

УДК 629.114

В. В. Геращенко, канд. техн. наук, доцент, **В. П. Лобах**, канд. техн. наук, доцент, **Н. А. Коваленко**, канд. техн. наук, доцент, **О. В. Билык**, канд. техн. наук, доцент, МОУВО "Белорусско-Российский университет"
E-mail: mogilev-kovalenko@rambler.ru

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ДАТЧИКА ЧАСТОТЫ ВРАЩЕНИЯ ВАЛОВ АВТОМОБИЛЯ

Предложена методика проектирования датчика частоты вращения валов автомобильных агрегатов с учетом режимов их вращения. Приведен пример выполнения расчетов.

Ключевые слова: вал, частота вращения, датчик, диски с выступами и впадинами, катушка индуктивности, импульс напряжения, дифференцирующая и интегрирующая цепи, статическая характеристика датчика.

The method of designing the shaft speed sensor of automobile units taking into account their rotation modes is offered. An example of calculations is given.

Keywords: shaft, speed, sensor, disks with protrusions and depressions, inductor, voltage pulse, differentiating and integrating circuits, static characteristic of the sensor.

Эффективность работы автомобиля оценивается его производительностью, которая зависит от его скоростных свойств, и определяется она в том числе и частотой вращения валов, колес и т. д., которую необходимо измерять в процессе работы автомобиля и передавать в систему управления для выбора оптимального режима движения (например, для предотвращения перегрузки двигателя путем своевременного переключения передач на более низшую по отношению к исходной). Кроме того, частота вращения может использоваться при диагностировании различных агрегатов на стендах (например, при определении технического состояния коробок передач по их кпд, определении технического состояния ДВС по развиваемой мощности и др.).

Таким образом, для измерения частоты вращения необходим датчик, обладающий простотой, дешевизной, надежностью и точностью. Конструкция и методика проектирования такого датчика предлагается в данной работе.

Для датчика частоты вращения важнейшей характеристикой является статическая, т. е. зависимость выходного напряжения от частоты вращения вала. Она должна быть линейной (рис. 1).

На рис. 2 представлена схема предлагаемого датчика частоты вращения вала, разработанных авторами, а на рис. 3 — его общий вид.

Работает датчик следующим образом. При периодическом вхождении выступов и впадин диска в зазор индуктивного щелевого преобразователя (ПИЩ)

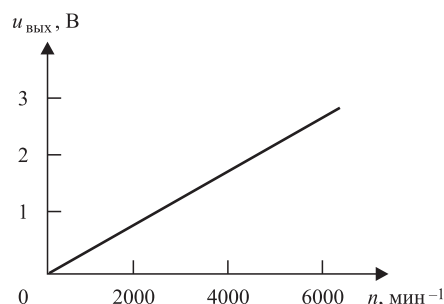


Рис. 1. Статическая характеристика датчика частоты вращения

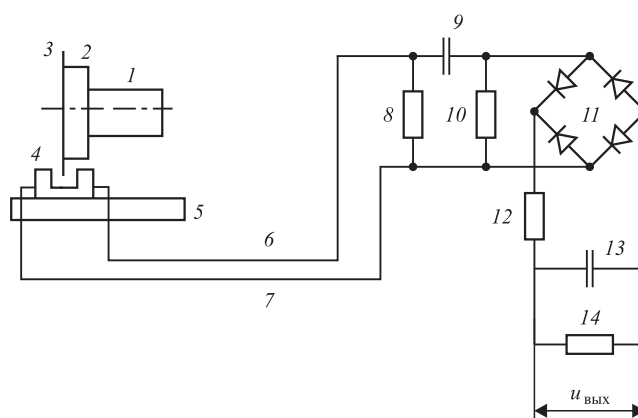


Рис. 2. Схема датчика частоты вращения вала:

1 — вал; 2 — шкив; 3 — металлический диск с выступами и впадинами; 4 — преобразователь ПИЩ; 5 — кронштейн; 6, 7 — электрические провода; 8, 10, 12 — резисторы; 9, 13 — конденсаторы; 11 — выпрямитель

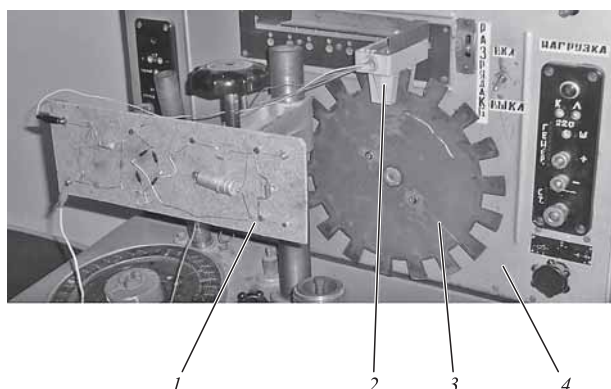


Рис. 3. Датчик частоты вращения:

