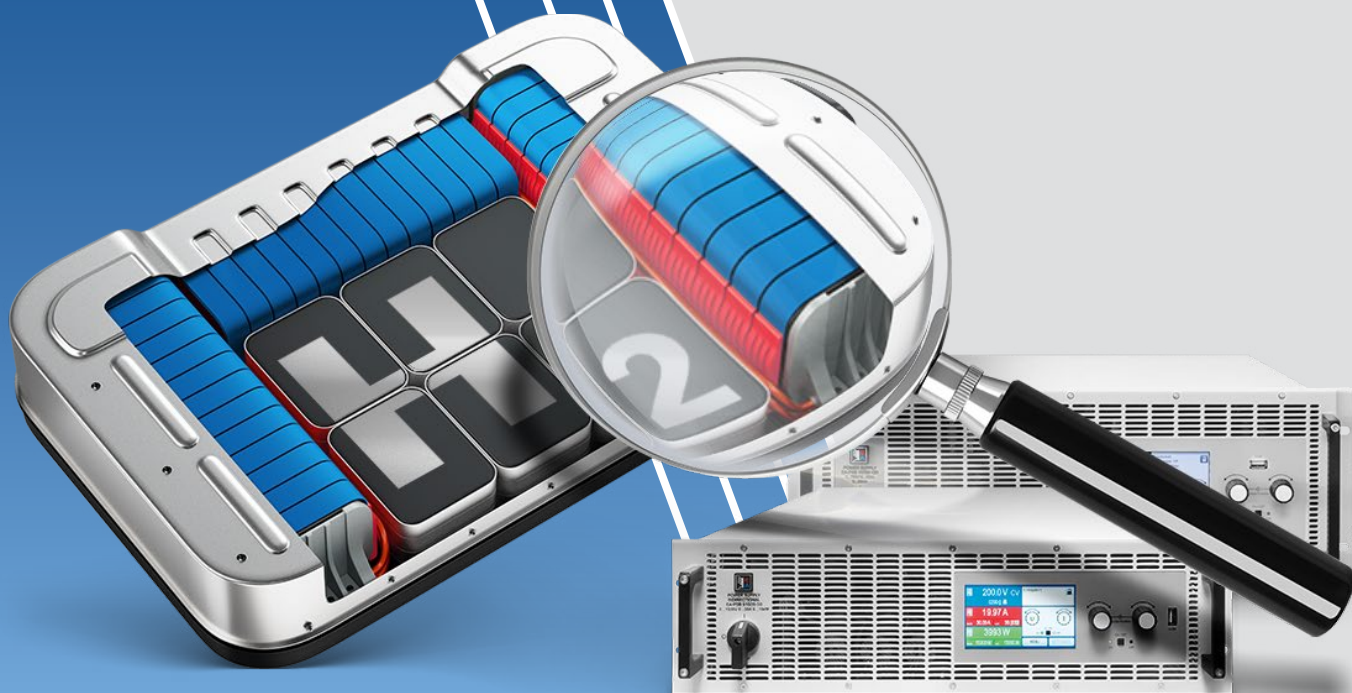




Elektro-Automatik



WYDAJNE I ŁATWE TESTOWANIE OGNIW PALIWOWYCH

Wspieramy postępy w dziedzinie
energii przyjaznej środowisku



proste



opłacalne

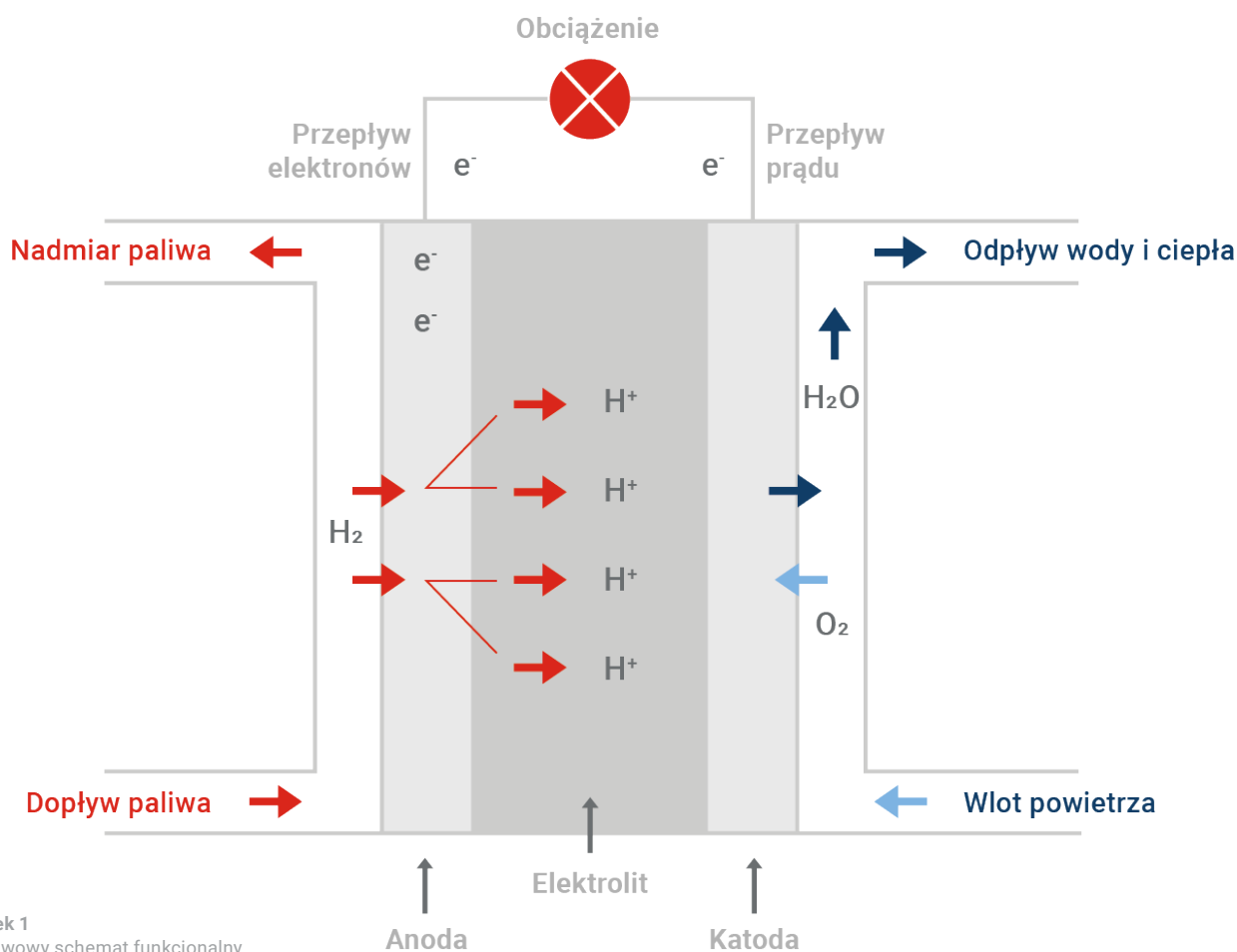


zrównoważone

Badanie stosów ogniw paliwowych

Ogniwa paliwowe wykorzystują jako paliwo wodór, który w połączeniu z tlenem wytwarza energię elektryczną. Produktami ubocznymi procesu produkcji elektryczności są ciepło i woda. Dzięki zerowej emisji dwutlenku węgla, będącego jednym z gazów cieplarnianych, wykorzystanie ogniw paliwowych przyczynia się do tak potrzebnej redukcji dwutlenku węgla w środowisku. Rysunek 1 pokazuje sposób działania ogniwa paliwowego. Wodór i tlen tworzą jony w

procesie utleniania na anodzie i redukcji na katodzie. Energia chemiczna reakcji jest konwertowana w energię elektryczną, ponieważ elektrony mogą przepływać od anody do katody przez ładunek zewnętrzny, a protony od anody do katody przez elektrolit. Produktami końcowymi są woda i ciepło, a nie dwutlenek węgla. Przedstawione na ilustracji ogniwo paliwowe jest ogniwem paliwowym z membraną do wymiany protonów (PEM).



Rysunek 1
Podstawowy schemat funkcjonalny
ogniwa paliwowego z membraną do
wymiany protonów (PEM)

Ogniwa paliwowe* wykorzystywane są w pojazdach do transportu materiałów, pojazdach dostawczych, ciężarówkach długodystansowych oraz jako systemy zasilania awaryjnego. Dzięki inicjatywom rządowym, względem ekonomicznym i nowym zastosowaniom odnotowuje się wzrost rynku przekraczający 30%.

