**Доклады Академии Наук СССР**
**1949. Том LXIX, № 2**

*ЭЛЕКТРОТЕХНИКА*

**М. А. ГАВРИЛОВ**

# К ВОПРОСУ ОБ АНАЛИЗЕ РЕЛЕЙНО-КОНТАКТНЫХ СХЕМ

*(Представлено академиком В. С. Кулебакиным 17 IX 1949)*

Анализ является одной из основных задач теории релейно-контактных схем. Необходимость в нем возникает: 1) при проверке соответствия работы запроектированной схемы заданным для нее условиям, 2) при определении условий работы схемы при повреждениях и 3) при изучении схем, условия работы которых неизвестны. Во всех этих случаях основная задача сводится к тому, чтобы иметь возможность выделить в схеме, какую бы сложную структуру она ни имела, цепи, воздействующие на каждый из исполнительных и промежуточных элементов ее, и представить их в таком виде, при котором нетрудно будет сформулировать характер воздействий этих цепей на реагирующие органы элементов.

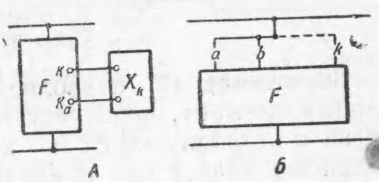


Рис. 1. Схемы, иллюстрирующие выделение цепей отдельных элементов: $A$ — элемента $X_k$; $Б$ — начальных элементов

В принципе выделение отдельных цепей в схеме может быть произведено путем разложения ее структурной формулы на конституенты ([1]). Однако практически этот способ мало пригоден, так как при этом, во-первых, нужно предварительно преобразовать схему в параллельно-последовательную и, во-вторых, для получения условий работы данного элемента проделать ряд дополнительных преобразований, направленных к тому, чтобы исключить из полученной группы конституентов, относящихся к этому элементу, члены, относящиеся к другим элементам.

Ниже описывается метод, основанный на применении разработанного автором исчисления для различным образом замкнутых и разомкнутых схем ([2]) и позволяющий решать задачу анализа схем непосредственно без разложения их на конституенты.

На реагирующий орган какого-либо элемента $X_k$, включенного между точками $k$ и $k_a$ схемы (рис. 1 $A$), могут воздействовать: 1) цепи, включенные последовательно с ним, и 2) цепи, включенные параллельно ему. Обозначим в соответствии с символикой, принятой для различным образом замкнутых и разомкнутых схем, первые через $f[k]_k$ и вторые через $f\{k\}_k$.

Ток через реагирующий орган $X_k$ будет протекать, когда последовательные с ним цепи будут замкнуты и параллельные ему будут разомкнуты. Так как союз «и» означает последовательное соединение, а размыкание является действием, противоположным замыканию, что обозначается в релейно-контактных схемах знаком инверсии, то условия срабатывания реагирующего органа получатся в полном виде, выраженные следующим образом:

$$F_{(x_k)} = f[k]_{\underline{k}}\overline{f\{k\}_k}. \tag{1}$$

Легко показать, что это выражение равносильно следующему:

$$F_{(x_k)} = F_{\underline{k}}\overline{F}_k,$$

где $F_{\underline{k}}$ — первоначальная схема, замкнутая накоротко между точками присоединения элемента $X_k$, а $F_k$ — та же схема, но с разомкнутыми цепями, проходящими через элемент $X_k$.

Действительно, в соответствии с соотношениями, имеющимися в различным образом замкнутых и разомкнутых схемах, можно написать:

$$F_{\underline{k}} = F_k + f[k]_{\underline{k}} \quad \text{и} \quad \overline{F}_k = \overline{F}_{\underline{k}} + \overline{f\{k\}_k}.$$

Поэтому:

$$F_{\underline{k}}\overline{F}_k = F_k\overline{F}_{\underline{k}} + F_k\overline{f\{k\}_k} + f[k]_{\underline{k}}\overline{F}_{\underline{k}} + f[k]_{\underline{k}}\overline{f\{k\}_k}.$$

Однако, как это доказывается в исчислении для различным образом замкнутых и разомкнутых схем:

$$F_k\overline{F}_{\underline{k}} = 0, \quad F_k\overline{f\{k\}_k} = 0 \quad \text{и} \quad f[k]_{\underline{k}}\overline{F}_{\underline{k}} = 0.$$

Таким образом:

$$F_{(x_k)} = f[k]_{\underline{k}}\overline{f\{k\}_k} = F_{\underline{k}}\overline{F}_k. \tag{2}$$

Выражение (2) позволяет определить цепи, воздействующие на данный элемент, непосредственно из первоначальной схемы, не прибегая к разложению ее на конституенты и вне зависимости от того, к какому классу она принадлежит.

