

# Zaawansowane rozwiązania systemów napędowych w przemyśle z zastosowaniem przemienników częstotliwości średniego napięcia w topologii prądowej PowerFlex 7000 firmy Rockwell Automation

Zdecydowana większość aplikacji, z wykorzystaniem regulacji prędkości obrotowej silników średniego napięcia za pomocą przemienników częstotliwości w energetyce, przemyśle wydobywczym oraz ciężkim, to różnego rodzaju wentylatory i pompy. Standardowy układ napędowy składa się z rozdzielni średniego napięcia z dedykowanym polem zasilającym, przemiennikiem częstotliwości i silnikiem z przyłączonym do niego danego rodzaju obciążeniem. Ale czy układ napędowy zawsze musi wyglądać tak samo?

## Load Sharing – jedno obciążenie, wiele napędów

W dzisiejszym przemyśle specyfika układów technologicznych często wymaga zapewnienia systemów napędowych o dużej mocy. Naturalną konsekwencją jest powszechne stosowanie rozwiązań z wykorzystaniem silników średniego napięcia, przeważnie połączonych dodatkowo z przekładnią mechaniczną. Jednak co w przypadku, gdy nawet powyższe sposoby są niewystarczające? Zwróćmy uwagę, że w niestandardowych aplikacjach dobór nietypowych urządzeń (trudno dostępnych na rynku) wiąże się z długimi terminami produkcji i dostaw oraz z koniecznością przewymiarowania towarzyszącej infrastruktury technicznej. Odpowiedzią na tego typu rozbudowane projekty jest współdzielenie jednego obciążenia pomiędzy wiele systemów napędowych, tzw. Load Sharing. W tego rodzaju skomplikowanych technicznie aplikacjach nie bez znaczenia jest



możliwość zastosowania przemienników częstotliwości średniego napięcia, która pozwala osiągnąć dodatkowe korzyści płynące z możliwości regulacji prędkości obrotowej silników. Wśród najistotniejszych wymieniane są:

- **korzyści ekonomiczne** – redukcja zużycia energii elektrycznej;
- **korzyści środowiskowe** – redukcja generowanego hałasu przez pracujące urządzenia;
- **korzyści eksploatacyjne** – poprawa warunków eksploatacyjnych sieci zasilającej, silników i urządzeń technologicznych (zmniejszenie uderzeń prądowych przy rozruchu, zmniejszenie obciążeń mechanicznych i drgań zespołu napędowego).

Jednym z praktycznych przykładów, aplikacji współdzielenia obciążenia z zastosowaniem regulacji prędkości obrotowej jest przenośnik taśmowy.

## Przenośnik taśmowy jako zaawansowana aplikacja wielosilnikowa

Przenośniki taśmowe są szeroko stosowane w przemyśle wydobywczym do transportu surowca z jednego miejsca na drugie. Pojedynczy przenośnik może mieć długość od kilku metrów do kilku kilometrów i może być nachylony w górę lub w dół, w zależności od terenu, na jakim transportowany jest materiał. System przenośników taśmowych składa się z wielu kluczowych elementów, których



precyzyjna współpraca zapewnia prawidłowe funkcjonowanie taśmociągu. Jednym z głównych elementów, bez którego transport nie byłby możliwy, jest napęd przenośnika, który stanowi silnik elektryczny. Najbardziej popularna konfiguracja to zastosowanie napędu do jednego z głównych bębnow taśmy, znajdującego się zazwyczaj na końcu biegu przenośnika. Dla dłuższych lub pochylonych przenośników, gdzie wymagane jest wygenerowanie większego momentu do transportu surowca, zazwyczaj stosuje się więcej niż jeden napęd, np. dwa silniki pracujące na wspólny bęben lub dwa pojedyncze silniki napędzające osobne bębny tej samej taśmy transportowej. Podobne zastosowania współdzielenia obciążenia przez dwa lub więcej silników można też spotkać wszędzie, gdzie wymagane jest wygenerowanie znacznego momentu rozruchowego (przy niskiej lub nawet zerowej prędkości), np. w przypadku dużych młynów, kruszarek czy mikserów przemysłowych.

