

## Моментные бесконтактные двигатели постоянного тока с дискретным и дискретно-аналоговым управлением по положению ротора

ГРИДИН В. М.

*В бесконтактных двигателях постоянного тока с целью уменьшения пульсаций момента на каждом межкоммутационном интервале (МКИ) плавно или ступенчато изменяют ток в секциях якорной обмотки. При этом в начале и в конце каждого интервала ток максимален, а в середине – минимален. Предложены способы управления током по положению ротора и устройства, с помощью которых можно реализовать такое управление. Получены выражения для относительного значения электромагнитного момента и его пульсаций. Определены требования к характеристикам устройств управления для реального отношения минимального момента к максимальному при обычной коммутации якорной обмотки и допустимой пульсации момента, не превышающей 1,5%.*

*Ключевые слова: бесконтактные двигатели постоянного тока, плавное и ступенчатое изменение тока, законы и устройства управления, пульсация момента*

Бесконтактные двигатели постоянного тока (БДПТ) по сравнению с обычными двигателями постоянного тока не имеют скользящих контактов и поэтому работают более надежно. Если БДПТ применяют в качестве моментного, т.е. низкоскоростного двигателя, то его основными характеристиками являются момент на валу и пульсация этого момента. Пульсация зависит от числа секций якорной обмотки (ЯО) и способа управления током в ее секциях по положению ротора. Дискретный способ обеспечивает ток в секциях ЯО, не изменяемый при повороте ротора на межкоммутационном интервале (МКИ). Так как электромагнитный момент (далее — момент) пропорционален произведению тока в секциях ЯО и магнитной индукции в местах расположения этих секций, то желательно, чтобы при повороте ротора магнитная индукция была неизменной, как и ток. А следовательно, чтобы распределение магнитной индукции по окружности воздушного зазора было трапецеидальным. Однако это невозможно из-за бокового рассеяния магнитного потока с полюсов (магнитов) и различной длины магнитной линии в середине и на краях полюсов. Поэтому при повороте ротора возникают пульсации момента.

Для уменьшения пульсаций нужно при повороте ротора изменять ток в секциях ЯО. Аналоговый способ обеспечивает токи в секциях ЯО, изменяемые при повороте ротора. Желательно, чтобы токи изменялись строго синусоидально, как и распределение магнитной индукции по окружности воздушного зазора. Но строгая синусоидальность практически невозможна, поэтому при повороте ротора

момент пульсирует. Для уменьшения пульсации нужно профилировать наружную поверхность полюсов индуктора, выполнять сложную ЯО, применять датчики положения ротора (ДПР). Моментные БДПТ с дискретным и аналоговым управлением рассмотрены соответственно, например, в [1–3] и [4–6].

Чаще всего применяют БДПТ с дискретным управлением благодаря более простой конструкции индуктора, ДПР, схеме ЯО и схеме управления транзисторами коммутатора по положению ротора. Обычно применяют БДПТ с трёхсекционной ЯО и двухполупериодной коммутацией ее с помощью мостового коммутатора из шести силовых транзисторов. Пульсация момента составляет не менее (3,5÷4)%. Реже применяют аналоговое управление с двух- и трехсекционной ЯО. Пульсация момента составляет также не менее (3,5÷4)%. Однако во многих случаях, например для моментных двигателей гироскопических систем, пульсация не должна превышать 2%.

В статье рассматриваются моментные БДПТ с трёхсекционной ЯО и двухполупериодной коммутацией, у которых с целью уменьшения пульсаций момента на каждом МКИ изменяют ток в секциях ЯО плавно или ступенчато. При этом в начале и в конце каждого МКИ ток максимален, а в середине – минимален [7].

Выразим момент БДПТ с обычной коммутацией в виде универсальной функции от углового положения ротора  $\alpha$ :

$$m' = a + b \sin \alpha.$$

Введем понятие относительного момента

$$m' = m' / b = c + \sin \alpha, \tag{1}$$

где отношение зависит от конфигурации полюсов индуктора.

