

# Silniki krokowe od podstaw

## część 5 - właściwości i sterowniki



### Charakterystyka

Czym większa obrotowa silnika krokowego, tym jest on słabszy. Wynika to z kilku przyczyn. Choć nie trzeba znać wszystkich szczegółów z tym związanych, należy mieć świadomość kilku podstawowych zależności. **Rysunek 44a** pokazuje uproszczoną charakterystykę silnika. Na osi poziomej zaznaczona jest częstotliwość impulsów sterujących określających prędkość obrotową, na pionowej – moment obrotowy, który określa siłę. Punkt A pokazuje maksymalną częstotliwość rozruchu. Przy większej częstotliwości silnik w ogóle nie ruszy. Jeśli jednak silnik ruszy przy mniejszej prędkości, można go stopniowo rozpędzić do prędkości większej. Punkt B wyznacza maksymalną prędkość silnika. Większej nie da się osiągnąć. Punkty A i B mają małe znaczenie praktyczne, ponieważ dotyczą silnika nieobciążonego. Jeśli silnik ma ruszyć i to od razu pod obciążeniem, trzeba zacząć od mniejszej prędkości – pokazuje to przykładowy punkt C. Jeśli już silnik zacznie pracować, można stopniowo zwiększyć jego prędkość aż do wartości wyznaczonej przez punkt D.

Wynika stąd ważny wniosek. Jedyne przy prędkościach i obciążeniu wyznaczonym przez zielone pole charakterystyki silnik może pracować w tak zwanym trybie start-stopowym. Będzie wtedy pracował synchronicznie i nie „zgubi” ani jednego impulsu sterującego.

Jeśli silnik ma pracować w trybie wymagającym szybkiej zmiany kierunku, zakres pracy będzie jeszcze węższy (mniejsza prędkość maksymalna). Z kolei zaznaczona na szaro część charakterystyki pokazuje obszar

pracy, który można wykorzystać, jeśli zastosowany zostanie inteligentny sposób sterowania ze stopniowym przyspieszaniem i hamowaniem. Warto pamiętać, że można w ten sposób zwiększyć możliwości silnika.

Uproszczona charakterystyka z rysunku 44a nie pokazuje wszystkich właściwości silnika. Wspomniane wcześniej rezonanse mechaniczne spowodują, że przy sterowaniu pełnokrokowym dla pewnej częstotliwości impulsów silnik w ogóle nie będzie pracował. Pokazuje to, znowu w uproszczeniu, **rysunek 44b**. Dokładnej charakterystyki nie sposób podać, bo częstotliwość rezonansu mechanicznego zależy nie tylko od silnika, ale i od obciążenia. Charakterystyka będzie dużo gładzsza przy sterowaniu półkrokowym, tym bardziej przy mikrokrokowym. W każdym razie w prawidłowo zaprojektowanym systemie albo rezonanse są zmniejszone (wy-

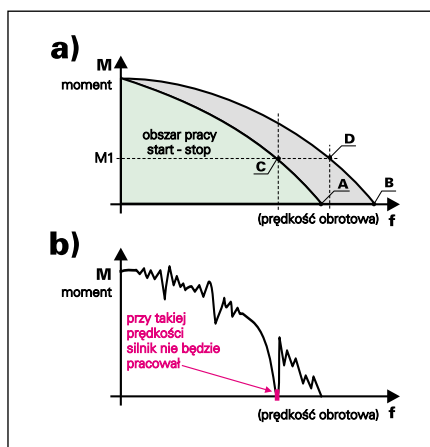
eliminowane), albo zakres częstotliwości roboczych jest mniejszy i nie grozi wpadnięciem w taki obszar. Szczegółowe omówienie problemu i stosowanych rozwiązań zdecydowanie wykracza poza ramy artykułu.

