

dr inż. PIOTR KARKOSZKA

Przemysłowy Instytut Automatyki  
i Pomiarów MERA-PIAP

Warszawa

## METODA GENEROWANIA CHWILI ZAPŁONU W MIKROKOMPUTEROWYCH SYSTEMACH ZAPŁONOWYCH

*W artykule omówiono metodę generowania chwili zapłonu w mikrokomputerowych systemach zapłonowych i przedstawiono schemat logiczny układu działającego według tej metody.*

### 1. Wstęp

Współczesne systemy zapłonowe przeznaczone do samochodowych silników o zapłonie iskrowym (ZI) pracują w dziedzinie kątowej lub czasowej [1, 2, 3]. Systemy pracujące w dziedzinie kątowej wykorzystują wielowymiarowe charakterystyki kąta wyprzedzenia zapłonu  $\alpha$  (w  $^{\circ}$ OWK lub w rd) określonej wzorem:

$$\alpha = f(n, m_p) \quad (1)$$

Systemy pracujące w dziedzinie czasowej wykorzystują wielowymiarowe charakterystyki czasu wyprzedzenia zapłonu  $T_\alpha$  w s określonej wzorem:

$$T_\alpha = f(T_R, m_p) \quad (2)$$

We wzorach tych oznaczono przez:

$n$  — prędkość kątową (obrotową) wału korbowego,

$T_R$  — czas upływający między kolejnymi impulsami wytwarzanymi przez czujnik charakterystycznych położeń wałka korbowego, -

$m_p$  — napełnienie cylindrów powietrzem w kg.

Metoda generowania chwili, w której powinien być wyzwolony impuls zapłonowy (inaczej chwili zapłonu), zależy od dziedziny, w jakiej pracuje system zapłonowy. Zwykle generowanie tej chwili polega na odliczeniu pewnej liczby impulsów odpowiadającej kątowi opóźnienia  $\alpha_F$  (wzór 3) lub czasowi opóźnienia  $T_F$  (wzór 4) po wystąpieniu impulsu inicjującego, wytwarzanego przez czujnik charakterystycznych położeń wału korbowego. Kąt  $\alpha_F$  wykorzystywany w systemach pracujących w dziedzinie kątowej określa się wzorem:

$$\alpha_F = k\pi - \alpha \quad (3)$$

gdzie:

$k$  – stała liczbowa z przedziału  $(0; 2)$ , której wartość zależy od liczby rozmieszczenia znaczników charakterystycznych położenia wału korbowego.

Czas  $T_F$  wykorzystywany w systemach pracujących w dziedzinie czasowej określa się wzorem:

$$T_F = T_R - T_\alpha \quad (4)$$

W praktyce chwila zapłonu jest generowana za pomocą liczników pracujących w trybie rewersyjnym (odliczających wstecz). Impuls inicjujący odliczanie powoduje dodatkowo nastawienie licznika na stan odpowiadający kątowi  $\alpha_F$  lub czasowi  $T_F$ . W przypadku liczników nastawianych na wartość  $\alpha_F$  zliczane są impulsy z przetwornika kąтового położenia wału korbowego, w przypadku liczników nastawianych na czas  $T_F$  zliczane są impulsy o pewnej stałej częstotliwości  $f_s$ . Sygnałem do wygenerowania impulsu zapłonowego bywa najczęściej stan zerowy licznika.

W systemach pracujących w dziedzinie kątowej dokładność generowania chwili zapłonu zależy przede wszystkim od liczby zębów na wieńcu zębatym koła zamachowego. Można ją zwiększyć:

- zwiększając liczbę zębów na wieńcu zębatym,
- powielając częstotliwość impulsów wytwarzanych przez przetwornik kąтового położenia wału (dzieląc okres powtarzania kolejnych impulsów).

W systemach pracujących w dziedzinie czasowej dokładność generowania chwili zapłonu zależy przede wszystkim od częstotliwości  $f_s$ . Analiza obu metod generowania chwili zapłonu przeprowadzona między innymi w [1, 4, 5, 6] prowadzi do wniosku, że zwiększenie dokładności odliczania, a w konsekwencji zwiększenie dokładności regulacji wyprzedzenia zapłonu (kąta  $\alpha$  lub czasu  $T_\alpha$ ), można osiągnąć bez konieczności wprowadzania nowych rozwiązań, dzięki zastosowaniu mieszanej metody generowania chwili zapłonu, łączącej w sobie zalety już stosowanych metod.

Z uwagi na właściwości procesu spalania mieszanki paliwowo-powietrznej dogodniej jest korzystać z charakterystyki (1) niż z charakterystyki (2). Czas spalania mieszanki w silnikach ZI jest praktycznie odwrotnie proporcjonalny do prędkości kątowej [7]. Dlatego zakres zmian czasu wyprzedzenia zapłonu  $T_\alpha$  jest około  $n_{\max}/n_j$  razy większy od zakresu zmian kąta wyprzedzenia zapłonu ( $n_{\max}$  – maksymalna dopuszczalna prędkość kątowa wału korbowego,  $n_j$  – prędkość kątowa w stanie jałowym silnika ZI).

