

БЕСКОНТАКТНЫЙ ОДНОСЕКЦИОННЫЙ МИКРОДВИГАТЕЛЬ ПОСТОЯННОГО ТОКА

Е. Т. Дикий, Г. А. Пархоменко

(Представлена научным семинаром кафедр электрических машин
и общей электротехники)

В настоящее время в ряде областей техники возникла потребность в микродвигателях для привода микровентиляторов, питающихся от источника постоянного тока [1]. Применение для привода вентиляторов коллекторных микродвигателей, а также бесконтактных микродвигателей постоянного тока с непрерывным электромагнитным моментом [2], является в некоторых случаях нерациональным из-за присущих им тех или иных недостатков.

Так как при пуске двигателя с вентиляторной нагрузкой момент, создаваемый на валу двигателя вентилятором, плавно изменяется с нуля до установившегося значения, то имеется возможность применить для привода микровентиляторов бесконтактный микродвигатель постоянного тока с прерывным или импульсным электромагнитным моментом, который по весовым и габаритным характеристикам более приближается к коллекторным микродвигателям постоянного тока, но вместе с тем лишен их главного недостатка — наличия механического контакта в щеточно-коллекторном узле.

В статье приводятся теоретические и экспериментальные исследования бесконтактных микродвигателей постоянного тока с импульсным электромагнитным моментом. Конструктивно рассматриваемый бесконтактный электродвигатель состоит из однофазного электродвигателя, датчика положения ротора и полупроводникового коммутатора. Для обеспечения запуска электродвигателя предусматривается специальное устройство, удерживающее ротор в заданном положении. Удерживающее устройство и ротор двигателя выполняются с применением постоянных магнитов. Полупроводниковый коммутатор может выполняться как совместно с двигателем, так и отдельно от него, в зависимости от предъявляемых к приводу технических требований.

Датчик положения ротора выдает сигналы, которые автоматически управляют работой полупроводникового коммутатора таким образом, что обмотка электродвигателя подключается к источнику постоянного тока при определенных положениях ротора двигателя относительно статора.

Удерживающее устройство при нерабочем состоянии привода фиксирует ротор относительно статора в таком положении, что в момент подключения электродвигателя к источнику питания, силовой транзистор коммутатора оказывается открытым и по обмотке статора протекает пусковой ток, который, взаимодействуя с магнитным потоком ротора, создает пусковой импульсный момент.

В процессе разгона электродвигателя обмотка статора питается однопольными импульсами переменной частоты. Теоретическое и экспериментальное исследования показывают, что величина скважности импульсов существенно влияет на энергетику электродвигателя. С целью получения достаточно высокого к.п.д. и хороших пусковых свойств в рассматриваемом микродвигателе принята скважность, равная 3.

При выводе выражений для электромагнитного момента и скорости вращения ротора рассматриваемого микродвигателя принимаем следующие условия:

1. Время включения и выключения транзисторного ключа ввиду его малости по сравнению с периодом не учитываем.
2. Эдс, наводимая в обмотке статора двигателя при вращении ротора, практически синусоидальна.

Мгновенное значение эдс в обмотке статора определяется выражением:

$$e = E_m \sin \omega t,$$

где

$$E_m = \sqrt{2} \cdot 4,44 \cdot W_\phi \cdot K_0 \cdot p \cdot n \cdot \Phi \cdot 10^{-8}$$

W_ϕ — число оборотов ротора в сек,

K_0 — обмоточный коэффициент первой гармонической,

p — число пар полюсов двигателя,

n — число оборотов ротора в сек,

Φ — полезный магнитный поток пары полюсов в мкс.

В рассматриваемом микродвигателе чувствительные элементы датчика положения ротора ориентируются относительно статора таким образом, что обмотка статора подключается к источнику питания в такие моменты времени, когда эдс, наводимая в обмотке полем ротора, сохраняет один знак, а кривая ее симметрично расположена относительно прямоугольных импульсов, как показано на рис. 1.

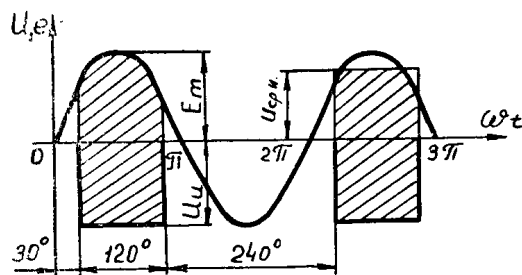


Рис. 1. Диаграмма ЭДС и напряжения питания двигателя

Так как через каждый поворот ротора на 2π электрических градусов процесс коммутации в микродвигателе периодически повторяется, то для анализа его работы достаточно рассмотреть электромагнитные процессы в течение времени, за которое происходит указанный поворот ротора.

