

A. WISZNIEWSKI, M. MICHALIK
Instytut Energoelektryki
Politechniki Wrocławskiej

TYPIZACJA PODZESPOŁÓW AUTOMATYKI ZAKŁÓCENIOWEJ

S t r e s z c z e n i e

Współczesne przekaźniki statyczne charakteryzują się wielką różnorodnością rozwiązań konstrukcyjnych. Dla polepszenia ich jakości, a szczególnie dla obniżenia kosztów produkcji, celowym jest wprowadzenie typizowanego szeregu podzespołów. Podzespoły takie winny spełniać szereg wymagań tak eksploatacyjnych jak i technologicznych, omówionych w artykule. Przedstawiono propozycje typoszeregu podzespołów, bazującego na konstrukcji wzmacniacza operacyjnego i przerzutnika. Przedstawiono przykłady zastosowań wzmacniacza w różnych układach automatyki zakłóceniiowej, wykazując jego uniwersalność. Podano zależności, określające uchyby rzeczywistych wzmacniaczy, umożliwiając właściwe projektowanie tych podzespołów.

1. Wstęp

Rozwój elektroniki oraz dotychczasowe wyniki eksploatacyjne zabezpieczeń statycznych upoważniają do przypuszczeń, że przyszłość automatyki zakłóceniiowej leży w coraz szerszym stosowaniu aparatury elektronicznej. Ogromne możliwości konstrukcyjne jakie stwarza elektronika półprzewodnikowa, pozwalają dziś nie tylko na budowę układów równorzędnych rozwiązaniom konwencjonalnym, lecz także umożliwiają tworzenie układów, których konstrukcja, w oparciu o elementy elektromechaniczne byłaby bądź nierealna, bądź wyjątkowo złożona. Jest jednak pewnym paradoksem, że te ogromne możliwości elektroniki, stają się zarazem jedną z zasadniczych trudności powszechnej elektronizacji układów

zabezpieczeń. Dla realizacji poszczególnych zabezpieczeń stosuje się wiele rozwiązań konstrukcyjnych.

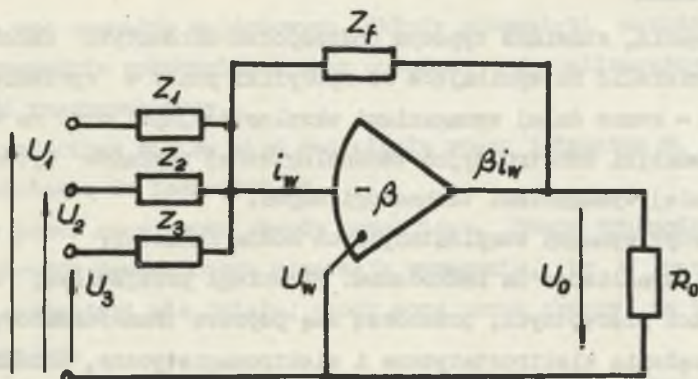
Układy te pracują na ogół poprawnie w warunkach laboratoryjnych, choć niewielki tylko ich procent potwierdza się w warunkach eksploatacyjnych, a jeszcze mniej nadaje się do seryjnej produkcji fabrycznej. Nawet jednak seryjnie produkowane przekładniki statyczne posiadają taką różnorodność rozwiązań konstrukcyjnych, że przypominają muzeum historii rozwoju dwustanowych elementów półprzewodnikowych. Powoduje to z jednej strony brak pełnego zaufania eksploatacji do zabezpieczeń statycznych, z drugiej zaś - jest jedną z przyczyn, dla których elektronowe zabezpieczenia są droższe od rozwiązań konwencjonalnych.

Specyficzną cechą elementów automatyki zakłóceniewej jest wielka różnorodność stosowanych w praktyce zabezpieczeń, przy jednocześnie bardzo różnym liczbowym zapotrzebowaniu na poszczególne przekładniki. Przykładowo krajowe zapotrzebowanie na przekładniki nadprądowe sięga dziesiątków tysięcy sztuk, podczas gdy potrzeby w dziedzinie zabezpieczeń obwodów wzbudzenia generatorów nie przekraczają kilkunastu sztuk w skali rocznej. Opłacalność produkcji fabrycznej układów, na które jest minimalne zapotrzebowanie, stoi pod znakiem zapytania, chyba że można konstruować je z podzespołów identycznych jak stosowane do zabezpieczeń, produkowanych w wielkich ilościach.

Z przedstawionych wyżej przesłanek wynika potrzeba ujednoczenia i typizacji podzespołów automatyki zakłóceniewej. Jest to obecnie jedyną skuteczną drogą zwiększenia seryjności wyrobów - a w konsekwencji - potaniaenia produkcji. Wydaje się, że jednocześnie istnieją techniczne możliwości przeprowadzenia takiej typizacji. Mamy już za sobą okres żywożowego rozwoju elektroniki półprzewodnikowej, istnieje sporo doświadczeń i pewien dystans, pozwalający na dokonanie świadomego i uzasadnionego wyboru konstrukcyjnych rozwiązań poszczególnych podzespołów.

W pracy niniejszej przedstawiono propozycję systemu typowych podzespołów.

Zasadniczymi elementami tego systemu są: wzmacniacz operacyjny oraz przerzutnik dwustanowy. Przerzutniki są dobrze znane we współczesnej automatyce zakłóceńowej - dlatego bliżej omówiony będzie jedynie



Rys. 1. Schemat blokowy trójwejściowego wzmacniacza operacyjnego

wzmacniacz operacyjny. Jest to prądowy wzmacniacz inwertorowy, o możliwie dużym wzmocnieniu β , pracujący z ujemnym sprzężeniem zwrotnym, realizowanym przez impedancje Z_f (patrz rys. 1). Wzmacniacz ten posiada szereg wejść przez impedancje wejściowe Z_1, Z_2, Z_3 . Jeśli przyjąć, że prąd i_w oraz napięcie u_w - są nieskończenie małe, równanie operatorowe, opisujące przebieg napięcia U_o na rezystancji obciążenia przedstawia się następująco:

$$U_o = U_1 \frac{Z_f}{Z_1} + U_2 \frac{Z_f}{Z_2} + U_3 \frac{Z_f}{Z_3} \quad (1)$$

Ilorazy $\frac{Z_f}{Z_{1,2,3}}$ są w ogólnym przypadku funkcjami operatorowymi, tak więc pokazany na rys. 1 wzmacniacz dokonuje dynamicznego przekształcenia sygnałów wejściowych, a następnie sumuje je. Dzięki tej zdolności wzmacniacz inwertorowy jest układem szczególnie uniwersalnym. I tak - we współczesnych maszynach analogowych tworzy podstawowy blok operacyjny. W dalszych rozdziałach niniejszego artykułu wykazuje

się, że może także stać się podstawowym elementem konstrukcyjnym układów automatyki zakłóceniowej.

