

Zmienność napięcia zasilania

Metoda ta ma zastosowanie do silników obcowzbudnych i silników z magnesami trwałymi. W przypadku silnika bocznikowego, zmiana napięcia zasilania nie jest odpowiednią metodą regulacji prędkości, ponieważ prąd i strumień pola zmienia się wraz z V_T . Efekty zwiększenia zarówno napięcia zasilania twornika, jak i prądu obwodu wzbudzenia pola mają tendencję do wzajemnego kompensowania się, co skutkuje niewielką zmianą prędkości.

W normalnym trybie pracy spadek rezystancji twornika jest niewielki w porównaniu z E_A i mamy

$$E_A \cong V_T.$$

Skoro mamy też

$$E_A = K\phi\omega_m.$$

możemy zapisać

$$\omega_m \cong \frac{V_T}{K\phi}. \quad (15.35)$$

Tak więc prędkość obrotowa silnika obcowzbudnego o stałym prądzie obwodu wzbudzenia pola lub silnika z magnesami trwałymi jest w przybliżeniu proporcjonalna do napięcia źródła.

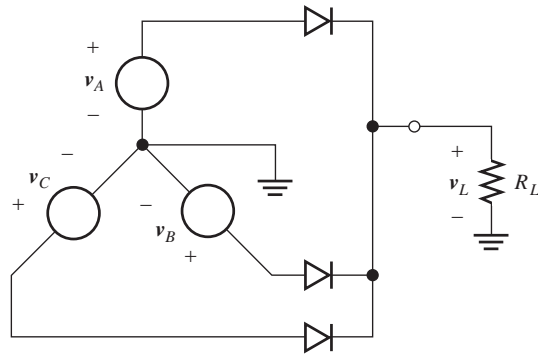
Zmienność napięcia zasilania jest również odpowiednia do sterowania szeregowo połączonym silnikiem prądu stałego; jednak strumień nie pozostaje w tym przypadku stały. Z równania (15.34) wynika, że moment obrotowy maszyny szeregowej jest proporcjonalny do kwadratu napięcia źródła przy dowolnej prędkości. Tak więc w zależności od charakterystyki momentu obrotowego od prędkości obciążenia, prędkość zmienia się wraz z przyłożonym napięciem. Ogólnie rzecz biorąc, większe napięcie powoduje zwiększenie prędkości.

Zmienne źródła napięcia stałego

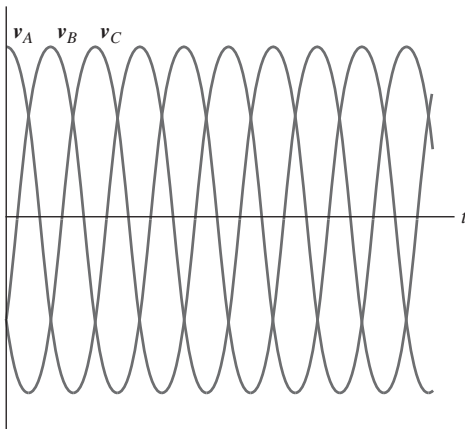
Historycznie, zmianę wartości napięcia stałego uzyskiwano z generatorów prądu stałego. Na przykład jednym z popularnych rozwiązań był **system Warda Leonarda**, w którym trójfazowy silnik indukcyjny napędza generator prądu stałego, który z kolei dostarcza zmienne napięcie stałe do silnika, który ma być sterowany. Wartość i polaryzacja stałego napięcia zasilającego są kontrolowane za pomocą rezystora nastawnego lub przełączników w celu zmiany prądu wzbudzenia pola generatora prądu stałego. Wadą tego schematu jest to, że do wysterowania jednego obciążenia potrzebne są trzy maszyny.

Od czasu pojawienia się elektroniki dużej mocy bardziej ekonomicznym rozwiązaniem jest zastosowanie prostownika do przekształcenia trójfazowego prądu przemiennego w prąd stały, jak pokazano na rysunku 15.24. Wynikowe napięcie stałe v_L ma pewne tętnienia, ale gładzsze napięcie można uzyskać, stosując dwupołkową wersję prostownika z użyciem sześciu diod. W każdym razie nie jest konieczne, aby źródło prądu stałego zasilające silniki było całkowicie pozbawione tętnień, ponieważ indukcyjności i bezwładność mają tendencję do wygładzania odpowiedzi.

