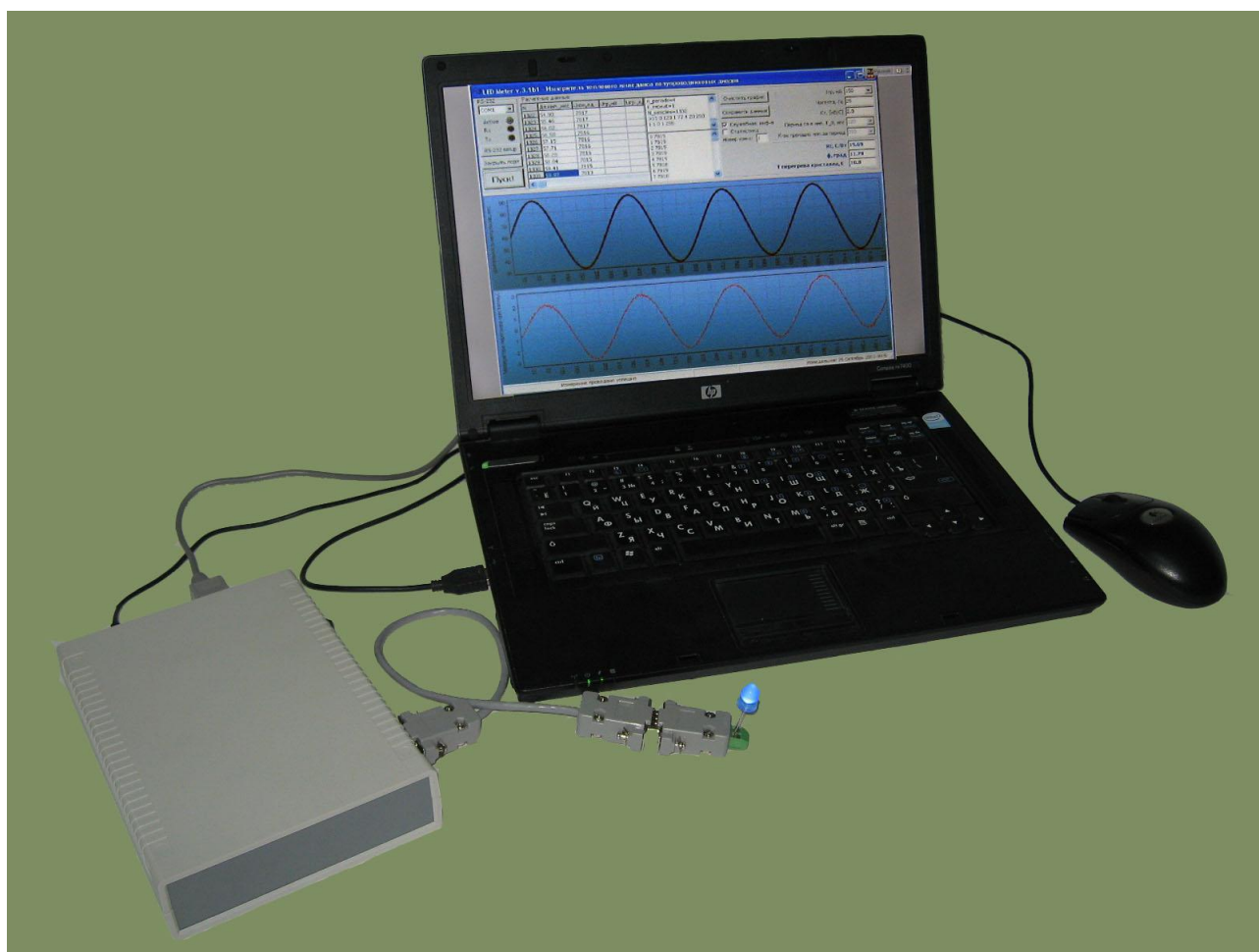


# Измеритель теплового импеданса полупроводниковых светодиодов

Техническое описание  
и инструкция по эксплуатации



## **ВВЕДЕНИЕ**

Техническое описание и инструкция по эксплуатации содержат описание принципа действия измерителя теплового импеданса, его устройства и порядка работы. Приведены алгоритмы функционирования управляющей программы и программы обработки результатов измерений.

### **1. НАЗНАЧЕНИЕ ПРИБОРА**

Прибор предназначен для измерения теплового импеданса полупроводниковых светодиодов и светодиодных модулей. Данный параметр характеризует степень разогрева активной области кристалла (*p-n*-перехода) относительно корпуса или окружающей среды в процессе эксплуатации светодиода и может быть использован для оценки качества его теплоотвода.

Кроме теплового импеданса переход-корпус светодиода в процессе измерений определяется температура перегрева активной области кристалла. В приборе имеется возможность автоматического измерения зависимостей теплового импеданса от частоты модуляции греющей мощности, что позволяет определить компоненты теплового сопротивления всех звеньев теплового пути: гетеропереход – теплоотвод – печатная плата (точка пайки) – радиатор – окружающая среда.

### **2. ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ**

Диапазон измерения теплового сопротивления – от 0,1 до 1000 К/Вт.

