

Условие

Задача 10-3 Термистор

Все требуемые графики постройте на отдельном, выданном вам бланке!

Терморезистор – полупроводниковый прибор, сопротивление которого существенно изменяется при изменении его температуры.

В данной задаче, мы предлагаем Вам теоретически исследовать термистор — терморезистор, сопротивление которого уменьшается при увеличении температуры.

Зависимость сопротивления термистора от температуры достаточно сложная для учеников 10 класса. Поэтому в данной задаче мы аппроксимируем эту зависимость следующим образом:

$$R(T) = B/T - C \cdot T \quad (1)$$

где $B = 1,0 \cdot 10^6 \text{ Ом} \cdot \text{К}$, $C = 5,0 \text{ Ом/К}$.

При протекании тока через термистор, он нагревается до определенной температуры, которая зависит от температуры окружающей среды и от размеров и формы самого прибора. Считайте, что мощность, рассеиваемая в окружающую среду, прямо пропорциональна разности температур терморезистора и окружающей среды:

$$P = A \cdot (T - T_0) \quad (2)$$

где A - коэффициент рассеяния.

Считайте, что во всех частях задачи температура окружающей среды $T_0 = 300 \text{ К}$, коэффициент рассеяния $A = 5,0 \cdot 10^{-3} \text{ Вт/К}$.

Часть 1. Термистор и источник тока.

1.1 По термистору протекает некоторый постоянный ток силой I . Получите выражение для установившейся температуры термистора и его сопротивления.

1.2 Постройте график зависимости сопротивления термистора от силы тока ($R(I)$) в диапазоне от 0 до 0,1 А

1.3 Используя значения, вычисленные в предыдущем пункте, постройте вольтамперную характеристику (зависимость напряжения от силы тока $U(I)$) термистора. При какой силе тока напряжение достигает максимального значения? Чему оно равно?

Аккуратно постройте этого график, используйте его при решении остальных частей задачи.

Часть 2. Термистор последовательно с резистором.

Термистор соединяют последовательно с сопротивлением $R = 120 \text{ Ом}$ и подключают к источнику постоянного напряжения $U_0 = 19 \text{ В}$.

2.1 Используя построенную Вами вольтамперную характеристику, определите возможные значения силы установившегося тока в цепи. Какие значения силы тока могут реализовываться на практике. Ваш выбор обоснуйте.

2.2 Считая, что изначально термистор находился при температуре равной температуре окружающей среды, определите какая сила тока установится в цепи.

2.3 Предложите способ, позволяющий получить другое значение силы установившейся тока в этой цепи.

Часть 3. Термистор параллельно с резистором.

