

Математическая модель мехатронного модуля

системы охлаждения персонального компьютера на основе односекционных BLDC

Пулат Сагитов,
д. т. н., профессор

aipet@aipet.kz

Дамир Гафурьянов

radan-electric@mail.ru

Рашид Гафурьянов

Управление односекционными вентильными электродвигателями (BLDC) в составе мехатронного модуля привода систем активного воздушного охлаждения элементов системного блока персонального компьютера (ПК), в частности, центрального или графического процессоров, со стороны датчиков Холла позволяет существенно повысить энергоэффективность его электромеханической части, учитывая также при этом коэффициент технического использования и малый диапазон регулирования 1:10 для системного блока среднего объема и среднестатистической конфигурации. Одними из главных положительных черт данного преобразования являются [1]:

- снижение установленной мощности многофазных преобразователей постоянного тока электропитания материнской платы системного блока ввиду слабotoxicности цепей управления;
- снижение импульсных помех ввиду отсутствия регулирования в силовой цепи многодвигательного электропривода;
- высвобождение дополнительной мощности для интенсификации работы процессоров и модулей памяти, а также модулей расширения материнской платы.

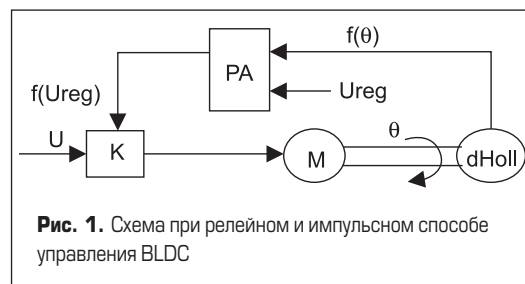


Рис. 1. Схема при релейном и импульсном способе управления BLDC

Регулирование в данном диапазоне возможно как по цепи обратной связи от датчиков Холла, так и других драйверов BLDC. Усилители PA, включенные в цепь управления сигналом, выполнены на значительно меньшую установочную и регулировочную мощности по сравнению с управлением по цепи силовых обмоток BLDC. Схема оказывается особенно простой при релейном и импульсном способе управления BLDC, при котором отсечка обратной связи приводит к тормозу, а включение — к разгону (рис. 1).

Для проверки теоретических положений в программе MATLAB-Simulink были проведены моделирование и экспериментальный анализ, в результате

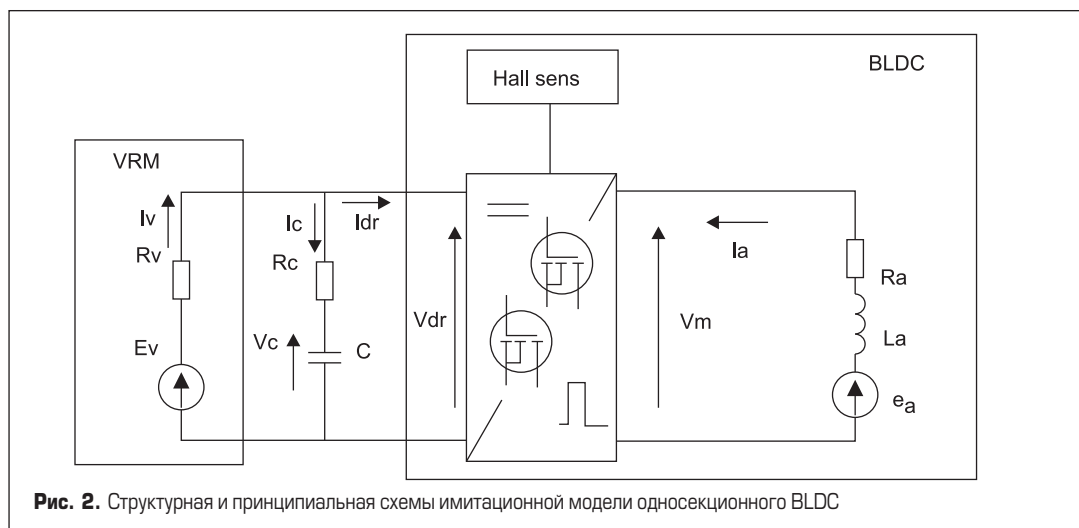


Рис. 2. Структурная и принципиальная схемы имитационной модели односекционного BLDC

которых получены структурные и принципиальные схемы имитационной модели односекционного BLDC в многодвигательном электроприводе активной системы воздушного охлаждения ПК (рис. 2).

