

Иманакунова Ж.С., Исакеева Э.Б.

РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ СИЛОВОГО РЕЗИСТОРА УСОВЕРШЕНСТВОВАННОЙ КОНСТРУКЦИИ

Zh.S. Imanakunova, E.B. Isakeeva

CALKULATION OF RESISTOR PARAMUTERS OF IMPROVED CONSTRUCTION

УДК: 620.1.052.2:621.316.8

Приведен расчет сопротивления усовершенствованной конструкции силового резистора и его вольт - амперная характеристика.

Calculation the resistance modernized construction of a resistor and Mustration of voltage - amper characteristic.

Силовые резисторы находят все более широкое применение в электротехнике и электроэнергетике. Они выполняют ответственные функции защиты, управления и регулирования. Существующие силовые резисторы (СР) в силу своих конструктивных особенностей (рис. 1) [1], имеют нерегулируемые вольтамперную характеристику и величину сопротивления.

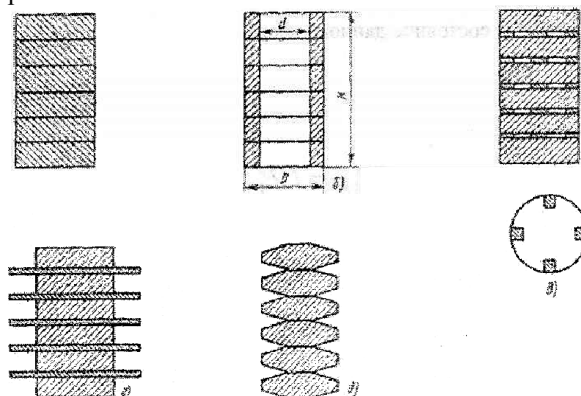


Рис. 1. Резистивные элементы бетэловых силовых резисторов: а) галетный РЭ; б) трубчатый РЭ; в) РЭ с охлаждением через торцевую поверхность; г) РЭ с радиатором; д) РЭ со снятой фаской

Конструкция СР (рис.2), рассмотрено в работе [2], а алгоритм управления его параметрами в работе [4], однако в этих работах не были затронуты способы их расчёта.

В данной работе предложен способ расчета вольт-амперной характеристики силового резистора (СР) и его сопротивления при определенном позиционировании (состоянии) дисков каждого слоя устройства, в предположении, что вращение дисков произведено на произвольный угол α_N не до полного совпадения секторов.

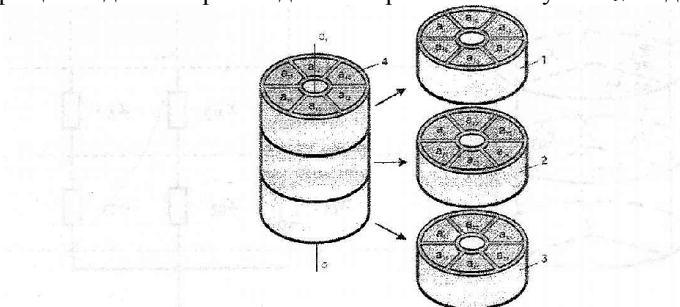


Рис.2. Резистивные элементы бетэловых силовых резисторов в оболочке из прочного диэлектрического материал: 1,2, 3 - резистивные диски; 4 - оболочка; a_j – активные части резистивных элементов из, бетэла

Конструкция устройства СР, показанная на рис.3 (а) выполнена в виде пакета из одного неподвижного диска D_0 0-го слоя и N вращающихся соосных дисков $\{D_1, D_2, \dots, D_N\}$ образующих слои $j = 1, 2, \dots, N$

Диск D_i каждого i -го слоя, в свою очередь, разбит на K равных, изолированных друг от друга секторов (колонн), заполненных композиционными электропроводящими материалами с разными ВАХ и сопротивлениями R_{ij} , $i = 0, 1, 2, \dots, N$, $j = 1, 2, \dots, K$.

Диски, совершая позиционное вращательное движение, образуют из K своих секторов K параллельные колонны, каждая из которых состоит из

$(N + 1)$ последовательно соединенных сопротивлений. Таким образом, позиционируя диски каждого i - го слоя, регулируется ВАХ и величина эквивалентного сопротивления устройства ВР, схема замещения которого показана на рис.3.6 (б), где X_{ij} - состояние ячейки СР; устройства СР, физическая сущность которого -

сопротивление. Величина X_{ij} зависит от номера положения $n \in \{1, 2, \dots, K\}$ диска D_i i -го слоя, характеризующего текущее состояние данного диска.

