

# Badanie układów regulacji generatorów

## 1.1 Zakres pracy generatora

Układ regulacji generatora ma zapewnić korzystne warunki ruchowe w stanach normalnych i zakłóceńowych całemu układowi składającemu się z generatora, źródła wzbudzenia i regulatorów.

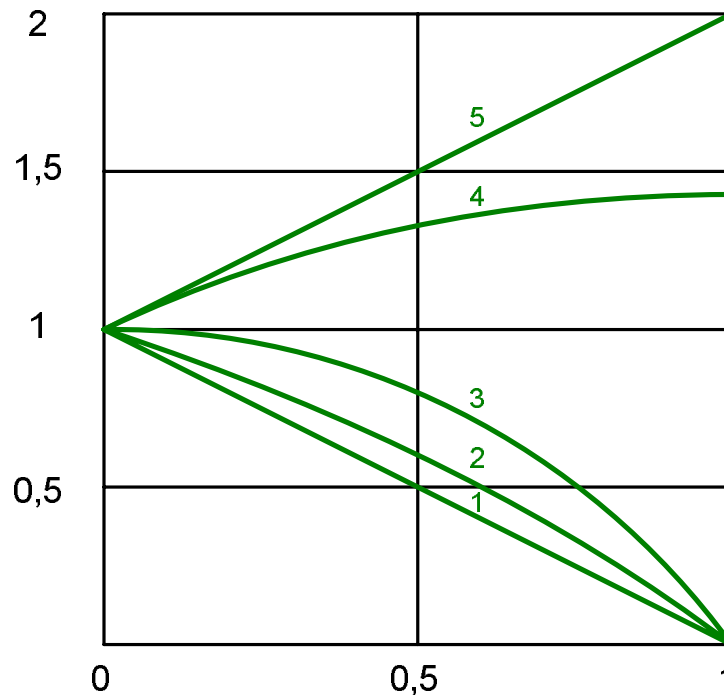
Jeżeli wielkością regulowaną jest wyłącznie napięcie generatora to mówimy o regulatorze napięcia generatora. Jeżeli w dopuszczalnym obszarze pracy generatora wielkością regulowaną jest napięcie, a na granicach tego obszaru inne wielkości (prąd stojana, prąd wzbudzenia, kąt obciążenia), to mówimy o wieloparametrowym regulatorze generatora, czasem o regulatorze wzbudzenia. Jeżeli regulacja jest uzależniona od pochodnych wielkości zewnętrznych  $\frac{dU}{dt}$ ,  $\frac{dI}{dt}$ ,  $\frac{d\delta}{dt}$ , to regulator taki nazywamy regulatorem wzbudzenia o silnym działaniu.

Do podstawowych zadań układów regulacji wzbudzenia generatorów należy:

- utrzymanie wartości napięcia na zaciskach generatorów w zadanych wąskich granicach,
- zapewnienie proporcjonalnego rozdziału mocy biernej między generatory współpracujące równolegle w elektrowni,
- kompensowanie spadków napięć w liniach przesyłowych.
- Szybkie doprowadzenie napięcia generatora od wartości początkowej do wartości zadanej w stanach nieustalonych, tj. zapewnienie odpowiedniego pułapu wzbudzenia o dużej stromości narastania napięcia (forsowanie wzbudzenia),
- poprawienie warunków równowagi pracy równoległej generatorów przy nierozbudzeniu, poślizgach lub podczas resynchronizacji. Aby spełnić powyższe zadania, układy regulacji wzbudzenia muszą wykazywać stabilność działania w całym zakresie pracy regulatora.

## 1.2 Podstawowe pojęcia charakteryzujące układ regulacji

Naturalne charakterystyki napięciowe generatorów synchronicznych podają zależność na zaciskach generatora od prądu obciążenia, przy stałej wartości wzbudzenia, równej wzbudzeniu przy biegu jałowym generatora. Przykładowe charakterystyki naturalne przedstawiono na rys. 1.1. Wskazują one na dużą zmienność napięcia w funkcji prądu obciążenia. Korzystniejsze właściwości samoregulacji napięcia w funkcji prądu obciążenia. Korzystniejsze właściwości samoregulacji napięcia mniejszą zmienność napięcia wykazują generatory o mniejszej reaktancji synchronicznej  $X_d$ .



