Inbetriebnahme eines IED zum Schutz vor Subharmonischen mithilfe von State-of-the-Art-Prüftools

R. Midence, A. Oliveira, N. Perera – ERLPhase Power Technologies Ltd

E. Carvalheira, K. Donaldson – OMICRON electronics

Zusammenfassung

In den letzten Jahren kommen mehr und mehr Schutzgeräte zum Einsatz, die in der Lage sind, subsynchrone Resonanzen (SSR) zu detektieren. Die Verbreitung dieser Schutzgeräte geht mit der neuen Herausforderung einher, diese Geräte zu prüfen und in Betrieb zu nehmen. Die Inbetriebnahme von Geräten zum Schutz vor Subharmonischen folgt einem Prozess, der vom herkömmlichen Prozess zur Prüfung und Inbetriebnahme von digitalen Schutzgeräten deutlich abweicht. In dieser Abhandlung werden die Erfahrungen der Verfasser bei der Inbetriebnahme von Relais zum Schutz vor Subharmonischen vorgestellt. Zudem werden der Prozess der Verwendung eines State-of-the-Art-Relaisprüfsystems (bestehend aus OMICRON CMC 356, den Test Universe-Prüfmodulen „Rampen“ und „PQ Signal Generator“ sowie einer OCC-Vorlage) und der empfohlene Prozess beschrieben, der bei der Vorbereitung und anschließend während der eigentlichen Relaisinbetriebnahme zu befolgen ist.

Folgende Themen werden behandelt:

- Eigenschaften eines Relais zum Schutz vor Subharmonischen
- Entwicklungsprozess für die Ermittlung der Einstellungen
- Bestimmung von Prüffällen zur Sicherstellung der ordnungsgemäßen Prüfung aller Relaisfunktionen
- Verwendung eines modernen Relaisprüfsystems zur Vorbereitung von Prüfplänen für die Relaisprüfung
- vor Ort zu verwendender Prozess zur Inbetriebnahme des Relais mithilfe von State-of-Art-Relaisprüfsoftware und -ausrüstung

Während des Prozesses zur Inbetriebnahme von Relais zum Schutz vor Subharmonischen stellten die Verfasser fest, dass über SSR- und SSCI-Phänomene, die Vorgehensweise bei der Auswahl von Einstellungen für IEDs zum Schutz vor Subharmonischen und den Prozess der Prüfung und Inbetriebnahme solcher IEDs nur sehr wenig bekannt ist und es unter den für Schutz- und Steuerungsfragen Verantwortlichen großen Aufklärungsbedarf gibt.

In der Abhandlung wird die Verwendung eines State-of-the-Art-Relaisprüfsystems beschrieben, zu dem auch Software gehört, die Skripte zum Prüfen aller Relaisfunktionen und zur Validierung von Einstellwerten erstellen kann. Vor der Erstellung von Prüfskripten müssen im Rahmen des Prozesses Netzwerksimulationsfälle zur Bestimmung der Relaiseinstellungen betrachtet werden, anhand derer Prüffälle erstellt werden können, die bestätigen, dass das Relais wie erwartet reagiert. Im Prozess ist Folgendes zu prüfen:

- Frequenzbereiche der Subharmonischen, um sicherzustellen, dass das Relais bei Frequenzen außerhalb des gewünschten Frequenzbereichs keine Fehlfunktion aufweist
- Größen der Subharmonischen, um sicherzustellen, dass das Relais bei Subharmonischen, deren Größe die festgelegten Schwellenwerte unterschreitet, weiterhin fehlerfrei funktioniert
- Prüfung aller verbundenen Funktionen, wie z. B. Operation pro Zeiteinheit, TSHD (Total Sub-Harmonic Distortion), Blockierung für die zweite Harmonische und die fünfte Harmonische usw.
- Schutzfunktionen bei der Nennfrequenz

Stichwörter: Subsynchrone Resonanz (SSR), subsynchrone Interaktionen, Übertragungsleitungen, Serienkompensation, Subharmonische, State-of-the-Art-Relaisprüfsysteme

Einführung

In den letzten Jahren wurden in mehreren Abhandlungen die verschiedenen Arten subsynchroner Interaktionen zwischen Elementen des Netzwerks diskutiert, insbesondere solche, an denen große Dampfgeneratoren, Windparks, HGÜ-Anlagen und serienkompensierte Übertragungsleitungen beteiligt sind.

Unter dem Begriff „subsynchrone Interaktionen“ (SSI) werden verschiedene physikalische Interaktionen zusammengefasst, bei denen es zum Austausch von Energie zwischen einem Generator und einem Übertragungsnetz bei AC-Frequenzen unterhalb der Nennfrequenz des Systems kommt. Im Einzelnen sind dies subsynchrone Resonanzen (SSR), subsynchrone Torsionswechselwirkungen (SSTI) und subsynchrone Steuerungsinteraktionen (SSCI). Speziell die SSI-Typen SSR und SSTI wurden von Andrew L. Isaacs, Garth D. Irwin, und Amit K. Jindal in [1] gut dokumentiert und erläutert.

Das IEEE hat einen Leitfaden zu subsynchronen Resonanzen veröffentlicht [2], in dem grundlegende Aspekte von SSR und geräteabhängigen subsynchronen Schwingungen besprochen werden und auf einschlägige Referenzen zur Stützung der Betrachtungen verwiesen wird.

NERC hat am 26. Juli 2011 unter dem Titel „Lesson Learned: Sub-Synchronous Interaction between Series-Compensated Transmission Lines and Generation“ Erkenntnisse veröffentlicht, die darauf hindeuten, dass neuere Ereignisse subsynchroner Schwingungen zwischen Windturbinen und einer Serienkompensation im Übertragungsnetz zu signifikanten Schäden an den Windturbinen geführt haben. Ein normal geklärter Fehler auf einer 345-kV-Übertragungsleitung führte zu einer Systemkonfiguration nach dem Störfall, bei der zwei Windparks radial mit einer serienkompensierten 345-kV-Übertragungsleitung verbunden sind. Diese Konfiguration hat zu einer subsynchronen Regelinteraktion (SSCI) zwischen den Windturbinen und der serienkompensierten Übertragungsleitung geführt, was schwere Überspannungen, Stromverzerrung, das Auslösen zusätzlicher Übertragungseinrichtungen und Schäden an den Windpark-Steuerungen zur Folge hatte. Im Dokument wird daraus geschlossen, dass bei Überlegungen zur Integration großer Windparks geeignete Überarbeitungen des Designs des Übertragungsnetzes in Erwägung zu ziehen sind. Dazu zählen die Installation zusätzlicher Schutzsysteme zum Detektieren von SSR und zur Einleitung von Korrekturmaßnahmen sowie, je nach Systemtopologie, die Installation zusätzlicher Schutzsysteme zur Vermeidung von SSR.

