

К РАСЧЕТУ МИКРОФОННОЙ ЦЕПИ

Н. П. ДОВГАНОВСКИЙ, Г. Е. ПУХОВ

Расчет цепей с переменными параметрами по методу цепочек [1] ведется при помощи матричного уравнения

$$R(t_s) = \zeta(\tau_s)\zeta(\tau_{s-1}) \dots \zeta(\tau_1)R(t_0) = \zeta(t_s)R(t_0), \quad (1)$$

в котором $R(t_k)$ — представляет удлиненный вектор непрерывных переменных для момента времени $t_k (k = s_1s-1, \dots, 1)$, $\zeta(\tau_k)$ — удлиненные параметры процесса в цепи для k -того интервала и, наконец $\zeta(t_s)$ — удлиненный

параметр процесса продолжительностью $t_s - t_0 = \sum_{k=s}^1 \tau_k$.

Пусть микрофонная цепь (фиг. 1) описывается уравнением

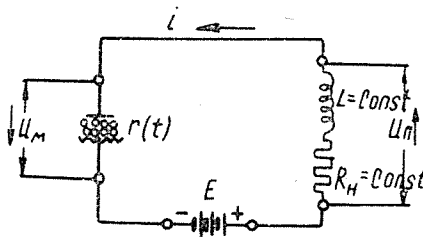
$$L \frac{di}{dt} + r(t)i = E, \quad (2)$$

где

$$r(t) = R - r \cos \omega t = R(1 - \lambda \cos \omega t),$$

причем

$$R = R_m + R_n \text{ и } \lambda = \frac{r}{R}.$$



Фиг. 1

Для малого интервала времени τ_k уравнение (2) запишется в виде:

$$L \frac{i(t_k) - i(t_{k-1})}{\tau_k} = -\frac{1}{2} \left[r(t_{k-1})i(t_{k-1}) + r(t_k)i(t_k) \right] + E. \quad (3)$$

Решая (3) относительно тока $i_k = i(t_k)$, получаем

$$i_k = \frac{1 - \frac{\partial_{k-1}\tau_k}{2}}{1 + \frac{\partial_k\tau_k}{2}} i_{k-1} + \frac{\tau_k}{1 + \frac{\partial_k\tau_k}{2}} \cdot \frac{E}{L}, \quad (4)$$

где

$$\delta_k = \frac{r(t_k)}{L} \text{ и } \delta_{k-1} = \frac{r(t_{k-1})}{L}.$$

Следовательно, для микрофонной цепи величины $R(t)$, $\zeta(\tau_k)$ и $\zeta(t_k)$ равны:

$$R(t) = \begin{bmatrix} i \\ 1 \end{bmatrix}, \quad \zeta(\tau_k) = \begin{bmatrix} 1 - \frac{\delta_{k-1}\tau_k}{2} & \frac{\tau_k}{1 + \frac{\delta_k\tau_k}{2}} \frac{E}{L} \\ 0 & 1 \end{bmatrix}, \quad \zeta(t_k) = \begin{bmatrix} \zeta(t_k) & \zeta_0(t_k) \\ 0 & 1 \end{bmatrix}, \quad (5)$$

Вектор $R(t)$ можно назвать удлиненным вектором тока цепи.

Уравнение (1) равно справедливо как для установившегося, так и переходного режимов цепи. Только в первом случае следует вместо $R(t_s)$ подставить вектор R_0 , равный значению $R(t)$ в начале цикла установившегося режима. Этот вектор вычисляется по формуле [1]:

$$R_0 = \frac{\begin{bmatrix} [1 - \zeta(T)]^{-1} \zeta_0(T) \\ 1 \end{bmatrix}}{1}, \quad (6)$$

после предварительного определения параметров $\zeta(T)$ и $\zeta_0(T)$ из выражения

$$\zeta(T) = \prod_{k=1}^l \zeta(\tau_k) = \begin{bmatrix} \zeta(T) & \zeta_0(T) \\ 0 & 1 \end{bmatrix}, \quad (7)$$

где l представляет число интервалов, на которое разделен цикл $\left(T = \frac{2\pi}{\omega}\right)$.

Покажем применение приведенных зависимостей на примере расчета конкретной цепи.

Пример. Вычислим ток угольного микрофона для переходного и установившегося режимов при следующих параметрах: $E = 1,5 \text{ в}$, $R_n = 2 \text{ ом}$, $R_m = 100 \text{ ом}$, $r = 50 \text{ ом}$, $f = 800 \text{ гц}$, $L = 5 \cdot 10^{-3} \text{ гн}$, значения которых заимствованы из [3].

1. Определяем величины, входящие в уравнение микрофонной цепи: $R = R_m + R_n = 102 \text{ ом}$, $\omega = 2\pi f = 5 \cdot 10^3 \text{ сек}^{-1}$

$$\lambda = \frac{r}{R} = 0,49.$$

2. Разделяем период (T) изменения $r(t)$ на n (допустим 12) одинаковых интервалов продолжительностью

$$\tau_k = \tau = \frac{T}{n} = \frac{2\pi}{\omega n} = 1,047 \cdot 10^{-4} \text{ сек}.$$

3. Определяем удлиненные параметры процесса в цепи для всех интервалов цикла

$$\zeta(\tau_1) = \begin{bmatrix} 1 - \frac{\delta_0\tau}{2} & \frac{\tau}{1 + \frac{\delta_1\tau}{2}} \frac{E}{L} \\ 0 & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0,28201 & 0,01945 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}$$

и так далее (см. второй столбец таблицы).

