

Artykuł

Sieci zasilające DC i selektywność z wykorzystaniem **VACON® NXP DCGuard™**

Odcięcie prądu
w ciągu

< 5 μ s



Spis treści

Podsumowanie	3
1. Wprowadzenie	3
2. Sieci zasilające DC	4
2.1 Jednakże jest jeszcze jedno „ale”	4
2.2 VACON® NXP DCGuard™	4
3. Selektowność	5
3.1 Selektowność z wykorzystaniem bezpieczników	5
3.2 Zapotrzebowanie na urządzenia szybkiego odcinania prądu/wiążące magistrale DC	6
3.3 Komponenty	6
3.4 Systemy dwukierunkowe	6
3.5 Jak to działa?	7-9
3.6 Łatwe wymiarowanie	9
3.7 Zatwierdzenia	9
4. Sprawdzona technologia	10
5. Kontakt	11

Podsumowanie

Wykorzystywanie sieci zasilającej prądu stałego zamiast sieci prądu przemiennego może poprawić sprawność systemu i zmniejszyć powierzchnię zabudowy o 20%. W przypadku oszczędności energii, niezwykle perspektywiczne wydaje się być łączenie sieci zasilających prądu stałego, rozwiązań z zakresu magazynowania energii i/lub generatorów o zmiennej prędkości obrotowej.

Stosowanie sieci zasilających prądu stałego (DC) zamiast sieci zasilających prądu przemiennego (AC) pozwala także na dystrybucję energii przy mniejszych stratach mocy. Jednakże zagwarantowanie selektywności oraz ograniczonej energii zwarciowej wymaga bardzo zaawansowanych urządzeń zabezpieczających.

Dlatego też, Danfoss Drives opracowała VACON® NXP DCGuard™, półprzewodnikowe urządzenie zabezpieczające, które wykrywa i odcina wszelkie prądy zwarcia prądu stałego, umożliwiając odizolowanie uszkodzonego obszaru systemu w ciągu zaledwie kilku mikrosekund.

1. Wprowadzenie

Świat systematycznie i dość szybko rozszerza swoje główne źródła energii. Przechodzimy od paliw kopalnych, takich jak ropa naftowa i węgiel do gazu ziemnego i energii jądrowej, a dalej do energii słonecznej, wiatru i wody, w związku z czym rośnie również potrzeba przezwyciężenia luk, które zaczynają się pojawiać wraz z brakiem równowagi pomiędzy zasilaniem energią a zapotrzebowaniem na nią. Elektryczność jako nośnik energii charakteryzuje się przede wszystkim niezwykle elastycznością i wszechstronnością, dlatego też nasze społeczeństwo zaliczane jest do „zelektryfikowanych”.

Minione dekady pozwoliły nam zoptymalizować wydajność systemów sieci zasilających AC oraz zmniejszyć ich powierzchnię zabudowy, podczas gdy sieci zasilające DC zostały potraktowane nieco po macoszemu. W niniejszym artykule omówimy możliwości znaczących ulepszeń systemów, związanych z przechodzeniem na prąd stały.

Prąd DC znajdował zazwyczaj zastosowanie w transporcie wykorzystującym dużą moc na długich dystansach, w systemie „od punktu do punktu”. Następnie, przeszliśmy na prąd AC dla dystrybucji, a potem przechodziliśmy tam i z powrotem, od prądu AC do prądu DC, w obrębie różnych zastosowań. W naszym nowoczesnym społeczeństwie, powszechność stosowania sieci DC nieustannie rośnie. Prąd stały wykorzystywany jest chociażby w oświetleniu LED, w telefonach, komputerach (centra danych), urządzeniach magazynujących energię, takich jak baterie, na liniach produkcyjnych, a nawet wykorzystują go całe fabryki.

Przemysł morski znajduje się w ścisłej czołówce badania potencjału sieci zasilających prądu stałego. W szczególności dotyczy to porozumienia paryskiego, rozszerzenia obszarów kontrolowanych pod względem emisji oraz zobowiązania IMO w zakresie 50% ograniczenia emisji do roku 2050¹, gdyż wiąże się to z koniecznością wprowadzenia znaczących usprawnień w zakresie poprawy zużycia paliwa przez jednostki pływające w tej branży.

Coraz powszechniejsze staje się także bardziej zrównoważone podejście do sieci zasilających AC i DC oraz ich wykorzystywania wszędzie tam, gdzie ma to swoje uzasadnienie ekonomiczne.