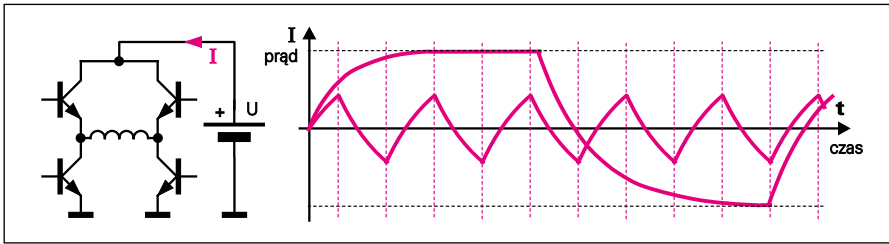
### Problemy z prądem

Jednym z ważnych problemów, o którym koniecznie trzeba wiedzieć, jest powolne narastanie prądu w uzwojeniach silnika. Każde uzwojenie przedstawia sobą pewną indukcyjność  $L$  i pewną rezystancję  $R$ . Po dołączeniu napięcia prąd nie od razu osiąga wartość wyznaczoną przez napięcie i rezystancję. W szeregowym obwodzie RL prąd narasta stopniowo. Stała czasowa wynosi  $L/R$ . Jeśli impulsy sterujące mają małą częstotliwość, nie ma to większego znaczenia. Jeżeli jednak impulsy sterujące są krótkie (prędkość obrotowa duża), prąd nie zdąży narosnąć do ustalonej wartości  $U/R$ . Oznacza to zmniejszenie momentu użytecznego silnika ze wzrostem prędkości obrotowej. Przyczynę ilustruje **rysunek 45**.

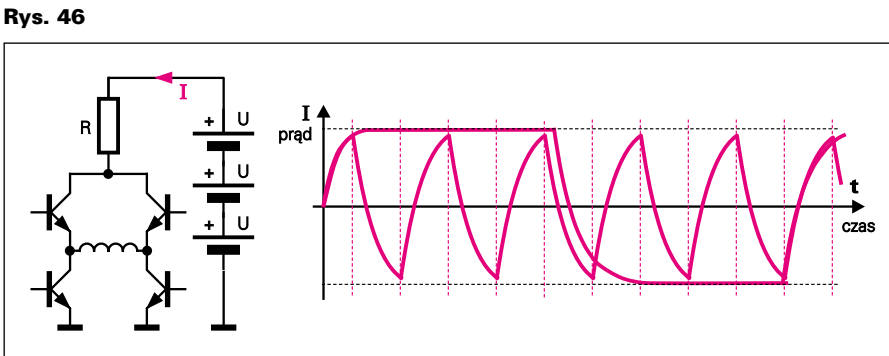
Aby zmniejszyć wpływ tego zjawiska, należałoby zwiększyć prędkość narastania prądu. Najprostszy sposób polega na (znacznym, nawet kilkukrotnym) zwiększeniu napięcia zasilania i dodaniu szeregowego rezystora. Stała czasowa  $L/R$  jest wtedy mniejsza - dzięki większemu napięciu zasilania prąd w uzwojeniu narasta szybciej. Wartość dodanego rezystora powinna być taka, żeby prąd w stanie ustalonym był równy prądowi nominalnemu silnika. Schemat i przebiegi dla jednego uzwojenia silnika bipolarnego pokazuje **rysunek 46**. Sposób taki jest prosty i skuteczny, ale wadą są duże straty mocy w dodanych rezystorach.

Rys. 44





Rys. 45



Rys. 46

nia wyjątkowo małe straty. Wymaga jeszcze bardziej inteligentnego układu sterującego, ale pozwala przyspieszyć proces narastania prądu, a nawet zrealizować sterowanie mikro krokowe przez odpowiednią modulację szerokości impulsów. Ideę ilustruje rysunek 49, gdzie widać, że impuls sterujący składa się z wielu krótszych impulsów o różnym czasie trwania.

