



ческих параметров мостика. (Так например, если отдельные плечи мостика состоят из последовательного соединения индуктивности  $L_k$ , омического сопротивления  $r_k$ , то  $a_k = L_k p + r_k$ ,  $p = d/dt$ ; при последовательном включении  $L_k, r_k, C_k$   $a_k = L_k p + r_k + 1/pC_k$ ).

Введем обозначения:  $x_1 = i_1$ ;  $x_2 = i_2$ ;  $x_3 = i_3$ ;  $x_2 - x_1 = i_4$ ;  $x_3 + x_1 = i_5$ . Тогда система (1) принимает вид:

$$\begin{aligned} (a_1 + a_3)x_1 + a_2x_2 + a_5x_3 &= f(t), \\ a_1x_1 + a_2x_2 - a_3x_3 &= 0, \\ (a_1 + a_4 + a_5)x_1 - a_4x_2 + a_5x_3 &= 0. \end{aligned} \quad (2)$$

В этой системе предполагается, что главный определитель  $\Delta = |a_{kj}|$  не тождественен нулю.

Решая совместно уравнения системы (2), находим:

$$x_1 = \frac{f(t)D_{11}}{\Delta}, \quad D_{11} - \text{минор.}$$

Критерием абсолютной инвариантности для  $x_1$  служит тождество  $D_{11} = 0$ .

Для тождественного уничтожения минора  $D_{11}$  необходимо электрические параметры мостика подобрать так, чтобы

$$a_2a_5 - a_3a_4 = 0.$$

Это достигается выполнением следующего условия:

$$\frac{L_2}{L_3} = \frac{L_4}{L_5} = \frac{r_2}{r_3} = \frac{r_4}{r_5} = \frac{C_3}{C_2} = \frac{C_5}{C_4}.$$

Подобрав таким образом параметры плеч мостика, можно легко убедиться, что ток в диагонали  $cd$  протекать не будет при любом постоянном или изменяющемся напряжении на другой диагонали мостика.

На принципе инвариантности построен также и двойной мостик Томсона, действительная и эквивалентная схемы которого изображены на рис. 2 а, б.

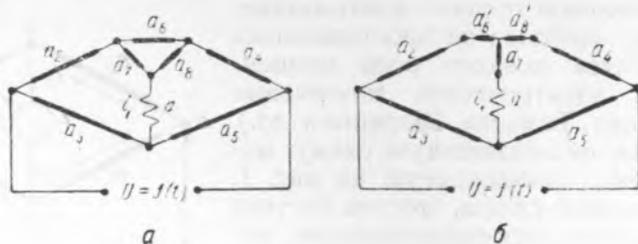


Рис. 2

Пусть теперь имеется система (3). Развивая идеи Н. Н. Лузина и П. И. Кузнецова, можно найти для системы (3), находящейся под одновременным влиянием нескольких возмущений, такие условия, при которых любая координата  $x_i$  становится независимой от одной, нескольких или всех одновременно действующих на всю систему возмущений.

$$\begin{aligned} a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + \dots + a_{1n}x_n &= f_1(t), \\ a_{21}x_1 + a_{22}x_2 + \dots + a_{2n}x_n &= f_2(t), \\ \dots & \\ a_{n1}x_1 + a_{n2}x_2 + \dots + a_{nn}x_n &= f_n(t), \end{aligned} \quad (3)$$

где  $a_{ij}$  — операторные многочлены с постоянными коэффициентами,  $f_i(t)$  — произвольные аналитические функции. Мы предполагаем, что главный определитель  $\Delta$  системы (3) не тождественен нулю.

Здесь критерием инвариантности для  $x_i$  в отношении отдельных возмущений также является тождественное уничтожение миноров соответствующих элементов.

На основе этого принципа нами предложена специальная схема, позволяющая автоматически или дистанционно регулировать скорость вращения электродвигателя постоянного тока с независимым или постоянным возбуждением (магнитным потоком). Эта схема изображена на рис. 3а.

