ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ 1981

Seria: ELEKTRYKA z. 92 Nr kol. 801

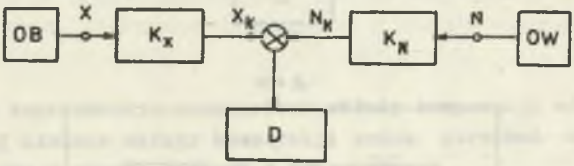
Marian MIŁEK

KOMPARATORY IMMITANCJI

Streszczenie. Wychodząc od ogólnego schematu strukturalnego układów komparacyjnych, wyprowadzono schematy strukturalne i ideowe klasy układów komparacji immitancji. Określono obszar tematyczny problemów konstrukcyjnych i technologicznych dotyczących komparatorów immitancji i ich podzespołów.

1. Komparatory immitancji jako klasa układów komparacyjnych

Układy komparacyjne realizują metodę pomiaru wynikającą wprost z definicji pomiaru, gdzie istotą pomiaru jest porównanie - komparacja dwóch stanów wielkości: badanego i przyjętego za wzorcowy. Schemat strukturalny ogólnego układu komparacyjnego przedstawiono na rys. 1. Wielkości aktywne z obiektów oznaczonych OB oraz OW, działające na tory przetwarzania pomiarowego o stałych K_X oraz K_N, oznaczono odpowiednio X oraz N. Wielkości te są przetwarzane na wielkości oznaczone X_K oraz N_K. W ogól-



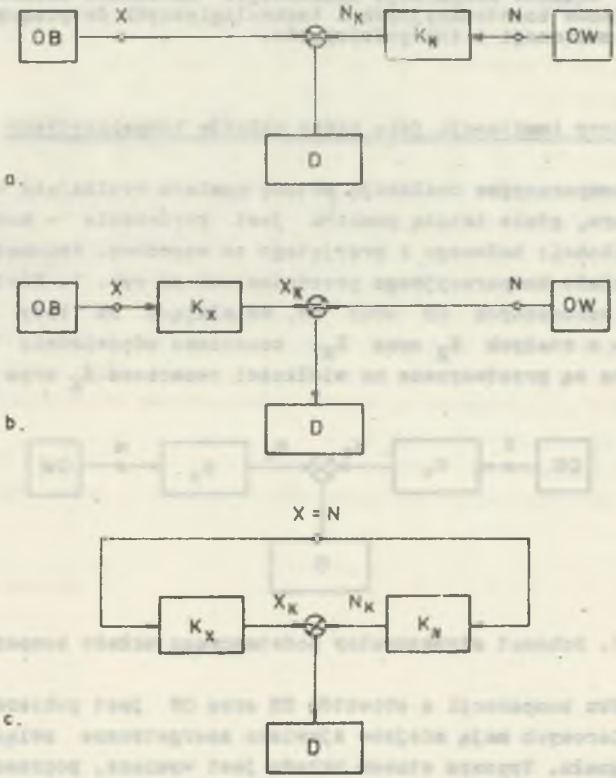
Rys. 1. Schemat strukturalny podstawowego układu komparacyjnego

nym przypadku komparacji z obiektów OB oraz OW jest pobierana energia; w torach pomiarowych mają miejsce zjawiska energetyczne związane z przenoszeniem sygnału. Typowym stanem układu jest wymiana, poprzez węzeł sumujący, energii pomiędzy torami pomiarowymi. Jeżeli wartości wielkości wyjściowych torów przetwarzania pomiarowego będą takie same, wymiana energii zaniknie - w węźle osiąga się stan kompensacji wielkości X_K oraz N_K. Wtedy równanie komparacji przyjmuje postać:

$$\frac{X}{N} = \frac{K_N}{K_X} \tag{1}$$

Z zależności (1) wynika, że przedmiotem komparacji mogą być wielkości aktywne (wtedy wynik komparacji jest równy stosunkowi wielkości pasywnych - stałych torów przetwarzania pomiarowego) lub pasywne. Spełnienie zależności (1), stwierdzone na podstawie stanu detektora kompensacji D, może być osiągnięte poprzez:

a) zmianę stałej K_X w torze przetwarzania wielkości X,
b) zmianę stałej K_N w torze przetwarzania wielkości N,
c) zmianę stanu wielkości N,
d) kombinowaną zmianę stałych K_X, K_N i wielkości N.



