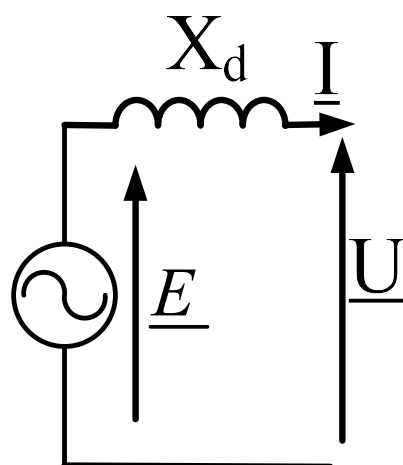
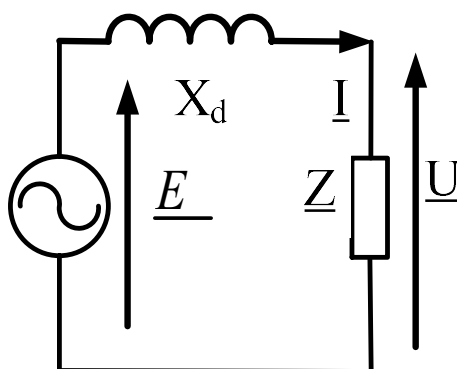




Rys. 2.11. Uproszczony schemat zastępczy turbogeneratora

2.3. Praca samotna

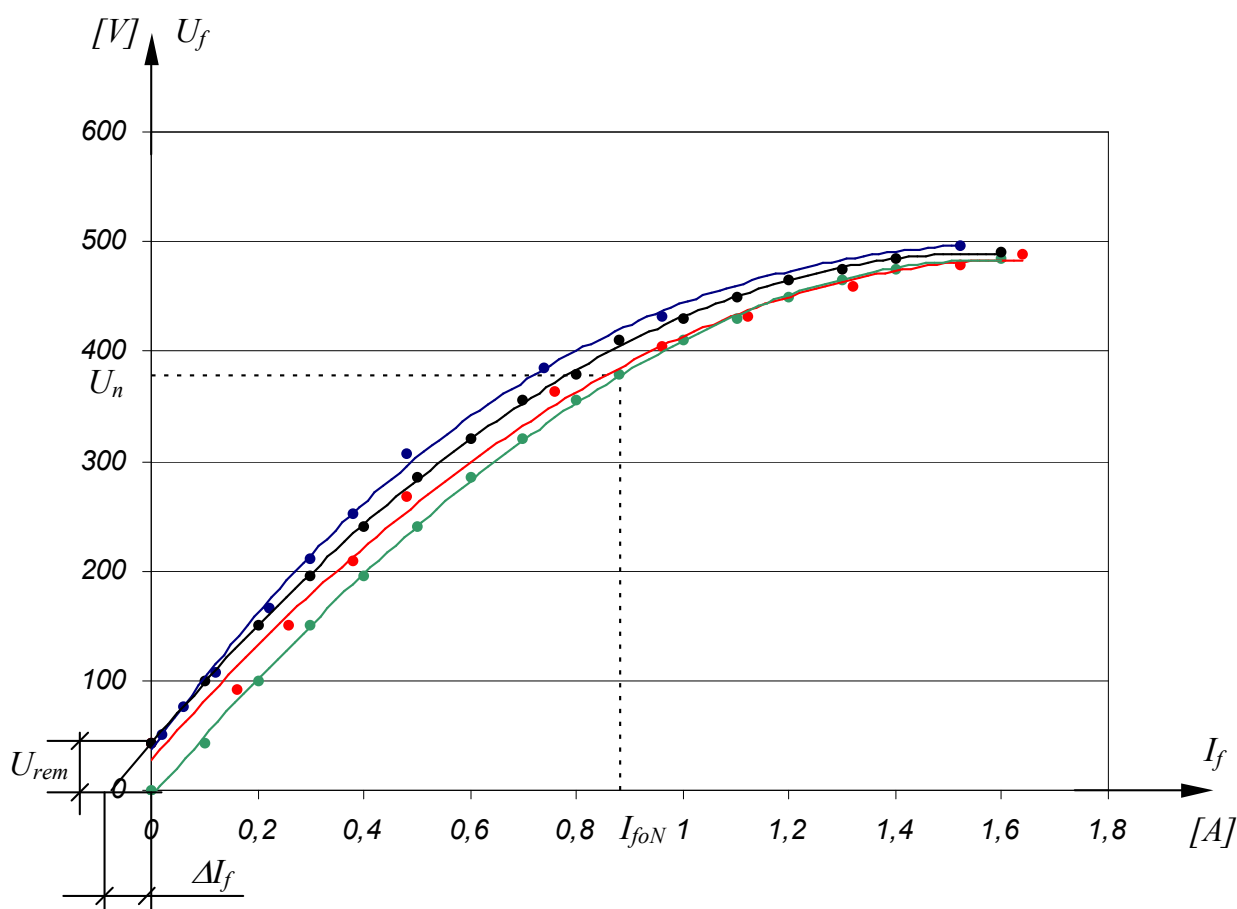
Maszyny synchroniczne może pracować jako pojedynczy generator zasilający grupę odbiorników o wypadkowej impedancji $\underline{Z}$. Uproszczony schemat zastępczy maszyny cylindrycznej przy pracy samotnej pokazano na rys. 2.12.



