

# LABORATORIUM POMIARÓW MASZYN

## GENERATOR I (PM-11)

[www.imiue.polsl.pl/~wwwzmiape](http://www.imiue.polsl.pl/~wwwzmiape)

Opracował: Dr inż. Jan Około-Kułąk  
Sprawdził: Dr inż. Tadeusz Wojakowski  
Zatwierdził: Dr hab. inż. Janusz Kotowicz

## 1. Cel ćwiczenia.

Celem ćwiczenia jest poznanie budowy, właściwości i opisów charakterystyk generatorów synchronicznych.

## 2. Wprowadzenie.

### 2.1 Podział generatorów ze względu na budowę wirnika.

Wirniki generatorów synchronicznych stosowanych w energetyce to:

-wirniki cylindryczne zwane też wirnikami z biegunami utajonymi (posiadające jedną lub dwie pary biegunów)

-wirniki z biegunami jawnymi zwane też wirnikami z biegunami wydatnymi (posiadające dwie lub więcej par biegunów)

Generatory wyposażone w wirniki cylindryczne najczęściej napędzane są turbinami parowymi i nazywane są *turbogeneratorami*.

Generatory z biegunami jawnymi najczęściej współpracują z turbinami wodnymi i nazywane są *hydrogeneratorami*.

Wzór na prędkość obrotową wirnika generatora synchronicznego  $n$  wyrażoną w

obrotach na minutę:  $n = \frac{f \cdot 60}{p}$  gdzie „ $f$ ” częstotliwość w [Hz] a „ $p$ ” liczba par

biegunów wirnika.

### 2.2 Włączanie generatora do sieci.

Przed zamknięciem wyłącznika łączącego generator z siecią przeprowadza się synchronizację. Synchronizacja może być realizowana: automatycznie, półautomatycznie lub ręcznie. O jakości synchronizacji decyduje spełnienie trzech warunków zgodności pomiędzy napięciami generatora i sieci:

-wartości skutecznej ( $U_G=U_S$ ) [dopuszczalne niezgodności 2% do 3%]

-częstotliwości ( $f_G=f_S$ ) [dopuszczalna niezgodność 0,1% ]

-fazy ( $\nu=0$  brak przesunięcia fazowego pomiędzy napięciami generatora i sieci) [dopuszczalne niezgodności 2% do 3%]

Jest jeszcze czwarty warunek, który musi być spełniony zawsze ale sprawdzany jest tylko przed pierwszym włączeniem generatora do sieci:

-zgodna kolejność faz (po zamknięciu wyłącznika pola wirujące wytworzone w tworniku generatora przez napięcie sieci i pole wytworzone przez wirujący wirnik muszą obracać się w tym samym kierunku).

-W synchronizacji ręcznej poprzez regulację prądu wzbudzenia i prędkości turbiny trzy pierwsze warunki spełniamy ręcznie, ręcznie (obserwując wskazania kolumny synchronizacyjnej) włączamy też wyłącznik.

-W synchronizacji półautomatycznej jest podobnie tylko wyłącznik zamyka się automatycznie

-W synchronizacji automatycznej wszystko odbywa się automatycznie.

Czwarty warunek jest realizowany przez ekipy montażowe przed pierwszym włączeniem generatora do sieci.

-Synchronizacją dokładną nazywamy precyzyjne spełnienie trzech pierwszych warunków przed zamknięciem wyłącznika.

-Synchronizacjami: zgrubną, pośpieszną, oraz niedokładną nazywamy przybliżone spełnienie tych warunków przed zamknięciem wyłącznika (można je stosować tylko za zgodą producenta generatora).

-Samosynchronizacją nazywamy włączenie niewzbudzonego wirującego z prędkością synchroniczną generatora do sieci, który po włączeniu wzbudzenia zostaje wciągnięty do pracy synchronicznej (można ją stosować tylko za zgodą producenta generatora).

Obecnie najczęściej stosowana jest synchronizacja automatyczna.

### **2.3. Kolumna synchronizacyjna.**

Kolumną synchronizacyjną nazywamy zestaw przyrządów pozwalających przeprowadzić synchronizację dokładną. Kolumna składa się najczęściej z: dwóch woltomierzy sieciowego i generatora (lub jednego mierzącego różnicę tych napięć), dwóch częstotliwościomierzy sieciowego i generatora (lub jednego mierzącego różnicę częstotliwości) i synchronoskopu pozwalającego na określenie kąta przesunięcia fazowego pomiędzy napięciem sieci i generatora.

### **2.4. Rodzaje współpracy generatora z siecią:**

Ze względu na wartość znamionową mocy generatora i mocy pozostałych generatorów pracujących w sieci wyróżniamy trzy przypadki współpracy generatora z siecią:

-Praca na sieć sztywną, gdy moc generatora jest znacznie mniejsza od mocy sieci:  $P_G \ll P_S$ .

-Praca na sieć elastyczną gdy te moce są porównywalne:  $P_G \approx P_S$ .

-Praca samotna gdy moc generatora jest znacznie większa od mocy sieci:  $P_G \gg P_S$ .  
Przypadek pierwszy występuje najczęściej, wtedy częstotliwość i napięcie w sieci w znikomym stopniu zależą od mocy turbiny i prądu wzbudzenia naszego generatora.

