

**Silesian University of Technology**  
**Faculty of Energy and Environmental Engineering**

*Politechnika Śląska*  
*Wydział Inżynierii Środowiska I Energetyki*  
*Instytut Maszyn I Urządzeń Energetycznych*

**Tests on the synchronous generator**  
*Badanie prądnicy synchronicznej*

Electrical laboratory  
*Laboratorium elektryczne*

(E-XVIII)

Developed by / *Opracował*: dr inż. Włodzimierz Ogulewicz

## 1. Aim of exercise / *Cel ćwiczenia*

The aim of this exercise is to determine no-load and short-circuit characteristics of the synchronous three-phase alternating current generator and synchronize it with the power network.

*// Celem ćwiczenia jest wyznaczenie charakterystyk biegu jałowego i zwarcia trójfazowej synchronicznej prądnicy prądu zmiennego oraz jej synchronizacja z siecią elektroenergetyczną*

## 2. Introduction / *Wprowadzenie*

Synchronous machines (generators, motors or compensators) feature a constant, load-independent rotational speed of rotors which is equal to synchronous speed.

$$n = n_s = \text{const.} \quad (1)$$

The synchronous machine rotor is an electromagnet supplied with direct current. Depending on structure, the following types of synchronous machines are distinguished: non-salient-pole machines (round rotor) – Fig. 1.1 – and salient-pole machines – Fig. 1.2. During start-up, the rotational speed is made to reach the value of synchronous speed and the machine is synchronized with the network.

*// Maszyny synchroniczne (prądnice, silniki lub kompensatory) charakteryzują się stałą niezależną od obciążenia i równą prędkości synchronicznej prędkością obrotową wirników:*

$$n = n_s = \text{const.} \quad (1)$$

*Wirnik maszyny synchronicznej stanowi elektromagnes zasilany prądem stałym. W zależności od budowy rozróżnia się maszyny synchroniczne z biegunami utajonymi – rysunek 1.1. lub z biegunami jawnymi – rysunek 1.2. W czasie rozruchu doprowadza się prędkość obrotową wirnika do prędkości synchronicznej i synchronizuje maszynę z siecią.*

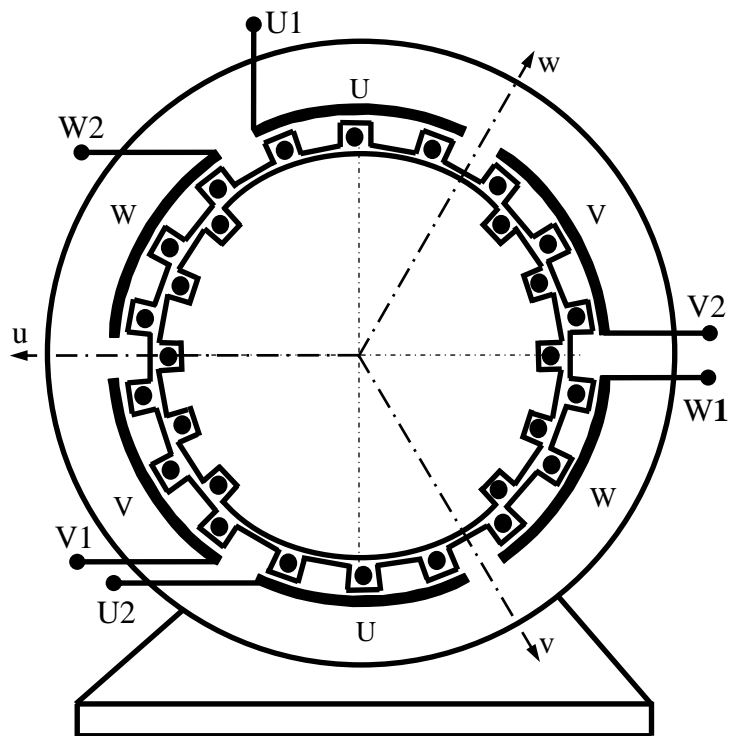


Fig. 1.1. Simplified diagram of a synchronous non-salient-pole machine (round rotor) structure  
 //Rys.1.1. Uproszczony schemat konstrukcyjny maszyny synchronicznej z biegunami utajonymi

