

Способы уменьшения пульсации момента бесконтактных двигателей и выходного напряжения тахогенераторов постоянного тока

ГРИДИН В.М.

Для уменьшения пульсации момента бесконтактных двигателей постоянного тока (до 2% и менее) предложено на каждом межкоммутационном интервале изменять ток в секциях якорной обмотки так, чтобы в начале и в конце каждого интервала ток был максимальным, а в середине минимальным. Для уменьшения пульсации выходного напряжения бесконтактных тахогенераторов постоянного тока (до 2% и менее) предложено умножить выпрямленное напряжение синхронного генератора на коррекционное напряжение – оно максимально, когда выпрямленное напряжение минимально, и наоборот. Таким образом, для двигателей предложено дискретно-аналоговое управление по положению ротора, а для тахогенераторов – безынерционный фильтр выпрямленного напряжения. Для указанного изменения тока в двигателях и коррекционного напряжения в тахогенераторах предлагается применять датчик положения ротора, у которого число полюсов больше числа полюсов двигателя и тахогенератора.

Ключевые слова: бесконтактные двигатели и тахогенераторы постоянного тока, дискретно-аналоговое управление, пульсация момента, безынерционный фильтр, пульсация выходного напряжения

Бесконтактные двигатели постоянного тока (БДПТ) по сравнению с обычными двигателями постоянного тока не имеют скользящих контактов, поэтому работают более надежно, особенно при внешних воздействиях и в различных средах.

Если БДПТ применяют в качестве моментного двигателя, т.е. низкоскоростного, то его основными характеристиками являются момент на валу и пульсация момента. Пульсации зависят от числа секций якорной обмотки (ЯО) и способа управления током в ее секциях по положению ротора. Известные способы управления по положению ротора обеспечивают прямоугольную либо синусоидальную форму тока в секциях ЯО. В первом случае происходит обычная коммутация, а во втором – непрерывная широтно-импульсная модуляция тока. Исследованию моментных двигателей посвящен ряд работ, например [1–3].

Для обычной коммутации секций ЯО по положению ротора при его повороте электромагнитный момент, а следовательно, и момент на валу изменяются со значительной пульсацией из-за синусообразного распределения магнитной индукции по окружности рабочего воздушного зазора и ограниченного числа секций ЯО. При этом в начале и в конце каждого межкоммутационного интервала (МКИ) момент – минимален, а в середине МКИ – максимален [3].

Чаще всего применяют БДПТ с трёхсекционной ЯО и двухполупериодной коммутацией. Для уменьшения пульсаций электромагнитного момента подбирают ширину полюсов индуктора, профилируют

наружную поверхность полюсов, ЯО выполняют по специальной схеме и т.п. Пульсация при этом составляет не менее 3,5–4 %. Однако во многих случаях, например для гироскопических систем, пульсация не должна превышать 2%.

Целью исследований, предложенных в статье, является уменьшение пульсации электромагнитного момента БДПТ до 1–2%. Для этого рассматривается предложенный в [4] БДПТ, в котором ток в секциях ЯО изменяется по положению ротора таким образом, чтобы в начале и в конце каждого МКИ он был максимален, а в середине МКИ – минимален. Это можно осуществить с помощью широтно-импульсной модуляции (ШИМ) сигналов управления транзисторами коммутатора. При этом отношение длительности сигналов управления к интервалу между соседними сигналами (скважность сигналов) должно быть в начале и в конце каждого МКИ максимальным и равным единице, а в середине МКИ – минимальным и меньшим единицы: $g_{\min} < 1$. Если I – ток в секциях ЯО при обычной коммутации, то при наличии ШИМ ток $i = gI$, а $g = i / I$. Для изменения скважности по положению ротора в БДПТ применены второй датчик положения ротора (ДПР) с большим числом полюсов и преобразователь сигналов этого датчика в напряжение управления ШИМ.

На рис. 1 показана блок-схема БДПТ. Коммутатор K выполнен по мостовой схеме. Для числа секций ЯО $S = 2$ он состоит из 4 или 8 силовых транзисторов при питании от источника, соответственно, со средней точкой и без нее. Для $S = 3$ коммутатор состоит из 6 силовых транзисторов.

