

Elektroniczne zabezpieczenia silników (II)

Maciej Szyca, Marek Knoski

W eksploatacji silników prądu przemianowego o napięciu znamionowym do 1 kV obserwuje się dużą różnorodność zabezpieczeń stosowanych obecnie. Omówimy je w skrócie.

Przełączniki termiczne bimetalowe

Te najczęściej stosowane przełączniki realizują pośrednią kontrolę prądu zasilającego silnik dzięki trzem bimetalom. Są one wykonane z dwóch płytek metalowych (zwykle z inwaru i żelazoniklu), różniowo zespawanych, które mają różne współczynniki rozszerzalności cieplnej. Przepływ prądu wywołuje odkształcenie bimetalu wprost proporcjonalne do iloczynu wartości kwadratu prądu i czasu przepływu. Wzrost prądu (przeciążenie) powoduje wyzwolenie mechanizmu zadziałania przełącznika termicznego.

Po zadziałaniu przeciążeniowym, gdy bimetały nieznacznie ostygną, przełącznik termiczny jest gotowy do zresetowania i może osiągnąć warunek „zimnego startu” już po kilku minutach (ok. 10 min – zależnie od masy bimetalu). Silnik ma jednak nadal wysoką temperaturę. Oznacza to, że pamięć cieplna takich przełączników jest niedostateczna.

W większości przypadków charakterystyka zadziałania przełączników termicznych jest ustalona dla silników z normalnym rozruchem. Jest to krzywa odpowiadająca klasie 10 zgodnie z IEC 947-4-1, przy czym dopuszczalny czas rozruchu w stanie zimnym jest krótszy niż 10 s, przy rozruchu w stanie nagrzania oznacza czas krótszy od 3 s.

W napędach z nietypowym rozruchem, np. o znacznej liczbie lekkich rozruchów w ciągu godziny, średnio ciężkim rozruchu przy przeciętnej ich liczbie lub ciężkim rozruchu poprzedzającym pracę ciągłą, ta charakterystyka zadziałania jest zbyt „szybka” i przełącznik termiczny może uniemożliwić rozruch wskutek przedwczesnego zadziałania. W takich przypadkach wykorzystując przełącznik termiczny klasy 10 należy zastosować kosztowne i niezbyt bezpieczne dla silnika układy uniemożliwiające zadziałanie przełącznika termicznego lub stwarzające jego

zbocznikowanie (*bypass*) podczas rozruchu silnika, lub przewymiarowujące go. Rozwiązania takie powodują brak ochrony silnika nie tylko podczas rozruchu, lecz często także w normalnej pracy.

Przy ciężkich rozruchach silnika konieczne jest zastosowanie przełączników o charakterystyce zadziałania klasy 20, a przy długim czasie rozruchu nawet klasy 30. Przełączniki termiczne klasy 20 mają jednak stosunkowo wysoką cenę.

Wyłączniki silnikowe

Są to samoczynne wyłączniki z wyzwalaczami cieplnymi i elektromagnetycznymi o specyficznych dla ochrony silnika charakterystykach czasowo-prądowych. Zasada zabezpieczenia przed przeciążeniem jest taka sama jak przełączników termicznych bimetalowych i dotyczy ich te same ograniczenia. Dodatkowo umożliwiają one zabezpieczenie przed skutkami zwarcia dzięki zastosowaniu układu wyzwalającego, wykonanemu z trzech elektromagnesów (po jednym na każdą fazę). Prąd pobierany przez silnik przepływa przez cewki elektromagnesów, a gdy osiągnie zadaną wartość, cewka natychmiast przyciąga zworę i uruchamia mechanizm wyzwalający, wskutek czego obwód zostaje otwarty, a łuk przerwany w czasie ok. 6 ms. Szybkie zgaszenie łuku elektrycznego następuje w komorach gaśnieniowych.

Współczynnik wyzwalaenia prądu zwarcia jest stały w poszczególnych wy-

Nawiązując do części I artykułu (Ei 2/03) autorzy opisują, jak uniknąć awarii silnika i przestoju linii technologicznej. Przedstawiają rozwiązania dotychczas stosowane, podają ich zalety i wady. Na podstawie zintegrowanego układu zabezpieczeń firmy FANOX prezentują nowoczesną realizację zabezpieczeń silników indukcyjnych przed skutkami uszkodzeń.

