

Решая систему относительно токов, получаем

$$i^*(p) = \frac{E^* + [E^* - U_c^*(0)] R_H p C}{R_i R_H p C + R_i + R_H},$$

$$i_c^*(p) = p C \frac{R_i U_c^*(0) - [E^* - U_c^*(0)] R_H}{R_i R_H p C + R_i + R_H},$$

$$i_H^*(p) = \frac{E^* + p C R_i U_c^*(0)}{p C R_i R_H + R_i + R_H}.$$

Напряжение на ёмкости определится как

$$U_c^*(p) = R_H \cdot i_H^*(p).$$

Для перехода к оригиналам используем теорему разложения в виде

$$f(t) = \frac{N(0)}{M(0)} + \sum_{k=1}^n \frac{N(p_k)}{p_k M'(p_k)} e^{p_k t}.$$

Представим каждую из искомых функций [напр. $i^*(p)$] в виде

$$\Psi(p) = \frac{N(p)}{M(p)},$$

имеем: корень уравнения $M(p) = 0$ будет $p_k = p = -\frac{R_i + R_H}{C R_i R_H}$,

$$M'(p) = C R_i R_H; \quad M'(p_k) \cdot p_k = -(R_i + R_H); \quad M(0) = R_i + R_H$$

для всех функций.

Определяя $N(0)$ и $N(p_k)$ для каждой искомой величины, после подстановки и преобразований получаем оригиналы функций в виде:

$$i^*(t) = \frac{1}{R_i + R_H} \left(E^* + \frac{R_H}{R_i} m^* e^{-\frac{t}{\tau_3}} \right),$$

$$i_c^*(t) = -\frac{m^*}{R_i} e^{-\frac{t}{\tau_3}},$$

¹ См. стр.10-15 в номере econf.rae.ru/article/, должно быть, на единицу меньше № данного файла.

$$i_n^*(t) = \frac{1}{R_i + R_n} (E^* - m^* e^{-\frac{t}{\tau_2}}),$$

$$U_c^*(t) = \frac{R_n}{R_i + R_n} (E^* - m^* e^{-\frac{t}{\tau_2}}),$$

где: $m^* = E^* - U_c^*(0)(1 + \frac{R_i}{R_n})$; $\tau_2 = R_2 C$; $R_2 = \frac{R_i R_n}{R_i + R_n}$.

Для момента времени $t = 0$ имеем:

$$i_n^*(0) = \frac{E^* - U_c^*(0)}{R_i}; \quad i_c^*(0) = \frac{U_c^*(0)}{R_n} - \frac{E^* - U_c^*(0)}{R_i}$$

$$i_n^*(0) = \frac{U_c^*(0)}{R_n}; \quad U_c^*(t=0) = U_c^*(0).$$

Для времени $t \rightarrow \infty$ /установившийся режим/ имеем:

$$i_n^*(\infty) = i_n^*(\infty) = \frac{E^*}{R_i + R_n}; \quad i_c^*(\infty) = 0; \quad U_c^*(\infty) = \frac{E^* R_n}{R_i + R_n}.$$

Перейдем к относительным единицам. Примем, как и ранее, за

базисные величины $i_s = \frac{E^*}{R_i}$ и $U_s = E^*$, тогда $i^* = \frac{i^*(t)}{i_s}$;

$U_c(t) = \frac{U_c^*(t)}{U_s}; E = \frac{E^*}{U_s} = 1$, и выражения для токов и напряжений в

относительных единицах принимают вид:

$$i(t) = \frac{a}{1+a} (1 + \frac{m}{a} e^{-\frac{t}{\tau_2}}), \quad /11/$$

$$i_c(t) = -m e^{-\frac{t}{\tau_2}}, \quad /12/$$

$$i_n(t) = \frac{a}{1+a} (1 - m e^{-\frac{t}{\tau_2}}), \quad /13/$$

$$U_c(t) = \frac{1}{1+a} (1 - m e^{-\frac{t}{\tau_2}}), \quad /14/$$

где: $a = \frac{R_i}{R_n}$; $\tau_2 = R_2 C$; $R_2 = \frac{R_i R_n}{R_i + R_n}$; /14a/

$$m = \frac{m^*}{E^*} = 1 - U_c(0)(1+a); \quad -a \leq m \leq 1$$

или, выражая все величины через $i_c(t)$ имеем:

$$i(t) = \frac{a}{1+a} (1 - \frac{1}{a} i_c(t)), \quad /11'/$$

$$i_c(t) = -m e^{-\frac{t}{\tau_2}}, \quad /12'/$$

$$i_H(t) = \frac{a}{1+a} (1 + i_C(t)); \quad U_H(t) = i_H(t) \cdot R_H / 13'$$

$$U_C(t) = \frac{1}{1+a} (1 + i_C(t)) = \frac{i_H(t)}{a}. \quad /14'/$$

Из /13'/ и /14'/ следует, что зависимости $i_H(t)$ и $U_C(t)$ отличаются только масштабом /коэффициент "а"/.

