

mgr inż. JAN GOSKA

mgr inż. WŁODZIMIERZ ŁAWNICZAK

Przemysłowy Instytut

Automatyki i Pomiarów MERA-PIAP

Warszawa

ELEKTRONICZNE URZĄDZENIA DO POMIARU PRĘDKOŚCI OBROTOWEJ I LINIOWEJ ORAZ DROGI, W POJAZDACH SAMOCHODOWYCH

W artykule przedstawiono zasadę działania i przegląd wybranych konstrukcji współczesnych obrotomierzy i prędkościomierzy elektronicznych, stosowanych w pojazdach samochodowych.

1. Wstęp

Nowoczesne silniki samochodowe mają coraz wyższe parametry a jednocześnie wzrasta wartość ich optymalnych prędkości obrotowych. Praca tak przy zbyt niskiej jak i przy zbyt wysokiej prędkości obrotowej silnika powoduje przeciążenie jego elementów, układu napędowego oraz zwiększone zużycie paliwa. We współczesnych autobusach silnik wraz z blokiem przekładniowym umieszcza się za osią tylną, co powoduje, że praca silnika jest słabo słyszalna przez kierowcę. Aby więc kierowca miał możliwość kontrolowania prędkości obrotowej — coraz częściej samochody wyposaża się w obrotomierze. W autobusach z silnikiem umieszczonym z tyłu istnieje konieczność napędu tradycyjnych prędkościomierzy, linką o długości 10–15 m. Przy tej długości linka ma duże opory ruchu i często ulega uszkodzeniu.

Wymienione wyżej przyczyny a zarazem znaczne obniżenie kosztów wytwarzania elementów elektronicznych, z jednoczesną poprawą ich niezawodności spowodowały, że w pojazdach samochodowych coraz częściej stosuje się obrotomierze i prędkościomierze elektroniczne, w których tradycyjny napęd linką zastąpiono łączem elektrycznym.

2. Przegląd technicznych rozwiązań obrotomierzy elektronicznych

Działanie obecnie wytwarzanych mierników prędkości obrotowej silników w pojazdach samochodowych jest z reguły oparte na integracyjnej metodzie pomiaru częstotliwości.

Przetwornik obrotowo-impulsowy w czasie jednego obrotu wytwarza n_i impulsów. Jeżeli prędkość wirnika przetwornika, sprzężonego z kontrolowanym silnikiem wynosi n obr/min, to częstotliwość impulsów uzyskiwanych z przetwornika wyraża się zależnością:

$$f = \frac{n_i \cdot n}{60} \text{ [Hz]} \quad /1/$$

Sygnały elektryczne z przetwornika są doprowadzone łączem $\mathcal{L}$ do miernika. Związany z nim układ formujący, w odpowiedzi na impulsy z przetwornika, wytwarza znormalizowane impulsy o stałej amplitudzie I_A i czasie trwania t_w , zasilające miliamperomierz. Stosowane są tu najczęściej magnetoelektryczne ustroje pomiarowe, o dużym kącie odchylenia organu ruchomego ($\sim 270^\circ$). Odchylenie wska-

zówki ustroju magnetoelektrycznego jest proporcjonalne do średniej wartości prądu. Średnia wartość prądu płynącego przez miernik jest równa średniej wartości za okres powtarzania impulsów T :

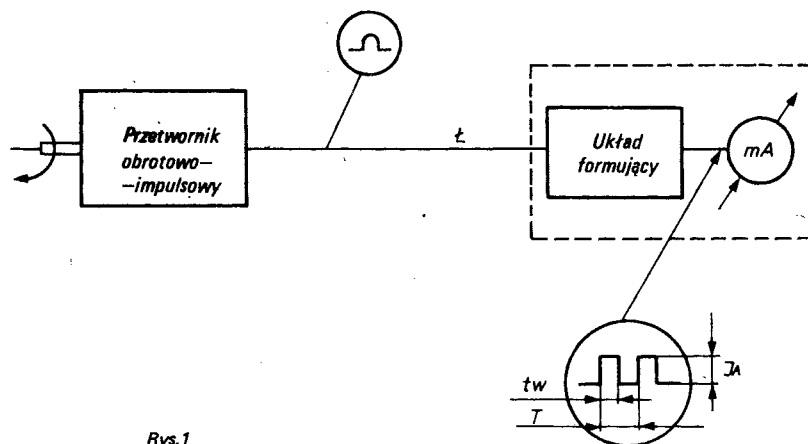
$$i_{sr} = \frac{1}{T} \int_0^T i(t) dt = f \cdot \int_0^{t_w} I_A \cdot dt = f \cdot I_A \cdot t_w \quad /2/$$