### Przemysł wydobywczy i współczesne wyzwania

Postępujące standardy europejskie i polityka środowiskowa wymagają zminimalizowania uciążliwości przemysłu ciężkiego dla otoczenia, tym bardziej, gdy projekt dotyczy obszaru wydobycia węgla metodą odkrywkową. W sytuacji, w której nie można zrezygnować z węgla z dnia na dzień, a alternatywne źródła energii nie są wystarczające, aby pokryć wciąż rosnące zapotrzebowanie na energię elektryczną, należy maksymalnie wykorzystać dostępną technologię, aby ograniczyć negatywny wpływ przemysłu na środowisko, co jest możliwe dzięki zastosowaniu nowoczesnych napędów średniego napięcia.

Odpowiadając na zapotrzebowania rynku, firma Intron Automatyka w 2015 roku jako pierwsza w Polsce wykonała innowacyjną aplikację regulacji prędkości obrotowej przenośników taśmowych na bazie przemienników częstotliwości średniego napięcia w odkrywkowej kopalni węgla brunatnego. Po zaledwie 4 latach satysfakcjonujący efekt ekonomiczno-środowiskowy przyczynił się do realizacji równoległej Magistrali Węglowej MW-1 w 2020 roku. Na przykładzie ostatniej realizacji w niniejszym artykule

przybliżamy najciekawsze aspekty techniczne tej inwestycji.

### Przenośnik w liczbach i wybrane funkcjonalności

Nowo powstała Magistrala Węglowa składa się z trzech taśmociągów napędzanych silnikami średniego napięcia:

- MW-1.1 – długość przenośnika ok. 700 m, napędzany pojedynczym silnikiem 1000 kW, 6 kV;
- MW-1.2 – długość przenośnika ok. 1000 m, napędzany pojedynczym silnikiem 1000 kW, 6 kV;
- MW-1.3 – długość przenośnika ok. 1500 m, napędzany trzema silnikami 1000 kW, 6 kV.

Do napędu taśmy przenośnika w przypadku MW-1.3 zastosowano trzy silniki klatkowe o mocy 1000 kW, 6 kV, które napędzają dwa bębny. Dwa silniki połączone za pomocą dwóch identycznych przekładni pracują na wspólny bęben, a trzeci silnik – również z użyciem przekładni – napędza osobny bęben. Do zasilania każdego silnika w celu regulacji prędkości taśmociągu zastosowano przemiennik PowerFlex7000 Rockwell Automation o prądzie znamionowym 140 A w wariantcie Heavy Duty, umożliwiającym przeciążanie przemiennika o 150% przez 1 min raz na 10 min. Układ został uzupełniony o zaawansowany sterownik PLC ControlLogix marki Allen-Bradley i zaprogramowany tak, aby pracował w konfiguracji 1 x Master + 2 x Slave. Jeden z przemienników napędzających taśmę pracuje w trybie regulacji prędkości, a dwa pozostałe pracują w trybie regulacji momentu, którego wartość referencyjna zadawana jest przez przemiennik o statusie Master.

W celu zwiększenia niezawodności układu i udostępnienia maksymalnego czasu użyteczności przenośnika zastosowano algorytm pozwalający na odstawienie jednego z trzech napędów w przypadku awarii, np. jednego z silników. Możliwe jest przejście funkcji Master przez inny przemiennik i kontynuowanie pracy przenośnika ze zredukowanym obciążeniem, w konfiguracji pracujących dwóch z trzech napędów.

Redukcja obciążenia w przypadku przenośnika jest specyficznym zagadnieniem i często pomijany, co może łatwo doprowadzić do niekontrolowanego

przeciążenia układu. Wartość momentu obrotowego wymaganego do wygenerowania w danej chwili jest determinowana przez ilość materiału na taśmie. Zatem przy odstawieniu jednego z napędów pozostają do wyboru dwie opcje: ograniczenie ilości podawanego surowca lub zwiększenie prędkości taśmy neuralgicznego odcinka w stosunku do pozostałych, w celu redukcji ilości materiału na 1 metr bieżący taśmy.