Tym niemniej wykorzystywanie charakterystyki (1) w systemach pracujących w dziedzinie czasowej wiąże się z ryzykiem obarczenia regulacji wyprzedzenia zapłonu dużymi błędami przetwarzania wielkości kątowych na wielkości czasowe.

## 2. Algorytm mieszanej metody generowania chwili zapłonu

### 2.1. Baza pomiarowa

Wykorzystanie mieszanej metody generowania chwili zapłonu jest uwarunkowane utworzeniem bazy pomiarowej złożonej z:

- układu zegarowego mikrokomputera wytwarzającego impulsy o stałej częstotliwości  $f_w$ ,
- znaczników charakterystycznych położenia wału korbowego naniesionych na koło zamachowe, w tym znacznika synchronizującego,
- wieńca zębatego na kole zamachowym.

W celu ewentualnego zmniejszenia wymaganego zakresu zliczania licznika rewersyjnego używanego w metodzie mieszanej do generowania chwili zapłonu można znaczniki charakterystycznych położeń wału korbowego umieścić w położeniu odpowiadającym największej dopuszczalnej wartości kąta wyprzedzenia zapłonu  $\alpha_{\max}$  ( $\alpha_{\max} < 90^\circ$  lub  $\alpha_{\max} < 0,5 \pi$ ).

Znaczniki charakterystycznych położeń wału korbowego nie powinny być rozmieszczone w jednej płaszczyźnie w przypadku ich mocowania na obwodzie koła zamachowego, lub na jednym obwodzie (o tym samym promieniu) w przypadku mocowania na jednej ze ścian koła zamachowego razem ze znacznikiem synchronizującym.

Do wykorzystania bazy pomiarowej niezbędne są następujące elementy pomiarowe:

- przetwornik kąтового położenia wału korbowego wykrywający przejścia zębów wieńca zębatego na kole zamachowym,
- czujnik charakterystycznych położeń wału korbowego wykrywający przejścia znaczników charakterystycznych położeń wału korbowego,
- czujnik wykrywający przejścia znacznika synchronizującego i umożliwiający dzięki temu bezbłądną identyfikację charakterystycznych położeń wału korbowego.

Sygnały wytwarzane przez przetwornik i czujniki powinny być przesyłane do różnych wejść pomiarowych systemu mikrokomputerowego, w celu uniknięcia niebezpieczeństwa przypadkowego nierozróżnienia sygnałów i desynchronizacji pracy systemu z pracą silnika.

## 2.2. Przebieg generowania chwili zapłonu

Cechą charakterystyczną mieszanej metody generowania chwili zapłonu (wzór 3) jest dwuetapowe odliczanie kąta  $\alpha_F$ :

- odliczanie impulsów wytwarzanych przez przetwornik kąтового położenia wału korbowego, charakterystyczne dla systemów pracujących w dziedzinie kątowej,
- odliczanie impulsów o częstotliwości  $f_s$  otrzymywanej z dzielenia częstotliwości  $f_w$  wytwarzanej przez układ zegarowy mikrokomputera, charakterystyczne dla systemów pracujących w dziedzinie czasowej.

Algorytm odliczania kąta  $\alpha_F$  jest następujący:

1. System generujący na podstawie pomiaru prędkości kątowej  $n$  i napełnienia cylindrów powietrzem  $m_p$  oraz charakterystyki (1) optymalną wartość kąta wyprzedzenia zapłonu  $\alpha$ .
2. Oblicza odpowiadającą temu kątowi  $\alpha$  wartość kąta opóźnienia  $\alpha_F$  określonego wzorem:

$$\alpha_F = \alpha_{\max} - \alpha \quad (5)$$

3. Oblicza wartość przybliżoną  $\alpha'_F$  kąta  $\alpha_F$  w jednostkach kątowych określoną wzorem

$$\alpha'_F = \text{liczba całkowita z ilorazu } \alpha_F / \delta\alpha \quad (6)$$

przy czym:

$$\delta\alpha = 360^\circ / z \text{ } ^\circ\text{OWK} \quad (7)$$

lub:

$$\delta\alpha = 2\pi/z \text{ rd} \quad (8)$$

We wzorach (6), (7), (8) oznaczono przez:

$\delta\alpha$  – kąt między sąsiednimi zębami wieńca zębatego na kole zamachowym,

$z$  – liczbę zębów,

OWK – obroty wału korbowego.

4. Oblicza poprawkę  $\Delta\alpha_F$  określoną wzorem:

$$\Delta\alpha_F = \alpha_F - \alpha'_F \quad (9)$$

Wartość  $\Delta\alpha_F$  mieści się w przedziale  $<0; \delta\alpha$ .

5. Oblicza odpowiadającą poprawce  $\Delta\alpha_F$  poprawkę czasową  $\Delta T_F$  określoną wzorem:

$$\Delta T_F = \frac{\Delta\alpha_F}{\delta\alpha} \cdot T'_R \quad (10)$$

Zatem z uwagi

$T'_R$  – czas upływający między dwoma kolejnymi impulsami wytwarzanymi przez przetwornik kąтового położenia wału korbowego, mierzony w jednostkach wzorcowych czasu próbkowania  $T_W$  lub w jednostkach czasu  $T_S$  stanowiących wielokrotność czasu  $T_W$ .