$$i(t) = \begin{cases} I_A & \text{dla } 0 < t \leq t_w \\ 0 & \text{dla } t_w < t \leq T \end{cases}$$

Uwzględniając zależność /1/ i /2/ mamy:

$$i_{sr} = f \cdot I_A \cdot t_w = n \cdot \frac{n_i}{60} I_A \cdot t_w \quad /3/$$

Zgodnie z wyrażeniem /3/ średnia wartość prądu jest proporcjonalna do prędkości obrotowej kontrolowanego obiektu. Pozostałe czynniki są dla danego obrotomierza ustalone.



Rys. 1

Przez zmianę wartości amplitudy impulsów I_A lub czasu ich trwania t_w można przeprowadzić kalibrowanie wskaźni obrotomierzy w procesie produkcji.

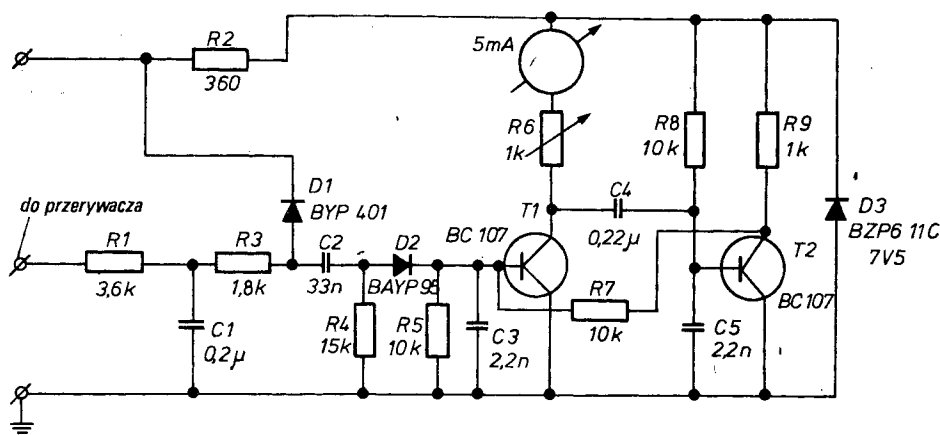
2.1. Pomiar prędkości obrotowej silników z zapłonem iskrowym

W silnikach z zapłonem iskrowym funkcję przetwornika obrotowo-impulsowego spełnia układ zapłonowy, który wytwarza określoną liczbę impulsów zapłonowych na jeden obrót wału silnika. Przebiegi elektryczne tych impulsów są nieregularne i mają duży poziom zakłóceń. Z tego względu jest konieczne ukształtowanie ich w układzie wejściowym obrotomierza. Liczba impulsów n_i wytworzonych w ciągu jednego obrotu wału korbowego zależy od liczby cylindrów i rodzaju silnika. Obrotomierze uniwersalne są zaopatrzone w przełącznik, który umożliwia dostosowanie obrotomierza do danego silnika.

Konstrukcja obrotomierzy do pojazdów samochodowych musi zapewnić poprawną pracę w zakresie