Die NERC-Empfehlungen haben dazu geführt, dass Schutzrelaishersteller ein Relais zum Schutz vor Subharmonischen entwickelt haben, das in der Lage ist, subsynchrone Interaktionen zu detektieren, um korrigierende oder sogar präventive Maßnahmen zu ermöglichen.

K. Narendra et al. haben in [3] detailliert ein mikroprozessorbasiertes Relais beschrieben, das dazu dient, subsynchrone Interaktionen zu detektieren und die Systeme vor ihnen zu schützen. [4], [5] und [6] enthalten Details zur Anwendung eines Relais zum Schutz vor Subharmonischen und zum Prozess der Berechnung der Einstellungen sowie einen Vorschlag für einen Prozess zur Validierung der Performanz des Relais.

In dieser Abhandlung soll der Fokus auf dem Prozess für die Abnahmeprüfung vor Ort eines Relais zum Schutz vor Subharmonischen liegen, bei der sowohl die

Funktionen zur Detektion von Subharmonischen als auch die Schutzfunktionen bei Nominalfrequenz geprüft werden.

Beschreibung der Einstellungen für den Schutz vor Subharmonischen

[6] Ein Relais zum Schutz vor Subharmonischen misst zum Schutz vor subharmonischen Schwingungen die Spannungs- und Stromgrößen der Subharmonischen mit Frequenzen im Bereich von 5 Hz bis 45 Hz (bei 50-Hz-Systemen) bzw. 5 Hz bis 55 Hz (bei 60-Hz-Systemen). Das Relais besteht aus vier Sätzen Stromeingänge und zwei Sätzen dreiphasiger Spannungseingänge. Jeder Eingang kann so eingestellt werden, dass er individuelle Frequenzen von 5 Hz bis 45 Hz (bei 50-Hz-Systemen) bzw. 5 Hz bis 55 Hz (bei 60-Hz-Systemen) detektiert, wobei zwei Detektionspegel unterstützt werden. Das Gerät ist auch in der Lage, die Werte von zwei beliebigen Stromeingängen zu addieren, was die Überwachung der Ströme in den Leitungen ermöglicht, die zwei Leistungsschaltern zugeordnet sind, indem die Pegeldetektoren auf diese addierten Werte angewendet werden.

Für die Strom- oder Spannungsdetektoren gelten jeweils die folgenden Einstellungen für die Detektion von Subharmonischen:

- Einstellbarer Frequenzbereich mit einem Einstellungsbereich von 5 Hz bis 45 Hz (bei 50-Hz-Systemen) bzw. 5 Hz bis 55 Hz (bei 60-Hz-Systemen)
- Subharmonischen-Anregewert
    - Verhältnis zum Nominalwert
    - Verhältnis zur Grundwelle
- Zeitverzögerung
- TSHD
- Anzahl der Ereignisse pro Minute
- Blockierung für die zweite Harmonische – nur bei Stromdetektoren
- Blockierung für die fünfte Harmonische – nur bei Stromdetektoren

Die Benutzeroberfläche für die Einstellungen ist in den Abbildungen 1 und 2 unten zu sehen.

Abbildung 1: Einstellungen für Stromdetektoren

Abbildung 2: Einstellungen für Spannungsdetektoren

In den folgenden Abschnitten werden die in Abbildung 1 und 2 gezeigten Schutzfunktionen beschrieben.

Frequenzbereich

Mit den Einstellungen für den Frequenzbereich wird der Bereich der Frequenzen der Subharmonischen festgelegt, die das Relais überwachen soll. Die Grenzen des Frequenzbereichs werden in den Feldern „Minimum Frequency“ und „Maximum Frequency“ festgelegt (siehe Abbildungen 1 und 2). Auf Subharmonische, deren Frequenz außerhalb des Frequenzbereichs liegt, werden die Einstellungen nicht angewendet (Ausnahme: TSHD).

[3] Das bei der Detektion der Subharmonischen angewendete Grundprinzip besteht darin, die Größe jeder Subharmonischen im vom Anwender definierten Frequenzbereich zu vergleichen und sie dann mit dem vom Anwender festgelegten Schwellwert für die Größe zu vergleichen.

Zum Prüfen des Relais ist es notwendig zu zeigen, dass das Relais zwischen Frequenzen der Subharmonischen innerhalb und außerhalb des Frequenzbereichs unterscheidet.

Subharmonischen-Anregewert

Der Subharmonischen-Anregewert kann mit den Einstellungen für die nominale Übersetzung und die Grundübersetzung verknüpft werden.

[3] Die nominale Subharmonischen-Funktion vergleicht die eingestellten Anregewerte mit dem Verhältnis der Größe der Subharmonischen zu den nominalen Strom- oder Spannungseingangswerten des Relais. Entsprechend vergleicht der Subharmonischen-Detektor für die Grundkomponente die eingestellten Anregewerte mit dem Verhältnis der Größe der Subharmonischen zur Größe der Grundkomponente. Das Relais wird angeregt, wenn das Verhältnis zum Nominalwert oder zur Grundwelle einer der Subharmonischen innerhalb des Frequenzbereichs größer als der festgelegte Anregewert wird. [3] Dies ist in Abbildung 3 grafisch dargestellt.

Bei der Prüfung muss gezeigt werden, dass das Relais in der Lage ist, die Werte für die nominale Übersetzung und die Grundübersetzung exakt zu berechnen und dass es bei der entsprechenden Einstellung (innerhalb des festgelegten Toleranzbereichs) zu einer Anregung kommt.

