

## **6. ZESPOŁY PERYFERYJNE**

### **6.1. UWAGI OGÓLNE**

Zasady syntezy tej części urządzeń cyfrowych, która przetwarza informację, były przedstawione wyżej w sposób na tyle dokładny, aby umożliwić projektowanie. Oprócz tej podstawowej części pełny układ automatyki cyfrowej może jednak zawierać jeszcze wiele innych układów, zespołów czy elementów, których zadaniem jest zmieniać postać sygnałów, przystosowując ją do określonych wymagań. Zgodnie z rys. 1-1b i 1-2a są to:

- przetworniki pomiarowe,
- układy wprowadzania danych,
- układy wykonawcze,
- układy indykacji i rejestracji,
- przetworniki analogowo-cyfrowe i cyfrowo-analogowe.

Tylko nieliczne z tych urządzeń muszą być projektowane przez konstruktora urządzeń cyfrowych; większość stanowi typowe wyposażenie automatyki analogowej (np. przetworniki pomiarowe) albo gotowe, dostępne na rynku urządzenia (np. dziurkarki i czytniki taśmy, przetworniki a/c i c/a). Z tego względu opisano niżej tylko te układy peryferyjne, które mają ścisły związek z techniką cyfrową i ich opis zredukowano do niezbędnych informacji, potrzebnych użytkownikowi, a nie projektantowi tej aparatury.

### **6.2. PRZETWORNIKI CYFROWO-ANALOGOWE**

#### **6.2.1. RODZAJE PRACY PRZETWORNIKÓW**

Informacja może być przekazywana w postaci cyfrowej dwoma podstawowymi sposobami:

- sygnałami równoległymi,
- sygnałami szeregowymi.

W pierwszym przypadku jest to zazwyczaj zespół sygnałów dwójkowych o różnych kodach; w drugim przypadku oprócz ciągów dwójkowych mogą występować sygnały unitarne. Nośnikiem wartości 0 i 1 jest zwykle napięcie elektryczne (rzadziej — natężenie prądu, a w układach pneumatycznych — ciśnienie).

W przypadku sygnałów analogowych (ciągłych w czasie i z ciągłą wartością) nośnikami informacji mogą być:

- amplituda (poziom) przebiegu,
- częstotliwość przebiegu sinusoidalnego
- faza przebiegu sinusoidalnego (przesunięcie w czasie względem przebiegu wzorcowego).

W przypadku sygnałów z ciągłą wartością, ale próbkowanych, nośnikami są zazwyczaj:

- amplituda (poziom) przebiegu,
- częstotliwość przebiegu sinusoidalnego lub impulsowego,
- czas (impulsu, przerwy, między impulsami itp.).

W praktyce najczęściej korzysta się z wielkości ciągłych w postaci:

- a) napięcia lub natężenia prądu (ciśnienia),
- b) przesunięcia liniowego lub kąтового,
- c) częstotliwości,
- d) czasu.

Czas i częstotliwość spełniają zwykle rolę wielkości pośredniczących; napięcie i przesunięcie są głównymi wielkościami ciągłymi.

Jak wynika z powyższego już charakter sygnałów wejściowych i wyjściowych przetwornika cyfrowo-analogowego narzuca pewną klasyfikację tych przetworników gdyż można wyróżnić:

— przetworniki równoległe i szeregowo (w zależności od sposobu wprowadzania cyfr wejściowych) oraz

— przetworniki cyfra/napięcie<sup>1)</sup>, cyfra/przesunięcie cyfra/częstotliwość, cyfra/czas itd. (w zależności od postaci sygnału wyjściowego analogowego).

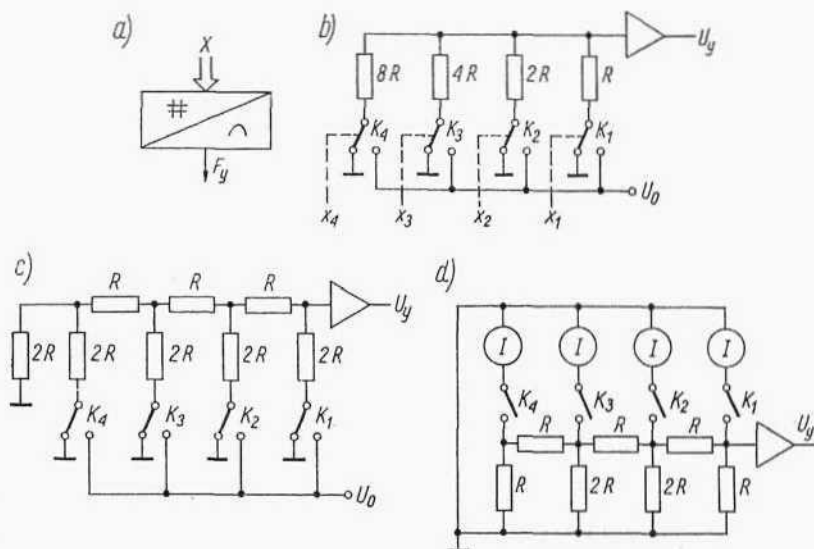
Niżej zostaną krótko opisane najważniejsze z nich.