6. Oblicza wartość liczbową poprawki  $\Delta T_F$  w jednostkach czasu próbkowania  $T_W$  lub  $T_S$  według wzoru:

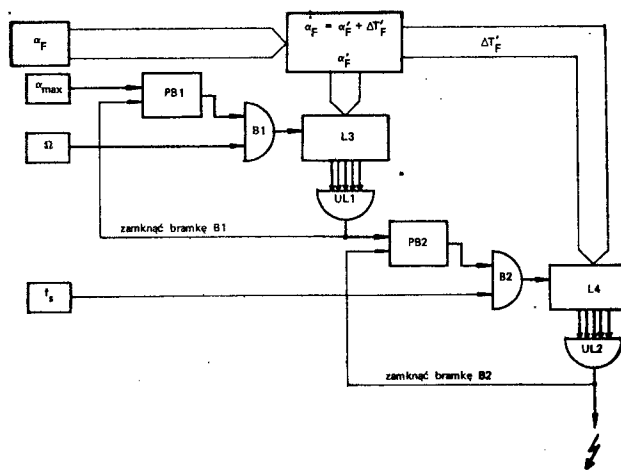
$$\Delta T'_F = \text{liczba całkowita z ilorazu } \Delta T_F/T_W \quad (11)$$

lub

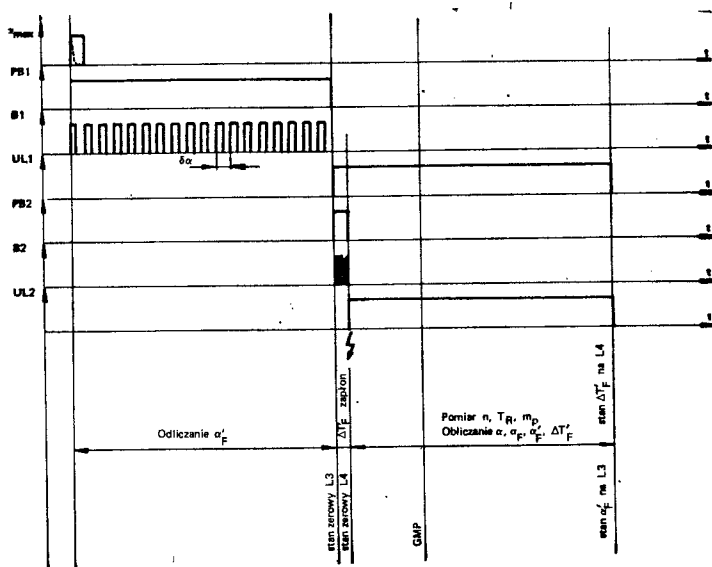
$$\Delta T'_F = \text{liczba całkowita z ilorazu } \Delta T_F/T_S \quad (12)$$

7. Nastawia licznik rewersyjny L3 (rys. 1) na stan odpowiadający liczbie  $\alpha'_F$  określonej wzorem (6) oraz licznik rewersyjny L4 (rys. 1) na stan odpowiadający liczbie  $\Delta T'_F$  (10).
8. W chwili pojawienia się impulsu z czujnika charakterystycznych położzeń wału korbowego rozpoczyna odliczanie impulsów z przetwornika kąтового położenia wału korbowego za pomocą licznika L3.
9. Po odliczeniu wartości  $\alpha'_F$  (po osiągnięciu stanu zerowego przez licznik L3) rozpoczyna odliczanie impulsów o częstotliwości  $f_W$  lub  $f_S$  za pomocą licznika L4.
10. Stan zerowy licznika L4 jest sygnałem do wytworzenia impulsu zapłonowego.

Schemat logiczny przykładowego układu do generowania chwili zapłonu przedstawiono na rys. 1, przebiegi czasowe charakterystyczne dla tego układu przedstawiono na rys. 2.



Rys. 1. Schemat logiczny przykładowego układu do generowania chwili zapłonu w systemie zapłonowym. B1, B2 – bramki, L3, L4 – liczniki, PB1, PB2 – przerzutniki bistabilne, UL1, UL2 – układy realizujące iloczyn logiczny,  $f_s$  – układ zegarowy mikrokomputera systemu zapłonowego,  $\alpha_{max}$  – czujnik charakterystycznych położenia wału korbowego,  $\Omega$  – przetwornik kąтового położenia wału korbowego.



Rys. 2. Przebiegi czasowe charakterystyczne dla układu z rys. 1.  $\alpha_{max}$  – sygnał generowany przez czujnik charakterystycznych położenia wału korbowego, PB1 – sygnał napięciowy na wyjściu przerzutnika PB1, B1 – sygnał napięciowy na wyjściu bramki B1 o częstotliwości równej częstotliwości impulsów wytwarzanych przez przetwornik kąтового położenia wału korbowego, UL1 – sygnał napięciowy na wyjściu układu realizującego iloczyn logiczny UL1, PB2 – sygnał napięciowy na wyjściu przerzutnika PB2, B2 – sygnał napięciowy na wyjściu bramki B2 o częstotliwości  $f_s$ , UL2 – sygnał napięciowy na wyjściu układu UL2.

