

Preludium do wysokonapięciowych półprzewodników z szerokim pasmem zabronionym

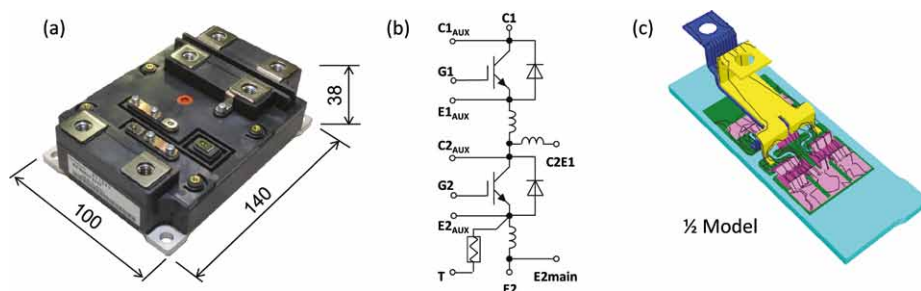
Tranzystory IGBT nowej generacji – niskie poziomy indukcyjności, małe straty i miękkie przełączanie

HITACHI, dostrzegając aktualne potrzeby rynku, wprowadza tranzystory IGBT nowej generacji w obudowie nHPD² o niższych stratach mocy, niższej indukcyjności oraz wartościach EMI, torując jednocześnie drogę dla technologii półprzewodników WBG.

Zastosowanie niskoindukcyjnych obudów dla półprzewodników mocy to pierwszy krok w kierunku efektywnego wykorzystania technologii WBG (od angielskiego *Wide Band Gap* – akronim określający grupę materiałów półprzewodnikowych o paśmie zabronionym szerszym od pasma krzemu, np. węgiel krzemu). Niestety zmniejszenie indukcyjności wewnętrznej modułów przy zastosowaniu standardowych struktur IGBT rodzi nowe wyzwania dla projektantów przekształtników (np. obniżanie strat łączeniowych przy zachowaniu niskiego dV/dt). Nowa generacja IGBT firmy Hitachi w połączeniu z obudową nHPD² to rozwiązanie zapewniające niskie wartości L_{cs} , niskie straty łączeniowe oraz akceptowalny poziom dV/dt . Rozwiązanie to stanowi doskonały pomost pomiędzy standardowymi elementami krzemowymi a półprzewodnikami WBG.

Wstęp

Półprzewodniki o szerokim paśmie zabronionym oferują bardzo niskie straty łączeniowe, ale w aplikacjach napędowych oscylacje łączeniowe stanowią istotny problem. Zmniejszenie częstotliwości łączeniowej ogranicza oscylacje, ale jednocześnie eliminuje korzyści stosowania WBG. Redukcja wewnętrznej indukcyjności modułu to efektywne rozwiązanie eliminacji oscylacji. Rozwiązanie to zostało zaimplementowane w obudowach nHPD² dla modułów



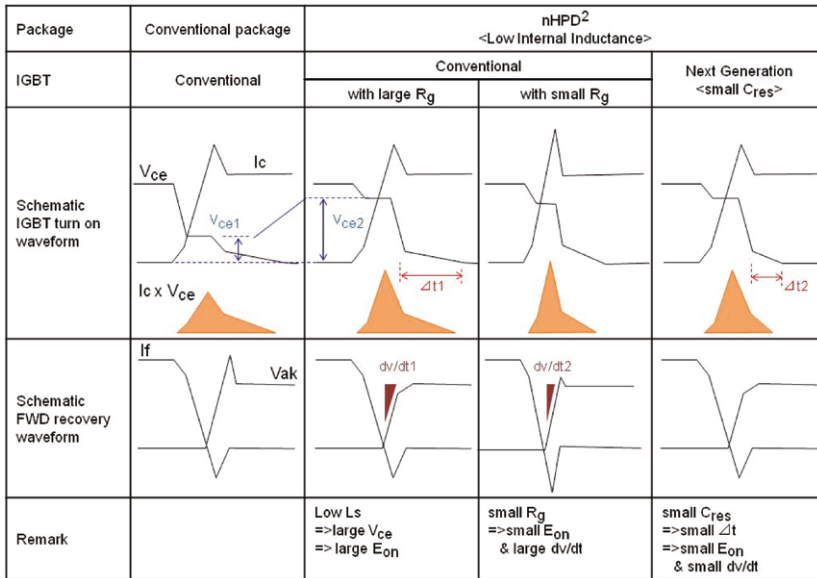
Rys. 1. Moduł nHPD², schemat oraz struktura wyprowadzeń

