluciones han mejorado aún más con la adopción de las últimas tecnologías en productos trifásicos de doble conversión: el SAI sin transformador (vease fig. 3). La topología de este SAI puede alcanzar ahora hasta 1.200 kW de potencia en una sola unidad que, junto a la última tecnología de control, es capaz de ofrecer un nivel definitivo de protección de potencia, al tiempo que alcanza un altísimo grado de eficiencia energética.

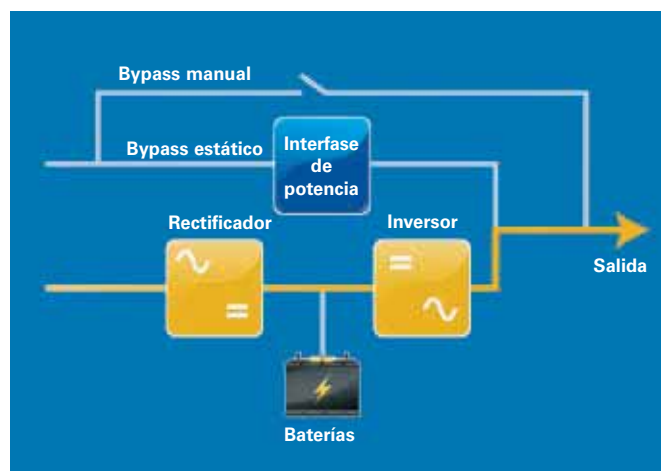


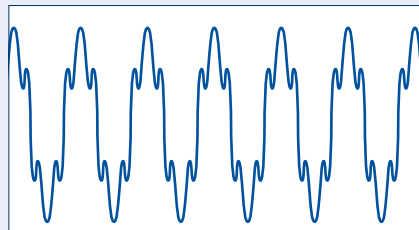
Figura 3: Nuevo SAI sin transformador con tecnología Trinergy funcionando en modo de doble conversión

Modos de funcionamiento de los SAI:

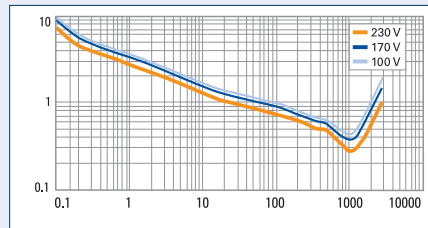
un nuevo algoritmo para conseguir una eficiencia sin precedentes

2.1 Perturbaciones eléctricas típicas

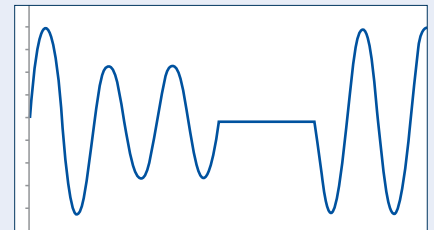
La calidad de la alimentación eléctrica depende de diferentes tipos de perturbaciones que pueden resumirse brevemente en las siguientes categorías:



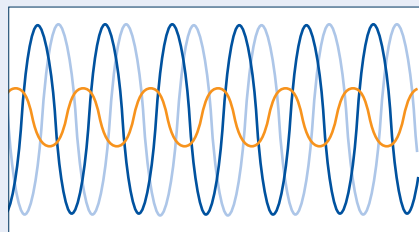
Armónicos e interarmónicos



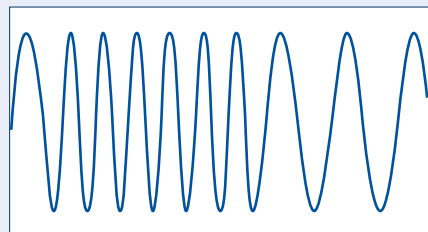
Fluctuaciones de tensión y flickers



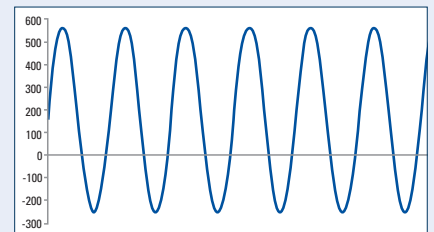
Sags y cortes



Desequilibrios de tensión



Variaciones de frecuencia



Componentes de CC, muescas y ruido eléctrico

Entre el resto de perturbaciones cabe citar la tensión de baja frecuencia inducida y los fenómenos transitorios oscilantes.

