

У статті поставлена задача підвищення енергоефективності систем гарячого водопостачання за рахунок використання електричного теплоакumuлюючого перетворювача, який споживає позапикову електроенергію

Ключові слова: електричний теплоакumuлюючий перетворювач, системи гарячого водопостачання

В статті поставлена задача підвищення енергоефективності систем гарячого водоснабження за счёт использования електрического теплоакumuлюющего преобразователя, потребляющего внепиковую электроэнергию

Ключевые слова: электрический теплоакumuлюрующий преобразователь, системы горячего водоснабжения

The problem of improving energy efficiency of hot water systems due to electric thermal storage converter consuming off-peak electricity is stated in this article

Key words: electric thermal storage converter, hot water supply system

РАСЧЕТ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ МОЩНОСТИ И ТЕМПЕРАТУРЫ В ЭЛЕКТРИЧЕСКОМ ТЕПЛОАККУМУЛИРУЮЩЕМ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕ

С. А. Левченко

Кандидат технічних наук, доцент*
Контактний тел.: (061) 223-84-70
E-mail: Levchenko_S@rambler.ru

Н. А. Баташова

Кандидат технічних наук, доцент*
Контактний тел.: (061) 223-84-70

В. Л. Коваленко

Старший викладач

*Кафедра електротехніки та енергетичного менеджменту

Запорізька державна інженерна академія
пр. Леніна, 226, м. Запоріжжя, 69006
Контактний тел.: (061) 223-83-71, 063-240-50-05,
099-621-96-38
E-mail: telkom82@mail.ru

Предлагаемый электрический теплоакumuлирующий преобразователь (ЭТАП) может быть с успехом использован для автономных источников горячего водоснабжения (мини-котельные, системы солнечного теплоснабжения и др.).

Конструктивно он представляет емкость, заполненную теплоакumuлирующим веществом с высокой удельной теплоемкостью и низкой теплопроводностью. Внутри бака осесимметрично расположены три электрода (по числу фаз) рис.1. ЭТАП работает в симметричном синусоидальном режиме.

Предлагается что ЭТАП будет использовать электроэнергию по внепиковому тарифу, что дает существенную экономию в получении тепловой энергии.

Преимущество ЭТАПа 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 минимально-

му тарифу. При нехватке тепловой энергии ее дополнительное количество можно брать от электрического теплоакumuлирующего 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.

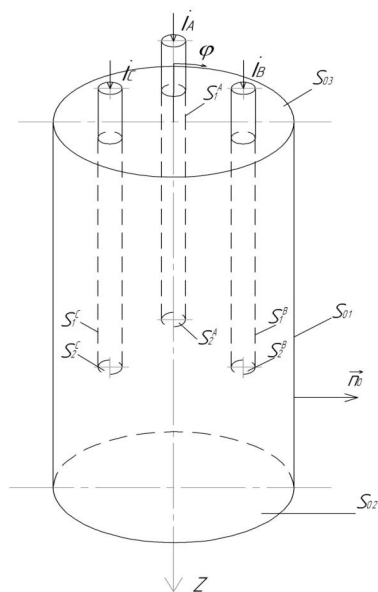


Рис. 1. Расчетная схема математической модели электрического теплоаккумулирующего преобразователя: S – площадь поверхности, 1 – боковая, 2 – нижняя, 3 – верхняя, А,В,С – фазы, 0 - бак

С этой целью предлагается алгоритм формирования трехмерной математической модели, предназначенной для расчета распределения активной мощности в баке электрического 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 выполнять расчет магнитных и электрических полей путем введения дополнительных вторичных источников в решаемую систему интегральных уравнений. Известно, что возможность замены влияния неоднородной среды такими источниками, вводимыми в однородную среду, является фундаментальным свойством электромагнитного поля [1]. Это свойство позволяет привести систему уравнений Максвелла, описывающую поле в неоднородной среде, к системе, описывающей поле

в однородной среде, вводя всюду, где характеристики среды меняются, вторичные источники.

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 σ 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:

$$\sigma(Q) = 2\gamma_0 \lambda_Q \vec{n}_Q \vec{E}(Q), \tag{1}$$

где γ_0 - удельная проводимость какой-либо однородной среды; \vec{n}_Q - 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 λ_Q зависит от проводимости граничащих областей:

$$\lambda_Q = \frac{\gamma^i - \gamma^e}{\gamma^i + \gamma^e}, \tag{2}$$

где γ^i - относительная проводимость области, из которой направлена нормаль к границе; γ^e - относительная проводимость области, в которую направлена нормаль к границе. $\lambda_Q = -1 \div 1$

Напряженность поля выражается через распределение плотности заряда:

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

где r_{QM} - расстояние между точкой Q (фиксированной) и M, в которой определяется напряженность, и

точкой M (переменной), в которой находится заряд $\sigma(M)dS_M$; 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 σ заряды - вторичные источники; $S=S_0+S_A+S_B+S_C$ - поверхности проводящего тела (фазы и бак).

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

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

где

$$K(Q,M) = \frac{r_{QM}^{-1} - r_{QM}^{-3}}{2\pi r_{QM}^3} \quad (5)$$

- ядро интегрального уравнения.

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

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

Электрический теплоаккумулирующий преобразователь имеет высоту H_0 и радиус R_0 (рис.2).

