

RZECZPOSPOLITA
POLSKA



Urząd Patentowy
Rzeczypospolitej Polskiej

(12) **OPIS PATENTOWY** (19) **PL** (11) **233980**

(13) **B1**

(21) Numer zgłoszenia: **424054**

(51) Int.Cl.
H02M 1/00 (2006.01)
H02M 3/156 (2006.01)

(22) Data zgłoszenia: **27.12.2017**

(54) **Sposób pomiaru wartości średniej prądu wejściowego pojedynczego
i wielofazowego przekształtnika podwyższającego napięcie**

(43) Zgłoszenie ogłoszono:
01.07.2019 BUP 14/19

(45) O udzieleniu patentu ogłoszono:
31.12.2019 WUP 12/19

(73) Uprawniony z patentu:
POLITECHNIKA ŚLĄSKA, Gliwice, PL

(72) Twórca(y) wynalazku:
MARCIN ZYGMANOWSKI, Gliwice, PL
JAROSŁAW MICHALAK, Bytom, PL
MICHAŁ JELEŃ, Chełm Śląski, PL

(74) Pełnomocnik:
rzecz. pat. Justyna Duda

PL 233980 B1

Opis wynalazku

Przedmiotem wynalazku jest sposób pomiaru wartości średniej prądu wejściowego pojedynczego i wielofazowego przekształtnika podwyższającego napięcie energoelektronicznego DC-DC (ang. *boost converter, multi-phase interleaved boost converter*), zwłaszcza dla urządzeń współpracujących ze źródłami odnawialnymi.

W stanie ustalonym, gdy prąd wyjściowy przekształtnika podwyższającego napięcie typu BOOST przekracza wartość graniczną, prąd dławika, który równocześnie jest prądem wejściowym, jest ciągły. Gdy prąd dławika jest ciągły, wówczas jego wartość średnia jest równa średniej arytmetycznej z jego wartości minimalnej i maksymalnej w trakcie okresu przełączania. Stała wartość indukcyjności dławika, w przypadku gdy nie występuje zjawisko nasycenia jego rdzenia, zapewnia liniowe zmiany prądu dławika. W takim przypadku wartość średnia prądu wejściowego może być zmierzona w połowie czasu trwania sygnału załączającego tranzystor. Taki pomiar jest powszechnie stosowany w systemach ze sterownikami mikroprocesorowymi, ponieważ w układach modulacji szerokości impulsów mikrokontrolera w połowie czasu trwania impulsu załączającego tranzystor występuje zero lub maksimum sygnału nośnego, dzięki temu istnieje możliwość synchronicznego pomiaru wielkości elektrycznych, np. prądu. Dokładny i szybki pomiar prądu jest potrzebny do realizacji sterowania o wysokiej dynamice oraz realizacji zabezpieczenia nadprądowego umożliwiającego szybkie i bezpieczne wyłączenia przekształtnika.

W sytuacji, gdy prąd dławika jest nieciągły, pomiar wartości średniej prądu wejściowego przekształtnika jest utrudniony. Wartość prądu mierzonego w połowie czasu trwania załączenia tranzystora nie jest równa wartości średniej prądu wejściowego. Do określenia wartości średniej konieczne jest wtedy stosowanie układów pomiarowych uśredniających sygnały pomiarowe. Układy takie mają jednak wadę w postaci wprowadzania opóźnienia pomiędzy wartością mierzoną prądu a jego rzeczywistą wartością średnią. Opóźnienie to może być krytyczne zarówno w przypadku stosowania szybkich metod regulacji pracy przekształtnika, jak i szybkich zabezpieczeń nadprądowych.

Przykładowe rozwiązanie układu mierzącego wartość średnią prądu wejściowego przekształtnika DC-DC podwyższającego napięcie zostało ujawnione w wynalazku US9621018, gdzie wartość średnią wyznacza się za pomocą układu bazującego na wzmacniaczu operacyjnym i układzie uśredniającym RC.