При известном отношении минимального момента к максимальному

$$d = \bar{m}'_{\min} / \bar{m}'_{\max} = \bar{m}'(60^\circ) / \bar{m}'(90^\circ) = (c + 0,866) / (c + 1)$$

значение

$$c = (d - 0,866) / (1 - d). \tag{2}$$

Пульсация момента

$$\mu = \frac{\bar{m}'_{\max} - \bar{m}'_{\min}}{\bar{m}'_{\max} + \bar{m}'_{\min}} 100 = \frac{1-d}{1+d} 100 = \frac{13,4}{2c+1,866}.$$

При  $d = 0,923$  значения  $c = 0,75$ ,  $\mu = 4\%$ , при  $d = 0,933$  —  $c = 1,0$ ,  $\mu = 3,5\%$ .

Рассмотрим БДПТ с дискретно-аналоговым управлением по положению ротора. При этом на каждом МКИ токи в секциях ЯО изменяются плавно с помощью широтно-импульсного модулятора (ШИМ) путем изменения отношения  $\gamma$  длительности импульсов тока к интервалу между соседними импульсами. В начале и в конце каждого МКИ оно максимально и равно единице, а в середине МКИ минимально и меньше единицы. Если ток  $i$  в секции ЯО при обычной коммутации равен  $I$ , то при наличии ШИМ  $i = \gamma I$ . Для управления ШИМ применены ДПР и преобразователь его сигналов.

На рис. 1 показана блок-схема БДПТ.

Управление коммутатором  $K$  и преобразователем  $\Pi$  может быть от одного ДПР, как на рис. 1, или от двух различных ДПР; ШИМ реализует требование:  $\gamma = \bar{u}_\Pi = u_\Pi / U_{\Pi \max}$ , где  $U_{\Pi \max}$  — максимальное напряжение  $u_\Pi$  в начале и в конце МКИ. Напряжение  $u_\Pi$  сравнивается с пилообразным напряжением  $u_\Delta$ , изменяемым по закону

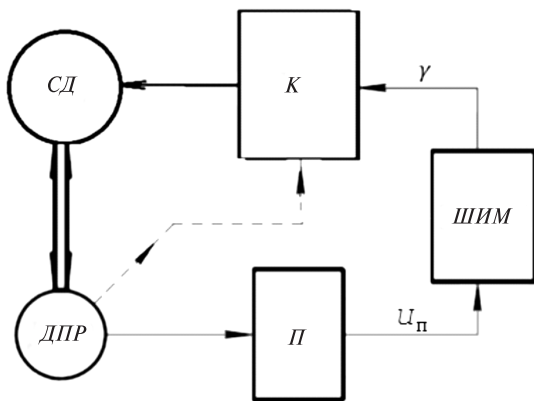


Рис. 1. Блок-схема БДПТ: СД — синхронный двигатель; К — мостовой полупроводниковый коммутатор; ДПР — датчик положения ротора; Π — преобразователь сигналов ДПР; ШИМ — широтно-импульсный модулятор

$u_\Delta = U_{\Pi \max} t / T$ , где  $T$  — период повторения напряжения  $u_\Delta$  [8]. Значения  $u_\Pi$  и  $u_\Delta$  подаются на разные входы компаратора. При  $u_\Delta = 0 \div u_\Pi$  силовые транзисторы открыты по сигналам ДПР в течение времени  $t_0 = Tu_\Pi / U_{\Pi \max} = \gamma T$ . При  $U_{\Pi \max} > u_\Delta > u_\Pi$  компаратор выдает прямоугольные импульсы с длительностью  $t_3 = T - t_0 = (1 - \gamma)T$ , которые запирают силовые транзисторы на время  $t_3$ . Очевидно, чем больше напряжение  $u_\Pi$ , тем больше коэффициент  $\gamma$ , время  $t_0$  открытого состояния транзисторов и ток в секциях ЯО  $i = \gamma I$ .

На рис. 2 показаны зависимости характеристик БДПТ от углового положения вала и ротора  $\alpha$  на МКИ ( $\alpha = 60 \div 120^\circ$ ).

Так как зависимость  $m'(\alpha)$  является выпуклой кривой, а зависимость  $i(\alpha)$  — вогнутой кривой, то момент  $m$  изменяется с меньшей пульсацией, чем момент  $m'$  (см. рис. 2).

