

Adam Pozowski
Siemens Sp. z o.o., Katowice

ZASTOSOWANIE NAPĘDÓW REGULOWANYCH CZĘSTOTLIWOŚCIOWO DO WENTYLATORÓW DUŻEJ MOCY W ENERGETYCE ZAWODOWEJ

APPLICATION OF VARIABLE SPEED DRIVES FOR HIGH POWER FANS IN POWER PLANTS

Streszczenie: Artykuł zawiera przegląd zastosowań przez Siemens sp. z o.o. układów napędowych z regulacją częstotliwościową do napędu wentylatorów w energetyce zawodowej w ciągu ostatnich kilkunastu lat. Artykuł podsumowuje doświadczenia aplikacyjne oraz przybliża współczesne trendy w tego typu aplikacjach ze szczególnym uwzględnieniem wentylatorów bardzo dużej mocy.

Abstract: The content of the article is review of applications of variable speed drive systems for fans in power industry made by Siemens sp. z o.o. in the past few years. The article summarizes experience gained in applications, describes contemporary trends in such applications with particular reference to very high power fans.

Regulacja częstotliwościowa napędów o mocy do 2 MW jest obecnie standardem, realizowanym w wielu aplikacjach praktycznie każdej gałęzi przemysłu. Szczególnie interesująca pod kątem energoefektywności jest ona dla maszyn przepływowych – wentylatorów i pomp, ze względu na znaczącą poprawę sprawności całego agregatu w funkcji regulacji prędkości obrotowej.

W ostatnich kilku latach powstało także kilka aplikacji przełamujących tezę, że zastosowanie przemienników częstotliwości o mocy ponad 2 MW jest kosztowne, trudne technicznie i nieopłacalne. Przemienniki o mocach 2-15 MW są już wykonaniami standardowymi, łatwo aplikowanymi i z racji optymalnych kosztów opłacalnymi dla inwestorów. Także rozwiązania techniczne stosowane w niektórych z nich powodują, że przemienniki te nie zakłócają sieci, z których są zasilane i nie powodują znaczącego obniżenia dyspozycyjności maszyny napędzanej.

W ostatnich latach wdrożono w Polsce wiele układów regulacji prędkości obrotowej napędów wentylatorów dużej mocy, w tym także wentylatorów kotłów energetycznych.

Na potrzeby niniejszego opracowania postaramy się przybliżyć dwa z rozwiązań.

Najciekawszym układem napędowym wentylatora dużej mocy było zastosowanie przemiennika częstotliwości do regulacji silnika wentylatora wspomagającego spalin w Elektrowni Bełchatów.

Jest to napęd o mocy 6,9 MW, niezwykle odpowiadający, gdyż napędzany przez niego wentylator pracuje dla instalacji odsiarczania dwóch bloków elektrowni, będąc urządzeniem limitującym pracę tej instalacji.

Silnik o mocy 6,9 MW i napięciu 6 kV jest z punktu widzenia sieci elektrycznej napędem powodującym duże spadki napięcia w trakcie rozruchu bezpośredniego. Silnik taki o prądzie znamionowym ok. 800A ma prąd rozruchu ok. 4200A. Rozruch bezpośrednio z sieci wentylatora spalin tej wielkości trwa ok. 20-30 s, ze względu na bardzo wysoki masowy moment bezwładności wentylatora. Tak długi rozruch powoduje niekorzystne dla stabilności pracy wielu urządzeń spadki napięcia w sieci zasilającej.

Wentylatory spalin mają moc dobieraną przez projektantów dla najbardziej niekorzystnego punktu pracy węgla o niższej jakości, czy też wzrostu oporów układu odprowadzania spalin związanego z jego zanieczyszczeniem. Powoduje to konieczność przewymiarowania napędu w stosunku do jego nominalnego punktu pracy o około 20% do nawet 60%. Jest to oczywiście dobra praktyka dająca pewność pracy instalacji w każdych warunkach jednak powodująca, że całość układu nie pracuje w punkcie najwyższej sprawności.

Te dwa zagadnienia spowodowały zainteresowanie inżynierów Elektrowni Bełchatów zastosowaniem do silnika 6,9 MW regulacji częstotliwościowej. Wymaganie zastosowania tej regulacji zostało przetworzone przez Generalnego Wykonawcę instalacji odsiarczania spalin na konkretne wymagania dla napędu. Zaprojektowano zastosowanie napędu o mocy 6,9 MW na napięcie sieci 6 kV. Takie parametry pozwoliły na nieprzekraczalnie prądu 800A w trakcie całego czasu pracy instalacji – zastosowanie przemiennika częstotliwości pozwala na wykonanie rozruchu silnika z wysokim momentem dynamicznym, nie przekraczając prądu znamionowego. Jednocześnie ze względu na warunki zabudowy Generalny Wykonawca wyspecyfikował ze względu na moc napędu i kwestię odprowadzenia strat przemiennik chłodzony cieczą.

