

Zastosowanie Transformatora zintegrowanego z Filtrem Harmonicznych w celu redukcji gabarytu oraz kosztów eksploatacji przy wydobyciu ropy naftowej.

T. Orłowski i L. Jasiński

Streszczenie

W ciągu ostatnich kilku lat, firmy wydobywcze zmuszone były do poszukiwania nowych sposobów lub zastosowania bardziej ekonomicznych rozwiązań wydobycia ropy naftowej. Jednym ze sposobów redukcji kosztów wydobycia jest obniżenie zużycia energii elektrycznej pobieranej przez układ napędowy pompy wydobywczej. Pozytywne skutki ograniczenia harmonicznych prądów generowanych przez układy napędowe do poziomów zalecanych przez normę IEEE-519 jest powszechnie znane, jednak w wielu przypadkach zastosowane metody są nieskuteczne lub wysokie koszty inwestycyjne są nie do zaakceptowania. Wynika to z nie do końca odpowiedniego zastosowania dostępnych metod i narzędzi służących ograniczaniu wspomnianych zniekształceń.

Zwiększająca się moc, coraz bardziej rozbudowane układy napędowe wraz z rosnącym zapotrzebowaniem na energię elektryczną, skutkują koniecznością powiększania wymaganej powierzchni w miejscu odwiertu. Zwłaszcza w przypadku instalacji na platformach morskich, dostępna przestrzeń zawsze jest szczególnie cenna. Zwiększenie powierzchni przeznaczonej na urządzenia napędowe w rezultacie generuje dodatkowe koszty, co przy obecnych uwarunkowaniach rynkowych oraz tendencji do obniżania wydatków na inwestycje, jest bardzo niekorzystne.

Niniejszy artykuł przedstawia innowacyjne rozwiązanie dotyczące kwestii ograniczania niekorzystnych harmonicznych prądów. To zdecydowanie mniejsze i tańsze urządzenie spełniające wymogi Normy IEEE-519 jeśli chodzi o współczynnik zawartości harmonicznych prądu THDi w układzie napędowym. Jednocześnie, opisywane rozwiązanie wykorzystuje nowe technologie, które charakteryzują się właściwościami zwiększającymi żywotność całego układu napędowego.

Typowy system wydobycia ropy naftowej składa się z następujących komponentów: transformatora zasilającego, filtra harmonicznych (lub innego urządzenia ograniczającego harmoniczne prądy), przemiennika częstotliwości, filtra sinusoidalnego oraz silnika pompy głębinowej. Połączenie transformatora zasilającego z filtrem harmonicznych w jednym urządzeniu chłodzonym olejem, tworzy mniejszą, a tym samym bardziej ekonomiczną jednostkę, która efektywnie tłumi niepożądane harmoniczne prądy zasilania. Ta kombinacja oprócz efektywnego chłodzenia wykorzystuje reakcje rozproszeniowe uzwojeń transformatora jako komponentu zintegrowanego filtra harmonicznych co daje olbrzymią przewagę na rynku technicznym. Niniejszy artykuł przedstawia oraz przybliża zalety tego rozwiązania przede wszystkim pod kątem redukcji kosztów użytkowania.

Wstęp

Spadające ceny ropy naftowej na rynku światowym sprawiają, iż należy w coraz większym stopniu koncentrować się nie tylko na zarządzaniu gospodarką złóż naturalnych, ale też na samych kosztach eksploatacyjnych. Ponowne przeprowadzanie audytów układów odwiertowych jest szczególnie ważne zwłaszcza w przypadku starszych pól naftowych z głębszymi odwiertami oraz takich, które podlegały rozbudowie. Efektywna eksploatacja złóż wymaga zwiększenia mocy pomp wydobywczych co jednocześnie konfrontowane jest z potrzebą zmniejszania gabarytu sprzętu, ale i utrzymywanie kosztów użytkowania na oczekiwanym niskim poziomie w ramach narzuconych ograniczeń budżetowych.

W większości przypadków pola naftowe posiadają własną sieć energetyczną. Niestety, użytkowanie takich pól wymaga ciągłego zwiększania mocy, co często przekracza możliwości danej sieci energetycznej. Aby pozyskać większą ilość energii, należy ostrożnie zarządzać instalacją elektryczną, a jej sprawność energetyczną oraz jakość utrzymywać na najwyższym poziomie.

W konwencjonalnych układach elektrycznych pomp wydobywczych, systemy powierzchniowe składają się z transformatora obniżającego napięcie podłączonego do zabudowanego na wspólnej podstawie przemiennika częstotliwości. Każdy układ wymaga również zastosowania dedykowanego wieloodczepowego transformatora podwyższającego w celu dopasowania napięcia wyjściowego, do poziomu wymaganego przez silnik napędzający pompę głębinową w danym układzie.

Głównym czynnikiem negatywnie wpływającym na przemysł wydobywania ropy naftowej na Bliskim Wschodzie, są niesprzyjające warunki pracy. Wszystkie urządzenia pracujące na polach naftowych, tj. transformatory, napędy falownikowe, jak również filtry, muszą posiadać obudowę NEMA 4 / 4X, która chroni je przed nawiewanym przez wiatr pyłem i wodą oraz umożliwia nieprzerwaną pracę przy wysokich letnich temperaturach do 55°C.

