

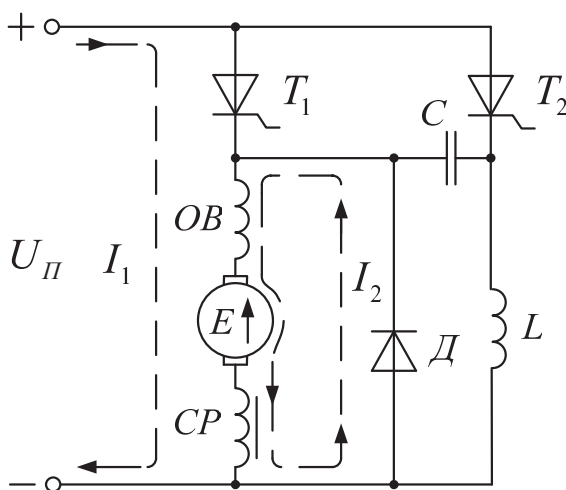
К РАСЧЕТУ ХАРАКТЕРИСТИК ИМПУЛЬСНО-УПРАВЛЯЕМОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА НА ОСНОВЕ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ С ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНЫМ ВОЗБУЖДЕНИЕМ

Е. В. АРИСТОВ, А. Д. ДИНКЕЛЬ

Пермский государственный технический университет

В статье рассматриваются вопросы получения выражений, позволяющих аналитическим методом анализировать динамические процессы в электроприводе на основе электродвигателя с последовательным возбуждением и при необходимости решать вопросы синтеза системы автоматического управления координатами электропривода.

Электропривод на основе электродвигателя постоянного тока с последовательным возбуждением и широтно-импульсным управлением находит широкое применение в колесных транспортных средствах как основной тяговый привод. Упрощенная принципиальная схема такого электропривода приведена на рис. 1.



*Рис. 1. Принципиальная схема электропривода
постоянного тока с последовательным возбуждением
и широтно-импульсным управлением*

Основной особенностью такого электропривода является нелинейность зависимостей описывающих его электромеханических свойств и характеристик. Это обусловлено нелинейной зависимостью между магнитным потоком

и током возбуждения, которая представляется в виде универсальной кривой намагничивания, не имеющей точного математического описания. В следствие этого практически нет аналитических методов расчета и анализа электромеханических процессов и характеристик, а все сводится расчету только статических характеристик приближенными графическими и графо-аналитическими методами, которые по существу не приемлемы применительно к импульсно-управляемым электроприводам.

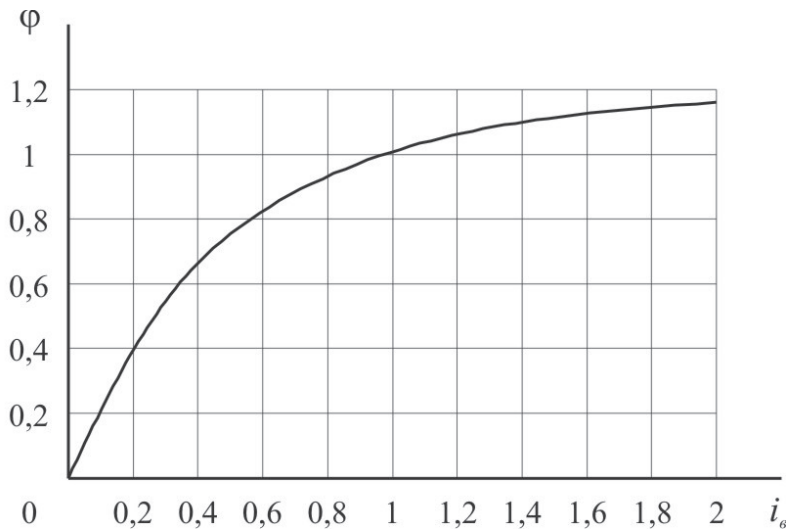


Рис. 2. Универсальная кривая намагничивания

Следовательно, разработка аналитического метода расчета и анализа статических и динамических характеристик, приемлемых в инженерной практике проектирования импульсно-управляемых электроприводов на основе электродвигателя постоянного тока с последовательным возбуждением, является актуальной и практически важной задачей.