### **2.4. Straty występujące w generatorze.**

Nie cała moc czynna dostarczana przez wał z turbiny do generatora jest oddawana do odbiorców. Straty (równe różnicy tych mocy) dzielimy na:

- Straty obciążeniowe proporcjonalne (w przybliżeniu) do kwadratu prądu oddawanego do odbiorców
- Straty jałowe proporcjonalne (w przybliżeniu) do kwadratu napięcia generatora.
- Straty wzbudzenia równe mocy traconej w obwodzie wzbudzenia (prądnicą synchroniczną z wirującymi prostownikami, prądnice prądu stałego lub prostowniki statyczne).
- Straty mechaniczne równe mocy traconej na tarcie [w łożyskach, wirnika o gaz wypełniającego generator (powietrze lub wodór) i szczotek o pierścieniu (jeśli takie występują) ], do strat mechanicznych zalicza się też moc zużyta na chłodzenie i smarowanie generatora (pomp wodnych i olejowych oraz wentylatorów powietrza i wodoru).

### 2.5. Sprawność generatora.

Sprawność generatorów synchronicznych należy do przedziału:  $\eta \in (96\% \div 99\%)$   
 Przebieg sprawności w funkcji prądu obciążenia:  $\eta = f(I_G)$  ma charakterystyczny przebieg wzrastająco – opadający, najczęściej generator zaprojektowany jest tak, że prąd przyjmuje wartość znamionową w miejscu gdzie krzywa sprawności zaczyna opadać, co oznacza że praca dla:  $I_G > I_N$  jest nie tylko szkodliwa ale również nieekonomiczna.

### 2.6. Podstawowe pomiary elektryczne generatorów.

- Charakterystyka biegu jałowego: zdejmowana przy obracającym się z prędkością znamionową generatorze:  $n = n_N$  odłączonym od sieci. Charakterystyka ta ilustruje zależność napięcia na zaciskach twornika od prądu wzbudzenia:  $U_G = f(I_W)$
  - Charakterystyka zwarcia: zdejmowana przy prędkości wirowania generatora bliskiej prędkości znamionowej:  $n \approx n_N$ . Twornik generatora jest odłączony od sieci i zwarty:  $I_G = f(I_W)$ .
  - Pomiar izolacji wirnika i twornika generatora.
  - Pomiar oporności uzwojeń wirnika i twornika generatora.
- W czasie postoju i ruchu generator jest poddawany wielu innym pomiarom.

### 2.7. Uproszczony schemat zastępczy jednej fazy twornika.

Przyjmując że oporność uzwojeń twornika jest pomijalnie mała:  $R = 0$  otrzymujemy schemat składający się z:  $E_W$  – siły elektromotorycznej proporcjonalnej (w maszynie nienasyconej) do prądu wzbudzenia.  $X_{ad}$  – reaktancji reprezentującej oddziaływanie obciążonego prądem odbiorców twornika.  $X_s$  – reaktancji reprezentującej rozproszenie (suma tych reaktancji nazywana jest reaktancją synchroniczną:  $X_d = X_{ad} + X_d$ ). Wszystkie te elementy połączone są szeregowo. Suma wektorów napięć  $E_W$  oraz  $I_G * X_d$  jest równa napięciu  $U_G$  na zaciskach generatora. Kąt  $\nu$  pomiędzy:  $E_W$  i  $U_G$  nazywa się

kątem mocy, a kosinus kąta  $\varphi$  pomiędzy prądem twornika  $I_G$  i napięciem na zaciskach twornika  $U_G$  nazywa się współczynnikiem mocy.

### 2.8. Charakterystyka kątowa generatora.

Charakterystyka ta ilustruje zmianę mocy czynnej  $P$  oddawanej przez generator do sieci w funkcji kąta mocy:  $\nu$  zawartego pomiędzy wektorem siły elektromotorycznej wzbudzenia:  $E_w$  i wektorem napięcia na zaciskach twornika:  $U_G$ . Dla generatorów z wirnikiem cylindrycznym ma ona postać sinusoidy w przedziale od 0 radianów do  $\pi$  radianów. Amplituda tej sinusoidy jest tym większa im większy jest prąd wzbudzenia.

$$P = m \cdot \frac{U_G \cdot E_w}{X_d} \cdot \sin \nu$$

### 2.9. Rozbieganie się generatora.

Są trzy sytuacje w których generatorowi grozi rozbiegnięcie:

- przerwa w obwodzie wzbudzenia,
  - zwiększenie kąta mocy  $\nu$  powyżej  $90^\circ$  ( $\pi/2$  rad), [typowo  $\nu \in (30^\circ \div 40^\circ)$ ]
  - odłączenie obciążonego generatora od sieci,
- pierwsze dwa przypadki są z uwagi na pojawiający się moment hamujący asynchroniczny mniej groźne, trzeci przypadek jest groźny i jeśli nie zadziałają prędkościowe zabezpieczenia turbiny i częstotliwościowe generatora może doprowadzić do rozbiegnięcia się turbozespołu i zniszczenia generatora i turbiny.

### 2.10. Dane znamionowe generatora.

$U_N=400/440$  [V]-----znamionowe napięcie twornika

$I_N=1170/1070$  [A]-----znamionowy prąd twornika

$S_N=812$  [kVA]-----moc znamionowa

$n_N=1500$  [obr/minutę]-----prędkość znamionowa

$f=50$ [Hz]-----częstotliwość znamionowa

$\cos\varphi_N=0,8$ -----znamionowy współczynnik mocy

$U_w=46$ [V]-----napięcie wzbudzenia

$I_w=210$  [A]-----prąd wzbudzenia

## 3. Badania i pomiary; 4. Opracowanie wyników pomiarów; 5. Sprawozdanie.

są opisane w ćwiczeniu: GENERATOR II (PM-12)

### LITERATURA:

„Maszyny elektryczne w pytaniach i odpowiedziach” W. Latek

„Turbogeneratory” W. Latek

„Maszyny elektryczne” A. Plamitzer