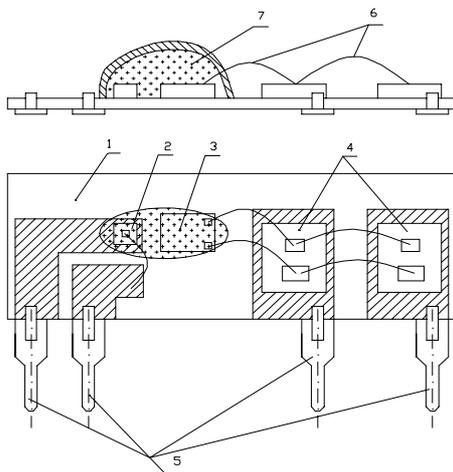


## Анализ тепловых режимов работы оптоэлектронных коммутаторов серии К294КП

Микросхемы серии К294КП - новый класс оптоэлектронных коммутаторов, предназначены для управления с помощью цифровых интегральных схем различными устройствами автоматики, например, такими как электродвигатели малой мощности и сигнальные лампы, электромагнитные клапаны и пускатели [1]. Тщательный расчет теплового режима работы оптоэлектронных коммутаторов позволяет использовать их в широком диапазоне коммутируемых токов.

Конструктивно оптоэлектронный коммутатор серии К294КП представляет собой гибридную интегральную схему (см. рис. 1), в которой на диэлектрическом основании расположены полупроводниковые кристаллы светодиода и фотоприемника, оптически связанные между собой локально сформированными прозрачными перемычками, а также другие пленочные и дискретные компоненты электрически связанные между собой и внешними выводами [2]. (Функциональная схема и принцип работы такого прибора достаточно подробно описан в [3]).

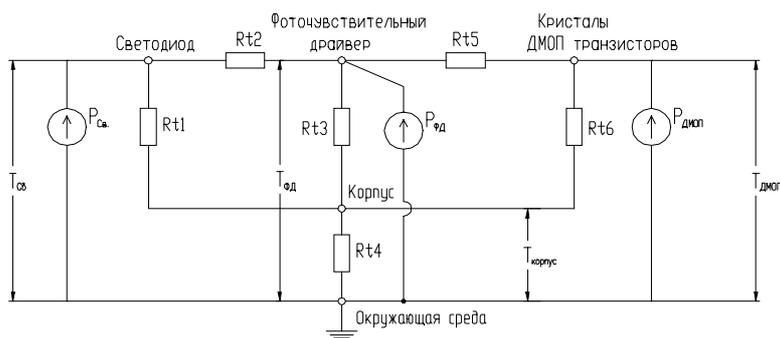


1 – диэлектрическое основание; 2 – светодиод; 3 – фоточувствительный драйвер; 4 – ДМОП транзистор; 5 – внешние выводы; 6 – проволочные проводники; 7 – оптически прозрачная перемычка;

Рис. 1 – Конструкция оптоэлектронного коммутатора К294КП2АПЗ

Процесс передачи тепла от тепловыделяющих элементов в окружающую среду, поясняет тепловая модель, представленная на рис.2. Тепловая мощность  $P$ , выделяемая светодиодом, фоточувствительным драйвером и ДМОП транзисторами рассматривается как "генератор теплового тока", который создаёт разность температур на различных тепловых сопротивлениях в системе. Мощность, выделяемая на светодиоде, составляет всего несколько десятков милливатт, а на фоточувствительном драйвере, работающем в режиме микротоков, выделяется менее 10мкВт. Кристаллы ДМОП транзисторов в зависимости от проходящего через них тока могут выделять до 1,4Вт тепловой мощности. Таким образом, более 99% мощности отдаваемой оптоэлектронным коммутатором в окружающую среду выделяется на кристаллах ДМОП транзисторов. Поэтому, с высокой степенью точности можно, свернув последовательно-параллельное соединение тепловых сопротивлений, согласно правилам, принятым в электротехнике для обычных резисторов, пользоваться эквивалентным тепловым сопротивлением, которое приводится в справочных данных как  $R_{т.кр.-ср}$  -

тепловое сопротивление кристалл - окружающая среда [4]. Полученная таким образом простая тепловая модель оптоэлектронного коммутатора (см. Рис. 3), дает хорошие результаты при проведении инженерных тепловых расчётов.



