

Суть создания необходимой паузы состоит в следующем. Первые три ЖК триггера D1 - D3, объединенные в пересчетное кольцо, создают трехфазную систему импульсов управления и срабатывают по переднему фронту импульсов задающего генератора. Другие три триггера D6 - D8, объединенные в такое же кольцо, срабатывают по заднему фронту импульсов задающего генератора. Объединение соответствующих выходных импульсов соответствующих триггеров на входах логических элементов D4 - D5 позволяет получить на их выводах комбинацию импульсов управления ключами в стойках инвертора с необходимой паузой и исключить сквозные токи во всех стойках инвертора – рисунок 4. На рисунке для упрощения представлен принцип формирования импульсов управления только одной из трех фаз инвертора.

#### **Выводы**

Предложена логика управления силовыми ключами транзисторного инвертора электропривода, исключая протекание больших и опасных сквозных токов в стойках инвертора. Предложено конкретное схемотехническое решение для реализации поставленной задачи.

#### **Литература**

1. Прохоров В.А. Элементы и узлы полупроводниковых преобразователей электрической энергии. – М.: МГТУ «МАМИ», 2003. – 90 с.
2. Полупроводниковые преобразователи электрической энергии / В.А. Прохоров и др.; под ред. В.А. Прохорова. – М.: МГТУ «МАМИ», 2004. – 97 с.

### ***Амплитудно-частотные характеристики и передаточные функции электрохимического привода колёсного движителя перекатывающегося типа***

к.т.н. доц. Сергеев А.И.

*Университет машиностроения,  
(495) 223-05-23, доб. 1527, trakvc@mami.ru*

*Аннотация.* Рассматривается связь амплитудно-частотных характеристик и передаточных функций электрохимического привода колёсного движителя перекатывающегося типа (КДПТ). Определена общая передаточная функция, учитывающая влияние явления формирования опорной поверхности и передаточные функции при возмущении по управлению и нагрузке. Это позволяет на этапе проектирования транспортных средств с движителем перекатывающегося типа осуществлять имитационное моделирование и определять энергоэффективность разрабатываемого КДПТ, а также параметры и характеристики бортовой информационно-измерительной системы.

*Ключевые слова:* *двигатель перекатывающегося типа, электрохимический привод, возмущающая нагрузка, возмущение по управлению, опорная поверхность, передаточная функция, амплитудно-частотная характеристика, имитационное моделирование, энергоэффективность*

Амплитудно-частотные характеристики (АЧХ) электрохимического привода колёсного движителя перекатывающегося типа (КДПТ) устанавливает зависимость его чувствительности от частоты изменения входного сигнала, который определяется свойствами поверхности движения и, как следствие, реакцией опорной поверхности  $\bar{R}$  [1, 2].

В общем случае для рассматриваемого варианта исполнения электрохимического привода с двигателем постоянного тока независимого возбуждения (ДПТ НВ) передаточная функция устанавливает взаимосвязь выходных и входных параметров системы «колесо – опорная поверхность» при возмущении по управлению и по нагрузке.

Передаточная функция формирования опорной поверхности определяется дифференциальным уравнением, учитывающим действие упругого, демпфирующего и инерционного моментов, приведенных к валу электродвигателя, опорно-приводного устройства КДПТ (рисунок 1) [1, 2]:

$$M_{дв} = M_y + M_d + M_u,$$

$$TJ\ddot{\varphi} + J\dot{\varphi} + (K_d + TC_{ж})\dot{\varphi} + C_{ж}\varphi = T\dot{M}_{дв} + M_{дв}.$$

В этом случае передаточная функция имеет вид (3)

$$W_1(p) = \frac{\varphi(p)}{M_{дв}(p)} = \frac{Tp + 1}{TJp^3 + Jp^2 + (K_d + TC_{ж})p + C_{ж}}.$$

