

МЕТОДИКА РАСЧЕТА ПАРАМЕТРОВ ОБМОТКИ ЯКОРЯ АВТОТРАКТОРНОГО ГЕНЕРАТОРА КОМБИНИРОВАННОГО ВОЗБУЖДЕНИЯ

Розглянуті питання методики визначення індуктивних опорів реакції якоря по подовжній і поперечних вісях індукторного автотракторного генератора. По розробленій методиці розраховані параметри обмотки якоря для експериментальної партії автотракторних генераторів комбінованого збудження потужністю 1 кВт. Експериментальні генератори пройшли успішні випробування і рекомендовані для виробництва на підприємстві "УКРЕЛЕКТРОМАШ".

Рассмотрены вопросы методики определения индуктивных сопротивлений реакции якоря по продольной и поперечной осям индукторного автотракторного генератора. По разработанной методике рассчитаны параметры обмотки якоря для опытной партии автотракторных генераторов комбинированного возбуждения мощностью 1 кВт. Опытные генераторы прошли успешные испытания и рекомендованы для производства на предприятии "УКРЕЛЕКТРОМАШ".

Введение. Решение проблемы повышения надежности системы автотракторного электрооборудования является создание бесконтактных генераторов. Отсутствие скользящего контакта в таких машинах в значительной степени повышает надежность и долговечность, снижает требования к квалификации обслуживающего персонала. Многообразие исполнения бесконтактных генераторов можно разделить на три основных класса:

- с электромагнитным возбуждением;
- с возбуждением от постоянных магнитов;
- с комбинированным возбуждением.

Генераторы с электромагнитным возбуждением (индукторные, с вращающимся выпрямителем и др.) обладают существенным недостатком. Они не обеспечивают самовозбуждение генератора при отсутствии аккумуляторной батареи либо при ее разряде. Генераторы с постоянными магнитами усложняют устройство регулятора напряжения ввиду широкого диапазона изменения частоты вращения приводного двигателя. В связи с этим перспективным является генератор с комбинированным возбуждением, где постоянные магниты ротора обеспечивают самовозбуждение, а обмотка возбуждения поддерживает требуемое напряжение (рис. 1) [1].

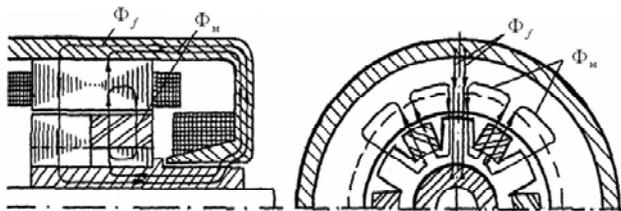


Рис. 1

Сложные условия эксплуатации генераторных установок, повышенные вибрации, значительные перепады температуры и влажности окружающей среды, трудности профилактики и текущего ремонта предъявляют ряд требований к таким установкам:

- срок службы до первого капитального ремонта не менее 7000 моточасов;
- минимальная потребность в техническом уходе;
- стабильность напряжения бортовой сети;
- самоограничения по максимальному току;
- конструктивное исполнение, позволяющее объединить генератор, выпрямитель и регулятор напряжения в один блок – генераторную установку.

Следует отметить, что ряд изложенных требований находятся в известном противоречии друг с другом, поэтому при проектировании требуются опреде-

ленные компромиссы для отыскания оптимальных решений [1, 2].

Методика расчета параметров обмотки якоря.

Расчет обмотки якоря выполняется при проектировании генератора, поэтому число витков в фазе, геометрию катушек обмотки якоря, активные и индуктивные сопротивления рассеяния фазы считаем известными. Расчету подлежат индуктивные сопротивления реакции якоря обмотки по продольной X_{ad} и поперечной X_{aq} осям, которые определяются магнитными проводимостями по осям d и q . Ось d совпадает с осью постоянного магнита, а ось q совпадает с осью зубца ротора.

Для определения проводимостей потока реакции якоря воспользуемся методом Поля. Взаимное положение зубцовых зон якоря и ротора, соответствующие проводимости по оси d представлены на рис. 2.

