

RZECZPOSPOLITA
POLSKA



Urząd Patentowy
Rzeczypospolitej Polskiej

(12) **OPIS PATENTOWY** (19) **PL** (11) **236749**

(13) **B1**

(21) Numer zgłoszenia: **425421**

(51) Int.Cl.
G05F 1/575 (2006.01)

(22) Data zgłoszenia: **30.04.2018**

(54) **Wzmacniacz pomiarowy oraz sposób sterowania wzmacniaczem pomiarowym**

(43) Zgłoszenie ogłoszono:
04.11.2019 BUP 23/19

(45) O udzieleniu patentu ogłoszono:
08.02.2021 WUP 03/21

(73) Uprawniony z patentu:
**POLITECHNIKA RZESZOWSKA
IM. IGNACEGO ŁUKASIEWICZA, Rzeszów, PL**

(72) Twórca(y) wynalazku:
MYKHAYLO DOROZHOVETS, Rzeszów, PL

(74) Pełnomocnik:
rzec. pat. Henryk Pisiński

PL 236749 B1

Opis wynalazku

Przedmiotem wynalazku jest wzmacniacz pomiarowy umożliwiający uzyskanie dużych wzmocnień przy ograniczonej liczbie elementów i potrzebnych operacji oraz sposób sterowania tym wzmacniaczem.

Ze stanu techniki znane są wzmacniacze pomiarowe, zawierające dwa wzmacniacze operacyjne oraz cztery rezystory: po jednym wejściowym i wyjściowym oraz dwa sprzężenia zwrotnego. Taki wzmacniacz przedstawiony jest na pos. I.

Znane są również wzmacniacze pomiarowe takie jak przedstawiony na pos. II i opisany w publikacji amerykańskiego opisu patentowego US6104245 A posiadające duży zakres dynamiczny, z cyklicznym przestawianiem rezystorów sprzężenia zwrotnego. Wzmacniacze te mają symetryczne wejście oraz wyjście i zbudowane są na bazie dwóch wzmacniaczy operacyjnych z rezystancyjnym sprzężeniem zwrotnym w postaci zamkniętego obwodu z szeregowo połączonych rezystorów o jednakowej wartości nominalnej rezystancji R . Każdy z węzłów wspólnego połączenia sąsiednich rezystorów przez odpowiedni komutator podłączony jest do sześciu linii zapewniających utworzenie odpowiedniego sprzężenia zwrotnego wzmacniacza. Za pomocą sterowania sześcioma kluczami każdego komutatora do wymienionych wyżej linii jednocześnie podłączone są tylko cztery węzły. Pozostałe węzły są odłączone od linii. Współczynnik wzmocnienia znanych wzmacniaczy jest wyznaczany liczbą rezystorów znajdujących się pomiędzy czterema węzłami podłączonymi przez odpowiednie komutatory i sześć linii do punktów sprzężenia zwrotnego i jest równy:

$$G_{nom} = \frac{v+w}{u} + 1,$$

gdzie v jest liczbą rezystorów pomiędzy wejściem odwracającym a wyjściem pierwszego wzmacniacza operacyjnego; w jest liczbą rezystorów pomiędzy wejściem odwracającym a wyjściem drugiego wzmacniacza operacyjnego; u jest liczbą rezystorów pomiędzy wejściami odwracającymi pierwszego i drugiego wzmacniacza operacyjnego. Reszta rezystorów obwodu sprzężenia zwrotnego jest podłączona pomiędzy wyjściami wzmacniacza i wynosi:

$$z = K - (v + u + w)$$

gdzie K oznacza ogólną liczbę rezystorów.

W celu zapewnienia wymaganej dokładności współczynnika wzmocnienia wzmacniacza pomiarowego, rezystancyjny obwód sprzężenia zwrotnego za pomocą odpowiedniego sterowania komutatorami cyklicznie przestawiany jest o jeden rezystor i za każdym razem mierzona jest wartość napięcia wyjściowego.

Pełny obrót sprzężenia zwrotnego odbywa się poprzez wykonanie liczby przestawień równej liczbie rezystorów i węzłów.

Wartość średnia napięć zmierzonych we wszystkich cyklach jest równa:

$$\bar{U}_{wy} = \frac{1}{K} \sum_{i=1}^K U_{wy,i}, \quad U_{we} \frac{1}{K} \sum_{i=1}^K A_i = U_{we} \cdot \bar{A},$$

gdzie $\bar{A} = \frac{1}{K} \sum_{i=1}^K A_i$ jest wartością średnią współczynnika wzmocnienia wzmacniacza pomiarowego. Wartość średnia \bar{A} współczynników wzmocnienia jest bardzo dokładna.

Względne odchylenie wartości średniej współczynnika wzmocnienia od wartości nominalnej ma rząd δ_R^2 , gdzie δ_R jest względnym odchyleniem rezystancji rezystorów od wartości nominalnej. Wykorzystując, zatem rezystory $\delta_{R,tol} = \pm 0,1\% = \pm 0,001$ względne odchylenie wartości średniej współczynnika wzmocnienia od wartości nominalnej ma rząd $m \cdot 10^{-6} = m \cdot 0,0001\% = m \cdot 1$ ppm, gdzie m jest liczbą bliską jedności.

Do podstawowych wad stosowanych obecnie wzmacniaczy pomiarowych zalicza się: dużą liczbę rezystorów dla zapewnienia dużych wartości współczynnika wzmocnienia; dużą liczbę multiplekserów, wykorzystywanych do cyklicznego przestawiania rezystorów sprzężenia zwrotnego; dużą liczbę cykli dla zapewnienia wymaganej dokładności wartości średniej współczynnika wzmocnienia.