Pojedyncze ogniwo paliwowe generuje poniżej 2 V mocy wyjściowej, dlatego ogniwa paliwowe nadające się do praktycznego wykorzystania to zespoły lub stosy wielu ogniw. Ogniwa paliwowe wykorzystywane w pojazdach mogą wytwarzać do 125 kW, a największe ogniwa paliwowe, wykorzystywane do zasilania awaryjnego, mogą osiągać moc 1,5 MW i działać pod napięciem 900 V. Wraz z udoskonalaniem technologii ogniw paliwowych producenci będą projektować stosy ogniw paliwowych o większej mocy i wyższym napięciu znamionowym.

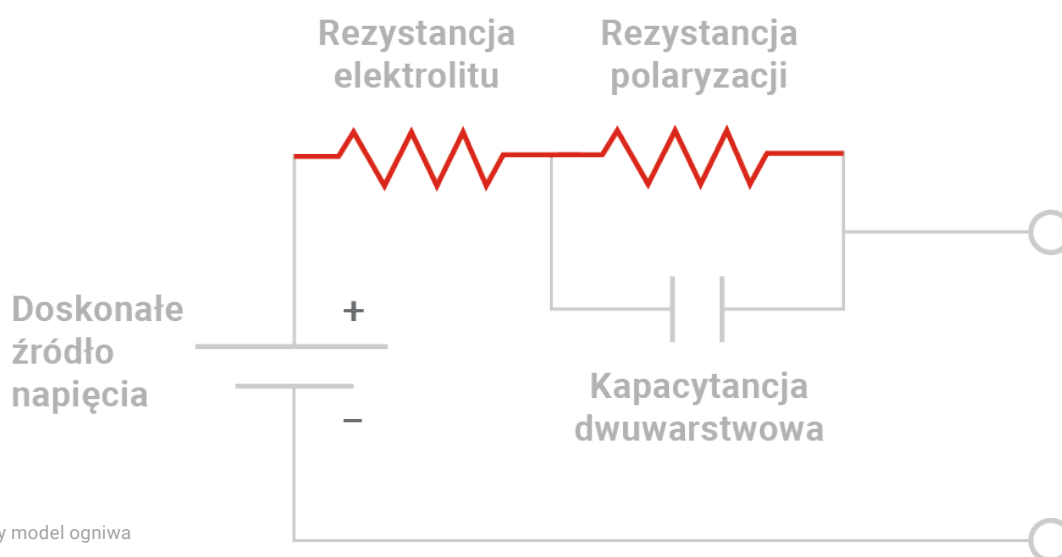
Przy tak dużej mocy badanie stosów ogniw paliwowych jest niezbędne, aby zyskać pewność, że mają one minimalną wydajność znamionową, są bezpieczne i osiągają wymaganą żywotność. Obciążenia elektroniczne i dwukierunkowe zasilacze EA Elektro-Automatik cechują się dużym prądem wejściowym i wyjściowym do testowania stosów ogniw paliwowych. Obciążenia elektroniczne są dostępne w modelach o mocy 30 kW i napięciu wyjściowym 2000 V. Obciążalność prądowa może wynosić 1000 A. Aby umożliwić badanie ogniw paliwowych o mocy do 1,92 MW, można połączyć równolegle do 64 obciążeń. Zasilacze dwukierunkowe cechują się tą samą obsługą mocy i wydajnością urządzeń równoległych zarówno w przypadku mocy zasilającej, jak i opadającej.

