

Министерство образования Республики Беларусь
Учреждение образования «Белорусский государственный университет
информатики и радиоэлектроники»

Факультет компьютерного проектирования
Кафедра проектирования информационно-компьютерных систем
Дисциплина «Системы баз данных»

«К ЗАЩИТЕ ДОПУСТИТЬ»
Руководитель курсовой работы
Магистр, ассистент
_____._____.2024 Г.А. Пискун

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА
к курсовой работе
на тему:
**«ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ
РАДИОЭЛЕКТРОННОГО СРЕДСТВА: РЕГУЛЯТОР
МОЩНОСТИ НА ОСНОВЕ СИМИСТОРА ВТА16-600В»**

БГУИР КР 1-39 02 01 010 ПЗ

Выполнил студент группы
212601
ЗУБАРЬ Данила Сергеевич

(подпись студента)

Курсовая работа представлена
на
проверку _____._____.2024

(подпись студента)

Минск 2024

СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	
1. Общетехнический анализ проектируемого устройства	4
1.1 Анализ исходных данных.	4
1.2 .Описание принципа работы анализируемого устройства	5
1.3 Анализ элементной базы устройства	5
1.4 Выбор и обоснование системы охлаждения	5

ВВЕДЕНИЕ

В современном мире информационных технологий, эффективное управление данными становится важным аспектом в здравоохранении. Создание базы данных для учета посетителей поликлиники является неотъемлемой частью этого процесса, поскольку позволяет улучшить качество обслуживания пациентов и оптимизировать работу медицинского персонала.

Основная цель работы заключается в повышении эффективности учета посетителей поликлиники и улучшении взаимодействия между медицинским персоналом и пациентами. Путем автоматизации процессов учета и обработки информации мы стремимся к более быстрой и точной реакции на потребности пациентов, а также к снижению нагрузки на персонал медицинского учреждения.

Результаты данной работы в теории будут иметь практическую значимость для медицинских учреждений, обеспечивая им более эффективное управление данными и повышая уровень обслуживания пациентов.

Система управления базами данных (СУБД) - это совокупность языковых и программных средств, предназначенных для создания, ведения и совместного использования баз данных многими пользователями.

На настоящий момент, популярные системы управления базами данных - это MySQL, DB2, Oracle, Microsoft Access, MongoDB и др.

Для реализации данного курсового проекта используется MySQL Workbench 8.0 CE.

Курсовая работа выполнена самостоятельно, проверена в системе «Антиплагиат». Процент оригинальности составляет ??,?? %. Цитирования обозначены ссылками на публикации, указанными в «Списке использованных источников». Скриншот приведен в приложении.

1. ОБЩЕТЕХНИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ПРОЕКТИРУЕМОГО УСТРОЙСТВА

1.1 Анализ исходных данных

Устройство предназначено для регулировки мощности ламп накаливания, паяльников, утюгов, водонагревателей, скорости вращения электродвигателей переменного тока болгарок, дрелей, вентиляторов и других нагрузок с питанием от переменного тока.

Основным элементом устройства является мощный симистор ВТА16-600В производства ST Microelectronics, температура нагрева которого может составлять до 150°C. Регулировка мощности выполняется в ручном режиме, путем изменения сопротивления переменного резистора, который является основным регулятором. Так же имеется еще один резистор переменного сопротивления для регулировки минимальной мощности для крайнего левого положения основного регулятора.

Устройство разработано компанией Elmatrix для серийного производства. Схема электрическая принципиальная и изображение готового прибора (рисунок 1.1) взяты с сайта интернет-магазина [\[ССЫЛКА НА САЙТЫ \(АЛИК\) \]](#).

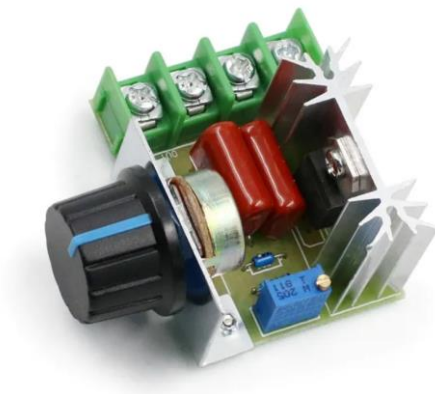


Рисунок 1.1 – Модуль электронный регулятора мощности

Технические характеристики регулятора мощности:

- максимальная мощность – 2000 Вт;
- входное напряжение – 220 В;
- регулировка мощности в диапазоне 0 ... 100%
- выходное напряжение – 0 ... 220 В (только при подключенной нагрузке);
- габаритные размеры: 48 × 56 × 28 мм.

В результате анализа условий эксплуатации устройство будет использоваться по УХЛ 2. Так как устройство используется в макроклиматических районах с умеренным и холодным климатом. Устройство будет эксплуатироваться под навесом или в помещениях, где колебания температуры и влажности воздуха несущественно отличаются от

колебаний на открытом воздухе и имеется сравнительно свободный доступ наружного воздуха, например, в палатках, кузовах, прицепах, металлических помещениях без теплоизоляции, а так же в оболочке комплектного изделия категории 1 (отсутствие прямого воздействия солнечного излучения и атмосферных осадков). Так же устройство может использоваться и в помещениях (объемах) с повышенной влажностью (например, в неотапливаемых и невентилируемых подземных помещениях, в том числе шахтах, подвалах, в почве, в таких судовых, корабельных и других помещениях, в которых возможно длительное наличие воды или частая конденсация влаги на стенах и потолке, в частности, в некоторых трюмах, в некоторых цехах текстильных, гидрометаллургических производств и т.п.).

Из ГОСТ 15150-69 учитывая исполнение изделия – УХЛ и категорию – 2 были взяты: значения температуры воздуха (приведены в таблице 1.1), величина изменения температуры окружающего воздуха за 8 часов, рабочие значения влажности воздуха.

Таблица 1.1 – Значение температуры воздуха при эксплуатации

Значение температуры воздуха при эксплуатации, С°:

Рабочее:		Предельно рабочее:	
Верхнее	Нижнее	Верхнее	Нижнее
+40	-45	+45	-50

Величина изменения температуры окружающего воздуха за 8 часов составляет 40 °С.

