

27-28 Графический метод расчёта нелинейных электрических цепей постоянного тока

Нелинейной называется цепь, содержащая хотя бы один **нелинейный элемент** вольт-амперная характеристика (ВАХ) которого отличается от прямой линии. У таких элементов ток и напряжение изменяются непропорционально, **сопротивление их непостоянно**, поэтому рассмотренные ранее методы расчёта линейных электрических цепей непригодны. Здесь применяются графические методы расчёта с построением результирующих ВАХ.

При **параллельном** соединении элементов нелинейной цепи они под одним напряжением, их токи складываются, $I_1 + I_2 = I$, $ab + ac = ad$ (рисунок 1).

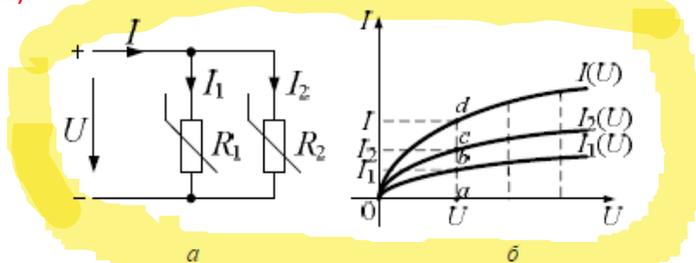


Рисунок 1 – Схема (а) и графическое построение результирующей ВАХ (б) при параллельном соединении нелинейных элементов

При **последовательном** соединении элементов нелинейной цепи по ним протекает один ток, их напряжения складываются $U_1 + U_2 = U$, $ab + ac = ad$ (рисунок 2).

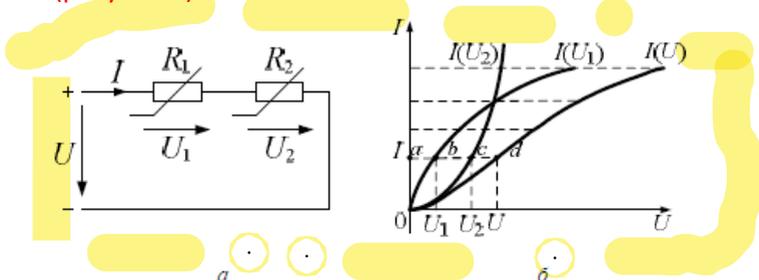


Рисунок 2 – Схема (а) и графическое построение результирующей ВАХ (б) при последовательном соединении нелинейных элементов

Применение графических методов расчёта рассмотрим на примере стабилизатора напряжения.

Пример 17.2. Для стабилизации напряжения на приемнике параллельно ему присоединили стабилитрон (рис. 17.8), ВАХ которого $I_1(U_H)$ задана (рис. 17.9). Определить пределы изменения напряжения приемника U_H , если напряжение источника питания $U = 12$ В изменяется в пределах $\pm 10\%$. Сопротивление $R_1 = 1,2$ кОм, $R_H = 10$ кОм.

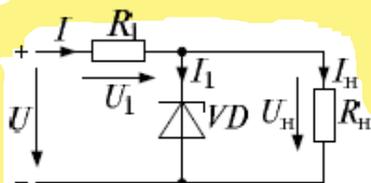


Рис. 17.8. Схема нелинейной цепи

Решение. Строим результирующую ВАХ смешанного соединения резисторов в соответствии с методикой, изложенной на с. 322–324. Для этого на графике с ВАХ стабилитрона достраиваем ВАХ резистора и ВАХ приемника. Затем строим результирующую ВАХ $I(U_H)$ параллельного соединения стабилитрона VD и резистора приемника R_H , далее – результирующую ВАХ $I(U)$ последовательного соединения резистора R_1 и эквивалентного нелинейного элемента R_H/VD .