Przetwornice częstotliwości AC, to sprawdzona technologia, stosowana od wielu lat. Można je wykorzystywać do zarządzania energią elektryczną w dowolnej postaci, ułatwiając tym samym kontrolę nad dywersyfikacją źródeł energii. Przetwornice firmy Danfoss zapewniają możliwość wprowadzania modyfikacji za pośrednictwem oprogramowania w celu optymalnego zarządzania sieciami zasilającymi DC, dzięki czemu systemy mogą pracować w oparciu o sprawdzony i niezawodny sprzęt, obecny na rynku od dziesięcioleci. Dzięki nim, nasi klienci zyskują dostęp do technologii magazynowania, które dotąd znajdowały się poza zasięgiem branży komercyjnej.

W tym artykule zajmiemy się sieciami zasilającymi DC i pojęciem selektywności.

¹ <http://www.imo.org/en/MediaCentre/HotTopics/GHG/Pages/default.aspx>

2. Sieci zasilające DC

Tak zwana „Wojna prądów” (ang. „War of the current”) miała miejsce ponad sto lat temu. Thomas Edison był gorącym zwolennikiem przesyłu prądu stałego (DC), podczas gdy Nikola Tesla uważał, że ścieżką, którą należy podążać jest prąd zmienny (AC). W tamtym czasie wydawało się, że bitwa ta została wygrana przez prąd zmienny AC. Jednakże dzisiaj oczywistym jest, iż wykorzystanie prądu stałego zamiast prądu zmiennego może poprawić wydajność systemu nawet o 10-20%.

Natomiast w kwestii oszczędności energii, niezwykle perspektywiczne wydaje się być również łączenie sieci zasilających prądu stałego, rozwiązań z zakresu magazynowania energii i/lub generatorów o zmiennej prędkości obrotowej.

Do głównych zalet sieci zasilających DC należą:

- niższy współczynnik konwersji AC na DC i DC na AC
- mniejsza liczba filtrów i transformatorów
- brak prądu biernego
- brak potrzeby synchronizacji
- W systemach przetwornic energia hamowania regeneracyjnego (a więc energia powracająca z silnika) może zostać ponownie wykorzystana bez konieczności dokonywania konwersji.

2.1 Jednakże jest jeszcze jedno „ale”

Tak jak w przypadku każdej sieci zasilającej, w każdym punkcie sieci zasilającej DC, mamy do czynienia z nieodłączonym ryzykiem powstawania usterek w obwodach.

Jednym z głównych wyzwań dotyczących sieci zasilających DC jest kwestia zapewnienia selektywności i ochrony w przypadku zwarcia.

Prąd w systemie AC będzie przepływał przez 0A dwukrotnie dla jednego okresu (przekroczenie zera). Dlatego też, w wyłączniku AC, podczas przejścia przez 0A ma miejsce odcięcie zwarcia.

Niemniej jednak należy pamiętać, że zwarcie w systemie DC nigdy nie przejdzie przez 0 A. W ciągu zaledwie kilku mikrosekund jego wartość stanie się bardzo wysoka i pozostanie na tym poziomie tak długo, jak długo dostępna będzie energia umożliwiająca zasilanie zwarcia.

W przypadku korzystania z tradycyjnego wyłącznika służącego do odcinania prądu zwarcia DC, skutkiem jest możliwość powstawania wewnątrz wyłącznika potencjalnie śmiertelnego łuku. Szczególnie w systemach morskich powszechnym wymogiem jest, aby „awaria w jednej części systemu nie wpływała na pozostałą jego część”. W związku z tym, niezbędne jest wykorzystywanie szybkich urządzeń odcinających prąd DC, w celu izolowania od siebie zdrowych i uszkodzonych części systemu.

2.2 VACON® NXP DCGuard™

Aby możliwe było uniknięcie wypadków lub urazów, niezbędne są zaawansowane urządzenia przeciwzwarciowe. Dlatego też, Danfoss Drives opracowała nową VACON® NXP DCGuard™, urządzenie ograniczające skoki napięcia prądu zwarcia w oparciu o zakłócenia prądowe poprzez odłączanie tranzystorów IGBT. VACON® NXP DCGuard™ wykrywa i odcina wszelkie nieprawidłowe prądy zwarcia DC i izoluje uszkodzoną część systemu w ciągu zaledwie kilku mikrosekund, chroniąc tym samym zdrową część systemu przed skutkami usterki. Dzięki temu uzyskujemy pełną selektywność pomiędzy sieciami zasilającymi DC.