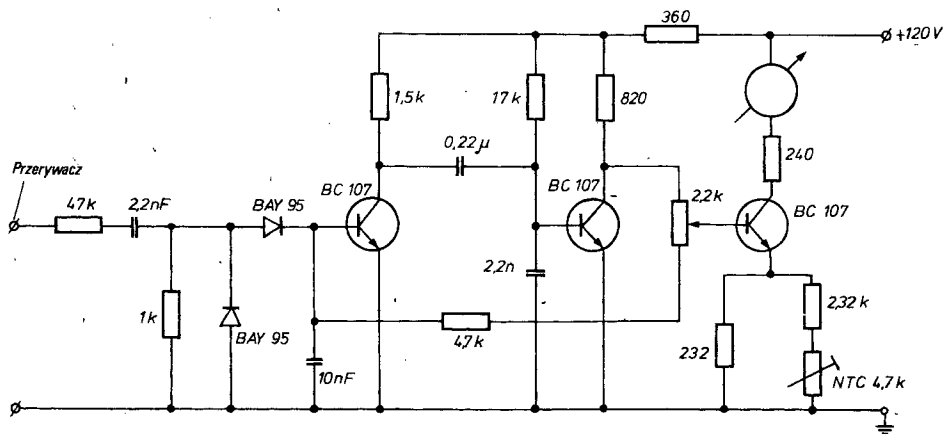
od -20°C do $+40^{\circ}\text{C}$, przy zmianach napięcia zasilania w granicach od 11 V do 16 V (dla instalacji 12 V). Elementy elektroniczne układu muszą być odporne na chwilowe przepięcia występujące w instalacji elektrycznej pojazdu.

Na rysunku 2 przedstawiono układ elektroniczny obrotomierza OEL-1 przystosowanego do instalacji 12 V o biegunie ujemnym, połączonym z masą pojazdu. Układ pokazany na rysunku zapewnia pomiar w zakresie od 0 do 8000 obr/min dla czterosurowowego silnika czterocylindrowego.



Rys.2

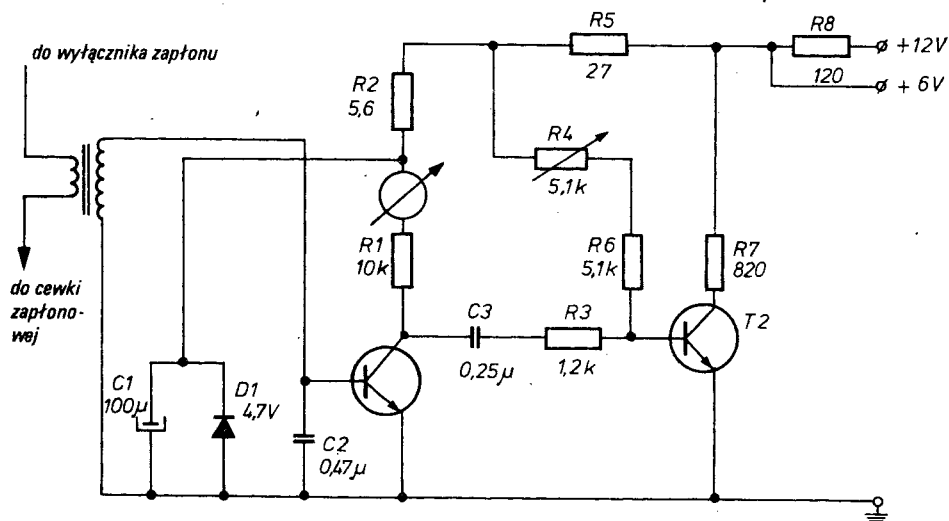
Układ ten pracuje poprawnie przy dużej dynamice sygnału na wejściu (od 10 V do 150 V), nadaje się on więc do współpracy zarówno z konwencjonalnym jak i z tyrystorowym układem zapłonowym. Do współpracy z instalacją mającą „+” na masie pojazdu, należy zmienić kierunek przyłączenia diody D1. Na rysunku 3 przedstawiono schemat obrotomierza MS1 produkowanego przez MERA-LUMEL.



