

Point on Wave Switching / Gesteuertes Schalten

Dr. Klaus Böhme / Stefan Werben, Siemens AG / Christopher Pritchard, OMICRON

Kurzfassung

Das gesteuerte Schalten ist eine Möglichkeit zur betriebsmittelschonenden Ein- und Ausschaltung. Diese ist jetzt auch in SIPROTEC 5-Geräten verfügbar. Durch die Kombination mit einem Schutz-/Steuergerät ergeben sich neue Möglichkeiten und Einsparungen an Verdrahtungsaufwand. Das Seminar beschreibt die Umsetzung und stellt das Prüfen des Gerätes vor.

Einleitung/Problembeschreibung

Das gesteuerte Schalten oder auch Phasengenaues Schalten (**Point on Wave PoW**) dient dazu Schalt-handlungen besonders schonend für das Betriebsmittel, den Schalter und auch das Netz auszuführen. So kann die Lebensdauer von Betriebsmitteln erhöht, sowie deren Alterung reduziert werden. Selbst Netzstörungen (z.B. Rückzündungen an Kondensatoren) lassen sich reduzieren und damit die Verfügbarkeit erhöhen. Beim gesteuerten Schalten wird die Schaltung (je nach Anwendung Ein- und/oder Ausschaltung) phasenselektiv bei definierten Schaltwinkeln durchgeführt. Darauf spezialisierte Geräte werden von einigen Herstellern angeboten.

Da Schutz-/Steuergeräte für andere Anwendung spezialisiert/optimiert sind, wobei es nicht auf exakte Schaltwinkel ankommt (schnelle 1- oder 3-polige Ausschaltung), können die notwendigen Schaltgenauigkeiten mit den vorhandenen Binärausgaben (Relais) normalerweise nicht erreicht werden. Die SIPROTEC 5 Plattform erfüllt alle Anforderungen sowohl für Schutz wie auch für gesteuertes Schalten. Zum Prüfen des Gesteuerten Schaltens sind neue Methoden notwendig, die hier beschrieben werden.

Im Folgenden wird das Prinzip des gesteuerten Schaltens am Beispiel der Einschaltung einer Kondensatorbank bzw. kapazitiver Last beschrieben. Für andere Betriebsmittel/Lasten gilt das gleiche mit anderen Schaltwinkeln.

Auswirkungen unterschiedlicher Schaltwinkel

Die Auswirkungen unterschiedlicher Schaltwinkel können leicht mit einer Simulation wie z.B. Relay-SimTest verifiziert werden. Betrachtungen hierzu sind, für eine MSCDN-Anlage (Mechanical Switched Capacitor with Damping Network), in [1] durchgeführt worden. Bei dieser MSCDN Anlage würden sich die in Bild 1 dargestellten Einschaltströme ergeben.

Wie man deutlich sieht, ist die Stromamplitude bei einem ungünstigen Einschaltwinkel ($\Phi=90^\circ$) wesentlich höher, wodurch Netz, Schalter und MSCDN Anlage höheren Belastungen ausgesetzt sind.

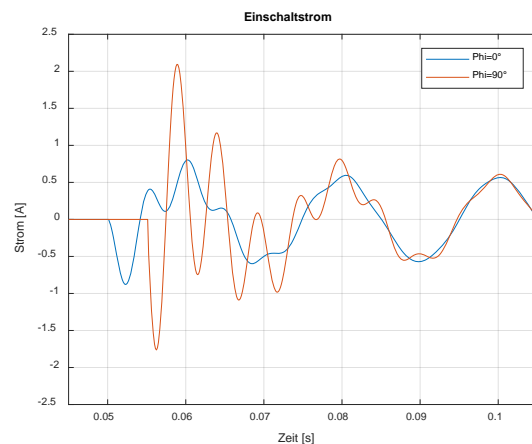


Bild 1: Einschaltstrom bei günstigen und ungünstigen Einschaltwinkel einer MSCDN Anlage

Bild 2 zeigt für eine 3-polige Einschaltung das auftretende Strommaximum aller 3 Phasen über dem Einschaltwinkel. Hier zeigt sich, dass sich kein Winkel für eine schonende Einschaltung finden lässt. Zur Vermeidung hoher Einschaltströme müssen die Schalterpole separat angesteuert werden. Dies ist in gleicher Weise in Bild 3 dargestellt. Die Einschaltströme können für Einschaltwinkel $L1:0^\circ$, $L2:120^\circ$, $L3:60^\circ$ (für Einschaltung kapazitiver Betriebsmittel) deutlich reduziert werden. In Bild 3 ist der Offset zu diesen optimalen Winkeln dargestellt.

