

Ludwik Hirsberg
Katedra Technologii
i Metrologii Elektrycznej

AUTOMATYCZNY MOSTEK Z PRZEŁĄCZNIKAMI KONTAKTRONOWYMI W GAŁĘZI DOKŁADNEGO RÓWNOWAŻENIA

Streszczenie. W artykule opisano automatyczny mostek przeznaczony do pomiaru oporności w zakresie od 1Ω do $9,9999\text{ M}\Omega$. Opory gałęzi porównawczej są przełączane za pomocą zestyków przełączników kontaktronowych produkcji krajowej. Układ sterowania zestyków gałęzi dokładnego równoważenia oparty jest na elementach logicznych bezstykowych (półprzewodnikowych).

1. Wstęp

W ostatnich latach w technice pomiarowej obserwuje się dążność do automatyzacji wszelkich czynności związanych z wykonywaniem pomiarów. W szczególności zaznacza się szybki rozwój w budowie przyrządów pomiarowych. Decydują o tym następujące zalety:

- wysoka dokładność pomiarów
- duża szybkość pomiarów
- brak błędów odczytu
- możliwość zapisu wyników pomiaru za pomocą drukarki
- łatwość dalszego przetwarzania wyników pomiarów.

W kraju dotychczas nie są produkowane automatyczne mostki do pomiaru oporności. Również w literaturze rodzimej brak jest szerszych opracowań na temat mostków automatycznych. Z tego to względu dokładnie opisano podzespoły mostka, które są dla niego charakterystyczne. Podzespoły występujące w mostku automatycznym znane z zastosowań w innych przyrządach, opisano jedynie w sposób ogólny.

2. Ogólna zasada działania automatycznego mostka cyfrowego

Wychodząc ze znajomości klasycznego układu mostka Wheatstone'a do pomiaru oporności, można od razu omówić pracę układu zautomatyzowanego.

Równoważenie mostka automatycznego odbywa się według takiego samego programu jak przy obsłudze ręcznej. Na początku ustala się zakres pomiarowy oraz z wyborem zakresu pomiarowego jest zsynchronizowane nastawie-

nie odpowiedniego napięcia zasilającego ozwrnik mostkowy. Wartość tego napięcia zależy od czułości pomiaru z uwzględnieniem dopuszczalnego obciążenia oporników porównawczych i opornika mierzzonego. Następnie ustalane są kolejno od największej do najmniejszej wartości wszystkie dekady.

W celu ustalenia mnożnika zakresu pomiarowego oraz wartości oporności każdej dekady, wykorzystana jest zależność kierunku prądu w przekątnej zerowej mostka od oporności poszczególnych gałęzi. Jeżeli np. kierunek tego prądu jest dodatni (względem umownego zastrzałkowania), gdy oporność oporników dekadowych jest większa niż przy stanie równowagi mostka, to ujemny kierunek prądu oznacza, że oporność nastawiona na opornikach dekadowych jest zbyt mała, o ile wartości oporów innych gałęzi nie zostały zmienione.

W gałęzi porównawczej cyfrowych mostków automatycznych stosuje się dekady najczęściej złożone z czterech oporników. Opory te nazywane stopniami dekady mają wartości dobrane w kodzie dwójkowo-dziesiętnym np.: 4-2-2-1, 3-3-2-1. Przy czym każda wartościowość jest pomnożona przez potęgę liczby dziesięciu, odpowiadającej danej dekadzie np. dekada setek w kodzie 4-2-2-1 będzie się składała z oporów - $4 \cdot 10^2 \Omega$: $2 \cdot 10^2 \Omega$: $2 \cdot 10^2 \Omega$: $1 \cdot 10^2 \Omega$.

Sposób równoważenia mostków z oporami dekadowymi wykonanymi w kodzie dwójkowo-dziesiętnym można ująć algorytmem.

Dalej podany jest algorytm, pozwalający zrównoważyć każdy mostek Wheatstone'a o $s = n - (r - 1)$ dekadach typu opornościowego z oporami w kodzie dwójkowo-dziesiętnym i o największym zakresie 10^p , o ile wartość badanego oporu mieści się w zakresie pomiarowym mostka. Gdy wartość badanego oporu będzie:

- większa od zakresu pomiarowego, to mostek wskaże maksymalną wartość jaką może zmierzyć
- mniejsza od zakresu pomiarowego, to mostek wskaże same zera.

W miejscach k_1, k_2, k_3, k_4 w algorytmie należy podstawić wartości kodu dekady, a za 10^p maksymalny zakres (mnożnik). Potęga 10^n oznacza rząd najwyższej dekady, natomiast rząd najniższej dekady wynosi 10^r .