2. Wymagania

Wymagania, stawiane typowym podzespołem automatyki zakłóceniowej, można podzielić na wynikające ze specyfiki pracy w systemie energetycznym - zwane dalej wymaganiami eksploatacyjnymi oraz na wynikające z problematyki konstrukcyjno-technologicznej zakładów wytwórczych - zwane dalej wymaganiami technologicznymi.

Do grupy wymagań eksploatacyjnych można zaliczyć:

a. Niewrażliwość na zakłócenia. Przebiegi przejściowe, zachodzące w obwodach pierwotnych, przenoszą się poprzez transformatory pomiarowe, sprzężenia elektrostatyczne i elektromagnetyczne, uziemienia itp. do obwodów wtórnych. Szczytowe moce tych zakłóceń oraz amplitudy towarzyszących im napięć bywają o parę rzędów wielkości większe, niż wynosi wytrzymałość napięciowa, bądź cieplna elementów półprzewodnikowych. Podzespoły statyczne muszą być zatem tak skonstruowane, aby zakłócenia, mogące wystąpić w praktyce, nie powodowały uszkodzenia poszczególnych elementów układu oraz by nie stawały się przyczyną zbędnych działań układów automatyki.

b. Dokładność działania. Podzespoły mierzące zmieniają skokowo wartość swego sygnału wyjściowego, gdy wielkość mierzona przekroczy określony poziom. Dokładność z jaką ta granica działania jest utrzymywana w pełnym zakresie zmian parametrów otoczenia (takich jak temperatura, wilgotność, obciążenia itp.), powinna w większości układów automatyki zakłóceniowej wahać się w granicach 1-5%.

c. Niezawodność pracy. Układy automatyki zakłóceniowej, spełniające szczególnie odpowiedzialną rolę w systemach energetycznych, winny cechować się:

- odpornością na uszkodzenia elementów składowych, wyrażoną w postaci średniego czasu między dwoma kolejnymi statystycznymi uszkodzeniami,
- zdolnością do działania przy określonych zakłóceniach, zarówno w stanach ustalonych jak i przejściowych,
- małym prawdopodobieństwem działań zbędnych.

d. Mała moc sygnałów wejściowych. Zmniejszenie mocy, wymaganej od sygnałów wejściowych dla spowodowania działania układu ułatwia prace źródłom tych sygnałów takim jak czujniki, transformatory pomiarowe itp.

e. Duża moc sygnałów wyjściowych. Układy automatyki zakłóceniowej sterują przeważnie wyłącznikami oraz obwodami sygnalizacyjnymi, co wymaga dość znacznych mocy.

Sygnał wyjściowy winien mieć moc ciągłą rzędu jednostek W, a w impulsie dochodzącą do jednostek kW.

f. Mały pobór mocy przez obwody pomocnicze. Znane trudności z zasilaniem obwodów pomocniczych stwarzają wymaganie, by w warunkach, gdy układ automatyki nie działa, pobór mocy przez obwody te był możliwie minimalny.

g. Krótki czas działania. Niektóre układy automatyki zakłóceniowej przeznaczone dla zabezpieczenia sieci najwyższych napięć, powinny mieć bardzo krótkie czasy działania, mieszcząc się w granicach 20-40 msek.

Do wymagań technologicznych zalicza się:

a. Prostota konstrukcji. Każdy układ powinien składać się z minimalnej liczby elementów składowych. Jest też niezwykle ważnym, aby ograniczyć wymagania odnośnie pasma tolerancji poszczególnych elementów i w miarę możliwości wyeliminować konieczność selekjonowania.

b. Mała liczba punktów krytycznych. Każdy układ powinien posiadać możliwie małą liczbę punktów krytycznych tj. tych punktów węzłowych układu, które wymagają indywidualnego dostrajania w trakcie procesu wytwórczego.

c. Łatwość budowy złożonych układów. Podzespoły winny być na tyle elastyczne, aby umożliwiały konstrukcje tak oddzielnych tradycyjnych przekaźników jak i całych strukturalnych układów zabezpieczeń, łatwych do rozbudowy i dokonywania zmian.

d. Możliwość unowocześniania. Współczesne tempo rozwoju elektroniki czyni niejednokrotnie układy przestarzałymi w momencie ukazania się przemysłowej serii informacyjnej. Ważnym jest zatem, by przewidzieć możliwość unowocześniania podzespołów, przy rozwoju elektroniki

w dających się przewidzieć kierunkach (np. obecnie - obwody scalone, elementy elektrochemiczne itp.).

3. Bloki funkcjonalne układów automatyki

Zarówno w chwili obecnej jak i w dającej się przewidzieć przyszłości, układy automatyki zakłóceńowej będą w większości wykonywane w postaci analogowo-cyfrowej, tzn. będą dokonywać analogowego pomiaru sygnałów wejściowych, przy cyfrowym (dwustanowym) wyjściu. Dla wykonania swych zadań, układy takie muszą składać się z szeregu bloków funkcjonalnych, przekształcających i mierzących sygnały wejściowe oraz wytwarzających odpowiednie dwustanowe sygnały wyjściowe.

Poniżej zostaną omówione ważniejsze z tych bloków, a na tym tle przedstawi się możliwość wykorzystania zestawu wzmacniacz operacyjny - przerzutnik.

a. Transformacja sygnałów

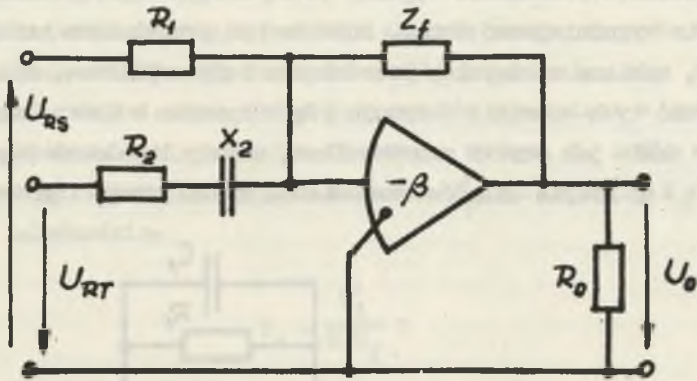
Dla większości układów automatyki zakłóceńowej źródłem sygnałów wejściowych są przekładniki pomiarowe prądowe i napięciowe. Prąd lub napięcie z obwodów wtórnych tych przekładników wymagają zazwyczaj przetransformowania przed doprowadzeniem do półprzewodnikowych układów mierzących. Celem takiej transformacji jest:

- odizolowanie galwaniczne układów półprzewodnikowych od obwodów wtórnych,
- przekształcenie charakteru sygnału prądowego bądź napięciowego do postaci stosowniejszej dla dokonywania pomiarów przez układy półprzewodnikowe,
- dokonanie sumowania geometrycznego kilku sinusoidalnych sygnałów wejściowych.