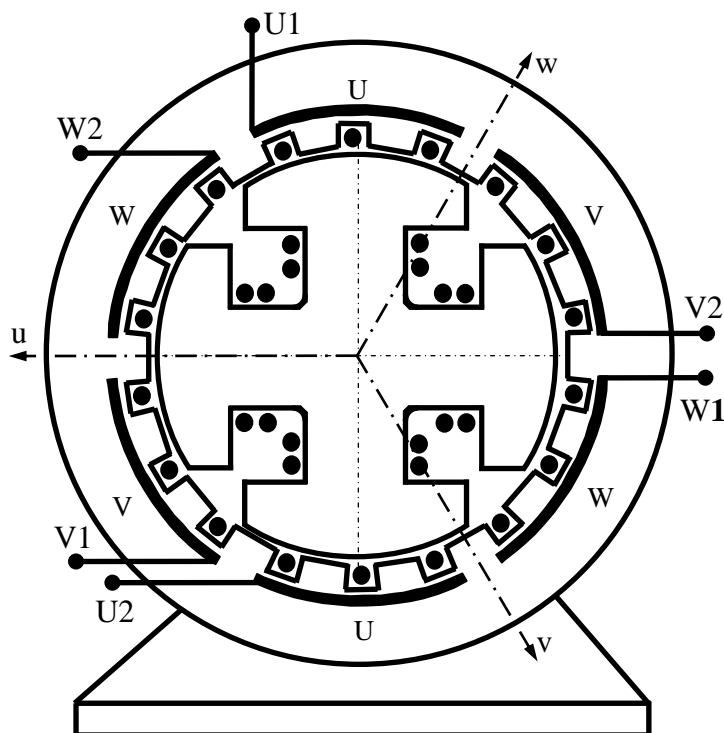


Fig. 1.2. Simplified diagram of a synchronous salient-pole machine structure  
 //Rys.1.2. Uproszczony schemat konstrukcyjny maszyny synchronicznej z biegunami jawnymi

The diagrams in Fig. 1.1 and 1.2 also show the arrangement of the stator three-phase winding (phases U, V, W).

*// Na rysunkach 1.1. i 1.2. przedstawiono także schematycznie rozmieszczenie trójfazowego uzwojenia stojana (fazy U, V, W).*

In **generators**, the machine shaft is driven by a turbine, and the rotor magnetic field (constant in time and rotating in space) induces electromotive forces in the stator stationary windings, making it possible to give electric power to receivers in the network.

In **motors**, the rotor constant magnetic field follows the rotating magnetic field generated by the stator windings, making it possible to give mechanical power on the machine shaft.

Increasing the synchronous motor field winding current (at constant or zero load), a state may be achieved when the motor starts to take capacitive reactive power from the network (i.e. it starts to give inductive reactive power) – a machine operating under such a regime is referred to as a **synchronous compensator**.

*// W **prądnicach** (generatorach) wał maszyny napędzany jest przez turbinę, a pole magnetyczne wirnika (stałe w czasie i wirujące w przestrzeni) indukuje w nieruchomych uzwojeniach stojana siły elektromotoryczne, umożliwiając oddawanie mocy elektrycznej do odbiorników sieci.*

*W **silnikach** stałe pole magnetyczne wirnika podąża za wirującym polem magnetycznym wytwarzanym przez uzwojenia stojana, umożliwiając oddawanie mocy mechanicznej na wale maszyny.*

*Zwiększając prąd wzbudzenia silnika synchronicznego (przy stałym lub zerowym obciążeniu), można doprowadzić do stanu, w którym silnik zacznie pobierać z sieci moc bierną pojemnościową (czyli oddawać moc bierną indukcyjną) – maszyna pracująca w takim reżymie nazywana jest **kompensatorem synchronicznym**.*

## **2.1. Structure and connection system of the synchronous generator / Budowa i układ połączeń prądnicy synchronicznej**

Synchronous alternating current generators are usually built as three-phase machines (only occasionally are they made as small single-phase machines). Typically, the armature winding is located in the stator and the field winding – in the rotor. The field winding is supplied through slip-rings from a direct current generator called exciter, or through the circuit of a semiconductor rectifier placed on the machine

shaft (the alternator circuit). Direct current, flowing through the rotating field winding, produces a magnetic field which is circular relative to the stator. This field induces sinusoidal alternating voltages of the armature with frequency  $f$  [Hz], which depends strictly on the rotor rotational speed  $n$  [rpm].

*// Prądnice synchroniczne prądu zmiennego budowane są zazwyczaj jako trójfazowe (wyjątkowo jako małe maszyny jednofazowe). Uzwojenie twornika umieszczone jest z reguły w stojanie, a uzwojenie wzbudzenia w wirniku. Uzwojenie wzbudzenia zasilane jest przez pierścienie ślizgowe z prądnicy prądu stałego, zwanej wzbudnicą, lub przez układ prostownika półprzewodnikowego umieszczonego w wale maszyny (układ alternatora). Prąd stały, płynący w wirującym uzwojeniu wzbudzenia, wytwarza kołowe względem stojana pole magnetyczne. Pole to powoduje indukowanie sinusoidalnie zmiennych napięć twornika o częstotliwości  $f$  [Hz] ściśle zależnej od prędkości obrotowej wirnika  $n$  [obr/min]*

$$f = \frac{p \cdot n}{60}, \quad (2)$$

where / gdzie::

$p$  – number of pole pairs in the magnetic field / liczba par biegunów pola magnetycznego.

The diagram of the connections of a three-phase synchronous machine operating with a power network and featuring a field winding circuit supplied from an exciter is shown in Fig. 1.3.