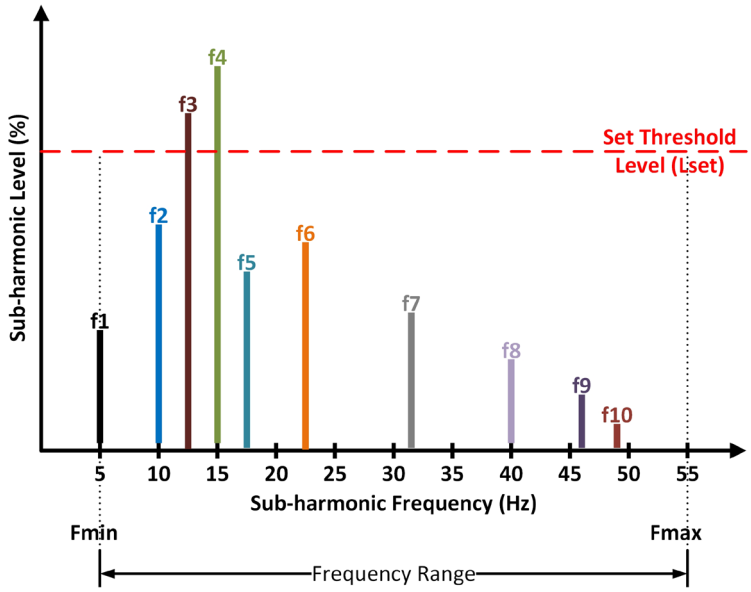

Abbildung 3: Werte für den Pegel der Subharmonischen als Verhältnis zum Nominalwert und zur Grundwelle bei einem 60-Hz-System

TSHD (Total Sub-Harmonic Distortion)

[3] Der TSHD-Detektor berechnet den Verzerrungspegel wie folgt:

$$\mathrm{TSHD}(\%) = \frac{\sqrt{f_{5Hz}^2 + f_{6Hz}^2 + f_{7Hz}^2 + \cdots + f_{55Hz}^2}}{f_{60Hz}^3} \quad (1)$$

[3] Wie in der Gleichung oben zu sehen, werden für die TSHD-Beurteilung im Hinblick auf die 60-Hz-Grundwelle der Spannung, den Strom oder den virtuell abgeleiteten Kanal alle Subharmonischen-Größen im Bereich von 5 Hz bis 45 Hz (bei 50-Hz-Systemen) bzw. 5 Hz bis 55 Hz (bei 60-Hz-Systemen) in Betracht gezogen. Dieselbe Definition gilt auch für 50-Hz-Systeme.

Bei der Prüfung dieser Funktion wird verifiziert, dass das Relais die TSHD ordnungsgemäß berechnet und dass es bei der entsprechenden Einstellung (innerhalb des festgelegten Toleranzbereichs) zu einer Anregung kommt.

Anzahl der Ereignisse pro Minute

[3] Diese Funktion ist dazu da, die subharmonischen Schwingungen oberhalb des eingestellten Grenzwertes zu zählen, die kürzer als die konfigurierte Zeitverzögerung sind und die die oben beschriebenen herkömmlichen Detektoren möglicherweise nicht bemerken. Das periodische Auftreten dieses Ereignisses kann, auch wenn es von kürzerer Dauer als die konfigurierte Zeit ist, negative Auswirkungen auf das Netz und seine Komponenten haben, insbesondere auf große thermische und Windturbinengeneratoren. Zur Erfassung solcher Ereignisse wurde ein spezieller Detektor entwickelt, der die Anzahl der Ereignisse pro Minute zählt. Seine Funktionsweise wird in Abbildung 4 gezeigt.

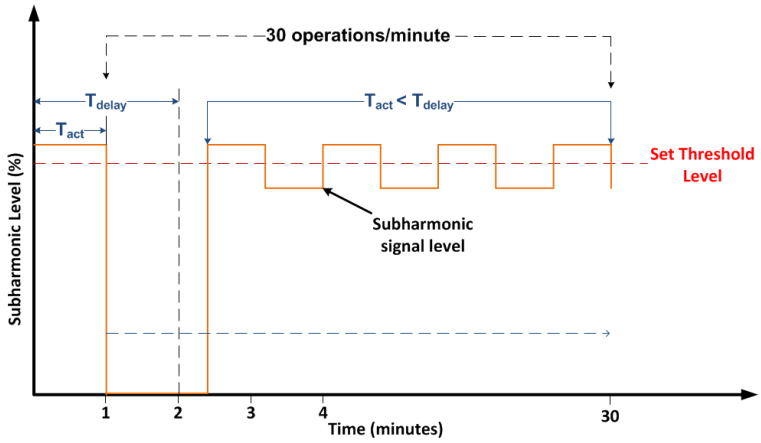

Abbildung 4: Funktionsprinzip der Zählung der Ereignisse pro Minute

[3] Im Beispiel oben wird ein Fall mit 30 Ereignissen pro Minute dargestellt (nicht maßstabsgerecht). Die Zeit T_{act} entspricht der tatsächlichen Dauer des Subharmonischen-Signals, für die das Gerät anspricht. Dieses Ereignis wird von den im vorherigen Abschnitt erwähnten herkömmlichen Detektoren nicht erfasst, da die Anregeverzögerung T_{delay} nicht überschritten wurde, sodass das Ereignis nicht bemerkt wird. Die 30 Ereignisse (Ansprechen des Geräts oberhalb des eingestellten Grenzwerts) werden intern gezählt und überwacht. Wenn die festgelegte Anzahl der Ereignisse pro Minute über dem berechneten Wert liegt, löst dieser Spezialdetektor das Relais aus oder er gibt einen Alarm aus (je nachdem, wie er konfiguriert wurde). Auf diese Weise können periodische Störungen erfasst werden, die kürzer als der konfigurierte Grenzwert sind.

Bei der Prüfung dieser Funktion wird untersucht, ob das Relais die Zeitdauer der einzelnen Ereignisse korrekt misst, ob das Relais die Zahl der Vorfälle, die kürzer als der für T_{delay} festgelegte Wert dauern, ordnungsgemäß ermittelt und ob das Relais die Zahl der Vorfälle mit kurzer Dauer korrekt zählt.

Blockierung für die zweite und die fünfte Harmonische

Da das Relais Transienten, wie Transformator-Einschaltstromstößen oder Transformator-Übererregungen, ausgesetzt ist, misst es den Anteil an zweiter und fünfter Harmonischer der aktuellen Welle und blockiert das Relais, sodass ungewollte Auslösungen eliminiert werden (der Einschaltstromstoß kann einen hohen Anteil an zweiter Harmonischer aufweisen, während bei Übererregung ein hoher Anteil an fünfter Harmonischer auftreten kann).

Bei der Prüfung dieser Funktionen wird bestätigt, dass das Relais die zweite und fünfte Oberschwingung ordnungsgemäß aus der Stromwelle extrahiert, die auch Subharmonische enthalten kann, und dass das Relais Auslösekontakte ordnungsgemäß blockiert, wenn der Anteil an zweiter und fünfter Harmonischer über dem eingestellten Grenzwert liegt.