Напряжение  $u_\Pi$  преобразователя  $\Pi$  сигналов ДПР предлагается при повороте ротора изменять так, чтобы

$$\bar{u}_\Pi = 1 + 0,866r - r \sin \alpha. \tag{3}$$

Так же с помощью ШИМ изменяются относительные значения тока  $\bar{i} = i / I = \bar{u}_\Pi$  и напряжения на секциях ЯО, что соответствует рис. 2. При  $\alpha = 60$  и  $120^\circ$  значение  $\bar{u}_\Pi = \bar{u}_{\Pi \max} = 1$ ; при  $\alpha = 90^\circ$  —  $\bar{u}_\Pi = \bar{u}_{\Pi \min} = 1 - 0,134r < 1$ . Для относительного значе-

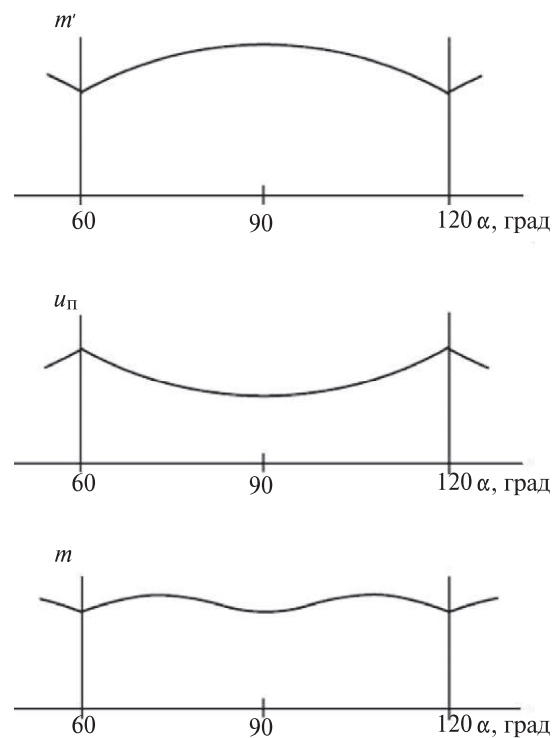


Рис. 2. Зависимости характеристик БДПТ от углового положения вала и ротора  $\alpha$  на МКИ: а — момент  $m'$  на валу БДПТ с обычной коммутацией; б — выходное напряжение  $u_\Pi$  преобразователя  $\Pi$  или тока  $i$  в секциях ЯО; в — момент  $m$  на валу БДПТ по рис. 1

ния момента  $\bar{m}$  БДПТ (рис. 1) справедливо выражение

$$\bar{m} = \bar{m}'\gamma = \bar{m}'\bar{u}_{\Pi}.$$

С учетом (1) и (3) получаем:

$$\bar{m} = (c + \sin\alpha)(1 + 0,866r - r\sin\alpha).$$

Значение  $r$  определим из условия равенства относительных значений момента  $\bar{m}$  в начале, середине и конце МКИ:

$$\begin{aligned} \bar{m}(60^\circ) = \bar{m}(90^\circ) = \bar{m}(120^\circ) = \bar{m}_{\min}; \\ c + 0,866 = (c + 1)(1 + 0,866r - r) = \bar{m}_{\min}, \end{aligned}$$

отсюда

$$r = 1 / (c + 1);$$

$$\bar{m} = (c^2 + 1,866c + 1,866\sin\alpha - \sin^2\alpha) / (c + 1). \quad (4)$$

Максимальное значение  $\bar{m}_{\max}$  определим из уравнения

$$d\bar{m} / d\alpha = 0.$$

С учетом (4) получим решение уравнения:

$$\alpha = 90^\circ; \alpha_m = \arcsin 0,933 - 68,9^\circ;$$

$$\bar{m}_{\max} = \bar{m}(\alpha_m) = \frac{(c + 0,933)^2}{c + 1}.$$

При  $c=0$ , т.е. для простейшего индуктора в виде цилиндрического постоянного магнита с радиальными полюсами, значение  $\mu = 0,26\%$ , а при обычной коммутации  $\mu = 7,18\%$ ; при  $c=0,75 - \mu = 0,09\%$ , а при обычной коммутации  $\mu = 4\%$ ; при  $c=1,0 - \mu = 0,05\%$ , а при обычной коммутации  $\mu = 3,5\%$ .