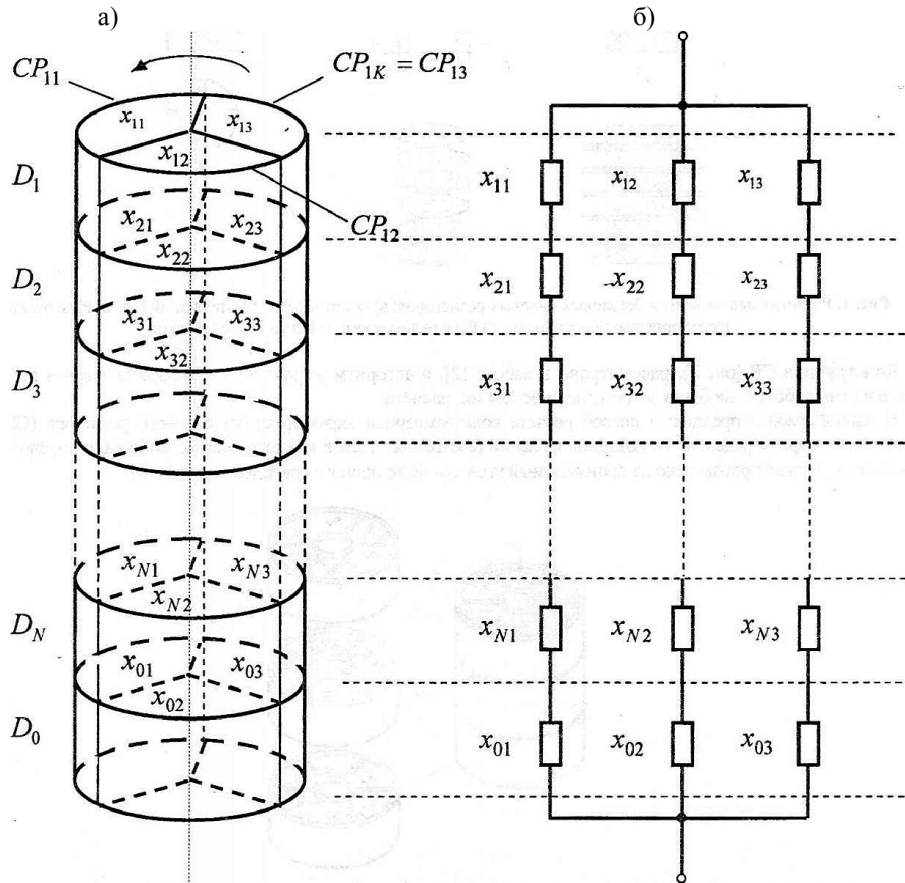


Рис. 3. Конструкция устройства BP (а), схема замещения (б)

Рассмотрим особенности расчета $R_0(m)$ /когда в результате управляющих воздействий диски $D_N, D_{N-1}, \dots, D_3, D_2, D_1$ повернулись по отношению к неподвижному диску D_0 соответственно на некоторые углы $\alpha_N, \alpha_{N-1}, \dots$ (рис. 4 а, б) и так далее, где сектора соседних дисков не совпадают с друг другом. В этом случае схема замещения CP выглядит так, как показано на рис. 4 в

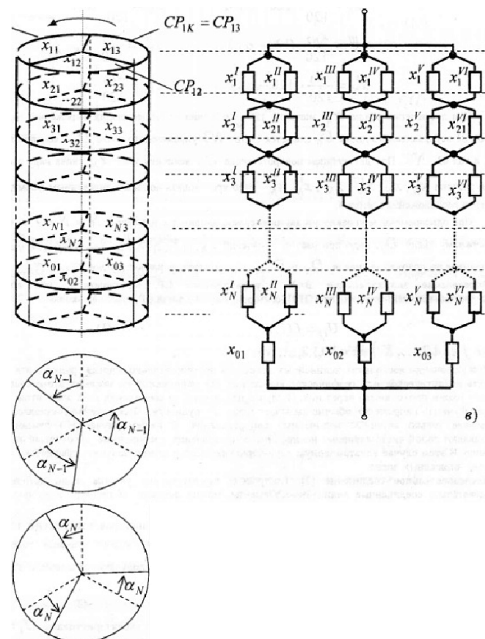


Рис.4 а) – диск D_N повернут относительно неподвижного диска D_0 на угол α_N ; б) – диск D_{N-1} повернут относительно D_0 на угол α_{N-1} ; в) – схема замещения CP, когда диски $\{D_1, D_2, \dots, D_N\}$ повернуты относительно неподвижного диска D_0 на произвольные углы $\{\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_N\}$