Na rysunku 50 pokazane są w dużym uproszczeniu stopnie mocy pracujące impulsowo, pozwalające kontrolować średni prąd silnika. Podawane z zewnątrz napięcie  $U_{ref}$  wyznacza ten prąd średni. Jest ono porównywane ze spadkiem napięcia na rezystorze kontrolnym  $R_s$ . Jeśli prąd silnika, a tym samym spadek napięcia na  $R_s$  wzrośnie powyżej napięcia  $U_{ref}$ , komparator K wyzwole przerzutnik monostabilny, który na krótką chwilę wyłączy napięcie zasilania, co spowoduje zmniejszenie prądu. Ten stosunkowo prosty sposób regulacji prądu pozwala także zrealizować sterowanie mikro krokowe.

Ciąg dalszy na stronie 27.

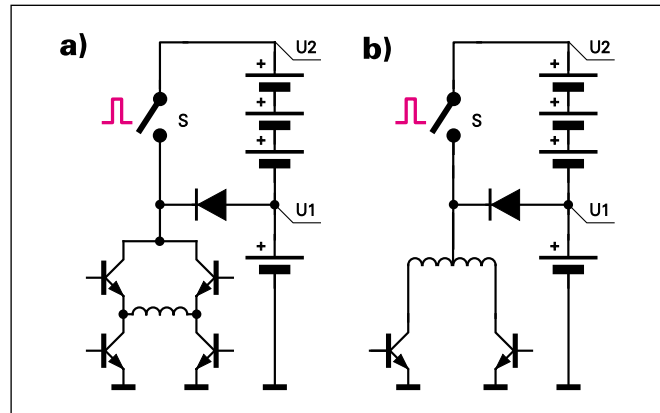
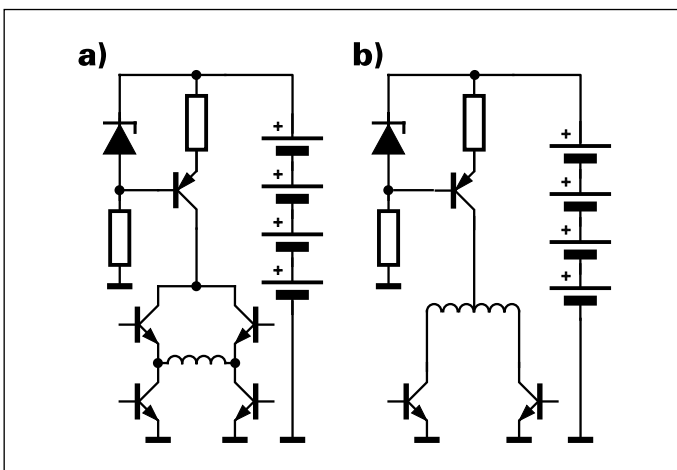
Innym, nieco lepszym rozwiązaniem jest zastąpienie rezystorów źródłami prądowymi. Zgodnie z zasadą działania, źródło prądowe chce utrzymać ustaloną wartość prądu, więc w pierwszej chwili podaje na uzwojenie jak największe napięcie zasilania i szybkość narastania prądu wyznaczona jest przez napięcie zasilające. Przykład rozwiązania z silnikiem bipolarnym i unipolarnym pokazany jest w uproszczeniu na rysunku 47. Nadal wadzą duże straty mocy, tym razem w tranzystorach sterujących, związane z dużym napięciem zasilającym.

Innym sposobem jest zasilanie z dwóch źródeł napięcia. Podczas całego impulsu sterującego uzwojenie jest zasilane napięciem  $U_1$ , ale na początku każdego impulsu na krótką chwilę podawane jest na uzwojenie znacznie wyższe napięcie  $U_2$ , które gwarantuje szybkie narastanie prądu. Idea pokazana jest na rysunku 48. Taki sposób jest ekonomiczny i nie powoduje dodatkowych strat mocy,

ale wymaga dwóch źródeł napięcia, co w niektórych urządzeniach jest kłopotliwe, zmuszając do stosowania dodatkowych przetwornic czy zasilaczy.