$R_{t1} = 385 \text{ } ^\circ\text{C}/\text{Вт}$ ;  $R_{t2} = 421 \text{ } ^\circ\text{C}/\text{Вт}$ ;  $R_{t3} = 121 \text{ } ^\circ\text{C}/\text{Вт}$ ;  $R_{t4} = 32 \text{ } ^\circ\text{C}/\text{Вт}$ ;  $R_{t5} = 175 \text{ } ^\circ\text{C}/\text{Вт}$ ;  $R_{t6} = 44 \text{ } ^\circ\text{C}/\text{Вт}$ .

Рис. 2 – Тепловая модель оптоэлектронного коммутатора К294КП2АП3, К294КП2ВП3

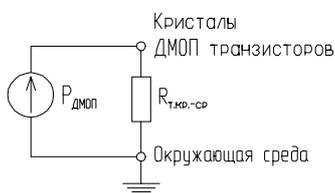


Рис. 3 – Упрощённая тепловая модель оптоэлектронного коммутатора

Известно, что высокая надежность микросхем гарантируется лишь при строгом соблюдении оптимального теплового режима их работы, при котором температура p-n перехода полупроводниковых компонентов прибора не превышает максимально допустимую  $T_{п.макс}=125 \text{ } ^\circ\text{C}$ . Поэтому, в зависимости от температуры окружающей среды  $T_{окр. ср.}$  и эффективности теплоотвода, характеризуемой тепловым сопротивлением  $R_{т.кр.-ср.}$ , величину допустимой рассеиваемой кристаллом мощности  $P_{рас доп}$  при протекании коммутируемого тока следует ограничить в соответствии со следующим соотношением:

$$P_{рас.доп} = \frac{T_{п.макс} - T_{окр.ср.}}{R_{т.кр.-ср.}} \quad (1)$$

Выражение (1) используется при расчете области безопасной работы оптоэлектронного коммутатора при температуре окружающей среды больше  $25 \text{ } ^\circ\text{C}$ . Традиционные сферы применения этих приборов не дают, как правило, возможности использовать эффект охлаждения кристалла при низких температурах окружающей среды, т.к. разработчик вынужден ориентироваться на наихудший тепловой режим. Поэтому при  $T_{окр. ср.}$  менее  $25 \text{ } ^\circ\text{C}$  область безопасной работы, как это показано на рис.4, просто ограничивается прямой линией, соответствующей максимально допустимой рассеиваемой мощности, значение которой приводится в справочных данных. Такой подход исключает неоправданное завышение технологических запасов по электрическим параметрам и элементам конструкции прибора.

На рис. 4 представлена область безопасной работы для четырёх оптоэлектронных коммутаторов из серии К294КП, их основные электрические характеристики достаточно подробно описаны в [3], а таблица основных параметров представлена в [4].

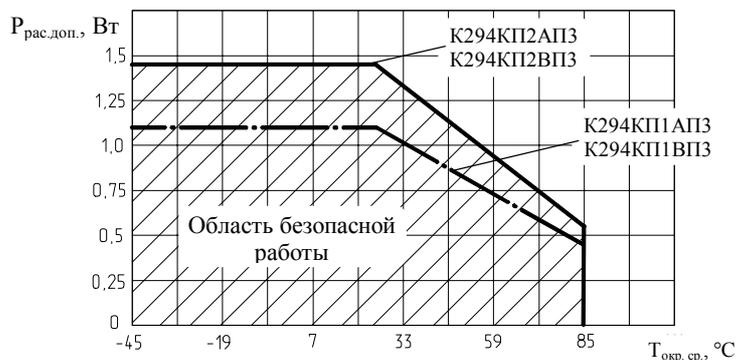


Рис. 4 – Область безопасной работы по мощности

Определившись с помощью выражения (1) или рис. 4 с допустимой постоянной мощностью, которую способен рассеять оптоэлектронный коммутатор при заданной температуре окружающей среды, можно рассчитать допустимый постоянный выходной ток, используя следующее соотношение:

$$I_{\text{ком.}} = \sqrt{\frac{P_{\text{рас.доп.}}}{R_{\text{ss}}}}, \quad (2)$$

где  $R_{\text{ss}}$  — выходное сопротивление оптоэлектронного коммутатора в режиме рассеяния максимально допустимой постоянной мощности, при которой температура p-n перехода полупроводниковых компонентов прибора равна максимально допустимой, т.е. 125 °C.