mocy Hitachi (rys. 1). Dzięki konfiguracji półmostka oraz zoptymalizowanej strukturze terminali indukcyjność wewnętrzna została zredukowana o 75% w stosunku do standardowych obudów i nie przekracza 10 nH. W wyniku stosowania obudowy o niskiej wartości indukcyjności wewnętrznej ze standardowymi strukturami IGBT ograniczamy przepięcia podczas wyłączenia, ale powiększamy straty mocy ze względu na wyższe napięcie występujące na zaciskach modułu podczas przełączania. Korzyści, które mogłyby kompensować większe straty mocy, takie jak praca z wyższą częstotliwością, są iluzoryczne i prowadzą do powiększenia dV/dt , co negatywnie wpływa na izolację uzwojeń silników oraz kompatybilność elektromagnetyczną (EMC). W związku

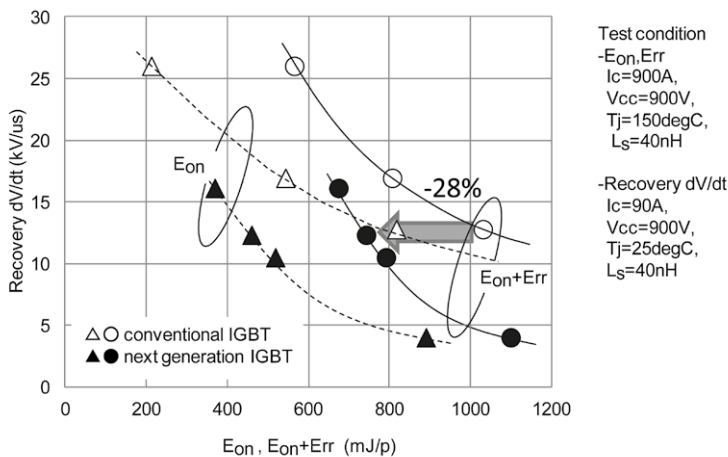
z powyższym zachodzi potrzeba opracowania nowej generacji IGBT dostosowanych do niskoindukcyjnych obudów.

Redukcja C_{res} dla niższego E_{on}

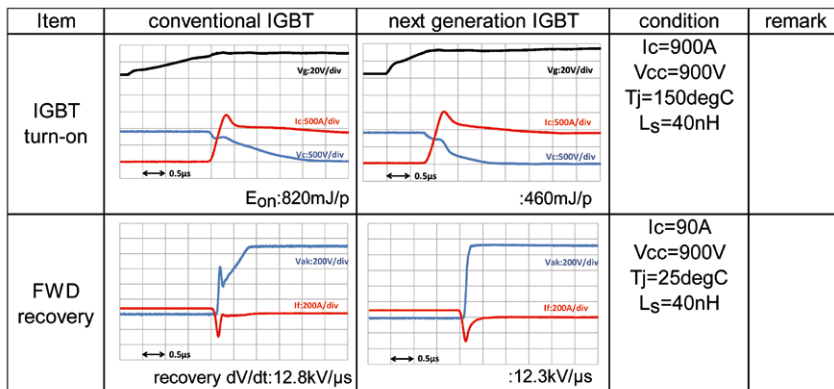
Na rysunku 2 zostały zaprezentowane uproszczone przebiegi załączania tranzystora i odzyskiwania właściwości zaporowych diody zwrotnej dla konwencjonalnego modułu oraz modułu nHPD². W przykładzie możemy zaobserwować, że podczas załączania modułu nHPD² niska indukcyjność wewnętrzna skutkuje wyższym napięciem $V_{ce} = V_{ce2}$. Napięcie to jest znacznie wyższe w porównaniu do napięcia V_{ce1} dla standardowej obudowy. Podwyższone napięcie ma bezpośredni wpływ na powiększenie strat przy załączaniu modułu nHPD². Obniżenie wartości rezystora