1 — преобразователь импульсов; 2 — преобразователь ПИЩ; 3 — металлический диск с выступами и впадинами; 4 — стенд

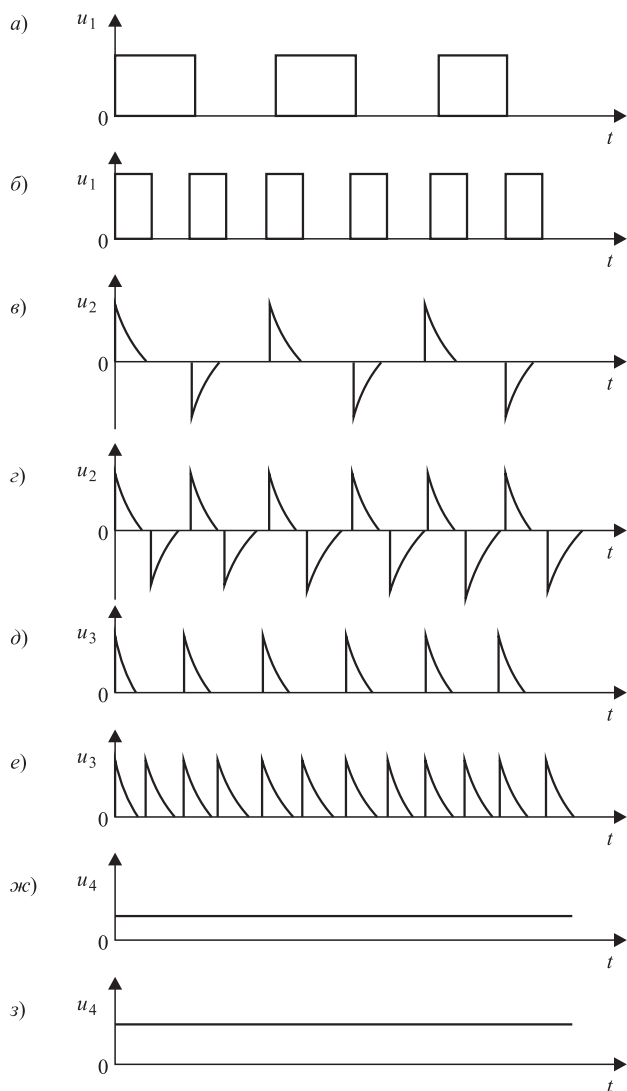


Рис. 4. Графики сигналов в цепях датчика частоты вращения

формируются периодические импульсные процессы, состоящие из прямоугольных импульсов одинаковой высоты (рис. 4, а и 4, б). Все прямоугольные импульсы имеют одинаковую высоту, не зависящую от частоты вращения диска, и равную напряжению питания преобразователя ПИЩ. С увеличением же частоты вращения вала, например, в два раза, от 2000 мин^{-1} (рис. 4, а) до 4000 мин^{-1} (рис. 4, б), длительность импульсов уменьшается в два раза, а частота следования импульсов возрастает в два раза.

Прямоугольные импульсы с резистора 8 поступают на дифференцирующую цепь, состоящую из конденсатора 9 и резистора 10 (см. рис. 2). На резисторе 10 формируются экспоненциальные импульсы, изображенные на рис. 4, в и 4, г. После выпрямления выпрямителем 11 импульсы становятся однополярными (рис. 4, д и 4, е). После интегрирования с помощью резистора 12 и конденсатора 13 на выходном резисторе 14 возникает непрерывный аналоговый сигнал (рис. 4, ж и 4, з), пропорциональный частоте вращения вала, равной 2000 мин^{-1} и 4000 мин^{-1} .

Таким образом, графики рис. 4, а, 4, в, 4, д, 4, ж соответствуют частоте вращения вала, равной 2000 мин^{-1} , а графики рис. 4, б, 4, г, 4, е, 4, з — 4000 мин^{-1} .

Так как основной операцией для создания импульсных датчиков частоты вращения является операция интегрирования, то при интегрировании последовательности прямоугольных импульсов напряжения (рис. 5, а), формируемого на резисторе 8 (см. рис. 2), например, при частоте вращения 2000 мин^{-1} , и при интегрировании последовательности прямоугольных импульсов напряжения, полученного на этом же резисторе при частоте вращения 4000 мин^{-1} (см. рис. 5, б), получим одинаковое по уровню выходное напряжение $U_{\text{ВЫХ}}$ (рис. 5, в и 5, г) при разной частоте вращения вала (рис. 5, а и 5, б).