Rys. 2. Schematy strukturalne szczególnych przypadków układów komparacyjnych

Z ogólnego schematu strukturalnego układu komparacji, przedstawionego na rys. 1, wynikają trzy szczególne przypadki układów komparacji - przedstawiono je w postaci schematów strukturalnych na rys. 2. Dla układów komparacji wielkości aktywnych (a) oraz (b) przyjęto obiekt OW jako wzorcowy, OB - badany, N - wielkość wzorcowa, X - wielkość badana. W pierwszym

przypadku (a) wielkość aktywna działa bezpośrednio na węzeł - układ komparacyjny przekształca się w układ kompensacyjny. W stanie kompensacji, przy zaniku przepływu energii w węźle, z obiektu badanego OB nie jest pobierana energia. Przepływ energii związany ze stratami ma miejsce w torze wielkości wzorcowej. Równanie kompensacji dla $K_X = 1$ opisujące schemat strukturalny przedstawiony na rys. 2a ma postać:

$$X = N_K = NK_N \tag{2}$$

W drugim przypadku, dla $K_N = 1$, przedstawionym na rys. 2b, układ pozostaje układem komparacyjnym, opisanym zależnością:

$$XK_X = N \tag{3}$$

W torze wielkości mierzonej ma miejsce przepływ energii związanej ze stratami przetwarzania, pobieranej z obiektu badanego. Natomiast wielkość wzorcowa oddziałuje na węzeł bezpośrednio - energia ze wzorca nie jest pobierana. Kryterium poboru energii z obiektu badanego jest zatem decydujące dla wyróżnienia z metody komparacyjnej wielkości aktywnych jej szczególnego przypadku - metody kompensacyjnej.

Trzecim szczególnym przypadkiem układu komparacyjnego jest układ przedstawiony w postaci schematu strukturalnego na rys. 2c. Jest to układ komparacji wielkości pasywnych, gdzie stała przetwarzania toru pomiarowego K_X zawiera element badany, K_N - element wzorcowy. Do wejść obu torów przetwarzania doprowadza się wielkość o tej samej wartości; dla $X = N$:

$$K_X = K_N \tag{4}$$

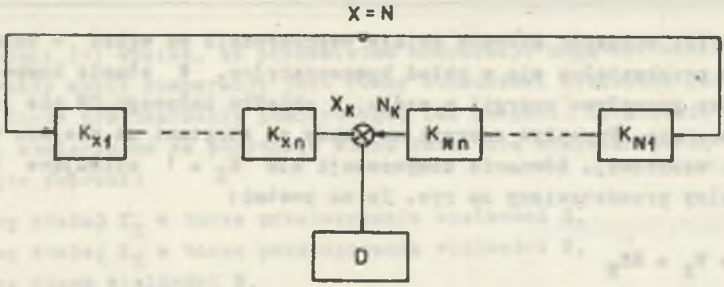
Przypadek ten reprezentuje najprostsze układy komparacji wielkości pasywnych. Bardziej złożone układy komparacji można otrzymać metodą syntezy prostych układów w sposób opisany w pracy [3].

