

а) За время действия импульса t_u получим:

Энергия, выделяющаяся в сопротивлении R_i :

$$A_{R_i, И} = \int_0^{t_u} i^2(t) dt,$$

(знаком "И" отмечены величины за время импульса t_u).

Энергия, выделяющаяся в сопротивлении R_n :

$$A_{R_n, И} = \int_0^{t_u} i_n^2(t) dt.$$

Подставляя значения $i(t)$, $i_n(t)$ из [11] и [13], после интегрирования получаем выражения для $A_{R_i, И}$ и $A_{R_n, И}$.

Вводим в полученные выражения средние значения (за время импульса t_u) токов $i(t)$, $i_n(t)$ и $i_c(t)$, равные

$$I_i^* = \frac{1}{t_u} \int_0^{t_u} i^*(t) dt \quad - \text{ для тока } i(t) \text{ в абсолютных единицах}$$

$$I_{ni}^* = \frac{1}{t_u} \int_0^{t_u} i_n^*(t) dt \quad - \text{ для тока } i_n(t) \text{ в абсолютных единицах}$$

$$I_{ci}^* = \frac{1}{t_u} \int_0^{t_u} i_c^*(t) dt \quad - \text{ для тока } i_c(t) \text{ в абсолютных единицах.}$$

Или в относительных единицах:

$$I_i = \frac{1}{t_u} \int_0^{t_u} i(t) dt; \quad I_{ci} = \frac{1}{t_u} \int_0^{t_u} i_c(t) dt; \quad I_{ni} = \frac{1}{t_u} \int_0^{t_u} i_n(t) dt.$$

Используя эти выражения, после ряда несложных преобразований получаем следующие выражения для энергий:

$$A_{R_i, И} = \frac{t_u a^2}{(1+a)^2} \left[1 - I_{ci} \cdot \frac{2}{a} \left(1 + \frac{m}{2a} \right) + I_{ci}^2 \frac{2^{1+a}}{a^3} \cdot \frac{t_u}{2R_n C} \right] / 27/$$

$$A_{R_n, И} = \frac{t_u a}{(1+a)^2} \left[1 + 2I_{ci} \left(1 - \frac{m}{2} \right) + I_{ci}^2 \frac{t_u (1+a)}{2a R_n C} \right] \quad / 28/$$

где: $I_{ci} = \frac{U_c(0_+) - U_c(t_u)}{t_u} \cdot R_i C$; $a = \frac{R_i}{R_n}$?

$m = 1 - U_c(0_+) (1+a)$; $U_c(0_+)$ - есть напряжение на ёмкости C в начале импульса.

¹ См. стр. 21-26 в номере econf.rae.ru/article/, должно быть, на единицу меньше № данного файла.

Аналогично получаем выражение для энергии, отдаваемой источником за время импульса

$$A_{0и} = I_n t_u; \text{ где: } I_n = \frac{a}{1+a} \left(1 - \frac{1}{a} I_{сн}\right). \quad /29/$$

б) За время паузы t_n энергия в сопротивлении нагрузки не расходуется. / $A_{R_n n} = 0$ /.

Источник отдаёт энергию за паузу

$$A_{0п} = I_n t_n. \quad /30/$$

В сопротивлении R_i расходуется за паузу энергия

$$A_{R_i n} = \frac{t_n}{2} [1 - U_c(0)_n] \left\{ 2I_n - I_n^2 \frac{t_n}{R_i C} [1 - U_c(0)_n] \right\}, \quad /31/$$

где:

$$I_n = \frac{R_i C}{t_n} [U_c(t_n) - U_c(0)_n] \quad \text{— среднее (за время паузы) значение тока } i(t).$$

$U_c(t_n)$ — напряжение на ёмкости в конце паузы (в установившемся импульсном режиме): $U_c(t_n) = U_c(0)_n$, ^{всегда (но только на стыке t_u и t_n)} ~~равно~~, ~~только на~~

$U_c(0)_n$ — напряжение в начале паузы (в установившемся импульсном режиме): $U_c(0)_n = U_c(t_u)$, ^{всегда (только на стыке, а если через период (хотя бы) то не равно)} ~~равно~~, ~~только на~~

в) За полный период $T = t_u + t_n$ источник отдаёт энергию

$$A_{0T} = A_{0и} + A_{0п}. \quad /32/$$

В сопротивлениях R_i и R_n расходуется энергия

$$A_{R_i T} = A_{R_i и} + A_{R_i п}, \quad /33/$$

$$A_{R_n T} = A_{R_n и}. \quad /34/$$

г) Соответствующие мощности определяются как

$$P_{0T} = \frac{A_{0T}}{T}; \quad P_{R_i T} = \frac{A_{R_i T}}{T}; \quad P_{R_n T} = \frac{A_{R_n T}}{T}. \quad /35/$$

