

## Układ wytwarzania energii elektrycznej

Przedmiotem wynalazku jest układ wytwarzania energii elektrycznej o małych stratach energii.

Znany jest układ wytwarzania energii elektrycznej w postaci generatora synchronicznego z uzwojonym wirnikiem i ze wzbudzeniem obcym, podstawowym przetwornikiem energii mechanicznej na elektryczną. Generator ten składa się z uzwojenia wzbudzenia umieszczonego w wirniku oraz z trójfazowego uzwojenia stojana. Prąd uzwojenia wzbudzenia jest regulowany za pomocą układu wzbudzenia, a uzwojenie stojana połączone jest z odbiornikiem. Generator jest napędzany silnikiem dostarczającym moc czynną.

Generator ten jest źródłem mocy czynnej i biernej, oraz pełni rolę źródła napięcia przemiennego wytwarzającego standardowe napięcie np. 50 lub 60 Hz. Regulacja mocy biernej generatora, pracującego w systemie elektroenergetycznym odbywa się poprzez zmianę wzbudzenia. Energia doprowadzona do obwodu wzbudzenia jest tracona w postaci ciepła, które wymaga specjalnego odprowadzenia z wirnika na zewnątrz generatora.

Dostarczanie przez generator synchroniczny energii biernej skutkuje stratami energii czynnej w uzwojeniach stojana. Dostarczany znamionowy prąd czynny wynosi tylko 80% prądu stojana a znamionowy prąd bierny osiąga wartość 60%. Głównym celem generatora synchronicznego jest wytwarzanie mocy czynnej natomiast konieczność dostarczenia mocy biernej jest przyczyną dodatkowych strat energii w stojanie i w wirniku. Straty energii czynnej w fazie stojana są proporcjonalne do kwadratu prądu. Zatem straty związane z prądem biernym, w

warunkach pracy znamionowej, wyniosą 36% strat całkowitych w rezystancji stojana. Tak znaczne straty wpływają na obniżenie sprawności energetycznej generatora a usunięcie wytworzonego dodatkowego ciepła wymaga powiększenia konstrukcji i mocy układu chłodzenia. Produkcja energii biernej jest koniecznością wynikającą z zapotrzebowania przez odbiorniki a zatem energia ta musi być dostarczana przez stojan generatora synchronicznego.

Celem wynalazku jest wytworzenie energii czynnej głównie przez generator a zadanie dostarczenia energii biernej jest wypełniane przez dodatkowy układ.

Istota układu według wynalazku polega na tym, że z uzwojeniem stojana jest połączony równolegle statyczny przekształtnik energoelektroniczny. Jeśli odbiornikiem energii elektrycznej jest sieć elektroenergetyczna to uzwojenie stojana jest połączone z odbiornikiem i poprzez układ pomiaru napięć i prądów z wejściami bloku obliczeń a także poprzez układ pomiaru prądu przekształtnika z wejściami bloku obliczeń. Uzwojenie stojana połączone jest poprzez przekształtnik energoelektroniczny z wejściami bloku regulacji napięcia na kondensatorze, którego drugie wejście połączone jest z pierwszym wyjściem bloku obliczeń, a trzecie wejście bloku regulacji napięcia na kondensatorze jest wejściem sygnału zadanej wartości napięcia na kondensatorze. Drugie i trzecie wyjście bloku obliczeń połączone są z wejściami bloku regulacji prądu biernego przekształtnika, a czwarte i piąte wyjście bloku obliczeń połączone są z wejściami bloku wyzwiania tranzystorów i z wejściami bloku wyzwiania połączone jest wyjście bloku regulacji napięcia na kondensatorze i wyjście bloku regulacji prądu biernego przekształtnika. Wyjście bloku wyzwiania połączone jest z wejściem sterującym przekształtnika, przy czym szóste i siódme wyjście bloku obliczeń połączone jest przez blok regulacji prądu czynnego generatora z wejściem sterującym silnika a ósme i dziewiąte wyjście bloku obliczeń połączone jest poprzez blok regulacji prądu biernego generatora następnie poprzez układ wzbudzenia i układ przekazywania energii do wirnika z uzwojeniem wzbudzenia. Trójfazowy przekształtnik energoelektroniczny ma na wejściu układ pomiaru prądu przekształtnika, który poprzez filtr połączony jest z trójfazowym wyjściem przemienno prądowym tranzystorów a do drugiego wyjścia stałonapięciowego tranzystorów połączony jest kondensator i układ pomiaru

napięcia, który stanowi wyjście przekształtnika, a wejście sterujące przekształtnika stanowi wejście sterujące tranzystorów.