Амплитуда греющих импульсов тока – от 10 до 1100 мА.

Максимальное выходное напряжение – 22 В.

Частота модуляции греющей мощности – от 0,001 до 700 Гц.

Питание от сети 220 В через адаптер 28 В/25 Вт.

Габариты прибора – 190×140×70 мм<sup>3</sup>. Вес с адаптером питания – 0,6 кг.

### **3. УСТРОЙСТВО И РАБОТА ПРИБОРА**

#### **3.1. Принцип действия**

Принцип определения теплового импеданса основан на пропускании через электронно-дырочный переход светодиода электрических разогревающих импульсов с широтно-импульсной модуляцией (ШИМ), осуществляемой по гармоническому закону, и измерений соответствующих изменений температуры перехода относительно корпуса или окружающей среды. Температура определяется на основе измерения температурочувствительного параметра (ТЧП), в качестве которого используется прямое напряжение на *p-n*-переходе при пропускании через него малого постоянного измерительного тока. На основе вычисления амплитуд и фаз основных гармоник греющей мощности и температуры *p-n*-перехода определяется модуль теплового импеданса переход-корпус светодиода и сдвиг фаз между температурой *p-n*-перехода и греющей мощностью.

#### **3.2. Структурная схема измерителя**

Структурная схема измерителя представлена на рис. 1. Работа прибора осуществляется под управлением микроконтроллера ATmega 128. При включении прибора производится инициализация периферийных устройств, после чего прибор переходит в режим ожидания поступления пакета данных из компьютера, который включает в себя величину греющего тока, период следования греющих импульсов и их частоту модуляции. Кроме этого пересылается ряд других параметров, позволяющих таймеру/счетчику в режиме ШИМ сформировать нужную последовательность греющих импульсов, поступающих на светодиод.

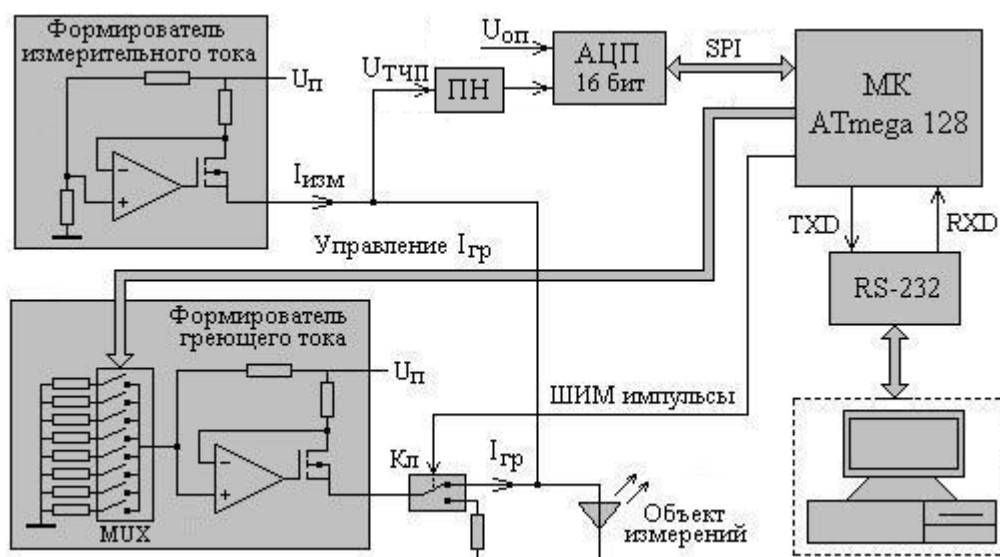


Рис.1. Структурная схема измерителя теплового импеданса светодиодов

Формирователь измерительных импульсов реализован на основе операционного усилителя (ОУ), в цепь обратной связи которого включен полевой транзистор. Величина измерительного тока  $I_{\text{изм}}$  определяется напряжением на неинвертирующем входе ОУ. По аналогичной схеме реализован и генератор греющего тока  $I_{\text{гр}}$ , но напряжение на неинвертирующем входе ОУ может изменяться. Регулирование величины  $I_{\text{гр}}$  осуществляется подключением через мультиплексор (MUX) нужного сопротивления, что осуществляется формированием микроконтроллером двоичного кода, задающего номер канала MUX. В измерителе используются два мультиплексора, каждый со своим набором сопротивлений в канале. Это позволяет обеспечить 16 дискретных значений тока в диапазоне от 10 до 550 мА. Кроме того, в измерителе имеется возможность увеличения греющего тока в два раза в каждом из каналов.

Широтно-импульсная модуляция греющих импульсов осуществляется подачей на переключатель Кл от микроконтроллера управляющих ШИМ импульсов. Возможна генерация однократных импульсов заданной длительности или последовательности импульсов, длительность которых изменяется по гармоническому закону. Основным режимом является модуляция по гармоническому закону.

