

## МЕТОДЫ РАСЧЕТА РАЗВЕТВЛЕННЫХ ЦЕПЕЙ ПОСТОЯННОГО ТОКА ВКЛЮЧАЮЩИХ ЗВЕЗДУ ИЗ НЕЛИНЕЙНЫХ СОПРОТИВЛЕНИЙ

**Московец П.А., студент; Федоров М.М., проф., д.т.н.**

(Донецкий национальный технический университет, г. Донецк, Украина)

Разветвленные электрические цепи, содержащие звезду нелинейных сопротивлений (НС) в общем случае можно представить в виде активного трёхполюсника и звезды НС (рис.1а). Активный трёхполюсник можно заменить эквивалентной схемой (рис 1.б). Параметры схемы:  $R_{Э1}=52,6\text{Ом}$ ,  $R_{Э2}=137,5\text{Ом}$ ,  $R_{Э3}=117,9\text{Ом}$ ,  $E_{Э2}=9,2\text{В}$ ,  $E_{Э3}=4,1\text{В}$ .

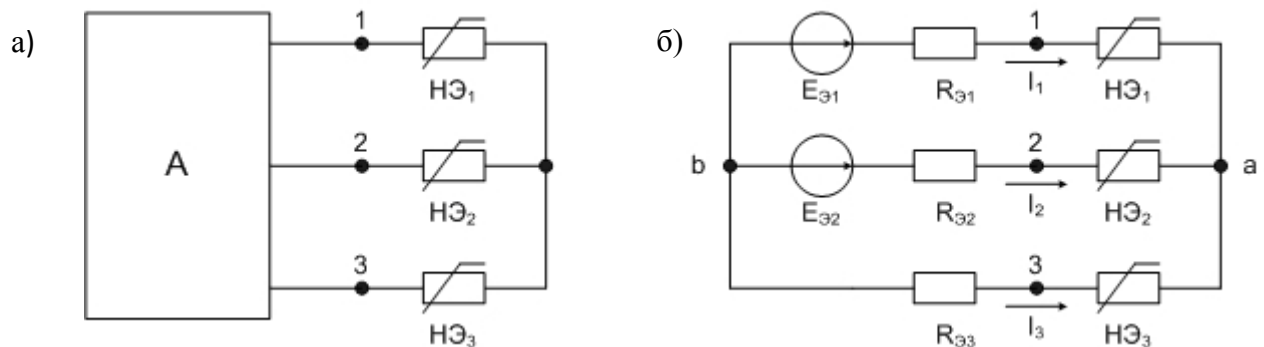


Рисунок.1. Исходная (а) и эквивалентная (б) схемы.

Полученная схема может быть рассчитана методом двух узлов. Для этого на начальном этапе необходимо рассчитать и построить вольт-амперные характеристики (ВАХ) каждой ветви  $U_{ab}(I_1)$ ,  $U_{ab}(I_2)$ ,  $U_{ab}(I_3)$ . Согласно 2-му закону Кирхгофа имеем:

$$\begin{aligned} U_{ab}(I_1) &= E_{Э1} - I_1 R_{Э1} - U_{НС1} \\ U_{ab}(I_2) &= E_{Э2} - I_2 R_{Э2} - U_{НС2} \quad (1) \\ U_{ab}(I_3) &= -(I_3 R_{Э3} + U_{НС3}) \end{aligned}$$

В качестве примера в табл. 1 приведены ВАХ НС<sub>1</sub> и НС<sub>2</sub>. В исходной схеме в первой и третьей ветви использованы одинаковые НС.

Таблица 1 – Вольт-амперные характеристики нелинейных сопротивлений

$U, \text{В}$	0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20
$I_{НС1}, \text{mA}$	0	5,1	10,5	15,2	20,4	26,7	33,2	45,2	59,4	77,82	101,37
$I_{НС2}, \text{mA}$	0	22,5	30,8	38,8	45,2	51,7	56,9	63,8	69,8	82,45	98,84

Для расчёта ВАХ ветвей ВАХ НС<sub>1</sub>, НС<sub>2</sub> рационально представить в виде аналитического выражения. С этой целью используется метод наименьших квадратов. [2]

$$\begin{aligned} U_{НС1}(I) &= -0,0033I^2 + 0,4678I - 0,2345 \\ U_{НС2}(I) &= 0,0025I^2 + 0,0661I - 0,2311 \end{aligned}$$

Задавая различные значения тока рассчитываем по формулам (1) ВАХ каждой ветви. Расчёты сводим в табл. 2.

Таблица 2 – Формирование вольт-амперных характеристик ветвей

$I, mA$	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90
$U_{ab}(I_1), B$	9,2	4,836	0,96	-3,54	-5,97	-8,28	-10,2	-11,7	-13,2	-14,5
$U_{ab}(I_2), B$	4,1	2,57	-0,13	-3,72	-7,9	-12,4	-16,9	-21,2	-24,9	-27,7
$U_{ab}(I_3), B$	0,32	-5,37	-10,2	-14,3	-17,8	-20,7	-23,3	-25,6	-27,6	-29,6

Используя полученные данные формируем аналитические ВАХ ветвей  $I_1(U_{ab})$ ,  $I_2(U_{ab})$ ,  $I_3(U_{ab})$ .

$$I_1(U_{ab}) = -0,00418U^3 + 0,086U^2 - 2,6U + 20,5386$$

$$I_2(U_{ab}) = -0,003336U^3 - 0,129U^2 - 3,624U + 18,67$$

$$I_3(U_{ab}) = -0,00095U^3 + 0,02U^2 - 1,57U + 0,636$$

Задавая значения напряжений  $U_{ab}$  строим результирующую характеристику  $I(U_{ab})$ . Результирующее напряжение  $U_{ab}$  будет там, где сумма токов  $I=I_1+I_2+I_3=0$  (выполняется первый закон Кирхгофа). Результаты расчёта сводим в табл. 3.

Таблица 3 – Зависимость тока в ветвях от напряжения  $U_a$

$U_{ab}, B$	4,5	4,51	4,52	4,53	4,54	4,55	4,56	4,57	4,58	4,59	4,6
$I_1, mA$	10,68	10,66	10,64	10,62	10,6	10,58	10,56	10,54	10,52	10,49	10,47
$I_2, mA$	-0,7	-0,75	-0,8	-0,85	-0,9	-0,94	-0,99	-1,04	-1,09	-1,14	-1,19
$I_3, mA$	-9,62	-9,65	-9,67	-9,7	-9,7	-9,75	-9,77	-9,8	-9,82	-9,85	-9,87
$I, mA$	0,36	0,26	0,17	0,07	0	-0,11	-0,2	-0,3	-0,39	-0,5	-0,59

Используя полученные результаты формируем аналитическое выражение  $U_{ab}(I)$  и определяем значение напряжения  $U_{ab}=4,54B$  и далее токи в отдельных ветвях:  $I_1=10,6mA$ ,  $I_2=-0,9mA$ ,  $I_3=-9,7mA$ .

Приведенные расчётные данные были проверены экспериментально. Отклонение результатов не превышали 5%.

#### Перечень ссылок

1. Бессонов Л.А. Теоретические основы электротехники–М.: В. шк., 1973.-752 с.
2. Курбатова Е.А. MATLAB 7. Самоучитель-М.: Издательский дом «Вильямс», 2006.-256 с.