Анализ схем значительно облегчается, если предварительно выделить цепи, проходящие через начальные или конечные элементы (1). Исчисление для различным образом замкнутых и разомкнутых схем позволяет и в этом случае получить достаточно простые правила, позволяющие осуществлять это выделение.

Выделим в некоторой схеме $F$ (рис. 1, *Б*) цепи, проходящие через все начальные элементы. В соответствии с соотношениями, имеющими место в различным образом замкнутых и разомкнутых схемах, получим при этом:

$$F = F_{a,b,\ldots,k} + f[a]_{\underline{a}}a + f[b]_{\underline{b}}b + \cdots + f[k]_{\underline{k}}k,$$

где $F_{a,b,\ldots,k}$ — первоначальная схема с разомкнутыми цепями в местах присоединения начальных элементов и $f[a]_{\underline{a}}$, $f[b]_{\underline{b}}$ — цепи, проходящие через последние.

Однако $F_{a,b,\ldots,k} = 0$, так как при размыкании цепей всех начальных элементов схема окажется отсоединенной от входной точки, и ток через нее протекать не может. Поэтому:

$$F = f[a]_{\underline{a}}a + f[b]_{\underline{b}}b + \cdots + f[k]_{\underline{k}}k.$$

Для того чтобы получить из этого выражения цепи, проходящие через какой-нибудь один из начальных элементов, предположим элемент $a$, нужно приравнять нулю элементы $b, \ldots, k$ и единице сам элемент $a$. Тогда:

$$F = f[a]_a.$$

Приравнивание какого-либо элемента нулю в действительной схеме соответствует разрыву цепи в том месте, где этот элемент присоединен, а приравнивание единице соответствует замыканию его накоротко. Записывая это в символике различным образом замкнутых и разомкнутых схем, получим:

$$f\,[a]_{\underline{a}} = F_{\underline{a},\, b,\, \ldots,\, k}.$$

Аналогично:

$$
\begin{aligned}
& f\,[b]_{\underline{b}} = F_{a,\, \underline{b},\, \ldots,\, k}, \\
& \ldots\ldots\ldots\ldots \\
& \ldots\ldots\ldots\ldots \\
& f\,[k]_{\underline{k}} = F_{a,\, b,\, \ldots,\, \underline{k}}.
\end{aligned}
\tag{3}
$$

Для иллюстрации применения приведенной выше методики рассмотрим пример. Пусть имеется схема, представленная на рис. 2, и требуется определить условия работы исполнительных элементов $X$, $Y$ и $V$. Известно, что при последовательном соединении $V$ с $X$ и $Y$ срабатывает только $V$, для срабатывания же $X$ и $Y$ на них нужно подать напряжение помимо $V$, т. е. что $X$ и $Y$ представляют для $V$ всегда замкнутые цепи, в то время как $V$ представляет для $X$ и $Y$, наоборот, всегда разомкнутую цепь.

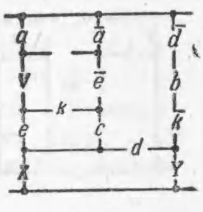

Рис. 2. Пример разложения схемы

Для выделения цепей, проходящих через $X$ и $Y$, закоротим, в соответствии с (3), сперва $X$ и разорвем $Y$, а затем, наоборот, закоротим $Y$ и разорвем $X$ (рис. 3, *А* и 3, *Б*). Элемент $V$, как указывалось выше, представляет для $X$ и $Y$ всегда разомкнутую цепь. Поэтому для получения условий срабатывания элементов $X$ и $Y$ схемы рис. 3, *А*

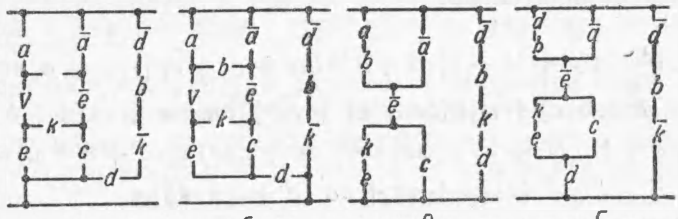

Рис. 3. Схемы, иллюстрирующие выделение цепей, воздействующих на элементы $X$ и $Y$