Преобразование измеряемого напряжения в цифровой код, поступающий в микроконтроллер, осуществляется с помощью внешнего 16-разрядного АЦП с последовательным выходом. Взаимодействие АЦП с микроконтроллером осуществляется посредством скоростного последовательного интерфейса SPI. Все результаты измерений записываются в оперативную память микроконтроллера и по окончании измерений пересылаются посредством интерфейса RS-232 в компьютер для последующей обработки.

### 3.3. Программа обработки результатов измерения

На рис. 2 представлен интерфейс программы обработки результатов измерения, с помощью которой осуществляется взаимодействие измерителя теплового импеданса с компьютером. В верхнее графическое окно выводится зависимость длительности греющего импульса от его номера в последовательности; в нижнее окно – переменная составляющая температуры  $p$ - $n$ -перехода в процессе его нагрева импульсами с ШИМ-модуляцией, осуществляемой по гармоническому закону. Результаты измерений модуля теплового импеданса  $R_t$ , его фазы  $\varphi$  и температуры перегрева кристалла за время измерения выводятся в правом нижнем углу текстового окна.

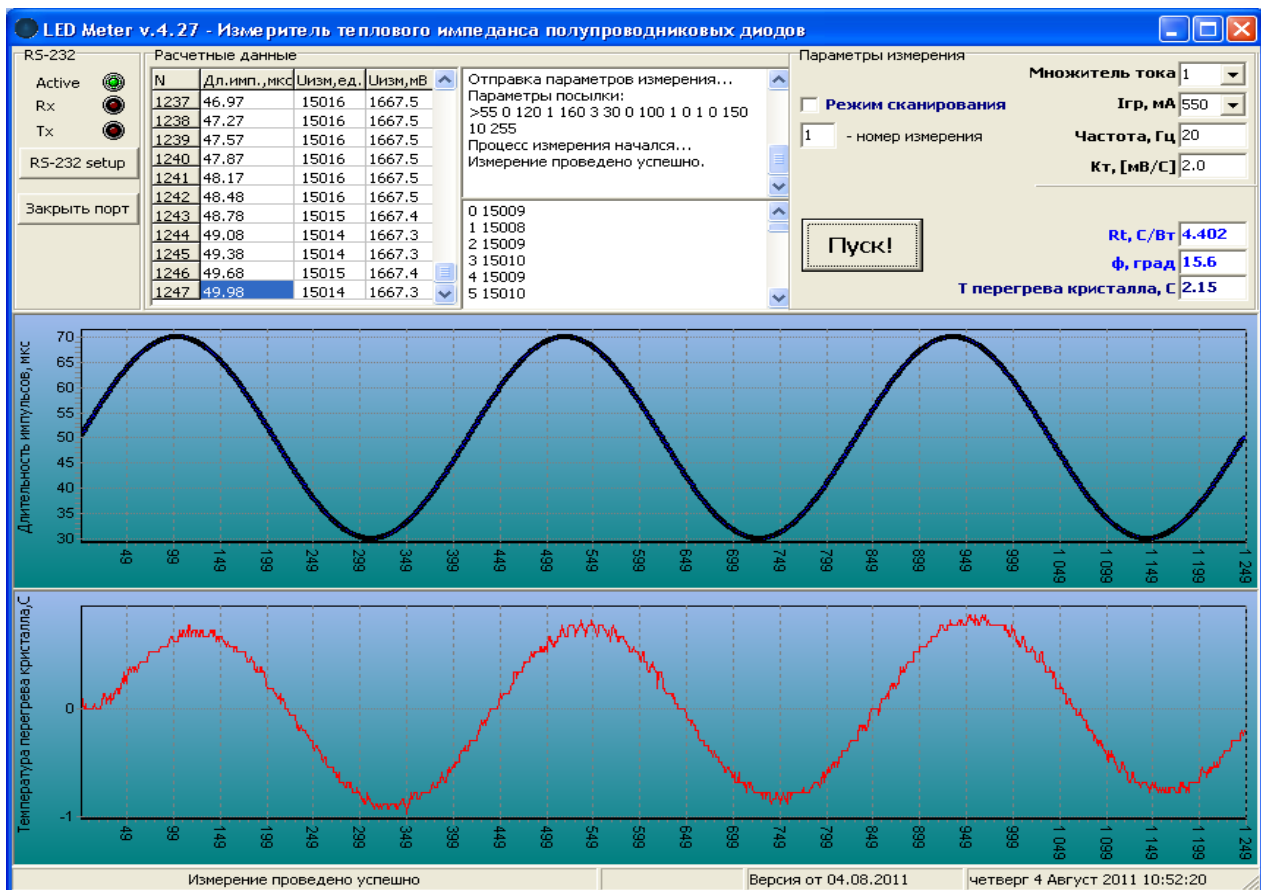


Рис. 2. Интерфейс программы обработки результатов измерения

После открытия главного окна управляющей программы (рис. 2) пользователь может произвести следующие действия:

- установить параметры измерений такие, как величина греющего тока  $I_{гр}$ , частота модуляции, температурный коэффициент напряжения  $K_T$ ;
- активизировать нужный COM-порт (по умолчанию используется COM1);
- выбрать однократный режим измерений или режим «Сканирование»;
- инициировать процесс измерений клавишей «Пуск!».