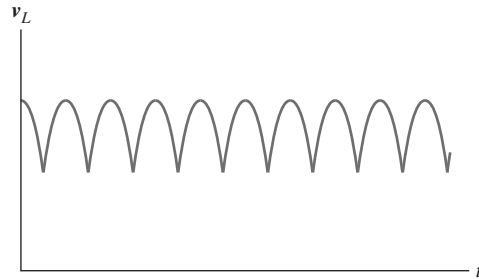
Gdy już uda się uzyskać stałe źródło prądu stałego, do kontroli średniego napięcia dostarczanego do obciążenia można użyć elektronicznego obwodu przełączającego, jak pokazano na rysunku 15.25. (W rozdziale 11 i rozdziale 12 pokazaliśmy, jak urządzenia elektroniczne, takie jak tranzystory bipolarne i polowe, mogą być stosowane



(a) Schemat obwodu



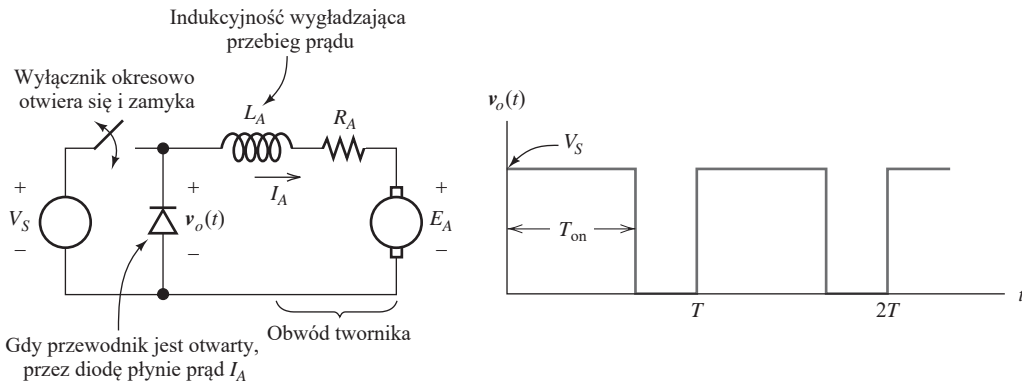
(b) Trójfazowe napięcia przemienne



(c) Wyprostowane napięcie wyjściowe

Rys. 15.24. Trójfazowy obwód prostownika jednopółkowego stosowany do konwersji prądu przemiennego na prąd stały

jako przełączniki. W elektronice dużej mocy funkcję przełączania pełnią podobne urządzenia, takie jak krzemowe prostowniki sterowane (tzw. tyrystory – przyp. tłum.).



Rys. 15.25. Elektroniczny wyłącznik, który okresowo otwiera się i zamyka, może efektywnie dostarczać do silnika napięcie stałe o zmiennej wartości ze stałego napięcia zasilającego

Wyłącznik cyklicznie otwiera się i zamyka z okresem T , przy czym przez czas T_{on} znajduje się w stanie zamkniętym, a przez pozostałą część okresu w stanie otwartym. Indukcyjność L_A sprawia, że prąd twornika płynie nadal, gdy przełącznik jest otwarty. Dlatego też prąd twornika I_A jest prawie stały, mimo że napięcie $v_o(t)$ zmienia się gwałtownie od zera do V_s . Dioda zapewnia drogę dla prądu twornika, gdy przełącznik jest otwarty. Średnia wartość napięcia przyłożonego do silnika jest dana przez

$$V_T = V_s \frac{T_{\text{on}}}{T}. \quad (15.36)$$

W ten sposób można sterować średnim napięciem, a więc i prędkością silnika, zmieniając długość okresu, w którym wyłącznik jest zamknięty.

Regulacja prędkości za pomocą zmiennego prądu obwodu wzbudzenia pola

Prędkość obrotowa silnika bocznikowego lub obcowzbudnego może być sterowana przez zmianę prądu obwodu wzbudzenia pola. Obwód dla maszyny połączonej bocznikowo pokazano na rysunku 15.16, w którym rezystancja nastawna R_{adj} pozwala na sterowanie prądem pola.

Z drugiej strony, silniki z magnesami trwałymi mają stały strumień. W silnikach połączonych szeregowo prąd wzbudzenia pola jest taki sam jak prąd twornika i nie może być niezależnie sterowany. Dlatego też wykorzystanie prądu wzbudzenia pola do regulacji prędkości nie jest odpowiednie dla żadnego z tych typów silników.

Aby zrozumieć wpływ prądu wzbudzenia pola na moment obrotowy i prędkość obrotową silnika, przeanalizujemy następujące równania dla silnika bocznikowego lub obcowzbudnego:

$$E_A = K\phi\omega_m.$$

$$I_A = \frac{V_T - E_A}{R_A}.$$

$$T_{\text{roz}} = K\phi I_A.$$

Rozważmy teraz, co się stanie, gdy I_F zostanie zmniejszony (przez zwiększenie R_{adj}). Zmniejszenie I_F powoduje zmniejszenie strumienia ϕ . Natychmiast zmniejsza się napięcie indukowane E_A . To z kolei powoduje wzrost I_A . W rzeczywistości procentowy wzrost I_A jest znacznie większy niż procentowy spadek ϕ , ponieważ V_T i E_A są prawie równe. Tak więc $I_A = (V_T - E_A)/R_A$ wzrasta gwałtownie, gdy E_A ulega zmniejszeniu. Dwa z członów równania na moment obrotowy $T_{\text{roz}} = K\phi I_A$ zmieniają się w przeciwnych kierunkach; mianowicie ϕ spada, a I_A rośnie. Jednak zmiana I_A jest znacznie większa i moment obrotowy gwałtownie rośnie, gdy wartość I_F spada. (Możecie to sprawdzić, porównując swoje rozwiązanie z ćwiczenia 15.7 z wartościami z przykładu 15.4).

