

RZECZPOSPOLITA
POLSKA



Urząd Patentowy
Rzeczypospolitej Polskiej

(12) **OPIS PATENTOWY**

(19) **PL** (11) **237822**

(13) **B1**

(21) Numer zgłoszenia: **430389**

(51) Int.Cl.

F02D 9/08 (2006.01)

F02D 43/00 (2006.01)

(22) Data zgłoszenia: **25.06.2019**

(54) **Układ do regulacji momentu obrotowego silnika spalinowego o zapłonie iskrowym
w układzie mikrogeneracyjnym**

(43) Zgłoszenie ogłoszono:
28.12.2020 BUP 27/20

(45) O udzieleniu patentu ogłoszono:
31.05.2021 WUP 11/21

(73) Uprawniony z patentu:

**BUD-EXPERT SPÓŁKA Z OGRANICZONĄ
ODPOWIEDZIALNOŚCIĄ, Knurów, PL**

(72) Twórca(y) wynalazku:

**KRZYSZTOF BUCZAK, Knurów, PL
GRZEGORZ PRZYBYŁA, Ruda Śląska, PL
ADRIAN NOCOŃ, Boruszowice, PL
ROMAN NIESTRÓJ, Strzelce Opolskie, PL
ŁUKASZ ZIÓLKOWSKI, Zabrze, PL**

(74) Pełnomocnik:

rzec. pat. Cezary Radecki

PL 237822 B1

Opis wynalazku

Przedmiotem wynalazku jest układ do regulacji momentu obrotowego silnika spalinowego o zapłonie iskrowym w układzie mikrokogeneracyjnym, w którym generator pracuje równolegle z siecią elektroenergetyczną bez przekształtnika energoelektronicznego. Układ według wynalazku przeznaczony jest do stosowania przez przedsiębiorstwa wytwarzające energię elektryczną i ciepłą w skali mikro i mini do mocy poniżej 40 kW, głównie na potrzeby budynków biurowych lub użyteczności publicznej.

Małe systemy mini i mikrokogeneracyjne, określane także jako elektrociepłownie blokowe albo kontenerowe, wytwarzają energię elektryczną i ciepłą wodę do celów grzewczych. Wytwarzanie energii elektrycznej jest pierwotną funkcją układu, natomiast energia ciepła odbierana jest z obiegów chłodzenia silnika i spalin lub ogniwa paliwowego. Podstawowymi elementami układu są: silnik tłokowy spalinowy lub mikroturbina z generatorem prądu, bądź ogniwo paliwowe oraz system wymienników ciepła z automatyką regulacyjną.

Sprawność energetyczna układu produkującego energię elektryczną lub ciepłą to sprawność przetwarzania energii pierwotnej paliwa. W przypadku produkcji ciepła osiągnięcie sprawności układu powyżej 90% nie jest problemem, zwłaszcza przy spalaniu paliw gazowych i płynnych, natomiast przy produkcji tylko energii elektrycznej osiągane są sprawności maksymalnie na poziomie 20–35%.

W klasycznym układzie, o regulacji ilościowej, sygnał sterujący przepustnicą $up(t)$ oraz sygnał sterujący zaworem gazu $ug(t)$ zapewniają utrzymywanie stałej wartości stosunku nadmiaru powietrza zasilającego silnik spalinowy o zapłonie iskrowym. Zmiana momentu obrotowego silnika odbywa się poprzez wymuszenie zmiany ilości doprowadzanego powietrza i paliwa. Ponieważ prędkość obrotowa silnika jest stała, zmiana momentu obrotowego silnika powoduje zmianę mocy efektywnej silnika, a w całym dopuszczalnym zakresie pracy silnika zachowana jest stała wartość stosunku nadmiaru powietrza niezależnie od oczekiwanej wartości momentu obrotowego. Przy takim sposobie sterowania, następuje znaczna zmiana ciśnienia powietrza lub mieszaniny powietrza z paliwem, jako ładunku, w kanale dolotowym silnika spalinowego.

Spadek ciśnienia powietrza lub ładunku jest tym wyższy im niższa jest wartość generowanego przez silnik momentu obrotowego. Konsekwencją powstającego spadku ciśnienia jest wyraźny spadek sprawności energetycznej silnika spalinowego.