Rys. 2.12. Uproszczony schemat zastępczy turbogeneratora przy pracy samotnej.

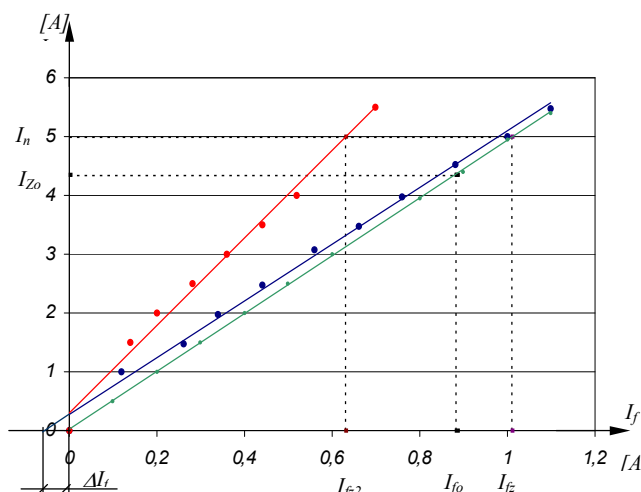
W przypadku, gdy obwód stojana jest otwarty wartość prądu jest równa zero, a napięcie na zaciskach jest równe napięciu indukowanemu na skutek pola magnetycznego wytworzonego przez wirujący wirnik maszyny. Stan taki nazywa się biegiem jałowym a jedną z najważniejszych charakterystyk tej maszyny wyznaczamy jako zależność napięcia na zaciskach generatora przy biegu jałowym od wartości prądu wzbudzenia. Należy przy tym pamiętać, że na skutek istnienia remanentu magnetycznego, przy zerowej wartości prądu wzbudzenia napięcie ma wartość większą od zera. W praktyce próbę biegu jałowego rozpoczynamy od pomiaru tego napięcia. Prąd wzbudzenia zwiększamy płynnie w górę, rejestrując wartości poszczególnych punktów charakterystyki biegu