2. Schematy strukturalne komparatora immitancji

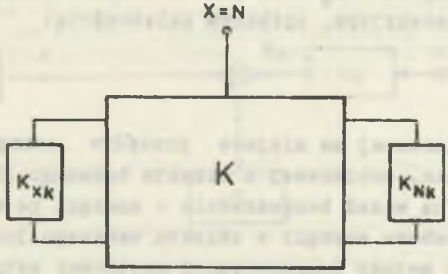
Tory przetwarzania pomiarowego mogą się składać z wielu elementów lub podzespołów, które można przedstawić w postaci schematu strukturalnego w sposób pokazany na rys. 3a. Wtedy równanie komparacji wielkości pasywnych (4) przyjmuje postać:

$$\prod_{i=1}^{i=n} K_{Xi} = \prod_{i=1}^{i=n} K_{Ni} \tag{5}$$

gdzie: K_{Xi}, K_{Ni} - wielkości charakteryzujące elementy lub podzespoły torów przetwarzania.



a.



b.

Rys. 3. Schematy strukturalne układów komparacji wielkości pasywnych

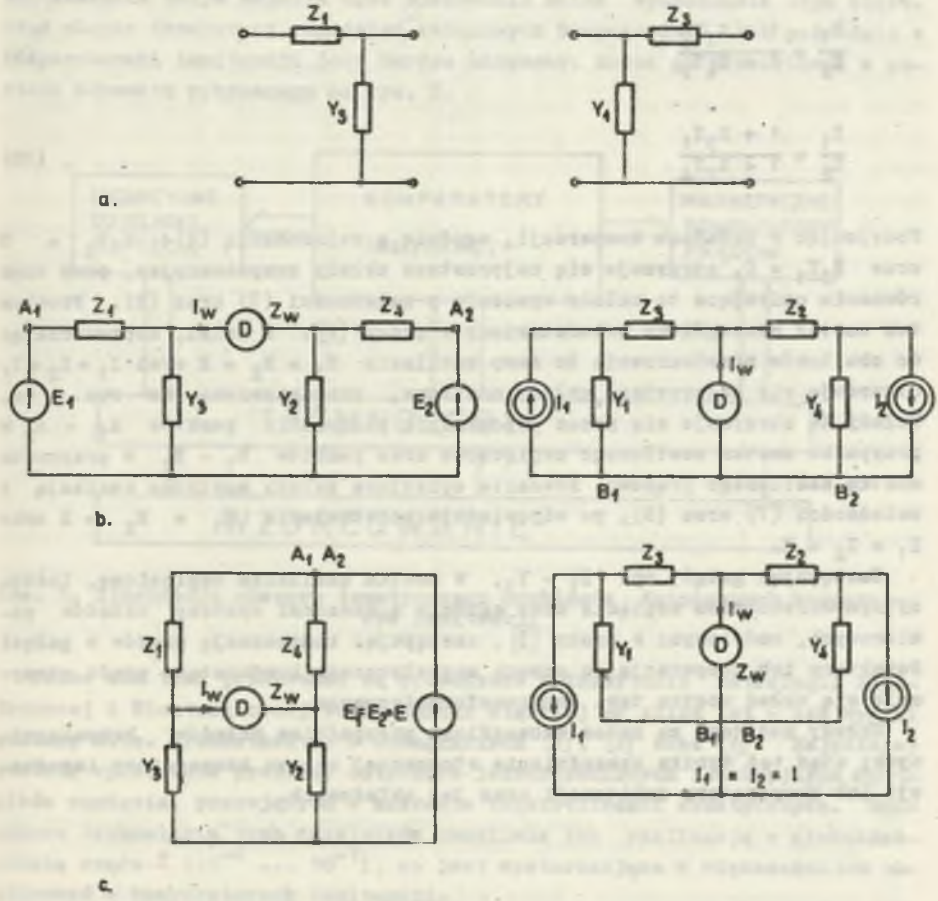
Najczęściej przedmiotem komparacji są wielkości charakteryzujące wybrane elementy toru przetwarzania K_{Xk} oraz K_{Nk}. Wtedy wynik komparacji jest równaniem, w którym lewą stroną jest stosunek tych wielkości, natomiast prawą - stosunek iloczynów pozostałych wielkości, zgodnie z zależnością:

$$\frac{K_{Xk}}{K_{Nk}} = \frac{\prod_{i=1}^{i=k-1} K_{Ni} \prod_{i=k+1}^{i=n} K_{Ni}}{\prod_{i=1}^{i=k-1} K_{Xi} \prod_{i=k+1}^{i=n} K_{Ni}} = K \qquad (6)$$