Rys.3

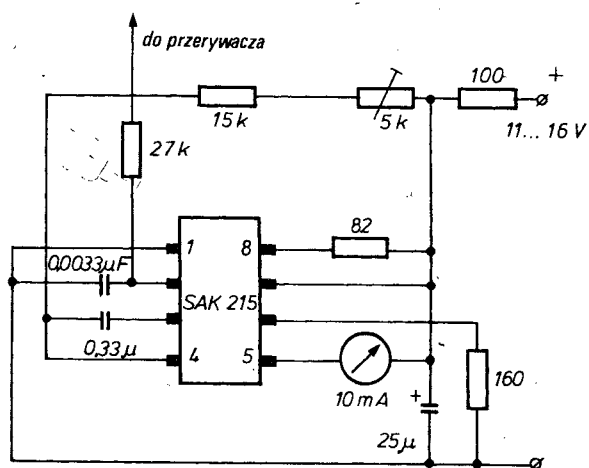
Układ ten doysterowania wymaga sygnałów o amplitudzie minimum 70 V i wskutek tego nie nadaje się do sterowania z przerywacza w przypadku zastosowania zapłonu tyrystorowego. Zaletą tego układu jest to, że przy tradycyjnym układzie zapłonowym może on bez żadnych przełączeń współpracować z instalacją mającą „+” lub „-” na masie pojazdu.

Na rysunku 4 przedstawiono układ elektroniczny obrotomierza produkowanego przez firmę Smiths. Na uwagę zasługuje sposób sprzężenia obrotomierza z instalacją zapłonową. Do tego celu zastosowano transformator, którego uzwojenie pierwotne jest włączone szeregowo w obwód zasilania cewki zapłonowej.



Rys. 4

Na rysunku 5 przedstawiono schemat obrotomierza zbudowanego na bazie specjalnie opracowanego przez firmę ITT układu scalonego SAK 215.



Rys. 5

2.2. Pomiar prędkości obrotowej silników wysokoprężnych

W tradycyjnych konstrukcjach tego typu silników nie występują sygnały elektryczne, których parametry byłyby proporcjonalne do prędkości obrotowej. Dlatego najczęściej konieczne jest tu stosowanie przetworników prędkości obrotowej na sygnał elektryczny o proporcjonalnej do niej amplitudzie lub częstotliwości.

Przetworniki te są mocowane bezpośrednio do korpusu silnika więc muszą być przystosowane do pracy w warunkach silnych drgań i w szerokim zakresie temperatur (od -30°C do $+80^{\circ}\text{C}$).

Ze względu na rodzaj otrzymanego sygnału elektrycznego rozróżniamy przetworniki stałoprądowe, zmiennoprądowe oraz impulsowe. Przetworniki stałoprądowe dostarczają napięcia stałego o wartości zależnej od prędkości obrotowej. Przetworniki zmiennoprądowe dostarczają napięcia zmiennego o amplitudzie i częstotliwości zależnej od prędkości obrotowej. Przetworniki obrotowo-impulsowe wytwarzają ciąg impulsów o częstotliwości proporcjonalnej do prędkości obrotowej.

Do dwóch pierwszych grup należą głównie prądnice tachometryczne stało- i zmiennoprądowe. Wykorzystanie ich do pomiarów w pojazdach samochodowych jest coraz radsze ze względu na to, że trudno je przystosować do pracy w tak ciężkich warunkach. Na przykład, przy prądnicie zamocowanej na bloku silnika potrzebna jest kompensacja temperatury w zakresie od -30°C do $+80^{\circ}\text{C}$. Ponadto prądnica zawierająca wirujące elementy musi pracować w warunkach silnych drgań. Inną wadą tych prądnic jest zanikanie sygnału przy małych prędkościach obrotowych.

Konstrukcja obrotomierza przy zastosowaniu prądnic tachometrycznych jest bardzo prosta, ponieważ w przypadku prądnic prądu stałego jest to zwykły miernik napięcia, a w przypadku prądnic zmiennoprądowych — miernik napięcia z prostownikiem.

Uzyskanie poprawnego działania zarówno prądnicy jak i miernika wymaga jednak starannej kompensacji szerokiego zakresu temperatury, ponieważ oba te czynniki pracują w różnych warunkach (blok silnika i kabina kierowcy).

Rozwiązania takie stosują firmy posiadające tradycje w produkcji prądnic tachometrycznych, chcące uniknąć stosowania układów elektronicznych.