jałowego przy zwiększaniu prądu wzbudzenia (linia czerwona na Rys. 2.13). Prąd wzbudzenia zwiększamy aż do uzyskania stanu nasycenia obwodu magnetycznego. W następnej kolejności płynnie zmniejszamy prąd wzbudzenia. Z uwagi na użycie materiału ferromagnetycznego występuje tu histereza magnetyczna, stąd linia wyznaczająca zależność napięcia od prądu wzbudzenia przy obniżaniu wartości prądu wzbudzenia przebiega wyżej (linia niebieska na Rys. 2.13). Konieczne jest uśrednienie punktów obu krzywych, uzyskamy linię czarną na Rys. 2.13. Ekstrapolujemy przebieg tej funkcji aż do przecięcia się z osią OX , wyznaczając w ten sposób prąd ΔI_f . Charakterystyką przesuwamy o wartość prądu ΔI_f uzyskując w ten sposób charakterystykę biegu jałowego, która jest niezależna od wartości remanentu i histerezy magnetycznej. Ostateczna postać (linia zielona) wyznacza nam charakterystykę biegu jałowego, która będzie wykorzystywana w ocenie zachowania się maszyny synchronicznej w czasie obciążenia. Istotną wartością, jaką uzyskamy po opisaney wyżej analizie wyników badań, jest wartość znamionowa prądu wzbudzenia przy biegu jałowym. Możemy zdefiniować ją jako wartość prądu wzbudzenia przy znamionowej wartości napięcia odczytana z wyżej opisaney charakterystyki biegu jałowego. W przypadku próby zwarcia ustalonego musimy uwzględnić wartość remanentu magnetycznego, pomijamy tu efekt nasycenia i histerezę. Wynika to z faktu rozmagnesowującego działania reakcji twornika przy zwarcu.

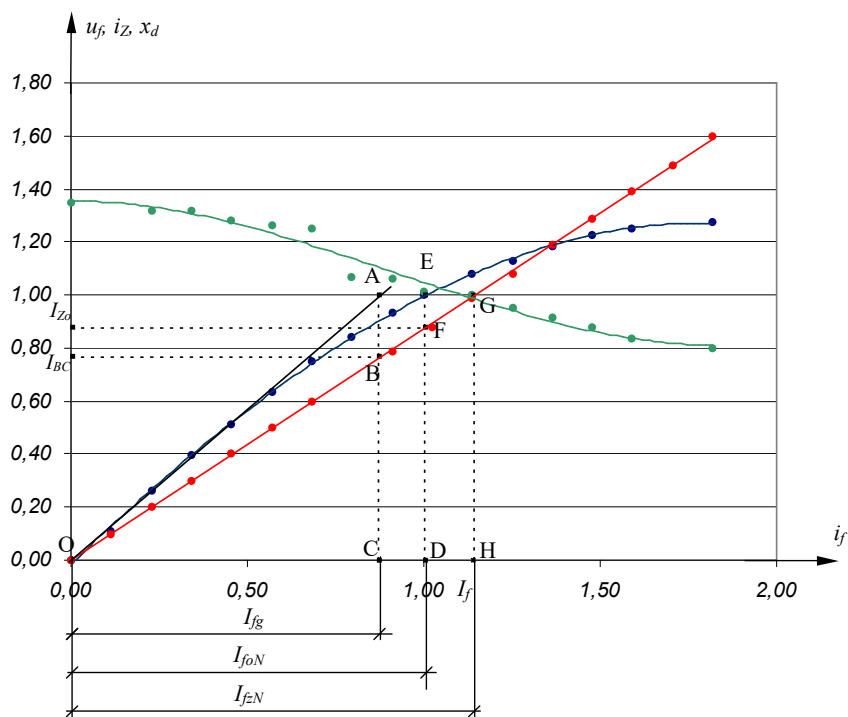


Rys. 2.13. Charakterystyka biegu jałowego maszyny synchronicznej

Na rys. 2.14 pokazano kształt rzeczywistej charakterystyki trójfazowego (linia niebieska) oraz dwufazowego (linia czerwona) zwarcia ustalonego. Widoczny jest wpływ pozostałości magnetycznej (remanentu magnetycznego). Efekt tek korygujemy w sposób podobny jak przy biegu jałowym, otrzymamy wówczas charakterystykę zwarcia ustalonego niezbędną do wyznaczenia znamionowej wartości prądu magnesującego przy zwarcu jak i do obliczenia zależności wartości reaktancji synchronicznej od prądu wzbudzenia (Rys. 2.15).