Dla K rezystorów sprzężenia zwrotnego maksymalne wzmocnienie wzmacniacza otrzymuje się przy $u = 1$, $z = 1$ i $v + w = K - 2$ i równa się:

$$A_{\max} = \frac{v + w}{u} + 1 = \frac{K - 2}{1} + 1 = K - 1$$

Na przykład dla zapewnienia maksymalnego wzmocnienia $A_{\max} = 100$ w sprzężeniu zwrotnym wzmacniacza pomiarowego, należy wykorzystać $K = 100 + 1 = 101$ rezystorów.

Dla cyklicznego przestawiania takiej liczby rezystorów należy wykorzystać 101 komutatorów zawierających 6 kluczy każdy, co daje łącznie minimalnie 606 kluczy. Całkowity ciąg przestawiania rezystorów wynosi $K = 101$ cykli, co wiąże się ze zwiększeniem czasu uzyskania dokładnej średniej wartości napięcia wyjściowego. W tym czasie mogą występować też pewne zmiany napięcia wejściowego. W celu osiągnięcia kilkusetkrotnego wzmocnienia należy zastosować kilkaset rezystorów, komutatorów oraz cykli przestawiania rezystorów sprzężenia zwrotnego.

Wzmacniacz pomiarowy ze sprzężeniem zwrotnym zawierający dwa wzmacniacze operacyjne oraz rezystor wejściowy, rezystory sprzężenia zwrotnego oraz rezystor wyjściowy, z których każdy podłączony jest do dwóch węzłów podłączonych za pośrednictwem komutatorów do sześcioliniowej magistrali według wynalazku, charakteryzuje się tym, że jego rezystor wejściowy, rezystor wyjściowy oraz rezystory sprzężenia zwrotnego są czterema jednakowymi zestawami rezystorów, których wewnętrzne rezystory mają jednakową nominalną wartość rezystancji i połączone są za pomocą wewnętrznych kluczy szeregowo albo równoległe.

Korzyści w postaci możliwości podłączenia szeregowo albo równoległe nieparzystej liczby rezystorów w danym zestawie rezystorów uzyskuje się przy liczbie wewnętrznych kluczy mniejszej o jeden od liczby wewnętrznych rezystorów.

Natomiast korzyści w postaci możliwości podłączenia szeregowo albo równoległego nieparzystej albo parzystej liczby rezystorów wewnętrznych danym zestawie rezystorów uzyskuje się przy liczbie wewnętrznych kluczy w każdym zestawie rezystorów o dwa większej od liczby wewnętrznych rezystorów.

Korzystnie każdy zestaw rezystorów podłączony jest cyklicznie do dwóch kolejnych węzłów, przy czym każdy węzeł podłączony jest do osobnego sześciokanałowego komutatora, który podłączony jest za pomocą kluczy do sześcioliniowej magistrali a sześcioliniowa magistrala ma linie, które zapewniają sprzężenie zwrotne oraz podłączenie wzmacniacza do symetrycznych wyjść, przy czym linie magistrali połączone są z wejściami odwracającymi, wyjściami wzmacniaczy operacyjnych oraz z wyjściami wzmacniacza pomiarowego.

Sposób sterowania wzmacniaczem pomiarowym według wynalazku charakteryzuje się tym, że liczbę aktywnych rezystorów wewnętrznych w zestawach rezystorów zmienia się dowolnie za pomocą wewnętrznych kluczy.

Korzystnie cztery zestawy rezystorów poprzez sterowanie kluczami sześciokanałowych komutatorów przestawia się cyklicznie o jeden w czterech fazach, przy czym w wejściowym zestawie rezystorów, rezystory wewnętrzne łączą się równoległe, a w pozostałych zestawach rezystorów rezystory wewnętrzne łączą się szeregowo.

Korzystny efekt w postaci zmniejszenia liczby rezystorów, sprzężenia zwrotnego, liczby komutatorów oraz liczby cykli przestawiania rezystorów jest uzyskiwany na drodze kombinacji technologii dynamicznego dopasowania elementów oraz właściwości zestawów rezystorów, których wewnętrzne rezystory za pomocą odpowiednich kluczy mogą być połączone szeregowo albo równoległe. Stosując wzmacniacz oraz sposób sterowania nim według wynalazku dla uzyskania współczynnika wzmocnienia o wartości 99 wystarczy zastosowanie 28 rezystorów, 48 kluczy, oraz 4 faz przełączenia rezystorów, natomiast w znanym wzmacniaczu wartości te wynoszą odpowiednio 100, 600, 100.

Przedmiot wynalazku w przykładzie wykonania jest przedstawiony na rysunku, na którym fig. 1 pokazuje schemat wzmacniacza, fig. 2, fig. 3, fig. 4, fig. 5, fig. 6, fig. 7, fig. 8 przedstawiają zestawy rezystorów zawierające siedem wewnętrznych rezystorów i sześć wewnętrznych kluczy odpowiednio:

- z siedmioma aktywnymi wewnętrznymi rezystorami połączonymi szeregowo;
- z siedmioma aktywnymi wewnętrznymi rezystorami połączonymi równoległe;
- z pięcioma aktywnymi wewnętrznymi rezystorami połączonymi szeregowo;
- z pięcioma aktywnymi wewnętrznymi rezystorami, połączonymi równoległe;
- z trzema dodatkowymi wewnętrznymi kluczami;

- z sześcioma aktywnymi wewnętrznymi rezystorami połączonymi szeregowo oraz trzema dodatkowymi wewnętrznymi kluczami;
- z sześcioma aktywnymi wewnętrznymi rezystorami połączonymi równolegle i trzema dodatkowymi wewnętrznymi kluczami.

Na fig. 9 i 10 przedstawiono zmianę współczynnika wzmocnienia dla wzmacniacza, którego zestawy rezystorów zawierają odpowiednio 7 albo 9 wewnętrznych kluczy.