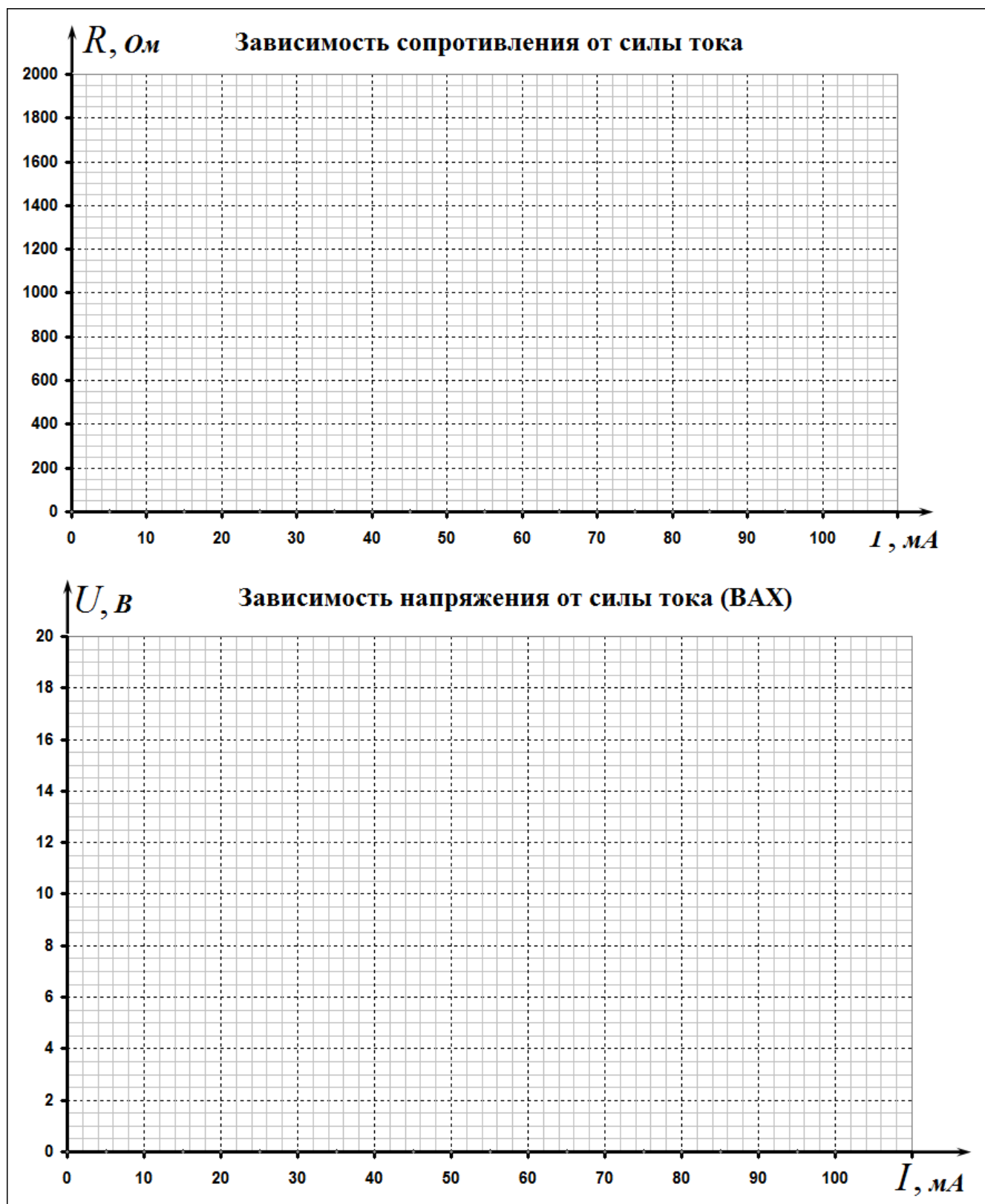
При параллельном соединении с нагрузкой, рассматриваемый Вами термистор может исполнять роль стабилизатора напряжения и тока. Т.е. при изменении внешнего напряжения или силы тока, напряжение на нагрузке не будет существенно изменяться.

Термистор включен параллельно с резистором и подключен к источнику постоянного тока (источнику питания, обеспечивающему определенную силу тока в цепи). Сила тока источника $I_0 = 50 \text{ мА}$.

3.1 Какое сопротивление R нужно использовать в качестве нагрузки, чтобы при небольшом изменении силы тока источника, изменение напряжения на нагрузке было наименьшим?

3.2 В каких пределах будет изменяться напряжение и сила тока через нагрузку при изменении силы тока источника от $I_{01} = 40 \text{ мА}$ до $I_{02} = 60 \text{ мА}$?

Бланк задачи 10-3



Решение

Задача 10-3 Термистор

Часть 1. Термистор.