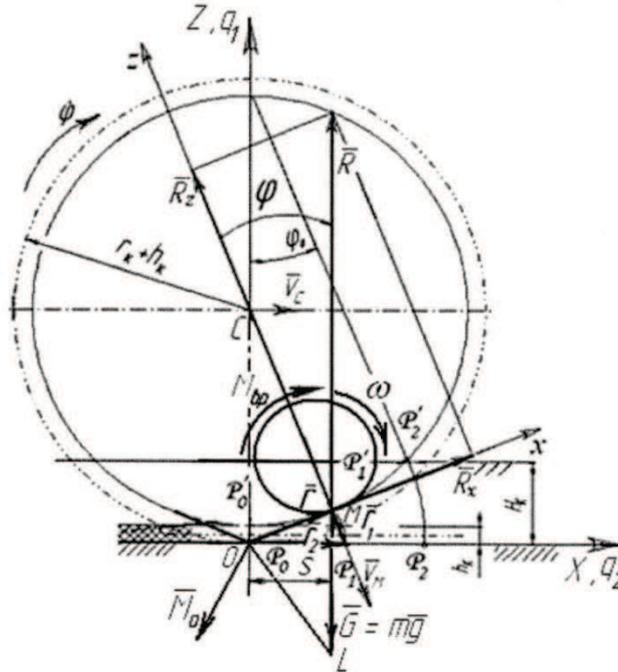


Рисунок 1. Расчётная схема движителя перекачивающего типа

Передаточную функцию для электромеханического привода колёсного КДПТ определим исходя из структурной схемы (рисунок 2), где:  $U = u(p)$  – изображение напряжения питания;  $E = e(p)$  – изображение ЭДС двигателя.

Если в качестве выходной переменной требуется использовать угол поворота вала электродвигателя  $\varphi$ , то в структурную схему вводится дополнительное интегрирующее звено, изображённое на рисунке 2 штриховыми линиями.

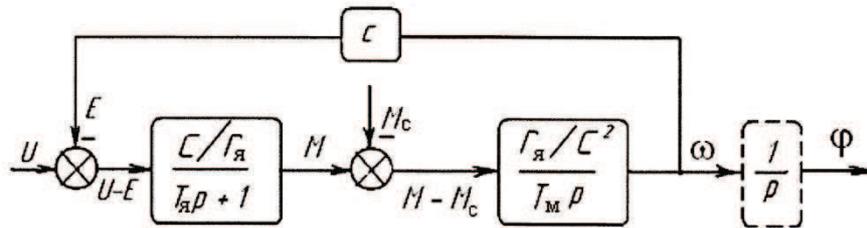


Рисунок 2. Структурная схема электромеханического привода движителя перекачивающего типа

В общем случае уравнения работы ДПТ НВ имеют вид:

$$\left. \begin{aligned} u &= i_a r + L \frac{di_a}{dt} + k \Phi \omega; \\ M &= k \Phi i_a; \\ M - M_c &= J \frac{d\omega}{dt}; \\ u &= i_b r_b + L_b \frac{di_b}{dt}, \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

где:  $r$  – полное активное сопротивление якорной цепи, Ом;  $L$  – полная индуктивность якорной цепи, Гн;  $k\Phi\omega = E$  – ЭДС вращения якоря, В;  $k = \frac{pN}{2\pi a}$  – конструктивный коэффициент двигателя;  $\omega$  – угловая скорость,  $c^{-1}$ ;  $\Phi$  – магнитный поток возбуждения двигателя, Вб;  $M, M_c$  – крутящий момент, соответственно, развиваемый двигателем, и сопротивления плоского движения обода КДПТ [3, 4], приведенного к валу электродвигателя встроенного в опорно-приводное устройство КДПТ [4, 5], Н·м;  $J$  – момент инерции привода,  $кг \cdot м^2$ .

Решение системы уравнений (1) относительно угловой скорости  $\omega$  и момента  $M$  при  $c = k\Phi = const$  и  $M_c = const$  приводит к уравнениям:

$$\left. \begin{aligned} \frac{d^2\omega}{dt^2} + \frac{1}{T_{я}} \frac{d\omega}{dt} + \frac{1}{T_{я}T_{м}} \omega &= \frac{1}{T_{я}T_{м}} \left( \frac{u}{c} + \frac{r}{c^2} M_c \right); \\ \frac{d^2M}{dt^2} + \frac{1}{T_{я}} \frac{dM}{dt} + \frac{1}{T_{я}T_{м}} M &= \frac{1}{T_{я}T_{м}} \left( \frac{J}{c} \frac{du}{dt} + M_c \right). \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

В этих уравнениях  $u/c = \omega_0$  – угловая скорость идеального холостого хода, рад/с;  $r/c^2 M_c = \Delta\omega_c$  – статический перепад скорости;  $\frac{J}{c} \frac{du}{dt} = M_{дин}$  – динамическая составляющая момента, развиваемого двигателем, при изменении питающего напряжения якоря (возмущение по управлению), Н·м;  $T_{я} = \frac{L}{r}$  – электромагнитная постоянная времени якорной цепи, с;  $T_{м} = \frac{Jr}{c^2}$  – электромеханическая постоянная времени, с.

