

Фотоэлектроника: элементная база и технология

УДК 621.383.229.017.7

О некоторых особенностях оптимизации режимов электропитания термоэлектрических охладителей в составе фотоприемников

Г. А. Аракелов

РНЦ ФГУП «НПО "Орион"», Москва, Россия

Л. Б. Ершова, Г. Г. Громов

ЗАО "РМТ", Москва, Россия

Приведен пример оптимизации режима электропитания двухкаскадного термоэлектрического охладителя (ТЭО) в составе 64-площадного фотоприемника (ФП). Теоретические и экспериментальные исследования показали, что оптимальные ТЭО для применения в ФП и их режимы работы определяются рядом факторов и условий эксплуатации. При известной величине теплового сопротивления, стыкуемого с ФП теплосбрасывающего радиатора, имеются рабочие значения $I_0 < I_{\max}$ и $U_0 < U_{\max}$, которые обеспечивают наиболее благоприятные режимы эксплуатации системы "ФП+радиатор". При прочих равных условиях из двух ТЭО с одинаковыми значениями I_{\max} предпочтительным в плане снижения энергопотребления являются ТЭО с большим значением U_{\max} .

Распространенной практикой является выбор ТЭО для использования в составе ФП по так называемым, максимальным параметрам, а именно величинам максимальных тока I_{\max} , напряжения U_{\max} , перепада температур ΔT_{\max} и холодопроизводительности Q_{\max} . При этом имеется в виду, что I_{\max} и U_{\max} не являются предельно допустимыми параметрами, а соответствуют режиму реализации перепада температур ΔT_{\max} при условии $Q_0 = 0$.

Данная практика обусловлена тем, что эти максимальные параметры являются основными элементами спецификации ТЭО на международном рынке.

В оптико-электронной аппаратуре, работающей в средневолновом ИК-диапазоне, включающем атмосферное окно 3—5 мкм, в котором сосредоточена весомая доля спектра слабо нагретых тел, с успехом используются ФП, охлаждаемые специальными ТЭО [1]. Рассмотрение некоторых особенностей оптимизации режимов электропитания ТЭО в составе ФП неразрывно связано с международной практикой их технической спецификации и основывается на фиксации так называемых параметров, а именно, максимальных тока I_{\max} , напряжения U_{\max} , перепада температур ΔT_{\max} и холо-

допроизводительности Q_{\max} [2]. При этом, несмотря на разные мнения по этому вопросу, режимы I_{\max} и U_{\max} отнюдь не определяют предельно допустимый режим электропитания. Последний определяется температуростойкостью ТЭО. Действительно, при эксплуатации ТЭО его тепловыделяющая поверхность неизбежно перегревается относительно температуры окружающей среды $T_{\text{о.с.}}$. Существуют такие текущие значения тока и напряжения I_{pr} и U_{pr} , превышение которых приводит к столь высокой температуре тепловыделяющей поверхности, что начинается размягчение припоя, коммутирующего ТЭО, и как следствие этого, развивается негативный процесс нарушения его целостности.

Как указано в работе [2], физический смысл максимальных параметров лежит в совершенно другой области. В зависимости от величины тепловой нагрузки на ТЭО возможна реализация самых различных перепадов ΔT между температурами тепловыделяющей и теплопоглощающей поверхностей (T_g и T_x , соответственно) в диапазоне 0— ΔT_{\max} . При этом режим $\Delta T = 0$ регистрируется, когда $Q = Q_{\max}$, а режим $\Delta T = \Delta T_{\max}$ — при $Q = 0$. В то же время при прочих равных условиях

реализация режима ΔT_{\max} возможна только при некоторых оптимальных значениях I и U , которые и получили обозначения I_{\max} и U_{\max} .

В настоящее время практически все отечественные и зарубежные разработчики ТЭО указывают в спецификации на свою продукцию значения I_{\max} , U_{\max} , ΔT_{\max} и Q_{\max} при $T_g = 300$ К и давлении остаточных газов окружающей среды $\leq 10^{-3}$ мм рт. ст., при котором конвективная составляющая тепловой нагрузки на ТЭО практически отсутствует.

