(19) URZĄD PATENTOWY RZECZYPOSPOLITEJ POLSKIEJ

(10) **PL 246831 B1**

(12) # Opis patentowy

(21) Numer zgłoszenia: **444208**
(22) Data zgłoszenia: **2023.03.27**
(43) Data publikacji o zgłoszeniu: **2024.07.15 BUP 29/2024**
(45) Data publikacji o udzieleniu patentu: **2025.03.17 WUP 11/2025**

(51) MKP:
G01R 27/26 *(2006.01)*

(73) Uprawniony z patentu:
POLITECHNIKA WARSZAWSKA, Warszawa, PL

(72) Twórca(-y) wynalazku:
TOMASZ STARECKI, Ustanów, PL

(74) Pełnomocnik:
rzecz. pat. Oliwia Czarnocka, Warszawa, PL

(54) Tytuł:
Urządzenia do pomiaru dobroci

PL 246831 B1

Opis wynalazku

Przedmiotem wynalazku są urządzenia do pomiaru dobroci, stosowane zwłaszcza do pomiaru dobroci obwodów z rezonatorami kwarcowymi.

Znany jest [np. z publikacji *Review of Scientific Instruments* **66**, 3924 (1995); https://doi.org/10.1063/L1145396] sposób pomiaru dobroci polegający na wzbudzeniu w mierzonym obwodzie oscylacji gasnących, a następnie obserwacji sygnału gasnącego, w celu określenia liczby N okresów sygnału, po jakim amplituda tych oscylacji spada *k*-krotnie. Dobroć można wówczas wyliczyć z zależności:

$$Q = N \cdot \pi / \ln(k), \qquad [1]$$

co oznacza, że np. jeśli sygnał spadnie o połowę (czyli dla $k = 2$) po N okresach, to dobroć Q określona będzie wzorem:

$$Q \approx N \cdot 4{,}53236. \qquad [2]$$

W znanym sposobie liczba N określa się przez obserwację sygnału gasnącego na ekranie oscyloskopu i zliczeniu liczby okresów, po których amplituda sygnału spada o połowę. Istotną wadą znanego sposobu jest to, że w przypadku dużych wartości dobroci (np. wartość Q rzędu tysięcy) ręczne zliczanie okresów na ekranie oscyloskopu jest niemożliwe i znany sposób wymaga rejestracji sygnału za pomocą cyfrowego oscyloskopu lub cyfrowego rejestratora sygnału, które są urządzeniami stosunkowo skomplikowanymi, dużymi, relatywnie drogimi i pobierającymi znaczną moc ze źródła zasilania.

Istota wynalazku polega na tym, że wyjście badanego układu rezonansowego, w którym wzbudza się oscylacje gasnące jest podłączone na wejścia nieodwracające dwóch komparatorów, na których wejścia odwracające podane są napięcia odniesienia (*REF1* oraz *REF2*), zaś wyjścia tych komparatorów podłączone są do wejść układu mierzącego czas *T* pomiędzy ostatnimi zboczami narastającymi lub ostatnimi zboczami opadającymi, które pojawiają się na wyjściach tych komparatorów.

Urządzenie do pomiaru dobroci w oparciu o pomiar szybkości zaniku oscylacji gasnących, w którym wejście badanego obwodu rezonansowego podłączone jest do wyjścia generatora pobudzającego charakteryzuje się tym, że wyjście badanego obwodu rezonansowego dołączone jest do wejść nieodwracających dwóch komparatorów, na których wejścia odwracające podawane są napięcia odniesienia.

Korzystnie, do wyjść dwóch komparatorów dołączone są retrygowalne uniwibratory monostabilne wytwarzające impulsy o czasie trwania większym niż pojedynczy okres oscylacji gasnących wytwarzanych przez badany obwód rezonansowy, wejścia tych uniwibratorów dołączone są do wyjść komparatorów.

Korzystnie, wyjścia dwóch komparatorów dołączone są do wejść układu do pomiaru czasu pomiędzy ostatnimi zboczami sygnałów podanych na wejścia.

Korzystnie, do wyjść retrygowalnych uniwibratorów monostabilnych podłączone są wejścia układu logicznego, a wyjście układu logicznego, który wytwarza impulsy o długości odpowiadającej odstępom czasu pomiędzy ostatnimi zboczami sygnałów z wyjść, podłączone jest do wejścia układu do pomiaru długości trwania impulsów.

W drugim wariancie, urządzenie do pomiaru dobroci w oparciu o pomiar szybkości zaniku oscylacji gasnących, w którym wejście badanego obwodu rezonansowego podłączone jest do wyjścia generatora pobudzającego charakteryzuje się tym, że wyjście badanego obwodu rezonansowego dołączone jest do wejść odwracających dwóch komparatorów, na których wejścia nieodwracające podawane są napięcia odniesienia.

Korzystnie, do wyjść dwóch komparatorów dołączone są retrygowalne uniwibratory monostabilne wytwarzające impulsy o czasie trwania większym niż pojedynczy okres oscylacji gasnących wytwarzanych przez badany obwód rezonansowy, wejścia tych uniwibratorów dołączone są do wyjść komparatorów.

Korzystnie, wyjścia dwóch komparatorów dołączone są do wejść układu do pomiaru czasu pomiędzy ostatnimi zboczami sygnałów podanych na wejścia.

Korzystnie, do wyjść retrygowalnych uniwibratorów monostabilnych podłączone są wejścia układu logicznego, a wyjście układu logicznego, który wytwarza impulsy o długości odpowiadającej odstępom czasu pomiędzy ostatnimi zboczami sygnałów z wyjść, podłączone jest do wejścia układu do pomiaru długości trwania impulsów.

W trzecim wariancie, urządzenie do pomiaru dobroci w oparciu o pomiar szybkości zaniku oscylacji gasnących, w którym wejście badanego obwodu rezonansowego podłączone jest do wyjścia generatora pobudzającego charakteryzuje się tym, że wyjście badanego obwodu rezonansowego dołączone jest do wejścia nieodwracającego pierwszego komparatora oraz wejścia odwracającego drugiego komparatora, na wejście odwracające pierwszego komparatora podawane jest pierwsze napięcie odniesienia, a na wejście nieodwracające drugiego komparatora podawane jest drugie napięcie odniesienia.