<sup>1)</sup> Poprawna nazwa to „przetwornik sygnałów cyfrowych na sygnały napięciowe”; słowo „cyfra” jest tu przyjęte umownie jako symbol rodzaju sygnałów.

## 6.2.2. PRZETWORNIKI RÓWNOLEGŁE

Najbardziej popularnymi przetwornikami cyfrowo-analogowymi (przetwornikami c/a) są *przetworniki równoległe cyfra/napięcie*. Trzy podstawowe rozwiązania przedstawiono na rys. 6-1.

Przetwornik z rys. 6-1b zawiera specjalny wzmacniacz z wejściem prądowym, utrzymujący potencjał wejścia w pobliżu zera, niezależnie od natężenia prądu wejściowego. W takiej sytuacji natężenie prądu wejściowego jest określone w prosty sposób przez położenia kluczy  $K$ , do-



Rys. 6-1. Przetworniki cyfrowo-analogowe: a) symbol ogólny; b, c, d) uproszczone schematy przetworników cyfra/napięcie

przysyłających napięcie odniesienia  $U_0$  przez odpowiedni opornik do wejścia wzmacniacza. Jeśli natężenie prądu w obwodzie  $K_4$  oznaczyć przez  $I$ , to przełączenie  $K_3$  powoduje zwiększenie natężenia o  $2I$ , przełączenie  $K_2$  — o  $4I$  itd. Napięcie na wyjściu  $U_y$  jest proporcjonalne do liczby dwójkowej ( $x_1x_2x_3x_4$ ), której sygnały  $x$  sterują odpowiednimi kluczami.

Rysunek 6-1 ma charakter poglądowy; w rzeczywistych układach klucze  $K$  są zwykle zastąpione szybszymi układami tranzystorowymi albo

przełącznikami z elementów MOS. Zmiana liczby stopni i wartości rezystancji w poszczególnych stopniach umożliwia łatwe dostosowanie przetwornika do różnych kodów wejściowych. Na przykład układ dwudekadowy z dwójkowo-dziesiętnym kodem 8421 będzie miał rezystancje o kolejnych wartościach: 80, 40, 20, 10, 8, 4, 2, 1 ( $\times R$ ). Przy dużej liczbie stopni (bitów) różnice między rezystancjami najmniejszą i największą stają się bardzo duże, co utrudnia zachowanie odpowiednich tolerancji. Jest to istotna wada tego rozwiązania, gdyż odchylenie wartości rezystancji wpływa tu bezpośrednio na wielkość błędu przetwarzania.

Opisany układ należy do grupy przetworników wagowych, w których każdy bit liczby wejściowej dołącza rezystor, źródło napięcia lub prądu o wartości proporcjonalnej do wagi tego bitu. W innym rozwiązaniu zamiast sumowania prądów dodaje się napięcia; można to zrealizować np. za pomocą transformatora, którego uzwojenia pierwotne mają liczby zwójów proporcjonalne do wag liczby wejściowej i są odpowiednio łączone sygnałami  $x$ .

Przy przetwarzaniu z dużą dokładnością stosuje się *przetworniki drabinkowe*. W układzie z rys. 6-1c drabinka oporowa jest zasilana za pośrednictwem kluczy  $K$ , napięciem odniesienia  $U_0$ . Wzmacniacz ma bardzo dużą rezystancję wejściową, więc drabinka pracuje jako dzielnik napięcia. Gdy jest zamknięty tylko klucz  $K_1$ , napięcie wejściowe wzmacniacza wynosi  $1/2 U_0$ , gdy jest zamknięty tylko klucz  $K_2$  wynosi ono  $1/4 U_0$  itd. Klucz  $K_i$  załącza napięcie  $2^{-i}U_0$ , więc układ może przetwarzać naturalny kod dwójkowy na napięcie wyjściowe. Rezystancje i prądy w obwodach kluczy są w tym rozwiązaniu znacznie mniej zróżnicowane, co ułatwia realizację.

