

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего профессионального образования
ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ СИСТЕМ
УПРАВЛЕНИЯ И РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ
Кафедра конструирования узлов и деталей РЭА (КУДР)

В.Ф. Агафонников

Изучение характеристик терморезисторов

Руководство к лабораторной работе
по курсу "Физика полупроводниковых структур"
для студентов радиоконструкторского факультета

Томск 2012

ИЗУЧЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ТЕРМОРЕЗИСТОРОВ

Среди многочисленных полупроводниковых приборов, используемых в настоящее время, видное место принадлежит терморезисторам (ТР), нелинейным полупроводниковым резисторам, отличительной особенностью которых является значительная зависимость их сопротивления от температуры.

ТР широко используются в различных отраслях науки и техники. На основе терморезисторов разработаны простые и надежные системы дистанционного и централизованного измерения и регулирования температур, противопожарной сигнализации и теплового контроля машин, механизмов, созданы схемы температурной компенсации ряда элементов электрической цепи, измерения мощности на УВЧ, измерения вакуума, скоростей движения жидкостей и газов и т.д.

ТР используются в качестве дистанционных бесконтактных переменных резисторов, ограничителей и предохранителей в цепях электрического тока, реле времени, стабилизаторов напряжения, генераторов, модуляторов и усилителей сравнительно низких частот. Широко известны полупроводниковые болометры, состоящие из двух термочувствительных резистивных элементов. Такие болометры используются в инфракрасной технике для обнаружения слабо нагретых тел, в инфракрасной спектроскопии, в различных отраслях промышленности и на транспорте для бесконтактного дистанционного измерения температур, в автоматических аэронавигационных устройствах и для решения ряда других задач.

ТР завоевали широкое признание в связи с такими преимуществами перед другими приборами, пригодными для аналогичных целей, как высокая чувствительность к изменению температуры, малые габариты, и следовательно, малая тепловая инерция, простота устройства, стабильность характеристик во времени и почти полное отсутствие необходимости специального ухода за ТР при их эксплуатации.

Было установлено, что для создания ТР наиболее пригодным материалом являются окислы переходных металлов (от Ti до Cu).

Температурная зависимость сопротивления большинства типов ТР с отрицательным температурным коэффициентом сопротивления (ТКС) с достаточной для практики точностью во всем или в части рабочего интервала температур аппроксимируется выражением

$$R_T = A e^{B/T} \quad (1)$$

где R_T - сопротивление ТР при $T^\circ\text{K}$;

A - величина, зависящая от материала и геометрических размеров ТР;

B - постоянная, характеризующая энергию активации проводимости полупроводника.

По тангенсу угла наклона прямой $\ln R_T$ от $1/T$ можно определить величину B , которая характеризует температурную чувствительность ТР в рабочем интервале температур.

К числу основных параметров терморезисторов относится температурный коэффициент сопротивления (ТКС)

$$\alpha = 1/R_T \cdot dR_T/dT. \quad (2)$$

С учетом (1)

$$\alpha = -B/T^2. \quad (3)$$

Тепловая инерционность ТР характеризуется постоянной времени τ . Для инерционных ТР τ определяется как время, в течение которого температура ТР изменяется на 63% от разности температур ТР и окружающей среды. Эта разность принимается равной 100°C . Для малоинерционных бусиновых структур ТР τ определяется как время, в

течение которого разность температур ТР, предварительно нагретого электрическим током, и окружающей среды (спокойный воздух при $20+5^{\circ}\text{C}$) уменьшается в e (2,718) раз. Это определение следует из того, что в стадии регулярного режима температура ТР меняется со временем t по экспоненциальному закону

$$T(t) = T_0 + Me^{-t/\tau} \quad (4)$$

где T_0 - температура окружающей среды;

M - постоянная, численно равная разности температур ТР и среды в начальный момент.