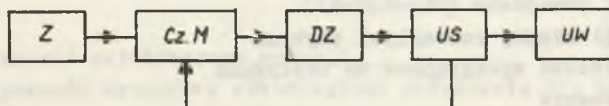
Algorytm równoważenia mostka:

0. Podłącz opór badany do mostka
1. Dekady nastaw na wartość maksymalną
2. Włącz napięcie zasilające
3. Włącz zakres 10^p
4. Zbadaj czy kierunek prądu w przekątnej zerowej jest dodatni
5. Jeżeli tak to przejdź do punktu 8
6. Wróć do poprzedniego zakresu
7. Przejdź do punktu 9
8. Zmniejsz wartość zakresu w punkcie 3 - dziesięciokrotnie i przejdź do tej dyspozycji
9. Wyłącz (wzrzyj) opór $k_1 \cdot 10^n \Omega$

10. Zbadaj czy kierunek prądu w przekątnej zerowej jest dodatni
11. Jeżeli tak to przejdź do punktu 13
12. Włącz (rozewrzyj) opór $k_1 \cdot 10^{\text{II}} \Omega$
13. Wyłącz opór $k_2 \cdot 10^{\text{II}} \Omega$
14. Zbadaj czy kierunek prądu w przekątnej zerowej jest dodatni
15. Jeżeli tak to przejdź do punktu 17
16. Włącz opór $k_2 \cdot 10^{\text{II}} \Omega$
17. Wyłącz opór $k_3 \cdot 10^{\text{II}} \Omega$
18. Zbadaj czy kierunek prądu w przekątnej zerowej jest dodatni
19. Jeżeli tak to przejdź do punktu 21
20. Włącz opór $k_3 \cdot 10^{\text{II}} \Omega$
21. Wyłącz opór $k_4 \cdot 10^{\text{II}} \Omega$
22. Zbadaj czy kierunek prądu w przekątnej zerowej jest dodatni
23. Jeżeli tak to przejdź do punktu 25
24. Włącz opór $k_4 \cdot 10^{\text{II}} \Omega$
25. Jeżeli liczba stojąca w miejscu n równa się s, to przejdź do punktu 28
26. Zmniejsz wartość n w punktach: 9, 12, 13, 16, 17, 20, 21, 24 o jeden
27. Przejdź do wykonania dyspozycji 9
28. Odczytaj wynik pomiaru
29. Stop.

Z powyższego algorytmu można wywnioskować, że w skład mostka automatycznego powinny wejść następujące podzespoły: (rys. 1)

- układ zasilania
- układ oszłonika mostkowego
- wskaźnik kierunku prądu w przekątnej zerowej (detektor zera)
- układ automatycznego sterowania przełącznikami oporników oszłonika mostkowego
- układ wyjściowy przekazujący rezultat pomiaru.



Rys. 1. Schemat blokowy mostka automatycznego

Z - zasilacz, Cz M - osłonnik mostkowy, DZ - detektor zera, US - układ sterowania, UW - układy wyjściowe

Program równoważenia dla każdego zakresu pomiarowego (mnożnika) i oporu dekadowego sprowadza się do trzech faz:

- próby (włączyć próbnie zakres, lub wyłączyć próbnie opór w dekadzie)
- decyzji (podjąć decyzję czy krok fazy próby jest poprawny czy też fałszywy)
- wykonawczej (o ile krok jest poprawny, to go zatrzymać na stałe, natomiast w przeciwnym przypadku krok ten należy cofnąć).

Na przykład przy pięciu zakresach i pięciu dekadach mamy 25 stopni porównania. Równoważenie jednego stopnia odbywa się w ten sposób, że wpiern należący do tego stopnia opór jest próbnie zwierany. Detektor zera rejestruje w gałęzi zerowej kierunek przepływu prądu. W zależności od decyzyj jaką podejmie detektor zera to próbne zwarcie jest usunięte lub też zatrzymane, a tym samym stopień dekady jest ustalony.

Pod koniec równoważenia w poszczególnych dekadach gałęzi porównawczej mamy opory włączone odpowiednio do wartości oporności mierzonej. Gdy wartość mnożnika T jest potęgą dziesięciu, tzn. $T = 10^m$ gdzie $m = 0, \pm 1, \pm 2, \dots$, to wartość liczbową (bez uwzględnienia przecinka) oporów włączonych w gałęzi porównawczej jest taka sama jaką na opór mierzony. Położenie przecinka jest wtedy określone mnożnikiem zakresu pomiarowego. Po ustaleniu wyniku pomiaru jest wysyłany rozkaz "stop", który utrwala dokonane czynności aż do następnego pomiaru zainicjowanego rozkazem "pomiar".

3. Czwórnik mostkowy

W celu zapewnienia krótkiego czasu pomiaru wyłączenie poszczególnych oporów gałęzi porównawczej powinno następować bardzo szybko. Występujące w mostku elektryczne stałe czasowe muszą być odpowiednio dostosowane do maksymalnej szybkości przełączania oporów. Wszelkie znane i powszechnie stosowane w układach mostkowych przełączniki obrotowe lub zatrzaskowe są tutaj nieużyteczne. Duże szybkości przełączania są możliwe do uzyskania przez następujące przełączniki sterowane elektrycznie:

- przekaźniki elektromechaniczne
- półprzewodnikowe klucze pomiarowe

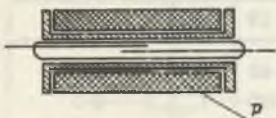
Przy wyborze przełącznika jako klucza pomiarowego należy zwrócić uwagę na następujące jego parametry:

- oporność przejścia przy swartych stykach
- zmiany oporności przejścia (niestalność)
- oporność izolacji między rozwartymi stykami
- napięcia pasożytnicze występujące na sestykach
- szybkość przełączania
- pewność działania
- gwarantowaną ilość łążeń (żywość)
- ciężar i wymiary.