Do realizacji wybrano przemiennik z napięciowym obwodem pośredniczącym, oparty na zaworach IGBT. Przemiennik ten został skonstruowany specjalnie z myślą o bardzo wysokiej dyspozycyjności całego systemu napędowego i przyjazności dla sieci, z której zasilany jest przemiennik oraz zapewnieniu sinusoidalnego kształtu napięcia i prądu zasilających silnik. Najwyższy standard dyspozycyjności przemiennika związany jest z jego konstrukcją. Przemiennik złożony jest z transformatora separacyjnego oraz przemiennika częstotliwości z napięciowym obwodem pośredniczącym o wielomodułowej budowie.



Rys. 1. Przemiennik 7,2 MW; 6,3 kV zastosowany do napędu wentylatora w Elektrowni Bełchatów

Zastosowanie transformatora na wejściu daje:

- możliwość nieprzerwanej pracy także w stanie doziemienia jednej fazy,
- mniejszą wrażliwość na przepięcia pochodzące z sieci,

- zdefiniowanie (ograniczenie) mocy zwarciowej dla przemiennika,
- niezwykle niski poziom harmonicznych zwracanych do sieci zasilającej (THDI ok. 3-4%).

Wielomodułowa budowa przemiennika opartego o tranzystory IGBT to:

- niezwykle wysoka dyspozycyjność przemiennika dzięki zastosowaniu by-passu całkowego,
- ograniczenie prądów zwarciowych za falownikiem dzięki technice IGBT,
- sinusoidalność prądu i napięcia wyjściowego,
- zapas napięcia w obwodzie pośredniczącym dający przemiennikowi niezwykle wysoką elastyczność,
- stały, niezależny od pkt. pracy współczynnik mocy 0,95 indukcyjnie.

Konstrukcja ta zadaje kłam twierdzeniu, że przemienniki z napięciowym obwodem pośredniczącym dają parametry wyjściowe niekorzystne dla silników skonstruowanych wyłącznie do bezpośredniego zasilania z sieci. Wielopoziomowe przemienniki z napięciowym obwodem pośredniczącym na ogół dają napięcie i prąd o kształcie najbliższym sinusoidy.

Ciekawym rozwiązaniem podnoszącym dyspozycyjność tego typu przemienników jest możliwość zastosowania by-passu całkowego.

Zaawansowany by-pass całkowity to cecha przemienników wielopoziomowych dająca im niezwykle wysoką dyspozycyjność. By-pass ten pozwala na odcięcie uszkodzonych celek przemiennika w trakcie pracy (dla napięcia 6 kV przemiennik posiada na ogół 15-18 celek), bez wyłączania urządzenia. Przemienniki te mogą pracować dla odciążenia do 50% celek mocy. Przy odciążeniu jednej celki, dzięki zapasowi napięcia w obwodzie pośredniczącym przemiennik wydaje nadal pełne napięcie znamionowe dla silnika, przy odciążeniu większej ilości celek obniża napięcie i częstotliwość wyjściowe. Co niezwykle istotne dla aplikacji wentylatorowych, w tym stanie przemiennik cały czas podaje na silnik napięcie i częstotliwość regulowane kontrolując w pełni silnik. Alternatywne zastosowanie by-passu sieciowego, tj. zasilanie silnika bezpośrednio z sieci zasilającej powoduje dla napędów dużej mocy wszystkie opisane wcześniej negaty-

wne skutki. W praktyce, dla napędów wentylatorów o mocy kilku MW, dla których sieć zasilająca nie została specjalnie zaprojektowana do rozruchu bezpośredniego by-pass celkowy jest jedynym rozwiązaniem podwyższającym dyspozycyjność urządzenia.

Inną cechą stanowiącą o bardzo wysokiej dyspozycyjności przemienników wielopoziomowych jest ich niewrażliwość na obniżenie napięcia zasilającego przemienniki te wytwarzają moment (oczywiście o odpowiednio niższych parametrach) dla napięcia zasilającego 65%-70 % napięcia znamionowego.