*// Schemat połączeń maszyny synchronicznej trójfazowej pracującej z siecią elektroenergetyczną i mającą obwód wzbudzenia zasilany ze wzbudnicy pokazano na rysunku 1.3.*

Synchronous generators seldom operate individually. The majority of them cooperate with each other within the framework of national and frequently international power systems (so-called power grid operation).

*// Prądnice synchroniczne rzadko pracują indywidualnie. Przeważająca większość prądnic współpracuje ze sobą w ramach państwowych, a często międzypaństwowych układów elektroenergetycznych (tzw. praca na sieć sztywną).*

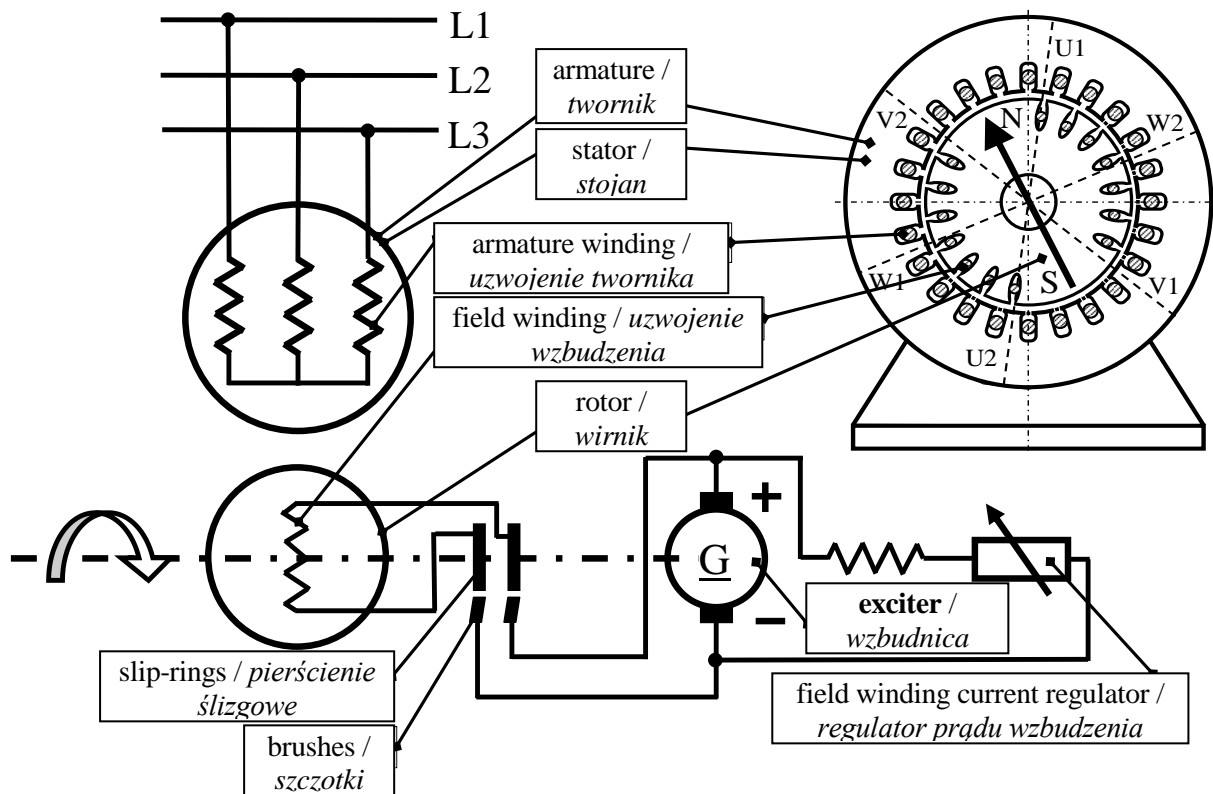


Fig. 1.3. Diagram of a synchronous machine with a field winding circuit supplied from an exciter  
 //Rys.1.3. Schemat maszyny synchronicznej z obwodem wzbudzenia zasilanym przez wzbudnicę

## 2.2. Connecting a generator to the power grid for parallel operation / Przyłączenie prądnicy do pracy równoległej na sieć sztywną

The connection of a synchronous generator to the network is usually carried out through its synchronization. The conditions for the synchronization may be described as follows:

- the phase order of the generator and of the network is identical,
- the rms values of the generator and network voltage are identical,
- the values of the generator and network frequency are identical,
- the generator and network phase angles are consistent with each other.

// Przyłączenie prądnicy synchronicznej do sieci odbywa się przeważnie poprzez jej synchronizację. Warunki synchronizacji można ująć następująco:

- jednakowa kolejność faz prądnicy i sieci,
- jednakowe wartości skuteczne napięć prądnicy i sieci,
- jednakowe częstotliwości napięć prądnicy i sieci,
- zgodność kątów fazowych napięć prądnicy i sieci.

In order to achieve synchronism, rotational speed  $n$  of the driving machine needs to be adjusted, which makes it possible to equalize frequencies. Also the generator field winding current  $I_F$  needs to be adjusted, which makes it possible to equalize rms values of voltage.