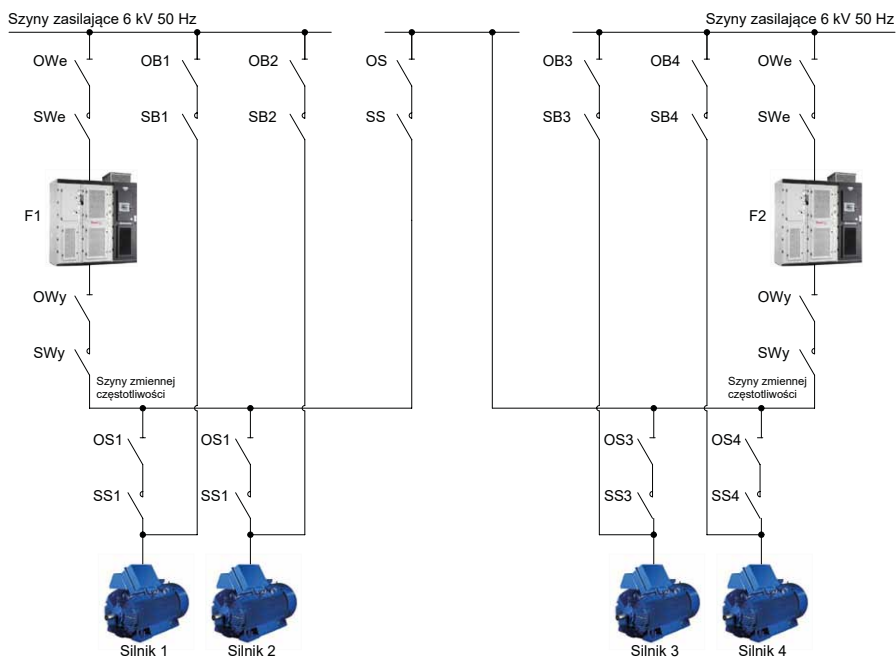
Ze względu na różnicę poziomów na całej długości przenośnika i nachylenie poszczególnych jego odcinków wymagane było zabezpieczenie przed cofnięciem się taśmy pod obciążeniem. Zastosowanie przemienników pracujących w pętli sprzężenia zwrotnego z enkoderem pozwoliło uzyskać żądany efekt. Gdy taśma jest zatrzymana i napędy nie pracują, wymagany jest hamulec mechaniczny uniemożliwiający stoczenie się ładunku. Układ zaprogramowano w taki sposób, aby podczas sekwencji rozruchu przenośnika uwzględniał wygenerowanie odpowiedniego strumienia silnika w celu zapewnienia wystarczającego momentu, zanim hamulec mechaniczny zostanie zwolniony.

### Transfer synchroniczny – jeden napęd, wiele możliwości

Równie ciekawą i niecodzienną aplikacją z wykorzystaniem przemienników częstotliwości średniego napięcia w topologii prądowej PowerFlex 7000 jest tak zwany transfer synchroniczny. Tego typu rozwiązania mogą być wykorzystane dla pojedynczego silnika, jak i do rozruchu sekwencyjnego grupy silników (do 6 silników za pomocą jednego przemiennika częstotliwości).

W przypadku pojedynczego silnika największą zaletą tego typu rozwiązania jest możliwość odstawienia przemiennika do planowych prac konserwacyjnych, bez konieczności zatrzymywania silnika, co ma bardzo istotne znaczenie dla krytycznych aplikacji.

Dla grupy silników transfer synchroniczny najczęściej wykorzystywany jest w aplikacjach pompowych. Dla takiej konfiguracji funkcjonalność układu jest wykorzystywana, kiedy pojedyncza pompa dochodzi do granic swojej wydajności, a proces technologiczny wymaga zwiększenia wysokości podnoszenia



bądź przepływu. Pompa ta zostaje przełączona na *bypass* (zasilanie bezpośrednie z sieci), w dalszej kolejności dołączona jest kolejna pompa regulowana przez przemiennik, która zależnie od aplikacji może być połączona szeregowo, kiedy wymagane jest zwiększenie wysokości podnoszenia, lub równoległe dla zwiększenia przepływu.

Innym zastosowaniem może być wykorzystanie przemiennika częstotliwości PowerFlex 7000 do rozruchu sekwencyjnego grupy silników na zasadzie układu łagodnego rozruchu. Przewagą użycia w tego typu aplikacjach przemiennika nad klasycznymi urządzeniami softstart jest to, że praktycznie nie ma ograniczeń co do ilości łagodnych rozruchów, jak i kontrolowanych zatrzymań silników. Dodatkowo podczas rozpędzania silnika nie dochodzi do wielokrotnego przekroczenia jego prądu znamionowego, jak ma to miejsce przy rozruchu bezpośrednim lub poprzez softstart.