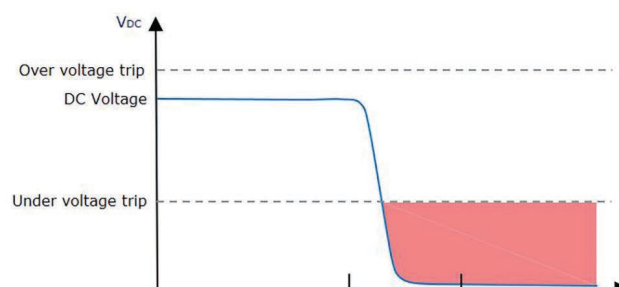
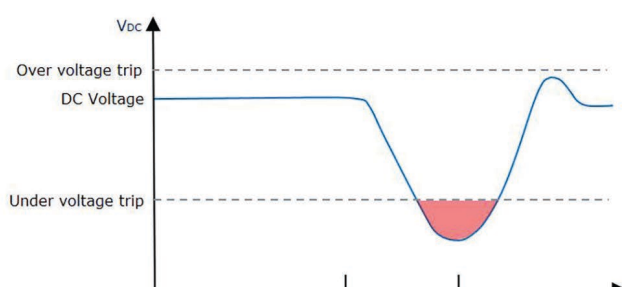
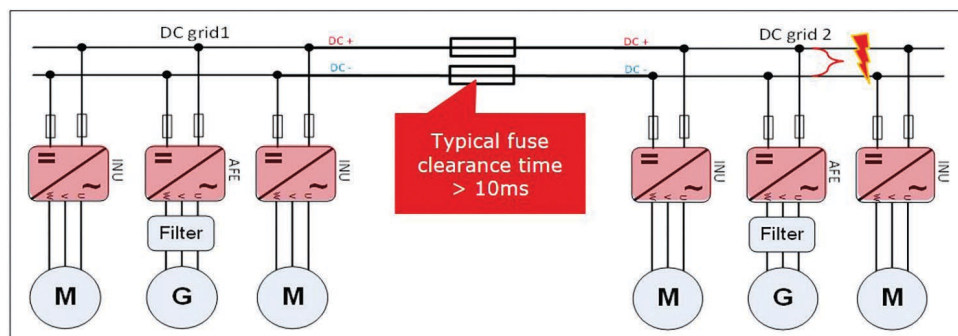
3. Selektowność

Jak wyjaśniono wcześniej, podstawowym wyzwaniem dotyczącym wspólnych systemów DC jest selektywność, której zapewnianie staje się jeszcze trudniejsze w przypadku, gdy do jednej magistrali DC podłączonych zostaje kilka inwerterów.

3.1 Selektowność z wykorzystaniem bezpieczników

W przypadku wystąpienia w systemie magistrali DC zwarcia, bezpieczniki znajdujące się najbliższej zaistniałej usterki powinny się przepalić, chroniąc w ten sposób pozostałą część systemu. Niemniej jednak bardzo często zdarza się, że przepaleniu ulegają również bezpieczniki przypisane do innych urządzeń w obrębie tego samego systemu, nawet jeżeli bezpieczniki te nie są bezpośrednio powiązane (nie znajdują się najbliżej) z punktem zwarcia.

Jednym z największych wyzwań dotyczących wykorzystywania bezpieczników do odcinania uszkodzonych obszarów systemu są spadki napięcia, odnotowywane w obrębie obszarów niedotkniętych usterką. W przypadku zwarcia, napięcie po stronie usterki będzie oscylowało wokół wartości 0 V. Ze względu na niską rezystancję wewnątrz bezpieczników, napięcie po stronie „zdrowej” zostanie obniżone. A ponieważ bezpieczniki potrzebują nieco czasu, aby poradzić sobie z zaistniałą usterką, napięcie w obrębie części systemu, która nie uległa awarii spadnie poniżej wartości granicznej wyłączenia awaryjnego obniżonego napięcia inwerterów dla strony „zdrowej”. W konsekwencji powyższego dojdzie do całkowitej przerwy w zasilaniu.



Rys. 1 Długi czas wyłączenia bezpiecznika w obrębie sieci zasilającej DC skutkujący przerwą w dostawie prądu.