Znany jest układ regulacji silnikiem spalinowym o zapłonie iskrowym pracującym w układzie mikrokogeneracyjnym, posiadający tor regulacji otwarcia przepustnicy i tor regulacji otwarcia zaworu gazu, gdzie tor regulacji otwarcia przepustnicy zawiera regulator mocy generatora prądu i regulator prędkości obrotowej silnika oraz sumatory połączone sygnałowo, a tor regulacji otwarcia zaworu gazu zawiera sumatory i regulator korekcyjny współczynnika nadmiaru powietrza, a pomiędzy torami wpięty jest regulator wstępny współczynnika nadmiaru powietrza, którego sygnałem wejściowym jest sygnał otwarcia przepustnicy silnika spalinowego.

Znany jest z polskiego opisu patentowego PL 222462, sposób sterowania parametrów regulacyjnych w silniku spalinowym o zapłonie iskrowym, obejmujący jednoczesne sterowanie kątem wyprzedzenia zapłonu i dawką paliwa, który polega na tym, że mierzy się temperaturę gazów wylotowych w kanale wylotowym każdego cylindra indywidualnie i na podstawie pomiaru temperatury reguluje się indywidualnie dla każdego cylindra kąt wyprzedzenia zapłonu i dawkę paliwa. Regulacja dawki paliwa odbywa się przez dobór czasu otwarcia wtryskiwacza, natomiast regulacja kąta wyprzedzenia zapłonu ustalana jest przez kąt obrotu wału korbowego, przy czym wartość kąta wyprzedzenia zapłonu oraz czasu otwarcia wtryskiwacza dobierane są adaptacyjnie, indywidualnie dla każdego cylindra, na podstawie zmiany temperatury spalin w kanale wylotowym każdego cylindra, a adaptacja prowadzona jest do uzyskania jednakowej wartości temperatury spalin w każdym z cylindrów.

Regulacja dawki paliwa odbywa się przez dobór czasu otwarcia wtryskiwacza, a wartość kąta wyprzedzenia zapłonu ustalana jest przez pomiar kąta obrotu wału korbowego. Wartości kąta wyprzedzenia zapłonu i dawki paliwa mogą być dobierane indywidualnie dla każdego cylindra łącznie lub oddzielnie, w zależności od temperatury spalin mierzonej indywidualnie w kanale wylotowym każdego cylindra, zależnie od założonej mocy, sprawności czy wymagań ekologicznych.

Celem wynalazku jest opracowanie takiego układu do regulacji momentu obrotowego silnika spalinowego o zapłonie iskrowym, który poprawi sprawność układu mikrokogeneracyjnego.

Układ do regulacji momentu obrotowego silnika spalinowego o zapłonie iskrowym w układzie mikrokogeneracyjnym według wynalazku, nazywany także układem regulacji jakościowo-ilościowej, posiadający tor regulacji otwarcia przepustnicy i tor regulacji otwarcia zaworu gazu, gdzie tor regulacji

otwarcia przepustnicy zawiera regulator mocy generatora prądu i regulator prędkości obrotowej silnika oraz sumatory, zaś tor regulacji otwarcia zaworu gazu zawiera sumatory i regulator korekcyjny współczynnika nadmiaru powietrza, a pomiędzy torami wpięty jest regulator wstępny współczynnika nadmiaru powietrza, charakteryzuje się tym, że pomiędzy torem regulacji otwarcia przepustnicy, a torem regulacji otwarcia zaworu gazu wpięty jest regulator proporcjonalny zadanej wartości współczynnika nadmiaru powietrza z zaprogramowanymi parametrami stabilnej pracy silnika. Sygnałem wejściowym regulatora proporcjonalnego zadanej wartości współczynnika nadmiaru powietrza jest sygnał zadanej mocy elektrycznej generatora prądu, a sygnałem wyjściowym jest sygnał zadanej wartości stosunku nadmiaru powietrza, który kierowany jest poprzez sumator do regulatora korekcyjnego współczynnika nadmiaru powietrza.

Korzystnym jest, gdy sygnałem wejściowym regulatora wstępnego współczynnika nadmiaru powietrza, z zaprogramowanymi parametrami stabilnej pracy silnika, jest sygnał zadanej mocy generatora prądu, co wpływa na właściwości regulacyjne układu eliminując zmienne w czasie wartości sygnału sterującego przepustnicą.