Пульсация настолько мала, что даже при значительных отклонениях результата расчета  $\bar{u}_{\Pi}$  по (3) пульсация момента не будет превышать 1%.

На рис. 3 ДПР выполнен в виде цилиндрического постоянного магнита с радиальными полюсами. Число полюсов ДПР равно числу полюсов СД. На статоре ДПР расположены три чувствительных элемента (ЧЭ) Э1–Э3 в виде датчиков

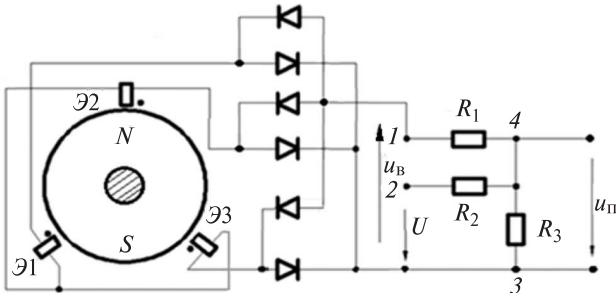


Рис. 3. Устройство датчика положения ротора и преобразователя его сигналов

Холла или интегральной микросхемы с датчиками Холла и линейным усилителем. Элементы смещены относительно друг друга, как и секции ЯО. Все ЧЭ установлены в обойме, которая может поворачиваться относительно якоря для определения и фиксации согласованного с якорем положения. Электрические цепи ЧЭ соединены в виде звезды и приведены к трехфазному мостовому выпрямителю. Выходное напряжение выпрямителя изменяется по закону  $u_B = U_{1m} \sin\alpha$ , где  $U_{1m}$  – амплитуда напряжения между сигнальными выводами двух различных ЧЭ. Зависимость  $u_B(\alpha)$  подобна зависимости  $m'(\alpha)$  на рис. 2. Напряжение  $u_B$  поступает на вход сумматора-вычитателя (СВ), состоящего из трёх резисторов  $R_1, R_2, R_3$ . На другой вход СВ подано постоянное напряжение  $U$ . Для напряжения  $u_{\Pi}$  можно записать выражение:

$$u_{\Pi} = \frac{UR_1 - R_2U_{1m} \sin\alpha}{R_1 + R_2 + R_1R_2 / R_3}.$$

В начале и в конце каждого МКИ ( $\alpha = 60$  и  $120^\circ$ ) напряжение  $u_B$  минимально, поэтому напряжение  $u_{\Pi}$  максимально. В середине каждого МКИ напряжение  $u_B$  максимально, поэтому напряжение  $u_{\Pi}$  минимально (см. рис. 2,б). Изменяя напряжение  $U$  или сопротивления резисторов  $R_1, R_2$ , можно изменять значение  $r$  в (3) и тем самым минимизировать пульсацию момента  $\mu$ .

Рассмотрим БДПТ с усовершенствованной коммутацией. В нем на каждом МКИ ток в секциях ЯО  $i$  (как и напряжение на секциях ЯО) изменяется ступенчато между максимальным значением  $I$  и минимальным  $I_{\min}$ , относительное значение тока  $\bar{i} = i / I$  – между  $I$  и  $\bar{i}_{\min} = I_{\min} / I$ , а относительный момент  $\bar{m}$  – между  $\bar{m}_{\min}$  и  $\bar{m}_{\max}$ .

На рис. 4 показаны зависимости относительных значений моментов и токов от углового положения ротора  $\alpha$  при обычной и усовершенствованной коммутации для четырех ступеней якорного тока ( $n=4$ ).

Уровни ступеней тока обозначены как  $1, \nu, \rho, \bar{i}_{\min}$ , а угловые размеры ступеней – как  $\delta, \beta, \varphi, \psi$ .

