

# NOWY SPOSÓB ZABEZPIECZANIA SILNIKÓW TRÓJFAZOWYCH

**Zabezpieczenie przez porównanie przesunięć faz względem siebie. Nowe polskie urządzenie.**

**O**publikowaliśmy już sporo opisów elektronicznych układów zabezpieczających silniki trójfazowe przed skutkami zaniku jednej fazy. Tu mamy jeszcze jeden układ, rozwiązanie na pewno nowe, bo opatentowane.

Dostępne na rynku urządzenia zabezpieczające to:

□ podstawowe zabezpieczenia przeciążenia, jak wyłączniki termiczne w obwodzie zasilania oraz zabezpieczenia działające na podstawie pomiaru temperatury uzwojeń silnika;

□ zabezpieczenia uzupełniające, które nie dopuszczają do przeciążenia silnika przez wykrycie stanu zasilania grożącego jego uszkodzeniem, np. braku którejś z faz; są to obecnie z reguły różne rozwiązania elektroniczne.

Podstawowe urządzenie zabezpieczające wyłącza zasilanie dopiero po mocnym nagraniu się uzwojenia stojana. Silnik wprawdzie się nie spali, ale przegrzeje a potem ostygnie, lecz każdy taki cykl zmniejsza jego trwałość. Więcej: zabezpieczenie termiczne nie odróżnia wzrostu pobieranej mocy, spowodowanego awarią niesieciową (np. nadmierne obciążenie) od awarii sieciowej (np. zanik fazy) – dla niego oba „wyglądają” tak samo. To wszystko działa przewidywalnie, kiedy zabezpieczany jest silnik dużej mocy, ale gorzej kiedy w ten sposób jest zabezpieczony silnik małej mocy, pod czym rozumiemy silnik 1 kW lub mniejszy. Jego prąd w stanie zatrzymanym niewiele się różni od prądu w stanie normalnej pracy i jedyny sposób to stałe kontrolowanie układem termistorowym temperatury jego uzwojeń, jeśli oczywiście w uzwojeniu są zainstalowane termistory. W przypadku, gdy silnik był już przezwany, na pewno już tych termistorów nie ma.

Podstawowe zabezpieczenie silnika trzeba więc uzupełnić takim, które szybko zareaguje na wszelkie stany sieci powodujące nieprawidłową pracę silnika.

Pomiar napięcia, stosowany do wykrycia zaniku napięcia jednej fazy, wskaże właściwy stan tylko wtedy, kiedy zanik nastąpił przy niepracującym silniku (i tak zresztą nie ruszy przy braku fazy). Nie wskazuje tego stanu, jeśli w chwili zaniku silnik już pracuje, bo w uzwojeniu indukuje się wtedy napięcie („sztuczna faza”), często przekraczające nawet napięcie fazy prawidłowej. Jest to np. 195 V, kiedy norma dopuszcza spadek napięcia jednej fazy do 180 V. Lepszym rozwiązaniem jest czujnik asymetrii reagujący na wektorową sumę napięć wszystkich faz, ale też nie umożliwiający określenia przyczyny powstania tej asymetrii. A to ma podstawowe znaczenie dla pewności działania. Występowanie „sztucznej fazy” powoduje i tutaj, że nie ma takiego zakresu napięcia, który odpowiadałby tylko i wyłącznie zanikowi fazy. I jak tu regulować czujnik? Jakby nie ustawić, to albo pojawią się alarmy spowodowane przez zgodne z normą spadki napięcia zasilającego, albo silnik będzie się przegrzewał. A im większy silnik, tym gorzej, bo tym bardziej zakresy napięć faz „sztucznej” i „prawidłowej” zbliżają się do siebie. I tym drożej, bo łatwiej spalić duży silnik.