3.2 Korzystanie z urządzeń szybkiego odcinania prądu/wiązujących magistrale DC

Uzyskanie całkowitej selektywności wspólnego systemu magistrali DC możliwe jest poprzez podzielenie systemu na oddzielne magistrale DC. Można to osiągnąć poprzez zastosowanie urządzenia do szybkiego odcinania prądu/wiązującego magistrale DC, takiego jak VACON® NXP DCGuard™, pod warunkiem, że wspomniane, oddzielne magistrale DC będą w stanie pracować w obrębie tych samych poziomów napięcia DC.

Dzięki temu moc będzie płynnie przekazywana pomiędzy dwiema magistralami DC, przy jednoczesnej gwarancji odizolowania każdego systemu w przypadku zaistnienia usterki. Tę metodę łączenia ze sobą różnych magistrali DC nazwano: VACON® NXP DCGuard™, topologia równorzędna.

3.3 Komponenty

VACON® NXP DCGuard™ składa się z inwertera VACON® NXP oraz oprogramowania użytkowego ADFIF102. Razem umożliwią one wykorzystanie dowolnego inwertera NXP jako urządzenia VACON® NXP DCGuard™.

Kompletny zakres produktów obejmujący swoim zakresem prądy i napięcia 3-4140 A oraz 465-1100 VDC uzyskał już zatwierdzenie DNV-GL i ABS.

W celu zapewnienia prawidłowego działania oraz bezpieczeństwa, system równorzędny VACON® NXP DCGuard™ wymaga wyposażenia w poniższe komponenty:

- Górny odłącznik mechaniczny, którego zadaniem jest bezpieczne odłączanie urządzenia VACON® NXP DCGuard™ od magistrali zasilającej DC.
 - Działanie VACON® NXP DCGuard™ nie jest uzależnione od odłącznika mechanicznego chroniącego przed przeciążeniami i zwarciami, bez względu na jego umiejscowienie².
- Bezpieczniki zasilania aR na każdym przewodzie zasilającym DC, zgodnie z instrukcją obsługi VACON® NXP3.
- Filtr di/dt o indukcyjności wynoszącej $\approx 2\%$.

