

НАУЧНЫЕ СООБЩЕНИЯ

В.А. Палагин, В.В. Ширшова

РАСЧЕТ ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ В ЦЕПЯХ С ПОЗИСТОРАМИ НА АВМ

Высокая чувствительность сопротивления позистора к изменению температуры, в десятки раз превышающая чувствительность других терморезисторов, простота устройства и надежность в работе позволяют использовать простые схемы измерительных цепей с этими элементами. Данное обстоятельство обеспечивает позисторам большую перспективность в качестве датчиков температур, уровня, давления, скорости потоков жидкостей и газов и т.д.

Дифференциальное уравнение цепи с позистором. Любые причины, вызывающие изменение условий теплообмена между позистором и окружающей средой, приводят к изменению его температуры и, следовательно, протекающего через него тока. В процессе изменения температуры мощность, потребляемая позистором, частично в виде тепла рассеивается в окружающую среду, частично идет на изменение его теплоемкости:

$$P_{\text{п}} = k(\theta - \theta_0) + C_{\text{п}} \frac{d\theta}{dt}, \quad (1)$$

где $P_{\text{п}}$ — мощность, подводимая к позистору; k , $C_{\text{п}}$ — коэффициент рассеяния и теплоемкость позистора, θ , θ_0 — температура позистора и окружающей среды; t — время переходного процесса.

Зависимость сопротивления позистора от температуры и приложенного напряжения обуславливает сложный характер его температурных характеристик. Если учесть, что в общем случае теплоемкость позистора также нелинейная функция температуры, то решение задач динамики в цепи с позистором при воздействии на него различных возмущающих факторов оказывается достаточно сложным и трудоемким. Эти задачи могут эф-

фактивно решаться с помощью аналоговых вычислительных машин (АВМ), если известны статические законы изменения $R_{\Pi}(\theta)$ и $C_{\Pi}(\theta)$.

Для расчета кривой $R_{\Pi}(\theta)$ необходимо выяснить аналитическую зависимость $R_{\Pi}(\theta, U)$. Согласно [1] сопротивление позистора, обусловленное одновременным действием теплового и варисторного эффектов, определяется выражением

$$\ln R_{\Pi} = \ln R_{\Pi 0} - b(\sqrt{U} - \sqrt{U_{и}}) - b_0, \quad (2)$$

где b — коэффициент нелинейности, обусловленный варисторным эффектом; $U_{и}$ — напряжение излома прямолинейных зависимостей $\ln R_{\Pi}(\sqrt{U})$; $R_{\Pi 0}$ — сопротивление, определяемое по основной температурной характеристике позистора, которая снимается при $U_{\Pi} = \text{const}$ и минимально допустимой мощности рассеяния, когда протекающий ток не вызывает саморазогрева элемента.

Так как зависимость $b = f(\ln R_{\Pi 0})$ аппроксимируется прямой линией [2], то с помощью несложных преобразований уравнение (2) может быть представлено в виде

$$\ln R_{\Pi} = [1 - \gamma(\sqrt{U} - \sqrt{U_{и}})] \ln R_{\Pi 0} + a(\sqrt{U} - \sqrt{U_{и}}) - b_0, \quad (3)$$

где γ — угловой коэффициент прямой $b = f(\ln R_{\Pi 0})$; $a = \gamma \ln R_{\Pi 01} - b_1$; b_0 — постоянные позистора [2].

Для позистора, включенного в измерительную цепь $R_{\Pi} - r_{\text{эвк}}$ ($U_{\Pi} = \text{const}, r_{\text{эвк}} = \text{const}$), подводимая мощность определяется согласно теореме об эквивалентном генераторе выражением

$$P_{\Pi} = \frac{J_{\text{эвк}}^2}{(R_{\Pi} + r_{\text{эвк}})^2} R_{\Pi}, \quad (4)$$

где $U_{\text{эвк}}$ равно напряжению на зажимах, к которым подключается позистор при разрыве его цепи; $r_{\text{эвк}}$ — сопротивление цепи относительно этих зажимов при закорачивании источника питания и отключении позистора.