Mierzenie rezystancji ogniwa paliwowego przy użyciu metody perturbacji prądu przemiennego

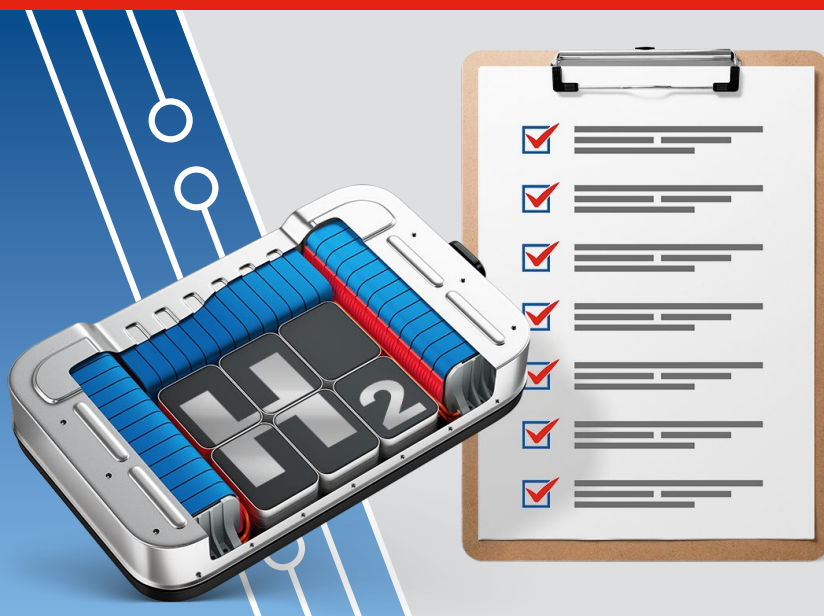
Rysunek 2 przedstawia uproszczony model obwodu ogniwa paliwowego. Najważniejszym parametrem ogniwa paliwowego jest jego element rezystancyjny. Głównym czynnikiem wpływającym na całkowitą rezystancję ogniwa paliwowego jest opór elektrolitu. Rezystancja polaryzacyjna modeluje równoważną rezystancję reakcyjną, a pojemność podwójnej warstwy modeluje interfejsy anoda-elektrolit-katoda. Im niższa całkowita rezystancja ogniwa paliwowego, tym mniejsze straty mocy i wyższa sprawność. Przy produkcji mocy rzędu kW do MW zbyt wysoka całkowita rezystancja może uniemożliwić stosowi ogniw paliwowych osiągnięcie maksymalnej mocy znamionowej.

Trudność z pomiarem rezystancji ogniwa paliwowego polega na tym, że źródło napięcia ogniwa nie może być odizolowane od elementów rezystancyjnych, jak mógłby sugerować model obwodu. Zamiast stosowania konwencjonalnego pomiaru rezystancji prądu stałego, pomiar rezystancji ogniwa paliwowego wymaga pomiaru prądu przemiennego lub pomiaru prądu częściowo przemiennego. W każdym przypadku perturbacja ΔI wytworzona przez obciążenie, skutkuje ΔV (ΔU) w całym ogniwie paliwowym i rezystancją ogniwa paliwowego $R = \Delta V$ (ΔU) / ΔI .

*Terminy „ogniwo paliwowe” i „stos ogniw paliwowych” będą w nocy aplikacyjnej używane zamiennie.



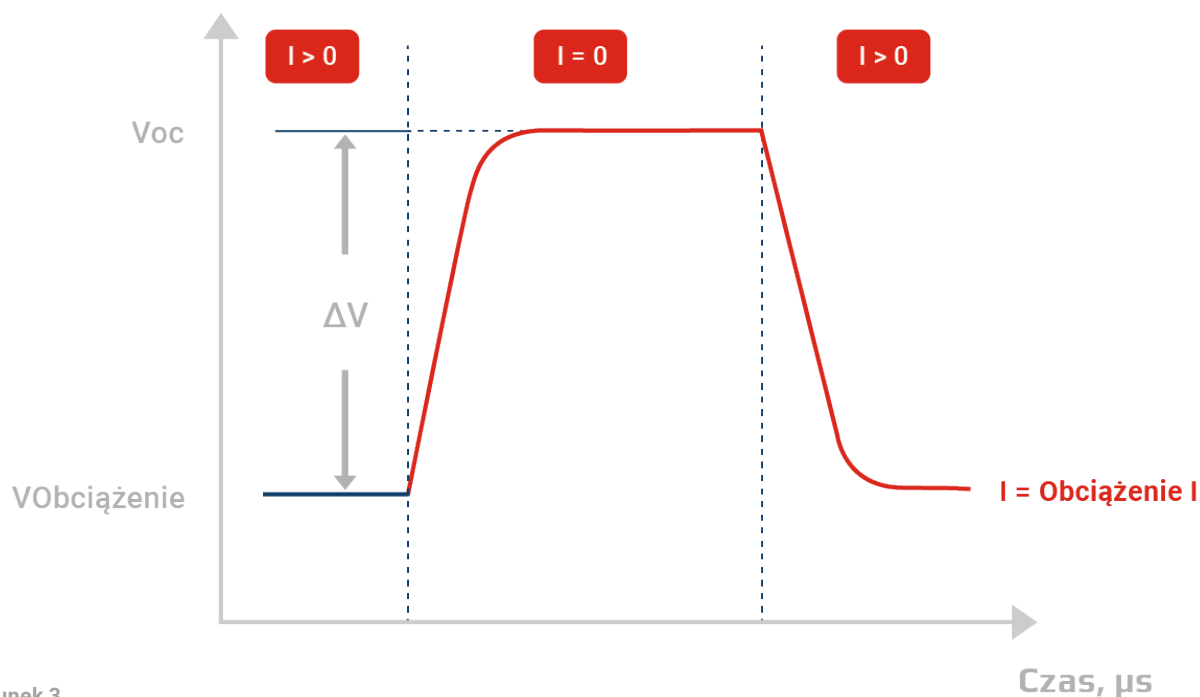
Rysunek 2
Uproszczony model ogniwa paliwowego



Pomiar częściowego AC jest znany jako metoda przerywania prądu. Ta metoda, jak sama nazwa wskazuje, tworzy ΔI poprzez natychmiastowe przełączenie obciążenia prądu ze stanu stabilnego na 0 A. Napięcie ogniwa paliwowego wzrasta do napięcia w obwodzie otwartym z napięcia pomniejszonego o iloczyn prądu obciążenia i rezystancji ogniwa paliwowego. Rysunek 3 przedstawia impuls napięcia spowodowany chwilowym wyłączeniem prądu. Chociaż w przypadku tej metody wymagane jest tylko obciążenie elektroniczne, ma to tę wadę, że powoduje duże zakłócenia w ogniwie. Rysunek