Siódme wejście bloku obliczeń jest wejściem sygnału zadanej mocy czynnej generatora, ósme wejście bloku obliczeń jest wejściem sygnału zadanej mocy biernej generatora a dziewiąte wejście bloku obliczeń jest wejściem sygnału zadanej mocy biernej przekształtnika.

W przypadku pracy autonomicznej generatora uzwojenie stojana jest połączone z odbiornikiem i poprzez układ pomiaru napięć i prądów z wejściami bloku obliczeń a także poprzez układ pomiaru prądu przekształtnika z wejściami bloku obliczeń, przy czym uzwojenie stojana połączone jest poprzez przekształtnik energoelektroniczny z wejściami bloku regulacji napięcia na kondensatorze, którego drugie wejście połączone jest z pierwszym wyjściem bloku obliczeń, a trzecie wejście bloku regulacji napięcia na kondensatorze jest wejściem sygnału zadanej wartości napięcia na kondensatorze, zaś drugie i trzecie wyjście bloku obliczeń połączone są z wejściami bloku regulacji prądu biernego przekształtnika, a czwarte i piąte wyjście bloku obliczeń połączone są z wejściami bloku wyzwalania tranzystorów i z wejściami bloku wyzwalania połączone jest wyjście bloku regulacji napięcia na kondensatorze i wyjście bloku regulacji prądu biernego przekształtnika, zaś wyjście bloku wyzwalania połączone jest z wejściem sterującym przekształtnika, zaś szóste wyjście bloku obliczeń połączone jest przez blok regulacji napięcia generatora następnie poprzez układ wzbudzenia i układ przekazywania energii do wirnika z uzwojeniem wirnika. Trójfazowy przekształtnik energoelektroniczny ma na wejściu układ pomiaru prądu przekształtnika, który poprzez filtr połączony jest z trójfazowym wyjściem prądowym tranzystorów a do drugiego wyjścia stałonapięciowego tranzystorów połączony jest kondensator i układ pomiaru napięcia, który stanowi wyjście przekształtnika, a wejście sterujące przekształtnika stanowi wejście sterujące tranzystorów. Blok regulacji prądu biernego przekształtnika ma trzecie wejście sygnału zadanej prądu biernego generatora.

Rozwiązanie według wynalazku charakteryzuje się tym, że maleje prąd wzbudzenia generatora oraz maleje prąd stojana a zatem maleją straty energii czynnej w obwodzie wirnika oraz stojana. Ponadto przekształtnik

energoelektroniczny cechuje się bardzo szybkim działaniem przez co nadaje się do szybkiej regulacji mocy.

Przedmiot wynalazku jest przedstawiony w przykładzie wykonania na rysunku, na którym fig.1 przedstawia schemat ideowo-blokowy układu wytwarzania energii elektrycznej, fig.2 przedstawia schemat ideowo-blokowy układu regulacji wytwarzanej energii elektrycznej podczas zasilania sieci energetycznej, fig.3 przedstawia schemat ideowo-blokowy układu regulacji wytwarzanej energii elektrycznej przy zasilaniu odbiorów.

Układ wytwarzania energii elektrycznej **111** zawiera generator synchroniczny **1**, który składa się z uzwojenia wzbudzenia **4** umieszczonego w wirniku **3** oraz z trójfazowego uzwojenia stojana **2**. Uzwojenie wzbudzenia **4** połączone jest przez układ przekazywania energii do wirnika **6a** z układem wzbudzenia **6**, a uzwojenie stojana **2** jest połączone równolegle z trójfazowym przekształtnikiem energoelektronicznym **7** i szeregowo z odbiornikiem **8**. Generator **1** jest napędzany silnikiem **5** dostarczającym moc czynną  $P_g$ .

Prąd uzwojenia wzbudzenia  $I_f$  jest regulowany układem wzbudzenia **6** zgodnie z wartością zadaną  $I_{fz}$ . Prąd generatora  $I_g$  składa się ze składowej czynnej  $I_{gm}$  i ze składowej biernej  $I_{gr}$ . Prąd przekształtnika energoelektronicznego  $I_p$  składa się ze składowej czynnej  $I_{pm}$  oraz ze składowej biernej  $I_{pr}$ . Generator synchroniczny **1** oraz przekształtnik są źródłami energii dla odbiornika **8**, którego prąd  $I_s$  ma składową czynną  $I_{sm}$  oraz składową bierną  $I_{sr}$ . Zadaniem przekształtnika energoelektronicznego **7** oraz układu wzbudzenia **6** jest realizacja zasady zerowego lub bliskiego zera prądu biernego generatora czyli  $I_{gr} = 0$  co oznacza zapewnienie wymaganego biernego prądu odbiornika przez przekształtnik czyli  $I_{pr} = I_{sr}$ . Przekształtnik energoelektroniczny **7**, w postaci falownika napięcia o sterowaniu prądowym, ma konstrukcję dwu lub wielopoziomową.

