

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

О РАСЧЕТЕ МАГНИТНЫХ ШУНТОВ ДЛЯ РЕАКТОРОВ С ИНДУКЦИОННЫМ НАГРЕВОМ

Для синтеза изоляционных смол и других жидких диэлектриков повсеместно используются реакторы — стальные сосуды с комплектом индукционных катушек. Протекающий по индуктору переменный ток (обычно промышленной частоты) вызывает в стенке корпуса вихревые токи, нагревающие сам аппарат и его содержимое [1].

Для локализации электромагнитной энергии в стенке реактора предусматриваются магнитные шунты — пакеты различной формы из шихтованной электротехнической стали [2]. Боковые цилиндрические катушки охватываются радиально магнитопроводами П-образного типа, а донные конические катушки — накладками трапецидального профиля по форме установленных индукторов. Замыкание магнитной системы (рис. 1) позволяет облегчить режим работы индукционных катушек, повысить их коэффициент мощности и электрический КПД, а также снизить влияние теплового зазора на энергетические параметры реактора в целом [3].

Поскольку в настоящее время нет достаточно обоснованных рекомендаций по выбору и расчету магнитных шунтов, то авторы попытались восполнить этот пробел. В отличие от других электрических аппаратов магнитные системы установок индукционного нагрева работают в тяжелых условиях эксплуатации — большие вибрационные нагрузки, высокие рабочие температуры (до 600 К), влияние агрессивных сред и т.п. В отдельных случаях эти системы выполняют функции элементов механического крепления индукционных катушек [4]. Так как шунты имеют контактную поверхность со стенкой корпуса, то их нагрев зависит от многих факторов. Чтобы повысить тепловой КПД реактора, необходимо предусмотреть тепловую изоляцию каждого пакета и, естественно, уменьшить поверхность охлаждения. Однако с другой стороны, снижение металлоемкости шунтов может вызвать их перегрев за счет магнитного насыщения стали, а также повышенные потоки рассеивания и как следствие взаимное влияние питающих фаз друг на друга.

При расчете магнитных шунтов в качестве исходных значений выбираются электрофизические параметры стальной стенки корпуса: относительная магнитная проницаемость μ_c и удельное сопротивление ρ_c при требуемой напряженности магнитного поля $H_{ст}$. Для замкнутых систем амплитуда магнитного потока на единицу длины [2]

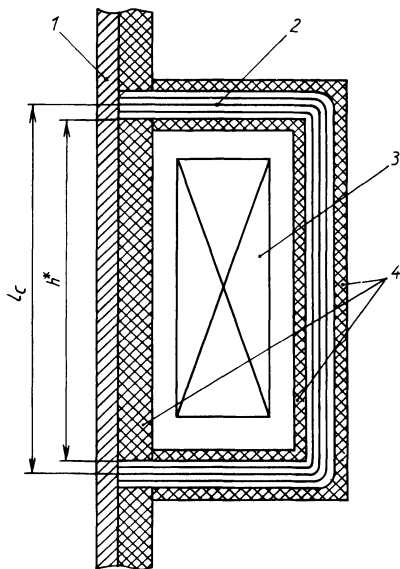


Рис. 1. Схематическое изображение магнитного шунта: 1 — стенка корпуса реактора; 2 — магнитный шунт; 3 — индукционная катушка; 4 — тепловая изоляция.

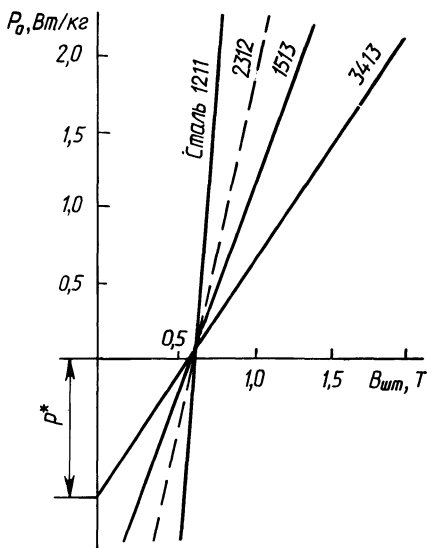


Рис. 2. Линеаризация зависимости удельных потерь от магнитной индукции.

$$\Phi_{mI} = \sqrt{\frac{\mu_0 \mu_c \rho_c}{\omega}} H_{cm} ,$$

а расчетное значение полного магнитного потока в зоне боковых цилиндрических катушек [3]

$$\Phi_m = \Phi_{mI} A / h^* , \quad (1)$$

где A — активная поверхность нагреваемой зоны; h^* — эквивалентная высота индукционной катушки (рис. 1).

Так как для зоны донных катушек с поверхностью нагрева A_d

$$\Phi_m = \Phi_{mI} A_d / l_c ,$$

то формулу (1) можно считать универсальной, принимая в расчетах эквивалентную высоту равной средней длине силовой линии, $h^* = l_c$.