Уравнение входного контура структурной схемы привода:

$$\begin{aligned} E_V - i_V R_V - i_C R_C - v_C &= 0, \\ v_{dr} &= v_C + i_C R_C \\ i_V &= i_C + i_{dr} \end{aligned} \quad (1)$$

где: E_V и R_V — ЭДС и внутреннее сопротивление источника; R_C — сопротивление в цепи конденсатора; i_V — ток через источник питания; i_{dr} — входной ток преобразователя; v_C — напряжение на конденсаторе.

$$V_C = Q_C / C,$$

$$i_C = dQ_C / dt,$$

где: Q_C — заряд на конденсаторе; C — емкость конденсатора; i_C — ток через конденсатор.

В большинстве BLDC привода вентиляторов используется прямоугольная форма напряжений в процессе коммутации $V_{дв}$, временные рамки которых определяются положением датчика Холла. Это описывается следующим уравнением:

$$v_m = \text{sign}[\sin(\theta + \alpha)] v_{dr} \quad (2)$$

Учитывая, что:

$$v_m = k_{dr} v_{rbbg} \quad (3)$$

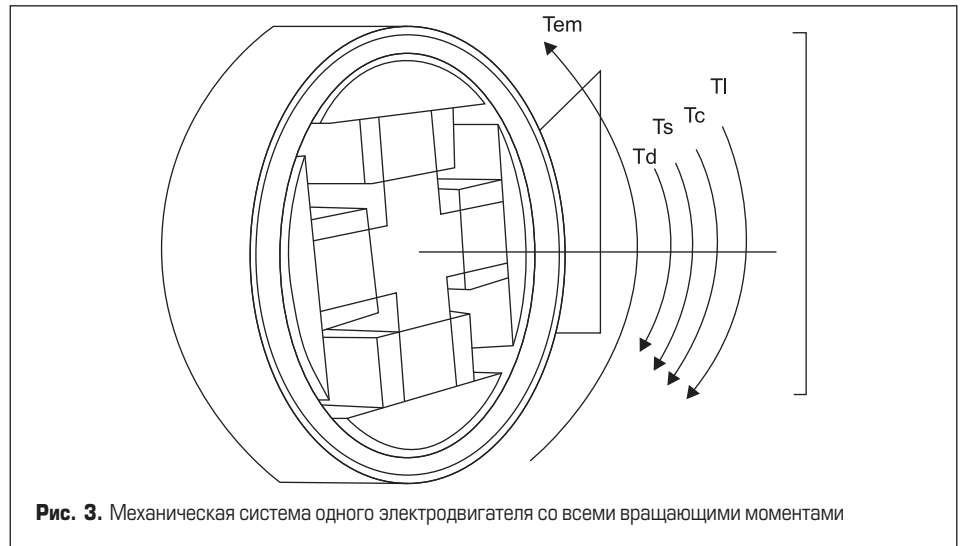


Рис. 3. Механическая система одного электродвигателя со всеми вращающимися моментами

$$v_{rbbg} = v_{rbb} - k_{PA} v_H \sin(\theta + \alpha), \quad (4)$$

Уравнение моментов:

$$J(d\omega/dt) = T_{эм} - T_l - B_m \omega - T_f \quad (6)$$

где: v_m — выходное напряжение преобразователя, питающего обмотки односекционного BLDC, В; v_{rbbg} — выходное напряжение источника питания, В; k_{dr} — коэффициент усиления драйвера.