Przemienniki wielopoziomowe dzięki swej budowie zasilają silnik napięciem i prądem sinusoidalnym – wartość zniekształceń w napięciu i prądzie silnika wynosi dla nich (THD) ok. 2% . Powoduje to, że silniki i kable przewidziane do zasilania z przemienników wielopoziomowych z napięciowym obwodem pośredniczącym mogą być zaprojektowane identycznie, jak do zasilania bezpośrednio z sieci sztywnej. Co oczywiste, przemienniki te mogą zostać użyte także do zasilania istniejących silników i linii kablowych, niezależnie od tego jaki mają one układ izolacyjny.



Rys. 2. Przykładowa celka mocy przemiennika wielopoziomowego średniego napięcia o mocy 8 MW, 6 kV

Przemiennik dla napędu silnika 6,9 MW został zainstalowany w marcu 2012 r. i uruchomiony w czerwcu 2012 r. Przemiennik zlokalizowany

jest w pomieszczeniu technicznym, na którego dachu zamontowane są wymienniki układu chłodzenia. Cieczowy układ chłodzenia przemiennika jest niezwykle prosty – ciecz krąży pomiędzy elementami aktywnymi przemiennika i uzwojeniami transformatora, a wymiennikami powietrze woda zlokalizowanymi na dachu pomieszczenia falownika. System wymienników jest redundantny, podnosząc przez to niezawodność urządzenia.

Testy przeprowadzone w fazie uruchomienia pokazały, że przemiennik dzięki funkcji buforowana kinetycznego jest odporny na przerwy w zasilaniu (np. podczas SZR rozdzielni zasilających). Dzięki sinusoidalnemu kształtowi napięcia i prądu, olbrzymi 36 tonowy silnik zachowuje się bardzo cicho, nie przekraczając 82 dB(A) w odległości 1m.

Przemiennik posiada także standardowo system hamowania silnika metodą dual frequency braking – idealny dla aplikacji wentylatorowej.

W aplikacjach wentylatorów elektrowni kwestia oszczędności energetycznych podczas hamowania jest pomijalna – charakter pracy tych wentylatorów z nielicznymi cyklami zmiany obrotów podczas dnia powoduje, że ewentualne zyski energetyczne związane z hamowaniem ze zwrotem energii do sieci są pomijalnie małe, a metody hamowania związane z rozpraszaniem energii są z technologicznego i ekonomicznego punktu widzenia w pełni zadowalające.

Napęd wentylatora wspomagającego w Elektrowni Bełchatów po ponad półrocznej eksploatacji sprawuje się bez zarzutu spełniając wszystkie założone cele jego zastosowania. Wentylator w całym obszarze pracy jest regulowany częstotliwościowo – napęd radzi sobie doskonale ze wszystkimi statycznymi i dynamicznymi stanami pracy kotła. Należy tu podkreślić, że o ile w przypadku tej konkretnej aplikacji przemiennik zasila nowy silnik, to jest on także dostosowany standardowo do zasilania dowolnego asynchronicznego lub synchronicznego silnika o dowolnej konstrukcji.

Inną aplikacją spełniającą podobne zadania, lecz w dużo mniejszym obiekcie są wentylatory kotła biomasowego w Elektrowni Konin. Kocioł ten, jest typowym kotłem fluidalnym posiadającym wentylatory:

- powietrza pierwotnego o mocy 1200 kW,
- powietrza wtórnego o mocy 800 kW,
- spalin o mocy 1250 kW.

W przypadku opisywanego kotła wszystkie te wentylatory, ze względu na wymaganie wysokiej regulacyjności kotła posiadają regulację częstotliwościową wentylatorów. Po analizie techniczno-ekonomicznej zarówno Inwestor jak i Wykonawca uznali, że optymalnym rozwiązaniem dla zastosowanych mocy silników będą przemienniki i silniki na napięcie niskie (690V). Pomimo konieczności zastosowania kabli o większych przekrojach, całościowy koszt układu regulacji był w tym przypadku wielokrotnie niższy w porównaniu z napędem z silnikami 6 kV.

Wentylatory powietrza pierwotnego oraz wentylator spalin wyposażone są typowe przemienniki napięciowe z prostownikiem 12-to pulsowym. Jest to rozwiązanie niejako klasyczne, zapewniające niski poziom harmonicznych (THDI dla znamionowego pkt. pracy < 7-9%) oraz wysoki i stały poziom współczynnika mocy. Podobnie jak w przypadku aplikacji w Bełchatowie, zarówno wentylatory podmuchu, jak i wentylator ciągu nie posiadają dodatkowych systemów hamowania, radząc sobie doskonale w każdym stanie dynamicznym pracy kotła. Zastosowanie przemienników o wysokim poziomie częstotliwości pulsowania oraz silników o niskim poziomie hałasów wentylacyjnych i magnetycznych dało w efekcie niski poziom hałasu silników bez zastosowania obudów akustycznych.