**Rys. 1 Naturalna charakterystyki napięciowe generatora synchronicznego ( $X_d=1$ ) dla różnych rodzajów obciążenia: 1 -  $\cos\varphi_{ind}=0$ ; 2 -  $\cos\varphi_{ind}=0,5$ ; 3 -  $\cos\varphi_{ind}=0,8$ ; 4 -  $\cos\varphi_{poj}=0,5$ ; 5 -  $\cos\varphi_{poj}=0$**

Pułap napięcia wzbudzenia określa stosunek maksymalnego napięcia wzbudzenia do napięcia znamionowego wzbudnicy (współczynnik forsowania) wyznaczając zdolność przesterowania napięcia wzbudzenia „w górę”. Dla turbo generatorów wynosi on 1,6-2,0 a dla hydrogeneratorów wymaga się 1,4-4,0.

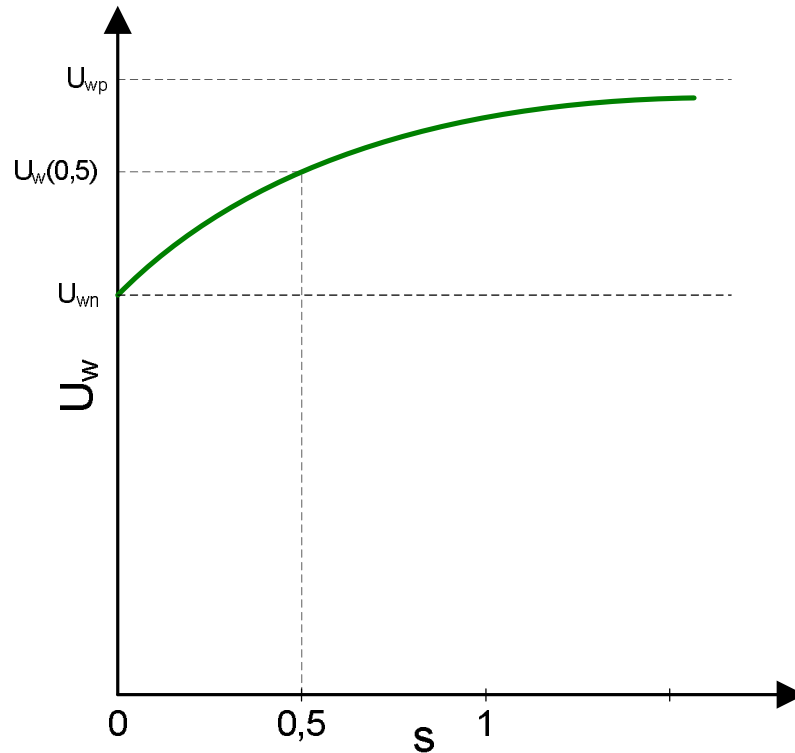
Ustalenie pułapu napięciowego jest uwarunkowane niemożnością zwiększenia prądu wzbudzenia ze względu na moc wymiarową wzbudnicy i nasycenie obwodu magnetycznego. Definiuje się także pułap prądu wzbudzenia. Zależy on od pułapu napięcia, jest zazwyczaj mniejszy i ograniczony nagrzewaniem się uzwojeń wzbudzenia

Stromość narastania napięcia wzbudzenia określa pochodna:

$$\left. \frac{dU_w}{dt} \right|_{t=0} \quad (1)$$

Która określa się średnią stromość narastania napięcia wzbudzenia w czasie 0,5s po skokowym obniżeniu napięcia na wejściu członu pomiarowego regulatora przy znamionowych warunkach początkowych. Można ją wyznaczyć ze wzoru:

$$\left( \frac{dU_w(t)}{dt} \right) \Big|_t = \frac{U_w(t) - U_{wn}}{0,5U_{wn}} \quad (2)$$



Rys. 2 Narastanie napięcia wzbudzenia i określenie średniej szybkości narastania wzbudzenia

$$\left( \frac{\Delta U_w}{\Delta t} \right)_{0,5} = \frac{8}{U_{wn}} \int_0^{0,5} (U_w - U_{wn}) dt \quad (3)$$

Interpretację graficzną podano na rys.2.

Stromość narastania napięcia wzbudzenia jest wprost proporcjonalna do pułapu napięcia i odwrotnie proporcjonalna do elektromagnetycznej stałej czasowej obwodu wzbudzenia wzbudnicy  $T_w$ . Wymaga się aby stromość narastania napięcia wzbudzenia była większa od  $2 \text{ s}^{-1}$ .