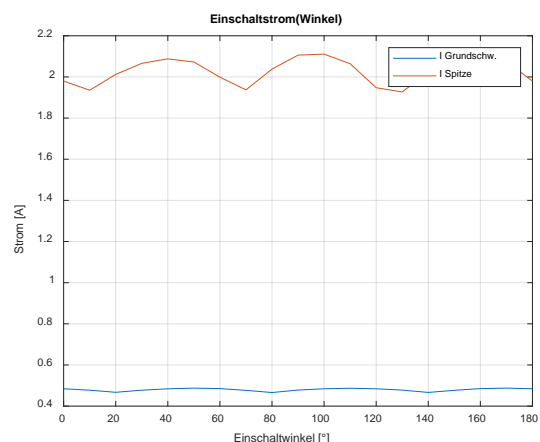


Bild 2: Strommaximum als Funktion des Einschaltwinkels bei 3-poliger Einschaltung

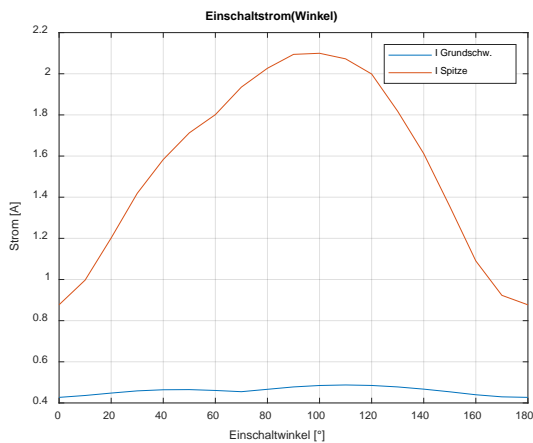


Bild 3: Strommaximum als Funktion des Einschaltwinkels bei 1-poliger Einschaltung (L1:0°/L2:120°/L3:60°)

Gesteuertes Schalten

Die Schaltwinkelvorgabe ist von dem zu schaltenden Objekt abhängig. Bei einer kapazitiven Last oder einer Kondensatorbank ist der Spannungsnulldurchgang der jeweiligen Phase am günstigsten. Hier wird bezogen auf den Nulldurchgang ($\Phi=0^\circ$) einer Referenzmessgröße, den Leistungsschaltdaten und der Schaltwinkelvorgabe ein Zeitpunkt errechnet, zu dem der Gerätekontakt angesteuert werden muss, damit der Leistungsschalter die Vorgabe erreicht. Ist die Referenzspannung U_{L1} ergibt sich für die Einschaltung einer kapazitiven Last eine Schaltsequenz L1:0°/L2:120°/L3:60° bezogen auf den Nulldurchgang der Referenzspannung. Zur Berechnung des Zeitpunktes zu dem der Gerätekontakt zur Ansteuerung des Leistungsschalters aktiviert werden muss, sind die mechanischen (Einschalteigenzeit) und elektrischen Schaltzeiten (Einschaltzeit) notwendig. Diese unterscheiden sich durch die Vorzündzeit in der der Schaltlichtbogen im Leistungsschalter den elektrischen Kontakt herstellt. Die Einschalteigenzeit/Ausschalteigenzeit ist zusätzlich abhängig von folgenden Einflussgrößen:

- Steuerspannung des Aus-/Einschaltkreises
- Temperatur
- Leistungsschalterdruck

Diese Einflussgrößen können über Messungen mit Trennverstärkereingängen optional in den Schaltzeiten berücksichtigt werden. Dies kann mit linearen Kennlinien oder mit spezifischen Kennlinien erfolgen. So werden diese Einflussgrößen in der Berechnung des Schaltzeitpunktes berücksichtigt.

Das Prinzip einer Einschaltung ist in Bild 4 dargestellt.