Ciekawym i nowatorskim rozwiązaniem jest zastosowanie dla napędu wentylatora powietrza wtórnego przemiennika z wejściowym filtrem harmonicznych. Przemienniki te mają dla opisanej powyżej aplikacji poziom THDI < 5%. Co ważne, dzięki zastosowaniu filtra szerokopasmowego prądy odkształcone maleją proporcjonalnie także przy pracy z niskim obciążeniem co powoduje, że rozwiązanie to dla niskich obciążeń daje niższy poziom harmonicznych niż rozwiązanie z prostownikiem aktywnym. Rozwiązanie z AFE ma wprawdzie dla obciążeń bliskich znamionowym poziom THDI < 3%, lecz już dla obciążeń < 50% P_n wartość THDI rośnie do poziomu 12-14%. Dla porównania, układ przemiennika z mostkiem diodowym 6-cio pulsowym i filtrem harmonicznych utrzymuje procentowy poziom

harmonicznych < 7% w całym zakresie regulacji. Napędy wszystkich wentylatorów nie posiadają swoich systemów hamowania, pomimo to kocioł, znajdujący się od ponad roku w eksploatacji pracuje doskonale i bezawaryjnie.

Wnioski

Porównując oba rozwiązania można zauważyć, że niezależnie od tego czy stosujemy przemienniki na napięcia średnie czy niskie, parametry techniczne danego rozwiązania zależą bardziej od szczegółowych rozwiązań technicznych, a nie od poziomu napięcia silnika. Przemienniki średniego napięcia w zależności od rozwiązań sprzętowych mogą być bardzo (wielopoziomowe przemienniki z napięciowym obwodem pośredniczącym) lub mało (cyklokonwertery) przyjazne dla zasilanego silnika. Podobnie kwestie jakości energii w sieci zasilającej zależą w większym stopniu od konkretnego rozwiązania prostownika, niż od poziomu napięcia silnika. Analizując ten aspekt widzimy, że przemienniki niskiego napięcia z prostownikiem aktywnym, lub wejściowym filtrem harmonicznych generują znacząco niższe zakłócenia, niż przemienniki średniego napięcia z prostownikiem aktywnym. Także współczynnik mocy dla przemienników z napięciowym obwodem pośredniczącym i prostownikiem o niskim poziomie harmonicznych jest znacząco wyższy w porównaniu z prądowymi przemiennikami średniego napięcia. Z tych powodów, w przypadku analizy zastosowania układów napędowych wentylatorów dużej mocy należy brać pod uwagę szereg aspektów techniczno-ekonomicznych danej aplikacji pamiętając, że w obecnym stanie rozwoju techniki wielomegawatowe napędy regulowane wentylatorów są już czymś, co stało się rozwiązaniem standardowym zarówno w aspekcie technicznym jak i ekonomicznym mogą być bardzo (wielopoziomowe przemienniki z napięciowym obwodem pośredniczącym) lub mało (cyklokonwertery) przyjazne dla zasilanego silnika. Podobnie kwestie jakości energii w sieci zasilającej zależą w większym stopniu od konkretnego rozwiązania prostownika, niż od poziomu napięcia silnika. Analizując ten aspekt widzimy, że przemienniki niskiego napięcia z prostownikiem aktywnym, lub wejściowym filtrem harmonicznych generują znacząco niższe zakłócenia, niż przemienniki średniego napięcia z prostownikiem

aktywnym. Także współczynnik mocy dla przemienników z napięciowym obwodem pośredniczącym i prostownikiem o niskim poziomie harmonicznych jest znacząco wyższy w porównaniu z prądowymi przemiennikami średniego napięcia. Z tych powodów, w przypadku analizy zastosowania układów napędowych wentylatorów dużej mocy należy brać pod uwagę szereg aspektów techniczno-ekonomicznych danej aplikacji pamiętając, że w obecnym stanie rozwoju techniki wielomegawatowe napędy regulowane wentylatorów są już czymś, co stało się rozwiązaniem standardowym zarówno w aspekcie technicznym jak i ekonomicznym.

Autor

Adam Pozowski
Siemens Sp. z o.o., Katowice