

УДК 621.313

ОПТИМИЗАЦИЯ ПО МАССЕ ИНДУКТОРА СИНХРОННОЙ ЯВНОПОЛЮСНОЙ МАШИНЫ

Кимстач О.Ю., к.т.н., доц.

Национальный университет кораблестроения имени адмирала Макарова

54010, г. Николаев, пр. Ленина, 3

E-mail: masenky@farlep.mk.ua

У даній статті наведено алгоритм оптимізації синхронної явнополюсної машини за допомогою методу квазі-стаціонарних параметрів. Також розглянуто питання оцінювання можливої похибки результату оптимізації за вказаним методом та спосіб отримання уточнення результату.

Ключові слова: синхронна машина, оптимізація, маса, габарити.

In given article the algorithm of synchronous obviously polar machine optimization by means of a quasi stationary parameters method is given. Also problems of possible error estimation of optimization due to the specified method results and way of obtaining results improvement are considered.

Keywords: the synchronous machine, optimization, weight, dimensions.

Введение. Непрерывный процесс автоматизации и кибернетизации производственных этапов изготовления электромеханических и электромагнитных преобразователей затрагивает все стадии: теоретического синтеза и анализа, физической интерпретации и испытаний, а также окончательного усовершенствования и оптимизации [1].

Анализ предыдущих исследований. Количество средств инвестирования, необходимых для разработки и внедрения в производство, напрямую зависит от уровня выполнения первой стадии – теоретического синтеза и анализа [2]. Современные методики проектирования электрических машин (ЭМ) в основном основаны на громоздком и многоциклическом методе последовательного приближения, что обусловлено значительным превышением количества параметров и показателей над количеством уравнений, образующих математические модели электромашин.

Поэтому для повышения технического уровня процесса синтеза и анализа ЭМ, что традиционно является актуальной задачей, в первую очередь необходимо достичь определенной линеаризации математических моделей, что значительно упростит переход от математических алгоритмов проектирования и исследования ЭМ к соответствующим программным реализациям, а также облегчит формирование математических алгоритмов оптимизации ЭМ.

Цель работы. Оптимизация синхронной явнополюсной машины по массе индуктора.

Материал и результаты исследования. Представленную задачу можно решить, используя метод квазистационарности отдельных параметров. Основная сущность метода заключается в конвертации некоторых условно переменных и неизвестных при проектировании параметров в условные средне-взвешенные константы с целью достижения равенства количества оставшихся неизвестных переменных и независимых уравнений, описывающих элек-

тромаханические, электромагнитные процессы и взаимосвязь основных геометрических соотношений.

К переменным параметрам, пригодным для их замены квазиконстантами, можно отнести величины, которые, прежде всего, изменяются в достаточно небольшом и определенном диапазоне не более 10% (магнитные индукции всех участков, плотности токов, коэффициенты заполнения паза и т.д.), а также выходные желаемые параметры ЭМ (номинальный коэффициент мощности, кратность пускового тока и момента, кратность максимального момента, минимум габаритов и т.д.).

Для оптимизации по массе магнитопровода и обмотки индуктора синхронной явнополюсной машины используется графоаналитический способ поиска оптимума. Исходными данными можно считать: количество пар полюсов $p = 2$; основной магнитный поток Φ ; количество витков обмотки возбуждения w ; ток возбуждения i ; диаметр вала d и индукцию в полюсе B_p .

ЭМ принята четырехполюсной, как наиболее распространенный вариант, хотя разработанный алгоритм подходит для применения и при другом значении количества пар полюсов. Величина основного магнитного потока определяется мощностью, которая является исходным параметром при проектировании синхронной машины (СМ). Ток и количество витков обмотки возбуждения рассчитываются в соответствии с требуемой МДС холостого хода. Диаметр вала определяется величиной момента на валу, а следовательно, мощностью и частотой вращения. Значение индукции в полюсе выбирается в соответствии с типом электротехнической стали, назначением и паспортными данными СМ [3].

Функционально алгоритм можно разбить на следующие этапы:

- нахождение целевой функции массы магнитопровода индуктора;
- нахождение целевой функции массы обмотки ин-

дуктора;

- определение оптимального значения независимой переменной;
- уточнение оптимального решения путем вариации квазиконстант.

Последний этап необязателен для использования при малом количестве квазиконстант, а также целевых функций с ярко выраженным экстремумом.

Для построения целевых функций выбирается независимая переменная – ширина полюса b_p (рис. 1). Диапазон допустимых значений независимой переменной от 0 до $2d$.

Масса обмотки возбуждения, кг:

$$m_m(b_p) = \rho_m q_m l_m(b_p),$$

где $\rho_m = 8900 \text{ кг/м}^3$ – плотность меди; $q_m = i / (\Delta 10^6)$ – сечение провода обмотки возбуждения, м^2 .

