

ОСОБЕННОСТИ ТЕПЛОВЫХ РЕЖИМОВ ПРИ ПЕРЕКЛЮЧЕНИИ ОПТОЭЛЕКТРОННЫХ РЕЛЕ НА МОП ТРАНЗИСТОРАХ

В современной электронике оптоэлектронные реле на МОП транзисторах применяются для согласования низковольтных маломощных микропроцессорных схем с приборами силовой электроники, такими как электромагнитные клапаны, магнитные пускатели, электродвигатели малой мощности и т. п. Принцип работы рассматриваемых оптореле достаточно прост. На входе установлен светодиод инфракрасного диапазона, который оптически связан с матрицей фотоэлектрических преобразователей. Генерируемая преобразователями ЭДС подаётся на фоточувствительный драйвер, управляющий выходными МОП транзисторами. Основной функцией фоточувствительного драйвера является обеспечение выключенного состояния МОП транзисторов при отсутствии тока через светодиод. Благодаря оптической связи между входными и выходными цепями прибора оптоэлектронные реле успешно выполняют свою основную функцию - согласование блоков электронных устройств, работающих на разных энергетических уровнях. Однако, как известно, надёжная работа полупроводниковых приборов возможна лишь при строгом соблюдении допустимого теплового режима. Особенностью работы ключевых устройств с приборами силовой электроники является реактивный характер нагрузки и наличие импульсов тока при включении на порядок превышающих установившееся значение. Импульсы тока необходимы для пуска устройств или срабатывания элементов автоматики, например контакторов. Тепловой расчёт установившегося режима достаточно прост и точен, однако он не даёт полного представления о происходящих в микросхемах тепловых процессах. Мощность выделяемая в оптоэлектронном реле при переходном процессе в несколько раз превышает мощность в установившемся режиме, поэтому для определения допустимой нагрузки необходимо провести анализ переходных тепловых процессов, протекающих в оптоэлектронных реле при включении и выключении. Такой анализ наиболее актуален для оптоэлектронных реле средней мощности серии K294, для которых превышение допустимого теплового режима является наиболее характерной причиной отказа. Возможности оптоэлектронного реле работать с импульсными токами определяются теплоёмкостью конструкции прибора, напряжением фотоэлектрических преобразователей и напряжением порога используемых МОП транзисторов. Для оптоэлектронного реле K294КП2ВП3 экспериментально установлено значение теплоёмкости конструкции - 0,33 Дж/°С. После начала протекания тока через выходные контакты оптореле в приборе возникают два конкурирующих тепловых процесса. Первый представляет собой нагрев кристаллов используемых ДМОП транзисторов протекающим током, второй - передачу тепла в окружающую среду. Ситуация усугубляется тем фактом, что сопротивление открытого ДМОП транзистора существенно увеличивается с ростом температуры и, как следствие, увеличивается рассеиваемая мощность, так при увеличении температуры кристалла на 100 °С выделяемая мощность увеличивается в 2 раза при том же коммутируемом токе. С учётом протекающих тепловых процессов зависимость температуры кристалла ДМОП транзистора от времени протекания тока для K294КП2ВП3 будет описываться следующим выражением:

$$T_{\text{кр.}} = -\frac{(0,028 \cdot T_{\text{окр.ср.}} + 3,3) \cdot I^2}{0,014 - 0,028 \cdot I^2} \cdot \exp\left[(0,0433 - 0,0848 \cdot I^2) \cdot t\right] + \frac{231 \cdot I^2 + T_{\text{окр.ср.}}}{1 - 1,96 \cdot I^2} \quad (1)$$

где $T_{\text{окр.ср.}}$ - температура окружающей среды, °С;

I - коммутируемый ток, А;

t - время протекания тока, с.

После выключения оптореле температура кристаллов постепенно снижается до температуры окружающей среды, это процесс для К294КП2ВП3 описывается следующим выражением:

$$T_{\text{кр.}} = (T_{\text{д}} - T_{\text{окр.ср.}}) \cdot \exp(-0,433 \cdot t) + T_{\text{окр.ср.}}, \quad (2)$$

где $T_{\text{д}}$ - температура кристалла в момент времени $t=0$, °С.

Импульсным режимом работы можно считать, например, включение магнитных пускателей, для которых ток срабатывания примерно в 10 раз превышает ток удержания. График роста температуры в импульсном режиме показан на рисунке 1 для оптореле К294КП2ВП3.