3 pokazuje idealne przykładowe napięcie, ale indukcyjność kabla $L \cdot di/dt$ powoduje oscylacje na krawędziach impulsu napięciowego podczas zmian prądu. Może to utrudnić uzyskanie dokładnego pomiaru szczytu napięcia. Aby zmniejszyć efekt oscylacji należy zastosować jak najkrótsze kable badawcze między obciążeniem a testowanym ogniwem paliwowym. Rysunek 4 przedstawia konfigurację badawczą dla badania przerywania prądu. Drugą wadą tej metody jest zawyżanie rezystancji ogniwa paliwowego o 10 do 20%.

Napięcie (V)



Rysunek 3

Idealna odpowiedź ogniwa paliwowego na przerywanie prądu. Rzeczywista moc wyjściowa wykazywałaby oscylację na krawędzi narastającej i impuls napięcia krawędzi opadającej ze względu na indukcyjność okablowania. Zmiana jest efektem AC, dlatego kable podczas zmiany obciążenia zachowują się jak linia transmisyjna RLC.

**UWAGA
1**

Aby dokładniej zmierzyć napięcie wyjściowe ogniwa paliwowego i wyeliminować pomiar spadku napięcia spowodowanego prądem w liniach źródłowych, użyj 4-przewodowej teledetekcji (przewody Kelvina). System 2-przewodowy mierzyłby niższe napięcie.

**UWAGA
2**

W celu zredukowania indukcyjnego sprzężenia szumu z liniami czujnika skręć razem przewody zdalnego wykrywania i oddziel je od przewodów źródłowych.

**UWAGA
3**

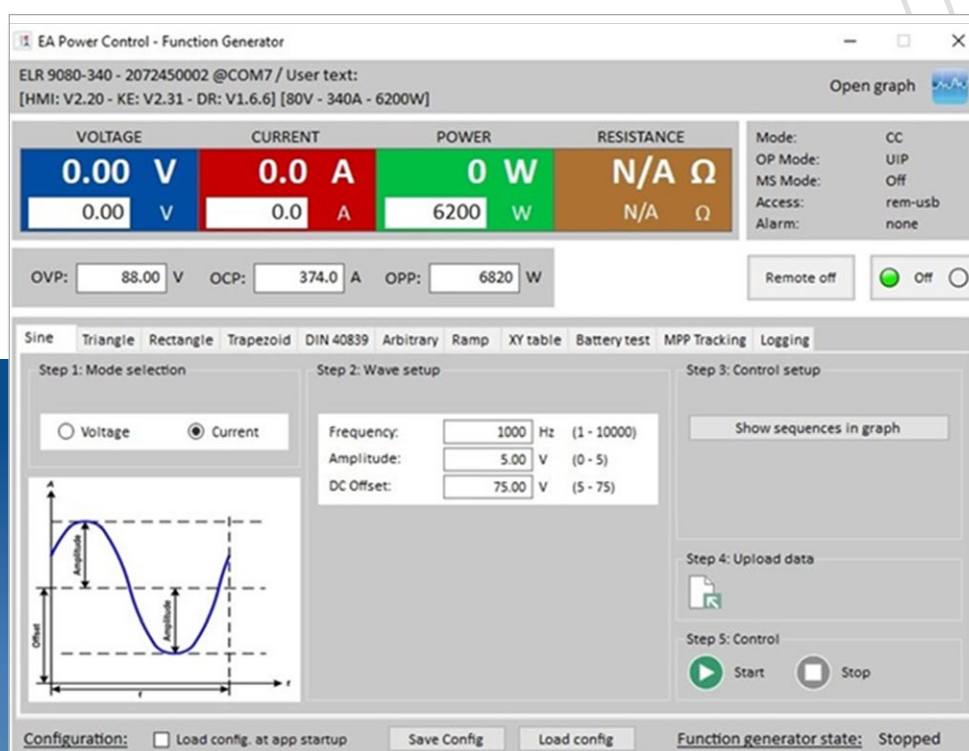
Przewody pomiarowe powinny być jak najkrótsze, aby zredukować efekt oscylacji linii transmisyjnej w trakcie skokowej zmiany obciążenia.



Rysunek 4

Konfiguracja badawcza do pomiaru rezystancji ogniwa paliwowego metodą przerwania prądu

Oprogramowanie EA Elektro-Automatik Power Control sterujące zasilaczami EA i odbiornikami elektronicznymi upraszcza zadanie tworzenia fali sinusoidalnej na poziomie obciążenia DC. Zrzut ekranu, pokazany na rysunku 5, przedstawia tworzenie fali sinusoidalnej 1 kHz z amplitudą 5 Vrms. Oprogramowanie Power Control nie wymaga kodowania. Jeśli obciążenie elektroniczne musi być zintegrowane z innym oprogramowaniem sterującym, biblioteka poleceń przyrządu obciążenia SCPI zapewnia komunikację przyrządu i sterowanie. W tabeli 1 wymieniono polecenia, które wygenerowałyby falę sinusoidalną. Polecenia SCPI mogą być kodowane jako polecenia odczytu i zapisu w językach programowania, takich jak C czy Python.



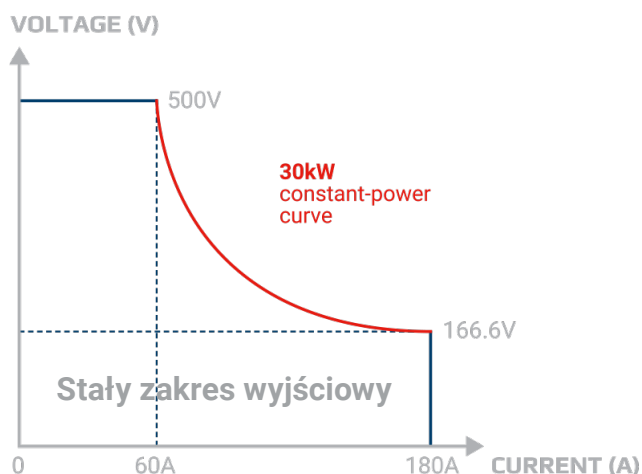
Rysunek 5

Zrzut ekranu oprogramowania Power Control tworzącego falę sinusoidalną 5 V_{RMS} przy 1 kHz na poziomie obciążenia 75 A_{DC}.

