

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ КОЛЕБАНИЙ  
В ЭЛЕКТРОПРИВОДАХ ПОСТОЯННОГО ТОКА С ИМПУЛЬСНЫМ  
РЕГУЛИРОВАНИЕМ СКОРОСТИ**

В. А. БЕЙНАРОВИЧ

(Представлено научным семинаром электромеханического факультета)

За последнее время все большее распространение в технике получают дискретные системы автоматического управления. Применительно к управлению электроприводами такие системы обычно строятся на принципе регулирования подводимой к двигателю мощности за счет релейного или импульсного квантования энергии от источника неизменного напряжения или периодического изменения параметров системы. В качестве релейных и импульсных элементов в современных электроприводах используются бесконтактные устройства на полупроводниковых, ионных и магнитных усилителях. Особенно перспективно применение кремниевых управляемых диодов — тиристоров, которые позволяют создавать высокоэффективные электроприводы постоянного и переменного тока.

Тиристоры и ионные приборы, как известно, относятся к дискретным вентилям с ограниченным управлением, в которых управляющий сигнал определяет лишь момент возникновения тока через вентиль, а прекращение тока определяется анодным напряжением вентиля. При этом ток двигателя может иметь прерывистый или непрерывный характер и исследование переходных режимов электропривода в общем случае представляет собой сложную дискретную нелинейную трансцендентную задачу.

Исследование стационарных и переходных режимов электроприводов с ионными вентилями при непрерывном управлении углом зажигания достаточно полно проведены в работах И. Л. Каганова [1], А. А. Булгакова [2], А. В. Поссе, Фёрстера и ряда других авторов. Результаты этих исследований применимы и для тиристорных электроприводов с управлением фазой зажигания. Исследованию же приводов с вентилями ограниченного управления при релейном и импульсном регулировании посвящено всего несколько работ М. Г. Чиликина, Д. П. Морозова, Л. М. Твердина [3]. Возможности таких систем изучены мало и это препятствует их распространению в практике. Вместе с тем, для электроприводов с релейным и импульсным бесконтактным регулированием свойственны простота устройства, малая установленная мощность, высокие динамические качества, нечувствительность к постоянству характеристик и параметров системы, хорошие энергетические

показатели. К недостаткам таких систем относится более тяжелые условия работы двигателей (по нагреву и коммутации) и наличие пульсации скорости. В работах [4, 5] проведены исследования режимов работы двигателя в ионных электроприводах с импульсным регулированием и предложена инженерная методика выбора двигателя по мощности. В настоящей статье рассматриваются вопросы определения максимальной амплитуды и частоты пульсаций скорости двигателя и влияние упругих связей рабочих механизмов.

В ионных электроприводах с двигателями независимого возбуждения пульсации скорости имеют наибольшие значения при релейном управлении «включено—выключено» сегочной цепью преобразователя, выполненного по одновентильной (однопульсной) блок-схеме (рис. 1). Вследствие ограниченности управления дискретным клапаном и режима прерывистых токов, амплитуда пульсаций не может быть уменьшена

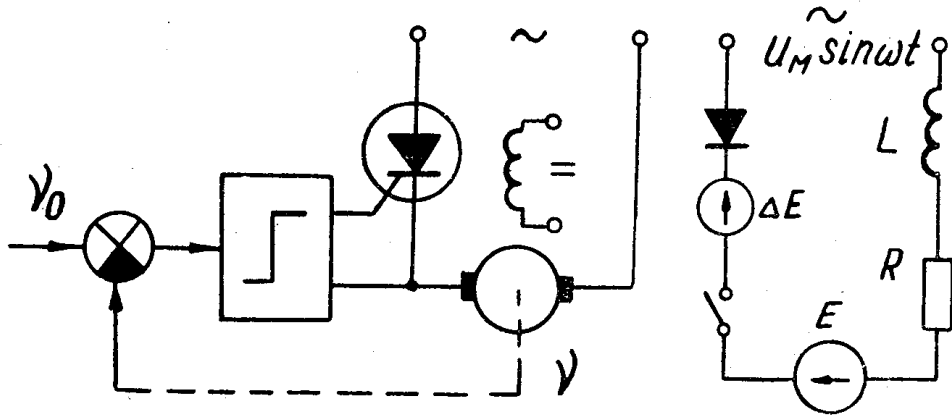


Рис. 1

до нуля при любом увеличении коэффициента усиления регулятора и его быстродействия. Рассмотрим этот наиболее неблагоприятный случай при допущениях: регулятор имеет идеальную релейную характеристику; поток возбуждения двигателя постоянный; индуктивность  $L$  и сопротивление  $R$  цепи якоря неизменны; реакция якоря, гистерезис, вихревые токи, время отпирания и запираия клапана — не учитываются.