W idealnym systemie zasilania, przebieg napięcia wejściowego urządzenia oraz prądu obciążenia przedstawia się w formie idealnych przebiegów sinusoidalnych. Natomiast w rzeczywistości, warunki pracy nigdy nie są idealne, stąd też, kształty przebiegów ulegają zniekształceniom. Odchylenie od idealnych sinusoid wyraża się zwykle w postaci współczynników zawartości harmonicznych napięcia (THDu) i prądu (THDi).

Źródło harmonicznych prądów

Harmoniczne są efektem nieliniowego obciążenia układu zasilania, głównie przez duże napędy falownikowe. Harmoniczne w prądzie, generowane przez odbiorniki nieliniowe mogą powodować odkształcenia napięcia systemu, a w następstwie przyczyniając się do wadliwego działania pracujących w nim urządzeń. Skutki takich harmonicznych dzielą się na cztery ogólne kategorie:

- Skutki odczuwalne przez odbiorców komercyjnych oraz przemysłowych: komputery i maszyny sterowane numerycznie są szczególnie podatne na tego typu zakłócenia.
- Wpływ na sam układ energetyczny: w transformatorach zasilających i kablach sieci elektrycznej powstają dodatkowe starty cieplne.
- Wpływ na obwody komunikacyjne: zakłócenia i przerwy w pracy systemów komunikacyjnych.
- Kary finansowe wynikające z obecności harmonicznych w sieci oraz duże koszty sprzętu ograniczającego harmoniczne.

Aby zrozumieć pojęcie harmonicznych jak również techniki ich tłumienia, należy wcześniej przedstawić i rozwinąć kilka terminów wprowadzających.

- Pojęcie składowych harmonicznych służy do określenia kształtu lub charakterystyki odkształconego przebiegu prądu lub napięcia w odniesieniu do podstawowej częstotliwości i amplitudy.
- Zakłócenia prądu: zakłócenia tworzące udary prądowe. Mogą one powodować przegrzewanie transformatora lub fałszywe alarmy zabezpieczeń, wyłączników i innych urządzeń ochronnych, wynikające z odkształconych przebiegów.
- Zakłócenia napięcia: Zniekształcone napięcie powoduje niesinusoidalne spadki napięcia w całym systemie zasilania. Wspomniane spadki napięcia pogłębiają jego deformację a pozostali użytkownicy sieci otrzymują niesinusoidalne napięcie zasilania.

Układy elektryczne zakłócone harmonicznymi mają niski współczynnik mocy oraz niską sprawność. Wynika to z wyżej wymienionych skutków działania harmonicznych. Bezpośrednim ich wynikiem są niepotrzebne dodatkowe straty cieplne urządzeń jak również nieprzewidywalne zjawiska rezonansowe w obwodach zasilania, co w efekcie może poważnie zakłócać działanie sieci.

IEEE-519-2014

Zaleca się stosowanie normy IEEE-519 w projektowaniu układów elektrycznych, natomiast nie jest to norma wymagana. Harmoniczne stanowią problem raczej dla układu niż konkretnych urządzeń. Norma IEEE-519 ustala limity zniekształceń harmonicznych napięcia i prądu w punkcie przyłączenia (zwykle po stronie wtórnej transformatora zasilającego).

Całkowite zniekształcenia harmoniczne w układzie napędowym zależą od procentu zniekształceń z każdego odbiornika nieliniowego, biorąc pod uwagę całkowitą moc transformatora i względne obciążenie układu.

Zalecana przez normę IEEE-519 praktyka definiuje następujące klasy odbiorników "dedykowane", "ogólne" oraz "specjalne". Obiekty takie jak szpitale i lotniska zaliczane są do kategorii "specjalne", podczas gdy większość pozostałych mieści się w klasyfikacji ogólnej. Układy napędów o zmiennej prędkości obrotowej określane są przez Normę IEEE jako „dedykowane” pozwalają na większe zakłócenia, przypisywane wyłącznie działaniu przekształtnika.

Norma IEEE-519 mówi, iż szacowany prąd obciążenia powinien być wypadkową średniego rocznego prądu pracy. Jeśli dostępne dane są niewystarczające, można wtedy przyjąć wartość 80% pełnego obciążenia prądowego.

Natomiast, nie zaleca się przyjmowania takiego założenia bezkrytycznie. Użytkownicy jak również projektanci takich układów powinni być przeszkoleni w zakresie stosowania Normy IEEE-519, ponieważ podnoszenie kosztów urządzeń bez racjonalnego odniesienia do wytycznych normy nie jest optymalnym rozwiązaniem inżynierskim.

Permissible voltage harmonic distortion limits at the connection point according to IEEE 519-2014

Voltage at PCC	Individual Harmonics	THDu
$V \leq 1\text{kV}$	5,0%	8,0%
$1\text{kV} < V \leq 69\text{kV}$	3,0%	5,0%
$69\text{kV} < V \leq 161\text{kV}$	1,5%	2,5%
$161\text{kV} < V$	1,0%	1,5%

Permissible current harmonic distortion limits for all devices at the connection point depending on R_{SC} according to IEEE 519-2014

I_{sc}/I_L	$h < 11$	$11 \leq h < 17$	$17 \leq h < 23$	$23 \leq h < 35$	$35 \leq h \leq 50$	THDi
< 20	4%	2%	1,5%	0,6%	0,3%	5%
20 < 50	7%	3,5%	2,5%	1%	0,5%	8%
50 < 100	10%	4,5%	4%	1,5%	0,7%	12%
100 < 1000	12%	5,5%	5%	2%	1%	15%
> 1000	15%	7%	6%	2,5%	1,4%	20%

I_L – max. Load current at the connection point;
 I_{sc} - max. Short-circuit current at the connection point;

Rys. 1: IEEE-519-2014 Limity zawartości harmoniczných dla systemu elektroenergetycznego.