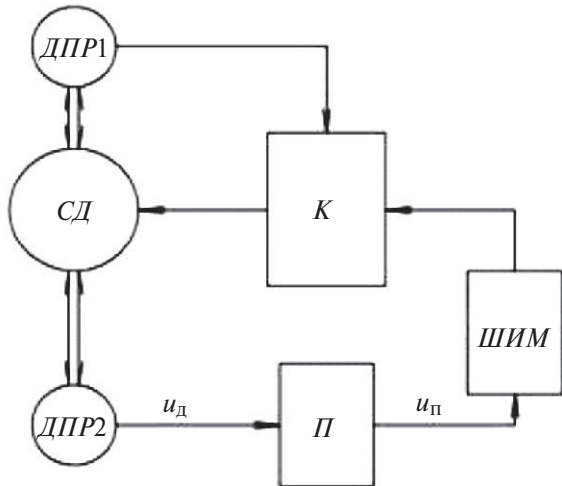


Рис. 1. Блок-схема бесконтактного двигателя постоянного тока: СД – синхронный двигатель; К – полупроводниковый коммутатор; ДПР1 и ДПР2 – датчики положения ротора; П – преобразователь сигналов ДПР2; ШИМ – широтно-импульсный модулятор

ШИМ должен обеспечивать скважность q , пропорциональную напряжению $u_{\text{П}}$ преобразователя П и равную отношению $u_{\text{П}} / U_{\text{пmax}}$, где $U_{\text{пmax}}$ – максимальное напряжение $u_{\text{П}}$ в начале и в конце МКИ. Устройство и работа датчика ДПР2 и преобразователя П рассмотрены ниже.

Бесконтактные тахогенераторы постоянного тока (ТГ) являются наиболее перспективными благодаря компактности, надежности, линейности выходной характеристики. Они состоят из синхронного генератора (СГ) и полупроводникового преобразователя его выходных напряжений. Основными характеристиками ТГ являются выходное напряжение и его пульсация, которая зависит от числа секций ЯО СГ и устройства преобразователя выходных напряжений СГ. Исследованию ТГ посвящен ряд работ, например [5–7].

Обычно СГ выполняют с трехсекционной ЯО, а преобразователь напряжений – в виде мостового выпрямителя из шести диодов. Для уменьшения пульсации выходного напряжения ТГ принимают те же меры, что и для БДПТ. Кроме того, возможно применение RC-фильтра. Однако он не может эффективно фильтровать выпрямленное напряжение для всех возможных значений частоты вращения вала ТГ, особенно для малых. Кроме того, RC-фильтр из-за наличия конденсатора является инерционным устройством. Пульсация выходного напряжения ТГ также составляет не менее 3,5–4%, но во многих случаях не должна превышать 2%.

С целью уменьшения пульсации рассматривается предложенный в [8] ТГ, в котором выпрямленное напряжение СГ умножается на коррекционное напряжение. Для формирования последнего применены ДПР и преобразователь его сигналов.

На рис. 2 показана блок-схема ТГ.

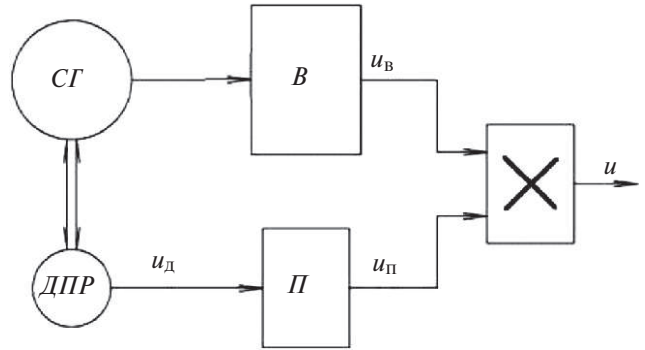


Рис. 2. Блок-схема бесконтактного тахогенератора постоянного тока: СГ – синхронный генератор; В – выпрямитель; ДПР – датчик положения ротора; П – преобразователь сигналов ДПР; X – перемножитель напряжений

Выпрямитель В выполнен по мостовой схеме из 8 диодов при числе секций ЯО $S=2$ или из 6 диодов при $S=3$.