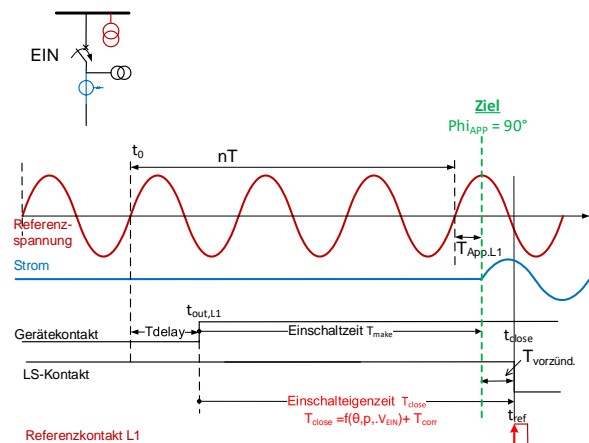


Bild 4: Prinzip der gesteuerten Einschaltung

Um gute Schaltergebnisse zu erreichen ist eine geringe Streuung in der Geräteschaltzeit notwendig. Normale mechanische Binärausgaben (Relais) haben eine zeitliche Streuung des Schaltzeitpunktes von bis zu 1 bis 2 ms. Eine Streuung von 1 ms ergibt im 50 Hz Netz eine Ungenauigkeit des Schaltwinkels von 18°. Aus Bild 3 kann hierzu eine Vergrößerung des Spitzenstroms um ca. 30% abgelesen werden. Seitens der Geräteschaltzeit muss eine Genauigkeit von $<100 \mu\text{s}$ gefordert werden, was 1.8° entspricht. Die zu verwendenden Kontakte sollten eine möglichst geringe Streuung der Schaltzeiten aufweisen. Mechanische Kontakte sind hierfür nicht geeignet. Die konstanten systematischen Anteile in der Schaltzeit können bei der Berechnung des Zeitschaltpunktes berücksichtigt werden.

Im SIPROTEC 5 System sind „Halbleiterrelais“ verfügbar, die neben sehr kurzen Auslöseverzögerungen auch eine sehr kleine Streuung des Zeitschaltpunktes aufweisen. Damit werden sogar Geräteschaltgenauigkeiten $<50 \mu\text{s}$ erzielt.

Testverfahren

Schaltzeitreferenz ist der Nulldurchgang einer definierten Spannung z.B. U_{L1} . Auf diesen Nulldurchgangszeitpunkt werden alle Schaltzeitpunkte bezogen. Unter Berücksichtigung der Zeiten des Schalters wird der Zeitpunkt berechnet, zu dem das Relais aktiviert werden muss, um das Schaltziel zu erreichen. Die zum Testen verwendete Quelle muss hier eine hohe zeitliche Stabilität erfüllen. Dies wird z.B. von dem CMC 256/356 Geräten gewährleistet. Mit dem State-Sequencer kann die Schaltsequenz ausgegeben werden. Die Messung der Kontaktgabe im Vergleich zur Referenzspannung kann mit einem Oszilloskop erfolgen. Der Messaufbau bzw. das Messprinzip ist in Bild 5 beschrieben.

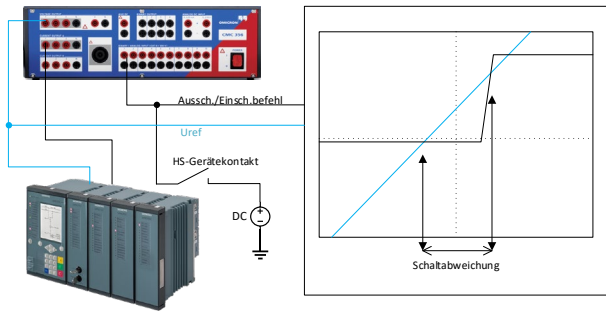


Bild 5 Messaufbau/-prinzip

Die Schaltzeitabweichung wird vom Nulldurchgang der Referenzspannung zum Ansprechen des Kontaktes des Gerätes gemessen. Bei den Messungen ergibt sich eine Schaltzeitabweichung des Gerätekontaktes von $<30 \mu\text{s}$ ($<0.18^\circ$). Wichtiger ist hier aber eine geringe Streuung der Ergebnisse. Die systematischen Ungenauigkeiten können durch Einstellungen kompensiert werden. Die beispielhafte Messung in Bild 6 ergibt $3.0 \mu\text{s}$ (0.054°) als Schaltzeitabweichung zwischen Nulldurchgang der Referenzspannung und Ansprechen des Kontaktes.