PCC - Punkt przyłączenia: Jest to punkt, w którym wykonuje się pomiar harmoniczných i zarazem miejsce podłączenia zasilania. Definiowany jest również jako punkt, w którym obciążenie nieliniowe spotyka się z obciążeniem liniowym w jednej instalacji. Jest to najbardziej popularna definicja stosowana przez konsultantów w celu wymuszenia na producentach układów napędowych zastosowania zasad normy IEEE519 na wejściu napędów przekształtnikowych.

TDD – Całkowity współczynnik odkształcenia, wyrażany w procentach, w odniesieniu do maksymalnego prądu obciążenia.

THD – Całkowity współczynnik zawartości harmoniczných, wyrażony w procentach do składowej podstawowej

ISC - Prąd zwarciovy w punkcie przyłączenia.

IL - Maksymalny prąd obciążenia przy częstotliwości podstawowej.

Norma IEEE powinna być stosowana systemowo i może mieć wpływ na kary finansowe nakładane na odbiorców za nadmiar generowanych harmoniczných do sieci.

Standardowe rozwiązanie w zakresie tłumienia harmonicznych

Kwestia tłumienia harmonicznych prądów jest zjawiskiem powszechnym w wielu branżach, zwłaszcza w tych w których stosowane są układy napędowe dużych mocy. Układy napędowe o mocy powyżej 100 kW są już uważane za duże i wytwarzają sporą ilość niepożądanych zakłóceń, które trafiają z powrotem

do sieci elektrycznej. W konsekwencji, przedsiębiorstwa energetyczne wprowadzają kary pieniężne, które zmuszają klientów do ograniczenia emisji zakłóceń harmonicznych do sieci. Jako że wymagania i metody rozwiązywania problemu zakłóceń zależą od branży, w efekcie istnieje wiele rozwiązań tej kwestii. Do najbardziej powszechnych należą:

Rozwiązania Aktywne:

- Rozwiązanie z przemiennikiem częstotliwości typu Active Front End, tłumiące THDi harmonicznych w punkcie przyłączenia do ok. 4-6%
- Rozwiązanie z aktywnym filtrem harmonicznych, tłumiące THDi harmonicznych w punkcie przyłączenia do ok. 4-7%

Są one jednak drogie ze względu na użyte obwody elektroniczne oraz komponenty, mające znaczny wpływ na koszty eksploatacji oraz napraw. W takich rozwiązaniach zazwyczaj stosuje się standardowe transformatory dystrybucyjne lub separacyjne, nie zawsze jednak znajdują one zastosowanie w przemyśle wydobywcia ropy naftowej i gazu. W szczególności układy z napędem Active Front End, w których zwrot energii do sieci nie jest stosowany, a duże dławiki wymagają dodatkowego chłodzenia.

Rozwiązania Pasywne:

- Filtry pasywne - redukują harmoniczne prądów THDi w punkcie przyłączenia do poziomu ok. 5-10%

Filtry te są bardzo popularne i szeroko stosowane w przemyśle wydobywcia ropy naftowej i nie tylko, głównie ze względu na niską cenę i prostą instalację. Ich skuteczność jest zależna od poziomu obciążenia, przy obciążeniu w zakresie od 70% do 100% gwarantują uzyskanie wskaźnika THDi na poziomie 5%.

- Dławiki sieciowe AC.
- Dławiki DC lub dławiki na szynie DC

Dławiki zazwyczaj oferowane są przez producentów napędów jako opcja, jednak ważna dla prawidłowej i niezakłóconej pracy napędów. Użytkownicy systemów starając się ograniczać ponoszone koszty, marginalizują użycie tak istotnych komponentów. Natomiast, w przypadku, kiedy indukcyjność odgrywa tak istotną rolę w systemach zasilania, dławiki powinny być standardowym elementem każdego układu napędowego, nawet pomimo użytych dodatkowych filtrów lub innych urządzeń tłumiących harmoniczne prądów.

Rozwiązania wielopulsowe:

- Przekształtniki 12-o pulsowe oparte o transformatory trójzwojzeniowe lub specjalne konfiguracje autotransformatorów, uzyskiwana wartość współczynnika THDi 15%- 20%.

Jest to rozwiązanie powszechnie stosowane, uznawane za tanie a zarazem technicznie uzasadnione. Transformatory te nie są skomplikowanymi urządzeniami, ponieważ stosując proste układy połączeń uzyskujemy wymagane przesunięcia fazowe napięć wyjściowych. Często napędy o mocy powyżej 100KVA są projektowane w konfiguracji 12-o pulsowej. Takie rozwiązanie jest ekonomiczne i technicznie niezawodne.

- Układ 18-o pulsowy wymagający zastosowania czterozwojzeniowego transformatora separacyjnego o skomplikowanym układzie połączeń lub odpowiednika opartego na autotransformatorze, uzyskiwany współczynnik wynosi THDi 8%- 12%.

Nietypowe rozwiązanie ze względu na trudności w produkcji 18-o pulsowego transformatora dobrej jakości. Ponadto, na rynku działa obecnie tylko kilku producentów napędów 18-o pulsowych.

- Układ 24-o pulsowy z pięciuzwojzeniowym transformatorem lub dwoma trójzwojzeniowymi transformatorami, w konfiguracji tej uzyskuje się współczynnik THDi poniżej 5%.