Для решения этой задачи необходимо найти аналитическую аппроксимирующую функцию, описывающую достаточную для практических расчетов унифицированную кривую намагничивания, которая представлена на рис. 2.

На основе различных методов аппроксимации графических зависимостей установлено, что унифицированная кривая намагничивания может быть представлена следующей аналитической зависимостью (аппроксимирующей функцией):

$$\varphi(i) = 1,17(1 - e^{-1,94i}), \tag{1}$$

где φ, i – магнитный поток и ток возбуждения, выраженные в относительных единицах.

Анализ статики импульсно-управляемых электроприводов, как известно, осуществляется в, так называемом, квазиустановившемся режиме. В этом режиме координаты электропривода имеют переменную составляющую,

колебания которой, с определенной частотой и амплитудой, проходят относительно среднего значения этих координат. При этом частота и амплитуда колебаний, в частности тока якоря, определяются допустимым значением коэффициента пульсаций:

$$K_i = \frac{\Delta I_{\dot{y}}}{I_{i\dot{i}}} = \frac{I_{\max} - I_{\min}}{I_{i\dot{i}}}, \quad (2)$$

где I_{\max} , I_{\min} – максимальное и минимальное значения тока якоря в интервале периода коммутации.

Для анализа квазиустановившегося процесса и получения зависимостей, описывающих электромеханические свойства электропривода, необходимо иметь уравнения описывающие электромагнитные процессы, протекающие в якорной цепи в интервале одного периода коммутации. Эти уравнения в относительных единицах запишутся в следующем виде:

$$\left. \begin{aligned} \left[\Theta_{\dot{y}} + \Theta_{\dot{a}}(i) \right] \frac{di}{d\tau} + \rho \cdot i &= u - \varphi(i) \nu & \text{ï ðè} & \quad 0 \leq \tau \leq \gamma; \\ \left[\Theta_{\dot{y}} + \Theta_{\dot{a}}(i) \right] \frac{di}{d\tau} + \rho \cdot i &= -\varphi(i) \nu & \text{ï ðè} & \quad 0 \leq \tau \leq 1 - \gamma, \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

где γ – скважность импульсов питающего напряжения.

При переходе к относительным единицам за базовые приняты номинальные параметры электродвигателя, а за базовое время принята длительность периода коммутации питающего напряжения. Эти уравнения нелинейные и их интегрирование представляет собой сложную задачу.

В квазиустановившемся режиме, в виду того, что период коммутации на порядок меньше электромагнитной постоянной времени, а периодические изменения тока относительно среднего значения происходят с относительно малой амплитудой, можно принять, что:

$$\Theta_{\dot{y}} + \Theta_{\dot{a}}(i) = \Theta(i_{\dot{n}\delta}), \quad (4)$$

т. е. при определенном значении $i_{\dot{n}\delta} = const$ электромагнитная постоянная времени в интервале периода коммутации не изменяется, и связь между магнитным потоком можно представить в виде линейной зависимости:

$$\varphi = K(i_{\dot{n}\delta}) \cdot i, \quad (5)$$

где $K(i_{\dot{n}\delta})$ – коэффициент пропорциональности, определяемый по кривой намагничивания.

С учетом (4) и (5), уравнения (3) запишутся в следующем виде:

$$\left. \begin{aligned} \Theta(i_{\text{н\ddot{o}}}) \frac{di}{d\tau} + [\rho + K(i_{\text{н\ddot{o}}})v] \cdot i = u & \quad \text{ï ðè} \quad 0 \leq \tau \leq \gamma; \\ \Theta(i_{\text{н\ddot{o}}}) \frac{di}{d\tau} + [\rho + K(i_{\text{н\ddot{o}}})v] \cdot i = 0 & \quad \text{ï ðè} \quad 0 \leq \tau \leq 1 - \gamma, \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

которые при $i_{\text{н\ddot{o}}} = \text{const}$ являются линейными.

В результате интегрирования этих уравнений и определения среднего значения тока в интервале периода коммутации получено уравнение электромеханических характеристик,

$$v = \frac{u\gamma - \rho \cdot i_{\text{н\ddot{o}}}}{1,17(1 - e^{-1,94i})}, \quad (7)$$

которые приведены на рис. 3.