Prawą stronę równania, będącą wynikiem komparacji, oznaczono przez K. Wprowadzenie K umożliwia przedstawienie układu komparacji w postaci schematu strukturalnego przedstawionego na rys. 3b, w którym układ komparatora (pozostałe, z wyłączeniem k-tych, elementy, podzespoły oraz detektor stanu kompensacji) oznaczono jednym blokiem - K. W schemacie wyróżniono komparowane k-te elementy: K_{Xk} oraz K_{Nk}. Elementy te mogą być impedancjami, admitancjami lub ich składowymi - można wtedy mówić o komparatorach immitancji lub komparatorach składowych immitancji.

3. Schematy ideowe komparatora immitancji

W przypadku komparatora immitancji wielkościami działającymi na tory przetwarzania mogą być: napięcie lub prąd. Tory przetwarzania mogą być bardzo złożone, jednak po odpowiednim przekształceniu ich schematy ideowe można przedstawić za pomocą dwóch podstawowych czwórników: typu ⅂ oraz Γ - rys. 4a. Schematy ideowe układów komparacyjnych, odpowiadające schematowi strukturalnemu z rys. 1, przedstawiono na rys. 4b. Schematy te powstały przez połączenie poprzez detektor D dwóch torów przetwarzania. Jeżeli wielkości opisujące schemat są immitancjami, przy czym na wejściach torów działają odpowiednio napięcia E_1 oraz E_2 lub prądy I_1 oraz I_2, to otrzymany układ jest układem komparacji napięć lub prądów. Jeżeli detek-



Rys. 4. Ilustracja wyprowadzenia układów mostkowych z ogólnego układu komparacyjnego

tor D jest detektorem stanu kompensacji natężenia prądu, przyjętego jako wielkość wyjściowa, to równania układu komparacji są odpowiednio równe:

$$I_D = \frac{E_1(1 + Z_4Y_2) - E_2(1 + Z_1Y_3)}{(1 + Z_4Y_2)(Z_1 + Y_3Z_DZ_1 + Z_D) + Z_4(1 + Z_1Y_3)} \tag{7}$$

$$I_D = \frac{I_1(1 + Z_2Y_4) - I_2(1 + Z_3Y_1)}{(1 + Z_2Y_4)Z_DY_1 + (1 + Z_3Y_1)(1 + Z_DY_4 + Z_2Y_4)} \tag{8}$$

gdzie: Z_D - impedancja detektora stanu kompensacji.

W stanie kompensacji prądów płynących przez detektor równania komparacji dla obu układów mają postać:

$$\frac{E_1}{E_2} = \frac{1 + Z_1Y_3}{1 + Z_4Y_2} \tag{9}$$

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{1 + Z_3Y_1}{1 + Z_2Y_4} \tag{10}$$