Inny sposób pomiaru prądu dławików został ujawniony w wynalazku US20150349634. Bazuje on na pomiarze napięcia dławika wraz z dodatkowymi impedancjami, umożliwiającymi wykonanie właściwego pomiaru wartości średniej prądu za pomocą przetworników analogowo-cyfrowych mierzących wybrane napięcia gałęzi dołączonych impedancji.

Istotą wynalazku jest sposób pomiaru wartości średniej prądu wejściowego pojedynczego i wielofazowego przekształtnika podwyższającego napięcie, który charakteryzuje się tym, że dokonuje się pomiaru napięcia wejściowego i wyjściowego V_{in} i V_o , następnie dokonuje się pomiaru prądu I_p w połowie czasu załączenia tranzystora $\frac{1}{2}DT_s$, dla aktualnego wypełnienia sygnału D, po czym wyznacza się współczynnik korygujący k pomiaru prądu w zakresie 0–2.

W sposobie pomiaru wartości średniej prądu wejściowego przekształtnika DC-DC podwyższającego napięcie według wynalazku, odtworzenie poprawnej wartości średniej wymaga wykonania pomiaru napięcia wejściowego i napięcia wyjściowego, użycia aktualnej wartości wypełnienia sygnału sterującego oraz wykonania pomiaru prądu wejściowego, na podstawie czego dokonywana jest szybka korekta dla danego okresu przełączeń tranzystora.

Korzyścią rozwiązania jest to, że przedstawiony sposób pozwala na uzyskanie poprawnej wartości średniej prądu wejściowego zarówno dla ciągłych, jak i nieciągłych prądów dławika, w sposób natychmiastowy, bez potrzeby stosowania dodatkowych zewnętrznych uśredniających obwodów elektronicznych, które cechują się wprowadzeniem opóźnienia w odtwarzaniu wartości średniej. Proponowana metoda, cechuje się brakiem takiego opóźnienia, przez co jest szybsza od metod bazujących na zewnętrznych układach uśredniających.

Cechą charakterystyczną sposobu według wynalazku jest konieczność wykonania jednego pomiaru prądu wejściowego w okresie przełączania tranzystora T_s wraz z wykonaniem pomiarów napięcia wejściowego V_{in} oraz wyjściowego V_o . Są to typowe wielkości mierzone w przekształtnikach DC-DC.

Przedmiot wynalazku przedstawiony został w przykładzie wykonania na rysunkach, gdzie Fig. 1 przedstawia schemat podłączenia pojedynczego przekształtnika DC-DC podwyższającego napięcie typu BOOST, włączonego między źródło zasilające i odbiornik. Fig. 2 prezentuje schemat podłączenia

wielofazowego przekształtnika DC-DC podwyższającego napięcie włączonego między źródło zasilające i odbiornik, Fig. 3 przedstawia schemat elektryczny pojedynczego przekształtnika DC-DC podwyższającego napięcie. Fig. 4 obrazuje przebiegi prądu wejściowego pojedynczego przekształtnika DC-DC podwyższającego napięcie w przypadku, gdy prąd dławika jest ciągły, a Fig. 5 ukazuje przebiegi prądu wejściowego pojedynczego przekształtnika, gdy prąd dławika jest nieciągły, Fig. 6 i Fig. 7 przedstawiają przebiegi prądu wejściowego przekształtnika podwójnego w czterech sytuacjach, gdy prądy dławików są nieciągłe, Fig. 8 przedstawia schemat układu sterowania przekształtnikiem podwyższającym napięcie, wykorzystującym zaproponowaną metodę pomiaru wartości średniej prądu wejściowego.

Sposób według wynalazku został przedstawiony w przykładzie wykonania.

