ELEMENTS OF OPTIMISATION OF THE WEIGHTS OF THE PHASE NUMBER CONVERTER

Bedritsky I.M., Mirasadov M.J., Bazarov L.X.
Tashkent State Transport University (Tashkent, Uzbekistan)

Annotation: The article discusses the optimization of weight and size indicators using the example of a parametric converter of the number of phases with a core made of electrical steel, taking into account operating, electromagnetic and thermal limitations. The limits for changing operating parameters are indicated, taking into account which the optimization problem can be simplified. The expression of the objective function is given taking into account the specified restrictions.

Keywords: Parametric phase number converter, optimization, optimization criteria, limitations, inductance, current density, permissible overheating.

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОЧИСТКИ ВОЗДУХА В ДИЗЕЛЬНЫХ ДВИГАТЕЛЯХ КАРЬЕРНЫХ ГРУЗОВИКОВ

Бердицки И.М., Мирасадов М.Ж., Базаров Л.Х.
Ташкентский государственный транспортный университет (Ташкент, Узбекистан)

Аннотация: В статье рассматривается оптимизация весогабаритных показателей на примере параметрического преобразователя числа фаз с сердечником из электротехнической стали с учетом режимных, электромагнитных и тепловых ограничений. Указываются пределы изменения режимных параметров, учитывая которые можно упростить задачу оптимизации. Приводится выражение целевой функции с учетом указанных ограничений.

Ключевые слова: Параметрический преобразователь числа фаз, оптимизация, критерии оптимизации, ограничения, индуктивность, плотность тока, допустимый перегрев.

Электромагнитные элементы параметрических преобразователей числа фаз (ПЧФ), включающие в себя магнитопроводы с обмотками, кроме необходимых электрических параметров должны быть также оптимальными по технологии изготовления, а также иметь минимальные габариты и стоимость. В свете миниатюризации современного электрооборудования в качестве главного критерия оптимизации следует выбрать минимальный объем электромагнитного элемента, а задача оптимизации сводится к отысканию минимума целевой функции объема при наличии некоторого набора ограничений. Согласно теории оптимизации [1] эта задача может быть решена методами нелинейного программирования [2].

Критерии оптимизации электромагнитных элементов линейных трансформаторов и дросселей достаточно хорошо изучены [3 ,4, 5, 6], однако они не могут быть полностью перенесены на индуктивные элементы параметрических ПЧФ из-за качественного различия ограничений. Рассмотрим характер ограничений на примере исследования базовой цепи стабилизатора по рис.1.

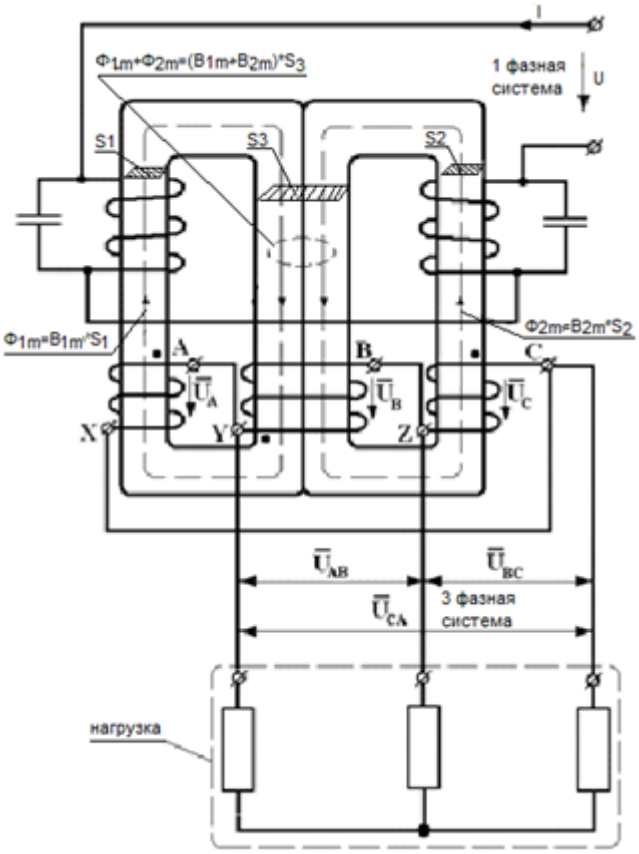

Рис. 1. Схема ПЧФ

Ограничения, общие для электромагнитных любых ферромагнитных устройств:

1) электромагнитный элемент должен передавать в нагрузку заданную активную или реактивную мощность;

2) электромагнитный элемент должен работать в пределах заранее заданного допустимого перегрева его поверхности, обусловленного теплостойкостью применяемых активных материалов и изоляции;

3) Электромагнитный элемент должен работать при таких параметрах режима (плотность тока в обмотках, индукция в магнитопроводе), которые могут длительное время выдерживать известные активные материалы

Ограничения, вытекающие из принципа действия и назначения исследуемой цепи:

1) значение индукции B1m в стержне балластного элемента должно быть не меньше определенного фиксированного значения, обеспечивающего работу его как балластного элемента параметрического стабилизатора напряжения в одном из рабочих режимов;

2) значение индукции B_{2m} в стержне феррорезонансного контура должно находиться на участке насыщения, обеспечивающем заданное качество стабилизации при допустимом изменении дестабилизирующих факторов (изменение питающего напряжения или колебаниях нагрузочного тока).

3) Исходя из принципа действия, индукция B_{1m} в стержне ПЧФ должна находиться на изломе зависимости $B=f(H)$ материала магнитопровода и может быть определена довольно точно из справочной литературы [5,6].

Значение индукции B_{2m} в стержне ПЧФ может быть найдено из функциональной зависимости $B_{2m}=f(B_{1m})$ при выбранном значении B_{1m}. Из [3,5,6] известно, что потери

мощности в магнитопроводе могут быть найдены из выражения

$$Pm = V_m * P_o * (\frac{f}{f^*})^{\alpha} * (\frac{B_m}{B_m^*})^{\beta}, \quad (1)$$

где V_m – объем магнитопровода; P_o, α, β – коэффициенты, зависящие от материала сердечника; f, f^* – рабочая и базовая частоты; B_m, B_m^* – соответственно амплитуды рабочей и базовой индукций. Для исследуемого устройства потери в магнитопроводе равны сумме потерь на различных его участках, имеющих отличающиеся амплитуды магнитных индукций, и могут быть найдены на основании (1) из выражения

$$P_m = P_o * (\frac{f}{f^*})^{\alpha} * (\frac{B_{1m}^{\beta} + B_{2m}^{\beta}}{B_{m*}^{\beta}}) * \frac{V_m}{2} \ . \quad (2)$$

Из [3,5,6] известно, что для оптимального электромагнитного элемента

$$V_o \approx V_m * 2 \ ,$$

где V_o – объем обмоток, а потери в обмотках могут быть найдены из выражения

$$P_o = 2 * V_m * J^2 * \rho * K_m * K_d * K_t \ , \quad (3)$$

где J– плотность тока в обмотках; ρ – удельное сопротивление материала обмоток; $K_м$ – коэффициент заполнения окна магнитопровода медью; K_t– коэффициент увеличения сопротивления материала обмотки вследствие увеличения его температуры; $K_д$ – коэффициент, равный 2. Приравнивая (2) и (3) после упрощения получаем зависимость между амплитудами магнитных индукций в стержнях и плотностью тока в обмотках для оптимального электромагнитного элемента

$$B_{2m} = (\frac{4 * B_m^{\beta} * J^2 * \rho * K_m * K_д * K_t}{P_o * (\frac{f}{f^*})^{\alpha}} - B_{1m}^{\beta})^{\frac{1}{\beta}} \ . \quad (4)$$

На рис. 99 приведены графики этой зависимости для сердечника из стали 3114 (Э330) при значении параметров (P_o=21*10^{-2}, α=1,3; β=1,6; f=50 Гц; $K_м$=0,25; $K_д$=2; K_m=1,2-1,4 для ΔT=50-70°C) и при различных значениях плотности тока в обмотках.

Из графиков видно, что в диапазоне возможных изменений магнитных индукций $B_{1м}$=1,4-1,7Тл и $B_{2м}$=1,7-1,85Тл (заштрихованная область на графике), плотность тока в обмотках должна быть 0,6-0,7 А/мм^2. Очевидно, что при использовании таких значений плотности тока устройство получится неэкономичным, поскольку такую обмотку будет трудно разместить в окне стандартного магнитопровода.