Rys. 2.14. Charakterystyki zwarcia ustalonego generatora synchronicznego – wyniki pomiarów



Rys. 2.15. Wyznaczanie zależności reaktancji synchronicznej X_d od wartości prądu wzbudzenia (linia zielona) - wyniki pomiarów z wielkościami względnymi

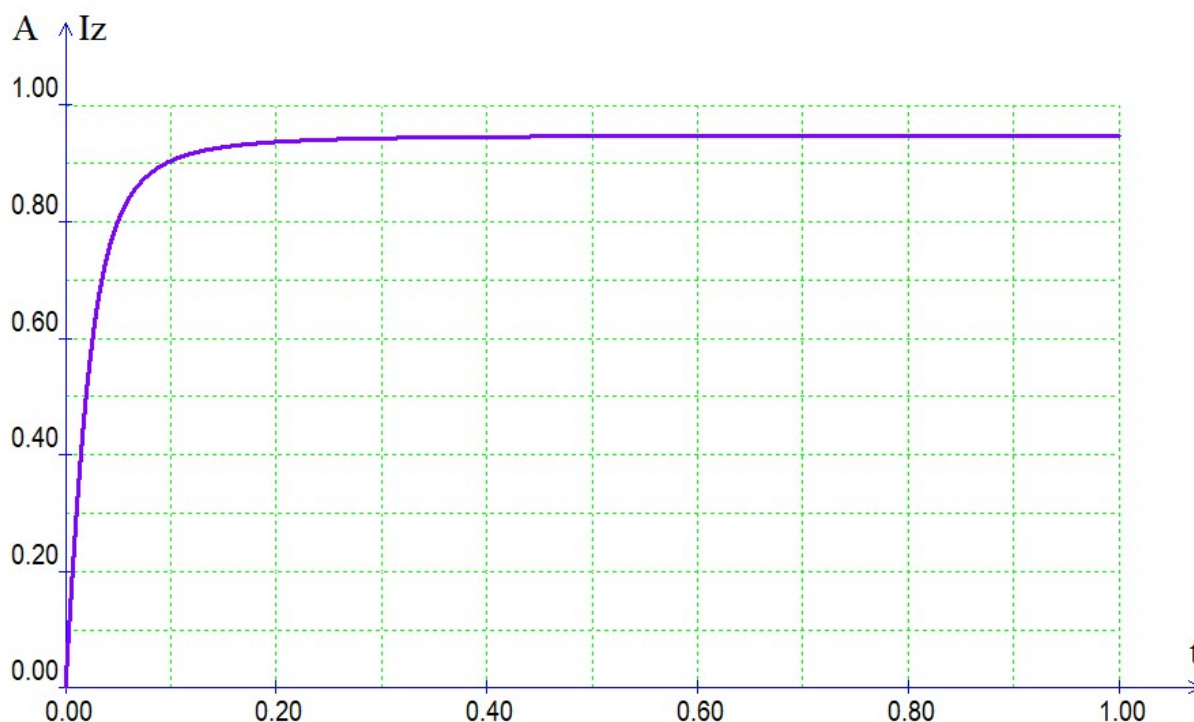
W celu wyznaczenia wartości reaktancji synchronicznej dla danej wartości prądu wzbudzenia z charakterystyki biegu jałowego wyznaczamy wartość siły elektromotorycznej (np. odcinek DE na rys. 2.15, następnie z krzywej zwarcia wyznaczamy wartość prądu twornika (odcinek DF) dla tej samej wartości prądu wzbudzenia. Wartość reaktancji reakcji twornika (przy pominięciu rezystancji stojana) wyznaczona jest zależnością (2.7).

$$X_d = \frac{DE}{DF} \quad (2.7)$$

Niekiedy konieczna jest znajomość wartości reaktancji synchronicznej nienasyconej X_{dn} , której wartość wyznaczona jest na podstawie charakterystyki zwarcia oraz prostoliniowej części charakterystyki biegu jałowego. Zgodnie z rys. 2.15 wartość takiej reaktancji wyznaczają odcinki CA i CB

$$X_{dn} = \frac{CA}{CB} \quad (2.8)$$

Opisane wyżej zależności są prawidłowe przy pominięciu wartości rezystancji uzwojeń stojana. Dowodem na skuteczność takiego uproszczenia jest wykonanie próby zwarcia ustalonego w zależności od prędkości obrotowej (przy stałej wartości prądu wzbudzenia) (Rys. 2.16).



