

ВЛИЯНИЕ СМЕЩЕНИЯ ЗОНЫ КОММУТАЦИИ НА ХАРАКТЕРИСТИКИ ВЕНТИЛЬНО-РЕАКТИВНОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА

Введение. Энергетические показатели вентильно - реактивного электропривода (ВРЭП), состоящего из электромеханического преобразователя (ЭМП) и системы управления (СУ), в значительной степени зависят от параметров его коммутации – углов включения и выключения фаз [1]. Изменение этих параметров позволяет повысить эффективность ВРЭП и улучшить его эксплуатационные характеристики. В [2] проведен анализ влияния таких параметров коммутации, как симметричное расширение зоны коммутации и расширение зоны коммутации в сторону опережения включения фазы на характеристики ВРЭП. Применение результатов этих исследований на практике требует реализации СУ ВРЭП, которая должна позволять изменять углы включения и выключения фаз ЭМП ВРЭП независимо друг от друга. В то же время результаты [2] не могут быть применены для СУ ВРЭП, в которых реализуется одиночная коммутация фаз ЭМП. Изменение углов включения и выключения в этих СУ может происходить только синхронно, при этом зона коммутации остается постоянной и только смещается на определенный угол $\Delta\theta_k$ в сторону согласованного (запаздывание включения фазы) или рассогласованного (опережение включения фазы) положения полюсов статора и ротора.

Постановка задачи исследования. Целью исследования является анализ влияния смещения зоны коммутации на эксплуатационные показатели ВРЭП, работающего на «естественной» механической характеристике.

Материалы исследования. Исследование проводилось для четырехфазного ВРЭП с ЭМП, имеющим соотношение полюсов статор/ротор - 8/6 (рис.1). Смещение зоны коммутации принималось в сторону опережения включения фазы, т.е. в сторону рассогласованного положения полюсов статора и ротора. Основные технические данные исследуемого ВРЭП приведены в таблице 1.

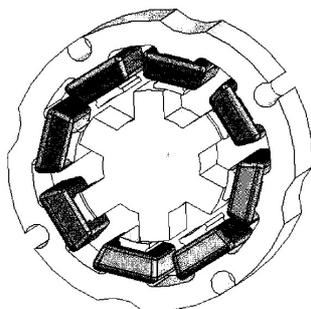


Рис. 1 – ЭМП ВРЭП с соотношением полюсов статор/ротор - 8/6

Таблица 1 - Основные технические данные исследуемого ВРЭП

| | |
|--|-------|
| Напряжение питания, В | 24 |
| Номинальный момент, Нм | 0,055 |
| Внешний диаметр статора, мм | 53 |
| Активная длина статора, мм | 28 |
| Воздушный зазор, мм | 0,15 |
| Число витков фазы | 120 |
| Коэффициент полюсного перекрытия статора | 0,5 |
| Коэффициент полюсного перекрытия ротора | 0,42 |
| Зона коммутации, гр. | 15 |

При проведении исследований применялась математическая модель ВРЭП, разработанная в среде MatLab Simulink. Модель позволяет анализировать динамические и квазиустановившиеся режимы работы ВРЭП с различными типами СУ. В основу модели положена система уравнений:

$$(1) \quad \begin{cases} U_{\phi} = i_{\phi} \cdot R_{\phi} + \frac{d\Psi_{\phi}}{dt}, \\ M - M_c = J \frac{d\omega}{dt}, \end{cases}$$

где U_{ϕ} – напряжение, i_{ϕ} – ток, R_{ϕ} – активное сопротивление и Ψ_{ϕ} - потокосцепление фазы; M_c – момент сопротивления; M - момент ВРЭП; J – суммарный момент инерции электропривода, ω - угловая скорость, t – время.

При моделировании принималось, что фазы магнитно независимы, а магнитная система ЭМП симметрична относительно фаз. Решение системы (1) осуществлялось с использованием нелинейных зависимостей

$$(2) \quad \begin{cases} \Psi_{\phi} = f(I_{\phi}, \Theta), \\ M_{\phi} = f(I_{\phi}, \Theta), \end{cases}$$

полученных при возбуждении одной фазы на основе численного расчета магнитного поля ЭМП ВРЭП [3]. В уравнениях (2) Θ - угол между осями полюсов статора и ротора. В модели введен учет влияния потерь в стальном сердечнике магнитопровода ЭМП на характеристики ВРЭП.

