

Нелинейные электрические цепи постоянного тока

Нелинейными называются цепи, в состав которых входит хотя бы один нелинейный элемент.

Нелинейными называются элементы, параметры которых зависят от величины и направления связанных с этими элементами переменных (напряжения, тока, магнитного потока, заряда, температуры, светового потока). Нелинейные элементы описываются нелинейными характеристиками, которые не имеют строгого аналитического выражения, определяются экспериментально и задаются таблично или графиками. Нелинейные элементы можно разделить на инерционные и безынерционные.

Инерционными называются элементы, характеристики которых зависят от скорости изменения переменных. Для таких элементов статические характеристики, определяющие зависимость между действующими значениями переменных, отличаются от динамических характеристик, устанавливающих взаимосвязь между мгновенными значениями переменных.

Безынерционными называются элементы, характеристики которых не зависят от скорости изменения переменных. Для таких элементов статические и динамические характеристики совпадают. В зависимости от вида характеристик различают нелинейные элементы с симметричными и несимметричными характеристиками. Симметричной называется характеристика, не зависящая от направления определяющих ее величин, т.е. имеющая симметрию относительно начала системы координат: $f(x) = -f(-x)$. Для несимметричной характеристики это условие не выполняется. Все нелинейные элементы можно разделить на управляемые и неуправляемые.

В отличие от неуправляемых управляемые нелинейные элементы (обычно трех- и многополюсники) содержат управляющие каналы, изменяя напряжение, ток, световой поток в которых, изменяют их основные характеристики.

Характеристики нелинейных элементов

В зависимости от условий работы нелинейного элемента и характера задачи различают статическое, дифференциальное и динамическое сопротивление. Если нелинейный элемент является безынерционным, то он характеризуется первыми двумя из перечисленных параметров.

Статическое сопротивление равно отношению напряжения на элементе к протекающему через него току. В частности, для точки 1 ВАХ на рисунке 1

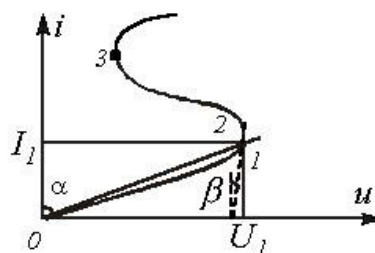


Рисунок 1- Статическая характеристика нелинейного элемента

$$R_{cm} = \frac{U_I}{I_I}$$

Под дифференциальным сопротивлением понимается отношение бесконечно малого приращения напряжения к соответствующему

приращению тока $R_d = \frac{du}{di}$.

Следует отметить, что у неуправляемого нелинейного элемента всегда $R_{cm} > 0$, а R_d может принимать и отрицательные значения (участок 2-3 ВАХ на рисунке 1). В случае инерционного нелинейного резистора вводится

понятие динамического сопротивления, $R_{дин} = \frac{du}{di}$ определяемого по динамической ВАХ. В зависимости от скорости изменения переменной может меняться не только величина, но и знак $R_{дин}$.

Методы расчета нелинейных электрических цепей постоянного тока

Электрическое состояние нелинейных цепей описывается на основании законов Кирхгофа, которые имеют общий характер. При этом следует помнить, что для нелинейных цепей принцип наложения неприменим. В этой связи методы расчета, разработанные для линейных схем на основе законов Кирхгофа и принципа наложения, в общем случае не распространяются на нелинейные цепи. Общих методов расчета нелинейных цепей не существует. Известные приемы и способы имеют различные возможности и области применения. В общем случае при анализе нелинейной цепи описывающая ее система нелинейных уравнений может быть решена следующими методами: графическими, аналитическими, численными.

Графические методы расчета. При использовании этих методов задача решается путем графических построений на плоскости. При этом характеристики всех ветвей цепи следует записать в функции одного общего аргумента. Формально при расчете различают цепи с последовательным, параллельным и смешанным соединениями.