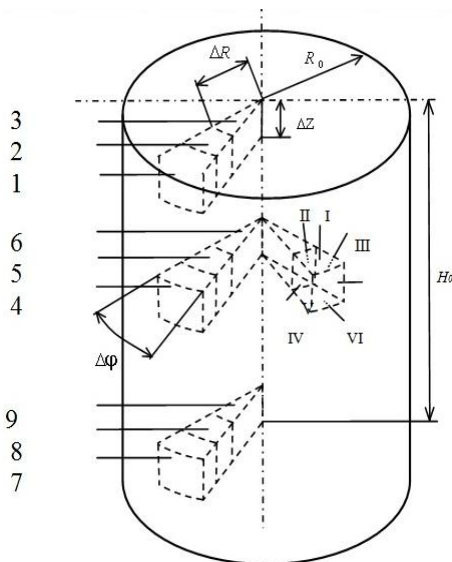


Рис. 2. Типы элементарных объемов

Разобьем цилиндр на ряд элементарных геометрических форм, в пределах которых закон изменения температуры будем считать линейным. В качестве элементарной геометрической формы примем сектор со сторонами ΔR , Δz и углом $\Delta \varphi$. Расчетные точки расположим в геометрическом центре каждого элементарного сектора. Введем следующие обозначения: N_φ - число разбиений цилиндра по φ ; N_z - число разбиений

цилиндра по z ; k - номер элементарного объема по оси R . В зависимости от места расположения элементарных объемов можно выделить их 9 типов с гранями I, II, III, IV, V, VI.

Для того, чтобы объем элементарного сектора ΔV , содержащий расчетную точку, оставался неизменным зададимся его значением и в зависимости от этого определим каждое изменение ΔR_k по оси R :

$$\Delta R_k = \sqrt{\frac{\Delta V N_\phi}{\pi \Delta z}} (\sqrt{k+1} - \sqrt{k}), \quad (7)$$

где $\Delta z = H_0/N_z$.

Общий вид уравнения теплового баланса для рассматриваемого элементарного объема:

$$Q_I + Q_{II} + Q_{III} + Q_{IV} + Q_V + Q_{VI} + Q_W = \Delta J, \quad (8)$$

или

$$\sum_{i=1}^n Q_{ij} + Q_{Wj} = \Delta J_j, \quad (9)$$

где $Q_I, Q_{II}, Q_{III}, Q_{IV}, Q_V, Q_{VI}$ - количество теплоты, вошедшее, либо вышедшее из элементарного объема за время Δt через соответствующие индексам грани; Q_{Wj} - количество теплоты, выделившееся за время Δt внутри элементарного объема; ΔJ_j - изменение теплоемкости последнего. Здесь индекс i - номер грани элементарного объема; j - номер элементарного объема.

С учетом введенных обозначений и после соответствующих преобразований представим (9) в виде:

$$t_{R,\phi,z}^{\tau+\Delta\tau} = t_{R,\phi,z}^\tau + \frac{1}{c_{vN}\rho \cdot \Delta V} \left(\sum_{i=1}^n Q_{ij} + Q_{Wj} \right). \quad (10)$$

Последнее уравнение позволяет рассчитать температуру в центре любого элементарного объема в момент времени $\tau + \Delta \tau$. В результате, зная расход теплоносителя, используемого для теплосъема, и его температуру перед преобразователем можно определить температуру на выходе ЭТАПа в любой момент времени τ :

$$t_{\text{ВЫХ}}^{\text{ЭТАП}} = t_{\text{ВХ}}^{\text{ЭТАП}} + \frac{\sum_{j=1}^m Q_{j\tau} - Q_{\text{Т.П.}\tau}}{G_{\text{Т.Н}} \cdot \Delta\tau} \quad (11)$$

где $t_{\text{ВХ}}^{\text{ЭТАП}}$ - температура перед ЭТАПом, К; $G_{\text{Т.Н}}$ -

расход теплоносителя, м³/с; $C_{\text{Т.Н}}$ - его теплоемкость,

Дж/(м³К); m - количество элементарных объемов, омываемых теплоносителем, Q_j - теплосодержание j -го элементарного объема, Дж; $Q_{\text{Т.П.}\tau}$ - потери тепла, связанные с типом изоляции на месте установки ЭТАПа, Вт.

Литература

1. Тозони, О.В. Метод вторичных источников в электротехнике / О.В. Тозони. – М.: Энергия, 1975. – 295 с.
2. Математическое моделирование электрических полей печей рудной электротермии : учеб, пособие / С.А. Ольдзиевский, В.А. Кравченко, В.И. Нежурин, И.А. Борисенко. – М.: Металлургия, 1990. – 113 с.
3. Качан, Ю.Г. Применение электрического теплоаккумулирующего преобразователя для повышения эффективности систем горячего водоснабжения / Ю.Г. Качан, С.А. Левченко, Н.А. Кононенко. // Збірник наукових праць Міжнародної науково-технічної конференції “Енергоефективність’2005” (Додаток до журналу “Холодильна техніка і технологія”). – 2005. – С. 90 – 93.
4. Исаченко, В.П. Теплопередача : учеб, пособие / В.П. Исаченко, В.А. Осипова, А.С. Сукомел. – М.: Энергоиздат, 1981. – 416с.
5. Жукаускас, А.А. Теплопередача и тепловое моделирование / А.А. Жукаускас – М.: Изд-во АН СССР, 1959. –212 с.