На рис. 3 показаны зависимости характеристик БДПТ и ТГ от углового положения вала и ротора α на межкоммутационном интервале.

В случае тахогенератора под МКИ будем понимать время протекания тока через каждую пару диодов выпрямителя В или период повторения вы-

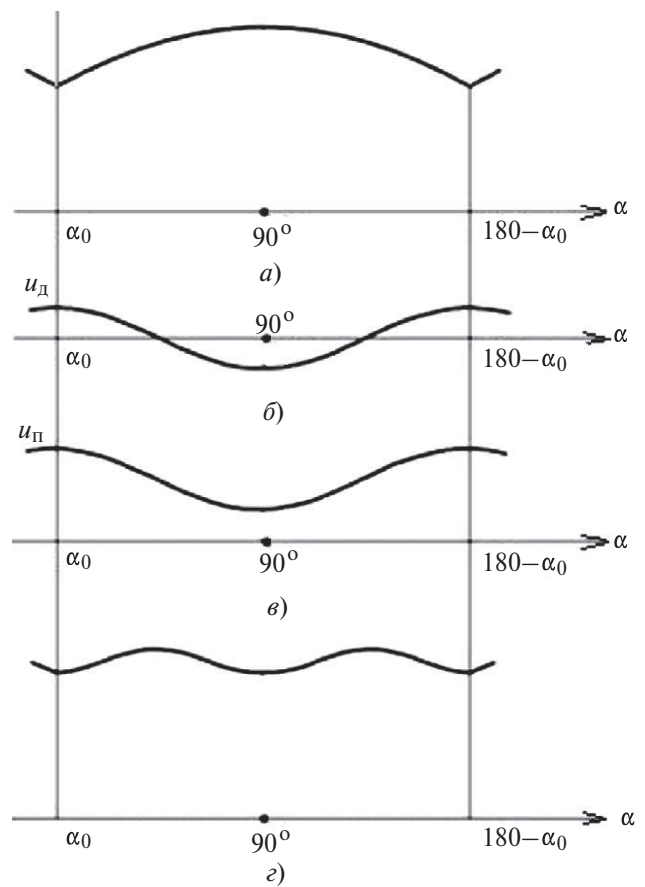


Рис. 3. Зависимости характеристик БДПТ и ТГ от углового положения вала и ротора α на межкоммутационном интервале: а – момент T на валу БДПТ с обычной коммутацией или выпрямленное напряжение u_B ТГ; б – сигнал u_D ДПР2 для БДПТ или ДПР для ТГ; в – выходное напряжение $u_{\text{П}}$ преобразователя П; г – момент T на валу БДПТ по рис. 1 или выходное напряжение u ТГ по рис. 2

прямленного напряжения u_B . Началу МКИ соответствует угол a_0 , середине – угол 90° , а концу – угол $180^\circ - a_0$ (рис. 3). Для БДПТ и ТГ с двухсекционной ЯО ($S=2$) $a_0 = 45^\circ$, а для БДПТ и ТГ с трехсекционной ЯО ($S=3$) $a_0 = 69^\circ$. Согласно рис. 3,в напряжение u_{Π} преобразователя Π есть сумма сигнала u_d и постоянного напряжения, а зависимости $m\check{y}(a)$ и $u_B(a)$ являются выпуклой кривой, зависимость $u_{\Pi}(a)$ – вогнутой кривой. Поэтому момент m на валу БДПТ по рис. 1 и выходное напряжение u ТГ по рис. 2 как пропорциональные произведению соответственно $m\check{y}_{\Pi}$ и $u_B u_{\Pi}$ изменяются со значительно меньшей пульсацией, чем момент $m\check{y}$ и напряжение u_B .