Prüfung der Relaisfunktionen

Prüfaufbau

Abbildung 5 zeigt den Prüfaufbau.

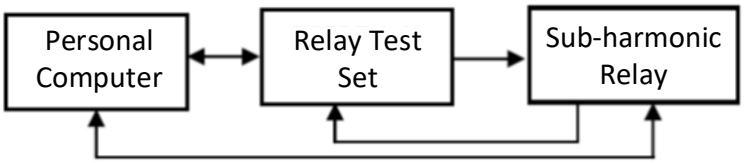

Abbildung 5: Prüfaufbau

Das Relaisprüfsystem sollte in der Lage sein, unterschiedliche Anteile von Subharmonischen-Signalen zu generieren, die über die Grundfrequenz gelegt werden, um die Prüfung der Relaisfunktionen und der Relaiseinstellungen zu ermöglichen.

Prüfung der Grenz- und Anregewerte

In den Einstellungen für den Spannungs- und den Stromdetektor kann über die Felder „Minimum Frequency“ und „Maximum Frequency“ ein Frequenzbereich für die Subharmonischen eingestellt werden. Die Einstellungen für die Mindest- und die Höchstfrequenz werden von den Einstellungen für das Verhältnis zum Nominalwert („Nominal Ratio“) und das Verhältnis zur Grundwelle („Fundamental Ratio“) und den mit ihnen verknüpften Elementen verwendet. Die Grenzwerte für jedes einzelne Element können auf zweierlei Wege festgelegt werden: (a) Verhältnis zum Nominalwert („Nominal Ratio“): der Grenzwert der Elemente wird als Verhältnis der Größe der subharmonischen Komponente zur Größe des nominalen Wertes definiert; (b) Verhältnis zur Grundwelle („Fundamental Ratio“): Der Grenzwert der Elemente wird als Verhältnis der Größe der subharmonischen Komponente zur Größe der Grundwelle für Spannung und Strom definiert.

Damit es durch die Elemente „Verhältnis zum Nominalwert“ und „Verhältnis zur Grundwelle“ zu einer Anregung kommt, müssen zwei Bedingungen erfüllt sein: die Größe der Subharmonischen-Komponenten ergibt ein Verhältnis, das jeweils größer als der in den Einstellungen festgelegte Grenzwert der Elemente ist, und die Frequenz der Subharmonischen-Komponenten liegt innerhalb des festgelegten Frequenzbereichs.

Die Prüfung der Grenzwerte des Frequenzbereichs und der Grenzwerte für die Anregung erfolgt mithilfe eines Softwaretools, das Spannungs- und Stromgrößen bei bestimmten Subharmonischen-Frequenzen rampen kann. Für die unten beschriebene Prüfung wurde ein Frequenzbereich von 5 Hz bis 45 Hz festgelegt und der Strom-Grenzwert für die Anregung wurde auf 100 mA gesetzt.

Abbildung 6 zeigt einen Screenshot des für diese Prüfung konfigurierten Prüfmoduls. Die gesamte Prüfsequenz wurde durchgeführt, indem an jede Phase bei Nennfrequenz die Nennspannung und ein Laststrom von 2,5 A angelegt wurden (siehe {1} in Abbildung 6). Es wurden fünf Rampensegmente erstellt, um die folgenden zu prüfenden Bedingungen zu simulieren:

- Rampe 1: Dieser Zustand wurde eingeführt, um zu verifizieren, dass das Relais bei Subharmonischen-Frequenzen unterhalb des Mindestwerts des Frequenzbereichs keine Fehlfunktion aufweist. Über das Signal wurde ein konstanter Strom bei einer Subharmonischen-Frequenz von 4 Hz und einer Größe oberhalb des Anregewerts gelegt (siehe {2}). Wie aus der Zeitsignalansicht (siehe {3}) hervorgeht, löst das Relais nicht aus.
- Rampe 2: Dieser Zustand wurde eingeführt, um zu verifizieren, dass das Relais auslöst, wenn innerhalb des

Bereichs ein ausreichender Subharmonischen-Anteil gemessen wird. Der Stromwert bei 5 Hz wird so lange nach oben gerampt, bis das Relais auslöst. Jeder Schritt der Rampe dauert 5 Sekunden, was länger als die Auslöseverzögerungszeit des Elements ist. Im Auswertungsfenster (siehe {4}) ist zu sehen, dass das Relais bei einem gemessenen Anregewert von 102 mA auslöst.

- Rampe 3: Wie Rampe 1, dieses Mal aber mit einer Subharmonischen von 46 Hz. Da der Frequenzwert außerhalb des festgelegten Frequenzbereichs liegt, wird keine Auslösung aufgezeichnet.
- Rampe 4: Wie Rampe 2, dieses Mal aber mit einer Subharmonischen von 45 Hz. Im Auswertungsfenster (siehe {4}) ist zu sehen, dass das Relais auslöst, sobald der Stromwert eine Größe von 102 mA erreicht.
- Rampe 5: In diesem Zustand werden Signale nur bei Nennfrequenz angelegt. Das Relais wird zurückgesetzt.

Dasselbe Verfahren kann zum Prüfen der Frequenzgrenzwerte und Anregewerte für die Spannungsdetektorelemente wiederholt werden, falls diese aktiviert sind.