Для оценки адекватности предложенной модели был проведен сопоставительный анализ расчетных и экспериментальных естественных механических характеристик ВРЭП, полученных без смещения зоны коммутации ($\Delta\Theta_k=0$ гр.), со смещением зоны коммутации на 2,5 гр. ($\Delta\Theta_k=2,5$ гр.) и на 5 гр. ($\Delta\Theta_k=5$ гр.) (рис.2).

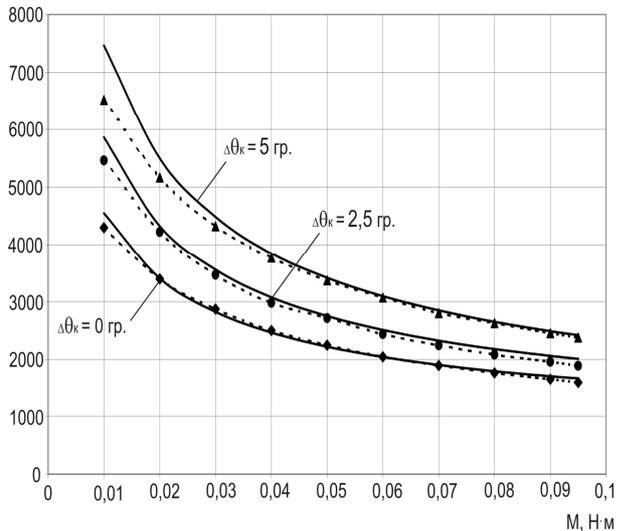


Рис. 2 – Естественные механические характеристики ВРЭП

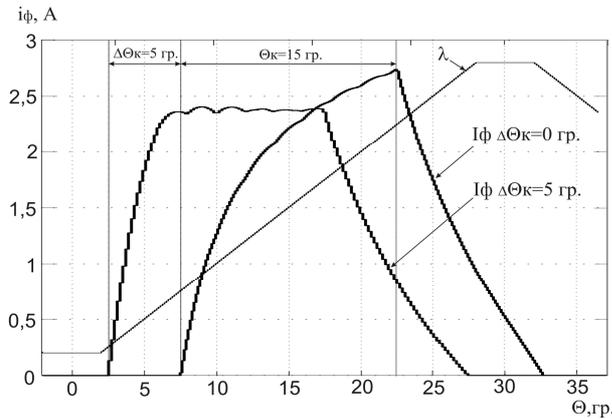


Рис. 3 – Зависимость тока фазы от положения ротора при работе ВРЭП с $\Delta\Theta_k=0$ гр. и с $\Delta\Theta_k=5$ гр