Рабочие значения влажности воздуха:

- Относительная влажность (среднегодовое значение): 60% при 20°С
- Относительная влажность (верхнее значение): 100% при 25°С
- Абсолютная влажность, среднегодовое значение: 11 г·м⁻³

Указанное верхнее значение относительной влажности нормируется также при более низких температурах; при более высоких температурах относительная влажность ниже.

При нормированном верхнем значении 100% наблюдается конденсация влаги, при нормированных верхних значениях 80% или 98% конденсация влаги не наблюдается.

Для моделирования тепловых процессов в курсовой работе была выбрана программа *ELCUT*, так как она специализируется на решении задач электромагнитного, теплового и механического моделирования. *ELCUT* позволяет проводить точный анализ распределения тепла в различных материалах и конструкциях с учетом их физических свойств. Программа использует метод конечных элементов, что обеспечивает высокую точность при моделировании сложных тепловых процессов. Встроенные инструменты визуализации результатов и возможность адаптации параметров позволяют

детально проанализировать тепловые явления и оптимизировать конструктивные решения, что делает ELCUT идеальным выбором для данной работы.

Для выполнения расчетов в курсовой работе была выбрана программа *MS Excel*, поскольку она предоставляет удобный и интуитивно понятный интерфейс для работы с таблицами и формулами. *Excel* позволяет автоматизировать вычисления, используя встроенные функции, что значительно ускоряет процесс расчета и минимизирует вероятность ошибок. Также программа поддерживает создание графиков и диаграмм, что упрощает визуализацию данных и их анализ. Универсальность *Excel* позволяет легко адаптировать её для решения различных математических задач, что делает её оптимальным инструментом для выполнения расчетов в рамках данной работы.

1.2 Описание принципа работы анализируемого устройства

Симисторный регулятор мощности работает на основе принципа фазового управления, позволяя регулировать подаваемую на нагрузку мощность путем изменения момента включения симистора в течение каждой полуволны переменного напряжения. Основные структурные компоненты устройства — симистор, динистор, RC-цепь (резисторы и конденсаторы), потенциометр и подстроечный резистор — совместно обеспечивают плавную регулировку мощности.

Когда напряжение сети (220 В) подается на регулятор, симистор вначале остается закрытым, не пропуская ток к нагрузке. В это время в управляющей цепи устройства, состоящей из резисторов и конденсаторов, начинает накапливаться заряд. Скорость накопления заряда зависит от положения основного потенциометра, который определяет время, необходимое для достижения порогового напряжения на динисторе.

Как только напряжение на конденсаторе достигает порогового значения, динистор открывается и передает сигнал на управляющий электрод симистора. В результате симистор тоже открывается, позволяя электрическому току пройти к нагрузке. Симистор остается в открытом состоянии до завершения текущей полуволны переменного напряжения, после чего автоматически закрывается, и процесс повторяется для следующей полуволны.

Изменяя положение потенциометра, можно регулировать фазу, при которой симистор включается в каждом цикле переменного тока. Чем позже симистор открывается в полуволне, тем меньше энергии поступает на нагрузку, что позволяет уменьшить среднюю мощность. Подстроечный резистор используется для точной настройки минимальной мощности, обеспечивая плавное регулирование даже при низких значениях основного потенциометра.

Таким образом, симисторный регулятор мощности эффективно регулирует подаваемую на нагрузку энергию, позволяя управлять яркостью ламп, скоростью работы электродвигателей или интенсивностью нагрева, делая его универсальным и удобным для различных применений.

1.3 Анализ элементной базы устройства

Элементная база симисторного регулятора мощности состоит из различных компонентов, каждый из которых выполняет свою уникальную функцию в обеспечении надежной и эффективной работы устройства. Рассмотрим каждый из элементов в отдельности, проанализировав их роль в функционировании регулятора.

Рассмотрим схему электрическую принципиальную, а также ее элементную базу (рисунок 1.2).

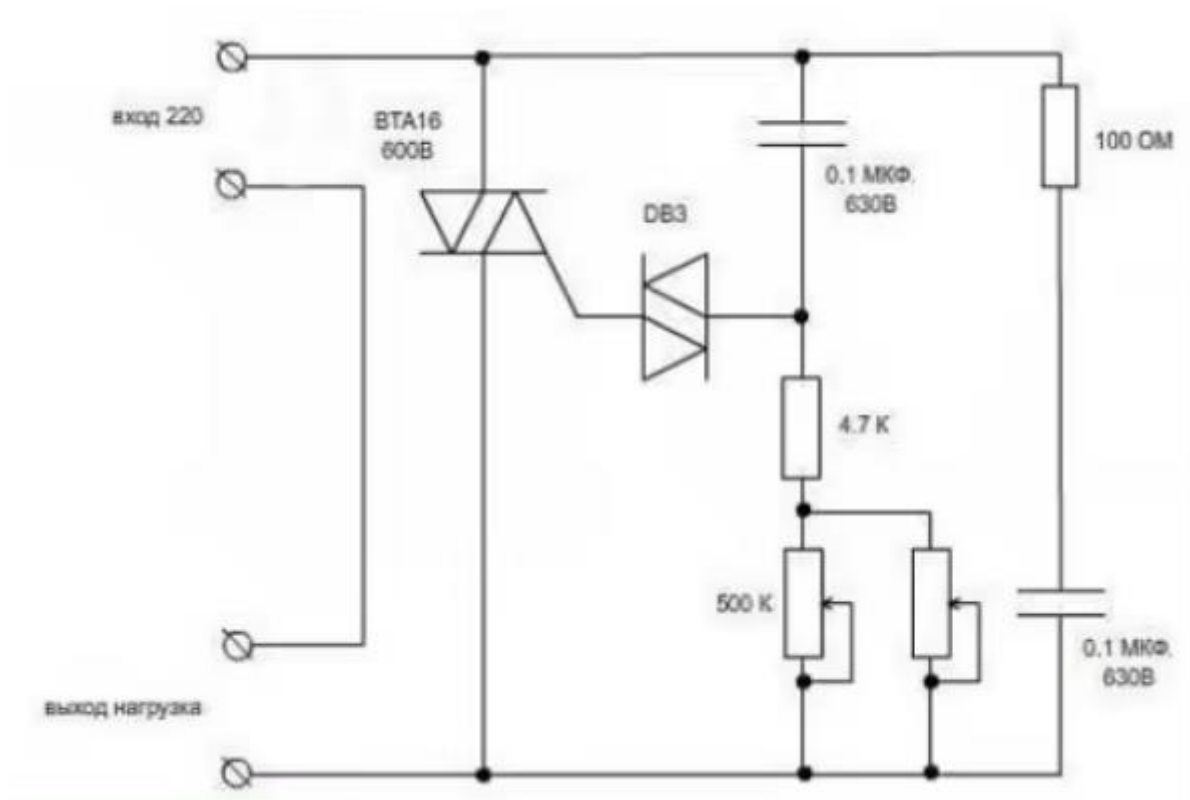


Рисунок 1.2 – Схема электрическая принципиальная
1. Симистор(BTA16)