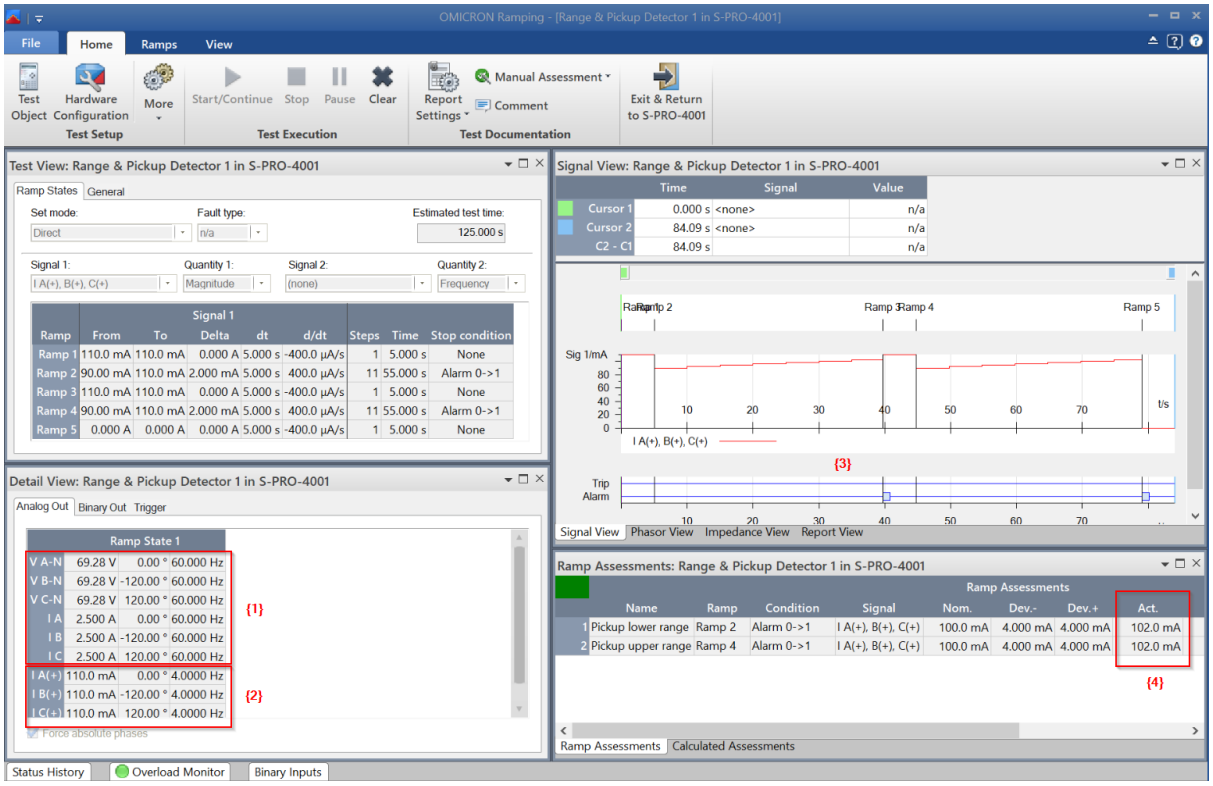

Abbildung 6: Prüfkonfiguration für Frequenzgrenzwerte und Anregewerte

Prüfung des TSHD-Elements

Für die TSHD wird der Grenzwert der Elemente durch das Verhältnis der Summe aller Frequenzanteile im Bereich von 5 Hz bis 45 Hz (bei 50-Hz-Systemen) bzw. 5 Hz bis 55 Hz (bei 60-Hz-Systemen) zur Größe der Grundwelle definiert. Damit die TSHD-Elemente zu einer Anregung führen, muss die Summe aller subharmonischen Frequenzanteile größer als die Grenzwerte der TSHD-Elemente sein (für diese Prüfung auf „5 %“ gesetzt).

Für die Durchführung dieser Prüfung wurden die Nennspannung und ein Strom von 1 A bei Nennfrequenz angelegt. Den Stromsignalen wurden subharmonische Frequenzen von 5, 25 und 45 Hz hinzugefügt. Zwei Signale wurden mit den

folgenden Subharmonischen-Anteilen simuliert:

- THD von 6,93 %, um die Auslösung bei Werten über dem festgelegten Grenzwert nachzuweisen (Abbildung 7)
- THD von 4,92 %, um nachzuweisen, dass das Relais bei Werten unter dem festgelegten Grenzwert keine Fehlfunktion aufweist

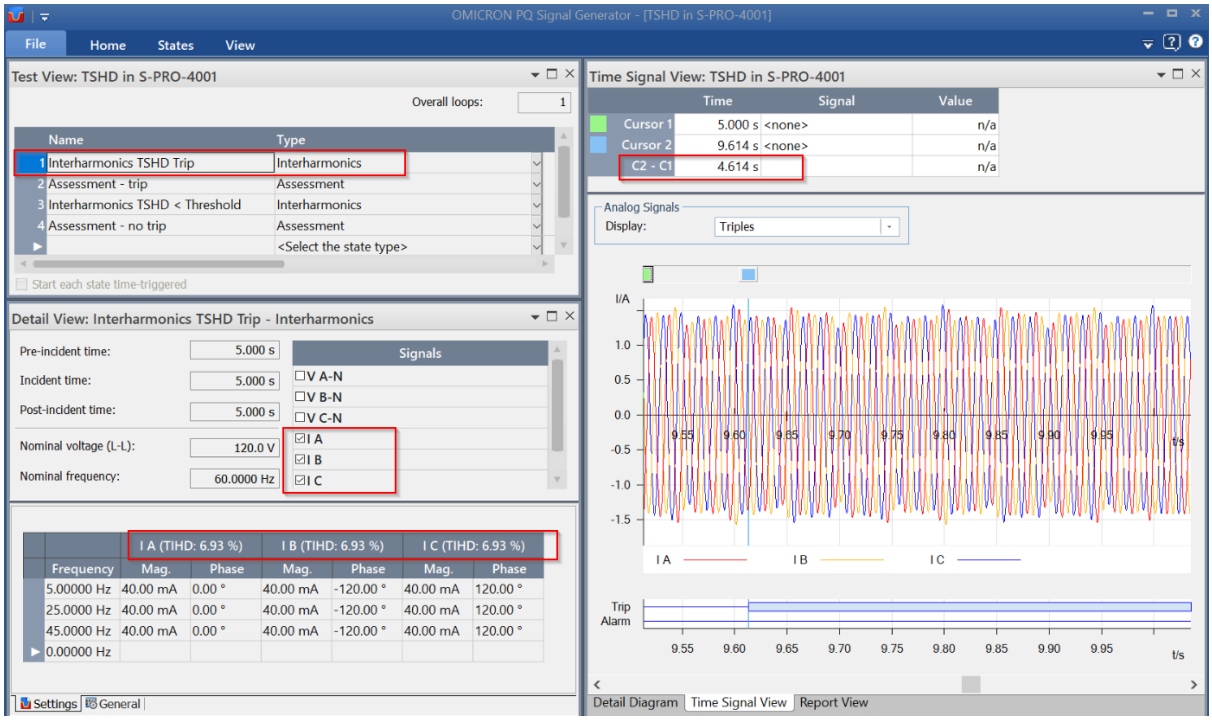

Abbildung 7: Für die Prüfung der TSHD-Auslösung verwendete Stromwellenform

Prüfung der Zahl der Ereignisse pro Zeiteinheit

Unter „Operations/Duration“ kann für die Elemente Spannung und Strom die Häufigkeit des Auftretens in einem bestimmten (in Minuten angegebenen) Zeitraum festgelegt werden. Dabei wird als Auftreten jedes Ereignis gezählt, bei dem entweder das Verhältnis zum Nominalwert, das Verhältnis zur Grundwelle oder das TSHD-Element zu einer Anregung führt, ohne dass es bis zur Auslösung des S-PRO länger dauert, als für „Pickup Delay“ festgelegt. Das Element „Operations/Duration“ ist nur dann verfügbar, wenn eines der mit dem Element verknüpften Subharmonischen-Elemente bereits aktiviert ist.