Bardzo skuteczne rozwiązanie tłumienia harmonicznych prądów, jednak opłacalne tylko przy dużych mocach napędu. Obecnie tylko kilka firm naftowych na Bliskim Wschodzie stosuje je jako standard. Wynika to z wysokich kosztów jak również ograniczonej liczby producentów, będących w stanie dostarczyć wysokiej jakości napędy i transformatory.

Opis rozwiązania

Każdy system urządzeń elektrycznych przewidziany do pracy na polu naftowym powinien spełniać nie tylko wymagania elektryczne klienta, być optymalnie zaprojektowany technologicznie, ale i zachowywać rozsądny poziom cenowy.

Połączenie dwóch z wyżej wymienionych rozwiązań: zaawansowanego filtra pasywnego z 12-pulsowym transformatorem olejowym w jedną jednostkę hybrydową, tworzy nowoczesne, jedyne tego rodzaju rozwiązanie, które może z powodzeniem odpowiadać na potrzeby rynku.

Dzięki wykorzystaniu indukcyjności rozproszenia 12-pulsowego transformatora wraz z dodatkową pułapką rezonansową filtra, harmoniczne obecne w standardowych rozwiązaniach 12-pulsowych mogą być skutecznie tłumione.

Parametry takiego urządzenia w dużym stopniu zależą od konstrukcji geometrycznej transformatora jak i konstrukcji magnetycznej dedykowanego filtra. Aby dokładnie zrozumieć działanie owego rozwiązania oraz aby je jak najbardziej zoptymalizować, opracowano modele analityczne, magnetyczne i elektryczne a następnie wykorzystano je do budowy prototypu.

Poprzez połączenie tych dwóch mechanizmów tłumienia harmonicznych można skutecznie eliminować wiele problemów.

Pierwszym z nich jest kwestia chłodzenia dużych cewek indukcyjnych w układzie filtra. Każdy samodzielny filtr harmonicznych wymaga obudowy o dużych rozmiarach, tak aby skutecznie rozpraszać straty ciepłe. Popularnym sposobem rozwiązywania tego problemu jest stosowanie wentylatorów zewnętrznych lub wymienników ciepła. Wysokie straty ciepłe są główną przyczyną wielu awarii w dedykowanych do przemysłu naftowego i gazowego układach elektrycznych, zwłaszcza na Bliskim Wschodzie. Taki układ musi sprostać bardzo trudnym warunkom letnim, kiedy to temperatura otoczenia wynosi średnio 55°C (czerwiec/lipiec). Dzięki metodzie zanurzania filtra w oleju łącznie transformatorowym, stosujemy tylko jeden wydajny system chłodzenia olejowego.

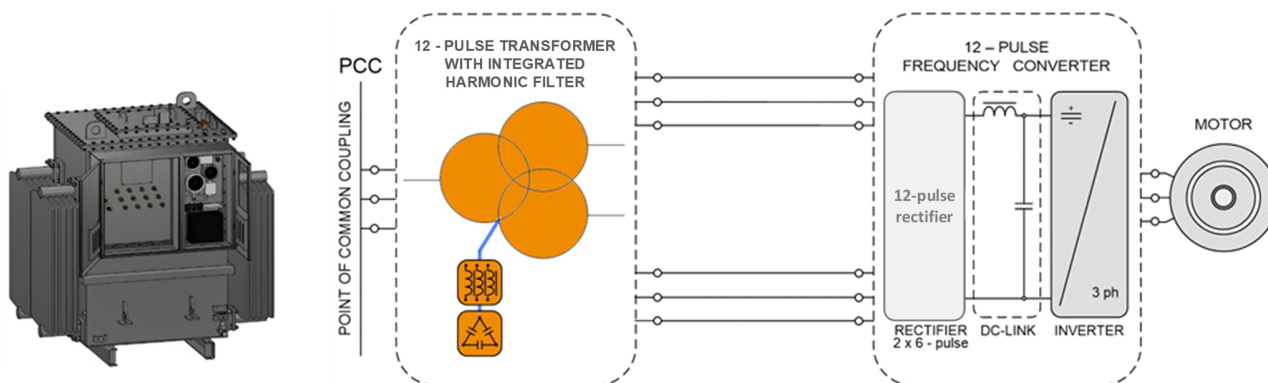
Kolejną zaletą takiego rozwiązania jest fakt, iż zarówno uzwojenia transformatora jak i filtra zamknięte są w jednym urządzeniu, co z pewnością znacznie zmniejsza kosztowne oraz czasochłonne operacje przyłączeniowe. Wszystkie kondensatory są montowane w dodatkowej obudowie, na bocznej ścianie transformatora, co umożliwia łatwy dostęp w celu przeprowadzenia rutynowych przeglądów, konserwacji czy też napraw.

Po trzecie, cewki filtra są obliczane jako część całego układu transformator-filtr, wykorzystując reaktancje uzwojeń jako integralną część systemu tłumienia harmonicznych. Zmniejsza to wartości potrzebnych dodatkowych indukcyjności a co za tym idzie również ilość i koszt zużytych materiałów potrzebnych do budowy urządzenia.

Dodatkowo, jeśli takie urządzenie zastosuje się jako oddzielającą wielopulsową hybrydę transformatora i filtra w systemach zasilanych generatorem, wykazuje on bardzo niski prąd jałowy (poniżej 5%) w przeciwieństwie do klasycznych filtrów pasywnych. Każdy, kto kiedykolwiek pracował z agregatem prądotwórczym, doceni takie rozwiązanie w przyszłości.