Przykład 1

W przykładzie wykonania wzmacniacz pomiarowy według wynalazku zawiera cztery zestawy rezystorów ZR1, ZR2, ZR3, ZR4 dwa wzmacniacze operacyjne, cztery sześciokanałowe komutatory K_{1-2} , K_{2-3} , K_{3-4} , K_{4-1} oraz sześć linii L1, L2, L3, L4, L5, L6. Każdy z zestawów rezystorów zawiera siedem wewnętrznych rezystorów $R_1, R_2, R_3, R_4, R_5, R_6, R_7$ połączonych szeregowo, albo równolegle za pomocą sześciu wewnętrznych kluczy $S_1, S_2, S_3, S_4, S_5, S_6$, przy czym wewnętrzne rezystory $R_1, R_2, R_3, R_4, R_5, R_6, R_7$ mają taką samą wartość nominalną rezystancji. Każdy z zestawów rezystorów ZR1, ZR2, ZR3, ZR4 podłączony jest do dwóch kolejnych z czterech węzłów $W_{1-2}, W_{2-3}, W_{3-4}, W_{4-1}$, które podłączone są do sześciokanałowych komutatorów $K_{1-2}, K_{2-3}, K_{3-4}, K_{4-1}$, podłączonych za pomocą sześciu kluczy 1, 2, 3, 4, 5, 6 do sześcioliniowej magistrali M. Linie L1, L2, L3, L4, L5, L6 magistrali M zapewniają sprzężenie zwrotne. Dwie pierwsze linie L1, L2 magistrali M podłączone są do odwracających wejść wzmacniaczy operacyjnych, dwie kolejne linie L3, L4 podłączone są do symetrycznych wyjść wzmacniacza pomiarowego, dwie ostatnie linie L5, L6 podłączone są do wyjść wzmacniaczy operacyjnych.

Suma wewnętrznych rezystorów $R_1, R_2, R_3, R_4, R_5, R_6, R_7$ w zestawach rezystorów ZR1, ZR2, ZR3, ZR4 jest równa 28.

Suma kluczy 1, 2, 3, 4, 5, 6 czterech sześciokanałowych komutatorów $K_{1-2}, K_{2-3}, K_{3-4}, K_{4-1}$ oraz wewnętrznych kluczy $S_1, S_2, S_3, S_4, S_5, S_6$ zestawów rezystorów ZR1, ZR2, ZR3, ZR4 jest równa 48.

Sposób sterowania wzmacniaczem pomiarowym w przykładzie realizacji wykonywany jest poprzez sterowanie kluczami 1, 2, 3, 4, 5, 6 komutatorów $K_{1-2}, K_{2-3}, K_{3-4}, K_{4-1}$ tak, aby zestawy rezystorów ZR1, ZR2, ZR3, ZR4 przestawiane były cyklicznie o jeden w czterech fazach. Napięcie wejściowe podawane jest do nieodwracającego wejścia pierwszego wzmacniacza operacyjnego oraz do nieodwracającego wyjścia drugiego wzmacniacza operacyjnego.

Poprzez sterowanie kluczami 1, 2, 3, 4, 5, 6 czterech komutatorów $K_{1-2}, K_{2-3}, K_{3-4}, K_{4-1}$, zestawy rezystorów ZR1, ZR2, ZR3, ZR4 są przestawiane w czterech fazach w następującej kolejności:

- ułożenie w pierwszej fazie: pierwszy zestaw rezystorów ZR1, drugi zestaw rezystorów ZR2, trzeci zestaw rezystorów ZR3, czwarty zestaw rezystorów ZR4;
- ułożenie w drugiej fazie: drugi zestaw rezystorów ZR2, trzeci zestaw rezystorów ZR3, czwarty zestaw rezystorów ZR4, pierwszy zestaw rezystorów ZR1;
- ułożenie w trzeciej fazie: trzeci zestaw rezystorów ZR3, czwarty zestaw rezystorów ZR4, pierwszy zestaw rezystorów ZR1, drugi zestaw rezystorów ZR2;
- ułożenie w czwartej fazie: czwarty zestaw rezystorów ZR4, pierwszy zestaw rezystorów ZR1, drugi zestaw rezystorów ZR2, trzeci zestaw rezystorów ZR3.

Rezystancja szeregowego połączenia wewnętrznych rezystorów $R_1, R_2, R_3, R_4, R_5, R_6, R_7$ odpowiedniego zestawu rezystorów ZR1, ZR2, ZR3, ZR4 jest oznaczona, jako: $R_{1,s}, R_{2,s}, R_{3,s}, R_{4,s}$; a przewodność równoległego połączenia wewnętrznych rezystorów $R_1, R_2, R_3, R_4, R_5, R_6, R_7$ odpowiedniego zestawu $G_{1,r}, G_{2,r}, G_{3,r}, G_{4,r}$.

We wzorach indeks „s” oznacza szeregowe połączenie wewnętrznych rezystorów $R_1, R_2, R_3, R_4, R_5, R_6, R_7$, a indeks „r” oznacza równoległe połączenie wewnętrznych rezystorów $R_1, R_2, R_3, R_4, R_5, R_6, R_7$.