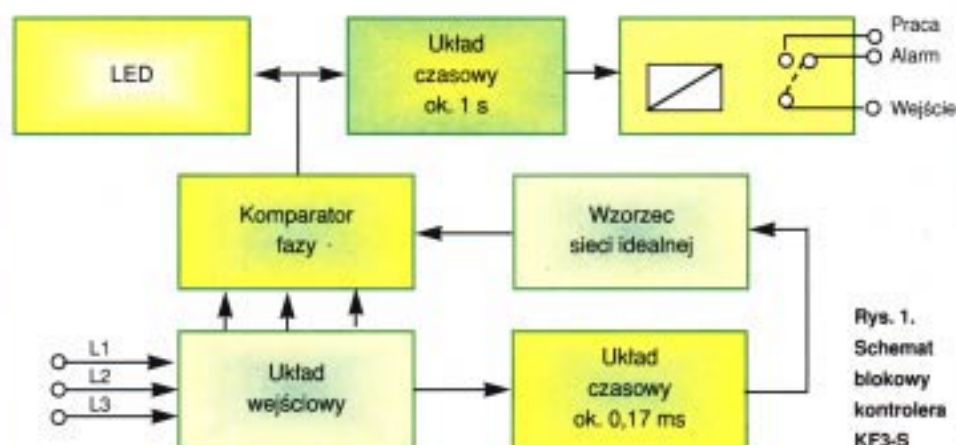
Należy przede wszystkim pamiętać, że induk-



Rys. 3.  
Kontroler KF3-S

cyjny silnik trójfazowy jest bardzo wrażliwy na wzajemny układ faz a mniej wrażliwy na dopuszczalne zmiany napięcia jednej z faz – czyli wprost przeciwnie niż używano powszechnie czujnik asymetrii faz. Bardzo ważne dla silnika są wzajemne przesunięcia faz w sieci (przesunięcia nominalne to 0°, 120° i 240°). Opóźnienie jednej z faz o ok. 8%, czyli o wartość równą poślizgowi prędkości wirowania obciążonego silnika, jest jednoznaczne z pojawieniem się napięcia skierowanego przeciwnie niż napięcie zasilania danej fazy. Oba napięcia dodają się do siebie w przeciwnych fazach. Silnik pracuje wtedy jak prądnicą, która wzbudza „sztuczną fazę” o amplitudzie zbliżonej do napięcia sieci, a przy 8% poślizgu – opóźnioną względem napięcia sieci o jedną trzecią 8% od pełnych 360°, czyli o 9,6°. Takie opóźnienie fazy napięcia zasilającego silnik, który już pracuje z 8% poślizgiem, daje taki sam efekt jak pełny zanik fazy, a napięcie indukowane w uzwojeniu zasila inne odbiorniki energii podłączone do tej fazy. Użytkownik silnika dofinansowuje innych.

Dla wyjaśnienia: 5% poślizgu silnika oznacza, że w czasie jednego okresu (zmiany fazy o 360°) wirnik nie wykona pełnego obrotu, ale obróci się o 18° mniej. Każda z jednokrotnych faz opóźni się zatem o 18° : 3 = 6°.