Korzystnie, do wyjść dwóch komparatorów dołączone są retrygowalne uniwibratory monostabilne wytwarzające impulsy o czasie trwania większym niż pojedynczy okres oscylacji gasnących wytwarzanych przez badany obwód rezonansowy, wejścia tych uniwibratorów dołączone są do wyjść komparatorów.

Korzystnie, wyjścia dwóch komparatorów dołączone są do wejść układu do pomiaru czasu pomiędzy ostatnimi zboczami sygnałów podanych na wejścia.

Korzystnie, do wyjść retrygowalnych uniwibratorów monostabilnych podłączone są wejścia układu logicznego, a wyjście układu logicznego, który wytwarza impulsy o długości odpowiadającej odstępom czasu pomiędzy ostatnimi zboczami sygnałów z wyjść, podłączone jest do wejścia układu do pomiaru długości trwania impulsów.

Komparatory służą do określenia momentów, kiedy amplituda mierzonego sygnału gasnącego spada poniżej zadanych progów odniesienia (*REF1* oraz *REF2*). Jeśli poziom sygnału referencyjnego dla jednego z komparatorów wynosi *REF1*, dla drugiego z komparatorów *REF2*, częstotliwość rezonansowa badanego obwodu wynosi *frez* oraz *REF1* > *REF2*, to dobroć można wyliczyć z zależności:

$$Q = T \cdot frez \cdot \pi / \ln (REF1 / REF2) \qquad [3]$$

Zaletą urządzenia do pomiaru dobroci według wynalazku jest znaczne uproszczenie układu pomiarowego, a w rezultacie także zmniejszenie jego kosztu, rozmiarów i poboru mocy w stosunku do znanego sposobu z obserwacją sygnału za pomocą oscyloskopu.

Wynalazki w przykładach wykonania zostały przedstawione na rysunku, na którym

Fig. 1 przedstawia przykładową realizację urządzenia w pierwszym przykładzie wykonania,

Fig. 2 przedstawia przebiegi czasowe sygnałów występujące w układzie w pierwszym przykładzie wykonania,

Fig. 3 przedstawia przykładową realizację urządzenia w drugim przykładzie wykonania,

Fig. 4 przedstawia przebiegi czasowe sygnałów na wyjściach komparatorów w układzie w drugim przykładzie wykonania,

Fig. 5 przedstawia przykładową realizację urządzenia w trzecim przykładzie wykonania,

Fig. 6 przedstawia przebiegi czasowe sygnałów na wyjściu jednego z komparatorów w układzie w trzecim przykładzie wykonania,

Fig. 7 przedstawia przykładową realizację urządzenia w czwartym przykładzie wykonania,

Fig. 8 przedstawia przebiegi czasowe sygnałów w czwartym przykładzie wykonania,

Fig. 9 przedstawia przykładową realizację urządzenia w piątym przykładzie wykonania a

Fig. 10 przedstawia przebiegi czasowe sygnałów w piątym przykładzie wykonania.

Przykładową realizację urządzenia według wynalazku przedstawiono na rysunku Fig. 1. Wejście OBI badanego obwodu rezonansowego OBB podłączone jest do wyjścia GPO generatora pobudzającego GPP, wyjście OBO badanego obwodu rezonansowego dołączone jest do wejść nieodwracających K1IP oraz K2IP komparatorów K1 i K2, na których wejścia odwracające K1IM oraz K2IM podawane są sygnały odniesienia *REF1* i *REF2*, a wyjścia K1O oraz K2O komparatorów K1 i K2 dołączone są do wejść UPI1 oraz UPI2 układu UPCZ do pomiaru czasu pomiędzy ostatnimi zboczami sygnałów podanych na wejścia UPI1 oraz UPI2.

Generator GPP wytwarza na wyjściu GPO sygnał pobudzający badany obwód rezonansowy OBB do oscylacji gasnących o częstotliwości *frez*. Wzbudzony sygnał gasnący podawany jest na wejścia nieodwracające komparatorów K1 i K2, na wejścia odwracające których podane są napięcia stałe *REF1* i *REF2* odpowiadające poziomom progowym amplitudy sygnału gasnącego, korzystnie o stosunku *k* = *REF1* / *REF2* równym 2 lub więcej. Wyjścia tych komparatorów połączone są z wejściami układu pomiaru czasu, który mierzy czas *T* pomiędzy ostatnimi opadającymi zboczami sygnałów z wyjść komparatorów. Przykładowe przebiegi czasowe występujące w układzie przedstawiono na rysunku Fig. 2. Dopóki amplituda sygnału gasnącego *we_k* jest większa niż podane na wejścia komparatorów napięcia poziomów progowych *REF1* i *REF2*, na wyjściach komparatorów są sygnały prostokątne o częstotliwości mierzonego sygnału gasnącego. Po spadku amplitudy sygnału gasnącego poniżej poziomu

progowego danego komparatora, na wyjściu tego komparatora pojawia się stały stan niski. Czas *T* jaki upływa pomiędzy ostatnimi opadającymi zboczami na wyjściach komparatorów jest to zatem czas jaki upływa między osiągnięciem przez amplitudę sygnału gasnącego poziomów *REF1* i *REF2*. Jeśli wartość współczynnika *k* zostanie określona jako:

$$k = REF1 \,/\, REF2 ,$$

to znając częstotliwość rezonansową *frez*, można łatwo obliczyć liczbę okresów N sygnału gasnącego, jakie wystąpią pomiędzy przekroczeniem poziomów progowych *REF1* i *REF2*:

$$\mathrm{N} = T \cdot frez ,$$

a dobroć układu można obliczyć ze wzoru:

$$\mathrm{Q} = \mathrm{N} \cdot \pi \,/\, \ln(k) .$$

Możliwa jest także przykładowa realizacja urządzenia jak na Fig. 3, która różni się od pierwszego przykładu wykonania urządzenia tym, że wyjście OBO badanego obwodu rezonansowego dołączone jest do wejść odwracających K1IM oraz K2IM komparatorów K1 i K2, podczas gdy na wejścia nieodwracające K1IP oraz K2IP tych komparatorów podane są napięcia stałe *REF1* i *REF2*. Ogólna zasada działania takiego układu jest analogiczna do zasady działania pierwszego przykładu wykonania urządzenia, a różnica polega na tym, że faza sygnałów na wyjściach komparatorów jest odwrócona, jak pokazano na przykładzie Fig. 4.