W pierwszej fazie wartość współczynnika wzmocnienia jest równa:

$$A_1 = (R_{2,s} + R_{4,s}) \cdot G_{1,r} + 1$$

W kolejnych fazach przestawienia zestawów rezystorów wartość ta wynosi odpowiednio:

$$A_2 = (R_{3,s} + R_{1,s}) \cdot G_{2,r} + 1, \quad A_3 = (R_{4,s} + R_{2,s}) \cdot G_{3,r} + 1, \quad A_4 = (R_{1,s} + R_{3,s}) \cdot G_{4,r} + 1$$

Po prostych przekształceniach składowych w wartości średnie otrzymuje się:

$$\begin{aligned} \bar{A} &= \frac{(R_{1,s} + R_{2,s} + R_{3,s} + R_{4,s}) \cdot (G_{1,r} + G_{2,r} + G_{3,r} + G_{4,r})}{4} \cdot \frac{(R_{1,s} + R_{3,s}) \cdot (G_{1,r} + G_{3,r})}{4} \cdot \frac{(R_{2,s} + R_{4,s}) \cdot (G_{2,r} + G_{4,r})}{4} + 1 = \\ &= \frac{R_{\Sigma} G_{\Sigma}}{4} - \frac{R_{1,3} G_{1,3}}{4} - \frac{R_{2,4} G_{2,4}}{4} + 1, \end{aligned}$$

gdzie

$$R_{\Sigma} = R_{1,s} + R_{2,s} + R_{3,s} + R_{4,s}; \quad G_{\Sigma} = G_{1,r} + G_{2,r} + G_{3,r} + G_{4,r}$$

są odpowiednio sumarycznymi: rezystancją i przewodnością wszystkich zestawów rezystorów;

$$R_{1,3} = R_{1,s} + R_{3,s}; \quad G_{1,3} = G_{1,r} + G_{3,r}$$

są odpowiednio sumarycznymi: rezystancją i przewodnością pierwszego i trzeciego zestawu rezystorów;

$$R_{2,4} = R_{2,s} + R_{4,s}; \quad G_{2,4} = G_{2,r} + G_{4,r}$$

są odpowiednio sumarycznymi: rezystancją i przewodnością drugiego i czwartego zestawu rezystorów.

Ponieważ nominalne wartości iloczynów wartości szeregowych rezystancji i równoległych przewodności tych samych zestawów rezystorów ZR1, ZR2, ZR3, ZR4 są równe kwadratowi liczby wewnętrznych rezystorów $R_1, R_2, R_3, R_4, R_5, R_6, R_7$ w każdym zestawie rezystorów ZR1, ZR2, ZR3, ZR4, to wartość średnia współczynnika wzmocnienia nominalnie jest równa:

$$A_{nom} = \frac{(4n)^2 - (2n)^2 - (2n)^2}{4} + 1 = 2n^2 + 1.$$

Ponieważ iloczyn sumarycznych wartości rezystancji wewnętrznych rezystorów $R_1, R_2, R_3, R_4, R_5, R_6, R_7$ połączonych szeregowo oraz przewodności tych samych wewnętrznych rezystorów $R_1, R_2, R_3, R_4, R_5, R_6, R_7$ połączonych równoległe jest bardzo dokładny, to względne odchylenie średniej wartości współczynnika wzmocnienia od wartości nominalnej ma rząd kwadratu względnego odchylenia rezystancji rezystorów od ich wartości nominalnej.

Liczbę aktywnych wewnętrznych rezystorów $R_1, R_2, R_3, R_4, R_5, R_6, R_7$ w danym zestawie rezystorów ZR1, ZR2, ZR3, ZR4 zmienia się dowolnie za pomocą wewnętrznych kluczy $S_1, S_2, S_3, S_4, S_5, S_6$. Rozwierając wewnętrzne klucze $S_1, S_2, S_3, S_4, S_5, S_6$ włącza się wewnętrzne rezystory $R_1, R_2, R_3, R_4, R_5, R_6, R_7$ szeregowo, a ich wewnętrzna rezystancja R_s jest równa:

$$R_s = \sum_{i=1}^n R_i$$

Zwierając wewnętrzne klucze $S_1, S_2, S_3, S_4, S_5, S_6$ w danym zestawie rezystorów włącza się wewnętrzne rezystory $S_1, S_2, S_3, S_4, S_5, S_6$ równoległe i ich sumaryczna rezystancja R_r jest równa:

$$\frac{1}{R_r} = \sum_{i=1}^n \frac{1}{R_i} \quad \text{lub} \quad G_r = \sum_{i=1}^n G_i,$$

gdzie $G_i = 1/R_i$ jest przewodnością wewnętrznego rezystora $R_1, R_2, R_3, R_4, R_5, R_6, R_7$ a G_r jest przewodnością sumaryczną równoległego połączenia wewnętrznych rezystorów $R_1, R_2, R_3, R_4, R_5, R_6, R_7$.

Stosunek sumarycznej rezystancji szeregowego połączenia rezystorów i sumarycznej rezystancji równoległego połączenia rezystorów jak również iloczyn sumarycznej rezystancji szeregowego połączenia rezystorów i sumarycznej przewodności równoległego połączenia rezystorów, jest dokładny i ma wartość nominalną:

$$\lambda_{nom} = \frac{R_s}{R_r} = R_s \cdot G_r = n^2$$

Przy odchyleniu δ_R rezystancji rezystorów od wartości nominalnej względne odchylenie wartości λ iloczynu sumarycznej rezystancji szeregowego połączenia rezystorów i sumarycznej przewodności równoległego połączenia rezystorów od wartości nominalnej $\lambda_{nom} = n^2$ ma rząd δR_R^2 .

W zestawie rezystorów ZR1, ZR2, ZR3, ZR4, który pełni funkcję rezystora wejściowego, rezystory wewnętrzne $R_1, R_2, R_3, R_4, R_5, R_6, R_7$ łączone są równolegle za pomocą wewnętrznych kluczy $S_1, S_2, S_3, S_4, S_5, S_6$. W pozostałych zestawach rezystorów ZR1, ZR2, ZR3, ZR4, rezystory wewnętrzne $R_1, R_2, R_3, R_4, R_5, R_6, R_7$ łączy się szeregowo za pomocą wewnętrznych kluczy $S_1, S_2, S_3, S_4, S_5, S_6$.

