

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ПЯТИФАЗНОГО ВЕНТИЛЬНОГО ДВИГАТЕЛЯ ПРИ ПОЛНОЙ КОММУТАЦИИ

П.Г. Вигриянов

Филиал Южно-Уральского государственного университета в г. Златоусте

STUDY OF POWER PARAMETERS OF FIVE-PHASE AC ELECTRONIC MOTOR AT FULL COMMUTATION

P.G. Vigriyanov

Zlatoust Branch of South Ural State University

Проводится анализ влияния индуктивности обмотки якоря электромеханического преобразователя на энергетические параметры пятифазного вентильного двигателя при полной коммутации.

Ключевые слова: *пятифазный вентильный двигатель, энергетические параметры.*

The influence of inductance of the electromechanical converter armature coil on the power parameters of five-phase AC electronic motor at full commutation is analyzed.

Keywords: *five-phase AC electronic motor, power parameters.*

Вентильный двигатель постоянного тока по принципу действия аналогичен машине постоянного тока, у которой роль щеточно-коллекторного аппарата выполняет полупроводниковый коммутатор, управляемый сигналами датчика положения ротора. В отличие от коллекторного двигателя вентильный двигатель имеет меньшее число фаз обмотки. Поэтому работа вентильного двигателя сопровождается возникновением периодического переходного процесса, который зависит от способа коммутации, индуктивности обмоток и частоты вращения. На этапе предварительного проектирования систем вентильного электропривода наиболее полную информацию об исполнительном элементе можно получить по его электромеханическим характеристикам и энергетическим параметрам. Для получения этих зависимостей существуют различные методы расчета, однако наибольшей точностью обладает метод исследования по мгновенным значениям переменных [1].

Исследование энергетических параметров вентильных двигателей с малым числом фаз (не более четырех) описано достаточно подробно и приведено, например, в работах [2, 3]. Вместе с тем одним из перспективных путей развития является применение электроприводов, выполненных на базе многофазных вентильных двигателей [4]. Но многие вопросы, касающиеся специфики работы многофазных вентильных двигателей и обоснования выбора исполнения вентильного привода, слабо освещены в литературе.

Одним из основных вопросов выбора исполнительного элемента вентильного привода является оценка его энергетических параметров. Рассмотрим основные этапы и последовательность расчета на примере пятифазного вентильного двигателя с разомкнутой обмоткой якоря, питающейся от одного источника, при работе всех фаз (полная коммутация). Исследование энергетических параметров проводим по мгновенным значениям координат по методике, приведенной в [5]. Согласно этой методике, сначала определяются мгновенные значения фазных координат при заданной частоте вращения ротора. Затем, применяя один из методов численного интегрирования, находим потребляемую и электромагнитную мощности на периоде повторяемости электромагнитных процессов, после чего определяем величину электромагнитного КПД. Расчет проводится в относительных единицах. Задавая несколько значений относительной частоты вращения и рассчитывая энергетические параметры, получаем энергетические характеристики для интересующего нас режима работы ВД [6].

Относительные значения потребляемой мощности P_1 , электромагнитной мощности P_3 и электромагнитного КПД μ_3 исправного двигателя определяются на одном межкоммутационном интервале по выражениям:

$$P_1 = \frac{1}{\Delta} \int_0^{\Delta} F_1 d\theta_p; P_3 = \frac{1}{\Delta} \int_0^{\Delta} F_2 d\theta_p; \mu_3 = \frac{P_3}{P_1}.$$

