

## ГЕОМЕТРИЯ ХАРАКТЕРИСТИК ЛИНЕЙНЫХ АКТИВНЫХ ТРЁХПОЛЮСНИКОВ

**Хохлова А.В., студентка; Корощенко А.В., доц., к.т.н.**

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

В электрических цепях активные трёхполюсники постоянного тока встречаются как в виде отдельных устройств, так и как часть электрической цепи. В последнем случае, если токораспределение внутри этой части не представляет интереса, её целесообразно представить эквивалентной схемой замещения для упрощения последующих расчётов и анализов. Трёхполюсником может оказаться устройство, внутреннее содержание которого неизвестно. Поэтому при дальнейшей работе с ним его нужно представить соответствующей математической и физической моделями. В связи с этим нужно выяснить, какие характеристики трёхполюсника требуются для получения полной о нём информации и в каком виде их представлять. Следует подчеркнуть, что теория линейных трёхполюсников, особенно активных, в учебной литературе отражена недостаточно подробно [1, 2].

**Цель работы.** Выбор типа характеристик произвольного линейного активного трёхполюсника и представление их в графическом виде.

Произвольный линейный активный трёхполюсник может быть всегда представлен эквивалентной схемой при соединении звездой с двумя источниками [3] (рис.1). Для описания режима работы и энергетического состояния трёхполюсника используются такие величины: входные напряжения и токи, передаваемая в нагрузку мощность.

При заданных параметрах трёхполюсника  $r_1, r_2, r_3, E_1, E_2$  его электрическое состояние описывается следующей системой уравнений:

$$\begin{cases} U_{12} + r_1 \cdot I_1 - r_2 \cdot I_2 = E_1 - E_2, & r_2 \cdot I_2 + U_{23} - r_3 \cdot I_3 = E_2, \\ I_1 + I_2 + I_3 = 0, & P = E_1 \cdot I_1 + E_2 \cdot I_2 - (r_1 \cdot I_1^2 + r_2 \cdot I_2^2 + r_3 \cdot I_3^2). \end{cases}$$

Здесь  $P$  – мощность, передаваемая в нагрузку, подсоединённую к выводам трёхполюсника 1-2-3. Она определяется как мощность, вырабатываемая источниками ЭДС  $E_1$  и  $E_2$  за вычетом потерь энергии внутри трёхполюсника. Если рассматривать равные энергетические состояния трёхполюсника (при  $P = const$ ) при разных значениях напряжений  $U_{12}$  и  $U_{23}$  на выходе трёхполюсника, то в приведенной системе уравнений имеются две переменные –  $U_{12}$  и  $U_{23}$ , в связи с чем можно получить зависимость  $U_{23}(U_{12})$  при  $P = const$ , которая является квадратной:  $a \cdot U_{23}^2 + b \cdot U_{23} + c = 0$ ,

где  $a = -r_1 r_2^2 - r_2 r_1^2 - r_3 r_1^2 - 2r_1 r_2 r_3 - r_3 r_2^2$ ,

$b = E_1 \cdot (r_1 r_2^2 + r_1 r_2 r_3 + r_2^2 r_3) + E_2 \cdot (r_1 r_2 r_3 + r_1 r_3^2 + r_1^2 r_2) - U_{12} \cdot (2r_1 r_2 r_3 + 2r_2^2 r_1 + 2r_2^2 r_3)$ ,

$c = -P \cdot (r_1 r_2 + r_2 r_3 + r_3 r_1)^2 - U_{12}^2 \cdot (r_1 r_2^2 + 2r_1 r_2 r_3 + r_1 r_3^2 + r_2 r_3^2 + r_3 r_2^2) +$

$+ E_1 \cdot U_{12} \cdot (r_1 r_2^2 + 2r_1 r_2 r_3 + r_1 r_3^2 + r_2 r_3^2 + r_3 r_2^2) - E_2 \cdot U_{12} \cdot (r_1 r_2 r_3 + r_2 r_3^2 + r_1 r_3^2)$ .

Таким образом, напряжение  $U_{23}$  в функции напряжения  $U_{12}$  характеризуется двумя зависимостями:  $U_{23}(U_{12}) = (-b \pm \sqrt{D}) / (2a)$ , где дискриминант  $D = b^2 - 4ac$ .

Рабочий режим трёхполюсника (значения выходных токов, напряжений и мощности) зависит от сопротивлений нагрузки. Определим диапазон изменения выходных величин. Максимальные значения выходных напряжений определяются режимом ХХ, а минимальные – режимом КЗ:  $U_{12X} = E_1 - E_2$ ,  $U_{23X} = -E_2$ ,  $U_{12K} = U_{23K} = 0$ . Напротив, токи максимальные в режиме короткого замыкания, а минимальны – в режиме холостого хода.