Zadania te wypełniają w chwili obecnej układy transformatorowe takie jak transformatoruki pośredniczące napięciowe i prądowo-napięciowe transformatoruki sumujące, transformatorowe filtry składowych symetrycznych itp.

Wydaje się, że transformatoruki izolujące są nie do zastąpienia - natomiast układy sumowania geometrycznego sygnałów sinusoidalnych łą-

wo mogą być wykonane przy użyciu wzmacniacza operacyjnego. Ilustruje to przykład filtra składowej symetrycznej przeciwnej, pokazanego na rys. 2.



Rys. 2. Wzmacniacz operacyjny jako filtr składowej przeciwnej napięć

Jeśli spełnić warunki:

$$X_2 = \sqrt{3} R_2$$

$$\sqrt{X_2^2 + R_2^2} = R_1$$

to podając na wejścia odpowiednio napięcia U_{RS} oraz $-U_{RT}$, symboliczna wartość napięcia wyjściowego U_o wynosi:

$$U_o = \frac{3Z_f}{R_1} U_2 \quad (2)$$

gdzie:

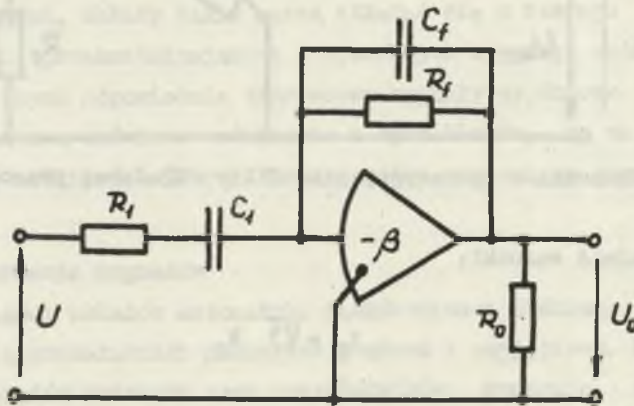
Z_f - symboliczna wartość impedancji sprzężenia zwrotnego

U_2 - symboliczna wartość składowej przeciwnej napięcia.

Zupełnie podobnie można wykonać inne układy, sumujące geometrycznie napięcia wejściowe, uzyskując na ich wyjściu sygnał, którego moc może być wielokrotnie większa od mocy pobieranej ze źródeł napięć wejściowych.

b. Przekształcenie sygnałów

Bloki mierzące rzadko kiedy mierzą bezpośrednio sinusoidalne sygnały wejściowe. Przeważnie sygnały te są wstępnie przetworzone, dla nadania im wygodniejszej formy. Może to być przykładowo prostowanie, gładzenie, zamiana na impulsy prostokątne bądź szpilkowe, filtracja itp. Większość tych operacji dokonuje się w oparciu o dobrze znane, proste układy takie jak mostki prostownicze, układy impulsowe itp. Zastosowanie w tej grupie układów wzmacniacza operacyjnego ma sens tylko w



Rys. 3. Wzmacniacz jako pasmowy filtr częstotliwości

tych przypadkach, gdzie złożoność przekształceń tego wymaga. Ilustracją niech będzie przykład filtra pasmowego, pokazanego na rys. 3. Pokazany układ jest filtrem o paśmie przepuszczenia w granicach pulsacji:

$$\omega_1 = \frac{1}{R_f C_f}, \quad \omega_2 = \frac{1}{R_1 C_1}$$

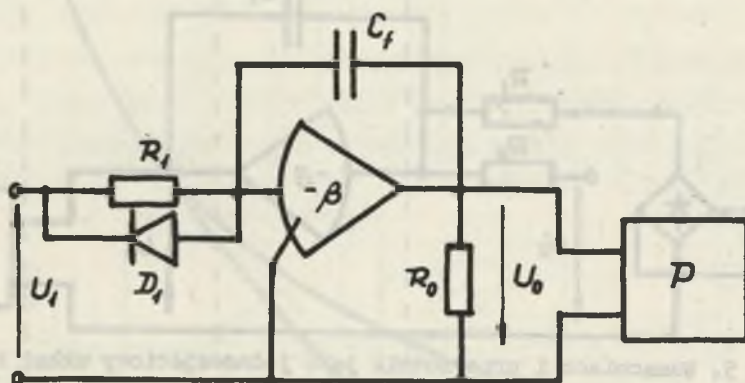
Szczególnym przypadkiem takiego filtra może być układ gładzący. Gdy wyeliminować pojemność C_1 ($C_1 = \infty$), a na wejście podać napięcie U_1 , będące wyprostowanym przebiegiem sinusoidalnym, składowa stała tego napięcia przenoszona jest przez układ ze współczynnikiem $\frac{R_f}{R_1}$.

