

Przełączanie w odpowiednim punkcie przebiegu / przełączanie kontrolowane

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

Streszczenie

Przełączanie kontrolowane to sposób otwierania i zamykania wyłączników przy jednoczesnym zmniejszeniu obciążenia urządzeń. Funkcja ta jest teraz dostępna również w urządzeniach SIPROTEC 5. Możliwość jej wykorzystania w zabezpieczeniu/sterowniku polowym stwarza nowe możliwości i wpływa na niższe koszty ogólne przewodów. Niniejsze seminarium rozpatruje możliwości wdrożenia tej funkcji i wyjaśnia, w jaki sposób przetestowano urządzenie.

Wprowadzenie/podsumowanie problemu

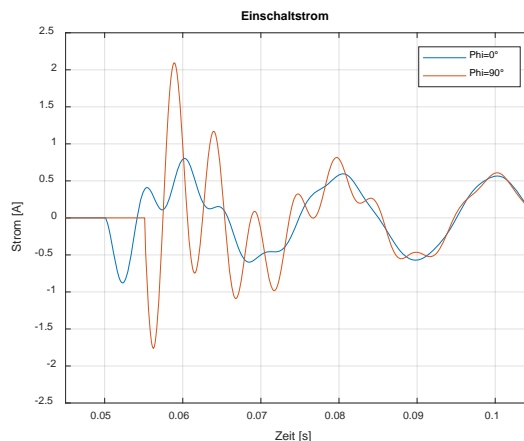
Przełączanie kontrolowane lub przełączanie w odpowiednim punkcie przebiegu (ang. **Point on Wave, PoW**) zmniejsza obciążenie urządzeń i przełącznika podczas procesu przełączania oraz minimalizuje zakłócenia w systemie. Zwiększa to żywotność urządzeń i spowalnia proces ich starzenia się. Występuje mniej zakłóceń systemowych (na przykład ponowny zapłon łuku na kondensatorach), co z kolei zwiększa dostępność. Operacja łączenia (operacja załączania i/lub wyłączenia, w zależności od zastosowania) jest przeprowadzana pofazowo przy ustalonych kątach łączenia. Urządzenia specjalistyczne są dostępne u określonych producentów.

Ze względu na to, że zabezpieczenia/sterowniki polowe są specjalnie zaprojektowane lub zoptymalizowane pod kątem różnych zastosowań, w których dokładny kąt załączania nie jest kwestią najważniejszą (szybkie otwieranie 1- lub 3-biegunowe), wymaganych dokładności przełączania zwykle nie można osiągnąć przy użyciu istniejących wyjść binarnych (przełączniki). Platforma SIPROTEC 5 spełnia wszystkie wymagania w zakresie zabezpieczeń i kontrolowanego przełączania. Kontrolowane przełączanie wymaga nowych sposobów testowania, które przedstawiono poniżej.

Załączenie baterii kondensatorów/obciążenia pojemnościowego zostało użyte jako przykład mający na celu wyjaśnienie zasady kontrolowanego przełączania. Ta sama zasada ma zastosowanie wobec innych urządzeń/obciążeń wykorzystujących różne kąty przełączania.

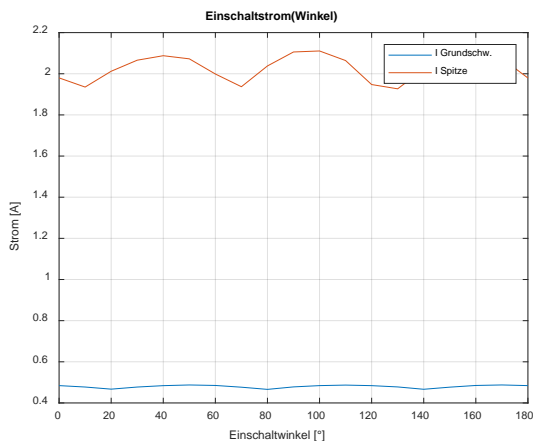
Efekty różnych kątów załączania

Efekty różnych kątów załączania można bardzo łatwo zweryfikować za pomocą symulacji, na przykład w oprogramowaniu RelaySimTest. Obserwacje dotyczące systemu MSCDN (Mechanical Switched Capacitor with Damping Network) opisano w punkcie[1]. Ten system MSCDN generowałby prądy rozruchowe pokazane na rysunku 1. Jak można wyraźnie zauważyć, amplituda prądu przy niekorzystnym kącie załączania ($\Phi=90^\circ$) jest znacznie wyższa, co powoduje większe obciążenie systemu, łącznika i systemu MSCDN.