Generator synchroniczny **1**, w układzie z przekształtnikiem energoelektronicznym **7**, nie traci możliwości wytwarzania mocy biernej, która np. w stanach przejściowych może być przez niego również dostarczana. Przypadek pracy generatora synchronicznego **1** z pełnym wzbudzeniem czyli pracy z  $\cos\varphi = 0,8$  jest również możliwy a wówczas np. przekształtnik energoelektroniczny **7** będzie dostarczał mocy

biernej i czynnej tylko w stanach przejściowych powiększając chwilowo moc źródła, np. podczas startu silnika indukcyjnego klatkowego, który w czasie rozruchu pobiera ze źródła prąd znacznie większy w porównaniu z prądem znamionowym.

Przekształtnik energoelektroniczny 7, w odróżnieniu od generatora synchronicznego 1, nie zawiera części wirujących zatem jego chłodzenie jest łatwiejsze. Ponadto przekształtniki energoelektroniczne cechuje wysoka sprawność energetyczna oraz duża szybkość działania.

W układzie regulacji wytwarzania energii elektrycznej przedstawionym na fig. 2 odbiornikiem 8 energii elektrycznej jest sieć elektroenergetyczna. Generator synchroniczny 1 składa się z uzwojenia wzbudzenia 4 umieszczonego w wirniku 3 oraz z trójfazowego uzwojenia stojana 2. Uzwojenie wzbudzenia 4 połączone jest przez układ przekazywania energii do wirnika 6a i układ wzbudzenia 6 z blokiem regulacji prądu biernego generatora 10. Układ wzbudzenia 6 wraz z blokiem przekazywania energii 6a wytwarza odpowiednią wartość prądu wzbudzenia generatora w uzwojeniu 4. Przykładowy układ przekazywania energii 6a składa się z prostownika diodowego 22, twornika wzbudnicy 23 oraz z uzwojenia wzbudnicy 24. Generator synchroniczny 1 jest napędzany silnikiem 5 wytwarzającym moc proporcjonalną do momentu napędowego  $M$  i prędkości kątowej  $\omega$ . Uzwojenie stojana 2 jest połączone z odbiornikiem 8 i poprzez układ pomiaru prądu przekształtnika 13 i następnie filtr 14 z trójfazowym wyjściem przemiennie prądowym tranzystorów 15. Do drugiego wyjścia stałonapięciowego tranzystorów 15 połączony jest kondensator 16 i układ pomiaru napięcia 17. Elementy 13, 14, 15, 16, 17 stanowią trójfazowy przekształtnik energoelektroniczny 7. Napięcia i prądy na wyjściu uzwojenia stojana 2 podawane są na układ pomiaru napięć i prądów 12, którego wyjścia połączone są z wejściami bloku obliczeń 11. Do wejść bloku obliczeń 11 są połączone również wyjścia układu pomiaru prądu przekształtnika 13. Na siódme, ósme i dziewiąte wejście bloku obliczeń 11 podawane są sygnały zadanych mocy odpowiednio zadanej mocy czynnej generatora, zadanej mocy biernej generatora oraz zadanej mocy biernej przekształtnika. Wyjście układu pomiaru napięcia 17 i pierwsze wyjście 1' bloku obliczeń 11 połączone są z wejściami bloku regulacji napięcia na kondensatorze 18. Na trzecie wejście bloku regulacji napięcia na kondensatorze 18 podawany jest sygnał zadanej wartości napięcia na

kondensatorze. Drugie 2' i trzecie wyjście 3' bloku obliczeń 11 połączone są z wejściami bloku regulacji prądu biernego przekształtnika 19. Czwarte 4' i piąte wyjście 5' bloku obliczeń 11 połączone są z wejściami bloku wyzwania 20 tranzystorów 15. Z wejściami bloku wyzwania 20 połączone jest wyjście bloku regulacji napięcia na kondensatorze 18 i wyjście bloku regulacji prądu biernego przekształtnika 19. Wyjście bloku wyzwania 20 połączone jest z tranzystorami 15 przekształtnika 7. Szóste 6' i siódme wyjście 7' bloku obliczeń 11 połączone jest przez blok regulacji prądu czynnego generatora 9 z wejściem sterującym silnika 5 a ósme 8' i dziewiąte 9' wyjście bloku obliczeń 11 połączone jest poprzez blok regulacji prądu biernego generatora 10 z układem wzbudzenia 6.