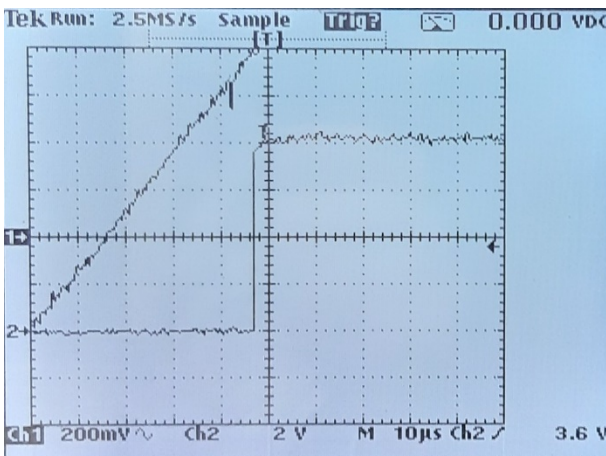


Bild 6 Messung der Schaltzeitabweichung

Eine einfache aber ähnliche Messmethode kann mit den Trennverstärkereingängen realisiert werden. Diese werden normalerweise zur Kompensation der Steuerspannung der Aus-/Einschalt-Kreise, der Erfassung der Referenzkontakte (bei Siemens Leistungsschaltern signalisiert der Referenzkontakt die mechanische Kontaktgabe des Leistungsschalters) usw. verwendet. Hierbei wird eine externe Gleichspannung ($\leq 10 \text{ V}$) durch den Kontakt auf den Trennverstärker geschaltet. Durch Auswertung des angelegten Störschriebs ($f_{\text{abtast}}=8 \text{ kHz}$) kann die Aus-/Einschaltung im Labor grob für einen orientierenden Test (Zeitauflösung: $125 \mu\text{s}$) ausgewertet werden.

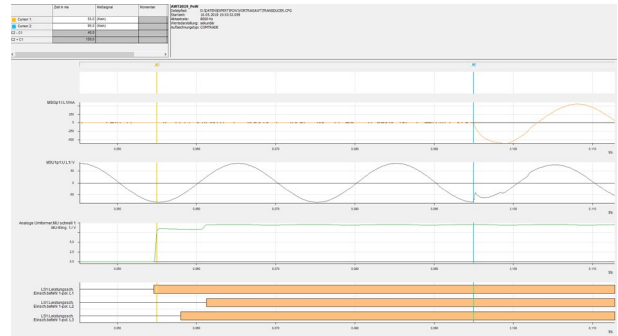


Bild 7

Mit dem State Sequencer ist auch eine direkte Messung über ein geeignetes CMC Prüfgerät möglich. Die direkte Messung über die Binäreingänge der CMC356 kann die Genauigkeit (aus der Messung mit dem Oszilloskop) nicht erreichen, da die Binäreingänge mit einer Abtastrate von 10 kHz also alle $100 \mu\text{s}$ eingelesen werden. Die entspricht einer Winkelabweichung von 1.8° und kann daher für einen orientierenden Test der Funktion bzw. der Einstellwerte akzeptiert werden. Ältere CMC Geräte wie das CMC156 erreichen diese Abtastrate nicht.

Um die Auswirkungen der Schaltung auf das Betriebsmittel direkt sehen zu können, ist eine Closed Loop Simulation notwendig. Hier haben die Geräteaktionen bzw. -aktionen direkten Einfluss auf die Simulation. Diese ist aufwändig und nur mit teureren Echtzeitsimulatoren wie z.B. RTDS (Real Time Digital Simulator) möglich.