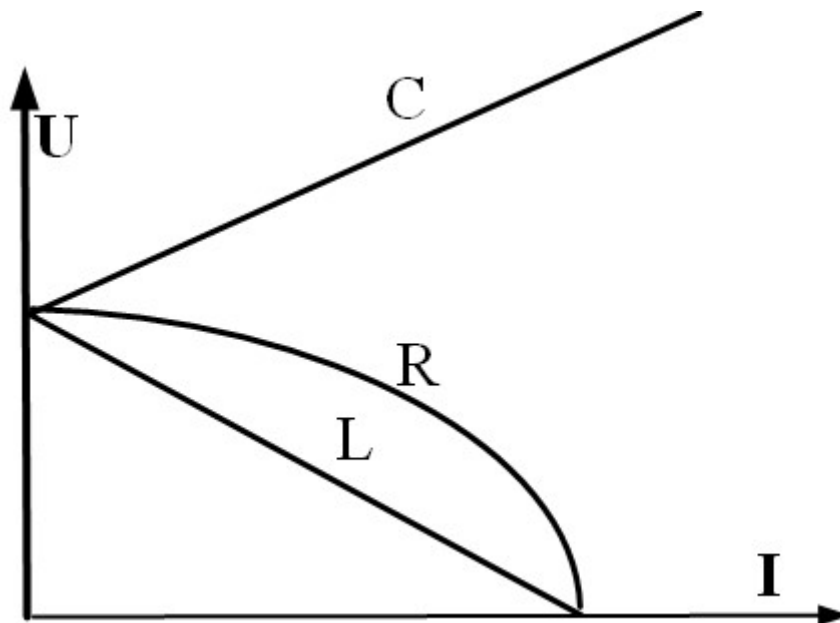
Rys. 2.16. Zależność prądu zwarcia ustalonego od prędkości obrotowej.

Wartość skuteczna prądu zwarcia może być wyznaczony wówczas z zależności (2.9).

$$I_z = \frac{E}{\sqrt{R_s^2 + X_d^2}} \quad (2.9)$$

W przypadku, gdy wartość reaktancji jest znacznie większa od rezystancji, z uwagi na fakt zależności siły elektromotorycznej i reaktancji od prędkości obrotowej, wartość prądu zwarcia jest praktycznie niezależna od prędkości obrotowej. Dopiero przy zmniejszeniu prędkości poniżej kilku procent prędkości znamionowej zauważalny jest wpływ rezystancji (Rys. 2.16).

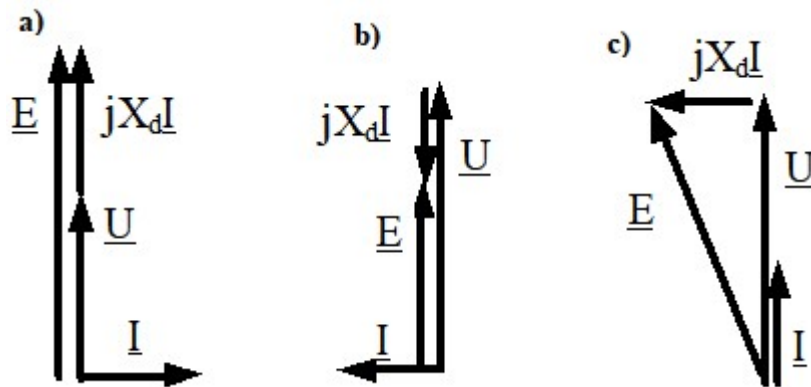
W pracy generatora synchronicznego na obciążenie o różnym charakterze ważnym jest znajomość zmian napięcia na zaciskach pod wpływem zmian wartości prądu obciążenia. Charakterystyki takie nazywane są charakterystykami zewnętrznymi (Rys. 2.17).



