

Wpływ odchylen napięcia	Silnik indukcyjny	Silnik synchroniczny
Moment obrotowy	<p>Zgodnie ze wzorem $M=kU^2$, przy stałym poślizgu wpływ odchylen napięcia na moment obrotowy silnika indukcyjnego jest bardzo duży.</p> <p>Ujemne odchylenia napięcia mogą doprowadzić do zatrzymania się maszyny, z kolei dodatnie odchylenia napięcia mogą spowodować uszkodzenie mechaniczne lub wcześniejsze zużycie układu napędowego.</p>	<p>Odchylenia napięcia mają wpływ na moment obrotowy silników synchronicznych zgodnie z zależnością $m_a = \frac{S_n}{P_n} \left(\frac{E_k U}{X_d} \sin \delta + \frac{1}{2} k_u^2 \left(\frac{1}{X_2} - \frac{1}{X_d} \right) \sin 2\delta \right)$</p> <p>w której m_a - wzgl. wartość momentu obrotowego silnika, S_n - znamionowa moc pozorna silnika, P_n - znamionowa moc czynna silnika, E_k - SEM biegu jałowego, δ - kąt rozchylenia między wektorem SEM i wektorem napięcia, X_d, X_2 - reaktanse synchroniczne silnika wzdłużna i poprzeczna, k_u - względna wartość napięcia.</p> <p>Mają także wpływ na maksymalny moment obrotowy silnika, a w przypadku zbyt dużych ujemnych odchyleń napięcia może dojść do zaburzenia stanu równowagi napięć i wypadnięcia silnika z synchronizmu.</p>
Moment rozruchowy	<p>Moment rozruchowy, podobnie jak moment obrotowy, jest zależny od kwadratu napięcia, przy czym jeśli wartość względna napięcia będzie mniejsza niż $k_u = \frac{U}{U_{mnn}}$, gdzie $m_{rn} = \frac{M_r}{M_n}$, moment rozruchowy silnika będzie mniejszy od momentu oporowego i silnik nie ruszy - czyli znajdzie się w stanie zwarcia.</p>	<p>W związku z tym, że moment rozruchowy silnika składa się z trzech członów - asynchronicznego M_{as}, wytwarzanego przez uzwojenie wzbudzenia M_w i reakcyjnego M_{ra} - z których wszystkie zależne są od kwadratu napięcia, to zgodnie z zależnością $m_r = k_u^2 (m_{asn} + m_{wn} + m_{ren})$ duże odchylenia ujemne napięcia mogą doprowadzić do sytuacji, w której silnik nie osiągnie prędkości pod synchronicznej.</p> <p>Niewielkie odchylenia napięcia praktycznie nie wpływają na proces rozruchu.</p>

Wpływ odchył napięcia	Silnik indukcyjny	Silnik synchroniczny
Czas rozruchu	<p>Zmniejszona wartość napięcia, a zatem i momentu rozruchowego, prowadzi do wydłużenia czasu rozruchu silnika. Zwiększenie napięcia skraca ten czas. Wydłużony czas rozruchu może być niebezpieczny dla silnika, układu napędowego lub procesu technologicznego, który maszyna napędza.</p>	<p>Podczas rozruchu asynchronicznego, ujemne odchylenia napięcia prowadzą do wydłużenia czasu rozruchu silnika synchronicznego, co ze względu na duże prądy rozruchowe może doprowadzić do przegrzania uzwojeń i uszkodzenia maszyny.</p> <p>Podczas rozruchu częstotliwościowego, odchylenia napięcia mają mniejszy wpływ na czas rozruchu.</p>
Prędkość obrotowa	<p>Dodatnie i ujemne odchylenia napięcia prowadzą odpowiednio zwiększenie lub zmniejszenie prędkości obrotowej, zgodnie z zależnościami</p> $n = n_0 - (n_0 - n) \left(\frac{m_{kn} + \sqrt{m_{kn}^2 - 1}}{m_{kn} k_u^2 + \sqrt{m_{kn}^2 k_u^4 - 1}} \right)$ <p>gdzie k_u - względna wartość napięcia</p>	<p>Prędkość obrotowa silnika synchronicznego zależy od częstotliwości napięcia zasilającego, więc od jego wartości skutecznej. Tedy duże ujemne odchylenia napięcia mogą doprowadzić do wypadnięcia silnika z synchronizmu</p>