При экспериментальном определении τ температура ТР фиксируется по значению его сопротивления R_T . В зависимости от геометрии ТР величина τ может меняться в широких пределах от десятых долей секунды до минут.

Для ТР указывается также предельно допустимая рабочая температура, выше которой в полупроводниковом материале ТР происходят необратимые структурные изменения и меняются параметры. Соответствующую этой температуре мощность, рассеиваемую в ТР, называют максимальной мощностью рассеяния. Обычно ее указывают для температуры окружающей среды 20°C .

Вид вольт - амперной характеристики (ВАХ) ТР можно получить, записывая уравнение теплового баланса для него

$$I^2 R_T = V^2 / R_T = H(T - T_0) \quad (5)$$

где H - коэффициент теплоотдачи или рассеяния.

С учетом (1), получим:

$$I = \sqrt{H / A(T - T_0)} e^{-B/2T} \quad (6)$$

$$V = \sqrt{HA(T - T_0)} e^{-B/2T} \quad (7)$$

Эти два уравнения задают ВАХ ТР в параметрическом виде. Вид ее представлен на рис. 1. На ней можно выделить три основных участка:

Статическая вольтамперная характеристика терморезистора

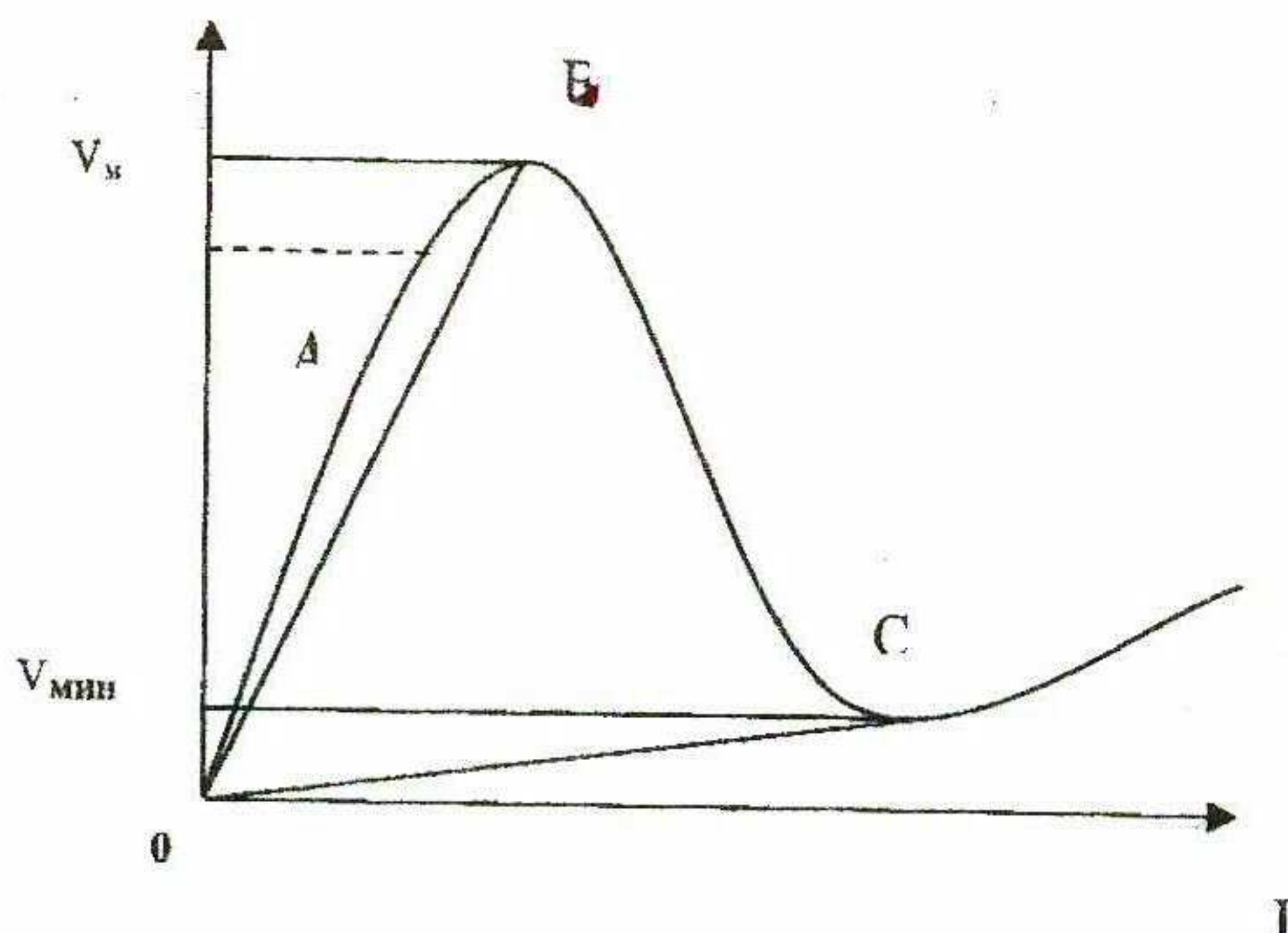


Рис. 1.

OA, AB и BC. На первом участке OA характеристика линейна: так как при малых токах мощность, выделяющаяся в терморезисторе, мала и заметно не меняет его температуру. На участке AB линейность ВАХ нарушается. За счет выделяемого Ленц-Джоулева тепла температура ТР повышается, а его сопротивление падает. При дальнейшем увеличении тока на участке BC уменьшение сопротивления оказывается

столь сильным, что рост тока ведет к уменьшению напряжения на ТР и появляется участок ВАХ с отрицательным сопротивлением (ОС) 8-типа. Статическое сопротивление ТР в любой точке ВАХ определяется как тангенс угла наклона прямой, проведенной из начала координат в эту точку. Из рис. 1. видно, что величина статического сопротивления ТР монотонно убывает с ростом тока вплоть до точки С. Обычно предельно допустимое значение силы тока для ТР не превышает ее значение в точке С.