Симистор является ключевым элементом данного регулятора мощности. Это полупроводниковый прибор, который выполняет функцию электронного ключа, способного проводить ток в обоих направлениях при подаче управляющего сигнала на его управляющий электрод (Gate). В данной схеме используется симистор BTA16, рассчитанный на напряжение до 600 В и способный выдерживать ток до 16 А, что делает его подходящим для работы

с сетевым напряжением 220 В и нагрузками средней мощности. Этот симистор имеет высокую стойкость к перенапряжениям и обеспечивает надежную коммутацию даже при высоких токах.

2. Динистор (DB3)

динистор (DB3) — двунаправленный триггерный компонент, который служит для запуска симистора. Его основная задача — стабилизировать момент срабатывания симистора в каждом полупериоде. динистор остается закрытым до тех пор, пока напряжение на нем не достигнет определенного порогового значения (около 30 В). Как только это значение достигнуто, ди динистор открывается и передает импульс на управляющий электрод симистора, обеспечивая его включение. Использование динистора обеспечивает стабильное и повторяемое включение симистора, что важно для точного регулирования мощности.

3. Потенциометр (500 кОм)

Потенциометр — регулируемый резистор, позволяющий изменять сопротивление в цепи и тем самым влиять на фазовый угол включения симистора. В данной схеме потенциометр используется для плавной регулировки мощности, подаваемой на нагрузку. Изменяя сопротивление потенциометра, пользователь может изменять скорость заряда конденсатора, определяя момент, когда напряжение на динисторе достигнет порога срабатывания.

4. Подстроечный резистор (4,7 кОм)

Подстроечный резистор выполняет функцию точной настройки минимального уровня мощности, который подается на нагрузку при максимальном сопротивлении потенциометра. Он позволяет более гибко и точно настроить регулятор, чтобы обеспечить стабильную работу устройства даже при низких уровнях мощности. Этот элемент особенно важен для предотвращения полного отключения нагрузки при минимальных установках потенциометра.

5. Конденсаторы (0.1 мкФ, 630 В)

Конденсаторы емкостью 0.1 мкФ и рассчитанные на напряжение до 630 В играют ключевую роль в формировании временных характеристик устройства. Они используются для формирования RC-цепи вместе с потенциометром и резисторами, отвечая за накопление заряда и задержку подачи управляющего сигнала на симистор. Конденсаторы обеспечивают стабильность и надежность работы регулятора, предотвращая резкие скачки напряжения и обеспечивая плавное регулирование мощности.

6. Резисторы (100 Ом, 4,7 кОм)

Резисторы в данной схеме выполняют сразу несколько функций. Во-первых, они ограничивают ток в управляющей цепи, предотвращая повреждение чувствительных элементов, таких как динистор и симистор. Во-вторых, они помогают задать временные параметры заряда конденсаторов, что влияет на момент срабатывания симистора. Резисторы обеспечивают стабильность и безопасность работы устройства, контролируя токовые характеристики схемы.

2. РАСЧЕТ ТЕПЛОВОГО РЕЖИМА РЭА ПРИ ЕСТЕСТВЕННОМ ВОЗДУШНОМ ОХЛАЖДЕНИИ

В качестве сравнения были произведены расчеты по **шести**(трем) тепловым режимам работы: в герметичном корпусе, в герметичном с внутренним перемешиванием, герметичном с наружным обдувом, в оребренном корпусе, в перфорированном корпусе, а также с принудительным воздушным охлаждением. Формулы были взяты из книги «Обеспечение тепловых режимов РЭС», авторы: Л.Л. Роткоп, Ю.Е. Спокойный [41].

2.1 Расчет теплового режима РЭА в герметичном корпусе.

Рассчитываем поверхность корпуса блока (S_k):

$$\begin{aligned} S_k &= 2 \cdot (l_1 l_2 + (l_1 + l_2) l_3) = \\ &= 2 \cdot (0,048 \cdot 0,056 + (0,048 + 0,056) \cdot 0,028) = 0,0112 \text{ м}^2. \end{aligned}$$

где $l_1 l_2$ – горизонтальные размеры корпуса блока;

l_3 – вертикальный размер корпуса блока.

Определяем условную поверхность нагретой зоны (S_3):

$$\begin{aligned} S_3 &= 2 \cdot (l_1 l_2 + (l_1 + l_2) K_3 l_3) = \\ &= 2 \cdot (0,048 \cdot 0,056 + (0,048 + 0,056) \cdot 0,195 \cdot 0,028) = 0,00651 \text{ м}^2. \end{aligned}$$

где $l_1 l_2$ – горизонтальные размеры корпуса блока;

l_3 – вертикальный размер корпуса блока;

K_3 – коэффициент заполнения.

Определяем удельную мощность корпуса блока (q_k):

$$q_k = \frac{P_3}{S_k} = \frac{3,5}{0,0112} = 312,5 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2}.$$

где P_3 – мощность, рассеиваемая нагретой зоной;

S_k – поверхность корпуса блока.

Рассчитываем удельную мощность нагретой зоны (q_3):

$$q_3 = \frac{P_3}{S_3} = \frac{3,5}{0,006512} = 537,5 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2}.$$

где P_3 – мощность, рассеиваемая нагретой зоной;

S_3 – условная поверхность нагретой зоны.