В работе [2] также показано, что теплотехнический анализ системы "ТЭО + радиатор" позволяет сформулировать парадоксальное, на первый взгляд, положение: электропитание ТЭО в режиме I_{\max} и U_{\max} непродуктивно. Рабочие значения $I_0 < I_{\max}$ и $U_0 < U_{\max}$ должны быть такими, чтобы обеспечить важнейшее условие электропитания:

$$d\Delta T / dP_0 \geq R_p,$$

где $P_0 = Q_0 + W_0$ — рассеиваемая тепловая мощность, Вт;

Q_0 — рабочая холодопроизводительность ТЭО, Вт;

W_0 — потребляемая электрическая мощность, Вт;

R_p — тепловое сопротивление радиатора, К/Вт.

Очень часто разработчикам ТЭО в качестве исходных данных для проектирования, кроме значения $T_{o.c.}$, T_x и W_0 , задаются вполне конкретные, определяемые особенностями оптико-электронной аппаратуры, значения U_0 и R_p . Обычно это бывает,

когда имеется источник питания аккумуляторного типа, а теплосбрасывающий радиатор уже конструктивно определен, и улучшение его эффективности не представляется возможным. Для этого случая рассмотрим дополнительные критерии выбора наиболее предпочтительного ТЭО на примере изделия ФУР-129Л.

Исходными техническими требованиями для выбора ТЭО являлись:

объект охлаждения: подложка из фотостекла с размерами $7,7 \times 4,0 \times 0,3$ мм³ и длиной фоточувствительного элемента (ФЧЭ) 6,4 мм;

T_x (при температуре окружающей среды $T_{o.c.} = 293$ К), К — ≤ 233 ;

U_0 — 3,5 В;

R_p — 3,0 К/Вт.

Кроме того, необходимо было учесть, что расчетная величина теплопритоков Q_0 составляет 0,170 Вт.

Ориентируясь на данные ЗАО "Российские материалы и технологии" ("РМТ"), (Москва), сравним технические параметры двух наиболее подходящих для данного случая ТЭО.

Заметим, что оба типа ТЭО сконструированы на базе ветвей термоэлементов, имеющих одинаковые размеры и, соответственно, значения I_{\max} . В то же время, отличаясь увеличенным числом термоэлементов, ТЭО 2МС06-051-12 имеет большие величины U_{\max} и Q_{\max} . Каждый из рассматриваемых ТЭО характеризуется, в том числе серией так называемых нагрузочных зависимостей $Q(\Delta T)$ и $U(\Delta T)$ при значениях как I_{\max} , так и тока $I < I_{\max}$ (рис. 1).

Таблица 1

Параметр	Тип ТЭО	
	2МС06-041-12	2МС06-051-12
Число каскадов	2	
Сечение ветви термоэлемента, мм	0,6×0,6	
Высота ветви термоэлемента, мм	1,2	
Число термоэлементов:		
в верхнем каскаде	12	14
в нижнем каскаде	29	37
Коэффициент каскадирования	2,58	2,64
Размеры теплопоглощающей поверхности, мм	4×7	
Размеры тепловыделяющей поверхности, мм	8×8	8×10
Высота ТЭО, мм	4,1	4,1
I_{\max}^* , А	1,2	
U_{\max}^* , В	3,95	4,95
ΔT_{\max}^* , К	93,9	95,2
Q_{\max}^* , Вт	1,31	1,58

* Значение параметров приведены при температуре тепловыделяющей поверхности 300 К.