### 2.3. Możliwości modyfikacji algorytmu metody mieszanej

Metoda mieszana jest stosowana w systemach zapłonowych wykorzystujących charakterystykę określoną wzorem (1). Dokładność generowania chwili zapłonu jest porównywalna z dokładnością osiąganą w systemach pracujących w dziedzinie czasowej. W metodzie mieszanej wymagany zakres zliczania ZL liczników rewersyjnych jest wielokrotnie mniejszy od zakresu zliczania analogicznych liczników używanych w systemach pracujących w dziedzinie czasowej i wynosi:

$$ZL = ZL' \cdot \frac{\Omega_z}{\delta\alpha} \quad (13)$$

gdzie:

ZL' — zakres zliczania liczników rewersyjnych stosowanych w systemach pracujących w dziedzinie czasowej,

$\Omega_z$  — kąt obrotu wału korbowego w zakresie między znacznikiem charakterystycznego położenia wału a GMP (górnym martwym położeniem tłoka); wartość tego kąta mieści się w zakresie ( $\alpha_{\max}; k \cdot 360^\circ$ ), przy czym k zmienia się w granicach  $\alpha_{\max}/360^\circ \dots 1$

Zatem liczba wyjść binarnych LWB tych liczników jest zmniejszona o

$$\Delta LWB = \log_2 ZL' - \log_2 ZL \quad (14)$$

Dokładność generowania chwili zapłonu w metodzie mieszanej określona miarą kątową ( $w^{\circ}OWK$  lub  $w^{\circ}rd$ ) zależy od:

- prędkości kątowej  $n$  (zmniejszenie  $n$  powoduje zwiększenie dokładności),
- częstotliwości  $f_s$  (wzrost  $f_s$  powoduje zwiększenie dokładności).

Zakres zliczania liczników L3 i L4 zależy od:

- liczby zębów wieńca zębatego na kole zamachowym,
- założonej dokładności generowania chwili zapłonu przy największej dopuszczalnej prędkości obrotowej; od dokładności tej zależy wymagana częstotliwość  $f_s$ ,
- najmniejszej prędkości obrotowej, która powinna być mierzona przez system.

W najczęściej spotykanych mikrokomputerowych systemach zapłonowych stosuje się rezonator kwarcowy o częstotliwości  $f_w = 4$  MHz.

Do odliczania czasu  $T_F$  w systemach pracujących w dziedzinie czasowej wykorzystuje się zwykle stały czas próbkowania  $T_s$  określony wzorem:

$$T_s = T_w \cdot 2^i \quad (15)$$

gdzie:

$i$  — numer wyjścia binarnego licznika używanego w charakterze dzielnika częstotliwości ( $i = 0, 1, 2, \dots$ ).

Jeśli założyć:

- maksymalną dopuszczalną prędkość obrotową  $n_{\max} = 6000$  obr/min (prędkość kątową =  $628,3$  1/s),

- najmniejszą dokładność generowania chwili zapłonu przy  $n_{\max}$  równą  $0,288^{\circ}\text{OWK}$  ( $f_s = 125 \text{ kHz}$ ,  $T_s = 8 \mu\text{s}$ ,  $i = 5$ ),
  - najmniejszą wartość prędkości obrotowej (kątovej), która powinna być mierzona przez system  $n_{\min} = 30 \text{ obr/min}$  ( $3,14 \text{ 1/s}$ ),
  - liczbę zębów wieńca zębatego  $z = 125$ ,
- to wymagany zakres zliczania licznika L3 wyniesie:

$$\text{ZL(L3)} \geq \alpha_{\max} / \delta \alpha = 125 \alpha_{\max} / 360$$

natomiast licznika L4:

$$\text{ZL(L4)} \geq (T_s n_{\min} z)^{-1} \cdot 60 = 2000$$

Warto zwrócić uwagę, że przy  $n_{\min} = 30 \text{ obr/min}$  ( $3,14 \text{ 1/s}$ ), na przykład podczas rozruchu silnika, dokładność generowania chwili zwiększy się 200 razy w porównaniu z dokładnością przy  $n_{\max}$ . Tak duża dokładność z uwagi na losowy charakter procesów spalania, zwłaszcza w przypadku zapłonu elektrycznego, nie jest ani potrzebna ani uzasadniona. W związku z tym istnieje możliwość ograniczenia wymaganego zakresu zliczania licznika L4 i sprowadzenie dokładności generowania chwili zapłonu do wartości uzasadnionej wymaganą dokładnością regulacji kąta wyprzedzenia zapłonu. Narzuca się rozwiązanie polegające na założeniu stałej dokładności generowania chwili zapłonu i uzależnieniu częstotliwości  $f_s$  impulsów z układu zegarowego mikrokomputera od prędkości kątovej  $n$  zgodnie ze wzorem:

$$f_s = \text{const} \cdot n \quad (16)$$

Jednak wymaga to zastosowania rozbudowanego cyfrowego dzielnika częstotliwości wzorcowej  $f_w$ . Prostsze rozwiązanie opiera się na założeniu, że dokładność generowania chwili zapłonu może zmieniać się w pewnym ograniczonym zakresie.

