

Министерство образования и науки Российской Федерации

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«САРАТОВСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ Н.Г.ЧЕРНЫШЕВСКОГО»

Кафедра общей физики
наименование кафедры

**Анализ термоэлектрических модулей для охлаждения и
термостабилизации радиоэлектронных устройств**

АВТОРЕФЕРАТ БАКАЛАВРСКОЙ РАБОТЫ

студентки 4 курса 431 группы

направления 03.03.02 «Физика»
код и наименование направления

физического факультета
наименование факультета

ГОЛУБЕВОЙ Ольги Юрьевны
фамилия, имя, отчество

Научный руководитель

к.ф.-м.н., доцент
должность, уч. степень, уч. звание

подпись, дата

С.В. Овчинников
инициалы, фамилия

Зав. кафедрой

д. ф.-м. н., профессор
должность, уч. степень, уч. звание

подпись, дата

А.А. Игнатъев
инициалы, фамилия

Саратов 2016

Введение

Современные технические устройства в высокой степени насыщены радиоэлектронной аппаратурой (РЭА) различного назначения. При этом происходит совершенствование ее элементной базы при постоянном стремлении максимально снизить габариты и массу радиоэлектронных систем.

Однако значительная доля энергии питания РЭА превращается в тепловую энергию с соответствующим перегревом элементов и аппаратуры в целом. Кроме того, в широких пределах могут меняться условия ее эксплуатации, в том числе и температура окружающей среды. Все это может приводить к снижению надежности РЭА и требует обеспечения нормализации теплового режима РЭА.

Нормализации теплового режима можно добиться осуществлением ряда мероприятий, к которым, в первую очередь, относятся:

- разработка термостабильных элементов и схем,
- оптимизация компоновки блоков и элементов РЭА,
- применение систем терморегулирования.

Применение систем терморегулирования для нормализации теплового режима РЭА является универсальным методом, хотя часто стоимость систем термостабилизации радиоэлектронных устройств значительно выше стоимости самих устройств. Тем не менее, для обеспечения надежной работы сложной аппаратуры в течение длительного времени такие затраты являются обоснованными.

В настоящей работе рассматривается проблема термостабилизации первичных преобразователей гетеромагнитных датчиков слабых магнитных полей. Эти датчики обладают высокой чувствительностью и работают на принципе ферромагнитного резонанса. Однако показания датчика существенно зависят от температуры его первичного преобразователя. Поэтому управляемая термостабилизация датчика весьма желательна. Поскольку собственная потребляемая мощность датчика не велика (не более

0,5 Вт), то в качестве системы терморегулирования для него можно применить систему на основе термоэлектрических модулей Пельтье. Они удобны в том плане, что могут работать как на охлаждение, так и на нагрев и режим их работы может регулироваться автоматически.

Целью настоящей квалификационной работы является исследование вопросов, связанных с возможностью применения модулей Пельтье для термостабилизации элементов электронных систем, в частности, первичных преобразователей гетеромагнитных датчиков слабых магнитных полей, и выработке рекомендаций по компоновке элементов датчика и модулей Пельтье с позиций минимизации энергопотребления модулей Пельтье и повышения эффективности процесса термостабилизации.

Основное содержание работы

В первом разделе работы рассмотрена теория основных термоэлектрических эффектов: эффекта Зеебека, эффекта Пельтье и эффекта Томсона.

Во втором разделе приведена общая методика расчета переноса тепловой энергии однокаскадным модулем Пельтье как функции температурного перепада между горячей и холодной гранями модуля и тока питания модуля. Отмечено, что зависимость холодопроизводительности элемента Пельтье от силы тока питания имеет параболический характер с четко выраженным максимумом. Такая типовая зависимость холодопроизводительности от силы тока представлена на рисунке 1. На этой основе можно определить нерациональные и недостижимые значения тока питания при требуемых заданных значениях температурных перепадов и отводимой тепловой мощности.