Поэтому для соблюдения линейности статической характеристики датчика необходимо ввести такую цепь, которая формирует из прямоугольных импульсов при различной частоте вращения вала одинаковые по площади импульсы, например, экспоненциальные (см. рис. 4). Такой цепью является дифференцирующая, состоящая из конденсатора 9 и резистора 10, на вход которой поступают прямоугольные импульсы напряжения разной площади с резистора 8 (см. рис. 2), а на выходе дифференцирующей цепи формируются экспоненциальные импульсы напряжения одинаковой площади (см. рис. 4) при различных частотах вращения вала.

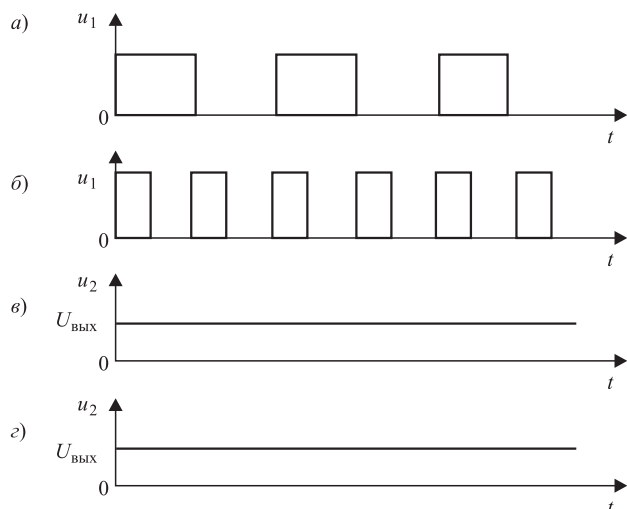


Рис. 5. Графики сигналов датчика частоты вращения без дифференцирующей цепи

Для обеспечения достаточной точности преобразования частоты вращения вала в пропорциональное ей напряжение на выходе датчика, т. е. обеспечения линейности его статической характеристики (см. рис. 1), необходимо дифференцирующую цепь выполнить с определенной постоянной времени. От правильности выбора постоянной времени обеспечивается заданная точность преобразования дифференцирующей цепью прямоугольных импульсов в экспоненциальные при различных частотах вращения вала, а интегрирующей цепью — точность преобразования экспоненциальных импульсов в непрерывный уровень напряжения на выходе датчика. В настоящее время отсутствуют методики выбора постоянной времени дифференцирующей и интегрирующей цепей для этого датчика.

Предлагается для дифференцирующей цепи выбор постоянной времени производить для максимально возможной частоты вращения вала, так как при этом для других частот линейность статической характеристики будет обеспечена. Объясняется это тем, что при максимальной частоте вращения вала в датчике формируются прямоугольные импульсы минимальной длительности, а экспоненциальные импульсы напряжения на выходе дифференцирующей цепи должны быть равны этой длительности при нулевом напряжении. Поэтому, исходя из практических соображений, выбираем постоянную времени для дифференцирующей цепи в пять раз меньше длительности положительного прямоугольного импульса при максимальной частоте вращения, что объясняется практически равенством про-

должительности преобразования прямоугольных импульсов в экспоненциальные.

Рассмотрим порядок преобразования входящих прямоугольных импульсов через дифференцирующую цепь датчика (рис. 6), состоящую из конденсатора емкостью C и резистора сопротивлением R .

Основным параметром дифференцирующей цепи является ее постоянная времени T (рис. 7), которая определяется как промежуток времени, за который закончился бы переходной процесс изменения напряжения на выходе дифференцирующей цепи при появлении напряжения на входе дифференцирующей цепи. Для ее графического определения необходимо провести касательную к началу экспоненциального импульса напряжения на выходе дифференцирующей цепи до пересечения этой касательной с осью t в точке A и она равна отрезку $0-A$ оси абсцисс.

Изменение напряжения $u_{\text{ВЫХ}}$ на выходе дифференцирующей цепи называется переходной характеристикой (рис. 8) и определяется из формулы [1]:

$$u_{\text{ВЫХ}} = Ri_c = RC \frac{du_c}{dt} = T \frac{du_c}{dt}, \quad (1)$$

где i_c — сила тока, протекающего через конденсатор A .

