



Power Quality

Las perturbaciones en la red interfieren con los dispositivos de protección

Cuando los superarmónicos disparan los RCDs externos

En un estudio de fotografía y diseño, situado en un gran polígono industrial, un interruptor diferencial (RCD, por sus siglas en inglés) se activaba con mucha frecuencia. Debido a los permanentes cortes de electricidad, esta empresa no podía operar bien muchos días al mes. Necesitaba una solución rápida al problema, pero ni siquiera los electricistas de la misma empresa fueron capaces de encontrar el fallo, algo que solo se consiguió realizando un análisis profundo de la red.

Se contrató a una empresa eléctrica para localizar el fallo en este estudio fotográfico situado en el primer piso de un edificio de varias plantas. El fallo más común para que se active un RCD es un punto de contacto defectuoso entre un conductor neutro y tierra o un fallo de aislamiento con un conductor de corriente de defecto a tierra detrás del RCD.

Publicación especial

Búsqueda de soluciones

El electricista de la empresa realizó los siguientes trabajos:

1. Desconexión de todos los consumidores y realización de una prueba de aislamiento en todos los cables detrás del RCD.
2. Realización de una prueba VDE 0701- 0702 en los dispositivos conectados en el estudio fotográfico.

La medición del aislamiento con 500 V DC se realizó desde la toma de tierra (PE, por sus siglas en inglés) contra el conductor neutro (N) y luego la toma de tierra contra todas las fases (L1, L2, L3). En todos los casos, la resistencia de aislamiento de todos los cables era $> 1 \text{ M}\Omega$, por tanto, correcta. La prueba de aislamiento de todos los dispositivos tampoco mostró ningún fallo de aislamiento, por lo que se descartó que fueran la causa por la que se activaba el RCD.

Posteriormente, se desconectaron todos los interruptores automáticos en el estudio fotográfico para después encenderlos uno a uno con el objetivo de dar con el alimentador en el que se activaba el RCD. Como una primera solución rápida, el interruptor automático con el alimentador defectuoso podría dejarse desconectado para que al menos todos los demás consumidores del estudio fotográfico pudieran seguir funcionando sin fallos.

Durante esta prueba, se descubrió que el RCD se activaba, aunque no se conectara ni un solo interruptor automático. El electricista no sabía qué más probar. Qué otra cosa podría causar que el RCD se activase?

- Todos los consumidores estaban desconectados de la red a través de los interruptores automáticos.
- Todos los cables y todos los consumidores habían superado la prueba de aislamiento, por lo que podían descartarse como causantes del fallo.

Investigaciones adicionales más allá de la distribución eléctrica

En la planta baja del mismo edificio, sin embargo, hay otra empresa que utiliza accionamientos controlados por convertidores de frecuencia para la producción y el mecanizado de piezas metálicas. Para encontrar la causa de la falsa activación del interruptor diferencial, se instaló el siguiente sistema de medición y se buscó minuciosamente el fallo con la ayuda de tecnología de medición de alta calidad.

Como puede verse en la figura 1, se instaló un analizador de calidad de redes eléctricas PQ-Box 300 de la marca A. Eberle en la subdistribución del estudio fotográfico. Las pinzas de corriente negras para las fases L1, L2, L3 y el conductor N registran las corrientes a través de nuestro RCD, mientras que una quinta pinza de corriente (roja) registra adicionalmente la corriente residual.

Se trata de la corriente total de las tres corrientes de fases y del conductor neutro y, por tanto, equivale exactamente a la corriente que también evalúa el RCD para su disparo.

En cualquier momento, la suma de los valores instantáneos de las fases L1, L2, L3 y del N debe ser 0. La corriente residual resultante, registrada a través de la quinta pinza de corriente, corresponde así a la corriente que fluye a través de la tierra como corriente de defecto o de fuga. Las tensiones se conectaron a la salida del RCD a través de derivaciones magnéticas, como también puede apreciarse en la figura 1. Estas derivaciones magnéticas son muy cómodas y rápidas de colocar en una instalación, ya que los tornillos de los interruptores automáticos y de los interruptores diferenciales son siempre ferromagnéticos y, por tanto, las derivaciones magnéticas se adaptan muy fácilmente y en pocos segundos.