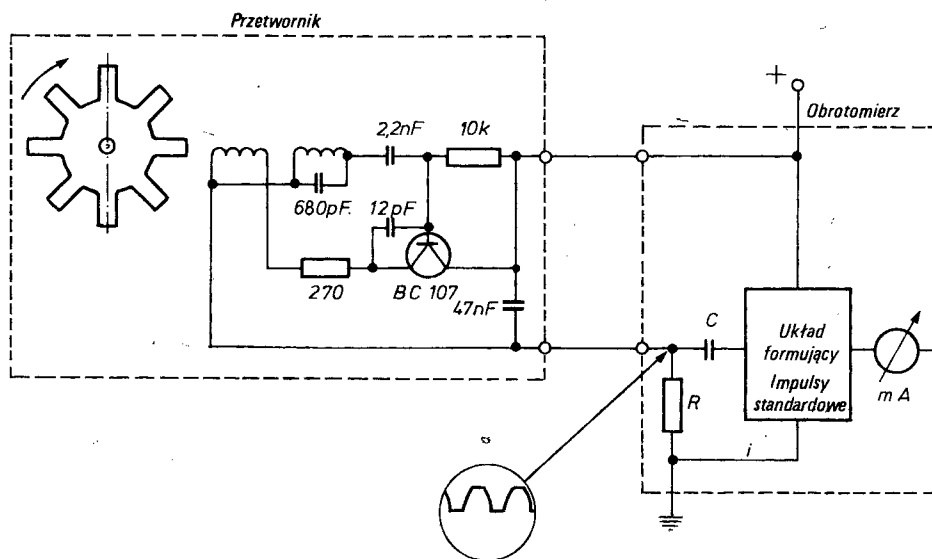
Obecnie coraz powszechniej do pomiaru prędkości obrotowej w pojazdach wykonuje się przetworniki obrotowo-impulsowe, w których nośnikiem informacji jest częstotliwość. Przykładem takiego przetwornika jest układ opracowany w PIAP, przedstawiony na rysunku 6.

Przetwornik ma płytkę zawierającą układ generacyjny. Nad płytką obraca się wirnik, którego ramiona są wykonane z blachy stalowej wyciętej w kształcie wieloramiennej gwiazdy. Ramiona z blachy, przechodząc obok cewki obwodu drgającego tłumią go i zrywają oscylacje, co powoduje znaczny wzrost prądu płynącego w obwodzie. Zmiany prądu są przekazywane do układu miernika obrotów przewodami łączącymi. Zmiany wartości prądu płynącego przez rezystor R powodują zmiany spadku napięcia. Otrzymane w ten sposób impulsy napięciowe wyzwalały układ formujący. Układ ten wytwarza impulsy o stałej amplitudzie i stałym czasie trwania, zasilające miernik magnetoelektryczny.

Interesujące jest zastosowanie do sterowania obrotomierza, przetwornika piezoelektrycznego sprzężonego z przewodami doprowadzającymi paliwo do wtryskiwaczy. Zmiany ciśnienia w przewodzie paliwowym wywołują powstawanie impulsów elektrycznych w przetworniku piezoelektrycznym. Rozwiązanie takie jest przedmiotem patentu USA.

W nowoczesnych konstrukcjach silników stosuje się alternatory mające dodatkowy zacisk wyprowadzony bezpośrednio z uzwojenia (przed diodą prostowniczą). Po odpowiednim ukształtowaniu napięcia, w układzie wejściowym obrotomierza uzyskuje się impulsy o częstotliwości proporcjonalnej do prędkości obrotowej wału silnika. Przy takim rozwiązaniu pomiar jest obciążony błędem przełożenia. Obecnie

są prowadzone próby wprowadzania elektronicznego sterowania wtryskiem paliwa w silnikach wysoko-
prężnych. W tego typu silnikach problem przetwornika obrotowo—impulsowego przestaje istnieć,
ponieważ elektroniczny układ sterowania wtryskiem paliwa może być wykorzystany jako źródło
potrzebnych sygnałów.