Находим коэффициент (ϑ_1) в зависимости от удельной мощности корпуса:

$$\begin{aligned} \vartheta_1 &= K_{q_k} = 0,1472q_k - 0,2962 \cdot 10^{-3}q_k^2 + 0,3127 \cdot 10^{-6}q_k^3 = \\ &= 0,1472 \cdot 312,5 - 0,2962 \cdot 10^{-3} \cdot 312,5^2 + 0,3127 \cdot 10^{-6} \cdot 312,5^3 = 26,61 \text{ К.} \end{aligned}$$

где q_k – удельная мощность корпуса блока.

Находим коэффициент (ϑ_2) в зависимости от удельной мощности нагретой зоны:

$$\begin{aligned} \vartheta_2 &= K_{q_3} = 0,1390q_3 - 0,1223 \cdot 10^{-3}q_3^2 + 0,0698 \cdot 10^{-6}q_3^3 = \\ &= 0,139 \cdot 537,5 - 0,1223 \cdot 10^{-3} \cdot 537,5^2 + 0,0698 \cdot 10^{-6} \cdot 537,5^3 = 50,21 \text{ К.} \end{aligned}$$

где q_3 – удельная мощность нагретой зоны.

Находим коэффициент (K_{H1}) в зависимости от давления среды вне корпуса:

$$\begin{aligned} K_{H1} &= 0,82 + \frac{1}{0,925 + 4,6 \cdot 10^{-5}H_1} = \\ &= 0,82 + \frac{1}{0,925 + 4,6 \cdot 10^{-5} \cdot 101325} = 0,999. \end{aligned}$$

где $H_1 = 101325$ Па – величина атмосферного давления снаружи корпуса аппарата.

Находим коэффициент (K_{H2}) в зависимости от давления среды внутри корпуса:

$$K_{H2} = 0,82 + \frac{1}{0,925 + 4,6 \cdot 10^{-5} H_2} = \\ = 0,82 + \frac{1}{1,25 + 3,8 \cdot 10^{-5} \cdot 101325} = 0,996.$$

где $H_2 = 101325$ Па – величина атмосферного давления внутри корпуса аппарата.

Определяем перегрев корпуса блока (ϑ_k):

$$\vartheta_k = \vartheta_1 K_{H1} = 26,61 \cdot 0,999 = 26,58 \text{ К.}$$

Рассчитаем перегрев нагретой зоны (ϑ_3):

$$\vartheta_3 = \vartheta_k + (\vartheta_2 - \vartheta_1) \cdot K_{H2} = 26,58 + (50,21 - 26,61) \cdot 0,996 = 50,08 \text{ К.}$$

Определяем средний перегрев воздуха в блоке (ϑ_b):

$$\vartheta_b = 0,5(\vartheta_k + \vartheta_3) = 0,5 \cdot (26,58 + 50,08) = 38,34 \text{ К.}$$

Определяем удельную мощность элемента ($q_{эл}$):

$$q_{эл} = \frac{P_{эл}}{S_{эл}} = \frac{3,5}{0,002} = 1750 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2}.$$

Рассчитываем перегрев поверхности элемента ($\vartheta_{эл}$):

$$\vartheta_{эл} = \vartheta_3 \cdot \left(0,75 + \frac{0,25 q_{эл}}{q_3} \right) = 50,08 \cdot \left(0,75 + \frac{0,25 \cdot 1750}{573,46} \right) = 107,69 \text{ К.}$$

Рассчитываем перегрев окружающей элемент среды ($\vartheta_{эс}$):

$$\vartheta_{эс} = \vartheta_{в} \cdot \left(0,75 + \frac{0,25q_{эл}}{q_3} \right) = 38,34 \cdot \left(0,75 + \frac{0,25 \cdot 1750}{573,46} \right) = 82,42 \text{ К.}$$

Определяем температуру корпуса блока (T_k):

$$T_k = \vartheta_k + T_c = 26,58 + 318 = 344,58 \text{ К.}$$

Определяем температуру нагретой зоны (T_3):

$$T_3 = \vartheta_3 + T_c = 50,08 + 318 = 368,08 \text{ К.}$$

Определяем температуру поверхности элемента ($T_{эл}$):

$$T_{эл} = \vartheta_{эл} + T_c = 107,69 + 318 = 425,7 \text{ К.}$$

Определяем среднюю температуру воздуха в блоке ($T_{в}$):

$$T_{в} = \vartheta_{в} + T_c = 38,34 + 318 = 356,34 \text{ К.}$$

Определяем температуру окружающей элемент среды ($T_{эс}$):

$$T_{эс} = \vartheta_{эс} + T_c = 82,42 + 318 = 400,42 \text{ К.}$$

Проведя расчеты для герметичного корпуса, можно сказать, что наибольшая температура поверхности элемента (транзистора ВТА16-600В) составляет 425,7 К (или 132,7°C). Полученная температура превышает верхний предел рабочей температуры элемента, которая составляет 423 К (или

150°C). Температура окружающей элемент среды равна 400 К (107°C). Температура нагретой зоны составляет 368 К (75 °C). Температура корпуса блока равна 345 К (52°C). Температура воздуха в блоке составляет 356 К (эквивалентно 83°C). Температура самого нагревающегося элемента превышает предельную температуру.

2.2 Расчет теплового режима РЭА в герметичном корпусе с внутренним перемешиванием

Рассчитываем поверхность корпуса блока (S_k):

$$S_k = 2 \cdot (l_1 l_2 + (l_1 + l_2) l_3) = \\ = 2 \cdot (0,048 \cdot 0,056 + (0,048 + 0,056) \cdot 0,028) = 0,0112 \text{ м}^2.$$

где $l_1 l_2$ – горизонтальные размеры корпуса блока;

l_3 – вертикальный размер корпуса блока.

Определяем условную поверхность нагретой зоны (S_3):

$$S_3 = 2 \cdot (l_1 l_2 + (l_1 + l_2) K_3 l_3) = \\ = 2 \cdot (0,048 \cdot 0,056 + (0,048 + 0,056) \cdot 0,195 \cdot 0,028) = 0,00651 \text{ м}^2.$$

где $l_1 l_2$ – горизонтальные размеры корпуса блока;

l_3 – вертикальный размер корпуса блока;

K_3 – коэффициент заполнения.

