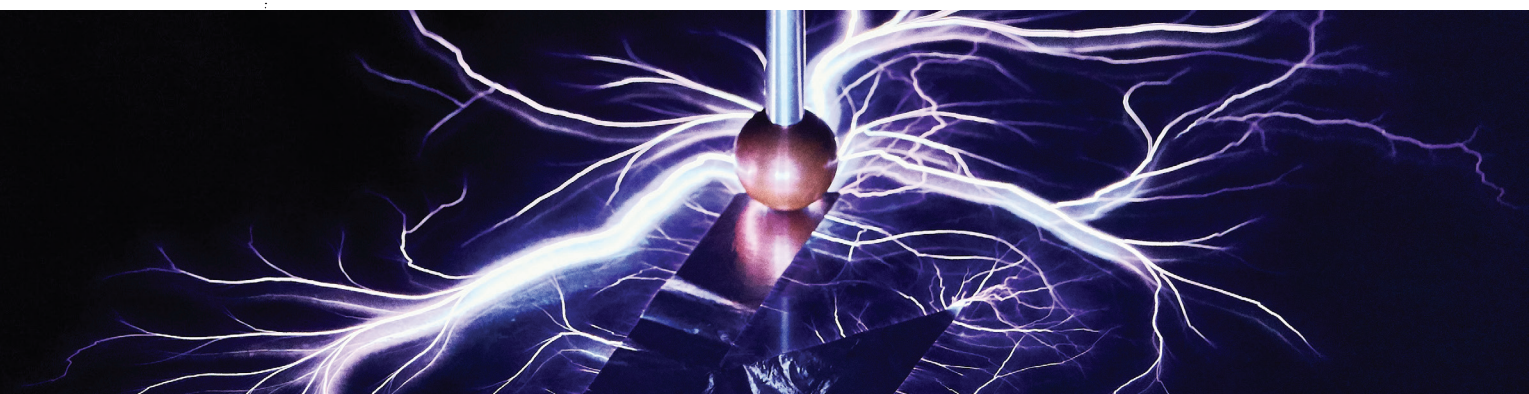




Zasilanie prądem stałym jest niezbędne, jeśli rewolucja energetyczna ma odnieść sukces

Rewolucja napięciowa DC

OPTIMALIZACJA Napędy przemysłowe należą do największych konsumentów energii elektrycznej. Przejście na zasilanie prądem stałym może więc oznaczać ogromne oszczędności. Organizacje przemysłowe, badawcze i normalizacyjne już pracują nad nowymi standardami zasilania, jednak ciągle szereg pytań pozostaje bez odpowiedzi. Na przykład – czy przewody AC równie dobrze nadają się do prądu stałego?

Mariusz Pajkowski

Sztuczna inteligencja, nowy standard telefonii komórkowej 5G i zmiana zasilania na prąd stały to tematy przyciągające uwagę podczas wydarzeń branżowych na całym świecie. W Niemczech prowadzony jest projekt badawczy DC Industry, finansowany w ramach 6. programu badań energetycznych niemieckiego Federalnego Ministerstwa Gospodarki i Energii. Koncentruje się na tym, w jaki sposób sieci DC z centralną konwersją mogą stać się alternatywą zapewniającą oszczędność energii już na etapie jej produkcji oraz w jaki sposób energie alternatywne mogą być lepiej zintegrowane. Partnerem stowarzyszonym w projekcie DC Industry jest firma LAPP zajmująca się zintegrowanymi systemami kablowymi i połączeniami. Uczestniczy ona w badaniu przydatności niektórych typów przewodów i opracowywaniu kabli odpowiednich do sieci DC.

Autor jest dyrektorem ds. technicznych w firmie LAPP

I Ogromne oszczędności

Partnerzy konsorcjum DC Industry zgadzają się co do tego, że zasilanie prądem stałym jest niezbędne, jeśli rewolucja energetyczna ma odnieść sukces. Nie chodzi tylko o generowanie możliwie największych ilości energii odnawialnej, takiej jak słoneczna czy wiatrowa – równie ważne są zrównoważone dostawy energii, szczególnie w przemyśle. W Niemczech przemysł zużywa 48% energii elektrycznej netto (ok. 250 TWh rocznie). Prawie 70% zużycia generują napędy elektryczne, więc tu jest potencjał uzyskania największych oszczędności – nawet na poziomie 30% w produkcji energii przy zasilaniu prądem stałym. Zastosowanie prądu stałego nie tylko zlikwidowałoby straty konwersji, ale też doprowadziło do zwiększenia ilości energii wprowadzanej do sieci podczas zatrzymania maszyn.