Rys. 2.17. Charakterystyki zewnętrzne generatora synchronicznego przy pominięciu nasycenia i rezystancji uzwojeń stojana dla różnych typów obciążeń: (L) - indukcyjny, (C) - pojemnościowy, (R) - rezystancyjny

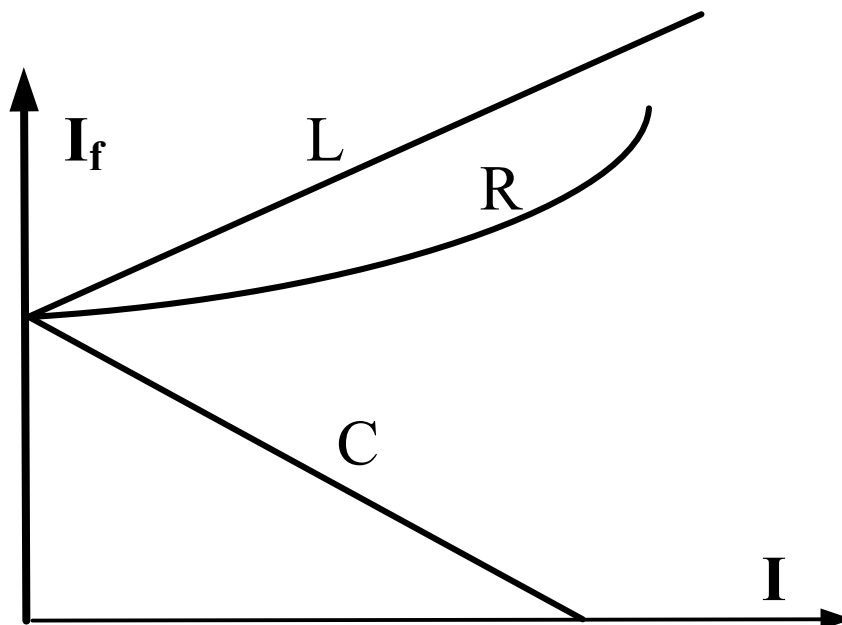
Kształt charakterystyk zewnętrznych pokazanych na rys. 2.17 można wyjaśnić na podstawie wykresów wskazowych dla różnych charakterów obciążeń. Na rys. 2.18 pokazano wykresy wskazowe dla wybranych typów obciążeń. Rys. 2.18 a) pokazuje położenie wektorów napięcia, siły elektromotorycznej oraz spadku napięcia na reaktancji synchronicznej przy idealnym charakterze indukcyjnym. Wartość napięcia na zaciskach jest wynikiem odejmowania spadku napięcia na reaktancji od wartości E . Przy założeniu liniowości obwodu magnetycznego wielkości te są liniowo zależne, więc charakterystyka jest linią prostą, gdzie wartość prądu przy napięciu równym zero wyznacza nam wartość prądu zwarcia. Rys. 2.18 b) prezentuje zależność tych wielkości przy obciążeniu idealnym pojemnościowym. W tym przypadku napięcie na zaciskach liniowo rośnie ze wzrostem wartości prądu i przy założeniu liniowości obwodu magnetycznego nie jest możliwe uzyskanie punktu zwarcia. Oczywiście jest, że na skutek nasycenia obwodu magnetycznego napięcie będzie wzrastało wg nieliniowej zależności. Na rys. 2.18 c) spadek napięcia na reaktancji jest pod kątem prostym do napięcia na zaciskach, stąd wartość siły elektromotorycznej jest przekątną trójkąt

prostokątnego. Zmiana napięcia na zaciskach, przy stałej wartości siły elektromotorycznej, maleje przy zwiększaniu prądu w sposób nieliniowy.



