

ными параметрами были рассчитаны коэффициенты расхода дросселя  $\mu$  при различных уровнях давлений в системе. Результаты расчета показали (рис. 2), что значения коэффициентов расхода  $\mu$  изменяются незначительно (1,0—1,5 %) в зависимости от изменения уровня давления в системе.

Используя дифференциальные уравнения переходного процесса, полученные на основании применения гиперболической функции расхода [1], были рассчитаны динамические характеристики ДЕ-звеньев при различных уровнях давления. Сравнение расчетных и динамических характеристик (рис. 3) показывает достаточно хорошее совпадение их для различных уровней давлений.

Таким образом, для расчета динамических характеристик пневматических тормозных приводов с высоким давлением может применяться гиперболическая газодинамическая функция расхода, полученная в работе [1]. Коэффициенты коррекции  $k_n$  и  $k_0$ , а также коэффициенты расхода дросселя  $\mu$  остаются практически постоянными для уравнений давлений в рассматриваемом диапазоне 0,8—2,2 МПа.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Метлюк Н.Ф., Автушко В.П. Динамика пневматических и гидравлических приводов автомобилей. — М.: Машиностроение, 1980. — 231 с.

УДК 629.11—585—52

В.А. МИКЛАШЕВИЧ,  
Ю.В. КРАВЦОВ (БПИ)

### ПРОБЛЕМА РАЗРАБОТКИ БЫСТРОДЕЙСТВУЮЩЕГО ЦИФРОВОГО ДИФФЕРЕНЦИАТОРА ДЛЯ ЭЛЕКТРОННЫХ СИСТЕМ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ (САУ) ТРАНСМИССИЕЙ АВТОМОБИЛЯ

В автомобилестроении для облегчения труда водителя, повышения производительности автотракторных средств и безопасности дорожного движения за рубежом широко используются электронные системы автоматического управления двигателем, сцеплением, коробкой передач и тормозами автомобиля. Наибольшее распространение в нашей стране получают устройства автоматического управления тормозами и переключением передач, в состав которых входит электронный решающий блок (ЭРБ). Для обеспечения алгоритма работы ЭРБ широко используются аналоговые решающие блоки (сумматоры, интеграторы, дифференциаторы и т.д.), которые совместно с аналоговыми датчиками (например, температуры, давления, угловой скорости) позволяют обрабатывать входную аналоговую информацию в реальном масштабе времени при

невысокой точности (5 %—10 %). Однако аналогичные датчики угловой скорости на автотракторных транспортных средствах показали низкую надежность (время наработки на отказ не более 2000 ч) [1].

Тенденция развития автоматических систем управления транспортными средствами как в нашей стране, так и за рубежом основывается на решении комплекса задач, связанных с управлением скоростью движения. Успешное решение поставленной задачи возможно на базе микропроцессорных управляющих устройств, которые обладают достаточным быстродействием и точностью (не хуже 0,1 %) первичной обработки информации, представленной в цифровом коде [2]. Это накладывает жесткие требования к датчикам информации, а также к специфике разработки алгоритмов математического обеспечения для обработки исходной информации о состоянии объекта управления [1, 3, 4].

В настоящее время в электронных САУ трансмиссией автомобиля широкое применение находят импульсные датчики [3,4], выходной сигнал  $f(t) = K_z \omega(t)$  которых прямо пропорционально зависит от параметра вращения  $\omega(t)$ . Скорость изменения  $K_z \omega(t)$  характеризуется значением производной  $K_z \dot{\omega}(t) = K_z d\omega/(dt)$ . На основании определения производной [5] для выходного сигнала датчика запишем

$$K_z \dot{\omega}(t) = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} K_z \frac{\Delta \omega(t)}{\Delta t}; \quad \frac{\Delta \omega(t)}{\Delta t} = \frac{\omega(t + \Delta t) - \omega(t)}{\Delta t}, \quad (1)$$

где  $K_z = pZ/(2\pi i)$  — коэффициент преобразования угла поворота объекта вращения в эквивалент количества импульсов на выходе датчика, имп/рад;  $p$  — коэффициент умножения количества импульсов на выходе датчика,  $p = 1, 2, 3$  и т.д.;  $i$  — передаточное число редуктора между объектом вращения и ротором датчика;  $\Delta t$  — интервал времени шага квантования, с. Знак производной  $\dot{\omega}(t)$  зависит от знака разности мгновенных значений угловых скоростей  $\omega(t + \Delta t)$  и  $\omega(t)$  в крайних точках интервала времени  $\Delta t$ .