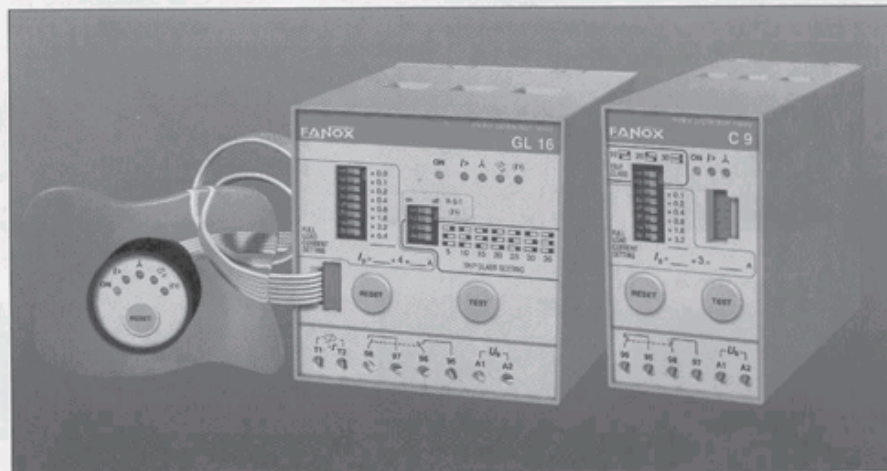
łącznikach i zawiera się w przedziale między 10- a 15-krotną wartością prądu znamionowego wyłącznika silnikowego. Wyłącznik taki umożliwi również ręczne zamykanie i otwieranie obwodu silnika.

Przełączniki elektroniczne

W grupie elektronicznych przełączników do zabezpieczania silników istnieją dwa wyraźnie różniące się budową rozwiązania: termiczno-elektroniczne i elektroniczne.

● **Przełączniki termiczno-elektroniczne.** Mają one elementy elektroniczne, ale nie wymaga to pomocniczego napięcia zasilającego. Wykazują podobieństwo do przełączników termicznych bimetalowych, mimo że ich charakterystyki są rozszerzone, jak również mają podobne ograniczenia stosowania jak tamte.

Ich wady polegają przede wszystkim na braku pamięci cieplnej, ograniczonej skuteczności działania w razie zaniku fazy, występowaniu podstawowego modelu tyl-



ko w klasie 10 oraz braku wskazania przyczyny ewentualnego zadziałania. Nie są poza tym wyposażone w dodatkowe zabezpieczenia, takie jak podnapięciowe, kolejności faz lub kontroli przegrzania za pomocą czujnika PTC. Ze względu na wszystkie te właściwości przekaźniki termiczno-elektroniczne należy traktować jak przekaźniki termiczne.

● **Przekaźniki elektroniczne.** Urządzenia te omówiono na przykładzie przekaźników firmy FANOX.

Przekaźniki te, używane do zabezpieczenia silników, są oparte na ciągłym pomiarze prądu silnika. Prądy mierzone przez trzy przekładniki prądowe – wbudowane w przekaźnik – są elektronicznie przetwarzane, a następnie wykorzystane do odwzorowania modelu cieplnego silnika oraz porównania z wartościami ustawionymi na przekaźniku.

Przekaźniki zabezpieczają silnik przed następującymi zakłóceniami:

- przeciążeniem: przekaźnik odtwarza model cieplny silnika podczas jego cyklu nagrzewania i chłodzenia. Dzięki temu w stanie przeciążenia przekaźnik uwzględnia poprzednie warunki pracy silnika i zadziała szybciej, jeżeli wykryje wcześniejsze przeciążenie. Ta pamięć cieplna nie zależy od pomocniczego napięcia zasilającego przekaźnik; pozostaje więc aktywna nawet wówczas, gdy napięcie to jest wyłączone. Różne charakterystyki zadziałania, które można wybrać na przekaźniku, umożliwiają dokładne dostosowanie go do dowolnego rodzaju rozruchu i cyklu pracy silnika;

- tzw. suchobiegiem: zabezpiecza to silnik przed pracą na biegu jałowym (bardzo ważne, zwłaszcza w napędach pomp);

- zanikiem lub asymetrią faz: nawet, gdy silnik pracuje przy prądzie mniejszym niż prąd znamionowy;

- niewłaściwą kolejnością faz: wykrycie błędnej kolejności faz jest bardzo ważne, jest to bowiem wielkość krytyczna w kompresorach, pompach, wentylatorach i innych urządzeniach.