Biorąc pod uwagę, że urządzenie jest już w trybie zdalnego sterowania, a wejście DC lub wyjście DC jest wyłączone, konieczna będzie następująca sekwencja poleceń:

FUNC:GEN:SEL CURR	;SELECTS ARBITRARY GENERATOR FOR CURRENT.
FUNC:GEN:WAVE:LEV 1	;SELECTS STEP 1
FUNC:GEN:WAVE:IND 5	;SELECTS BEGINNING AC OFFSET CURRENT VALUE
FUNC:GEN:WAVE:DATA 75	;SETS AC OFFSET CURRENT START VALUE OF 75A
FUNC:GEN:WAVE:IND 6	;SELECTS ENDING AC OFFSET CURRENT VALUE
FUNC:GEN:WAVE:DATA 75	;SETS ENDING AC OFFSET CURRENT VALUE OF 75A
FUNC:GEN:WAVE:IND 2	;SELECTS BEGINNING AC FREQUENCY
FUNC:GEN:WAVE:DATA 1000	;SETS BEGINNING AC FREQUENCY OF 1KHZ
FUNC:GEN:WAVE:IND 3	;SELECTS ENDING AC FREQUENCY
FUNC:GEN:WAVE:DATA 1000	;SET ENDING AC FREQUENCY TO 1KHZ
FUNC:GEN:WAVE:IND 0	;SELECTS BEGINNING AC AMPLITUDE
FUNC:GEN:WAVE:DATA 5	;SETS BEGINNING AC AMPLITUDE OF 5A
FUNC:GEN:WAVE:IND 1	;SELECTS ENDING AC AMPLITUDE
FUNC:GEN:WAVE:DATA 5	;SET ENDING AC AMPLITUDE OF 5A
FUNC:GEN:WAVE:IND 7	;SELECTS DURATION OF STEP IN SECONDS
FUNC:GEN:WAVE:DATA 10	;SETS DURATION OF STEP TO BE 10 SECONDS
FUNC:GEN:WAVE:END 1	;SET START SEQUENCE STEP TO 1
FUNC:GEN:WAVE:START 10	;SET END SEQUENCE STEP TO 10

Tabela 1
Kody SCPI do tworzenia fali sinusoidalnej 5 V_{RMS} przy 1 kHz przy przesunięciu obciążenia 75 A_{DC}.



Rysunek 6

Dane wejściowe automatycznego zakresu w porównaniu z obciążeniem o stałym zakresie. Należy zwrócić uwagę, o ile wyższe napięcie wejściowe i o ile więcej mocy przy większych ustawieniach prądu oferuje obciążenie z automatycznym zakresem.

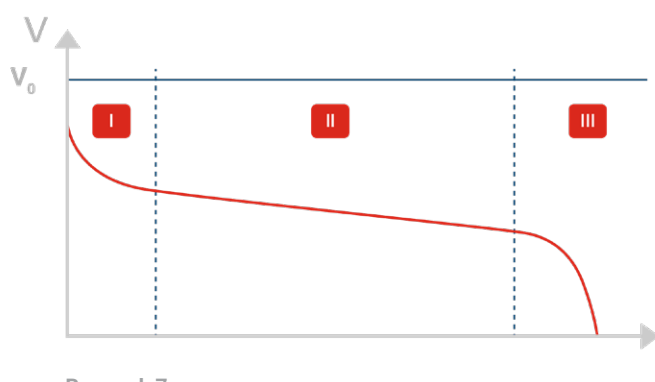
Badanie wydajności ogniów paliwowych

Po określeniu parametrów stosu ogniów paliwowych inżynierowie mogą określić wydajność wyjściową ogniwa paliwowego. Aby uzyskać powtarzalne dane, ogniwo paliwowe powinno znajdować się w kontrolowanym środowisku, w którym temperatura ogniwa paliwowego, ciśnienie, wilgotność i natężenie przepływu paliwa są utrzymywane na stałym poziomie. Wyjście napięcia jest określane jako funkcja prądu obciążenia. Prąd obciążenia zaczyna się od braku obciążenia, aby umożliwić pomiar napięcia w obwodzie otwartym. Obciążenie jest zwiększane o stałą wielkość kroku, aż napięcie wyjściowe ogniwa paliwowego spadnie do około 20% jego napięcia w obwodzie otwartym. Każda zmiana prądu obciążenia wymaga od ogniwa paliwowego przywrócenia warunków równowagi, a w związku z tym konieczne jest opóźnienie przed pobraniem danych na każdym nowym poziomie obciążenia. Rysunek 7 pokazuje przykład krzywej polaryzacji.

- W sekcji 1** nieliniowe czynniki elektrokinetyczne powodują nieliniowy spadek napięcia wraz ze wzrostem prądu obciążenia.
- W sekcji 2** rezystancja omowa ogniwa paliwowego dominuje w charakterystyce ogniwa paliwowego i generuje segment liniowy.
- W sekcji 3** napięcie spada wykładniczo, ponieważ energia jest zużywana szybciej niż reakcje chemiczne wodoru i tlenu mogą dostarczyć nowej energii.

Badanie stosu ogniów paliwowych, który może generować moc dochodzącą do MW, wymaga do badania oprzyrządowania o dużej mocy. Modele obciążeń ELR mogą spadać do poziomu 30 kW i działać z napięciami do maksymalnie 2000 V i prądem 1000 A. Obciążenia mają taki zakres ze względu na automatyczne ustawianie zakresu wejścia, jak pokazano na rysunku 6. Automatyczne ustawianie zakresu umożliwia obciążeniu pochłonięcie pełnej mocy w szerszym zakresie roboczym niż obciążenie o stałym zakresie i uniknąć konieczności używania obciążenia o większej mocy, aby obniżyć wyższe napięcie lub wyższy prąd. Automatyczne ustawianie zakresu zapewnia również elastyczność w badaniu większej liczby typów ogniów paliwowych ze względu na szersze zakresy napięcia i prądu obciążenia.