Dobrość źródła wzbudzenia jest definiowana wzorem

$$D_w = \frac{K_w}{T_e} \quad (4)$$

W którym  $K_w$  – współczynnik mocowego wzmocnienia w układzie wzbudzenia wzbudnicy. Aby zapewnić ścisłą powtarzalność procesu szybkiego narastania napięcia wzbudzenia w różnych warunkach eksploatacyjnych, stosunek ten powinien być jak największy. W celu zwiększenia dobroci należy dążyć do dużego wykorzystania obwodu elektrycznego przy słabym wykorzystaniu obwodu magnetycznego, wzbudnice muszą być zatem przewymiarowane

### Statyzm napięcia, współczynnik statyki regulacji

Nachylenie charakterystyki  $U = f(I_0)$  do osi odciętych ( $I_0$ ) nazywamy współczynnikiem statyzmu układu regulacji, wyraża się wzorem

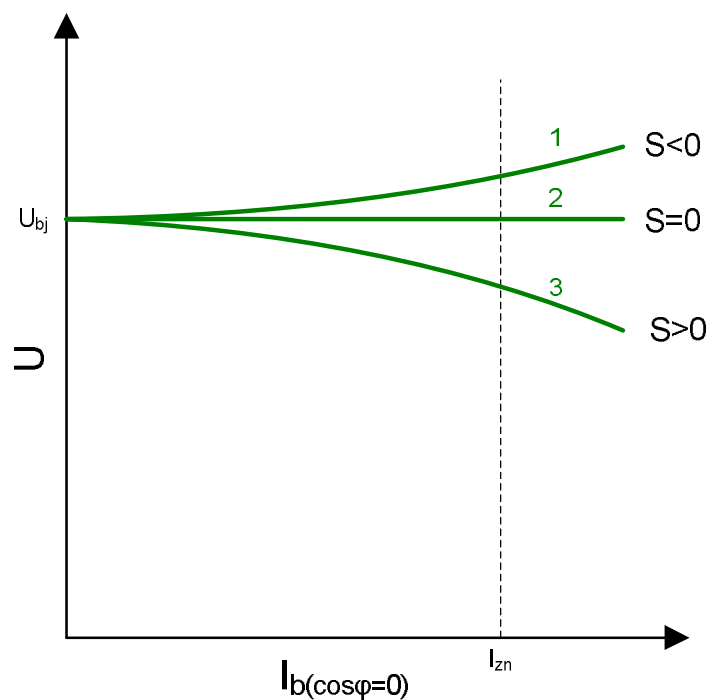
$$P = \frac{\partial U}{\partial I} \text{ przy } f = \text{const} \quad (5)$$

I wynosi zwykle 3 – 6%.

Współczynnik statyki  $s$  jest to w wyrażony w procentach stosunek zmiany napięcia  $\Delta U$ , przy zmianie obciążenia w zakresie od biegu jałowego do obciążenia znamionowego przy  $\cos\varphi_{ind} = 0$ , do wartości napięcia przy biegu jałowym  $U_{bj} = 0$ .

$$s = \frac{U_{bj} - U_{I_{zn}}}{U_{bj}} 100\% \quad (6)$$

Na rysunku 3 przedstawiono charakterystyki generatorów wyposażonych w regulator. Gdy  $s = 0$  mówimy o charakterystyce astatycznej, gdy  $s > 0$  o charakterystyce statycznej, natomiast jeśli  $s < 0$  – charakterystyce antystatycznej.



**Rys. 3 Charakterystyki  $U = f(I_b)$  regulatora napięcia: 1 – antystatyczna ( $s < 0$ ), 2 – astatyczna ( $s = 0$ ), 3 – statyczna ( $s > 0$ )**

Warunkiem koniecznym do zapewnienia stabilnej pracy równoległej generatorów jest ( $s > 0$ ). Współczynnik statyki powinien być mały (aby uniknąć dużych zmian napięcia przy zmianach prądu biernego) i jednakowy dla współpracujących równolegle generatorów (aby obciążenie ich mocą bierną było równomierne).