Niebezpieczeństwo związane z rozwarciem obwodu wzbudzenia pola

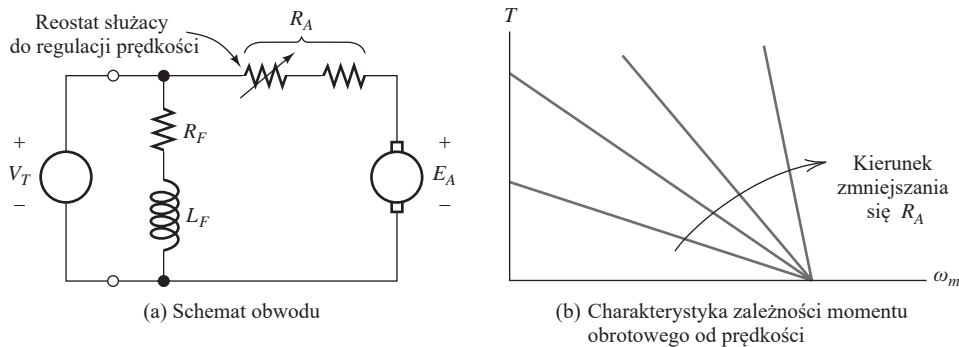
Co się stanie w silniku bocznikowym lub obcowzbudnym, jeśli obwód wzbudzenia pola zostanie otwarty i ϕ spadnie prawie do zera? (Z powodu szczątkowego namagnesowania, pole nie jest zerowe dla zerowego prądu wzbudzenia pola). Odpowiedź jest taka, że I_A staje się bardzo duże i maszyna bardzo szybko przyspiesza. W rzeczy-

wistości, możliwe jest, że nadmierna prędkość spowoduje, że twornik się rozleci. Wtedy w ciągu kilku sekund maszyna zostaje zredukowana do sterty bezużytecznego złomu składającego się z luźnych uzwojeń i prętów komutatora. Dlatego ważne jest, aby maszyny bocznikowe były wyposażone w dobrze zaprojektowane obwody ochronne, które automatycznie otwierają obwód twornika, gdy zanika prąd wzbudzenia pola.

Regulacja prędkości poprzez włączenie rezystancji szeregowo z twornikiem

Inną metodą sterowania prędkością silnika prądu stałego jest wprowadzenie dodatkowej rezystancji szeregowo z obwodem twornika. Takie podejście można zastosować do wszystkich typów silników prądu stałego: bocznikowych, obcowzbudnych, szeregowych lub z magnesami trwałymi. Na przykład silnik połączony bocznikowo z dodatkową rezystancją uzwojenia jest pokazany na rysunku 15.26(a). Oznaczmy całkowitą rezystancję jako R_A , która składa się z rezystancji sterowania plus rezystancji uzwojenia twornika. Zależność momentu obrotowego od prędkości dla silnika bocznikowego jest określona przez równanie (15.27), powtórzone tutaj dla wygody:

$$T_{\text{roz}} = \frac{K\phi}{R_A} (V_T - K\phi\omega_m).$$



Rys. 15.26. Prędkość może być regulowana przez zmianę rezystora nastawnego, który jest połączony szeregowo z twornikiem

Wykresy charakterystyki zależności momentu obrotowego od prędkości dla różnych rezystancji przedstawiono na rysunku 15.26(b). Podobne wyniki dotyczą silników obcowzbudnych i silników z magnesami trwałymi.

Układy sterowania rozruchem silników prądu stałego bocznikowych lub obcowzbudnych zwykle zawierają rezystancję połączoną szeregowo z twornikiem, by ograniczyć prąd twornika do rozsądnych wartości, gdy maszyna nabiera prędkości.

Wadą dołączenia dodatkowej rezystancji szeregowo z twornikiem w celu kontroli prędkości jest to, że jest to marnowanie energii. Podczas pracy z niską prędkością, duża część energii pobranej ze źródła jest zamieniana bezpośrednio na ciepło w szeregowym rezystorze.

Równanie (15.34) podaje moment obrotowy dla maszyn połączonych szeregowo. Dla wygody, równanie to zostało tutaj powtórzone:

$$T_{\text{roz}} = \frac{KK_F V_T^2}{(R_A + R_F + KK_F \omega_m)^2}.$$

Ważne jest, aby maszyny bocznikowe były wyposażone w dobrze zaprojektowane obwody ochronne, które automatycznie otwierają obwód twornika, gdy zanika prąd wzbudzenia pola.

Spójrz na rysunki 15.26, 15.27 oraz 15.28 i przekonaj się, w jaki sposób charakterystyka zależności momentu obrotowego od prędkości obrotowej bocznikowych i obcowzbudnych silników prądu stałego może być zmieniana poprzez zmianę rezystancji twornika, napięcia zasilającego twornik lub prądu wzbudzenia pola po to, by uzyskać regulację prędkości.