*// W celu osiągnięcia stanu synchronizmu należy regulować prędkość obrotową  $n$  maszyny napędzającej, co umożliwi zrównanie częstotliwości. Należy również regulować natężenie prądu wzbudzenia  $I_F$  prądnicy, co umożliwi zrównanie wartości skutecznych napięć.*

After the machine is synchronized and connected to the network, the rotational speed of the set: driving machine – generator does not change any further ( $n = \text{const}$ ). A change in the power output of the driving machine involves a change in active power  $P$  given to the network, and a change in the field winding current causes a change in reactive power  $Q$ .

*// Po przeprowadzeniu synchronizacji i przyłączeniu prądnicy do sieci obrotowy zespół maszyna napędzająca - prądnica nie ulegają dalszym zmianom ( $n = \text{const}$ ). Zmiana mocy maszyny napędzającej powoduje zmianę mocy czynnej  $P$  oddawanej do sieci, a zmiana natężenia prądu wzbudzenia – zmianę mocy biernej  $Q$ .*

An increase in the power output of the driving machine (the turbine) after synchronization results in a rise in the power given to the network; current starts to flow through the armature windings. Current  $I$  flowing through the armature windings produces a magnetic flux in the stator and rotor area; it is referred to as the armature impact flux and adds to the main magnetic flux which (in non-saturated machines) is proportional to field winding current  $I_F$ . A rise in the power supplied to the generator (via the turbine shaft) causes an increase in angle  $\vartheta_L$  between the vector of the electromotive force induced in the armature winding and the vector of voltage  $U$  on the generator terminals (network voltage). Angle  $\vartheta_L$  is called the power angle. An increase in the driving torque (which is equal to a rise in power on the synchronous generator shaft) results in an increase in the power angle. When the value of  $90^\circ$  (for non-salient-pole machines) is exceeded, the generator falls out of synchronism. An abrupt rise in torque on the shaft may also be caused by an emergency shutdown of the generator load, e.g. due to a short-circuit.

*// Zwiększanie po synchronizacji mocy maszyny napędzającej (turbiny) skutkuje wzrostem mocy oddawanej do sieci, w uzwojeniach twornika zaczyna płynąć prąd. Prąd  $I$  płynący w uzwojeniach twornika wytwarza w obrębie stojana i wirnika strumień magnetyczny, tzw. strumień oddziaływania twornika, który sumuje się ze*

*strumieniem głównym proporcjonalnym (w maszynach nienasyconych) do prądu wzbudzenia  $I_F$ . Wzrost mocy doprowadzonej do prądnicy (wałem z turbiny) powoduje wzrost kąta  $\vartheta_L$  pomiędzy wektorem siły elektromotorycznej indukowanej w uzwojeniu twornika a wektorem napięcia  $U$  na zaciskach prądnicy (napięcie sieci). Kąt  $\vartheta_L$  nosi nazwę kąta mocy. Powiększanie momentu napędowego (równoznaczne ze wzrostem mocy na wale prądnicy synchronicznej) powoduje wzrost kąta mocy. Po przekroczeniu wartości  $90^\circ$  (dla maszyn z biegunami utajonymi) prądnica wypada z synchronizmu. Gwałtowny wzrost momentu na wale spowodowany może być również awaryjnym wyłączeniem obciążenia prądnicy, np. w wyniku zwarcia.*

### **2.3. Operating properties of synchronous generators / Własności ruchowe prądnic synchronicznych**

Operating properties of synchronous alternating current generators may be described by means of characteristics which illustrate the relationships between the following quantities: rotational speed  $n$  related to induced voltage frequency  $f$  by dependence (2), field winding current  $I_F$ , generator load current  $I$ , generator voltage  $U$ , active power  $P$ , reactive power  $Q$ , power angle  $\vartheta_L$ , power factor  $\cos\varphi$  and torque  $M$ .

*// Własności ruchowe prądnic prądu zmiennego można określić za pomocą charakterystyk, podających związki pomiędzy następującymi wielkościami: prędkością obrotową  $n$  powiązaną zależnością (2) z częstotliwością napięcia indukowanego  $f$ , prądem wzbudzenia  $I_F$ , prądem obciążenia prądnicy  $I$ , napięciem prądnicy  $U$ , mocą czynną  $P$ , mocą bierną  $Q$ , kątem mocy  $\vartheta_L$ , współczynnikiem mocy  $\cos\varphi$  i momentem  $M$ .*

Generators usually operate at constant (or practically constant) rotational speed ( $n = \text{const}$  ( $f = \text{const}$ )) set from the outside or forced by the power grid. The following characteristics of the generator are distinguished:

- no-load characteristic  $U = U_0 = f(I_F)$  at  $n = \text{const}$ ,
- short-circuit characteristic (symmetric short-circuit)  $I = I_Z = f(I_F)$  at  $n = \text{const}$ ,
- load characteristic  $U = f(I_F)$  at  $I = \text{const}$ ,  $f = \text{const}$ ,  $\cos\varphi = \text{const}$ ; the load characteristic is presented at parametrically variable values of load current  $I$  or power factor  $\cos\varphi$ ,