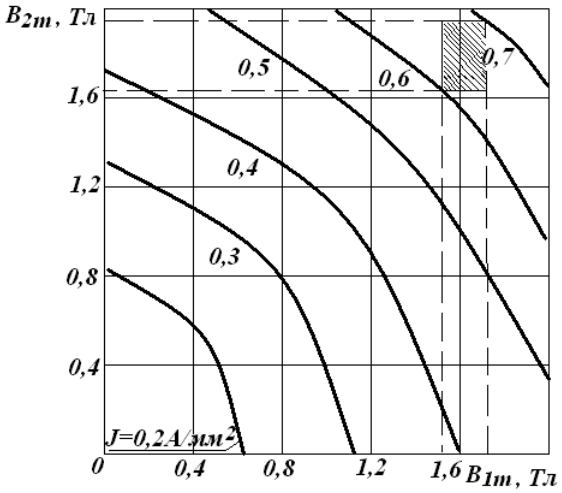

Рис. 2. Зависимости между индукциями в крайних стержнях

Найдем функцию, связывающую объем магнитопровода Vm с режимными параметрами стабилизатора. Из известных зависимостей.

$S = U * I;\ U = \sqrt{2} * \pi * f * W * S * B_m;\ \ I_m = \dfrac{H_m * L}{W}$ можно записать выражения для электромагнитных мощностей в стержнях магнитопровода $S_1 = \sqrt{2} * \pi * f * \dfrac{V_m}{2} * B_{1m} * H_{1m};\ \ S_2 = \sqrt{2} * \pi * f * \dfrac{V_m}{2} * B_{2m} * H_{2m};$ С учетом аппроксимации, а также имея ввиду, что электромагнитная мощность магнитопровода равна сумме мощностей в стержнях, получаем

$$S = \frac{1}{\sqrt{2}} * \pi * f * k * V_m * (B_{1m}^{10} + B_{2m}^{10}) \quad . \tag{5}$$

Выразив из (5) Vm, получим выражение, связывающее между собой объем магнитопровода и его электромагнитную мощность

$$V_m = \frac{S * \sqrt{2}}{\pi * f * k(B_{1m}^{10} + B_{2m}^{10})} \quad . \tag{6}$$

Функция объема магнитопровода может служить исходной для процедуры оптимизации.

На рис. 3 приведен график зависимости $V_m = f(B_{2m})$ при различных S для магнитопровода из стали Э330 (3414) и значениях $B_{1м}$, $B_{2м}$, полученных на основании зависимости $B_{2m}=f(B_{1m})$ для исследуемого устройства.

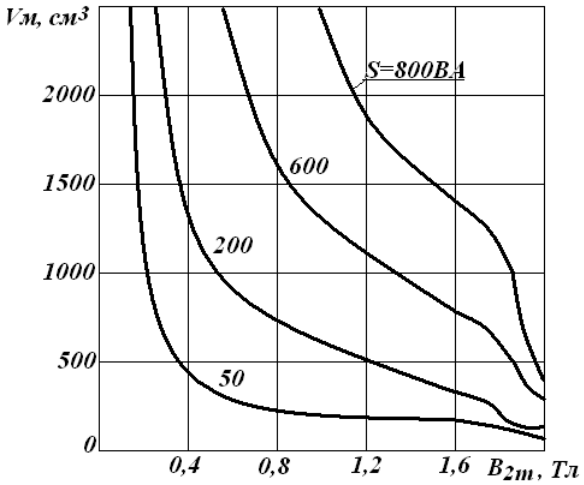

Рис. 3. Зависимость между индукцией в феррорезонансном контуре и объемом магнитопровода

Из графиков видно, что V_m наиболее сильно зависит от B_{2m} в области насыщения (B_{2m}=1,7–1,9 Тл), что для исследуемой цепи является зоной номинальной работы, причем эта зависимость выражается сильнее для устройств с большей электромагнитной мощностью. В выражении (6) целевой функции три из названных выше ограничений (S, B_{1m}, B_{2m}) уже учтены. Необходимо установить связь этой функции с электрическими параметрами цепи, основными из которых являются плотность тока в обмотках и температурные режимы обмотки.