2.2 Soluciones disponibles

En la actualidad existen diversas soluciones en el mercado que acondicionan y mejoran la calidad de suministro de energía a la carga:

- SAI
- Supresor de sobretensiones transitorias (TVSS)
- Conmutadores estáticos de transferencia
- Filtros activos serie
- Filtros activos paralelo
- Filtros activos híbridos (serie y paralelo)

Las tres últimas soluciones basadas en filtros activos se utilizan por lo general para compensar todas las categorías de perturbación dentro de ciertos límites y con un alto rendimiento, con excepción de las interrupciones de tensión y las variaciones de frecuencia.

Si se tienen en cuenta las perturbaciones eléctricas generales que hemos visto en el apartado 2.1, el SAI, en su configuración de doble conversión, es el único capaz en la actualidad de compensar todas las perturbaciones posibles. En efecto, el SAI puede suministrar una tensión de alta calidad a la carga, tanto durante la presencia de grandes fluctuaciones en la tensión como durante una interrupción total del suministro eléctrico. Esto último puede conseguirse con dispositivos locales de almacenamiento de energía, como pueden ser baterías o volantes de inercia.

El SAI de doble conversión es sin duda una solución muy importante y su único inconveniente consiste en que consume una cantidad significativa de energía al convertir continuamente la potencia de CA de entrada en potencia de CC y, después, de CC en CA de salida.

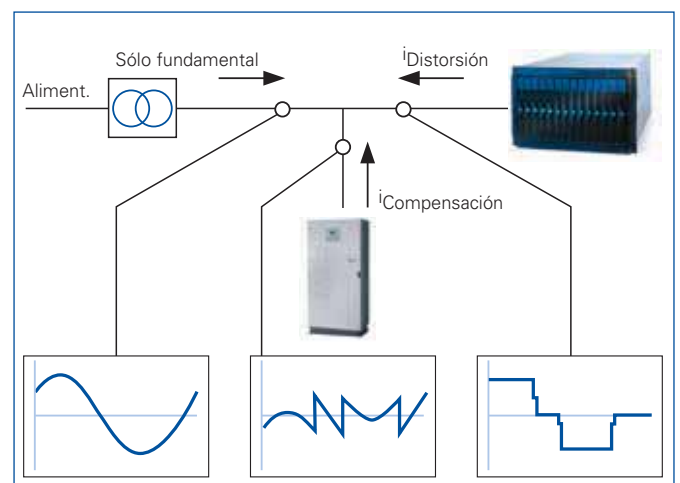


Figura 4: Filtro activo paralelo para armónicos, factor de potencia y compensación de fenómenos transitorios.

Modos de funcionamiento de los SAI: un nuevo algoritmo para conseguir una eficiencia sin precedentes

2.3 Doble conversión inteligente para conseguir un alto rendimiento

En muchos casos, el alto nivel de acondicionamiento de potencia que se consigue con un SAI de doble conversión es mayor que el que se necesita en realidad para la perturbación existente. Lo ideal sería, por lo tanto, encontrar una solución capaz de funcionar en el modo de doble conversión sólo cuando fuera necesario. Es decir, sólo cuando la fluctuación de la tensión de entrada se encuentre fuera de la tolerancia establecida.

El SAI de doble conversión inteligente es un equipo que alimenta la carga a través de su bypass al tiempo que:

1. sincroniza el inversor de forma continua con la línea de bypass para permitir una conmutación rápida y fiable a la doble conversión o al suministro de batería en caso necesario.
2. monitoriza la entrada de forma continua para comprobar las posibles fluctuaciones que difieren de las condiciones normales.

Esta solución permite utilizar la doble conversión únicamente cuando es necesario y alimenta la carga a través de la línea de bypass disipando una cantidad muy pequeña de energía.

- La eficiencia típica de un SAI con transformador en modo de doble conversión es del 93%.
- La eficiencia típica de un SAI con transformador en modo de bypass es del 97%.

Para evitar que se produzcan cambios entre las dos líneas con demasiada frecuencia (después de un corte o de un valor fuera de las tolerancias), existe un algoritmo específico que, dependiendo de la frecuencia y la duración de los problemas en la alimentación principal, permite alimentar la carga en el modo de doble conversión durante un período de tiempo más largo antes de regresar a la línea de bypass. Así pues, en función del entorno eléctrico del que se trate, el SAI permanecerá en la línea de bypass durante cierto período de tiempo y, el período restante, en la línea de doble conversión. Para obtener una explicación detallada de las implicaciones en la eficiencia que resultan de este tipo de solución, consulte el documento "New Control Techniques for UPS Dynamic Efficiency Optimization" (Zanei, 2009).