- external characteristic  $U = f(I)$  at  $I_F = \text{const}$ ,  $f = \text{const}$ ,  $\cos\varphi = \text{const}$ ; the external characteristic is presented at parametrically variable values of field winding current  $I_F$  or power factor  $\cos\varphi$ ,
- regulation characteristic  $I_F = f(I)$  at  $U = \text{const}$ ,  $f = \text{const}$ ,  $\cos\varphi = \text{const}$ ; the regulation characteristic is presented at parametrically variable values of the generator voltage  $U$  or power factor  $\cos\varphi$ ; the regulation characteristic is also shown as dependence  $I_F = f(P)$  at  $U = \text{const}$ ,  $f = \text{const}$ ,  $Q = \text{const}$ ,
- V curves, also known as Mordey curves,  $I = f(I_F)$  at  $U = \text{const}$ ,  $f = \text{const}$ ,  $P = \text{const}$ ; V curves are presented at parametrically variable values of active power  $P$ .
- torque or power angle characteristic  $M = f(\vartheta_L)$ , or  $P = f(\vartheta_L)$  at  $U = \text{const}$ ,  $n = \text{const}$ ,  $I_F = \text{const}$ ; the torque (power) angle characteristic is presented at parametrically variable values of field winding current  $I_F$ .

*// Prądnice pracują z reguły przy stałej (lub praktycznie stałej) prędkości obrotowej zadanej z zewnątrz lub wymuszanej przez „sieć sztywną”,  $n = \text{const}$  ( $f = \text{const}$ ). Rozróżnia się następujące charakterystyki prądnicy:*

- charakterystykę biegu jałowego  $U = U_0 = f(I_F)$  przy  $n = \text{const}$ ,
- charakterystykę zwarcia (zwarcie symetryczne)  $I = I_Z = f(I_F)$  przy  $n = \text{const}$ ,
- charakterystykę obciążenia  $U = f(I_F)$  przy  $I = \text{const}$ ,  $f = \text{const}$ ,  $\cos\varphi = \text{const}$ , charakterystykę obciążenia przedstawia się przy parametrycznie zmiennych wartościach prądu obciążenia  $I$  lub współczynnikach mocy  $\cos\varphi$ ,
- charakterystykę zewnętrzną  $U = f(I)$  przy  $I_F = \text{const}$ ,  $f = \text{const}$ ,  $\cos\varphi = \text{const}$ , charakterystykę zewnętrzną przedstawia się przy parametrycznie zmiennych wartościach prądu wzbudzenia  $I_F$  lub współczynnikach mocy  $\cos\varphi$ ,
- charakterystykę regulacji  $I_F = f(I)$  przy  $U = \text{const}$ ,  $f = \text{const}$ ,  $\cos\varphi = \text{const}$ , charakterystykę regulacji przedstawia się przy parametrycznie zmiennych wartościach napięcia prądnicy  $U$  lub współczynnikach mocy  $\cos\varphi$ , charakterystykę regulacji przedstawia się także jako zależność  $I_F = f(P)$  przy  $U = \text{const}$ ,  $f = \text{const}$ ,  $Q = \text{const}$ ,
- krzywe V, nazywane również krzywymi Mordeya  $I = f(I_F)$  przy  $U = \text{const}$ ,  $f = \text{const}$ ,  $P = \text{const}$ , krzywe V przedstawia się przy parametrycznie zmiennych wartościach mocy czynnej  $P$ ,
- charakterystykę kątową momentu lub mocy  $M = f(\vartheta_L)$ , lub  $P = f(\vartheta_L)$  przy  $U = \text{const}$ ,  $n = \text{const}$ ,  $I_F = \text{const}$ , kątową charakterystykę momentu (mocy)

*przedstawia się przy parametrycznie zmiennych wartościach prądu wzbudzenia  $I_F$ .*

### **3. Laboratory tests and measurements / *Badania i pomiary***

#### **3.1. Determination of measured quantities / *Określenie wielkości mierzonych***

The quantities to be measured are as follows:

- the generator inter-phase voltage, field winding current and the motor shaft rotational speed for the no-load characteristic,
- field winding current and the generator current for the short-circuit characteristic,
- the difference of voltages, frequencies and the phase difference between the generator and network voltages – indications of the synchronizing column and the current, voltage and active power of the generator operating for the power grid.

*// Wielkościami mierzonymi są:*

- *napięcie międzyfazowe prądnicy, natężenie prądu wzbudzenia i prędkość obrotowa wału silnika przy pomiarze charakterystyki biegu jałowego,*
- *natężenia prądu wzbudzenia i prądu prądnicy dla wyznaczenia charakterystyki zwarcia,*
- *różnica napięć, częstotliwości i kąt przesunięcia fazowego między napięciami prądnicy i sieci – wskazania kolumny synchronizacyjnej oraz prąd, napięcie i moc czynna prądnicy pracującej na sieć sztywną.*

#### **3.2. Diagram of the test stand / *Schemat stanowiska***

The measuring stand making it possible to connect a synchronous generator to the power grid for parallel operation and to determine no-load and short-circuit characteristics is presented in Fig. 1.4.