Rys.6

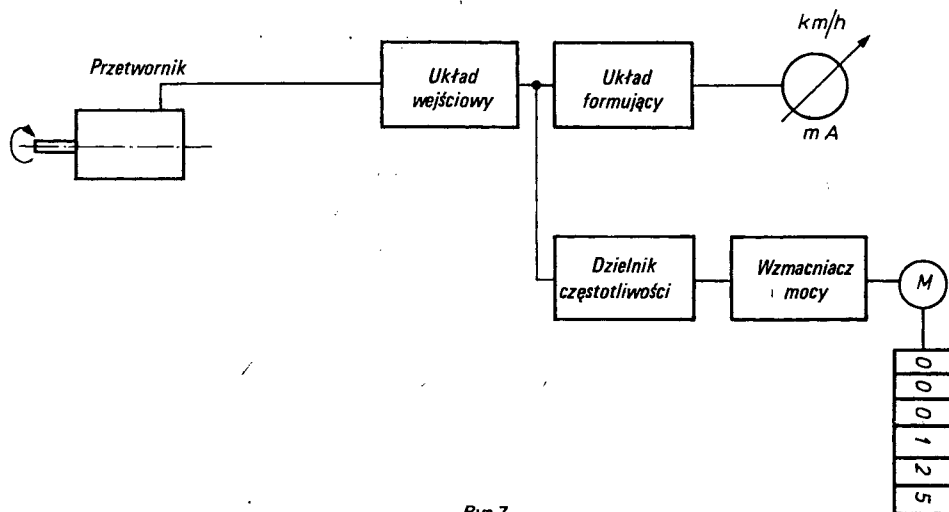
3. Przegląd konstrukcyjnych rozwiązań prędkościomierzy elektronicznych

Na rysunku 7 przedstawiono blokowy schemat typowego elektronicznego prędkościomierza samochodowego.

Przetwornik obrotowo—impulsowy tego prędkościomierza sprzężony z blokiem napędowym pojazdu dostarcza impulsy o częstotliwości proporcjonalnej do prędkości pojazdu samochodowego. Przetwornik ten powinien pracować poprawnie od prędkości zerowej, ponieważ w przeciwnym razie drogomierz przy małych prędkościach nie będzie zliczał przebytej drogi. Blok pomiaru prędkości jest podobny do układu pomiarowego obrotomierzy elektronicznych.

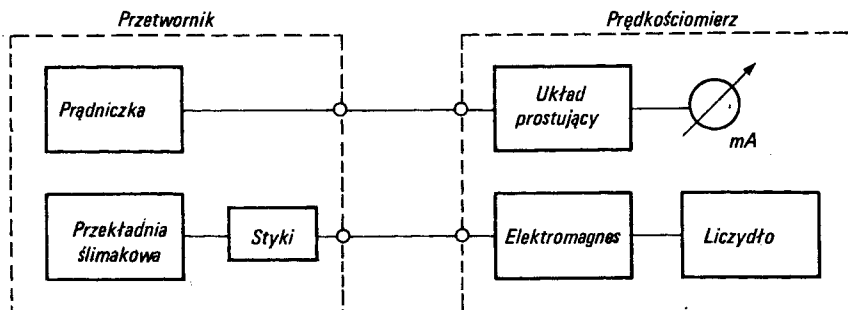
Z układu wejściowego prędkościomierza steruje się równolegle człon pomiaru przebytej drogi, który zawiera dzielnik częstotliwości, wzmacniacz mocy i silnik skokowy napędzający liczydła drogomierzy. Przykładem rozwiązania konstrukcji takiego prędkościomierza jest aparat firmy Smiths, produkowany w kilku wersjach. Wersje różnią się między sobą zakresem pomiarowym (0...60 mil/h 0...90 mil/h). Układ elektroniczny prędkościomierza jest przystosowany do zasilania z akumulatora samochodowego 12 V lub 24 V. Składa się on z generatora impulsów, który jest podłączony do wałka znajdującego się na skrzyni biegów. Wałek ten obraca się z prędkością zależną od prędkości pojazdu. Generator impulsowy wysyła 15 impulsów na obrót, co daje 12000 impulsów na milę. Impulsy te są przekazywane do elektronicznego układu kształtującego. Układ kształtujący tworzy impulsy o stałej amplitudzie i sta-