Рассчитывать зависимость $R_{\Pi}(\theta)$ из выражения (4), задаваясь рядом произвольных значений температуры позистора, не представляется возможным, так как входящий в (4) параметр R_{Π} зависит также и от напряжения. Зависимость $R_{\Pi}(\theta)$ можно рассчитать графически, построив семейство статических вольт-амперных характеристик при θ_0 или k в качестве параметра и определив точки пересечения последних с прямой $U_{\Pi} = U_{\text{эКВ}} - r_{\text{эКВ}} i$. Однако этот способ достаточно громоздок, так как требует построения семейства статических вольт-амперных характеристик.

Предлагаемый аналитический метод определения зависимости $R_{\Pi}(\theta)$ исключает сложные графические построения и достаточно прост по технике расчета. Он состоит из нескольких этапов:

1) выбирая ряд произвольных значений напряжения на зажимах позисторов $U_{\Pi} < U_{\Pi}$, находим соответствующую каждому значению напряжения величину сопротивления позистора:

$$R_{\Pi} = \frac{U_{\Pi}}{U_{\text{эКВ}} - U_{\Pi}} r_{\text{эКВ}} ; \quad (5)$$

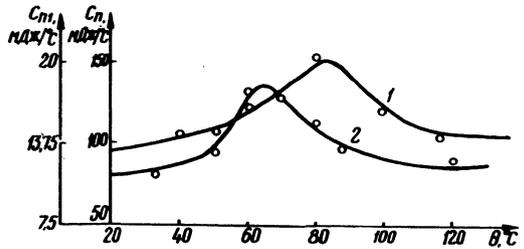
2) подставляя полученные значения R_{Π} в формулу (4), определяем величину подводимой мощности для каждого значения сопротивления;

3) подставив значения $\ln R_{\Pi}$ и U_{Π} в формулу (3), определяем величину $\ln R_{\Pi}$ и по основной температурной характеристике находим температуру позистора для каждого значения R_{Π} (при $U_{\Pi} = \text{const}$ расчет зависимости $R_{\Pi}(\theta)$ значительно упрощается).

Для расчета переходных процессов в цепи с позистором необходимо также располагать сведениями о величине его теплоемкости.

Результаты экспериментального определения теплоемкости позисторов разных типов показывают, что в общем случае она не постоянна, а зависит от температуры элемента. В работе [3] приводится зависимость $C_{\Pi}(\theta)$ для позисторов типа СТ5-1. Эксперименты показали, что теплоемкость позисторов типов СТ6-1А, СТ6-1Б, СТ6-3Б с ростом температуры меняется не так сильно, как для СТ5-1 (рис. 1).

Рис. 1. Зависимость теплоемкости от температуры для позисторов СТ6-1А (кривая 1) и СТ6-3Б (кривая 2).



Путем сопоставления экспериментальных кривых переходного процесса с расчетными установлены максимальные погрешности, возникающие при расчете переходного процесса с допущением, что $C_{\Pi} = C_{\Pi, \text{ср}} = \text{const}$ (5–6% по температуре и 15% по току для позисторов типов СТ6-1А, СТ6-1Б, СТ6-3Б и 20% по температуре и 80% по току для позисторов типа СТ5-1 в диапазоне температур от 20 °С до максимальной рабочей температуры). Поэтому в ряде практических случаев изменением теплоемкости позистора в функции температуры можно пренебречь и считать $C_{\Pi} = C_{\Pi, \text{ср}} = \text{const}$. Решение, согласно которому теплоемкость можно считать постоянной, принимается в зависимости от требований к точности расчета и характера зависимости $C_{\Pi}(\theta)$ для конкретного типа позистора в данном интервале температур.