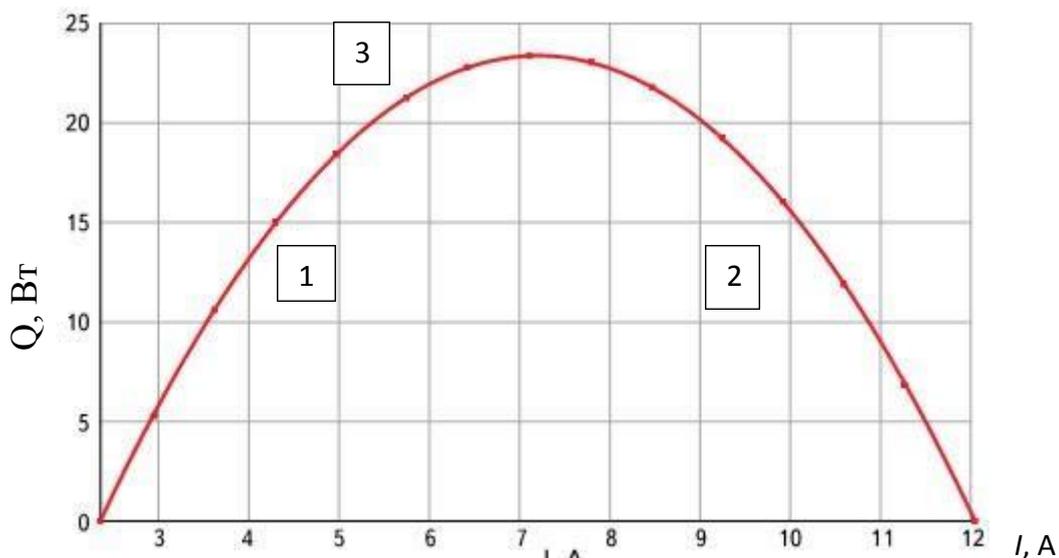


Рисунок 1 - Типовая зависимость холодопроизводительности элемента Пельтье от силы тока питания

- 1 – практические значения силы тока,
- 2 – нерациональные значения силы тока,
- 3 – недостижимые значения силы тока.

Холодильный коэффициент элемента есть отношение его холодопроизводительности к потребляемой мощности:

$$\eta = \frac{\alpha I T_x - \frac{1}{2} I^2 R - \Lambda \Delta T}{I(\alpha \Delta T + IR)}$$

Максимальное значение холодильного коэффициента может быть получено использованием оптимальной величины тока I_0 , которая находится с помощью производной $d\eta/dI$ путем приравнивания ее к нулю. Проведя вычисления, получим:

$$I_0 = \frac{\alpha \Delta T}{R \left[\sqrt{1 + z \left(\frac{T_r + T_x}{2} - 1 \right)} \right]}$$

Подставляя значения тока из этого уравнения в выражение для η , получим максимальную величину холодильного коэффициента для заданных температур и коэффициента добротности:

$$\eta_0 = \frac{\alpha T_x I_0 - \frac{1}{2} I_0^2 R - \Lambda \Delta T}{I_0 [\alpha \Delta T - I_0 R]}.$$

Введя обозначения

$$\sqrt{1 + \frac{z}{2} (T_r + T_x)} = m \quad \text{и} \quad z = \frac{2(m^2 - 1)}{T_r + T_x},$$

окончательно имеем:

$$\eta_0 = \frac{(m-1) \frac{T_x}{\Delta T} - \frac{1}{2} \frac{\Lambda R (m-1)^2}{\alpha^2 \Delta T}}{m}.$$

В третьем разделе работы представлена методика определения параметров промышленно выпускаемых модулей Пельтье, пригодных для обеспечения заданных условий теплоотвода от охлаждаемого электронного устройства.

Пусть имеется электронное устройство, генерирующее стационарную тепловую мощность P_T (Вт), которую необходимо отвести от него с помощью элемента Пельтье. Требуемая температура устройства T_y , температура окружающей среды T_{cp} .

К паспортным параметрам модули Пельтье относятся следующие:

I_{max} – максимальный рабочий ток (А);

U_{max} – максимальный рабочее напряжение (В);

Q_{max} – максимальная холодопроизводительность (Вт);

ΔT_{max} – максимальный температурный переход на элементе при температуре горячей поверхности $T_r = 25^\circ\text{C}$;

R – омическое сопротивление элемента (Ом);

геометрические параметры модуля (размеры контактной площадки и толщина).

К системе охлаждения на основе модуля Пельтье мы должны отнести:

-тепловое сопротивление электронного устройства R_{Ty} (к/Вт);

-тепловое сопротивление элемента сопряжения устройства с модулем

Пельтье R_{TC} (К/Вт);

- тепловое сопротивление самого модуля $R_{T\text{Пе}}$ (К/Вт) или его тепловую проводимость $\Lambda = 1/R_{T\text{Пе}}$ (Вт/К);

- тепловое сопротивление теплоотвода с учетом устройства его сопряжения с горячей поверхностью модуля Пельтье R_{TT} (К/Вт).

Отсюда можно получить предельное сверху значение теплового сопротивления теплопровода R_{TT} , обеспечивающее работоспособности всей системы охлаждения:

$$R_{TT} = \frac{\Delta T_m + T_y - T_{cp} - P_m \cdot (R_{my} + R_{mc}) - \Delta T_m \frac{P_m}{Q_{max}}}{P_m + I_{max}^2 R} .$$

Поскольку тепловое сопротивление теплоотвода не может быть нулевым, то из условия $R_{TT} > 0$ получим ограничение на отводимую от устройства тепловую мощность:

$$P_{m\Sigma} < \frac{\Delta T_{max} + T_y - T_{cp}}{R_{my} + R_{mc} + T_{max}/Q_{max}} .$$

При использовании модулей Пельтье для построения систем термостабилизации необходимо поддерживать неизменной температуру электронного устройства при изменении температуры окружающей среды. Это означает, что необходимо использовать датчики температур, которые будут управлять источником тока, питающего модуль Пельтье. Для этого необходимо знать зависимость тока, потребляемого модулем, от температуры окружающей среды.