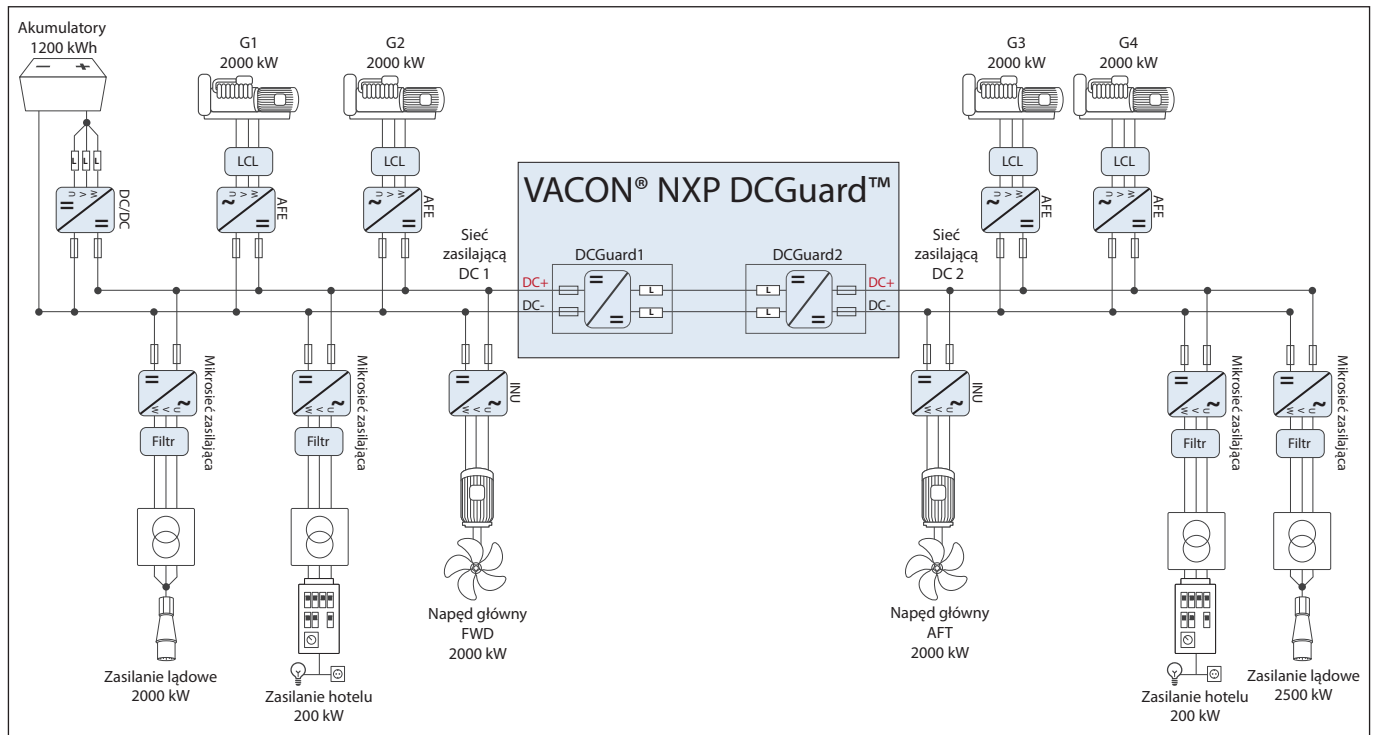
3.4 Systemy dwukierunkowe

VACON® NXP DCGuard™ jest w stanie odcinać wyłącznie prąd wyjściowy (z zacisków DC+/- do zacisków U, V i W). W celu odcięcia prądu płynącego z obu stron, potrzebne są dwa niezależne urządzenia VACON® NXP DCGuard™.

Ponieważ oba urządzenia pracują niezależnie, bez nawiązywania komunikacji pomiędzy napędami, ostateczna decyzja o otwarciu VACON® NXP DCGuard™ zawsze powinna należeć do systemu PMS/systemu sterującego, gdyż może ona wpłynąć na działanie całego statku. Dlatego też konieczne jest, aby integrator systemu wdrożył odpowiednie środki ostrożności celem umożliwienia otwarcia obu urządzeń VACON® NXP DCGuard™ w przypadku wystąpienia usterki.

² VACON® NXP DCGuard™ nie został wyposażony w żadne funkcje zapobiegające nieprawidłowemu działaniu odłącznika mechanicznego.

³ Zrzeczenie się odpowiedzialności: W niektórych przypadkach konieczne może okazać się dokonanie obliczeń w obrębie systemu celem ustalenia odpowiedniej konfiguracji bezpieczników, która może różnić się od konfiguracji domyślnych, wskazanych w odnośnych instrukcjach obsługi.



Rys. 2 Schemat połączeń sieci zasilającej DC uwzględniający VACON® NXP DCGuard™.

3.5 Jak to działa?

Zwykle, przetwornica wykorzystywana jest do obracania silnika przy zmiennej prędkości obrotowej. W jej wnętrzu, IGBT wytwarzają napięcie zmienne oraz częstotliwości niezbędne do regulacji prędkości poprzez impulsy prądu DC. Ten sposób wytwarzania napięcia sinusoidalnego zwany jest modulacją szerokości impulsu (PWM) i polega na włączaniu i wyłączaniu IGBT nawet kilka tysięcy razy w ciągu sekundy. Typowa częstotliwość przełączania mieści się w zakresie od 1,5 do 16 kHz.