W przypadku dużych stosów ogniów paliwowych wykorzystywanych do rezerwowego wytwarzania energii można połączyć równolegle do 64 obciążeń ELR, aby obniżyć poziom do 64 kA. Zespoły obciążeniowe ELR mogą być wykorzystywane do badania każdego stosu ogniów paliwowych.



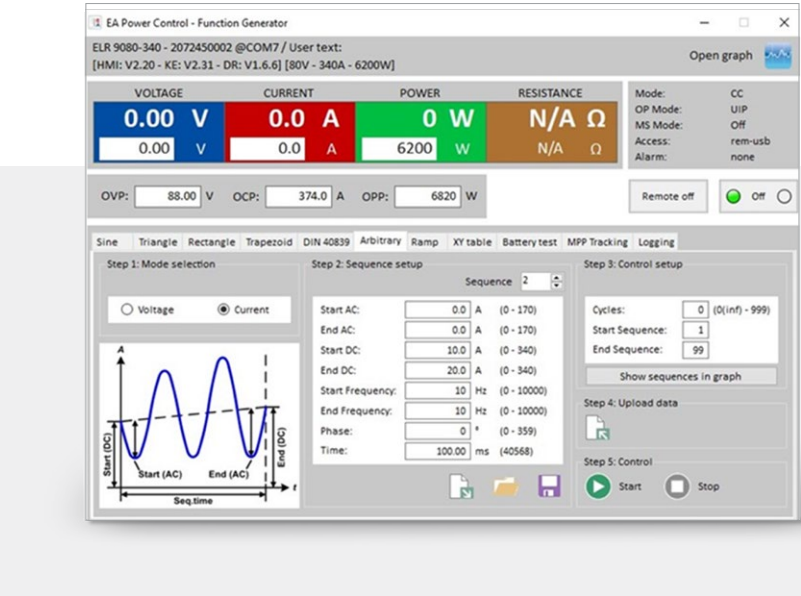
Rysunek 7

Krzywa wyjściowa napięcia i prądu ogniwa paliwowego

Obciążenia ELR można z łatwością wykorzystać do sekwencji kroków prądu obciążenia za pomocą oprogramowania Power Control lub poleceń SCPI.

Rysunek 8 przedstawia oprogramowanie Power Control z konfiguracją, która zwiększa prąd obciążenia od 0 A do 100 A w krokach co 10 A. Rysunek przedstawia drugi etap sekwencji, w którym prąd obciążenia wzrasta z 10 A do 20 A. Tabela 2 przedstawia polecenia SCPI, które wykonują ten sam krok badania obciążenia.

Rysunek 8
Wykorzystanie oprogramowania Power Control do stworzenia sekwencji kroków zwiększenia prądu z 0 A do 100 A.



FUNC:GEN:SEL CURR	;SELECTS ARBITRARY GENERATOR FOR CURRENT
.	;STEP ONE SKIPPED TO SHOW STEP 2 ONLY
.	
FUNC:GEN:WAVE:LEV 2	;SELECTS STEP 2
FUNC:GEN:WAVE:IND 5	;SELECTS BEGINNING DC CURRENT VALUE
FUNC:GEN:WAVE:DATA 10	;SETS DC CURRENT START VALUE OF 10A
FUNC:GEN:WAVE:IND 6	;SELECTS ENDING DC CURRENT VALUE
FUNC:GEN:WAVE:DATA 20	;SETS ENDING DC CURRENT VALUE OF 20A
FUNC:GEN:WAVE:IND 7	;SELECTS DURATION OF STEP IN SECONDS
FUNC:GEN:WAVE:DATA 10	;SETS DURATION OF STEP TO BE 10 SECONDS
.	;SKIP STEPS 3-10 WHICH INCREMENT UP 10A EACH
.	
FUNC:GEN:WAVE:END 1	;SET START SEQUENCE STEP TO 1
FUNC:GEN:WAVE:START 10	;SET END SEQUENCE STEP TO 10

Tabela 2
Część kodu SCPI do utworzenia sekwencji kroków od 0 A do 100 A. Zilustrowano krok 2 z 10.

Badanie trwałości ogniw paliwowych

Najważniejszym krokiem w badaniu ogniw paliwowych jest zapewnienie ich bezpieczeństwa i stabilności. W zastosowaniach motoryzacyjnych stos ogniw paliwowych musi osiągać żywotność 5000 godzin. Systemy zasilania rezerwowego muszą osiągać żywotność 10 000 godzin. Wykonalne testy wymagają przyspieszonych badań obciążeniowych, w których stos ogniw paliwowych jest poddawany cykлом skokowych zmian obciążenia lub zwiększania prądu obciążenia przez ponad 100 godzin.

Zmiana prądu obciążenia powinna skutkować zmianą napięcia ogniwa paliwowego o około 50%. Okres zmiany skoku fali kwadratowej i cyklu narastania powinien wynosić około 50 sekund.

Korzystając z wbudowanego generatora przebiegów, oprogramowanie ELR Load Power Control, pokazane na rysunku 9, może ustawić badanie narastające o okresie narastania 50 s. Równoważny kod SCPI przedstawiono w tabeli 3.



Rysunek 9

Zrzut ekranu oprogramowania Power Control przedstawiający tworzenie czasu narastania prądu obciążenia od 0 A do 100 A o okresie 50 s.

Tabela 3

Kod SCPI do utworzenia czasu narastania równoważnego czasowi narastania zdefiniowanemu na rysunku 9.