Dalsze oszczędności można uzyskać dzięki elektronicznej kontroli prędkości. Wiele silników bowiem pracuje z pełną prędkością, choć

nie jest to konieczne. Energię marnują również przetwornice częstotliwości do sterowania prędkością, pracując z napięciem stałym, które musi symulować napięcie AC. Prowadzi to do kolejnych strat konwersji i zakłócania sieci zasilającej harmonicznymi.

Jeśli jednostki napędowe mają dostarczać energię z powrotem do sieci prądu stałego w trakcie przestojów, to warunkiem podstawowym jest zasilanie ich prądem stałym. Podobnie jak w przypadku samochodów elektrycznych lub hybrydowych energia ta byłaby tymczasowo przechowywana i ponownie wykorzystywana w przyszłości. Zgromadzoną energię można zastosować do zasilania odbiorników o wysokich wymaganiach mocy, np. podczas spawania, co pozwoliłoby przedsiębiorstwom zmniejszyć szczytowe obciążenia.

I Coraz większe straty

Najbardziej przekonującym argumentem za przełączeniem się

źródło: LAPP



Stanowisko testowe

z AC na DC jest wydajność. W przeszłości, kiedy elektrownie węglowe i jądrowe produkowały prąd przemienny do dystrybucji sieciowej, ogólna wydajność dostarczania energii elektrycznej w Niemczech

wynosiła ok. 65%, czyli tracono ok. 1/3 jej zasobów.

Obecnie sytuacja jeszcze się pogarsza, ponieważ z systemów fotowoltaicznych i coraz większej liczby różnego rodzaju systemów akumulatorowych trafia do sieci coraz więcej energii elektrycznej, która najpierw musi zostać przekształcona z napięcia stałego na przemiennie. A to powoduje straty. W połączeniu z energią marnowaną przez konsumentów przy wykorzystaniu zasila-

czy przyniosło to spadek efektywności niemieckiej sieci energetycznej do ok. 56%. Tymczasem sieć energetyczna zaprojektowana pod kątem wykorzystania prądu stałego mogłaby osiągnąć ogólną sprawność na poziomie 90%. Gdyby w sa-

mym tylko przemyśle niemieckim napędy przełączyć na DC, przyniosłoby to oszczędność energii na poziomie 30% w stosunku do dziś zużywanej przez zakłady produkcyjne i 10% w skali całego kraju.

| System energetyczny przyszłości

Dostawy energii w przyszłości mogą wyglądać zupełnie inaczej niż obecnie. Do tej pory generowanie prądu przemiennego odbywało się w generatorach dużych elektrowni węglowych i jądrowych, ale też w turbinach wodnych. Transformatory wykorzystywano do zwiększenia napięcia do 100 000 V i więcej, aby ograniczyć straty przesyłowe.

Także sieci dystrybucji energii od dawna zdominowane są przez duże elektrownie, które rozdzielają ją do otaczających je regionów

(model gwiazdy). Jednak wraz ze wzrostem znaczenia energii odnawialnych sieć energetyczna staje się coraz bardziej zdecentralizowana i gęstsza. Energię elektryczną zużywa się coraz częściej w miejscu jej wytwarzania, co sprawia, że prąd przemienny przestaje być dobrym rozwiązaniem. Zresztą nie sprawdza się on nawet na długich dystansach przesyłu, powodując znaczne straty w transmisji. Z tego powodu np. w Chinach buduje się złożone sieci z wysokonapięciową transmisją prądu stałego (HVDC), która transportuje duże ilości energii z elektrowni wodnych w centrum kraju na wybrzeże. Z kolei w Niemczech rząd planuje transfery nadmiaru energii wiatrowej z wybrzeży na południe.