Poszczególne harmoniczne napięcia wejściowego przenoszone są ze współczynnikiem znacznie mniejszym, określonym wpływem pojemności C_f .

c. Opóźnienie czasowe

Blok opóźnienia czasowego powoduje skokową zmianę sygnału wyjściowego po upływie określonego czasu od chwili pojawienia się skokowej zmiany sygnału wejściowego. Układ podzespołów wzmacniacz - przerzutnik dobrze spełnia takie zadanie. Ilustruje to rys. 4. Jeśli napięcie U_1 zmienia się skokowo od zera do wartości U_1' , to napięcie U_0 określone jest zależnością:

$$U_0 = \frac{U_1'}{R_1 C_f} t \quad (3)$$



Rys. 4. Wzmacniacz i przerzutnik jako blok opóźnienia czasowego

Napięcie to, podawane jest na przerzutnik, oznaczony symbolem P, gdy osiągnie wartość napięcia przerzutu U_p , nastąpi skokowa zmiana sygnału na wyjściu przerzutnika. Czas jaki upłynie od chwili pojawienia się na wejściu napięcia U_1 do chwili przerzutu można określić równaniem:

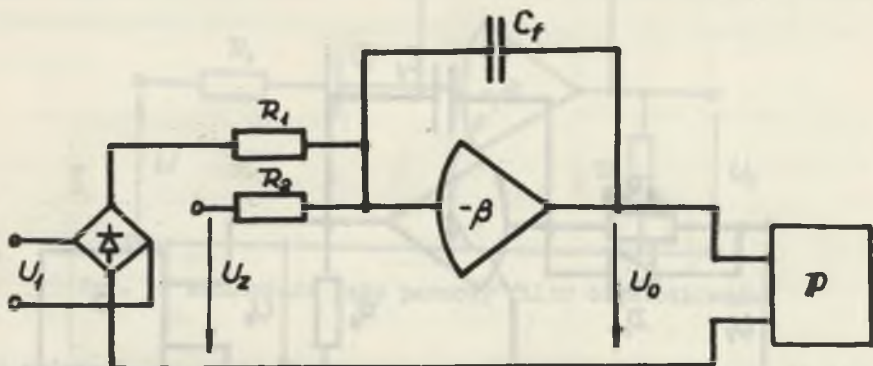
$$t_p = \frac{U_p}{U_1'} R_1 C_f \quad (4)$$

W chwili, gdy napięcie U_1 zmaleje do zera, napięcie U_0 maleje bardzo szybko, bowiem pojemność C_F rozładowuje się poprzez diodę D_1 .

Praktyczne układy bloku opóźnienia czasowego, wykorzystujące wzmacniacz operacyjny - przerzutnik, mogą się w szczegółach różnić od opisanego wyżej, zasada jednak pozostaje niezmienną.

d. Pomiar poziomu pojedynczego sygnału

Jednym z częściej stosowanych w praktyce bloków funkcjonalnych jest układ, który powoduje skokową zmianę swego sygnału wyjściowego, gdy sygnał wejściowy (mierzony) przekroczy zadany poziom. Układ taki w rozwiązaniach elektronowych realizują zazwyczaj przerzutniki o dobrze stabilizowanym progu przerzutu. W niektórych zastosowaniach jednak, zdolność przerzutników do bezzwłocznego działania pod wpływem

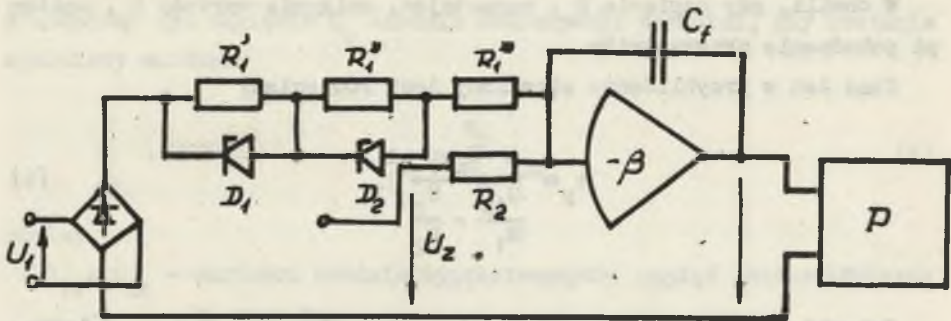


Rys. 5. Wzmacniacz i przerzutnik jako jednoweściowy układ krytyczny

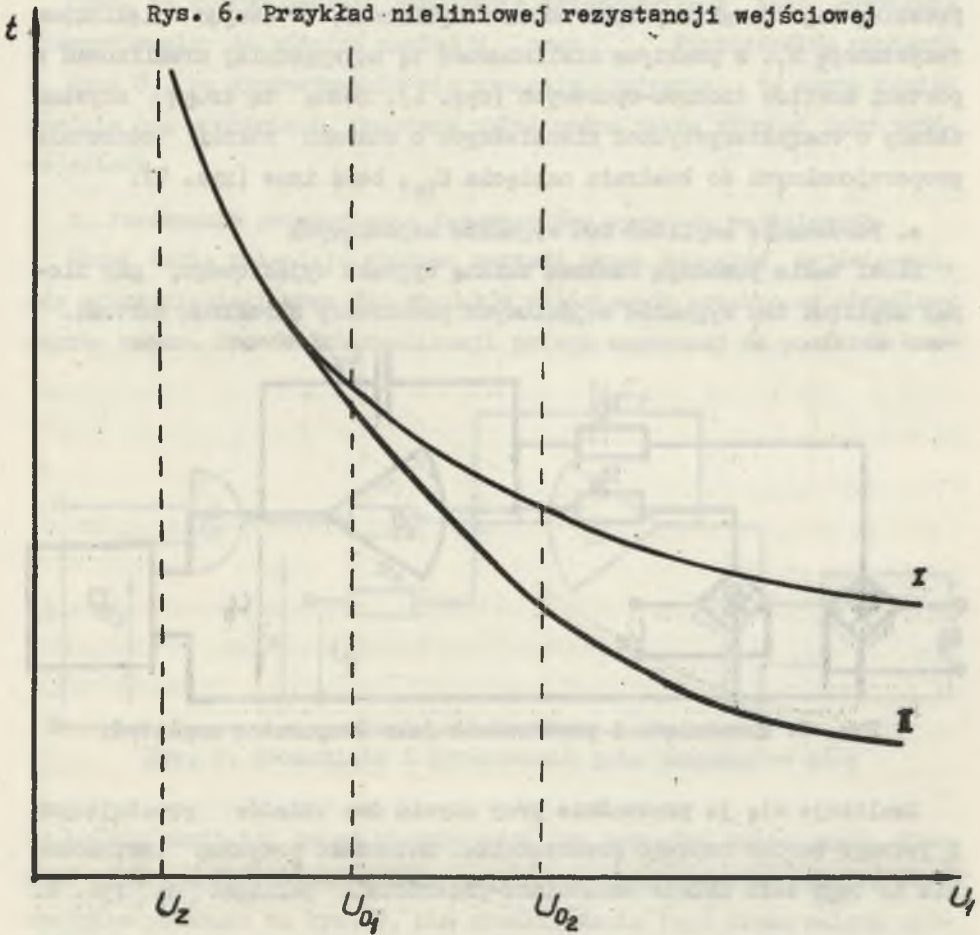
krótkotrwałych sygnałów wejściowych może być poważnym mankamentem układu. Wady tej pozbawiony jest układ pokazany na rys. 5. Napięcie U_1 prostowane dwupołkódkowo podawane jest na rezystancję wejściową R_1 , podczas gdy na drugą rezystancję wejściową R_2 podawane jest napięcie odniesienia - U_2 . Napięcie wyjściowe U_0 zacznie sukcesywnie narastać, gdy spełniony jest warunek:

$$U_{1s} > \frac{R_1}{R_2} U_2 \quad (5)$$

gdzie: U_{1s} - średnia wartość wyprostowanego napięcia U_1 .