Для пояснения этой схемы замещения достаточно рассмотреть взаимное расположение дисков D_0 и D_N , первый из которых неподвижен. Предположим, что после управляющего воздействия на диск D_N , он повернулся на угол $\alpha_N < 120^\circ$. В этом случае над секторами неподвижного диска окажутся части секторов повернутого диска D_N с величинами сопротивлений пропорционально значению угла поворота α_N . Эти сопротивления соответственно равны:

$$x_N^I = \frac{x_{N1}}{120} \cdot (120 - \alpha_N); \quad x_N^{II} = \frac{x_{N3}}{120} \cdot \alpha_N;$$

$$x_N^{III} = \frac{x_{N2}}{120} \cdot (120 - \alpha_N); \quad x_N^{IV} = \frac{x_{N4}}{120} \cdot \alpha_N;$$

$$x_N^V = \frac{x_{N3}}{120} \cdot (120 - \alpha_N); \quad x_N^{VI} = \frac{x_{N2}}{120} \cdot \alpha_N;$$

При достижении углом α_N значения 120° , как видно из вышестоящих выражений, над сектором с номером 01 неподвижного диска D_0 окажется сектор $N3$ управляемого диска D_N , соответственно над 02 - $N1$, а над 03 - $N2$. При дальнейшем повороте диска D_N величину угла α_N снова надо отсчитывать от нуля, а расчеты $x_N^I, x_N^{II}, x_N^{III}, x_N^{IV}, x_N^V, x_N^{VI}$ надо производить по вышеприведенным формулам с учетом изменения расположения секторов.

При одновременном управлении двумя дисками, например с номерами N и $N-1$ по отношению к неподвижному диску D_0 , надо при расчете значений $x_{N-1}^I, x_{N-1}^{II}, x_{N-1}^{III}, x_{N-1}^{IV}, x_{N-1}^V, x_{N-1}^{VI}$ учитывать, что взаимное расположение дисков D_N и D_{N-1} определяется из разности углов $\alpha_N - \alpha_{N-1}$.

Определение эквивалентной ВАХ управляемого СР. Предположим, что вольтамперные характеристики нелинейных элементов (НЭ) (секторов) каждого диска СР заданы функциями

$$U_{ij} = f_i(I_j), \quad (1)$$

$$\text{где } j \in \{1, 2, \dots, K\} \text{ и } i \in \{0, 1, 2, \dots, N\}$$

При включении нескольких нелинейных элементов последовательно, иногда трудно (хотя и возможно) получить аналитическое или графическое выражение для напряжения на зажимах этого соединения, как функции тока и проходящего через них. В случае параллельного соединения этих элементов, определение тока как функции напряжения обычно вызывает такие же трудности. Исключение составляет соединение, содержащее только активные нелинейные сопротивления. В нашем случае НЭ каждого диска СР представляют собой чисто активные нелинейные сопротивления, соединенные по отношению друг к другу смешанно. В этом случае вольтамперную характеристику всегда можно получить графически с помощью методов, описанных ниже.

Последовательное соединение [3]. Построение характеристики участка цепи, который содержит последовательно соединенные нелинейные элементы, можно показать на примере двух последовательно включенных резисторов (рис.5, а).

Графики вольтамперных характеристик сопротивлений этих резисторов изображены на рис. 5 б. Применяя второй закон Кирхгофа, имеем: $U = U_1 + U_2$; для каждого значения тока суммируют соответствующие значения U_1 и U_2 каждой характеристики и получают суммарное напряжение в функции тока

$$U = U_1 + U_2 = f(I) \quad (2)$$

Таким образом, последовательное соединение двух резисторов с характеристиками $U_1 = f_1(I_1)$ и $U_2 = f_2(I_2)$ заменяют одним резистором с характеристикой $U = f(I)$. Для любого значения напряжения U , приложенного к цепи, можно определить ток I и напряжение на нелинейных элементах U_1 и U_2 (рис. 5 б).