Połączenie HVDC, choć dwukrotnie droższe w budowie, staje się opłacalne – dzięki niższym stratom energii – przy długości przesyłu ok. 400 km na lądzie i 60 km w przypadku przewodów morskich służących do podłączania morskich

Także w obszarze zużycia energii można wprowadzić istotne zmiany. W fabrykach energia elektryczna jest rozprowadzana w sieciach niskiego napięcia za pośrednictwem uziemionych gniazd lub połączeń trójfazowych. Komputery, urządzenia elektroniczne lub lampy LED wykorzystują prąd stały i obecnie wymagają zasilacza. To samo w ciągu kilku lat dotyczyć będzie samochodów elektrycznych. W przemysłowych jednostkach napędowych coraz częściej do regulacji prędkości wykorzystuje się przemienniki częstotliwości z obwodem pośrednim DC. Zastosowanie sieci DC z centralną konwersją zlikwidowałoby potrzebę używania wielu konwerterów. W przemyśle motoryzacyjnym już realizowane są projekty pilotażowe, w ramach których działają całe jednostki produkcyjne zasilane wyłącznie prądem stałym, wykorzystujące też akumulatory do krótkotrwałego magazynowania energii.

wiedzi na ostatnie pytanie, jednak długoterminowe testy przeprowadzone przez grupę badawczą prof. Franka Bergera na politechnice w Ilmenau po raz pierwszy pokazały, że istnieją tu znaczne różnice. W ciągu 2590 godzin zespół Bergera obciążał napięciem stałym 1 kV pojedyncze przewody z różnymi materiałami izolacyjnymi. Próby prowadzono w środowisku wodnym o temperaturze 80°C. Sprzęt testowy i przewody dostarczyła firma LAPP.

Co pokazały testy

Wyniki prowadzonych testów okazały się bardzo zaskakujące. Spośród 238 przebadanych próbek 44% zawiodło w przypadku obciążania prądem stałym, podczas gdy tylko jedna uległa awarii przy obciążaniu prądem zmiennym. Szczególnie narażone na uszkodzenia okazały się przewody w izolacji PVC – wszystkie takie próbki testowe uległy uszkodzeniu. Wysoki był również wskaźnik awaryjności w przypadku izolacji z poliolefinów. Dobrze natomiast wypadły w testach przewody z izolacją TPE. Opierając się na tych wynikach, firma LAPP wyposażyła swój przewód ÖLFLEX DC CHAIN 800 właśnie w izolację TPE, co zapewniło mu wysoką wydajność. Nowe przewody wytrzymały w przybliżeniu takie same napięcia, niezależnie od tego, czy użyto napięcia stałego, czy przemiennego.

Zmiany właściwości izolacji, czyli spadek jej rezystancji poniżej wartości krytycznej 10 MΩ, odpowiadały za 1/3 awarii, a 2/3 uszkodzeń to widoczne przebiegi izolacji.

Awaryje pojawiły się znacznie wcześniej w przypadku przewodów dodatkowo poddawanych naprężeniom mechanicznym – z powodu małych promieni gięcia. Wcześniej ulegały tu uszkodzeniu przewody obciążone prądem stałym.

Grubość ścianki izolacji nie miała zauważalnego wpływu na częstotliwość wystąpienia awarii.

Wyniki badania wskazują na to, że pole elektryczne generowane przez napięcie DC ma inny wpływ na zużycie materiałów izolacyjnych

Wiele pytań

Transmisja wysokonapięciowego prądu stałego nie sprawia już dziś problemów, jednak w przypadku niskiego napięcia wciąż pozostaje szereg kwestii technicznych i ekonomicznych do wyjaśnienia. Czy sieci prądu stałego zastąpią prąd przemienny czy też obie technologie będą istnieć równolegle – i jak miałyby wyglądać ich koegzystencja? Jakie przeszkody techniczne i ekonomiczne należy pokonać? Jakie środki bezpieczeństwa są konieczne w przypadku prądu stałego? Jakie zmiany byłyby potrzebne przy przejściu na prąd stały, nie tylko w sieciach, ale także u odbiorców i w instalacjach? I wreszcie: czy kable przeznaczone dla AC są również odpowiednie dla DC?

Dotąd nie było żadnych wyników badań, które pozwalałyby udzielić odpo-

MM Info

Produkty powstałe w ramach projektu DC Industry

Pierwszym produktem LAPP, który wywodzi się bezpośrednio z projektu DC Industry, jest ÖLFLEX DC 100 – przewód zasilający powstały na bazie popularnego przewodu ÖLFLEX CLASSIC 100 dla prądu przemiennego. Kodowanie kolorów żył (czerwony, biały i zielono-żółty) jest zgodne z normą DIN EN 60445 (VDE 0197):

2018-02 dla kabli DC, zaktualizowaną w lutym 2018 r. Izolacja żył i płaszcz wykonane są ze specjalnego PVC.

Nowym produktem, zaprezentowanym podczas targów Hannover Messe 2019, jest ÖLFLEX DC SERVO 700. To przewód połączeniowy DC ze specjalną izolacją PVC do zasilania napędów elektrycznych. Przeznaczony jest do połączeń sporadycznie ruchomych oraz aplikacji stałych.