1.1 Условие теплового равновесия:

$$I^2 R(T) = A(T - T_0) \quad (1)$$

Подставляя выражение для сопротивления $R(T) = B/T - C \cdot T$, получим:

$$I^2(B/T - C \cdot T) = A(T - T_0) \quad (2)$$

Преобразуя равенство (2), получим квадратное уравнение:

$$\left(1 + C \frac{I^2}{A}\right) T^2 - T_0 T - B \frac{I^2}{A} = 0 \quad (3)$$

Решение уравнения (3):

$$T = \frac{T_0 + \sqrt{T_0^2 + 4B \frac{I^2}{A} \xi}}{2\xi}, \quad (4)$$

где $\xi = 1 + C \frac{I^2}{A}$. Для упрощения расчетов можно рассчитать численные значения коэффициентов, входящих в расчетные формулы, кроме того, силу тока удобнее рассчитывать в миллиамперах. Тогда

$$\xi = 1 + C \frac{I^2}{A} = 1 + \frac{5,0}{5,0 \cdot 10^{-3}} \cdot 10^{-6} I^2 = 1 + 1,0 \cdot 10^{-3} I^2.$$

Формулу (4) для удобства расчетов можно представить в виде

$$T = \frac{T_0 + \sqrt{T_0^2 + 4B \frac{I^2}{A} \xi}}{2\xi} = T_0 \frac{1 + \sqrt{1 + \frac{4B}{AT_0^2} I^2 \xi}}{2\xi} = 300 \frac{1 + \sqrt{1 + \frac{I^2 \xi}{112,5}}}{2\xi}. \quad (4')$$

После расчета температуры, следует рассчитать сопротивление по формуле

$$R(T) = B/T - C \cdot T = \frac{1,0 \cdot 10^6}{T} - 5,0T, \quad (4'')$$

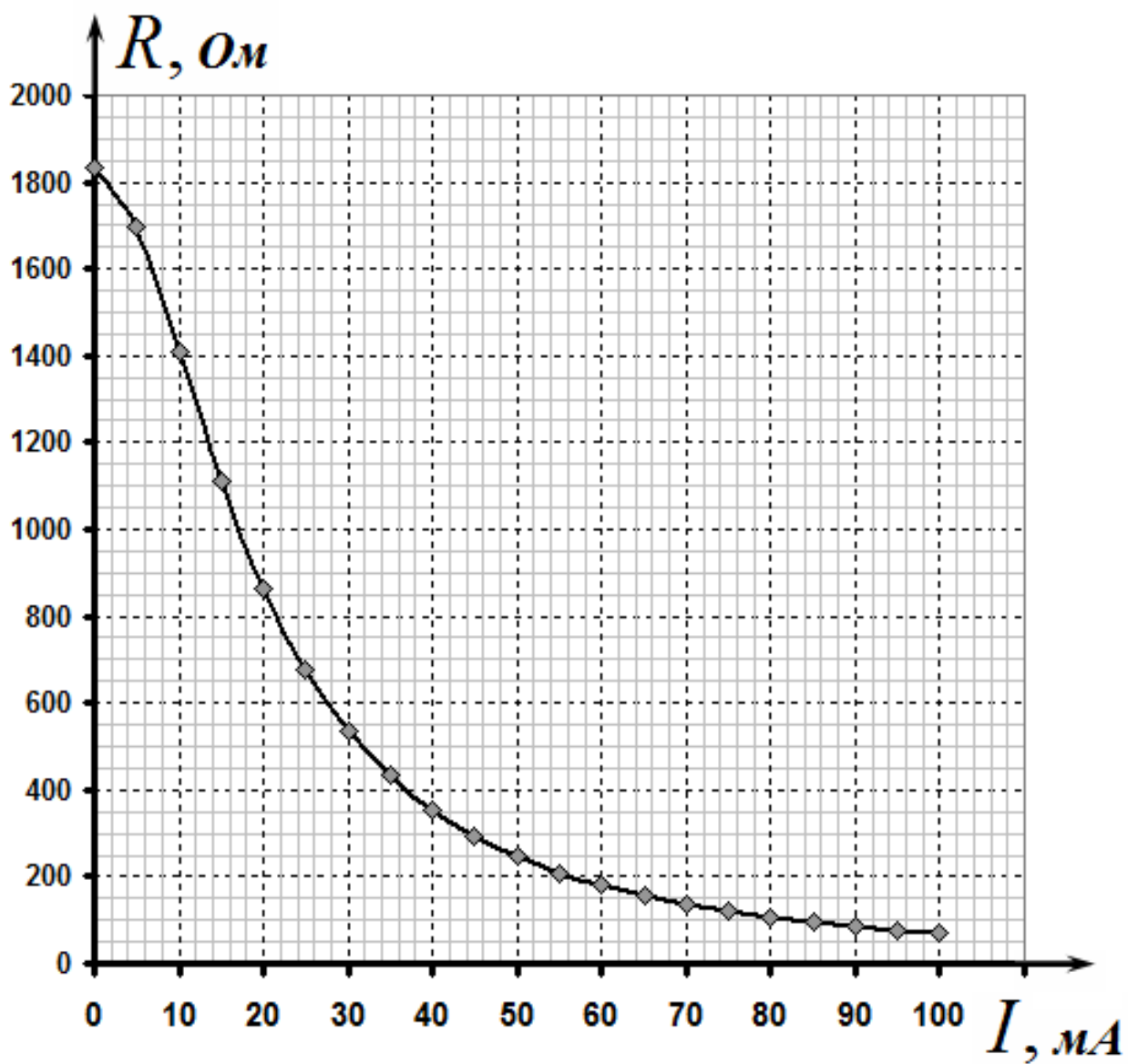
Наконец, по закону Ома можно найти напряжение на термисторе