Damit die Anzahl der Ereignisse pro Minute zu einer Anregung führt, muss die Häufigkeit der Ereignisse in einer Minute größer als der festgelegte Grenzwert sein.

Abbildung 8 zeigt die Konfiguration für diese Prüfung. Ein Signal wurde mit der Größe einer Subharmonischen-Frequenz von 25 Hz über dem Anregewert angepasst, allerdings nur für eine Dauer von 3 Sekunden, was unterhalb des unter „Pickup Delay“ festgelegten Wertes für die Anregeverzögerung von 4 Sekunden liegt.

Über den Prüftool-Parameter „No. of loops“ (siehe Abbildung 8) kann festgelegt werden, dass dasselbe Signal wiederholt ausgegeben wird. Für das Element wurden 25 Ereignisse pro 2 Minuten eingestellt, daher wurde festgelegt, dass das Signal 25 Mal wiederholt wird. Da jede Wiederholung 4 Sekunden dauert (1 Sekunde Zeit vor dem Vorfall plus 3 Sekunden Vorfallzeit), beläuft sich die Gesamtprüfzeit auf etwa 1 Minute und 40 Sekunden. Am Ende der 25. Wiederholung konnte beobachtet werden,

dass das Relais ausgelöst hat. Abbildung 9 zeigt den Prüfbericht mit dem Nachweis, dass das Prüfgerät nach dem Ende der 25. Operation und innerhalb des 2-Minuten-Intervalls die Funktion des Elements detektiert hat.

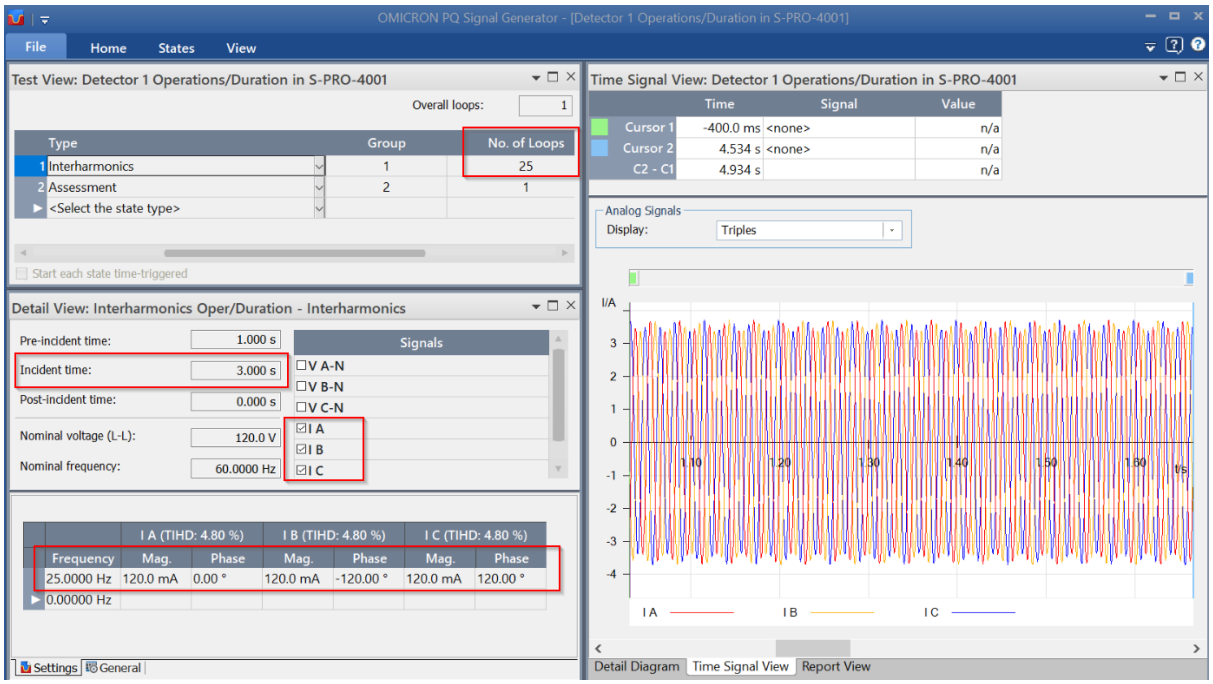

Abbildung 8: Für die Prüfung der Zahl der Ereignisse pro Minute verwendete Wellenform