Определим необходимые характеристики датчиков ДПР2, ДПР, преобразователя Π , пульсации электромагнитного момента (далее – момента) m и напряжения u . Будем считать, что на каждом МКИ момент $m\check{y}$ и напряжение u_B являются универсальными функциями угла a :

$$m\check{y} = a_1 + b_1 \sin a; \quad u_B = a_2 + b_2 \sin a.$$

Введем относительные величины:

$$\bar{m}\check{y} = c_1 + \sin a; \quad \bar{u}_B = c_2 + \sin a; \quad \bar{u}_d = u_d / U_{d\max};$$

$$\bar{u}_{\Pi} = u_{\Pi} / U_{\Pi\max},$$

где $c_1 = a_1 / b_1$; $c_2 = a_2 / b_2$; $U_{d\max}$ – максимальное значение сигнала u_d датчиков ДПР2 и ДПР.

Для относительных значений момента \bar{m} БДПТ по рис. 1 и напряжения \bar{u} ТГ по рис. 2 как функций угла a справедливы выражения:

$$\bar{m} = \bar{m}\check{y}g = \bar{m}\check{y}_{\Pi} = (c_1 + \sin a)\bar{u}_{\Pi};$$

$$\bar{u} = \bar{u}_B \bar{u}_{\Pi} = (c_2 + \sin a)\bar{u}_{\Pi}.$$

Вместо двух аналогичных относительных величин \bar{m} и \bar{u} примем и будем рассматривать одну относительную обобщенную величину

$$\bar{d} = (c + \sin a)\bar{u}_{\Pi}. \quad (1)$$

Значение c зависит от конфигурации полюсов индуктора: чем больше c , тем меньше изменяются при повороте ротора значения $m\check{y}$ и m и u_B и u . При c , равном 0; 0,5; 1,0, значение отношений $m\check{y}(45^\circ)/m\check{y}(90^\circ)$, $u_B(45^\circ)/u_B(90^\circ)$ равно соответственно 0,707, 0,805, 0,854, а значение отношений $m\check{y}(60^\circ)/m\check{y}(90^\circ)$, $u_B(60^\circ)/u_B(90^\circ)$ – 0,866, 0,911, 0,933.

Пульсацию момента m и напряжения u будем рассчитывать по формуле:

$$\epsilon = \frac{\bar{d}_{\max} - \bar{d}_{\min}}{\bar{d}_{\max} + \bar{d}_{\min}} 100\%, \quad (2)$$

где \bar{d}_{\max} и \bar{d}_{\min} – максимальное и минимальное значения функции $\bar{d}(a)$.

Для обычных БДПТ и ТГ с двухсекционной ЯО ($\bar{u}_{\Pi} = 1$):

$$\bar{d}_{\min} = c + \sin 45^\circ; \quad \bar{d}_{\max} = c + \sin 90^\circ;$$

$$\epsilon = \frac{29,29}{2c + 1,7071} (\%).$$

Для обычных БДПТ и ТГ с трехсекционной ЯО ($\bar{u}_{\Pi} = 1$):

$$\bar{d}_{\min} = c + \sin 60^\circ; \quad \bar{d}_{\max} = c + \sin 90^\circ;$$

$$\epsilon = \frac{13,4}{2c + 1,866} (\%).$$

Для БДПТ (рис. 1) и ТГ (рис. 2) считаем, что при $a = a_0$, $a = 90^\circ$, $a = 180^\circ - a_0$ значение функции $\bar{d}(a)$ должно быть одинаковым и минимальным (см. рис. 3,з), т.е.

$$\bar{d}_{\min} = \bar{d}(a_0) = \bar{d}(90^\circ). \quad (3)$$

Максимальное значение функции $\bar{d}(a)$, т.е. \bar{d}_{\max} , будем определять из условия

$$\frac{d\bar{d}}{da} = 0. \quad (4)$$

Решив (4), определим значение его корня $a = a_m$, а затем – значение \bar{d}_{\max} как $\bar{d}(a_m)$ и пульсацию ϵ по (2). Относительный сигнал \bar{u}_d в соответствии с рис. 3,б выразим в виде косинусоидальной функции от угла a : $\bar{u}_d = \cos(Ka + j)$.