Определяем удельную мощность корпуса блока (q_k):

$$q_k = \frac{P_3}{S_k} = \frac{3,5}{0,0112} = 312,5 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2}.$$

где P_3 – мощность, рассеиваемая нагретой зоной;

S_k – поверхность корпуса блока.

Рассчитываем удельную мощность нагретой зоны (q_3):

$$q_3 = \frac{P_3}{S_3} = \frac{3,5}{0,006512} = 537,5 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2}.$$

где P_3 – мощность, рассеиваемая нагретой зоной;

S_3 – условная поверхность нагретой зоны.

Находим коэффициент (ϑ_1) в зависимости от удельной мощности корпуса:

$$\begin{aligned} \vartheta_1 = K_{q_k} &= 0,1472q_k - 0,2962 \cdot 10^{-3}q_k^2 + 0,3127 \cdot 10^{-6}q_k^3 = \\ &= 0,1472 \cdot 312,5 - 0,2962 \cdot 10^{-3} \cdot 312,5^2 + 0,3127 \cdot 10^{-6} \cdot 312,5^3 = 26,61 \text{ К.} \end{aligned}$$

где q_k – удельная мощность корпуса блока.

Находим коэффициент (ϑ_2) в зависимости от удельной мощности нагретой зоны:

$$\begin{aligned} \vartheta_2 = K_{q_3} &= 0,1390q_3 - 0,1223 \cdot 10^{-3}q_3^2 + 0,0698 \cdot 10^{-6}q_3^3 = \\ &= 0,139 \cdot 537,5 - 0,1223 \cdot 10^{-3} \cdot 537,5^2 + 0,0698 \cdot 10^{-6} \cdot 537,5^3 = 50,21 \text{ К.} \end{aligned}$$

где q_3 – удельная мощность нагретой зоны.

Находим коэффициент (K_{H1}) в зависимости от давления среды вне корпуса:

$$\begin{aligned} K_{H1} &= 0,82 + \frac{1}{0,925 + 4,6 \cdot 10^{-5}H_1} = \\ &= 0,82 + \frac{1}{0,925 + 4,6 \cdot 10^{-5} \cdot 101325} = 0,999. \end{aligned}$$

где $H_1 = 101325$ Па – величина атмосферного давления снаружи корпуса аппарата.

Рассчитываем объем воздуха в блоке (V_B):

$$V_B = l_1 l_2 l_3 (1 - K_3) =$$

$$= 0,048 \cdot 0,056 \cdot 0,028 \cdot (1 - 0,195) = 0,0000605 \text{ м}^3.$$

где $l_1 l_2$ – горизонтальные размеры корпуса блока;

l_3 – вертикальный размер корпуса блока;

K_3 – коэффициент заполнения.

Рассчитываем среднюю скорость перемешивания воздуха в блоке (W):

Для радиатора есть возможность установки вентилятора. Данный вентилятор имеет следующие параметры: высота – 25 мм, ширина – 25 мм, глубина – 10 мм, производительность $G_B = 0,00018 \text{ м}^3/\text{с}$ [45]. Поэтому:

$$W = a \frac{G_B}{V_B} = 0,6 \cdot \frac{0,00018}{0,0000605} = 0,8 \frac{\text{м}}{\text{с}}.$$

где G_B – производительность вентилятора;

$a = 0,6 \text{ м}^4/\text{кг}$;

V_B – объем воздуха в блоке.

Определяем коэффициент K_w в зависимости от средней скорости перемешивания с помощью графика, изображенного на рисунке 2.1:

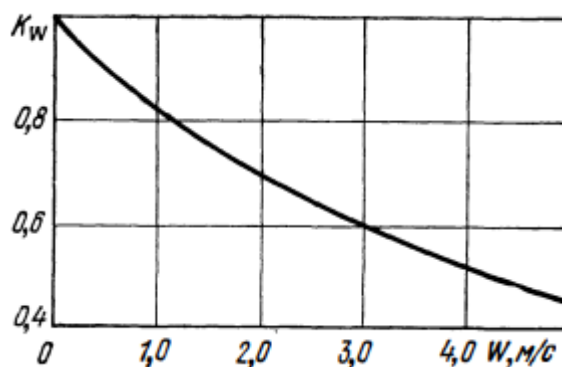


Рисунок 2.1 – Зависимость K_w от скорости перемешивания

Так как средняя скорость перемешивания воздуха в блоке равна $0,8 \text{ м/с}$, то, по графику, $K_w = 0,75$.

Определяем перегрев корпуса блока (ϑ_K):

$$\vartheta_k = \vartheta_1 K_{H1} = 26,61 \cdot 0,999 = 26,58 \text{ К.}$$

Рассчитываем перегрев нагретой зоны (ϑ_3):

$$\begin{aligned} \vartheta_3 &= \vartheta_1 (K_{H1} - 1) + \vartheta_2 K_w = \\ &= 26,61 \cdot (0,999 - 1) + 50,21 \cdot 0,75 = 37,63 \text{ К.} \end{aligned}$$

Определяем средний перегрев воздуха в блоке (ϑ_b):

$$\vartheta_b = 0,75 \vartheta_3 = 0,75 \cdot 37,63 = 28,22 \text{ К.}$$

Определяем удельную мощность элемента ($q_{эл}$):

$$q_{эл} = \frac{P_{эл}}{S_{эл}} = \frac{3,5}{0,002} = 1750 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2}.$$

Рассчитываем перегрев поверхности элемента ($\vartheta_{эл}$):

$$\vartheta_{эл} = \vartheta_3 \cdot \left(0,75 + \frac{0,25 q_{эл}}{q_3} \right) = 37,63 \cdot \left(0,75 + \frac{0,25 \cdot 1750}{537,5} \right) = 58,85 \text{ К.}$$

Рассчитываем перегрев окружающей элемент среды ($\vartheta_{эс}$):

$$\vartheta_{эс} = \vartheta_b \cdot \left(0,75 + \frac{0,25 q_{эл}}{q_3} \right) = 28,22 \cdot \left(0,75 + \frac{0,25 \cdot 1750}{537,5} \right) = 42,13 \text{ К.}$$