*// Stanowisko pomiarowe umożliwiające przyłączania prądnicy synchronicznej do pracy równoległej na sieć sztywną oraz pozwalające wyznaczać charakterystyki biegu jałowego i zwarcia przedstawiono na rysunku 1.4.*

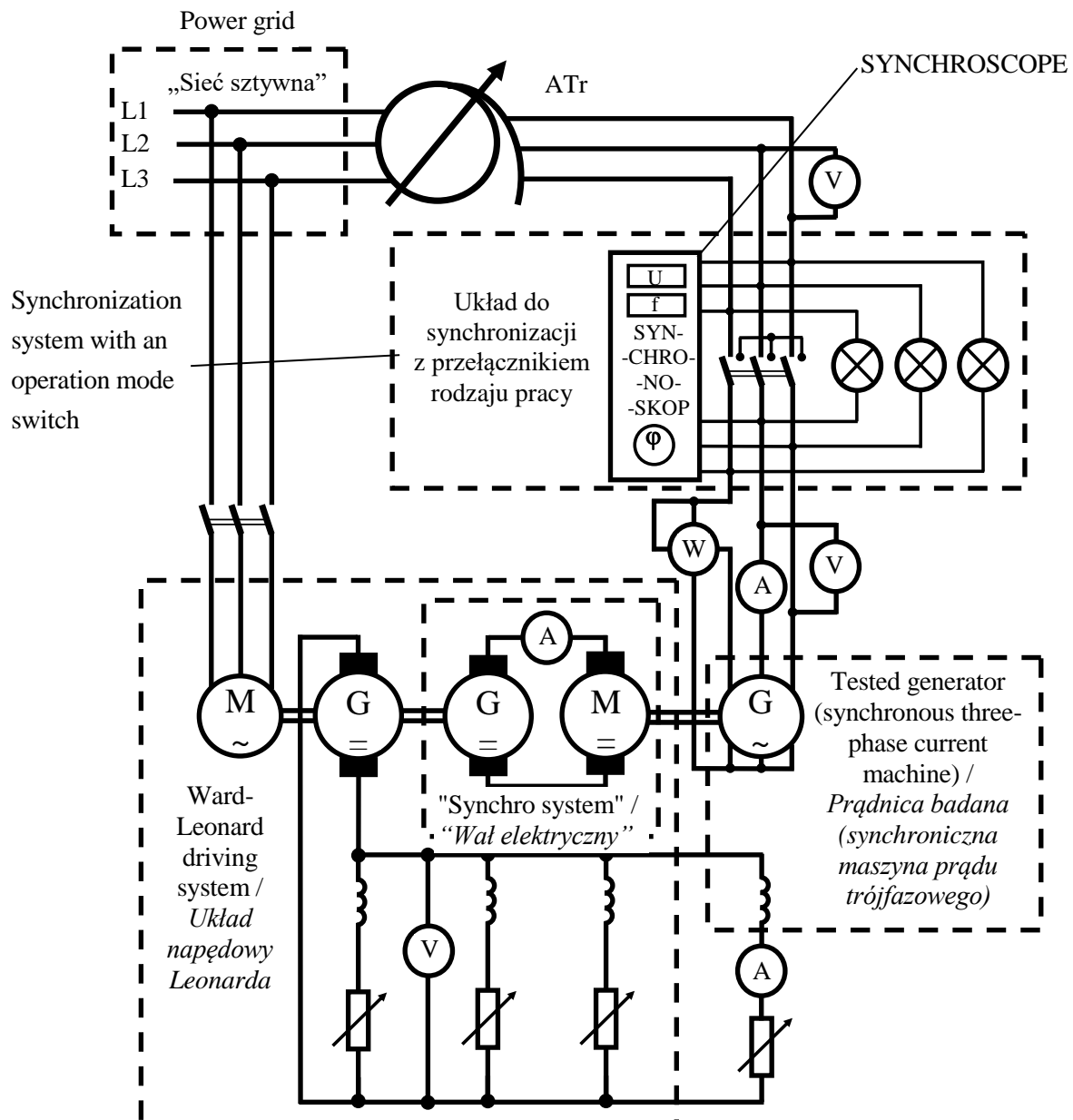


Fig. 1.4. Diagram of the synchronous generator measuring stand  
 // Rys. 1.4. Schemat stanowiska pomiarowego prądnicy synchronicznej

The generator under analysis (a three-phase synchronous machine) is driven by a direct current motor working in the Ward-Leonard system, which ensures the possibility of infinite adjustment of rotational speed in a very wide range. Obtaining changes in the mechanical torque of the direct current driving motor is possible owing to the direct connection of the rotor of this motor to the armature of the supply generator. This connection is referred to as "synchro system". The field winding of the supply generator, the windings of the driving motor and of the tested three-phase generator itself are supplied by an extra self-excited direct current generator called an exciter. The exciter, the supply generator and the induction motor driving them have

one common mechanical shaft. The adjustment of the rotational speed and field winding current of the generator under analysis is ensured by resistors with variable resistance connected to field winding circuits of the mentioned machines.