Расчет тока микрофонной цепи

Таблица

K	$\zeta(\tau_k)$		$\zeta(t_k)$		$R(t_k)$ в первом цикле	$R(t_k)$ во втором цикле	Ток во 2 цик- ле, определен- ный по мето- ду Яковлева и по методу цепочек при $\omega\tau = \frac{\pi}{18}$
1	2		3		4	5	6
1	0,28201 0	0,01945 1	0,28201 0	0,01945 1	0,01945 1	0,02671 1	0,02692 1
2	0,21325 0	0,01739 1	0,06014 0	0,02154 1	0,02154 1	0,02309 1	0,02303 1
3	0,09366 0	0,01519 1	0,00563 0	0,01701 1	0,01701 1	0,01715 1	0,01724 1
4	-0,02917 0	0,01348 1	-0,00016 0	0,01298 1	0,01298 1	0,01298 1	0,01302 1
5	-0,13073 0	0,01245 1	+0,00002 0	0,01075 1	0,01075 1	0,01075 1	0,01082 1
6	-0,20110 0	0,01212 1	0,00000 0	0,00996 1	0,00996 1	0,00996 1	0,00999 1
7	-0,23451 0	0,01245 1	0,00000 0	0,01011 1	0,01011 1	0,01011 1	0,01016 1
8	-0,22369 0	0,01348 1	0,00000 0	0,01122 1	0,01122 1	0,01122 1	0,01125 1
9	-0,15998 0	0,01519 1	0,00000 0	0,01340 1	0,01340 1	0,01340 1	0,01343 1
10	-0,03762 0	0,01739 1	0,00000 0	0,01689 1	0,01689 1	0,01689 1	0,01693 1
11	0,11996 0	0,01945 1	0,00000 0	0,02148 1	0,02148 1	0,02148 1	0,02160 1
12	0,24938 0	0,02036 1	0,00000 0	0,02573 1	0,02573 1	0,02573 1	0,02595 1

4. Находим удлиненные параметры для промежутков времени

$$t_1, t_2, \dots, t_{12}:$$

$$\zeta(t_1) = \zeta(\tau_1), \zeta(t_2) = \zeta(\tau_2) \zeta(t_1) =$$

$$= \begin{bmatrix} 0,21325 & 0,01739 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 0,28201 & 0,01945 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0,06014 & 0,02154 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}$$

и так далее (см. третий столбец таблицы).

5. На основании уравнения (1) определяем токи в конце каждого интервала первого цикла неустойчившегося режима.

$$\text{Принимая } R(t_0) = \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \end{bmatrix}, \text{ так как при } t=0 \ i_{t=0}=0, \text{ замечаем далее}$$

$$\text{что } R(t_k) = \begin{bmatrix} \zeta(t_k) & \zeta_0(t_k) \\ 0 & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & \zeta_0(t_k) \\ 1 & 1 \end{bmatrix}.$$

Таким образом, искомые токи фактически уже вычислены и равны $i_1 = 0,01945 a$, $i_2 = 0,02154 a$ и т.д. (см. третий и четвертый столбцы таблицы).

6. Определяем токи в конце каждого интервала второго цикла, учитывая,

$$\text{вая, что для него вектор } R(t_0) = \begin{bmatrix} 0,02573 \\ 1 \end{bmatrix} \text{ — равен удлиненному вектору}$$

тока двенадцатого интервала первого цикла установившегося режима. Имеем:

$$R(t_1) = \zeta(t_1) R(t_0) = \begin{bmatrix} 0,28201 & 0,01945 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} 0,02573 \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0,02671 \\ 1 \end{bmatrix}, i_1 = 0,02671 a,$$

$$R(t_2) = \zeta(t_2) R(t_0) = \begin{bmatrix} 0,06014 & 0,02154 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} 0,02573 \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0,02309 \\ 1 \end{bmatrix}, i_2 = 0,02309 a$$

и т.д. (см. пятый столбец таблицы).

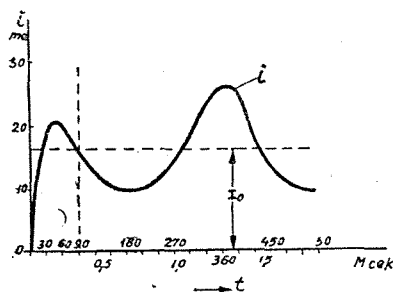
7. Определим ток цепи в установившемся режиме. Поскольку $T = t_{12}$ и

$$\xi(t_{12}) = \begin{bmatrix} 0,00000 & 0,02573 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}, \text{ то } \zeta(T) = 0,00000 \text{ и } \zeta_0(T) = 0,02573 a$$

$$\text{и поэтому } R_0 = \begin{bmatrix} [1 - 0,00000]^{-1} \cdot 0,02573 \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0,02573 \\ 1 \end{bmatrix}.$$

Так как R_0 равно $R(t_0)$ для второго цикла, то ток в цепи в установившемся режиме будет изменяться по тому же закону, что и во втором цикле (см. пятый столбец таблицы).

График тока $i = i(t)$ приведен на фиг. 2. Заметим, что если интервал Δt принять равным $\frac{\pi}{18}$ (т. е. 10°), то результаты расчета совпадут с по-



Фиг. 2

лученными для данного примера [3] А. И. Яковлевым (см. шестой столбец таблицы).

ЛИТЕРАТУРА

1. Пухов Г. Е. Расчет электрической цепи со ступенчато-переменным сопротивлением (печатается в настоящем томе Известий ТПИ).
2. Яковлев А. И. Задача о токе микрофонной цепи. Труды МЭИ, 1948.
3. Яковлев А. И. Расчеты токов угольного и конденсаторного микрофона, Сборник трудов ВЗЭИ, 1951.