После нажатия клавиши «Пуск!» через COM-порт происходит передача информационного пакета данных, который имеет следующий формат:

- 1-й байт – значение тока излучателя в амперах, умноженное на 100;
- 2-й байт – ст. байт периода следования импульсов;
- 3-й байт – мл. байт периода следования импульсов;
- 4-й байт – ст. байт количества греющих импульсов за период модуляции;
- 5-й байт – мл. байт количества греющих импульсов за период модуляции;
- 6-й байт – число полных периодов модуляции греющей мощности;
- 7-й байт – минимальная длительность греющих импульсов;
- 8-й байт – множитель длительности тестового импульса;
- 9-й байт – длительность тестового импульса, в миллисекундах;
- 10-й байт – множитель тока;
- 11-й байт – ст. байт коэффициента повторения;
- 12-й байт – мл. байт коэффициента повторения;
- 13-й байт – резервный байт;
- 14-й байт – количество импульсов для предварительного разогрева;
- 15-й байт – время задержки;
- с 16-ого по 19-й байты – резервные байты;
- 20-й байт – команда запуска.

После принятия информационного пакета данных производится тестирование прибора на предмет обнаружения аварийных ситуаций (отсутствие в адаптере объекта измерения или неверная полярность его подключения, превышение напряжения на диоде предельно допустимого значения, неправильная установка множителя тока). Если обнаружена аварийная ситуация, прибор пересылает соответствующее сообщение в компьютер и издает звуковой сигнал. Измерения продолжатся только после устранения аварийной ситуации. При отсутствии аварийных ситуаций начинается процесс измерения и в центральном текстовом окне (рис. 2) появляется надпись «Процесс измерения начался...»

После окончания измерения из прибора в компьютер передаются значения напряжений в единицах АЦП, измеренные в паузах между греющими импульсами, а также дополнительная информация для определения мощности разогрева и температуры перегрева кристалла. Вся эта информация выводится в центральное текстовое окно. При успешном поведенном измерении появляется соответствующая надпись «Измерение проведено успешно» и в соответствующие графические окна выводятся графики временных зависимостей греющей мощности и температуры  $p-n$  перехода. Результаты измерения модуля теплового импеданса и его фазы, а также температуры перегрева кристалла выводятся в правом нижнем углу текстового окна.

При установке опции «Режим сканирования» у пользователя появляется возможность осуществить автоматическое измерение зависимости теплового импеданса от частоты модуляции или от величины греющего тока. Интерфейс программного модуля «Режим сканирования» представлен на рис. 3. В этом режиме можно произвести измерения модуля и фазы теплового импеданса при различных частотах модуляции греющей мощности и фиксированном токе, либо при различных токах и фиксированной частоте модуляции. Результаты измерений указанных зависимостей можно сохранить в файле в форме таблицы, используя клавишу «Сохран. табл.», и затем воспроизвести их в текстовом окне клавишей «Загруз. табл.».

Перед началом измерений необходимо установить количество измерений и задать значения частот модуляции и величин греющего тока. С помощью опций «Фикс. F по 1 зн.» и «Фикс. I по 1 зн.» можно зафиксировать значения частоты или тока по установленному значению в 1-ой строке текстового окна. С помощью клавиши «Инверсия» можно изменить порядок следования частоты и тока на обратный. С помощью опции «Просмотр» можно оперативно просмотреть результаты измерений, сохраненные в памяти компьютера.

Запуск измерений осуществляется нажатием клавиши «Авто!». Результаты каждого измерения, включающего в себя модуль теплового импеданса  $R_t$ , фазу  $\varphi$  и температуру перегрева кристалла  $T_{кр}$ , выводятся в соответствующие колонки текстового окна. Кроме этого результаты измерений  $R_t$  и  $\varphi$  представляются в виде графиков в графических окнах (рис. 3).