При максимальном падении напряжения на ТР (V_m) малое изменение силы тока не приводит к изменению V . Это означает, что увеличение мощности, выделяемой током в ТР, и, следовательно, температуры не, влияет на величину V , то есть для точки поворота ВАХ можно записать условие экстремума в таком виде: $dV/dI = 0$. Из этого условия с учетом (7) получим

$$T_m = 1/2 \left[B \pm \sqrt{B(B - 4T_0)} \right] \quad (8)$$

где T_m - температура ТР при I , соответствующем точке перегиба ВАХ. Из (8) следует, что на ВАХ должно быть две точки перегиба. Минимальное значение T_m (минус перед корнем в (8)) соответствует максимальному падению напряжения на ТР (V_m), а максимальное значение T_m соответствует минимальному падению напряжения (V_m). Из (8) также следует, что участок ВАХ с ОС S-типа может наблюдаться только при таких температурах, при которых $B > 4T_0$. При $T_0 = B/4$ участок ОС 8-типа исчезает. Подставляя (8) в (6) и (7), получим выражения для V_m и соответствующего ему значения тока I_m :

$$I_m = H/A(T_m - T_0)e^{-B/2T} \quad (9)$$

$$V_m = HA(T_m - T_0)^{B/2T} \quad (10)$$

С увеличением температуры окружающей среды T_0 I_m увеличивается, V_m падает (рис. 2). Важным параметром ТР является коэффициент рассеяния H . Величина его влияет на условия теплообмена между ТР и окружающей средой. Например, увеличение коэффициента рассеяния при одних и тех же остальных условиях приводит к охлаждению ТР и к смещению его ВАХ вверх (рис. 2)

Влияние температуры окружающей среды на вольт-амперную характеристику терморезистора $T_{02} > T_{01}$.