Выражения и значения для K и j найдём из условий (см. рис. 3,б):

$$\bar{u}_d(a_0) = \cos(Ka_0 + j) = 1;$$

$$\bar{u}_d(90^\circ) = \cos(K90^\circ + j) = -1,$$

отсюда

$$Ka_0 + j = 0, \quad K90^\circ + j = 180^\circ;$$

$$K = \frac{180^\circ}{90^\circ - a_0}; \quad j = -\frac{180^\circ a_0}{90^\circ - a_0}.$$

При $S=2$, $a_0 = 45^\circ$: $K=4$, $j = -180^\circ$, $\bar{u}_d = -\cos 4a$;
при $S=3$, $a_0 = 60^\circ$: $K=6$, $j = -360^\circ$, $\bar{u}_d = \cos 6a$.

Выразим относительные значения напряжения $\bar{u}_{\Pi}(a)$ преобразователя и обобщенной величины $\bar{d}(a)$ в соответствии с рис. 3:

для $S=2$

$$\bar{u}_{\Pi} = g - (1-g)\cos 4a; \quad (5)$$

$$\bar{d} = (c + \sin a)[g - (1-g)\cos 4a]; \quad (6)$$

для $S = 3$

$$\bar{u}_\Pi = h + (1 - h)\cos 6a; \quad (7)$$

$$\bar{d} = (c + \sin a)[h + (1 - h)\cos 6a]. \quad (8)$$

Согласно (5) и (7) при $a = a_0$ и $a = 180^\circ - a_0$ значение $\bar{u}_\Pi = \bar{u}_{\Pi\max} = g_{\max} = 1$.

Для БДПТ и ТГ с двухсекционной ЯО согласно (3) и (6) имеем:

$$(c + 0,7071)Ч = (c + 1)(2g - 1),$$

откуда

$$g = \frac{2c + 1,7071}{2(c + 1)}; \quad \bar{u}_{\Pi\min} = g_{\min} = 2g - 1 = \frac{c + 0,7071}{c + 1} < 1.$$

Применив (4), получим уравнение

$$\frac{d\bar{d}}{da} = 4 \frac{c + \sin a}{\cos a} \sin 4a - \cos 4a + \frac{g}{1 - g} = 0.$$

При $c = 0$: $g = 0,8536$; $\bar{d} = \sin a(0,8536 - 0,1464 \cos 4a)$;
 $a_m = 60,6^\circ$; $\bar{d}_{\min} = \bar{u}_{\Pi\min} = g_{\min} = \sin 45^\circ = 0,7071$;
 $\bar{d}_{\max} = 0,8027$; $\epsilon = 6,33\%$;

для обычных БДПТ и ТГ ($\bar{u}_\Pi = 1$) значение $\epsilon = 17,16\%$.

При $c = 1$: $g = 0,9268$; $\bar{u}_{\Pi\min} = g_{\min} = 0,8536$;
 $\bar{d}_{\min} = 1,7071$; $a_m = 60,2^\circ$; $\bar{d}_{\max} = 1,7979$; $\epsilon = 2,59\%$;

для обычных БДПТ и ТГ значение $\epsilon = 7,90\%$.

Для БДПТ и ТГ с трёхсекционной ЯО согласно (3) и (8) имеем:

$$(c + 0,866)Ч = (c + 1)(2h - 1),$$

отсюда $h = \frac{2c + 1,866}{2(c + 1)}$,

$$\bar{u}_{\Pi\min} = g_{\min} = 2h - 1 = \frac{c + 0,8666}{c + 1} < 1.$$

С учетом (4) получим уравнение

$$\frac{d\bar{d}}{da} = -6 \frac{c + \sin a}{\cos a} \sin 6a + \cos 6a + \frac{h}{1 - h} = 0.$$

При $c = 0$: $h = 0,9330$; $\bar{d} = \sin a(0,9330 + 0,0670 \cos 6a)$;
 $a_m = 70,1^\circ$; $\bar{d}_{\min} = \bar{u}_{\Pi\min} = g_{\min} = \sin 60^\circ = 0,866$;
 $\bar{d}_{\max} = 0,9082$; $\epsilon = 2,38\%$;

для обычных БДПТ и ТГ значение $\epsilon = 7,18\%$.

При $c = 1$: $h = 0,9665$; $\bar{u}_{\Pi\min} = g_{\min} = 0,933$;
 $\bar{d}_{\min} = 1,866$; $a_m = 70,0^\circ$; $\bar{d}_{\max} = 1,9071$; $\epsilon = 1,09\%$;

для обычных БДПТ и ТГ значение $\epsilon = 3,47\%$.

