

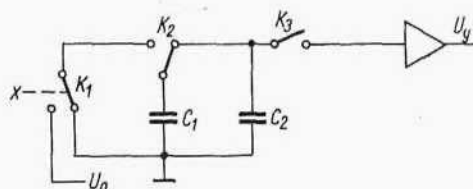
przykład dla $X = (001)$ otrzymuje się

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

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

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

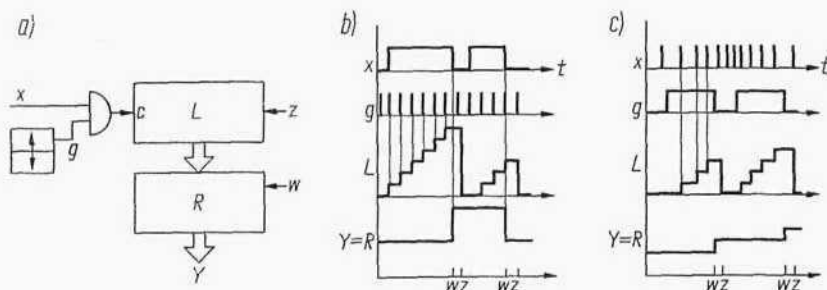
Po n taktach wartość U^{n+1} zostanie przekazana na wejście wzmacniacza, który może być układem pamiętającym, zachowującym wartość y aż do następnego zamknięcia klucza K_3 .

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-

stawiono na rys. 6-4a. Jeśli nośnikiem informacji wejściowej jest *czas* trwania impulsu (rys. 6-4b), to sygnał g pochodzi z generatora stabilnego (np. kwarcowego) i jest bramkowany sygnałem wejściowym x . Stan licznika, w chwili gdy x zmienia wartość z 1 na 0, jest proporcjonalny do



Rys. 6-4. Przetwarzanie czas/cyfra i częstotliwość/cyfra: a) schemat; b) wykres czasowy przetwornika czas/cyfra; c) wykres czasowy przetwornika częstotliwość/cyfra

czasu trwania impulsu x . Stan L jest zapamiętywany w rejestrze R , co sprawia, że wartość cyfrowa Y jest zawsze dostępna. Sygnały wpisywania w i zerowania z (na rysunku zaznaczono momenty ich występowania) mogą być otrzymywane w różny sposób, np. jako kolejne impulsy g , gdy $x = 0$, albo w postaci: $w = dx$, $z = dx$, itp.

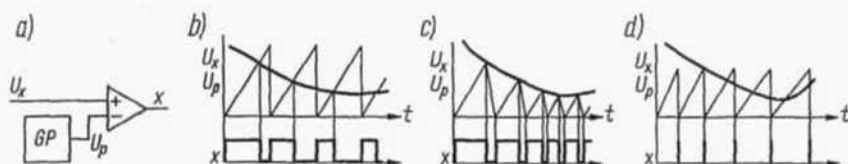
Jeśli nośnikiem informacji wejściowej jest *częstotliwość* impulsów (rys. 6-4c), to sygnał g pochodzi z generatora o odpowiednio niższej częstotliwości i bramkuje impulsy x . Do tworzenia przebiegu g często jest wykorzystywane napięcie przemysłowe (50 Hz), uformowane do postaci fali prostokątnej.

Zamiennosc ról sygnałów x i g w obydwu opisanych metodach sprawia, że mogą one być stosowane wymiennie: zamiast badać częstotliwość, można określać czas między impulsami, a zamiast czasu impulsu można badać częstotliwość zmian wartości. Istotną różnicą między oboma metodami jest to, że wartość cyfrowa czasu jest wartością chwilową, natomiast wartość cyfrowa częstotliwości jest wartością średnią, otrzymaną z wielu okresów przebiegu wejściowego.

Na dokładność opisywanych metod przetwarzania ma wpływ stałość parametrów przebiegu g oraz stosunek częstotliwości przebiegów x i g .

