

Dominik Ratajski, Krzysztof Tadeusiak
ABB Sp. z o. o., Aleksandrów Łódzki

UNIFIKACJA SILNIKÓW TRAKCYJNYCH

STANDARDIZING THE TRACTION MOTOR

Abstract: Trains are frequently custom made to accommodate the individual technical specifications of different rail service providers. Each new design requires a variety of unique, train specific components that are supplied by additional independent original equipment manufacturers (OEMs). Traditionally the traction motor is among the many custom made components required by train manufacturers. These motors are intensively engineered to ensure function and quality, which results in increased complexity throughout the value chain and adversely affects their manufacturing lead time. To overcome these problems, ABB has developed a new range of induction traction motors with built-in flexibility so that customer-specific requirements can be met using a single modular design.

Silnik trakcyjny jest silnikiem elektrycznym używanym do napędu kół pojazdu szynowego. Tradycyjnie była to produkcja indywidualnie zaprojektowanych silników według wymagań poszczególnych pojazdów. Taki sposób projektowania przekładał się na długi cykl realizacji silników, podwyższanie kosztów zapewnienia jakości oraz wymagał budowy coraz to nowych linii technologicznych.

Nowy typoszereg silników trakcyjnych ABB jest wynikiem kilku lat prac badawczo-rozwojowych. Projekt rozpoczęto w 2007 roku i miał on na celu stworzenie uniwersalnego silnika trakcyjnego dla producentów lokomotyw i zwiększenie efektywności działań w sferze efektywności produkcji, zaopatrzenia oraz serwisu u klienta.

Grupa inżynierów-projektantów, specjalistów produkcji oraz naukowców z działu R&D, otrzymała zadanie stworzenia nowego silnika trakcyjnego, który nie tylko zadowolony szerokie grono klientów, ale uprości proces produkcji, zmniejszy liczbę komponentów, a w efekcie obniży koszty produkcji.

Dodatkowym zadaniem było również obniżenie kosztów eksploatacji silników trakcyjnych. W fazie projektowania duży nacisk położono więc na sprawność energetyczną, niezawodność, oraz prosty proces obsługi silnika – wszystko po to, aby obniżyć koszty eksploatacji silników podnoszone przez użytkowników.

Grupa inżynierów-projektantów uzyskała zgodę na modyfikację wszystkich elementów konstrukcyjnych silnika trakcyjnego z jednym wyjątkiem. Nowy zakres silników trakcyjnych musiał spełniać wymogi standardów IEC (International Electrotechnical Commission) doty-

czących wzniosów osi wałów dla silników niskiego napięcia produkowanych przez ABB. Wniosy wałów zostały tak dobrane, aby ich parametry (moc i moment) częściowo się pokrywały, a co za tym idzie, mogły sprostać wszystkim wymaganiom klientów, zarówno pod względem elektrycznym, jak i również mechanicznym (rys.1)



Rys.1. Nowy silnik trakcyjny ABB

Modułowa konstrukcja pozwala na wariantowe budowanie układu chłodzenia i zasilania: wloty i wyloty powietrza do chłodnicy czy podłączenie kabla zasilającego mogą znajdować się w kilku pozycjach na obudowie, gwarantując dużą elastyczność.

Uniwersalność

Dla sprostania wielu wymogom i rodzajom pracy, nowa seria silników trakcyjnych ABB otrzymała innowacyjną budowę modułową. Główną cechą nowej konstrukcji silnika jest brak określonej strony napędowej i przeciw-napędowej jednostki. Dodatkowo długość silnika może zostać zwiększona w celu dostosowania do warunków montażowych i operacyjnych.

Analogicznym modyfikacjom podlega pozycja skrzynki zaciskowej oraz kierunki wlotu i wylotu powietrza. Zmiany te miały na celu optymalizację parametrów pracy a przede wszystkim zmniejszenie wymiarów przestrzennych silnika.

W nowym silniku trakcyjnym stosowane mogą być dwie metody chłodzenia: OSV – Open Self Ventilation), oraz otwarty wymuszony system chłodzenia OFV- Open Forced Ventilation) zgodnie z specyfiką pojazdu szynowego. Uniwersalność konstrukcyjna pozwala na przekształcenie systemu OFV w OSV poprzez modyfikację kilku elementów.

Takie rozwiązanie daje szybki dostęp do części zamiennych oraz upraszcza prace serwisowe niezależnie od metody chłodzenia.

