

А.Н. БОРИСЕНКО, д-р техн. наук, проф. НТУ «ХПИ»;
Е.В. СОСИНА, ассистент НТУ «ХПИ»;
А.Н. СЕРГИЕНКО, асп. НТУ «ХПИ»;
С.Б. ЕРЕМЕНКО, канд. техн. наук

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ДИАГНОСТИЧЕСКОГО УСТРОЙСТВА ДЛЯ КОНТРОЛЯ ТОПЛИВНОЙ АППАРАТУРЫ ДВС

В статье предлагается методика оптимизации тактовой частоты цифрового интегрирующего фазометра для контроля параметров топливоподачи в постоянных и переходных режимах работы дизеля путем осуществления определенного соотношения между указанной частотой и угловой скоростью вала агрегата.

У статті пропонується методика оптимізації тактової частоти цифрового інтегруючого фазометра для контролю параметрів паливоподачі в сталих та перехідних режимах роботи дизеля шляхом здійснення визначеного співвідношення між вказаною частотою та кутовою швидкістю вала агрегату.

The method of optimization of clock rate of digital integrating phase meter for the control of parameters of toplivopodachi in the transient behaviors of work of diesel set and by realization of certain correlation between the indicated frequency and angular speed of billow of aggregate is offered in the article.

Постановка проблемы. Техничко-економическіе показателі двигателів внутрішнього згорання (ДВС) і силових установок на їх базі суттєво зависят від угла опереження топливоподачі, котрий повинен змінюватися по определеному закону як в установившихся, так і в переходних режимах роботи. Поэтому возникает необходимость контроля величины этого угла в процессе эксплуатации.

Анализ литературы показує, що тестова частота фазометрів для діагностики топливної апаратури ДВС або постійна [1,2], або дискретно змінюється оператором при зміні режиму роботи ДВС [3]. Однак в будь-якому випадку тактова частота фазометра не зв'язана з поточною кутовою швидкістю вала ДВС, що не дозволяє мінімізувати погрешність вимірювань.

Цель работы - оптимізувати по мінімуму середнькватрическої помилки тактову частоту вимірювача фаз подачі палива ДВС (в частині дизеля) в установившихся і перехідних режимах його роботи.

Основная часть. На рисунку представлено блок-схема пристрою вимірювання угла опереження подачі палива. Пристрій працює наступним чином. Розглянемо випадок вимірювання угла опереження подачі палива двохтактного дизеля, коли переключачель 12 встановлено в перше (верхнє по схемі) положення.

При роботі дизеля форсунок впорскує паливо в циліндр, завдяки чому датчик 1 переміщення игли форсунок виробляє

электрический импульс, который преобразуется с помощью первого формирователя 3 импульсов в прямоугольный импульс нормированной амплитуды (например, равной уровню логической единицы) и длительности, равной продолжительности импульса датчика 1. При этом передний фронт выходного импульса формирователя 3 совпадает с моментом начала импульса датчика 1, а задний фронт импульса этого формирователя совпадает с моментом окончания сигнала датчика 1. Под действием переднего фронта выходного импульса второго формирователя 3 импульсов первый триггер 5 устанавливается в единичное состояние, вследствие чего его выходной сигнал, равный, например, уровню логической единицы, поступает на первый вход первой схемы 7 совпадения.

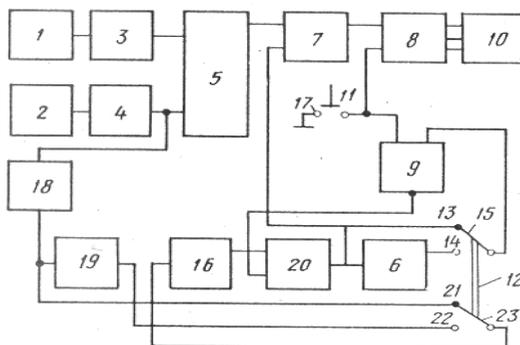


Рисунок – Блок-схема фазометра с оптимальной по точности частотой квантования, предназначенного для диагностирования двух- и четырехтактных дизелей в переходных режимах работы

При достижении поршнем дизеля верхней мертвой точки (ВМТ) датчик 2 вырабатывает электрический импульс, начало которого соответствует моменту ВМТ. С помощью второго формирователя 4 импульсов сигнал датчика 2 преобразуется в прямоугольный импульс нормированных амплитуды и длительности, причем передний фронт этого импульса формируется в момент начала сигнала датчика 2.

