

ПОДОБИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПРОЦЕССОВ В ТЯГОВЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИНАХ

Нуриддинов С.Б., Юлдошов Х.Э.

Алмалыкский филиал Ташкентского государственного технического
университета имени Ислама Каримова

E-mail: mr.john.1991@list.ru

<https://orcid.org/0000-0002-7792-2826>

Аннотация

При решении задачи определения электромагнитные процессы в электродвигателе зависят от МДС при электромеханическом преобразовании энергии. В свою очередь магнитное поле характеризуется индукцией. Природа электромагнитных процессов и магнитных потерь в электродвигателе одна. На основании этого зависимость магнитных потерь в якоре от приложенной или потребляемой энергии электродвигателя принимается за основу составления общего критериального уравнения.

Введение. В истории двигателестроения различными школами проектировщиков были получены всевозможные зависимости между элементами и параметрами электрических машин. Такие зависимости обозначаются как постоянные электродвигателей. Например, постоянная М. Видмара, В.С. Кулебакина, Г.Н. Петрова, И.М. Постникова, К.И. Шенфера, Ф. Эмде, Б.Н. Тардова, Э. Арнольда, Эссона и др. [1]. Существуют машинные постоянные, полученные на отдельных заводах-изготовителях, например, на заводе «Электросила». Среди учёных при большинстве расчётов базовой постоянной принято считать машинную постоянную Арнольда.

Постановка задачи. Она показывает связь между мощностью и скоростью вращения машины, допустимыми электромагнитными нагрузками, на расход активных материалов на единицу мощности:

$$C_A = \frac{D^2 l_{\delta} \Omega}{P'} \quad (1)$$

где D^2 – диаметр якоря, м;
 P' – расчётная мощность, Вт;
 Ω – частота вращения, об/мин;
 l_8 – расчетная длина якоря, м.

Существующие в настоящее время методы проектирования машин для преобразования электромеханической энергии основаны на проведении расчётов с помощью ПК. Согласно [4, 5] одной из тенденций является поиск оптимальных параметров ТЭМ в том числе и с расчётами дифференциальных уравнений, описывающих электромагнитные процессы при электромеханическом преобразовании энергии. Таким образом, основной задачей является выведение критериального уравнения, в котором учитываются наиболее важные параметры электродвигателя. Помимо этого, необходимо иметь возможность применения критериального уравнения к ТЭМ и тяговому подвижному составу. А в перспективе и для решения более общей задачи: для расчёта транспортных систем.

Для исследования ТЭМ было предложено проведение анализа электромагнитных процессов, для этого необходимо провести расчёт индукции магнитного поля и построить картину магнитного поля в виде распределения эквипотенциальных линий векторного магнитного потенциала. Как правило, при проектировании электродвигателя задаются определенными параметрами.

Методы решения. Согласно [7] такими параметрами являются:

1. Мощность.
2. Ток якоря.
3. Номинальное напряжение.
4. Скорость вращения.
5. Тип системы охлаждения.
6. Условия окружающей среды.
7. Режим работы и т.д.

Величина воздушного зазора электрической машины является одним из основных параметров ТЭД (наряду с диаметром якоря и длиной его активной части) потому что это в значительной степени влияет на многие свойства электрической машины: величина индукции магнитного поля в воздушном зазоре, размеры проводников обмоток возбуждения, магнитные потери. Поскольку процесс выбора величины воздушного зазора крайне сложен, так как изменение величины воздушного зазора в большую либо меньшую сторону имеет как положительное, так и отрицательное влияние на электромеханические процессы в ТЭМ, более подробно об этом указано в [6]. Поскольку воздушный зазор – участок с наибольшим сопротивлением в магнитной цепи, то этот элемент является наиболее ответственным при проектировании электродвигателя, настолько, что принимается иногда конструкторами в качестве третьего основного главного размера двигателя, об этом, в частности, говорится у Э. Арнольда и А.Я. Бергера [6]. Поэтому для участка магнитной цепи в воздушном зазоре учитываются многие определяющие факторы, например, зубчатость якоря, неравномерное распределение магнитных силовых линий и неодинаковое расстояние между вершиной зубца и пазом, наличие компенсационной обмотки и т.п.

Процессы преобразования электрической энергии в механическую и обратно в электрических машинах сопровождаются потерями. Основными потерями являются электрические, магнитные и механические. Принято считать, что к магнитным потерям относятся потери в магнитном проводе при изменении магнитного поля – т.е. потери на гистерезис, потери от вихревых токов и потери обусловленные магнитной вязкостью. Потери происходят при циклическом перемагничивании и переменном. Учёт вихревых токов проходит в соответствии с результатами, изложенными в работе у М.З. Жица, [2, 3].