Исходя из того, что момент электродвигателя:

$$\mu = i_{\text{н\ddot{o}}} \varphi(i_{\text{н\ddot{o}}}), \quad (8)$$

механические характеристики (рис. 3.) можно получить путем умножения значений координат точек по оси абсцисс зависимости $v = f(i_{\text{н\ddot{o}}})$ на соответствующие значения $\varphi(i_{\text{н\ddot{o}}})$ определяемые по (1).

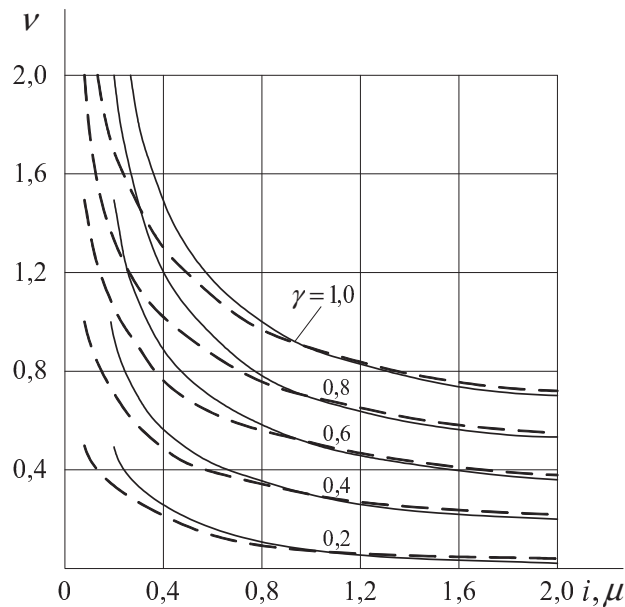


Рис. 3 Характеристики импульсно-управляемого электропривода при $\rho = 0,1$:

— электромеханические;
 - - - механические

Переходные процессы относительно средних значений параметров и координат импульсно-управляемого электропривода описываются следующей системой уравнений:

$$\left. \begin{aligned} \left[\Theta_{\dot{y}} + \Theta_{\dot{a}}(i_{\text{н\ddot{o}}}) \right] \frac{di}{d\tau} + i_{\text{н\ddot{o}}} &= \frac{1}{\rho} \left[\gamma \cdot u - \varphi(i_{\text{н\ddot{o}}}) \nu \right]; \\ \frac{d\nu}{d\tau} &= \rho \left[i_{\text{н\ddot{o}}} \cdot \varphi(i_{\text{н\ddot{o}}}) - \mu_{\text{н\ddot{o}}} \right]. \end{aligned} \right\} \quad (8)$$

При этом за базовое время при переходе к оптимальным единицам принята электромеханическая постоянная времени, соответствующая номинальному току (поток) возбуждения.

Учитывая (1) и (4), уравнения (8) можно записать в следующем виде:

$$\left. \begin{aligned} \Theta_i e^{-1.94(1-i_{\text{н\ddot{o}}})} \frac{di}{d\tau} + i_{\text{н\ddot{o}}} &= \frac{1}{\rho} \left[\gamma \cdot u - \nu 1,17 \left(1 - e^{-1.94 i_{\text{н\ddot{o}}} } \right) \right]; \\ \frac{d\nu}{d\tau} &= \rho \left[i_{\text{н\ddot{o}}} 1,17 \left(1 - e^{-1.94 i_{\text{н\ddot{o}}} } \right) - \mu_{\text{н\ddot{o}}} \right], \end{aligned} \right\} \quad (9)$$

или в операторной форме:

$$\left. \begin{aligned} \left[\Theta_i e^{-1.94(1-i_{\text{н\ddot{o}}}(p))} p + 1 \right] \cdot i_{\text{н\ddot{o}}}(p) &= \frac{1}{\rho} \left[\gamma \cdot u - \nu(p) 1,17 \left(1 - e^{-1.94 i_{\text{н\ddot{o}}}(p)} \right) \right]; \\ p\nu(p) &= \rho \left[i_{\text{н\ddot{o}}}(p) 1,17 \left(1 - e^{-1.94 i_{\text{н\ddot{o}}}(p)} \right) - \mu_{\text{н\ddot{o}}} \right]. \end{aligned} \right\} \quad (10)$$

Полученные выражения позволяют аналитическим методом анализировать динамические процессы в электроприводе на основе электродвигателя с последовательным возбуждением (рис. 4) и при необходимости решать вопросы синтеза системы автоматического управления координатами электропривода.