Przekształtnik DC-DC podwyższający napięcie **B**, składający się z jednego przekształtnika typu BOOST **P**₁ (Fig. 1) lub kilku równolegle połączonych przekształtników typu BOOST **P**₁-**P**_{*n*} (Fig. 2), podłączony jest za pomocą wyprowadzeń wejściowych **B**₁, **B**₂ do źródła napięcia stałego **A** o wartości *V*_{in} i wyprowadzeń wyjściowych **B**₃, **B**₄ do odbiornika **C** modelowanego jako zastępczy rezystor o rezystancji *R*. Każdy przekształtnik podwyższający napięcie typu BOOST **P**_{*x*} (Fig. 3) składa się z dławika wejściowego *L*_{*x*}, tranzystora *T*_{*x*} sterowanego sygnałem *s*_{*x*}, diody *D*_{*x*} oraz opcjonalnie kondensatora *C*_{*x*}, gdzie numer *x* = (1, 2, ..., *n*). Prąd wejściowy *i*_{in} przekształtnika DC-DC podwyższającego napięcie **B**, w przypadku przekształtnika pojedynczego, jest prądem dławika przekształtnika typu BOOST **P**₁, a w przypadku przekształtnika *n*-fazowego, gdzie równolegle połączonych jest *n* przekształtników typu BOOST **P**₁-**P**_{*n*}, jest sumą prądów dławików $i_{L1} + i_{L2} + \dots + i_{Ln}$.

W pojedynczym przekształtniku typu BOOST (Fig. 1), gdy prąd dławika *i*_{L1} jest ciągły (Fig. 4) lub na granicy ciągłości, wartość mierzona prądu wejściowego *I*_p odpowiada rzeczywistej wartości średniej prądu wejściowego *I*_{in}. Pomiar prądu wejściowego odbywa się w chwili, gdy sygnał nośny *s*_N, stosowany w modulatorze, osiąga wartość zero lub maksimum. Chwila pomiaru prądu *I*_p dla okresu przełączania *T*_S, rozpoczynającego się od załączenia tranzystora *T*₁, odpowiada wartości $\frac{1}{2}DT_S$, gdzie *D* jest wypełnieniem sygnału sterującego *s*₁. W przypadku gdy prąd dławika *i*_{L1} jest nieciągły (Fig. 5), wartość zmierzona prądu wejściowego *I*_p będzie większa od rzeczywistej wartości średniej tego prądu. W przekształtniku podwyższającym napięcie, składającym się z *n* równolegle połączonych przekształtników typu BOOST (Fig. 2), rozbieżność pomiędzy wartością mierzoną prądu wejściowego *I*_p a rzeczywistą wartością średnią prądu istnieje, gdy prądy dławików poszczególnych przekształtników **P**_{*x*} są nieciągłe. Istnieją różne warunki pracy, dla których wartość zmierzona prądu *I*_p może być większa od rzeczywistej wartości średniej lub może być od niej mniejsza (Fig. 6 i Fig. 7).

Do odpowiedniego wysterowania tranzystorów *T*_{*x*} przekształtnika **B** stosuje się sterownik mikroprocesorowy **E** (Fig. 8), wewnątrz którego występuje układ sterowania **G** oraz modulator **H**. Do właściwej pracy układu sterowania **G** potrzebna jest wartość średnia prądu wejściowego *I*_{in}^{*}, która wyznaczana jest na podstawie zmierzonej wartości prądu *I*_p oraz obliczonego współczynnika korygującego *k*. Współczynnik korygujący *k* określa się w bloku **F** (Fig. 8) na podstawie odpowiednich zależności. Przykładowo dla idealnego pojedynczego przekształtnika podwyższającego napięcie współczynnik korygujący *k* wyraża się wzorem (1)

$$k = D \left(\frac{V_O}{V_O - V_{in}^*} \right) \quad (1)$$

gdzie wypełnienie *D* ustalane jest w układzie sterowania **G** (Fig. 8). Na podstawie wyznaczonego współczynnika korygującego *k* i zmierzonego prądu wejściowego w chwili $\frac{1}{2}DT_S$ oznaczanego jako *I*_p odtwarza się wartość średnią prądu wejściowego *I*_{in}^{*} na podstawie wzoru (2).

$$I_{in}^* = kI_p \quad (2)$$

Dla *n*-fazowych przekształtników podwyższających współczynnik korygujący *k* w zakresie 0–2 jest określony jako funkcja wypełnienia *D*, napięcia wejściowego *V*_{in} i napięcia wyjściowego *V*_o.