Для интервала импульса тока (рис. 2) движение привода описывается уравнениями электрического и механического равновесий (в относительных единицах):

$$\sin(\omega t + \varphi_0) = \gamma + \varepsilon + i + T \frac{di}{dt}; \quad (1)$$

$$i = i_0 + B \frac{dv}{dt}; \quad (2)$$

где  $v = \frac{c_e}{U_M} n$  — скорость двигателя (1);

$\varepsilon = \frac{\Delta E}{U_M}$  — падение напряжения в клапане (1);

$i = \frac{R}{U_M} I$  — ток якоря двигателя (1);

$T = \frac{L}{R}$  — электромагнитная постоянная цепи якоря (сек.);

$$i_c = \frac{R}{c_M U_M} M_c \text{ — ток статической нагрузки (1);}$$

$$B = \frac{GD^2 R}{375 c_e c_M} \text{ — электромеханическая постоянная привода (сек.);}$$

$U_M$  — амплитуда напряжения питания (в);

$\omega$  — угловая частота напряжения питания  $\left(\frac{\text{рад}}{\text{сек}}\right)$ ;

$\varphi_3$  — угол зажигания вентиля (рад).

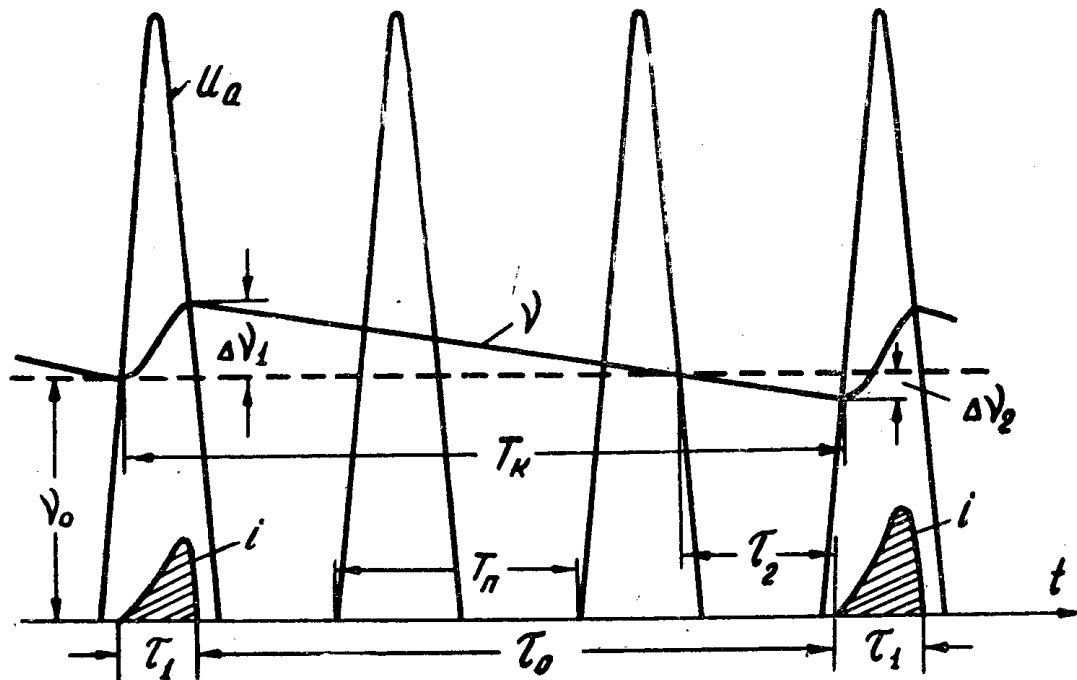


Рис. 2

Наибольшее отклонение скорости вверх от заданного среднего значения соответствует, очевидно (рис. 2), подаче «избыточного» импульса тока в момент, когда скорость двигателя близка, практически равна среднему заданному значению. Точное решение уравнений равновесия (1, 2) слишком громоздко. Отклонение же скорости  $\Delta v_1$  за время протекания  $\tau_1$  импульса тока можно найти на основании теоремы импульса силы из выражения

$$\Delta v_1 = \frac{1}{B} \int_0^{\tau_1} (i - i_c) dt = \frac{\tau_1}{B} (i_1 - i_{c1}), \quad (3)$$

где  $i_1$  — среднее значение тока за время импульса  $\tau_1$ ,

$i_{c1}$  — среднее значение тока нагрузки за время импульса  $\tau_1$ .

Из (3) следует, что отклонение скорости за время импульса не зависит от формы тока и определяется только средними значениями токов импульса и нагрузки.

