

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

ZASTOSOWANIE NAPĘDÓW REGULOWANYCH Z ELIMINACJĄ PRZEKŁADNI DO NAPĘDÓW SZYBKOOBROTOWYCH I NAPĘDÓW WOLNOOBROTOWYCH

VARIABLE SPEED DRIVES WITHOUT MECHANICAL GEARS IN HIGH SPEED AND HIGH TORQUE APPLICATIONS

Abstract: In this article we want to describe the newest solutions of variable speed drives, which allow to achieve high output speeds without mechanical gear for high power units. Additionally we will describe also solutions of drive applications without mechanical gear for high output torque drives. These solutions increase efficiency of the driven equipment.

Napędy regulowane częstotliwościowo z wykorzystaniem układów energoelektronicznych od co najmniej 10 lat stały się standardem stosowanym szeroko wszędzie tam, gdzie regulacja prędkości jest wymagana czy to z powodów technologicznych, czy też z powodu oszczędności energii elektrycznej. Układy przemienników częstotliwości o mocach do 10 MW nie są już dziś układami specjalnymi lecz są aplikowane w wykorzystaniu typowych, katalogowych urządzeń. Jedynymi ograniczeniami dla typowych rozwiązań były jak dotąd znamionowe prędkości obrotowe dla układów dużej mocy. Z jednej strony – napędy o mocy ponad 1 MW mające za zadanie napędzać maszyny szybkoobrotowe, tj. maszyny o prędkości znamionowej ponad 3600 min^{-1} wykorzystywały jak dotąd przekładnie podwyższające prędkość, z drugiej strony – napędy prądu przemiennego wchodzące na obszary niskich prędkości i wysokich momentów zdawczych, wykorzystują na ogół silniki standardowe o prędkości obrotowej $600\text{-}1000 \text{ min}^{-1}$ oraz przekładnie mechaniczne obniżające prędkość.

Oczywiście, w dotychczasowej praktyce są przykłady aplikacji o wysokiej prędkości obrotowej znacząco przekraczającej 3600 min^{-1} , jak również wolnoobrotowe silniki AC o prędkościach dochodzących do $15\text{-}30 \text{ min}^{-1}$, lecz każdorazowo były to maszyny specjalne odbiegające swą konstrukcją od rozwiązań typowych a przez to wielokrotnie przewyższające je ceną. Powodowało to, że szczególnie w zakresie mocy do 10 MW, gdzie spotyka się katalogowe i tym samym kosztowo

zoptymalizowane rozwiązania zarówno silników jak i przemienników AC, rozwiązania oparte na maszynach specjalnych nie były konkurencyjne cenowo.

Ostatnie lata przyniosły w tym zakresie istotne zmiany. Pierwszą z nich jest zaistnienie od około 10 lat typowych serii przemienników częstotliwości z napięciowym obwodem pośrednim o mocach do ok. 20 MW, które standardowo osiągają częstotliwości wyjściowe rzędu 200-300 Hz. Są to w większości przemienniki o napięciu wyjściowym z zakresu 3,3-6,6 kV, choć spotyka się również aplikacje typowych układów przemienników na napięcie 690V o mocy do 4 MW. Jednak z racji wielkości prądów wyjściowych, oraz rozmiarów samych urządzeń, przemienniki na napięcie 690V i moc ponad 2 MW, są niezmiernie rzadko spotykane.

W zależności od konstrukcji i zasady działania przemienniki te mają bardzo zróżnicowane kształty i parametry napięć i prądów wyjściowych. Dlatego bardzo istotne jest ich właściwe dopasowanie do zasilanych silników. Nie stanowi to poważniejszego problemu, gdyż większość wiodących w tej branży firm oferuje na rynku pełne komplety napędowe – tj. przemienniki i dopasowane do nich silniki. Są także takie przemienniki, jak np. Perfect Harmony produkcji SIEMENS AG, które z racji swej topologii generują na wyjściu prąd i napięcie sinusoidalne, co sprawia, że mogą one współpracować z dowolnym silnikiem.