В соответствии с теоремой о единственности поля ($\Phi_m = \text{const}$) суммарное поперечное сечение магнитных шунтов $Q_{ш}$ для каждой индукционной катушки зависит от принятого значения магнитной индукции $B_{шм}$:

Зависимость удельных потерь p и коэффициента прямой k от марки стали

Тип стали	p_* , Вт/кг	k , Вт/(кг·Т)
1211	5,5	8,8
2312	2,75	4,5
1513	1,7	2,9
3413	0,8	1,4

$$Q_{ш} = \Phi_m / B_{шm}$$

Толщина набора каждого пакета и длина его П-образной части в основном зависят от конструкции и геометрических размеров индукционной катушки, а ширина полок (для принятого числа пакетов на фазу) ограничивается условиями отвода тепла джоулевых потерь катушки через вентиляционные окна между пакетами. В свою очередь эти конструктивные размеры предопределяют массу G и потери ΔP для каждой магнитной системы, $\Delta P = GP_0$. Как правило, в справочниках задаются удельные потери p_0 для двух значений магнитной индукции, $B_m' = 1\text{Т}$ и $B_m'' = 1,5\text{Т}$. Зависимость удельных потерь от индукции (рис. 2) можно линеаризовать с помощью выражения

$$p = kB_{шm} - p_*$$

где k — коэффициент наклона прямой, Вт/(кг·Т); p_* — отсекаемый отрезок на оси потерь, Вт/кг.

Нетрудно показать, что суммарные потери в шунтах каждой фазы

$$\Delta P \equiv k - p_*/B_{шm}$$

в основном зависят от качественных характеристик электротехнической стали и выбранного значения магнитной индукции.

Для анализа и сравнительной оценки различных типов стали значения их расчетных параметров сведены в табл. 1.

Расчеты показывают, что при заданных размерах магнитной системы ее потери и, конечно, температуру перегрева можно изменять в 3—6 раз в зависимости от типа стали и толщины ее листа. С другой стороны, можно изменять металлоемкость магнитных шунтов при постоянных потерях.

Так как с ростом потерь в магнитной системе электрический и тепловой КПД реактора незначительно увеличиваются, то единственным критерием ее выбора остается допустимый поток рассеивания на уровне 1—5 % от основного потока. В этом случае амплитудное значение магнитной индукции $B_{шm}$ необходимо выбирать в точке перегиба соответствующей кривой намагничивания, с тем чтобы сохранить условие $\mu_{ш} Q_{ш} \gg \mu_c Q_c$, где Q_c — площадь поперечного сечения нагреваемой стенки на глубине проникновения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Химическая аппаратура с индукционным обогревом/Е.А.Буянов, Л.В.Папунырова, Е.Б.Манусов. — М.: ЦИНТИХИМНЕФТЕМАШ, сер. ХМ-1, 1971. — 32 с. 2. Туровский Я. Техническая электродинамика: Пер. с польск. — М.: Энергия, 1974. — 488 с. 3. Об инженерной методике расчета индукторов/С.Н.Иванова, С.П.Ржевская, К.Г.Скачко, Е.П.Тимохов. — Изв.вузов. Энергетика, 1981, № 12, с. 75—77. 4. А.с. 965030 (СССР). Индукционный нагреватель емкостей/К.Г.Скачко, В.А.Сычик и др. — Оpubл. в Б.И., 1982, № 37:

УДК 621.315

Т.Н.СТРЕЛОВА (БПИ)

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ТРЕХМАШИННЫХ АС ЭМПЧ В РАСЧЕТАХ РЕЖИМОВ ЭНЕРГОСИСТЕМ

При объединении энергосистем используется асинхронизированный синхронный электромеханический преобразователь частоты (АС ЭМПЧ).

Необходимость двойного преобразования энергии в АС ЭМПЧ, включаемых в расщелку межсистемных связей и связанные с этим дополнительные потери мощности и энергии, снижают эффективность применения АС ЭМПЧ в электроэнергетических системах. Поэтому в соответствии с [1] перспективным представляется использование АС ЭМПЧ на электрических станциях, где машины преобразователя устанавливаются на валу турбины и подключаются к межсистемным связям объединяемых энергосистем (рис. 1). При необходимости обеспечения большого диапазона выдачи и регулирования обменной мощности между энергосистемами устанавливается третья электрическая машина, жестко связанная с валом турбины, которая посредством коммутационных аппаратов подклю-

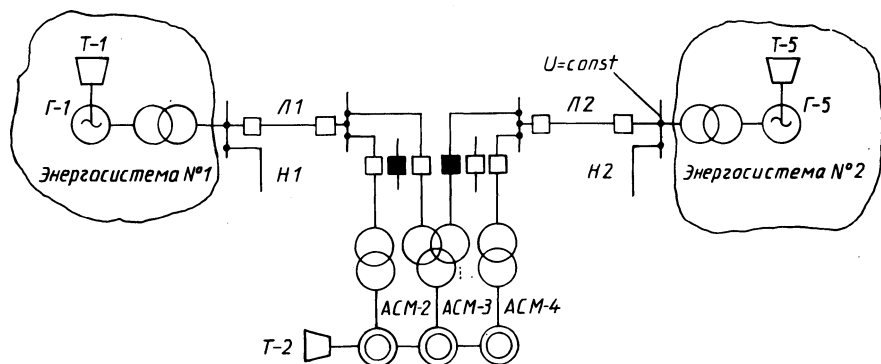


Рис. 1. Схема энергосистемы.