Значение  $R_{\text{ss}}$  при  $T_{\text{окр. ср.}}=25^{\circ}\text{C}$  легко рассчитать, используя приводимые в справочных данных значения максимальной постоянной рассеиваемой мощности и максимального постоянного тока коммутации

$$R_{\text{ss}} = \frac{P_{\text{рас.макс.}}}{I_{\text{ком.}}^2}. \quad (3)$$

$R_{\text{ss}}$  следует отличать от выходного сопротивления во включенном состоянии  $R_{\text{вых.}}$ , измеряемого в режиме малого или импульсного сигнала. Такой режим измерения не приводит к перегреву кристалла, что весьма удобно при сравнении оптоэлектронных коммутаторов различных производителей, но может ввести в заблуждение при расчете допустимых электрических нагрузок. Действительно, при отсутствии разогрева компонентов за счёт протекания тока, все p-n переходы оптоэлектронного коммутатора находятся при одной и той же температуре равной температуре окружающей среды. В случае саморазогрева протекающим током температура внутри корпуса распределяется крайне неравномерно из-за различий в режиме работы компонентов оптоэлектронного коммутатора, каждый из которых вносит свой вклад в величину выходного сопротивления.  $R_{\text{ss}}$  позволяет учесть не только температурную зависимость выходного сопротивления ДМОП транзистора, но и довольно сильные температурные зависимости мощности излучения светодиода и выходного напряжения фоточувствительного драйвера [5].

Зная температурные зависимости электрических параметров компонентов оптоэлектронного коммутатора, по представленным на рисунках 2 или 3 тепловым моделям можно рассчитать нагрузочные характеристики прибора. Однако, на практике удобнее воспользоваться графиком, описывающим область безопасной работы по постоянному току, который выглядит так, как это показано на рис. 5.

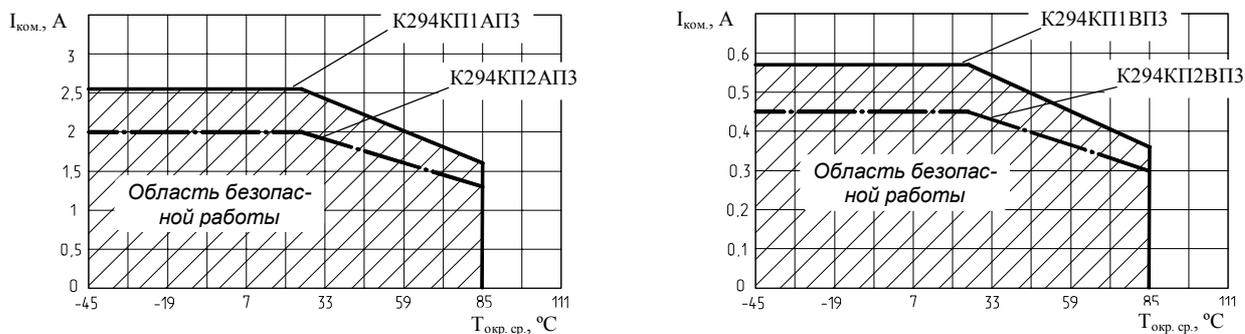


Рис. 5. – Область безопасной работы по току

В случае коммутации переменного или импульсного тока область безопасной работы оптоэлектронных коммутаторов серии K294KP может быть расширена за счет того, что элементы конструкции рассматриваемых приборов обладают определенной теплоёмкостью, и их температура изменяется не мгновенно, а по закону, описываемому следующим дифференциальным уравнением:

$$dT_{кр.}(t) = \frac{dt}{C} \cdot (Q_n - Q_o) \quad (4)$$

где  $T_{кр.}(t)$  – значение температуры кристалла в момент времени  $t$ ,

$C$  – теплоёмкость конструкции микросхемы,

$Q_n$  – количество теплоты выделяемой под действием протекающего тока, вызывающего нагрев внутренних компонентов прибора, главным образом, кристаллов ДМОП транзистора,

$Q_o$  – количество отводимой теплоты в окружающую среду.

Таким образом, после включения микросхемы возникают два конкурирующих тепловых процесса, которые количественно можно описать с помощью следующих выражений:

$$Q_n = \int_0^t I^2 \cdot R(T_{кр.}) \cdot dt, \quad (5)$$

$$Q_o = \int_0^t \frac{T_{кр.}(t) - T_{окр.ср.}}{R_{т.кр.-ср.}} dt, \quad (6)$$

где  $R(T_{кр.})$  – выходное сопротивление, зависящее от температуры кристалла,;

$I$  – выходной коммутируемый ток.