Для нулевых начальных условий запишем уравнения (2) в операторной форме:

$$\left. \begin{aligned} p^2\omega(p) + \frac{1}{T_{я}} p\omega(p) + \frac{1}{T_{я}T_{м}} \omega(p) &= \frac{1}{T_{я}T_{м}} \left[ \frac{U(p)}{c} - \frac{r}{c^2} M_c(p) \right]; \\ p^2M(p) + \frac{1}{T_{я}} pM(p) + \frac{1}{T_{я}T_{м}} M(p) &= \frac{1}{T_{я}T_{м}} \left[ \frac{J}{c} pU(p) + M_c(p) \right]. \end{aligned} \right\}$$

Передающая функция ДПТ НВ при возмущении по нагрузке имеет вид:

$$W_2(p) = -\frac{\Delta\omega(p)}{M_c(p)} = \frac{rk_d^2}{T_{я}T_{м}p^2 + T_{м}p + 1}. \quad (3)$$

Передающая функция при возмущении по управлению:

$$W_3(p) = \frac{\omega(p)}{U(p)} = \frac{k_d}{T_{я}T_{м}p^2 + T_{м}p + 1}, \quad (4)$$

где:  $k_d = 1/c$ .

Исходя из выше изложенного получаем следующий вид общей передаточной функции:

$$W(p) = W_1(p) W_2(p) W_3(p).$$

Динамические характеристики (разгон, установившийся режим, торможение и др.) в соответствии со схемой (см. рисунок 1 и рисунок 2) могут быть представлены в виде АЧХ.

АЧХ работы электромеханического привода КДПТ будем определять с учётом противодействующих скоростных сил, возникающих при формировании опорной поверхности движения. В этом случае АЧХ определяются передаточными функциями, устанавливающими связь между выходными и входными характеристиками системы «колесо – опорная поверхность» и их производными [1, 2].

Для их построения предварительно приведём характеристические уравнения (3) и (4) к типовому характеристическому уравнению рассматриваемой схемы. Тогда выражение (4) примет вид:

$$\frac{\omega(p)}{u(p)} = \frac{1/c}{T^2 p^2 + \xi T p + 1}, \quad (5)$$

где:  $T = \sqrt{T_{\text{я}} T_{\text{м}}}$ ;  $\xi = \sqrt{T_{\text{я}} / T_{\text{м}}}$  – коэффициент демпфирования.

Расчёт и построение АЧХ будем производить при  $p = j\Omega$ . Тогда для (5) АЧХ будем рассчитывать по выражению:

$$L(j\Omega) = |W(j\Omega)| = \frac{k_{\text{д}}}{\sqrt{(1 - \Omega^2 T^2)^2 + 4\xi^2 \Omega^2 T^2}},$$

где:  $\Omega = \frac{\sqrt{4T_{\text{я}} T_{\text{м}} - 1}}{2T_{\text{я}}}$  – частота колебаний свободных составляющих переменных (момента, скорости).

Для построения АЧХ с учётом принятого  $p = j\Omega$  получим:

$$L(j\Omega) = |W(j\Omega)| = \frac{k_{\text{д}}}{\sqrt{(1 - \Omega^2 T^2)^2 + 4\xi^2 \Omega^2 T^2}}.$$

Геометрическая интерпретация АЧХ представлена на (рис.3). Анализ АЧХ показывает, что при стремлении коэффициента демпфирования  $\xi$  к нулю возможно возникновение амплитудно-частотного резонанса.

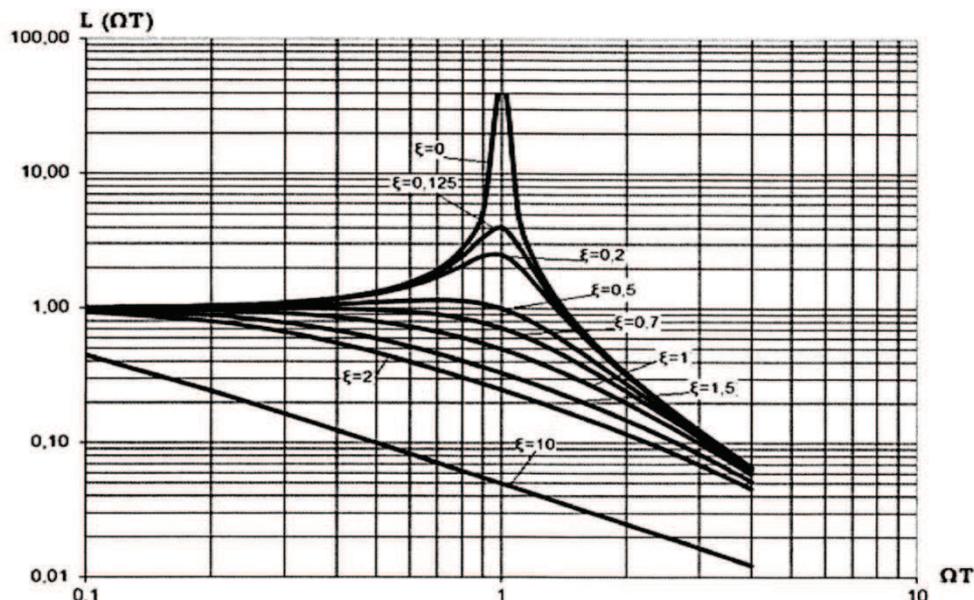


Рисунок 3. АЧХ электромеханического привода колеса перекатывающегося типа

Как видно из графика АЧХ увеличение коэффициента демпфирования  $\xi$  приводит к линеаризации системы дифференциальных уравнений, что позволяет при составлении передаточных функций использовать алгебраические уравнения с постоянными коэффициентами.