Korzystnym jest, gdy do toru regulacji otwarcia zaworu gazu podłączony jest regulator proporcjonalny kąta zapłonu z zaprogramowanymi parametrami stabilnej pracy silnika, którego sygnałem wejściowym jest współczynnik nadmiaru powietrza, natomiast sygnałem wyjściowym jest sygnał sterujący modulem zapłonowym silnika spalinowego.

W układzie według wynalazku sygnał sterujący przepustnicą $u_p(t)$ oraz sygnał sterujący zaworem gazu $u_g(t)$ zapewniają utrzymywanie oczekiwanej wartości mocy efektywnej przez silnik spalinowy. Ponieważ prędkość obrotowa silnika spalinowego jest stała, regulacja mocy odbywa się poprzez zmianę momentu obrotowego. Zmiana momentu obrotowego w zakresie niskich oraz średnich obciążań silnika spalinowego odbywa się poprzez zmianę składu mieszanki paliwowo - powietrznej, następuje zwiększenie wartości stosunku nadmiaru powietrza względem wartości stechiometrycznej. Zwiększenie wartości stosunku nadmiaru powietrza wiąże się z większym otwarciem przepustnicy przy doprowadzeniu określonej dawki paliwa adekwatnej do aktualnego zapotrzebowania mocy. Dzięki temu ograniczone zostaje dławienie przepływu powietrza lub mieszanki paliwowo-powietrznej w kanale dolotowym silnika. Konsekwencją regulacji jakościowo - ilościowej jest uzyskiwanie przez silnik większej wartości sprawności energetycznej silnika podczas pracy przy obciążeniu częściowym, w porównaniu do stosowania regulacji klasycznej - ilościowej.

Przedmiot wynalazku jest bliżej objaśniony na przykładzie wykonania przedstawionym na rysunku, na którym **pos.1** przedstawia strukturę obiektu regulacji, czujników i elementów wykonawczych układu sterowania silnikiem spalinowym o zapłonie iskrowym pracującym w układzie mikrokogeneracyjnym, **pos.2** przedstawia znany ze stanu techniki schemat blokowy układu regulacji silnikiem spalinowym o zapłonie iskrowym pracującym w układzie mikrokogeneracyjnym, fig. 1 - schemat blokowy układu regulacji silnikiem spalinowym o zapłonie iskrowym pracującym w układzie mikrokogeneracyjnym, według wynalazku, fig. 2 - schemat blokowy korzystnego układu według wynalazku, a fig. 3 - przykładowy obszar pracy dopuszczalnej silnika spalinowego według wynalazku.

Na rysunku **pos.1** przedstawiona jest struktura obiektu regulacji, czujników i elementów wykonawczych układu sterowania silnikiem spalinowym o zapłonie iskrowym pracującym w układzie mikrokogeneracyjnym, gdzie: I - silnik spalinowy o zapłonie iskrowym, II - generator prądu, III - zawór gazu wraz z układem mieszania gazu i powietrza, IV - przepustnica, V - układ zapłonowy, VI - układ pomiaru prędkości obrotowej, VII - układ pomiaru wartości współczynnika nadmiaru powietrza, VIII - wyłącznik generatorowy, IX - układ pomiaru mocy generatora prądu

Na rysunku **pos.2** przedstawiony jest układ znany ze stanu techniki, który ma tor regulacji otwarcia przepustnicy 1 i tor regulacji otwarcia zaworu gazu 2, gdzie tor regulacji otwarcia przepustnicy 1 zawiera regulator mocy 3 generatora prądu i regulator 4 prędkości obrotowej silnika oraz sumatory 5, zaś tor regulacji otwarcia zaworu gazu 2 zawiera sumatory 6 i regulator korekcyjny 7 współczynnika nadmiaru powietrza, a pomiędzy torami 1 i 2 wpięty jest regulator wstępny 8 współczynnika nadmiaru powietrza, którego sygnałem wejściowym jest sygnał otwarcia przepustnicy silnika spalinowego, a sygnał wyjściowy, którym jest sygnał korygujący stopień otwarcia zaworu gazu, kierowany jest poprzez sumator 6 do zaworu gazu, przy czym na rysunku pos.1 i 2 znajdują się następujące wielkości:

- $u_g(t)$ - sygnał sterujący zaworem gazu
- $u_p(t)$ - sygnał sterujący przepustnicą
- $u_z(t)$ - sygnał sterujący modulem zapłonowym
- $n(t)$ - prędkości obrotowa silnika spalinowego

