Доклады Академии Наук СССР
1952. Том LXXXVII, № 3

ЭНЕРГЕТИКА

М. А. ГАВРИЛОВ

# ВЫДЕЛЕНИЕ В РЕЛЕЙНЫХ СХЕМАХ ЦЕПЕЙ, ВОЗДЕЙСТВУЮЩИХ НА ДАННЫЙ ЭЛЕМЕНТ

*(Представлено академиком В. С. Кулебакиным 20 IX 1952)*

Выделение цепей, воздействующих на данный элемент, является одной из основных задач анализа релейных схем, решение которой позволяет определить как условия работы каждого из элементов схемы, так и взаимодействие между ними.

Известны методы выделения цепей, воздействующих на данный элемент, основанные на разложении схемы на параллельные цепи при помощи структурных матриц ([1]), или графо-аналитических преобразований ([2]), или же на определения этих цепей при помощи непосредственного преобразования исходных схем ([2]). Однако эти методы не дают непосредственного окончательного результата; они требуют иногда производства достаточно сложных преобразований, а кроме того, при неосторожном использовании их могут привести к неправильным результатам при наличии реагирующих органов элементов, включенных в схеме последовательно друг с другом.

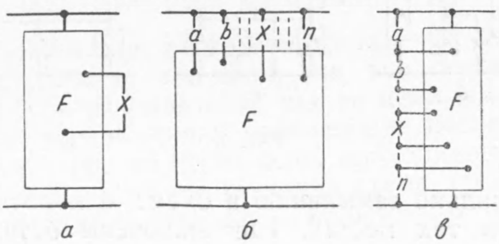


Рис. 1

В настоящей статье рассматривается новый метод, позволяющий выделять цепи, воздействующие на элементы схемы, значительно более коротким путем и не дающий неправильных результатов при последовательном включении реагирующих органов элементов друг с другом.

В наиболее общем случае в схеме могут содержаться по отношению к какому-либо реагирующему органу $X$ (рис. 1$a$) как цепи, включенные последовательно с ним (будем обозначать их через $f[X]$, так и цепи, параллельные ему (будем обозначать их через $f\{X\}$). Так как ток через реагирующий орган $X$ может протекать только в том случае, когда первые замкнуты, а вторые разомкнуты, то в общем виде выражение для цепей, воздействующих на данный элемент, может быть записано следующим образом:

$$F_{(X)} = f[X]\cdot\overline{f\{X\}}. \tag{1}$$

Таким образом задача выделения цепей, воздействующих на данный элемент, сводится к отысканию в схеме цепей, включенных последовательно с его реагирующим органом и параллельно ему.

Рассмотрим сперва частную задачу, когда элемент $X$ приключен или к входному или к выходному узлу схемы, т. е. является или начальным или конечным элементом ее (рис. 1*б*). Выделим в схеме $F$ цепи, проходящие через все начальные элементы:

$$F = F_{a,\,b,\dots,\,X,\dots,\,n} + f[a]\,a + f[b] + \dots + f[X]\,X + \dots + f[n]\,n. \tag{2}$$

Выражение $F_{a,\,b,\dots,\,X,\dots,\,n}$ представляет собой первоначальную схему, в которой разомкнуты все цепи, содержащие начальные элементы, т. е. схему, отсоединенную от входного узла. Поэтому $F_{a,\,b,\dots,\,X,\dots,\,n} = 0$, и выражение (2) примет вид:

$$F = f[a]\,a + f[b]\,b + \dots + f[X]\,X + \dots + f[n]\,n. \tag{3}$$

Для того чтобы из этого выражения получить $f[X]$, нужно приравнять в нем $X = 1$, а все остальные элементы положить равными