Таким образом, пульсация момента у БДПТ (рис. 1) и пульсация напряжения у ТГ (рис. 2) в три раза меньше, чем у обычных машин.

Рассмотрим устройство и работу датчиков ДПП2 и ДПР, выполненных одинаково, а также преобразователя их сигналов, которые реализуют зависимости $\bar{u}_\Pi(a)$ по (5) и (7). На рис. 4 схематически изображены ДПП в виде чувствительных элементов Э1-Э4 на статоре и цилиндрического постоянного магнита на роторе для различного числа секций якорной обмотки S и пар полюсов СД или СГ p и ДПР p_d . На рис. 4, а и б показаны также преобразователи сигналов ДПП в виде сумматора, состоящего из резисторов $R1, R2, R3$.

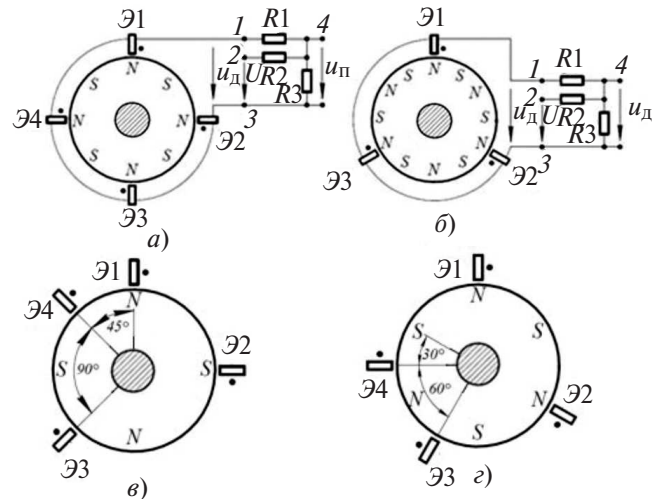


Рис. 4. Устройство датчика положения ротора (а-г) и преобразователя его сигналов (а, б): а – $S = 2$; $p_d = 4p = 4$; б – $S = 3$; $p_d = 6p = 6$; в – $S = 2$; $p_d = 2p = 2$; г – $S = 3$; $p_d = 3p = 3$

Чувствительные элементы Э1-Э4 могут представлять собой, например, элементы Холла или интегральные микросхемы с элементом Холла и линейным усилителем. Точками обозначены начальные сигнальные выходы элементов Э1-Э4. Все элементы установлены в обойме, которая может поворачиваться относительно якоря для определения и фиксации согласованного с якорем положения.

На рис. 4, в и г датчики положения ротора по сравнению с ДПП на рис. 4, а и б являются более простыми, так как число полюсов у них вдвое меньше, однако применяться они должны вместе с удвоителем частоты. На рис. 5 показаны схемы преобразования сигналов ДПП по рис. 4, в и г.

Схемы содержат множитель сигналов ДПП или ДПП2 u_1 и u_2 и сумматор из резисторов $R1-R3$. Рассмотрим, как с помощью датчиков на рис. 4, в и г и множителей сигналов можно получить необходимые зависимости относительного напряжения \bar{u}_d от угла a :

$$\bar{u}_d = -\cos 4a; \quad \bar{u}_d = \cos 6a.$$

Для цилиндрических постоянных магнитов с радиальными полюсами магнитная индукция в воздушном зазоре как функция угла a изменяется по си-