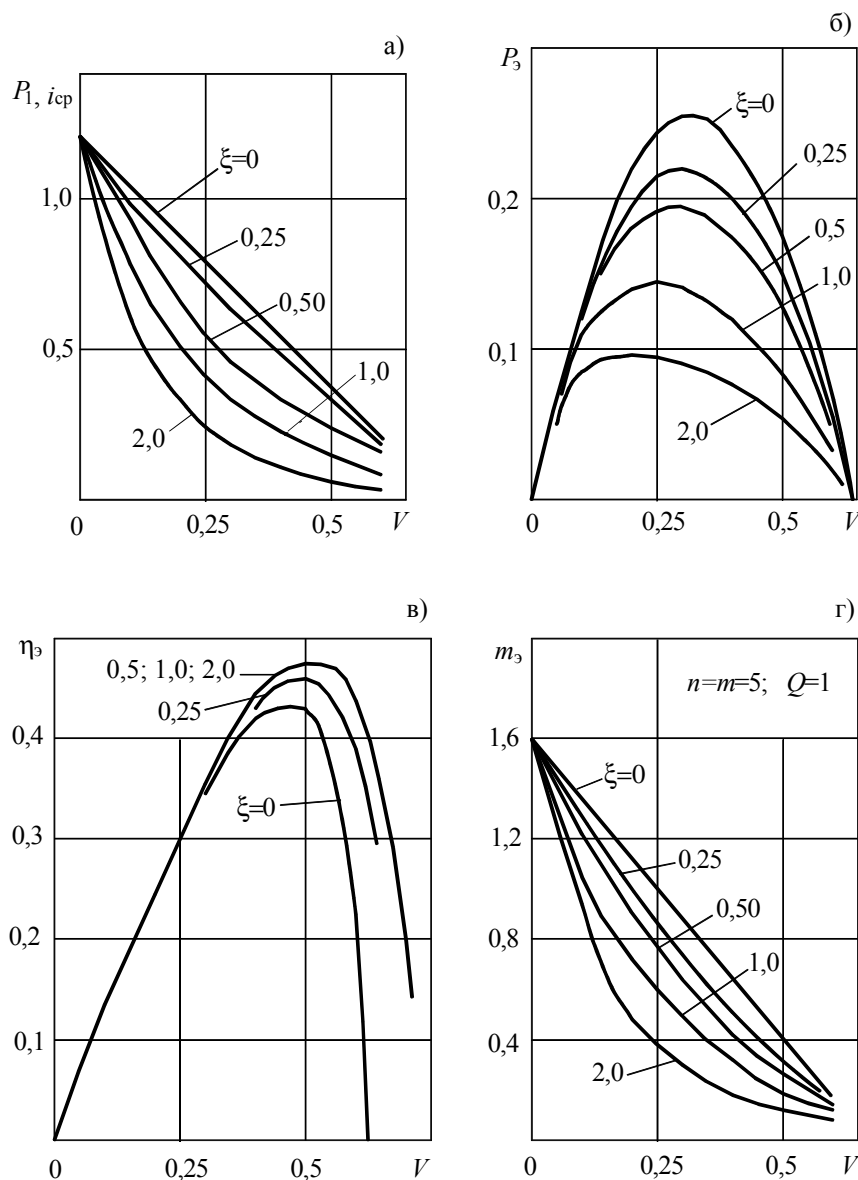


Рис. 1. Характеристики пятифазного ВД при полной нейтральной коммутации для $\xi=0; 0,25; 0,5; 1,0; 2,0$

Здесь Δ – длительность межкоммутационного интервала; θ_p – угол поворота ротора; V – относительная угловая частота вращения. Функция F_1 – сумма мгновенных значений токов, потребляемых от всех источников питания; функция F_2 – сумма произведений относительных мгновенных значений фазных токов и ЭДС. Следует отметить, что при постоянной величине напряжения источника питания относительное среднее значение тока (i_{cp}), потребляемого из сети, равно относительному значению потребляемой мощности P_1 .

В качестве базовых величин напряжения, тока приняты соответствующие величины, относящиеся к контуру, состоящему из двух последовательно соединенных фаз обмотки:

$$U_6 = U_n; \quad I_6 = \frac{U_n}{2r}; \quad P_6 = \frac{U_n^2}{2r}.$$

Здесь r – активное сопротивление фазы обмотки якоря.