6.3.2. PRZETWORNIKI NAPIĘCIE/CYFRA

Proste zasady przetwarzania, przedstawione na rys. 6-4, można wykorzystać do budowy przetworników napięcie/cyfra. Wystarczy w tym celu zbudować przetwornik napięcie/czas albo napięcie/częstotliwość i połączyć go z układem z rys. 6-4a. Przykładem przetwornika napięcie/czas może być układ z rys. 6-5a. Napięcie wejściowe U_x jest porównywane w komparatorze analogowym z napięciem piłokształtnym U_p , wytwarzanym przez generator napięcia piłokształtnego GP. Gdy $U_x \geq U_p$, to



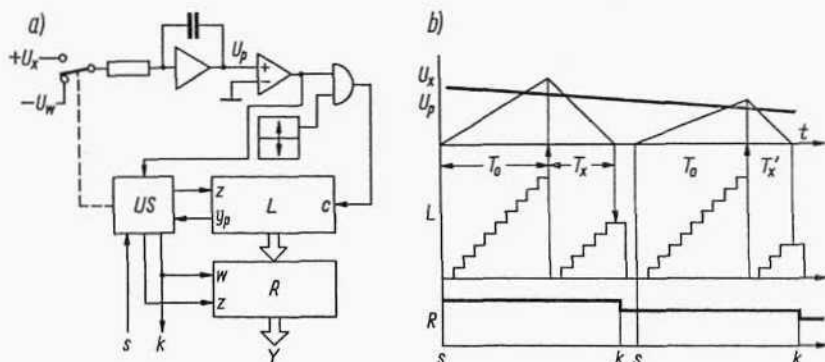
Rys. 6-5. Przetwarzanie napięcie/czas i napięcie/częstotliwość: a) układ z generatorem piłokształtnym; b) jego wykres czasowy; c) wykres innego układu z modulacją czasu; d) wykres układu z modulacją częstotliwości

$x = 1$, gdy $U_x < U_p$, to $x = 0$. Sygnał x jest wprowadzany do układu z rys. 6-4a; liczba wyjściowa Y określa wielkość napięcia U_x w chwili, gdy $U_x = U_p$. Przebieg piłokształtny można uzyskać w różny sposób, również za pomocą wzmacniacza całkującego stałe napięcie wzorcowe, z wyjściem okresowo zerowanym. Wzmacniacz ten można też wykorzystać inaczej, sprowadzając wartość jego sygnału wyjściowego do zera już w chwili zrównania wartości napięć U_x i U_p (rys. 6-5c). Takie rozwiązanie zwiększa częstotliwość uaktualniania stanu rejestru R .

W obydwu opisanych przetwornikach z przebiegiem piłokształtnym czas impulsów x jest proporcjonalny do wielkości U_x , a więc odpowiedni układ z rys. 6-4a powinien być przystosowany do przetwarzania czasu na sygnał cyfrowy. Rysunki 6-5b, c przedstawiają przebiegi U_p powtarzające się w sposób ciągły, można jednak wykorzystywać tylko pojedyncze „zęby” przebiegu, wymuszając zewnętrznym sygnałem (START) jednorazowy proces narastania i opadania sygnału U_p . Po zakończeniu takiego taktu, impuls w , wpisujący odpowiednią liczbę do rejestru R , może jednocześnie informować urządzenia, wykorzystujące stan Y , o zakończeniu przetwarzania (sygnał KONIEC).

Jeśli wzmacniacz całkuje nie stałe napięcie wzorcowe, lecz napięcie wejściowe U_x , a sygnał wyjściowy wzmacniacza jest sprowadzany do poziomu zerowego w momencie uzyskania pewnej stałej wartości (rys. 6-5d), to czas całkowania będzie odwrotnie proporcjonalny do wartości U_x , więc częstotliwość powtarzania tego procesu będzie proporcjonalna do U_x . Przetwarzając częstotliwość na sygnał cyfrowy (np. w układzie z rys. 6-4a) uzyskuje się liczbę, proporcjonalną do średniej wartości napięcia U_x w okresie, gdy $g = 1$.