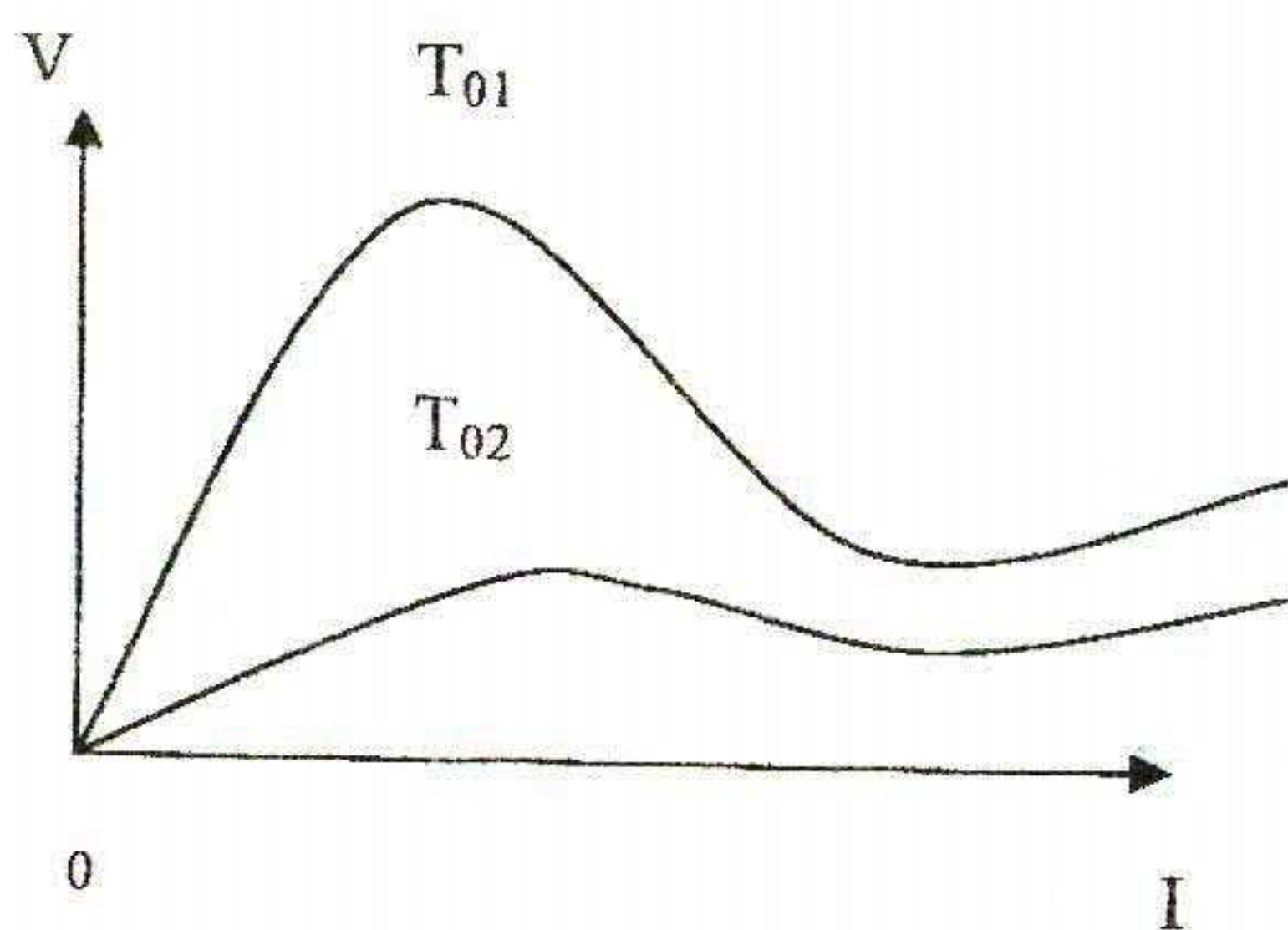


Рис. 2.