Montaż w pojeździe szynowym

Nowa konstrukcja modułowych indukcyjnych silników trakcyjnych pozwala na wybór sposobu montażu silnika we wszystkich elektrowozach. Takie rozwiązanie silnika pozwala producentom i użytkownikom na swobodne korzystanie z rozwiązań i jest dużym atutem silników trakcyjnych produkcji ABB. Konstrukcja uchwytów montażowych oraz akcesoriów została zaprojektowana tak, aby spełniać standardy IEC 61373 (wstrząsy i wibracje) bez obniżenia parametrów eksploatacyjnych silników.

Wytrzymałość

Projektując modułową serię indukcyjnych silników trakcyjnych brano pod uwagę najwyższe standardy wytrzymałościowe. Zredukowano ilość komponentów a wiele części uzyskało zintegrowane funkcje. Projektanci dostosowali je tak aby mogły pracować w wysokiej temperaturze i wymagającym środowisku. Użytkownicy silników trakcyjnych chcą, aby silniki posiadały niską wagę oraz małe wymiary, a równocześnie zapewniały większą moc i moment obrotowy. Aby uzyskać takie parametry w całym zakresie, a także zagwarantować wysoką niezawodność silników, nie wystarczy przeprowadzenie optymalizacji chłodzenia i charakterystyki elektrycznej. Wszystkie elementy silnika musiały być brane pod uwagę na etapie projektowania.

Sprawność i niezawodność

Silnik trakcyjny ABB wyróżnia się nowym modelem elektrycznym, zoptymalizowanym pod względem sprawności oraz stosunku mocy

do ciężaru. Kluczową cechą tej konstrukcji jest aluminiowa klatka wirnika odlana bezpośrednio w pakiecie bez jakichkolwiek dodatkowych połączeń. Jest to mocna oraz sprawdzona konstrukcja podnosząca niezawodność i wytrzymałość produktu. W przypadku, gdy wymagana jest najwyższa sprawność energetyczna, silnik może posiadać miedzianą klatkę wirnika. Silniki trakcyjne są zasilane poprzez przemiennik częstotliwości, który zapewnia odpowiednie parametry napięcia.

Podczas projektowania obwodu elektrycznego silnika trakcyjnego niezbędne jest jak najlepsze dobranie silnika i przemiennika częstotliwości, które będzie odpowiednio dobrane pod konkretne wymagania klienta. W aplikacjach trakcyjnych częstotliwość kluczenia jest zazwyczaj niewielka, co powoduje niekorzystne oddziaływanie na uzwojenie silnika wyższych harmonicznych prądu i napięcia. Dzięki zastosowaniu innowacyjnego oprogramowania FEM (Metoda elementów skończonych) możliwe jest osiągnięcie najlepszych parametrów elektrycznych przemiennika częstotliwości, biorąc pod uwagę:

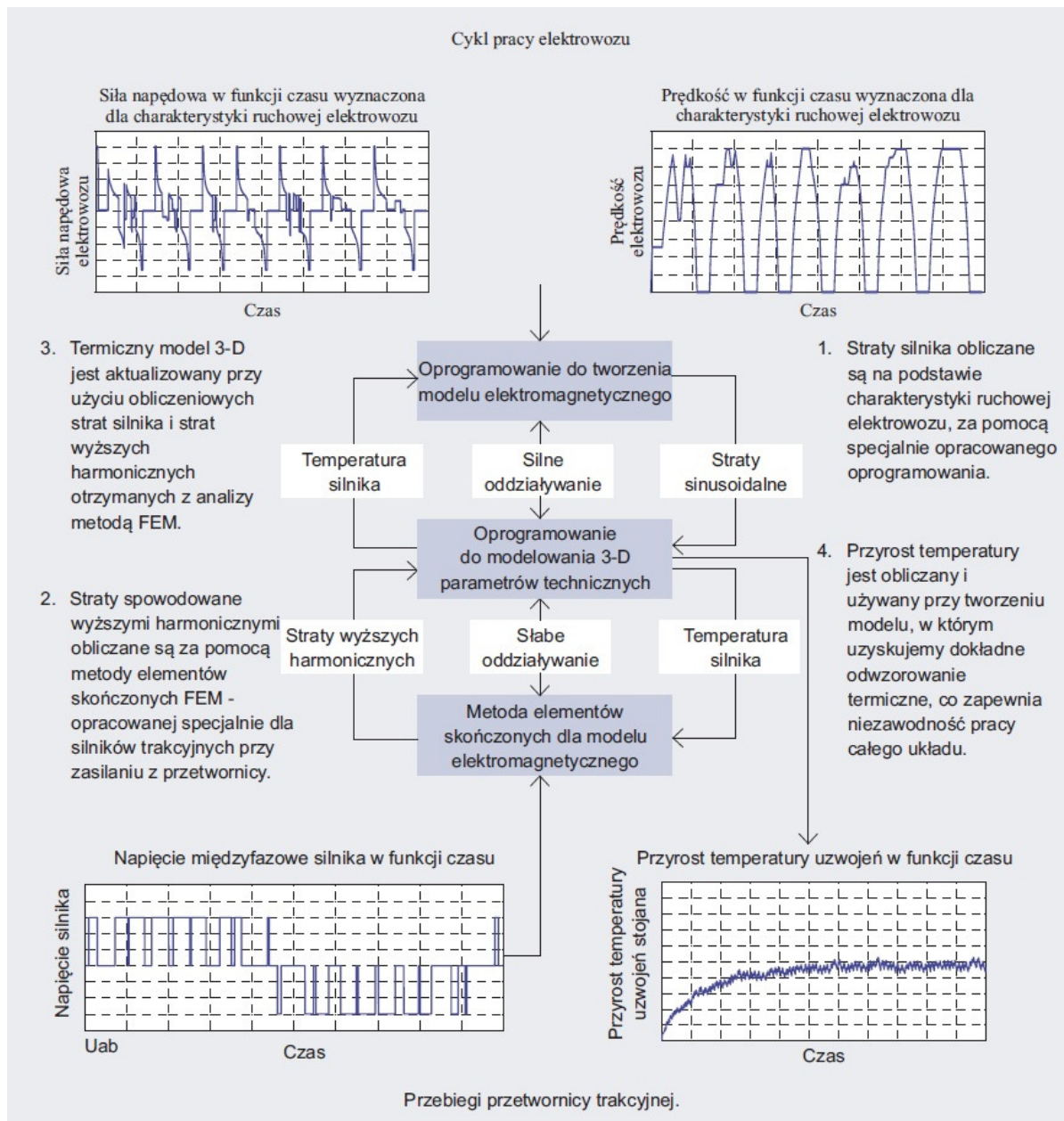
- minimalizację pulsacji momentu,
- niski poziom hałasu oraz wibracji,
- dużą sprawność,
- niski prąd,
- sprawne chłodzenie.

Oprogramowanie FEM zostało rozwinięte i zoptymalizowane pod kątem maszyn elektrycznych przez Uniwersytet Techniczny w Helsinkach.

Model termodynamiczny

Przyrost temperatury oraz projekt układu odprowadzania ciepła jest kluczowym zagadnieniem w aplikacjach silników trakcyjnych.

Dokładne wyznaczenie przyrostu temperatury wszystkich krytycznych komponentów silnika ma niezwykle duży wpływ na jego niezawodność. Poprzez połączenie oprogramowania FEM (metoda elementów skończonych) oraz oprogramowanie 3D do analizy termicznej, możliwe było zasymulowanie z dużą precyzją, przewidywanych temperatur w czasie pracy silnika. Danymi wejściowymi były: symulacja pracy elektrowozu oraz charakterystyki kluczenia przemiennika, a wyjściowymi - przyrosty temperatury krytycznych części silnika, takich jak uzwojenie stojana czy łożyska (rys. 2).



Rys. 2. Schemat przedstawiający procesy i narzędzia do optymalizacji modelu silnika trakcyjnego

Silnik trakcyjny wyróżnia się nowym modelem elektrycznym, zoptymalizowanym pod względem sprawności oraz stosunku wydajności do masy.

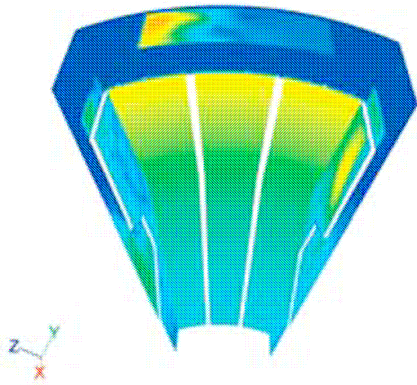
Szczególnie dużo uwagi skupiono na ograniczeniu strat powstałych w skutek niekorzystnego oddziaływania wyższych harmonicznych, obniżeniu poziomu hałasu oraz pulsacji momentu przy zachowaniu solidnej konstrukcji, wykonywanej z najwyższą jakością. Zastosowano system izolacji o wysokiej rezystancji odporny na wyładowania koronowe, posiadający mniejszą zdolność wchłaniania wilgoci oraz pracujący w klasie temperaturowej 200C.

Całość jest zaprojektowana w oparciu o zdobytą wiedzę i doświadczenie ABB przy produkcji silników trakcyjnych, którego początek sięga 1909 roku.