Для практических расчетов удобно пользоваться средними значениями импульсного электромагнитного момента, развиваемого двигателем. Выражение для среднего значения импульсного электромагнитного момента получим, пользуясь выражением для среднего импульсного значения эдс и электромагнитной мощности. Среднее импульсное значение эдс, наводимой в обмотке, за время коммутации при вращении ротора в рассматриваемом электродвигателе равно

$$E_{\text{ср. и.}} = \frac{1}{\frac{\pi}{6} - \frac{5\pi}{6}} \int_{\frac{\pi}{6}}^{\frac{5\pi}{6}} E_m \cdot \sin \omega t dt = 0,827 E_m.$$

После подставления значения E_m получаем:

$$E_{\text{ср и}} = 5,18 \cdot k_0 \cdot W_{\text{ф}} \cdot p \cdot n \cdot \Phi \cdot 10^{-8},$$

или

$$E_{\text{ср и}} = C_e \cdot n \cdot \Phi,$$

где

$$C_e = 5,18 \cdot k_0 \cdot W_{\text{ф}} \cdot p \cdot 10^{-8}.$$

Если микродвигатель потребляет средний ток $I_{\text{ср.}}$, то средний импульсный ток $I_{\text{ср и}}$ при принятой скважности равен

$$I_{\text{ср и}} = 3 \cdot I_{\text{ср.}}$$

а импульсная средняя электромагнитная мощность и средняя электромагнитная мощность за время поворота на 2π электрических градусов соответственно равны

$$P_{\text{эм и}} = 3 \cdot I_{\text{ср.}} \cdot E_{\text{ср и}}, \quad P_{\text{эм. ср}} = I_{\text{ср}} E_{\text{ср и}}$$

Среднее значение импульсного электромагнитного момента и среднего электромагнитного момента получим из выражений для средней импульсной электромагнитной мощности и средней электромагнитной мощности:

$$M_{\text{ср. и}} = \frac{P_{\text{эм. и}}}{\Omega}, \quad M_{\text{ср}} = \frac{P_{\text{эм. ср}}}{\Omega},$$

где $\Omega = 2\pi n$ — угловая скорость вращения ротора. После преобразований окончательно получим

$$M_{\text{ср и}} = 0,84 \cdot k_0 \cdot W_{\text{ф}} \cdot p \cdot I_{\text{ср и}} \cdot \Phi \cdot 10^{-9} \quad (\text{кгм})$$

$$M_{\text{ср}} = 0,84 \cdot k_0 \cdot W_{\text{ф}} \cdot p \cdot I_{\text{ср}} \cdot \Phi \cdot 10^{-9} \quad (\text{кгм})$$

Выражение для средней скорости вращения ротора получим, пользуясь уравнением эдс электродвигателя. Если к зажимам электродвигателя подводятся с определенной частотой однополярные импульсы напряжения с амплитудой $u_{\text{и}} = \text{const}$, то на ротор действует импульсный электромагнитный момент, который приводит ротор во вращение. Во время пауз движение ротора продолжается по инерции за счет изменения кинетической энергии вращающихся частей привода. В общем случае электродвигатель работает в переходном режиме, при котором обратная эдс, импульсный ток в статоре и скорость вращения ротора не прерывно изменяются. При этом в обмотке статора возникает эдс самоиндукции — $L \frac{di}{dt}$, где L — индуктивность цепи статора. Уравнение эдс

электродвигателя примет вид

$$u - \Delta u - e - L \frac{di}{dt} = i R.$$

При практических расчетах эдс самоиндукции можно пренебречь, ввиду малости L , и представить уравнение эдс электродвигателя в виде

$$u - \Delta u - E_{\text{ср и}} = I_{\text{ср и}} \cdot R,$$

где R — результирующее омическое сопротивление цепи статора, Δu — падение напряжения на коллектор-эмиттерном переходе силового транзистора. Подставив значение $E_{\text{ср и}}$, получаем выражение для средней скорости вращения ротора электродвигателя:

$$n = \frac{u - \Delta u - 3I_{\text{ср}} R}{C_e \cdot \Phi} \text{ об/сек.}$$

Для успешного запуска микродвигателя необходимо выполнить следующие условия:

1. Удерживающее устройство должно надежно удерживать ротор двигателя в строго определенном положении относительно статора.