Możliwa jest także przykładowa realizacja urządzenia jak na Fig. 5, która różni się od pierwszego przykładu wykonania urządzenia tym, że wyjście OBO badanego obwodu rezonansowego dołączone jest do wejścia nieodwracającego K1IP komparatora K1 oraz wejścia odwracającego K2IM komparatora K2, na wejście odwracające K1IM komparatora K1 podawany jest sygnał odniesienia *REF1*, a na wejście nieodwracające K2IP komparatora K2 podawany jest sygnał odniesienia *REF2*. Ogólna zasada działania takiego układu jest również analogiczna do zasady działania pierwszego przykładu wykonania urządzenia, a różnica polega na tym, że faza sygnału na wyjściu jednego z komparatorów jest odwrócona, jak pokazano na przykładzie Fig. 6.

Urządzenie do pomiaru dobroci według wynalazku korzystnie zawiera uniwibratory retrygowalne UR1 i UR2, włączone jak pokazano w przykładowej realizacji na Fig. 7 pomiędzy wyjścia K1O oraz K2O komparatorów K1 i K2 oraz wejścia UPI1 oraz UPI2 układu UPCZ do pomiaru czasu, które to uniwibratory retrygowalne wytwarzają impulsy o długości większej niż pojedynczy okres sygnału gasnącego wytwarzanego w badanym obwodzie rezonansowym OBB. Takie rozwiązanie powoduje, że na wejściach układu UPCZ do pomiaru czasu zamiast ciągu krótkich impulsów jak na Fig. 2, 4 lub 6 pojawiają się pojedyncze, długie impulsy, jak pokazano na przykładzie na Fig. 8, a to pozwala na uproszczenie konstrukcji układu UPCZ do pomiaru czasu pomiędzy ostatnimi zboczami sygnałów podanych na wejścia UPI1 oraz UPI2.

Do wyjść U1O oraz U2O uniwibratorów retrygowalnych UR1 i UR2 korzystnie dołączony jest układ logiczny UL, jak pokazano w przykładowej realizacji na Fig. 9. Układ logiczny UL przekształca sygnały z wyjść uniwibratorów retrygowalnych w taki sposób, że na jego wyjściu pojawia się impuls o długości odpowiadającej odcinkowi czasu pomiędzy ostatnimi zboczami sygnałów na wyjściach uniwibratorów, jak pokazano w przykładzie na Fig. 10. Wyjście ULO układu logicznego UL jest podłączone do wejścia UPII układu pomiaru czasu trwania impulsu UPI, który to układ pomiaru czasu trwania impulsu zastępuje układ UPCZ do pomiaru czasu pomiędzy ostatnimi zboczami sygnałów. Zaletą tego rozwiązania jest to, iż układ pomiaru czasu trwania impulsu jest łatwiejszy do zrealizowania niż układ do pomiaru czasu pomiędzy zboczami impulsów pochodzących z dwóch różnych źródeł.

Zastrzeżenia patentowe

1. Urządzenie do pomiaru dobroci w oparciu o pomiar szybkości zaniku oscylacji gasnących, w którym wejście OBI badanego obwodu rezonansowego OBB podłączone jest do wyjścia GPO generatora pobudzającego GPP **znamienne tym**, że wyjście OBO badanego obwodu

rezonansowego dołączone jest do wejść nieodwracających K1IP oraz K2IP dwóch komparatorów K1 i K2, na których wejścia odwracające K1IM oraz K2IM podawane są napięcia odniesienia *REF1* i *REF2*.