Dokładność układów z napięciem piłokształtnym zależy przede wszystkim od dokładności kształtu tego napięcia, oraz dokładności przetwarzania wielkości pośredniczącej (czas, częstotliwość) na sygnał cyfrowy. Układy z przetwarzaniem wartości chwilowej są bardzo podatne na działanie zakłóceń; pod tym względem układy z pomiarem wartości średniej są znacznie lepsze, ale czas przetwarzania jest w nich dużo dłuższy.

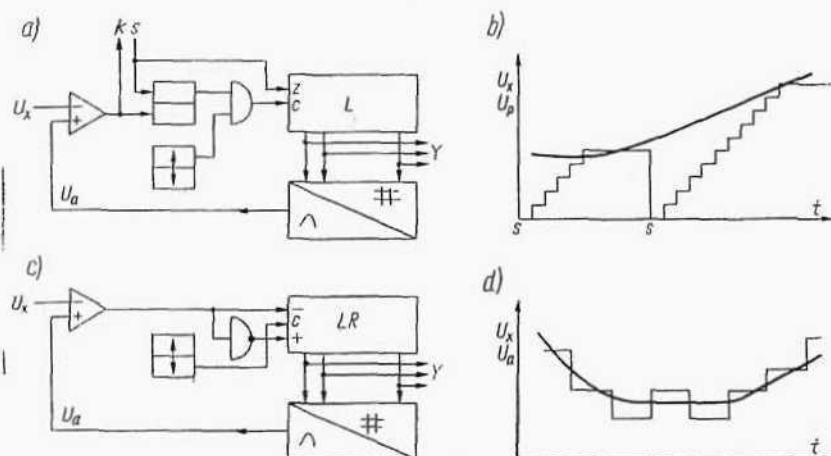


Rys. 6-6. Schemat i wykres czasowy przetwornika z podwójnym całkowaniem

Układem odpornym na działanie zakłóceń i względnie szybkim jest przetwornik z podwójnym całkowaniem, przedstawiony na rys. 6-6. Cykl przetwarzania składa się z dwóch taktów. W pierwszym integrator całkuje wejściowe napięcie U_x przez stały odcinek czasu T_0 . Czas ten jest mierzony za pomocą licznika L ; przepełnienie licznika ($y_p = 1$) określa moment zakończenia pierwszego taktu. Wartość napięcia U_p w tym momencie jest proporcjonalna do średniej wartości napięcia U_x w czasie T_0 .

W drugim takcie do wejścia integratora jest dołączone napięcie wzorcowe U_w , ze znakiem przeciwnym niż U_x , wobec czego wartość sygnału U_p liniowo maleje (ze stałym nachyleniem). Drugi takt kończy się w momencie gdy $U_p = 0$, a czas jego trwania T_x jest proporcjonalny do maksymalnej wartości U_p , czyli do średniej wartości U_x . Czas T_x jest przetwarzany na sygnał cyfrowy w znanym układzie, przy czym wykorzystuje się ten sam licznik L , który wyznaczał czas T_0 . Układ sterowania US pośredniczy w przełączaniu napięć U_x i U_w , przygotowuje urządzenie do pracy (sygnalami z) oraz wyznacza sygnał przepisywania stanu L do rejestru R . Układ sterowania może pracować cyklicznie albo na żądanie z zewnątrz; w drugim przypadku przetwarzanie rozpoczyna się na sygnał START (s) i kończy z chwilą przepisania licznika do rejestru, co może być meldowane sygnałem KONIEC (k). Przy pracy sterowanej z zewnątrz rejestr R może być przeniesiony do układu wykorzystującego wyniki przetwarzania.

Duża odporność na wpływ zakłóceń przetwornika wynika z jego uśredniających właściwości. W układach automatyki przemysłowej szczególnie groźne są zakłócenia od napięć przemysłowych o częstotliwości 50 Hz; jeśli czas T_0 jest wielokrotnością okresu 20 ms, to wartość średnia napięć zakłócających w tym czasie jest niewielka (nawet przy dużych zakłóceniach chwilowych) i wynik przetwarzania może być dokładny.