tym czasie trwania. Z tego układu impulsy są przekazywane w dwóch kierunkach: do wskaźnika prędkości, którym jest miernik magneto-elektryczny oraz do dzielnika częstotliwości. Dzielnik częstotliwości redukuje liczbę impulsów do wartości 109 imp/milę, czyli dzieli liczbę impulsów wychodzących z generatora przez jedenaście. Z dzielnika częstotliwości impulsy są przekazywane do wzmacniacza, który spełnia dwa zadania – wzmacnia a następnie dzieli liczbę dochodzących do niego impulsów przez dwa. W związku z tym na wejściu wzmacniacza otrzymuje się 545 imp/milę. Ze wzmacniacza impulsy są przekazywane do licznika drogi. Do zliczania drogi służy liczydło z zewnętrznym zazębieniem (6 pozycji), które jest napędzane przez przekładnię redukcyjną za pomocą skokowego silnika elektromagnetycznego.



Rys. 7

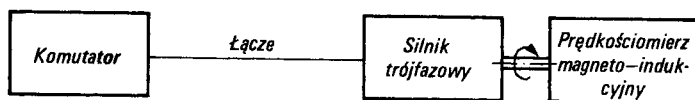
Innym przykładem prędkościomierza elektrycznego jest prędkościomierz firmy VDO, którego schemat blokowy przedstawiono na rysunku 8.



Rys. 8

Prędkościomierz ten składa się z przetwornika prędkości, którym jest prądniczka tachometryczna synchroniczna. Napięcie sinusoidalne wytworzone przez prądniczkę jest przekazywane łączem elektrycznym do układu elektronicznego prostującego. Układ prostujący składa się z czterech diod półprzewodnikowych pracujących w układzie Graetza, i dławika zmniejszającego tętnienie prądu wyprostowanego. Wartość napięcia stałego na wyjściu układu prostującego jest proporcjonalna do prędkości obrotowej prądniczki. Pewną nieliniowość charakterystyki napięcia wyjściowego w funkcji prędkości obrotowej daje się zauważyć przy małych prędkościach. Napięcie stałe z układu prostującego jest przekazywane do wskaźnika prędkości, którym jest miernik magnetoelektryczny. Wskaźnikiem drogi jest liczydło elektromagnetyczne, którego napęd odbywa się przez zwieranie obwodu elektromagnesu, stykami sterowanymi krzywką. Napięcie jest doprowadzone do liczydła z akumulatora samochodowego. Krzywka jest powiązana z przekładnią ślimakową, natomiast przekładnia ślimakowa z wałkiem prądniczki. Przekładnia jest tak dobrana, że włączenie liczydła następuje po przejechaniu przez samochód 1 km.

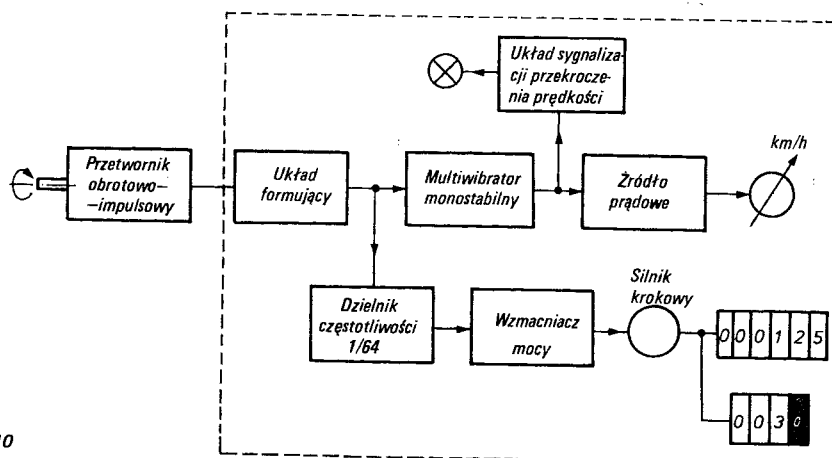
Innym przykładem jest prędkościomierz elektromagnetyczny firmy Smiths. Schemat blokowy tego prędkościomierza przedstawiono na rysunku 9.