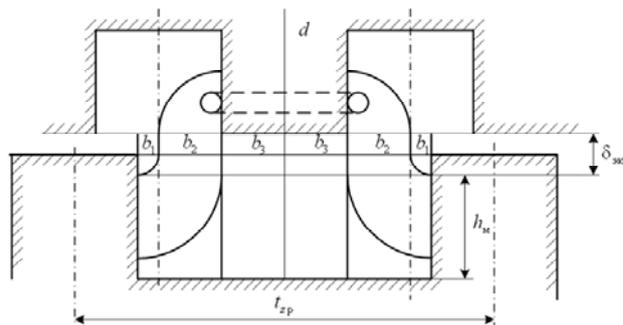


Рис. 2. Взаимное положение зубцовых зон якоря и ротора

Удельная проводимость λ_{ady} определяется силовыми трубками магнитного поля b_2, b_3, b_3, b_2 (рис. 2). При этом силовая трубка шириной b_2 состоит из двух частей: верхней, включающей паз якоря и воздушный зазор, и нижней, включающей паз ротора. Предварительно принимаем, что магнитная проницаемость постоянного магнита близка к μ_0 (в дальнейшем магнитная проницаемость постоянного магнита может быть учтена).

$$\lambda_1 = \int_0^{a_1} \frac{1}{\delta_{\text{ЭКВ}} + 2 \cdot \beta_r} \cdot d_r = \frac{1}{2 \cdot \beta} \cdot \frac{\delta_{\text{ЭКВ}} + \beta \cdot a_1}{\delta_{\text{ЭКВ}}}; \quad \lambda_2 = \frac{a_2}{\delta};$$

$$\lambda_{aq} = 2 \cdot \lambda_1 + 2 \cdot \lambda_2.$$

В выражениях для коэффициентов удельных проводимостей отдельных магнитных силовых трубок

$$b_1 = \frac{t_{зр}}{18}; \quad b_2 = \frac{t_{ня}}{2}; \quad b_3 = \frac{t_{зр}}{2}; \quad a_1 = \frac{b_{ня}}{2}; \quad a_2 = \frac{b_{зр}}{2},$$

где $t_{зр}$ – зубцовое деление ротора; $b_{ня}$ – ширина паза якоря; $b_{зр}$ – ширина зубца якоря.

Магнитная проводимость реакции якоря по оси d и q определим из выражения [3]

$$\lambda_{ad} = \lambda_{ady} \cdot l_{я} \cdot \mu_0 \cdot K_{фм} \cdot K_{ad},$$

$$\lambda_{aq} = \lambda_{aqy} \cdot l_{я} \cdot \mu_0 \cdot K_{фм} \cdot K_{aq},$$

где $K_{фм}$ – коэффициент формы поля возбуждения; K_{ad} , K_{aq} – коэффициенты приведения МДС реакции якоря по продольной и поперечной осям к МДС постоянно-го магнита

$$K_{ad} = \frac{B_{ad1}}{B_{ad}} \cdot \frac{B_{\delta 0}}{B_{\delta 01}}; K_{aq} = \frac{B_{aq1}}{B_{aq}} \cdot \frac{B_{\delta 0}}{B_{\delta 01}},$$

где B_{ad} , B_{aq} , $B_{\delta 0}$ – максимальное значение индукций, созданные МДС реакции якоря по продольной, поперечной осям и постоянными магнитами; B_{ad1} , B_{aq1} , $B_{\delta 01}$ – первые гармоники индукции, созданные МДС реакции якоря по продольной, поперечной осям и постоянным магнитом [3].

Значения B_{ad} , B_{aq} , $B_{\delta 0}$ могут быть определены из построения картины распределения индукции в воздушном зазоре на основании распределения проводимости воздушного зазора, а B_{ad1} , B_{aq1} , $B_{\delta 01}$ могут быть получены из разложения кривых распределения индукции в ряд Фурье.

Индуктивные сопротивления обмотки якоря, обусловленные потоком реакции якоря по продольно и поперечной осям.

$$\lambda_{2 \text{ верх}} = \int_0^{b_2} \frac{1}{\delta + \beta \cdot r} \cdot d \cdot r = \frac{1}{\beta} \cdot \frac{\delta + \beta \cdot b_2}{\delta};$$

$$\lambda_{2 \text{ нижн}} = \int_0^{b_1+b_2} \frac{1}{\beta \cdot r} \cdot d \cdot r = \frac{1}{\beta} \cdot \ln \frac{b_1 + b_2}{b_1};$$

$$\lambda_2 = \frac{\lambda_{2 \text{ верх}} \cdot \lambda_{2 \text{ нижн}}}{\lambda_{2 \text{ верх}} + \lambda_{2 \text{ нижн}}}.$$

Силовая магнитная трубка шириной b_3 также состоит из двух частей: верхней, включающей воздушный зазор $\delta_{эвк}$, и нижней, включающей магнит высотой h_m :

$$\lambda_{3 \text{ верх}} = \frac{b_3}{\delta}; \lambda_{3 \text{ нижн}} = \frac{b_3}{h_m};$$

$$\lambda_3 = \frac{\lambda_{3 \text{ верх}} \cdot \lambda_{3 \text{ нижн}}}{\lambda_{3 \text{ верх}} + \lambda_{3 \text{ нижн}}}; \lambda_{ady} = 2\lambda_2 + 2\lambda_3.$$

Взаимное положение зубцовых зон якоря и ротора, соответствующее проводимости по оси q представлено на рис. 3.