Задание.

1. Снять семейство вольтамперных характеристик ТР при различных температурах.

2. Вычислить постоянную В и ТКС при комнатной температуре.

3. Вычислить коэффициент теплового расширения ТР-Н.

Порядок выполнения работы.

1. Снятие вольтамперных характеристик имеет свои особенности, обусловленные инерционностью ТР и наличием отрицательного участка на его вольтамперной характеристике. Схема снятия вольт-амперных характеристик изображена на рис. 3.

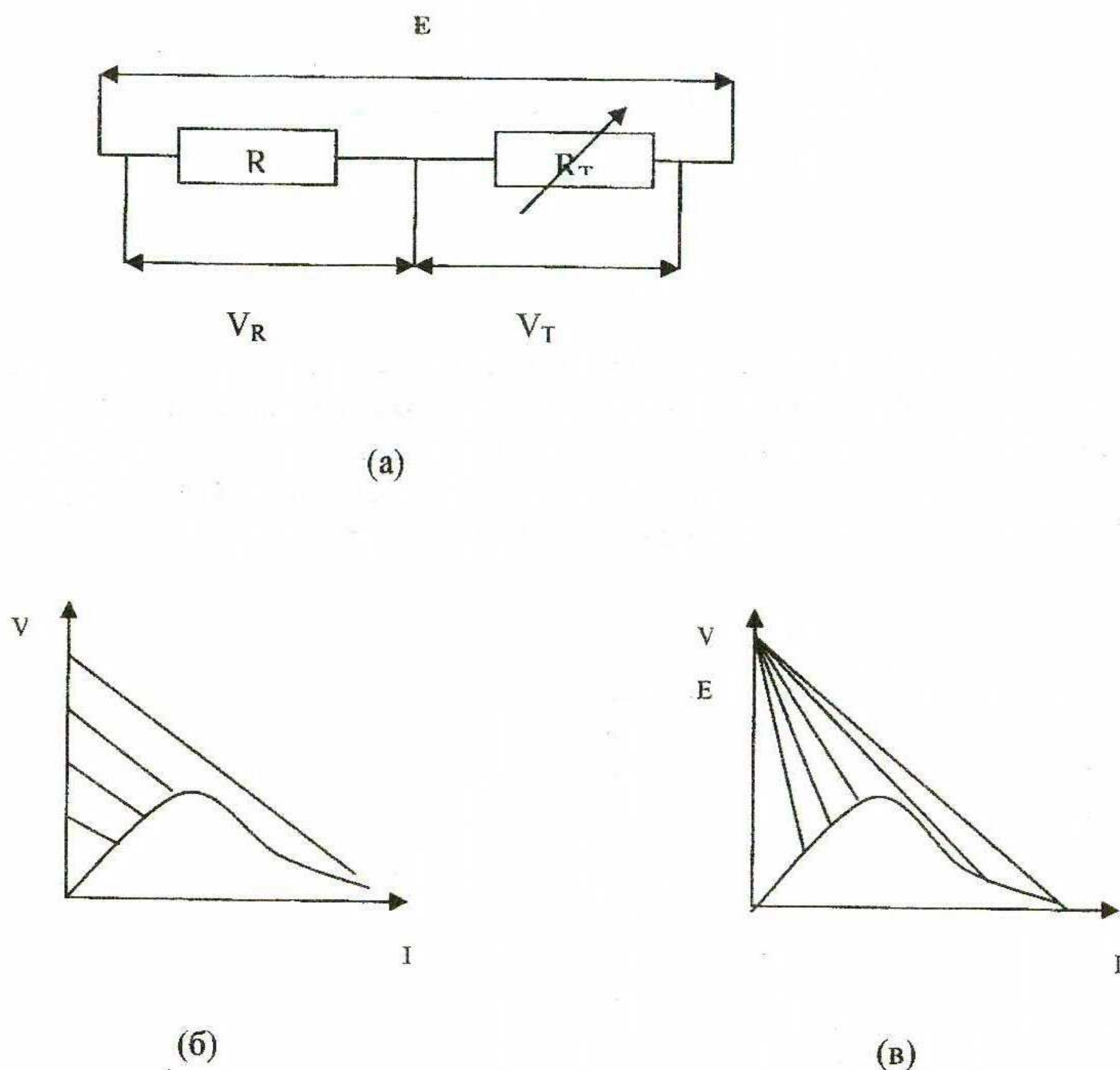


Рис. 3

Снятие вольтамперных характеристик терморезистора:

- а) схема для снятия характеристик;
- б) метод снятия, основанный на изменении приложенного напряжения
- в) метод снятия, основанный на изменении величины добавочного сопротивления.

Существует два метода снятия этих характеристик. Первый метод основан на использовании постоянного добавочного сопротивления R и источника регулируемого напряжения E . Изменяя величину напряжения E можно снять всю вольтамперную характеристику (рис. 3.б). Обязательным условием является то, что величина добавочного сопротивления R должна быть больше максимального отрицательного сопротивления T_R . В противном случае характеристику полностью снять не удастся. Случай с малым сопротивлением рассмотрен на рис. 4.

При напряжении источника E_1 , режим цепи определяется точкой 1. При напряжении E_2 рабочая точка переходит в положение 2. Небольшого увеличения

напряжения достаточно, чтобы рабочая точка скачком переместилась в положение 3. Участок 2-3 вольтамперной характеристики окажется не снятым. Такое скачкообразное изменение тока называют релейным эффектом.