Rys. 6. Przykład nieliniowej rezystancji wejściowej



Rys. 7. Charakterystyki czasowo-zależne członu z liniową rezystancją wejściową (I) oraz nieliniową rezystancją wejściową (II)

W chwili, gdy napięcia U_o , narastając, osiągnie wartość U_p , nastąpi pobudzenie przerzutnika.

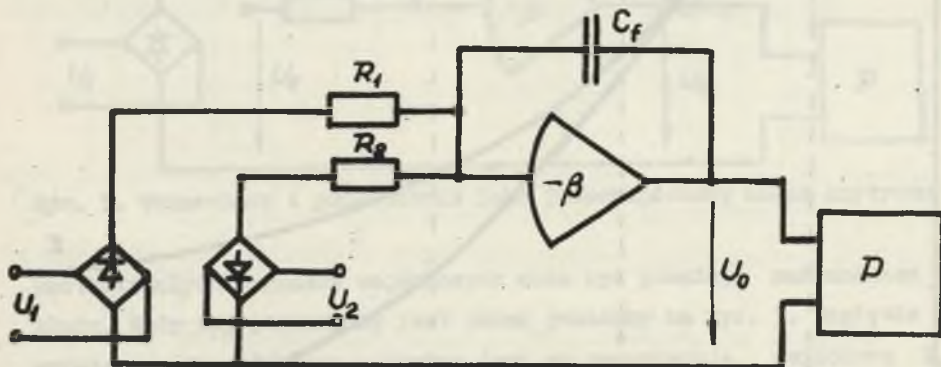
Czas ten w przybliżeniu określony jest równaniem:

$$t_p \approx \frac{U_p}{\frac{U_{1s}}{R_1} - \frac{U_z}{R_2}} C_f \quad (6)$$

Jak widać zatem, układ posiada charakterystykę czasowo-zależną. Przebieg tej charakterystyki można modyfikować, stosując nieliniową rezystancję R_1 . W praktyce nieliniowość tę najwygodniej zrealizować w postaci mostków diodowo-oporowych (rys. 6). Można tą drogą uzyskać układy o charakterystykach niezależnych o czasach zwłoki odwrotnie proporcjonalnych do kwadratu napięcia U_{1s} , bądź inne (rys. 7).

e. Porównanie amplitud dwu sygnałów wejściowych

Bloki takie powodują skokową zmianę sygnału wyjściowego, gdy iloraz amplitud dwu sygnałów wejściowych przekroczy określoną wartość.



Rys. 8. Wzmacniacz i przerzutnik jako komparator amplitudy

Realizuje się je przeważnie przy użyciu dwu układów prostujących i jednego bardzo czułego przerzutnika. Natomiast przykład zastosowania do tego celu układu wzmacniacz-przerzutnik pokazano na rys. 8.

W układzie tym napięcie U_0 zacznie sukcesywnie narastać, gdy zostanie spełniony warunek:

$$U_{1s} > \frac{R_1}{R_2} U_{2s} \quad (7)$$

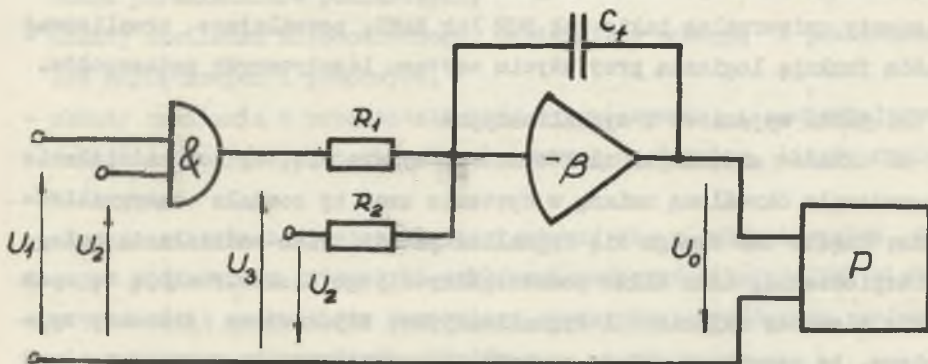
gdzie:

U_{1s} , U_{2s} - wartości średnie wyprostowanych napięć sinusoidalnych U_1 oraz U_2 .

Czas, po którym nastąpi pobudzenie przerzutnika P jest odwrotnie proporcjonalny do różnicy napięć U_{1s} oraz U_{2s} . Poszczególne napięcia U_1 oraz U_2 , po wyprostowaniu nie wymagają gładzenia, tę cechę bowiem spełnia sam wzmacniacz. Omawiany układ można także wykonać jako trójwejściowy.

f. Porównanie przesunięcia fazowego dwu sygnałów wejściowych

Bloki takie zmieniają skokowo wartość swych sygnałów wyjściowych, gdy przesunięcie fazowe dwu sygnałów wejściowych przekroczy określony zakres zmian. Sposób ich realizacji polega zazwyczaj na pomiarze cza-



Rys. 9. Wzmacniacz i przerzutnik jako komparator fazy

su koincydencji tej samej biegunowości dwu sygnałów wejściowych. Przykład rozwiązania takiego układu przy wykorzystaniu wzmacniacza i przerzutnika pokazano na rys. 9. Dla zrealizowania tego bloku należy uzupełnić go elementem logicznym, wysyłającym stały sygnał U_3 wtedy, gdy

biegunowość obu sygnałów wejściowych jest identyczna. Napięcie U_0 zacznie narastać, gdy spełniony jest warunek:

$$|\varphi| > 2\pi \left(\frac{U_2 R_1}{U_3 R_2} \right) \quad (8)$$

gdzie:

φ - przesunięcie fazowe między napięciami U_1 i U_2 .