$$U = IR. \quad (4''')$$

1.2 Значения температуры, сопротивления термистора и напряжения на нем при различных значениях силы тока приведены в Таблице 1. На рис.1 показан график зависимости сопротивления термистора от силы тока (в установившемся режиме).

Таблица 1. Расчет ВАХ термистора.

I, mA	ξ	T, K	R, Ω_{M}	U, B
0	1,000	300,0	1833	0,00
5	1,025	308,5	1699	8,50
10	1,100	328,1	1407	14,07
15	1,225	349,9	1109	16,63
20	1,400	369,1	864	17,28
25	1,625	384,6	677	16,92
30	1,900	396,7	537	16,12
35	2,225	406,0	433	15,15
40	2,600	413,2	354	14,15
45	3,025	418,8	293	13,20
50	3,500	423,2	246	12,32
55	4,025	426,8	210	11,52
60	4,600	429,6	180	10,80
65	5,225	431,9	156	10,14
70	5,900	433,8	137	9,56
75	6,625	435,3	120	9,02
80	7,400	436,7	107	8,54
85	8,225	437,8	95	8,10
90	9,100	438,7	86	7,71
95	10,025	439,5	77	7,34
100	11,000	440,3	70	7,01



1.3 Вольтамперная характеристика терморезистора представлена на рис. 2. Напряжение достигает максимального значения $U_{\max} = 17,3\text{В}$ при силе тока $I_{U_{\max}} = 20\text{мА}$.