FUNC:GEN:SEL CURR	;SELECTS ARBITRARY GENERATOR FOR CURRENT
FUNC:GEN:WAVE:LEV 1	;SELECTS STEP 1
FUNC:GEN:WAVE:IND 0	;SELECTS BEGINNING DC CURRENT VALUE
FUNC:GEN:WAVE:DATA 0	;SETS DC CURRENT START VALUE OF 0A
FUNC:GEN:WAVE:IND 6	;SELECTS ENDING DC CURRENT VALUE
FUNC:GEN:WAVE:DATA 100	;SETS ENDING DC CURRENT VALUE OF 100A
FUNC:GEN:WAVE:IND 7	;SELECTS DURATION OF STEP IN SECONDS
FUNC:GEN:WAVE:DATA 50	;SETS DURATION OF STEP TO BE 50 SECONDS
FUNC:GEN:WAVE:END 1	;SET START SEQUENCE STEP TO 1
FUNC:GEN:WAVE:START 1	;SET END SEQUENCE STEP TO 1

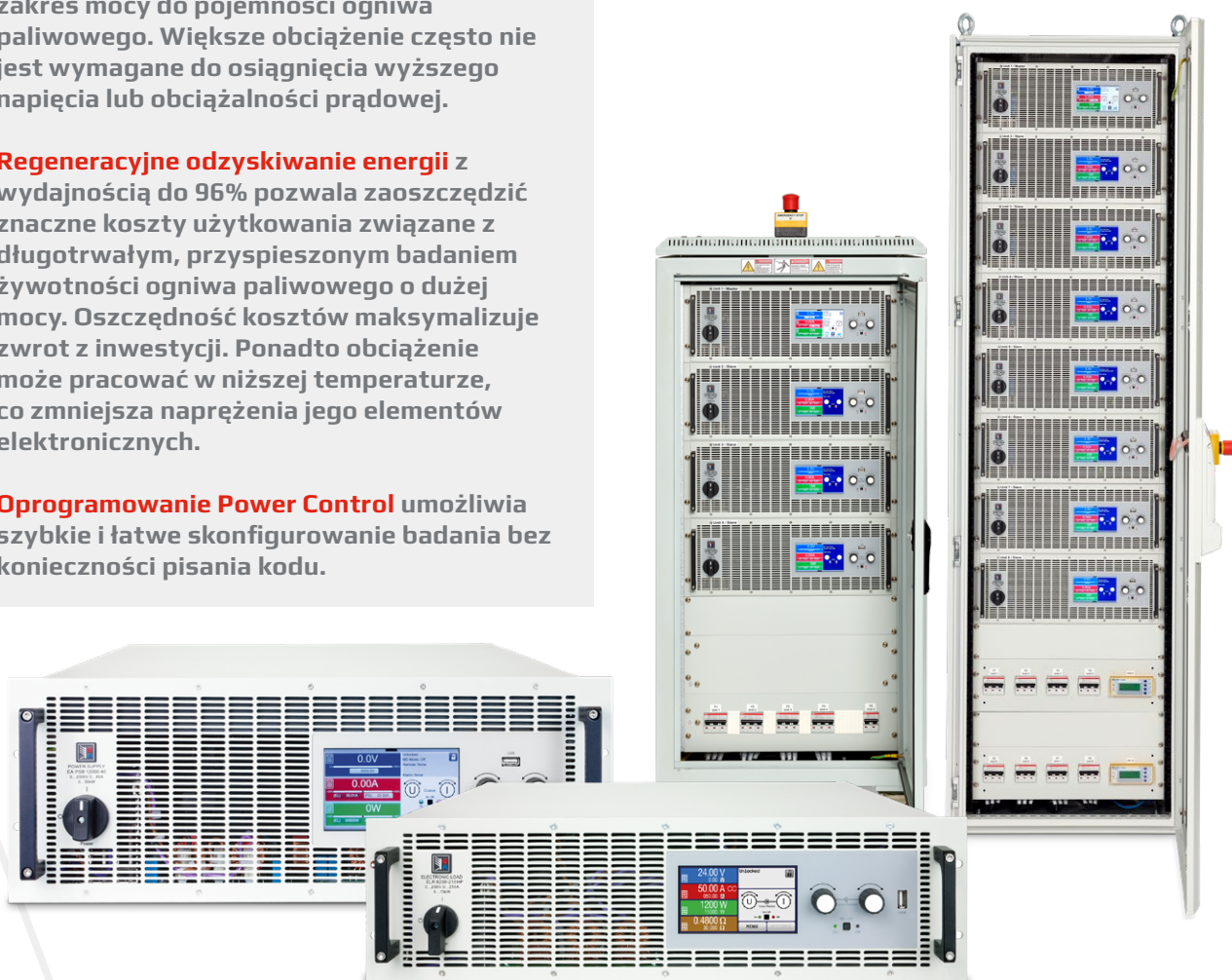
100-godzinne badanie stosu ogniw paliwowych o dużej mocy zużywa dużo energii. Obciążenia ELR mogą zaoszczędzić znaczną ilość energii dzięki przyspieszonemu badaniu w warunkach skrajnych. Obciążenia są wyposażone w odzyskiwanie energii regeneracyjnej, mogą pochłaniać energię i zwracać ją do sieci elektrycznej z wydajnością do 96%. Brak konieczności rozpraszania całej zużytej energii zapewnia obciążeniu ELR niższą temperaturę pracy w porównaniu z tradycyjnym obciążeniem elektronicznym. Obciążenia te wymagają mniejszych nakładów na infrastrukturę chłodniczą. Korzystanie z obciążenia ELR zapewnia zwrot z inwestycji przy znacznie obniżonych kosztach mediów.