Tak pomyślane układy mogą mieć dowolną (regulowaną) strefę przesunięć fazowych, określających zadziahanie i blokowanie. Mogą też być wykonane jako wielowejsciowe.

b. Bloki logiczne

Blok logiczny powoduje pojawienie się skokowe sygnału wyjściowego, gdy szereg dwustanowych sygnałów wejściowych spełnia określony warunek. Dwustanowe przerzutniki, uzupełnione diodowymi układami sumy logicznej i iloczynu logicznego, zapewniają realizację dowolnych jednotaktowych układów logicznych. Prawdopodobnie jednak najoszczędniejszą formą realizacji bloków logicznych jest oparcie ich działania o elementy uniwersalne takie jak NOR lub NAND, pozwalające zrealizować każdą funkcję logiczną przy użyciu zestawu identycznych podzespołów.

h. Bloki wyjściowe i sygnalizacyjne

Od układów automatyki zakłócenieniowej wymaga się, by ich zadziahanie spowodowało określoną zmianę w systemie oraz by zostało zasygnalizowane. Często też wymaga się sygnalizacji nie tylko zadziahania całego zabezpieczenia, lecz także poszczególnych jego bloków. Funkcję tę spełniają elementy wyjściowe i sygnalizacyjne. Współczesne elementy wyjściowe, to zazwyczaj układy stykowe, zapewniające wystarczającą moc do sterowania cewek wyłączników. Parametry elementów stykowych szczególnie w świetle możliwości stosowania kontaktronów zwilżanych rtęcią - są tak dobre, że nie wydaje się koniecznym stosowanie statycznych elementów wyjściowych. To ostatnie jest wszakże możliwe przy użyciu tyrystorów.

Sygnalizacje działania poszczególnych bloków w rozwiązaniach statycznych, można wykonać, wykorzystując przerzutniki, w obwód których włącza się bądź lampki sygnalizujące, bądź elektromechaniczne elementy flagowe.

1. Bloki zasilające

Podzespoły statyczne takie jak wzmacniacze, przerzutniki itp. wymagają źródła pomocniczego zasilania o parametrach innych, niż powszechnie stosowane stacyjne baterie akumulatorów.

Wobec tego, instalując zabezpieczenia statyczne, nieodzownym jest zaopatrzenie ich w źródła zasilania, przystosowane do wymagań współczesnych układów półprzewodnikowych. Wymagania te są dosyć ostre. Żąda się w większości wypadków dwu poziomów napięć stałych, kilkunastu lub kilkadziesiątu woltowych, nierzadko stabilizowanych itp.

W obecnych warunkach, zadanie zasilania pomocniczego, spełniają układy trzech różnych typów:

- układy zasilania bateryjnego, z miniaturowych, indywidualnych baterii, posiadających przeważnie urządzenie ładowania buforowego z obwodów przekładników pomiarowych,
- układy zasilania autonomicznego, pobierające energię z przekładników napięciowych i prądowych,
- układy zasilania z przekształtników tyrystorowych, zamieniających napięcie stacyjnej baterii akumulatorowej na dowolną liczbę napięć stałych.

Powyższe zestawienie pozwala zorientować się w zakresie zadań, stawianych podzespołom automatyki zakłóceniowej oraz wykazuje jak wielką elastycznością cechuje się wzmacniacz operacyjny, znajdujący zastosowanie w szeregu różnorodnych układów.

4. Rzeczywisty wzmacniacz operacyjny

W rozdziale 3 wykazywano, że ogromna większość funkcji przekształcająco-pomiarowych, spotykanych w układach automatyki zakłóceniowej, może być realizowana przy użyciu zestawu wzmacniacz operacyjny-przerzutnik. Rozważania oparto jednak o teorię "idealnego" wzmacniacza

operacyjnego. Wzmacniacze, stosowane we współczesnych maszynach analogowych, posiadające wzmocnienia rzędu $10^6 \div 10^9$, różnią się minimalnie od wzmacniaczy, "idealnych". Złożoność ich budowy wyklucza jednak stosowanie takich rozwiązań w układach automatyki zakłóceńowej. W tych układach należy stosować wzmacniacze maksymalnie uproszczone, a zatem znacznie różniące się od "idealnych".

Te zasadnicze różnice sprowadzają się do dwóch głównych czynników:

a. Skończonej wartości wzmocnienia β oraz różnej od zera wartości napięcia wejściowego U_w .

b. Dryftu zera.

Jeśli przyjąć, że: $i_w \neq 0$, $U_w \neq 0$, $\beta \neq \infty$, to równanie operatorowe układu z rys. 1 przedstawić można następująco:

$$\frac{U_1 - U_w}{Z_1} + \frac{U_2 - U_w}{Z_2} + \frac{U_3 - U_w}{Z_3} = \frac{U_o + U_w}{Z_f} + I_w \quad (9)$$

Kolejno można wypisać następujące zależności:

$$I_w = \frac{U_w}{R_w} \quad (10)$$

$$\frac{U_o}{R_o} + \frac{U_o + U_w}{Z_f} = \beta I_w \quad (11)$$

Podstawiając równania (10) i (11) do (9) otrzymuje się:

$$\begin{aligned} U_o \left[1 + \frac{Z_f + R_o}{R_o (\beta Z_f - R_w)} \left(Z_f + R_w + \frac{Z_f R_w}{Z_1} + \frac{Z_f R_w}{Z_w} + \frac{Z_f R_w}{Z_3} \right) \right] = \\ = U_1 \frac{Z_f}{Z_1} + U_2 \frac{Z_f}{Z_2} + U_3 \frac{Z_f}{Z_3} \end{aligned} \quad (12)$$