Klucze półprzewodnikowe nie znalazły dotychczas szerszego zastosowania w mostkowych układach pomiarowych, ze względu na niski stosunek pomiędzy oporami w stanie wyłączonym i włączonym. Próbę rozwiązania tego problemu podano w artykule [3].

Jako wyłączniki do układów mostkowych najbardziej się nadają przekaźniki elektromechaniczne zwane kontaktronami. Właściwy styk jest w kontaktronach hermetycznie zamknięty w kapsule szklanej i pracuje w próżni lub atmosferze gazu nieaktywnego. Styk taki jest wykonany z metalu ferromagne-

tycznego, a stykające się końce są pokryte warstwą złota. Praca styku - załączenie i wyłączenie, następuje w wyniku zadziałania zewnętrznego pola magnetycznego wytwarzanego przez specjalne uzwojenie rys. 2.



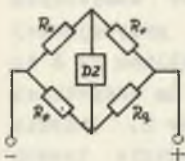
Rys. 2. Kontaktron

Przy przepływie prądu przez cewkę P powstaje pole magnetyczne, które na końcach styków wytwarza przeciwnie bieguny magnetyczne w wyniku czego styki się zwierają. Dla kontaktronów produkcji krajowej czas przyciągania lub puszczenia wynosi ok. 1 msek. Gwarantowana przez wytwórcę liczba łączy wynosi 10^8 .

O ile przy klasycznych przełącznikach uzyskujemy oporności rzędu 1 mΩ, to przy kontaktronach należy się liczyć z opornościami 50-krotnie większymi. Z tego względu kontaktrony są zalozane do wysokoomowych przełączników mostkowych. Napięcie termoelektryczne które wynosi około $20 \mu V/^\circ C$ da się na ogół skompensować przez odpowiednią technologię montażu.

Czwórnik mostkowy postanowiono oprzeć na typowym układzie mostka Wheatstone'a, który jest pokazany na rysunku 3.

W celu zapewnienia dokładności pomiaru $\sigma_{R_x} = 1 \cdot 10^{-4}$



Rys. 3. Mostek Wheatstone'a

w gałęzi porównawczej mostka musi być pięć dekad. Wartość największego oporu w najwyższej dekadzie jest ograniczona opornością izolacji kontaktronu. Boczniujący wpływ oporności izolacji na wartość opornika winien być zawarty w granicach niedokładności wykonania tego oporu. Dla oporów wykonanych z niedokładnością do 0,01% musi być spełniona nierówność

$$\frac{R - R_w}{R} < 10^{-4}$$

gdzie:

R - wartość największego oporu

R_w - oporność wypadkowa równoległego połączenia R i R_{1E}

R_{1E} - oporność izolacji między rozwartymi stykami kontaktronu.

Dla $R_{1E} = 10^9 \Omega$ (dana katalogowa) wartość największego oporu może wynosić najwyżej sto kiloohmów. Na tej podstawie można ustalić nominalne oporności poszczególnych dekad dobrane według kodu 4-2-2-1. Konkretnie wartości zestawiono w tabelicy 1.

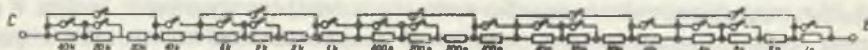
Schemat ideowy gałęzi porównawczej pokazany jest na rys. 4.

Dodatkowo należy sprawdzić wpływ oporności przejścia styków zwierających na oporność gałęzi. Najniekorzystniejszy przypadek zachodzi przy włączeniu w dekadzie porównawczej oporu 12222Ω. Wówczas z szeregu z oporem porównawczym jest włączonych 13 styków. Dopuszczalny uchył bezwzględny

Tablica 1

Zestaw oporów gałęzi porównawczej

Dekady	I	II	III	IV	V
Opory [Ω]	40 000	4 000	400	40	4
	20 000	2 000	200	20	2
	20 000	2 000	200	20	2
	10 000	1 000	100	10	1



Rys. 4. Gałęź porównawcza

dla tego przypadku wynosi $1,2\Omega$. Oporność dodatkowa wprowadzona przez styki w tym przypadku wynosi $13,50 \text{ m}\Omega = 650 \text{ m}\Omega$ co stanowi błąd $0,005\%$. Uchyb taki jest do przyjęcia.

W celu uzyskania jak największej dokładności należałoby we wszystkich pomiarach wykorzystać przy odpowiednim doborze mnożnika T przynajmniej najmniejszy opór najwyższej dekady. Zależność taką podaje tablica 2. Z tablicy tej wynika, że w celu uzyskania wymaganej dokładności na wszystkich podzakresach pomiarowych powinno być siedem różnych mnożników T . Polskie normy dopuszczają na najniższym podzakresie wykorzystanie jedynie trzech dekad. W ten sposób kosztem obniżenia dokładności pomiaru na dwóch najniższych podzakresach można korzystać z mnożnika $T = 0,01$. Tak więc ostateczna ilość mnożników T wynosi pięć, tj. $0,01: 0,1: 1: 10: 100$.