Сечение провода есть фактически дискретный ряд стандартных значений, но для проведения оптимизации необходимо использование непрерывных параметров, так как наличие дискретных параметров требует применения сложных разветвленных алгоритмов оптимизации [4]. Поэтому можно считать, что сечение проводника есть непрерывный параметр, который может изменяться в пределах двух соседних стандартных значений.

Величина плотности тока Δ в обмотке индуктора СМ выбирается в зависимости от класса изоляции, способа охлаждения и режимов работы СМ.

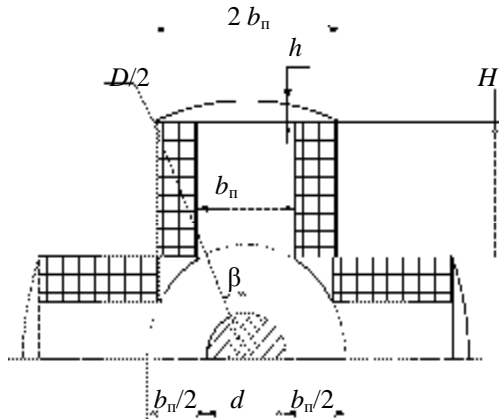


Рисунок 1 – Индуктор синхронной машины

Общая длина проводников обмотки возбуждения, м:

$$l_m(b_p) = 2\rho w(l(b_p) + 2b_p).$$

Длина пакета магнитопровода, м:

$$l(b_p) = \frac{\Phi}{k_c b_p B_p},$$

где $k_c = 0,97$ – коэффициент заполнения стали.

Масса стали магнитопровода индуктора, кг:

$$m_c(b_p) = \rho_c l(b_p) S(b_p),$$

где $\rho_c = 7800 \text{ кг/м}^3$ – плотность электротехнической стали.

Общая поперечная площадь магнитопровода индуктора, м^2 :

$$S(b_p) = \frac{\pi}{4} [(d + b_p)^2 - d^2] + 2\rho b_p [H(b_p) + 2kh(b_p)].$$

Высота полюса, м:

$$H(b_p) = \frac{w q_m}{k_z b_p},$$

где $k_z = 0,7$ – коэффициент заполнения медью обмотки возбуждения – квазиконстанта.

Высота полюсного наконечника, м:

$$h(b_p) = \frac{D(b_p) - d - b_p}{2} - H(b_p).$$

Диаметр индуктора, м:

$$D(b_p) = \frac{2b_p}{\sin(\beta(b_p))}.$$

Угол:

$$\beta(b_p) = \arctg\left(\frac{2b_p}{2H(b_p) + b_p + d}\right).$$

Общая масса индуктора, кг:

$$m(b_p) = m_m(b_p) + m_c(b_p). \quad (1)$$

Для поиска оптимального значения ширины полюса строится зависимость (1), по которой графическим способом определяется минимум (рис. 2). Решение задачи имеет ограничение – угол β должен быть меньше 45° . Если условие выполняется, тогда необходимо рассчитать диаметр и массу индуктора для значения оптимальной ширины полюса.

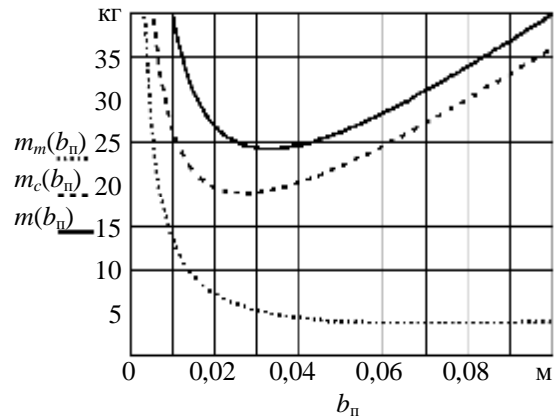


Рисунок 2 – Зависимость массы от ширины полюса

В указанном диапазоне независимой переменной имеется явно выраженный оптимум (рис. 2) при $b_{po} = 0,03277 \text{ м}$. Зависимость масс магнитопровода и обмотки от независимой переменной b_p является идентичной только в области малых значений, а при достижении области реальных физических значений масса стали изменяется с меньшим градиентом, чем масса меди.

При необходимости определения влияния разброса значений квазиконстант можно провести анализ как по каждой из них, так и в комплексе.

Исследуются все значения оптимального решения в пределах диапазона изменения квазиконстант. Для этого достаточно задать поочередно минимальное и максимальное возможные значения каждой квазиконстанты и определить соответствующие им

значения оптимизируемой величины. В данном случае таких квазиконстант две: коэффициент заполнения обмотки и сечение проводника. Первая может принимать значения в зависимости от количества и сечения элементарных проводников от 0,68 до 0,72.