Определяем температуру корпуса блока (T_k):

$$T_k = \vartheta_k + T_c = 26,58 + 318 = 344,58 \text{ К.}$$

Определяем температуру нагретой зоны (T_3):

$$T_3 = \vartheta_3 + T_c = 37,63 + 318 = 348,63 \text{ К.}$$

Определяем температуру поверхности элемента ($T_{эл}$):

$$T_{эл} = \vartheta_{эл} + T_c = 58,85 + 318 = 376,85 \text{ К.}$$

Определяем среднюю температуру воздуха в блоке (T_b):

$$T_b = \vartheta_b + T_c = 28,22 + 318 = 346,22 \text{ К.}$$

Определяем температуру окружающей элемент среды ($T_{эс}$):

$$T_{эс} = \vartheta_{эс} + T_c = 42,13 + 318 = 360,13 \text{ К.}$$

Проведя расчеты для герметичного корпуса с внутренним перемешиванием, можно сказать, что наибольшая температура поверхности элемента (семистора *ВТА16-600В*) составляет 376 К (103°C). Полученная температура не превышает верхний предел рабочей температуры семистора, которая составляет 423 К (150°C). Температура окружающей элемент среды равна 360 К (83°C). Температура нагретой зоны составляет 348 К (75°C). Температура корпуса блока равна 320 К (47°C). Температура воздуха в блоке составляет 344 К (71°C).

Сравнивая полученные результаты из пунктов 2.1 и 2.2, можно увидеть, что внутреннее перемешивание воздуха в блоке положительно влияет на охлаждение всего устройства. Благодаря вентилятору, установленному в корпусе, температуры снизились на 3 – 8 °C.

2.3 Расчет теплового режима РЭС в герметичном корпусе с наружным обдувом

Рассчитываем поверхность корпуса блока (S_k):

$$\begin{aligned} S_k &= 2 \cdot (l_1 l_2 + (l_1 + l_2) l_3) = \\ &= 2 \cdot (0,048 \cdot 0,056 + (0,048 + 0,056) \cdot 0,028) = 0,0112 \text{ м}^2. \end{aligned}$$

где $l_1 l_2$ – горизонтальные размеры корпуса блока;

l_3 – вертикальный размер корпуса блока.

Определяем условную поверхность нагретой зоны (S_3):

$$\begin{aligned} S_3 &= 2 \cdot (l_1 l_2 + (l_1 + l_2) K_3 l_3) = \\ &= 2 \cdot (0,048 \cdot 0,056 + (0,048 + 0,056) \cdot 0,195 \cdot 0,028) = 0,00651 \text{ м}^2. \end{aligned}$$

где $l_1 l_2$ – горизонтальные размеры корпуса блока;

l_3 – вертикальный размер корпуса блока;

K_3 – коэффициент заполнения.

Определяем удельную мощность корпуса блока (q_k):

$$q_k = \frac{P_3}{S_k} = \frac{3,5}{0,0112} = 312,5 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2}.$$

где P_3 – мощность, рассеиваемая нагретой зоной;

S_k – поверхность корпуса блока.

Рассчитываем удельную мощность нагретой зоны (q_3):

$$q_3 = \frac{P_3}{S_3} = \frac{3,5}{0,006512} = 537,5 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2}.$$

где P_3 – мощность, рассеиваемая нагретой зоной;

S_3 – условная поверхность нагретой зоны.

Находим коэффициент (ϑ_1) в зависимости от удельной мощности корпуса:

$$\vartheta_1 = K_{q_k} = 0,1472q_k - 0,2962 \cdot 10^{-3}q_k^2 + 0,3127 \cdot 10^{-6}q_k^3 =$$

$$= 0,1472 \cdot 312,5 - 0,2962 \cdot 10^{-3} \cdot 312,5^2 + 0,3127 \cdot 10^{-6} \cdot 312,5^3 = 26,61 \text{ К.}$$

где q_k – удельная мощность корпуса блока.

Находим коэффициент (ϑ_2) в зависимости от удельной мощности нагретой зоны:

$$\vartheta_2 = K_{q_3} = 0,1390q_3 - 0,1223 \cdot 10^{-3}q_3^2 + 0,0698 \cdot 10^{-6}q_3^3 =$$

$$= 0,139 \cdot 537,5 - 0,1223 \cdot 10^{-3} \cdot 537,5^2 + 0,0698 \cdot 10^{-6} \cdot 537,5^3 = 50,21 \text{ К.}$$

где q_3 – удельная мощность нагретой зоны.

Находим коэффициент (K_{H_2}) в зависимости от давления среды внутри корпуса:

$$K_{H_2} = 0,82 + \frac{1}{0,925 + 4,6 \cdot 10^{-5}H_2} =$$

$$= 0,82 + \frac{1}{1,25 + 3,8 \cdot 10^{-5} \cdot 101325} = 0,996.$$

где $H_2 = 101325 \text{ Па}$ – величина атмосферного давления внутри корпуса аппарата.

Находим перегрев между нагретой зоной и корпусом блока (ϑ_{21}):

$$\vartheta_{21} = (\vartheta_2 - \vartheta_1) \cdot K_{H_2} = (50,21 - 26,61) \cdot 0,996 = 23,5 \text{ К.}$$

Рассчитываем перегрев корпуса блока с наружным обдувом (ϑ_K).

Для начала определим скорость обдува (ϑ) по формуле:

$$\vartheta = \frac{\pi DN}{60} = \frac{3,14 \cdot 0,14 \cdot 1600}{60} = 11,72 \frac{\text{м}}{\text{с}}.$$

где D – диаметр вентилятора;

N – количество оборотов в минуту [[Вставить ссылку](#)].