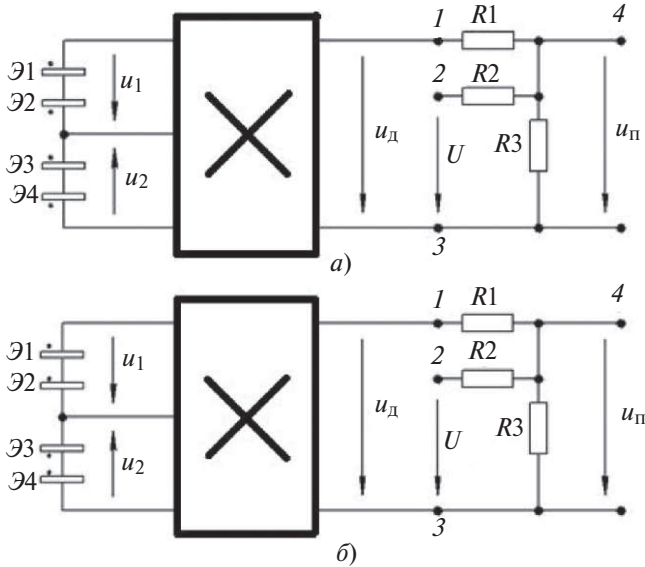


Рис. 5. Схемы преобразования сигналов датчиков положения ротора: а – для по рис. 4, в; б – для по рис. 4, г

нусоидальному закону. Так же изменяются и напряжения на чувствительных элементах ДПР2 и ДПР. Известно, что

$$\sin(2a + b)\cos(2a + b) = \frac{1}{2}\sin(4a + 2b).$$

При $b = -45^\circ$

$$\sin(2a - 45^\circ)\cos(2a - 45^\circ) = -\frac{1}{2}\cos 4a.$$

По аналогии можно получить ($b = 45^\circ$)

$$\sin(3a + 45^\circ)\cos(3a + 45^\circ) = \frac{1}{2}\cos 6a.$$

Значения угла $b = 45^\circ$, $b = -45^\circ$, а следовательно, и указанные зависимости $\bar{u}_d(a)$ можно обеспечить поворотом обоймы с элементами Э1–Э4 относительно якоря в согласованное положение. На рис. 5, а и б сигналы u_1 пропорциональны, соответственно, $\sin(2a - 45^\circ)$ и $\sin(3a + 45^\circ)$, а сигналы u_2 на рис. 4, в и г – $\cos(2a - 45^\circ)$ и $\cos(3a + 45^\circ)$. Напряжения u_d на рис. 4, а и 5, а пропорциональны – $\cos 4a$, а напряжения u_d на рис. 4, б и 5, б пропорциональны $\cos 6a$. Перемножители на рис. 5 действуют как удвоители частоты.

Напряжение u_d поступает на вход 1–3 сумматора (см. рис. 4, а и б, 5, а и б), на его вход 2–3 подано постоянное напряжение U . Для напряжения $u_{\text{п}}$ на выходе 4–3 сумматора нетрудно получить формулу:

$$u_{\text{п}} = \frac{UR_1 + u_d R_2}{R_1 + R_2 + R_1 R_2 / R_3}.$$

В начале и конце каждого МКИ напряжения u_d и $u_{\text{п}}$ имеют максимальные значения. В середине каждого МКИ эти напряжения минимальны, как и на рис. 3, б и в. Напряжение $u_{\text{п}}$ поступает на вход ШИМ (рис. 1) или перемножителя (рис. 2), которые обеспечивают сглаживание момента БДПТ и выходного напряжения ТГ. Изменяя сопротивление резистора R_2 , можно изменять значения коэффициентов g и h в (5)–(8) и тем самым минимизировать пульсации момента БДПТ и выходного напряжения ТГ.

Таким образом, выполненные по предлагаемым в статье схемам БДПТ с дискретно-аналоговым управлением током в секциях якорной обмотки по положению ротора и ТГ с безынерционным фильтром выпрямленного напряжения могут найти практическое применение, поскольку установлено, что пульсации электромагнитного момента БДПТ и выходного напряжения ТГ меньше, чем у известных машин, и не превышают 1,5%.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Столов Л.И., Афанасьев А.Ю. Моментные двигатели постоянного тока. – М.: Энергоатомиздат, 1989, 223 с.
2. Баранов М.В., Бродовский В.Н., Зимин А.В., Каржавов Б.Н. Электрические следящие приводы с моментным управлением исполнительными двигателями. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2006, 240 с.
3. 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.
4. А.с. № 1504746 (СССР). Вентильный электродвигатель/В.М. Гридин. – БИ, 1989, № 32.
5. Путьников В.В., Рыбаков В.С., Слесарев А.В. Реверсивные бесконтактные тахогенераторы постоянного тока. – М.: Информэлектро, 1970, 32 с.
6. Бродовский В.Н., Каржавов Б.Н., Рыбкин Ю.П. Бесконтактные тахогенераторы постоянного тока. – М.: Энергоатомиздат, 1982, 128 с.
7. Тун А.Я. Системы контроля скорости электропривода. – М.: Энергоатомиздат, 1984, 169 с.
8. А.с. № 1684870 (РФ). Вентильный генератор/В.М. Гридин. – БИ, 1991, № 38.