Анализ результатов и примеры. Якорь двигателя вращается вокруг своей оси и направление вектора магнитной индукции изменяется плавно в пределах окружности поворота. Как указано в [4] вращательное перемагничивание

происходит в сердечнике якоря электродвигателя. Потери на гистерезис при переменном перемагничивании определяются следующей формулой:

$$P_{\Gamma} = c_{\Gamma} f B^{\zeta} G_{\Gamma} \quad (2)$$

где c_{Γ} – удельные потери в стали при частоте перемагничивания 50 Гц и магнитной индукции 1 Тл, Вт/кг;

f – частота перемагничивания, Гц;

ζ – показатель степени для разных видов стали;

B – магнитная индукция, Тл;

G_{Γ} – масса перемагничиваемых элементов, кг.

Выражение для определения основных потерь в стали якоря при перемагничивании для коллекторного электродвигателя.

$$P_{\Pi} = \Delta B^2 p \Sigma m_{\text{зубца}}, \quad (3)$$

где Δ – изменение индукции магнитного поля, Тл;

p – удельные потери в стали, Вт/кг; $m_{\text{зубца}}$ – масса зубца, кг.

Как видно из (2 – 3) потери энергии, вызываемые перемагничиванием стали якоря при вращении, зависят прямо пропорционально от материала, его магнитных свойств, и от магнитной индукции.

В таблице показано среднее значение изменения индукции магнитного поля на некоторых глубинах измерения от поверхности якоря. Расчёт проводился по всей длине окружности якоря.

В то же время максимальное изменение индукции магнитного поля происходит на дне паза – среднее значение при повороте якоря на 1 градус составляет 12,5%. Из этого следует, что максимальные потери энергии происходят на дне паза.

Для установления энергоэффективности ТЭД необходимо определить коэффициент полезного действия (КПД). КПД не является постоянной величиной, зависит от использования двигателя, для современных двигателей постоянного тока максимальные значения колеблются в пределах 0,83 – 0,98 согласно [6].

Формулой определения КПД является известное соотношение между мощностями электрической машины, указана, например в [1, 4]:

$$\eta = \frac{P_1}{P_1 + \Sigma P'} \eta \quad (4)$$

где P_1 – мощность электродвигателя, Вт;

$\Sigma P'$ – потери мощности, Вт.

Выводы. МДС у главных полюсов и дополнительных полюсов различны по многим причинам: из-за разного количества витков обмоток, разной площади поперечного сечения обмоточного провода, разного напряжения на обмотках возбуждения.

МДС способствует протеканию различных электромагнитных процессов.

Электромагнитные процессы в электродвигателе зависят от МДС при электромеханическом преобразовании энергии. В свою очередь магнитное поле характеризуется индукцией. Природа электромагнитных процессов и магнитных потерь в электродвигателе одна. На основании этого зависимость магнитных потерь в якоре от приложенной или потребляемой энергии электродвигателя принимается за основу составления общего критериального уравнения.

Список литературы:

1. Исаев, И.П. Допуски на характеристики электрических локомотивов [Текст] – М.: Трансжелдориздат, 1958. – 370 с. 60.
2. “Ўзтемирйўлмаштаъмир” УК заводи таъмирлаш йўриқномаси 16.01.2016й
3. Бочаров, В.И. Магистральные электровозы. Тяговые электрические машины [Текст] / В.П. Бочаров, Г.В. Василенко, А.П. Курочка и др. / Под ред. В.И. Бочарова, В.П. Янова. – М.: Энергоатомиздат, 1992. – 464 с.
- TsT-TsTVR / 4782. Rules for the repair of electric vehicles of electric rolling stock; p. 356, Moscow, Transport, (1975)
4. Grishchenko A.V. Electric machines and converters of rolling stock, Moscow, ACADEMA, p. 258, (2005)

5. Nuriddinov, S., Avazov, B., Hasanov, F., & Rakhmonova, Y. (2021). Analysis of the causes of traction electric failures of electric cargo cars operated on railways of the Republic of Uzbekistan. In E3S Web of Conferences (Vol. 264, p. 05041). EDP Sciences.

6. С. Б. Нуриддинов, Б. К. Авазов, К. Т. Каршиев / Статистика отказов и анализ повреждаемости электрических машин // Инновационные технологии в водном, коммунальном хозяйстве и водном транспорте [Электронный ресурс] : материалы II республиканской научно-технической конференции, 28-29 апреля 2022 г. / редкол.: С. В. Харитончик [и др.]. – Минск : БНТУ, 2022. – С. 446-452.

7. Nuriddinov S. B. et al. INFLUENCE OF INSULATION IMPREGNATION ON THE OPERATION OF TRACTION ELECTRIC MACHINES //Теория и практика современной науки. – 2023. – №. 1 (91). – С. 17-21.