Для интервала паузы ток отсутствует и движение описывается уравнением

$$i_c + B \frac{dv}{dt} = 0. \quad (4)$$

Наибольшее отклонение скорости вниз  $\Delta v_2$  от заданного среднего значения  $v_0$  под действием статической нагрузки соответствует случаю, когда в начале паузы скорость близка к заданной (рис. 2). Аналогично (3), имеем

$$\Delta v_2 = \frac{1}{B} \int_0^{\tau_2} i_c dt = \frac{\tau_2}{B} i_{c2}, \quad (5)$$

где  $i_{c2}$  — среднее значение тока нагрузки за время паузы  $\tau_2$ .  
На основании (3) и (5), амплитуда пульсаций скорости определится

$$\Delta v = \Delta v_1 + \Delta v_2 = \frac{\tau_1}{B} (i_1 - i_{c1}) + \frac{\tau_2}{B} i_{c2}. \quad (6)$$

В практических расчетах удобнее учитывать средний за период выпрямленный ток  $i_{cp}$  (для режима неуправляемого выпрямителя), считая его функцией заданного среднего значения скорости  $v_0$ . Эти зависимости хорошо известны и приводятся обычно в виде графиков, удобных для использования [1, 4, 5]. При определении  $i_{cp}$  таким образом не учитывается влияние на ток отклонения скорости от  $v_0$ . Однако такая неточность мало сказывается на результатах расчетов ввиду незначительной криволинейности нарастания скорости за интервал полупериода, вследствие того, что при промышленной частоте длительность полупериода во много раз меньше электромеханической постоянной времени.

С учетом среднего выпрямленного тока

$$i_{cp} \frac{2\pi}{\omega} = i_1 \tau_1 = i_1 \frac{\lambda}{\omega}. \quad (7)$$

Пауза

$$\tau_2 = \frac{2\pi - \lambda}{\omega} \quad (8)$$

и максимальная амплитуда пульсаций при постоянной нагрузке  $i_c = \text{const}$  определится

$$\Delta v = i_{cp} \frac{2\pi}{\omega B} + 2i_c \frac{\pi - \lambda}{\omega B} \quad (9)$$

где  $\lambda$  — угол протекания тока [1, 4].

Период колебания скорости при постоянной нагрузке можно определить как сумму интервала импульса и времени снижения скорости на величину амплитуды пульсаций  $\Delta v$  под действием нагрузки

$$T_k = \frac{\lambda}{\omega} + \Delta v \frac{B}{i_c} = \frac{1}{\omega} \left[ 2\pi \left( 1 + \frac{i_{cp}}{i_c} \right) - \lambda \right]. \quad (10)$$

Наименьшая частота пульсаций

$$f_k = \frac{1}{T_k}. \quad (11)$$

Зная параметры колебаний скорости и ее среднее значение, можно по механическим характеристикам привода определить среднее значение тока и максимальную амплитуду пульсаций тока.

При наличии в кинематической цепи станок-инструмент-деталь (СИД), упругих связей, например, в приводах подач металлорежущих станков, упругие звенья играют роль фильтров нижних частот. Ампли-

туда пульсаций скорости на выходе упругих звеньев определяется по выражению

$$\Delta v_c = \frac{\Delta v}{\sqrt{1 + (2\pi f_k T_c)^2}}, \quad (12)$$

где  $T_c$  — постоянная времени упругого звена (станок).

Полученные соотношения позволяют по характеристикам неуправляемого выпрямителя для схемы с известными параметрами при заданной средней скорости определить амплитуду и частоту пульсаций скорости и тока двигателя независимого возбуждения в схемах с идеальным релейным регулятором и дискретными вентилями с ограниченным управлением (ионных приборах или тиристорах).

#### ЛИТЕРАТУРА

1. И. Л. Каганов. Электронные и ионные преобразователи. ГЭИ, 1956.
2. А. А. Булгаков. Основы динамики управляемых вентильных систем. АН СССР, 1963.
3. М. Г. Чиликин, Д. П. Морозов, Л. М. Твердин. Импульсное регулирование скорости вращения двигателей постоянного тока. В сборнике «Электропривод и автоматизация промышленных установок». ГЭИ, 1960.
4. В. А. Бейнарович, Ю. М. Ачкасов, А. И. Зайцев. Использование маломощных двигателей в ионных электроприводах с импульсным регулированием скорости вращения. Известия ТПИ, том 117, 1963.
5. Ю. М. Ачкасов, В. А. Бейнарович, А. И. Зайцев. Проверка двигателя по нагреву в ионном приводе средней мощности с импульсным регулированием скорости вращения. Известия ТПИ, том 117, 1963.