2. Urządzenie do pomiaru dobroci wg zastrz. 1 **znamienne tym**, że do wyjść K1O i K2O dwóch komparatorów K1 i K2 dołączone są retrygowalne uniwibratory monostabilne UR1 oraz UR2 wytwarzające impulsy o czasie trwania większym niż pojedynczy okres oscylacji gasnących wytwarzanych przez badany obwód rezonansowy OBB, wejścia U1I oraz U2I tych uniwibratorów dołączone są do wyjść K1O oraz K2O komparatorów K1 i K2.
3. Urządzenie do pomiaru dobroci wg zastrz. 1 albo 2 **znamienne tym**, że wyjścia K1O oraz K2O dwóch komparatorów K1 i K2 dołączone są do wejść UPI1 oraz UPI2 układu UPCZ do pomiaru czasu pomiędzy ostatnimi zboczami sygnałów podanych na wejścia UPI1 oraz UPI2.
4. Urządzenie do pomiaru dobroci wg zastrz. 1 albo 2 **znamienne tym**, że do wyjść U1O i U2O retrygowalnych uniwibratorów monostabilnych UR1 oraz UR2 podłączone są wejścia ULI1 i ULI2 układu logicznego UL, a wyjście ULO układu logicznego UL, który wytwarza impulsy o długości odpowiadającej odstępom czasu pomiędzy ostatnimi zboczami sygnałów z wyjść U1O i U2O, podłączone jest do wejścia UPII układu UPI do pomiaru długości trwania impulsów.
5. Urządzenie do pomiaru dobroci w oparciu o pomiar szybkości zaniku oscylacji gasnących, w którym wejście OBI badanego obwodu rezonansowego OBB podłączone jest do wyjścia GPO generatora pobudzającego GPP **znamienne tym**, że wyjście OBO badanego obwodu rezonansowego dołączone jest do wejść odwracających K1IM oraz K2IM komparatorów K1 i K2, na których wejścia nieodwracające K1IP oraz K2IP podawane są napięcia odniesienia *REF1* i *REF2*.
6. Urządzenie do pomiaru dobroci wg zastrz. 5 **znamienne tym**, że do wyjść K1O i K2O dwóch komparatorów K1 i K2 dołączone są retrygowalne uniwibratory monostabilne UR1 oraz UR2 wytwarzające impulsy o czasie trwania większym niż pojedynczy okres oscylacji gasnących wytwarzanych przez badany obwód rezonansowy OBB, wejścia U1I oraz U2I tych uniwibratorów dołączone są do wyjść K1O oraz K2O komparatorów K1 i K2.
7. Urządzenie do pomiaru dobroci wg zastrz. 5 albo 6 **znamienne tym**, że wyjścia K1O oraz K2O dwóch komparatorów K1 i K2 dołączone są do wejść UPI1 oraz UPI2 układu UPCZ do pomiaru czasu pomiędzy ostatnimi zboczami sygnałów podanych na wejścia UPI1 oraz UPI2.
8. Urządzenie do pomiaru dobroci wg zastrz. 5 albo 6 **znamienne tym**, że do wyjść U1O i U2O retrygowalnych uniwibratorów monostabilnych UR1 oraz UR2 podłączone są wejścia ULI1 i ULI2 układu logicznego UL, a wyjście ULO układu logicznego UL, który wytwarza impulsy o długości odpowiadającej odstępom czasu pomiędzy ostatnimi zboczami sygnałów z wyjść U1O i U2O, podłączone jest do wejścia UPII układu UPI do pomiaru długości trwania impulsów.
9. Urządzenie do pomiaru dobroci w oparciu o pomiar szybkości zaniku oscylacji gasnących, w którym wejście OBI badanego obwodu rezonansowego OBB podłączone jest do wyjścia GPO generatora pobudzającego GPP **znamienne tym**, że wyjście OBO badanego obwodu rezonansowego dołączone jest do wejścia nieodwracającego K1IP komparatora K1 oraz wejścia odwracającego K2IM komparatora K2, na wejście odwracające K1IM komparatora K1 podawane jest napięcie odniesienia *REF1*, a na wejście nieodwracające K2IP komparatora K2 podawane jest napięcie odniesienia *REF2*.
10. Urządzenie do pomiaru dobroci wg zastrz. 9 **znamienne tym**, że do wyjść K1O i K2O dwóch komparatorów K1 i K2 dołączone są retrygowalne uniwibratory monostabilne UR1 oraz UR2 wytwarzające impulsy o czasie trwania większym niż pojedynczy okres oscylacji gasnących wytwarzanych przez badany obwód rezonansowy OBB, wejścia U1I oraz U2I tych uniwibratorów dołączone są do wyjść K1O oraz K2O komparatorów K1 i K2.
11. Urządzenie do pomiaru dobroci wg zastrz. 9 albo 10 **znamienne tym**, że wyjścia K1O oraz K2O dwóch komparatorów K1 i K2 dołączone są do wejść UPI1 oraz UPI2 układu UPCZ do pomiaru czasu pomiędzy ostatnimi zboczami sygnałów podanych na wejścia UPI1 oraz UPI2.
12. Urządzenie do pomiaru dobroci wg zastrz. 9 albo 10 **znamienne tym**, że do wyjść U1O i U2O retrygowalnych uniwibratorów monostabilnych UR1 oraz UR2 podłączone są wejścia ULI1 i ULI2 układu logicznego UL, a wyjście ULO układu logicznego UL, który wytwarza impulsy o długości odpowiadającej odstępom czasu pomiędzy ostatnimi zboczami sygnałów z wyjść U1O i U2O, podłączone jest do wejścia UPII układu UPI do pomiaru długości trwania impulsów.