Индуктивное сопротивление реакции якоря по продольной X_{ad} и поперечной X_{aq} осям определяется из выражений:

$$X_{ad} = \frac{4 \cdot m_s \cdot f}{\pi \cdot p} \cdot (W_s \cdot K_{W_s})^2 \cdot \lambda_{ad};$$

$$X_{aq} = \frac{4 \cdot m_s \cdot f}{\pi \cdot p} \cdot (W_s \cdot K_{W_s})^2 \cdot \lambda_{aq},$$

где W_s – число витков фазы обмотки якоря; K_{W_s} – обмоточный коэффициент обмотки якоря.

Полное индуктивное сопротивление по продольной X_d и поперечной X_q осям

$$X_d = X_{ad} + X_{\sigma s}; X_q = X_{aq} + X_{\sigma s},$$

где $X_{\sigma s}$ – индуктивное сопротивление рассеяния обмотки якоря.

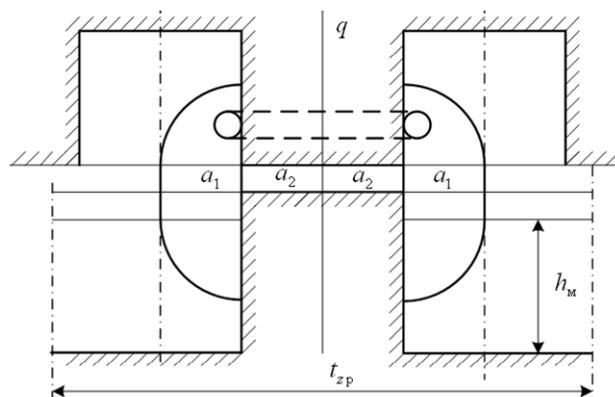


Рис. 3. Взаимное положение зубцов якоря и ротора, соответствующее проводимости по оси q

Выводы. Применяя разработанную методику можно рассчитывать параметры обмотки якоря, определить индуктивные сопротивления реакции якоря по продольной d и поперечной q осям индукторного генератора комбинированного возбуждения. По предложенной методике рассчитана обмотка якоря автотракторного генератора мощностью 1 кВт. На заводе "Укрэлектромаш" изготовлена опытная партия таких генераторов. Генераторы прошли успешные испытания и рекомендованы для внедрения в серийное производство.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Акимов С.В., Акимов А.В., Лейкин А.П. Генераторы зарубежных автомобилей. – М.: За рулем, 1997. – 87 с.
2. Балагуров В.А., Галтеев Ф.Ф. Электрические генераторы с постоянными магнитами. – М.: Энергоатомиздат, 1988. – 570 с.
3. Петренко А.Н., Иваненко В.Н., Осташевский Н.А. Математическая модель автотракторного генератора с комбинированным возбуждением // Электротехника і електромеханіка. – 2002. – №1. – С. 61-65.
4. Бут Д.Л. Бесконтактные электрические машины. – М.: Высшая школа, 1990. – 348 с.

REFERENCES: 1. Akimov S.V., Akimov A.V., Lejkin A.P. *Generatory zarubezhnykh avtomobilej*. Moscow, Za rulem Publ., 1997. 87 p. 2. Balagurov V.A., Galteev F.F. *Elektricheskie generatory s postojannymi magnitami*. Moscow, Energoatomizdat Publ., 1988. 570 p. 3. Petrenko A.N., Ivanenko V.N., Ostashevskij N.A. Matematicheskaja model' avtotraktornogo generatora s kombinirovannym vobuzhdeniem. *Electrical engineering & electromechanics*, 2002, no.1, pp. 61-65. 4. But D.L. *Beskontaktnye elektricheskie mashiny*. Moscow, Vysshaja shkola Publ., 1990. 348 p.

Поступила (received) 11.11.2013

Петренко Александр Николаевич, к.т.н., Харьковский национальный университет городского хозяйства им. А.Н. Бекетова, 61002, Харьков, ул. Революции, 12

A.N. Petrenko

O.M. Beketov Kharkiv National University of Municipal Economy 12, Revolution Str., Kharkiv, 61002, Ukraine

An armature winding parameter calculation technique for an automotive compositely excited generator.

The paper deals with problems of determining armature reaction inductance in the longitudinal and transverse axes of an induction automotive generator. By means of a developed technique, armature winding parameters for a pilot batch of 1 kW automotive compositely excited generators have been calculated. The pilot generators have been successfully tested and recommended for production at UKRELECTROMASH plant.

Key words – winding, compositely excited generator, calculating method.