Gdy silnik ma zbyt dużą moc w stosunku do potrzeb (jest przewymiarowany), stosuje się zabezpieczenie z kontrolą wartości $\cos \varphi$, aby zapewnić zadziałanie przekaźnika w przypadku pracy bez obciążenia (niewielka jest bowiem różnica między prądem roboczym a prądem biegu jałowego). Przekaźnik połączony z czujnikiem termistorowym PTC zabezpiecza silnik przed przegrzaniem z przyczyn zarówno elektrycznych, jak i nieelektrycznych.

Optyczna sygnalizacja przyczyny zadziałania umożliwia personelowi serwisowemu identyfikację rodzaju zakłócenia i natychmiastową właściwą reakcję. Zastosowanie zewnętrznego modułu sygnalizacji OD jest ułatwieniem tych działań.

Stan obecny

Wszystkie omówione rodzaje zabezpieczeń występują łącznie z bezpiecznikami, stycznikami i innym osprzętem. Najczęściej spotykaną postacią zabezpieczenia stosowaną dotychczas jest zestaw: wkładki bezpiecznikowe (zabezpieczenie zwarciove), bimetalowy przekaźnik termiczny (zabezpieczenie nadprądowe) oraz stycznik (rozruch i zatrzymanie silnika). W przypadku małych silników wykorzystuje się wyłącznik silnikowy (zabezpieczenie przed skutkami zwarcia i przeciążenia) oraz stycznik (rozruch i zatrzymanie silnika).

Obecnie za najbardziej korzystną alternatywę zabezpieczenia silnika uważa się:

- wkładki bezpiecznikowe lub automatyczne wyłączniki do zabezpieczenia przed skutkami zwarcia;

- elektroniczny przekaźnik do zabezpieczenia przed: skutkami przeciążenia, asymetrią lub zanikiem fazy oraz przekroczeniem dopuszczalnej temperatury uzwojeń dzięki zastosowaniu czujnika PTC;

- stycznik do rozruchu i zatrzymania silnika.

W specyficznych przypadkach jest konieczne zastosowanie dodatkowych zabezpieczeń w celu uniknięcia zarówno pracy silnika bez obciążenia (pompy głębinowe przy braku medium), jak i pracy silnika przy przeciwnym kierunku wirowania z powodu niewłaściwej kolejności faz.

Cechy charakterystyczne zabezpieczeń

● **Przekaźniki termiczne.** Współpracują one dobrze ze stycznikami tego samego wytwórcy i modelu oraz nie wymagają pomocniczego napięcia zasilającego. Są to ich niewątpliwie zalety. Mają jednak również wady, które dotyczą:

a) funkcji zabezpieczeniowych:

- ograniczona pamięć nagrzewania i stygnięcia silnika,

- ograniczona skuteczność detekcji zaniku fazy,

- utrudnione sprawdzenie poprawności działania przekaźnika,

- brak możliwości zabezpieczenia przed przegrzaniem z przyczyn „nieelektrycznych”, przed niewłaściwą kolejnością faz oraz przed działaniem w warunkach biegu jałowego;

b) nastaw:

- mała dokładność nastaw parametrów,

- niewielka powtarzalność czasów zadziałania z powodu procesów starzeniowych,

- bardzo mały zakres rozdzielczości nastaw parametrów zadziałania w jednym modelu,

- duża liczba różnych odmian dla pokrycia zakresu użytkowania,

- tylko jedna charakterystyka zadziałania w klasie 10 (inne wersje znacznie droższe);
- c) instalacji:

- utrata parametrów regulacyjnych oraz coraz większe błędy wskutek zwarć i ciągłych przeciążeń,

- utrudniona współpraca ze stycznikami innych producentów;

d) pozostałe:

- wrażliwe na zmiany temperatury,
- duży pobór mocy przez bimetały,
- nie wskazują przyczyny zadziałania,
- krótka przeciętna trwałość użytkowa.

● **Przekaźniki elektroniczne.** Porównanie z przekaźnikami termicznymi oparto na charakterystykach zabezpieczeń elektronicznych firmy FANOX, przeznaczonych do silników.

