

## Общие сведения

Обеспечение оптимальных тепловых режимов электротехнических устройств является одной из важнейших проблем их разработки и конструирования. Превышение предельно допустимых температур значительно снижает надежность их работы. Если снизить рабочую температуру структуры полупроводникового прибора на 15–20%, то интенсивность отказов снизится в 2–3 раза.

Наиболее распространенным видом охлаждения является воздушное (естественное или принудительное) охлаждение.

Охладители воздушных систем охлаждения подразделяют на односторонние и двухсторонние. Односторонние охладители предназначены для силовых полупроводниковых приборов штыревого типа, двухсторонние - для приборов таблеточного типа. Допускается одностороннее охлаждения таблеточных приборов.

Естественное воздушное охлаждение осуществляется путем естественной конвекции воздуха около ребренной поверхности охладителя, принудительное воздушное охлаждение - это обдув ребренной поверхности охладителя с определенной скоростью и напором охлаждающего воздуха.

Главным эксплуатационным параметром охладителей является установившееся тепловое сопротивление «контактная поверхность охладителя - охлаждающая среда» (тепловое сопротивление охладителя)  $R_{thh-cf}$ , поскольку именно оно определяет теплоотводящую способность охладителя.

Мощность тепловых потерь силовых полупроводниковых приборов, отводимая охладителями, определяется следующим образом:

$$P_{AV} = (T_h - T_{cf}) / R_{thh-cf} \quad (1)$$

С другой стороны эту мощность можно определить как:

$$P_{AV} = (T_j - T_c) / R_{thjc} = (T_c - T_h) / R_{thch} \quad (2)$$

Из этого выражения определяется температура контактной поверхности охладителя:

$$T_h = T_c - T_j (R_{thch} / R_{thjc}) + T_c (R_{thch} / R_{thjc}) \quad (3)$$

Подставляя (3) в (1) получается окончательное выражение для определения мощности тепловых потерь, отводимых охладителями в зависимости от различных теплофизических параметров приборов и охладителей:

$$P_{AV} = [T_c - T_j (R_{thch} / R_{thjc}) + T_c (R_{thch} / R_{thjc}) - T_{cf}] / R_{thh-cf} \quad (4)$$

где:  $P_{AV}$  - мощность тепловых потерь, отводимая охладителем, Вт

$T_h$  - температура контактной поверхности охладителя, °С

$T_{cf}$  - температура охлаждающей среды, °С.

$R_{thjc}$  - установившееся тепловое сопротивление «переход - корпус прибора» (внутреннее тепловое сопротивление прибора), °С/Вт.

$R_{thch}$  - установившееся тепловое сопротивление «корпус прибора - контактная поверхность охладителя» (контактное тепловое сопротивление), °С/Вт.

$T_j$  - температура структуры прибора, °С

$T_c$  - температура корпуса прибора, °С.

Величины  $R_{thjc}$ ,  $R_{thch}$ ,  $T_j$ ,  $T_c$  являются нормативно-эксплуатационными параметрами силовых полупроводниковых приборов и приводятся в технико-информационных документах, температура окружающей среды  $T_{cf}$  является эксплуатационным параметром и обычно задается 40°С, поэтому, исходя из (4), величина теплового сопротивления охладителя является определяющим параметром процесса отвода мощности тепловых потерь от СПП к охладителю и далее в окружающее пространство.

Если необходимо узнать значение теплового сопротивления охладителя  $R_{thh-cf}$  при известной площади поверхности охладителя  $S_{охл}$ , то используют следующее соотношение:

$$R_{thh-cf} = R_{thh-cf2} \cdot S_{охл2} / S_{охл}$$

где  $R_{thh-cf2}$ ,  $S_{охл2}$  – соответственно тепловое сопротивление охладитель-среда и площадь поверхности охладителя с таким же профилем, как у выбранного охладителя.

При измерении теплового сопротивления «контактная поверхность-охлаждающая среда», в соответствии с ГОСТ 25293-82, устанавливают следующие контрольные точки измерения температур:

- для охладителей штыревых приборов вблизи контактной поверхности охладителя с прибором на глубине от 1,5 до 2 мм и на расстоянии от оси охладителя на 2 мм меньше радиуса вписанной окружности шестигранника прибора;

- для охладителей приборов таблеточного исполнения вблизи контактной поверхности охладителя с прибором на глубине от 1,5 до 2 мм и на расстоянии от оси охладителя на 2 мм меньше диаметра контактной поверхности прибора;

- для охлаждающей среды на расстоянии, равном одной длине охладителя, перед охладителем в центральной части воздушного охлаждающего потока.