Esta es la solución estándar adoptada por todos los SAI trifásicos de alta potencia (más de 10 kVA) de Chloride a fin de alcanzar una eficiencia más alta.

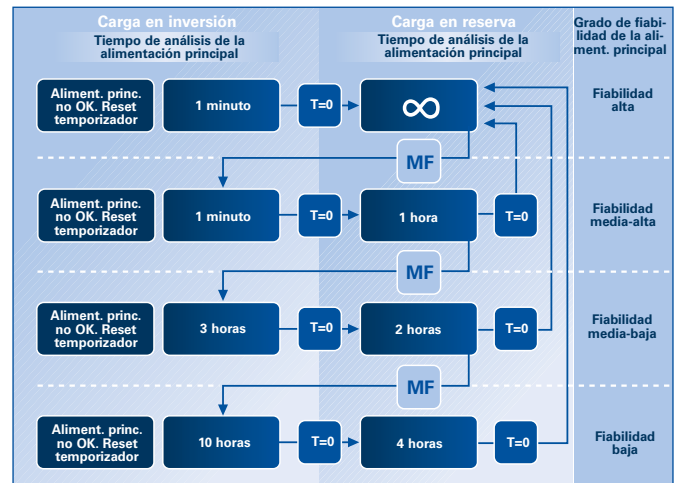


Figura 5: Algoritmo utilizado para controlar el estado del SAI en función de la calidad de la alimentación principal. Este algoritmo es fundamental para evitar que se produzcan cambios frecuentes entre el modo de doble conversión y el modo digital interactivo cuando la calidad de la alimentación principal empeora.

Si bien ésta es una buena solución para mejorar la eficiencia global del SAI, existen formas de seguir mejorándolo al tiempo que se sigue manteniendo el más alto nivel de protección frente a perturbaciones de red.

- ¿Qué ocurre cuando el entorno eléctrico experimenta demasiados valores de la alimentación principal fuera de la tolerancia permitida?
- ¿Por qué el SAI tiene que pasar al modo de doble conversión incluso para desviaciones pequeñas de la tolerancia cuando podría utilizar, en su lugar, un filtro más pequeño?
- ¿Qué se puede hacer para limitar los efectos no deseados de las cargas (distorsión o desfase) cuando se conectan directamente a la alimentación principal en el modo interactivo digital?

En los tres casos mencionados el SAI pasará una cantidad significativa de tiempo en el modo de doble conversión aun cuando no siempre sea necesario. Esto se debe al método, por otro lado correcto, que siguen estos tipos de soluciones de alto rendimiento para desacoplar por completo la alimentación principal de la carga (véase Figura 1).

2.4 Uso del inversor como filtro activo

Una solución sería utilizar un filtro activo paralelo y otro serie durante el funcionamiento en la línea de bypass. Esto permite compensar la mayor parte de las categorías de perturbaciones vistas en el apartado 2.1 dentro de ciertos límites, a excepción de las interrupciones de tensión y las variaciones de frecuencia, al tiempo que se mantiene un alto rendimiento. Esto puede conseguirse siempre que el filtro activo use menos potencia que la doble conversión para compensar las perturbaciones.

Lo positivo en este caso es que el filtro activo no necesita ser un componente voluminoso adicional añadido al SAI, puesto que el inversor IGBT controlado por la tecnología de control vectorial patentada de Chloride permite utilizar el inversor como un filtro activo. Esto es posible porque el inversor en sí está inactivo durante su funcionamiento en el modo de alto rendimiento, lo que permite utilizarlo como filtro activo tanto en serie como en paralelo.

Modos de funcionamiento de los SAI: un nuevo algoritmo para conseguir una eficiencia sin precedentes

Inversor como filtro activo paralelo: el inversor funciona como generador controlado de corriente que compensa el contenido reactivo y armónico de la carga.

Inversor como filtro activo en serie: la corriente del filtro activo tendrá una forma destinada a compensar la tensión de la línea de bypass a fin de poder permanecer dentro de los límites de tolerancia. Esto es posible al añadir una inductancia en serie que sirve para un propósito principal: el de añadir una pequeña impedancia en la línea para la compensación de la tensión activa interactuando con la corriente del filtro activo generado por el inversor.