Równanie (12) sprowadza się do równania (1) tylko przy założeniu, że $\beta = \infty$. Największa różnica między przebiegami we wzmacniaczu "idealnym" i rzeczywistym uwidacznia się, gdy wzmacniacz pracuje jako integrator, tj. z pojemnościowym sprzężeniem zwrotnym tak jak pokazano na rys. 4. Jeśli napięcie wejściowe U_1 zmienia się skokowo, przebieg napięcia U_0 we wzmacniaczu idealnym opisuje równanie (3). We wzmacniaczu rzeczywistym napięcie U_0 określone jest bardziej złożonym równaniem:

$$U_0 = U_1 \frac{\beta R_0}{R_1 + R_w} \left[1 - \left(1 + \frac{T_2}{T_1} \right) e^{-\frac{t}{T_1}} \right] \quad (13)$$

gdzie:

$$T_1 \cong \beta R_0 \frac{R_1}{R_1 + R_w} C_f \quad (14)$$

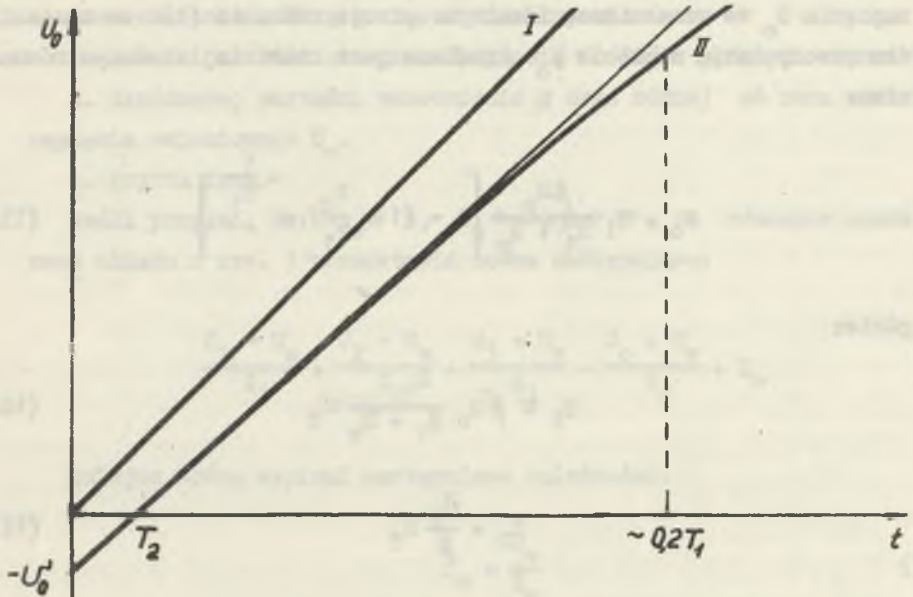
$$T_2 = \frac{R_w}{\beta} C_f \quad (15)$$

Na rys. 10 pokazano przebieg napięcia wyjściowego U_0 przy skokowej zmianie napięcia wejściowego. Krzywa I obrazuje przebieg we wzmacniaczu "idealnym", krzywa II - we wzmacniaczu "rzeczywistym". W tym drugim przypadku napięcie U_0 zaczyna narastać nie od zera, lecz od niewielkiej ujemnej wartości $-U_0'$, a prędkość narastania napięcia maleje z czasem. W zakresie czasów, dla których można przebieg U_0 aproksymować linią prostą ($0 < t < 0,2 T_1$), przebieg napięcia we wzmacniaczu rzeczywistym można uważać za identyczny jak we wzmacniaczu idealnym z tym, że występuje opóźnienie czasowe równe T_2 .

Drift zera polega na pojawieniu się pewnego napięcia U_0^0 przy zerowej wartości napięcia wejściowego. Jego źródłem są prądy zerowe poszczególnych stopni wzmacniacza, a w szczególności prąd zerowy pier-

wszego stopnia. Można zatem przyjąć, że jego źródłem jest umyślony prąd wejściowy i_w^0 , wywołujący napięcie dryftu U_0^0 .

$$U_0^0 = \beta R_0 i_w^0 \quad (16)$$



Rys. 10. Charakterystyka czas - napięcie integratora idealnego (I) oraz rzeczywistego (II)

Ograniczenie wpływu dryftu można uzyskać dwójako:

- bądź zmniejszając iloczyn βR_0 , co jednak m.in. zmniejsza zakres czasowy liniowej pracy integratora (patrz równanie 14 i rys. 8),
- bądź stosując kompensację prądu zerowego.

Ten drugi sposób polega na wprowadzeniu źródła kompensującego prądu zerowy tak, że dopiero gdy prąd wejściowy i_w przekroczy poziom kompensacji i_w rozpoczyna się proces całkowania sygnału. Tak więc, jeśli przyjąć, że wzmocnienie β jest nieskończenie wielkie, przebieg napięcia wyjściowego integratora określa równanie:

$$U_0 = \frac{U_1 - R_1 i_w^0}{R_1 C} t \quad (17)$$

Przedstawione w niniejszym rozdziale zależności umożliwiają dobór parametrów wzmacniacza tak, aby jego praca w układach automatyki zakłóceniowej zapewniała wystarczającą dokładność przetwarzania i pomiaru sygnałów. Okazuje się, że budowa prostych wzmacniaczy, w których zarówno wzmocnienie β , jak rezystancja R_w i dryft zera i_w^0 są utrzymywane w granicach, zapewniających poprawną pracę, nie przedstawia sobą zbyt trudności technicznych.

5. Zakończenie

Z rozważań niniejszego artykułu wynika, że zaproponowany szereg typowych podzespołów winien składać się z następujących jednostek:

a. Transformatoriki pośredniczące prądowo-napięciowe oraz napięciowo-napięciowe.

b. Mostki diodowe prostujące.

c. Podzespoły zamieniające sinusoidalny sygnał wejściowy na ciąg impulsów prostokątnych.

d. Wzmacniacz operacyjny z możliwością dobierania różnych impedancji sprzężenia zwrotnego i impedancji wejściowych.

e. Przerzutniki - wykonane w dwu lub trzech wersjach.

f. Podzespoły logiczne, prawdopodobnie typu NOR.

g. Elementy wyjściowe, prawdopodobnie kontaktrony, zwilżane rtęcią lub tyrystory.

h. Elementy sygnalizacyjne, prawdopodobnie przerzutniki sterujące lampki sygnalizacyjne.

i. Podzespoły zasilania pomocniczego, wykonane w dwu lub trzech wersjach.

Taki szereg podzespołów umożliwia konstrukcyjną realizację niemal wszystkich zabezpieczeń. Uzupełnienie go odpowiednimi czujnikami (np. czujnikami temperatury, położenia itp.) pozwala na budowę układów automatyki dwupołożeniowej, wykraczającej poza zastosowania w elektroenergetyce.