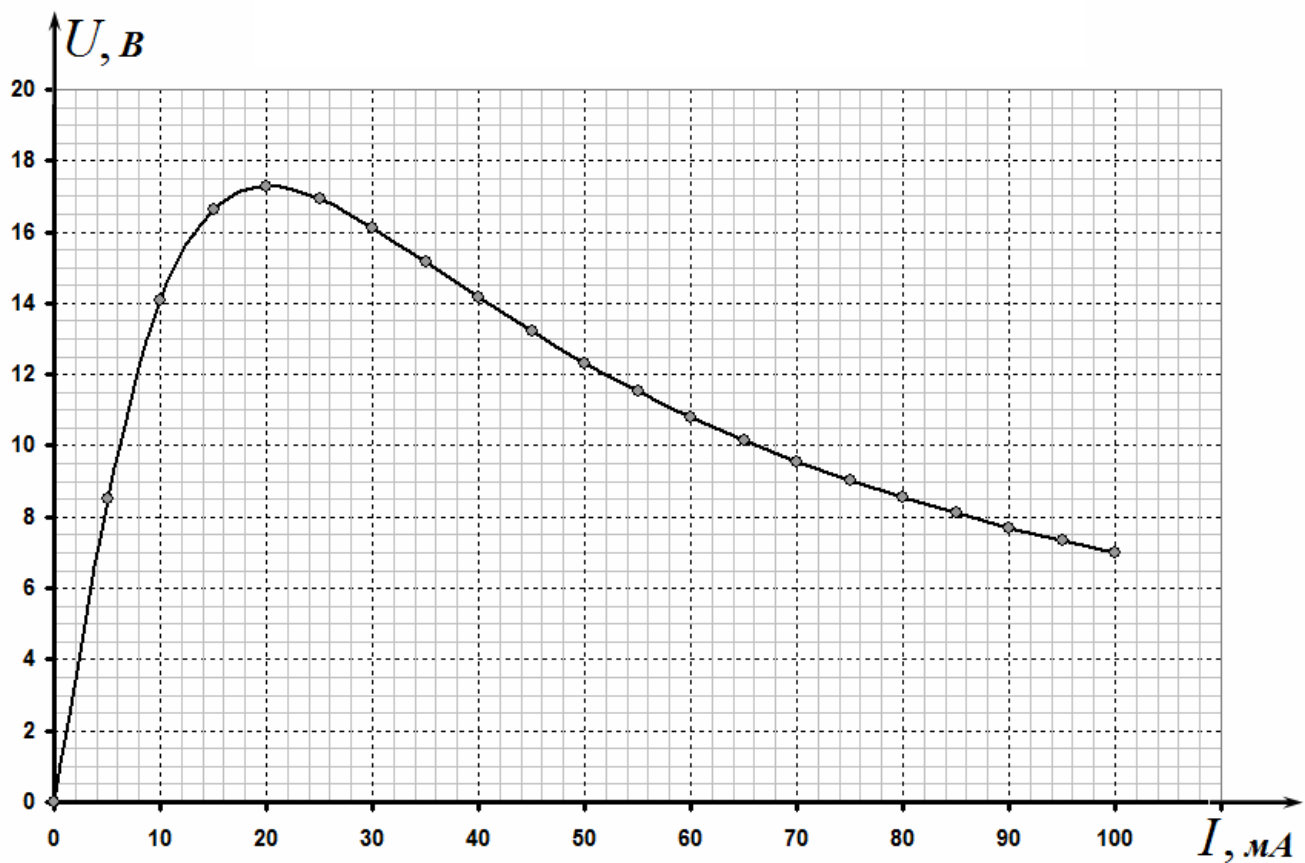


Рис. 2.

Часть 2. Термистор последовательно с резистором.

2.1 При последовательном соединении терморезистора и сопротивления сумма напряжений на каждом элементе равна общему напряжению в цепи:

$$U_0 = IR + U_T(I) \quad (5)$$

Решения уравнения (5) – это точки пересечения вольтамперной характеристики с прямой:

$$U = U_0 - IR = 19 - 120 \cdot I \quad (6)$$

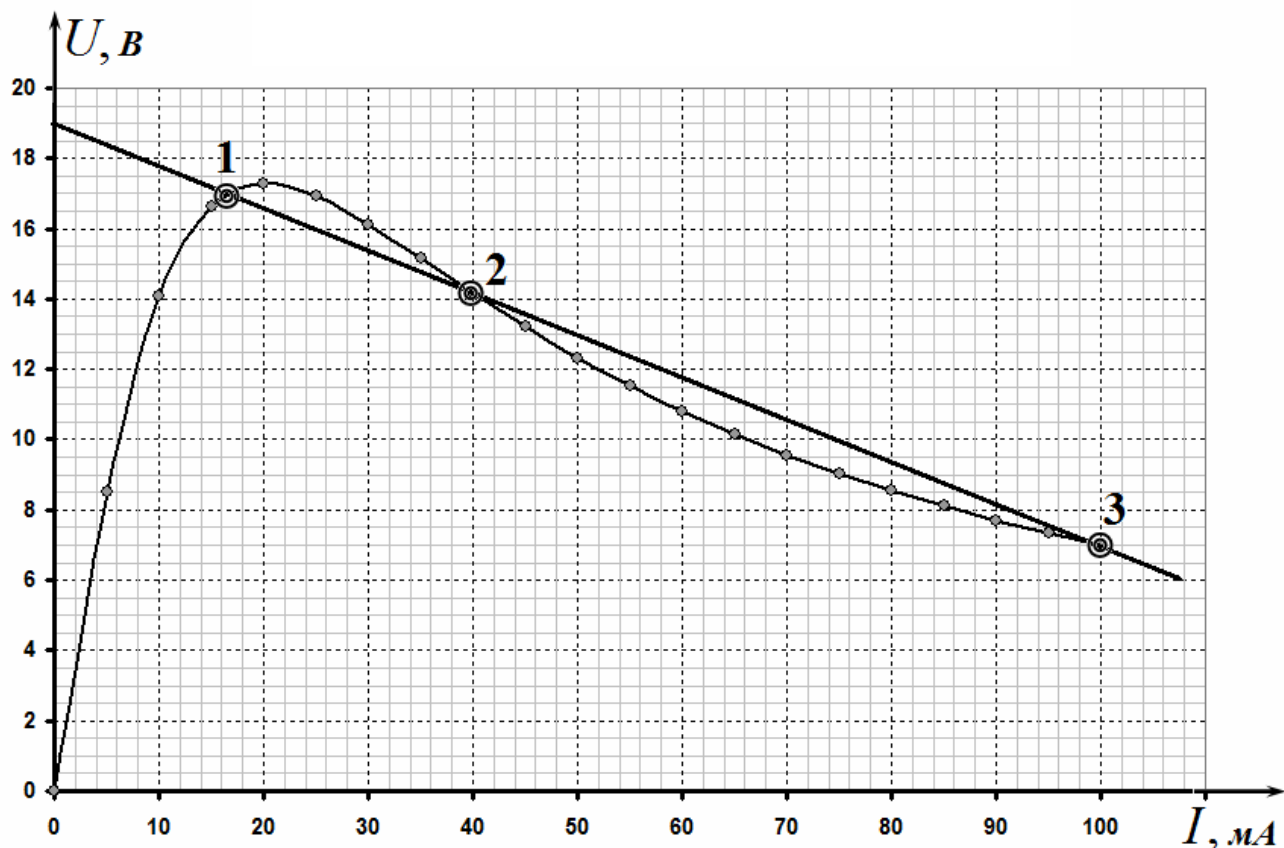


Рис. 3.

К следует из графика изображенного на рис. 3 у уравнения (5) есть целых три решения:

Решение	$I, \text{мА}$	$U, \text{В}$
1	17	17
2	40	14
3	100	7

Однако, только два решения могут реализовываться на практике. Это первое и третье решение. Второе решение – неустойчивое. Случайное увеличение (или уменьшение) тока приведет к переходу к правому (или левому) устойчивому решению.

Допустим, что напряжение на термисторе случайно возросло на малую величину. Это приведет к уменьшению напряжения на резисторе, что приведет к уменьшению силы тока в цепи. А уменьшение силы тока через термистор (в соответствии с его ВАХ) еще больше увеличит напряжение на нем. В этом случае система перейдет к устойчивому состоянию 1. Рассуждая аналогично, приходим к выводу, что случайное падение напряжения на термисторе переведет систему в устойчивое состояние 3.

2.2 Сопротивление термистора при включении в цепь достаточно большое, поэтому ток в начальный момент времени будет небольшим, и будет постепенно увеличиваться.

Следовательно, в этом случае система «придет» к первому решению уравнения (5), т.е. $I = 17 \text{ мА}$, $U = 17 \text{ В}$.

2.3 Реализовать другое устойчивое решение можно двумя способами.

Можно поднять напряжение на источнике до значения, при котором будет только одно решение на «хвосте» вольтамперной характеристики. При этом термистор разогреется до достаточно высокой температуры. А затем уменьшить напряжение до $U_0 = 19 \text{ В}$.