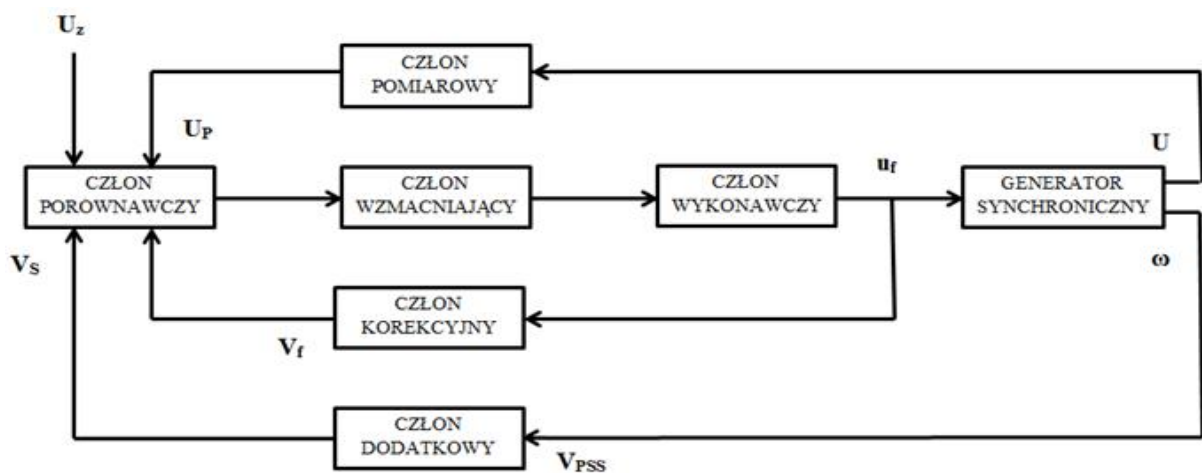
Dokładność regulacji określa wzór

$$\delta U = \frac{U_g - U_{gz}}{U_{gz}} 100\% \quad (7)$$

W którym  $U_{gz}$  – zadana wartość napięcia. Dokładność regulacji powinna spełniać warunek  $\delta U \leq 0,5 - 1\%$ .

### 1.3 Ogólna budowa regulatorów wzbudzenia

Układy regulacyjne są dobierane indywidualnie i w zależności od rozwiązania konstrukcyjnego i przeznaczenia mniej lub bardziej złożone. Zawsze jednak składają się z podstawowych członów przedstawionych poniżej:



Rys. 2 Schemat blokowy układu

Człon porównawczy – porównuje wartość zadanych parametrów z parametrami z członów pomiarowych i na tej podstawie podejmuje generuje sygnał sterujący.

Człon wzmacniający – wzmacnia sygnał z członu porównawczego. Stosuje się rozwiązania elektromechaniczne, hydrauliczne, magnetyczne, maszynowe i półprzewodnikowe.

Człon korekcyjny – stabilizuje regulację napięcia, eliminuje kołysania wielkości regulowanych. Stosuje korekcyjne wykonuje się jako elektromechaniczne lub elektryczne.

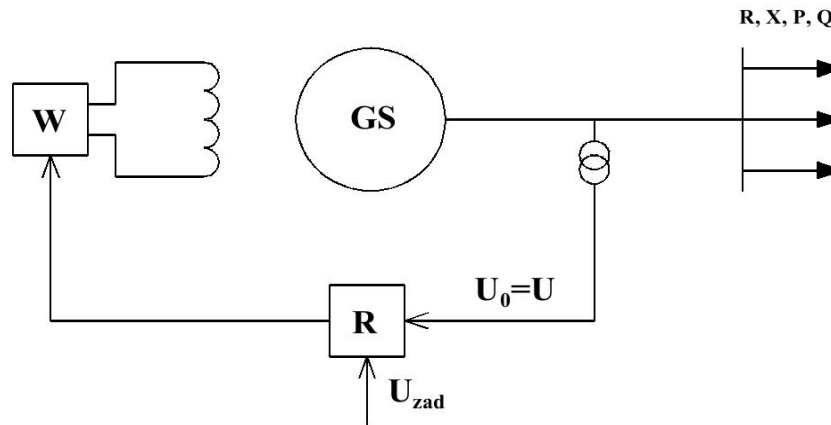
Człon wykonawczy – czyli wzbudnica, bezpośrednio wpływa na wartość napięcia generatora. Stosuje się wzbudnice maszynowe (na prąd zmienny i stały) i statyczne.

Człon dodatkowy – dostarcza dodatkowe sygnały sterujące uzależniające uchyb regulacji od zmiany mocy lub prędkości obrotowej.