Таким образом, выражение (1) можно взять за основу алгоритма работы цифрового дифференциатора, при реализации которого необходимо осуществить следующие основные операции:

а) вычисление значений частот выходного сигнала датчика

$$f(t) = K_z \omega(t) \quad \text{и} \quad f(t + \Delta t) = K_z \omega(t + \Delta t) \quad \text{в начале и в конце}$$

интервала времени шага квантования  $\Delta t$ ;

б) определение величины разности мгновенных значений частот

$$\Delta f(t) = [f(t + \Delta t) - f(t)];$$

в) определение знака производной  $K_z \dot{\omega}(t)$ .

Выходной сигнал импульсного датчика является дискретным и при его обработке нельзя получить мгновенные значения частот  $f(t)$  и  $f(t + \Delta t)$  в крайних точках интервала времени  $\Delta t$ . Поэтому

особо рассмотрим процесс вычисления их интегральных эквивалентов — мгновенных значений в интервале времени  $\Delta t_i$  цикла дифференцирования, который может содержать один или два интервала времени  $\Delta t$ .

Интегральные значения  $N_1$  и  $N_2$  количества импульсов на первом и втором шагах квантования за один цикл дифференцирования определяются выражениями вида

$$\begin{cases} N_1 = K_z \Delta t [\omega_0 + 0,5 \dot{\omega}(t) \Delta t]; \\ N_2 = K_z \Delta t [\omega_0 + 1,5 \dot{\omega}(t) \Delta t], \end{cases}$$

где  $\omega_0$  — мгновенная угловая скорость в начале интервала времени цикла дифференцирования, рад/с.

После выполнения операции "вычитания" получим числовое значение разности  $\Delta N_i = (N_{i+1} - N_i)$ , которое прямо пропорционально производной  $\dot{\omega}(t)$ :

$$\Delta N_i = K_{\text{диф}} \dot{\omega}(t), \quad (2)$$

где  $K_{\text{диф}} = 0,5 K_z \Delta t^2$  — коэффициент передачи (разрешающая способность) дифференциатора, имп.с<sup>2</sup>/рад.

С окончанием цикла дифференцирования при выполнении операции "определение знака производной" необходимо проверить следующие условия:

а) если  $(N_{i+1} - N_i) < 0$ , то функции  $\Delta N_i$  присвоить знак "минус"; б) если  $(N_{i+1} - N_i) \geq 0$ , то функции  $\Delta N_i$  присвоить знак "плюс".

Рассмотрим другие варианты алгоритма работы цифрового дифференциатора. Описанный выше вариант алгоритма будем считать исходным, принцип работы которого поясняется на рис. 1, а, где вертикальными штрихами на временной оси условно отмечены интервалы времени  $\Delta t$  шагов квантования и  $\Delta t_i$  циклов дифференцирования, моменты готовности кодов количества импульсов  $N_i$ , а также моменты получения функции  $\Delta N_i$  с периодичностью интервала цикла дифференцирования  $\Delta t_i$ , равного двум интервалам  $\Delta t$  шага квантования.

На рис. 1, б представлен другой вариант алгоритма работы, при котором код количества импульсов  $N_{j-1}$ , полученный в конце предыдущего  $\Delta t_{j-1}$ , заносится в память и хранится в качестве кода начального значения для последующего цикла  $\Delta t_j$ . Затем, после наступления момента готовности кода количества импульсов  $N_j$  в конце последующего цикла  $\Delta t_j$  и выполнения операции "вычитания", на место кода количества импульсов  $N_{j-1}$  в память заносится код количества импульсов  $N_j$ , который будет использован в качестве кода начального значения в новом цикле  $\Delta t_{j+1}$ . Периодич-

ность момента получения функции  $\Delta N_j$  равна одному интервалу времени  $\Delta t$ .

Иллюстрация алгоритма работы дифференциатора по третьему варианту представлена на рис. 1, в. Здесь так же, как и во втором варианте, код количества импульсов  $N_{k-1}$ , полученный в предыдущем цикле  $\Delta t_{k-1}$ , заносится в память и хранится в качестве кода начального значения для последующего цикла  $\Delta t_k$ . Однако периодичность момента получения функции  $\Delta N_k$  и интервал времени цикла  $\Delta t_k$  равны двум интервалам времени  $\Delta t$ .

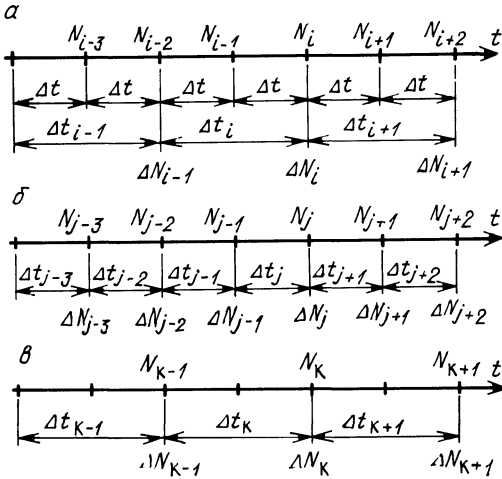


Рис. 1. Иллюстрация принципа алгоритма работы цифрового дифференциатора.