Rysunki

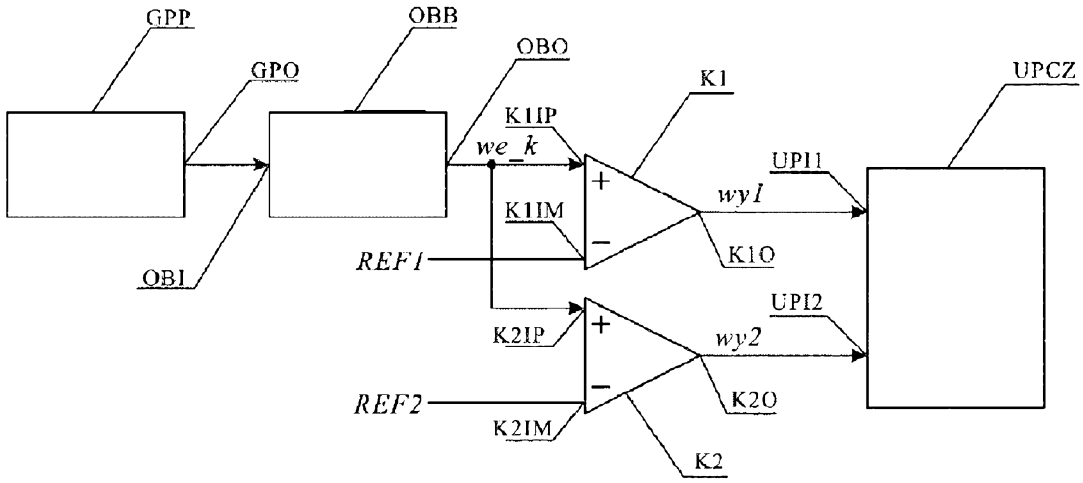

Fig. 1

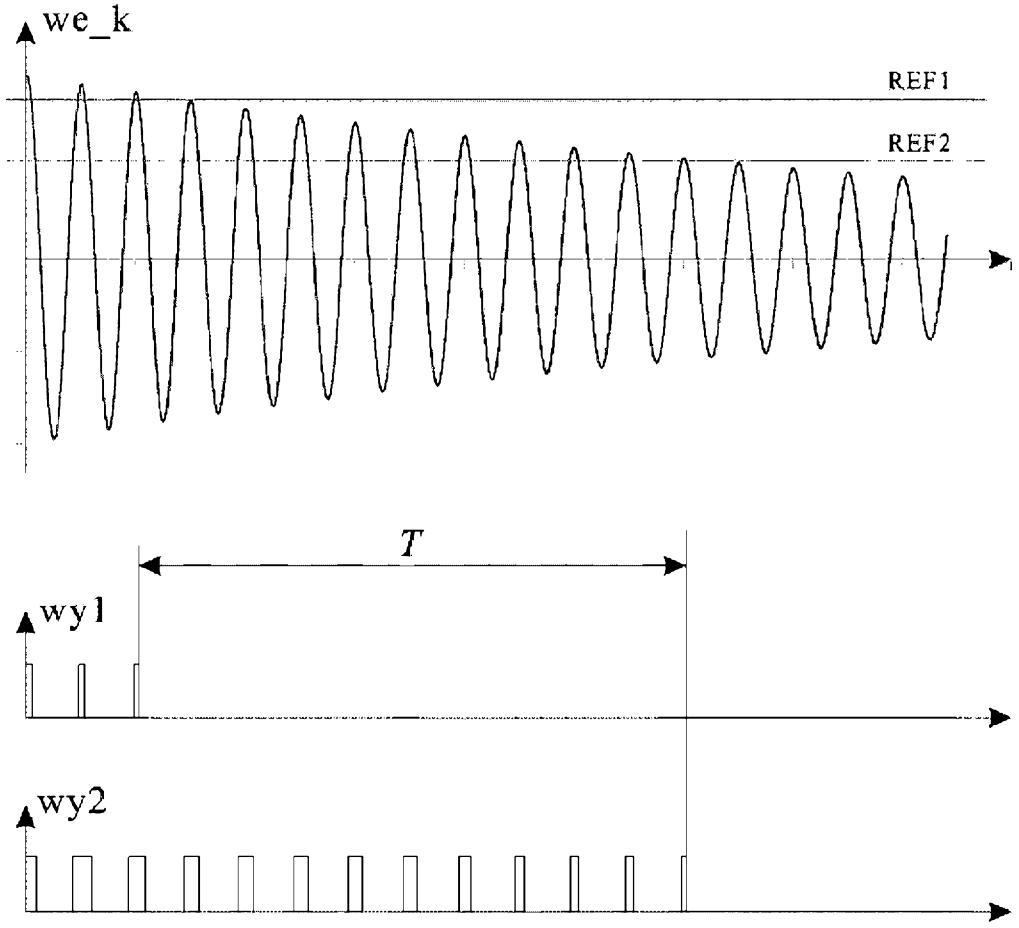

Fig. 2

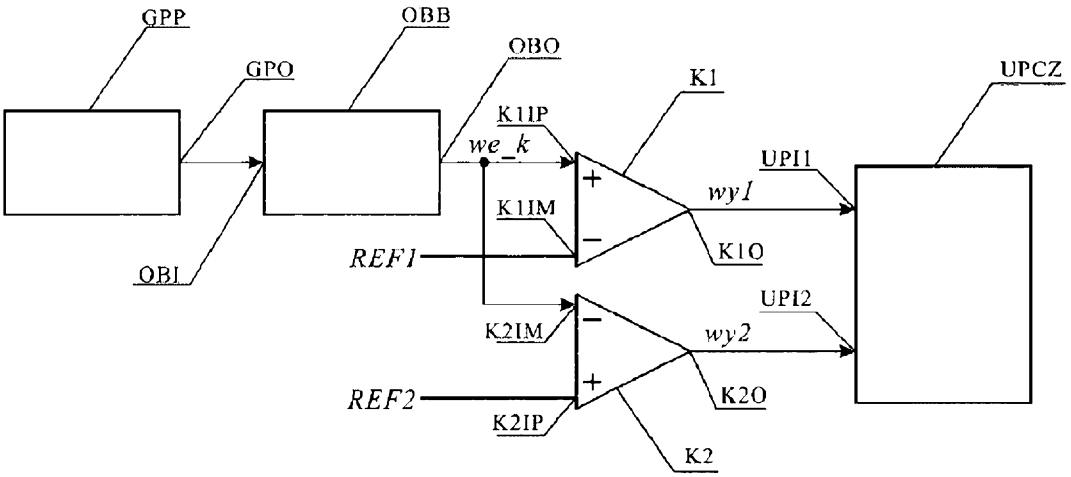
GPP
GPO
OBB
OBO
K1
UPCZ
K11P
we_k
UPI1
wy1
K11M
K1O
OBI
REF1
UPI2
K2IM
wy2
REF2
K2O
K2IP
K2