O krok dalej idzie ÖLFLEX DC CHAIN 800 – na podstawie aktualnych wyników badań wyposażono go w izolację TPE, dzięki czemu nadaje się do pracy w ruchu ciągłym w prowadnicach łańcuchowych oraz ruchomych częściach maszyn.

LAPP opracował także dla konsorcjum DC przewód ÖLFLEX DC 100 Hybrid. To przewód hybrydowy DC zawierający: dwie żyły zasilające i żyłę ochronną, przewód do transmisji danych Cat 6A z czterema ekranowanymi parami żył, dwie żyły dla bezpiecznego wyłączenia momentu (zatrzymanie awaryjne) oraz parę sterowniczą 24 V dla hamulca.



źródło: IAPP



Uszkodzenia powstałe podczas obciążeń DC.
Z testowanych 238 próbek uszkodzeniu uległo 44%

nych niż pole generowane przez napięcie AC – co wielu ekspertów dotychczas kwestionowało. W klasycznym przewodzie AC natężenie pola elektrycznego jest najwyższe bezpośrednio na powierzchni żyły miedzianej i maleje wraz z przesuwaniem się po promieniu przewodu na zewnątrz. To samo dotyczy pracy w podwyższonych temperaturach, ponieważ stała dielektryczna jest prawie niezależna od temperatury. Z drugiej strony natężenie pola elektrycznego dla prądu stałego zależy od przewodności elektrycznej materiału izolacyjnego. Jeśli przewodność izolacji wzrasta wraz ze wzrostem temperatury, to pole elektryczne maleje tylko nieznacznie po promieniu w kierunku na zewnątrz, a w wysokich temperaturach może nawet wystąpić odwrócenie pola. Natężenie pola elektrycznego jest wyższe na zewnątrz izolacji niż wewnątrz żyły.

| Potrzeba dalszych badań

Aby wykluczyć wzajemny wpływ poszczególnych przewodów i ich izolacji, początkowo przeprowadzono testy laboratoryjne na pojedynczych przewodach zanurzonych w wodzie. Sprawdzano w ten sposób jednak tylko wytrzymałość izolacji w warunkach nieodpowiadających rzeczywistym warunkom pracy przewodów. Zazwyczaj bowiem w jednym przewodzie jest kilka żył umieszczonych we wspólnym płaszczu. Dlatego zespół prof. Bergera zamierza w przyszłości dokonywać pomiarów na kompletnych przewodach.

Pojawiły się również wątpliwości co do przydatności zastosowanej metody testowej. Metoda przyspieszania zużycia się przewodów w kąpeli wodnej jest zgodna z wymaganiami normy DIN VDE 0276-605 i sprawdza się w przypadku napięcia przemiennego, zapewniając dobre wskazania rzeczywistego zużywania się przewodów przez lata i dekady, również w przypadku przewodów PVC. Nie ma jednak pewności, czy uzyskane wyniki dotyczą także pracy z napięciem stałym. Tu woda zdaje się odgrywać inną, mniej przewidywalną

rolę, co może mieć znaczący wpływ na zużycie przewodów.

Aby więc uzyskać wiarygodne wyniki, potrzebne są dalsze badania. Prof. Berger planuje przeprowadzić testy zużywania się przewodów niezanurzonych w wodzie, co znacznie wydłuży czas trwania badań. Chce pokazać, jakie zmiany chemiczne i fizyczne następują w tworzywach sztucznych, gdy nastąpi odwrócenie się pola elektrycznego. Degradacja polimeru, pęcznienie w wodzie, jak również rozpuszczanie lub tworzenie tzw. drzew wodnych mogą bowiem mieć różne przyczyny.

Dopóki nie będą dostępne wiarygodne dane, nie ma powodu, by nie wykorzystywać przewodów w izolacji PVC do zastosowań z prądem stałym. Istotne jest jednak, by przewody takie były ułożone na stałe, czyli w sposób uniemożliwiający ich ruch i wystąpienie naprężeń mechanicznych spowodowanych małymi promieniami gięcia. Ponadto środowisko pracy powinno być zawsze suche. Jeśli warunki te nie są spełnione, np. w aplikacjach ruchomych w prowadnicach łańcuchowych, należy zastosować inne materiały izolacyjne, np. TPE, który uzyskał bardzo dobre wyniki w testach przeprowadzonych w kąpeli wodnej.

MM