Аналитические методы расчета. Исследования общих свойств нелинейных цепей удобно осуществлять на основе математического анализа, базирующегося на аналитическом выражении характеристик нелинейных элементов, то есть их аппроксимации. На выбор аналитического метода влияют условия поставленной задачи, а также характер возможного перемещения рабочей точки по характеристике нелинейного элемента: по всей характеристике или в ее относительно небольшой области. К наиболее распространенным аналитическим методам относятся: метод аналитической аппроксимации, метод кусочно-линейной аппроксимации, метод линеаризации.

Численные итерационные методы расчета. Решение нелинейного уравнения, описывающего состояние электрической цепи, может быть реализовано приближенными численными методами.

Графический расчет цепи с последовательным соединением нелинейных элементов.

При последовательном соединении нелинейных резисторов в качестве общего аргумента принимается ток, протекающий через последовательно соединенные элементы. Расчет проводится в следующей последовательности. По заданным ВАХ $I(U_n)$ отдельных резисторов в системе декартовых координат строится результирующая зависимость $I(U) = \sum I(U_n)$. Затем на оси напряжений откладывается точка, соответствующая в выбранном масштабе заданной величине напряжения U на входе цепи, из которой восстанавливается перпендикуляр до пересечения с зависимостью $I(U)$. Из точки пересечения перпендикуляра с кривой $I(U)$ проводится горизонталь на ось токов – полученная точка соответствует искомому току в цепи, по найденному значению которого с использованием зависимостей $I(U_1)$ и $I(U_2)$ определяются напряжения U_1 U_2 на отдельных резистивных элементах.

Применение указанной методики иллюстрируют графические построения на рисунке 2,б, соответствующие цепи на рисунке 2,а.

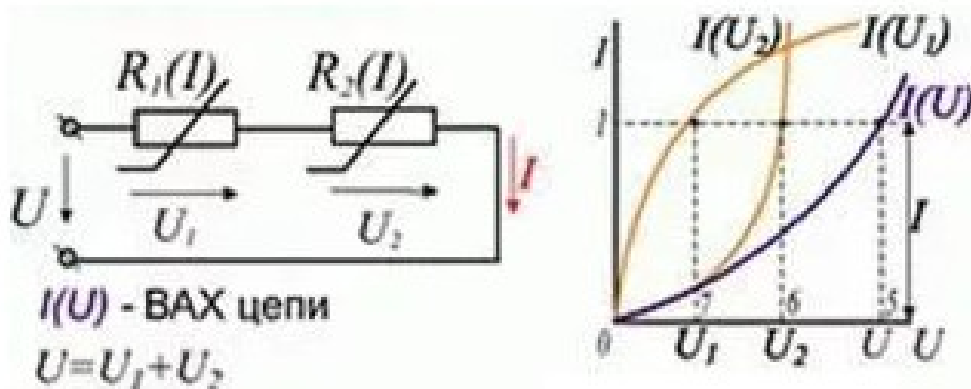


Рисунок 2 – Графическое решение

Цепь с параллельным соединением резистивных элементов.

При параллельном соединении нелинейных резисторов в качестве общего аргумента принимается напряжение, приложенное к параллельно соединенным элементам. Расчет проводится в следующей последовательности. По заданным ВАХ $I(U_n)$ отдельных резисторов в системе декартовых координат строится результирующая зависимость $I(U) = \sum I(U_n)$. Затем на оси токов откладывается точка, соответствующая в выбранном масштабе заданной величине тока источника на входе цепи (при наличии на входе цепи источника напряжения задача решается сразу путем восстановления перпендикуляра из точки, соответствующей заданному напряжению источника, до пересечения с ВАХ $I(U_n)$), из которой восстанавливается перпендикуляр до пересечения с зависимостью $I(U)$. Из точки пересечения перпендикуляра с кривой $I(U)$ опускается вертикаль на ось напряжений – полученная точка соответствует напряжению на нелинейных резисторах, по найденному значению которого с использованием зависимостей $I(U_n)$ определяются токи I_n в ветвях с отдельными резистивными

элементами. Использование данной методики иллюстрируют графические построения на рисунке 3,б, соответствующая цепь на рисунке 3,а.