Niech  $D$  oznacza liczbowe określenie dokładności generowania chwili zapłonu:

$$D = \delta \alpha / j \quad (\text{w } ^{\circ}\text{OWK lub w rd}) \quad (17)$$

gdzie:

$j$  – liczba zliczonych impulsów o częstotliwości  $f_s$  w czasie między dwoma kolejnymi impulsami z przetwornika kątowego położenia wału korbowego.

Niech  $D$  zmienia się w przedziale  $\langle D1; D2 \rangle$  ( $D1 < D2$ ), przy czym  $D1$  odpowiada największej dokładności, natomiast  $D2$  najmniejszej. Przekroczenie wartości  $D2$  spowodowane zmniejszeniem prędkości kątovej silnika  $n$  wywoływałoby zmniejszenie częstotliwości  $f_s$ , natomiast przekroczenie wartości  $D1$  przy zwiększeniu się  $n$  – zwiększenie częstotliwości  $f_s$ . Z uwagi na to, że liczniki pracują w systemie dwójkowym, iloraz  $l$  wartości maksymalnej i minimalnej  $D$  (odpowiednio  $D2$  i  $D1$ ) powinien wynosić:

$$l = \frac{2m - 1}{m} \quad (18)$$

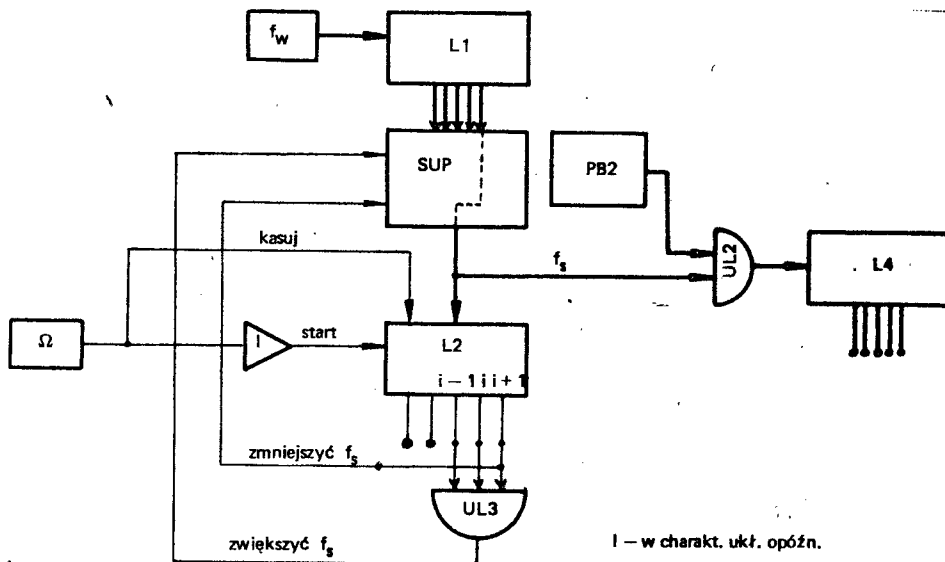
gdzie:

$m$  – liczba naturalna określona wzorem:

$$m = 2^i \quad (19)$$

Przy czym dokładność minimalna generowania chwili zapłonu jest osiągnięta przy  $j = m$ , natomiast maksymalna przy  $j = 2m - 1$ .

W metodzie tej wykorzystuje się trzy liczniki (rys. 3):



Rys. 3. Schemat logiczny sterowanego dzielnika częstotliwości  $f_w$ . I – inwerter pracujący w charakterze układu opóźniającego, L1 – licznik pracujący w charakterze wielowyjściowego dzielnika częstotliwości  $f_w$ , L2 – licznik sterujący przełączaniem wyjść z licznika L1 w sterowanym układzie przełączającym SUP, SUP – sterowany układ przełączający, UL3 – układ realizujący iloczyn logiczny,  $f_w$  – stabilizowany rezonator kwarcowy. Pozostałe oznaczenia jak na rys. 1.

- licznik L1 pracujący jako dzielnik częstotliwości  $f_w$  i dostarczający impulsy o częstotliwości  $f_s$  określonej wzorem:

$$f_s = f_w \cdot 2^{-i} \quad (20)$$

- licznik L2 jako element układu przełączającego wyjścia sygnału częstotliwości w dzielniku częstotliwości  $f_w$ ,
- licznik L4 wykorzystywany do generowania chwili zapłonu.



Licznik L3 odlicza impulsy z przetwornika kąтового położenia wału korbowego i nie bierze udziału w przetwarzaniu częstotliwości  $f_w$  na częstotliwość  $f_s$  oraz w regulacji częstotliwości  $f_s$ .  
Zasada zmiany częstotliwości  $f_s$  jest następująca:

- jeśli prędkość kątowa  $n$  wzrośnie w takim stopniu, że liczba zliczonych impulsów między kolejnymi impulsami z przetwornika kąтового położenia wału korbowego zmaleje poniżej  $m$ , na wyjściach licznika L2 o numerach:

$$i + 1 = \log_2 4m \quad (21)$$

$$i = \log_2 2m \quad (22)$$

$$i - 1 = \log_2 m \quad (23)$$

pojawią się sygnały stanu zerowego tych wyjść, które przetworzone na sygnał sterujący spowodują dwukrotny wzrost częstotliwości  $f_s$ .