*// Prądnica badana (trójfazowa maszyna synchroniczna) napędzana jest silnikiem prądu stałego pracującym w układzie Leonarda, który zapewnia możliwość płynnej regulacji prędkości obrotowej w bardzo szerokim zakresie. Uzyskanie zmian momentu mechanicznego silnika napędowego prądu stałego możliwe jest dzięki bezpośredniemu połączeniu wirnika tego silnika z twornikiem prądnicy zasilającej. Połączenie to nazywane jest „wałem elektrycznym”. Uzwojenia wzbudzenia prądnicy zasilającej, silnika napędowego i samej badanej prądnicy trójfazowej zasila dodatkowa samowzbudna prądnica prądu stałego zwana wzbudnicą. Wzbudnica, prądnica zasilająca i napędzający je silnik indukcyjny zasilany z sieci mają jeden wspólnym wał mechaniczny. Regulację prędkości obrotowej i prądu wzbudzenia badanej prądnicy zapewniają rezystory o zmiennej oporności włączone w obwody wzbudzenia wymienionych maszyn.*

### **3.3. Course of exercise / Przebieg ćwiczenia**

1. Read and record the rated data of the synchronous generator under analysis.
2. Turn on the stand and, using the exciter resistor, set an approximate value of rated field voltage (about 100 V).
3. Set synchronous speed of the tested generator shaft (1500 rpm) adjusting currents in the motor field winding circuits (*inversely proportional impact*) and/or in the generator field winding circuits (*directly proportional impact*).
4. Measure the generator no-load characteristic increasing its field winding current from the minimum value to the value at which the generator voltage reaches 120% of the rated voltage (*specific values of currents will be given by the class instructor*).
5. The generator shaft synchronous rotational speed has to be kept constant at each measuring point. Record the values of the measured quantities systematically in the appropriate part of Table 1.1.
6. After the no-load characteristic has been measured, the generator has to be de-energized, i.e. the field winding current has to be lowered to the minimum.
7. Prepare the stand for the measurement of the short-circuit characteristic setting synchronous rotational speed of the generator shaft and switching the armature windings to a symmetrical short-circuit.

8. Measure the generator short-circuit characteristic measuring the short-circuit current at the increase of the field winding current from the minimum value up to, but not higher than, the value reached for the no-load characteristic (*specific values of currents will be given by the class instructor*). There is no need to measure the shaft rotational speed because the short-circuit current is not affected by changes in speed in a very wide range of revolutions.
9. Record the values of the measured quantities systematically in the appropriate part of Table 1.1.

*// 1. Odczytać i zanotować dane znamionowe badanej prądnicy synchronicznej.*

2. *Włączyć stanowisko i rezystorem wzbudnicy ustawić przybliżoną wartość napięcia znamionowego wzbudzenia (ok. 100 V).*
3. *Ustawić prędkość synchroniczną wału prądnicy badanej (1500 obr/min), regulując prądy w obwodach wzbudzenia silnika (wpływ odwrotnie proporcjonalny) i/lub prądnicy prądu stałego (wpływ wprost proporcjonalny).*
4. *Wykonać pomiary charakterystyki biegu jałowego prądnicy zwiększając jej prąd wzbudzenia od wartości minimalnej do wartości, przy której napięcie prądnicy osiągnie 120% wartości napięcia znamionowego (szczegółowe wartości prądów poda prowadzący zajęcia).*
5. *W każdym punkcie pomiarowym należy utrzymać stałą synchroniczną prędkość obrotową wału prądnicy. Wartości wielkości mierzonych należy sukcesywnie notować w odpowiedniej części tabeli 1.1.*
6. *Po wykonaniu pomiarów charakterystyki biegu jałowego należy odwzbudzić prądnicę, tzn. zmniejszyć prąd wzbudzenia do minimum.*
7. *Przygotować stanowisko do wykonania pomiarów charakterystyki zwarcia, ustawiając synchroniczną prędkość obrotową wału prądnicy i przelączając uzwojenia twornika na zwarcie symetryczne.*
8. *Wykonać pomiary charakterystyki zwarcia prądnicy mierząc prąd zwarcia przy wzroście prądu wzbudzenia od wartości minimalnej do wartości nie większej niż maksymalnie osiągniętej dla charakterystyki biegu jałowego (szczegółowe wartości prądów poda prowadzący zajęcia). Nie ma konieczności pomiaru prędkości obrotowej wału, ponieważ prąd zwarcia jest od nich niezależny w bardzo szerokim zakresie obrotów.*

9. Wartości wielkości mierzonych należy sukcesywnie notować w odpowiedniej części tabeli 1.1.

Table / Tabela 1.1

Rated data of the analyzed machine / Dane znamionowe maszyny badanej:							
Item	I <sub>F</sub>	U	n		Item	I <sub>F</sub>	I <sub>Z</sub>
	A	V	rpm			A	A
no-load characteristic / charakterystyka biegu jałowego				short-circuit characteristic / charakterystyka zwarcia			
1.				1			
2.				2			
3.				3			
etc.				etc.			