Из [3,5,6] известно, что поверхность охлаждения $П_{охл}$ электромагнитного элемента и объем его магнитопровода V_m связаны приблизительным соотношением

$$П_{охл} \approx 13 * V_m^{\frac{2}{3}} , \qquad (7)$$

а связь потерь в электромагнитном элементе с его перегревом определяется выражением

$$P_м + P_{об} = П_{охл} * \Delta T * A , \qquad (8)$$

где ΔT – перегрев поверхности электромагнитного элемента, равный разности температур окружающей среды и поверхности магнитопровода;

А – коэффициент теплоотдачи.

Подставляя в (4) выражения (3), (4) и (7), и решая относительно V_m, получаем зависимость, связывающую между собой объем магнитопровода V_m, а также тепловые и режимные параметры

$$V_m = \left(\frac{13 * \Delta T * A * B_{1m*}^{\beta}}{\frac{P_o}{2} * \left(\frac{f}{f*}\right)^{\alpha} * (B_{1m}^{\beta} + B_{2m}^{\beta}) + 2 * J^2 * \rho * K_m * K_d * K_t * B_{m*}^{\beta}}\right)^3 . \qquad (9)$$

На рис. 4 показаны построенные на основании (9) графики зависимости $V_m=f(J)$ для двух значений часто используемых в расчетах перегревов ΔT=50°C и ΔT=70°C при использовании магнитопроводов из стали Э330 (3414). Из графиков видно, что при увеличении объема магнитопровода для обеспечения теплового баланса необходимо существенно снижать плотность тока в обмотках. Таким образом, кривые по рис. 4 ограничивают нижний предел Vm, обеспечивающий при заданных J и ΔT тепловой баланс в электромагнитном элементе стабилизатора.

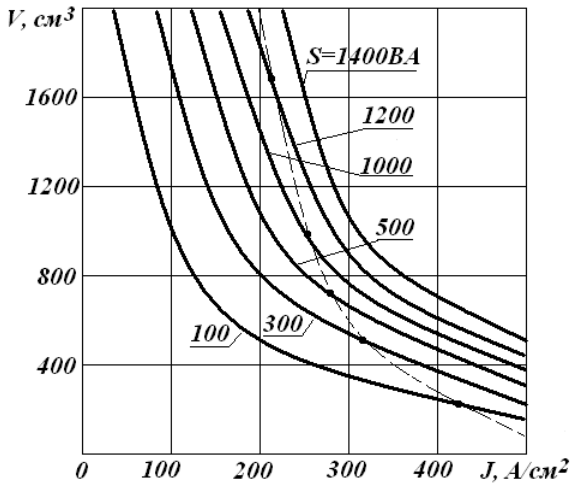

Рис. 5. Зависимость между плотностью тока и объемом магнитопровода при заданной величине перегрева

Из графического решения видно, что при увеличении S существенно увеличивается необходимый для ее передачи объем Vm и снижается плотность тока в обмотках.

Проведенные исследования позволяют сделать следующие выводы:

1.Задача оптимизации объема магнитопровода феррорезонансного ПЧФ может быть существенно упрощена, если значения индукций выбирать исходя из принципа действия устройства;

2.Найденные выражения для целевой функции объема магнитопровода позволяют минимизировать его объем с учетом режимных, электромагнитных и тепловых ограничений, а также определить оптимальные значения основных электрических параметров устройства.

Литература

1. Банди Б. Методы оптимизации. Вводный курс. М.: Радио и связь, 1988.–128 с.
2. Бахвалов Н. С., Жидков Н. П., Кобельков Г. М. Численные методы. — 3-е изд., доп. и перераб. — М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2004. — 636 с., илл.
3. Бедрицкий И.М. Параметрические источники вторичного электропитания с ферромагнитными элементами. Ташкент.: «Инновацион ривожланиш нашриёт-манбаа уйи».–2020.–с. 164
4. Володин В. Я. Моделирование сложных электромагнитных компонентов при помощи spice-симулятора LTspice/SwCAD III // Компоненты и технологии. 2008. № 4.
5. Горский А.Н., Русин Ю.С., Иванов Н.Р., Сергеева Л.А. Расчет электромагнитных элементов источников вторичного электропитания. М,: Радио и связь, 1988.– 176 с.
6. Хныков А. В. Теория и расчет трансформаторов источников вторичного электропитания. М.: СОЛОН-Пресс, 2004. 128 с.