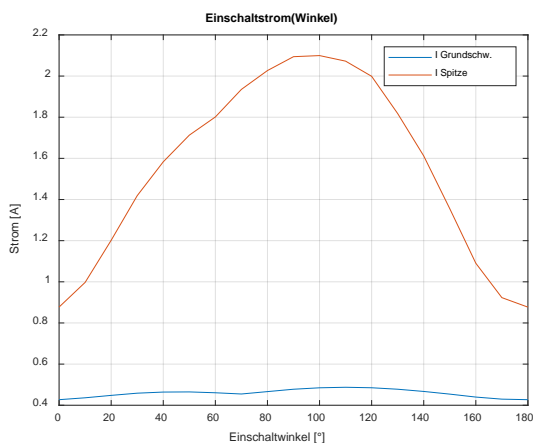


Rysunek 1: Prąd rozruchowy przy korzystnych i niekorzystnych kątach zamknięcia w systemie MSCDN

Rysunek 2 ilustruje maksymalny prąd wszystkich trzech faz dla 3-biegunowej operacji zamykania powyżej kąta zamknięcia. W takim przypadku niemożliwe jest znalezienie kąta, który zmniejszyłoby obciążenie podczas procesu zamykania. Bieguny wyłącznika muszą być zasilane osobno, aby uniknąć wysokich prądów rozruchowych. W ten sam sposób pokazano to na rysunku 3. Prądy rozruchowe dla kątów załączania L1:0°, L2:120°, L3:60° (przy załączaniu elementów pojemnościowych) można znacznie zmniejszyć. Rysunek 3 pokazuje przesunięcie do tych optymalnych kątów.



Rysunek 2: Maksymalny prąd jako funkcja kąta załączenia przy załączaniu 3-biegunowym



Rysunek 3: Maksymalny prąd jako funkcja kąta załączenia przy załączaniu 1-biegunowym (L1:0°/L2:120°/L3:60°)

Przełączanie kontrolowane

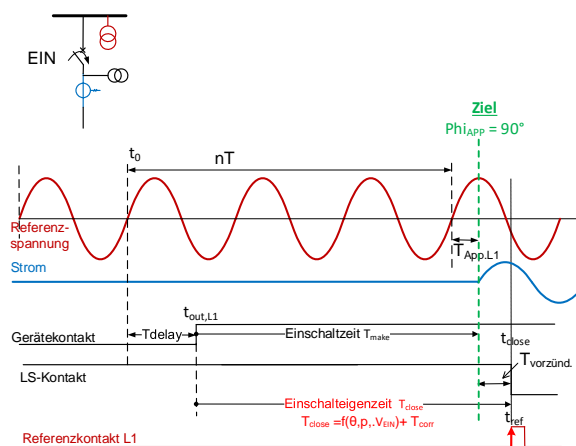
Kąt łączenia zależy od łączonego urządzenia. W przypadku obciążenia pojemnościowego lub baterii kondensatorów najlepszym rozwiązaniem jest przejście przez zero napięcia odpowiedniej fazy. Wykorzystując przejście przez zero ($\Phi=0^\circ$) zmierzonej wartości odniesienia, danych wyłącznika i określonego kąta załączenia, wykonuje się obliczenia w celu określenia momentu, w którym styk urządzenia musiały zostać zasilony, aby zagwarantować, że wyłącznik spełnia wymagania. Uwzględniając napięcie odniesienia U_{L1} , sekwencja załączania L1:0°/L2:120°/L3:60° względem przejścia przez zero napięcia odniesienia jest wymagana do załączenia obciążenia pojemnościowego. Aby obliczyć moment, w którym ma dojść do pobudzenia styku zasilającego wyłącznik, musimy znać mechaniczne i elektryczne czasy przełączania (odpowiednio czas załączenia i czas wyłączenia). Różnią się one w zależności od czasu wstępnego

wzbudzenia łuku elektrycznego, w którym łuk w wyłączniku tworzy styk elektryczny. Na czas zamykania/otwierania mają wpływ także:

- Napięcie sterujące obwodu otwierania/zamykania
- Temperatura
- Ciśnienie wyłącznika

W razie potrzeby wszystkie te czynniki można uwzględnić podczas okresów łączenia poprzez pomiary z wykorzystaniem wejść wzmacniacza izolacyjnego. Może to mieć miejsce z charakterystyką liniową lub szczególną. Zmienne te są używane do obliczania momentu łączenia.

