

Вестник Харьковского политехнического института. — Харьков: ХПИ, 1977, т. 130, с. 75—77. 2. Т р е щ е в И.И. Методы исследования машин переменного тока. — Л.: Энергия, 1969. — 235 с. 3. Б у л г а к о в А.А. Частотное управление асинхронными электродвигателями. — М.: Наука, 1966. — 297 с. 4. Ф и р а г о Б.И., С и д о р о в В.Г. Частотно-регулируемый электропривод на основе однополупериодных циклоконверторов. — В кн.: Краткие тез. докл. к Всесоюз. н.—т. совещ. Вентильные автоматизированные электроприводы и преобразователи с улучшенными характеристиками (окт. 1978). — Л.: 1978, с. 98—101. 5. Б е л я е в В.П., С и д о р о в В.Г., Ф и р а г о Б.И. Система управления трехфазно-трехфазным однополупериодным тиристорным циклоконвертором. — В сб.: Научные и прикладные проблемы энергетики. — Минск: Высшая школа, 1975, с. 186—191.

УДК 66.023/025:621.301.7

К.Г. СКАЧКО, канд.техн.наук,
С.Н. ИВАНОВА, инженер,
С.П. РЖЕВСКАЯ, инженер (БПИ)

ВЛИЯНИЕ МАГНИТНЫХ ШУНТОВ НА ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ИНДУКТОРОВ

Индукционный нагрев токами промышленной частоты широко применяется в промышленности как наиболее экономичный среди других способов. Так, например, для синтеза изоляционных смол и других жидких диэлектриков используются химические реакторы — стальные сосуды цилиндрической формы емкостью до 32 м³ с комплектом индукционных катушек, равным или кратным числу фаз питающей сети.

При расчете индукционных нагревателей приходится пользоваться приближенными методами с использованием схем замещения трансформаторов или основанными на теории поглощения электромагнитных волн в металле [1]. В качестве исходных данных обычно служат: мощность P , выделяемая в корпусе аппарата, габаритные размеры системы "индуктор-корпус" и электрофизические параметры нагреваемых материалов с учетом их зависимости от температуры. Конечная цель таких расчетов — определение числа витков w и конфигурации индукционных катушек с учетом их длительной работы.

Вместе с тем рассчитанные величины не всегда совпадают с экспериментальными вследствие наличия ряда трудно учитываемых факторов, например:

- а) все электрофизические параметры материала катушек и стали корпуса значительно изменяются при нагреве в широком диапазоне температур;
- б) магнитная проницаемость стали корпуса не остается постоянной и в большой степени зависит от напряженности магнитного поля H_c на поверхности стенки корпуса;
- в) краевые эффекты и величина зазора между корпусом и индуктором оказывают существенное влияние на энергетические показатели системы в целом, и т.д.

При значительном объеме вычислений, например для оптимизации тех или иных энергетических показателей, громоздкость расчетных соотношений и отсутствие физической наглядности применяемых формул затруд-

няют непосредственное использование этих методов в инженерной практике даже с применением ЭВМ.

Именно по этим причинам авторами предложена упрощенная методика расчета индукторов в замкнутых магнитных системах, основанная на классической теории цепей со сталью [2].

В связи с недостаточным опытом проектирования мощных индукционных установок в СССР и отсутствием в литературе достоверных данных авторами была предпринята попытка получить некоторые расчетные коэффициенты и зависимости экспериментальным путем на макете реактора, состоящем из котла, индукционной катушки и магнитных шунтов.

В соответствии с принципами физического моделирования котел изготовлен в масштабе 8:1 по отношению к размерам натурального образца реактора 12,5 м³, но с сохранением толщины стенки котла 10 мм, превышающей эквивалентную глубину проникновения электромагнитной волны в сталь на промышленной частоте.

Индукционная катушка бескаркасного типа выполнена из медной шины ($w = 80$ витков) с таким расчетом, чтобы оставить относительно большой технологический зазор 20 мм для установки теплоизоляции.

Для локализации магнитного потока на стенку котла использованы съемные П-образного типа из пакетов электротехнической стали 1315. Магнитные шунты устанавливались радиально к стенке котла и охватывали индукционную катушку. Их количество (и соответственно площадь поперечного сечения) изменялось в процессе эксперимента. Выбор замкнутой магнитной системы облегчает условия работы индуктора, а также обуславливает независимость его геометрических размеров, расположения и влияния зазора на все параметры реактора в целом.