Fig. 3

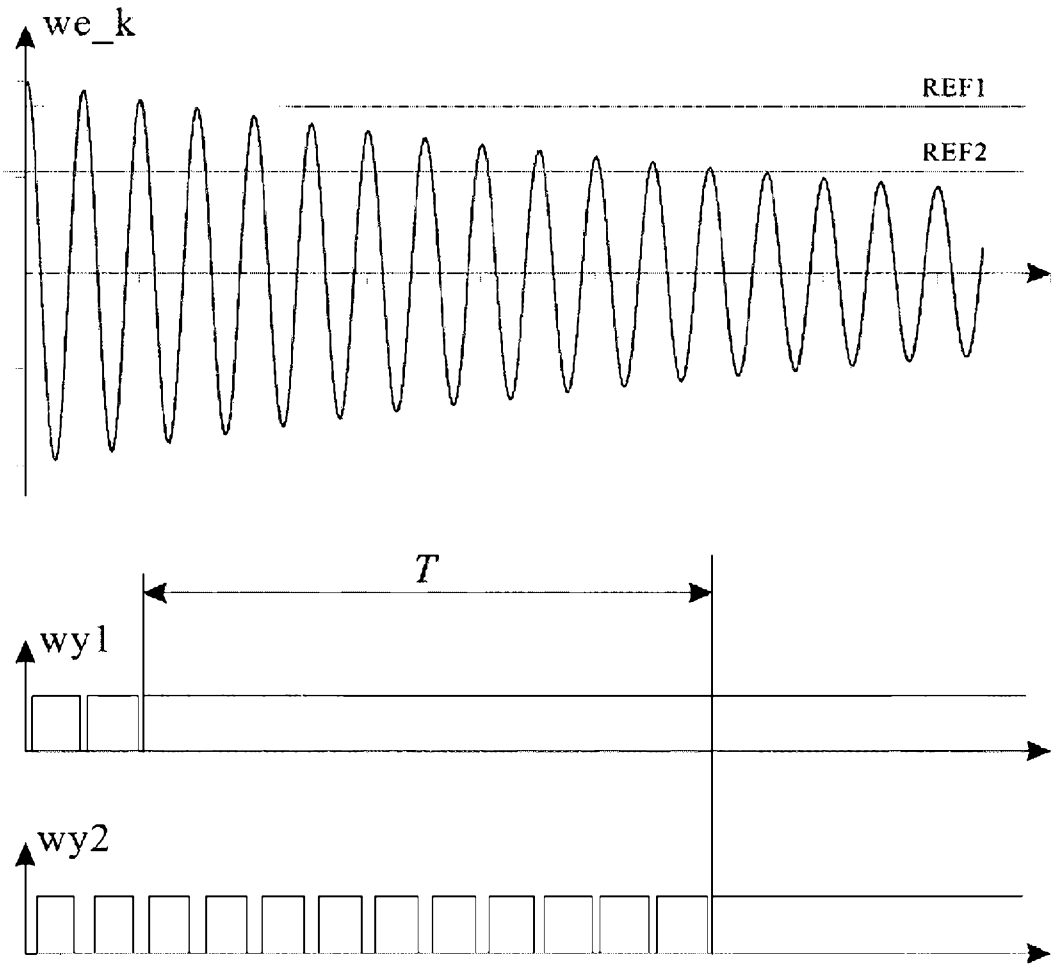

Fig. 4

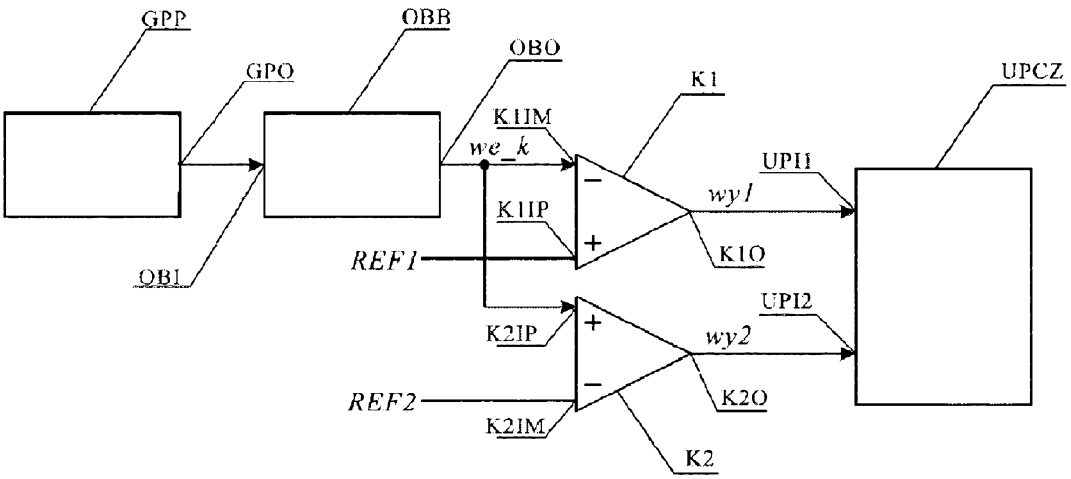
GPP
GPO
OBB
OBO
K1
UPCZ
K1IM
we_k
UPI1
wy1
K1IP
K1O
OB1
REF1
UPI2
K2IP
wy2
K2O
REF2
K2IM
K2