Rysunek 4 przedstawia zasadę ilustrującą proces załączania.



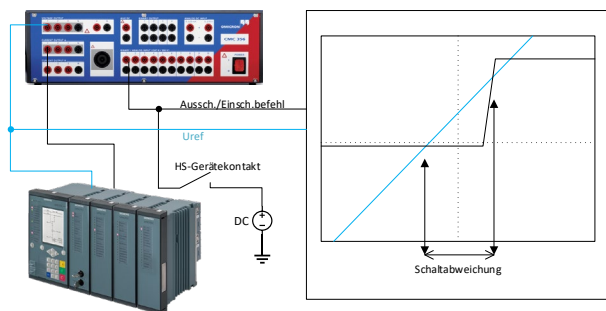
Rysunek 4: Zasada działania łączenia kontrolowanego

W celu uzyskania dobrych wyników łączenia wymagany jest mały rozrzut czasów załączania. Czas załączania w przypadku normalnych mechanicznych wyjść binarnych (przełączników) wynosi od 1 do 2 ms. Czas załączania wynoszący 1 ms powoduje w systemie 50 Hz błąd kąta załączania wynoszący 18°. Rezultatem jest wzrost prądu szczytowego o około 30% (patrz rysunek 3). W odniesieniu do czasu załączania urządzenia wymagana jest dokładność $<100 \mu s$, co odpowiada 1,8°. Wykorzystywane styki powinny mieć możliwie jak najmniejszy rozrzut czasów załączania. W tym przypadku styki mechaniczne nie są odpowiednie. Stałe, systematyczne składowe czasu załączania można uwzględnić przy obliczaniu momentu zamknięcia.

System SIPROTEC 5 jest wyposażony w „przełączniki półprzewodnikowe”, które oprócz bardzo krótkich opóźnień wyłączenia mają również bardzo niską wartość czasu załączania. Skutkuje to dokładnością załączania urządzenia nawet na poziomie $<50 \mu s$.

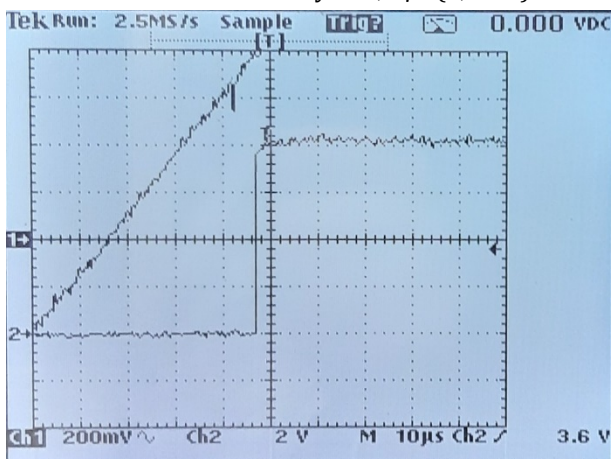
Metoda testowania

Punktem odniesienia czasu załączania jest przejście przez zero zdefiniowanego napięcia, na przykład U_{LL} . Wszystkie czasy załączania odnoszą się do tego punktu przejścia przez zero. Czasy łączenia służą do obliczania czasu, w którym przekaźnik w urządzeniu musi zostać aktywowany, aby osiągnąć pożądany cel załączenia. Źródło użyte do testu musi charakteryzować się wysokim stopniem stabilności czasu, co gwarantują na przykład urządzenia CMC 256/356. Sekwencję łączenia można wyprowadzić za pomocą modułu State Sequencer (Sekwencer Stanu), a pomiar zamykania styku w porównaniu z napięciem odniesienia wykonuje się z wykorzystaniem oscyloskopu. Zestaw pomiarowy i zasadę pomiaru pokazano na rysunku 5.