Структурные схемы и модели измерительной цепи с позистором при возмущающем воздействии вида $\theta_0(t)$ при ($U_{\Pi} = \text{const}, k = \text{const}$). Для облегчения задачи построения структурной схемы введем следующие обозначения:

$$f_1(\theta) = \frac{U_{\text{эКВ}}}{[R_{\Pi}(\theta) + r_{\text{эКВ}}]^2} R_{\Pi}(\theta), \quad (6)$$

$$f_2(\theta) = \frac{1}{C_{\Pi}(\theta)}.$$

В зависимости от способа учета теплоемкости d позистора уравнение переходного процесса (1) при замене $\frac{d}{dt} = p$ запишется так:

$$\text{при } C_{\Pi} = f(\theta)$$

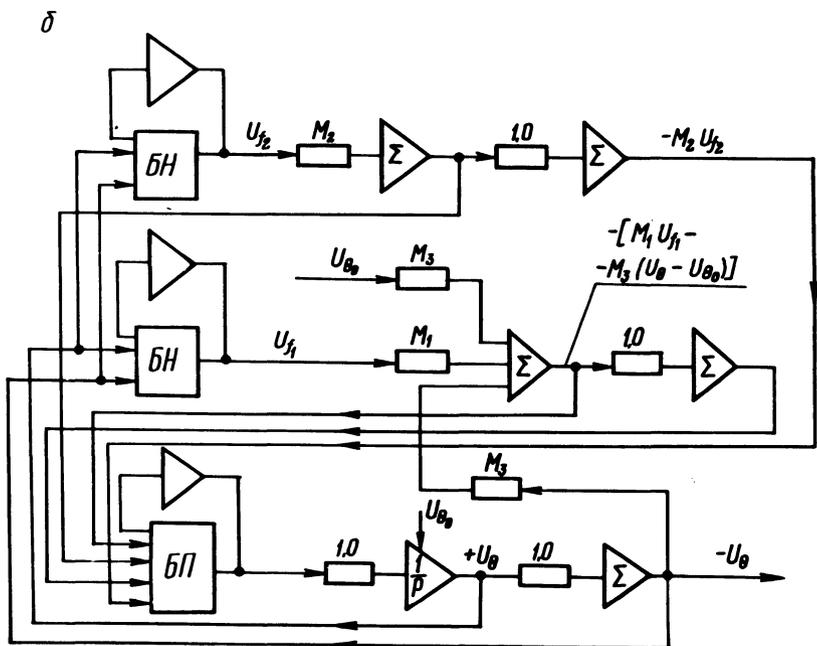
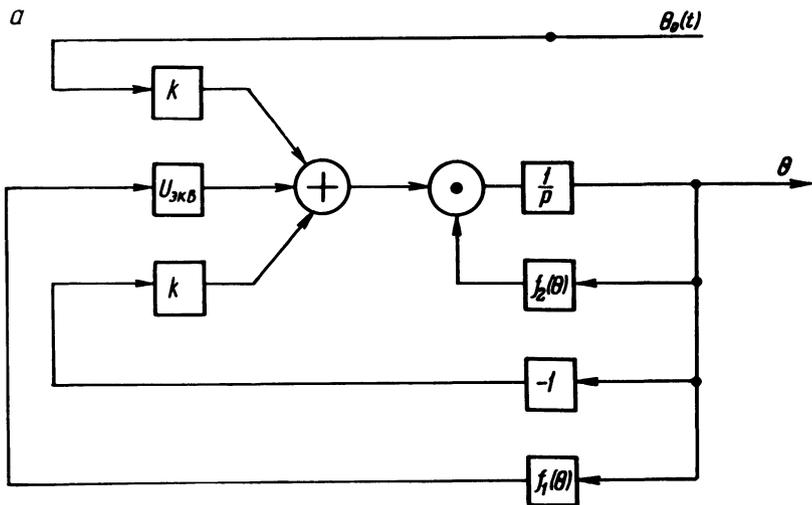


Рис. 2. Структурная схема (а) и модель (б) цепи с позистором при воздействии входного сигнала $\theta_0(t)$ с учетом зависимости $C_{\Pi}(\theta)$.