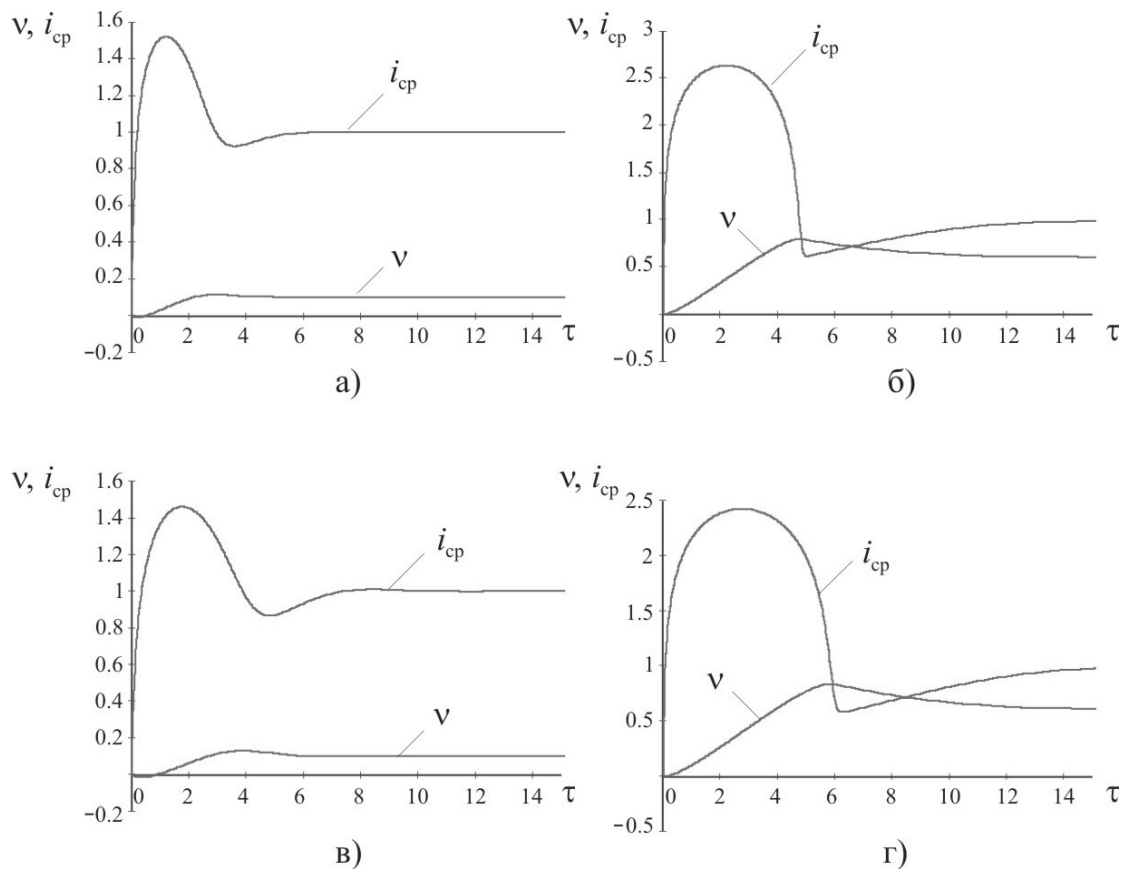


Рис. 4. Динамические процессы в электроприводе на основе двигателя постоянного тока с последовательным возбуждением:

а) при $\gamma = 0.2, \Theta_i = 0.5$; б) при $\gamma = 0.7, \Theta_i = 0.5$;

в) при $\gamma = 0.2, \Theta_i = 1$; г) при $\gamma = 0.7, \Theta_i = 1$.