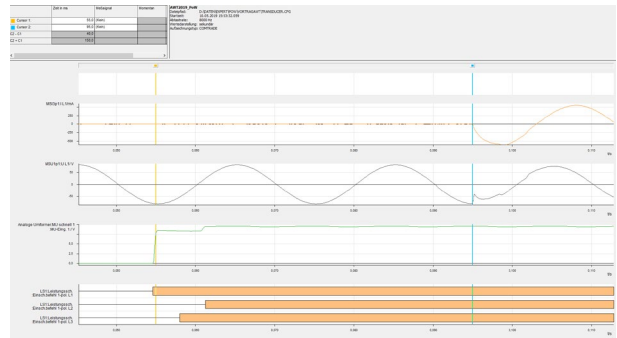
Rysunek 5 Zestaw pomiarowy / zasada pomiaru

Pomiar obejmuje odchylenie w czasie zamykania między przejściem przez zero napięcia odniesienia a działaniem styku urządzenia. Pokazuje to odchylenie czasu zamknięcia styku urządzenia $<30 \mu\text{s}$ ($<0,18^\circ$). Bardziej znaczący w tym przypadku jest mały rozrzut czasów załączania uzyskanych wyników. Systematyczne niedokładności można kompensować w ustawieniach. Pomiar próbki na rysunku 6 spowodował odchylenie czasu załączenia między przejściem przez zero napięcia odniesienia a działaniem styku $3,0 \mu\text{s}$ ($0,054^\circ$).



Rysunek 6 Pomiar odchylenia czasu załączania

Prostą, ale podobną metodą pomiaru jest użycie wejść wzmacniacza izolującego. Są one zwykle używane do kompensacji napięcia sterującego obwodów załączania/wyłączania lub do rejestrowania styków odniesienia (w przypadku wyłączników Siemens styk odniesienia sygnalizuje mechaniczne zamknięcie styku wyłącznika) itp. Zewnętrzne napięcie stałe ($\leq 10 \text{ V}$) jest przykładane do wzmacniacza izolacyjnego poprzez styk. Ocena wygenerowanej rejestracji zakłócenia ($f_{\text{sample}}=8 \text{ kHz}$) umożliwia przybliżoną ocenę załączenia/wyłączenia w laboratorium na potrzeby testu badawczego (rozdzielczość czasowa: $125 \mu\text{s}$).



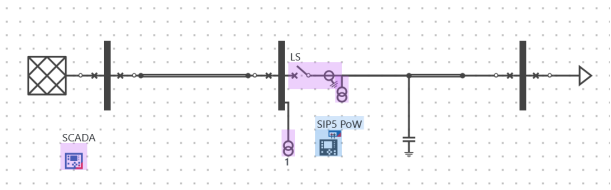
Rysunek 7

Użycie modułu State Sequencer ułatwia również bezpośredni pomiar przy użyciu odpowiedniego zestawu testowego CMC. Bezpośredni pomiar przez wejścia binarne CMC356 nie może osiągnąć tego samego poziomu dokładności, co pomiar za pomocą oscyloskopu, ponieważ wejścia binarne są odczytywane z częstotliwością próbkowania 10 kHz (innymi słowy – co $100 \mu\text{s}$). Jest to równoznaczne z odchyleniem kątowym wynoszącym $1,8^\circ$, a zatem jest dopuszczalne na potrzeby testu badawczego funkcji i/lub ustawień. Starsze urządzenia CMC, takie jak CMC156, nie osiągają tej częstotliwości próbkowania.

Aby zobaczyć efekty załączania urządzenia, wymagana jest symulacja w zamkniętej pętli. Reakcje (lub działania) urządzenia mają bezpośredni wpływ na symulację. Jest to złożone i możliwe do osiągnięcia tylko dzięki kosztownym symulatorom działającym w czasie rzeczywistym, takim jak RTDS (ang. Real Time Digital Simulator).

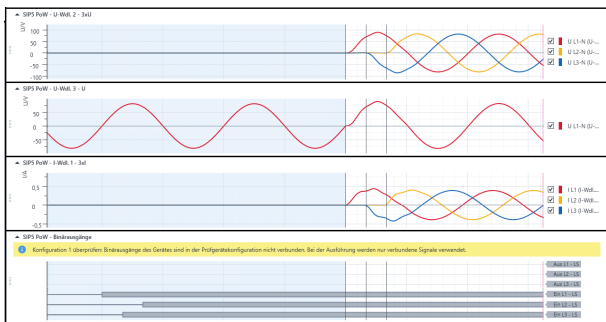
Łatwiejszym podejściem jest wykorzystanie symulacji iteracyjnej w zamkniętej pętli (ang. iterative closed-loop simulation) w oprogramowaniu RelaySimTest. W tym przypadku symulacja jest wykonywana kilka razy tak, aby uwzględnić reakcję przełączania. Symulacja jest wykonywana w następujący sposób:

1. Generowanie zmiennych symulacyjnych, ignorując rozkazy. Rozkazy są mierzone w trakcie drugiej pętli.
2. Generowanie zmiennych symulacyjnych, tym razem wraz z poprzednio zmierzonymi rozkazami.
3. W przypadku występowania bardzo małej rozbieżności między pierwszym a drugim zestawem rozkazów, symulacja jest poprawna i zostaje zakończona. W przeciwnym razie niezbędne są kolejne pętle symulacji.