10. After the short-circuit characteristic has been measured, the generator has to be de-energized.
11. Prepare the stand for the generator to be connected to the power grid for parallel operation (synchronization) increasing, by adjusting the field winding current, the generator voltage value to the network voltage value and setting synchronous rotation of the shaft.
12. For demonstration purposes, carry out synchronization using "rotary lamp" method.
13. Synchronize the machine with the network using a synchronizing column. Analyze the impact of changes in the generator field winding current and in the driving torque on the following values: voltage on the generator terminals, the generator rotational speed, the current and active power given to the network.
14. Before the stand is left, one by one the generator has to be unloaded, desynchronized and deenergized. Switch off the supply and wait until the generator shaft stops.

// 10. Po wykonaniu pomiarów charakterystyki zwarcia należy odwzbudzić prądnice.

11. Przygotować stanowisko do wykonania przyłączenia prądnicy do pracy równoległej na sieć sztywną (synchronizacja) zwiększając, przez regulację prądu wzbudzenia, napięcie prądnicy do wartości napięcia sieci i ustawiając synchroniczne obroty wału.
12. W celach demonstracyjnych dokonać synchronizacji „ze światłem wirującym”.
13. Zsynchronizować maszynę z siecią, wykorzystując kolumnę synchronizacyjną. Zbadać wpływ zmian prądu wzbudzenia prądnicy oraz zmian momentu napędowego na wartość: napięcia na zaciskach prądnicy, prędkości obrotowej prądnicy, natężenia prądu i mocy czynnej oddawanej do sieci.
14. Przed opuszczeniem stanowiska należy kolejno: odciążyć, rozsynchronizować i odwzbudzić prądnicę. Wyłączyć zasilanie i odczekać aż wał prądnicy się zatrzyma.

#### **4. Elaboration on measurement results / *Opracowanie wyników pomiarów***

1. Plot the synchronous generator no-load characteristic  $U = f(I_F)$  (*two curves for the increasing and decreasing values of the field winding current in one chart*).
2. Plot the synchronous generator short-circuit characteristic  $I_Z = f(I_F)$  (*two curves for the increasing and decreasing values of the field winding current in one chart*).
3. Define the impact of changes in the values of the generator field winding current and in the driving torque on the generator shaft on the following values: the generator voltage, the generator revolutions, current intensity, active and reactive power both before and after the generator is synchronized with the power grid (*in writing*).

- // 1. *Wykreślić charakterystykę biegu jałowego prądnicy synchronicznej  $U = f(I_F)$  (dwie krzywe dla wartości prądu wzbudzenia narastającego i malejącego na jednym wykresie).*
2. *Wykreślić charakterystykę zwarcia prądnicy synchronicznej  $I_Z = f(I_F)$  (dwie krzywe dla wartości prądu wzbudzenia narastającego i malejącego na jednym wykresie).*
  3. *Określić wpływ zmian wartości prądu wzbudzenia prądnicy i momentu napędzającego na wale prądnicy na wartości: napięcia prądnicy, obrotów prądnicy, natężenia prądu, mocy czynnej i biernej zarówno przed jak i po synchronizacji prądnicy z siecią sztywną, (konieczna forma pisemna).*

#### **5. Report / *Sprawozdanie***

The report must include:

1. The title page (*exercise name, section number, the last and first names of the students doing the exercise and the exercise date*).
2. Rated data of the synchronous machine under analysis (*power, voltage, current, revolutions, power factor*).
3. Diagram of the measuring system.



4. Tables listing the measurement results together with calculations.
5. Charts for the dependences described in 4.1 and 4.2 above and the conclusions resulting from 4.3.
6. A list of synchronization conditions (*with possible deviations expressed in [%]*).
7. Remarks and conclusions (*concerning the characteristics, their deviations from theoretical characteristics, correctness of the measuring method etc.*).

*// Sprawozdanie powinno zawierać:*

1. *Stronę tytułową (nazwę ćwiczenia, numer sekcji, nazwiska i imiona ćwiczących oraz datę wykonania ćwiczenia).*
2. *Dane znamionowe badanej maszyny synchronicznej (moc, napięcie, prąd, obroty, współczynnik mocy).*
3. *Schemat układu pomiarowego.*
4. *Tabele wyników pomiarowych wraz z obliczeniami.*
5. *Wykresy podanych w punkcie 4.1 i 4.2 zależności i opracowanie podpunktu 4.3.*
6. *Wypisane warunki synchronizacji. (z podaniem w [%] ewentualnych możliwych odstępstw).*
7. *Uwagi i wnioski (dotyczące przebiegu charakterystyk, ich odstępstw od przebiegów teoretycznych, poprawności metody pomiaru itp.).*