Eine einfachere Möglichkeit ist mit der Iterativen Closed Loop Simulation in RelaySimTest gegeben. Hier wird die Simulation in mehreren Durchläufen durchgeführt, um das Schaltverhalten zu berücksichtigen. Die Durchläufe werden wie folgt durchgeführt:

1. Ausgabe der Simulationsgrößen ohne Berücksichtigung der Kommandos. Die Kommandos werden für den 2ten Durchlauf gemessen.
2. Ausgabe der Simulationsgrößen mit Berücksichtigung der zuvor gemessenen Kommandos.
3. Ist die Abweichungen der Kommandos von 1. und 2. gering, ist die Simulation korrekt und wird beendet, ansonsten sind weitere Durchläufe notwendig.

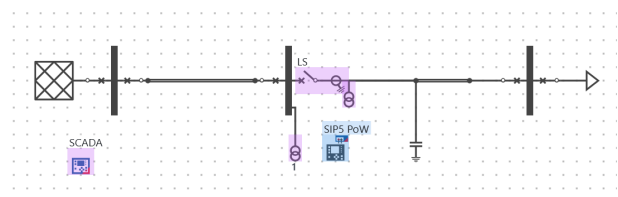


Bild 8: Simuliertes Netz (kapazitive Last)

Für eine kapazitive Last bzw. eine Kondensatorbank ist die Iterative Closed Loop Simulation für das in Bild 8 dargestellte Netz für eine gute Schaltung (Bild 9) und eine Schaltung mit fehlerhaften Einschaltwinkel (Bild 10) durchgeführt worden. Der höhere Oberschwingungsgehalt ist deutlich ersichtlich.

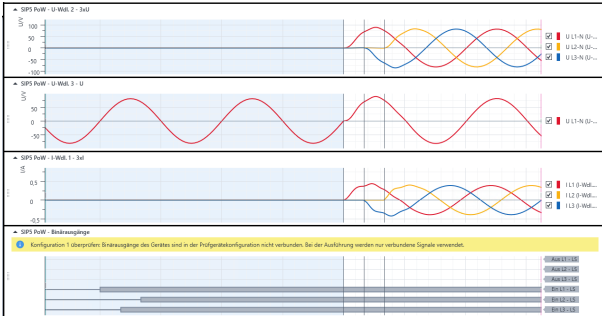


Bild 9: Gute Zuschaltung

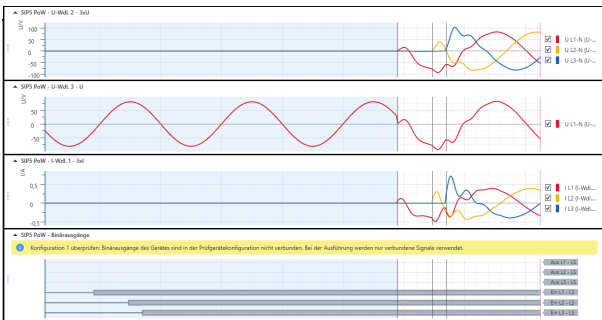


Bild 10: Schlechte Zuschaltung

Integration in die Steuerungsfunktion

Die Steuerung (Control) des Leistungsschalters wird derzeit mit einem kombinierten Schutz-/Steuergerät durchgeführt. Soll der Leistungsschalter auch phasengenau gesteuert/geschaltet werden, ist derzeit ein separates Gerät notwendig. Um dies in die Steuerung (Control) einzubinden sind externe zusätzliche Verdrahtungen zur Koordinierung mit dem Schutz-/Steuergerät notwendig. Eine vollständige Integration der Funktion „Phasengenaues Schalten“ in die Steuerungsfunktion eines Schutz-/Steuergerätes spart ein separates Gerät, Engineering- und Installationsaufwände. Da das Steuergerät in die Leittechnik eingebunden ist, ist der zusätzliche Aufwand gesteuert zu schalten deutlich geringer. Ist die Funktion „Phasengenaues Schalten“ im Gerät verfügbar und aktiviert, wird jede initiierte Schalthandlung gesteuert durchgeführt.

Die Funktion „Phasengenaues Schalten“ ist in der Funktionsgruppe Leistungsschalter integriert. Die Funktion hat jeweils einen Funktionsblock zum Aus- und Einschalten und kann damit an die konkrete Anwendung angepasst werden.