Согласно (1) и рис. 4,а

$$\bar{m}_{\min} = \bar{m}(60^\circ) = \bar{m}'(60^\circ) = c + 0,866; \quad (5)$$

$$\bar{m}'_{\max} = \bar{m}'(90^\circ) = c + 1. \quad (6)$$

Так как момент  $m$  пропорционален току  $i$ , то согласно рис. 4:

$$\begin{aligned} \bar{m}_{\min} = \nu\bar{m}_{\max} = \rho[c + \sin(60^\circ + \delta + \beta)] = \\ = \bar{i}_{\min}[c + \sin(60^\circ + \delta + \beta + \varphi)]; \quad (7) \end{aligned}$$

$$\bar{m}_{\max} = c + \sin(60^\circ + \delta) = \nu[c + \sin(60^\circ + \delta + \beta)] =$$

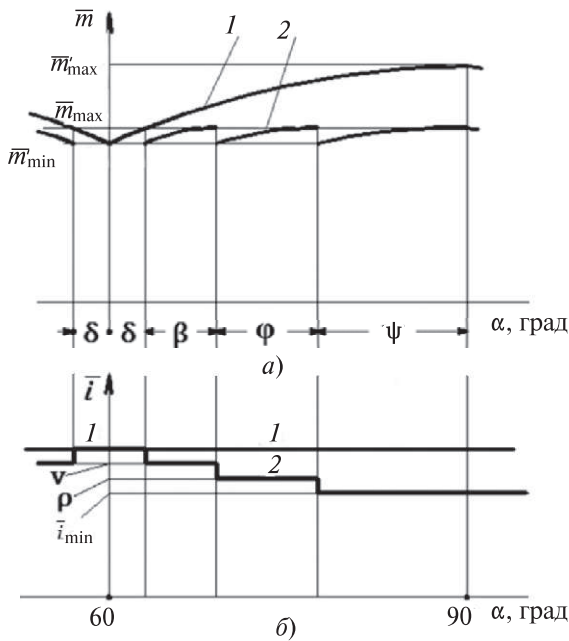


Рис. 4. Зависимости от углового положения ротора  $\alpha$  относительных значений моментов  $\bar{m}'$ ,  $\bar{m}$  (а) и тока  $\bar{i}$  (б): 1 – для обычной коммутации; 2 – для усовершенствованной коммутации

$$= \rho[c + \sin(60^\circ + \delta + \beta + \varphi)] = \bar{i}_{\min} (1 + c). \quad (8)$$

Решив совместно (7) и (8), получим с учетом (5) и (6) выражения:

$$v = \left( \frac{c + 0,866}{c + 1} \right)^{1/4}; \quad \rho = v^2; \quad \bar{i}_{\min} = v^3;$$

$$\bar{m}_{\max} = \bar{m}_{\min} / v; \quad \delta = \arcsin(\bar{m}_{\max} - c) - 60^\circ;$$

$$\beta = \arcsin\left(\frac{\bar{m}_{\max}^2}{\bar{m}_{\min}} - c\right) - 60^\circ - \delta;$$

$$\varphi = \arcsin\left(\frac{\bar{m}_{\max}^3}{\bar{m}_{\min}^2} - c\right) - 60^\circ - \delta - \beta;$$

$$\psi = 30^\circ - \delta - \beta - \varphi.$$

Так как  $4 = n$ ,  $3 = n - 1$ ,  $2 = n - 2$ , то очевидно, что для любого числа ступеней тока  $n$  справедливы выражения:

$$v = \left( \frac{c + 0,866}{c + 1} \right)^{1/n}; \quad \bar{m}_{\max} = \bar{m}_{\min} / v; \quad \bar{i}_{\min} = v^{n-1}.$$

Пульсация момента:

$$\mu = \frac{\bar{m}_{\max} - \bar{m}_{\min}}{\bar{m}_{\max} + \bar{m}_{\min}} 100 = \frac{1 - v}{1 + v} 100\%.$$