где: $J(d\omega/dt)$ — момент инерции электродвигателя, кг·м²; $T_{эм}$ — электромагнитный момент электродвигателя, Нм; $T_l = K\omega^2$ — нагрузочный момент, Нм; B_m — коэффициент вязкого трения, Нмс; T_f — коэффициент сухого трения, Нм;

$$\begin{aligned} P_{PA} &= 0,3V_{drA} \frac{1}{\alpha_k} \int_0^{\alpha_k} I_{drA} d\alpha + \\ &+ 0,3V_{drB} \frac{1}{\alpha_k} \int_0^{\alpha_k} I_{drB} d\alpha, \end{aligned} \quad (5)$$

$$T_{эм} = \frac{e_a i_a}{\omega_M} = \frac{K_E \omega_M \sin \theta}{\omega_M} i_a = K_E i_a \sin \theta.$$

где: P_{PA} — потребляемая мощность блока PA, Вт.

Механическая система одного электродвигателя со всеми вращающимися моментами схематически показана на рис. 3 [2].

Структурная схема односекционного BLDC с управлением от датчиков Холла в MATLAB-Simulink показана на рис. 4 [3]. Модель не учитывает обратную связь по температуре, поскольку постоянная времени обратной

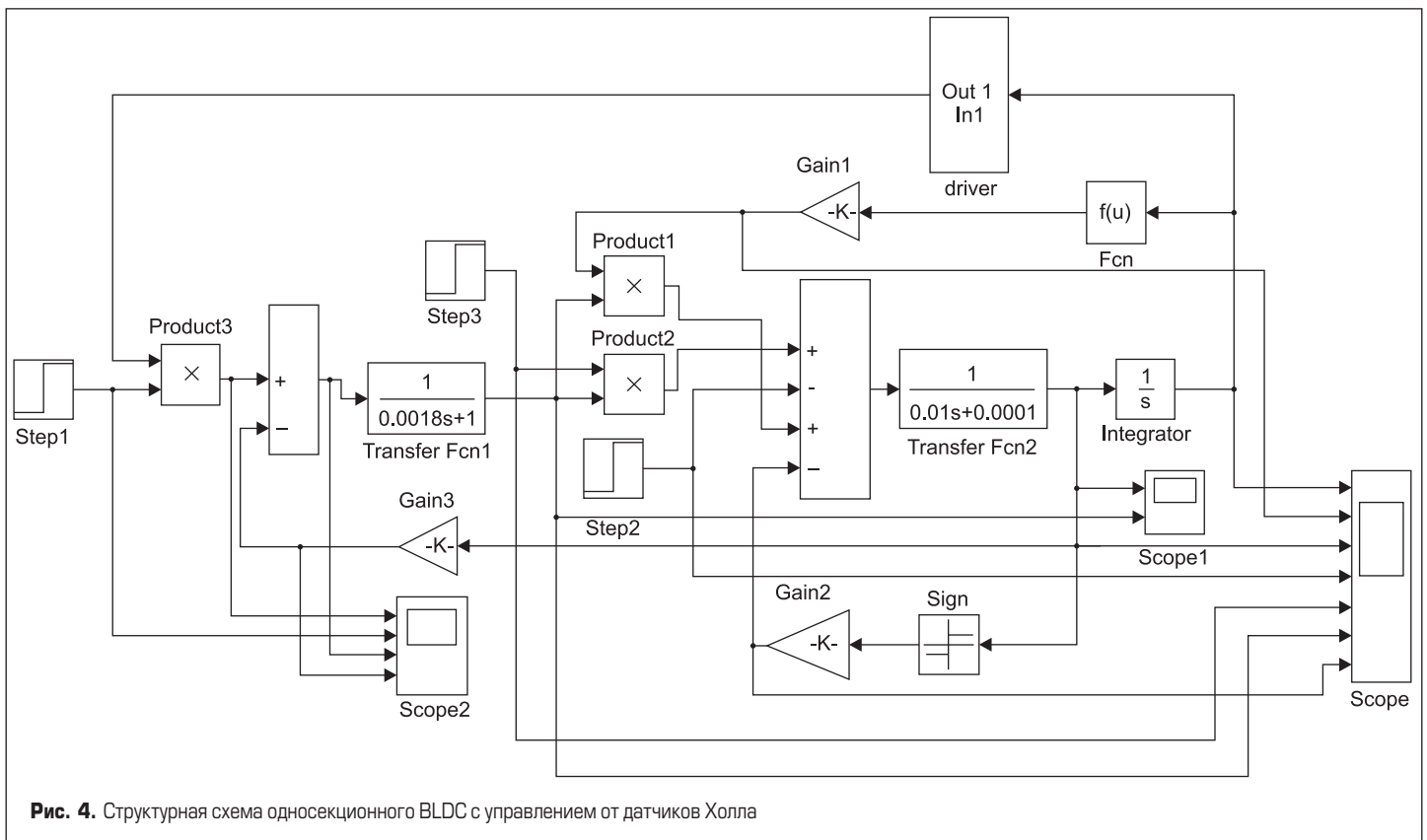


Рис. 4. Структурная схема односекционного BLDC с управлением от датчиков Холла

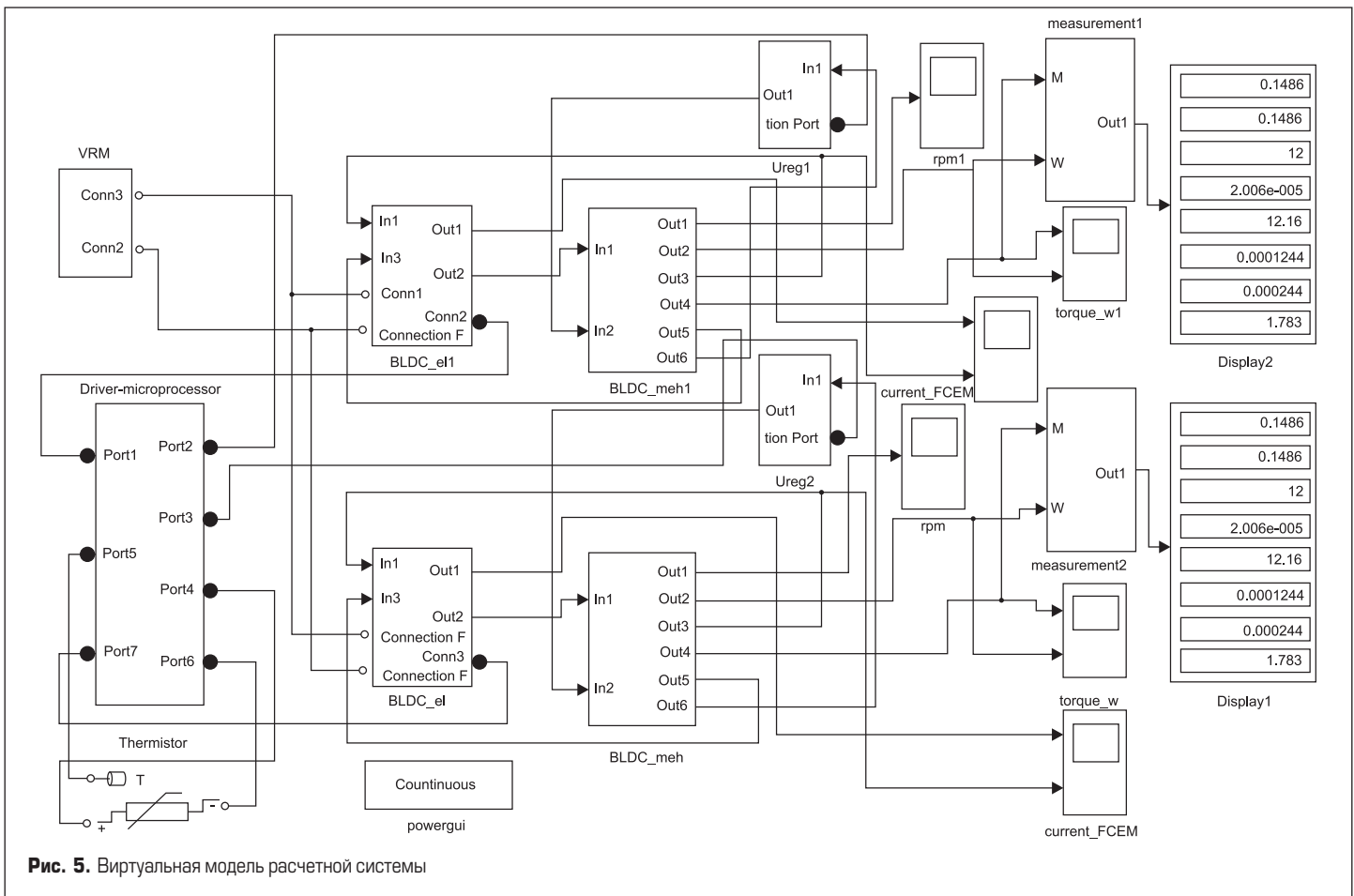


Рис. 5. Виртуальная модель расчетной системы

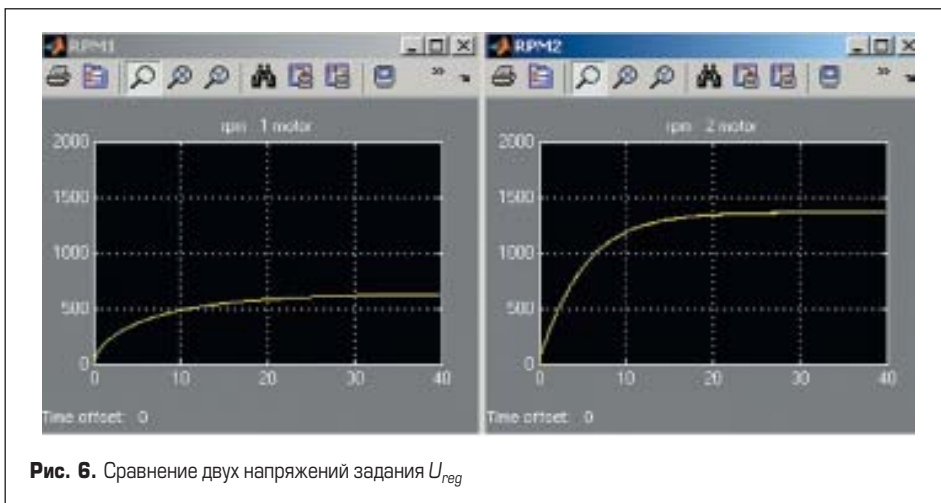


Рис. 6. Сравнение двух напряжений задания U_{reg}

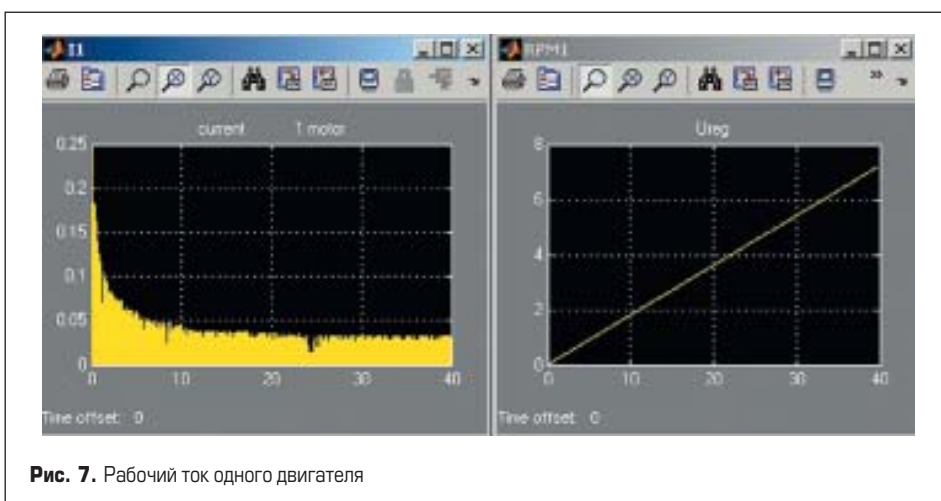


Рис. 7. Рабочий ток одного двигателя

связи по температуре значительно превышает постоянную времени якорной цепи.

Микропроцессорный контроль используется для обеспечения температурного режима элементов системного блока, контроля и защиты электроприводов. Температурная проверка реализована в пяти точках на плате и процессоре. Это позволяет обеспечить энергосберегающее управление многодвигательным электроприводом на односекционных BLDC для данного приложения.