Сечение проводника ограничивается двумя соседними стандартными значениями, которые отличаются друг от друга приблизительно на 7 % [5]. Предполагается, что имеется вариант с наибольшим отклонением, т.е. по 3,5 % в каждую сторону от принятого значения квазиконстанты (рис. 3).

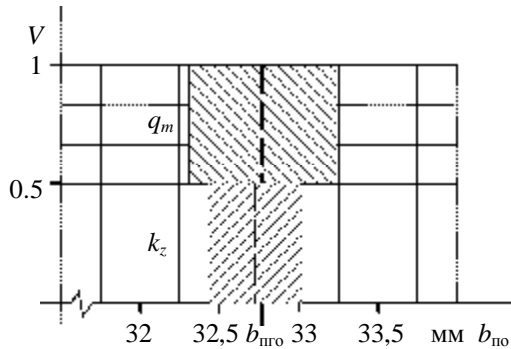


Рисунок 3 – Распределение оптимальных решений при вариации квазиконстант

Как видно (рис. 3), при равенстве отклонений квазиконстанты, полученный глобальный оптимум $b_{пто}$ совпадает со средним значением оптимальных решений при вариации квазиконстанты.

Несовпадение среднего значения оптимального решения с глобальным оптимумом наблюдается при вариации квазиконстанты, у которой отклонения в большую и меньшую сторону не совпадают по величине. Так отклонение для коэффициента заполнения в меньшую сторону составляет 0,02, а в большую сторону – 0,03.

Определение общего значения поправочной ошибки выполняется на основе коэффициента весомости каждой квазиконстанты. В общем случае он одинаков для всех квазиконстант:

$$V = \frac{1}{n_k},$$

где n_k – количество квазиконстант.

Возможно использование неравных коэффициентов весомости, но тогда изменяется порядок уточнения.

Вариационная площадь для i -той квазиконстанты:

$$S_i = V_i \Delta b_{поi},$$

где $\Delta b_{поi}$ – диапазон вариации квазиконстанты (ширина заштрихованных областей (рис. 3)).

Общая площадь вариаций

$$S = \sum_{i=1}^{n_k} S_i.$$

Уточненное решение задачи оптимизации:

$$b_{пто} = \frac{1}{S} \sum_{i=1}^{n_k} S_i b_{поi},$$

где $b_{поi} = \frac{b_{поmax i} + b_{поmin i}}{2}$ – среднее значение оптимального решения при вариации i -той квазиконстанты.

Уточненное решение оптимизационной задачи дает результат $b_{пто} = 0,032752$ м, что отличается от полученного выше результата на 0,05 %.

Разброс оптимальных решений при вариации квазиконстант не превышает 3%. Если проанализировать отклонения оптимального решения по абсолютной величине при вариации квазиконстант, то можно сделать вывод, что они зависят от уравнений образующих целевую функцию и места в них квазиконстант. Желательно избегать использования в качестве квазиконстант показателей степени и основной логарифмов.

Таким образом, использование усредненных или наиболее вероятностных значений квазиконстант практически не вносит существенной погрешности при выполнении оптимизации, особенно это свойство проявляется при малом количестве квазиконстант.

Выводы.

1. Разработанный алгоритм оптимизации СМ позволяет определить геометрические соотношения индуктора, обеспечивающие минимальную его массу.
2. Минимум массы индуктора достигается практически при минимуме массы его обмотки.
3. Масса обмотки индуктора в большей степени подвержена зависимости от геометрических соотношений.
4. Используемые при выполнении оптимизации квазиконстанты не приводят к возникновению значительных погрешностей.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЕ ДАННЫЕ

1. Кімстач О.Ю. Пріоритетні напрямки комп'ютеризації освітніх навчальних програм з електромеханіки // Матеріали конференції „Проблеми наскрізної комп'ютерної підготовки у вищій школі”. Миколаїв. УДМУ – 2003. – С. 101-102.
2. Фролов Ю.М., Романов А.В. Автоматизированное проектирование электроприводов. Воронеж: Гос. техн. ун-т, 2003. – 205 с.
3. Гольдберг О.Д., Буль О.Б., Свириденко И.С., Хелемская С.П. Переходные процессы в электрических машинах и аппаратах и вопросы их проектирования. – М.: Высш. шк., 2001. – 512 с.
4. Кімстач О.Ю. Оптимізація машин постійного струму // Проблеми автоматики та електрообладнання транспортних засобів: Матеріали Всеукраїнської науково-технічної конференції з міжнародною участю: – Миколаїв: НУК, 2006. – С. 174 – 178.
5. Березин В.Б., Прохоров Н.С., Рыков Г.А., Хайкин А.М.. Электротехнические материалы (справочник). – М.: Энергоатомиздат, 1983. – 504 с.

Стаття надійшла 13.04.2007 р.
Рекомендовано до друку д.т.н., проф.
Родькіним Д.Й.