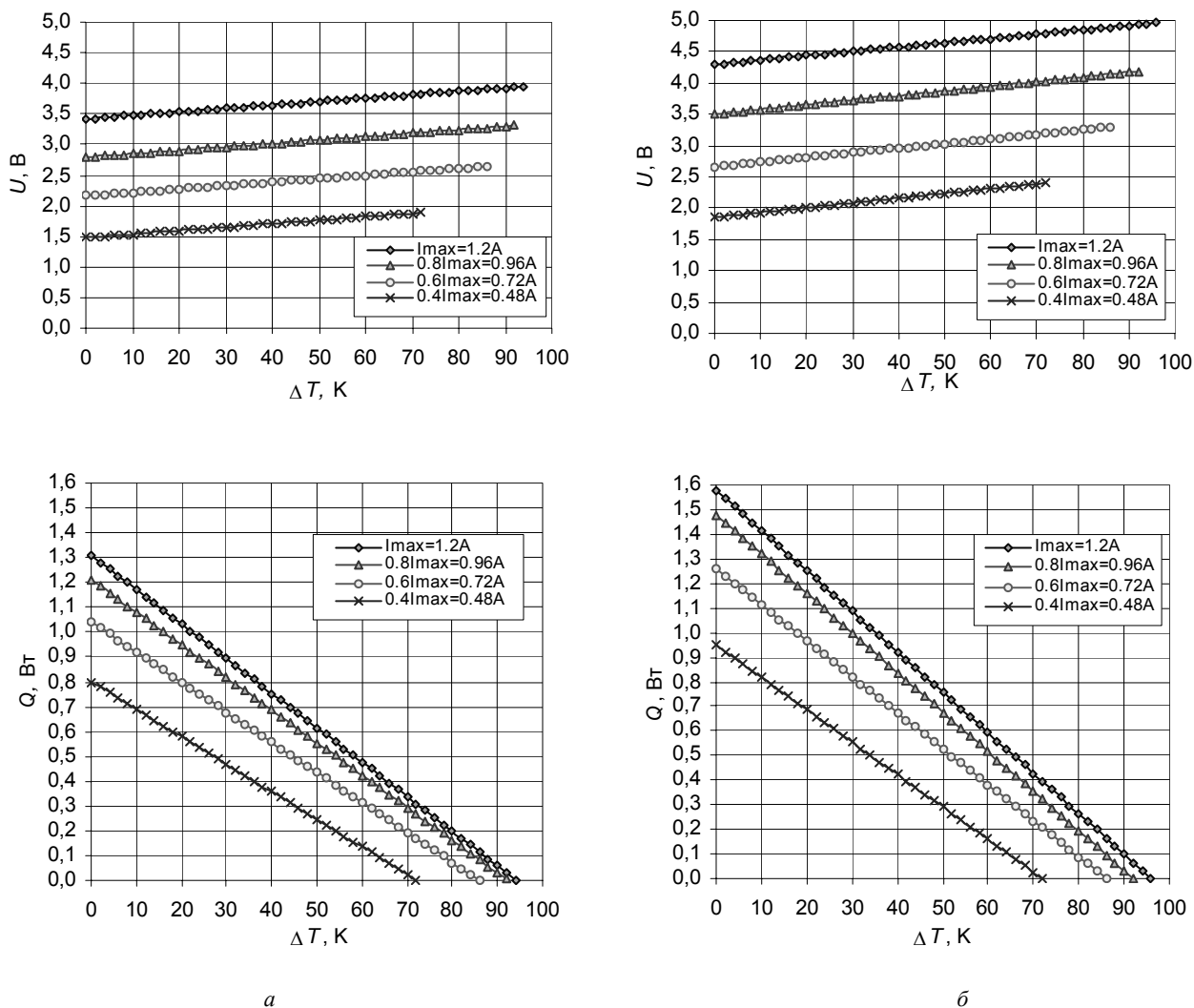


Рис. 1. Нагрузочные зависимости ТЭО:
a — для ТЭО типа 2MC06-041-12; *б* — для ТЭО типа 2C06-051-12

Эти зависимости содержат в себе вполне достаточные сведения для графического построения других характеристик ТЭО, интересующих разра-

ботчиков ФП. Так, для сравнительных оценок ТЭО построим график $I(U)$ при $T_g = 300$ К и $Q_0 = 0$ Вт (рис. 2).