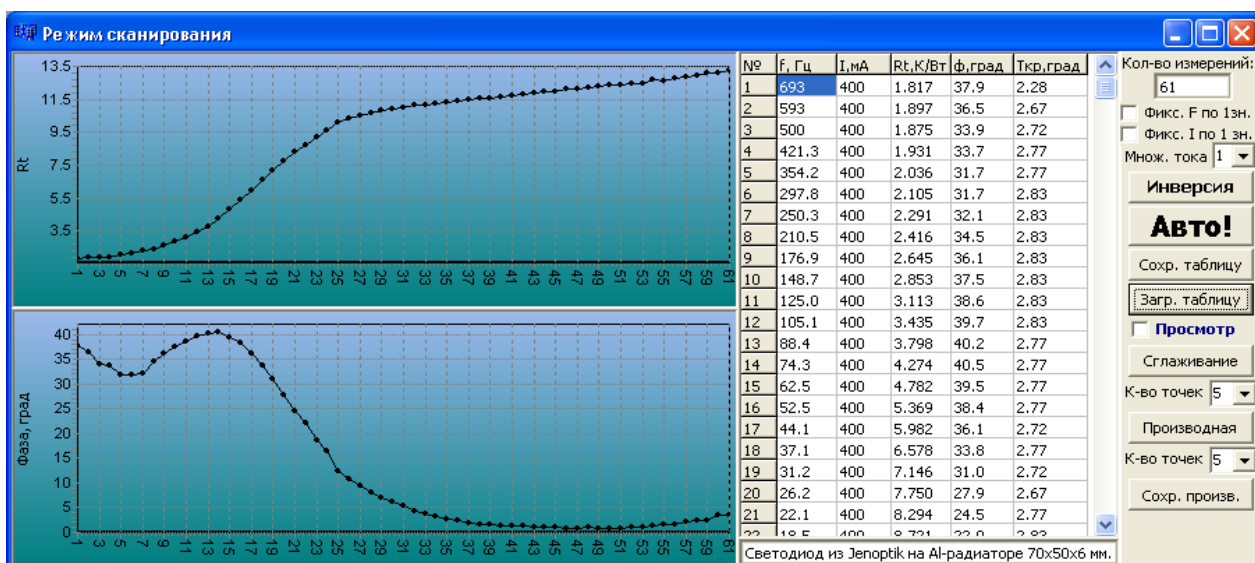


Рис. 3. Интерфейс программного модуля «Режим сканирования»

После окончания измерений пользователь нажатием клавиши «Сохран. табл.» может записать результаты измерений в файл. Формат записи данных в сохраненном файле такой же, что и в текстовом окне интерфейса «Сканирование» (рис. 3). В файл по желанию пользователя можно добавить какой-либо комментарий о режимах или объекте измерений.

Имеется возможность, зафиксировав величину греющего тока и частоту модуляции, провести серию измерений при одинаковых параметрах с последующей статистической обработкой результатов, включая вычисление среднего арифметического значения и его среднеквадратического отклонения. Данная функция включается только при установке опций «Фикс. F по 1 зн.» и «Фикс. I по 1 зн.».

Полученные в режиме сканирования зависимости теплового сопротивления  $R_T(f)$  и фазы  $\varphi(f)$  теплового импеданса от частоты греющей мощности несут в себе полную информацию о вкладе в общее тепловое сопротивление всех звеньев конструкции светодиода, по которым распространяется тепловой поток, а именно, гетеропереход – теплоотвод – печатная плата (точка пайки) – радиатор – окружающая среда.

В полученной экспериментальной зависимости  $R_T(f)$  компоненты теплового сопротивления отображаются в виде пологих участков или точек перегиба, что часто не позволяет надежно различить отдельные компоненты теплового сопротивления. Для более надежного выделения компонент теплового сопротивления используется дифференцирование зависимости  $R_T(f)$ . Чтобы исключить влияние случайных погрешностей при измерении ТЧП, проводится процедура сглаживания, осуществляемая методом «скользящего среднего». Сглаживание и дифференцирование, а также количество точек, по которым производятся эти операции, реализуются с помощью соответствующих функциональных клавиш (рис. 4). Результаты такой обработки спектров можно сохранить в файле табличного формата, используя функциональную клавишу «Сохран. произв.»