Wpływ odchył napięcia	Silnik indukcyjny	Silnik synchroniczny
Przyrost temperatury uzwojeń	<p>Ujemne oraz duże dodatnie odchylenia napięcia powodują zwiększenie prądu pobieranego przez silnik, a co za tym idzie – zwiększenie ilości ciepła wydzielanego na uzwojeniach. Można w ten sposób doprowadzić do przekroczenia dopuszczalnych przyrostów temperatury i zmniejszenia trwałości lub uszkodzenia maszyny. Przyrost temperatury można wyrazić zależnością</p> $\Delta t = 2I_n \left(\left(\frac{I_1}{I_n} \right)^2 \left(1 - e^{-\frac{t}{T}} \right) + \left(\frac{I_1}{I_n} \right)_p e^{-\frac{t}{T}} \right)$ <p>gdzie $\left(\frac{I_1}{I_n} \right)$ – względna wartość prądu stojana $\left(\frac{I_1}{I_n} \right)_p$ – względna początkowa wartość prądu stojana, T – stała czasu nagrzewania uzwojeń t – czas trwania odchylenia</p>	<p>Odchylenia napięcia w silniku synchronicznym powodują podobne przyrosty temperatury uzwojeń, co w przypadku silnika indukcyjnego. Przyrosty temperatury zależą od strat mocy na uzwojeniach, a te opisuje zależność:</p> $\Delta P_u = \frac{k_0^2}{k_u^2} \Delta P_{un}$ <p>w której ΔP_{un} – znamionowe straty mocy czynnej w uzwojeniach stojana, k_0 – wsp. obciążenia silnika</p>
Wartość prądu stojana	<p>Wartość prądu stojana rośnie podczas ujemnych lub dużych dodatnich odchył napięcia. Jako, że prąd stojana jest sumą geometryczną prądu obciążenia i prądu biegu jałowego, zależność ta jest bardziej złożona, ponieważ obydwa składniki zachowują się inaczej w przypadku odchył napięcia.</p>	<p>Przy stałej wartości momentu oporowego, prąd stojana zmniejsza się odwrotnie proporcjonalnie do zmian napięcia zasilania zgodnie z zależnością $I = \frac{k_0}{k_u} I_n$, przy czym</p> <p>I_n – prąd znamionowy silnika k_0 – wsp. obciążenia silnika</p>

Wpływ odchyłek napięcia	Silnik indukcyjny	Silnik synchroniczny
Sprawność i pobór mocy biernej	<p>Sprawność silnika indukcyjnego jest wyrażana wzorem:</p> $\eta = \frac{P}{P_w + \Delta P_c + \Delta P_r + \Delta P_m}$ <p>w którym P_w - moc oddawana na wał silnika, ΔP_c - straty mocy w uzwojeniu silnika, ΔP_r - straty mocy w rdzeniu silnika, ΔP_m - straty mechaniczne silnika.</p> <p>W związku z tym, że wraz z odchyleniami napięcia straty mocy zmieniają się zgodnie z zależnościami:</p> $\Delta P = \Delta P_{un} \left(\frac{I_1}{I_{1n}} \right)^2 + \Delta P_{rn} - k_u^2$ <p>gdzie ΔP_{un} - straty mocy w uzwojeniu silnika pracującego w warunkach znamionowych, ΔP_{rn} - straty mocy w rdzeniu silnika zasilanego napięciem znamionowym, $\left(\frac{I_1}{I_{1n}} \right)$ - współczynnik wartości prądu stojana silnika zależna od zmian napięcia</p> <p>sprawność jest również uzależniona od zmian napięcia.</p> <p>Moc czynna pobierana wymuszona przez ślizganie mechaniczne pozostaje praktycznie stała, zatem z zależności</p> $P = UI \cos \varphi \iff Q = UI \sin \varphi$ <p>wynika, że wraz ze zmianami napięcia zmianom ulegają pobierana moc bierna oraz współczynnik mocy.</p>	<p>Sprawność silnika synchronicznego opisuje się wzorem:</p> $\eta = \frac{P_w}{P_w + \Delta P_m + \frac{1}{k_u^2} \Delta P_{un} + k_u^2 \Delta P_{rn} + \frac{k_{w2}^2}{k_u^2} \Delta P'_{w2n}}$ <p>Jako, że prędkość obrotowa silnika synchronicznego jest stała, straty mechaniczne również są stałe.</p> <p>Zmniejszenie wartości napięcia zasilającego powoduje zwiększenie strat mocy w uzwojeniach stojana i uzwojeniach wzbudzenia, a także zmniejszenie strat w rdzeniu silnika. Sumaryczne straty jednak rosną i sprawność się zmniejsza. Zwiększenie napięcia zasilającego prowadzi do zwiększenia sprawności.</p> <p>Na ogół w silnikach synchronicznych stosuje się regulatory prądu wzbudzenia, które reagują na zmiany napięcia zasilającego tak, aby utrzymywać stały poziom mocy biernej silnika.</p> <p>W przypadku obniżenia wartości napięcia zasilającego, prąd wzbudzenia się zwiększa. Długotrwała praca silnika w tym stanie może doprowadzić do cieplnego uszkodzenia uzwojeń wzbudzenia.</p>