- jeśli prędkość  $n$  zmaleje w takim stopniu, że liczba zliczanych impulsów między kolejnymi impulsami z przetwornika kąтового położenia wału korbowego zwiększy się powyżej  $2m - 1$ , na wyjściu licznika L2 o numerze określonym wzorem (21) pojawi się sygnał stanu jedynkowego wyjścia, który po przetworzeniu na sygnał sterujący spowoduje dwukrotne zmniejszenie częstotliwości  $f_s$ .

W rezultacie powyższej modyfikacji wymagany zakres zliczania licznika L4 jeszcze zmaleje.

Jeśli zakresy zliczania liczników L3 i L4 będą porównywalne, można do dwuetapowego odliczania wykorzystać tylko jeden licznik, którego zakres zliczania powinien być większy od większej z dwóch liczb:

$$\alpha_{\max} / \delta \alpha; 2m - 1,$$

lub równy większej z tych liczb.

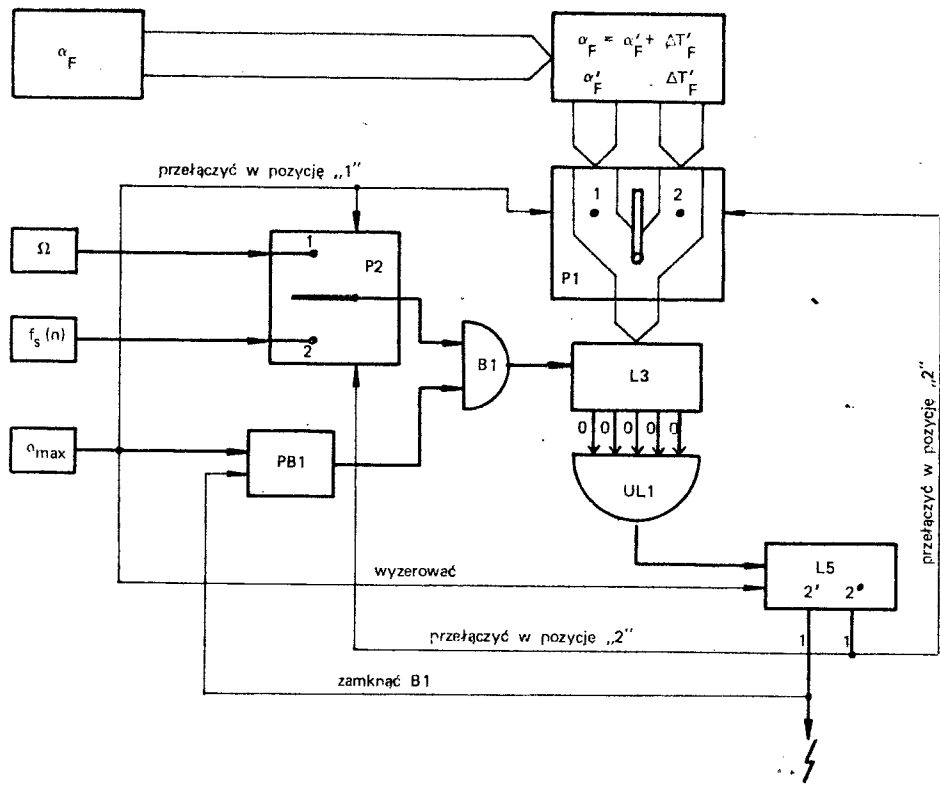
Licznik ten, najpierw nastawiony na stan odpowiadający kątowi  $\alpha_F$ , będzie w pierwszym etapie odliczał impulsy z przetwornika kąтового położenia wału korbowego. Po osiągnięciu stanu zerowego zostanie nastawiony na stan odpowiadający poprawce czasowej  $\Delta T_F'$  i będzie odliczał w drugim etapie impulsy ze sterowanego dzielnika częstotliwości.

Zmodyfikowany schemat logiczny układu generującego chwilę zapłonu przedstawiono na rys. 4.

Dodatkowy licznik L5 o dwóch wyjściach w zmodyfikowanym układzie jest użyty w charakterze elementu sterującego procedurą dwuetapowego odliczania kąta  $\alpha_F$ . Sygnał z wyjścia pierwszego tego licznika powoduje przełączenie łączników w pozycję „2” w celu wprowadzenia liczby  $\Delta T_F'$  do licznika L3 i umożliwienia odliczania impulsów o częstotliwości  $f_s$ , natomiast sygnał z wyjścia drugiego tego licznika powoduje wygenerowanie impulsu zapłonowego i zamknięcie bramki B1. Po wygenerowaniu impulsu zapłonowego stan licznika L5 jest dowolny. Dopiero impuls z czujnika charakterystycznych położzeń wału korbowego zeruje licznik L5, przygotowując go tym samym do kolejnego cyklu odliczania kąta  $\alpha_F$ .

Dobór liczników L1, L2, L3, L4 jest zilustrowany przykładem przytoczonym w aneksie.