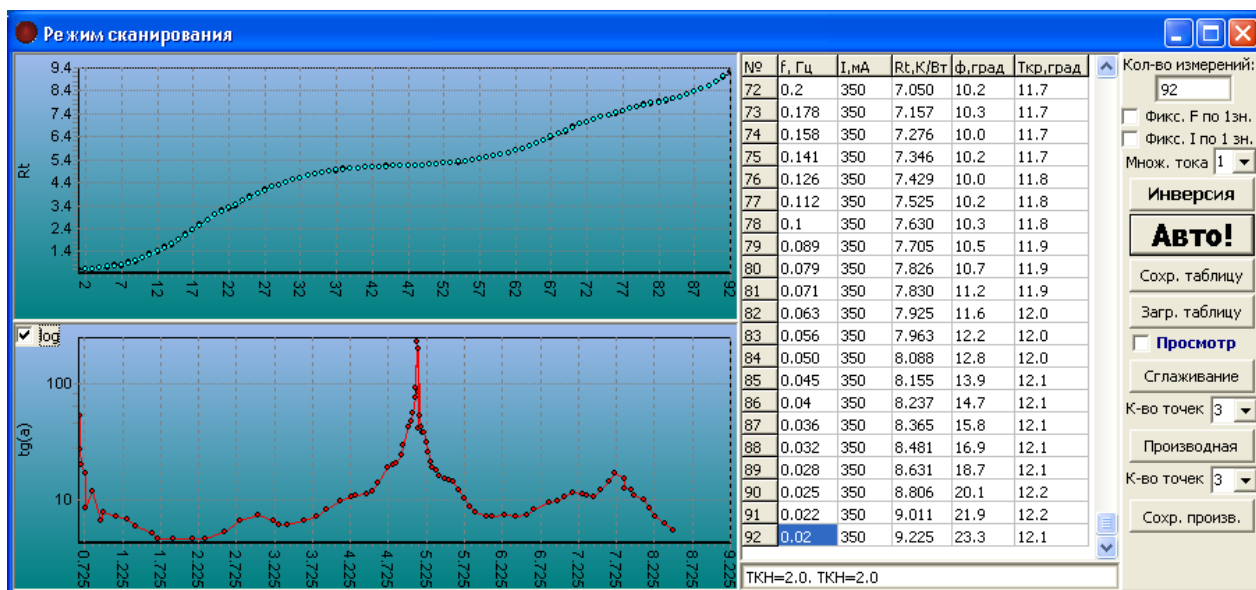


Рис.4. Результаты обработки спектра теплового сопротивления

Для оперативного поиска и просмотра результатов измерений, сохраненных в памяти компьютера, имеется модуль браузера, иницируемый установкой опции «Просмотр». Он предоставляет пользователю легкую навигацию по дереву каталогов жесткого диска, автоматическую фильтрацию типов файлов и отображение результатов ранее проведенных измерений. Внешний вид модуля для просмотра базы данных представлен на рис. 5. В верхней части окна отображено дерево каталогов жесткого диска компьютера, в нижней части – список файлов с результатами измерений. При перемещении по списку в нижнем графическом окне программного модуля «Режим сканирования» отображаются результаты измерений, сохраненные в выбранном файле.



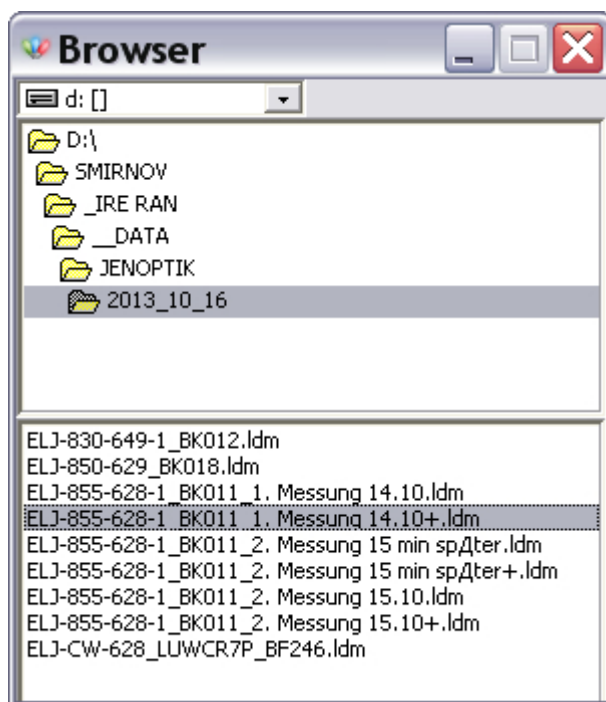


Рис. 5. Окно модуля для просмотра базы данных

### 3.4. Конфигурационный файл values.ini

Конфигурационный файл содержит в себе калиброванные значения греющего тока, уникальные для каждого экземпляра прибора, значение периода следования греющих импульсов, значение «по умолчанию» температурного коэффициента напряжения. Здесь же находится параметр, определяющий переход прибора в режим «тестовых» измерений и задающий длительность тестового импульса греющей мощности. В файле также заданы значение минимальной длительности греющих импульсов; значение единицы младшего разряда АЦП; количество импульсов для предварительного разогрева светодиода; КПД светодиода  $K\eta$ , выраженный в процентах. Имеется также ряд резервных байтов, которые могут быть использованы для модернизации программы в будущем.

В первых 16 строках файла **values.ini** содержатся фактические значения греющего тока, полученные в результате индивидуальной градуировки прибора. Корректировка этих значений может производиться только после поверки прибора, если результаты поверки отличаются от приведенных в файле более, чем на 2%.

В строке 20 содержится значение температурного коэффициента напряжения  $K_t$  для светодиода. Значение  $K_t$  определяется экспериментально согласно стандарту EIA/JESD51-1 или используется значение из технической документации на объект измерения.

В строке 28 устанавливается значение единицы младшего разряда АЦП в вольтах. Эта величина различна в зависимости от положения переключателя **LED/Module** на лицевой панели прибора. Данная величина не влияет на результат измерения теплового импеданса, но при ее неверно установленном значении температура перегрева кристалла (крайний правый столбец в текстовом окне на рис.4) будет отображаться некорректно.

В строке 30 устанавливается значение КПД светодиода  $K\eta$ , выраженный в процентах. Если  $K\eta=0$ , то измеряется "электрическое" тепловое сопротивление.

В строке 34 содержится фактическое значение множителя тока на 2-ом диапазоне. Оно получено в результате индивидуальной градуировки прибора.

В строке 36 устанавливается количество импульсов для предварительного разогрева светодиода. Если это значение меньше 60, то оно определяет время разогрева в секундах.

Строка 48 определяет язык интерфейса программы: RUS или ENG. При изменении языка интерфейса или других параметров необходима перезагрузка программы **LED\_Meter.exe**.