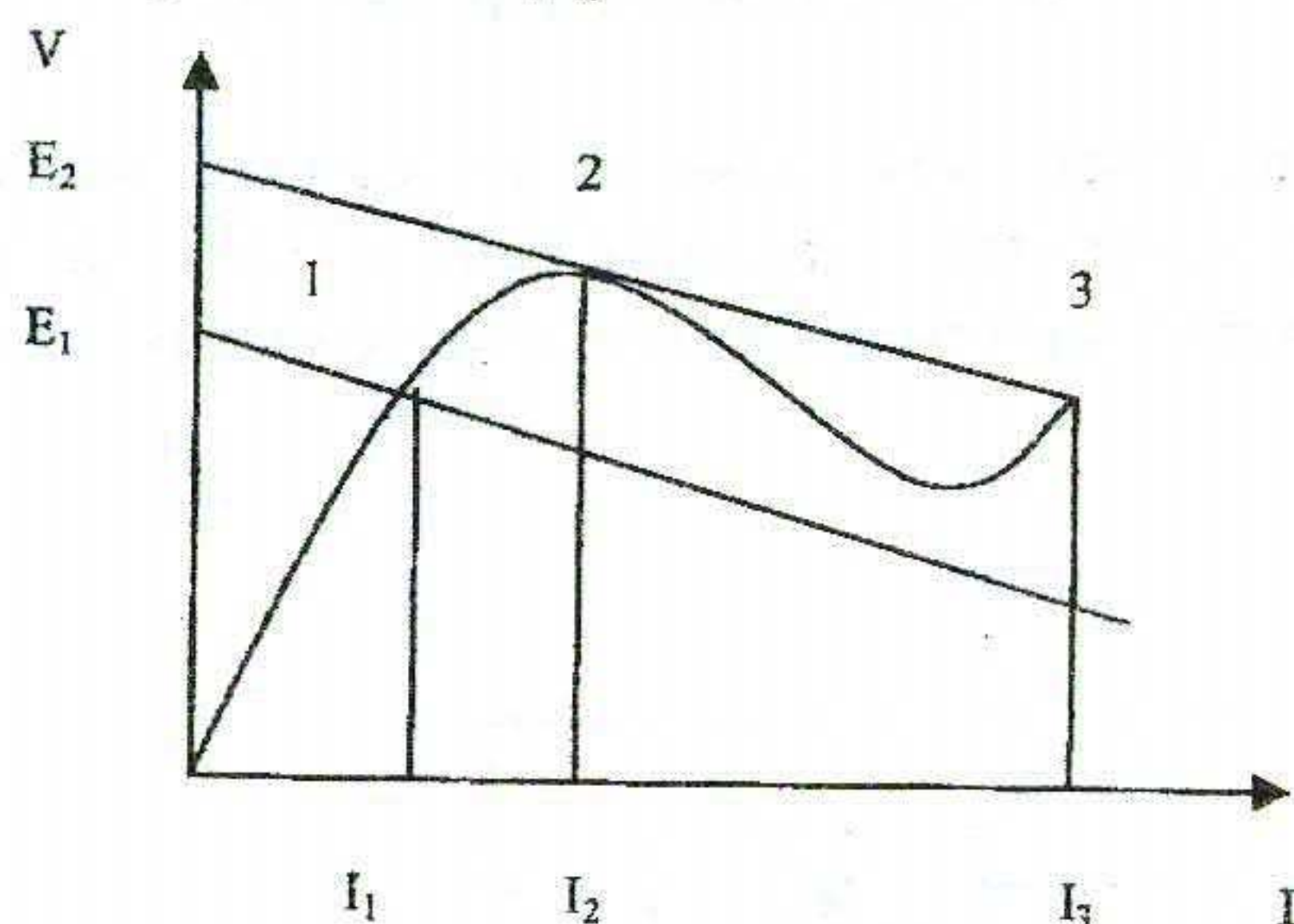


Рис.4.

Второй метод снятия вольтамперной характеристики ТР основан на изменении величины добавочного сопротивления R . Величина напряжения источника E при этом постоянна (рис.3,в). Чтобы в цепи не произошло релейного эффекта, приложенное напряжение должно быть достаточно большим. В данной работе предлагается воспользоваться первым методом. Схема установки представлена на рис. 5.