При действии переднего фронта выходного импульса второго формирователя 4 первый триггер 5 переходит в нулевое состояние и единичный сигнал на первом входе первой схемы 7 совпадения исчезает. Так как выходной импульс первого триггера 5 начинается в момент начала подачи топлива и оканчивается в момент достижения поршнем верхней мертвой точки, то его длительность представляет собой время опережения впрыска топлива.

При диагностировании двухтактного дизеля подача топлива в цилиндр происходит в каждом обороте коленчатого вала, благодаря чему единичный импульс на выходе первого триггера 5 вырабатывается также в каждом

обороте вала. Импульсы второго формирователя 4, вырабатываемые в каждом обороте вала, поступают на вход фильтра 18 низкой частоты, который формирует постоянное (по знаку) напряжение, пропорциональное частоте следования указанных импульсов. Это напряжение поступает через замкнутые второй подвижный 23 и третий неподвижный 21 контакты дополнительной секции переключателя 12 на вход управляемого генератора 16 прямоугольных импульсов. Последний генерирует импульсы с частотой следования F_3 , пропорциональной напряжению на его входе. Поскольку произведение коэффициента передачи фильтра 18 низкой частоты на коэффициент передачи управляемого генератора 16 импульсов равно $(15N)^{1/3}$ [4-6], то

$$F_3 = F \sqrt[3]{15N}, \quad (1)$$

где F – частота следования выходных импульсов второго формирователя 4 импульсов; N – емкость регистра 9.

Импульсы управляемого генератора 16 поступают на первый вход второй схемы 20 совпадения, которая пропускает импульсы на связанные с ее выходом элементы только в том случае, когда на ее втором входе действует единичный сигнал.

Цикл измерения угла опережения подачи топлива начинается с момента нажатия кнопки 11 сброса, в результате которого первый 8 и второй 9 регистры устанавливаются в нулевое состояние. При этом на табло блока 10 индикации высвечиваются нули, а с инверсного выхода второго регистра 9 поступает единичный сигнал на второй вход второй схемы 20 совпадения. Последняя отпирается, и на второй вход первой схемы 7 совпадения, на счетный вход второго триггера 6 и на вход второго регистра 9 поступают импульсы, вырабатываемые генератором 16 и имеющие частоту $f_3 = F \sqrt[3]{15N}$. На вход первого регистра 8 импульсы поступают только тогда, когда первая схема 7 совпадения открыта, т.е. при наличии на выходе первого триггера 5 единичного импульса. Цикл измерения продолжается до тех пор, пока в регистры идет запись кодов. Как только во второй регистр 9 записывается заранее известное число N , равное емкости этого регистра, на его инверсном выходе вместо единичного сигнала устанавливается нулевой сигнал, в результате чего вторая схема 20 совпадения закрывается и поступление импульсов на входы регистров прекращается. От момента нажатия кнопки 11 до момента записи числа N во второй регистр 9 в первый регистр 8 записывается число N_1 , значение которого в десятичной системе счисления высвечивается на табло блока 10 индикации. За промежуток времени t_3 , в течение которого происходит запись указанных чисел, коленчатый вал дизеля совершает количество оборотов, равное $m = t_3 F$. При этом числа N_1 , и N можно представить выражениями (без учета погрешностей квантования)

$$N_1 = m t_3 f_3; \quad N = m f_3 F^{-1},$$

где N_1 – показания блока 10 индикации; t_u – длительность выходного импульса первого триггера 5, а отношение указанных чисел запишем следующим образом:

$$\frac{N_1}{N} = \frac{mt_u f_3 F}{mf_3} = \frac{t_u \omega}{2\pi} = \frac{\theta}{2\pi},$$

где ω – угловая скорость коленчатого вала дизеля;

θ – угол опережения подачи топлива;

2π – угол поворота на один оборот.