Аналогично решают задачу, когда имеется несколько резисторов с нелинейными сопротивлениями, соединенными последовательно

Параллельное соединение [3]. Расчет цепи, состоящей из параллельно соединенных резисторов с нелинейными сопротивлениями, можно показа

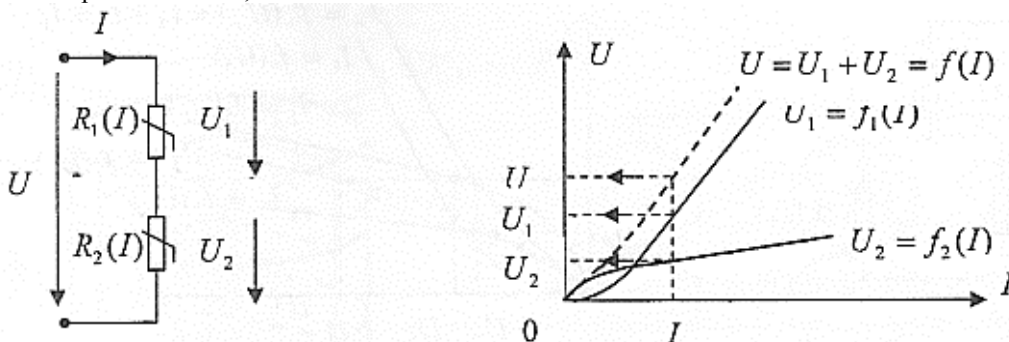


Рис.5. Построение характеристики участка цепи последовательно соединенных нелинейных элементов

на примере параллельного соединения двух резисторов (рис. 6 а). Их характеристики изображены на рис. 6 б.

Применяя первый закон Кирхгофа, имеем: $I = I_1 + I_2$; для каждого значения напряжения суммируют соответствующие значения токов I_1 и I_2 каждой характеристики и получают суммарное значение тока I в функции напряжения

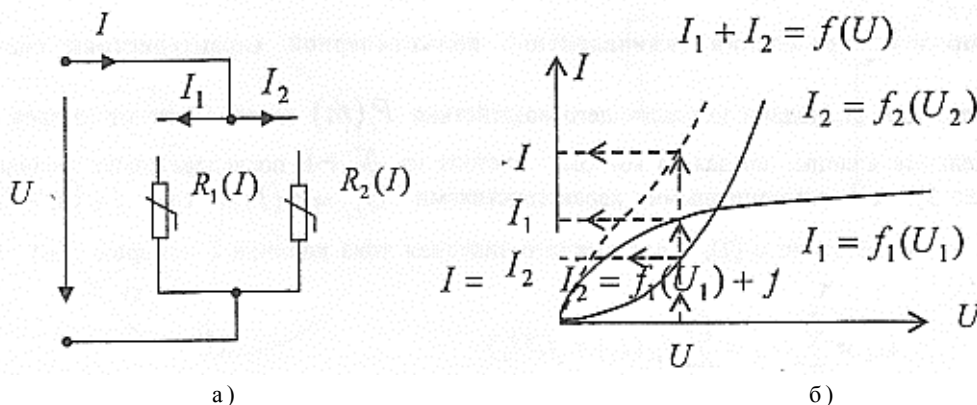


Рис.6. Построение характеристики участка цепи параллельно соединенных нелинейных элементов

т.е. параллельное соединение двух резисторов можно заменить, одним резистором, характеристика которого показана на рис. 6 б пунктирной линией. По результирующей характеристике можно для любого значения напряжения U определить искомые значения токов I , I_1 и I_2 .

Аналогично может быть построена результирующая характеристика цепи и при параллельном соединении нескольких нелинейных элементов.

Смешанное соединение [3]. Смешанное соединение трех нелинейных элементов показано на рис. 7.