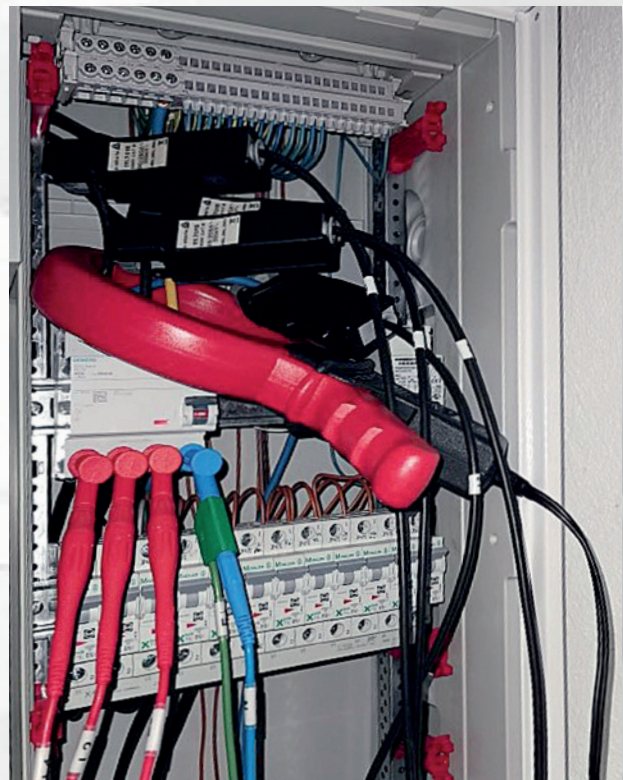


Figura 1: Conexión de las pinzas de corriente en L1, L2, L3 y N (minipinzas de corriente negras), de una pinza de corriente residual (roja) y de los cables de medición de la tensión mediante derivaciones magnéticas (abajo, azul y roja), conectados al analizador de redes eléctricas PQ-Box 300.



En el analizador de redes eléctricas, el umbral de activación de los registros de fallos rápidos se ajusta a la tensión. Tan pronto como la tensión de red cae a 0 V debido a la desconexión del RCD, el analizador de redes eléctricas PQ-Box 300 debería iniciar un registro rápido de todos los valores muestreados a 400 kHz.

Por regla general, los analizadores de redes eléctricas registran un historial posterior más amplio como resultado de una incidencia. En este caso, sin embargo, el dispositivo de medición solo recibe el impulso de activación al final de la perturbación, siendo interesante tener un historial lo más extenso posible. Los analizadores de redes eléctricas de alta calidad conservan las imágenes del osciloscopio en una memoria RAM rápida durante un período de tiempo más largo, incluso si no se supera ningún valor límite establecido. La figura 2 muestra uno de estos incidentes.



Figura 2: Imagen de osciloscopio de la tensión en L1, L2, L3 y de las corrientes de L1, L2, L3 y N durante 4000 ms de duración de la grabación con un largo historial y un incidente al final



Figura 3: El analizador PQ-Box 300 en proceso de medición

Análisis de los datos de medición y explicación del problema

El espectro de frecuencias puede calcularse mediante un análisis FFT (Fast Fourier Transformation) a partir de los valores muestreados poco antes de que se active el RCD. Por regla general, el aparato de medición solo puede calcular el espectro hasta un máximo de la mitad de la frecuencia de muestreo. En el caso del PQ-Box 300, esto es posible hasta 170 kHz. En el análisis de frecuencias de las tensiones y corrientes registradas durante el fallo, se pudieron detectar frecuencias a 8 kHz, 16 kHz, 24 kHz y 32 kHz antes de que el RCD se activase (figura 4). Ahora faltaba encontrar la causa. Estas frecuencias no eran generadas por ningún consumidor en el estudio fotográfico y, por tanto, debían de introducirse en su distribución eléctrica desde el exterior. Como se ha mencionado, el RCD también se activaba, aunque con mucha menos frecuencia, cuando se desconectaban todos los interruptores automáticos.

Nota: La mayoría de las pinzas amperimétricas y los analizadores de redes sencillos solo miden hasta 2 kHz, por lo que las corrientes de fuga que se producían aquí no se podrían medir y, por tanto, no se percibirían en muchos casos.