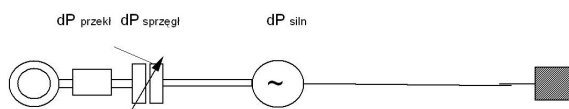
W praktyce najczęściej stosowanymi napędami w tym zakresie mocy i prędkości obrotowych są pompy zasilające w elektrowniach systemowych i dużych elektrociepłowniach oraz duże kompresory gazu.

Pompy zasilające, do których stosowane są napędy elektryczne, mieszczą się w zakresie mocy pomiędzy 2 MW a 5 MW i posiadają prędkość obrotową rzędu 3000-5000 min^{-1} . Charakterystyczna dla tego typu urządzeń jest relatywnie mała głębokość regulacji rzędu 15-30%.

Dla małych bloków, w których pracują pompy o parametrach 2 MW 3000-3300 min^{-1} można stosować stosunkowo typowe silniki 2 biegunowe. Zachodzi tu jednak niebezpieczeństwo wejścia obszaru regulacji napędu w obszar rezonansu mechanicznego silnika, co spowoduje niemożność prawidłowej pracy napędu w całym obszarze regulacji. Należy pamiętać, że samo „zablokowanie” obszaru regulacji w przemienniku (tzw. częstotliwości zabronione lub pomijane) w niczym nie poprawia sytuacji, gdyż obszar rezonansu mechanicznego leży zazwyczaj pomiędzy 2300 a 2600 min^{-1} , uniemożliwiając efektywne wykorzystanie napędu. Rozwiązaniem jest tu stosowanie tzw. napędów podkrytycznych, tzn. silników skonstruowanych na ok. 100 Hz i dzięki temu pozostawiających obszar rezonansu mechanicznego poniżej 20% swej prędkości znamionowej. Silniki te w połączeniu z typowymi przemiennikami z napięciowym obwodem pośrednim, pozwalają na niezawodną pracę w pełnym obszarze regulacji.

Innym zagadnieniem jest zastosowanie napędów z regulacją częstotliwościową do pomp zasilających typowych dla bloków 200 MW. Są to pompy o średniej mocy na wale około 2,7 MW i prędkości obrotowej około 4200-4800 min^{-1}

Klasycznym rozwiązaniem dla tego typu pomp było zastosowanie silnika 2 biegunowego o prędkości synchronicznej 3000 min^{-1} oraz przekładni podwyższającej. Ponieważ szczególnie bloki na węgiel kamienny są blokami z regulacją wydajności – także pompy zasilające są w nich na ogół regulowane. Jest to prawie zawsze regulacja poprzez sprzęgło hydrokinetyczne.



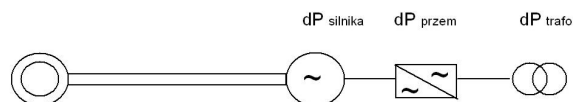
W układzie tym łączne straty systemu napędowego to straty w przekładni, straty w sprzęgle hydrokinetycznym oraz straty w silniku.

Dla typowo stosowanych urządzeń kształtują się one następująco :

dP przekł	ok. 5.5%
dP sprzęgła hydrokinetycznego	ok. 6%
dP silnika	ok. 3.5%

Łączna sprawność systemu napędowego w stanie nominalnym **87.5%**

Obecny stan techniki pozwala na zastosowanie w miejsce powyższego układu, rozwiązania z regulacją częstotliwości opartego na typowych szybkoobrotowych silnikach klatkowych AC i przemiennikach częstotliwości.



Odpowiednio, straty w urządzeniach wynoszą (dla układu przemiennika ze źródłem napięciowym):

dP przem	ok. 1.5%
dP siln	ok. 3.0%
dP trafo	ok. 0.9%

Łączna sprawność systemu napędowego w stanie nominalnym to około **94.5%**

Różnica w sprawności pomiędzy typowym rozwiązaniem ze sprzęgłem hydrokinetycznym a typowym rozwiązaniem z regulacją częstotliwości pogłębia się jeszcze w miarę regulacji prędkości obrotowej w dół.