$$p \theta = f_2 (\theta) \left\{ U_{\text{экв}} f_1 (\theta) - k [\theta - \theta_0 (t)] \right\}; \quad (7)$$

при $C_{\Pi} = C_{\Pi, \text{ср}} = \text{const}$

$$p \theta = \frac{U_{\text{экв}}}{C_{\Pi, \text{ср}}} f_1 (\theta) - \frac{k}{C_{\Pi, \text{ср}}} [\theta - \theta_0 (t)]. \quad (8)$$

Структурная схема, составленная по уравнению (7), приведена на рис. 2, а. В левой части показано получение элементарных слагаемых, создаваемых входным воздействием $\theta_0(t)$ и двумя обратными связями. Полученная сумма проходит через интегратор и на его выходе дает искомую величину θ .

От структурной схемы, отражающей все операции над выходной и входной величинами в функции времени, легко перейти к схеме электронной модели для решения уравнения переходного процесса на АВМ.

Подставив в уравнения (7) и (8) значения физических переменных, выраженных через машинные переменные, получим машинные уравнения:

при $C_{\Pi} = f(\theta)$

$$p_M U_{\theta} = M_2 U_{f_2} [M_1 U_{f_1} - M_3 (U_{\theta} - U_{\theta_0})], \quad (9)$$

где m — масштабы соответствующих величин;

$$M_1 = U_{\text{экв}} \frac{m_t m_{f_1}}{m_{\theta}}, \quad M_2 = 100 m_{f_2}, \quad M_3 = k m_t;$$

при $C_{\Pi} = C_{\Pi, \text{ср}} = \text{const}$

$$p_M U_{\theta} = M_4 U_{f_1} - M_5 (U_{\theta} - U_{\theta_0}), \quad (10)$$

$$\text{где } M_4 = \frac{U_{\text{экв}}}{C_{\Pi, \text{ср}}} \frac{m_t m_{f_1}}{m_{\theta}}, \quad M_5 = \frac{k}{C_{\Pi, \text{ср}}} m_t.$$

На основе структурных схем и машинных уравнений составлены модели применительно к машине МН-7 (рис. 2, б). Вместо символов структурного изображения на рис. 2, б вводится

реальная аппаратура моделей: интегрирующие, суммирующие, масштабные и инвертирующие усилители, блоки нелинейности и перемножения.

На машине МН-7 было получено множество осциллограмм переходных процессов $\theta(t)$, возникающих при изменении температуры окружающей среды. Машинные кривые $\theta(t)$ сопоставлены с экспериментальными и расчетными зависимостями. Расхождение результатов не превышает 10%.

Анализ осциллограмм переходных процессов позволяет сделать выводы о пригодности позистора как датчика в системах автоматического контроля и регулирования температур.

Л и т е р а т у р а

1. Волошин И.Ф., Сериков В.К. Влияние варисторного эффекта на переходный процесс в цепи с позистором. — "Изв. вузов. Энергетика", 1968, №12.
2. Сериков В.К. О взаимосвязи коэффициента нелинейности с температурными характеристиками позистора. — "Изв. АН БССР. Сер. физ.-техн. наук", 1969, № 2.
3. Ширшова В.В., Сериков В.К. Определение теплоемкости позисторов. — ИФЖ, 1968, т.15, №3.

А.А. Полищук

ОБ ОДНОЙ АППРОКСИМАЦИИ ПОТЕНЦИАЛА ПРИ НАЛИЧИИ ОБЪЕМНОГО ЗАРЯДА

При движении электронов в области отрицательного поля обычно предполагают, что градиент изменения потенциала линейный [1, 2]. Однако при значительных плотностях электронного потока объемный заряд приводит к нелинейному распределению потенциала в пространстве отражателя.

В общем случае время пролета электрона определяется уравнением

$$\tau_1 = \frac{2}{v_0} \int_0^{x'_0} \frac{dx}{\sqrt{\varphi(x)+q}} \quad (1)$$