Rys. 2. Uproszczone przebiegi załączania tranzystora IGBT oraz odzyskiwania zdolności zaporowych diody zwrotnej



Rys. 3. Zależność strat łączeniowych oraz dV/dt diody zwrotnej



Rys. 4. Doświadczalne przebiegi załączania tranzystora IGBT oraz odzyskiwania zdolności zaporowych FWD

bramkowego (R_g) złagodzi efekt powiększonych strat wyłączania IGBT, ale kosztem powiększenia stromości narastania napięcia diody zwrotnej, co może doprowadzić do uszkodzenia izolacji uzwojeń silnika oraz problemów kompatybilności elektromagnetycznej (EMC).

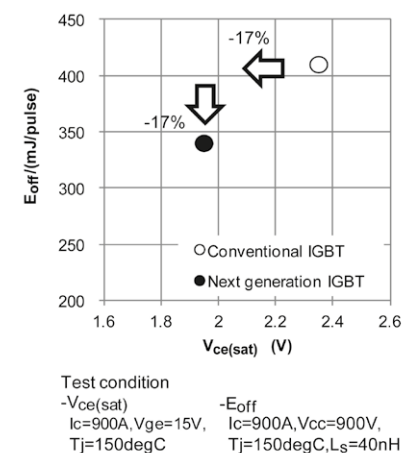
Tranzystor IGBT z mniejszą wartością pojemności C_{res} zmienia powyższą zależność i pozwala zachować niskie straty załączania (E_{on}) przy niskim dV/dt dla diody zwrotnej. Przy mniejszej pojemności C_{res} okres dla zjawiska Millera (Δt_2) staje się mniejszy i straty E_{on} mogą zostać zredukowane bez wzrostu dV/dt czy stosowania mniejszej rezystancji R_g . Zmniejszona pojemność C_{res} jest głównym założeniem przy projektowaniu tranzystorów IGBT nowej generacji dedykowanych dla niskiindukcyjnych obudów.

Wyniki eksperymentalne

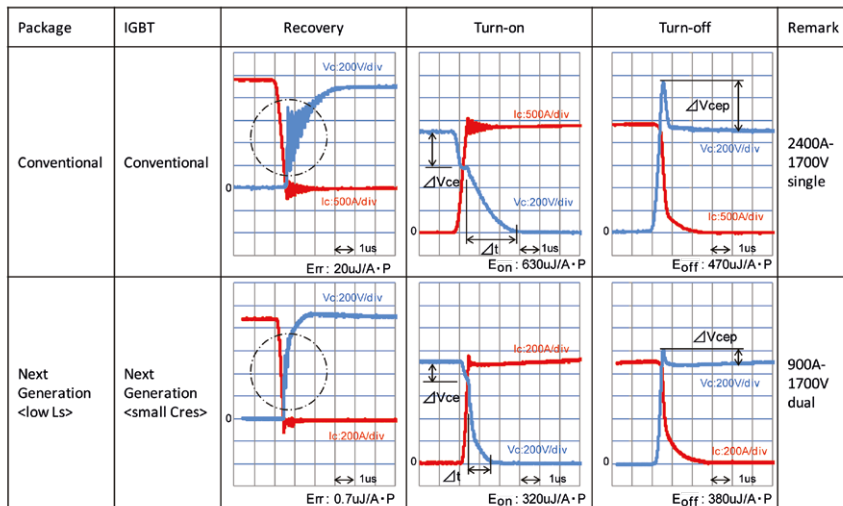
W tranzystorach IGBT nowej generacji od Hitachi ładunek związany z okresem Millera został zredukowany o 27%. Ten wynik znacząco poprawia zależność pomiędzy stratami na załączanie tranzystora IGBT a wartością dV/dt dla diody zwrotnej, co pokazano na rysunku 3.