Sama idea transferu synchronicznego polega na tym, że przemiennik zasilający jeden z grupy silników może regulować jego prędkość obrotową lub zsynchronizować z siecią zasilającą. Synchronizacja odbywa się poprzez rozpędzenie silnika do pełnej prędkości, następnie dzięki pomiarowi napięcia po stronie sieci zasilającej i możliwości jednocześnie regulacji napięcia wyjściowego przemiennika następuje dostosowanie tych dwóch napięć względem siebie. Po

tym załączony zostaje stycznik *bypass* do zasilania bezpośredniego silnika z sieci, a otwarty zostaje stycznik na wyjściu z przemiennika. Po takiej sekwencji przemiennik przechodzi w stan gotowości i może rozpędzić kolejny silnik z grupy lub dokonać desynchronizacji, czyli połączyć się z już pracującym silnikiem i przejąć nad nim kontrolę poprzez załączenie stycznika wyjściowego z przemiennika i wyłączenie stycznika *bypass*.

Transfer synchroniczny w rozwiązaniu firmy Rockwell Automation może być na różne sposoby modyfikowany i rozszerzany. Przykładem może być zabezpieczenie układu poprzez kolejny przemiennik częstotliwości lub softstart, które przejmują sterowanie grupą silników podczas odstawienia przemiennika podstawowego. Zastosowanie sterownika PAC z rodziny ControlLogix do nadzoru nad transferem synchronicznym daje różne możliwości rozszerzenia funkcjonalności, jak np. system rozpoznawania i klasyfikacji błędów generowanych przez przemiennik częstotliwości. Jeżeli błąd dotyczy układów wewnątrz przetwornicy, automatycznie zostaje załączony *bypass*, aby utrzymać ciągłość procesu technologicznego. Przy odstawieniu przemiennika zawsze możliwy jest również rozruch silnika bezpośrednio z sieci, natomiast w przypadku rozpoznania błędu związanego z silnikiem niezwłocznie zostaje odłączone zasilanie całego układu.

## Jakość pod kontrolą

Dobór właściwego systemu napędowego dla danej aplikacji uzależniony jest głównie od potrzeb technologicznych układu. Istotne jest również spełnienie dodatkowych wymagań środowiskowych oraz osiągnięcie efektów ekonomicznych. Wykorzystanie innowacyjnych przemienników w topologii prądowej PowerFlex 7000 firmy Rockwell Automation w połączeniu ze sterownikiem Allen-Bradley z rodziny ControlLogix umożliwia realizację zaawansowanych technicznie aplikacji zarówno do współdzielenia jednego obciążenia przez kilka przemienników częstotliwości (Load Sharing), jak i rozwiązania z pojedynczym napędem do wielu silników (transfer synchroniczny). Uruchamianie oraz serwisowanie tego typu układów napędowych wymaga szerokich kompetencji jednocześnie z dziedziny przemienników częstotliwości oraz sterowników PLC. Firma Introl Automatyka, jako jedna z niewielu na świecie, posiada certyfikat w programie partnerskim *Recognized System Integrator (RcSI)* firmy Rockwell Automation zarówno w dziedzinie Power (napędy średniego napięcia), jak i w dziedzinie Control (sterowanie i wizualizacja). Aktualnie w dziale systemów napędowych MVD (*Medium Voltage Drives*) swoją techniczną pasję rozwija czterech certyfikowanych inżynierów o łącznym ponad 40-letnim doświadczeniu w kraju i za granicą. Uzyskane certyfikaty i uznanie naszych Klientów z powodzeniem od wielu lat napędzają nas do działania. ■

Do zobaczenia na obiekcie!

Zespół MVD: Adam Chojnacki, Mateusz Zolich, Damian Krinke, Artur Pierścionek.



**Introl Automatyka Sp. z o.o. Sp. k.**  
 ul. Tadeusza Kościuszki 112  
 40-519 Katowice  
 tel. 32 789 00 30  
 e-mail: [biuro@introlautomatyka.pl](mailto:biuro@introlautomatyka.pl)  
[www.introlautomatyka.pl](http://www.introlautomatyka.pl)