Sterowanie wartością współczynnika wzmocnienia realizowane jest poprzez zmianę aktywnych rezystorów wewnętrznych $R_1, R_2, R_3, R_4, R_5, R_6, R_7$ w każdym z zestawów rezystorów ZR1, ZR2, ZR3, ZR4. Za pomocą wewnętrznych $S_1, S_2, S_3, S_4, S_5, S_6$ ustala się liczbę rezystorów wewnętrznych $R_1, R_2, R_3, R_4, R_5, R_6, R_7$, biorących udział w sprzężeniu zwrotnym, która w każdym zestawie rezystorów ZR1, ZR2, ZR3, ZR4 może być mniejsza od siedem.

Przykładowo, jeżeli ostatni wewnętrzny klucz S_6 w zestawie rezystorów ZR1, ZR2, ZR3, ZR4 jest zwarty, a przedostatni klucz S_5 jest rozwarty, wtedy w szeregowym i równoległym połączeniu będzie uczestniczyło 5 wewnętrznych rezystorów.

W tym przypadku nominalna wartość iloczynu sumarycznej rezystancji szeregowego połączenia wewnętrznych rezystorów $R_1, R_2, R_3, R_4, R_5, R_6, R_7$ i sumarycznej przewodności ich równoległego połączenia będzie równa:

$$\lambda_{nom} = R_s \cdot G_r = (7 - 2)^2 = 25.$$

W taki sam sposób można uzyskiwać mniejsze nieparzyste liczby aktywnych rezystorów wewnętrznych $R_1, R_2, R_3, R_4, R_5, R_6, R_7$ zmniejszając o dwa ich liczbę uczestniczą w połączeniu szeregowym albo równoległym. Dla nieparzystej liczby wewnętrznych rezystorów $R_1, R_2, R_3, R_4, R_5, R_6, R_7$ na drodze sterowania wewnętrznymi kluczami $S_1, S_2, S_3, S_4, S_5, S_6$ można otrzymać nominalne wartości iloczynów sumarycznej rezystancji szeregowego połączenia rezystorów sumarycznej przewodności ich równoległego połączenia:

$$\lambda_{nom} = n^2; (n - 2)^2; \dots; 3^2; 1$$

Na fig. 9 w tabeli podano sygnały do sterowania wewnętrznymi kluczami $S_1, S_2, S_3, S_4, S_5, S_6$, w celu zmiany współczynnika wzmocnienia wzmacniacza poprzez włączenie niniejszej niż maksymalna liczba aktywnych wewnętrznych rezystorów przy maksymalnej liczbie siedmiu aktywnych wewnętrznych rezystorów $R_1, R_2, R_3, R_4, R_5, R_6, R_7$.

Przykład 2

W drugim przykładzie wykonania wzmacniacz pomiarowy według wynalazku opisany w przykładzie pierwszym zawiera cztery zestawy rezystorów ZR1, ZR2, ZR3, ZR4, w których zastosowano dodatkowo trzy wewnętrzne klucze S_7, S_8, S_9 , co daje razem dziewięć wewnętrznych kluczy $S_1, S_2, S_3, S_4, S_5, S_6, S_7, S_8, S_9$, w każdym zestawie rezystorów ZR1, ZR2, ZR3, ZR4 przy tej samej liczbie rezystorów.

W takim wzmacniaczu wewnętrzne rezystory $R_1, R_2, R_3, R_4, R_5, R_6, R_7$ łączone są szeregowo albo równolegle, a ich aktywna liczba może być zarówno nieparzysta jak i parzysta.

Suma kluczy czterech sześciokanałowych komutatorów $K_{1-2}, K_{2-3}, K_{3-4}, K_{4-1}$ oraz wewnętrznych kluczy w takim przypadku wynosi 60.

Sposób sterowania wzmacniaczem w drugim przykładzie wykonania jest taki sam jak w pierwszym, przy czym istnieje możliwość ustawiania zarówno parzystej jak i nieparzystej liczby wewnętrznych rezystorów $R_1, R_2, R_3, R_4, R_5, R_6, R_7$.

Na fig. 10 w tabeli podano sygnały do sterowania wewnętrznymi kluczami $S_1, S_2, S_3, S_4, S_5, S_6, S_7, S_8, S_9$ w celu zmiany współczynnika wzmocnienia wzmacniacza poprzez włączenie mniejszej niż maksymalna liczby aktywnych wewnętrznych rezystorów przy maksymalnej liczbie siedmiu aktywnych wewnętrznych rezystorów $R, R_1, R_2, R_3, R_4, R_5, R_6, R_7$.

Wykaz oznaczeń

ZR1, ZR2, ZR3, ZR4	– zestawy rezystorów,
R ₁ , R ₂ , R ₃ , R ₄ , R ₅ , R ₆ , R ₇	– wewnętrzne rezystory
S ₁ , S ₂ , S ₃ , S ₄ , S ₅ , S ₆ , S ₇ , S ₈ , S ₉	– wewnętrzne klucze
W ₁₋₂ , W ₂₋₃ , W ₃₋₄ , W ₄₋₁	– węzły
K ₁₋₂ , K ₂₋₃ , K ₃₋₄ , K ₄₋₁	– komutatory
L ₁ , L ₂ , L ₃ , L ₄ , L ₅ , L ₆	– linie
1, 2, 3, 4, 5, 6	– klucze
M	– magistrala

