

УДК 621.365

Качан Ю.Г., Левченко С.А.

**К РАСЧЕТУ ОБЪЕМНОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ МОЩНОСТИ В  
ЭЛЕКТРИЧЕСКОМ ТЕПЛОАККУМУЛИРУЮЩЕМ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕ***Запорожская государственная инженерная академия*

В составе гелиоустановок горячего водоснабжения и отопления обязательно присутствуют аккумуляторы тепла (в простейшем случае – бак для горячей воды). В основном необходимость накапливания тепловой энергии в таких установках вызвана, прежде всего, тем, что период прихода солнечного излучения на коллектор, как правило, не совпадает с периодом использования полученного тепла. При этом, баки – аккумуляторы позволяют лишь сгладить колебания температуры в системе. Если температура воды недостаточна, то ее необходимо догреть или переходить на централизованное отопление и горячее водоснабжение [1].

Очевидно, что использование бака – аккумулятора приводит к удорожанию конструкции гелиоустановки. Догрев воды связан с дополнительным расходом электроэнергии или органического топлива (газовый котел и т.п.) [2].

Экономически более выгодно решить указанную проблему путем применения электрического теплоаккумулирующего преобразователя. Его преимущество заключается в том, что можно обойтись без бака-аккумулятора, а тепловую энергию накапливать в промежуточном теплоносителе за счет потребления из сети электрической энергии во внепиковое время по соответствующему минимальному тарифу. При нехватке тепловой энергии, поступающей от солнечного коллектора, ее дополнительное количество можно брать от электрического теплоаккумулирующего преобразователя.

Очевидно, что для обеспечения максимальной энергоэффективности предлагаемого преобразователя необходимо решить оптимизационную задачу выбора его конструктивных параметров и вида используемого теплоносителя, обеспечивающих наилучшие показатели по накоплению энергии (объемному распределению мощности), динамике накопления и последующей отдаче тепла в систему. При этом ввиду сложного воздействия многих факторов на режимы работы такого преобразователя, при определении его конструктивных параметров можно лишь приближаться к их оптимальным значениям.

Разнообразие и сложность геометрических форм и размеров современного электротехнологического оборудования, все более жесткие требования, предъявляемые к точности их расчета, с одной стороны, указывают на ограниченную область применения аналитических методов для такого расчета, а, с другой стороны, подчеркивают актуальность разработки универсальных численных алгоритмов расчета, в данном случае – электромагнитных полей, ориентированных на применение вычислительных технологий. Располагая подобными алгоритмами, позволяющими варьировать геометрическими параметрами, свойствами материалов и другими характеристиками, можно заменить длительный эксперимент быстрым расчетом на ЭВМ различных вариантов и выбором оптимального из них. При этом создаются предпосылки автоматизации процесса проектирования таких теплоаккумулирующих преобразователей.

С этой целью предлагается алгоритм формирования трехмерной математической модели, предназначенной для расчета распределения активной мощности в баке элект-

трического термоаккумулирующего преобразователя в виде системы интегральных уравнений по методу вторичных источников. Решающее преимущество метода вторичных источников перед остальными состоит в возможности построения универсальных и эффективных численных алгоритмов расчета полей, ориентированных на применение ЭВМ и пригодных для неоднородных сред и сложных форм границ раздела сред.

Метод вторичных источников предполагает расчет магнитных и электрических полей путем введения вторичных дополнительных источников в решаемую систему интегральных уравнений. Известно, что возможность замены влияния неоднородной среды такими источниками, вводимыми в однородную среду, является фундаментальным свойством электромагнитного поля [3].

Очевидно, что распределение вторичных источников не может быть произвольным, а должно удовлетворять соответствующему интегральному уравнению. Решив его, можно найти объемное распределение вторичных источников и свести задачу к известной методике расчета поля в однородной среде по известному распределению первичных и вторичных зарядов. Таким образом, решение задачи расчета поля в неоднородной среде складывается из двух этапов: 1) составление системы интегральных уравнений и нахождение из нее распределения неизвестных вторичных источников; 2) расчета эквивалентного поля в однородной среде.

Расчет электромагнитных процессов методом вторичных источников может быть сведен к решению интегральных уравнений Фредгольма II рода. Свойства этих уравнений известны и их численное решение принципиальных трудностей не представляет. Процесс их решения состоит в многократном вычислении объемных и поверхностных интегралов. Чтобы обеспечить необходимую точность вычисления интегралов, их поверхности и объемы разбиваются на множество малых элементов. Для повышения точности решения интегральных уравнений на ЭВМ в них вводится как можно больше добавочной информации об особенностях задачи и об интегральных свойствах искомого решения.

Согласно методу вторичных источников, распределение плотности  $\sigma$  вторичных зарядов удовлетворяет некоторой системе интегральных уравнений. Поверхностная плотность заряда  $\sigma(Q)$  в точке  $Q$ , расположенной на границе раздела областей однородной проводимости, определяется по формуле:

$$\sigma(Q) = 2\lambda_Q \vec{n}_Q^0 \vec{E}(Q), \quad (1)$$

где  $\vec{n}_Q^0$  – вектор единичной нормали к границе раздела в точке  $Q$ ;  $\vec{E}(Q)$  – напряженность в точке  $Q$ , созданная всеми зарядами, распределенными на границах областей, исключая заряд в точке  $Q$ . Здесь параметр  $\lambda_Q$  зависит от проводимости граничащих областей:

$$\lambda_Q = \frac{\gamma^i - \gamma^e}{\gamma^i + \gamma^e}, \quad (2)$$

где  $\gamma^i$  – относительная проводимость области, из которой направлена нормаль к границе;  $\gamma^e$  – относительная проводимость области, в которую направлена нормаль к границе.