Решением этого дифференциального уравнения, составленного для изменения выходного напряжения (штрихпунктирная линия на рис. 7) дифференцирующей цепи (см. рис. 6), является:

$$u_{\text{ВЫХ}} = U_{\text{ВХ}} e^{-\frac{t}{T}}, \quad (2)$$

где e — основание натурального логарифма, равное 2,72; T — постоянная времени, с; $U_{\text{ВХ}}$ — высота прямоугольного импульса напряжения, В.

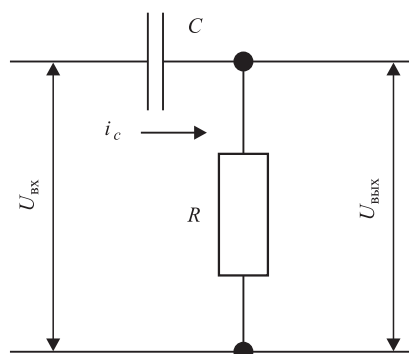


Рис. 6. Дифференцирующая цепь

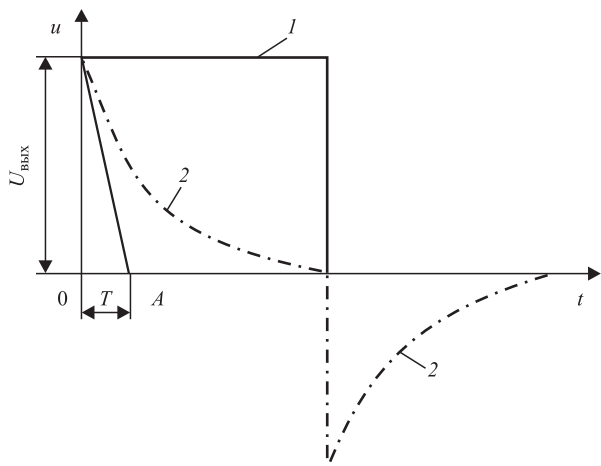


Рис. 7. Графики изменения напряжения на входе (1) и выходе (2) дифференцирующей цепи

Рассчитанные по формуле (2) значения представлены в таблице и используются для построения переходной характеристики (см. рис. 8) дифференцирующей цепи.

Данные для построения переходной характеристики дифференцирующего звена

| t/T | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|------------------|---|------|------|------|------|-------|
| $u_{\text{ВЫХ}}$ | 1 | 0,37 | 0,14 | 0,05 | 0,02 | 0,007 |

Приведем пример расчета параметров элементов дифференцирующей цепи для датчика с количеством выступов, равным 36, и частоте вращения вала 3600 мин^{-1} .

Определим длительность импульса:

$$\Delta t = 1/(60 \cdot 36 \cdot 2) = 0,00023 \text{ с.}$$

Постоянная времени равна:

$$T = 0,00023/5 = 0,000046 \text{ с.}$$

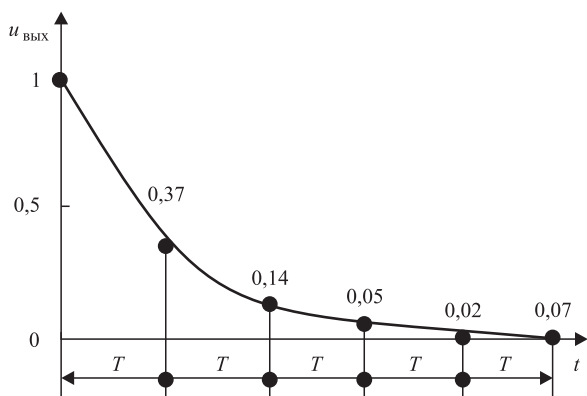


Рис. 8. Переходная характеристика дифференцирующей цепи

Определим из выражения для расчета постоянной времени $T = CR$ дифференцирующей цепи, задав сопротивление резистора $R = 10^4 \text{ Ом}$, емкость конденсатора C :

$$C = T/R = 0,000046/10^4 = 4,6 \cdot 10^{-8} \text{ Ф} = 460 \text{ мкФ.}$$

Далее для преобразования экспоненциальных положительных импульсов дифференцирующей цепи в непрерывное изменяющееся напряжение, уровень которого пропорционален частоте вращения вала (см. рис. 4, ж и 4, з) в любой момент времени, применяем интегрирующую цепь (рис. 9).

Интегрирующую цепь необходимо выбрать с определенной постоянной времени, которая должна быть больше длительности интегрируемых экспоненциальных импульсов напряжения на нулевом уровне в 5—10 раз [2] при минимально возможной частоте вращения вала. Это объясняется следующим. Интегрирование экспоненциальных импульсов с помощью интегрирующей RC -цепи сопровождается погрешностью, а в дифференцирующем уравнении (1) интегрируется разность входных и выходных напряжений цепи при необходимости интегрирования только входного напряжения. Поэтому для достижения требуемой погрешности интегрирования необходимо увеличить постоянную времени интегрирующей цепи, что возможно при увеличении длительности интегрируемых экспоненциальных импульсов напряжения на нулевом уровне в 5—10 раз [2] при минимально возможной частоте вращения.