Metoda Dynamicznego Modelowania (CFD)

Specjalny nacisk został położony na termiczną optymalizację silnika. Ponieważ temperatura silnika musi być utrzymywana na względnie niskim poziomie jego moc jest ograniczana przez osiągane przyrosty temperatury. Kanały chłodzące (stojana i wirnika) oraz wentylator zostały zoptymalizowane pod kątem wydajno-

ści skuteczności chłodzenia i obniżenia poziomu hałasu. Przy zastosowaniu modelowania CFD oraz obliczeń elektromagnetycznych przewidziano i wyeliminowano na etapie projektowania możliwe lokalizacje gorących miejsc w przypadkach przeciążenia silnika. Dzięki wprowadzonym modyfikacjom, podwyższono skuteczność chłodzenia oraz obniżono straty.



Rys. 3. Symulacja CFD wentylatora

W dodatku, symulacja CFD wentylatora (Rys.3) pozwala na całkowite zobrazowanie jego działania. Jesteśmy w stanie zidentyfikować strefy gdzie występuje ograniczony przepływ oraz problemy z cyrkulacją powietrza, a co ważniejsze pomaga to ustalić przyczynę problemów oraz naprowadza na dalsze ulepszenia wprowadzane już na wczesnym etapie projektowania. Co więcej symulacja CFD pracy wentylatora dostarcza analizę cyrkulacji powietrza chłodzącego silnik. W efekcie można zaprojektować najefektywniejszy obieg powietrza chłodzącego. Konstrukcja wentylatora może być zaprojektowana tak aby minimalizować zużycie energii, emisję hałasu i straty. Można też zoptymalizować ilość łopatek, przedłużyć cykl życia tego komponentu i zagwarantować większą elastyczność w systemach trakcyjnych.

Optymalna konstrukcja

Strukturalna konstrukcja produktu zapewnia dużą różnorodność opcji pozwalających na dalsze ulepszenia a także monitorowanie pracy silnika.

W silnikach trakcyjnych ABB można zastosować różne rodzaje łożysk: od tradycyjnych łożysk stalowych C4 do bardziej zaawansowanych łożysk hybrydowych z ceramiczną kulką lub elementami walcowymi, włącznie z rozwią-

zaniem HUB (hybrydowe łożyska nasmarowane na cały okres eksploatacji). Nowe techniki filtrowania powietrza są w fazie rozwojowej, a czujniki termiczne mogą zostać umieszczone w różnych punktach, np. w uzwojeniach, rdzeniu stojana lub w łożyskach, przy czym w łożyskach mogą wykrywać wczesne uszkodzenia. Zintegrowane czujniki prędkości mogą być wymienione bez konieczności demontażu całego silnika z elektrowozu. Modułowa budowa ułatwia konserwację wszystkich części silnika.

Poprzez uwzględnienie potrzeb serwisowania silnika zamontowanego na lokomotywie na etapie projektowania oraz ujednoczenie części zamiennych, nowy silnik trakcyjny może być w większości przypadków serwisowany w zakładach naprawczych lokomotyw, co redukuje znacznie czas przestojów oraz koszty związane z eksploatacją produktu.

Obecnie specjaliści ABB pracują nad rozszerzeniem oferty dla trakcji tak, aby spełniła ona wymagania wielu grup pojazdów: od LRV (lekka kolej) do ciężkich lokomotyw.

Prace koncentrują się na dalszym standaryzowaniu rozwiązań, podniesieniu sprawności oraz obniżeniu kosztów eksploatacji produktu. W przygotowaniu znajdują się również silniki synchroniczne, na przykład silniki z magnesami trwałymi, ale pomimo oczywistych zalet takich rozwiązań (sprawność, zakres wysokiego momentu) jest kilka czynników niekorzystnych. Silniki te są wrażliwe na wstrząsy, przegrzewanie, złożone systemy produkcji oraz eksploatację. ABB obecnie pracuje nad wzmocnieniem zalet i zminimalizowaniem cech niekorzystnych silników synchronicznych.

ABB produkuje silniki przemysłowe od ponad 130 lat; silniki trakcyjne od 100 lat. Firma dostarczyła ponad 30 000 instalacji trakcyjnych w przeciągu ostatnich kilku dekad. Instalacje te pracują w ciężkich lokomotywach dla ekspresowej kolei międzynarodowej (intercity) oraz w lekkich kolejkach miejskich.

Nowa seria modułowych silników trakcyjnych umocni ABB na pozycji światowego lidera w dziedzinie energetyki i automatyki przemysłowej.

Seria silników trakcyjnych ABB z ich ogromnym wachlarzem specyfikacji oraz modułową budową staje naprzeciw rosnącym wymaganiom sprawności energetycznej w przemyśle kolejowym.