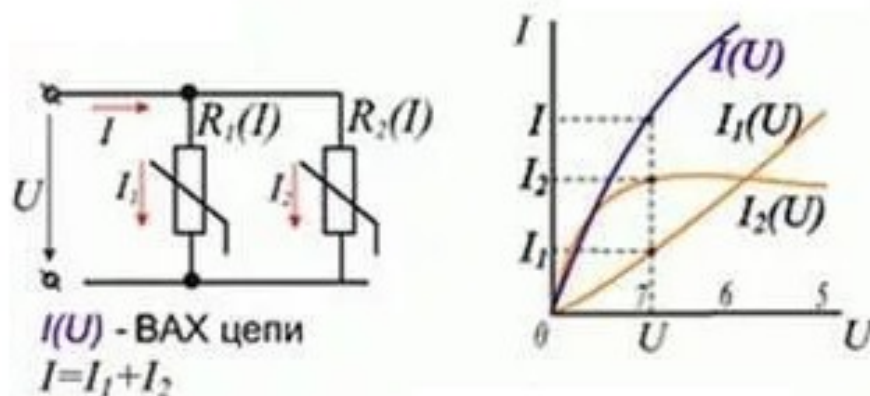


Рисунок 3 – Графический метод расчета

Цепь со смешанным соединением резистивных элементов.

Рассмотрим расчет цепи со смешанным соединением элементов (рисунок 4а).

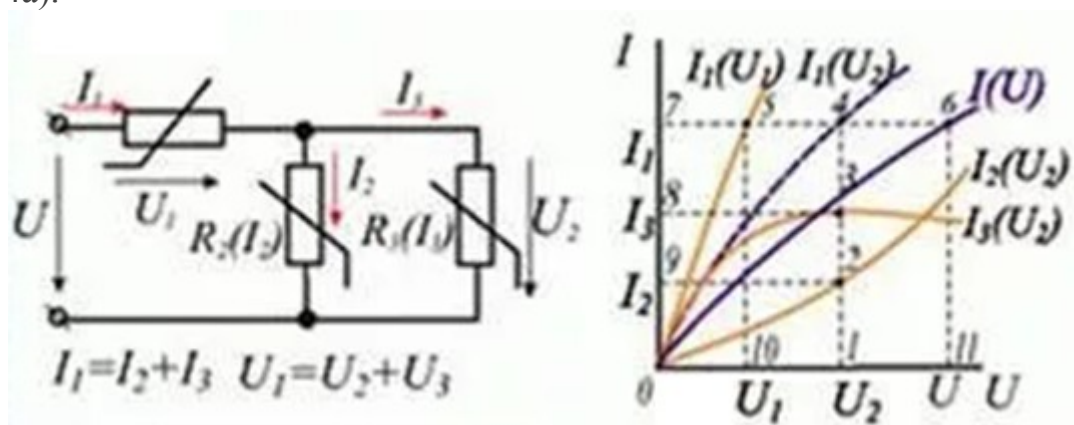


Рисунок 4 – Графический расчет при смешанном соединении элементов

По характеристикам зависимости $I_2(U_2)$ для второго и $I_3(U_2)$ третьего резисторов строится суммарная характеристика $I_1(U_2)$ параллельного участка цепи (при суммировании ординат соответствующих характеристик элементов). Далее по двум характеристикам последовательного участка $I_1(U_2)$ и $I_1(U_1)$ строят характеристику всей цепи $I(U)$ (при суммировании абсцисс характеристик нелинейного элемента $I_1(U_1)$ и параллельного участка $I_1(U_2)$). Затем по заданному напряжению нелинейной цепи, по характеристике $I(U)$ определяют ток I_1 , проведя горизонталь до оси токов, опуская вертикаль из точек пересечения с характеристиками $I_1(U_1)$ и $I_1(U_2)$ определяют падение напряжения на последовательном и параллельном участках U_1 U_2 . Точки пересечения вертикали с характеристиками $I_2(U_2)$ и $I_3(U_2)$ определяют значения токов I_2 , I_3 .