Rys. 6-7. Przetworniki ze zliczaniem: a,b) powtarzający; c,d) śledzący

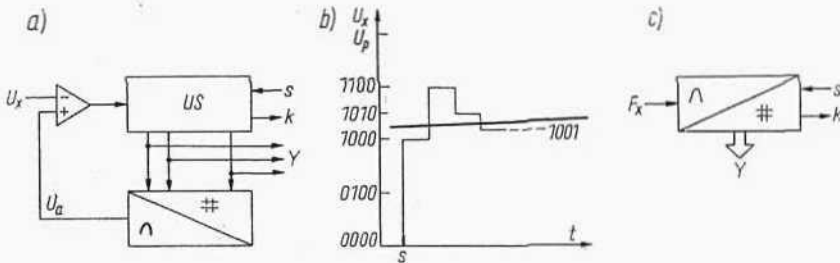
Opisane wyżej przetworniki napięcie/cyfra należą do grupy *przetworników z parametrem pośredniczącym*; w przedstawionych rozwiązaniach parametrem tym był czas albo częstotliwość. Inną ważną grupę stanowią *przetworniki ze zliczaniem*. Na rys. 6-7a przedstawiono typowy przykład takiego przetwornika. Impuls START ($s = 1$) sprowadza licznik L do stanu zerowego i otwiera drogę impulsom z generatora taktującego. Stan licznika jest przetwarzany na napięcie U_a (w jednym z opisanych wyżej przetworników cyfrowo-analogowych), które w komparatorze jest porównywane z napięciem wejściowym U_x . W chwili zrównania wartości napięć U_a i U_x powstaje sygnał $k = 1$ (KONIEC przetwarzania) blokujący impulsom taktującym drogę do licznika. Stan licznika jest teraz odpowiednikiem wartości U_x ; sygnały Y powinny być odbierane (przepisywane) w czasie, gdy $k = 1$, lub później do momentu podania sygnału START. Po każdym sygnale startowym powtarza się proces narastania stanu licznika od zera do wartości wyznaczonej przez U_x , co sprawia, że czas przetwarzania w tym układzie jest silnie zależny od wartości U_x . Powtarzanie procesu narastania U_a można wyrugować, zastępując licznik dodający licznikiem rewersyjnym.

W układzie z rys. 6-7c stan licznika śledzi zmiany napięcia U_x , gdyż przy $U_x > U_a$ stan licznika powiększa się, zwiększając U_a , a przy $U_x \leq U_a$ stan licznika i wartość U_a zmniejszają się, dążąc do wyrównania wartości napięć U_a i U_x . Gdy komparator ma wyjście dwustanowe — przy stałej wartości U_x stan licznika oscyluje wokół tej wartości (rys. 6-7d). Gdyby komparator miał strefę nieczułości (i trzy stany wyjścia) — po uzyskaniu największego możliwego zbliżenia wartości U_a do U_x komutacja byłaby przerywana, aż do zmiany U_x , przekraczającej strefę nieczułości.

W układzie śledzącym wartość Y zawsze odpowiada aktualnej wartości U_x (jeśli zmiany U_x nie są za szybkie), więc przetwarzanie można uznać za bardzo szybkie. Jeśli jednak przetwornik śledzący jest wykorzystywany do przetwarzania różnych napięć, dołączanych kolejno do wejścia, to czas ustalania się wyniku jest niewiele lepszy niż w układzie powtarzającym z rys. 6-7a.