Ich zalety dotyczą:

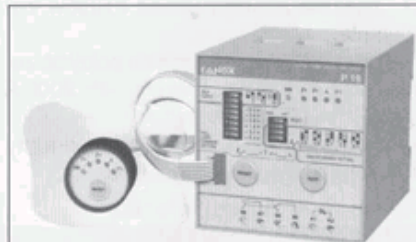
a) funkcji zabezpieczeniowych:

- pamięć cieplna silnika oparta na matematycznym modelu zarówno fazy nagrzewania, jak i stygnięcia,

- podwójne zabezpieczenie przed przetężeniem przez odczyt wartości prądu oraz bezpośredni pomiar temperatury z wykorzystaniem czujników PTC,

- skuteczne rozwiązywanie w przypadku takich zakłóceń jak asymetria i zanik fazy,

REKLAMA 02/00912-01



- » Zabezpieczenia przeciążeniowe silników trójfazowych niskiego napięcia (do 1000V)
- prądowa kontrola asymetrii i obecności faz
- ochrona silnika przed "suchobiegiem"
- kontrola temperatury silnika przez czujnik PTC
- » Zabezpieczenia małych generatorów
- » Przekaźniki kontroli napięcia i częstotliwości
- » Układy łagodnego rozruchu - softstarty

FANOX

tel./fax (074) 852-43-80

<http://www.fanox.hm.pl>, e-mail: fanox@hm.pl

- » Multimetry przemysłowe
- » Przekaźniki czasowe najnowszej generacji
- » Przekaźniki ziemnozwarciowe
- » Inne elementy automatyki przemysłowej



Ei Napędy i sterowanie

– natychmiastowe zadziałanie w razie zaniku fazy,

– zabezpieczenie od niewłaściwej kolejności faz,

– zabezpieczenie od niedociążenia (szczególnie ważne w przypadku pomp),

– szybkie testowanie funkcji zabezpieczeniowych w czasie pracy silnika;

b) nastaw:

– duża dokładność nastawy prądu zadziałania,

– możliwość ustawienia jednej z siedmiu klas zadziałania,

– klasy zadziałania (wg IEC 943-4-1): 10A, 10, 20 oraz 30 lub inne;

c) instalacji:

– nie wymagają bezpośredniego przyłączenia do chronionej linii zasilającej silnik, dlatego są odporne na zwarcia i przeciążenia,

– nie mają połączeń wtykowych, co umożliwia współpracę ze wszystkimi stycznikami dostępnymi na rynku,

– możliwość zdalnego resetowania (wystarczy otwarcie obwodu zasilania przekaźnika na co najmniej 3 s),

– zredukowane wymiary (szerokość już od 45 mm – przekaźnik typu C),

– wyposażone w zewnętrzny moduł sygnalizacyjny OD dla umożliwienia wizualizacji wskazań i resetowania poza miejscem zainstalowania;

d) pozostałe:

– znaczna powtarzalność czasów zadziałania,

– trzy modele wystarczają do pokrycia zakresu od 1 do 630 A (a powyżej – do 2000 A z przekładnikami zewnętrznymi),

– niewrażliwość na zmiany temperatury otoczenia w miejscu zainstalowania,

– bardzo mały pobór mocy,

– możliwa wizualizacja przyczyny zadziałania,

– konkurencyjna cena, niższa niż odpowiednich modeli przekaźników termicznych,

– wystarczająca trwałość – większa niż przeciętna trwałość silnika elektrycznego.

Do wad zabezpieczeń elektronicznych FANOX zalicza się:

– wymaganie pomocniczego napięcia zasilającego,

– w klasie zadziałania 10 i przy mniejszych zakresach prądowych – cena nieznacznie wyższa niż przekaźników termicznych bimetalowych,

– niewytłumione bezpośrednio w stycznik (może to niekiedy stanowić utrudnienie).

Produkty firmy FANOX

Firma ta jest znanym producentem zabezpieczeń elektronicznych przeznaczonych do ochrony silników elektrycznych stosowanych w przemyśle. Ze względu na ich szczególne zalety techniczne takie jak pamięć cieplna, natychmiastowa detekcja zaniku fazy oraz wyposażenie w moduł sygnalizacyjny, zabezpieczenia te znacznie przewyższają typowe układy zabezpieczeń, np. przekaźniki bimetalowe oraz termiczno-elektryczne, wyłączniki silnikowe czy termiczno-magnetyczne wyłączniki obwodu.

Przekaźniki firmy FANOX są przydatne do ochrony pomp, kompresorów, wentylatorów oraz wszystkich silników przemysłowych pracujących przy częstych cyklach praca/zatrzymanie, ciężkich rozruchach i w podwyższonej temperaturze.

Urządzenia te typu C, GL, G, BG, P i PF umożliwiają zabezpieczenie trójfazowych silników elektrycznych o prądzie znamionowym od 3 do 90 A.