Zastrzeżenia patentowe

1. Wzmacniacz pomiarowy ze sprzężeniem zwrotnym zawierający dwa wzmacniacze operacyjne oraz rezystor wejściowy, rezystory sprzężenia zwrotnego oraz rezystor wyjściowy, z których każdy podłączony jest do dwóch węzłów podłączonych za pośrednictwem komutatorów do sześcioliniowej magistrali, **znamienny tym**, że jego rezystor wejściowy, rezystor wyjściowy oraz rezystory sprzężenia zwrotnego są czterema jednakowymi zestawami rezystorów (ZR1, ZR2, ZR3, ZR4), których wewnętrzne rezystory (R₁, R₂, R₃, R₄, R₅, R₆, R₇) mają jednakową nominalną wartość rezystancji i połączone są za pomocą wewnętrznych kluczy (S₁, S₂, S₃, S₄, S₅, S₆, S₇, S₈, S₉) szeregowo albo równoległe.
2. Wzmacniacz pomiarowy według zastrz. 1, **znamienny tym**, że w każdym jego zestawów rezystorów (ZR1, ZR2, ZR3, ZR4) liczba wewnętrznych kluczy (S₁, S₂, S₃, S₄, S₅, S₆) jest mniejsza o jeden od liczby wewnętrznych rezystorów (R₁, R₂, R₃, R₄, R₅, R₆, R₇).
3. Wzmacniacz pomiarowy według zastrz. 1, **znamienny tym**, że w każdym zestawie rezystorów (ZR1, ZR2, ZR3, ZR4) liczba wewnętrznych kluczy (S₁, S₂, S₃, S₄, S₅, S₆, S₇, S₈, S₉) jest o dwa większa, od liczby wewnętrznych rezystorów (R₁, R₂, R₃, R₄, R₅, R₆, R₇).
4. Wzmacniacz pomiarowy według zastrz. 1 albo 2 albo 3, **znamienny tym**, że każdy zestaw rezystorów (ZR1, ZR2, ZR3, ZR4) podłączony jest cyklicznie do dwóch kolejnych węzłów (W₁₋₂ i W₂₋₃, W₂₋₃ i W₃₋₄, W₃₋₄ i W₄₋₁, W₄₋₁ i W₁₋₂).
5. Wzmacniacz pomiarowy według zastrz. 1 albo 2 albo 3 albo 4, **znamienny tym**, że każdy węzeł (W₁₋₂, W₂₋₃, W₃₋₄, W₄₋₁) podłączony jest do osobnego sześciokanałowego komutatora (K₁₋₂, K₂₋₃, K₃₋₄, K₄₋₁), który podłączony jest za pomocą kluczy (1, 2, 3, 4, 5, 6) do sześcioliniowej magistrali (M).
6. Wzmacniacz pomiarowy według zastrz. 5, **znamienny tym**, że jego sześcioliniowa magistrala (M) ma linie (L₁, L₂, L₃, L₄, L₅, L₆), które zapewniają sprzężenie zwrotne oraz podłączenie wzmacniacza do symetrycznych wyjść.
7. Wzmacniacz pomiarowy według zastrz. 6, **znamienny tym**, że jego linie (L₁, L₂, L₃, L₄, L₅, L₆) magistrali (M) są połączone z wejściami odwracającymi, wyjściami wzmacniaczy operacyjnych oraz z wyjściami wzmacniacza pomiarowego.
8. Sposób sterowania wzmacniaczem pomiarowym według zastrz. 1, **znamienny tym**, że liczbę aktywnych rezystorów wewnętrznych w zestawach rezystorów (ZR1, ZR2, ZR3, ZR4) zmienia się dowolnie za pomocą wewnętrznych kluczy (S₁, S₂, S₃, S₄, S₅, S₆, S₇, S₈, S₉).
9. Sposób sterowania wzmacniaczem według zastrz. 8, **znamienny tym**, że cztery zestawy rezystorów (ZR1, ZR2, ZR3, ZR4) poprzez sterowanie kluczami sześciokanałowych komutatorów (K₁₋₂, K₂₋₃, K₃₋₄, K₄₋₁) przestawia się cyklicznie o jeden w czterech fazach, w których każdy z zestawów rezystorów (ZR1, ZR2, ZR3, ZR4) łączy się kolejno jako rezystor wejściowy, rezystor sprzężenia zwrotnego jednego wzmacniacza operacyjnego, rezystor wyjściowy, rezystor sprzężenia zwrotnego drugiego wzmacniacza operacyjnego i jednocześnie w poszczególnych fazach zmienia się położenie wewnętrznych kluczy (S₁, S₂, S₃, S₄, S₅, S₆, S₇, S₈, S₉) zestawów rezystorów (ZR1, ZR2, ZR3, ZR4).
10. Sposób sterowania wzmacniaczem według zastrz. 9, **znamienny tym**, że w wejściowym zestawie rezystorów, rezystory wewnętrzne (R₁, R₂, R₃, R₄, R₅, R₆, R₇) łączy się równoległe, a w pozostałych zestawach rezystorów rezystory wewnętrzne (R₁, R₂, R₃, R₄, R₅, R₆, R₇) łączy się szeregowo.