Fig. 5

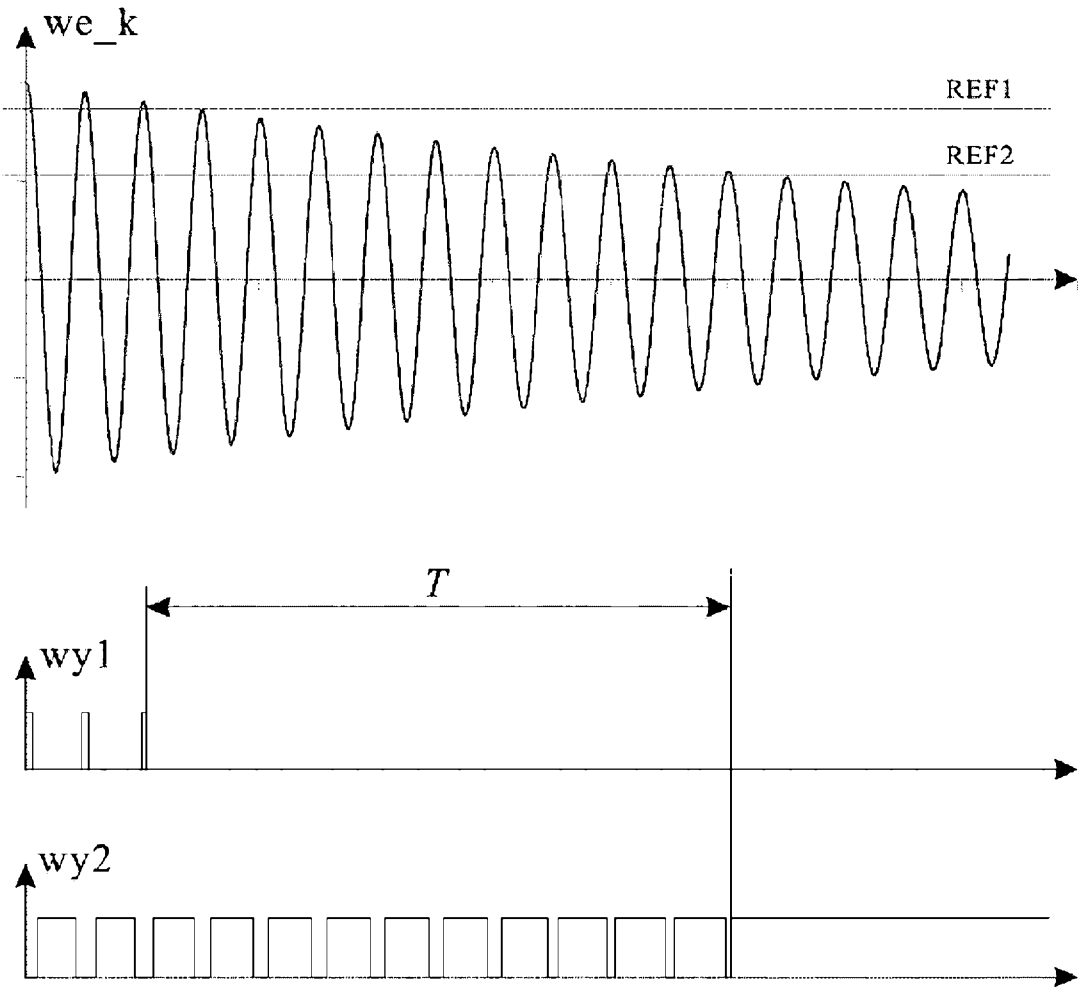

Fig. 6

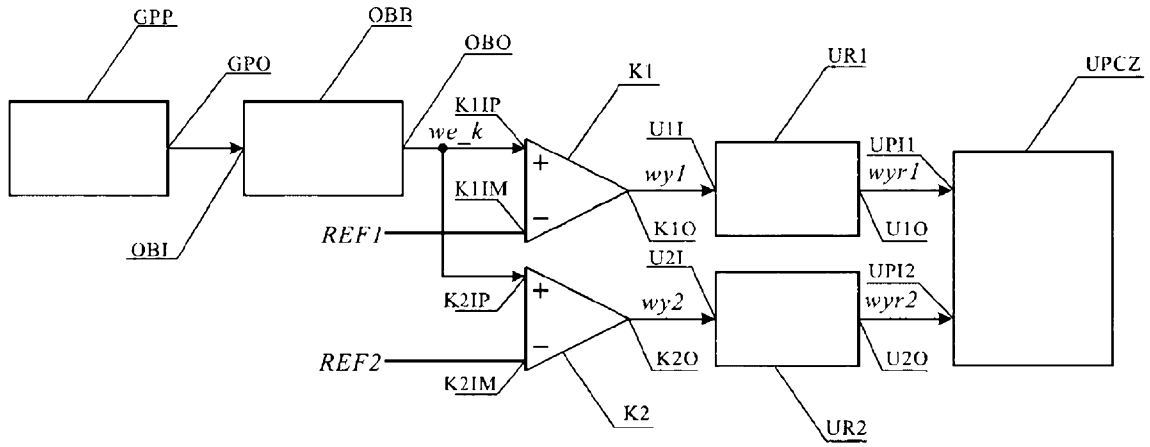
GPP
GPO
OBB
OBO
K1
UR1
UPCZ
K1IP
we_k
U1I
UPI1
wyr1
K1IM
wy1
U1O
OBI
REF1
K1O
U2I
K2IP
wy2
UPI2
wyr2
REF2
K2O
U2O
K2IM
K2
UR2