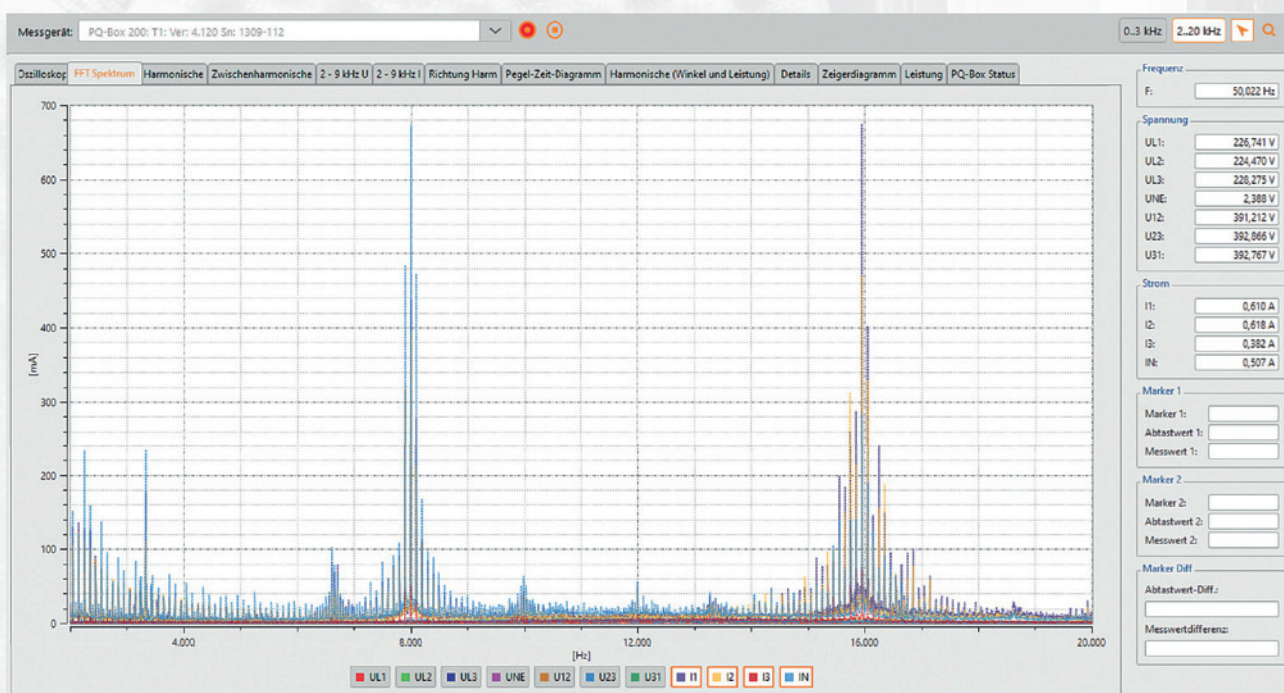


Figura 4: Análisis FFT de los circuitos de corriente continua a 20 kHz: las perturbaciones en la red son claramente visibles a 8 kHz y a 16 kHz con casi 700 mA



Causa encontrada: Accionamiento controlado por convertidor de frecuencia

Las altas frecuencias de 8 kHz y sus múltiplos solo pueden generarse localmente en una red de baja tensión. No se puede suponer que estas altas frecuencias se transmitan a través de un transformador. Así pues, la búsqueda se limitó a este edificio, que cuenta con su propio transformador de 400 kVA. Las instalaciones de producción en otros edificios con transformador propio se descartaron en un primer momento. En la planta baja de este edificio hay una planta de producción con algunos accionamientos controlados por convertidor. Las altas frecuencias se emiten a la red a través de la corriente de esta planta. Dado que el transformador (XL) de este edificio tiene una alta impedancia para altas frecuencias (véase la conocida fórmula 1), estas señales interferentes introducidas de 8 kHz y sus múltiplos suelen buscar otros consumidores cercanos con una baja impedancia. Se trata principalmente de dispositivos con condensadores en la entrada, como las fuentes de alimentación conmutadas, como se puede ver claramente en la fórmula 2, que también es generalmente conocida pero a menudo se olvida (omitiremos aquí los componentes imaginarios para simplificar):

$$1. X_L = \omega * L \text{ con } \omega = 2 * \pi * f$$

$$2. X_C = \frac{1}{(\omega * C)}$$

X_L Reactancia inductiva (inductancia, transformador)

X_C Reactancia capacitiva (capacitancia, condensador)

ω Velocidad angular

L Inductancia

f Frecuencia

C Capacidad

Las fórmulas (1 y 2) muestran claramente que los inductores para altas frecuencias tienen una reactancia alta y los condensadores una reactancia muy baja. Lo mismo ocurre con la impedancia como resistencia compleja. La propagación de las perturbaciones de alta frecuencia (también llamadas supra armónicas) viene determinada en gran medida por todos los consumidores instalados en el edificio.

Explicación del fenómeno

Los accionamientos controlados por convertidor en la planta baja causaron una perturbación en la red en los rangos de frecuencia de 8 kHz y sus múltiplos. Estos niveles apenas se transmiten en la dirección de nuestro transformador de 400 kVA, ya que tiene una alta impedancia para altas frecuencias (ver fórmula 1; figura 5). Estas frecuencias buscan otros consumidores en las proximidades que tengan una baja impedancia para estas frecuencias. En este caso, una corriente fluye a través de las fases y el conductor neutro en dirección a los consumidores.