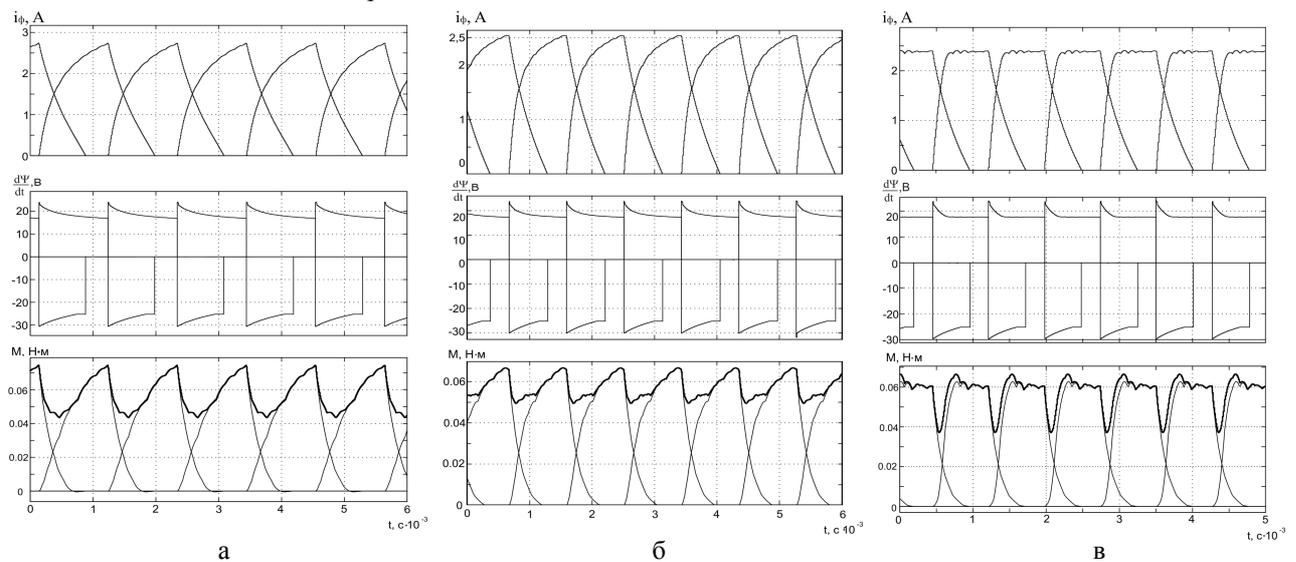


Рис. 4 – Осциллограммы i_ϕ , $\frac{d\Psi_\phi}{dt}$ и $M = f(t)$ при работе ВРЭП с номинальной нагрузкой при $\Delta\Theta_k=0$ (а), $\Delta\Theta_k=2,5$ гр. (б), $\Delta\Theta_k=5$ гр. (в)

Сплошными линиями на рис. 2 показаны результаты моделирования, а пунктирными – результаты эксперимента.

Из представленных на рис. 2 данных видно, что отличие экспериментальных и расчетных характеристик не превышает 7% в диапазоне нагрузок от 0,02 Нм до 0,095 Нм, что позволяет сделать вывод о возможности использования разработанной модели для проведения расчетных исследований ВРЭП.

Оценим влияние смещения зоны коммутации на эксплуатационные характеристики рассматриваемого ВРЭП. Как следует из графиков на рис. 2, при смещении зоны коммутации до 5 гр. частоту вращения ЭМП ВРЭП можно увеличить в 1,5 раза при его работе с номинальным моментом нагрузки. Рост частоты вращения обусловлен улучшением условий для создания электромагнитного момента ВРЭП, что иллюстрируется рис. 3, где показаны токи фаз ЭМП в зависимости от положения ротора при работе ВРЭП с $\Delta\Theta_k=0$ гр. и $\Delta\Theta_k=5$ гр. (λ - идеализированная магнитная проводимость.) При $\Theta_k=0$ гр. полюса статора и ротора ЭМП находятся в рассогласованном положении, а при $\Theta_k=30$ гр. – в согласованном. Двигательный момент в ВРЭП создается при условии протекания тока в его фазах на участке возрастания магнитной проводимости λ и определяется как

$$M_\Phi = \frac{1}{2} (i \cdot w)^2 \frac{\partial \lambda}{\partial \Theta} \Big|_{i=\text{const}}, \quad (3)$$

где M_Φ - мгновенный момент фазы ЭМП, Нм; i – мгновенный ток фазы ЭМП, А; w – число витков фазы ЭМП; Θ - угол между осями полюсов статора и ротора, гр. Из рис. 3 видно, что при смещении зоны коммутации в сторону опережения включения фазы ток в ней достигает необходимого для создания движущего момента значения раньше, чем без смещения зоны коммутации, и, соответственно, при этом необходимый электромагнит-

ный момент фазы создается также раньше. Кроме того, при этом уменьшается максимальное значение тока фазы и в форме тока появляется участок, на котором ток практически не изменяется. На рис. 4 показаны осциллограммы: токов четырех фаз ЭМП (i_{ϕ}), производной $\frac{d\Psi}{dt}$, равной по модулю противо-ЭДС, и электромагнитных моментов фаз при работе ВРЭП без смещения зоны коммутации и со смещениями зоны коммутации $\Delta\theta_k=2,5$ гр. и $\Delta\theta_k=5$ гр. Результирующий момент от всех фаз ЭМП показан на осциллограмме моментов жирной линией. Видно, что с увеличением угла смещения зоны коммутации форма тока фазы изменяется. Так уже при $\Delta\theta_k=5$ гр. форма тока фазы имеет плоский участок, что обусловлено равномерным изменением потокосцепления фазы и противо-ЭДС в первом уравнении системы (1) – производная от потокосцепления постоянна (рис.4, в). Так как при $\Delta\theta_k=5$ гр. отключение фаз ЭМП происходит при меньшем значении тока в них и меньшем значении магнитных проводимостей, чем при $\Delta\theta_k=0$ гр., то при этом уменьшается запасенная электромагнитная энергия в ЭМП и, соответственно, токи обмена энергией между фазами ЭМП и источником питания ВРЭП. При номинальной нагрузке ВРЭП и $\Delta\theta_k=0$ гр. доля тока на обмен энергией между ЭМП и источником питания по отношению к общему току ВРЭП составляла 13,7%, а при $\Delta\theta_k=5$ гр. - 7,6%. В таблице 2 приведены результаты исследования влияния смещения зоны коммутации на характеристики ВРЭП при его работе с номинальным моментом нагрузки.