Для трех ступеней якорного тока ( $n = 3$ ,  $\rho = 0$ ,  $\psi = 0$ ) выражения для углов  $\delta$  и  $\beta$  такие же, как и для  $n = 4$ , и справедливо выражение

c	Расчетные значения							
	$\bar{i}_{\min}$ при n				$\mu(\%)$ при n			
	1	2	3	4	1	2	3	4
0	1,0	0,931	0,909	0,898	7,18	3,59	2,39	1,80
0,25	1,0	0,945	0,927	0,918	5,66	2,91	1,89	1,42
0,5	1,0	0,954	0,940	0,932	4,68	2,34	1,56	1,17
0,75	1,0	0,961	0,948	0,942	3,98	1,99	1,33	1,00
1,0	1,0	0,967	0,954	0,950	3,47	1,74	1,16	0,87

$$\varphi = 30^\circ - \delta - \beta.$$

В таблице приведены результаты расчета минимального относительного значения тока  $\bar{i}_{\min}$  и пульсации момента  $\mu$  для различных значений отношения  $c$  в (1) и числа ступеней тока  $n$ .

Из таблицы видно, что пульсация момента  $\mu$  при усовершенствованной коммутации в  $n$  раз меньше пульсации при обычной коммутации ( $n = 1$ ) и при  $c \neq 0$  меньше пульсации при  $c = 0$  примерно в  $(c + 1)$  раз.

На практике, зная реальное значение отношения  $d = \bar{m}_{\min} / \bar{m}'_{\max}$  и требуемое значение пульсации  $\mu$ , нужно определить сначала значение  $c$  по (2), а затем по таблице найти необходимое число ступеней  $n$ . Во многих случаях достаточно трех или, в крайнем случае, четырех ступеней якорного тока.

На рис. 5,а показана схема устройства формирования трехступенчатого якорного тока, а на рис. 5,б – осциллограммы напряжений на входе и выходе его компараторов  $K1$  и  $K2$ .

Из рис. 5,а видно, что устройство формирования включено между источником питания и коммутатором. Компараторы  $K1$  и  $K2$  обычно выполняют на основе операционных усилителей. На их прямые входы подано напряжение  $u_B$  (см. рис. 3 и 5,б), а на инверсные входы – опорное напряжение  $U_{оп1}$ , равное напряжению  $u_B (60^\circ + \delta)$ , и опорное напряжение  $U_{оп2}$ , равное напряжению  $u_B (60^\circ + \delta + \beta)$ .

Обозначим через  $R_0$  сопротивление двух последовательно соединенных секций ЯО и будем пренебрегать падением напряжения на транзисторах. На МКИ при  $\alpha = 60^\circ \div (60^\circ + \delta)$  и  $\alpha = (120^\circ - \delta) \div 120^\circ$  открыт транзистор  $VT1$  и через две секции ЯО, например  $AO$  и  $BO$ , протекают токи  $i = I = U_{п} / R_0$  и  $\bar{i} = i / I = 1$ . При  $\alpha = (60^\circ + \delta) \div (60^\circ + \delta + \beta)$  и  $\alpha = (120^\circ - \delta - \beta) \div (120^\circ - \delta)$  открыт транзистор  $VT2$  и протекает ток  $\bar{i} = v = \frac{R_0}{R_1 + R_0}$ . При

$(60^\circ + \delta) + \beta < \alpha < (120^\circ - \delta - \beta)$  закрыты оба транзистора и протекает ток  $\bar{i} = \bar{i}_{\min} = \frac{R_0}{R_1 + R_2 + R_0}$ . Из приве-