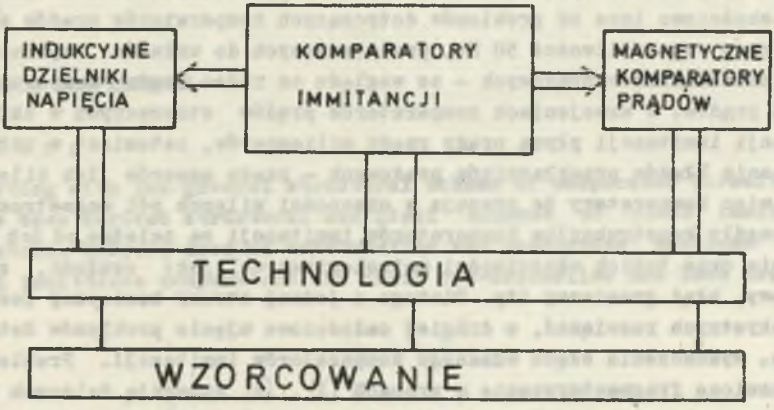
Przyjmując w układach komparacji, zgodnie z zależnością (2): $Z_1Y_3 = 0$ oraz $Z_3Y_1 = 0$, otrzymuje się najprostsze układy kompensacyjne, przy czym równania opisujące te układy wynikają z zależności (7) oraz (8). Problem ten został szczegółowo przedstawiony w pracy [3]. Z kolei, doprowadzając do obu torów przetwarzania to samo zasilanie $E_1 = E_2 = E$ oraz $I_1 = I_2 = I$, otrzymuje się najprostsze układy mostkowe, przedstawione na rys. 4c. Układy te otrzymuje się przez odpowiednie połączenie punktów $A_1 - A_2$ w przypadku mostka zasilanego napięciowo oraz punktów $B_1 - B_2$ w przypadku mostka zasilanego prądowo. Równania opisujące układy mostkowe wynikają z zależności (7) oraz (8), po odpowiednim podstawieniu $E_1 = E_2 = E$ oraz $I_1 = I_2 = I$.

Zastępując gałąź, np. $Z_1 - Y_3$, w mostku zasilanym napięciowo, indukcyjnym dzielnikiem napięcia oraz zgodnie z zasadami syntezy układów pomiarowych, omówionymi w pracy [3], zastępując kompensację prądów w gałęzi detektora ich komparacją za pomocą magnetycznego komparatora prądu otrzymuje się układ mostka tzw. dwutransformatorowego.

Układy mostkowe są zatem szczególnym przypadkiem układów komparacyjnych; stąd też wynika uzasadnienie stosowanej nazwy: komparatory impedancji lub komparatory immitancji oraz jej składowych.

4. Charakterystyka obszaru tematycznego

Z punktu widzenia konstrukcji komparatory immitancji lub jej składowych są układami bardzo złożonymi. Głównymi podzespołami współczesnych komparatorów immitancji są indukcyjne dzielniki napięcia oraz magnetyczne komparatory prądów. Zastosowanie tych podzespołów umożliwiło realizację komparatorów immitancji o niedokładności wyznaczenia K rzędu $\pm(10^{-5}-10^{-8})$. Osiągnięcie tak małych niedokładności wymaga stosowania w tych komparatorach układów, najczęściej aktywnych, minimalizujących źródła rozbieżności pomiędzy modelowym opisem komparatorów impedancji lub jej składowych a ich realizacją. Jednak zasadniczym problemem w realizacji komparatorów impedancji lub jej składowych jest opanowanie konstrukcji i technologii indukcyjnych dzielników napięcia i magnetycznych komparatorów prądów o dostatecznie małym błędzie oraz opanowanie metod wyznaczania tego błędu. Stąd obszar tematyczny zagadnień związanych bezpośrednio lub pośrednio z komparatorami immitancji jest bardzo obszerny. Można go przedstawić w postaci schematu pokazanego na rys. 5.



Rys. 5. Ilustracja obszaru tematycznego problemów dotyczących komparatorów immitancji

Prace nad tymi problemami są prowadzone w Instytucie Metrologii Elektrycznej i Elektronicznej Politechniki Śląskiej od kilku lat - ich wyniki zostały m.in. przedstawione w monografiach [1], [2] oraz [4]. Najpełniej zostały opracowane problemy dotyczące jednordzeniowych indukcyjnych dzielników napięcia, pracujących w zakresie częstotliwości akustycznych. Opanowana technologia tych dzielników umożliwia ich realizację z niedokładnością rzędu $\pm(10^{-6} \ldots 10^{-7})$, co jest wystarczające w większości ich zastosowań w komparatorach immitancji.