и 3, *Б* нужно разорвать в месте включения элемента $V$. В окончательно полученных схемах рис. 3, *В* и 3, *Г* для элементов $X$ и $Y$ имеются только последовательные цепи. Записывая их аналитически и производя соответствующие преобразования, получим условия работы этих элементов в следующем виде:

$$F_{(X)} = (ab + \overline{a})\,\overline{e}\,(ke + c) + \overline{d}b\overline{k}d = (b + \overline{a})\,\overline{e}c,$$

$$F_{(Y)} = (ab + \overline{a})\,\overline{e}\,(ke + c)\,d + \overline{d}b\overline{k} = (b + \overline{a})\,\overline{e}cd + \overline{d}b\overline{k}.$$

Для определения условий работы элемента $V$ элементы $X$ и $Y$, в соответствии со сказанным выше, должны быть замкнуты накоротко.

Получающаяся при этом схема (рис. 4, *А*) представляет собой параллельное соединение цепи $\bar d \bar b k$ и некоторой схемы класса Н, внутри которой включен элемент $V$. В соответствии с (2), определим $F_V$ и $F_{\bar V}$.

Схема $F_{\bar V}$, представленная на рис. 4, *Б*, является схемой класса П и может быть записана аналитически в виде:

$$F_{\bar V} = (ab + \bar a)\,\bar e\,(ke + c) = (b + \bar a)\,\bar e c.$$

Схема $F_V$, представленная на рис. 4, *В*, является схемой класса Н. Для преобразования ее в схему класса П выделим в ней цепи, проходящие через элементы $a$ и $\bar a$ (рис. 4, *Г*). Правая часть этой схемы является опять схемой класса Н. Выделяя в ней повторно цепи, проходящие через $b$ и $\bar e$, которые можно рассматривать как начальные элементы схемы, последовательно соединенной с $\bar a$, получим окончательно схему рис. 4, *Д*. Таким образом будем иметь:

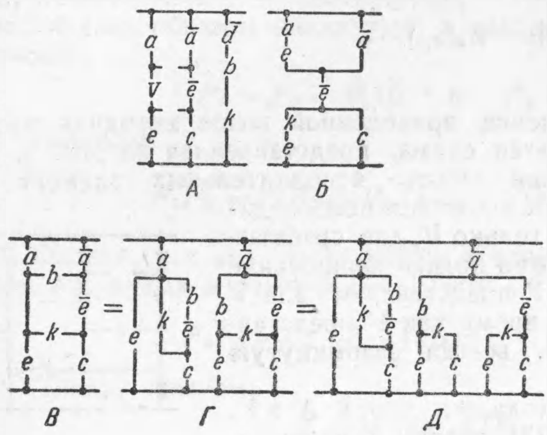

Рис. 4. Схемы, иллюстрирующие выделение цепей, воздействующих на элемент $V$

$$F_V = a\,[e + (k + b\bar e)\,c] + \bar{\bar a}\,[b\,(kc + e) + \bar e\,(ke + c)] = a\,[e + (k + b)\,c] + \bar a\,[b(kc + e) + \bar e c].$$

Учитывая имеющуюся в первоначальной схеме параллельную цепь $\bar d \bar b k$, получим окончательно:

$$F_{(V)} = F_V \overline{F}_{\bar V} = \{a\,[e + (k + b)\,c] + \bar a\,[b\,(kc + e) + \bar e c]\}\,\overline{[(b + \bar a)\,\bar e c + \bar d \bar b k]} =$$

$$= \{a\,[e + (k + b)\,c] + \bar a\,[b\,(kc + e) + \bar e c]\}\,(\bar b a + e + \bar c)\,(d + \bar b + k) =$$

$$= [(e + kc)\,\bar b a + (a + \bar a b)\,e + (ae + \bar a b e)\,\bar c]\,(d + \bar b + k) =$$

$$= (a\bar b kc + ae + be)\,(d + \bar b + k) =$$

$$= \bar a bkcd + aed + bed + a\bar b kc + ae\bar b + a\bar b kc + aek + bek =$$

$$= (ae + be)(d + k) + a\bar b\,(e + ck).$$

Поступило
8 VII 1949

## ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

[1] М. А. Гаврилов, Электричество, № 4, 5 (1947). [2] М. А. Гаврилов, Автоматика и телемеханика, № 2, 89 (1947).