Proponowana metoda bazuje na wykorzystaniu sterownika mikroprocesorowego do sterowania przekształtnikiem DC-DC, gdzie dzięki wykonaniu odpowiednich pomiarów wielkości elektrycznych obliczany jest współczynnik korygujący pomiaru prądu i jego wartość średnia potrzebna do efektywnego sterowania przekształtnikiem.

Zastrzeżenie patentowe

1. Sposób pomiaru wartości średniej prądu wejściowego pojedynczego i wielofazowego przekształtnika podwyższającego napięcie, **znamienny tym**, że dokonuje się pomiaru napięcia wejściowego i wyjściowego V_{in} i V_o , następnie dokonuje się pomiaru prądu I_p w połowie czasu załączenia tranzystora $\frac{1}{2}DT_s$, dla aktualnego wypełnienia sygnału D , po czym wyznacza się współczynnik korygujący k pomiaru prądu w zakresie 0–2.

Rysunki

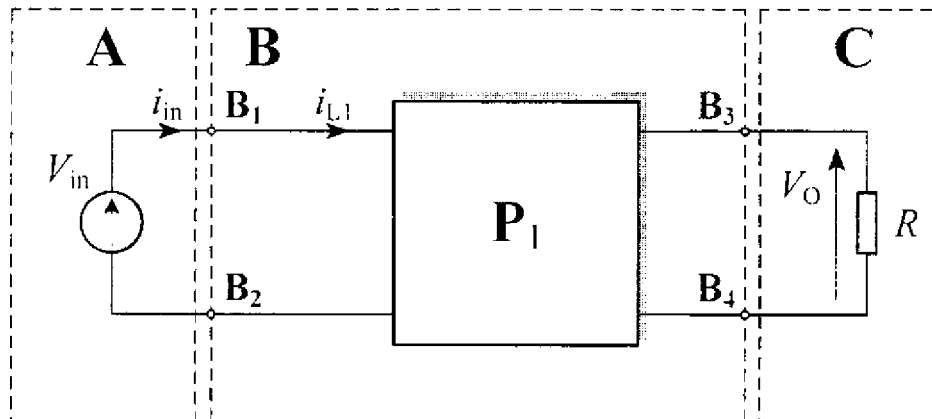


FIG. 1

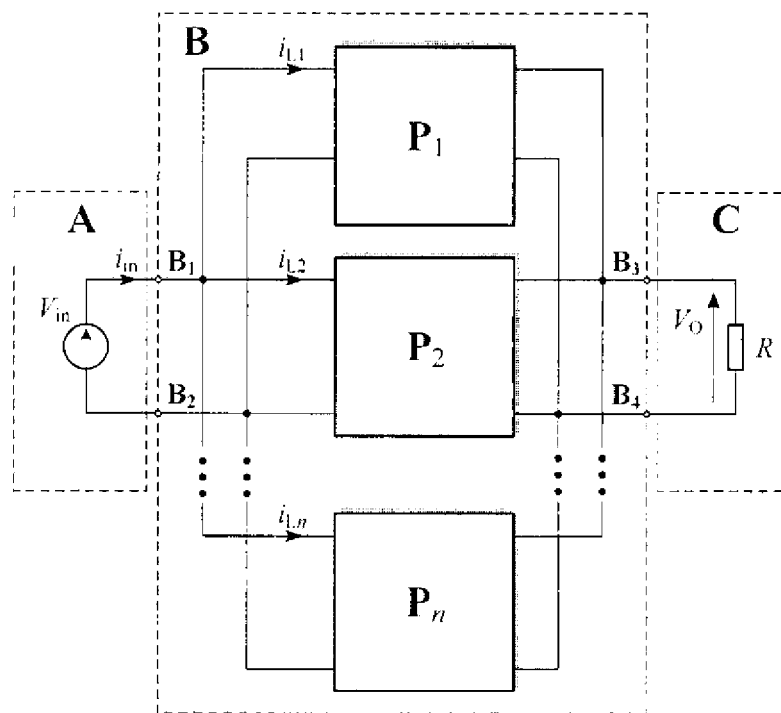


Fig. 2