Szybkie przetworniki buduje się bardzo często w postaci *układu z kolejnym porównywaniem* (rys. 6-8ab). Impuls $s = 1$ sprawia, że układ sterowania US generuje ciąg $Y = (100 \dots 0)$, któremu odpowiada wartość U_a równa połowie dopuszczalnego zakresu zmian U_x . Jeśli z porówna-

nia wynika, że $U_x > U_a$, w następnym taktie US dostarcza sygnał $Y = (110 \dots 0)$; jeśli $U_x \leq U_a$ — powstaje $Y = (010 \dots 0)$. Proces ten powtarza się w następnych taktach: w takcie i wpisuje się $y_i = 1$ oraz zmienia się lub nie stan y_{i-1} , w zależności od wyniku porównania. Jeśli stan Y ma n sygnałów binarnych y , to proces przetwarzania trwa n taktów, zamiast 2^n jak w przetwornikach ze zliczaniem (uwzględniając najgorszy przypadek) czy 2^{n+1} — jak w przetwornikach z podwójnym całkowaniem. Układy z kolejnym porównywaniem wyznaczają odpowiednik cyfrowy wartości chwilowej napięcia wejściowego, są więc bardzo podatne na działanie zakłóceń, nakładających się na sygnał U_x .



Rys. 6-8. Przetwornik z kolejnym porównywaniem: a) schemat blokowy; b) wykres czasowy; c) ogólny symbol przetworników analogowo-cyfrowych

Dalsze skrócenie cyklu przetwarzania jest możliwe przy równoczesnym wykonywaniu pewnych czynności, co wymaga dublowania różnych, opisanych wyżej składników układów.

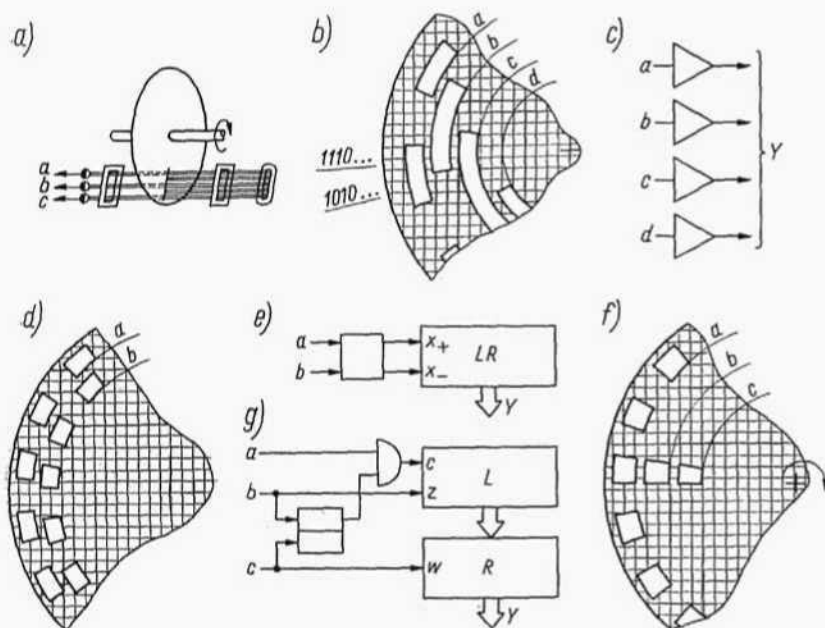
Przetworniki analogowo-cyfrowe mogą być przystosowane do napięć wejściowych o zmiennej biegunowości; układ sterowania przełącza wówczas napięcia odniesienia, a schematy zasadnicze pozostają bez zmiany.

W przetwornikach a/c można również realizować procesy linearyzacji i skalowania, trudne często do rozwiązania w części cyfrowej. Jeśli napięcie U_x jest funkcją nieliniową wielkości mierzonej Q , to dobierając odpowiednio zależność nieliniową stanu cyfrowego wyjść Y od U_x , można uzyskać zależność liniową Y od Q . Nieliniowość przetwarzania najłatwiej można wprowadzić, dobierając odpowiednio charakterystykę

wzmacniacza sygnałów wejściowych. Współczynnik skali zmienia się wprost przez zmianę wzmocnienia tego wzmacniacza.