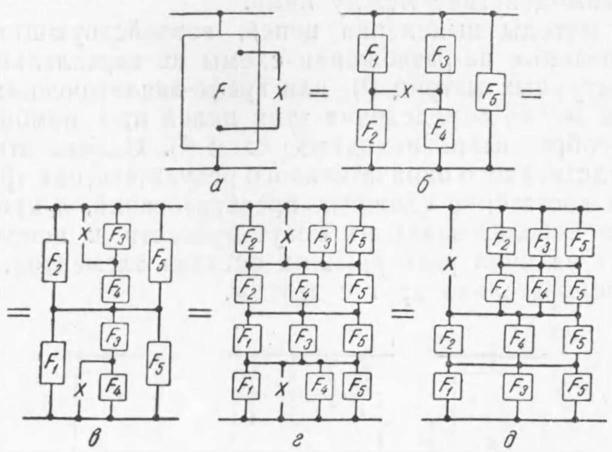


Рис. 2

нулю. Это равносильно замыканию в схеме накоротко элемента $X$ и размыканию ее в тех местах, где включены остальные начальные элементы. Поэтому

$$f[X] = F_{a,\,b,\dots,\,\underline{X},\dots,\,n}\,. \tag{4}$$

Рассмотрим теперь другую частную задачу, когда элемент $X$ включен в середине схемы, но находится в последовательной цепочке элементов, включенной между входным и выходным узлами так, как это показано на рис. 1*в*. Выделяя цепи, параллельные каждому из элементов этой цепочки, получим:

$$F = F_{\underline{a},\,\underline{b},\dots,\,\underline{X},\dots,\,\underline{n}}\,(f\{a\} + a)\,(f\{b\} + b)\dots(f\{X\} + X)\dots(f\{n\} + n). \tag{5}$$

Выражение $F_{\underline{a},\,\underline{b},\dots,\,\underline{X},\dots,\,\underline{n}}$ представляет собой первоначальную схему, в которой элементы $a, b, \dots, X, \dots, n$ замкнуты накоротко. Так как эти элементы образуют, как это указывалось выше, последовательную цепочку, включенную между входным и выходным узлами, то $F_{\underline{a}, \underline{b}, \dots, \underline{X}, \dots, \underline{n}} = 1$. Поэтому

$$F = (f\{a\} + a)(f\{b\} + b) \dots (f\{X\} + X) \dots (f\{n\} + n). \tag{6}$$

Для того чтобы из этого выражения получить $f\{X\}$, нужно приравнять в нем $X = 0$, а все остальные элементы последовательной цепочки положить равными единице. Так как это равносильно в схеме размыканию цепи в месте, где включен элемент $X$, и замыканию накоротко всех остальных элементов последовательной цепочки, то получим:

$$f\{X\} = F_{\underline{a}, \underline{b}, \dots, \underline{X}, \dots, \underline{n}}. \tag{7}$$

Рассмотрим теперь общий случай, когда элемент $X$ включен в любом месте схемы $F$ между какими-либо точками $k$ и $k_a$ (рис. $2a$). Очевидно, что при этом в схеме в общем случае будут существовать цепи между каждой из точек $k$ и $k_a$ и входным и выходным узлами и, кроме того, цепи, которые не проходят через эти точки*. Таким образом, схема рис. 2 $a$ может быть представлена так, как это изображено на рис. 2 $б$. Используя (7), выделим цепи, параллельные $F_1$ и $F_2$. При этом схема примет вид, представленный на рис. 2 $в$. Используя то же соотношение, выделим в каждой из последовательно соединенных частей схемы рис. 2 $в$ цепи, параллельные $X$, $F_3$ и $F_4$. При этом получим схему рис. 2 $г$, из которой, пользуясь распределительным законом сложения относительно умножения, легко получить схему рис. 2 $д$, в которой цепи, параллельные $X$, обособлены. Записывая эти цепи аналитически, получим:

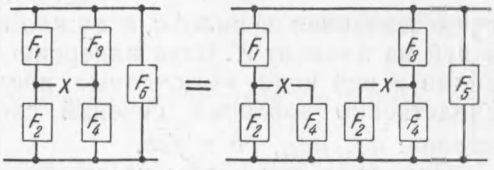

Рис. 3

$$f\{X\} = (F_2 + F_3 + F_5)(F_1 + F_4 + F_5). \tag{8}$$

Из этого выражения легко усмотреть, что цепи, параллельные $X$, представляют собой не что иное, как все сечения схемы $F$, проходящие через $X$ и разрывающие все ее цепи (см. рис. 2 $б$).