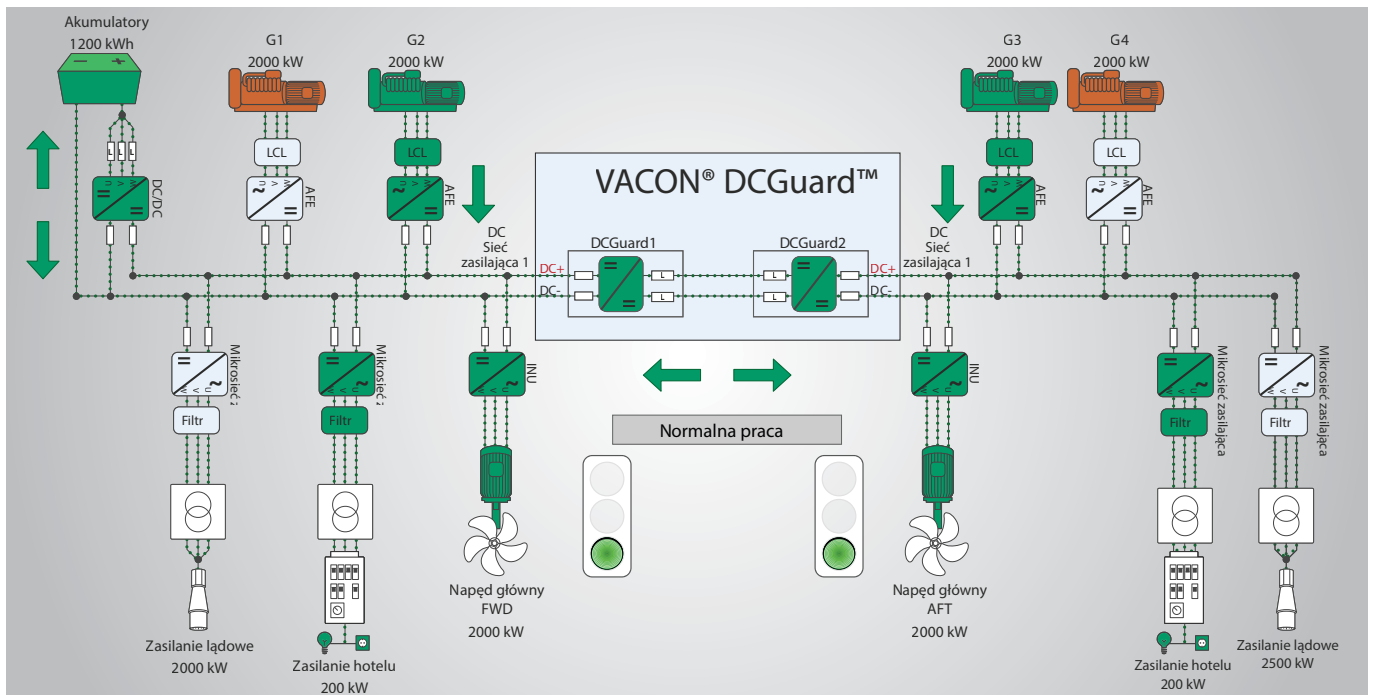
Aby uniknąć uszkodzenia w przypadku napięcia odwrotnego w obrębie IGBT (emiter – kolektor), wszystkie urządzenia VACON® NXP wyposażane są w diody podłączane do IGBT równolegle. Diody chronią IGBT przed uszkodzeniem, umożliwiając jednocześnie powrót energii „odwróconej” do kondensatorów DC. Ten typ diod często nazywany jest diodami zwrotnymi.

W związku z powyższym, ponieważ IGBT VACON® NXP DCGuard™ łączą zaciski DC z zaciskami wyjściowymi tworzą w ten sposób stałą ścieżkę przepływu prądu. Cały prąd przepływający przez VACON® NXP DCGuard™ będzie również przepływał przez połączone szeregowo elementy indukcyjne. Ograniczoną one czas narastania prądu (di/dt) do poziomu, który umożliwi VACON® NXP DCGuard™ dokonanie jego pomiaru i zadziałanie. Co najważniejsze, IGBT zostały zaprojektowane w taki sposób, aby odcinały prąd DC bez zużywania się lub uszkodzania.

Jednym z wyzwań związanych z odcinaniem prądu przechodzącego przez cewkę jest indukcja napięcia w cewce. W przypadku takiej konfiguracji, po odcięciu prądu, napięcie indukowane jest rozładowywane z powrotem do kondensatorów DC znajdujących się w urządzeniu VACON® NXP DCGuard™.

Przyjrzyjmy się, jak zachowa się system w przypadku wystąpienia usterki.