На основании выражения (2) запишем уравнения основных характеристик для трех рассмотренных вариантов алгоритма работы цифрового дифференциатора:

$$\left\{ \begin{array}{l} \Delta N_i = K_{1\text{диф}} \dot{\omega}(t) = 0,5 K_z \Delta t^2 \dot{\omega}(t), \Delta t_i = 2\Delta t; \\ \Delta N_j = K_{2\text{диф}} \dot{\omega}(t) = K_{1\text{диф}} \dot{\omega}(t), \Delta t_j = \Delta t; \\ \Delta N_k = K_{3\text{диф}} \dot{\omega}(t) = 4K_{1\text{диф}} \dot{\omega}(t), \Delta t_k = 2\Delta t. \end{array} \right. \quad (3)$$

Сопоставительный анализ полученных уравнений (3) показывает, что наибольший коэффициент передачи у дифференциатора с алгоритмом работы по третьему варианту, а наименьшее значение интервала времени цикла дифференцирования (наибольшее быстродействие) — по второму. Однако дифференциатор третьего варианта, не уступающий в быстродействии первому варианту, по коэффициенту передачи в четыре раза выше в сопоставлении с первыми двумя.

На численном примере покажем его возможности. Так, при  $K_z = 38,2$  имп/рад ( $Z = 120$ ;  $p = 2$ ;  $i = 1$ ),  $\Delta t = 0,05$  с и  $\Delta N_k \geq 1$  имп значения производной, которые регистрирует дифференциатор

$\dot{\omega}(t) = \Delta N_k / K_{з\text{диф}} \geq 5,235 \text{ рад/с}^2$ . Коэффициент передачи  $K_{з\text{диф}}$  составляет при этом  $0,191 \text{ имп.с}^2/\text{рад}$ , а интервал времени цикла дифференцирования (время запаздывания)  $\Delta t_k = 2 \Delta t = 0,1 \text{ с}$ .

Таким образом, рассмотренные варианты алгоритма работы цифрового дифференциатора 1) не обладают высокой точностью ( $K_{\text{диф}} < 1$ ) определения значения производной  $\dot{\omega}(t)$  при весьма скромном быстродействии ( $\Delta t_k \geq 0,05 \text{ с}$ ); 2) цифровой дифференциатор с алгоритмом работы по уравнению (1) в электронных САУ трансмиссией автомобиля можно использовать лишь для определения знака  $\text{Sign}$  производной при значениях  $\dot{\omega}(t) \geq 5 \text{ рад/с}^2$ ; 3) проблема разработки быстродействующего цифрового дифференциатора с циклом дифференцирования  $\Delta t_k \leq 0,01 \text{ с}$  и коэффициентом передачи  $K_{\text{диф}} \geq 1$  для применения в электронных системах автоматического управления трансмиссией автомобиля остается нерешенной.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Автомобильные электронные системы: Сб. статей/Пер. с англ. Под ред. Ю.М. Галкина. — М.: Машиностроение, 1982. — 144 с. 2. Автомобильные датчики: Сб. статей/Пер. с англ. Ю.Н. Савченко. — М.: Машиностроение, 1982. — 102 с. 3. А. с. 675366 (СССР). Устройство для измерения угловой скорости/В.А. Миклашевич, В.В. Мочалов. — Оpubл. в Б.И., 1979, № 27. 4. А. с. 923895 (СССР). Устройство дистанционной передачи сигнала для транспортных средств/В.В. Мочалов, В.А. Миклашевич. — Оpubл. в Б.И., 1982, № 16. 5. П и с к у н о в Н.С. Дифференциальное и интегральное исчисления. — М.: Наука, 1976. — 456 с.

УДК 629.113—598

В.В. МОЧАЛОВ, канд.техн.наук (БПИ)

### АНАЛИЗ ОСОБЕННОСТЕЙ ЗАМЕДЛЕНИЯ КОЛЕСА АВТОМОБИЛЯ ПРИ ТОРМОЖЕНИИ В ДОКРИТИЧЕСКОЙ ЗОНЕ

При создании систем автоматического управления торможения автомобиля одной из наиболее информативных переменных является ускорение (замедление) колеса, что определяет необходимость детального исследования особенностей его изменения в процессе торможения.

В работах В.Д. Балакина [1] и Я.Н. Нефедьева [2] был обоснован экстремальный характер изменения замедления колеса при торможении в докритической по продольному скольжению зоне, т.е. когда коэффициент продольного скольжения  $S$  не превышает критического значения  $S_{кр}$  ( $S \leq S_{кр}$ ). В ходе разработки алгоритма управления противоблокировочной тормозной системы автомоби-