Rysunki

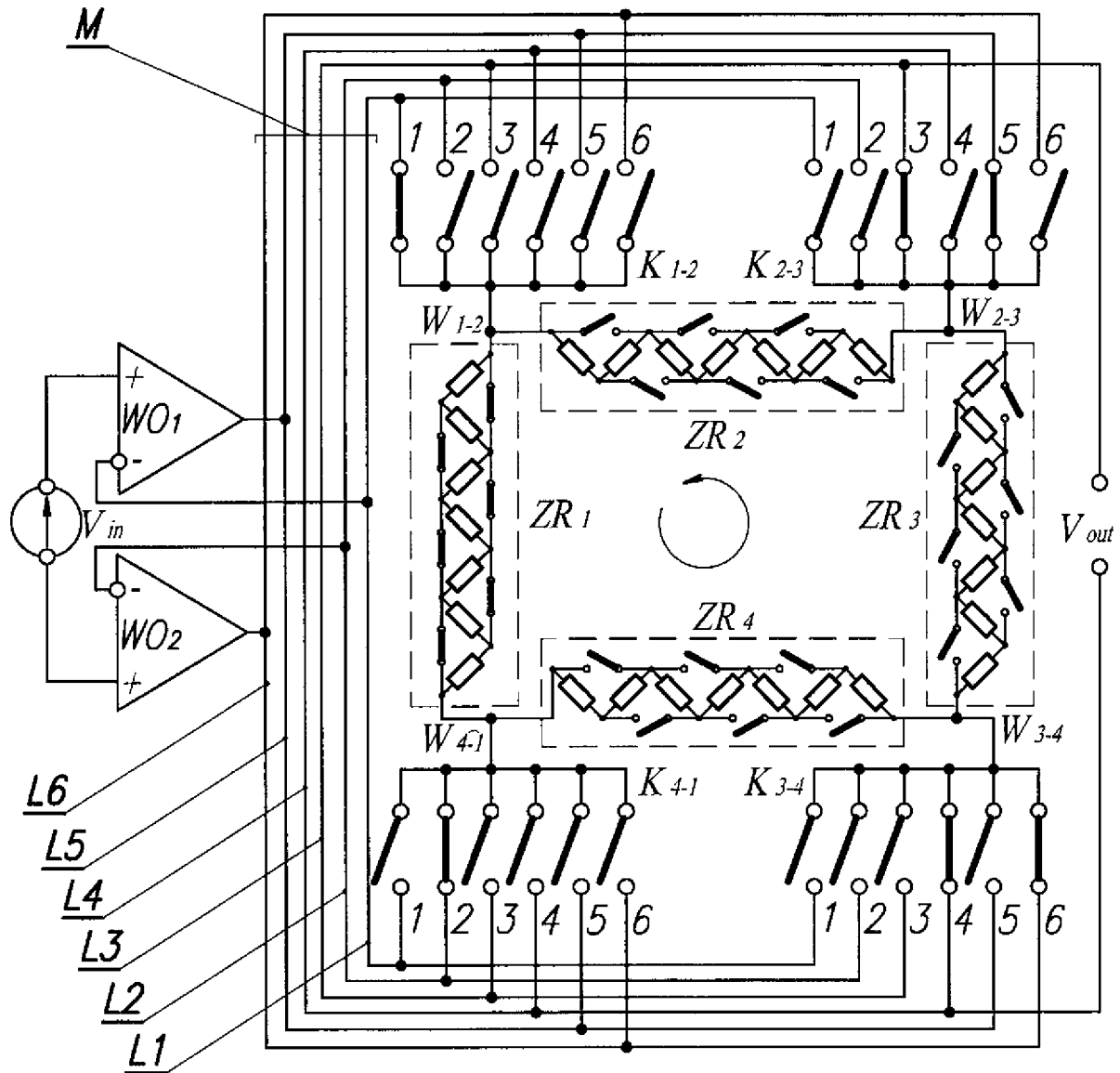


Fig. 1

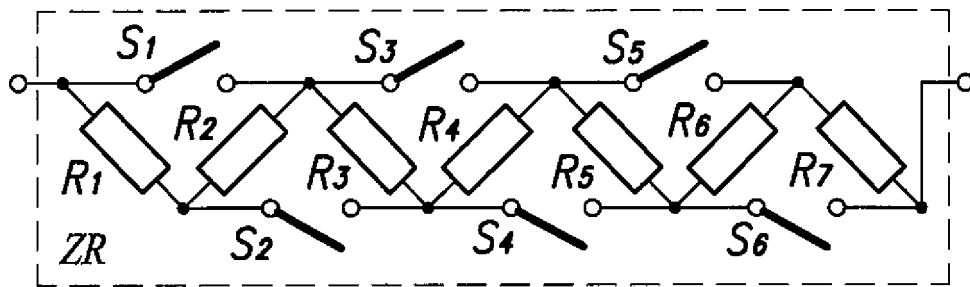


Fig. 2

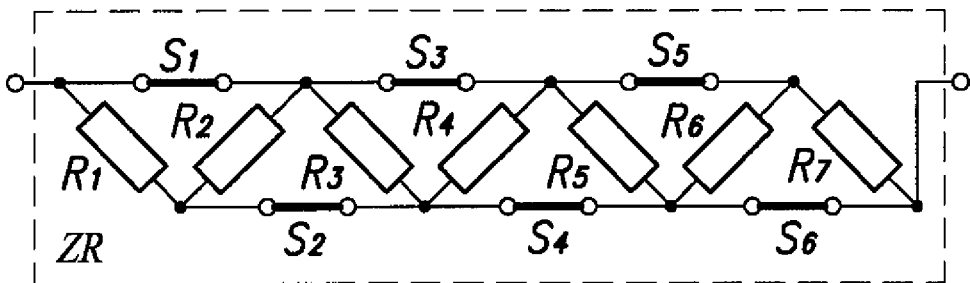


Fig. 3

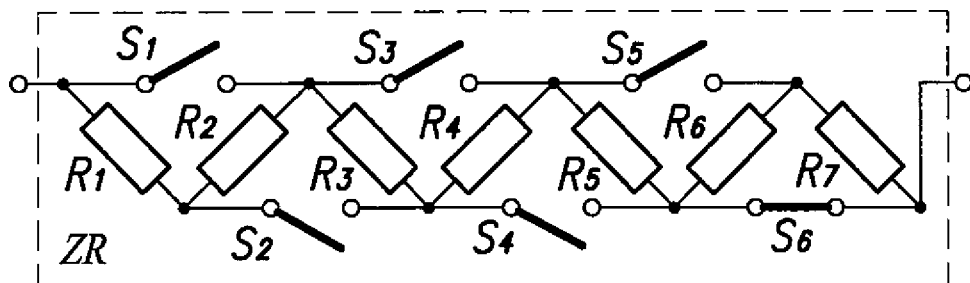


Fig. 4

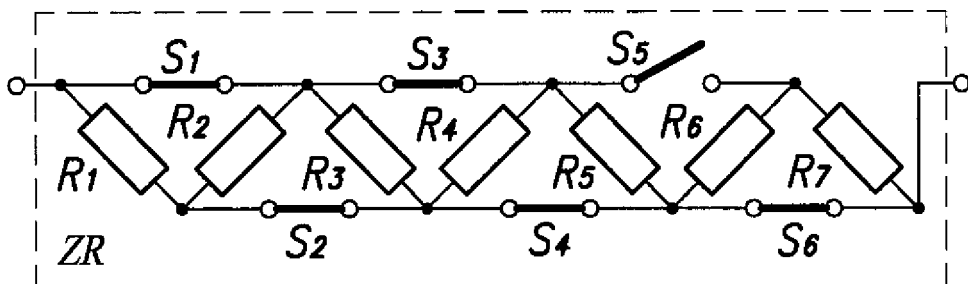


Fig. 5

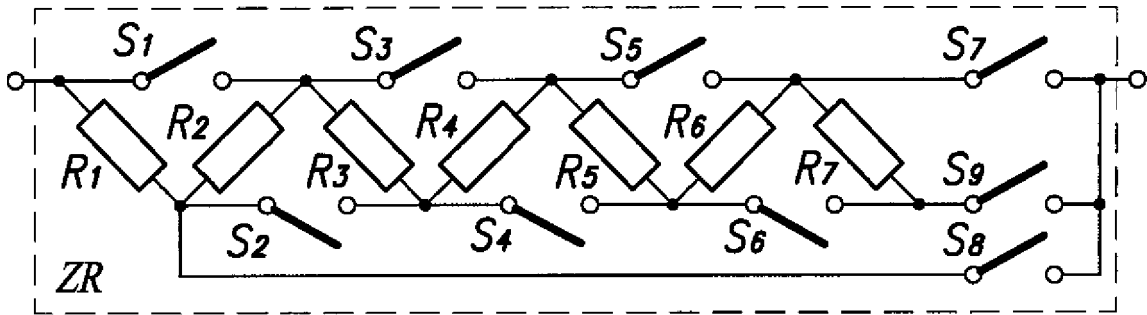


Fig. 6

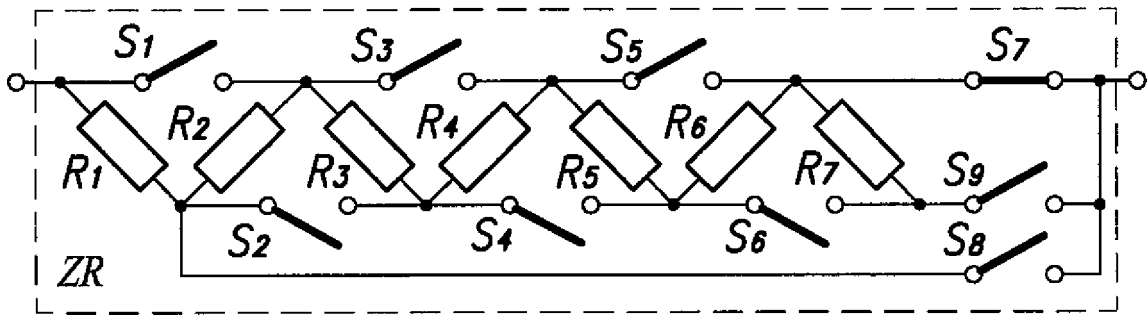


Fig. 7

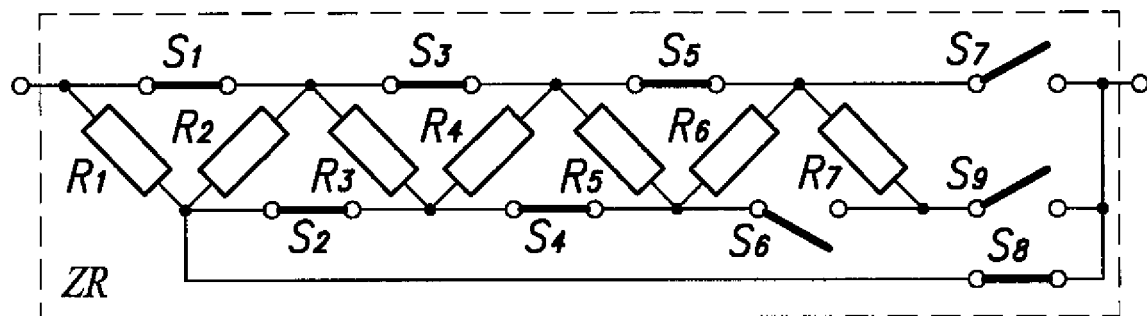


Fig. 8

Aktywne rezystory	Współczynnik wzmocnienia	Szeregowe połączenie rezystorów						Równoległe połączenie rezystorów					
		S ₁	S ₂	S ₃	S ₄	S ₅	S ₆	S ₁	S ₂	S ₃	S ₄	S ₅	S ₆
7	99	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1
5	51	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	0	1
3	19	0	0	0	1	0	1	1	1	0	1	0	1
1	3	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1

Fig. 9

Aktywne rezystory	Współczynnik wzmocnienia	Szeregowe połączenie rezystorów									Równoległe połączenie rezystorów								
		S ₁	S ₂	S ₃	S ₄	S ₅	S ₆	S ₇	S ₈	S ₉	S ₁	S ₂	S ₃	S ₄	S ₅	S ₆	S ₇	S ₈	S ₉
7	99	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	0	0	1	
6	73	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	1	1	1	0	0	1	0	
5	51	0	0	0	0	0	1	0	0	1	1	1	1	0	1	0	0	1	
4	33	0	0	0	0	1	0	1	0	0	1	1	1	0	0	0	1	0	
3	19	0	0	0	1	0	1	0	0	1	1	1	0	1	0	0	0	1	
2	9	0	0	1	0	1	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	
1	3	0	1	0	1	0	1	0	0	1	0	1	0	1	0	0	0	1	

Fig. 10