Normalna praca

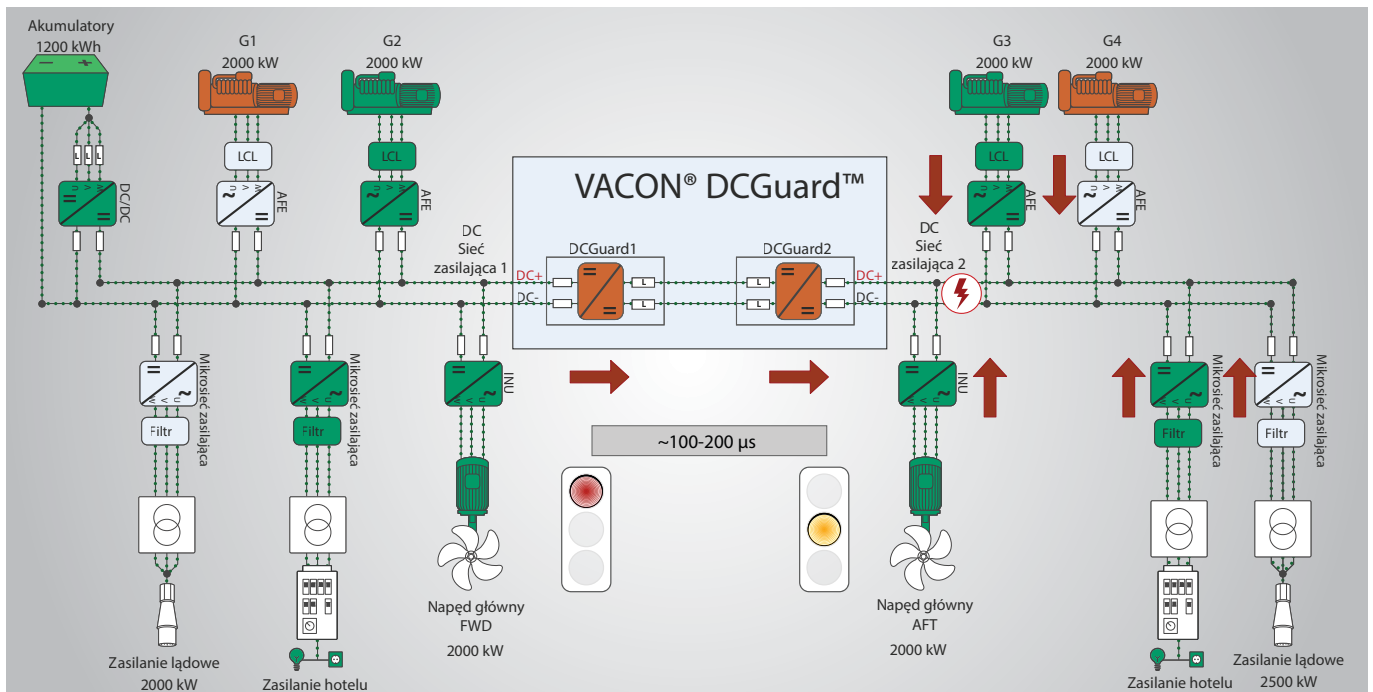


Rys. 3 Normalna praca.

Zwarcie

0-100 μ s po wystąpieniu zwarcia.

Prąd będzie narastał aż do osiągnięcia wartości granicznej wyłączenia awaryjnego VACON® NXP DCGuard™. Na rys. 5, stan dla usterki przedstawiono po prawej stronie. Czerwone strzałki wskazują udział prądowy wszystkich podłączonych inwerterów.

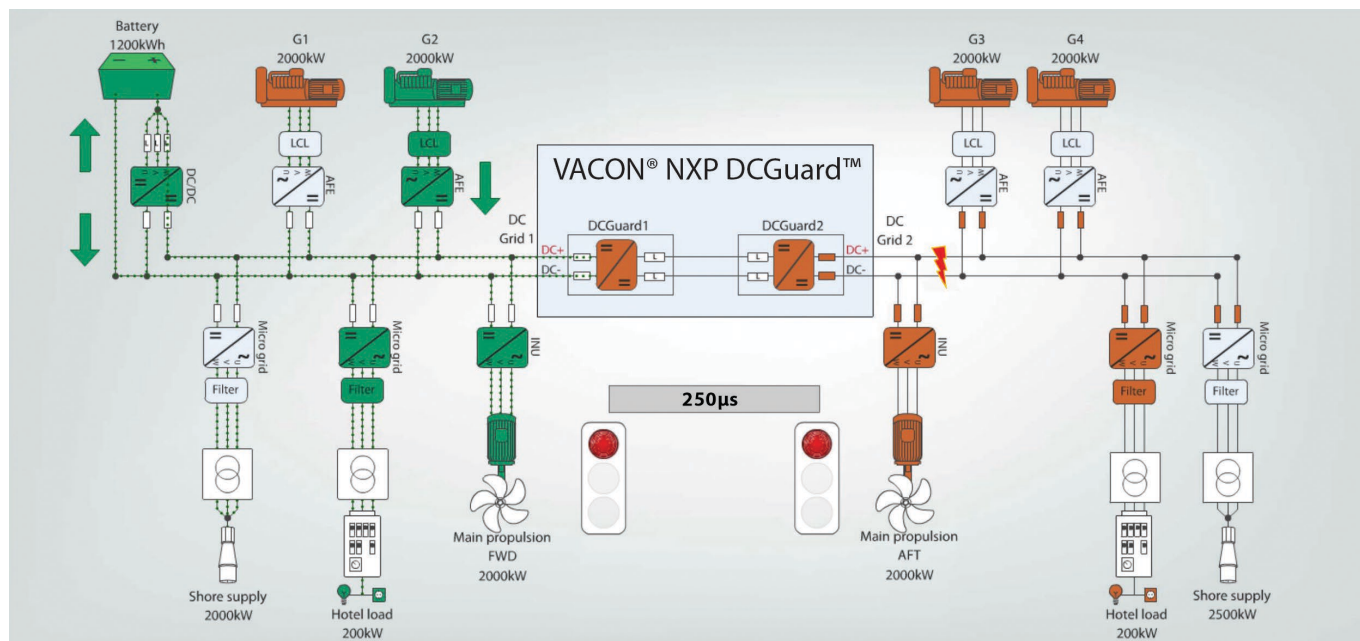


Rys. 4 Zwarcie 0-100 μ s.