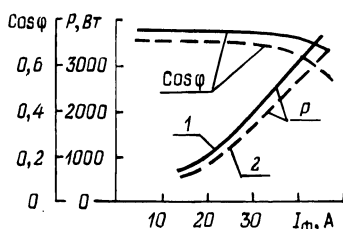


Рис. 1. Зависимость потребляемой мощности и $\cos \varphi$ от тока индуктора: 1 — с полной магнитной системой (13 шунтов); 2 — с неполной магнитной системой (10 шунтов).

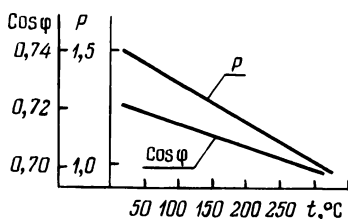


Рис. 2. Зависимость потребляемой мощности и коэффициента мощности от температуры.

Для снятия основных характеристик лабораторного макета и определения его параметров был применен известный метод "амперметра-вольтметра-ваттметра". Непосредственное измерение напряжения питания, рабочего тока и потребляемой активной мощности в условиях, близких к эксплуатационным, позволило косвенно определить полную мощность, коэффициент мощности, а также величины сопротивлений индуктора.

Определение основных магнитных величин (потока, индукции и напряженности магнитного поля) производилось в рабочих условиях по известному индукционному методу [3] с помощью измерительных обмоток. Полученные результаты измерений отличаются от расчетных не более чем на 10 %.

Для количественной и качественной оценки эксплуатационных возможностей макета в различных режимах работы определены зависимости потребляемой мощности и коэффициента мощности в функции тока при изменении уровня напряжения питания. Как следует из рис. 1, в диапазоне рабочих токов от 15 до 45 А (в зоне больших напряженностей магнитного поля $H_c \geq 10$ кА/м) наблюдается практически линейная зависимость $P = f(I)$ при постоянной величине коэффициента мощности.

Сравнение параметров макета при наличии и отсутствии магнитных шунтов показывает, что коэффициент мощности увеличивается от 0,478 (с разомкнутой системой) до 0,71, что соответствует условиям работы бесконечного проводящего полупространства при воздействии потока электромагнитной энергии [4].

Экспериментальные данные показывают, что недостаточное магнитное экранирование ухудшает энергетические показатели макета. Так, например, использование 10 шунтов вместо 13 обусловило снижение коэффициента мощности на 0,06 и вызвало рост потока рассеяния на 12 %. Это особенно заметно при больших напряженностях магнитного поля, соответствующих рабочим токам свыше 35 А. При этом замедляется и "темп" нарастания мощности при увеличении тока (рис. 1).

Зависимости потребляемой мощности P и коэффициента мощности $\cos \varphi$ от температуры представлены на рис. 2. В диапазоне $+20$ — $+300$ °С практически наблюдается линейный спад потребляемой мощности в 1,5 раза вследствие повышения удельного объемного сопротивления. Коэффициент мощности снижается незначительно в связи с противоположным действием двух взаимно компенсирующих факторов при нагреве: некоторого увеличения сопротивления и небольшого увеличения глубины проникновения магнитного потока в сталь. По этой причине при расчетах индукторов во всем диапазоне рабочих температур можно считать коэффициент мощности практически неизменным.

Таким образом, полученные при исследовании макета характеристики и закономерности применимы к проектируемым индукторам с замкнутыми магнитными системами. Применение шунтов обуславливает повышение коэффициента мощности и снижение потоков рассеивания каждой индукционной катушки. При расчете индукторов можно принять линейный закон изменения потребляемой мощности от температуры. Во всем диапазоне рабочих температур можно считать коэффициент мощности неизменным.

ЛИТЕРАТУРА

1. Б у а н о в Е.А., П а п у н ы р о в а Л.В., М а н у с о в Е.Б. Химическая аппаратура с индукционным обогревом. — М.: ЦИНТИХИМНЕФТЕМАШ, сер. ХМ-1, 1971. — 32 с.
2. Об инженерной методике расчета индукторов/С.Н. И в а н о в а, С.П. Р ж е в с к а я, К.Г. С к а ч к о, Е.П. Т и м о х о в. — Изв. вузов СССР. Энергетика, 1981, № 12. — 75 с.
3. Электротехнический справочник/Под общ. ред. проф. П.Г. Г р у д и н с к о г о, Г.Н. П е т р о в а, М.М. С о к о л о в а и др. — М.: Энергия, 1974. — 775 с.
4. Т у р о в с к и й Я. Техническая термодинамика/Пер. с польск. — М.: Энергия, 1974. — 488 с.