2. Кинетическая энергия вращающихся частей привода, полученная за время действия первого импульса электромагнитного момента при пуске, должна быть больше энергии, необходимой для преодоления сил торможения ротора за время последующей паузы.

Первое условие можно легко выполнить, предусмотрев в конструкции микродвигателя один или два постоянные магнита. Необходимо при этом отметить, что удерживающее устройство при вращении ротора практически не создает дополнительных потерь в двигателе, так как среднее значение момента, создаваемого за время поворота ротора на 2π электрических градусов, равно нулю.

Второе условие представим следующим неравенством:

$$A_1 - A_2 > A_3,$$

A_1 — работа движущих сил, прикладываемых к ротору, за время действия первого импульса электрической энергии при пуске;

A_2 — работа сил торможения за то же время;

A_3 — работа сил торможения за время первой паузы при пуске.

При принятой скважности, равной 3, вышеуказанные работы можно представить следующими выражениями:

$$A_1 = M_{\text{ср п}} \frac{2}{3} \pi \cdot k_1,$$

$$A_2 = \frac{2}{3} \pi \cdot k_1 (M_{\text{ср т}} + M_{\text{ср у}}),$$

$$A_3 = \frac{4}{3} \pi \cdot k_2 \cdot M_{\text{ср т}}.$$

После подстановки неравенство примет следующий вид:

$$k_1 (M_{\text{ср п}} - M_{\text{ср т}} - M_{\text{ср у}}) > 2k_2 \cdot M_{\text{ср т}}$$

k_1 — коэффициент, учитывающий то обстоятельство, что действие первого импульса электрической энергии при пуске прекратится раньше, чем ротор повернется на угол 120 электрических градусов;

k_2 — коэффициент, учитывающий возрастание сил сопротивления вращению ротора за счет возникновения нагрузки с появлением скорости вращения ротора.

$M_{\text{ср п}}$ — пусковой момент двигателя при подаче первого импульса.

$$M_{\text{ср п}} = 0,84 \cdot k_0 \cdot W_{\text{ф}} \cdot p \cdot I_{\text{п}} \cdot \Phi \cdot 10^{-9},$$

где

$$I_{\text{п}} = \frac{u - \Delta u}{R};$$

$M_{\text{ср у}}$ — средний момент удерживающего устройства за время поворота на 120 электрических градусов;

$M_{\text{ср т}}$ — средний момент сил торможения ротора за время поворота его на 2π электрических градусов, состоящий из момента трения подшипников и добавочных реактивных моментов, возникающих из-за неравномерности магнитного сопротивления статора по окружности воздушного зазора.

Т а б л и ц а 1

Тип двигат.	U в	I _{дв} а	M гсм	M _{эм} гсм	n об/мин	η %	M _{эм} расч гсм	n расч об/мин	2p
МБИ-1	27	0,2	30	53,5	7500	42,6	54,6	7900	4
МБИ-2	24	0,41	100	172	4300	44,8	165	4130	4

Для практической проверки вышеприведенных выражений были изготовлены макетные образцы микродвигателей, испытания которых показали хорошее соответствие расчетных и реальных параметров. Данные испытаний и расчета приведены в табл. 1.

Теоретические исследования и экспериментальные испытания макетных образцов бесконтактных микродвигателей постоянного тока с импульсным электромагнитным моментом позволяют сделать следующие выводы:

1. При проектировании электроприводов с вентиляторной нагрузкой в некоторых случаях бесконтактный микроэлектродвигатель постоянного тока с импульсным электромагнитным моментом имеет существенные преимущества по сравнению с коллекторными микродвигателями постоянного тока и бесконтактными микродвигателями постоянного тока с непрерывным электромагнитным моментом.

2. Приведенные выражения для электромагнитного момента и скорости вращения рассматриваемого микродвигателя приемлемы для практических инженерных расчетов при частотах коммутации примерно до 500 гц.

ЛИТЕРАТУРА

1. Э. А. Лодочников, В. Г. Шеминов, А. Г. Пархоменко и др. Серия микроэлектроприводов типа МБ. «Электротехника», 1966, № 2.
2. И. Е. Овчинников, Н. И. Лебедев, Бесконтактные двигатели постоянного тока автоматических устройств. «Наука», 1966.