De forma proporcional a la corriente generada para la compensación de perturbaciones, las pérdidas de potencia serán mayores que las experimentadas en la línea de bypass de alto rendimiento, pero en ningún caso mayores que las producidas en el modo de doble conversión. Si esto se incorpora a la última tecnología sin transformador, se hace evidente que este SAI con tecnología Trinergy tiene realmente el nivel de eficiencia más alto del mercado.

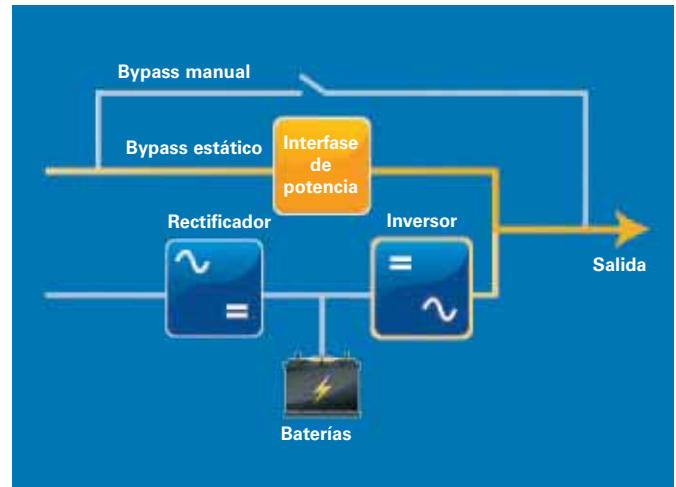


Figura 6: Tecnología Trinergy. El SAI se configura para compensar automáticamente algunas perturbaciones en la red utilizando el inversor IGBT como filtro activo que pueda configurarse como serie o paralelo, al tiempo que la carga se alimenta a través de la línea de bypass estático.

3. Descripción del control Trinergy

Trinergy es la nueva solución revolucionaria que incorpora las tres topologías estándar existentes en un SAI sin transformador:

- **Modo de control máximo de alimentación** (IEC 62040-3 VFI): es el modo de doble conversión que ofrece el nivel más alto de acondicionamiento de la potencia y protege la carga de todos los tipos de perturbaciones de la red eléctrica utilizando una gran cantidad de energía. La eficiencia a plena carga con la última tecnología sin transformador es del 95%.
- **Modo de ahorro máximo de energía** (IEC 62040-3 VFD): este modo detecta el momento en el que no es preciso realizar el acondicionamiento y permite que el flujo de energía pase a través de la línea de bypass. En este caso, la eficiencia alcanza un 99%.

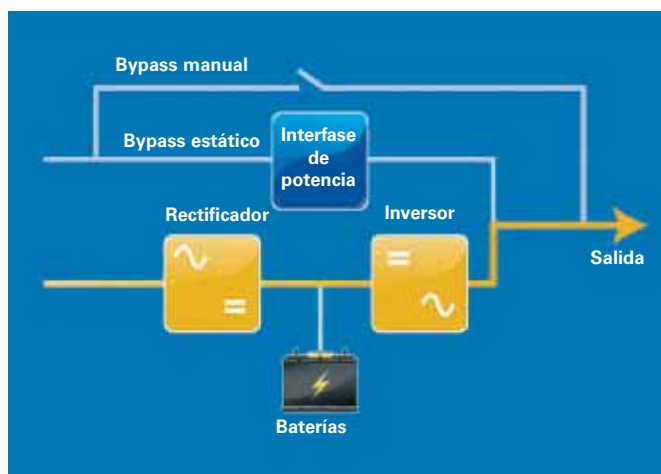


Figura 7: Nuevo SAI sin transformador con tecnología Trinergy funcionando en doble conversión

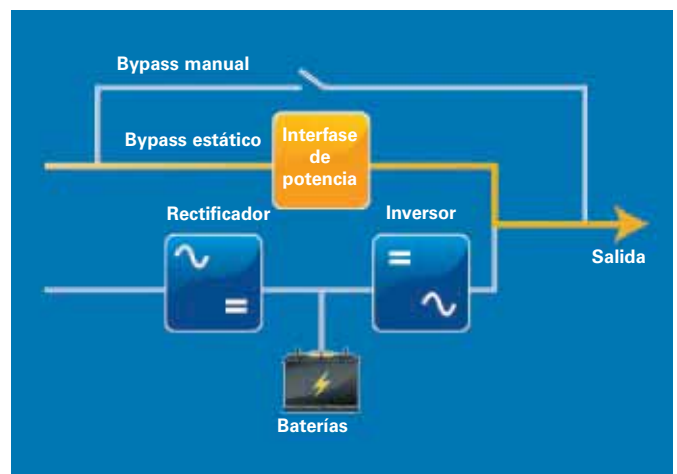


Figura 8 – Nuevo SAI sin transformador con tecnología Trinergy funcionando en modo interactivo digital.