Człon pomiarowy – dostarcza sygnał sterujący opisujący poziom napięcia na zaciskach generatora

## 1.4 Rodzaje regulatorów

Pierwszym rodzajem regulatorów są urządzenia których jedyną wartością regulowaną jest napięcie na zaciskach generatora. Mówimy wówczas o regulatorze napięcia generatora. Taki układ można zastosować np. w przypadku gdy generator zasila niezbyt odległe odbiory.



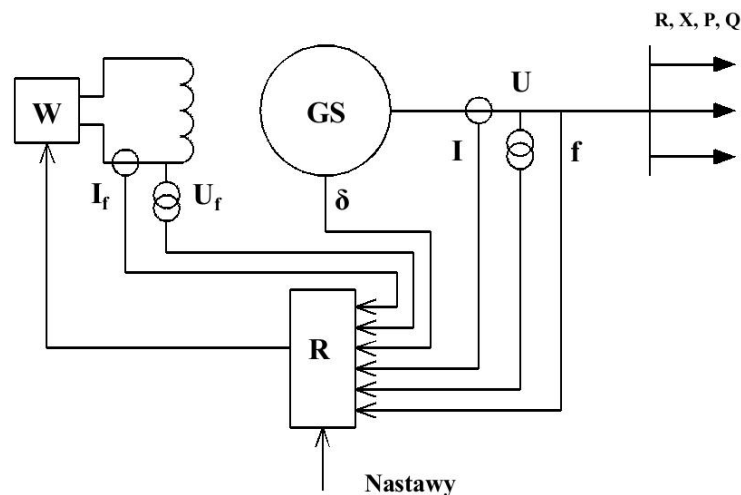
Rys. 3 Regulator napięcia

Napięcie widziane przez regulator opisuje zależność

$$U_0 = U + RI + XI \quad (6)$$

Uproszczony sposób pracy regulatora napięcia niesie ze sobą pewne zagrożenia. Rozważmy przykład obniżenia napięcia generatora np. w skutek zwarcia. Ponieważ regulator nie ma informacji na temat prądu generatora będzie intensywnie podwyższał napięcie wzbudzenia co w konsekwencji doprowadzi do uszkodzenia układu prostowniczego lub/i uzwojenia wzbudzenia generatora.

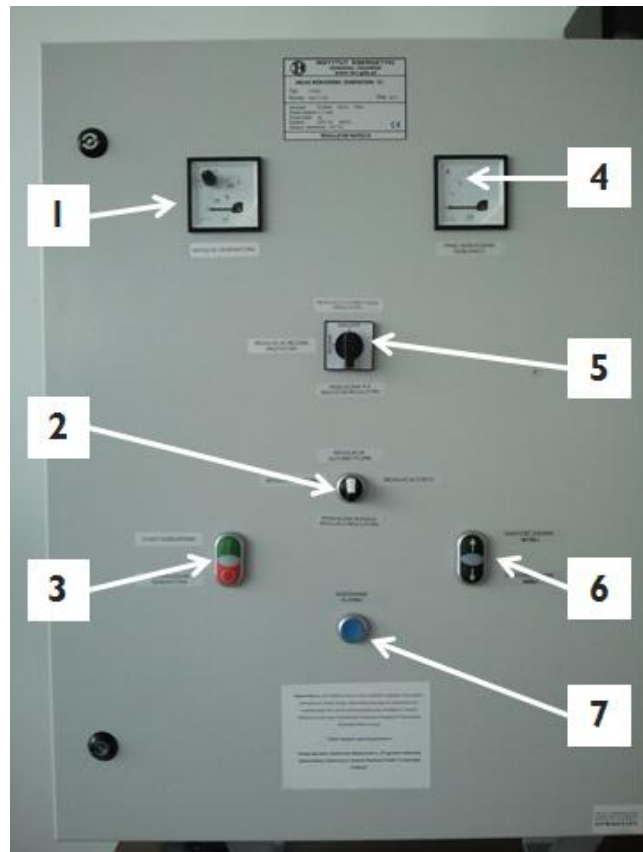
Drugim rodzajem regulatorów są tak zwane regulatory wieloparametrowe które uwzględniają szczegółowo dopuszczalny obszar pracy generatora. Urządzenia te na bieżąco otrzymują parametry związane z pracą generatora: napięcie, prąd i kąt generatora, częstotliwość, napięcie i prąd wzbudzenia.