W układzie z rys. 6-1d zastosowano źródła prądowe, oddzielne dla każdego stopnia, o identycznym natężeniu  $I$ . Wzmacniacz ma bardzo dużą rezystancję wejściową, więc gdy jest zamknięty tylko klucz  $K_1$ , napięcie wejściowe wzmacniacza wynosi  $2/3 IR$ . Zamknięcie tylko klucza  $K_2$  wywołuje napięcie 2 razy mniejsze, tylko  $K_3$  — 4 razy mniejsze itd. Jednakowe prądy w obwodzie kluczy ułatwiają ich realizację; źródło prądowe wraz z kluczem jest zwykle układem dwutranzystorowym z diodą Zenera stabilizującą, a więc koszt rozwiązań obydwu układów drabinkowych jest zbliżony.

Na dokładność przetwarzania wpływają odchylenia od wartości znamionowej (stałe lub zmienne w czasie, wywołane warunkami zewnętrznymi) takich wielkości podstawowych jak: napięcie odniesienia albo natężenie prądu źródła, rezystancji dzielnika (względne), wzmacnienie i pełzanie zera wzmacniacza oraz rezystancji kluczy. Na ogół zakłada się, że błąd sumaryczny na wyjściu jest mniejszy niż połowa najmniejszego przyrostu napięcia wyjściowego, odpowiadająca bitowi najmniej znaczącemu (kwant sygnału wyjściowego). Z tego względu dokładność przetworników określa się zwykle maksymalną liczbą bitów słowa wejściowego, dopuszczoną przez producenta. W praktyce najczęściej spotykane są przetworniki c/a i a/c o długości słowa od 8 bitów (np. większość zastosowań przemysłowych) do 12 bitów (niektóre pomiary laboratoryjne).

Czas przetwarzania jest ograniczony parametrami kluczy i wzmacniacza; przy odpowiednich elementach można uzyskać kilkaset tysięcy przetworzeń na sekundę.

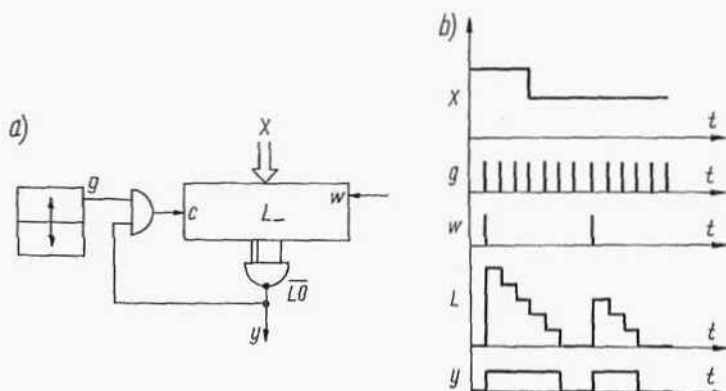
*Przetworniki cyfra/przesunięcie* składają się zwykle z przetwornika cyfra/napięcie (albo cyfra/czas) i układu wykonawczego; przykład takiego przetwornika pośredniego podano w p. 6.5.

*Przetworniki cyfra/częstotliwość* są stosowane bardzo rzadko. Przebiegi impulsowe o zmiennej częstotliwości mogą być uzyskane za pomocą podzielników.

*Przetworniki cyfra/czas* mogą być budowane kilkoma różnymi sposobami. Jeden z układów przedstawiono na rys. 6-2. Taktowanie licznika jest blokowane w chwili, gdy jego stan wynosi 0 ( $LO = 1$ ). Czas od chwili wpisania słowa  $X$  do wyzerowania jest proporcjonalny do wartości  $X$ , pod warunkiem, że licznik pracuje w kodzie naturalnym. Na wykresie czasowym stan  $X$  i  $L$  przedstawiono w postaci sygnałów wielowartościowych, dla lepszej ilustracji zachodzących procesów. Impuls wpisu  $w$  może pochodzić z ogólnego układu sterowania, albo ze specjalnego układu czasowego czy licznika (impulsów  $g$ ).