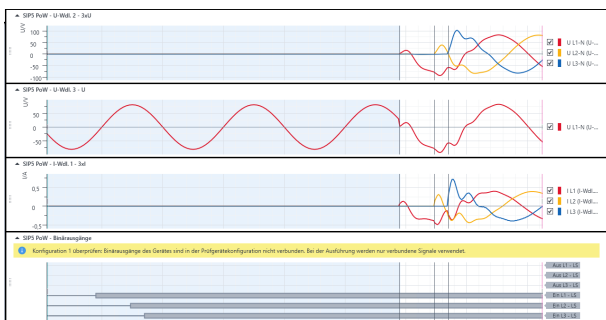


Rysunek 8: System symulowany (obciążenie pojemnościowe)

W przypadku obciążenia pojemnościowego (lub baterii kondensatorów) przeprowadzono iteracyjną symulację w zamkniętej pętli dla układu przedstawionego na rysunku 8 dla korzystnej operacji łączenia (rysunek 9) i operacji łączenia z niekorzystnym kątem zamknięcia (rysunek 10). Zniekształcenia wyższych harmonicznych są wyraźnie widoczne.



Rysunek 9: Korzystna operacja łączenia

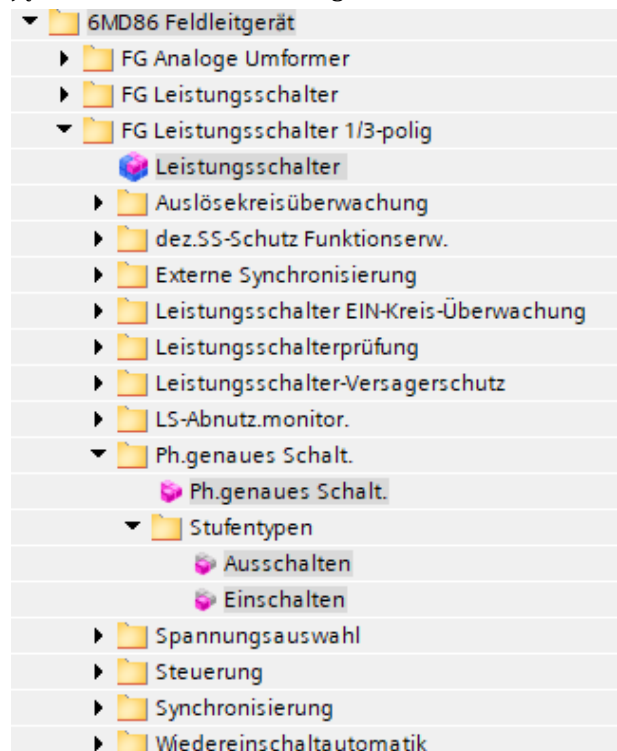


Rysunek 10: Niekorzystna operacja łączenia

Integracja z funkcją sterowania

Sterowanie wyłącznikiem odbywa się obecnie za pomocą zabezpieczenia z funkcjami sterownika polowego. Aktualnie wymagane jest oddzielne urządzenie, jeżeli wyłącznik ma być również sterowany/łączony w synchronizacji z fazami. Celem integracji z systemem sterowania konieczne będzie dodatkowe, zewnętrzne okablowanie na potrzeby koordynacji z zabezpieczeniem/sterownikiem polowym. Pełna integracja funkcji „łączenia w odpowiednim punkcie przebiegu” w zabezpieczeniu/sterowniku polowym oznacza o jedno urządzenie mniej i niższe koszty ogólne konfiguracji i instalacji. Ponieważ sterownik polowy jest zintegrowany z systemem sterowania, dodatkowe koszty ogólne wymagane do łączenia kontrolowanego są znacznie niższe. Jeśli w urządzeniu dostępna jest funkcja „łączenie w odpowiednim punkcie przebiegu” i jest ona aktywna, każda operacja łączenia będzie kontrolowana.

Funkcja „łączenie w odpowiednim punkcie przebiegu” jest zawarta w grupie funkcji wyłącznika. Funkcja ma również bloki funkcyjne służące do jej włączania i wyłączania. Dlatego też można ją dostosować do konkretnego zastosowania.