W przypadku wprowadzenia wspomnianej modyfikacji czas  $T_R'$  upływający między dwoma kolejnymi impulsami wytwarzanymi przez przetwornik kąтового położenia wału korbowego można zmierzyć w stałych jednostkach czasu próbkowania  $T_w$  lub w zmiennych czasu  $T_s$ . Pomiar czasu  $T_R'$  w jednostkach czasu  $T_w$  jest dokładniejszy niż w jednostkach  $T_s$ .



Rys. 4. Schemat logiczny zmodyfikowanego układu do generowania chwili zapłonu. L5 – licznik pracujący w charakterze elementu sterującego odliczaniem kąta  $\alpha_F$ , P1 – przełącznik szyn danych, P2 – przełącznik wejść pomiarowych,  $f_s(n)$  – sterowany dzielnik częstotliwości  $f_w$ . Pozostałe oznaczenia jak na rys. 1, 3.

Uwaga! Blok P1 ma znaczenie symboliczne. Kolejne nastawianie licznika L3 na wartość  $\alpha'_F$  i  $\Delta T'_F$  w systemie mikrokomputerowym będzie realizowane zazwyczaj w inny sposób.

### 3. Analiza błędów generowania chwili zapłonu

Dokładność generowania chwili zapłonu w metodzie mieszanej zależy od:

- częstotliwości  $f_w$  i jej stabilności,
- częstotliwości  $f_s$ ,
- prędkości kątowej  $n$ ,
- przesunięcia fazowego między impulsami wytwarzanymi przez przetwornik kąтового położenia wału korbowego i czujnika charakterystycznych położenia wału korbowego, a rzeczywistym położeniem kątowym wału korbowego; przesunięcie to zwykle jest nieliniowo zależne od prędkości kątowej  $n$ ,

- szerokości i kształtu generowanych impulsów oraz czasu ich przetwarzania na impulsy cyfrowe,
- równomierności rozmieszczenia zębów na wieńcu zębatym,
- stopnia nierównomierności biegu silnika spowodowanej oddziaływaniem zmiennego ciśnienia w cylindrach na tłoki.

W przybliżeniu dokładność generowania chwili zapłonu w metodzie mieszanej można oszacować za pomocą liczby D2. Wpływ poszczególnych czynników na wartość rzeczywistą błędu metody mieszanej generowania chwili zapłonu można ocenić jedynie na drodze analizy wyników badań przeprowadzonych na stanowisku laboratoryjnym, z uwzględnieniem rzeczywistych warunków pracy silnika ZI. Analiza ta nie była przeprowadzona.

Można sądzić, że:

- wzrost częstotliwości  $f_w$  i jej stabilności, wzrost częstotliwości  $f_s$ , równomierności biegu silnika, zwiększenie równomierności rozmieszczenia zębów na wieńcu zębatym i liczby zębów z powoduje zwiększenie dokładności metody,
- przesunięcie fazowe między impulsami wytwarzanymi przez odpowiednie elementy pomiarowe a rzeczywistym położeniem wału korbowego jest źródłem błędu systematycznego  $\Delta$ , a więc dającego się określić pewną jednoznaczną funkcją  $\Delta = f(n)$ ,
- wpływ kształtu generowanych impulsów na dokładność metody można zmniejszyć, zastępując powszechnie stosowane przetworniki i czujniki wytwarzające impulsy o parametrach zależnych od prędkości kątowej  $n$  elementami pomiarowymi zawierającymi moduły Wieganda lub taśmy amorficzne z uwydatnionym efektem Mateucciego, które wytwarzają impulsy o amplitudzie, szerokości i kształcie niezależnym od tej prędkości  $n$ .

#### 4. Wnioski

Rezultaty badań przedstawione między innymi w [3, 4, 5, 6, 8] potwierdzają pośrednio, że metoda mieszana może przyczynić się do:

- zwiększenia stabilności regulacji kąta wyprzedzenia zapłonu,
- zwiększenia szybkości reakcji systemów zapłonowych na zmiany warunków pracy silnika ZI,
- przyspieszenia przetwarzania danych pomiarowych.

Ponadto metoda ta pozwala uwzględnić podczas regulacji kąta wyprzedzenia zapłonu wpływ przyspieszenia kątowego w stanach nie ustalonych silnika ZI dzięki temu, że czas  $T_R'$  może być mierzony tuż przed rozpoczęciem drugiego etapu odliczania chwili zapłonu. W dotychczas stosowanych systemach zapłonowych problem ten nie jest rozwiązany zadowalająco.

Jak stwierdzono wcześniej, dokładność metody mieszanej generowania chwili zapłonu jest porównywalna z dokładnością charakterystyczną dla systemów pracujących w dziedzinie czasowej. Niemniej należy w tym miejscu stwierdzić, że dokładność ta powinna być zwiększana w miarę zwiększania wpływu systemów zapłonowych na spalanie mieszanki paliwowo-powietrznej za pomocą kąta wyprzedzenia zapłonu i właściwości generowanych impulsów zapłonowych. Skrócenie czasu spalania mieszanki uzyskiwane dzięki zastąpieniu na przykład elektrycznych impulsów zapłonowych impulsami laserowymi przyczynia się dodatkowo do zwiększenia powtarzalności procesów spalania [9]. Jeśli projektowany system zapłonowy nie przyczynia się do wzrostu powtarzalności procesów spalania, zwiększanie dokładności generowania chwili zapłonu nie ma sensu. Między innymi z tego powodu była rozważana możliwość uzależnienia częstotliwości  $f_s$  od prędkości kątowej  $n$ .