Opisywana hybryda zapewnia większą efektywność energetyczną mając jednocześnie mniejsze gabaryty (co najmniej 10%-20% mniejsze wymiary niż standardowy transformator obniżający napięcie

oraz filtr harmonicznym). Co więcej, urządzenie to emituje mniej zakłóceń harmonicznym, zapewnia współczynnik THDi poniżej 5% dla obciążeń powyżej 45% i zamknięte jest w szczelnej obudowie typu NEMA-4/NEMA-4X, chroniącej przed czynnikami zewnętrznymi.



Rys. 2: Transformator zintegrowany z filtrem harmonicznym

Cechy charakterystyczne Transformatora zintegrowanego z filtrem harmonicznym:

- Szczelny, olejowy 12-pulsowy transformator z wbudowanym filtrem harmonicznym
- Rozwiązanie łączące dwa mechanizmy tłumienia harmonicznym prądów: 12-pulsowe prostowanie wraz z zaawansowaną pasywną filtracją harmonicznym

Parametr	Typowe rozwiązanie	Transformator zintegrowany z filtrem harmonicznym	Korzyść
THDi prądu wejściowego	6-8%	<5%	Poprawa o 35%
Jałowy prąd pojemnościowy	20-40%	<5%	Poprawa o 85%
Spadek napięcia	10-16%	<5%	Poprawa o 60%
Współczynnik mocy >0,95	>30% obciążenia	>10% obciążenia	Poprawa o 65%
Straty obciążeniowe*	11,2kW	9,5kW	Oszczędność 15%
Waga*	5400kg	4200kg	Oszczędność >20%
Koszt*	\$114,000	\$99,000	Oszczędność 13%

* Obliczone dla układu o mocy 600kVA

Rys. 3: Zalety Transformatora zintegrowanego z filtrem harmonicznym nad standardowym 12-pulsowym transformatorem z dodatkowym zestawem filtrów.

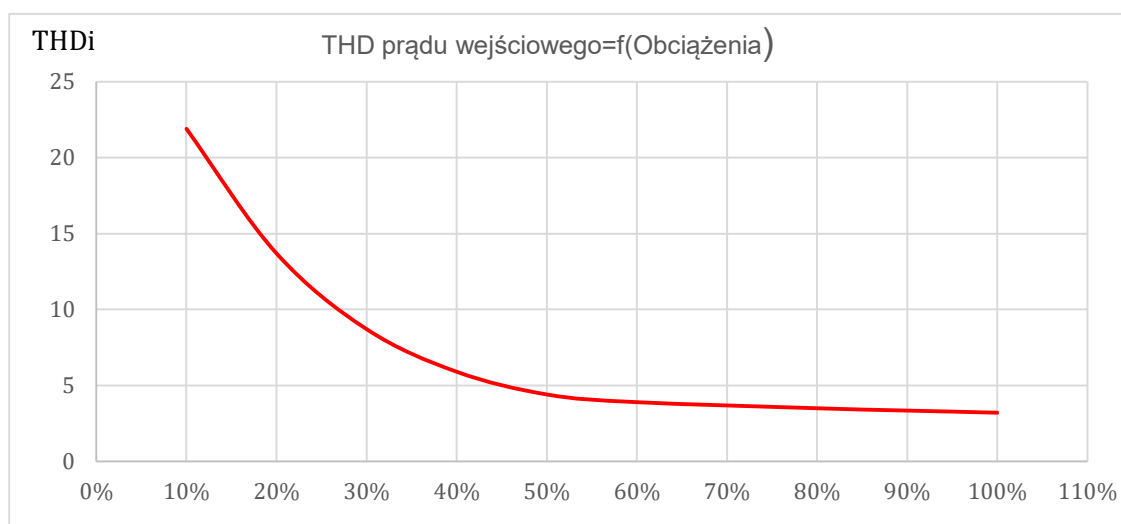
Wyniki symulacji oraz testów

Od początku 2018 r. wykonano wielokrotne symulacje i obliczenia w celu sprawdzenia, czy budowa oraz parametry projektowanego urządzenia zapewnią powodzenie całego przedsięwzięcia. Analizy te obejmowały nie tylko aspekty techniczne takie jak wymagane limity THD, chłodzenie, wymiary, złożoność konstrukcji oraz kwestie produkcyjne, ale i finansowy wymiar projektu.