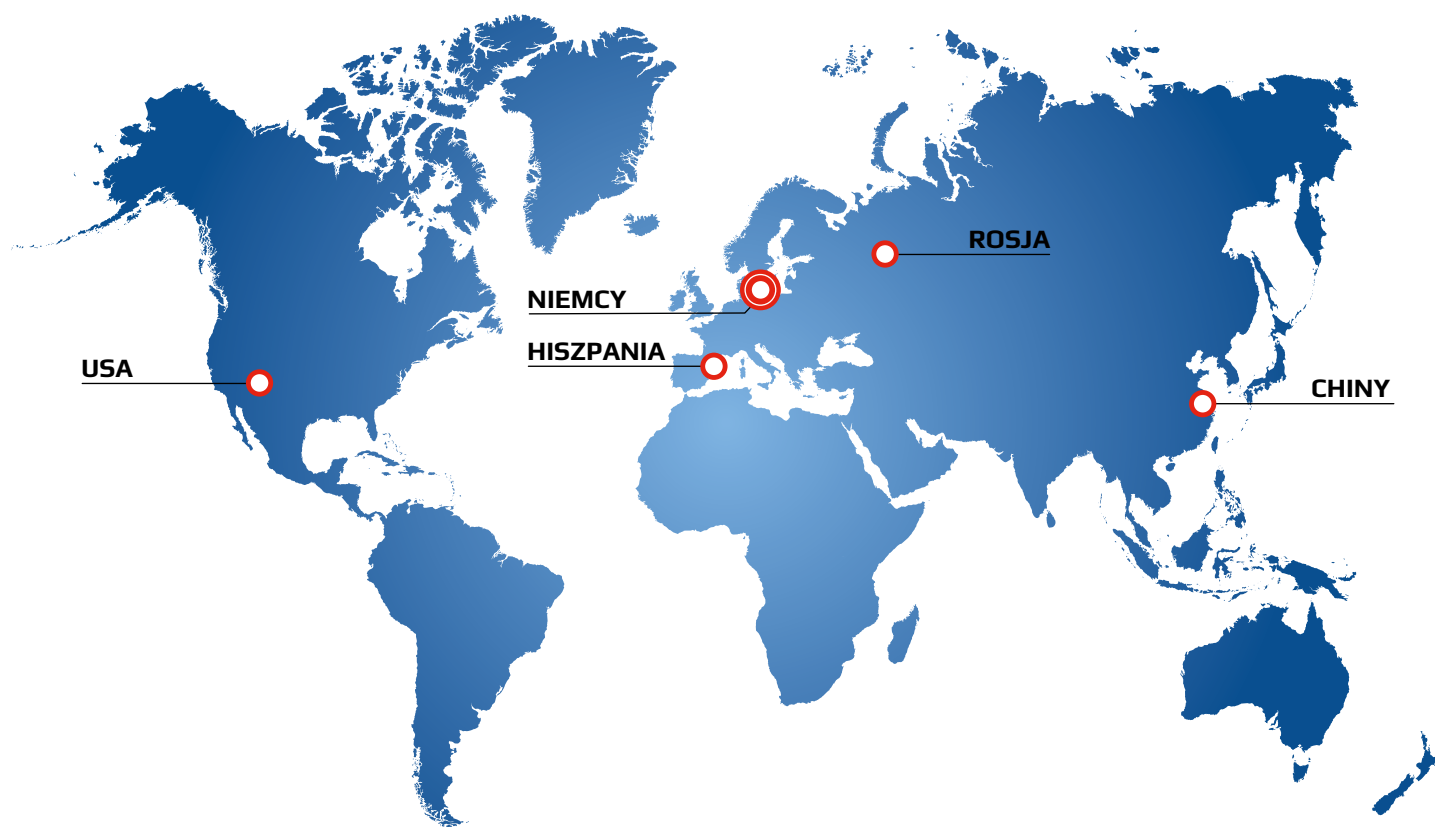
Uprozczone i wydajne badanie ogniw paliwowych

Obciążenia ELR zapewniają następujące korzyści w badaniu ogniw paliwowych:

- **Wbudowany generator przebiegów** upraszcza konfigurację i badanie ogniw paliwowych, eliminując wyzwania związane z połączeniem generatora przebiegów o małej mocy z obwodem o dużej mocy. Dzięki generatorowi przebiegów obciążenie ELR może z łatwością zaprogramować sinusoidalne zmiany prądu obciążenia DC w celu wywołania perturbacji do pomiaru rezystancji ogniwa paliwowego. Generator przebiegów może również wytworzyć fale kwadratowe i czasy narastania w celu badania wydajności i trwałości.
- **Automatyczne ustawianie** zakresu pomaga zmniejszyć koszt wymaganego obciążenia, ponieważ szersze zakresy poziomów napięcia i prądu pozwalają zoptymalizować zakres mocy do pojemności ogniwa paliwowego. Większe obciążenie często nie jest wymagane do osiągnięcia wyższego napięcia lub obciążalności prądowej.
- **Regeneracyjne odzyskiwanie energii** z wydajnością do 96% pozwala zaoszczędzić znaczne koszty użytkowania związane z długotrwałym, przyspieszonym badaniem żywotności ogniwa paliwowego o dużej mocy. Oszczędność kosztów maksymalizuje zwrot z inwestycji. Ponadto obciążenie może pracować w niższej temperaturze, co zmniejsza naprężenia jego elementów elektronicznych.
- **Oprogramowanie Power Control** umożliwia szybkie i łatwe skonfigurowanie badania bez konieczności pisania kodu.

Chociaż ta nota aplikacyjna koncentruje się na obciążeniu ELR jako głównym przyrządzie badawczym, dwukierunkowe zasilacze z serii PSB mogą zapewnić taką samą zdolność obniżania. Podobnie jak obciążenia ELR, zasilacze z serii PSB wyposażone są we wbudowany generator przebiegów, automatyczną regulację zakresu wejścia i wyjścia oraz odzyskiwanie energii. Zasilacze PSB mogą również symulować stos ogniw paliwowych, jeśli potrzebne jest badanie obciążenia ogniwa paliwowego oraz samego ogniwa paliwowego. Więcej informacji na temat symulacji ogniwa paliwowego z dwukierunkowym zasilaczem PSB można znaleźć w notce aplikacyjnej AN024. Niezależnie od wybranego instrumentu, oba zapewniają uproszczone i wydajne badanie ogniw paliwowych.





USŁUGA DLA CIEBIE NA CAŁYM ŚWIECIE.

W siedzibie głównej w Niemczech, w ośrodku przemysłowym Nadrenii Północnej-Westfalii, pracuje ponad 200 wykwalifikowanych osób na terenie o powierzchni 18 000 m², prowadząc badania, opracowując i produkując zaawansowane technologicznie urządzenia do zasilania laboratoryjnego, zasilacze sieciowe dużej mocy i obciążenia elektroniczne ze sprzężeniem zwrotnym mocy lub bez takiego sprzężenia. Sieć sprzedaży obejmuje oddziały w Chinach i USA, biura sprzedaży w Rosji i Hiszpanii oraz rozbudowaną sieć partnerską.

www.elektroautomatik.com