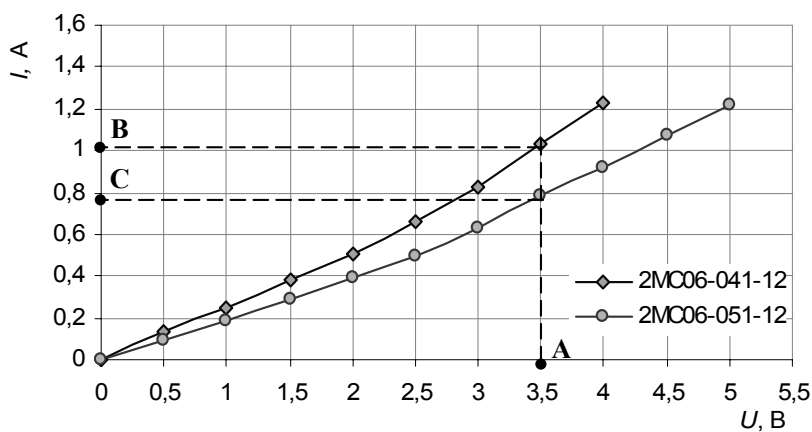


Рис. 2. Зависимости тока от напряжения питания ТЭО

Выясним, что при заданной величине $U_0 = 3,5$ В (см. рис. 2, точка А) для ТЭО типа 2МС06-041-12 $I_0 = 1,03$ А (см. рис. 2, точка В), соответственно, $W_0 = 3,605$ Вт (см. рис. 3, точка В'), для ТЭО типа 2МС06-051-12 — $I_0 = 0,78$ А (см. рис. 2, точка С) и $W_0 = 2,73$ Вт.

Воспользовавшись еще раз данными рис. 1, а также методом графического дифференцирования, построим зависимости $\Delta T(W)$ и $R_p(W)$ (рис. 3) для двух типов ТЭО при $T_g = 300$ К и $Q_0 = 0$ Вт (т. е. когда $W_0 = P_0$). Видно, что условие, накладываемое на тепловое сопротивление радиатора для ТЭО 2МС06-041-12 жестче, чем для ТЭО 2МС06-051-12: для ТЭО типа 2МС06-041-12 функция $R_p(W)$ лежит ниже в каждой точке W . Это же справедливо относительно рабочих точек (см. рис. 3, точки F и G). При таких уровнях W_0 ТЭО типа 2МС06-041-12 должен реализовывать $\Delta T = 93$ К

Таблица 2

Параметр	Тип ТЭО	
	2МС06-041-12	2МС06-051-12
$T_{o.c.}$, К	293	
Q_0 , Вт	0,170	
R_p , К/Вт	3,0	
U_0 , В	3,5	
I_0 , А	1,03	0,78
W_0 , Вт	3,605	2,748
T_g , К	303,82	301,24
ΔT , К	82,0	77,5
ΔT_e , К	71,18	69,26
T_x , К	221,82	223,74

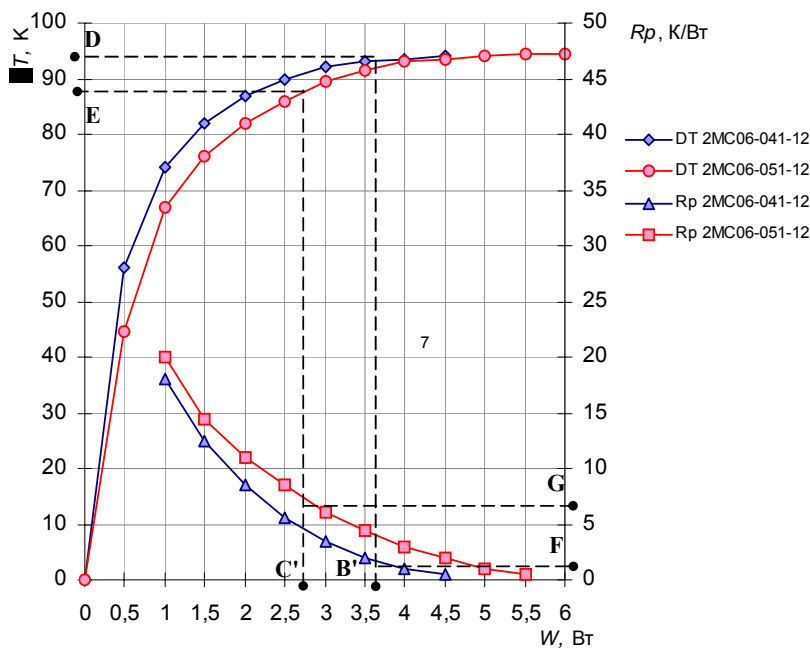


Рис. 3. Зависимости перепада температур и теплового сопротивления радиатора от потребляемой мощности ТЭО

(см. рис. 3, точка D), а ТЭО типа 2МС06-051-12 — $\Delta T = 87,5$ К (см. рис. 3, точка E).