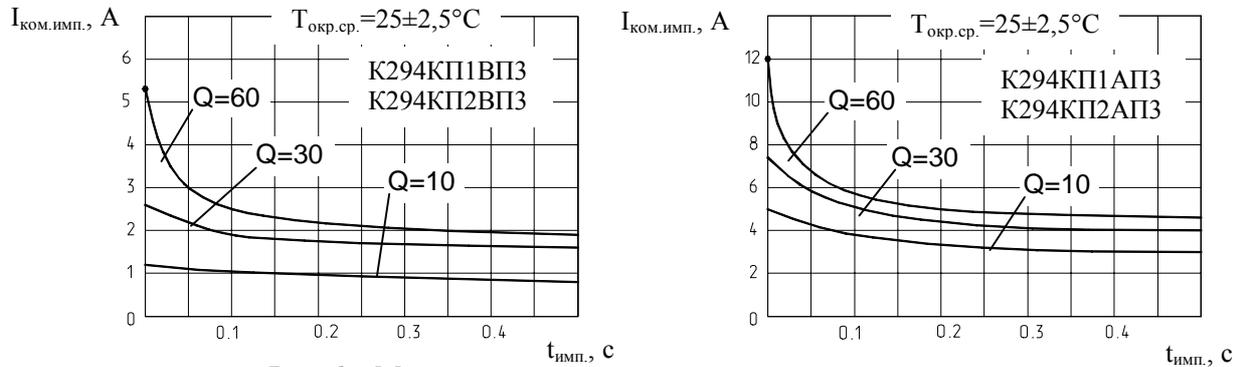
Анализ тепловых характеристик оптоэлектронных коммутаторов серии K294KP в различных динамических режимах работы с помощью соотношений (4) - (6) позволяет сделать следующие практические выводы:

1) При коммутации переменного тока частотой более 1Гц или повторяющихся импульсов тока скважностью  $Q$  меньше 5 температура кристалла за период импульса меняется незначительно. В этом случае, для определения области безопасной работы по току можно использовать формулу (2) или графики, приведенные на рисунке 5, которые будут справедливы для действующего значения коммутируемого тока, рассчитанного по следующей формуле:

$$I = \sqrt{\frac{1}{t_n} \cdot \int_0^{t_n} I^2(t) dt}, \quad (7)$$

где  $t_{и}$  – длительность импульса.

2) При коммутации повторяющихся импульсов тока со скважностью  $Q$  более 5 их амплитудное значение может существенно превышать норму для максимального постоянного тока. На рис. 6 представлена зависимость допустимого тока повторяющихся импульсов от их длительности  $t_{имп}$  и скважности  $Q$ . Причем, в случае прямоугольных импульсов имеется ввиду его амплитуда, а для импульсов иной формы - действующее значение тока за время импульса, рассчитываемое по формуле (7).



Следует отметить, что максимальное амплитудное значение коммутируемого тока, которое для K294KP1AP3, K294KP2AP3 составляет 12А, а для K294KP1BP3, K294KP2BP3 - 5,3А, определяется не столько ограничениями, связанными с теплоёмкостью и тепловым сопротивлением микросхемы, сколько с предельными возможностями выходного ДМОП транзистора коммутировать токи большой амплитуды без вхождения в линейный режим работы, характеризующийся резким ростом выходного сопротивления прибора.

Анализ работы оптоэлектронного коммутатора с индуктивной нагрузкой, а так же рекомендуемые схемы подключения оптоэлектронных коммутаторов к цифровым интегральным схемам, будут рассмотрены в ближайшем номере журнала.

#### Литература:

1. Барановский Д. Оптоэлектронные коммутаторы серии K294KP. – Схемотехника №3, 2001.
2. Заявка №2000133021 на полезную модель «Оптоэлектронная гибридная интегральная схема».
3. Барановский Д., Ветохин Р., Корнеев Е. Основные электрические характеристики оптоэлектронных коммутаторов серии K294KP. – Схемотехника, №5, 2001.
4. Барановский Д., Ветохин Р., Корнеев Е. Таблица основных параметров оптоэлектронных коммутаторов K294KP1AP3, K294KP1BP3, K294KP2AP3 и K294KP2BP3. – Схемотехника №7, 2001, стр. 41.
5. Барановский Д., Корнеев Е., Ветохин Р. Фотовольтаический оптрон K294ПП1АП. – Схемотехника №1, 2001.