$\lambda(t)$ - współczynnik nadmiaru paliwa

λ_{ref} - zadana wartość współczynnika nadmiaru paliwa

$P_{el}(t)$ - moc generatora prądu

$P_{el\ ref}$ - zadana wartość mocy generatora prądu

$U_{R1min}(t)$ i $U_{R1max}(t)$ - wartość minimalna i maksymalna sygnału regulatora korekcyjnego 7

$U_{R3min}(t)$ i $U_{R3max}(t)$ - wartość minimalna i maksymalna sygnału regulatora mocy generatora prądu 3

Regulator wstępny 8 współczynnika nadmiaru powietrza jest regulatorem działającym na zasadzie mapowania wartości pożądanego otwarcia zaworu gazu w funkcji aktualnej wartości otwarcia przepustnicy. Wartość otwarcia przepustnicy pośrednio niesie informacje o aktualnej wartości mocy generatora prądu. Sterowanie według układu znanego ze stanu techniki zapewnia utrzymanie wartości stosunku nadmiaru powietrza λ na stałym poziomie, przy czym dla obciążenia poniżej 50% mocy znamionowej mikrokogeneratora wprowadza znaczące straty w kanale dolotowym. Straty te są tym większe im moc jest mniejsza, ponieważ wynika to z konieczności dławienia strumienia mieszanki powietrza i paliwa przez przepustnicę, co w konsekwencji powoduje spadek sprawności energetycznej układu.

Na fig. 1 przedstawiony jest układ według wynalazku, który ma tor regulacji otwarcia przepustnicy 1 i tor regulacji otwarcia zaworu gazu 2, gdzie tor regulacji otwarcia przepustnicy 1 zawiera regulator mocy 3 generatora prądu i regulator 4 prędkości obrotowej silnika oraz sumatory 5, zaś tor regulacji otwarcia zaworu gazu 2 zawiera sumatory 6 i regulator korekcyjny 7 współczynnika nadmiaru powietrza. Pomiędzy torami 1 i 2 wpięty jest regulator proporcjonalny 9 zadanej wartości współczynnika nadmiaru powietrza, działający na zasadzie mapowania pożądanego wartości zadanej stosunku nadmiaru powietrza w funkcji aktualnej wartości mocy generatora prądu, którego sygnałem wejściowym jest sygnał zadanej mocy elektrycznej generatora prądu, a sygnałem wyjściowym jest sygnał zadanej wartości stosunku nadmiaru powietrza, który kierowany jest przez sumator 6 do regulatora korekcyjnego 7 współczynnika nadmiaru powietrza.

Na fig. 2 przedstawiony jest korzystny układ według wynalazku, który ma tor regulacji otwarcia przepustnicy 1 i tor regulacji otwarcia zaworu gazu 2, gdzie tor regulacji otwarcia przepustnicy 1 zawiera regulator mocy 3 generatora prądu i regulator 4 prędkości obrotowej silnika oraz sumatory 5, zaś tor regulacji otwarcia zaworu gazu 2 zawiera sumatory 6 i regulator korekcyjny 7 współczynnika nadmiaru powietrza. Pomiędzy torami 1 i 2 wpięty jest regulator proporcjonalny 9 zadanej wartości współczynnika nadmiaru powietrza, działającym na zasadzie mapowania pożądanego wartości zadanej stosunku nadmiaru powietrza w funkcji aktualnej wartości mocy generatora prądu, którego sygnałem wejściowym jest sygnał zadanej mocy elektrycznej generatora prądu, a sygnał wyjściowy którym jest sygnał zadanej wartości stosunku nadmiaru powietrza kierowany jest przez sumator 6 do regulatora korekcyjnego 7 współczynnika nadmiaru powietrza, oraz regulator wstępny 8 współczynnika nadmiaru powietrza, którego sygnałem wejściowym jest sygnał zadanej mocy generatora, a sygnałem wyjściowym, jest sygnał korygujący stopień otwarcia zaworu gazu.

W tor regulacji otwarcia zaworu gazu 2 wpięty jest regulator proporcjonalny 10 kąta zapłonu, który działa na zasadzie mapowania pożądanego wartości kąta zapłonu w funkcji aktualnej wartości mocy generatora prądu, a jego sygnał wyjściowy służy do zmiany kąta wyprzedzenia zapłonu, co korzystnie wpływa na pracę silnika spalinowego.