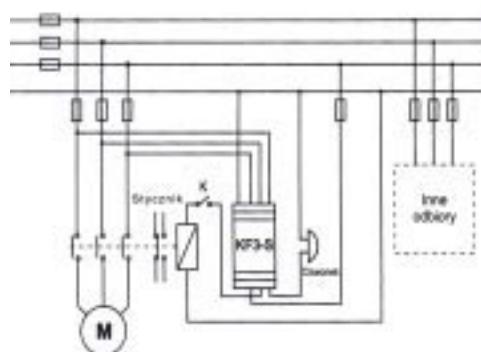


Rys. 1.  
Schemat blokowy kontrolera KF3-S



## Reakcje różnych czujników w razie zaniku fazy

| Rodzaj czujnika   | Brak napięcia w uszkodzonej fazie | 3-fazowe obciążenie rezystancyjne lub zatrzymany silnik<br>Pełne napięcie, faza przesunięta o 180° | Obciążenie mieszane (jednofazowe + obciążony silnik)<br>Napięcie od 0 do 230 V<br>Opóźnienie fazy większe od wynikającego z | Silnik obciążony (poślizg >3%).<br>Prawie pełne napięcie i opóźnienie fazy wynikające z poślizgu silnika | Obniżenie napięcia fazy bez awarii (dopuszczalne normami) do 180° bez przesunięcia fazy | Silnik nieobciążony (poślizg poniżej 3%).<br>Prawie pełne napięcie i faza wyrkająca z poślizgu silnika od 0° do 3° |
|-------------------|-----------------------------------|--|---|--|---|--|
| Czujnik napięcia  | Zareaguje                         | Nie zareaguje  | Prawdopodobnie zareaguje  | Nie zareaguje  | Nie zareaguje   | Nie zareaguje  |
| Czujnik asymetrii | Zareaguje                         | Zareaguje  | Prawdopodobnie zareaguje  | Nie zareaguje  | Zareaguje   | Nie zareaguje  |
| Kontroler KF3-S   | Zareaguje                         | Zareaguje  | Zareaguje   | Zareaguje  | Nie zareaguje   | Nie zareaguje  |



Rys. 2. Zastosowanie kontrolera KF3-S do zabezpieczenia sprężarki

## Kontroler KF3-S

Nasuwa się więc wniosek, że najlepszym sposobem uzyskiwania informacji o stanie zasilania silnika jest kontrolowanie faz. Na tej zasadzie działa kontroler faz KF3-S opracowany, opatentowany (P-334044) i produkowany przez krajową firmę PPHU M. Piórowicz. Schemat blokowy kontrolera jest przedstawiony na rys. 1, a jego schemat aplikacyjny w układzie zasilania sprężarki lub hydroforu (bez podtrzymania stanu stycznika) na rys. 2. Napięcia poszczególnych faz są przetwarzane na sygnał cyfrowy i porównywane w wewnętrznym komparatorze fazy z wzorcem prawidłowej sieci (pętla PLL), synchronizowanym z fazą kontrolowanego obwodu. Wynik porównania zależy od stopnia asymetrii rozmieszczenia wektorów napięć tych faz względem siebie. Zaprogramowana strefa nieczułości (ok.  $\pm 3^\circ$ , mniej niż znamionowy poślizg nawet największych silników) zapewnia maksymalną czułość układu przy wysokiej odporności na zakłócenia impulsowe. Przy symetrii faz silnik otrzymuje zasilanie i świeci zieloną LED sygnalizującą stan normalny. Powstający przy asymetrii faz sygnał błędu zaświeca czerwoną LED. Jeśli błąd utrzymuje się dłużej niż 1 s, uruchamia się przekaźnik wyjściowy przełączający tryb pracy na alarm i sterujący dowolne urządzenie zewnętrzne, np. stycznik, wyłączające zasilanie silnika, generujące sygnał akustyczny itd. Zanik stanu błędu przełącza po ok. 1 s układ ze stanu „alarm” na stan „praca”. Krótkie czerwone błyski zielono świecącej LED sygnalizują niegroźne zakłócenia impulsowe w sieci, krótkie zielone błyski czerwono świecącej LED – inną awarię sieci, np. zwarcie międzyfazowe lub brak napięcia.

Włączenie napięcia zasilającego (L1 i N) powoduje po czasie nie przekraczającym 0,2 s włączenie układu elektronicznego i przełączenie przekaźnika w stan „praca”. Jednocześnie rozpoczyna się trwający ok. 1 s proces badania stanu sieci, sygnalizowany czerwoną LED. Stwierdzenie stanu prawidłowego

zmienia kolor świecenia na zielony, jeśli coś jest źle – pozostaje kolor czerwony, a przekaźnik zwiara zestyki „wejście” i „alarm”. Kontroler reaguje na opóźnienie dowolnej fazy przekraczające ustawioną wartość progową  $3^\circ$ , brak napięcia dowolnej fazy oraz doprowadzenie tej samej fazy do więcej niż jednego z wejść L1, L2, L3. Nie reaguje na nieistotne dla silnika zmiany napięcia faz w dowolnej konfiguracji, zmiany prądu lub mocy pobieranej w kontrolowanym obwodzie oraz na kolejność faz.