Виртуальная модель расчетной системы представлена на рис. 5, также без учета обратной связи по температуре. Сравнение двух напряжений задания U_{reg} представлено на рис. 6. Рабочий ток одного двигателя представлен

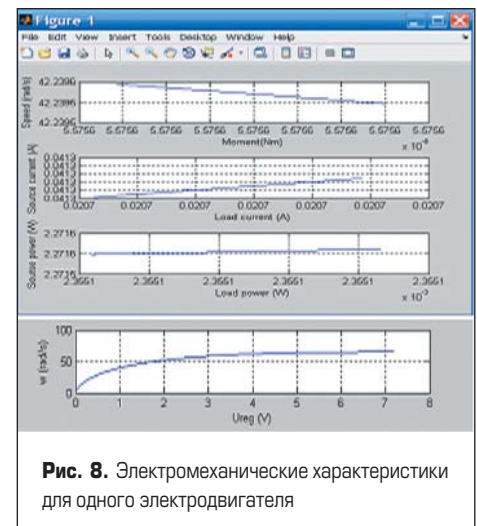


Рис. 8. Электромеханические характеристики для одного электродвигателя

на рис. 7. Электромеханические характеристики для одного электродвигателя представлены на рис. 8.

Выводы

Этот метод обеспечивает энергосберегающее управление [4] односекционными BLDC, без PWM-регулирования со стороны источника питания, при том же диапазоне регулирования. Контроль скорости вращения реализован только при помощи датчиков Холла. Результаты проведенных экспериментов показывают, что данный метод не может быть использован для высокоточных и ши-

рокорегулируемых приводов, кроме диапазона 1:10 для данного приложения, данной комплектации и требований к системному блоку [5].

Получены структурная и виртуальная математические модели односекционного BLDC с управлением от датчиков Холла. Механические характеристики в значительной степени отражают характеристики двигателя постоянного тока.

Литература

1. Ильинский Н. Ф., Москаленко В. В. Электропривод: энерго- и ресурсосбереже-

ние. Уч. пособие для студентов вузов. М.: «Академия». 2008.

2. Овчинников И. Е. Вентильные электрические двигатели и привод на их основе (малая и средняя мощность). Курс лекций. СПб.: КОРОНА-Век. 2006.
3. Герман-Галкин С. Г. Компьютерное моделирование полупроводниковых систем в MATLAB 6.0. Уч. пособие. СПб.: КОРОНА-Принт. 2001.
4. Сагитов П. И. Энергосбережение в электроприводе. Уч. пособие. Алматы: АИЭС. 2003.
5. www.ansoft.com
6. www.radan-electric.kz
7. www.delta.com