W przypadku magnetycznych komparatorów prądów - ze względu na odmienną zasadę działania detektorów strumienia - problemy konstrukcyjne i technologiczne należy podzielić na dwie grupy-dotyczące magnetycznych komparatorów prądów stałych oraz prądów zmiennych. Magnetyczne komparatory prądów stałych są przeznaczone m.in. do układów komparacji rezystancji; ich technologia opisana m.in. w pracach [2], [4] umożliwia realizację tych komparatorów, porównujących natężenia dwóch prądów z niedokładnością mniejszą niż $\pm(10^{-5} \ldots 10^{-6})$. Zmniejszenie tej niedokładności jest warunkowane lepszą jakością dostępnych materiałów magnetycznych detektora strumienia.

W przypadku magnetycznych komparatorów prądów zmiennych istotną rolę odgrywają problemy związane z wpływem częstotliwości i jej zmian na właściwości metrologiczne komparatora, przy czym waga problemów jest zależna od rzędu częstotliwości pracy komparatorów. Komparatory immitancji pracują najczęściej przy częstotliwości 1000 Hz lub 1592 Hz; wtedy np. błędy komparatora zależne od częstotliwości są znaczące. Dlatego w tych komparatorach immitancji stosuje się układy aktywne zmniejszające udział składników błędu, zależnych od częstotliwości [2]. Problemy dotyczące magnetycznych komparatorów prądów stosowanych w komparatorach immitancji są ponadto jakościowo inne od problemów dotyczących komparatorów prądów pracujących przy częstotliwości 50 Hz, przeznaczonych do układów wyznaczania błędów przekładników prądowych - ze względu na różne rzędy komparowanych natężeń prądów. W uzwojeniach komparatorów prądów stosowanych w układach komparacji immitancji płyną prądy rzędu miliamperów, natomiast w układach wyznaczania błędów przekładników prądowych - rzędu amperów lub kiloamperów; a więc komparatory te pracują w obecności silnych pól magnetycznych.

Szczegóły konstrukcyjne komparatorów immitancji są zależne od ich przeznaczenia oraz takich właściwości metrologicznych, jak: czułość, zakres pomiarowy, błąd graniczny itp. Dlatego z jednej strony konieczny jest opis konkretnych rozwiązań, z drugiej całościowe ujęcie problemów dotyczących np. wyznaczenia błędu własnego komparatorów immitancji. Problemy te przedstawione fragmentarycznie w pracach [2], [4] wymagają dalszych badań.

Istotną rolę w obwodach pomocniczych komparatorów immitancji odgrywają transformatory pomiarowe z minimalizacją błędu za pomocą układów aktywnych. Transformatory te umożliwiają odwzorowanie napięcia lub natężenia prądu z błędem mniejszym niż 10^{-5}.

LITERATURA

[1] Indukcyjne dzielniki napięcia i komparatory prądowe w układach pomiarowych. Praca zbiorowa. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej "Elektryka" Nr 55, 1976.

[2] Miernictwo precyzyjne. Praca zbiorowa. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej "Elektryka" Nr 71, 1981.

[3] Miłek M.: Komparacja wielkości elektrycznych i magnetycznych. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej "Elektryka" Nr 77, 1981.

[4] Miłek M.: Magnetyczne komparatory prądów: konstrukcja, technologia, zastosowanie. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej "Elektryka" Nr 89 1984.

Recenzent: prof. dr hab. inż. Ryszard Gotszalk

Wpłynęło do Redakcji dnia 15.XI.1983 r.

КОМПАРАТОРЫ ИММИТАНЦИИ

Р е з ю м е

Исходя из общей структуральной схемы компарационной системы, вводятся структуральные схемы и идейные классы систем компарации иммитанции. Определяется тематический объём конструкционных и технологических проблем, касающихся компараторов иммитанции и их подузлов.

IMMITTANCE COMPARATORS

S u m m a r y

Starting with the general structural scheme of comparator circuits there have been derived structural and ideal schemes of class immittance comparators. Subject area of construction and production problems concerning immittance comparators and their sub-assemblies has been defined.