Podczas ponad czteroletniej eksploatacji KF3-S żaden zabezpieczany silnik nie uległ awarii choć w okolicy (ta sama sieć) występowały awarie silników zabezpieczanych inaczej. Dwa uszkodzenia KF3-S zostały spowodowane zwarcie w sterowanym obwodzie, którego nie zabezpieczono dodatkowym bezpiecznikiem.

Interesujące będzie porównanie reakcji różnych rozwiązań zabezpieczeń trójfazowych silników indukcyjnych na zanik fazy – patrz tabela. Kolorem czerwonym oznaczono obszary wadliwej pracy czujników, kolorem pomarańczowym – obszary niepewnej pracy czujników a żółtym – obszary pewnego zadziałania lub niezadziałania.

Wygląd kontrolera KF3-S jest przedstawiony na rys. 3. Jest wykonany w plastikowej obudowie o stopniu ochrony IP20 i szerokości 2 moduły, mocowanej na 35 mm szynie montażowej. Własny pobór prądu z sieci wynosi 20 mA, zakres temperatur pracy 0-55°C.

Warto pamiętać, że kontroler nadzoruje stan sieci w miejscu, gdzie jest podłączony. Awaria występująca między kontrolerem a silnikiem nie spowoduje zadziałania kontrolera! Najlepiej podłączać go przy silniku. Współpracując z odpowiednio dobranym wyłącznikiem termicznym, KF3-S tworzy wtedy zestaw nie dublujących się zabezpieczeń w pełni chroniących silnik. Dla silnika małej mocy, gdzie nie stosuje się wyłącznika termicznego, jest niezawodnym zabezpieczeniem podstawowym. ■

**Mirostlaw Piórowicz,  
Leon Kossobudzki**

Gdyby jedna z faz (np. w linii L2, rys. 2) zanikła, układ faz byłby następujący:

(L1 - L2) → (od  $0^\circ$  do  $114^\circ$ ), czyli  $114^\circ$

(L2 - L3) → (od  $114^\circ$  do  $240^\circ$ ), czyli  $126^\circ$

(L3 - L1) → (od  $240^\circ$  do  $360^\circ$ ), czyli  $120^\circ$

Silnik pracujący np. z poślizgiem 2,5% wytworzy „sztuczną fazę” opóźnioną o  $3^\circ$  a z poślizgiem 10% – opóźnioną o  $12^\circ$ .

Znaczne często opóźnienia faz w sieci wynikają najprawdopodobniej z indukcyjności linii zasilających i charakteru obciążeń poszczególnych faz. Z pomiarów wiadomo, że na terenach wiejskich (długie linie!) opóźnienia są większe (np. od  $2^\circ$  do  $7^\circ$  dla poszczególnych faz) i potrafią być przyczyną wielu w inny sposób niewytłumaczalnych awarii silników oraz problemów z ich zabezpieczaniem (prawidłowo ustawione zabezpieczenia nie wiadomo dlaczego wyłączają). Norm na to nie ma, więc nie ma gdzie reklamować i trzeba sobie radzić samemu.

Inne niż nominalne przesunięcia faz powodują, że pole magnetyczne w stojanie ma dwie składowe wirujące – jedną zgodnie z kierunkiem wirowania a drugą przeciwnie do kierunku wirowania. Ich nakładanie się powoduje nierównomierną pracę silnika (szarpanie, buczenie, spadek mocy i sprawności, silne grzanie się). Awaria jest kwestią minut od wystąpienia dużego poślizgu, tymczasem przy dopuszczalnych normami spadku napięcia jednej z faz w wyniku niesymetrycznego obciążenia odbiornikami jednofazowymi silnik pracuje bez zakłóceń.