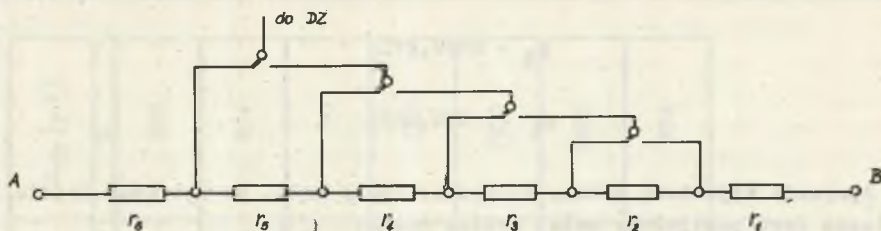
Tablica 2

Dobór podzakresów pomiarowych

R_x [Ω]	R_V [Ω]	T [-]
1	10	0,0001
10	10	0,001
100	10	0,01
1 000	10	0,1
10 000	10	1
100 000	10	10
1 000 000	10	100

$$T = \frac{R_x}{R_V} = \frac{R_D}{R_Q}$$

W celu uproszczenia przełączenia oraz w przyszłości łatwego przystosowania do samoczynnego wyboru mnożnika, włączanie podzakresów winno odbywać się przy pomocy tylko jednego przełącznika. Warunek ten spełnia układ pokazany na rys. 5.



Rys. 5. Gałęzie stosunkowe

Zakładając:

$$\sum_{i=1}^6 r_i = 100 \text{ k}$$

to:

$$\frac{r_1}{r_2 + r_3 + r_4 + r_5 + r_6} = 0,01$$

$$\frac{r_1 + r_2}{r_3 + r_4 + r_5 + r_6} = 0,1$$

$$\frac{r_1 + r_2 + r_3}{r_4 + r_5 + r_6} = 1$$

$$\frac{r_1 + r_2 + r_3 + r_4}{r_5 + r_6} = 10$$

$$\frac{r_1 + r_2 + r_3 + r_4 + r_5}{r_6} = 100$$

Po rozwiązaniu powyższego układu równań otrzymuje się następujące wartości:

$$r_1 = 990,099 \Omega$$

$$r_2 = 8100,90 \Omega$$

$$r_3 = 40909,0 \Omega$$

$$r_4 = 40909,0 \Omega$$

$$r_5 = 8100,81\Omega$$

$$r_6 = 990,099\Omega$$

Oporność wyjściową mostka obliczono (przy zał., że oporność źródła zasilania jest pomijalnie mała) według wzoru:

$$R_{wy} = R_x \frac{1}{1 + \frac{R_x}{R_y}} + R_p \frac{1}{1 + T}$$

Wyniki zestawiono w kolumnie 6 tabelicy 3.

Obliczenie względnych zmian napięcia na przekątnej zerowej mostka w odniesieniu do napięcia zasilania dokonano przy pomocy wzoru:

$$\frac{U_{CD(0)}}{U_{AB}} = \frac{\Delta R_x}{R_x} \frac{1}{\left(\frac{1}{T} + 1\right) \cdot (1 + T)}$$

Wyniki zestawiono w 7 kolumnie tabelicy 3.

Przy doborze wartości napięcia zasilającego mostek, trzeba uwzględnić dopuszczalną obciążalność oporów mostka. Moc wydzielana na oporze badanym wynosi:

$$P_x = \frac{U_0^2}{R_x \left(1 + \frac{1}{T}\right)^2}$$

Moc wydzielana na oporach gałęzi porównawczej wynosi:

$$P_y = \frac{U_0^2}{T \cdot \left(1 + \frac{1}{T}\right)^2 \cdot R_x}$$

Moc wydzielana na oporze R_p wynosi:

$$P_q = \frac{U_0^2}{T \cdot \left(1 + \frac{1}{T}\right)^2 \cdot R_p}$$

Tablica 3

$R_x \Omega$	$R_V [k\Omega]$	T	$\tau_p [\Omega]$	$\tau_q [\Omega]$	$R_{wy} [\Omega]$	$\frac{U_{CD}(o)}{U_{AB}}$	$U_{AB} [V]$	$U_{CD} [\mu V]$
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1,00 9,99	00,100 00,999	0,01			982	$98 \cdot 10^{-6}$	3	300
10,00 99,99	01,000 09,999	0,01	990,099	99009,9	990	$9,8 \cdot 10^{-6}$	10	294
100,00 999,99	10,000 99,999	0,01			1080- 1970	$0,98 \cdot 10^{-6}$	30	90
1,0000 k 9,9999 k	10,000 99,999	0,1	9090,90	90909,0	9170 17350	$8,25 \cdot 10^{-6}$	33	750
10,000 k 99,999 k	10,000 99,999	1	50000,0	50000,0	30000 74999	$25,0 \cdot 10^{-6}$	66	4500
100,00 k 999,99 k	10,000 99,999	10	90900,09	9090,90	17370 91800	$8,25 \cdot 10^{-6}$	100	2470
1,0000 M 9,9999 M	10,000 99,999	100	99009,90	990,0990	10000 99000	$0,98 \cdot 10^{-6}$	100	294

Moc wydzielana na oporze R_p wynosi:

$$P_p = \frac{U_0^2}{R_p \cdot \left(1 + \frac{1}{T}\right)^2}$$

Wyniki obliczeń zestawiono w kolumnie 8 tabeli 3.