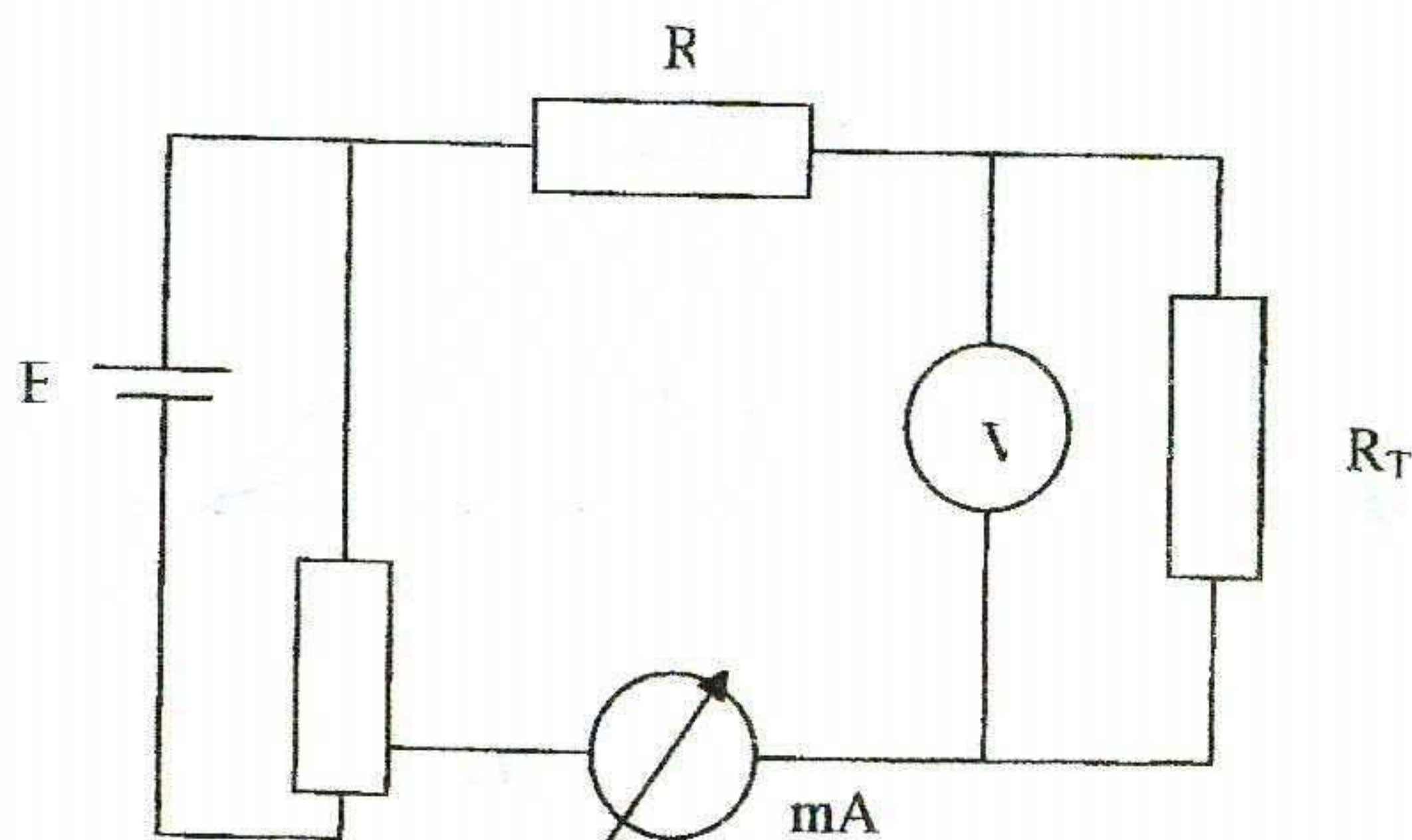


Рис.5.

Вследствие тепловой инерционности ТР измерения при снятии вольтамперных характеристик должны производиться после некоторой выдержки, чтобы установилось тепловое равновесие между прибором и окружающей средой. Время выдержки определяется постоянной времени τ .

2. Построить полученные ВАХ на миллиметровке и, используя их линейные участки, рассчитать $R = V/I$ для всех температур. Затем построить график зависимости $\ln R_T$ от $10^3/T$. Из тангенса угла наклона получившейся прямой определяется константа B . ТКС ТР при комнатной температуре рассчитывается по формуле (3).

3. Для определения коэффициента теплового рассеяния H в нескольких точках нелинейного участка ВАХ ТР вычисляется мощность, выделяемая ТР $P_K = I_K V_{Kн}$ его сопротивление $R_{тк} = V_K / I_K$. Из графика зависимости R_T от T находят значения

температуры, соответствующие каждой выбранной точке ВАХ (T_K). Тогда, в соответствии с формулой (5)

$$H = (1/n) \sum_{K=1}^n P_K / (T_K - T_0), \quad (11)$$

где n – число точек, выбранных на ВАХ.

ЛИТЕРАТУРА.

1. И.Т. Шефтель. Терморезисторы, М., «Наука», 1973.
2. Б.Ю. Лотоцкий, Л.Н. Чиркин. ФТТ, 8, 6, 1967, 1966.
3. Практикум по полупроводникам и полупроводниковым приборам. Под ред. Шалимовой, М., «Высшая школа», 1968.
4. В.И. Гаман. Практикум по физике полупроводниковых приборов, 1979.
5. В.И. Гаман. Физика полупроводниковых приборов. – Томск; Изд. НТЛ., 2000 – 426 с.