6.3.3. PRZETWORNIKI PRZESUNIĘCIE/CYFRA

Do pomiaru cyfrowego drogi (położenia) i prędkości, a pośrednio i innych wielkości (np. ciężaru) wykorzystywane są przetworniki przesunięcie/cyfra. Występują one w dwóch postaciach, dla przesunięć liniowych i kątowych, ale zasady przetwarzania są podobne, więc rozpatrzone będą tylko przetworniki kąt/cyfra. W najczęściej stosowanym rozwiąza-



Rys. 6-9. Przetworniki kąt/cyfra: a) ogólna zasada optycznego odczytywania przesunięcia; b, c) wycinek tarczy i układ przetwornika kodowego; d, e) wycinek i układ przetwornika przyrostowego; f, g) wycinek tarczy i układ przetwornika dynamicznego

niu z optycznym odczytywaniem przesunięcia, na wale, którego droga kątowa ma być zamieniona na sygnał cyfrowy, jest umieszczona tarcza z przezroczystego materiału. Metodą fotochemiczną tarcza jest częściowo pokryta nieprzezroczystą emulsją w taki sposób, że tylko wybrane frag-

menty pozostają przezroczyste. Z jednej strony tarczy jest umieszczone źródło światła (rys. 6-9a), z drugiej zespół fotoelementów (fotodiod lub fototranzystorów). System przesłoni i soczewek sprawia, że oświetlany jest tylko wąski pasek tarczy, wzdłuż jej promienia. Jeśli w pasku tym znajdzie się przezroczysty segment tarczy, oświetlony zostanie odpowiedni fotoelement, a na podstawie sygnałów z fotoelementów specjalny układ odtworzy informację o przesunięciu tarczy od położenia początkowego (zerowego.) Najbardziej są rozpowszechnione trzy metody kodowania informacji na tarczy.

W *przetwornikach kodowych* przezroczyste segmenty są rozłożone na tarczy w postaci „ścieżek”, odpowiadających fotoelementom $a, b, c \dots$ (rys. 6-9b). Każde położenie tarczy jest określone pewną kombinacją sygnałów a, b, c, \dots ; przy n ścieżkach liczba wyróżnionych położań tarczy wynosi 2^n .

Dla uniknięcia dużych błędów we wskazaniach, w przypadku gdy odczyt następuje na granicy dwóch stref kątowych, wyróżnianych różnymi kombinacjami kodowymi, do kodowania kolejnych stref stosuje się kombinacje różniące się na jednej tylko pozycji. Najczęściej są używane kody Gray'a i Watta (tabl. 1-4).

Można również stosować tarczę z dowolnym kodem, likwidując nieciągłości odczytu przez komplikację układów optycznych. W przetwornikach kodowych sygnały z fotodiod — po odpowiednim wzmocnieniu — stanowią gotowy stan wyjściowy Y , w postaci równoległych sygnałów w przyjętym na tarczy kodzie.

W *przetwornikach przyrostowych* występują tylko dwie ścieżki, o segmentach nieco przesuniętych (rys. 6-9d). Zmiana położenia (przesunięcie) tarczy o kąt α powoduje wygenerowanie z fotoelementów a, b serii impulsów, o liczbie proporcjonalnej do α . Impulsy te są zliczane w specjalnym liczniku. Jeśli w położeniu tarczy, uznanym za zerowe, licznik jest wyzerowany, a tarcza obraca się w jedną stronę, to położenie tarczy będzie jednoznacznie określone przez stan licznika (wystarczy wówczas tylko jedna ścieżka tarczy i jeden fotoelement). Jeśli tarcza może obracać się w obie strony, musi być zastosowany licznik rewersyjny. Dla odróżniania kierunku ruchu tarczy niezbędne są dwie ścieżki przesunięte wzajemnie i dwa fotoelementy; jeśli sygnał a zaczyna się przed b oznacza to, że tarcza obraca się w jedną stronę, jeśli b zaczyna się przed a — w drugą.