4. Detektor zera

W przeciwieństwie do klasycznych mostków w miejsce galwanometru jest użyty elektroniczny wskaźnik zera nazywany detektorem zera. Na parametry detektora zera są narzucone ostre wymagania, gdyż wpływają one w dużym stopniu na dokładność mostka. Detektor zera powinien odpowiadać następującym podstawowym wymaganiom:

- wysoka czułość
- wysoka oporność wejściowa
- odporność na przeciążenia elektryczne
- duża stabilność pracy
- mały statyczny i dynamiczny uchyb.

Detektor zera musi w bardzo krótkim czasie przynajmniej w msek. zidentyfikować kierunek prądu w gałęzi zerowej mostka. Przy tym może się zdarzyć, że np. w jednym z taktów miał detektor zera podane napięcie $+10$ V, a w następnych tylko $-100 \mu\text{V}$, w takim przypadku musi on pozytywnie wytrzymać przesterowanie a następnie prawidłowo zareagować na napięcie $-100 \mu\text{V}$. Deocyzja jaką podejmuje detektor zera jest podana w formie sygnału, który dalej można przerobić. Ze względu na dopasowanie do wysokoomowego mostka, oporność wejściowa detektora musi być odpowiednio wysoka.

Jako detektory zera można użyć układy ze wzmacniającymi prądu stałego:

- z przetwarzaniem
- z automatyczną korekcją niestabilności zera.

Na podstawie tabeli 3 wyznaczono wymagane parametry detektora zera:

- próg czułości $100 \mu\text{V}$
- przeciążalność do 40 V
- oporność wejściowa $100 \text{k}\Omega$
- sygnały wyjściowe

"0" - dla napięcia wejściowego $-100 \mu\text{V}$

"1" - dla napięcia wejściowego $+100 \mu\text{V}$.

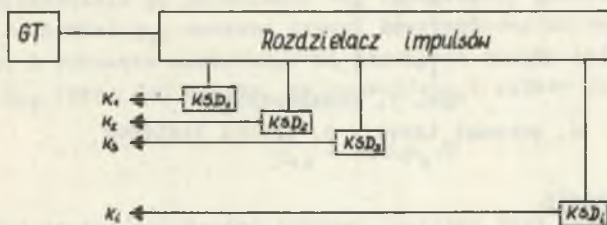
5. Układ sterowania

Układ sterowania winien w sposób bezbłędny realizować program zadany algorytmem równoważenia mostka. Program równoważenia dla danego typu mostka jest stały i nie zależy od wartości mierzonej oporności. Dlatego nie zachodzi konieczność jego zmian i może on być na stałe wbudowany do mostka. Najczęściej w automatycznych przyrządach pomiarowych program jest zadawany w postaci ciągu impulsów wysyłanych z generatora taktu. Poszczególne impulsom są przypisane do wykonania pewne ściśle określone czynności.

W przypadku automatycznego mostka każdy impuls będzie miał za zadanieysterować odpowiadający mu styk w gałęzi dokładnego równoważenia. Impulsy z generatora taktu są skierowane na odpowiednie klucze przez rozdzielacz impulsów. Oprócz tego jest potrzebny jeszcze układ logiczny, który pozwoli zrealizować poszczególne fazy równoważenia i w sposób trwały zapamięta decyzję detektora zera odnośnie dla danego stopnia - tzw. komórka stopnia dekady.

Tak więc układ sterowania (rys. 6) składa się z:

- generatora taktu GT
- rozdzielacza impulsów
- komórek stopni dekady.



Rys. 6. Schemat blokowy układu sterowania

GT - generator taktu, KSD - komórka stopnia dekady, K - klucz(przełącznik)

Generator taktu

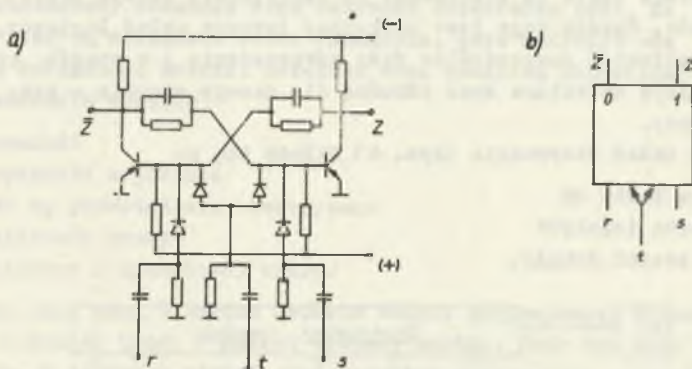
Zespół generatora taktu w praktycznym wykonaniu składa się z:

- generatora impulsów
- bramki wejściowej
- komórki separującej.

Do układu sterowania mostka nadają się generatory napięciowe o przebiegach wyjściowych w kształcie prostokątów lub impulsów szpilkowych. Częstotliwość napięcia generatorowego musi być odpowiednio dobrana do maksymalnej szybkości przełączania kontaktronów. Na stałość częstotliwości napięcia generowanego nie ma narzuconych ostrych wymagań, dlatego można wykorzystać tutaj układ multiwibratora.

Bramka wejściowa ma za zadanie przepuszczenie tylko wymaganej liczby impulsów do rozdzielacza impulsów. Sygnał "start" inicjowany przez osobę obsługującą mostek otwiera tę bramkę. Następnie przechodzi przez nią ściśle określona ilość impulsów z generatora taktu. Ostatni przepuszczony impuls powoduje zamknięcie bramki.