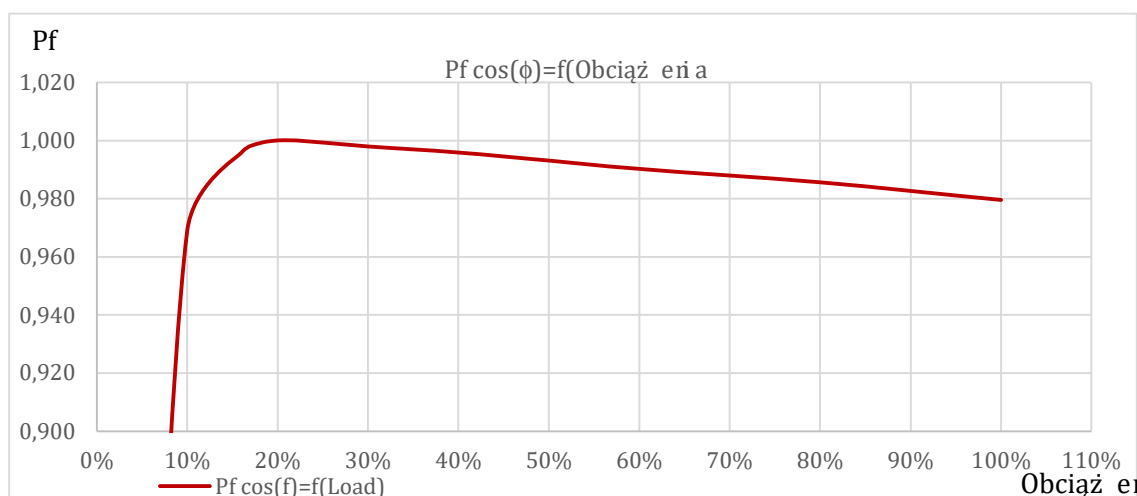
W lutym i maju 2019 r. zbudowano i przetestowano dwa prototypy urządzenia w celu sprawdzenia symulacji numerycznych i potwierdzenia właściwości hybrydy. Pozwoliło to na głębsze zrozumienie niesymetrii systemów napędowych, wpływu sztywności sieci na zawartość harmonicznych prądów, a także wielu innych mniej istotnych kwestii, które również mają ogromny wpływ na efekt końcowy.

Przeprowadzono liczne badania projektowe tak aby ostatecznie móc zaproponować sprawnie działający produkt komercyjny. Efekty końcowe przedsięwzięcia znacznie przekroczyły założone oczekiwania.

Jeśli przyjrzeć się wyłącznie współczynnikowi THDi - dla obciążeń powyżej 45% możemy zagwarantować wartość 5% THDi. [Rys.4]. Daje to wynik lepszy od tych uzyskiwanych przez większość dostępnych na rynku pasywnych filtrów harmonicznych. Znacznie wyróżnia się również współczynnik mocy w funkcji obciążenia - jak wskazano na rys. 5.

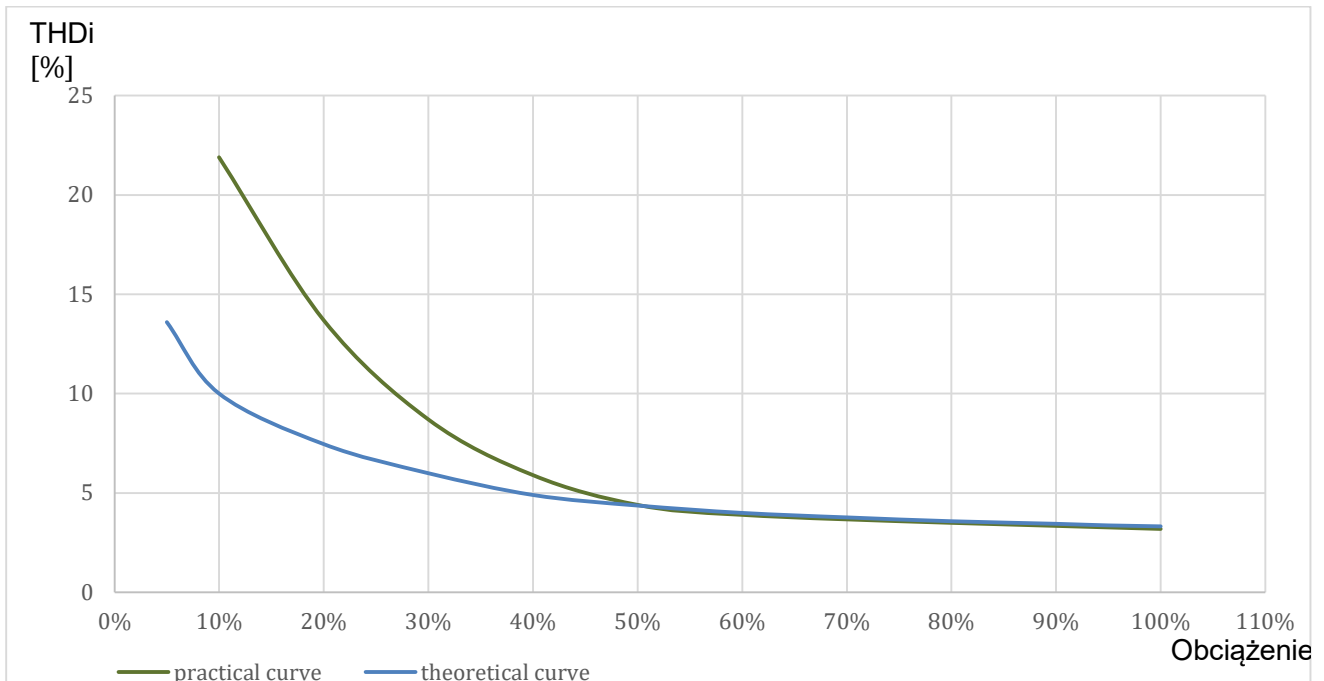


Rys. 4: Zmierzone wartości współczynnika THDi w funkcji obciążenia.