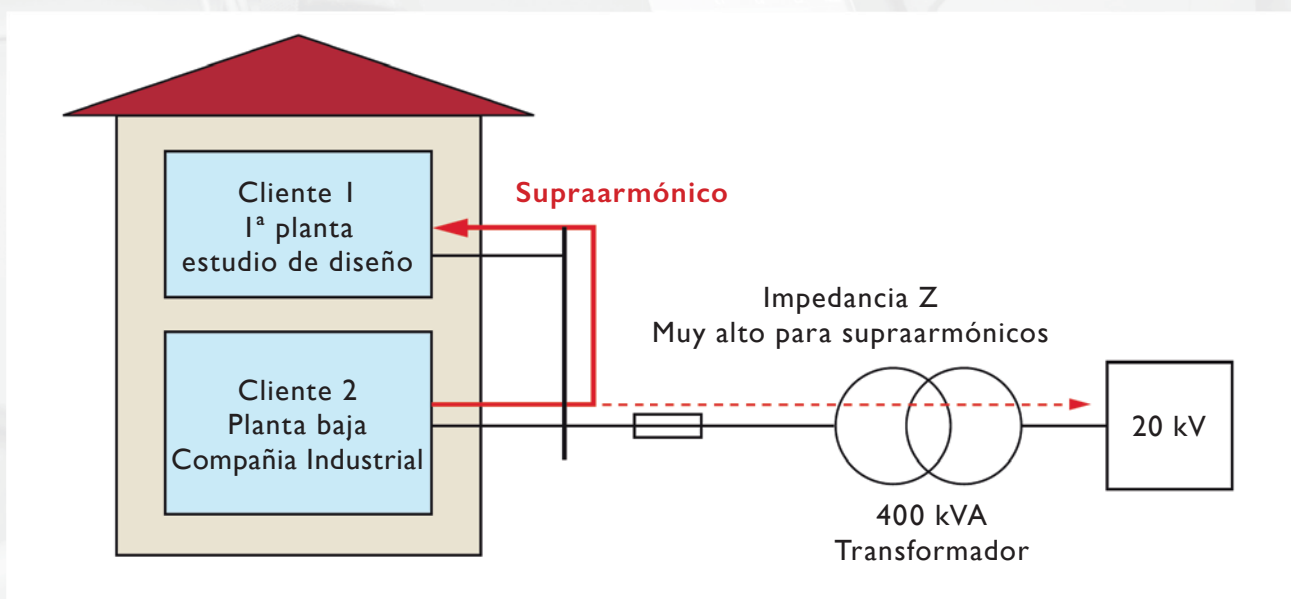


Figura 5: Esquema de la propagación de las supra armónicas en este edificio

Los filtros de red de los distintos consumidores del estudio fotográfico generan corrientes de fuga a tierra. Todos los consumidores deben disponer de estos filtros EMV, aunque solo sea para obtener el marcado CE. Dado que las propias fuentes de alimentación conmutadas también producen interferencias en la línea, estos dispositivos deben ser cableados con medidas de filtro. Por lo general, esto se hace con componentes pasivos sencillos, como reactores de línea con compensación de corriente y condensadores X/Y (figura 6).

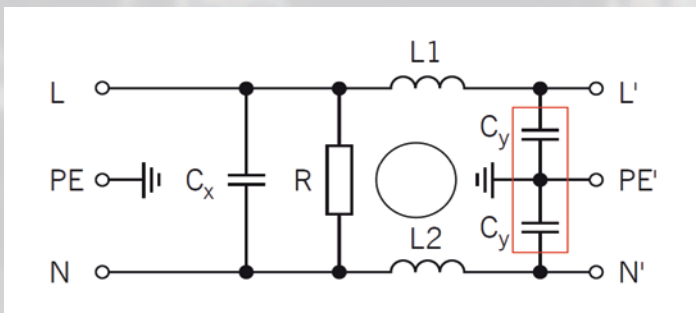


Figura 6: Ejemplo de condensadores X e Y en la entrada de una fuente de alimentación conmutada; en nuestro caso, los condensadores Y son críticos.

Dado que no está claramente definido qué posición ocupan las fases y el conductor neutro cuando se conectan cargas monofásicas a través de una toma Schuko, los filtros se encuentran en ambos conductores: fase a tierra y conductor neutro a tierra. Las corrientes de fuga resultantes son predominantemente capacitivas, mientras que las corrientes de defecto tienen un alto componente óhmico.