Komórka separująca ma za zadanie oddzielenie fazy próby od decyzji. Ze względu na bezwładność reakcji detektora zera na zmiany prądu w przekątnej pomiarowej mostka, faza decyzji musi być opóźniona względem początku fazy próby. Wykres czasowy pracy takiej komórki jest taki sam jak przerzutnika typu Eolese-Jordana [7], [8]. Schemat ideowy i logiczny przerzutnika E-J pokazano na rys. 7.



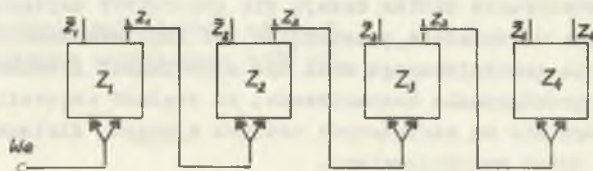
Rys. 7. Przerzutnik
a. schemat ideowy, b. symbol logiczny

Rozdzielacz impulsów

Praktycznie wykonany rozdzielacz impulsów składa się z:

- licznika impulsów,
- dekodera (matryca deszyfrująca).

Licznik impulsów winien mieć dwadzieścia jeden różnych stanów. Dwadzieścia stanów służy do sterowania przełącznikami gałęzi dokładnego równoważenia. Dwudziesty pierwszy stan ma za zadanie zablokować wejście licznika dla dalszych impulsów z generatora taktu. Licznik taki zawiera dwadzieścia impulsów. Dla zliczenia dwudziestu impulsów jest potrzebnych pięć przerzutników E-J. Układ połączeń pokazano na rys. 8.



Rys. 8. Układ licznika

Matryca deszyfrująca ma pięć wejść oraz dwadzieścia jeden wyjść. Po podaniu na wejścia dekodera kombinacji sygnałów z wyjść licznika, która odpowiada w systemie dwójkowym liczbie impulsów M podanych do rozdzielacza, wyjście dekodera odpowiadające liczbie M będzie wyróżnione (na wyjściu M - sygnał "1", a na pozostałych wyjściach - sygnał "0").

Matryca deszyfrująca może być zrealizowana w oparciu o technikę diodową lub tranzystorową. Bardzo przejrzysty układ dekodera otrzymuje się w przypadku użycia do jego budowy elementów logicznych typu NOR.

Komórka stopnia dekady

Ma za zadanie pobudzić odpowiedni kontaktron, gdy otrzyma sygnał "A" z dekodera. Następnie oczekuje na decyzję detektora zera (sygnał "Y"). Decyzja DZ może być utrwalona dopiero po otrzymaniu sygnału "Z₀" z komórki separującej Z₀. Gdy decyzja DZ jest pozytywna, to należy pobudzić kontaktron w sposób trwały. W przeciwnym przypadku pobudzenie kontaktronu ma zaniknąć wraz z zanikiem sygnału z dekodera.

Na podstawie powyższego opisu została wypełniona tabela przejść i funkcji wzbudzenia komórki stopnia dekady (rys. 9a). W tabeli tej $T(t)$ oznacza stan przerzutnika przed pojawieniem się zaznaczonej w rubryce pionowej kombinacji sygnałów "A", "Y", "Z₀". Stan $T(t+1)$ jest stanem w jakim będzie przerzutnik po pojawieniu się zaznaczonej kombinacji sygnałów "A", "Y", "Z₀". Symbol q_{11} oznacza sygnał doprowadzony do wejścia typu t przerzutnika. Z równania napisanego na podstawie siatki zależności wypełnionej dla q_{11} (rys. 9b) wynika, że do wejścia t należy doprowadzić sygnał:

$$q_{11} = A \cdot Y \cdot Z_0 \cdot \bar{T}$$

odpowiadający tej zależności schemat logiczny jest przedstawiony na rys. 9d. Symbol S oznacza sygnał, który pobudza cewkę kontaktronu. Na podstawie siatki zależności rozpisanej dla S, otrzymujemy:

$$S = A + T$$

Zależności tej odpowiada schemat logiczny przedstawiony na rys. 9e.

Powyzsza synteza komórki stopnia dekady została oparta na metodzie Huffmanna, opisaney w pracy [8].

Komórek stopnia w mostku automatycznym jest tyle, ile jest kontaktronów zwierających opory dekad.

W celu pobudzenia kontaktronu, sygnał "S" z elementu sumy logicznej musi być wzmocniony. Wzmacniacz ten należy dopasować do kontaktronu i elementu sumy logicznej.

a)

A	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1
Y	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1	1
Z ₀	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1
T(t)	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0
T(t+1)	0	1	0	1	0	1	0	1	0	-	0	-	0	-	1
q _n	0	b ₁	0	b ₂	0	b ₃	0	b ₄	0	b ₅	0	b ₆	0	b ₇	1
S	0	1	0	1	0	1	0	1	1	ϕ	1	ϕ	1	1	1

b)

	Z ₀ T	00	01	11	10
AY	00	0	b ₁	b ₂	0
	01	0	b ₃	b ₄	0
	11	0	b ₇	b ₈	1
	10	0	b ₅	b ₆	0

q_n

dla współczynnika b=0

$$q_n = AYZ_0\bar{T}$$

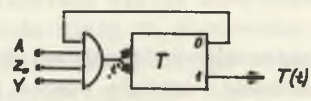
c)