Таким образом, на первый взгляд, ТЭО 2МС06-041-12 имеет преимущество перед 2МС06-051-12, так как позволяет достичь ΔT на 5,5 К больше, однако это не совсем так.

Потребителей ТЭО интересует в конечном итоге не $\Delta T = T_g - T_x$, а эффективный перепад температуры $\Delta T_E = T_{o.c.} - T_x$. Очевидно, что чем больше W_0 , а значит, при заданном значении R_p и перегрев теплосбрасывающего радиатора относительно $T_{o.c.}$, тем меньше ΔT_E . Именно с учетом этого фактора и необходимо рассматривать вопрос о целесообразности применения того или иного типа ТЭО. В табл. 2 приведены сравнительные расчетные

данные по эксплуатационным параметрам обоих типов ТЭО с радиатором.

Из рассмотренных данных табл. 2 можно сделать вывод о том, что оба типа ТЭО реализуют примерно одинаковую разность температур ΔT_E и, соответственно, T_x (различие составляет всего 1,92 К). Тем не менее ТЭО типа 2МС06-051-12 является более предпочтительным, так как потребляет на ~ 24 % электрической мощности меньше, чем типа ТЭО 2МС06-041-12. Этот фактор играет важную роль, так как комплектующие тепловизоры, как правило, имеют в качестве источника питания аккумуляторную батарею, и понижение энергоемкости ФП увеличивает время

непрерывной работы тепловизора и сокращает количество и частоту регламентных работ по его обслуживанию. Кроме того, пониженный перегрев теплосбрасывающего радиатора в большей степени удовлетворяет специфике эксплуатации тепловизора в циклическом режиме "включен"—"выключен". При этом после каждого выключения ФП за счет вновь возникающего потока тепла в направлении от перегретого радиатора к ФЧЭ его температура в течение короткого промежутка времени (несколько секунд) может превысить температуру $T_{o.c.}$. Тогда при последующем включении тепловизора температурный уровень охлаждения ФЧЭ будет уже выше, чем при предыдущем включении, что в свою очередь ухудшает фоточувствительные параметры ФП.

Таким образом, чем незначительнее потребляемая мощность ФП и, соответственно, перегрев

радиатора относительно $T_{o.c.}$, тем меньше будет сказываться этот негативный фактор на эксплуатационных параметрах ФП и комплектуемого тепловизора.

Исходя из вышеизложенных рассуждений, можно сделать вывод, что при прочих равных условиях и наперед заданных значениях U_0 и R_p из двух ТЭО с одинаковыми значениями I_{max} предпочтительным для комплектования ФП является ТЭО с большим значением U_{max} .

Л и т е р а т у р а

1. Аракелов Г. А.// Прикладная физика. 2002. № 6. С. 78—84.
2. Аракелов Г. А., Магнушевский В. Р., Сивенкова В. Н., Троицкий И. М., Казанцев Г. А.// Там же. № 2. С. 69.

Some aspect on thermoelectric cooler optimization for application in photodetectors

G. A. Arakelov

RSC FSUE "NPO Orion", Moscow, Russia

L. B. Yershova, G. G. Gromov

RVT Ltd, Moscow, Russia

In the paper the example of optical TEC estimation for the application in a 64-element PD array is advised. Theoretical and experimental investigations demonstrate that an optimal TEC for a PD application and its most suitable operation parameters depend on a range of factors and application conditions. At a given value of thermal resistance of heat sink onto which PD is mounted there are real parameters of TEC $I_0 < I_{max}$ and $U_0 < U_{max}$ that provide the optimal operation of the "PD+heat sink" system. Between two TECs wqual values of their I_{max} the type with higher U_{max} is preferable.

УДК 621.383

Аппаратно-программный комплекс цифровой обработки сигналов многорядных матричных фотоприемных устройств

Ю. С. Бехтин, А. А. Баранцев

Рязанская государственная радиотехническая академия,
г. Рязань, Россия

В. Н. Соляков, А. С. Медведев

ФГУП «НПО "Орион"», Москва, Россия

Рассмотрено аппаратное и алгоритмическое обеспечение аппаратно-программного комплекса (АПК), предназначенного для обработки сигналов многорядных матричных фотоприемных устройств (МФПУ) на основе фотодиодов из КРТ. АПК построен на базе пер