И, наконец, КПД схемы определяется как

$$\eta = \frac{P_{R_n T}}{P_{0T}} \cdot 100\% = \frac{A_{R_n T}}{A_{0T}} \cdot 100\%. \quad /36/$$

Отметим далее, что в зависимости входят величины $U_c(0)_и$;

$U_c(t_u)$; $U_c(0)_п$; $U_c(t_n)$, представляющие собой напряжение на ёмко-

ти, соответственно, в начале и в конце импульса и в начале и в конце паузы. В общем случае импульсный режим начинается в любой момент времени, когда первоначальное (в момент первого замыкания ключа K_T) напряжение на ёмкости может быть любым в пределах $U_c(0) = 0 \div 1$ (или в абсолютных единицах $U_c^*(0) = 0 \div E^*$). Далее режим идёт, например, так, как показано на рис. 14, и через определённое время (теоретически через $t = \infty$)

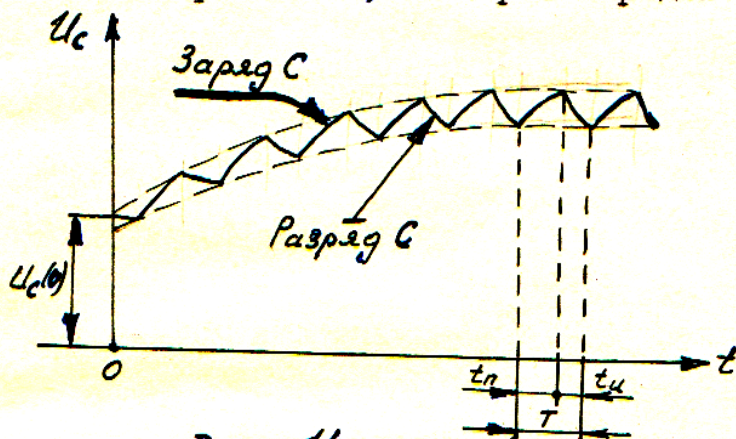


Рис. 14.

переходит в установившийся импульсный режим с периодом T , определяемым частотой размыкания / замыкания / ключа K_T и длительностью импульса t_u . В этом режиме,

как отмечалось, $U_c(0)_n = U_c(t_n)$; $U_c(t_u) = U_c(0)_n$. Для оптимального выбора элементов схемы по заданным параметрам импульса нагрузки необходимо выразить эти величины через параметры схемы. Выберем один период T в установившемся импульсном режиме (рис. 15) и введём обозначения

$$U_c^I(0) = U_c(0)_n = U_c(t_n) = U_c^{II}(T) = U_{max},$$

$$U_c(t_u) = U_c(0)_n = U_{min}.$$

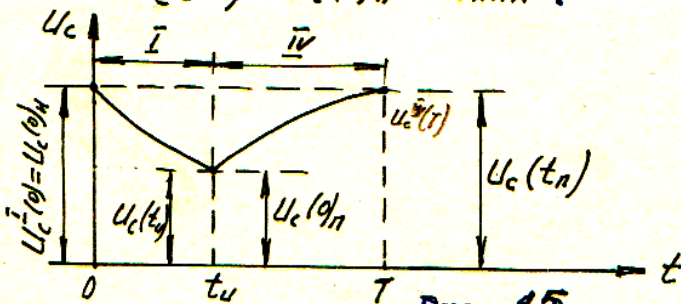


Рис. 15

Для $0 \leq t \leq t_u$ согласно /14/ имеем:

$$U_c^i = \frac{1}{1+a} \left(1 - m e^{-\frac{t}{\tau_2}} \right) \text{ или: } \quad /37/$$

$$U_c^i = \frac{1}{1+a} \left\{ 1 - [1 - U_c^i(0)(1+a)] e^{-\frac{t}{\tau_2}} \right\}$$

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

Для ^{интервала} времени $t_u \leq t \leq T$, согласно /9/ с учётом вы-
бранного на рис. 15 начала координат, получаем:

$$U_c^i(t) = 1 - [1 - U_c(0)_n] e^{-\frac{t-t_u}{R_i C}}, \quad /38/$$

поскольку в установившемся импульсном режиме

$$U_c^i(t_u) = U_c^i(t_n) = U_c(t_u) = U_c(0)_n = U_{min},$$

то из /37/ имеем:

$$U_c^i(t_u) = U_{min} = \frac{1}{1+a} \left\{ 1 - [1 - U_c^i(0)(1+a)] e^{-\frac{t_u}{\tau_2}} \right\} = U_c(0)_n. \quad /39/$$

Подставляя это значение в /38/, получим

$$U_c^i(t) = 1 - \left\{ 1 - \frac{1}{1+a} [1 - (1 - U_c^i(0)(1+a)) e^{-\frac{t_u}{\tau_2}}] \right\} e^{-\frac{t-t_u}{R_i C}}. \quad /40/$$