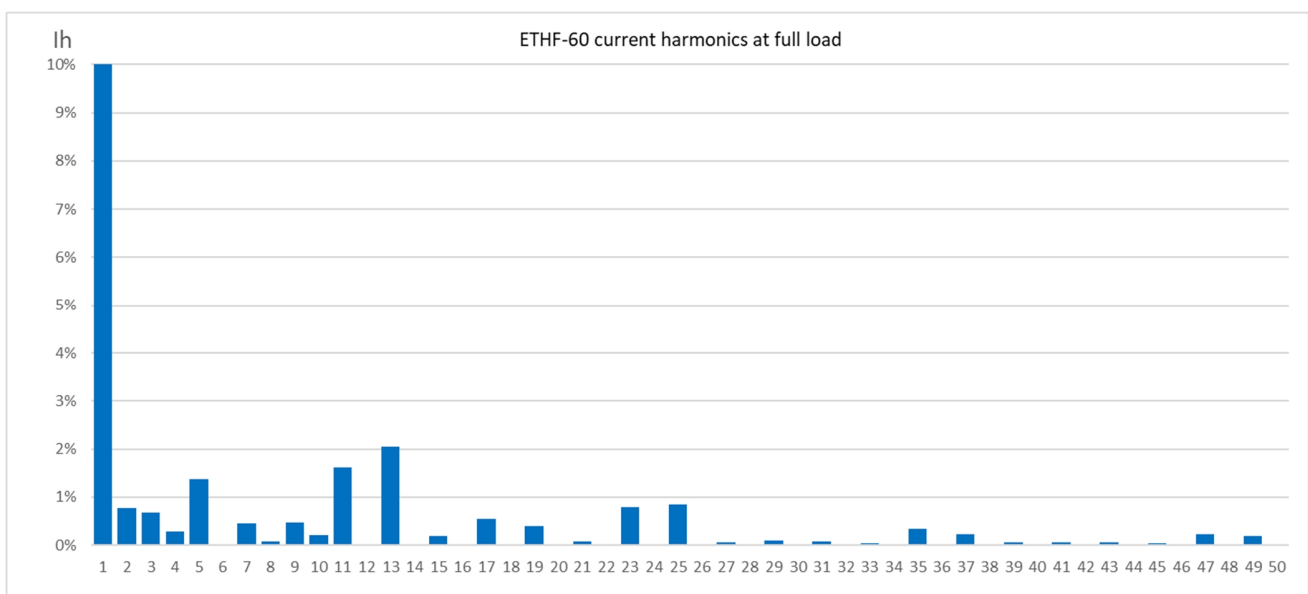


Rys. 5: Zmierzone wartości współczynnika mocy w funkcji obciążenia.

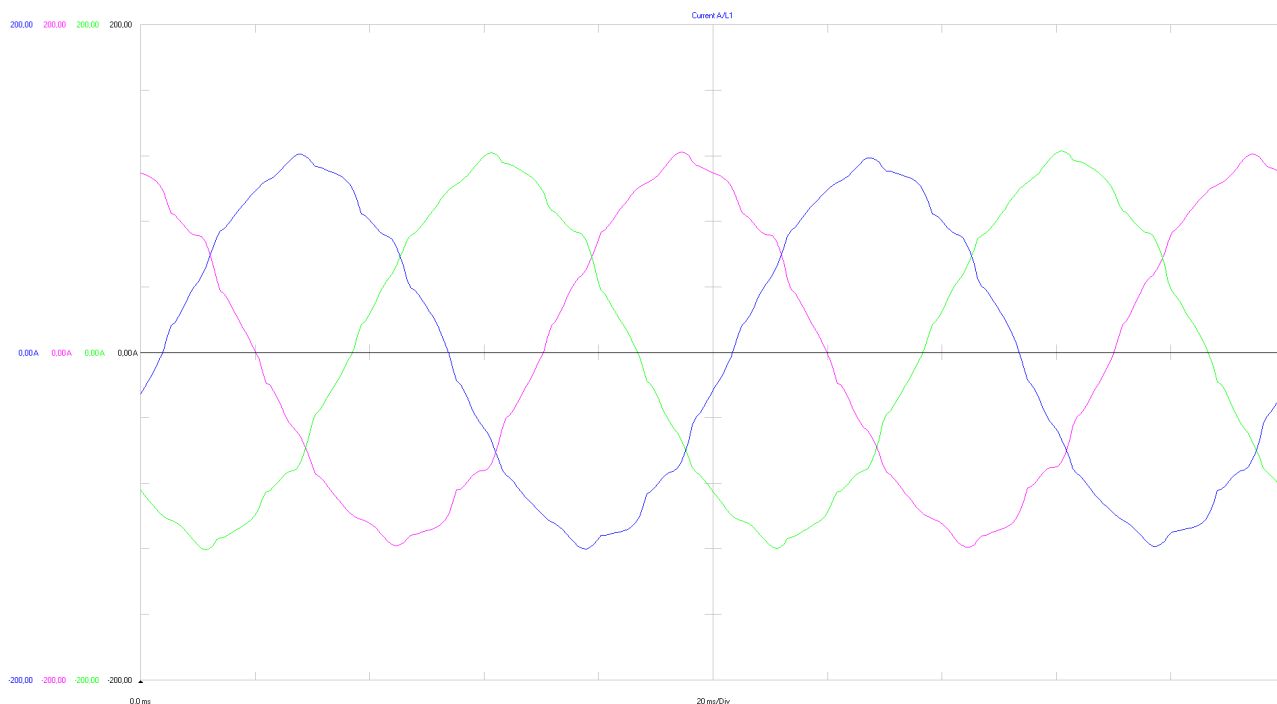
Wyniki testów porównujących symulacje matematyczne i pomiary testowe przedstawiono na rys. 6. Porównanie to dowodzi możliwości zaprojektowania jak również zbudowania pożądanej hybrydy odpowiadającej oczekiwaniom klientów.