## 4. ПОРЯДОК РАБОТЫ

### 4.1. Установка программного обеспечения

Для установки запустите исполняемый файл дистрибутива «LED Meter 5 install.exe» и нажмите кнопку «Extract». Программное обеспечение установится в каталог Program Files, а на рабочем столе появится ярлык для запуска программы.

### 4.2. Подготовка прибора к измерениям

Осмотрите прибор на предмет обнаружения механических повреждений. Подключите к разъему на задней стенке прибора шнур с адаптером питания.

Соедините кабелем выходной разъем на задней стенке прибора с COM-портом компьютера.

Подключите к разъему на боковой стенке прибора шнур с адаптером для установки светодиода.

### 4.3. Проведение измерений

Подключите адаптер питания к сети 220В и включите прибор. Звуковой сигнал покажет, что прибор готов к работе.

Включите компьютер и запустите программу обработки результатов измерений **LED\_Meter.exe**. После появления на экране монитора компьютера интерфейса пользователя (рис.2) установите номер используемого COM-порта и активизируйте его. В случае использования COM1 активизация порта не требуется, она производится автоматически.

Установите в адаптер светодиод анодом к клемме А, катодом к клемме К.

Выберите один из двух режимов измерения: однократный или «Режим сканирования», установив в последнем случае соответствующую опцию. При выборе однократного режима измерений установите величину греющего тока  $I_{гр}$ , частоту модуляции греющей мощности и температурный коэффициент напряжения  $K_t$  светодиода. Значения  $K_t$  для конкретного типа светодиодов выбирается либо из его технической документации, либо определяется экспериментально согласно стандарту EIA/JESD51-1. Выбор нужной величины греющего тока производится из дискретного ряда 10...550 мА. Установка частоты модуляции и величины  $K_t$  осуществляется с помощью клавиатуры компьютера. Необходимо учесть, что при наборе не целочисленных значений необходимо использовать десятичную точку, а не запятую.

Если требуемая величина тока превышает 550 мА, необходимо в главном окне (рис.2) или в окне «Сканирование» (рис.3) установить множитель тока, равный 2. При этом на приборе переключатель множителя тока также необходимо установить в положение «2». Если установленный программно множитель тока не соответствует положению переключателя множителя тока на приборе, то прибор выдаст в компьютер сообщение об ошибке.

Иницилируйте процесс измерения клавишей «Пуск!» или клавишей «Enter» на клавиатуре. Процесс измерения заканчивается звуковым сигналом в приборе и пересылкой результатов в компьютер. Результаты измерений модуля теплового импеданса  $R_t$  в единицах °С/Вт, фазы теплового импеданса  $\varphi$  в угловых градусах и температуры перегрева кристалла в процессе измерений в °С индицируются в текстовом окне (рис.2). В графические окна выводятся временные зависимости длительности греющих импульсов и переменной составляющей температуры  $p$ - $n$ -перехода. Для детального просмотра графиков выделите нужный фрагмент с помощью мыши при нажатой левой клавише. Для возврата к исходному масштабу графиков при нажатой левой клавише мыши сделайте движение курсором в направлении верхнего левого угла.

При выборе режима «Сканирование» открывается окно интерфейса, изображенное на рис. 3. Установите количество измерений, после чего – значения частоты модуляции и величины греющего тока (вторая и третья колонки в таблице). Если один или оба параметра



имеют фиксированные значения, воспользуйтесь опциями «Фикс. F по 1 зн.» и «Фикс. I по 1 зн.», позволяющими зафиксировать значения частоты или тока по установленному значению в 1-ой строке.

Иницируйте процесс измерений в режиме «Сканирование» нажатием клавиши «Авто!». Обновление новых параметров измерения (частоты модуляции и величины греющего тока) и пересылка их в прибор будет осуществляться автоматически. Результаты измерения модуля теплового импеданса, его фазы и температуры перегрева кристалла будут отображаться в таблице и выводиться в виде графиков в графических окнах.

При необходимости сохранения в памяти компьютера результатов измерения спектральных и токовых зависимостей теплового импеданса используйте клавишу «Сохранить» или клавишу «Save Table». При необходимости добавить в сохраненные файлы дополнительную информацию, используйте окно для ввода комментария.

Для определения компонент теплового сопротивления используйте процедуру сглаживания спектральной зависимости  $R_T(f)$  с последующим ее дифференцированием (клавиши «Сглаживание» и «Производная»). В результате такой обработки компоненты теплового сопротивления будут отображаться в виде пиков, изображенных на рис. 4. Экспериментально подберите оптимальное количество точек, используемых при процедуре сглаживания и дифференцирования. При необходимости сохраняйте результаты такой обработки в файле табличного формата, используя функциональную клавишу «Сохранить произв.». Для завершения работы отключите светодиод от адаптера и выключите питание прибора.

## 5. ВОЗМОЖНЫЕ НЕИСПРАВНОСТИ И СПОСОБЫ ИХ УСТРАНЕНИЯ

Перечень характерных неисправностей, причины и способы их устранения приведены в таблице 1.