Ważne jest również to, że rozruch silnika w układzie z regulacją częstotliwości odbywa się w sposób płynny, gdzie prąd rozruchowy nie przekracza 120% prądu znamionowego silnika. Powoduje to, że pompa zasilająca z układem przemiennikowym nie obciąża systemu elektrowni podczas rozruchu w trybie awaryjnym (tzw. „blackout”).

Oczywiście systemy napędowe z wykorzystaniem silników elektrycznych klatkowych z prędkościami obrotowymi powyżej 3600 min^{-1} są stosowane już od ponad 15 lat, jednak aż do 2006 r. były to tylko i wyłącznie rozwiązania z silnikami budowy specjalnej, o bardzo wysokich kosztach (rzędu 3-4 krotności ceny adekwatnego silnika na 3000 min^{-1}) i mocy min. 4 MW. Powodowało to, że napędy te z racji swych kosztów nie były konkurencyjne do tego typu aplikacji. W chwili obecnej wiodący producenci układów napędowych posiadają rozwiązania bazujące na standardowych platformach silników, gdzie dzięki zastosowaniu odpowiednich rozwiązań części dynamicznej i łożysk oraz wykorzystaniu wieloletnich doświadczeń w zakresie systemów napędowych możliwa jest także budowa silników w zakresie mocy 1,5 – 5,0 MW na prędkości obrotowe $4200\text{--}5000 \text{ min}^{-1}$ przy koszcie 1.3-1.5 krotności adekwatnego silnika na 3000 min^{-1} .

Rozwój napędu elektrycznego postępuje także w kierunku konstruowania napędów wolnoobrotowych o wysokich momentach zdawczych. Ideą tego rozwiązania, jest oszczędność miejsca i poprawienie sprawności układów napędowych o obszarze regulacji $0\text{--}600 \text{ min}^{-1}$. Jako nowość w tym zakresie SIEMENS AG proponuje stosowanie silników synchronicznych z magnesami trwałymi HT-direct zasilanych ze standardowych przemienników częstotliwości zarówno jedno jak i cztero- ćwiartkowych. W dotychczasowej praktyce praca z prędkościami obrotowymi rzędu $0\text{--}600 \text{ min}^{-1}$ była możliwa tylko z wykorzystaniem przekładni lub w niektórych przypadkach z wykorzystaniem silników AC o dużej liczbie par biegunów. Powodowało to jednak powstawanie strat dodatkowych w przekładni lub strat dodatkowych związanych z niską sprawnością i niskim współczynnikiem mocy silników wielobiegunowych. Silniki synchroniczne z magnesami trwałymi HT-direct produkcji SIEMENS AG poprawiają znacząco oba te parametry.



Porównując napęd o zapotrzebowanym momencie 12 kNm i prędkości obrotowej 500 min^{-1} :

- przy zastosowaniu silnika 4-biegunowego (1500 min^{-1}) i przekładni otrzymuje się łączną masę silnik+przekładnia = ok. 6 ton i sprawność łączną ok. 93,5%,
- przy zastosowaniu silnika 12-biegunowego (500 min^{-1}) otrzymuje się masę około 8,5 tony i sprawność ok. 95,2 %,
- przy zastosowaniu silnika HT-direct otrzymuje się masę ok. 4,5 tony i sprawność ok. 96,5%

Jak widać, zastosowanie silnika z biegunami trwałymi w znaczący sposób ogranicza gabaryty i ciężar napędu oraz poprawia jego sprawność. Jednocześnie silniki te są wykonane standardowo także w wersji z chłodzeniem wodnym, co pozwala na zabudowę w słabo wentylowanych i zapyłonych pomieszczeniach. Z racji swej konstrukcji (silniki te są przeznaczone jedynie do pracy z przemiennikiem częstotliwości) są one przeznaczone do aplikacji, w których ze względów technologicznych zachodzi konieczność regulacji prędkości obrotowej.