Так как в установившемся импульсном режиме

$$U_c^i(0) = U_c(0)_u = U_c^i(T) = U_c(t_n) = U_{max}$$

то из /37/ и /39/ получаем

$$\frac{1}{1+a} \left\{ 1 - [1 - U_c^i(0)(1+a)] \right\} = 1 - \left\{ 1 - \frac{1}{1+a} [1 - (1 - U_c^i(0)(1+a)) e^{-\frac{t_u}{\tau_2}}] \right\} e^{-\frac{T-t_u}{R_i C}},$$

откуда находим

$$U_c^i(0) = \frac{1 - e^{-\frac{T-t_u}{R_i C}} + \frac{1}{1+a} (1 - e^{-\frac{t_u}{R_2 C}}) e^{-\frac{T-t_u}{R_i C}}}{1 - e^{-\left(\frac{t_u}{R_2 C} + \frac{T-t_u}{R_i C}\right)}} = U_{max}. \quad /41/$$

По выражению /41/ можно определить U_{max} и затем по /39/ - U_{min} .

Приведём эти выражения к более удобному виду, введя (как и ранее):

$$k = \frac{1}{1+a}; \quad \tau = R_i C; \quad \tau_2 = R_2 C = k\tau; \quad t_n = T - t_u;$$

$$\text{где: } a = \frac{R_i}{R_n}; \quad R_2 = \frac{R_i R_n}{R_i + R_n}.$$

Тогда выражения (41) и (39) примут вид:

$$U_{max} = \frac{1 - [1 - k(1 - e^{-\frac{t_u}{k\tau}})] e^{-\frac{t_n}{\tau}}}{1 - e^{-\frac{t_u}{k\tau}} \cdot e^{-\frac{t_n}{\tau}}}, \quad (42)$$

$\alpha_c = \alpha_u + \alpha_n$

$$U_{min} = k \left[1 - \left(1 - \frac{1}{k} U_{max} \right) e^{-\frac{t_u}{k\tau}} \right]. \quad (43)$$

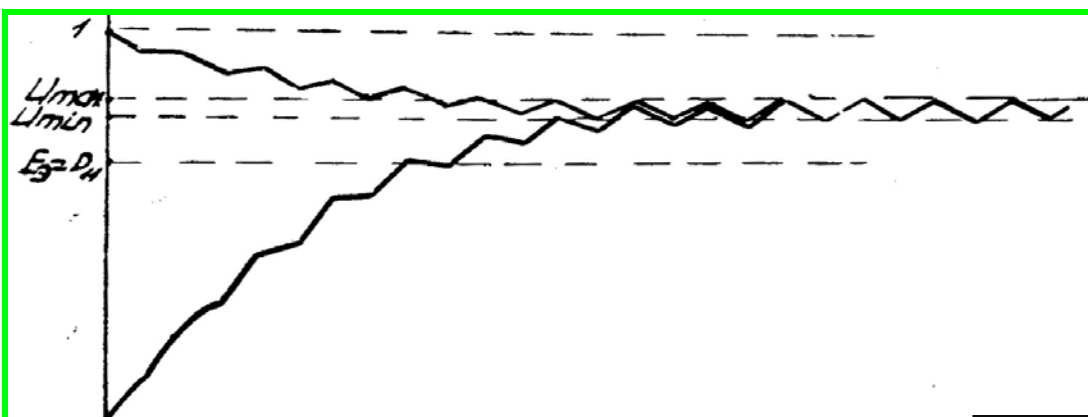
прибавив член k в числителе выпр. (42), после преобразования имеем:
 (42') $U_{max} = k + (1-k) \frac{1 - e^{-\alpha_n t_n}}{1 - e^{-\alpha_n t_n} \cdot e^{-\alpha_u t_u}}$ Подставив в (43) то же, умноженное на $e^{-\alpha_u t_u}$, получим без U_{max} :

Дальнейшее развитие работы с точки зрения выбора оптимальных режимов, анализа переходного импульсного режима схемы предполагается провести во второй части.

$$U_{min} = k + (1-k) \frac{1 - e^{-\alpha_n t_n}}{1 - e^{-\alpha_c t_n}} e^{-\alpha_u t_u}. \quad (43')$$

ВЫВОДЫ

Проведённое исследование режимов работы схемы и полученные соотношения позволяют рассчитывать устройства, реальная электрическая схема которых может быть заменена эквивалентной схемой рис. 1. К таким устройствам, кроме выпрямителей с ёмкостью на выходе, могут быть отнесены элементы вычислительных машин, генераторов СВЧ, стабилизаторов напряжения и тока, фильтров и т.д.



Продолжение следует.

© А.М. Репин. 1966, -67, -68, -69. 6.9.2015.