Wyjściowe napięcia przewodowe generatora wynoszą odpowiednio  $U_{gab}$ ,  $U_{gbc}$ ,  $U_{gca}$ , a prądy odpowiednio  $i_{ga}$ ,  $i_{gb}$  i  $i_{gc}$ .

Układ pomiaru napięć i prądów 12 dostarcza sygnały zmierzonych napięć przewodowych generatora  $u_{gab}$  i  $u_{gbc}$  i prądów generatora  $i_{ga}$  i  $i_{gb}$ . Sygnały zmierzonych napięć przewodowych  $u_{gab}$  i  $u_{gbc}$  i prądów generatora  $i_{ga}$  i  $i_{gb}$  są podawane na wejście bloku obliczeń 11. Sygnałami wejściowymi bloku obliczeń 11 są sygnał zadanej mocy czynnej generowanej do sieci  $ps_z$ , sygnał zadanej mocy biernej generatora  $qgz$  oraz sygnał zadanej mocy biernej przekształtnika  $qpz$ . Układ pomiaru prądu przekształtnika 13 dostarcza sygnały zmierzonych prądów przekształtnika  $i_{pa}$  i  $i_{pb}$ . Sygnały zmierzonych prądów  $i_{pa}$  i  $i_{pb}$  podawane są na wejście bloku obliczeń 11. Blok obliczeń 11 wytwarza sygnały zmierzonych prądów generatora w wirującym układzie współrzędnych  $xy$  czyli  $i_{gxa}$  i  $i_{gya}$ , oraz sygnały zadanych prądów generatora w wirującym układzie współrzędnych  $xy$  czyli  $i_{gxz}$ ,  $i_{gyz}$ . Moc czynna generatora jest regulowana przez blok regulacji prądu czynnego generatora 9. Na wejście tego bloku jest podawany sygnał prądu zadanego  $i_{gxz}$  oraz prądu zmierzonego  $i_{gxa}$ . Blok regulacji prądu czynnego generatora 9 wytwarza sygnał zadanego momentu  $mz$  silnika napędowego 5. Silnik napędowy 5 wytwarza moment napędowy  $M$  i w ten sposób jest regulowana moc czynna napędzanego generatora.

Sygnał zadanej wartości prądu generatora w osi  $y$  czyli  $i_{gyz}$  jest podawany na pierwsze wejście bloku regulacji prądu biernego generatora 10. Na drugie wejście bloku regulacji 10 podawany jest sygnał zmierzonego prądu generatora w osi  $y$  czyli

igya. Blok regulacji **10** wraz z układem wzbudzenia **6** oraz układem przekazywania energii do wirnika **6a** wytwarza odpowiednią wartość prądu wzbudzenia generatora w uzwojeniu **4**. Układ wzbudzenia **6** wytwarza odpowiedni prąd w uzwojeniu wzbudzenia wzbudnicy **24**. W uzwojeniach twornika wzbudnicy **23** indukuje się napięcie przemienne, zależne od prądu uzwojenia wzbudzenia wzbudnicy **24**, które prostowane jest w prostowniku **22** i podawane na uzwojenie wzbudzenia **4**.

Sygnałami wyjściowymi bloku obliczeń **11** są sygnały zmierzonych prądów przekształtnika w osiach  $xy$  czyli  $ip_{xa}$ ,  $ip_{ya}$ , zadana wartość prądu przekształtnika w osi  $y$  czyli  $ip_{yz}$  oraz wartości  $\sin\alpha$  i  $\cos\alpha$ .

Układ pomiaru napięcia **17** na kondensatorze **16**, w obwodzie pośredniczącym napięcia stałego przekształtnika **7**, wytwarza sygnał zmierzonego napięcia na kondensatorze **16** czyli sygnał  $ud_{ca}$ . Blok regulacji napięcia na kondensatorze **18** obwodu napięcia stałego przyjmuje na wejściu sygnał zadanej wartości napięcia  $ud_{cz}$ , sygnał zmierzonego napięcia na kondensatorze  $ud_{ca}$  oraz sygnał zmierzonego prądu przekształtnika w osi  $x$  czyli  $ip_{xa}$ . Blok regulacji napięcia na kondensatorze **18** wytwarza na wyjściu sygnał zadanego napięcia przekształtnika w osi  $x$   $up_{xz}$ , który podawany jest na wejście bloku wyzwającego **20** tranzystory **15** przekształtnika **7**.