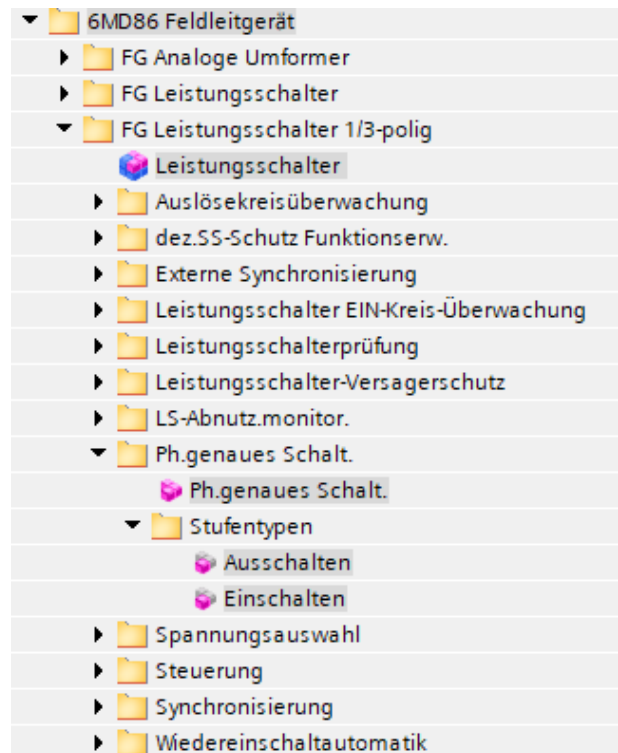


Bild 11a Phasengenaues Schalten in DIGSI 5 Bibliothek



Bild 11b Parameter Phasengenaues Schalten in FG Leistungsschalter

Zusammenfassung

Das gesteuerte Schalten ermöglicht das schonende Ein- und Ausschalten aller Betriebsmittel. Durch die Integration in die Steuerungsfunktion sind phasengenaue Schaltungen automatisiert und effizient durchführbar. Zur Überprüfung der Eigenschaften sind diverse Prüfverfahren möglich. Mit der Iterative Closed Loop Simulation mit RelaySimTest können die Auswirkungen der Schaltung auf die Netzgrößen direkt getestet werden.

Literatur

[1] Poster: Untersuchung des dynamischen Verhaltens von Kondensatorbänken und deren Auswirkungen auf den Schutz, Schutz- und Leittechnik 2018, Dr. Klaus Böhme, Stefan Werben, Siemens AG, Andrea Ludwig, Ulf Hoffmann, 50Hertz Transmission

[2] Handbuch, Anwenderprogramm PSD-Control 2.x Für die Geräte PSD01, PSD02 und PSD03, Siemens AG 2012

Über den Autor [Überschrift ohne Nummerierung]



Dr.-Ing. Klaus Böhme wurde 1963 in Berlin geboren. Er studierte bis 1989 Elektrotechnik an der TU Berlin, an der er auch 1994 promovierte. Seit 1992 ist er in der Entwicklung digitaler Schutzgeräte bei der Siemens AG beschäftigt. Als Entwickler und Projektleiter verantwortete er die

Entwicklung diverser Geräte beginnend mit 7UM5 V2.x über Siprotec4 bis zu Siprotec5. Schwerpunkt war dabei der Bereich des Generatorschutzes, der Synchronisierungsfunktion aber auch Geräte des Abzweigschutzes. Aktuell beschäftigt er sich als Senior Key Expert mit neuen Applikationen in der Siprotec5 Plattform.



Dipl.-Ing. Stefan Werben wurde am 1. Juni 1964 in Nijmegen, Niederlande geboren. Sein Abitur machte er 1983 am Goethe Gymnasium in Einbeck, Deutschland. Er studierte Elektrotechnik an der Technischen Universität Braunschweig (Deutschland) und schloss das Studium 1990

mit dem Diplom ab. 1991 studierte er an der Southern Illinois University in Carbondale (USA) ein Jahr Betriebswirtschaftslehre. 1992 startete er seine Berufstätigkeit bei der Siemens AG in Berlin als Software Entwickler für digitale Schutzgeräte. Nach Softwareentwicklung und Entwicklungsprojektleitung wechselte er 1998 in das Produktmanagement nach Nürnberg, wo er seit 2001 als Produktmanager für Schutzgeräte tätig ist.

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.