Rys.9

Konstrukcja miernika prędkości i licznika drogi oparta jest na klasycznej konstrukcji prędkościomierza magnetoindukcyjnego. Prędkościomierz ten nie ma jednak linki napędowej, którą zastąpiono łączem trójprzewodowym łączącym nadajnik, w postaci komutatora, z trójfazowym silnikiem synchronicznym. Komutator jest zasilany z akumulatora. Podczas ruchu pojazdu impulsy z komutatora wprowadzają w ruch silnik napędzający, sprzężony z nim mechanizm magnetoindukcyjny mierzący prędkość i liczydło mechaniczne do pomiaru drogi.

W Instytucie MERA-PIAP opracowano prototypy prędkościomierzy do autobusów Autosan, Jelcz PR 100 i Jelcz PR 110. Schemat blokowy takiego prędkościomierza przedstawiono na rysunku 10.



Rys.10



Jako przetwornik obrotowo—impulsowy wykorzystano tu układ przedstawiony na rysunku 6 dostarczający 8 impulsów na 1 metr drogi przebytej przez pojazd. Po uformowaniu, impulsy te wyzwalają multiwibrator monostabilny i równolegle dzielnik częstotliwości. Z multiwibratora jest sterowane skompensowane temperaturowo źródło prądowe, zasilające magnetoelektryczny ustrój pomiarowy wycechowany w km/h. Również z multiwibratora jest sterowany układ sygnalizacji przekroczenia dopuszczalnej dla danego pojazdu prędkościomierzy. Układ ten po przekroczeniu określonej częstotliwości impulsów powoduje zaświecenie lampki ostrzegającej kierowcę. Dzielnik częstotliwości dzieli częstotliwość impulsów przez 64. Z dzielnika jest sterowany wzmacniacz mocy zasilający silnik skokowy o 24 skokach na 1 obrót. Silnik ten, przez przekładnię zębatą, napędza liczydło zliczające przebytą drogę. Prędkościomierz był w pierwszej wersji zbudowany z elementów dyskretnych, z wyjątkiem dzielnika częstotliwości. W następnej wersji zastosowano układ scalony LSI typu SAY 115 firmy ITT. Schemat ideowy prędkościomierza w tej wersji przedstawiono na rysunku 11.

Układ SAY 115 zawiera multiwibrator, źródło prądowe i dzielnik częstotliwości. Impulsy z przetwornika obrotowo—impulsowego są formowane przez tranzystor T 1. Impulsy po uformowaniu sterują układem scalonym SAY 115. Rezystor R 7 pracuje w obwodzie stałej czasowej multiwibratora i służy do wzorcowania wskazań prędkościomierza. Rezystory R 8, R 9 i R 10 stanowią obwód kompensacji wskazań miernika magnetoelektrycznego w funkcji temperatury. Z wyjścia dzielnika częstotliwości przez rezystor R 12 jest sterowany dwukierunkowy przełącznik złożony z tranzystorów T 2, T 3, T 4 i T 5 zasilający silnik skokowy MS. Silnik ten napędza liczydło zliczające przebytą drogę.

4. Zakończenie

Wydaje się, że dzięki swoim zaletom, a przy masowej produkcji również dzięki niższej cenie, obrotomierze i prędkościomierze elektroniczne całkowicie zastąpią tradycyjne urządzenia mechaniczne.

Obecnie w nowych konstrukcjach próbuje się wyeliminować części mechaniczne przez zastąpienie magnetoelektrycznych ustrojów pomiarowych wyświetlaczami wskazującymi wynik pomiaru.

Użytkownicy pojazdów samochodowych twierdzą, że wynik pomiaru prędkości przedstawiony w postaci cyfrowej wymaga zbyt wielkiego zaangażowania uwagi. Podejmuje się więc próby wyświetlania wyniku pomiaru w postaci świecącej linii, która zmienia swoją długość proporcjonalnie do zmian prędkości. Rozwiązanie to jednak nie znalazło dotychczas pełnej aprobaty i nie zastosowano go w produkcji masowej.

Przy obecnym stanie techniki zupełnie wyeliminowanie części mechanicznych z mechanizmu drogomierza jest rzeczą trudną, ze względu na konieczność przechowywania informacji nawet w czasie długotrwałego wyłączenia napięcia zasilania.