Для момента включения / $t = 0$ / получаем:

$$i(0) = 1 - U_C(0),$$

$$i_C(0) = -m = (1+a)U_C(0) - 1,$$

$$i_H(0) = a U_C(0).$$

Для установившегося режима / $t \rightarrow \infty$ / имеем

$$i(\infty) = i_H(\infty) = \frac{a}{1+a}; \quad i_C(\infty) = 0;$$

$$U_C(\infty) = \frac{1}{1+a}.$$

Напряжение $U_C(\infty) = E_3$ - есть установившееся напряжение на ёмкости, а, значит, и на нагрузке. Величина E_3 определяется только делителем, состоящим из сопротивлений R_C и R_H , и величиной напряжения источника. E_3 не зависит от других параметров схемы. E_3 изменяется в пределах $0 < E_3 \leq 1$. Случай $E_3 = 1$ означает $R_C = 0$, т.е. включается цепь с $R_C = 0$ и емкостью C , заряженной до величины E^* , на активную нагрузку. Практически $0 < E_3 < 1$.

Анализ выражений /11'/ + /14'/ показывает, что:

а/ все функции изменяются монотонно при $0 < t \leq \infty$;

б/ скачкообразные изменения токов имеют место только в момент $t = 0$;

в/ возможны три принципиально различных режима в зависимости от знака величины "m", т.е. в зависимости от соотно-

шения между начальным напряжением на ёмкости $U_c(0)$ и величиной установившегося на ней / т.е. на нагрузке / напряжения E_3 ,

$$\text{ибо } m = 1 - U_c(0)(1+a) = 1 - \frac{U_c(0)}{k} = 1 - \frac{U_c(0)}{E_3} \cdot k = \frac{1 - U_c(0)}{1+a} E_3$$

Рассмотрим эти режимы.

1/ Режим I в. $m = 0; U_c(0) = E_3$ - (заряда, разряда нет.)

В этом случае переходный процесс отсутствует. Сразу после замыкания ключа K_1 /рис. 5/ /ключ K постоянно замкнут/ имеет место установившийся режим. Ток $i(t)$ после замыкания ключа K_1 остаётся постоянным; ток $i_c(t)$ скачком от величины $i_c(0)^{**} = \Rightarrow [1 - U_c(0)]$ изменяется до нуля; ток $i_H(t)$ скачком возрастает до $i_H(0) = i_H(\infty) = i_c(0)^{**}$. Напряжение на ёмкости не изменяется и остаётся равным $U_c(0) = E_3$. Сказанное иллюстрируется рис. 6.

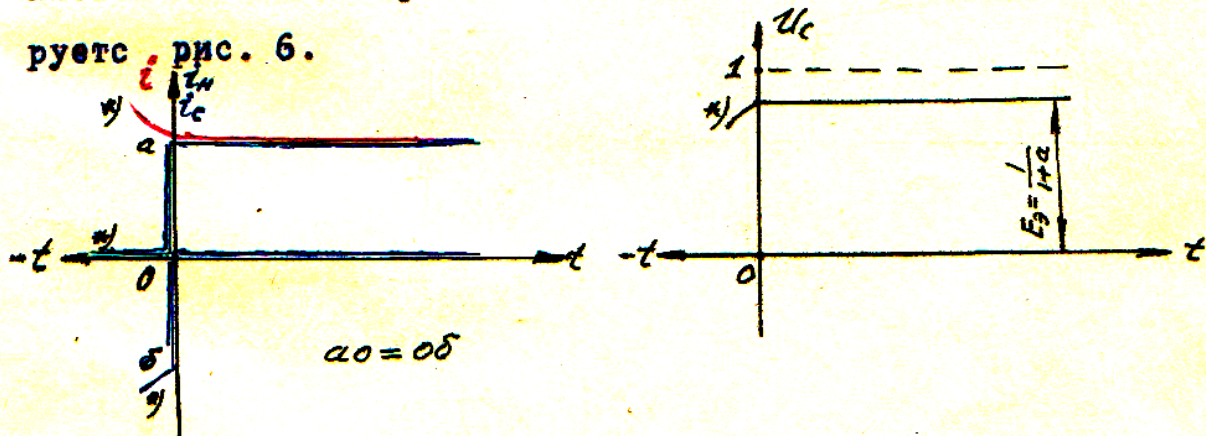


Рис. 6.