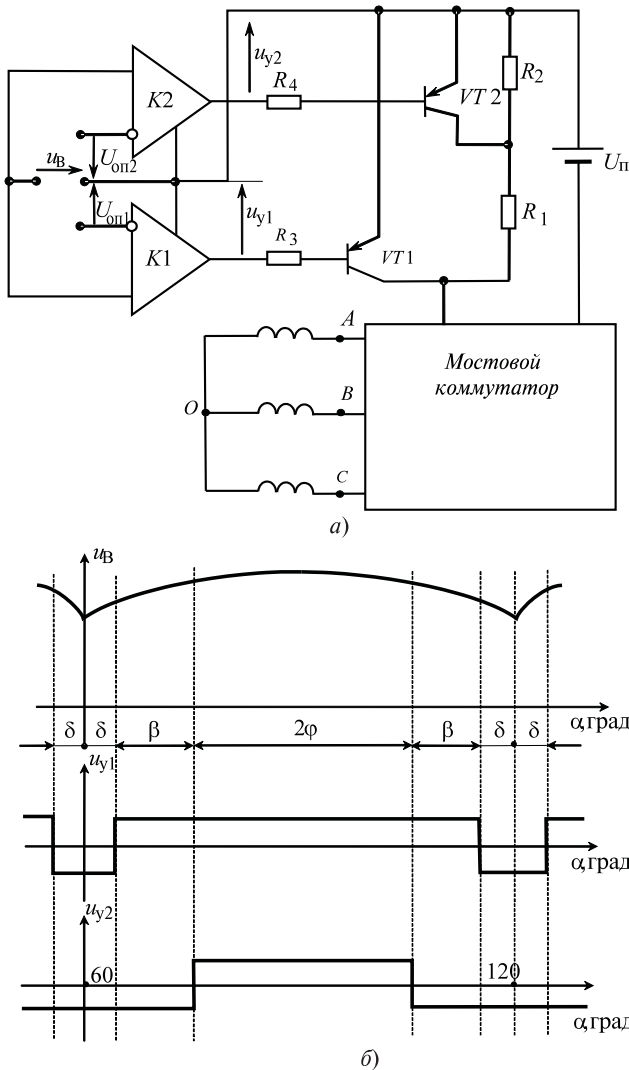


Рис. 5. Схема устройства формирования трехступенчатого якорного тока (а) и осциллограммы напряжений на входе и выходе его компараторов К1 и К2 (б)

денных выражений для относительного значения тока нетрудно получить необходимые выражения для сопротивлений:

$$R_1 = R_0(1 - \nu) / \nu; \quad R_2 = R_0(1 - \bar{i}_{\min}) / \bar{i}_{\min} - R_1.$$

Аналогично можно построить устройство формирования, например, четырехступенчатого якорного тока.

*Elektrichestvo (Electricity), 2017, No. 4, pp. 50–55.*

## Contactless Torque DC Motors with Discrete and Discrete-Analog Control with Respect to Rotor Position

GRIDIN Vladimir M. (The Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russia) – Associate Professor, Cand. Sci. (Eng.)

*In order to decrease torque pulsations in contactless DC motors, the current in the armature winding sections is varied in a smooth or stepped manner at each interval between the switching moments (SI). With such control, the current reaches its maximum value at the beginning and end of each interval and*

**Вывод.** Применение дискретно-аналогового управления током в секциях ЯО по положению ротора уменьшает пульсацию электромагнитного момента моментных БДПТ до значений, не превышающих 1%. Применение усовершенствованной коммутации секций ЯО по положению ротора уменьшает пульсацию момента моментных БДПТ до значений, не превышающих (1–1,5)%.

Рассмотренные в статье моментные БДПТ с дискретно-аналоговым управлением током в секциях ЯО по положению ротора и с усовершенствованной коммутацией секций ЯО по положению ротора могут и должны найти практическое применение.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гридин В.М. Электромагнитные характеристики моментных бесконтактных двигателей постоянного тока. – Вестник Московского государственного технического университета им. Н.Э.Баумана. Серия Машиностроение, 2011, № 2, с. 75–86.
2. Гридин В.М. Бесконтактные тахогенератор и моментный двигатель постоянного тока с двумя индукторами и однополупериодной коммутацией. – Инженерный вестник, 2015, № 11, с. 14.
3. Гридин В.М. Способы уменьшения пульсации момента и выходного напряжения бесконтактных моментных двигателей и тахогенераторов постоянного тока. – Электричество, 2016, № 4, с. 56–61.
4. Конев Ю.И., Розно Я.Г., Владимиров Н.И. Проектирование силовых преобразователей бесконтактных двигателей постоянного тока. – М.: Московский авиационный институт, 1987, 270 с.
5. Косулин В.Д., Михайлов Г.Б., Омельченко В.В., Путников В.В. Вентильные электродвигатели малой мощности для промышленных роботов. – Л.: Энергоатомиздат, 1988, 184 с.
6. Столов Л.И., Афанасьев А.Ю. Моментные двигатели постоянного тока. – М.: Энергоатомиздат, 1989, 223 с.
7. А.с. № 1504746 (СССР). Вентильный электродвигатель / В.М. Гридин. – БИ, 1989, № 32.
8. Прянишников В.А. Электроника: Курс лекций. – СПб: Корона принт, 1998, 400 с.