	Z ₀ T	00	01	11	10
AY	00	0	1	1	0
	01	0	1	1	0
	11	1	1	1	1
	10	1	ϕ	ϕ	1

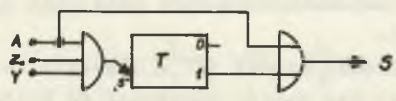
S

$$S = A + T$$

d)

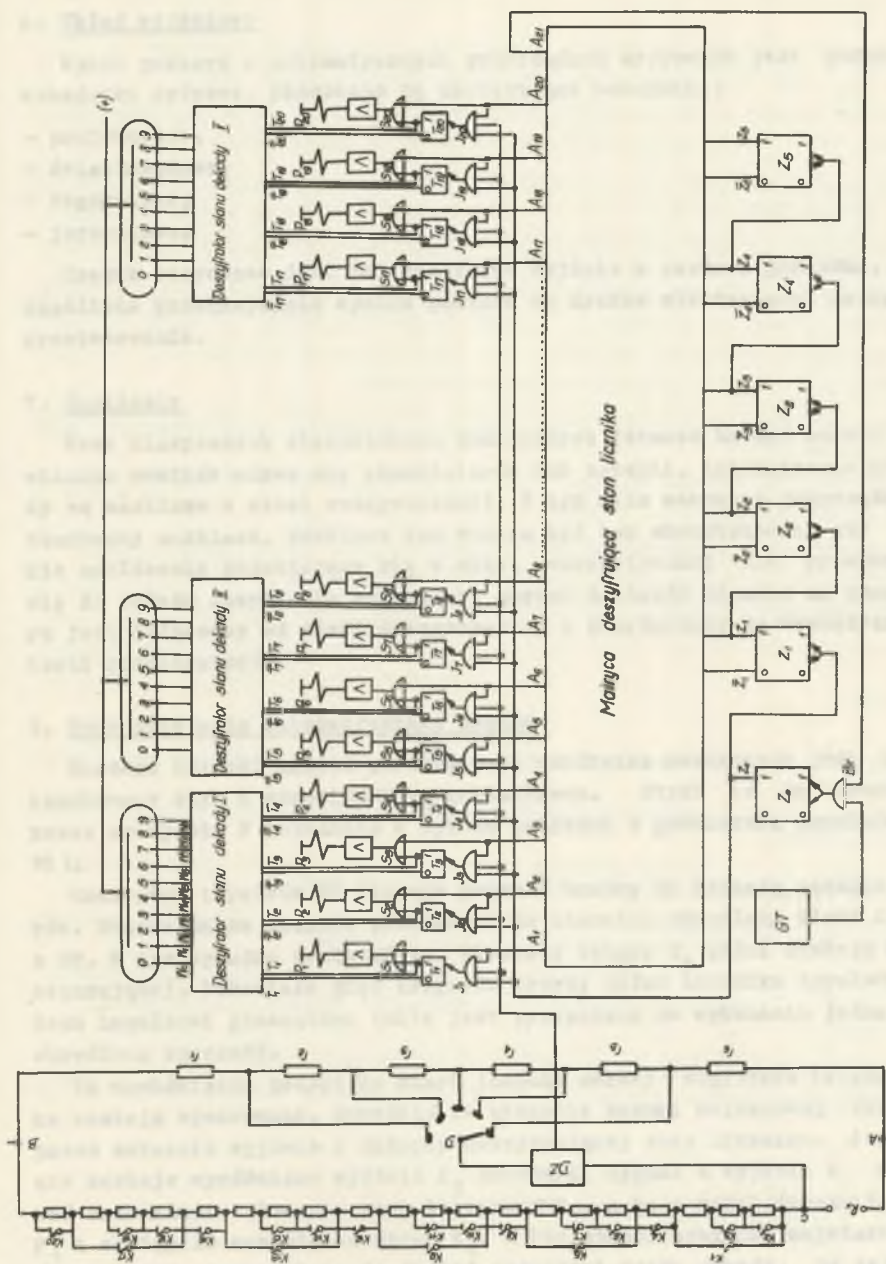


e)



Rys. 9. Komórka stopnia dekady

a. tabela przejść i funkcji wzbudzenia, b. siatka zależności dla q₁₁, c. siatka zależności dla S, d. schemat logiczny komórki pamięci, e. schemat logiczny komórki stopnia dekady



Rys 10. Schemat mostka automatycznego



Fig. 7. Valve assembly drawing

Fig. 7. Valve assembly drawing. a. handle assembly, b. valve assembly, c. valve assembly, d. valve assembly.

6. Układ wyjściowy

Wynik pomiaru w automatycznych przyrządach cyfrowych jest podawany na wskaźniki cyfrowe. Stosowane są następujące wskaźniki:

- projekcyjne,
- światłowodowe,
- segmentowe,
- jarzeniowe.

Często stosowane jest też dodatkowe wyjście w postaci gniazdka, które umożliwia przekazywanie wyniku pomiaru na drodze elektrycznej do dalszego przetwarzania.