До момента $t = 0_+$ имел место заряд ёмкости в соответствии с зависимостями /5/ или /9/.

2/ Режим I б. $m > 0; U_c(0) < E_3$ (Заряд до E_3)

В этом случае идёт подзаряд ёмкости от $U_c(0)$ до напряжения $U_c(\infty) = E_3$; Ток $i_c(t)$ скачком изменяется до величины $i_c(0_+)^{**} = -m = -[1 - (1+a)U_c(0)]$ или величины $i_c(0_+)^{**} = -[1 - U_c(0)]$ и далее экспоненциально /с постоянной времени $\tau_3 = R_3 C$ /

/ см. () на стр. 14. */ см. (*) на стр. 14.

уменьшается до нуля. Ток $i_H(t)$ скачком возрастает от нуля до $i_H(0_+) = a \cdot U_C(0)$ и далее экспоненциально / с той же постоянной времени τ_∂ / , возрастает до установившегося значения $i_H(\infty) = a E_\partial = \frac{a}{1+a} = ak$.

Ток $i(t)$ без скачков уменьшается с той же постоянной времени τ_∂ до величины $i(\infty) = i_H(\infty) = a E_\partial = \frac{a}{1+a} = ak$.

Напряжение на ёмкости нарастает экспоненциально с той же постоянной времени τ_∂ от $U_C(0)$ до величины $U_C(\infty) = E_\partial = \frac{1}{1+a} = k$.

Процессы иллюстрирует рис. 7.

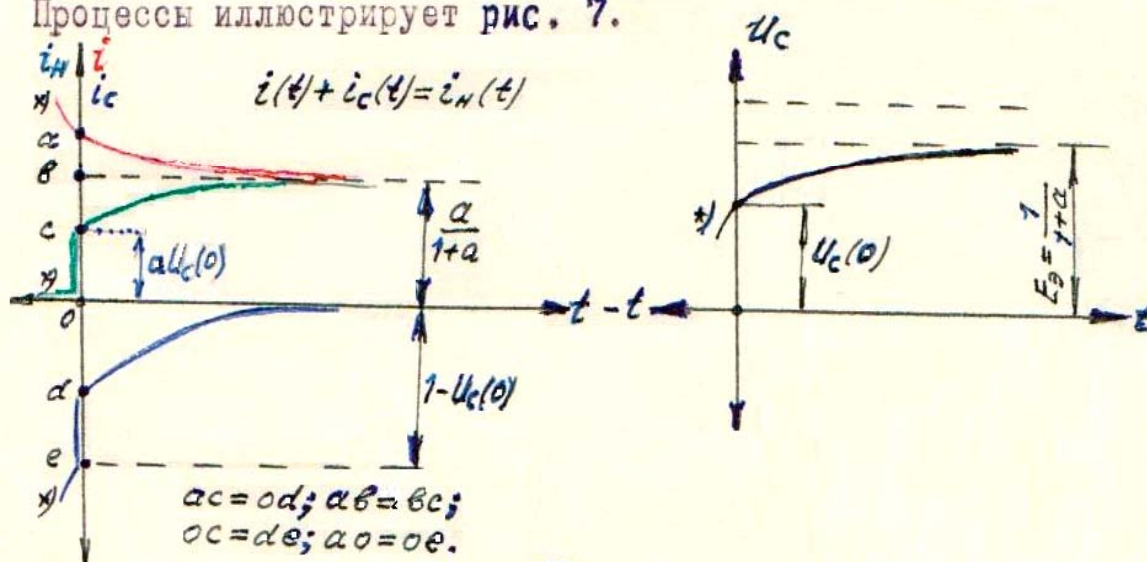


Рис. 7.

*) До момента $t = 0_+$ имел место подзаряд ёмкости в соответствии с зависимостями / 5 / или / 9 /.

***) Знаком / 0_+ / обозначен момент времени непосредственно после включения ключа K_T ; знаком / 0_- / - момент времени непосредственно перед включением ключа K_T .