Таблица 2 - Влияние смещения зоны коммутации на характеристики ВРЭП при его работе с номинальным моментом нагрузки

| $\Delta\theta_k$, гр | I_d , А | $I_{\phi m}$, А | n , об/мин. | η , % | P_2 , Вт | M_1^* , % | M_2^* , % | M_3^* , % | M_4^* , % | K_{Π} , % |
|-----------------------|-----------|------------------|---------------|------------|------------|-------------|-------------|-------------|-------------|---------------|
| 0 | 1,16 | 2,75 | 2220 | 42,4 | 11,8 | 26,3 | 2,9 | - | 4 | 26,5 |
| 2,5 | 1,24 | 2,55 | 2750 | 47,9 | 14,2 | 12,8 | 4,7 | 3,4 | - | 15,7 |
| 5 | 1,4 | 2,38 | 3370 | 52,6 | 17,6 | 14,1 | 13 | 6,9 | 3,3 | 28,3 |

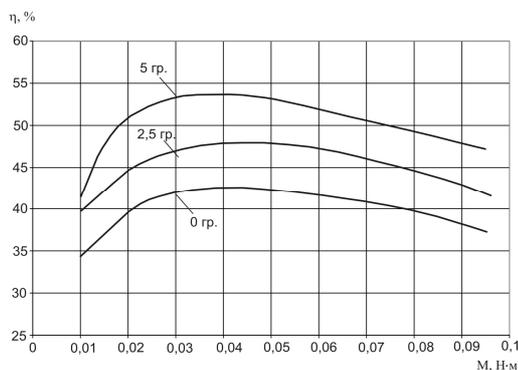


Рис. 5 – Зависимость КПД ВРЭП от момента нагрузки

Из таблицы 2 видно, что с увеличением $\Delta\theta_k$ средний ток источника питания (I_d) увеличивается, т.к. при этом растет выходная мощность ВРЭП (P_2), а максимальный ток фазы ($I_{\phi m}$) уменьшается на 15%. Улучшение использования магнитной системы ЭМП и уменьшение амплитуды тока в фазах ВРЭП обусловило увеличение его КПД во всем диапазоне моментов нагрузки (рис.5). Так при номинальной нагрузке и $\Delta\theta_k=5$ гр. КПД (η) увеличился в 1,26 раза по сравнению с КПД при $\Delta\theta_k=0$ гр.

В таблице 2 приведены основные гармоники электромагнитного момента ВРЭП (M_1^* , M_2^* , M_3^* , M_4^*) по отношению к его среднему значению и коэффициент пульсаций электромагнитного момента K_{Π} . Из рис. 4 видно, что пульсации момента

при увеличении $\Delta\theta_k$ сначала уменьшаются, а затем начинают расти. Это обусловлено тем, что с увеличением $\Delta\theta_k$ происходит более раннее отключение фазы ЭМП на участке создания электромагнитного момента (рис.3), и кривая результирующего электромагнитного момента ВРЭП имеет провал (рис. 4 в).

Выводы. Исследовано влияние смещения зоны коммутации фаз на характеристики ВРЭП при его работе на естественной механической характеристике с одиночной коммутацией фаз. Показано, что смещение зоны коммутации в значительной степени влияет на частоту вращения, КПД и пульсации электромагнитного момента ВРЭП.

Для исследуемого ВРЭП за счет смещения зоны коммутации удалось:

- повысить КПД в 1,26 раза при работе с номинальным моментом нагрузки;
- повысить скорость вращения при номинальном моменте нагрузки в 1,5 раза и тем самым увеличить диапазон регулирования вверх от основной скорости при $\Delta\theta_k=0$ гр.

При проектировании ЭМП для работы с постоянными параметрами нагрузки необходимо учесть возможность повышения его КПД и скорости за счет работы со смещением зоны коммутации фаз. При этом возможно получение заданных характеристик ВРЭП с меньшими пульсациями токов, меньшими потерями в ЭМП и силовом преобразователе ВРЭП.

Литература.

1. Ткачук В. Электромеханотроніка: Підручник.– Львів: Видавництво Національного університету “Львівська політехніка”. 2006. – 440 с.
2. Влияние параметров коммутации на характеристики вентильно – реактивного электропривода/ И.Н.Радимов, В.В.Рымша, З.П.Процина, М.В.Гулый // Электромашинобудування та електрообладнання. – 2006. №67. – С. 82-87.
3. Радимов И.Н., Рымша В.В., Малеванный О.Е. Моделирование режимов работы вентильного индукторного двигателя // Электротех. і електромеханіка. – 2002. №2. – С. 60-64.