Таблица 1

Наименование неисправности и ее внешнее проявление	Вероятная причина неисправности	Способ устранения
1. Прибор после включения в сеть не издает звуковой сигнал готовности.	Неисправен кабель питания.	Проверить омметром кабель питания и при необходимости заменить.
2. При установке в адаптер светодиода последний не горит.	Неисправен светодиод. Неправильная полярность подключения светодиода. Неисправен кабель адаптера.	Повторить измерения с другим светодиодом. Проверить полярность подключения светодиода. Проверить омметром кабель адаптера.
3. Не пересылаются данные из компьютера в прибор и обратно. В текстовом окне интерфейса пользователя не появляются данные пересылки.	Не исправен кабель, соединяющий прибор с СОМ-портом компьютера. Сбой в работе микроконтроллера.	Проверить исправность кабеля подключения к СОМ-порту и при необходимости заменить. Выключить и вновь включить прибор, перезагрузить программу <b>LED_Meter.exe</b> .

## 6. ГРАДУИРОВКА ПРИБОРА

Градуировка прибора включает в себя контрольные измерения основных рабочих параметров, а именно, величины греющего тока, множителя тока, периода следования греющих импульсов и их частоты модуляции.

Для градуировки величины греющего тока необходимо подключить к прибору калиброванный резистор, сопротивление  $R$  которого не более 10 Ом, после чего включить питание прибора. Затем перейти в режим тестирования прибора, для чего открыть для редактирования файл **values.ini**. Установить в нем значение длительности тестового импульса при единичном множителе (строка 24) равным 100, значение множителя длительности тестового импульса (строка 22) – равным 30. Сохранить файл и запустить программу **LED Meter.exe**. Теперь при запуске процесса измерений, инициируемого от компьютера, прибор будет формировать только однократный греющий импульс, длительность которого примерно равна 3 с.

Подключить к калиброванному резистору милливольтметр. и измерить напряжение  $U$  на резисторе при пропускании через него импульса тока. Установить в главном окне программы (рис. 2) величину греющего тока  $I_{гр}$  из ряда значений 10...550 мА, после чего клавишей «**Пуск**» инициировать процесс измерения. С помощью милливольтметра измерить напряжение  $U$  на резисторе во время прохождения через него импульса тока. Величина греющего тока  $I_{гр}$  определяется по формуле:

$$I_{гр} = \frac{U}{R}.$$

Провести измерения для всех значений  $I_{гр}$  из ряда 10...550 мА и вычислить соответствующие фактические значения греющего тока. Если полученные таким образом фактические значения отличаются от тех, что представлены в файле **values.ini**, необходимо внести в файл (строки 1 – 16) соответствующие изменения и сохранить файл.

Для градуировки множителя тока установить на приборе переключатель множителя тока в положение «**x2**», установить в главном окне программы множитель тока, равный 2. Затем провести ряд измерений напряжения  $U$  на резисторе во время прохождения через него импульса тока при трех значениях  $I_{гр}$ , равных 180, 300 и 500 мА. Найти отношения измеренных напряжений к напряжениям, полученным при значениях 90, 150 и 250 мА, после чего вычислить среднее значение. Если полученное таким образом фактическое значение множителя тока отличается от того, что представлено в файле **values.ini**, необходимо внести в файл (строка 34) соответствующее изменение и сохранить файл.

После проведения градуировки величины греющего тока и множителя тока необходимо открыть файл **values.ini**, установить в нем значение множителя длительности тестового импульса (строка 22) равным 0, сохранить файл и перезагрузить программу **LED Meter.exe**. После этого прибор готов к работе в обычном режиме.

Для градуировки периода следования греющих импульсов подключить к прибору светодиод и инициировать процесс измерений на любой частоте модуляции греющей мощности. С помощью цифрового осциллографа, подключенного к светодиоду, произвести измерение напряжения на светодиоде и определить период следования греющих импульсов. Измеренное фактическое значение периода следования должно соответствовать значению, установленному производителем прибора, которое равно 120 мкс. Расхождение не должно превышать 5%.

Для градуировки частоты модуляции греющей мощности подключить к прибору светодиод и инициировать процесс измерений на частоте модуляции, составляющей 416 Гц. При такой частоте модуляции и периоде следования 120 мкс в течение одного периода модуляции микроконтроллер должен сформировать 20 греющих импульсов. С помощью цифрового осциллографа, подключенного к светодиоду, произвести измерение напряжения на светодиоде, представляющему собой последовательность ШИМ-импульсов. Зафиксировать результаты измерений, после чего найти в последовательности импульсов самый короткий из них. Найти в последовательности аналогичный по длительности импульс. Временной интервал между ними равен периоду модуляции греющей мощности. Определить количество импульсов, сформированных микроконтроллером за один период модуляции. Оно должно быть равным 20. Расхождение не должно превышать  $\pm 1$ .

## **7. КОМПЛЕКТНОСТЬ ПРИБОРА**

В состав измерителя теплового импеданса входит непосредственно сам прибор, а также кабель для подключения к сети 220В с адаптером с выходным напряжением 28В/25Вт, кабель для подключения светодиода с адаптером и кабель для подключения к СОМ-порту компьютера. Прилагается также носитель с программным обеспечением.