Напряженность поля выражается через распределение плотности заряда:

$$\vec{E}(Q) = -\frac{1}{4\pi\gamma_0} \int_S \sigma(M) \frac{\vec{r}_{QM}}{r_{QM}^3} dS_M, \quad (3)$$

где  $r_{QM}$  – расстояние между точкой  $Q$  (фиксированной), в которой определяется напряженность, и точкой  $M$  (переменной), в которой находится заряд  $\sigma(M)dS_M$ ;  $\vec{r}_{QM}$  – вектор расстояния между точками  $Q$  и  $M$ , направленный из фиксированной точки  $Q$  в переменную точку  $M$ . Интегрирование производится по всем границам областей, где распределены с плотностью  $\sigma$  заряды – вторичные источники.

Подставляя значение  $\vec{E}(Q)$  по формуле (3) в формулу (1), получаем линейное однородное интегральное уравнение Фредгольма II рода относительно искомой плотности  $\sigma$  заряда по границе с параметром  $\lambda$ :

$$\sigma(Q) + \lambda_Q \int_S \sigma(M) K(Q, M) dS_M = 0, \quad (4)$$

где  $K(Q, M)$  – ядро интегрального уравнения:

$$K(Q, M) = \frac{\vec{r}_{QM} \cdot \vec{n}_Q}{2\pi r_{QM}^3}. \quad (5)$$

Зная значения составляющих напряженности электрического поля, определяем мгновенную активную мощность, выделяющуюся в единичном объеме  $V_q$  бака аккумулятора:

$$p_q = \gamma E^2(q) = \gamma \left[ E_\rho^2(q) + E_\varphi^2(q) + E_z^2(q) \right] \left( -\frac{1}{4\pi\gamma_0} \right)^2 V_q. \quad (6)$$

Алгоритм расчета объемного распределения мощности электрического термоаккумулирующего преобразователя предусматривает следующую последовательность расчета на ЭВМ.

1. Рассчитывается мгновенное распределение вторичных источников на поверхности раздела сред с различной проводимостью путем решения системы интегральных уравнений при заданной системе трехфазных токов.

2. По мгновенному распределению вторичных источников рассчитываются мгновенные значения напряженности поля в выбранных точках электрического термоаккумулирующего преобразователя.

3. Удельные активные мощности в выбранных точках объема электрического термоаккумулирующего преобразователя рассчитываются как средние значения мгновенных мощностей за определенный период.

Возможности имеющихся ЭВМ и сложная конфигурация поверхностей раздела сред ограничивают при расчете вторичных зарядов число точек. Для получения доста-

точно точного решения их должно быть не менее 5000. Координаты точек для накопителя цилиндрической формы вводятся в программу расчета в виде  $\rho_q, \varphi_q, z_q$  [4].

Для построения математической модели электрического термоаккумулирующего преобразователя принимаем следующие условия:

- преобразователь цилиндрический с тремя круглыми симметрично расположенными электродами;
- допускаем что электроды сверхпроводящие;
- преобразователь работает в трехфазном симметричном синусоидальном режиме.
- ввиду незначительного влияния поверхностного эффекта тока преобразователя магнитное поле не учитываем, а расчеты производим только для электрического поля в проводящей среде.

Предложенная математическая модель достаточно точно отражает распределение мощностей в элементарных объемах теплоаккумулирующего преобразователя. В дальнейшем это позволит рассчитать в последнем и температурное поле.

#### Литература

1. Танака С., Суда Р. Жилые дома с автономным солнечным теплоснабжением: Пер. с яп./Под ред. М.М. Колтуна, Г.А. Гухман. – М.: Стройиздат, 1989.– 184 с.
2. Солнечная энергетика: Пер. с англ. и фр./Под ред. Ю.Н. Малевского и М.М.Колтуна. – М.: Мир, 1979.
3. Тозони О.В. Метод вторичных источников в электротехнике. – М.: Энергия, 1975. – 295 с.
4. С.А. Ольдзиевский, В.А. Кравченко, В.И. Нежурич, И.А. Борисенко. Математическое моделирование электрических полей печей рудной электротермии. – М.: Металлургия, 1990. – 113 с.

УДК 621.365

Качан Ю.Г., Левченко С.А.

#### ДО РОЗРАХУНКУ ОБ'ЄМНОГО РОЗПОДІЛЕННЯ ПОТУЖНОСТІ В ЕЛЕКТРИЧНОМУ ТЕПЛОАКУМУЛЮЮЧОМУ ПЕРЕТВОРЮВАЧІ

Пропонується для підвищення ефективності геліосистем гарячого водопостачання застосовувати електричний теплоаккумулюючий перетворювач, який споживає з мережі електроенергію в позапіковий час за найменшим тарифом. Для розрахунку об'ємної потужності такого перетворювача застосовано метод вторинних джерел, що дозволяє одержати зазначений розподіл за допомогою обчислювальних технологій.