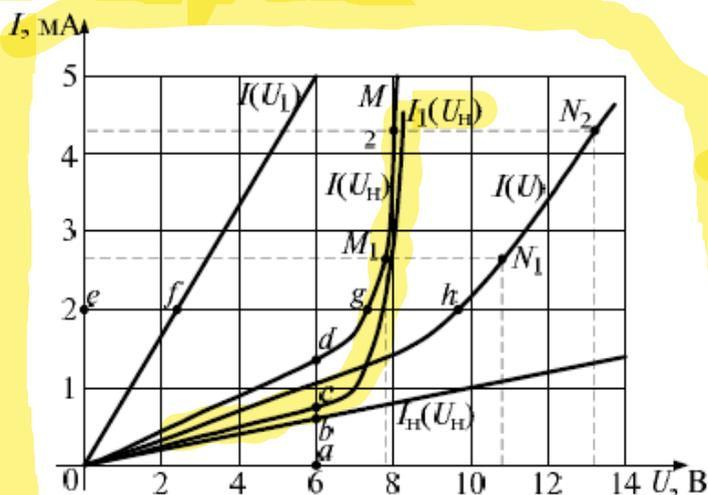


Рис. 17.9. Вольт-амперные характеристики цепи

Чтобы выполнить указанные преобразования, воспользуемся методом построения результирующих ВАХ для параллельного и последовательного соединений резисторов.

Вольт-амперные характеристики линейных элементов R_1 и R_n строим, задавшись произвольными значениями токов: $I = 5 \text{ мА}$. Тогда $U_1 = IR_1 = 5 \cdot 10^{-3} \times 1,2 \cdot 10^3 = 6 \text{ В}$; $I_n = 1 \text{ мА}$, тогда $U_n = I_n R_n = 1 \cdot 10^{-3} \cdot 10 \cdot 10^3 = 10 \text{ В}$.

По двум точкам (0; 0 и 5 мА; 6 В) проводим прямую линию и получаем характеристику $I(U_1)$. Аналогично по двум точкам (0; 0 и 1 мА; 10 В) строим ВАХ $I_n(U_n)$ (рис. 17.9).

Зависимость $I(U_n)$ для параллельного соединения получаем суммированием ординат ВАХ стабилитрона $I_1(U_n)$ и приемника $I_n(U_n)$, соответствующих выбранному напряжению. Например, при $U_n = 6 \text{ В}$ суммируем отрезки ab и ac и получаем точку d характеристики $I(U_n)$. Аналогично получаем и для других значений U_n .

Для последовательного соединения зависимость $I(U)$ определяем суммированием абсцисс характеристик $I(U_1)$ и $I(U_n)$, соответствующих выбранному току. Например, при $I = 2 \text{ мА}$ суммируем отрезки ef и eg и получаем точку h характеристики $I(U)$. Аналогично поступаем, выбирая аналогичные значения для I . Кривая $I(U)$ является результирующей ВАХ всей цепи.

По условию задачи напряжение U изменяется в пределах $\pm 10 \%$, т. е. от $0,9U = 0,9 \cdot 12 = 10,8 \text{ В}$ до $1,1U = 1,1 \cdot 12 = 13,2 \text{ В}$.

Чтобы определить, в каких пределах при этом изменяется U_n , воспользуемся двумя характеристиками: $I(U)$ и $I(U_n)$.

По ВАХ $I(U)$ при $U = 10,8 \text{ В}$ $I = 2,7 \text{ мА}$ (точка N_1);
при $U = 13,2 \text{ В}$ $I = 4,3 \text{ мА}$ (точка N_2).

По ВАХ $I(U_n)$ при $I = 2,7 \text{ мА}$ $U_n = 7,8 \text{ В}$ (точка M_1);
при $I = 4,3 \text{ мА}$ $U_n = 8 \text{ В}$ (точка M_2).

Изменение напряжения на нагрузке

$$\Delta U_n = 8 - 7,8 = 0,2 \text{ В},$$

или в процентном выражении к среднему напряжению на нагрузке

$$\Delta U_{n, \text{cp}} = \frac{0,2}{7,9} \cdot 100 \% \approx 2,5 \%$$

Таким образом, при колебаниях напряжения источника на $\pm 10 \%$ напряжение на нагрузке изменяется только на $\pm 1,25 \%$, т. е. в 8 раз меньше.

Чтобы понять как ведёт себя напряжение U_n стабилизированного источника при изменении сопротивления нагрузки R_n используют его внешнюю (нагрузочную) характеристику $U_n(I_n)$, её рабочий участок.