[16.12.2016]

*Автор: Гридин Владимир Михайлович окончил электромеханический факультет Московского энергетического института в 1963 г. Кандидатскую диссертацию «Исследование и расчет трехфазных бесконтактных двигателей постоянного тока с однополупериодной коммутацией» защитил в 1979 г. Доцент кафедры «Электротехника и промышленная электроника» Московского государственного технического университета им. Н.Э. Баумана.*

has its minimum value at the middle of the interval. The laws for controlling the motor current with respect to rotor position are proposed together with devices using which such control can be implemented. Expressions for the relative electromagnetic torque and its pulsations are obtained. The requirements for the characteristics of control devices at the real minimum-to-maximum torque ratio with the usual armature winding switching pattern, and with permissible torque pulsations not exceeding 1.5% are defined.

Key words: contactless DC motors, smooth and stepped current variation, control laws and devices, torque pulsations

## REFERENCES

1. **Gridin V.M.** *Vestnik MGTU im. Baumana. Ser. Mashinostroyeniye – in Russ. (Bulletin of Bauman Moscow State University. Ser. Maching-bilding)*, 2011, No. 2, pp. 75–86.
2. **Gridin V.M.** *Inzhenernyi vestnik – in Russ. (Engineering Bulletin)*, 2015, No. 11, p. 14.
3. **Gridin V.M.** *Elektrichestvo – in Russ. (Electricity)*, 2016, No. 4, pp. 56–61.
4. **Konev Yu.I., Rozno Ya.G., Vladimirov N.I.** *Proyektirovaniye silovykh preobrazovatelei beskontaktnykh dvigatelei postoyannogo toka (Design power converters of contactless DC motors)*. Moscow, Publ. of the Moscow Aviation Institute, 1987, 270 p.

5. **Kosulin V.D., Mikhailov G.B., Omel'chenko V.V., Putnikov V.V.** *Ventil'nye elektrodvigateli maloi moshchnosti dlya promyshlennykh robotov (Volve low-power electromotors for industrial robots)*. Leningrad, Energoatomizdat, 1988, 184 p.

6. **Stolov L.I., Afanas'yev A.Yu.** *Momentnye dvigateli postoyannogo toka (DC torque motors)*. Moscow, Energoatomizdat, 1989, 223 p.

7. **A.c. No. 1504746 (SSSR).** *Ventil'nyi elektrodvigatel' (Volve electromotor)/V.M. Gridin*. Bulletin of inventions, 1989, No. 32.

8. **Pryanishnikov V.A.** *Elektronika: Kurs lektsii (Electronics. Lecture course)*. St. Petersburg, Publ. «Korona print», 1998, 400 p.

[16,12,2016]

\* \* \*

## ЧИТАТЕЛЯМ, ПОДПИСЧИКАМ, РЕКЛАМОДАТЕЛЯМ ЖУРНАЛА «ЭЛЕКТРИЧЕСТВО»

Подписка в России и странах СНГ принимается в отделениях связи и в подписных агентствах.

Полные тексты статей в формате .pdf размещены на сайте Российской универсальной научной электронной библиотеки (РУНЭБ): [www.elibrary.ru](http://www.elibrary.ru)

Для желающих представить в журнал статью сообщаем, что правила подготовки рукописей публикуются в №№ 6 и 12 каждого года и на сайте журнала.

Реклама в черно-белом изображении может быть размещена на страницах журнала и на его обложке, а также в виде вкладки.

Возможно размещение рекламы в цветном изображении.

Стоимость оплаты рекламных статей – по договоренности.

Номер выходит в конце каждого месяца.

Адрес для переписки: 111250 Москва, Красноказарменная ул., 14, МЭИ,  
редакция журнала «Электричество»  
тел./факс: (495)362-7485  
E-mail: [etr1880@mail.ru](mailto:etr1880@mail.ru)