Modos de funcionamiento de los SAI: un nuevo algoritmo para conseguir una eficiencia sin precedentes

• Modo de alto rendimiento y acondicionamiento de potencia

(IEC 62040-3 VI): compensa únicamente las perturbaciones principales, tales como el THDi y el factor de potencia de la carga y las principales fluctuaciones de la red. La energía utilizada se deriva del uso del inversor como un filtro activo dando toda la potencia reactiva necesaria. En una condición típica, este modo tendrá una eficacia comprendida entre el 96% y el 98% dependiendo del tipo de carga (no lineal, lineal, etc) y las condiciones de alimentación de la entrada.

El control preciso de Trinergy permite activar de forma rápida y continua uno de los tres modos de funcionamiento del SAI para conseguir eficacia y eficiencia en todas las configuraciones estándar. Al mismo tiempo, Trinergy sigue manteniendo las prestaciones y la protección de un SAI de clase 1 (IEC 62040-3) para la carga y un perfecto acondicionamiento de la potencia de entrada (THDi < 3% y factor de potencia de entrada > 0,99) para la distribución aguas arriba.

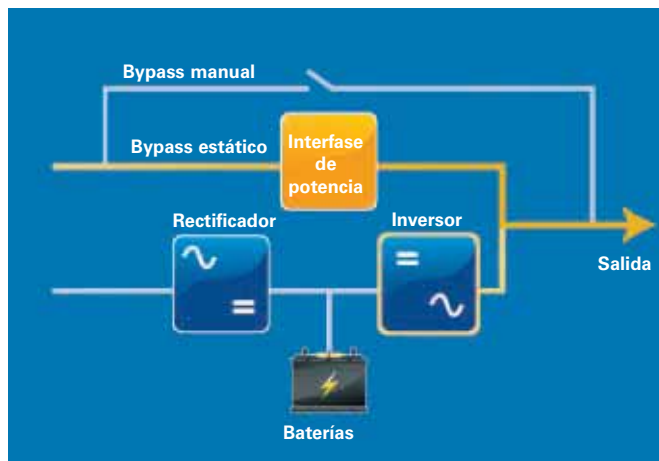


Figura 9: Nuevo SAI sin transformador con tecnología Trinergy funcionando en modo interactivo en línea con un filtro activo que compensa la alimentación principal o las perturbaciones de la carga.

Conclusión

En definitiva podemos confirmar que la tecnología de doble conversión en los SAI resulta altamente eficaz para resolver casi cualquier perturbación de la red. Con todo, el hecho es que un SAI altamente eficaz con un modo de ahorro de energía no tiene mucho sentido si el tiempo en el que el SAI puede funcionar a alto rendimiento se reduce y se limita a proteger la alimentación principal y la carga de las fluctuaciones no deseadas.

Al incorporar todas las configuraciones estándar y dejarlas disponibles en una sola unidad, el SAI puede funcionar en el modo de alto rendimiento durante un período de tiempo significativamente más largo. Trinergy realiza este objetivo al ser capaz de ofrecer de forma instantánea y continua el nivel correcto de compensación de potencia, tanto para proteger la carga

como para evitar las perturbaciones derivadas de la carga que se propagan al resto de la instalación.

Esto ha sido posible gracias a la adopción de la tecnología de control vectorial patentada por Chloride, que controla el inversor como filtro activo en serie o en paralelo cuando el SAI está trabajando en la línea de bypass. Por lo tanto, en una instalación típica (registrada por el sistema de diagnóstico remoto de Chloride, LIFE.net), es posible conseguir una eficacia media del 97,9%, un valor que se encuentra muy cerca del valor ideal del 99%³, lo que significa que Trinergy es capaz de alcanzar la eficacia y la eficiencia de todas las configuraciones estándar al tiempo que mantiene las prestaciones y la protección de un SAI de clase 1 (IEC 62040-3).

Trinergy

Bibliografía

- (1) IEEE 1159-1995, "IEEE Recommended Practice for Monitoring Electric Power Quality", June 1995
- (2) Zanei G., Cevenini E., Ferro A. & Rossi C.: "New Control Techniques for UPS Dynamic Efficiency Optimisation", INTELEC Korea 2009
- (3) The Quest for Energy Efficiency Chloride White Paper 2009.