Na wejście bloku regulacji prądu biernego **19** przekształtnika podawana jest zadana wartość prądu przekształtnika  $ip_{yz}$ . Na drugie wejście układu regulacji **19** podawany jest sygnał zmierzonego prądu przekształtnika  $ip_{ya}$ . Sygnałem wyjściowym układu regulacji **19** jest sygnał zadanego napięcia przekształtnika w osi  $y$   $up_{yz}$ , sygnał ten jest podawany na wejście bloku wyzwającego **20**. Blok wyzwający **20** wysyła odpowiednie sygnały sterujące St tranzystorami **15** przekształtnika **7**. Sygnały St są tak wypracowane aby prądy przekształtnika we współrzędnych  $xy$  czyli  $ip_x$ ,  $ip_y$  były równe prądom zadany  $ip_{xz}$  i  $ip_{yz}$ , przy odpowiednich wartościach  $\sin\alpha$  i  $\cos\alpha$ . Prądy przekształtnika są filtrowane przez filtr **14**.

Przy pracy na sieć układu wytwarzania energii zastosowano przekształcenia matematyczne:

Sygnały zmierzonych prądów generatora w stacjonarnym układzie współrzędnych  $\alpha\beta$  czyli  $ig_\alpha$ ,  $ig_\beta$  wyznaczone są w bloku obliczeń **11** ze wzorów

$$i_{g\alpha} = \sqrt{3/2} \cdot i_{ga}$$

$$i_{g\beta} = \sqrt{2} \cdot (0.5 \cdot i_{ga} + i_{gb})$$

Sygnały zmierzonych napięć generatora w stacjonarnym układzie współrzędnych  $\alpha\beta$  czyli  $u_{g\alpha}$ ,  $u_{g\beta}$  wyznaczone są w bloku obliczeń **11** ze wzorów

$$u_{g\alpha} = \sqrt{2/3}(u_{gab} + 0,5u_{gbc})$$

$$u_{g\beta} = \sqrt{2} \cdot 0.5 \cdot u_{gbc}$$

W stacjonarnym układzie współrzędnych  $\alpha\beta$  oś  $\beta$  jest przesunięta względem osi  $\alpha$  o kąt 90 stopni.

Sygnały  $\sin\alpha$  i  $\cos\alpha$  wyznaczone są w bloku obliczeń **11** ze wzorów

$$\sin\alpha = u_{g\beta} / \sqrt{u_{g\alpha}^2 + u_{g\beta}^2}$$

$$\cos\alpha = u_{g\alpha} / \sqrt{u_{g\alpha}^2 + u_{g\beta}^2}$$

Kąt  $\alpha$  jest kątem między osią nieruchomą  $\alpha$  w układzie współrzędnych  $\alpha\beta$ , a wektorem napięcia generatora  $U_g$ .

Sygnał napięcia generatora w osi x czyli  $u_{gx}$  wyznaczany jest w bloku obliczeń **11** ze wzoru

$$u_{gx} = u_{g\alpha} \cdot \cos\alpha + u_{g\beta} \cdot \sin\alpha$$

We współrzędnych wirujących xy oś x odpowiada położeniu wektora napięcia generatora  $U_g = u_{gx}$ , a oś y jest przesunięta względem osi x o kąt 90 stopni.

Sygnały zmierzonych prądów generatora we współrzędnych xy czyli  $i_{gx}$  i  $i_{gy}$  wyznaczone są w bloku obliczeń **11** ze wzorów

$$i_{gx} = i_{g\alpha} \cdot \cos\alpha + i_{g\beta} \cdot \sin\alpha$$

$$i_{gy} = -i_{g\alpha} \cdot \sin\alpha + i_{g\beta} \cdot \cos\alpha$$

Moc czynna oddawana do sieci elektroenergetycznej  $p_s$  przez układ wytwarzania energii elektrycznej **111** jest sumą mocy czynnej generatora  $p_{sg}$ , wyznaczonej jako suma iloczynu napięcia  $u_{gx}$  i prądu  $i_{gx}$  w osi x, oraz mocy czynnej przekształtnika  $p_{sp}$ , wyznaczonej jako iloczyn napięcia  $u_{gx}$  oraz prądu przekształtnika  $i_{px}$  w osi x