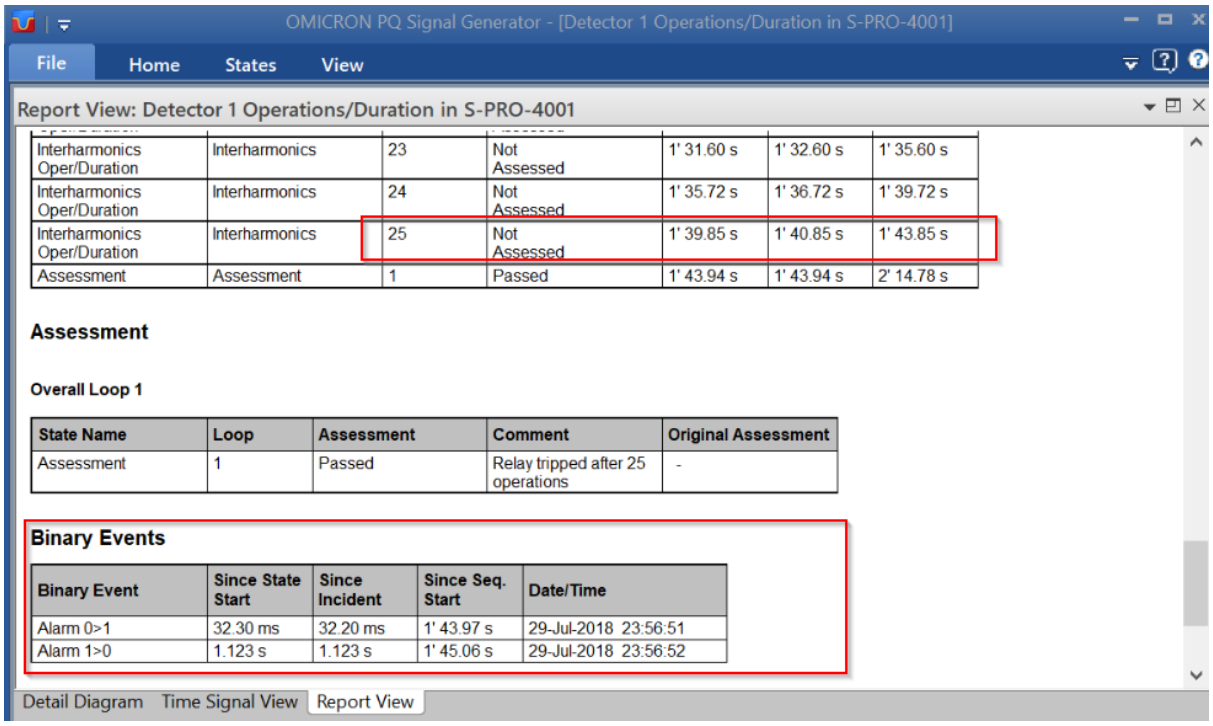

Abbildung 9: Bericht zur Prüfung der Zahl der Ereignisse pro Minute mit Aufzeichnung einer Binärspur

Prüfung der Betriebszeit

Zur Verifizierung der Anregeverzögerung des Relais wurde ein Signal mit einer Grundwelle und einer subharmonischen Komponente von 25 Hz erzeugt. Die Grundwelle und die subharmonische Komponente für den Strom sind fest und ihre Größen reichen aus, das S-PRO zum Anregen zu veranlassen. Die Verzögerung des Relais kann durch Verfolgen des Binärereignisses im Oszillographie-Bereich der Zeitsignalansicht ermittelt werden (siehe Abbildung 10).

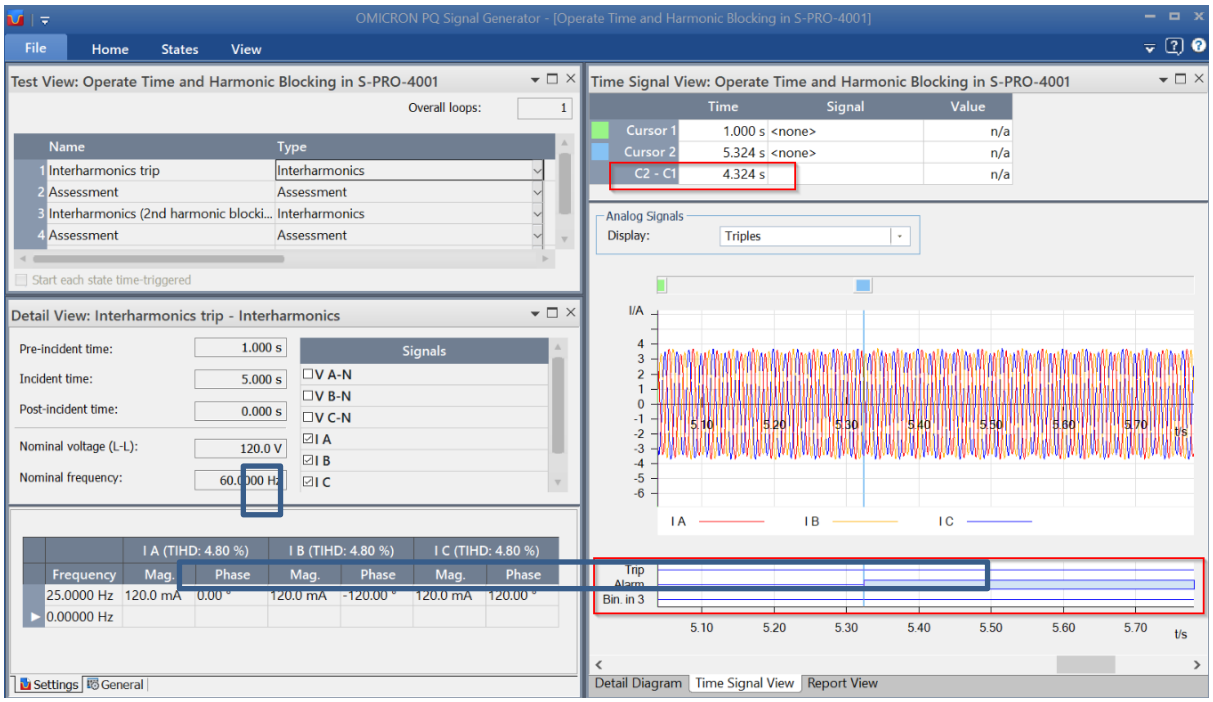

Abbildung 10: Prüfung der Anregeverzögerung

Prüfung der Blockierung für die zweite Harmonische

Für die Blockierung für die zweite Harmonische und die fünfte Harmonische, die nur für Stromdetektoren zur Verfügung stehen, werden die Grenzwerte einzeln als Verhältnis der Größe entweder der zweiten Harmonischen oder der fünften Harmonischen zur Größe des Nennstroms von 5 A oder 1 A berechnet.

Damit die zweite bzw. die fünfte Harmonische die Subharmonischen-Detektoren blockiert, muss das Verhältnis der Größe der zweiten Harmonischen bzw. der fünften Harmonischen und des Nennstroms größer als die entsprechenden Grenzwerte sein.

Diese Prüfung erfolgt auf die gleiche Weise wie in Abbildung 10 für die Betriebszeit dargestellt, wobei jetzt aber dem Signal auch eine Zweite-Harmonische-Komponente hinzugefügt wird, wie in Abbildung 11 zu sehen. Die Größe der zweiten Harmonischen ist größer als der unter „Second Harmonic Blocking“ festgelegte Grenzwert, sodass der Betrieb der Subharmonischen-Elemente blockiert wird.

Die Blockierung für die fünfte Harmonische kann auf die gleiche Weise wie die Blockierung für die zweite Harmonische geprüft werden.