Un RCD no puede distinguir entre una corriente de defecto y una corriente de fuga. Debe activarse en cuanto se supera el umbral de corriente. Para un RCD de 30 mA, este umbral de activación está entre un mínimo de 15 mA y un máximo de 30 mA. Un RCD debe activarse entre $0,5 \cdot I_n$ y $I \cdot I_n$, ese es su cometido.

Debido al gran número de consumidores que hay en el estudio fotográfico, como equipos de iluminación, cámaras, pantallas, ordenadores y servidores, la corriente total supera los 15 mA o 30 mA necesarios para activar el RCD. El valor de activación prescrito para la protección personal es de 30 mA, que no puede ser aumentado. Esto significa que, en nuestro caso, no puede ser sustituido por uno de 300 mA.

El RCD ve ahora una corriente residual debida a la suma de las corrientes de fuga de todos los consumidores. Esta corriente fluye a través de los conductores activos hacia la tierra o, si todos los interruptores automáticos están desconectados, entre el conductor neutro y la tierra y, por tanto, activa el RCD. Este efecto no se puede percibir en una medición de aislamiento, ya que esta se realiza con una corriente continua.

Solución del problema

Ahora existen varias soluciones posibles para resolver el problema:

- Instalación de un filtro de red justo delante de la subdistribución del estudio fotográfico en la 1ª planta;
- Instalación de un filtro de red en el causante de la perturbación en la red de la planta baja;
- Posible sustitución del RCD por un tipo adecuado para estas condiciones de red.

Hoy en día existen muchos tipos de RCD para diferentes aplicaciones, por ejemplo, AC, A, B, B+ o F. Una solución a nuestro problema sería sustituir el RCD de nuestra distribución, por ejemplo, por un Doepke tipo B SK. Este RCD se define del siguiente modo: interruptor diferencial del tipo B, sensible a todo tipo de corrientes, para sistemas eléctricos con convertidores de frecuencia, con la más alta disponibilidad y un umbral de activación permanentemente definido, incluso con altas frecuencias de corriente de defecto de hasta 150 kHz. Con este tipo de RCD, la corriente de activación para altas frecuencias es superior a 30 mA para 50 Hz. Las altas frecuencias no son tan peligrosas para el ser humano como las corrientes de 50/60 Hz y, por lo tanto, en este caso se puede utilizar un valor de activación más elevado (véase, por ejemplo, [1]).

Como en nuestro ejemplo también queríamos evitar fallos en otros dispositivos del edificio, decidimos instalar un filtro de red en la línea de alimentación de la empresa causante en la planta baja. De este modo, se eliminan las altas frecuencias directamente en el punto de origen.



Conclusión

Normalmente se sabe que en las plantas industriales con electrónica de potencia son de esperar corrientes de fuga más elevadas y que estas pueden provocar la activación innecesaria de interruptores diferenciales con más frecuencia.

Sin embargo, la activación de los RCD en otras empresas ajenas a esta distribución eléctrica con electrónica de potencia no siempre es tan fácil de explicar.

Debido a la transformación de la tecnología energética, cada vez se producen más perturbaciones en nuestras redes de alimentación en el rango de frecuencias más altas de 2 kHz a 150 kHz, causadas por accionamientos controlados por convertidores o fuentes de alimentación conmutadas. Estas perturbaciones de alta frecuencia también derivan en nuevas perturbaciones que antes no se conocían. Las normas de calidad de la tensión, como la CEI o la DIN EN 61000-2-2 [2], ya tienen valores límite para la red pública de baja tensión de hasta 150 kHz.

Para detectar perturbaciones en estos rangos de frecuencia, es importante comprobar si el dispositivo de medición o la pinza de corriente utilizados pueden detectar realmente estas frecuencias. Cada dispositivo de medición y cada pinza de corriente tiene un rango de frecuencia limitado que debe ser comprobado antes de una tarea de medición.

Literatura

[1]

Allstromsensitive Fehlerstromschutzrichtungen (RCD Typ B)

Anwendungshinweise und technische Informationen (Handbuch Allstromfibel). Doepke Schaltgeräte: Oktober 2019.

Erhältlich unter: www.doepke.de/de/produkte/schuetzen/fehlerstromschuttschalter-rccb/

[2]

DIN EN 61000-2-2 (VDE 0839-2-2):2020-05 Elektromagnetische Verträglichkeit (EMV)

Teil 2-2: Umgebungsbedingungen – Verträglichkeitspegel für niederfrequente leitungsgeführte Störgrößen und Signalübertragung in öffentlichen Niederspannungsnetzen.

Autor



Jürgen Blum

Jefe de Productos Power Quality Mobil
A. Eberle GmbH & Co. KG
juergen.blum@a-eberle.de
www.a-eberle.de