Рассчитываем перегрев корпуса блока с наружным обдувом (ϑ_K):

$$\vartheta_K = \frac{q_k}{12 + 4,17 \cdot \vartheta} = \frac{312,5}{12 + 4,17 \cdot 11,72} = 5,13 \text{ К.}$$

Определяется перегрев нагретой зоны блока с наружным обдувом (ϑ_3):

$$\vartheta_3 = \vartheta_K + \vartheta_{21} = 5,13 + 23,5 = 28,63 \text{ К.}$$

Определим средний перегрев воздуха в блоке (ϑ_B):

$$\vartheta_B = 0,75 \cdot \vartheta_3 = 0,75 \cdot 28,63 = 21,47 \text{ К.}$$

Определяем удельную мощность элемента ($q_{эл}$):

$$q_{эл} = \frac{P_{эл}}{S_{эл}} = \frac{3,5}{0,002} = 1750 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2}.$$

Рассчитываем перегрев поверхности элемента ($\vartheta_{эл}$):

$$\vartheta_{эл} = \vartheta_3 \cdot \left(0,75 + \frac{0,25 q_{эл}}{q_3} \right) = 28,63 \cdot \left(0,75 + \frac{0,25 \cdot 1750}{537,5} \right) = 44,79 \text{ К.}$$

Рассчитываем перегрев окружающей элемент среды ($\vartheta_{эс}$):

$$\vartheta_{эс} = \vartheta_B \cdot \left(0,75 + \frac{0,25 q_{эл}}{q_3} \right) = 21,47 \cdot \left(0,75 + \frac{0,25 \cdot 1750}{537,4} \right) = 33,59 \text{ К.}$$

Определяем температуру корпуса блока (T_k):

$$T_k = \vartheta_k + T_c = 5,13 + 293 = 306,13 \text{ K.}$$

Определяем температуру нагретой зоны (T_z):

$$T_z = \vartheta_z + T_c = 28,64 + 293 = 321,64 \text{ K.}$$

Определяем температуру поверхности элемента ($T_{эл}$):

$$T_{эл} = \vartheta_{эл} + T_c = 44,79 + 293 = 337,79 \text{ K.}$$

Определяем среднюю температуру воздуха в блоке (T_b):

$$T_b = \vartheta_b + T_c = 21,47 + 293 = 314,47 \text{ K.}$$

Определяем температуру окружающей элемент среды ($T_{эс}$):

$$T_{эс} = \vartheta_{эс} + T_c = 33,59 + 293 = 326,59 \text{ K.}$$

Проведя расчеты для герметичного корпуса с наружным обдувом, можно сказать, что наибольшая температура поверхности элемента (семистора *ВТА16-600В*) составляет 337 К (64°C). Полученная температура не превышает верхний предел рабочей температуры семистора, которая составляет 423 К (или 150°C). Температура окружающей элемент среды равна 326К (53°C). Температура нагретой зоны составляет 321 К (48°C). Температура корпуса блока равна 306 К (33°C). Температура воздуха в блоке составляет 314 К (41°C).

Сравнивая полученные результаты из пунктов 2.1, 2.2 и 2.3, можно увидеть, что наружный обдув корпуса положительно влияет на охлаждение всего устройства. Благодаря внешнему обдуву температуры снизились на 9 – 24 °С по

сравнению с температурами герметичного корпуса без внешнего обдува. Так же в данном типе корпуса наблюдается значительное снижение температуры нагретой зоны, что обеспечивает нормальное функционирование других элементов платы.

2.4 Расчет теплового режима РЭС в герметичном оребрѐнном корпусе

Рассчитываем поверхность корпуса блока (S_k):

$$\begin{aligned} S_k &= 2 \cdot (l_1 l_2 + (l_1 + l_2) l_3) = \\ &= 2 \cdot (0,125 \cdot 0,085 + (0,125 + 0,085) \cdot 0,045) = 0,04015 \text{ м}^2. \end{aligned}$$

где $l_1 l_2$ – горизонтальные размеры корпуса блока;

l_3 – вертикальный размер корпуса блока.

Определяем условную поверхность нагретой зоны (S_3):

$$\begin{aligned} S_3 &= 2 \cdot (l_1 l_2 + (l_1 + l_2) K_3 l_3) = \\ &= 2 \cdot (0,125 \cdot 0,085 + (0,125 + 0,085) \cdot 0,5 \cdot 0,045) = 0,0307 \text{ м}^2. \end{aligned}$$

где $l_1 l_2$ – горизонтальные размеры корпуса блока;

l_3 – вертикальный размер корпуса блока;

K_3 – коэффициент заполнения.

Определяем удельную мощность корпуса блока (q_k):

$$q_k = \frac{P_3}{S_k} = \frac{6}{0,04015} = 149,4 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2}.$$

где P_3 – мощность, рассеиваемая нагретой зоной;

S_k – поверхность корпуса блока.

Рассчитываем удельную мощность нагретой зоны (q_3):

$$q_3 = \frac{P_3}{S_3} = \frac{6}{0,0307} = 195,4 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2}.$$

где P_3 – мощность, рассеиваемая нагретой зоной;

S_3 – условная поверхность нагретой зоны.

Находим коэффициент (ϑ_1) в зависимости от удельной мощности корпуса:

$$\begin{aligned} \vartheta_1 &= K_{q_k} = 0,1472q_k - 0,2962 \cdot 10^{-3}q_k^2 + 0,3127 \cdot 10^{-6}q_k^3 = \\ &= 0,1472 \cdot 149,4 - 0,2962 \cdot 10^{-3} \cdot 149,4^2 + 0,3127 \cdot 10^{-6} \cdot 149,4^3 = 16,43 \text{ К.} \end{aligned}$$

где q_k – удельная мощность корпуса блока.

Находим коэффициент (ϑ_2) в зависимости от удельной мощности нагретой зоны:

$$\begin{aligned} \vartheta_2 &= K_{q_3} = 0,1390q_3 - 0,1223 \cdot 10^{-3}q_3^2 + 0,0698 \cdot 10^{-6}q_3^3 = \\ &= 0,139 \cdot 195,4 - 0,1223 \cdot 10^{-3} \cdot 195,4^2 + 0,0698 \cdot 10^{-6} \cdot 195,4^3 = 23,02 \text{ К.} \end{aligned}$$

где q_3 – удельная мощность нагретой зоны.

Находим перегрев между нагретой зоной и корпусом блока (ϑ_{21}):

$$\vartheta_{21} = \vartheta_2 - \vartheta_1 = 23,02 - 16,43 = 6,58 \text{ К.}$$

Определим поверхность оребренного корпуса блока.