Естественное воздушное охлаждение является наиболее простым в эксплуатации, но наименее эффективным способом охлаждения силовых полупроводниковых приборов, так как при естественной конвекции воздуха значение коэффициента теплоотдачи от ребренных поверхностей охладителей весьма низкое и составляет  $\alpha = 5 - 10 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{°C}$ . Оно пригодно для охлаждения приборов с номинальной токовой нагрузкой до 250-320 А. Принудительное воздушное охлаждение значительно эффективнее естественного. Коэффициент теплоотдачи при принудительной конвекции воздуха при скорости 10-15 м/с составляет  $\alpha = 40 - 60 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{°C}$ . Оно вполне достаточно для приборов на рабочие токи 500 ... 630 А.

При воздушном охлаждении теплоотвод от ребренных поверхностей охладителей осуществляется за счет совместной теплопередачи естественной или принудительной конвекции и излучения. Общий коэффициент теплоотдачи  $\alpha$  включает в себя конвективный  $\alpha_k$  и лучистый  $\alpha_l$  коэффициенты и равен:

$$\alpha = \alpha_k + \alpha_l, \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{°C}$$

При принудительном воздушном охлаждении теплоотдача от ребренных поверхностей охладителей осуществляется, в основном, за счет конвекции, лучистый теплообмен составляет 2 ... 5 %.

При естественном охлаждении охладители должны иметь более длинные и тонкие ребра, межреберные расстояния должны быть увеличены в 1.5 ... 2 раза, ребренная поверхность должна иметь высокую степень черноты.

Односторонние охладители воздушных систем охлаждения для штыревых силовых полупроводниковых приборов конструктивно представляют собой отрезки пресованных профилей определенного типа и определенной длины. Между охладителем и прибором зажимается токоотводящая шина, выполненная из электротехнической меди М1 толщиной от 0,8 до 3 мм для различных типов охладителей.

Двухсторонние охладители воздушных систем охлаждения представляют собой два одинаковых отрезка пресованного профиля определенной длины и определенного типа. Между этими отрезками размещается силовой полупроводниковый прибор таблеточного типа с двумя токосъемными шинами из электротехнической меди М1 толщиной 3–5 мм (для различных типов охладителей) и прижимного устройства, состоящего из одной или двух траверс, выполненных из пружинистой стали 60 С2А, двух армированных болтов с гайками и системы изоляции, выполненной из прессматериала АГ-4В.

Предельно допустимые климатические воздействия на воздушные охладители:

- температура окружающей среды от минус 60 до плюс 55°С;
- атмосферное давление  $(86 - 106) \cdot 10^3 \text{ Па}$ ;
- относительная влажность воздуха до 100% при температуре плюс 35°С;
- окружающая среда взрывобезопасная и химически неактивная, не содержащая токопроводящую пыль, агрессивные газы или пары в концентрациях, разрушающих металлы и изоляцию;
- охладители изготавливаются в климатических исполнениях УХЛ2 и Т3 по ГОСТ 15150-69

Предельно допустимые механические воздействия на воздушные охладители: охладители по стойкости к воздействию механических нагрузок соответствуют группе М27 условий эксплуатации (ГОСТ 17516-72) и выдерживают одиночные удары длительностью импульса 50мс и ускорением 40 м/с (4g).

90%-ый срок службы охладителей не менее 20 лет.

Гарантийный срок устанавливается 2 года с момента ввода охладителей в эксплуатацию.

При заказе охладителей необходимо указывать тип, длину, климатическое исполнение охладителя.

Пример заказа охладителя с порядковым номером модификации конструкции 3 с межцентровым расстоянием между пазами для монтажа 80 мм для прибора фланцевого исполнения (или модуля), длина охладителя 240 мм, вид климатического исполнения УХЛ2:

Охладитель ОР344-240 УХЛ2 ТУ У 32.1-30077685-015-2004.