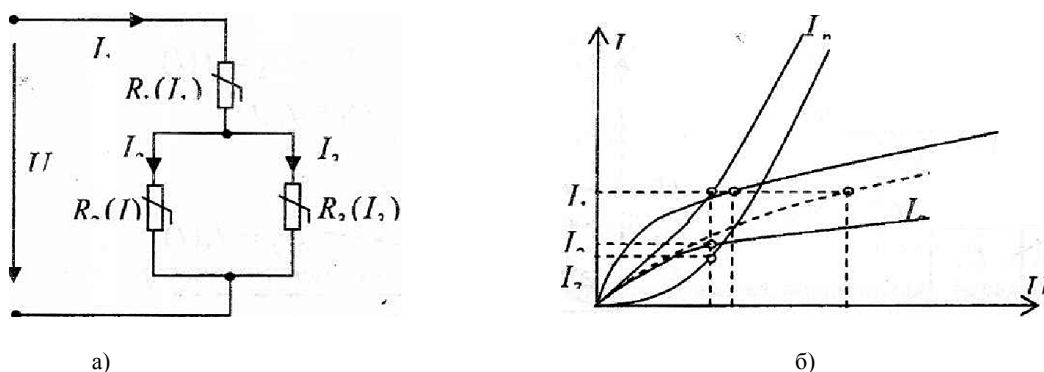


Рис.7. Построение характеристики участка цепи со смешено соединенными нелинейными элементами

о соединения резисторов. Суммируя токи I_2 и I_3 для определенных значений U_p получаем кривую:

$$I_p = f_p(U_p) = I_2 + I_3 = I_1$$

Затем определяем для каждого тока сумму напряжений $U = U_p + U_1$, и получаем кривую: $U = f(I_1)$, которая и представляет собой суммарную вольтамперную характеристику. На рис. 7 б показан пример графического решения смешанного соединения нелинейных элементов. По результирующей кривой и вольтамперным характеристикам отдельных элементов легко определим все неизвестные токи и напряжения. Таким образом, цепь, состоящая из смешанного соединения и может быть заменена одним эквивалентным с соответствующей ВАХ.

Рассмотрим порядок определения эквивалентной вольтамперной характеристики силового резистора.

В исходном состоянии до подачи управляющего воздействия $P_i(m)$ диски образуют из трех своих секторов три параллельные колонны, каждая из которых состоит из $N + 1$ последовательно соединенных сопротивлений (рис. 3), с вольтамперными характеристиками $U_{ij} = f_i(I_j)$, где $j \in \{1, 2, 3\}$ и $i \in \{0, 1, 2, \dots, N\}$. В соответствии с (2), для каждого значения тока колонна с номером $j = 1$ имеет следующую ВАХ

$$U_1 = \sum_{i=0}^N U_{i1} = \sum_{i=0}^N f_{i1}(I_1) = f_1(I_1), \quad (4)$$

Соответственно, для $j=2,3$ имеем

$$U_2 = \sum_{i=0}^N U_{i2} = \sum_{i=0}^N f_{i2}(I_2) = f_2(I_2). \quad (5)$$

$$U_3 = \sum_{i=0}^N U_{i3} = \sum_{i=0}^N f_{i3}(I_3) = f_3(I_3). \quad (6)$$

где I_1, I_2, I_3 токи, протекающие в первой, второй и третьей колонне.

Так как колонны соединены между собой параллельно, то $U_1 = U_2 = U_3 = U$ и эквивалентная ВАХ силового резистора определяется на основании (3) из следующего выражения.

$$I = I_1 + I_2 + I_3 = f_1^{-1}(U) + f_2^{-1}(U) + f_3^{-1}(U) = f(U) \quad (7)$$

Аналогично определяется ВАХ силового резистора и после подачи управляющих воздействий $P_i(t)$, но при этом надо учитывать, что отдельные сектора меняются местами совместно с ВАХ.

В заключении отметим, что предложенный способ расчета можно использовать при управлении параметрами СР с целью оптимизации режима нейтрали распределительных сетей.

Литература:

1. Врублевский Л.Е., Зайцев Ю.В., Тихонов А.И. Силовые резисторы. - М.: Энергоатомиздат, 1991. - 256 с.
2. Сатаркулов К.А. и др. Силовой резистор с управляемой вольтамперной характеристикой и величиной сопротивления.// Кыргызпатент. Патент №1030 от 28 февраля 2008 года.
3. Филиппов Е. Нелинейная электротехника. Пер. с нем. Под ред. А.Б. Тимофеева. Изд. 2-е, перераб. И доп. М.: Энергия, 1976-496 с., с ил.
4. Иманакунова Ж.С. Труды V Международной азиатской школы-семинара «Проблемы оптимизации сложных систем» Новосибирск 2009. 117 с.

Рецензент: к.т.н., доцент Джунуев Т.Д.