

## 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).

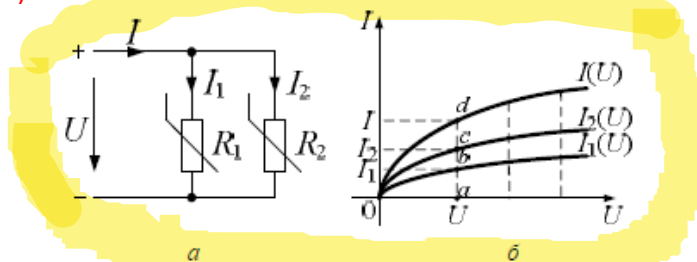


Рисунок 1 – Схема (а) и графическое построение результирующей ВАХ (б) при параллельном соединении нелинейных элементов

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

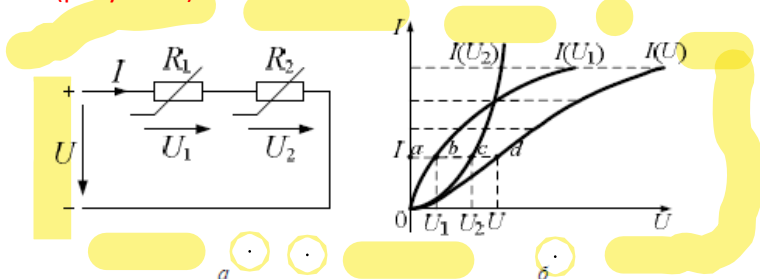


Рисунок 2 – Схема (а) и графическое построение результирующей ВАХ (б) при последовательном соединении нелинейных элементов

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.

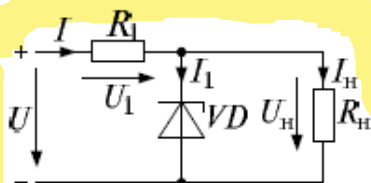


Рис. 17.8. Схема нелинейной цепи

**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  $R_H/VD$ .

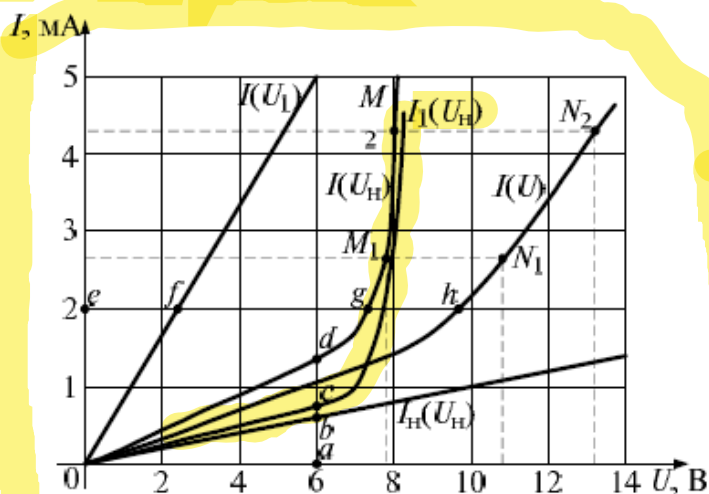


Рис. 17.9. Вольт-амперные характеристики цепи

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

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

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.