Из последнего выражения получают формулу для вычисления угла опережения подачи топлива (предполагая, что преобразования интервалов времени в коды происходят без погрешности):

$$\theta = \frac{2\pi N_1}{N} \text{ или } \theta = \frac{360 N_1}{N}.$$

Задавая $N = 360 \cdot 10^K$ и выбирая любые величины K , угол опережения подачи получают из показаний блока 10 индикации путем переноса запятой на K знаков влево.

Минимальная величина среднеквадратичной погрешности измерения угла опережения подачи топлива в предложенном устройстве может быть выражена следующей зависимостью [7]:

$$\sigma_{\min} = \frac{360}{\sqrt{6}} \sqrt{\frac{F}{NF^3 \sqrt{15N}} + \frac{F^2 \sqrt[3]{(15N)^2}}{30F^2 N^2}} = \frac{180}{\sqrt{N^3 \sqrt{15N}}}. \quad (2)$$

Из выражения (2) следует, что минимальное значение погрешности измерения угла опережения подачи топлива не зависит от скоростного режима работы дизеля. Для повторения цикла измерения необходимо снова нажать кнопку 11 сброса.

Рассмотрим работу устройства при диагностировании четырехтактных дизелей.

В этом случае переключатель 12 переводится во второе (нижнее по схеме) положение. Поскольку в четырехтактном дизеле подача топлива в цилиндр происходит один раз в два оборота коленчатого вала, то импульсы поступают на единичный вход первого триггера 5 с частотой, вдвое меньшей частоты вращения этого вала и равной $0,5F$. Частота следования импульсов на нулевой вход первого триггера 5 совпадает с частотой вращения вала и остается равной F . В связи с этим на выходе указанного триггера каждые два оборота вала появляется один прямоугольный импульс, длительность которого равна времени опережения впрыска.

Цикл измерения начинается с нажатия кнопки 11 сброса, в результате которого оба регистра 8 и 9 сбрасываются и на цифровом табло блока 10 индикации высвечиваются нули. После сброса второго регистра 9 на его инверсном выходе устанавливается единичный сигнал, отпирающий вторую

схему 20 совпадения. Поскольку переключатель 12 переведен во второе положение, то на вход второго регистра 9 поступают импульсы с выхода второго триггера 6, а на вход управляемого генератора 16 поступает сигнал с выхода делителя 19 напряжения. Так как фильтр 18 низкой частоты, делитель 19 напряжения и управляемый генератор 16 прямоугольных импульсов в этом случае соединены последовательно, то частота f_3 на выходе генератора 16 и частота F на выходе второго формирователя 4 импульсов связаны соотношением:

$$f_3 = F \sqrt{\frac{15N}{4}}. \quad (3)$$

Поскольку на вход второго регистра 9 импульсы поступают с выхода второго триггера 6, то частота импульсов записи в этом регистре вдвое ниже частоты импульсов на входе первого регистра 8. При записи во второй регистр 9 заранее известного числа N , равно емкости этого регистра, на его инверсном выходе устанавливается нулевой сигнал, запирающий вторую схему 20 совпадения. В результате этого поступление импульсов на входы регистров 8 и 9 и вместе с ним процесс измерения прекращаются. За время записи в первый регистр 8 записывается число N_1 , значение которого в десятичной системе счисления индицируется блоком 10 индикации. Поскольку в рассматриваемом случае запись во второй регистр 9 происходит частотой $0,5f_3$, то время записи равно:

$$t_3 = \frac{N}{0,5f_3} = \frac{2N}{f_3},$$

а вал совершает количество оборотов:

$$m = t_3 F = \frac{2NF}{f_3}. \quad (4)$$

Число, записанное в этом случае в первый регистр 8, определяется выражением (без учета погрешности квантования):

$$N_1 = \frac{1}{2} m t_u f_3.$$

(множитель $1/2$ поставлен потому, что на выходе первого триггера 5 один импульс вырабатывается каждые два оборота коленчатого вала). После подстановки выражения (4) в последнее соотношение получают:

$$N_1 = NF t_u = \frac{N t_u}{T} = \frac{N t_u \omega}{T \omega} = \frac{N t_u \omega}{2\pi}.$$