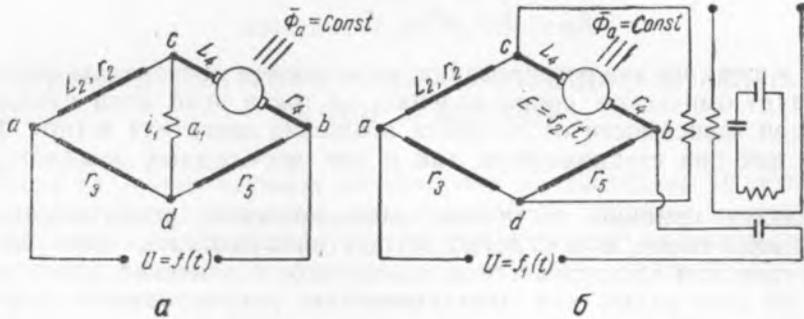


Рис. 3

Как видно из рис. 3а, в этой схеме якорь двигателя  $M$  включен в одно из плеч мостика; в соседнее плечо введены индуктивность  $L_2$  и омическое сопротивление  $r_2$ ; два другие плеча собраны из омических сопротивлений  $r_3, r_5$ ; к диагонали  $ab$  подведен источник питания с напряжением  $U$ ; в диагональ  $cd$  включена цепь реле или органа реагирования. Электрические процессы в этой схеме описываются системой дифференциальных уравнений

$$\begin{aligned} (a_1 + a_5)x_1 + a_2x_2 + a_5x_3 &= U(t) = f_1(t), \\ (a_1 + a_4 + a_5)x_1 - a_4x_2 + a_5x_3 &= E = f_2(t), \\ a_1x_1 + a_2x_2 - a_3x_3 &= 0. \end{aligned} \quad (4)$$

Здесь означают:  $a_k$  — операторные многочлены с постоянными коэффициентами, зависящими от электрических параметров отдельных участков мостика и цепи якоря двигателя;  $U(t)$  — напряжение, приложенное к мосту;  $E$  — эдс, наводящаяся в якоре при вращении двигателя.

Решая систему уравнений (4), находим, что ток в цепи диагонали  $cd$  получается

$$i_1 = x_1 = \frac{f_1(t)D_{11} + f_2(t)D_{12}}{\Delta},$$

где

$$\begin{aligned} D_{11} &= \begin{vmatrix} -a_4 & a_5 \\ a_2 & -a_3 \end{vmatrix}, & D_{12} &= \begin{vmatrix} a_2 & a_5 \\ a_2 & -a_3 \end{vmatrix}, \\ \Delta &= \begin{vmatrix} a_1 + a_5 & a_2 & a_5 \\ a_1 + a_4 + a_5 & -a_4 & a_5 \\ a_1 & a_2 & -a_3 \end{vmatrix} \neq 0. \end{aligned}$$

При автоматическом или дистанционном регулировании скорости вращения электродвигателя необходимо цепь реле или орган реагирования поставить под действие лишь эдс якоря, которая при  $\Phi_a = \text{const}$  пропорциональна скорости вращения  $n$ ; с этой целью необходимо исключить влияние тока в цепи якоря двигателя, зависящего от напряжения и нагрузки.

Легко понять, что при  $D_{11} \equiv 0$  ток  $i_1$  в цепи органа реагирования или реле получается независимым от тока якоря и напряжения  $U(t)$ .

Тожественное уничтожение минора  $D_{11}$  достигается подбором плеч таким образом, чтобы

$$\frac{L_2}{L_4} = \frac{r_2}{r_4} = \frac{r_3}{r_5}.$$

Если в цепи органа реагирования, являющейся диагональю мостика, превалирует омическое сопротивление, то ток в этой цепи находится в линейной зависимости от скорости вращения двигателя  $n$  (при  $\Phi_a = \text{const}$ ) как при стационарных, так и при переходных режимах двигателя.

Используя принцип частичной инвариантности, реализованный в предложенной схеме, можно легко осуществить автоматизацию регулирования скорости вращения или дистанционное управление двигателем. На рис. 3б дана схема для дистанционного регулирования скорости вращения двигателя импульсным методом.

Эта схема опробована и дала хорошие результаты. Приведенные выше конкретные примеры показывают, что принцип частичной или полной инвариантности, или компенсации влияния возмущений на одну из координат линейных систем применим к физическим реальным устройствам, и установленные критерии инвариантности позволяют создать методы точного расчета физических и конструктивных параметров этих устройств.

Поступило  
17 II 1948

#### ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- <sup>1</sup> Н. Н. Лузин, Автоматика и телемеханика, № 5 (1940). <sup>2</sup> Н. Н. Лузин и П. И. Кузнецов, ДАН, 51, №№ 4, 5 (1946).