Вводится текущий температурный перепад на модуле Пельтье:

$$\Delta T = T_\Gamma - T_X = T_{cp} + (P_T + I_{Xmax}^2 R) R_{Tp} - T_y + P_T R_{Tk} .$$

Обозначим $\Delta T'_m$ максимальный перепад на модуле при величине тока I ($I < I_{max}$). Тогда, считая нагрузочные характеристики линейными, получим

$$\frac{\Delta T'_m - \Delta T}{P_{max}} = \frac{\Delta T_m}{Q_{max}} ,$$

Откуда

$$\Delta T'_m = \frac{\Delta T_m}{Q_{max}} P_T + \Delta T .$$

Типичную зависимость $I/I_x = f(\Delta T'_m/\Delta T)$ можно аппроксимировать функцией вида

$$I = I_x \left[\left(1 - \frac{\Delta T'_m}{\Delta T_m} \right)^2 + 1 \right].$$

При проведении расчетов необходимо использовать метод последовательных приближений. В качестве исходного приближения можно принять $T_\Gamma = T_{cp}$.

Метод последовательных приближений необходим, поскольку общее выражение для тока питания элемента Пельтье

$$I = \frac{\alpha T_x}{R} \pm \frac{1}{2} \sqrt{\left(\frac{2\alpha T_x}{R} \right)^2 - \frac{8}{R} (Q + \Lambda \Delta T)}$$

включает общую тепловую мощность рассеяния Q , которая зависит от тока питания. Кроме того, полученную методом последовательных приближений количественную связь между током и температурой среды можно скорректировать, определив по паспортным данным тепловую проводимость модуля Пельтье: $\Lambda = \frac{Q_{max}}{\Delta T_{max}}$. Коэффициент термо ЭДС модуля в целом тоже можно оценить по паспортным данным, поскольку в режиме максимального температурного перепада $Q=0$ и

$$\Lambda \cdot \Delta T = \frac{(\alpha T_x)^2}{2 \cdot R}, \quad U_{max} = \alpha \cdot \Delta T_{max} + I_{max} \cdot R.$$

Отсюда

$$\alpha = (U_{max} - I_{max} \cdot R) / \Delta T_{max}.$$

Наконец, в четвертом разделе работы приведен обзор современных конструктивных материалов для термоэлектрических преобразователей.

Также отмечены специфические свойства и характеристики модулей Пельтье, которые необходимо учитывать при их использовании в составе охлаждающих средств.

Заключение

На основе анализа литературных данных рассмотрена возможность использования термоэлектрических модулей Пельтье для охлаждения электронных систем в условиях повышенной температуры окружающей среды. В качестве критерия для оценки эффективности применения модуля Пельтье для охлаждения электронного устройства предложено принять максимально возможное тепловое сопротивление обобщенного теплоотвода (например, радиатора системы охлаждения), при котором обеспечивается требуемый тепловой режим охлаждаемого устройства.

Разработана методика оценки зависимости тока питания модуля Пельтье от температуры окружающей среды при известных тепловых сопротивлениях всех элементов системы отвода тепла от охлаждаемого объекта, тепловой мощности, отводимой от объекта, и требуемого значения его рабочей температуры.

Показано, что если позволяют масс-габаритные показатели и требуемые энергетические затраты, использование термоэлектрических модулей для термостабилизации электронных систем вполне оправдано, а предлагаемая простая методика оценки эффективности используемых в этих целях модулей Пельтье дает возможность оптимизации конструкции в условиях повышенной температуры среды. При этом необходимо учитывать следующее:

- Модули Пельтье выделяют в процессе своей работы большое количество тепла, поэтому требуют наличия эффективных теплоотводов.
- Модуль Пельтье, в случае выхода его из строя, изолирует охлаждаемый электронный элемент от теплоотвода. Это приводит к очень быстрому нарушению теплового режима защищаемого элемента и скорому выходу его из строя от последующего перегрева.
- Низкие температуры, возникающие в процессе работы холодильников Пельтье избыточной мощности, способствуют конденсации влаги из воздуха. Поэтому температуру стабилизации защищаемого

элемента желательно выбирать не ниже комнатной, а защищаемый элемент помещать в герметичный корпус с инертным газом.

– Желательно холодную грань модуля Пельтье вместе с защищаемым объектом изолировать от остального окружения какой-либо адиабатической оболочкой для увеличения эффективности работы модуля.

– При использовании модуля Пельтье для тепловой стабилизации первичного преобразователя гетеромагнитного датчика геомагнитного поля необходимо исключить платы управления из зоны тепловой стабилизации, оставив в ней только автогенератор первичного преобразователя и магнит системы подмагничивания ферритового резонатора. Однако при этом необходимо решить задачу об оптимальном размещении всех элементов конструкции датчика в целом, включая теплоотводящую систему.

Результаты настоящей дипломной работы будут использованы при разработке датчиковых систем в ОАО «Институт критических технологий», на кафедре общей физики СГУ и базовой кафедре специальных и критических технологий. Кроме того, общая теоретическая часть работы может быть использована в специальной учебной дисциплине «Теплоэнергетические процессы в электронных устройствах» в разделе «Термоэлектрический эффект».

Список использованных источников содержит 16 наименований.