Влияние параметров обмотки якоря на энергетические показатели учитываем с помощью коэффициента ξ , который по своей сути является относительным индуктивным сопротивлением контура при базовой частоте вращения. В качестве базовой частоты вращения принимаем частоту идеального холостого хода двигателя. Поскольку частота вращения ротора двигателя изменяется от нуля до частоты идеального холостого хода, то введем относительное индуктивное сопротивление контура при текущей частоте вращения τ . Обе эти величины связаны между собой:

$$\tau = \frac{\omega_p L}{R} = \left(\frac{\omega_6 L}{R} \right) \left(\frac{\omega_p}{\omega_6} \right) = \xi V,$$

где L , $R=2r$ – индуктивность и активное сопротивление контура; ω_6 – базовая частота вращения.

Характеристики пятифазных вентильных двигателей для разных величин относительных индуктивностей обмотки якоря ($\xi = 0,25 \dots 2,0$) при полной нейтральной коммутации и синусоидальном поле индуктора в воздушном зазоре приведены на рис. 1. Для сравнения даны характеристики идеализированного вентильного двигателя, в котором индуктивность обмотки и $\xi = 0$. Электромеханическая характеристика $i_{cp} = f(V)$ такого двигателя (рис. 1, а) представляет собой прямую линию. По мере увеличения частоты вращения ротора среднее значение потребляемого из сети тока уменьшается. Наличие индуктивности фаз обмотки якоря приводит к уменьшению потребляемого тока при одинаковых частотах вращения тем большему, чем больше становится величина этой индуктивности. Причиной этого является увеличение влияния индуктивного сопротивления фаз на характер протекания периодического переходного процесса, протекающего в обмотке якоря.

Величина электромагнитной мощности двигателя, согласно полученным характеристикам (рис. 1, б), зависит от частоты вращения и индуктивности обмотки якоря, причем каждая кривая имеет явно выраженный максимум электромагнитной мощности ($P_{\max}$). Этот максимум с увеличением индуктивности уменьшается (с 0,252 для идеализированного двигателя до 0,096 для двигателя с $\xi = 2,0$), и положение его смещается в сторону уменьшения частоты вращения (соответственно с 0,33 до 0,19). Таким образом, наличие индуктивности обмотки якоря приводит к уменьшению величины электромагнитной мощности во всем диапазоне рабочих частот вращения вентильного двигателя. Поскольку характеристика имеет две ветви, то двигатель, кроме экстремальной точки, развивает одинаковую величину электромагнитной мощности при двух значениях частоты вращения. Однако электромагнитный КПД двигателя в этих точках (рис. 1, в) будет разным. При меньшей частоте вращения имеем меньший КПД, так как токи в обмотке якоря и электрические потери в этой точке характеристики будут больше, чем во второй точке, соответствующей более высокой частоте вращения.

В отношении электромагнитного КПД вентильного двигателя индуктивность действует противоположно, то есть увеличивает его (рис. 1в). Худшими энергетическими показателями обладают двигатели, обладающие меньшей величиной индуктивности обмотки якоря. Это объясняется наличием короткозамкнутых контуров, образованных параллельно соединенными фазами. Электрические потери в этих контурах вызывают существенное снижение КПД, особенно заметное в слу-

чае пренебрежения величиной индуктивности обмотки ($\xi=0$). Если величина относительного индуктивного сопротивления $\xi > 0,5$, то потери в короткозамкнутых контурах влияния на электромагнитный КПД практически не оказывают. Кроме этого увеличение относительного индуктивного сопротивления обмотки якоря смещает положение максимума КПД в область более высоких частот вращения (на 0,04).

Вместе с оценкой энергетических параметров двигателя желательно знать и его механическую характеристику (рис. 1, г). На вид механической характеристики существенное влияние оказывают параметры двигателя. Для идеализированного двигателя механическая характеристика представляет собой прямую линию. Увеличение индуктивности обмотки якоря изменяет форму характеристики, увеличивая её нелинейность.