Punkty mapy w regulatorze proporcjonalnym 9 zadanej wartości współczynnika nadmiaru powietrza wyznaczone są pomiarowo w oparciu o pomiary wartości współczynnika nadmiaru powietrza przy nadrzędnym ograniczeniu oscylacji mocy generatora prądu oraz przy zachowaniu zdolności silnika do stabilnej pracy, to jest silnik nie przechodzi do pracy ze spalaniem stukowym i wszystkie zapłony są skuteczne - brak tzw. wypadających zapłonów.

Na podstawie pomiarów realizowanych dla określenia punktów mapy regulatora proporcjonalnego 9 zadanej wartości współczynnika nadmiaru powietrza wyznaczany jest obszar dopuszczalnej pracy silnika spalinowego. Obszar ten stanowi nadrzędne ograniczenie dla wszystkich procesów regulacji w układzie sterowania według wynalazku. Przykładowy obszar pracy dopuszczalnej przedstawiono na fig. 3 Krzywa określona jest przez punkty mapy regulatora proporcjonalny 9 zadanej wartości współczynnika nadmiaru powietrza gdzie:

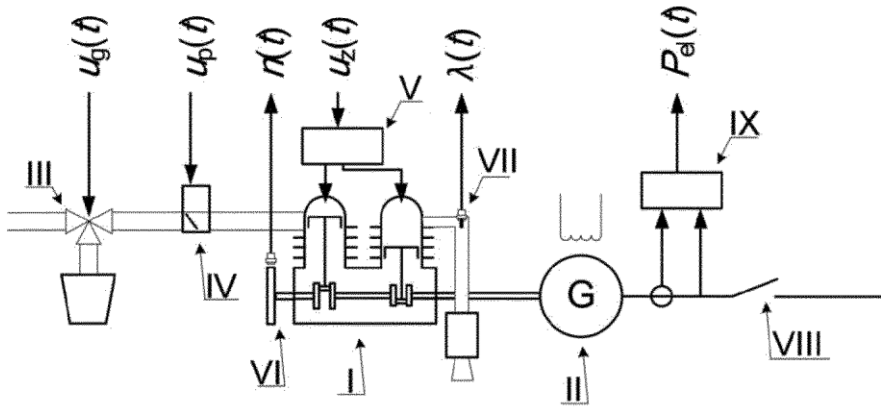
a - ograniczenie granicą palności, b - ograniczenie mocą minimalną kogeneratora wynikającą z minimalnej założonej wartości progowej sprawności generacji energii elektrycznej, c - ograniczenie mocą maksymalną generatora prądu, d - ograniczenie granicą palności i maksymalnymi dopuszczalnymi pulsacjami mocy generatora prądu.

Przeprowadzone testy układu kogeneracyjnego zasilanego LPG z mocą wyjściową wynoszącą 4,5 kW potwierdziły, że zastosowane rozwiązanie według wynalazku umożliwia uzyskanie wzrostu sprawności generacji energii elektrycznej względem rozwiązania klasycznego o ponad jeden punkt procentowy.