7. Zasilanie

Przy klasycznych stanowiskach pomiarowych jeszcze bardzo często do zasilania mostków używa się akumulatorów lub baterii. Automatyczne przyrządy są zasilane z sieci energetycznej. W tym celu wewnątrz przyrządu jest wbudowany zasilacz. Zasilacz ten winien być tak skonstruowany aby wszelkie zakłócenia pojawiające się w sieci energetycznej nie przedostawały się do układu sterowania mostka np. mostek Zakładów Siemens na czas pomiaru jest odłączony od sieci energetycznej i przyłączony do wewnętrznej baterii kondensatorów.

8. Opis działania automatycznego mostka

Każdemu oporowi gałęzi porównawczej oznaczona jest przyporządkowany styk K odpowiedniego kontaktronu. Styki te są uruchomiane przez uzwojenia P pobudzane w sposób pośredni z generatora impulsów (rys. 10).

Generator impulsów GI steruje poprzez bramkę Br kaskadą sześciu triggerów. Bramka ma za zadanie przepuścić do licznika określoną ilość impulsów z GI. W tym wypadku dwadzieścia. Pierwszy trigger Z_0 pełni funkcję komórki separującej. Pozostałe pięć triggerów tworzy układ licznika impulsów. Każdemu impulsowi generatora taktu jest przypisana do wykonania jedna ściśle określona czynność.

Po naciśnięciu przycisku start (impuls zerowy) wszystkie trigery mostka zostają wyzerowane. Powoduje to otwarcie bramki wejściowej sterowanej przez ostatnie wyjście z matrycy deszyfrującej stan licznika. Jednocześnie zostaje wyróżnione wyjście A_1 dekodera. Sygnał z wyjścia A_1 spowodował zadziałanie elementu sumy logicznej S_1 , a ta z kolei wzbudziła cewkę P_1 i nastąpiło zamknięcie styku K_1 . W ten sposób oporność najstarszej dekady została zmniejszona do jednej jednostki rzędu dekady. Od tej chwili impulsy z generatora taktu przedostają się do licznika. Po zamknięciu K_1 , ale jeszcze przed pojawieniem się pierwszego impulsu na wejściu Z_0 , następuje faza próby, w wyniku której DZ podejmuje decyzję. W przypadku gdy

krok ten jest poprawny DZ podaje sygnał "1" na elementy iloczynu $I_1, I_2, I_3, \dots, I_{20}$. Gdy krok jest niewłaściwy DZ podaje sygnał "0".

Pierwszy impuls z GI powoduje przerzucenie triggera komórki separującej K_0 w stan "1" i równocześnie może zajść jeden z przypadków:

- jeżeli sygnał DZ był "1", to zostanie przerzucony trigger komórki pamięci T_1 w stan "1",
- jeżeli sygnał DZ był "0", to trigger T_1 pozostanie w stanie "zero".

Drugi impuls z GI powoduje przerzucenie Z_0 w stan "zero" i Z_1 w stan "1". Zanika sygnał na wyjściu A_1 i zgodnie ze stanem T_1 "0" albo "1" ustala się położenie styku K_1 "0" albo "1". Równocześnie pojawia się sygnał na wyjściu A_2 . Styk K_2 zostaje próbnie zamknięty.

Dalszy przebieg czynności powtarza się analogicznie jak po impulsie pierwszym z GI.

Impuls XX z GT zamyka bramkę. Styki K_1 do K_{20} mają położenia zgodne ze stanami odpowiadających im komórek pamięci T_1 do T_{20} , co równocześnie odpowiada w kodzie dwójkowo-dziesiętnym wartości mierzonego oporu. Stany komórek pamięci T_1 do T_{20} są, poprzez pięć matryx deszyfrujących stany dekad, przekazane w systemie dziesiętnym na wskaźniki cyfrowe.

LITERATURA

- [1] Herman F. - Widerstände und Schalter in Digitalmessgeräten ATM J 077-4.
- [2] Karandziejew K. - Metody elektryczeskich izmierienij. Moskwa 1959 Gosenergoizdat.
- [3] Karkoszka M. - Cyfrowy miernik rezystancji z mostkiem równoważonym za pomocą oporowego dzielnika napięcia. PAK 8/9 1969.
- [4] Knuth H. - Automatische Widerstandsmessung mit der digitalen Messbrücke Typ 101. Elektro-Apparate Mitt. nr 2/1967.
- [5] Lorenz E. - Automatische Präzisions-Widerstandsmessung. ATM J 913-1.
- [6] Lorenz E. - Ein Präzisions digital Ohmmeter. Siemens-Zeitschrift 34/1960.
- [7] Siwiński J. - Układy przełączające w automatyce. Warszawa 1968 WNT.
- [8] Wawilow E., Portnoj G. - Synteza elektronicznych maszyn cyfrowych Warszawa 1967 WNT.

Wpłynęło do redakcji w kwietniu 1971 r.

Резюме

В статье рассмотрено автоматический мост постоянного тока, измеряющий сопротивления в пределах от 1Ω до 9,9999 мΩ. Сопротивления уравновешивающего плеча переключают контакты языковых реле польского производства. Система управляющая контакты уравновешивающего плеча построена из полупроводников.

THE AUTOMATIC WITH CONTACTRON RELAYS IN EXACT BALANCING BRANCH**S u m m a r y**

This article deals with automatic bridge which measures resistances range from 1 to 9,9999 M. The resistances of comparing branches can be switched on and off by contacts of relays contactron switch produced in Poland. The control system of contacts of exact balancing branch consists of semi-conductor logical elements.