Энергетические параметры вентильного двигателя чаще всего служат критериями оценки эффективности преобразования энергии для заданных режимов работы и позволяют количественно определить требования к параметрам проектируемой машины при заданном числе фаз обмотки якоря при полной коммутации. Одновременно с этим производится оценка потребляемого двигателем тока (или мощности) и его выходных координат.

Таким образом, количественная оценка энергетических параметров вентильного двигателя для различных вариантов исполнения обмотки якоря электромеханического преобразователя позволяет получить полную информацию об исполнительном элементе электропривода и провести его обоснованный выбор в соответствии с требованиями технического задания.

Выводы

1. Показана необходимость разработки многофазных вентильных двигателей постоянного тока, определены основные этапы и последовательность расчета энергетических характеристик этих двигателей в ходе предварительного проектирования исполнительного элемента бесконтактного электропривода.

2. Исследование интегральных параметров вентильных двигателей предложено проводить по мгновенным значениям координат по предложенной автором методике исследования физических процессов в электромеханических преобразователях с постоянной структурой. На основе этой методики разработан программный комплекс исследования электромагнитных процессов многофазных вентильных двигателей в исправном состоянии.

3. Получены энергетические характеристики пятифазного вентильного двигателя при разной величине индуктивности обмотки якоря. Анализ их позволил количественно оценить влияние величины индуктивного сопротивления обмотки якоря на электромагнитную мощность и электромагнитный КПД при изменении частоты вращения от

нуля до частоты холостого хода. Вместе с этим получены электромеханическая и механическая характеристики. Показано, что увеличение индуктивности обмотки якоря изменяет форму характеристик и приводит к увеличению нелинейности каждой из них.

4. Получен набор характеристик пятифазного вентильного двигателя при полной нейтральной коммутации, что позволяет провести количественно обоснованный выбор параметров обмотки якоря для заданных режимов работы.

Литература

1. Вигриянов, П.Г. Выбор метода расчета энергетических характеристик вентильного двигателя при полной коммутации / П.Г. Вигриянов, С.Г. Воронин. – Челябинск: ЧПИ, 1988. – 8 с. – Деп. в Информэлектро 27.07.87, № 863-эт.
2. Дубенский, А.А. Бесконтактные двигатели

постоянного тока / А.А. Дубенский – М.: Энергия, 1967. – 144 с.

3. Овчинников, И.Е. Бесконтактные двигатели постоянного тока / И.Е. Овчинников, Н.И. Лебедев. – Л.: Наука, 1979. – 270 с.

4. Сидельников, Б.В. Перспективы развития и применения бесконтактных регулируемых электродвигателей / Б.В. Сидельников // Известия вузов. Электромеханика. – 2005. – № 2. – С. 14–20.

5. Вигриянов, П.Г. Электромагнитные процессы многофазных вентильных двигателей: монография / П.Г. Вигриянов. – Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2007. – 143 с.

6. Расчет энергетических характеристик многофазных вентильных двигателей малой мощности при полной коммутации: свидетельство об офиц. регистрации программы для ЭВМ № 2012614306 Российская Федерация / П.Г. Вигриянов. – № 2012611850; опубли. 14.05.12.

Поступила в редакцию 16.04.2012 г.

Вигриянов Павел Георгиевич – кандидат технических наук, доцент кафедры «Электрооборудование и автоматизация производственных процессов», Южно-Уральский государственный университет, филиал в г. Златоусте. Область научных интересов – исследование электромагнитных процессов многофазных вентильных двигателей в нормальных и аварийных режимах работы. Контактный телефон: 8-(3513) 66-58-69 (доб. *2111). E-mail: vpg_postbox@mail.ru

Vigriyanov Pavel Georgievich – Candidate of Science (Engineering), Associate Professor of “Electrical Equipment and Production Process Automation” Department of Zlatoust Branch of South Ural State University. Research interests: study of electromagnetic processes of multiphase AC electronic motors in normal and emergency operation modes. Contact telephone number: 8-(3513) 66-58-69 (ext. * 2111). E-mail: vpg_postbox@mail.ru