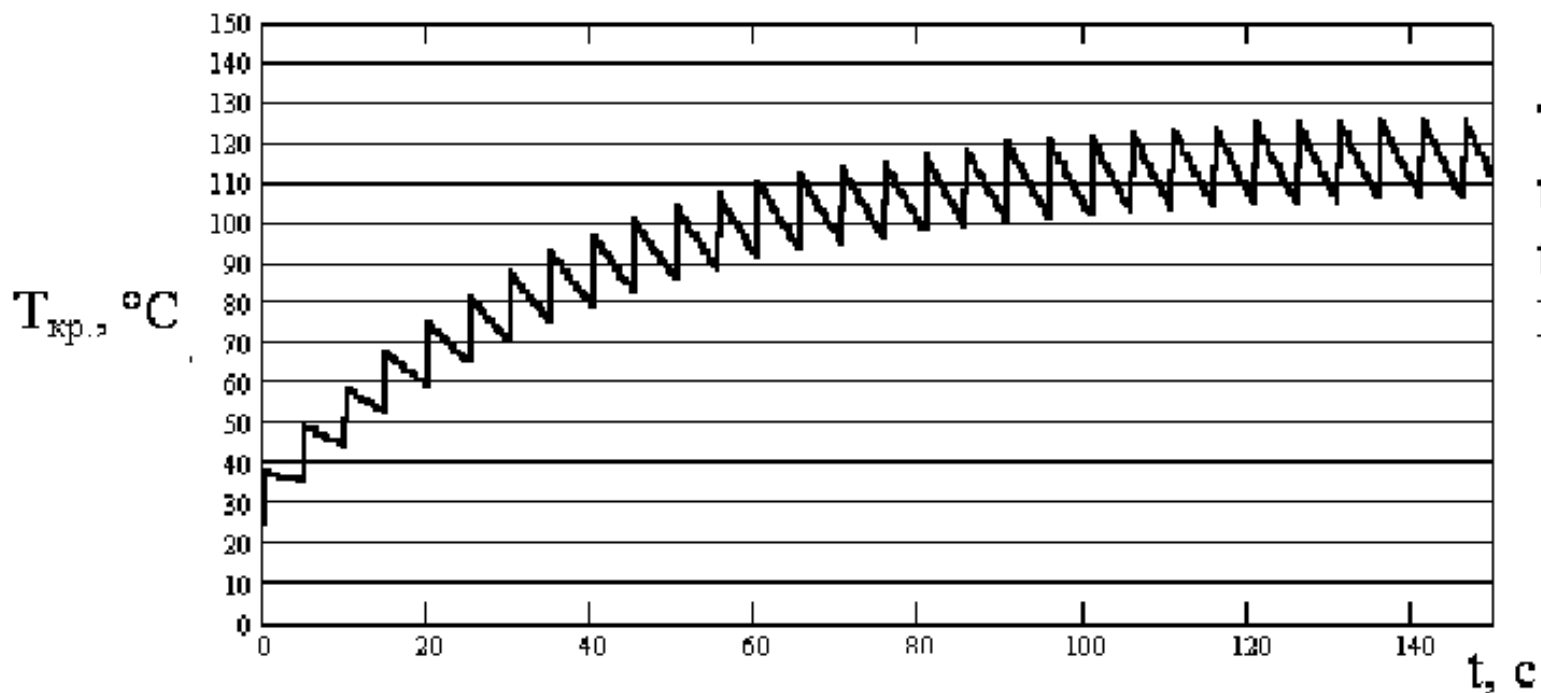


Рисунок 1

ДМОП транзистор, являющийся выходным элементом рассматриваемых оптореле, пропускает импульсы тока величиной, ограниченной режимом насыщения, например, используемое в экспериментах оптоэлектронное реле имеет напряжение на затворе транзистора 6-9 В и не может обеспечить амплитуду импульсного тока более 4,5 А, что накладывает ограничения на пусковой ток или ток срабатывания управляемого устройства. Переход оптореле в режим стабилизации тока отрицательно сказывается на процесс коммутации ёмкостной нагрузки: переходный процесс затягивается во времени, на выходном транзисторе выделяется дополнительная тепловая энергия, не учитываемая формулой (1). При отсутствии устройств защиты от превышения напряжения и работе с индуктивной нагрузкой, в процессе выключения оптоэлектронного реле на ДМОП транзисторах происходит выброс энергии, накопленной в индуктивном элементе, приводящий к лавинному пробое диода сток-исток. Накопленная электрическая энергия выделяется в виде тепловой на МОП транзисторе или устройстве защиты, а её величина определяется по формуле:

$$W = \frac{L \cdot I^2 \cdot U_{\text{пр}}}{2 \cdot (U_{\text{пр}} - U_{\text{н.п.}})}, \quad (3)$$

где L - величина индуктивности, Гн;

$U_{\text{пр}}$ - напряжение пробоя выходного ДМОП транзистора или напряжение срабатывания устройства защиты, В;

$U_{\text{н.п.}}$ - напряжение источника питания, В.

Способность ДМОП транзистора выдерживать лавинный пробой, вызванный коммутацией индуктивного элемента, определяется теплоёмкостью, тепловым сопротивлением переход-среда, технологией изготовления кристалла. Поскольку мгновенная мощность, выделяемая на переходе сток-исток ДМОП транзистора в рассматриваемом переходном процессе достаточно велика и составляет несколько десятков Ватт, то распределить выделяющееся тепло равномерно по структуре кристалла и элементам корпуса микросхемы практически невозможно за время протекания переходного процесса, поэтому эффективная теплоёмкость при лавинном пробое оказывается существенно ниже теплоёмкости конструкции прибора. Так энергия, которую способно рассеять оптоэлектронное реле К294КП2ВП3 при лавинном пробое составляет всего 50 мДж при начальной температуре кристаллов 25 °С.

Надёжная работа оптоэлектронных реле возможна только в том случае, если температура кристаллов никогда не превышает 125 °С. Используя выражения (1) и (2) можно рассчитать температуру кристаллов выходных ДМОП транзисторов оптореле при работе с одиночными или повторяющимися импульсами тока и тем самым определить пригодность микросхемы для работы в составе какого-либо электронного блока. Исходя из выражения (3) и максимально допустимой энергии, можно определить максимальную величину индуктивности, при которой не требуется дополнительных средств защиты транзисторов оптоэлектронных реле от выбросов напряжения.