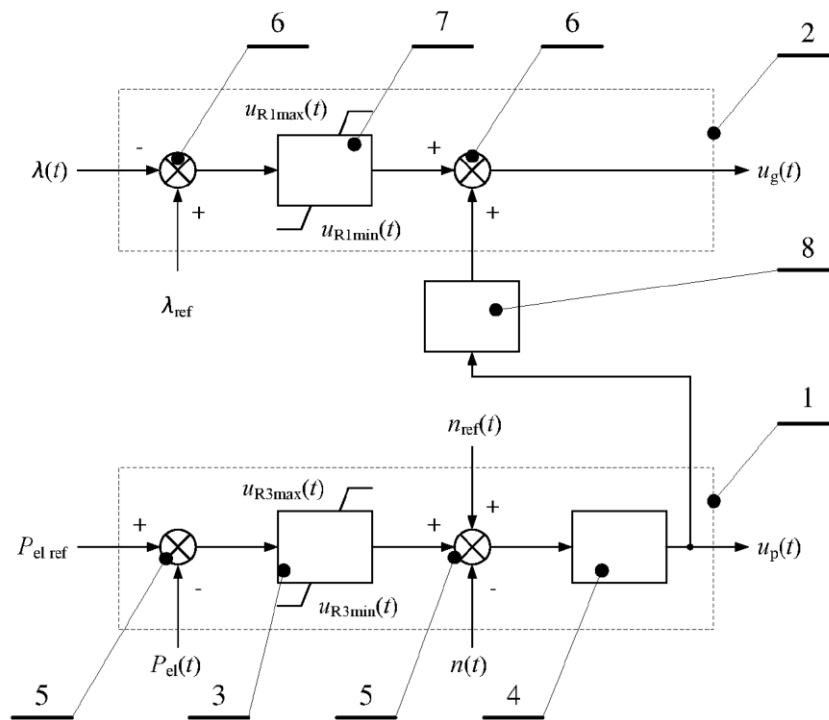
Zastrzeżenia patentowe

1. Układ do regulacji momentu obrotowego silnika spalinowego o zapłonie iskrowym w układzie mikrokogeneracyjnym, posiadający tor regulacji otwarcia przepustnicy i tor regulacji otwarcia zaworu gazu, gdzie tor regulacji otwarcia przepustnicy zawiera regulator mocy generatora prądu i regulator prędkości obrotowej silnika oraz sumatory, zaś tor regulacji otwarcia zaworu gazu zawiera sumatory i regulator korekcyjny współczynnika nadmiaru powietrza, a pomiędzy torami wpięty jest regulator wstępny współczynnika nadmiaru powietrza, **znamienny tym**, że pomiędzy torem regulacji otwarcia przepustnicy /1/, a torem regulacji otwarcia zaworu gazu /2/ wpięty jest regulator proporcjonalny /9/ zadanej wartości współczynnika nadmiaru powietrza z zaprogramowanymi parametrami stabilnej pracy silnika, którego sygnałem wejściowym jest sygnał zadanej mocy elektrycznej generatora prądu, a sygnałem wyjściowym jest sygnał zadanej wartości stosunku nadmiaru powietrza, który kierowany jest poprzez sumator /6/ do regulatora korekcyjnego /7/ współczynnika nadmiaru powietrza.
2. Układ według zastrz. 1, **znamienny tym**, że sygnałem wejściowym regulatora wstępnego /8/ współczynnika nadmiaru powietrza z zaprogramowanymi parametrami stabilnej pracy silnika jest sygnał zadanej mocy generatora prądu.
3. Układ według zastrz. 1 albo 2, **znamienny tym**, że do toru regulacji otwarcia zaworu gazu /2/ podłączony jest regulator proporcjonalny /10/ kąta zapłonu z zaprogramowanymi parametrami stabilnej pracy silnika, którego sygnałem wejściowym jest współczynnik nadmiaru powietrza, natomiast sygnałem wyjściowym jest sygnał sterujący modulem zapłonowym silnika spalinowego.