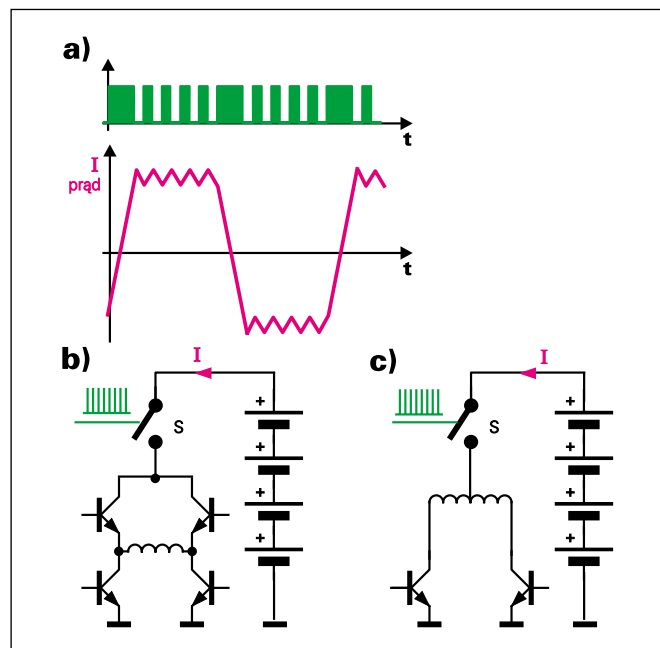
Zamiast pojedynczego impulsu sterującego bywa też stosowany ciąg znacznie krótszych impulsów o większej częstotliwości, które zapewnią potrzebny prąd średni. Jest to tak zwana praca siekana (chopper technique). Wystarczy wtedy jeden zasilacz o stosunkowo dużym napięciu. Przypomina to działanie stabilizatora impulsowego i zapew-

Rys. 47



Rys. 48

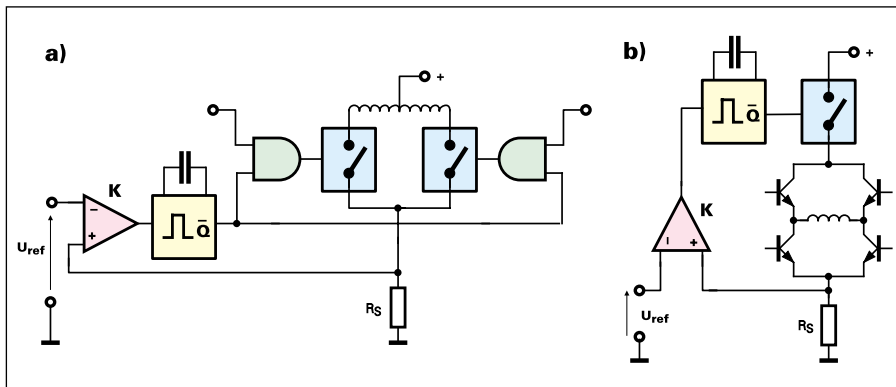
Rys. 49



Ciąg dalszy ze strony 25.

W praktyce wykorzystywane są najróżniejsze realizacje takich i wielu innych idei.

Rys. 50



Na przykład przy sterowaniu półkrokovym zwiększa się prąd 1,4...1,5-krotnie, gdy zasilane jest jedno uzwojenie, co pozwala uzyskać 90...95% momentu uzyskiwanego przy sterowaniu pełnokrokovym.

Zazwyczaj do wytwarzania sekwencji impulsów sterujących wykorzystywane są rozmaite mikroprocesory. Współpracują one ze stopniami mocy, kontrolują prądy uzwojeń silnika i wytwarzają optymalne przebiegi sterujące. W niektórych przypadkach w spoczynku zmniejszają lub wyłączają prąd (przy prostych trybach sterowania silnik pobiera pełny prąd także w spoczynku). Istnieją też specjalizowane układy scalone. Sekwencje sterujące można również wytworzyć dość prosto według idei podanych w pierwszym artykule cyklu. Czasem, zwłaszcza do prób, można wykorzystać port równoległy komputera PC i samodzielnie napisany program sterujący.

Leszek Potocki