Przedstawiona wyżej propozycja jest z pewnością dyskusyjna. Zastosowanie wzmacniaczy operacyjnych jako najistotniejszych podzespołów stypizowanego szeregu jest w technice zabezpieczeń mało rozpowszech-

nione. Z praktycznych doświadczeń przemawiają za tą koncepcją doświadczenia brytyjskie. Firma Reyrolle-Parsons stosuje dość powszechnie wzmacniacz operacyjny jako jeden z zasadniczych podzespołów, składających się na przekaźniki elektroenergetyczne. Za propozycją przemawiają także dotychczasowe wyniki prac laboratoryjnych, przeprowadzonych w Instytucie Energoelektryki Politechniki Wrocławskiej. Wszystko to jednak jest za mało, aby wykluczyć wątpliwości i zastrzeżenia do proponowanego typowego szeregu podzespołów. Każda propozycja konstrukcyjna - szczególnie tak brzemienne w skutki jak dotycząca systemu typowych podzespołów - wzbudza w gronie zainteresowanych mieszane uczucia i niejednokrotnie sprzeciw. To normalne i właściwe, bowiem jak twierdzi jeden ze specjalistów brytyjskich, konstrukcja elementów automatyki to tylko w części nauka - w pozostałej części - sztuka. A sztuka ze swej natury jest zawsze dyskusyjna.

LITERATURA

- [1] Hamilton F.L., Legg M., Patrickson J.B.: "Application of Transistor Techniques to Relays and Protection for Power Systems". Proc. IEE, Vol. 114, nr 2, 1967.
- [2] Michalik M., Wiszniewski A.: "Zastosowanie wzmacniacza operacyjnego w konstrukcji przekaźników zabezpieczających" Prace Inst. Energoelektryki, nr 5.
- [3] Michalik M., Wiszniewski A.: "Wstępne założenia techniczne dla systemu SMAZ". Opracowanie Inst. Energoelektryki Politechniki Wrocławskiej, 1970.

А. ВИШНЕВСКИ, М. МИХАЛИК
Институт Энергоэлектрики
Вроцлавского Политехнического Института

ТИПИЗАЦИЯ ЭЛЕМЕНТОВ АВТОМАТИЧЕСКИХ ЗАЩИТНЫХ УСТРОЙСТВ

С о д е р ж а н и е

Современные статические реле характеризуются разнообразием конструктивных решений. Из этого следует, что стоимость производства реле, особенно тех, на которых имеется небольшой спрос, складывается очень высоко. Решением этой проблемы является типизация конструктивных элементов.

Универсальная система типовых элементов увеличит серийность изделий устройств автоматики, одновременно снижая значительно стоимость производства. Эти элементы должны исполнять ряд требований равно как эксплуатационных, так и технологических, представленных в статье.

Элементом особенно универсальным является операционный усилитель, широко используемый в измерительной технике и автоматике регулирования.

Подробно представлена возможность использования этого усилителя для релейной защиты. На многих примерах доказано, как элемент этот может работать в различных измерительных системах, применяемых в современной системной автоматике. Усилитель может исполнять роль фильтра симметричных составляющих и полосового частотного фильтра (рис. 2 и 3) Совместная работа с триггером дает часовое реле (рис. 4) критическое одноходовое реле (рис. 5 и 6), многоходовые амплитудные компараторы (рис. 8) и фазные (рис. 9) а также много других систем.

Для этих применений усилитель должен иметь простую конструкцию, что препятствует достижению высоких технических параметров.

В статье представлено влияние оконченного значения усиления, входного резистанса, а также дрефта нуля (изменение нуля-пункта) на характер работы усилителя.

В заключении представлен предварительный состав типовых элементов, дающих возможность конструирования отдельных реле, а также комплектных устройств защиты.

ОПИСАНИЕ ИЛЛЮСТРАЦИЙ

- Рис. 1. Блок-схема трехвходного операционного усилителя
- Рис. 2. Операционный усилитель, исполняющий роль фильтра обратной составляющей напряжения
- Рис. 3. Усилитель, исполняющий роль полосового фильтра частоты
- Рис. 4. Усилитель и триггер в качестве блока временного замедления
- Рис. 5. Усилитель и триггер в качестве одновходной критической системы
- Рис. 6. Пример нелинейного входного резистанса
- Рис. 7. Временно-зависимые характеристики элемента с линейным входным резистансом (I), а также с нелинейным входным резистансом (II)
- Рис. 8. Усилитель и триггер в качестве амплитудного компаратора
- Рис. 9. Усилитель и триггер в качестве фазового компаратора
- Рис. 10. Характеристика время-напряжение идеального интегратора (I) и действительного (II)

A. WISZNIEWSKI, M. MICHALIK
Institute of Power Systems
Technical University of Wrocław

UNIFICATION OF RELAY PROTECTION SUBUNITS

S u m m a r y

Distinctive feature of contemporary static relays is their great design variety. It results in considerably high manufacturing cost, particularly of those relays which are not widely used. The solution of this problem is standardization of constructional subunits. The growth of mass production of relay protection devices together with resulting decrease of manufacturing costs would be due to introduction of all - purpose system of typical subunits. The elements of the series should fulfil a number of requirements of both operating and technical matters, being described in the paper.

The especially all - purpose subunit is operational amplifier, widely used for measurement and automatic control purposes. The suggestion of the amplifier employing in protection schemes is discussed in detail. Numerous examples show the subunit operation in various measuring schemes being used in contemporary systems of relay protection.

The amplifier can be employed as sequence - component filter and frequency - band filter (Fig. 2, Fig. 3). When cooperating with trigger, the amplifier can form time - lag relay (Fig. 4), single - input critical relay (Fig. 5, Fig. 6), multiple - input amplitude comparators (Fig. 8), phase comparators (Fig. 9) and a number of different schemes.

Considering the above mentioned applications the amplifiers must be of simple construction, which, on the other hand, makes difficult

obtaining of high technical parameters. There are discussed factors affecting operating performance of the amplifier: the complete amplification value, input resistance and zero drift. Finally it has been preliminarily suggested the set of typical subunits. The subunits enable construction of both individual relays and complete protection schemes.

LIST OF CAPTION

- Fig. 1. Block diagram of a three input operational amplifier
- Fig. 2. Amplifier as a negative sequence voltage filter
- Fig. 3. Amplifier as a band pass filter
- Fig. 4. Amplifier and trigger as a time lag unit
- Fig. 5. Amplifier and trigger as a single input critical unit
- Fig. 6. Example of nonlinear input resistance
- Fig. 7. Time-dependent characteristics of critical units with linear (I) and nonlinear (II) input resistances
- Fig. 8. Amplifier and trigger as an amplitude comparator
- Fig. 9. Amplifier and trigger as a phase comparator
- Fig. 10. Time-voltage output characteristic of "ideal" (I) and "real" (II) integrators.