Пусть ребра располагаются на двух больших сторонах корпуса. Ширина ребра $l_p = 0,002$ м, высота ребра $h_p = 0,025$ м. Количество ребер на одной стороне – 10. Исходя из этого определим поверхность корпуса, не занятую ребрами (S_{KH}) и поверхность ребер (S_p):

$$S_{KH} = S_k = 2 \cdot (l_1 l_2 + (l_1 + l_2) l_3) = 0,04015 \text{ м}^2.$$

$$\begin{aligned} S_p &= 2n(2l_1 h_p + 2l_p h_p) + 2n(2l_2 h_p + 2l_p h_p) = \\ &= 2 \cdot 10 \cdot (2 \cdot 0,125 \cdot 0,025 + 2 \cdot 0,002 \cdot 0,025) + \\ &+ 2 \cdot 10 \cdot (2 \cdot 0,085 \cdot 0,025 + 2 \cdot 0,002 \cdot 0,025) = 0,214 \text{ м}^2. \end{aligned}$$

где $l_1 l_2$ – горизонтальные размеры корпуса блока;

l_3 – вертикальный размер корпуса блока;

l_p – ширина ребра;

h_p – высота ребра;

n – количество рёбер;

Рассчитаем поверхность оребрённого корпуса блока (S_{KP}):

$$S_{KP} = S_{KH} + S_p = 0,04015 + 0,214 = 0,254 \text{ м}^2.$$

Рассчитывается удельная мощность оребрённого корпуса блока (q_{KP}):

$$q_{KP} = \frac{P_3}{S_{KP}} = \frac{6}{0,254} = 23,6 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2}$$

Находим коэффициент (ϑ_{1p}) в зависимости от оребрённого корпуса блока:

$$\begin{aligned} \vartheta_{1p} &= 0,1472 q_{kp} - 0,2962 \cdot 10^{-3} q_{kp}^2 + 0,3127 \cdot 10^{-6} q_{kp}^3 = \\ &= 0,1472 \cdot 23,6 - 0,2962 \cdot 10^{-3} \cdot 23,6^2 + 0,3127 \cdot 10^{-6} \cdot 23,6^3 = 3,31 \text{ К}. \end{aligned}$$

где q_{kp} – удельная мощность оребренного корпуса блока.

Находим коэффициент K_{H1} в зависимости от давления среды вне корпуса:

$$K_{H1} = 0,82 + \frac{1}{0,925 + 4,6 \cdot 10^{-5} H_1} =$$

$$= 0,82 + \frac{1}{0,925 + 4,6 \cdot 10^{-5} \cdot 101325} = 0,999.$$

где $H_1 = 101325$ Па – величина атмосферного давления снаружи корпуса аппарата.

Находим коэффициент K_{H2} в зависимости от давления среды внутри корпуса:

$$K_{H2} = 0,82 + \frac{1}{0,925 + 4,6 \cdot 10^{-5} H_2} =$$

$$= 0,82 + \frac{1}{1,25 + 3,8 \cdot 10^{-5} \cdot 101325} = 0,996.$$

где $H_2 = 101325$ Па – величина атмосферного давления внутри корпуса аппарата.

Рассчитывается перегрев оребрѐнного корпуса (ϑ_K):

$$\vartheta_K = \vartheta_{1p} \cdot K_{H1} = 3,31 \cdot 0,999 = 3,31 \text{ К.}$$

Рассчитывается средний перегрев воздуха в блоке (ϑ_3):

$$\vartheta_3 = \vartheta_K + (\vartheta_2 - \vartheta_1) \cdot K_{H2} = 3,31 + (23,02 - 16,43) \cdot 0,996 = 9,87 \text{ К.}$$

Определяется средний перегрев воздуха в блоке (ϑ_B):

$$\vartheta_B = 0,75 \cdot \vartheta_3 = 0,75 \cdot 9,87 = 7,4 \text{ К.}$$

Определяем удельную мощность элемента ($q_{эл}$):

$$q_{эл} = \frac{P_{эл}}{S_{эл}} = \frac{5}{0,00682} = 733,14 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2}.$$

Рассчитываем перегрев поверхности элемента ($\vartheta_{эл}$):

$$\vartheta_{эл} = \vartheta_3 \cdot \left(0,75 + \frac{0,25q_{эл}}{q_3} \right) = 9,87 \cdot \left(0,75 + \frac{0,25 \cdot 733,14}{195,4} \right) = 16,66 \text{ К.}$$

Рассчитываем перегрев окружающей элемент среды ($\vartheta_{эс}$):

$$\vartheta_{эс} = \vartheta_в \cdot \left(0,75 + \frac{0,25q_{эл}}{q_3} \right) = 7,4 \cdot \left(0,75 + \frac{0,25 \cdot 733,14}{195,4} \right) = 12,5 \text{ К.}$$

Определяется температура корпуса блока (T_k):

$$T_k = \vartheta_k + T_c = 3,31 + 313 = 316,31 \text{ К.}$$

Определяется температура нагретой зоны (T_3):

$$T_3 = \vartheta_3 + T_c = 9,87 + 313 = 322,87 \text{ К.}$$

Определяется температура поверхности элемента ($T_{эл}$):

$$T_{эл} = \vartheta_{эл} + T_c = 16,66 + 313 = 329,66 \text{ К.}$$

Определяется средняя температура воздуха в блоке ($T_в$):

$$T_в = \vartheta_в + T_c = 7,4 + 313 = 320,4 \text{ К.}$$

Определяется температура окружающей элемент среды ($T_{эс}$):

$$T_{эс} = \vartheta_{эс} + T_c = 12,5 + 313 = 325,5 \text{ К.}$$

Проведя расчеты для герметичного ребренного корпуса, можно сказать, что наибольшая температура поверхности элемента (транзистора *FJP13007*) составляет 330 К (или 57°C). Полученная температура не превышает верхний предел рабочей температуры элемента, которая составляет 423 К (или 150°C). Температура окружающей элемент среды равна 326 К (эквивалентно 53°C). Температура нагретой зоны составляет 323 К (эквивалентно 50°C). Температура корпуса блока равна 316 К (эквивалентно 43°C). Температура воздуха в блоке составляет 320 К (эквивалентно 47°C), что превышает температуру окружающей среды на 7 °C.

Сравнивая полученные результаты из пунктов 2.3 и 2.4, можно увидеть, что они практически идентичны. Ребренный корпус так же положительно влияет на охлаждение всего устройства, как и наружный обдув. Полученные температуры достигаются благодаря ребрам, которые увеличивают площадь отводящей тепло поверхности практически в 5 раз.