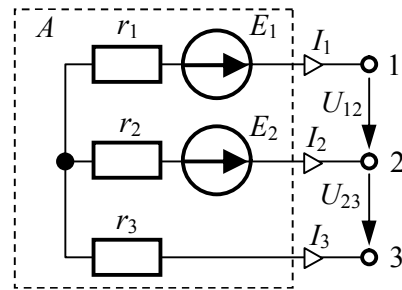


Рисунок 1 – Схема замещения линейного активного трёхполюсника

Мощность  $P$  трёхполосника в режиме источника может принимать значения от 0 до  $P_{max}$ . Семейство зависимостей  $U_{23}(U_{12})$  трёхполосника с параметрами  $E_1 = 10$ ,  $E_2 = -20$ ,  $r_1 = 1$ ,  $r_2 = 3$ ,  $r_3 = 5$  для разных значений мощности в диапазоне от 0 до  $P_{max}$  представлено на рис. 2,а. С увеличением мощности эллипсы уменьшаются, сжимаясь при  $P = P_{max}$  в точку. Точка в начале координат соответствует режиму короткого замыкания, причём эта точка не является вершиной эллипса. Здесь значение напряжения  $U_{12}$  минимально. Точка, симметричная ей относительно точки максимальной мощности, соответствует режиму холостого хода. Здесь значение напряжения  $U_{12}$  максимально.

Могут быть также построены эллипсы, соответствующие отрицательным значениям мощности  $P$ , которые будут шире показанных на рис. 2,а. Отрицательное значение мощности  $P$  может быть получено при подключении рассматриваемого активного трёхполосника к трёхполосному источнику с большими значениями напряжения холостого хода.

В дальнейшем при работе с характеристиками  $U_{23}(U_{12})$  активного трёхполосника в дополнение к напряжениям могут понадобиться значения токов. Вполне достаточно указать значения одного (например, первого) тока во всех точках характеристик.

Остальные токи могут быть вычислены:  $I_3 = \frac{U_{12} \cdot I_1 - P}{U_{23}}$ ,  $I_2 = -(I_1 + I_3)$ .

Графики зависимости  $I_1(U_{12})$  приведены на рис. 2,б.

Совокупность двух семейств зависимостей  $U_{23}(U_{12})$  и  $I_1(U_{12})$ , полученных для значений мощности  $P$ , взятых с равным шагом  $\Delta P$ , полностью характеризует определённый активный линейный трёхполосник.

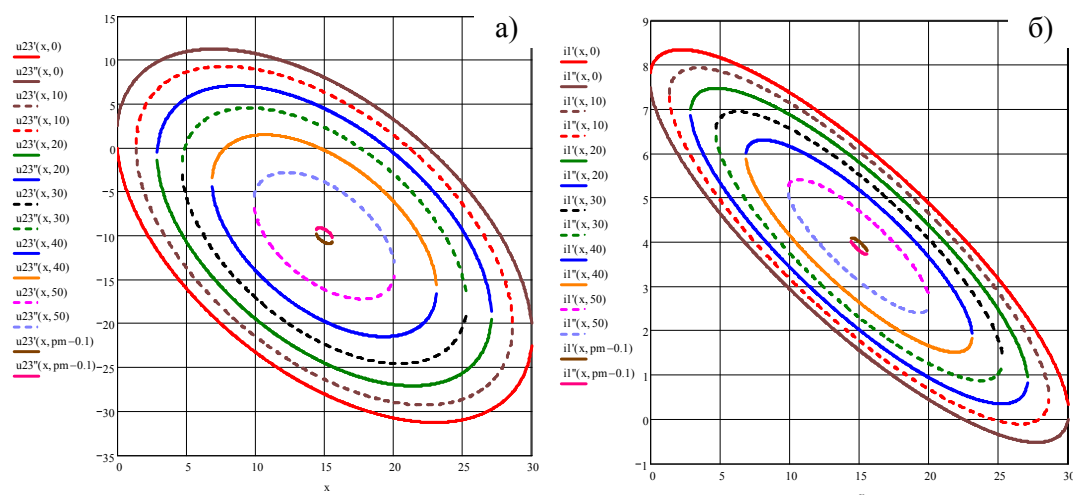


Рисунок 2 – Семейства зависимостей  $U_{23}(U_{12})$  (а) и  $I_1(U_{12})$  (б) линейного 3А

**Вывод.** Представление предложенных характеристик произвольного линейного активного трёхполосника в графическом виде даёт новые возможности при анализе и синтезе трёхполосников постоянного тока.

#### ПЕРЕЧЕНЬ ССЫЛОК

1. М.П.Рибалко, В.О.Есауленко, В.І.Костенко. Теоретичні основи електротехніки: лінійні електричні кола: Підручник. – Донецьк: Новий світ, 2003. – 513с.
2. Теоретичні основи електротехніки: Підручник: У 3 т. / В.С. Бойко, В.В. Бойко, Ю.Ф. Видолоб та ін.; За заг. ред. І.М. Чиженка, В.С. Бойка. – К.: ІВЦ “Видавництво «Політехніка»”, 2004. – Т.1: Усталені режими лінійних електричних кіл із зосередженими параметрами. – 272 с.: іл.
3. М.М.Фёдоров, А.В.Корощенко, В.Е.Михайлов. Эквивалентные схемы замещения активных трёхполосников // Взрывозащищённое электрооборудование: сборник научных трудов УкрНИИВЭ. – Донецк: ООО «АИР», 2011. С. 55-62с.

## АНОТАЦІЯ

Обґрунтований вибір характеристик довільного лінійного активного триполюсника. Ці характеристики отримані в аналітичному вигляді і побудовані в декартовій системі координат. Виконаний аналіз отриманих характеристик.