$$p_s = u_{gx} \cdot (i_{gx} + i_{px})$$

Sygnal zadanego prądu generatora w osi x czyli  $i_{px}$ , realizujący zadaną moc czynną generatora, wyznaczony jest w bloku obliczeń **11** ze wzoru

$$i_{gx} = p_{sz}/u_{gx} - i_{px}$$

Moc bierna generatora jest proporcjonalna do prądu generatora  $i_g$  w osi y. Moc bierna generatora wyraża się wzorem

$$q_g = -u_{gx} \cdot i_{gy}$$

Zadany prąd generatora  $i_{gy}$  w osi y, realizujący zadaną moc bierną  $q_g$  wyznaczony jest w bloku obliczeń **11** ze wzoru

$$i_{gy} = -q_{gz}/u_{gx}$$

Sygnały zmierzonych prądów przekształtnika są wyznaczone w bloku **11** ze wzorów

$$i_{p_{xa}} = i_{pa} \cdot \left( \frac{\sqrt{2}}{2} \cdot \sin\alpha + \frac{\sqrt{6}}{2} \cdot \cos\alpha \right) + i_{pb} \cdot \sqrt{2} \cdot \sin\alpha$$

$$i_{p_{ya}} = i_{pa} \cdot \left( \frac{\sqrt{2}}{2} \cdot \cos\alpha - \frac{\sqrt{6}}{2} \cdot \sin\alpha \right) + i_{pb} \cdot \sqrt{2} \cdot \cos\alpha$$

Moc bierna przekształtnika proporcjonalna jest do prądu przekształtnika w osi y czyli  $i_{py}$ . Blok obliczeń **11** wyznacza sygnał zadanej wartości prądu przekształtnika w osi y  $i_{py}$ , zgodnie ze wzorem

$$i_{py} = -q_{pz}/u_{gx}$$

Przykład układu regulacji wytwarzania energii elektrycznej w przypadku pracy autonomicznej generatora, czyli zasilania odbiorów przez generator, przedstawia rysunek fig. 3. Źródłem energii elektrycznej jest blok **111**, odbiornikiem energii elektrycznej jest blok **8**. Źródło to składa się z generatora synchronicznego **1** i z trójfazowego przekształtnika energoelektronicznego **7**.

Generator synchroniczny **1** składa się z uzwojenia wzbudzenia **4** umieszczonego w wirniku **3** oraz z trójfazowego uzwojenia stojana **2**. Uzwojenie wzbudzenia **4** połączone jest przez układ przekazywania energii do wirnika **6a** i układ wzbudzenia **6** z blokiem regulacji napięcia generatora **21**. Układ wzbudzenia **6** wraz z blokiem

przekazywania energii **6a** wytwarza odpowiednią wartość prądu wzbudzenia generatora w uzwojeniu **4**. Przykładowy układ przekazywania energii **6a** składa się z prostownika diodowego **22**, twornika wzbudnicy **23** oraz z uzwojenia wzbudzenia wzbudnicy **24**. Generator synchroniczny **1** jest napędzany silnikiem **5** wytwarzającym moc proporcjonalną do momentu napędowego  $M$  i prędkości kątowej  $\omega$ . Uzwojenie stojana **2** jest połączone z odbiornikiem **8** i poprzez układ pomiaru prądu przekształtnika **13** i następnie filtr **14** z trójfazowym wyjściem przemiennie prądowym tranzystorów **15**. Do drugiego wyjścia stałonapięciowego tranzystorów **15** połączony jest kondensator **16** i układ pomiaru napięcia **17**. Elementy **13**, **14**, **15**, **16**, **17** stanowią trójfazowy przekształtnik energoelektroniczny **7**. Napięcia i prądy na wyjściu uzwojenia stojana **2** podawane są na układ pomiaru napięć i prądów **12**, którego wyjścia połączone są z wejściami bloku obliczeń **11**. Do wejść bloku obliczeń **11** są połączone również wyjścia układu pomiaru prądu przekształtnika **13**. Wyjście układu pomiaru napięcia na kondensatorze **17** i pierwsze wyjście **1'** bloku obliczeń **11** połączone są z wejściami bloku regulacji napięcia na kondensatorze **18**. Na trzecie wejście bloku regulacji napięcia na kondensatorze **18** podawany jest sygnał zadanego napięcia na kondensatorze. Drugie **2'** i trzecie wyjście **3'** bloku obliczeń **11** połączone jest z wejściami bloku regulacji prądu biernego generatora **19**. Na trzecie wejście bloku regulacji prądu biernego generatora **19** podawany jest sygnał zadanego prądu biernego generatora. Czwarte **4'** i piąte wyjście **5'** bloku obliczeń **11** połączone są z wejściami bloku wyzwiania **20** tranzystorów **15**. Z wejściami bloku wyzwiania **20** połączone jest wyjście bloku regulacji napięcia na kondensatorze **18** i wyjście bloku regulacji prądu biernego generatora **19**. Wyjście bloku wyzwiania **20** połączone są z tranzystorami **15** przekształtnika. Szóste **6'** wyjście bloku obliczeń **11** połączone jest przez blok regulacji napięcia generatora **21** następnie blok układu wzbudzenia **6** i blok przekazywania energii do wirnika **6a** z uzwojeniem wzbudzenia **4**. Na drugie wejście bloku regulacji napięcia generatora **21** podawany jest sygnał zadanej wartości napięcia generatora.