А можно просто предварительно разогреть термистор до относительно высокой температуры,

чтобы при включении в цепь ток сразу достиг достаточно большого значения.

Часть 3. Термистор параллельно с резистором.

3.1 При подключении термистора, соединенного параллельно с резистором, к источнику постоянного тока, ток источника разделится на две части – ток через термистор и ток через резистор.

$$I_0 = U/R + I_T(U) \quad (7)$$

Для того чтобы термистор стабилизировал напряжение, решение уравнения (7) должно «попадать» на вершину вольтамперной характеристики: $I_{U_{\max}} = 20\text{мА}$, $U_{\max} = 17,3\text{В}$.

Подставляя в (7) получим:

$$R = \frac{U_{\max}}{I_0 - I_{U_{\max}}} = 577\text{Ом} \quad (8)$$

3.2 Чтобы найти решения уравнения (7) необходимо найти точки пересечения вольтамперной характеристики с графиком прямой:

$$I(U) = I_0 - U/R \quad (9)$$

Проще, конечно, из (8) получить обратную зависимость $U(I)$:

$$U(I) = I_0 R - IR \quad (10)$$

При токе $I_{01} = 45\text{мА}$:

$$U(I) = 23,0 - 577I \quad (11)$$

При токе $I_{02} = 55\text{мА}$:

$$U(I) = 34,6 - 577I \quad (12)$$

На рис. 4. Представлены графики линейных зависимостей (11) и (12) вместе с вольтамперной характеристикой.

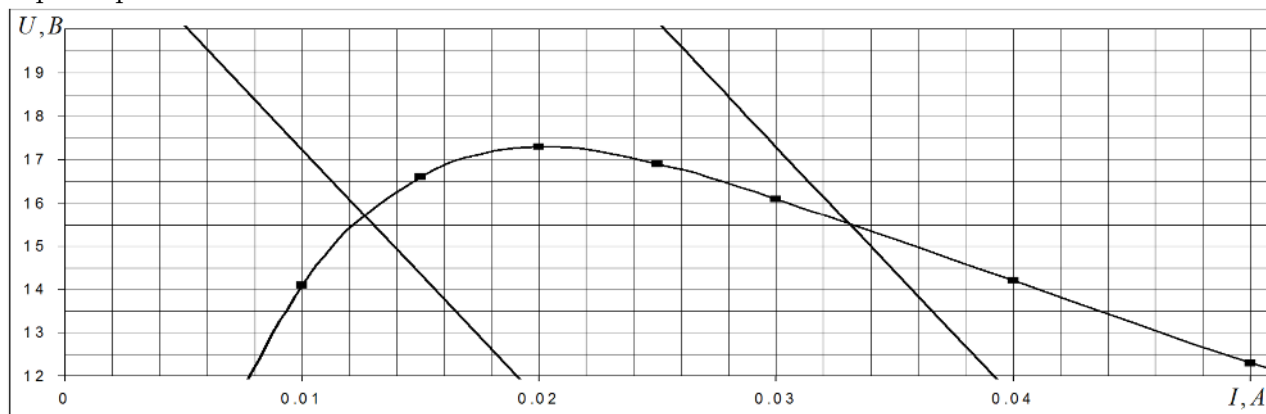


Рис. 4.

Напряжение в точках пересечения графиков практически одинаково и равно: $U_{\min} = 15,7\text{ В}$. При этом сила тока в резисторе равна $I_{\min} = 27\text{ мА}$.

Таким образом, напряжение на резисторе будет изменяться в пределах от $U_{\min} = 15,7\text{ В}$ до $U_{\max} = 17,3\text{ В}$, а сила тока от $I_{\min} = 27\text{ мА}$ до $I_{\max} = 30\text{ мА}$.

², β , Эта зависимость более удобна так как изменяется от единицы до бесконечности обратная $\beta-1$ величина от единицы до нуля.