Silniki na prąd znamionowy od 90 do 630 A wymagają stosowania zewnętrznych przekładników prądowych o znamionowym prądzie wtórnym 5 A.

Zabezpieczanie silników o prądzie mniejszym niż 3 A wymaga dodatkowego przełożenia przewodów silnikowych przez otwór w przekaźniku (jeden zwój pozwala zmniejszyć prąd do 1,5 A), co powinno pokryć pełen zakres prądowy silników stosowanych w instalacjach przemysłowych.

Poszczególne typy zabezpieczeń firmy FANOX różnią się funkcją i zakresem prądowym. Są przeznaczone do zabezpieczania:

C – silników o średniej i małej mocy; chronią przed przeciążeniem, asymetrią i zanikiem fazy;

GL – wszystkich silników; chronią przed przeciążeniem, asymetrią i zanikiem fazy, złą kolejnością faz oraz przegrzaniem (czujnik PTC);

G, BG – silników pracujących w środowisku wybuchowym lub niebezpiecznym, takim jak w przemyśle petrochemicznym, zakładach przetwórstwa tworzyw, kopalniach itp.; mają dopuszczenie PTB w Niemczech (raport nr PTB Ex 3.43-30004/00);

P – silników napędowych pomp głębinowych i powierzchniowych, urządzeń z pasami transmisyjnymi itp.; chronią silnik przed przeciążeniem, niedociążeniem, asymetrią i zanikiem fazy oraz złą kolejnością faz;

PF – napędów pomp i innych, w których ważną jest ochrona przed pracą bez obciążenia (np. w razie zerwania pasów transmisyjnych), a także ochrona silników przewymiarowanych (np. pompy paliwowe); zapewniona jest ochrona przed przeciążeniem, niedociążeniem (przez kontrolę $\cos \varphi$), asymetrią i zanikiem fazy oraz złą kolejnością faz;

GEN – małych generatorów o napięciu znamionowym do 1000 V; chronią przed przeciążeniem, asymetrią i zanikiem fazy;

AS – instalacji, które wymagają kontroli faz dzięki kontroli wartości prądu.

Wymienione zabezpieczenia są wyposażone w zewnętrzny moduł sygnalizacyjny OD. Jest to dodatkowe opcjonalne oprzyrządowanie umożliwiające kontrolę stanu przekaźnika i resetowanie z zewnętrznego panelu sterującego. Wielkość jego odpowiada standardowemu przyciskowi o średnicy 22 mm.

Dobór przekaźników firmy FANOX do zabezpieczania silników na napięcie 400 V

Typ przekaźnika	Kod		Zakres nastawy prądu I_b A	Moc silnika		Rodzaj zabezpieczenia				
	Napięcie pomocnicze			KM	kW	I>	I<	I _Δ	I _φ	I _φ
	230 V	115 V								
C9	11 203	11 202	3–9,3	2–5,5	1,5–4	x		x		
C21	11 223	11 222	9–21,6	7,5–12	5,5–9	x		x		
C45	11 243	11 242	20–45,2	15–30	11–22	x		x		
G17	10 723	10 722	5–17,7	3–10	2,2–7,5	x		x		x
BG17	10 733	10 732	5–17,7	3–10	2,2–7,5	x		x		x
GL16	11 303	11 302	4–16,7	3–10	2,2–7,5	x		x	x	x
GL40	11 323	11 322	15–40,5	10–25	7,5–18,5	x		x	x	x
GL90	11 343	11 342	40–91	30–60	22–45	x		x	x	x
P19	11 403	11 402	7–19,6	4–10	3–7,5	x	x	x	x	
P44	11 423	11 422	19–44,2	12,5–27,5	9,2–20	x	x	x	x	
P90	11 443	11 442	40–90,4	27,5–55	20–40	x	x	x	x	
PF10	11 363 (3x230 V)	11 360 (3x400 V)	3,8–10,1	2–5,5	1,5–4	x	cos φ	x	x	
AS	11 503	11 502	6–46	–	–			x	x	
GEN10	11 350*		4–10,3	–	–	x		x		

* Napięcie pomocnicze 24 V DC.

Uwaga: Dobór przekaźników typu C, G, BG i GL do mocy silników czterobiegunowych, typu P i PF do silników dwubiegunowych.

206

Ei

Maciej Szyc, Marek Knoski

– FANOX POLSKA