Rysunek 11a Łączenia w odpowiednim punkcie przebiegu w bibliotece DIGSI 5



Rysunek 11b Łączenia w odpowiednim punkcie przebiegu w grupie funkcji wyłącznika

Podsumowanie

Łączenie kontrolowane umożliwia otwieranie i zamykanie wszystkich urządzeń, powodując zmniejszenie ich obciążenia. Zintegrowanie kontrolowanego przełączania z funkcją sterowania umożliwia zautomatyzowane i wydajne przełączanie w odpowiednim punkcie przebiegu. Do sprawdzenia wyników dostępne są różne sposoby testowania. Iteracyjna symulacja w zamkniętej pętli w oprogramowaniu RelaySimTest umożliwia bezpośrednie testowanie wpływu operacji zamykania na zmienne systemowe.

Referencje

[1] Plakat: Untersuchung des dynamischen Verhaltens von Kondensatorbänken und deren Auswirkungen auf den Schutz, Schutz- und Leittechnik 2018 [Badanie dynamicznego zachowania baterii kondensatorów i ich wpływu na zabezpieczenia, technologię zabezpieczeń i sterowanie], Dr Klaus Böhme, Stefan Werben, Siemens AG, Andrea Ludwig, Ulf Hoffmann, transmisja 50 herców

[2] Handbuch, Anwenderprogramm PSD-Control 2.x Für die Geräte PSD01, PSD02 und PSD03 [Podręcznik, Program użytkowy PSD-Control 2.x dla urządzeń PSD01, PSD02 i PSD03], Siemens AG 2012

Informacje o autorach



Dr Klaus Böhme urodził się w Berlinie w 1963 r. Do 1989 r. studiował elektrotechnikę na Uniwersytecie Technicznym w Berlinie. W 1994 r. uczelnia przyznała mu tytuł doktora. Od 1992 r. Klaus jest zatrudniony w firmie Siemens AG, gdzie zajmuje się rozwojem cyfrowych urządzeń zabezpieczających. Jako programista i kierownik projektu, był odpowiedzialny za tworzenie różnych urządzeń, począwszy od wersji 7UM5 V2.x, a następnie skupiając się na urządzeniach SIPROTEC 4 i SIPROTEC 5. W swojej pracy zajmował się takimi zagadnieniami jak zabezpieczenia generatorów, funkcja synchronizacji i zabezpieczenia liniowe. Aktualnie obejmuje stanowisko Senior Key Expert ds. nowych aplikacji dla platformy SIPROTEC 5.



Stefan Werben urodził się 1 czerwca 1964 r. w Nijmegen, w Holandii. W 1983 r. zdał egzamin maturalny w Goethe Gymnasium w Einbeck, w Niemczech. Studiował elektrotechnikę na Uniwersytecie Technicznym w Brunzwicku (Brunzwick, Niemcy), gdzie w 1990 r. uzyskał dyplom. W 1991 r. wyjechał na rok do Stanów Zjednoczonych, aby studiować zarządzanie w biznesie na Southern Illinois University w Carbondale. Dołączył do firmy Siemens AG w Berlinie w 1992 r. na stanowisku programisty zabezpieczeń cyfrowych. Zdobywszy doświadczenie w obszarze tworzenia oprogramowania i zarządzania projektami programistycznymi, w 1998 roku objął stanowisko kierownika projektu w Norymberdze, gdzie od 2001 r. pracuje jako Product Manager ds. zabezpieczeń.

OMICRON to firma międzynarodowa służąca branży elektroenergetycznej innowacyjnymi rozwiązaniami w zakresie testowania i diagnostyki. Zastosowanie produktów firmy OMICRON pozwala użytkownikowi z dużą dozą pewności ocenić stan urządzeń podstawowych i dodatkowych zainstalowanych w systemie. Gamę produktów uzupełniają usługi w obszarze konsultacji, uruchomień, testowania, diagnostyki i szkoleń.

Klienci w ponad 160 krajach polegają na zdolności firmy do dostarczania najnowocześniejszej technologii o doskonałej jakości. Nasze centra serwisowe na wszystkich kontynentach zapewniają dostęp do obszernej bazy wiedzy oraz doskonałej obsługi klienta. Wszystko to, w połączeniu z rozległą siecią partnerów handlowych, sprawia, że nasza firma jest liderem w branży elektroenergetycznej.

Szczegółowe informacje, dodatkowe publikacje oraz dane kontaktowe naszych oddziałów na całym świecie można znaleźć na naszej stronie internetowej.