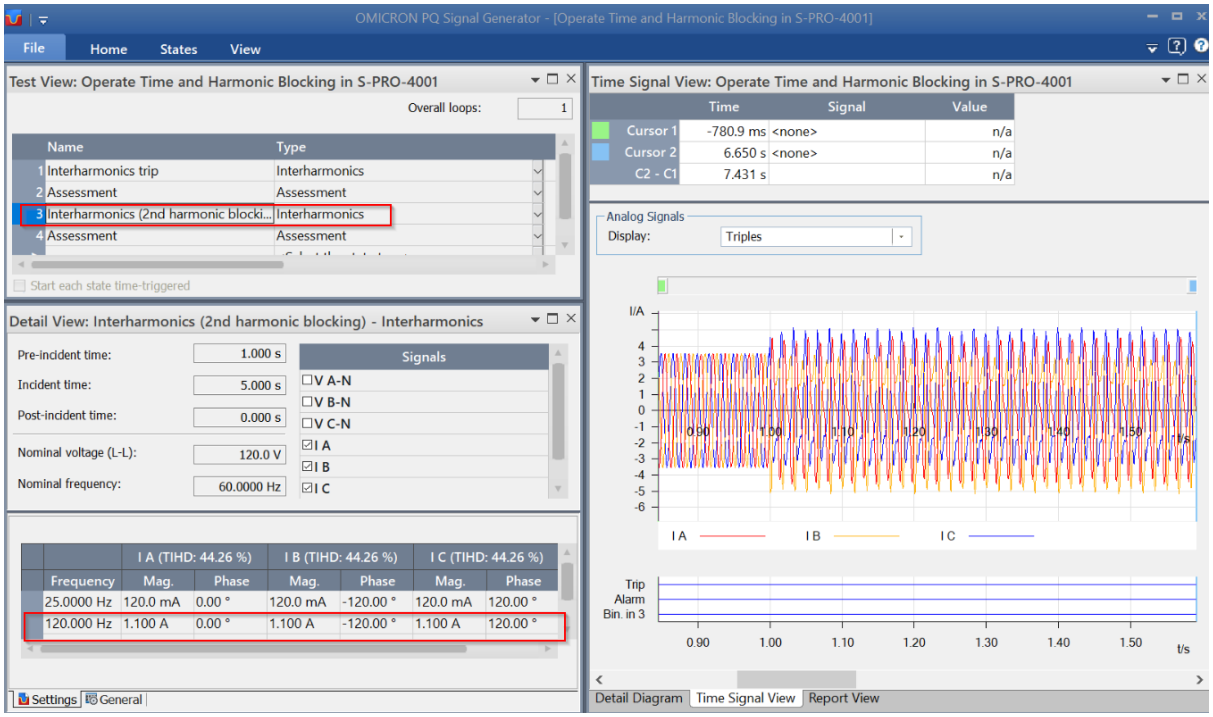

Abbildung 11: Wellenform für die Prüfung der Sperre der zweiten Harmonischen

Fazit

Ziel dieser Abhandlung ist es, das Prüfverfahren für die Inbetriebnahme eines Relais zum Schutz vor Subharmonischen mit einem State-of-the-Art-Relaisprüfsystem zu beschreiben, das in der Lage ist, die für die Simulation geeigneter Prüffälle benötigten Wellenformen zu erzeugen.

Zu diesem Zweck wird der Prüfprozess vollständig beschrieben und es werden Beispiele bereitgestellt, die typische Wellenformen für die Prüfung der einzelnen Funktionen zeigen.

Es sei darauf hingewiesen, dass Relais für den Schutz vor Subharmonischen nicht durch einfache Einspeisung von Strom und Spannung geprüft werden können, da für jede Prüfung eine bestimmte Kombination aus Grundwelle und Anteil Subharmonische erforderlich ist.

In der Abhandlung wird der Prozess zum Prüfen von Strom- bzw. Spannungsdetektoren für die folgenden Einstellungen zum Detektieren von Subharmonischen beschrieben:

- Frequenzbereich, von 5 Hz bis 55 Hz auswählbar
- Anregewert der Subharmonischen
  - Verhältnis zum Nominalwert
  - Verhältnis zur Grundwelle
- Zeitverzögerung
- TSHD
- Zahl der Ereignisse pro Minute
- Blockierung für zweite Harmonische
- Blockierung für fünfte Harmonische

Literaturhinweise

[1] „Sub-Synchronous Control Interactions between Type 3 Wind Turbines and Series Compensated AC Transmission Systems“, Andrew L. Isaacs, *Member, IEEE*, Garth D. Irwin, *Member, IEEE* und Amit K. Jindal, *Member, IEEE*

[2] „Reader’s Guide to Sub-Synchronous Resonance“, IEEE Committee Report der Sub-Synchronous Resonance

Working Group des System Dynamic Performance Subcommittee in „IEEE Transactions on Power Systems“, Vol. 7, No. 1, Februar 1992

[3] „A Microprocessor-Based Sub-Harmonic Protection Technique for Wind Farms“, Krish Narendra, Dave Fedirchuk, Adi Mulawarman, Pratap Mysore, IEEE EPEC Conference 2011

[4] „New Microprocessor Based Relay to Monitor and Protect Power Systems against Sub-Harmonics“, K. Narendra, D. Fedirchuk, R. Midence, N. Zhang, A. Mulawarman, P. Mysore, V. Sood., IEEE EPEC Conference 2011

[5] „Performance Evaluation of a Sub-Harmonic Protection Relay Using Practical Waveforms“, N. Perera, K. Narendra, D. Fedirchuk, R. Midence, V. Sood, IEEE EPEC Conference 2012

[6] „Sub-harmonic protection application for interconnections of series compensated lines and wind farms“, René Midence, Joe Perez, P.E., Adi Mulawarman, Western Protection Relay Conference 2012, Pullman, Washington

OMICRON ist ein weltweit tätiges Unternehmen, das innovative Prüf- und Diagnoselösungen für die elektrische Energieversorgung entwickelt und vertreibt. Der Einsatz von OMICRON-Produkten bietet höchste Zuverlässigkeit bei der Zustandsbeurteilung von primär- und sekundärtechnischen Betriebsmitteln. Umfassende Dienstleistungen in den Bereichen Beratung, Inbetriebnahme, Prüfung, Diagnose und Schulung runden das Leistungsangebot ab.

Kunden in mehr als 160 Ländern profitieren von der Fähigkeit des Unternehmens, neueste Technologien in Produkte mit überragender Qualität umzusetzen. Servicezentren auf allen Kontinenten bieten zudem ein breites Anwendungswissen und erstklassigen Kundensupport. All dies, zusammen mit einem starken Netz von Vertriebspartnern, ließ OMICRON zu einem Marktführer der elektrischen Energiewirtschaft werden.

Mehr Informationen, eine Übersicht der verfügbaren Literatur und detaillierte Kontaktinformationen unserer weltweiten Niederlassungen finden Sie auf unserer Website.

www.omicronenergy.com

© OMICRON