$V_{ce(sat)}$ oraz E_{off} - poprawa parametrów

Tranzystory IGBT nowej generacji wykazują również poprawę parametrów $V_{ce(sat)}$ oraz E_{off} . Oba parametry zostały zredukowane o 17% (rys 5).



Rys. 5. Zestawienie parametrów $V_{ce(sat)}$ oraz E_{off}



Test condition : $I_c = \text{Rated current}$, $V_{cc} = 900V$, $T_j = 150\text{degC}$
 $L_s = 55\text{nH}$ [2400A-1700V single conventional package, $L_s \times I_c = 132\mu\text{AH}$]
 40nH [900A-1700V dual next generation package, $L_s \times I_c = 36\mu\text{AH}$]

Rys. 6. Przebiegi dla modułów hybrydowych SiC



Rys. 7. Niskonapięciowa obudowa nHPD² (dostępna) oraz wersja wysokonapięciowa (w opracowaniu)

Kierunek SiC

Niskoindukcyjna obudowa nHPD² została zaprojektowana z myślą o półprzewodnikach WBG. Rysunek 6 pokazuje przebiegi przełączania modułów z diodą zwrotną z węgla krzem (SiC FWD). Wyniki zostały porównane z tradycyjnymi modułami IGBT w standardowych obudowach oraz modułami IGBT nowej generacji w obudowie nHPD². Tak jak można było się spodziewać, zastosowanie diody SiC eliminuje w znacznym stopniu straty na odzyskiwanie zdolności zaporowych, ale w standardowej

obudowie prowadzi do powstawania oscylacji. Jednocześnie na przebiegach można zauważyć, że przy zastosowaniu tranzystorów IGBT nowej generacji oraz obudów nHPD² możemy wyeliminować oscylacje łączeniowe. Zastosowanie tranzystorów IGBT nowej generacji ze zredukowaną wartością C_{res} pozwala zachować zarówno niskie straty załączania, jak i niski poziom dV/dt .

Podsumowanie

Obudowa Hitachi nHPD² została stworzona, aby ułatwić projektowanie

urządzeń energoelektronicznych. Daje ona możliwość nie tylko zwiększenia sprawności, wydłużenia czasu życia urządzenia czy zastosowania modułowej budowy przekształtników, ale przede wszystkim przyszłego wdrożenia technologii WBG bez znaczących zmian konstrukcyjnych.

Tranzystory IGBT nowej generacji od Hitachi zostały zaprojektowane dla zastosowań w niskoindukcyjnych obudowach nHPD², dając w rezultacie moduł o niskich stratach oraz niskim poziomie zakłóceń. Dodatkowo powyższe połączenie daje możliwość łatwego budowania przekształtników w koncepcji modułowej oraz przyszłego wdrożenia technologii wysokonapięciowych WBG, takich jak węgiel krzem. Dzięki zastosowaniu niskiej pojemności C_{res} w opisywanych tranzystorach IGBT osiągnięto zadawalający kompromis pomiędzy stratami przełączania oraz niskim dV/dt przy obudowach niskoindukcyjnych. Z drugiej strony niska indukcyjność wewnętrzna powoduje, że obudowa nHPD² jest idealnym rozwiązaniem dla modułów hybrydowych (SiC FWD) oraz modułów SiC MOS, a obecne rozwiązanie z IGBT nowej generacji to najkrótsza droga do wprowadzenia technologii WBG w energoelektronice. ■

MARKEL
energoelektronika to nasza pasja

Dane kontaktowe:

Chris White
Hitachi Europe Limited
Whitebrook Park, Maidenhead, SL6 8YA
United Kingdom
tel.: +44 (0)1628 585148
e-mail: nHPD2@hitachi-eu.com

Radosław Sobieski
Markel Sp. z o.o.
ul. Okulickiego 7/9
05-500 Piaseczno, Polska
tel. 22-428 10 29
e-mail: markel@markel.pl