Usterka zostanie usunięta przez urządzenie VACON® NXP DCGuard™ po upływie ok. 100 μ s.

250 μ s po wystąpieniu zwarcia

250 μ s po wystąpieniu zwarcia, odseparowana i „zdrowa” strona obwodu nadal pracuje normalnie.



Rys. 5 200 μ s po wystąpieniu zwarcia.

Część systemu, w której doszło do usterki została odizolowana od reszty „zdrowego” systemu. Niemniej jednak moc niezbędna dla podstawowych funkcji, takich jak manewrowanie statkiem, nadal jest dostępna.

Podczas usterki sieć zasilająca DC doświadczy jedynie niewielkiego spadku napięcia DC (zazwyczaj poniżej 50 V) po stronie zdrowej.

Należy pamiętać, że VACON® NXP DCGuard™ nie ma wpływu na to, co dzieje się wewnątrz uszkodzonej magistrali DC podczas zwarcia.

Podłączanie

Aby uniknąć wysokiego prądu uderowego, gdy urządzenie VACON® NXP DCGuard™ łączy się z kablami połączeniowymi magistrali, kontrolowany skok napięcia dla napięcia kabli połączeniowych magistrali zawsze wykonywany jest przed zamknięciem urządzenia VACON® NXP DCGuard™. Napięcie zostanie zwiększone począwszy od poziomu bieżącego do pełnego napięcia DC. Typowy czas narastania napięcia od 0 V do pełnego napięcia DC wynosi 200-400 ms. Czas narastania napięcia oraz częstotliwość przełączania można programować.

3.6 Łatwe wymiarowanie

Podstawowym współczynnikiem wymiarowym dla urządzenia VACON® NXP DCGuard™ jest przepływający przez nie, wymagany prąd obciążenia, pozwalający na transfer energii pomiędzy obiema stronami.

Znamionowy prąd DC VACON® NXP DCGuard™ = znamionowy prąd AC VACON® NXP.

To takie proste.

3.7 Zatwierdzenia

Obecnie nie istnieją odpowiednie normy dotyczące takiego zastosowania VACON® NXP DCGuard™. Niemniej jednak wszystkie produkty VACON® NXP uzyskały zatwierdzenie DNV-GL i ABS, co okazuje się być bardzo przydatne w przypadku ubiegania się o homologację systemu.

4. Sprawdzona technologia

Już w roku 2009 firma Danfoss dostarczyła jeden z pierwszych systemów sieci zasilającej DC dla rzeczno-go statku pasażerskiego. Obecnie, w użyciu znajduje się ponad 50 takich statków. W roku 2016 pierwsze urządzenia VACON® NXP DCGuard™ zostały pilotażowo zainstalowane na rzecznych promach przeprawowych JI w Amsterdamie. Dzięki wykorzystaniu wszystkich produktów z zakresu hybrydyzacji jednostek pływających Danfoss Drives w obrębie jednej sieci zasilającej DC, efektywność energetyczna i selektywność systemu zostały przeniesione na zupełnie nowy poziom. W roku 2018 pierwsze zatwierdzone przez DNV-GL urządzenia VACON® NXP DCGuard™ będą pracowały na statku morskim pływającym w obrębie jednej z najbardziej uczęszczanych tras norweskich linii promowych.

5. Kontakt

Zachęcamy do zapoznania się z arkuszem informacyjnym VACON® NXP DCGuard™:

<http://danfoss.ipapercms.dk/Drives/DD/Global/SalesPromotion/Factsheets/ProductFactsheets/UK/vacon-dcguard/>

W celu uzyskania dalszych informacji, zachęcamy do skontaktowania się ze swoim lokalnym punktem sprzedaży firmy Danfoss:

<https://www.danfoss.com/en/contact-us/contacts-list/?filter=type%3Adanfoss-sales-service-center>