Układ pomiaru napięć i prądów **12** dostarcza sygnały zmierzonych napięć przewodowych generatora  $u_{gab}$  i  $u_{gbc}$  i prądów generatora  $i_{ga}$  i  $i_{gb}$ . Sygnały zmierzonych napięć przewodowych  $u_{gab}$  i  $u_{gbc}$  i prądów generatora  $i_{ga}$  i  $i_{gb}$  są podawane na wejście bloku obliczeń **11**. Blok obliczeń **11** wyznacza na wyjściu sygnał napięcia generatora w osi  $x$  czyli  $u_{gxa}$ . Sygnał zadanego napięcia generatora

w osi  $x$   $u_{gx}$  podawany jest na jedno wejście bloku regulacji napięcia generatora **21**. Na drugie wejście bloku regulacji napięcia generatora **21** podawany jest sygnał zmierzonego napięcia generatora w osi  $x$   $u_{gx}$ . Blok regulacji **21** wraz z układem wzbudzenia **6** oraz układem przekazywania energii do wirnika **6a** wytwarza odpowiednią wartość prądu wzbudzenia generatora w uzwojeniu **4**. Układ wzbudzenia **6** wytwarza odpowiedni prąd w uzwojeniu wzbudzenia wzbudnicy **24**. W uzwojeniach twornika wzbudnicy **23** indukuje się napięcie przemienne, zależne od prądu uzwojenia wzbudzenia wzbudnicy **24**, które prostowane jest w prostowniku **22** i podawane na uzwojenie wzbudzenia **4**. Sygnałami wyjściowymi bloku obliczeń **11** są sygnały zmierzonych prądów przekształtnika w osiach  $xy$  czyli  $i_{px}$ ,  $i_{py}$ , zmierzona wartość prądu generatora w osi  $y$  czyli  $i_{gy}$  oraz wartości  $\sin\alpha$  i  $\cos\alpha$ . Układ pomiaru napięcia na kondensatorze **17**, w obwodzie pośredniczącym napięcia stałego przekształtnika **7**, wytwarza sygnał zmierzonego napięcia na kondensatorze **16** czyli sygnał  $u_{dc}$ . Blok regulacji napięcia na kondensatorze **18** przyjmuje na wejściu sygnał zadanej wartości napięcia  $u_{dcz}$ , sygnał zmierzonego napięcia na kondensatorze  $u_{dc}$  oraz sygnał zmierzonego prądu przekształtnika w osi  $x$  czyli  $i_{px}$ . Blok regulacji napięcia na kondensatorze **18** wytwarza na wyjściu sygnał zadanej wartości napięcia przekształtnika w osi  $x$  czyli  $u_{pxz}$ , który podawany jest na wejście bloku wyzwalającego **20** tranzystory **15** przekształtnika **7**. Blok regulacji prądu biernego generatora **19** przyjmuje na wejściu sygnał zadanej wartości prądu generatora w osi  $y$  czyli  $i_{gy}$ , sygnał zmierzonego prądu generatora w osi  $y$  czyli  $i_{gy}$  oraz sygnał zmierzonego prądu przekształtnika w osi  $y$  czyli  $i_{py}$ . Blok regulacji prądu biernego generatora **19** wytwarza na wyjściu sygnał zadanej wartości prądu przekształtnika w osi  $y$   $u_{pyz}$ , który podawany jest na wejście bloku wyzwalającego **20** tranzystory **15** przekształtnika **7**. Sygnały  $S_t$  są tak wypracowane aby prądy przekształtnika we współrzędnych  $xy$  czyli  $i_{px}$ ,  $i_{py}$  były równe prądom zadany  $i_{pxz}$  i  $i_{pyz}$ , przy odpowiednich wartościach  $\sin\alpha$  i  $\cos\alpha$ . Prądy przekształtnika są filtrowane przez filtr **14**.