Определим теперь цепи, включенные последовательно с $X$. Для этого, пользуясь (4), выделим цепи, проходящие через начальные элементы $F_1$, $F_3$ и $F_5$. Соответствующая схема представлена на рис. 3 $б$. Из нее можно видеть, что цепи, включенные последовательно с $X$, будут иметь вид:

$$F[X] = F_1F_4 + F_3F_2. \tag{9}$$

Подставляя (8) и (9) в (1), получим:

$$F_{(X)} = (F_1F_4 + F_3F_2)(\overline{F}_2\overline{F}_3\overline{F}_5 + \overline{F}_1\overline{F}_4\overline{F}_5).$$

Раскрывая скобки и осуществляя соответствующие преобразования, будем иметь окончательно:

$$F_{(X)} = \overline{F}_2\overline{F}_3\overline{F}_5(F_1F_4 + F_3F_2) + \overline{F}_1\overline{F}_4\overline{F}_5(F_1F_4 + F_3F_2) =$$

$$= \overline{F}_2\overline{F}_3\overline{F}_5F_1F_4 + \overline{F}_1\overline{F}_4\overline{F}_5F_3F_2. \tag{10}$$

---

* Кроме того, могут быть еще цепи, включенные между точками $k$ и $k_a$ параллельно $X_k$. Однако для упрощения выкладок мы их опускаем. На окончательный результат это не повлияет.

Выражение (10) позволяет сформулировать следующее правило:

*Для выделения в схеме цепей, воздействующих на какой-либо элемент X, нужно провести все сечения, разрывающие схему и проходящие через этот элемент, выписать затем произведения инверсий элементов, входящих в каждое из этих сечений, и помножить каждое из этих произведений на структурную формулу цепей, остающихся в схеме последовательно включенными с элементом X при разрыве схемы в местах, где включены элементы, входящие в данное сечение.*

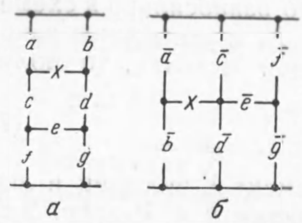


Рис. 4

В сложных схемах для определения сечений, проходящих через данный элемент, целесообразно вместо заданной схемы рассматривать ее инверсию, в которой этим сечениям будут соответствовать цепи, последовательные данному элементу.

Рассмотрим пример. Пусть имеется схема, представленная на рис. 4 *а*, и нужно определить цепи, воздействующие в ней на элемент $X$. Взяв инверсию этой схемы (см. рис. 4 *б*) и определив в ней цепи, включенные последовательно с $X$, получим непосредственно инверсии сечений схемы в виде следующих четырех членов: $\overline{a}\overline{d}$, $\overline{a}\overline{e}\overline{g}$, $\overline{c}\overline{b}$ и $\overline{f}\overline{e}\overline{b}$.

Помножая эти члены на структурные формулы последовательных цепей в соответствии с написанным выше правилом, получим цепи, воздействующие на элемент $X$, в виде:

$$F_{(x)} = \overline{a}\overline{d}bc\,(f + eg) + \overline{a}\overline{e}\overline{g}bcf + \overline{c}\overline{b}ad\,(g + ef) + \overline{f}\overline{e}\overline{b}adg.$$

Поступило
22 VIII 1952

## ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

[1] Б. И. Аронович, Автоматика и телемеханика, 6, 437 (1949). [2] М. А. Гаврилов, Теория релейно-контактных схем, изд. АН СССР, 1950.