Anexo

La activación de los tres modos distintos de funcionamiento de Trinergy se basa en el registro de alimentación en tiempo real de los principales parámetros relacionados con las condiciones de la red de entrada y con la calidad de la carga de salida. Los parámetros que se

enumeran en la tabla siguiente muestran el método que utiliza Trinergy para determinar cuál de los tres modos de funcionamiento debe activarse como respuesta a las diversas características de entrada y salida.

Modo	Variables controladas (condiciones eléctricas controladas por el SAI)					Variables observadas dentro de las especificaciones del SAI (los SAI utilizan éstas para decidir el modo de funcionamiento)					Rendimiento	
	ENTRADA		SALIDA (CARGA)			TOL. DE ENTRADA		TOLERANCIA DE CARGA				
	THDi	PF	T	THDv	f(Hz)	V(v)	f(Hz)	THDi	PF	THDv		
Modo de doble conversión VFI	<3%	>0,99	400	<2% (<3%)	50	400 +/- 20%	45-65	THDi >10%, C.F. <3	Cualquier FP (inductivo o capacitivo)	<2% (<3%)	95%	SET1
Interactivo VI	<5%	>0,99	400 +/- 10%	<3% (<5%)	Igual que entrada	400 +/- 15%	50 +/- 6%	THDi >5%, THDi <10%	0,9 <PF< 0,95	<3% (<5%)	96-98%	SET2
VFD interactivo digital	<5%	≥0,95	400 +/- 10%	<3% (<5%)	Igual que entrada	400 +/- 10%	50 +/- 6%	THDi <5%	PF ≥ 0,95	<3% (<5%)	99%	SET3

Tabla A: Variables de control de los modos de funcionamiento de Trinergy*

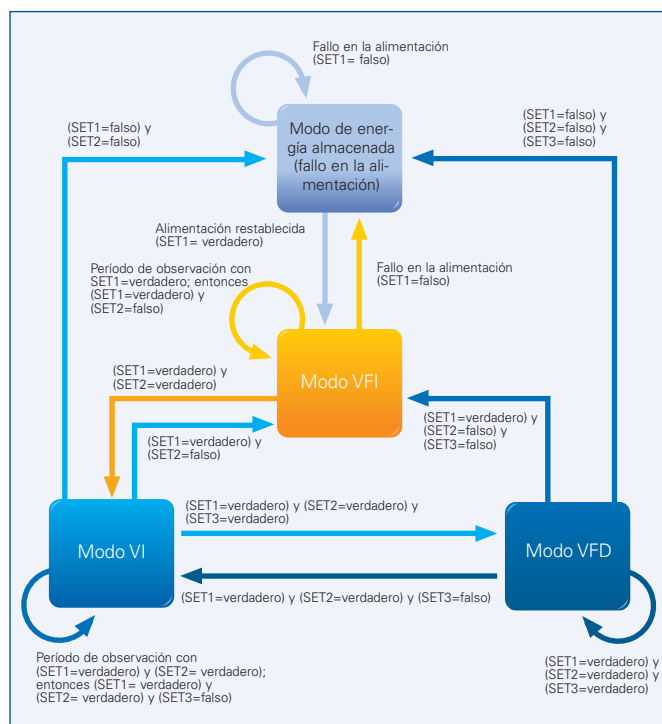


Figura B: Diagrama de estado de Trinergy

Las condiciones eléctricas relacionadas con la carga y la red se monitorizan de forma constante, lo que permite proporcionar una protección óptima de la alimentación para la carga en todo momento, con un máximo grado de eficiencia.

Si las variables observadas que se mencionan arriba se encuentran fuera de las tolerancias descritas, el SAI activará un modo de funcionamiento distinto en función del algoritmo que se muestra en la figura B.

Si así se solicita, las variables indicadas en la tabla anterior pueden ser personalizadas por el técnico de servicio.

*Las condiciones de la tabla son con el SAI a plena carga.

El diagrama de estado de Trinergy (Fig. B) muestra el modo en el que Trinergy elige entre los tres modos de funcionamiento distintos. El SAI comienza a funcionar en el modo de doble conversión y cambia al modo VI o al VFD, sólo después de que la monitorización de las condiciones de la red indique que la calidad de las variables observadas resulta adecuada y suficientemente estable.