## Aneks

### 1. Dane wyjściowe:

1.1.  $\delta\alpha = 360/z$

$$z = 128$$

$$\delta\alpha = 2,81^\circ$$

1.2.  $f_w$

$$f_w = 4 \text{ MHz}$$

1.3. Uwzględniany zakres zmian prędkości kątowej wału korbowego przez system podczas pracy silnika po jego uruchomieniu:

$$n_{\max}$$

$$n_{\max} = 628,3 \text{ s}^{-1} \text{ (6000 obr/min)}$$

$$n_{\min}$$

$$n_{\min} = 62,8 \text{ s}^{-1} \text{ (600 obr/min)}$$

1.4. Maksymalna dopuszczalna wartość kąta wyprzedzenia zapłonu:

$$\alpha_{\max}$$

$$\alpha_{\max} = 59^\circ$$

### 2. Założenia.

2.1. Dokładność generowania chwili zapłonu określana liczbą  $D$  w  $^\circ\text{OWK}$ :

$$D2$$

$$D2 = \delta\alpha/16$$

$$D1$$

$$D1 = \delta\alpha/31$$

### 3. Wybór liczników.

3.1. Wybór licznika L3 i L4.

O wyborze licznika L3 decyduje iloraz  $\alpha_{\max}/\delta\alpha$

$$\alpha_{\max}/\delta\alpha = 21$$

Wymagany zakres zliczania ZL(L3) = 31. Jest to licznik 5-bitowy.

O wyborze licznika L4 decyduje liczba  $2m - 1$ .

$$2m - 1 = 31$$

Licznik L4 jest również licznikiem 5-bitowym.

Wynika stąd, że liczniki L3 i L4 można zastąpić jednym licznikiem 5-bitowym i układem sterującym odliczaniem kąta  $\alpha_F$ .

3.2. Wybór licznika L2.

O wyborze licznika L2 decyduje liczba  $2m - 1$  i sposób wytwarzania sygnałów sterujących dzielnikiem częstotliwości. Zatem z uwagi na p. 3.1. licznik L2 powinien być licznikiem 6-bitowym.

Sygnały przełączające:

	Pozycje wyjść						Uwagi
	1	2	3	4	5	6	
Stany	1	1	1	0	0	0	- zwiększyć $f_s$ dwukrotnie
wyjść	0	0	0	0	0	1	- zmniejszyć $f_s$ dwukrotnie

### 3.3. Wybór licznika L1.

Wybór licznika L1 zależy od minimalnej wartości  $f_s$  odpowiadającej minimalnej wartości prędkości kątowej  $n$ . Zakładając minimalną dokładność generowania chwili zapłonu przy minimalnej prędkości kątowej  $n_{\min}$ , można obliczyć, że częstotliwość minimalna  $f_s$  wyniesie:

$$f_{s\min} = m z n = 20,48 \text{ kHz}$$

Jeśli porównać tę wartość z wartościami  $f_s$ , które można otrzymać przez dzielenie częstotliwości  $f_w$  przez liczby  $2^i$ , okaże się, że wystarczy 8-bitowy licznik L1.

$f_w$	$f_s$	$i$	dzielnik	$n_{\max}$ dla danej $f_s$ przy minimalnej dokładności generowania chwili zapłonu/
MHz	kHz		$s^{-1}$	
4	2000	1	$2^1$	
	1000	2	$2^2$	
	500	3	$2^3$	
	250	4	$2^4$	766,6 (7324 obr/min)
	125	5	$2^5$	383,3 (3662 obr/min)
	62,5	6	$2^6$	191,65 (1831 obr/min)
	31,25	7	$2^7$	95,8 (915 obr/min)
	15,625	8	$2^8$	47,9 (457 obr/min)

#### Literatura

- [1] Karkoszka P.: Obliczanie wyprzedzenia zapłonu w samochodowych systemach zapłonowych. Biuletyn MERA-PIAP 5/1985.
- [2] Third International Conference on Automotive Electronics. London 1981 IEE.
- [3] Fourth International Conference on Automotive Electronics. London 1983 IEE.
- [4] Electronic engine control systems for the smaller passenger car. SAE 800894.
- [5] Car ignition with a single-chip micro. Electronic engineering 5/1984.
- [6] ISATA 1981 – Proceedings 10th Anniversary International Symposium on Automotive Technology and Automation. Stockholm 1981.
- [7] Kowalewicz A.: Tworzenie mieszanki i spalanie w silnikach o zapłonie iskrowym. Warszawa WKiŁ 1983.

- [8] Kovener R.W.: A low cost electronic ignition control system with a 4-bit microcontroller. SAE 820256.
- [9] Advanced ignition systems: an overview. Automotive Engineering 1/1982.