Rys. 6: Porównanie symulacji matematycznych i rzeczywistych wyników testów dla współczynnika THDi w funkcji obciążenia.



Rys. 7: Spektrum harmoniczných przy pełnym obciążeniu



Rys. 8: Przebieg prądu wejściowy przy pełnym obciążeniu

Badania prototypu

Wyprodukowano dwa prototypy w celu sprawdzenia poprawności modeli matematycznych w konfrontacji z rzeczywistymi warunkami, a także przygotowania bazy teoretycznej w postaci niniejszego artykułu. Pierwsze pełne badanie terenowe zostanie przeprowadzone do końca 2019 r. przez jedną z największych firm branży wydobywania ropy naftowej na Bliskim Wschodzie.

Podsumowanie

Nie ulega wątpliwości, iż negatywne skutki i koszty spowodowane występowaniem harmonicznych w prądach wejściowych odbiorników przekształtnikowych są jednym z głównych problemów, z którymi boryka się obecnie przemysł naftowy. Konieczność powiększenia wszystkich komponentów elektrycznych pracujących we wspomnianych napędach, dodatkowe straty mocy, zakłócenia itp. zmuszają inwestorów do efektywnego ograniczania emisji harmonicznych prądów.

Koncepcja rozwiązania w postaci hybrydy transformatora i filtra harmonicznych stanowi zatem realną odpowiedź na potrzeby rynku w zakresie:

- tłumienia harmonicznych prądów do poziomu wymaganego przez Normę IEEE-519 (5%THDi)
- zmniejszenia gabarytów i ciężaru całej instalacji
- zwiększenia całkowitej wydajności systemu
- obniżenia kosztów inwestycji.

To innowacyjne rozwiązanie z pewnością przyniesie potencjalnemu użytkownikowi znaczne oszczędności kosztów, zarówno w zakresie nakładów inwestycyjnych jak i eksploatacyjnych. Tłumienie harmonicznych po stronie zasilania przekształtnikowych układów napędów zmniejsza też ryzyko nałożenia kar jakościowych. Dodatkowo, zapewnienie odpowiedniej jakości energii elektrycznej ma decydujący wpływ na wydłużenie żywotności wszystkich urządzeń przyłączonych do sieci, to gwarantuje sprawne działanie całego pola naftowego - co jest kwestią priorytetową dla zastosowań zarówno morskich jak i lądowych.

Badania i testy dowodzą zasadność i poprawność opracowanych modeli i procedur projektowych. Praktyczne rozwiązania projektowe oraz technologiczne hybrydy transformatora i filtra harmonicznego są gotowe do wdrożenia zarówno w procesie produkcyjnym jak i instalacyjnym w terenie.

Tego rodzaju nowe podejście nigdy wcześniej nie było stosowane. Wynika to z faktu, iż producenci transformatorów nie produkują filtrów, postrzegając takie działanie jako zagrożenie dla swojej działalności podstawowej. Firmy produkujące filtry pasywne stale udoskonalają swoje produkty, natomiast niezmiennie borykają się z problemem zamknięcia urządzenia w obudowie i jego odpowiedniego chłodzenia. Producenci napędów wolą rozwiązywać problemy związane z harmonicznymi prądów poprzez użycie zaawansowanych układów elektronicznych i nie do końca skłonni są do współpracy z dostawcami magnetycznych elementów indukcyjnych.

Dzięki połączeniu obu idei w jedno urządzenie, można osiągnąć lepszą wydajność systemu przy mniejszych rozmiarach i niższych kosztach eksploatacyjnych.

Zastrzeżenie

Szczegóły techniczne projektu nie są częścią tego artykułu i nie będą ujawniane. Opisywane rozwiązanie transformatora zintegrowanego z filtrem harmonicznym jest w trakcie procesu patentowego.

Podziękowania

Autorzy artykułu chcieliby wyrazić swoje podziękowania za wkład i wsparcie ze strony współpracowników oraz partnerów. Szczególne podziękowania dla:

- ELHAND Transformatory / Polska, za zaprojektowanie oraz wykonanie prototypów,
- MMB Drives / Polska, za pomoc w testowaniu modeli i prototypów,
- Panu dr. Andrzejowi Pietkiewiczowi, Konsultantowi firmy Elhand / Szwajcaria, za pomoc i wsparcie przy symulacjach.

Słowa kluczowe:

Elektryczne pompy głębinowe
Powierzchniowe Urządzenia Elektryczne
Transformator obniżający napięcie
Filtr harmonicznym
Przebiegiennik częstotliwości
Przekształtnikowy układ napędowy
Filtr sinusoidalny
Transformator podwyższający napięcie
THD - Współczynnik zawartości harmonicznym
Punkt przyłączenia
Napęd Active Front End

Odniesienia:

IEEE PES Transmission & Distribution Committee *IEEE-519-2014 – Recommended Practice and Requirements for Harmonic Control in Electrical Power Systems* 2014

Bibliografia:

Czornik, Jaroslaw. *Harmonic Filters – Guarantee of Electromagnetic Compatibility and High Efficiency of the Converter Drive Systems* Electrical Machines – Problematic Issues Exercise Book No. 2/2015 (106), 2015

Pietkiewicz, Andrzej *Novel Low Harmonics Three-Phase 12-Pulse Inverter* SPEEDAM, 2012

Pietkiewicz, Andrzej *Practical Considerations for the Application of Harmonic Filters* IEEE-IAS, 2008