Fig. 7

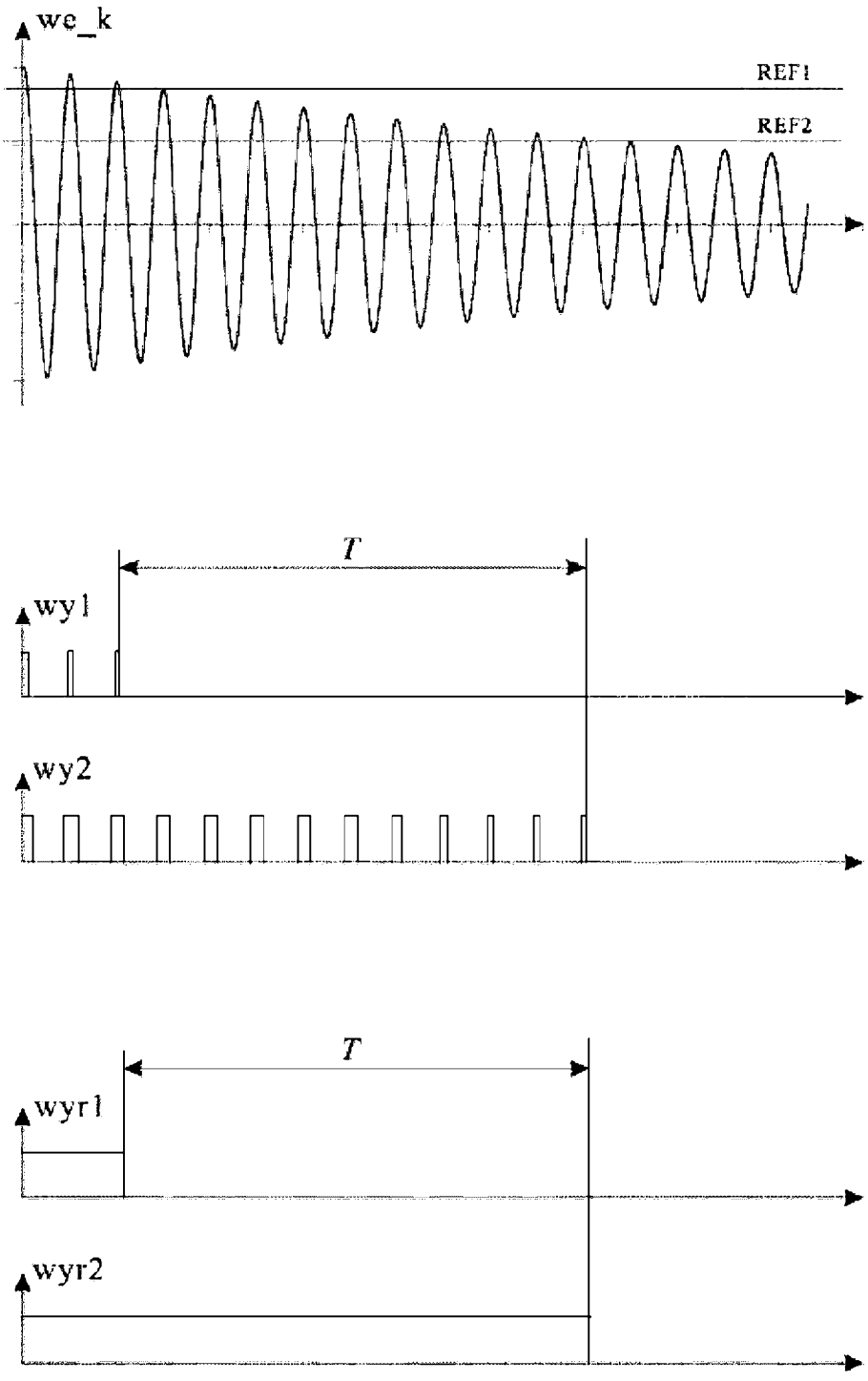

Fig. 8

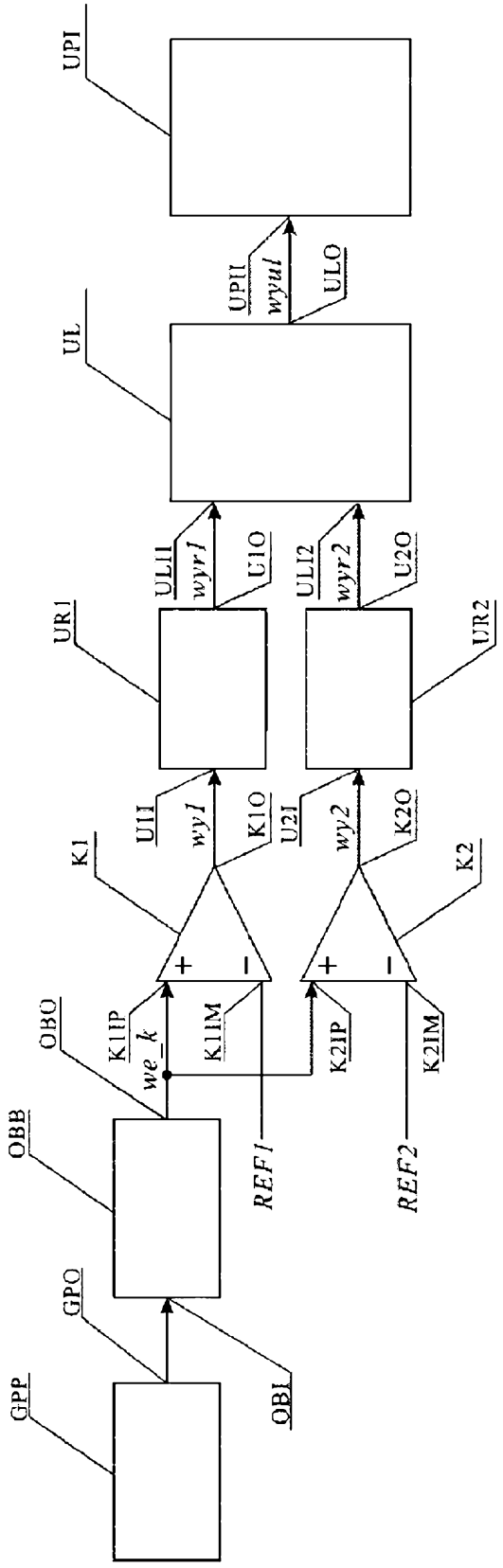
UPI
UPII
wyul
ULO
UL
ULI1
wyr1
U1O
ULI2
wyr2
U2O
UR1
UR2
U1I
wy1
K1O
U2I
wy2
K2O
K1
K2
OBO
K1IP
we_k
K1IM
K2IP
K2IM
OBB
REF1
REF2
GPO
OBI
GPP

Fig. 9

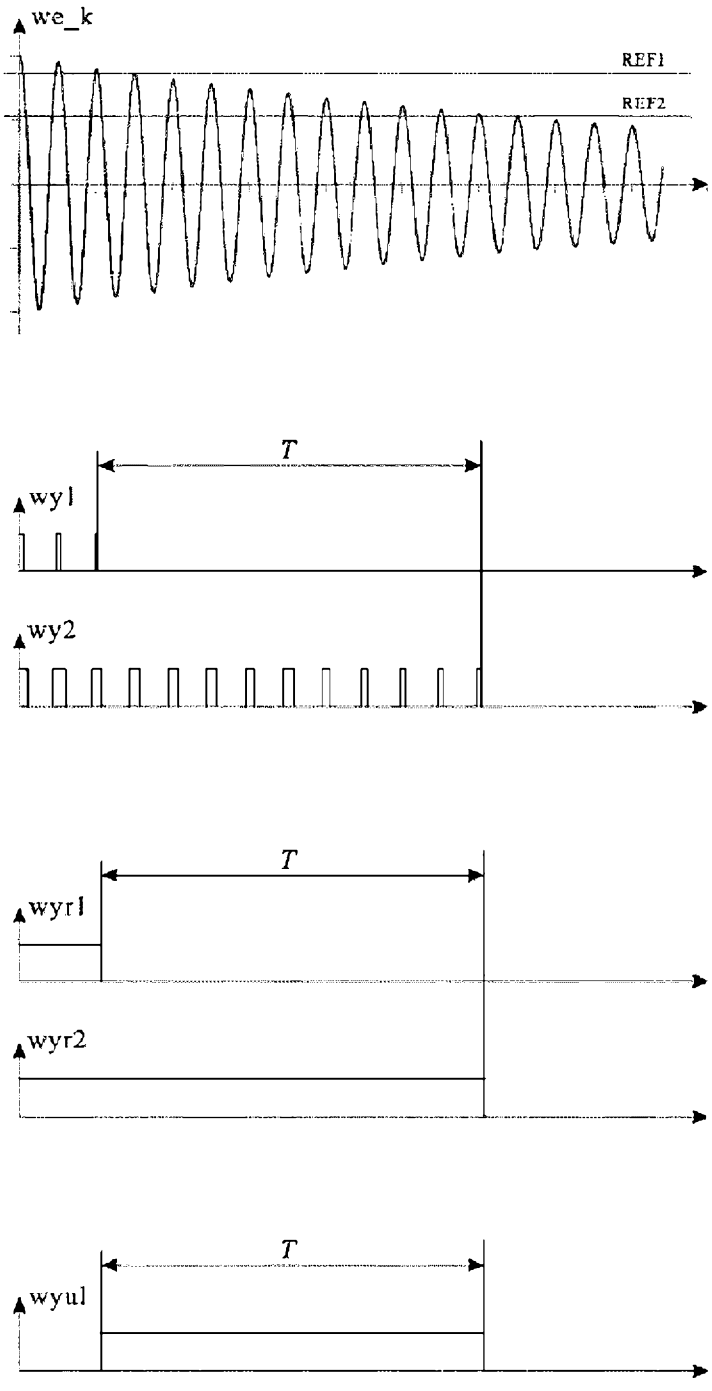

Fig. 10