Rysunki



Pos.1



Pos.2

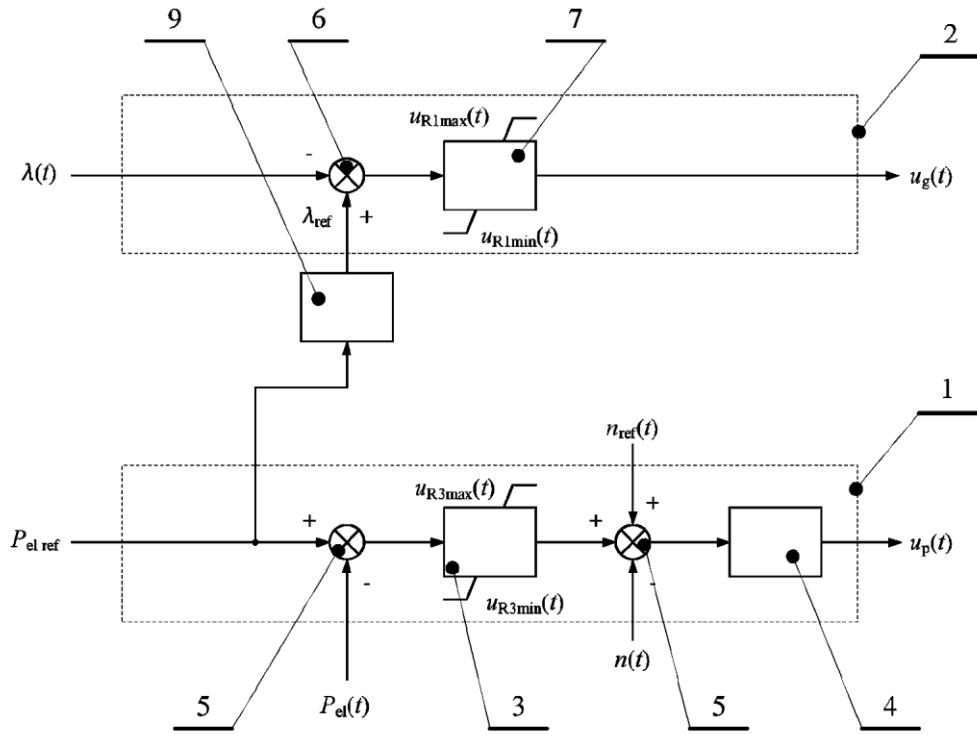


Fig.1

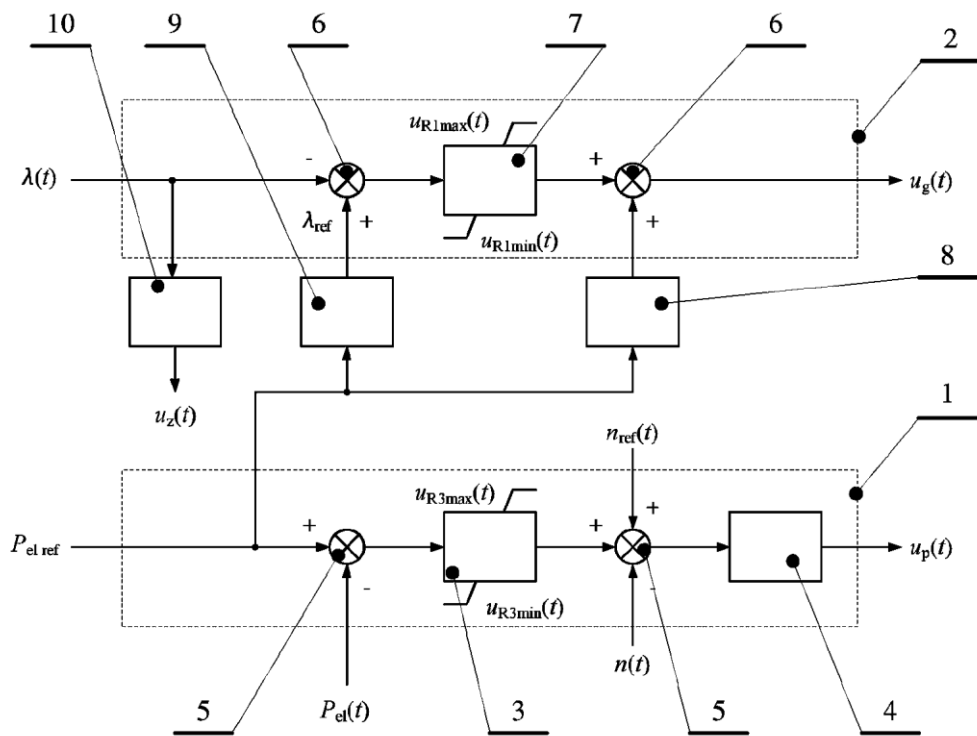


Fig.2

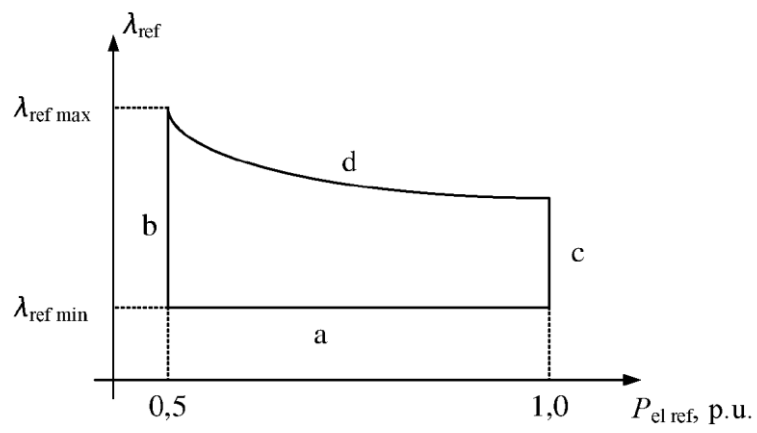


Fig.3