Sygnały wejściowe licznika rewersyjnego wytwarza na podstawie przebiegów a i b specjalny układ (rys. 6-9e).

Uproszczona tarcza z rys. 6-9d (z jedną ścieżką) jest też stosowana do pomiaru prędkości, gdyż częstotliwość impulsów wyjściowych fotoelementu jest proporcjonalna do prędkości kątowej wału z tarczą. Przez pomiar częstotliwości impulsów uzyskuje się cyfrowy odpowiednik średniej wartości prędkości, przez pomiar czasu między impulsami — odpowiednik wartości chwilowej.

Zasada działania *przetworników dynamicznych (cyklicznych)* jest odmienna od poprzednich. Tarcza ma tu 3 ścieżki, ale na dwóch jest tylko jeden przezroczysty segment (rys. 6-9f). Tarcza jest obracana w sposób ciągły przez specjalny silnik, natomiast mierzony (przetwarzany) jest kąt zawarty między fotoelementem b (jego stała pozycja uważana jest za zerową) a ruchomym fotoelementem c . W chwili gdy $b = 1$, zostaje otwarta droga do licznika dla impulsów a ; droga ta jest zamykana, gdy $c = 1$ (rys. 6-9g), więc liczba impulsów wprowadzonych do licznika jest proporcjonalna do kąta między układami odczytu b i c . Przy każdym obrocie tarczy wartość kąta jest odczytywana na nowo, więc szybkość przetwarzania zależy od prędkości silnika. Stałość tej prędkości nie jest wymagana, gdyż liczba zliczonych impulsów a nie zależy od prędkości tarczy. Jeśli prędkość ta jest stała, dokładność przetwarzania można powiększyć, dzieląc (w układzie elektronicznym) czas między kolejnymi impulsami a na mniejsze takty, zliczane następnie przez licznik.

Każda z trzech opisanych metod przetwarzania ma wady. Przetwornik kodowy umożliwia bezpośredni odczyt kodu, ale wymaga stosowania n fotoelementów i związanych z nimi układów. Sygnał wyjściowy fotoelementu ma zwykle kształt zbliżony do sinusoidy ze składową stałą, więc utworzenie z niego przebiegu prostokątnego wymaga stosowania specjalnych układów formujących; przy dużej liczbie ścieżek koszt przetwornika jest więc duży, a niezawodność (ze względu na fotoelementy i oświetlacz) mała.

Przetwornik przyrostowy ma oszczędny układ optyczny, ale rozbudowany układ elektroniczny (licznik rewersyjny i czujnik kierunku). Działanie przyrostowe sprawia, że raz popełniony błąd (np. przy zliczaniu) psuje wyniki wszystkich dalszych pomiarów, aż do momentu wyzerowania licznika, przy zerowym położeniu tarczy. Taki sam efekt daje

przerwa w zasilaniu, więc korekta stanu licznika musi stanowić stały punkt w programie przetwornika.

Przetwornik dynamiczny ma niewielką liczbę ścieżek, prostszy układ elektroniczny (rejestr R może być usunięty) i nie akumuluje błędów, ale jest złożony mechanicznie. Ruchomy układ odczytu zazwyczaj wymaga stosowania drugiej tarczy dla ścieżki c , a silnik zwiększa koszt i wymiary urządzenia. Czas przetwarzania jest tu dłuższy niż w poprzednich rozwiązaniach.

Przetworniki kąt/cyfra mogą być wykorzystane do cyfrowego pomiaru położenia (np. zaworu), ciężaru (gdy tarcza jest zamocowana na osi wagi wychyłowej) itp. Gdy zachodzi potrzeba przetworzenia przesunięć liniowych (np. stołu obrabiarki) można wykorzystać zasady przedstawione wyżej zamieniając przekładnią przesunięcie liniowe na kątowe, (co wprowadza błędy), albo zastępując tarczę odpowiednim liniałem z segmentami kodu.