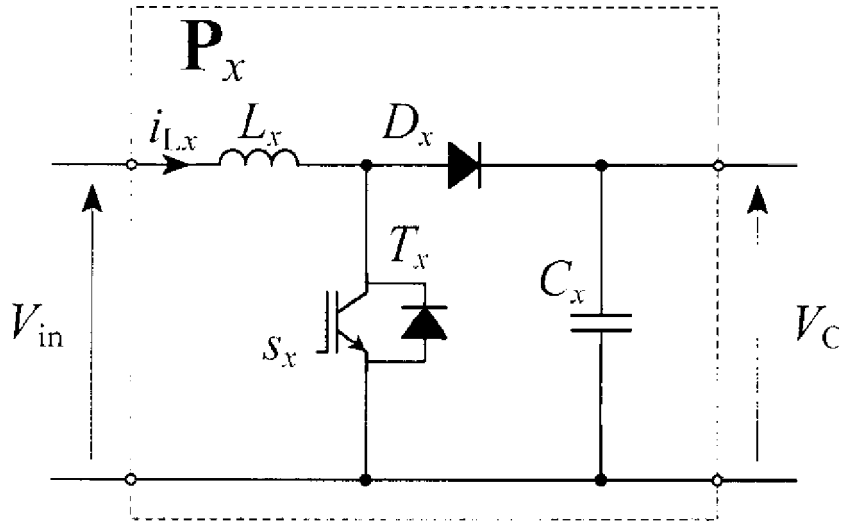


Fig. 3

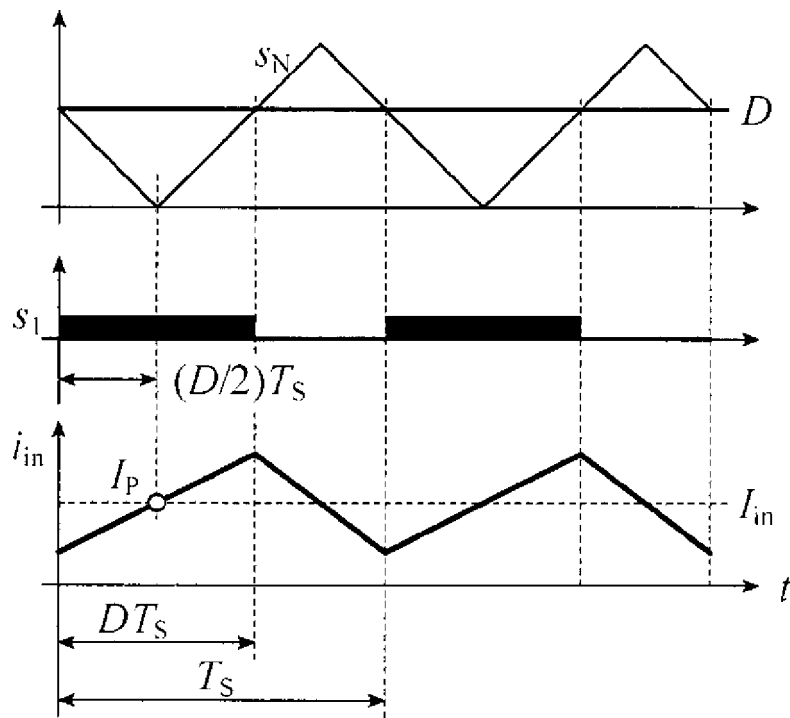


Fig. 4

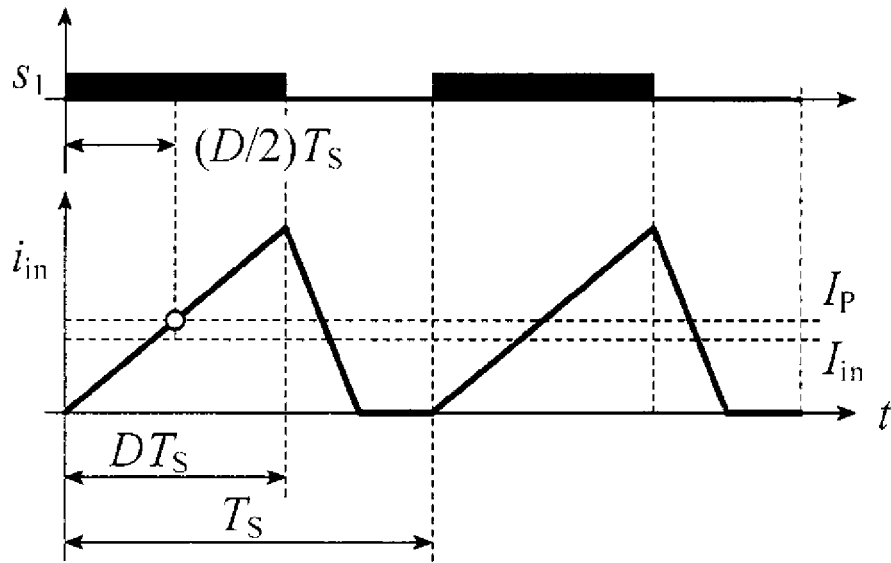


Fig. 5

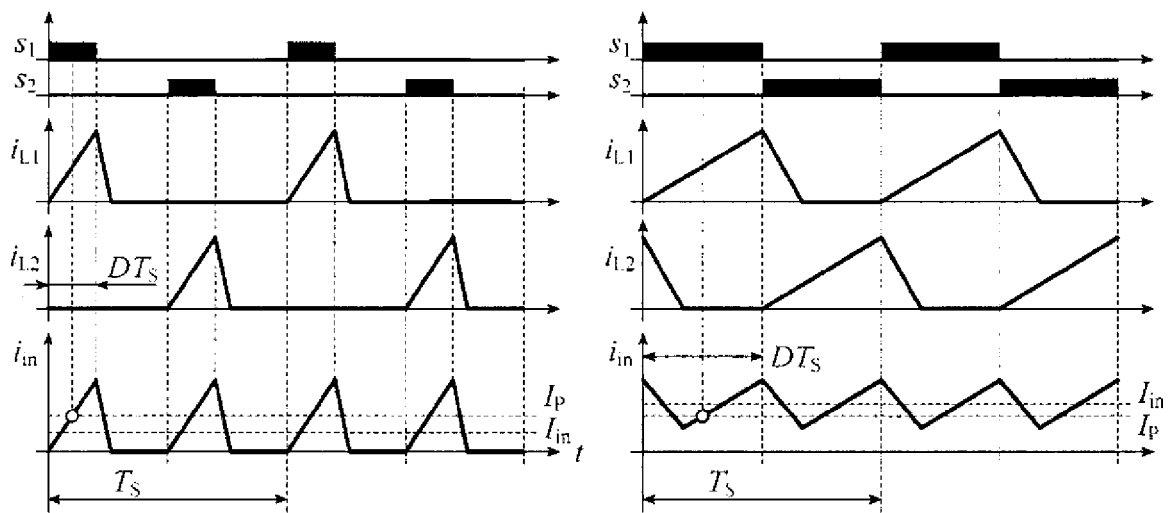


Fig. 6

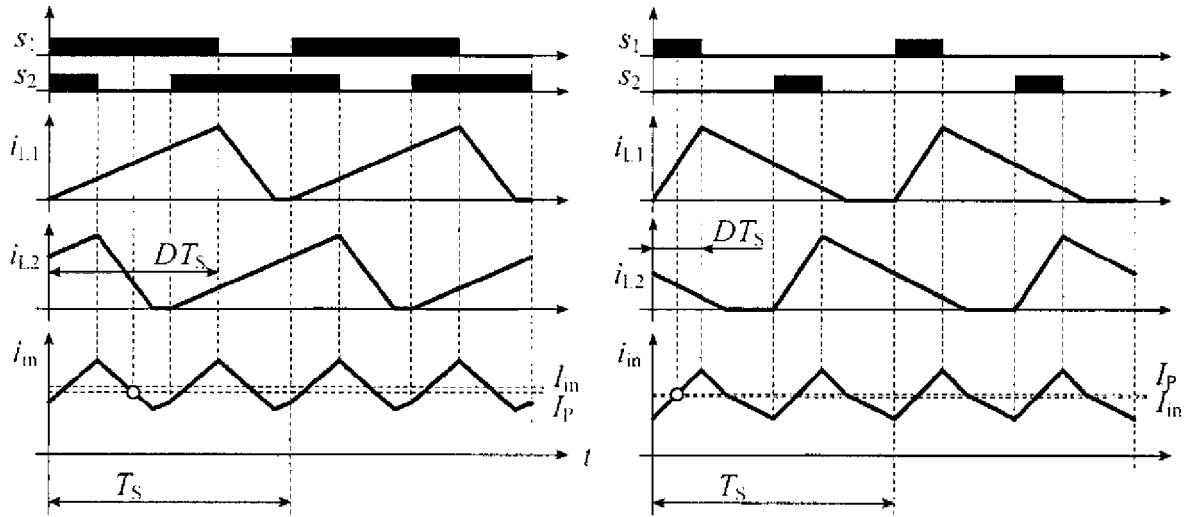


Fig. 7

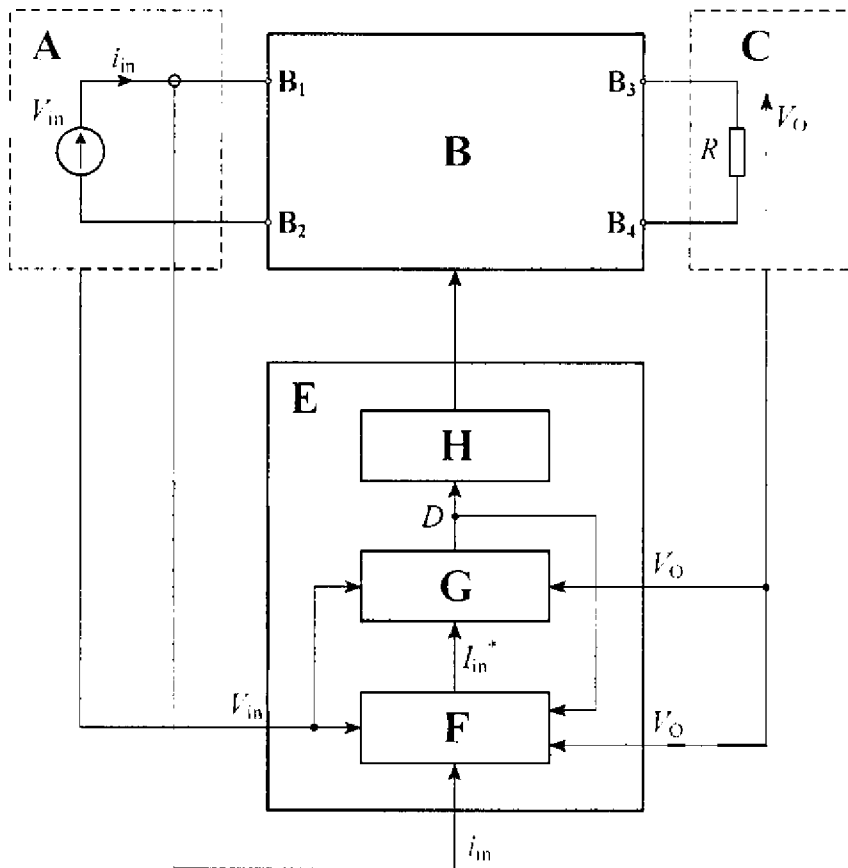


Fig. 8