Jeśli przebieg prostokątny z wyjścia  $y$  wprowadzi się na wejście filtru dolnoprzepustowego, to na wyjściu filtru uzyska się napięcie pro-

porcjonalne do wartości  $X$ , a więc taki układ może być przetwornikiem cyfra/napięcie. Wadą tego prostego rozwiązania jest bezwładność, spowodowana działaniem filtra.



Rys. 6-2. Przetwornik cyfra/czas: a) schemat; b) wykres czasowy

### 6.2.3. PRZETWORNIKI SZEREGOWE

W przypadkach gdy czas przetwarzania nie musi być krótki lub gdy liczba dwójkowa występuje w postaci szeregowej (np. w układach telemechaniki), może być celowe stosowanie przetworników szeregowych, których układ jest zwykle prostszy niż przetworników równoległych.

Zasada działania wszystkich przetworników szeregowych c/a wykorzystuje fakt, że w naturalnym kodzie dwójkowym waga bitu  $i+1$  (licząc od najmniej znaczącego) jest 2 razy większa niż bitu  $i$ , więc napięcie odpowiadające bitowi  $i$  powinno być 2 razy mniejsze niż odpowiadające bitowi  $i+1$ . Zamiast budować wiele źródeł różnych napięć, można w kolejnych krokach dzielić jedno napięcie odniesienia przez 2 (przy wprowadzaniu liczb od bitu najmniej znaczącego) albo mnożyć przez 2 (w przypadku przeciwnym). Dzielenie jest łatwiejsze i dlatego zwykle wykorzystuje się zależność

$$U^{i+1} = 0,5 \cdot (U^i + a_i \cdot U_0) \quad (i = 1, 2, \dots, n; U^1 = 0)$$

Wartość  $a_i$  (0 albo 1) odpowiada wartości  $i$ -tego bitu liczby wejściowej  $(x_n x_{n-1} \dots x_2 x_1)$ . Napięcie  $U^{n+1}$  jest proporcjonalne do tej liczby. Na

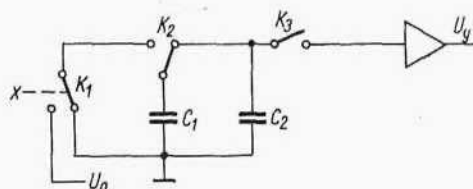
przykład dla  $X = (001)$  otrzymuje się

$$U^1 = 0; \quad U^2 = 0,5 \cdot U_0; \quad U_3 = 0,25 \cdot U_0; \quad U^4 = 0,125 \cdot U_0,$$

natomiast dla  $X = (011)$  będzie:

$$U^1 = 0; \quad U^2 = 0,5 \cdot U_0; \quad U_3 = 0,75 \cdot U_0; \quad U^4 = 0,375 \cdot U_0.$$

Realizacja zależności dla  $U^{i+1}$  wymaga zastosowania pamięci analogowej (układu zapamiętującego wartość napięcia). Można do tego celu wykorzystać wzmacniacze całkujące, albo po prostu kondensatory. Uproszczony układ jednej z wersji przetwornika przedstawiono na rys. 6-3. Położenie klucza  $K_1$  zależy od wartości  $x_i$ ;  $K_2$  jest przełączany impulsami taktującymi, wprowadzającymi sygnały  $x$  do układu, natomiast  $K_3$  jest zamykany po zakończeniu wprowadzania całej liczby. Pojemności



Rys. 6-3. Uproszczony schemat przetwornika szeregowego cyfra/napięcie

kondensatorów  $C_1$  i  $C_2$  są jednakowe, więc gdy lewy kondensator, naładowany do napięcia  $a_i \cdot U_0$ , w przerwie impulsu taktującego zostanie połączony z prawym kondensatorem naładowanym do napięcia  $U_i$ , to po wyrównaniu napięć ustali się wartość

$$U^{i+1} = 0,5 (U^i + a_i \cdot U_0)$$

Po  $n$  taktach wartość  $U^{n+1}$  zostanie przekazana na wejście wzmacniacza, który może być układem pamiętającym, zachowującym wartość  $y$  aż do następnego zamknięcia klucza  $K_3$ .

## 6.3. PRZETWORNIKI ANALOGOWO-CYFROWE

### 6.3.1. PRZETWORNIKI CZAS/CYFRA I CZĘSTOTLIWOŚĆ/CYFRA

Czas i częstotliwość są wielkościami fizycznymi, które najłatwiej można mierzyć cyfrowo, i dlatego odpowiednie przetworniki są często stosowane. Podstawowy układ przetwornika analogowo-cyfrowego przed-