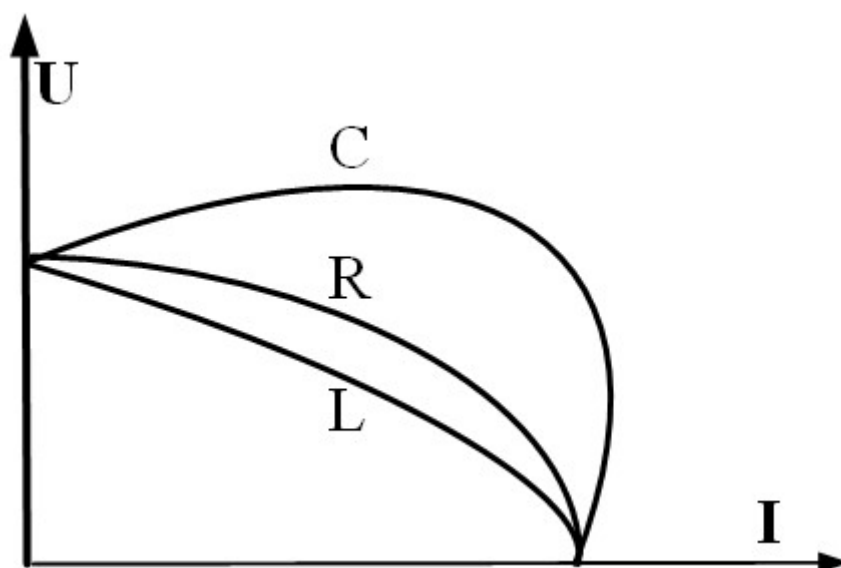
Rys. 2.18. Wykresy wskazowe generatora cylindrycznego dla różnych dla różnych typów obciążeń
a) indukcyjnym, b) pojemnościowym, c) rezystancyjnym

Znajomość zależności napięcia na zaciskach w zależności od prądu jest istotna w przypadku użycia generatora dla zapewnienia zasilania przy zaniku napięcia sieci. W takim przypadku stosuje się układy automatyki, które wpływają na wartość prądu wzbudzenia utrzymując na zaciskach stałą wartość napięcia, niezależnie od wartości prądu obciążenia. Układy takie muszą zapewnić prawidłową pracę niezależnie od charakteru obciążenia. Zależności prądu wzbudzenia od prądu twornika, przy stałej wartości napięcia na zaciskach i stałej prędkości obrotowej nazywana jest charakterystyką regulacyjną a ich kształt jest zależny od charakteru obciążenia i pokazany na



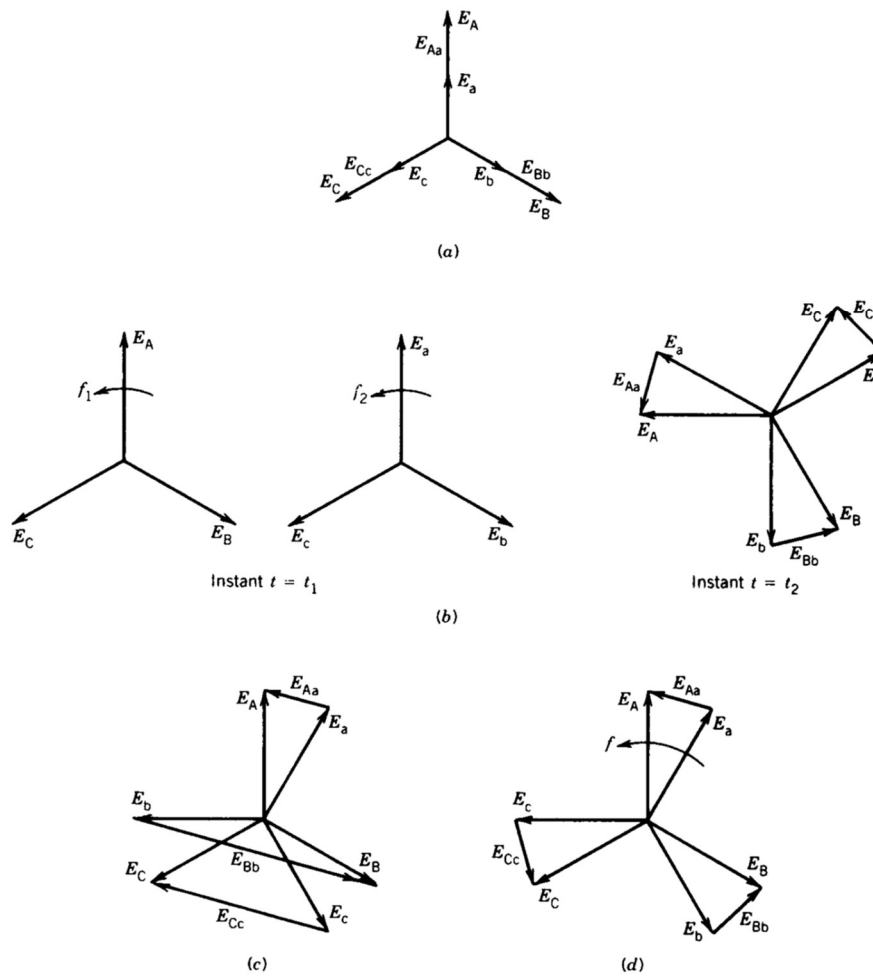
Rys. 2.19. Charakterystyki regulacyjne generatora synchronicznego dla różnych typów obciążeń:
(L) -indukcyjny, (C) - pojemnościowy, (R) rezystancyjny.