При этом угол опережения впрыска в радианах можно представить следующим образом:

$$\theta = \frac{2\pi N_1}{N} \text{ или в градусах } \theta = \frac{360 N_1}{N}.$$

Последние два выражения определяют математическое ожидание угла опережения. Истинное значение угла опережения отличается от математического ожидания вследствие наличия погрешности преобразования интервала времени в числа.

Минимальная величина среднеквадратичной погрешности измерения угла опережения подачи топлива для четырехтактного дизеля может быть выражена следующей зависимостью [7]:

$$\sigma_{\min} = \frac{360}{\sqrt{6}} \cdot \frac{F}{4NF \cdot \sqrt[3]{\frac{15N}{4}}} + \frac{F^2 \cdot \sqrt[3]{\left(\frac{15N}{4}\right)^2}}{30F^2N^2} = \frac{90}{\sqrt{N \cdot \sqrt[3]{\frac{15N}{4}}}} \quad (5)$$

Из выражения (5) так же, как и из выражения (2) для двухтактного дизеля, следует, что минимальное значение погрешности измерения угла опережения подачи топлива не зависит от скоростного режима работы дизеля.

Таким образом, предложенное устройство обладает более высокой точностью измерения угла опережения подачи топлива как для двух-, так и для четырехтактных дизелей, поскольку оно обеспечивает минимально возможную погрешность определения этого угла независимо от скоростного режима работы дизеля.

Выводы. Для минимизации среднеквадратической погрешности измерения фаз топливоподачи ДВС не необходимо поддерживать определенные соотношения между тактовой частотой квантующих импульсов фазометра и частотой вращения вала агрегата в установившихся и переходных режимах его работы.

Список литературы: 1. Marine application of emission methods law speed diesel engines/Grohe Ote/Hansa.-1990.-127, №22. – С.1526-1530. Англ. 2. Котиков Ю.Г., Горев А.Э., Блякинштейн Н.М. Цифровые системы автоматического управления силовыми установками автомобилей с дизельными двигателями (обзор)/Двигателестроение, 1985. – №4. 3. Итоги науки и техники. Двигатели внутреннего сгорания. Т.4. В.А. Лурье, В.А. Мангушев, И.В. Маркова, Б.Я. Черняк. – М.:1985 – 284с. 4. Пинский Ф.И., Мельдзин Н.Х. Структурные особенности электронных адаптивных систем управления дизелем // Двигателестроение. 1988. – №6. – С. 14-16. 5. Пинский Ф.И. Оптимизация режима работы дизелей электронным управлением впрыска топлива. – Автореф. дис. доктора техн. наук. – Харьков, М., 1987. – 32 с. 6. Долгих И.Д. Разработка систем автоматического непрерывно дискретного регулирования транспортных дизелей. - Автореф. дис. доктора техн. наук. – Харьков: ХИИТ, 1993. - 47с. 7. Лиханов В.А., Сайкин А.М. Снижение токсичности автотракторных дизелей. – М.:ВО АГРОПРОМИЗДАТ, 1991. – 208с. 8. Атаке М., Фалб П. Оптимальное управление. – М.: Машиностроение, 1968. -764 с. 9. Борисенко А.М. Теорія і практика комп'ютеризованих інформаційно-вимірjuвальних систем для управління та діагностики дизель-генераторів: Автореф. дис. доктора техн. наук/ Інститут електродинаміки НАН України. – Київ, 2010. – 31с.

Поступила в редакцию 12.04.2012