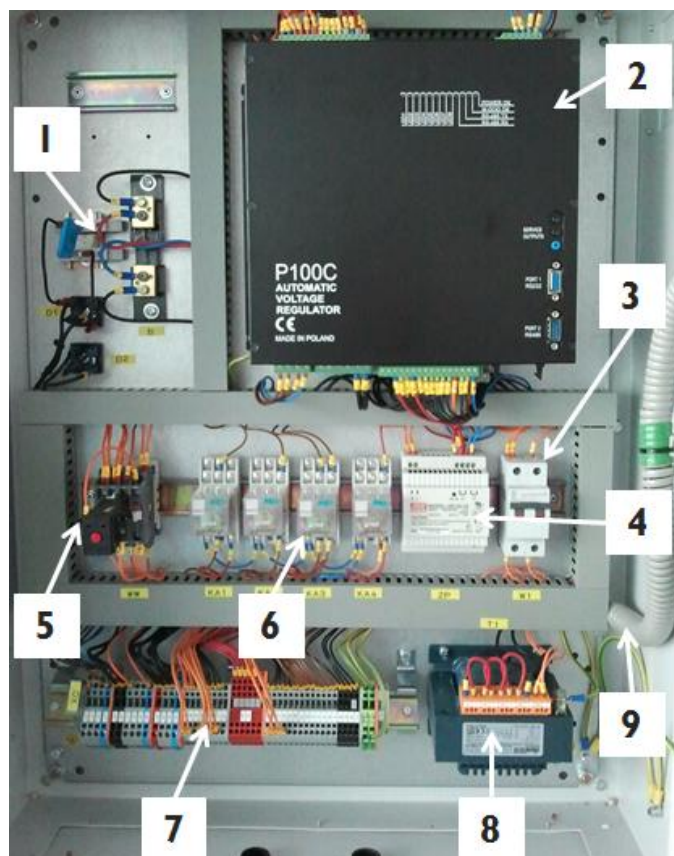
Rys. 4 Regulator wieloparametrowy

## 1.5 Budowa regulatora P100C

Układ wzbudzenia i regulacji napięcia P100C jest zaawansowanym technologicznie urządzeniem służącym do wzbudzania i regulacji napięcia generatorów synchronicznych. Regulacji napięcia generatora synchronicznego dokonuje się poprzez regulację prądu wzbudzenia wzbudnicy. Podzespołem, który realizuje regulację tego prądu jest prostownik tyrystorowy lub klucz tranzystorowy. Prostownik tyrystorowy wzbudzenia jest zbudowany z sześciu tyrystorów mocy i zapewnia ciągły prąd wzbudzenia do wartości 25A, a chwilowy, 10-sekundowy prąd – do 50A.



Rys. 5.2 Płyta frontowa regulatora; 1-wskaźnik poziomu napięcia, 2-przełącznik trybu pracy automatycznej, 3-zal./wyl. Wzbudzenia, 4-wskaźnik prądu wzbudzenia, 5-przełącznik trybu pracy – automatyczna/ręczna, 6-ręczna zmiana wartości wzbudzenia, 7-kasowanie alarmu



Rys. 5.3 Wnętrze regulatora; 1-warystor z diodą za prostownikiem, 2-regulator P100C, 3-wyłącznik instalacyjny od strony zasilania urządzenia, 4-zasilacz regulatora P100C, 5-stycznik załączający regulację wzbudzenia, 6-zespół przekaźników wykorzystywanych przez urządzenie, 7-listwa zaciskowa, 8-transformator zasilający, 9-wyprowadzenie przewodów do przyrządów na frontowym panelu.

## 1.6 Uruchamianie regulatora

Urządzenie może pracować w 2 trybach – automatycznym i ręcznym. Aby uruchomić tryb automatyczny należy, ustawić pokrętko oznaczone 5 na rys. 5.2 na „Regulacja automatyczna (Regulator)” po czym wcisnąć zielony przycisk oznaczony 3 na rys. 5.2. Gdy chcemy przełączyć tryb na pracę ręczną należy najpierw wyłączyć wzbudzenie – czerwony przycisk oznaczony 3 na rys. 5.2, następnie pokrętkę 5 wybrać „Praca ręczna (Rezystor)” po czym włączyć wzbudzenie zielonym przyciskiem. W przypadku gdy przełączenie nastąpi bez wyłączenia wzbudzenia wystąpi udar napięciowy który przy dłuższej eksploatacji może doprowadzić do przebicia izolacji i uszkodzenia generatora.