Przy pracy autonomicznej układu wytwarzania energii zastosowano przekształcenia matematyczne:

Sygnały zmierzonych prądów generatora w stacjonarnym układzie współrzędnych  $\alpha\beta$  czyli  $i_{g\alpha}$ ,  $i_{g\beta}$  wyznaczone są w bloku obliczeń **11** ze wzorów

$$i_{g\alpha} = \sqrt{3/2} \cdot i_{ga}$$

$$i_{g\beta} = \sqrt{2} \cdot (0.5 \cdot i_{ga} + i_{gb})$$

Sygnały zmierzonych napięć generatora w stacjonarnym układzie współrzędnych  $\alpha\beta$  czyli  $u_{g\alpha}$ ,  $u_{g\beta}$  wyznaczone są w bloku obliczeń **11** ze wzorów

$$u_{g\alpha} = \sqrt{2/3}(u_{gab} + 0,5u_{gbc})$$

$$u_{g\beta} = \sqrt{2} \cdot 0.5 \cdot u_{gbc}$$

W stacjonarnym układzie współrzędnych  $\alpha\beta$  oś  $\beta$  jest przesunięta względem osi  $\alpha$  o kąt 90 stopni.

Sygnały  $\sin\alpha$  i  $\cos\alpha$  wyznaczone są w bloku obliczeń **11** ze wzorów

$$\sin\alpha = u_{g\beta} / \sqrt{u_{g\alpha}^2 + u_{g\beta}^2}$$

$$\cos\alpha = u_{g\alpha} / \sqrt{u_{g\alpha}^2 + u_{g\beta}^2}$$

Kąt  $\alpha$  jest kątem między osią nieruchomą  $\alpha$  w układzie współrzędnych  $\alpha\beta$ , a wektorem napięcia generatora  $U_g$ .

Sygnał napięcia generatora w osi x czyli  $u_{gxa}$  wyznaczony jest w bloku obliczeń **11** ze wzoru

$$u_{gxa} = u_{g\alpha} \cdot \cos\alpha + u_{g\beta} \cdot \sin\alpha$$

We współrzędnych wirujących xy oś x odpowiada położeniu wektora napięcia generatora  $U_g = u_{gxa}$ , a oś y jest przesunięta względem osi x o kąt 90 stopni.

Sygnał zmierzonego prądu generatora w osi y czyli  $i_{gya}$  jest wyznaczony w bloku obliczeń **11** ze wzoru

$$i_{gya} = -i_{g\alpha} \cdot \sin\alpha + i_{g\beta} \cdot \cos\alpha$$

Sygnały zmierzonych prądów przekształtnika w wirującym układzie współrzędnych xy czyli  $i_{pxa}$ ,  $i_{pya}$  są wyznaczone w bloku **11** ze wzorów

$$i_{pxa} = i_{pa} \cdot \left( \frac{\sqrt{2}}{2} \cdot \sin\alpha + \frac{\sqrt{6}}{2} \cdot \cos\alpha \right) + i_{pb} \cdot \sqrt{2} \cdot \sin\alpha$$

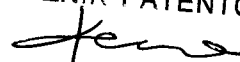
$$i_{pya} = i_{pa} \cdot \left( \frac{\sqrt{2}}{2} \cdot \cos\alpha - \frac{\sqrt{6}}{2} \cdot \sin\alpha \right) + i_{pb} \cdot \sqrt{2} \cdot \cos\alpha$$

Innym przykładem wykorzystania układu wytwarzania energii elektrycznej podanego na rysunku fig. 1 jest wyposażenie przekształtnika w magazyn energii.

Zmagazynowana energia jest wykorzystywana do chwilowego dostarczania mocy do odbiornika przez co całkowita chwilowa moc czynna układu wytwarzania energii elektrycznej **111** będzie większa od mocy generatora synchronicznego **1**.

Kolejnym przykładem wykorzystania układu wytwarzania energii elektrycznej **111** jest wyposażenie przekształtnika w niezależne źródło energii. Moc czynna niezależnego źródła energii jest przekazywana do odbiornika poprzez przekształtnik i powiększa moc czynną układu wytwarzania energii.

RZECZNIK PATENTOWY



*mgr inż. Krystyna Lewińska*