[02.11.15]

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

Ways for Decreasing Torque Pulsations and Output Voltage Ripple in Contactless Torque Motors and DC Tachogenerators

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

In order to decrease pulsations of the torque produced by contactless DC motors (down to 2% and lower), it is proposed to change the current through the armature winding sections in each inter-switching interval so as to have its maximum value at the beginning and end of each interval and the minimum value at the middle of each interval. In order to decrease the output voltage ripple in contactless DC tachogenerators (down to 2% and lower), it is proposed to multiply the synchronous generator's rectified voltage by a correction voltage, which has the maximal value at the minimal rectified voltage and vice versa. Thus, a discrete-analog control with a rotor position feedback signal is proposed for motors, and an inertia-free filter of rectified voltage is proposed for tachogenerators. For organizing the above-mentioned variation of current in the motors and correction voltage in tachogenerators, it is proposed to use a rotor position sensor with the number of poles larger than that in the motor and tachogenerator.

Key words: *contactless motors and DC tachogenerators, discrete-analog control, torque pulsation, inertia-free filter, output voltage ripple*

REFERENCES

1. Stolov L.I., Afanas'ev A.Yu. *Momentnye dvigateli postoyannogo toka* (DC torque motors). Moscow, Publ. Energoatomizdat, 1989, 223 p.
2. Baranov M.V., Brodovskii V.N., Zimin A.V., Karzhavov B.N. *Elektricheskiye sledyaschiye privody s momentnym upravleniyem ispolnitel'nymi dvigatelyami* (Electrical servo drives with torque-controlled executive engines). Moscow, Publ. of Bauman Moscow State Technical University, 2006, 240 p.
3. Gridin V.M. *Vestnik MGTU im. Baumana. Ser. Mashinostroyeniye – in Russ. (Bulletin of Bauman Moscow State University, iss. Maching-bilding)*, 2011, No. 2, pp. 75–86.
4. A.s. No. 1504746 (SSSR). *Ventil'nyi elektrodvigatel'* (Velve electromotor/V.M. Gridin. Bulletin of inventions, 1989, No. 32.
5. Putnikov V.V., Rybakov V.S., Slesarev A.V. *Reversivnye beskontaktnye takhogenatory postoyannogo toka* (Reversible contactless DC tachogenerators). Moscow, Publ. «Informelektr», 1970, 32 p.
6. Brodovskii V.N., Karzhavov B.N., Rybkin Yu.P. *Beskontaktnye takhogenatory postoyannogo toka* (Contactless DC tachogenerators). Moscow, Energoatomizdat, 1982, 128 p.
7. Tun A.Ya. *Sistemy kontrolya skorosti elektroprivoda* (Electric speed control systems). Moscow, Energoatomizdat, 1984, 169 p.
8. A.s. No. 1684870 (RF). *Ventil'nyi generator* (Velve generator)/V.M. Gridin. Bulletin of inventions, 1991, No. 38.

* * *

Вниманию предприятий, организаций, НИИ, вузов России и зарубежных фирм!

Журнал «Электричество» предоставляет свои страницы для

- РЕКЛАМЫ ИЗДЕЛИЙ отечественных предприятий и зарубежных фирм в области энергетики, электротехники, электроники, автоматики
- ПУБЛИКАЦИИ ОБЪЯВЛЕНИЙ о научных симпозиумах, конференциях, совещаниях, семинарах
- ДРУГОЙ ИНФОРМАЦИИ, соответствующей тематике журнала

Сообщаем, что журнал поступает к зарубежным подписчикам.

Тел./факс (495)362-7485

E-mail: etr1880@mail.ru; ls.kudinova@rambler.ru