Переходная характеристика интегрирующей цепи определяется по формуле (3). Решение этого дифференциального уравнения представлено в формуле (4). Результаты расчета показаны на рис. 10.

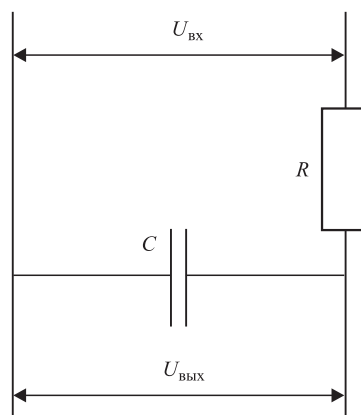


Рис. 9. Интегрирующая цепь

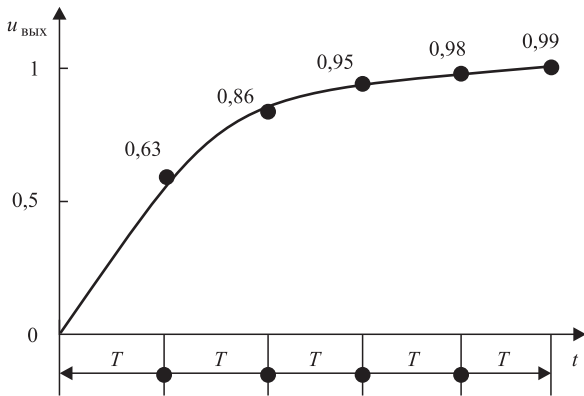


Рис. 10. Переходная характеристика интегрирующей цепи

$$u_{\text{ВЫХ}} = U_{\text{ВХ}} \left(1 - e^{-\frac{t}{T}}\right); \quad (3)$$

$$u_{\text{ВЫХ}} = \frac{1}{RC} \int_0^t (U_{\text{ВХ}} - U_{\text{ВЫХ}}) dt. \quad (4)$$

Таким образом, на выходе разработанного авторами датчика частоты вращения вала формируются напряжения, уровень которых пропорционален частоте вращения вала (см. рис. 4).

Выводы по работе

1. Разработана методика проектирования датчика частоты вращения валов с большим диапазоном изменения частот вращения валов — от 500 до 7000 мин⁻¹. Такой датчик может использоваться для измерения частот вращения коленчатых валов двигателя внутреннего сгорания, валов трансмиссии, колес автомобиля.

2. Спроектирован и изготовлен по разработанной методике датчик частоты вращения вала. Испытания и широкое применение разработанного датчика на автомобильном транспорте [3–8] подтвердили его работоспособность и линейность его статической характеристики при переменных частотах вращения вала.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Фельдбаум А. А., Бутковский А. Г.** Методы теории автоматического управления. — М.: Наука, 1971. — 744 с.
2. **Гусев В. Г., Гусев Ю. М.** Электроника. — М.: Высшая школа, 1991. — 418 с.
3. **Герашенко В. В., Коваленко В. В., Лобах В. П.** Методы и средства диагностирования и повышения эксплуатационных свойств автомобилей и их агрегатов: монография. — Могилев: Белорус.-Рос. ун-т, 2017. — 170 с.
4. **Усовершенствованная** система автоматического управления скоростью движения автомобиля / В. В. Герашенко, Н. А. Коваленко, А. В. Щур, В. И. Гуменюк // Автомобильная промышленность. — 2017. № 2. — С. 11–13.
5. **Лобах В. П., Герашенко В. В., Коваленко Н. А.** Устройство автоматической блокировки межколесного дифференциала колесного трактора // Тракторы и сельхозмашины. — 2017. — № 7. — С. 3–7.
6. **Усовершенствованный** регулятор тормозных сил / В. В. Герашенко, В. П. Лобах, В. Д. Рогожин, А. А. Метто // Автомобильная промышленность. — 2012. — № 6. — С. 16–18.
7. **Патент № 21662 РБ**, МПК В 60Т 17/22. Устройство для бортового диагностирования тормозной системы автомобиля / В. В. Герашенко, Н. А. Коваленко, В. П. Лобах. — Оpubл. 28.02.2018.
8. **Лобах В. П., Герашенко В. В., Коваленко Н. А.** Догружатель автопоезда // Грузовик. — 2018. — № 12. — С. 7–10.