Таким образом, проделанный анализ связи АЧХ и передаточных функций показал, что на этапе проектирования движителя перекатывающегося типа можно с помощью имитационного моделирования, варьируя, например, такими параметрами, как величина вертикальной нагрузки, соотношение радиусов опорно-приводного устройства, обода колеса и другими, осуществлять оценку эффективности работы системы «двигатель перекатывающегося типа – опорная поверхность». Это позволит значительно снизить затраты на проведение экспериментальных исследований и доводочных работ при разработке КДПТ.

#### Литература

1. Сергеев А.И. Влияние ведущего режима качения колеса на формирование опорной поверхности движения // Известия МГТУ «МАМИ». – 2011. – №1(11). – С. 82-87.
2. Сергеев А.И. Динамические характеристики электромеханического привода колёсного

- двигателя перекачивающегося типа // Известия Волгоградского государственного технического университета. – 2014. – № 3(130). – С. 44-47.
3. Сергеев А.И., Шарипов В.М., Щетинин Ю.С. Способ получения плоского поступательно-го движения колёсного двигателя перекачивающегося типа. Патент России №2465153. Опубликовано 27.10.2012. Бюл. №30.
  4. Сергеев А.С., Шарипов В.М. Транспортное средство. Патент России №2245259. Опубликовано 27.01.2005. Бюл. №3.
  5. Сергеев А.И., Шарипов В.М., Щетинин Ю.С. Колёсный двигатель перекачивающегося типа. Патент России №2467890. Опубликовано 27.11.2012. Бюл. №33.

### **Влияние скорости срабатывания входного устройства на структуру течения в исполнительном пневмоцилиндре**

Алексеев Д.П., Чулюнин А.Ю., д.т.н. проф. Шейпак А.А.  
ФБГОУ ВПО МГИУ

[alekseev210@gmail.com](mailto:alekseev210@gmail.com), [chulyu-n@mail.ru](mailto:chulyu-n@mail.ru), [sheypak.anatoly@yandex.ru](mailto:sheypak.anatoly@yandex.ru)

*Аннотация.* В работе проводится исследование газодинамических процессов в пневмоцилиндре двустороннего действия на основе методов вычислительной гидродинамики. Для описания движения газа используются трехмерные уравнения Навье-Стокса, осредненные по Рейнольдсу. Изучается развитие во времени ударно-волновой структуры в поршневой полости пневмоцилиндра. Проводится оценка влияния скорости нарастания давления на ударно-волновую структуру течения и характеристики пневмоцилиндра.

*Ключевые слова:* пневмоцилиндр, уравнения Навье-Стокса, вычислительная гидродинамика

#### **Введение**

Пневматические приводы занимают ведущие позиции на предприятиях для автоматизации промышленных процессов и производственных циклов. Пневмосистемы распространены в автомобильной промышленности, в самолетостроении, в космонавтике, нефтяной, газовой и пищевой отраслях, где они применяются для автоматизации сборочных работ, для управления аварийными системами.

Каждый разработчик пневмодвигателей стремится увеличить быстродействие своих машин, так как это повышает их производительность. Также существенное значение имеет обеспечение износостойкости элементов пневмосистемы, особенно рабочего звена — пневмоцилиндра. Как известно, на износостойкость элементов большое влияние оказывают пульсации давления в их проточных областях. На производительность и износостойкость пневмоцилиндра могут оказывать влияние и ударные волны, способные формироваться в его полостях. Такие проблемы непосредственно связаны с разработкой методов динамического исследования машин и выбора их оптимальных параметров и структуры. К таким методам, безусловно, относятся широко распространенные в наше время и динамично развивающиеся вычислительные методы на основе исторически сложившего моделирования поршня в одномерной постановке [1, 4].

В работе [2] приводятся методы математического моделирования рабочих процессов в пневматических системах, предоставляются методики расчета основных параметров пневмоприводов, при которых обеспечивается максимальное быстродействие пневматических систем. Математическая модель трехцилиндрового пневмодвигателя, которая позволяет вычислять динамические особенности движения поршня и газовые параметры с помощью программного обеспечения MATLAB-SIMULINK, представлена в [3]. Предложенный автором подход позволяет вычислять широкий набор термодинамических и эксплуатационных параметров для различных пневмоцилиндров.

Описанные в указанных работах одномерные методики расчета не учитывают период