Rzeczywisty kształt charakterystyk jest wynikiem zmian wartości indukcyjności, rezystancji lub pojemności. W takim przypadku przy obciążeniu pojemnościowym wartość maksymalna prądu występuje przy impedancji pojemnościowej równej reaktancji synchronicznej (rezonans napięć), a kształt rzeczywistych charakterystyk zewnętrznych pokazano na

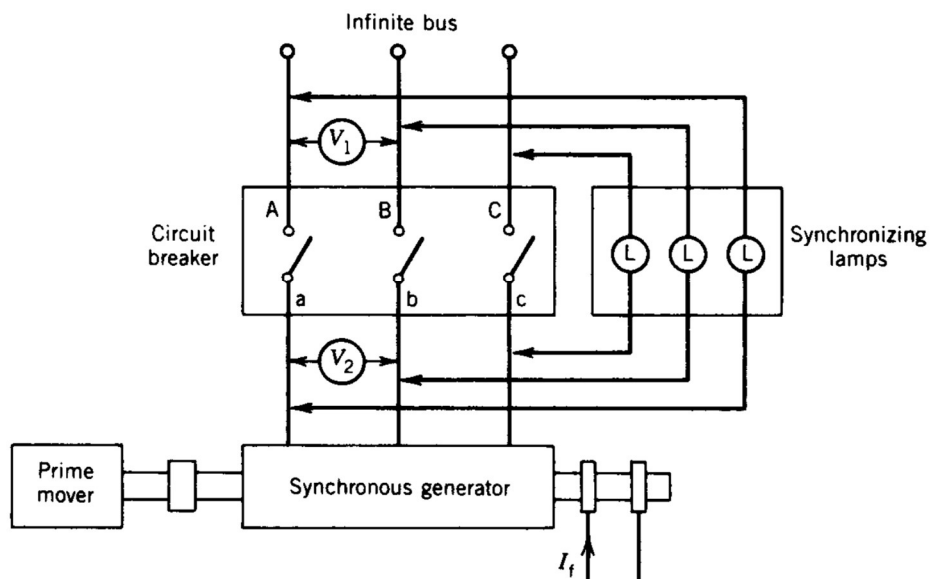


Rys. 2.20. Charakterystyki zewnętrzne generatora synchronicznego dla różnych typów obciążeń:
(L) - indukcyjny, (C) - pojemnościowy, (R) - rezystancyjny.

2.4. Rozruch i synchronizacja generatora z siecią elektroenergetyczną



Rys. 2.21. Synchronizacja generatora synchronicznego z siecią sztywną



Rys. 2.22. Układ połączeń do synchronizacji generatora z siecią