Jeśli liczba wyróżnianych przez tarczę (liniał) pozycji nie jest duża, odczyt optyczny może być zastąpiony odczytem indukcyjnym. Stosuje się to zwłaszcza przy tarczach impulsujących (z jedną ścieżką), które są wówczas wykonane z metalu i mają kształt koła zębatego. Zęby wchodzą w szczelinę obwodu magnetycznego którego indukcyjność zmienia się przy ruchach tarczy. Zmiany indukcyjności odpowiedni układ elektroniczny (np. generator, którego drgania są przerywane, albo mostek wyprowadzony ze stanu zrównoważenia) zamienia na przebieg impulsowy.

Jeśli jest wymagana duża dokładność przetwarzania, stosowane są siatki dyfrakcyjne, których rysy tworzą segmenty tarczy. Czujnik przesunięcia składa się z dwóch tarcz (liniałów), które mogą być wykonane w różny sposób, ale zawsze jedna z nich jest nieruchoma.

1. Gdy obie tarcze są identyczne i umieszczone obok siebie — przy ruchu jednej z nich strumień światła przechodzącego przez tarcze zmienia się od maksimum — gdy rysy pokrywają się, do minimum — gdy są maksymalnie rozsunięte. Strumień światła padającego na fotoelement nie musi tu być skupiony jak w poprzednich rozwiązaniach, a fakt że przechodzi on przez większą powierzchnię tarczy powoduje uśrednienie ewentualnych niedokładności wykonania i zmniejsza błąd przetwarzania.

2. Gdy jedna z tarcz ma więcej kresek niż druga, złożone tarcze mają strefy mniej i bardziej przezroczyste. Przy ruchu jednej z tarcz strefy te przesuwają się; im większa jest różnica w liczbie kresek, tym prędkość przesuwania się stref jest większa, ale też zmniejsza się różnica amplitud natężenia światła.

3. Gdy liczba kresek na obu tarczach jest jednakowa, ale rysy nanie-sione są nieco skośnie — złożone tarcze też mają ciemne i jasne strefy, ale inaczej rozłożone. Przy ruchu jednej tarczy strefy te przesuwają się. Jeśli kąt między kreskami jest mały to strefy są szerokie ale prędkość przesuwania nieduża, i przeciwnie.

W pierwszej metodzie przesunięcie tarczy o jedną działkę wywołuje jeden impuls wyjściowy, natomiast w metodach następnych impulsów tych może być kilka. Znane są metody nacinania kilkuset, a nawet ponad tysiąca kresek na jednym milimetrze, więc uzyskane dokładności mogą być bardzo duże.

6.4. ZESPOŁY WPROWADZANIA INFORMACJI

6.4.1. WPROWADZANIE SYGNAŁÓW DWUWARTOŚCIOWYCH

Sygnały wejściowe dwuwartościowe pochodzą zwykle od:

- 1) elementów logicznych innych urządzeń,
- 2) czujników bezstykowych,
- 3) zestyków (przycisków, łączników drogowych, przekaźników itp.).

W pierwszym przypadku mogą wystąpić dwa problemy:

- dopasowania sygnałów w przypadku gdy elementy (nadający i odbierający) nie są tego samego typu; zazwyczaj nie sprawia to trudności,
- walki z zakłóceniami, nakładającymi się na sygnał w linii transmisyjnej lub powstałymi na skutek odbić (niedopasowania) w linii. Wpływ zakłóceń można zmniejszyć przez prowadzenie linii w maksymalnej odległości od przewodów energetycznych i urządzeń komutatorowych (styczniki, silniki), ekranowanie, skręcanie, zmniejszanie impedancji wyjściowej nadajnika i wejściowej — odbiornika sygnałów, filtrowanie sygnału odebranego itp. Jeśli nadajnikiem i odbiornikiem sygnałów są szybkie układy scalone, już przy liniach o długości kilku metrów czas opóźnienia elementów jest porównywalny z czasem przejścia sygnału przez linię i dla uniknięcia odbić zniekształcających sygnał trzeba spełnić