установления для $U_{min}[n]$ находится ниже уровня установления $U_{max}[n]$ также на величину Δ.

Следовательно, "огибающие" $U_{max}[n]$ и $U_{min}[n]$ по форме одинаковы, только сдвинуты относительно друг друга на величину Δ по оси ординат для каждого значения времени.

Отсюда вытекают два важных вывода:

1. Время установления "огибающих" для одинаковой абсолютной величины недостижения своих уровней установления одинаково. Следует отметить, что в литературе (например Л8) ошибочно указывается, что время установления "огибающих" максимумов и минимумов разное.

2. Достаточно анализировать одну "огибающую" (например, максимумов), чтобы отнести результаты к другой.

Выражение (41) показывает, что "огибающая" изменяется по экспоненциальному закону.

Не трудно убедиться, что выражение (41) аналогично выражению (17) части I. Отсюда следует, что при начальных условиях $U_c(0) < U_{max}$ форма "огибающей" соответствует подзаряду (при $U_c(0) = 0$ – заряду) ёмкости через активное сопротивление от источника напряжения величиной U_{max}. При $U_c(0) > U_{max}$ происходит как бы "разряд" ёмкости, стремящийся к значению U_{max}.

Для граничных начальных условий $U_c(0) = 0$ и $U_c(0) = 1$ сказанное об "огибающих" иллюстрирует фиг.10. Для начальных условий, лежащих в интервале от 0 до 1, формы огибающих получаются из приведенных, если перенести начало координат по оси времени $\bar{t}$. Например, для $U_c(0) = 0{,}5$ значение $\bar{t}_н = 0$ для нового начала оси времени имеем в точке $\bar{t} = \bar{t}_1$.

Для "огибающей минимумов", кроме того, можно найти ещё две характерные точки. А именно; величину напряжения первого минимума для нулевых начальных условий включения импульсной работы, т.е. когда $n = 0$ в выражении для минимумов (выр.40), и напротив, значение n, когда $U_{min}[n] = 0$, т.е. точку пересечения "огибающей минимумов" с единой осью времени.

Значение первого минимума для нулевых ($U_c(0)=0$) начальных условий - $U^0_{min}[1]$ легко находится из выражения "огибающей минимумов", приведенного к единому началу оси времени, (выр.42) при величине $n=s$ ($U^0_{min}[s]_{\bar{t}}$). Значение $U^0_{min}[1]$ удобнее найти не из выр. 40 ($U^0_{min}[0]$), а путём подстановки выражений (37), (38) в формулу для $U^0_{min}[n]_{\bar{t}}$ (выр.44).

После простых преобразований величина первого минимума для нулевых начальных условий будет равна:

$$\underset{\text{выр.44.}}{U^0_{min}[1]} = \underset{\text{выр.40.}}{U^0_{min}[0]} = \underset{\text{выр.42.}}{U^0_{min}[S]_{\bar{t}}} = \bar{R}_н + Ae^{-\alpha_э} - (\bar{R}_н + A)e^{-\alpha_э} = \bar{R}_н(1-e^{-\alpha_э}). \quad (48)$$

Выражения (40), (42), (44) выведены из одного выр.26. Естественно поэтому они дали одинаковый результат (выр.48).

Проверить этот результат можно следующим образом. Во время первого импульса происходит заряд ёмкости с постоянной времени $\tau_э$. При этом конденсатор стремится зарядиться до напряжения $E_э$, величина которого находится по теореме об эквивалентном генераторе и в относительных единицах равна $\bar{R}_н$. Заряд происходит по экспоненте:

$$U_c(t) = E_э\left(1-e^{-\frac{t}{\tau_э}}\right)$$

К концу импульса (при $t = t_и$) имеем искомый минимум:

$$U^0_{min}[1] = U_c(t)_{t=t_и} = \bar{R}_н\left(1-e^{-\frac{t_и}{\tau_э}}\right) = \bar{R}_н(1-e^{-\alpha_э}).$$

Точка пересечения "огибающей минимумов" n_0 с осью времени (для единого начала оси времени) находится из равенства нулю выражения (44) - $U^0_{min}[n]_{\bar{t}} = 0$:

$$n_0 = \frac{1}{\alpha}\ln\frac{U_{max}}{U_{min}} = \frac{1}{\alpha}\ln\frac{1}{\xi} = \frac{1}{\alpha}\ln\frac{1}{1-\delta}. \quad (48.1)$$

При $n \to \infty$ "огибающие" (39) и (40) стремятся к своим постоянным значениям, которые соответствуют максимальному и минимальному значениям установившегося напряжения $U_{cy}[\infty,0]$ и $U_{cy}[\infty,s]$ определяемым выражениями (37) и (38), т.е. к значениям U_{max} и U_{min} соответственно.

Характерные точки "огибающих" определены. С их помощью значительно упрощается построение графиков переходных импульсных процессов.

4. МЕТОДЫ ГРАФИЧЕСКОГО ПОСТРОЕНИЯ ПЕРЕХОДНЫХ ИМПУЛЬСНЫХ ПРОЦЕССОВ.

Для наглядного представления переходных импульсных процессов требуется их графическая интерпретация. Графики можно построить, пользуясь выражениями (25) и (26). Однако такой способ трудоёмок. Найденные характерные точки "огибающих" переходных импульсных процессов позволяют построить их графики гораздо проще. Построение фактически сводится к совмещению (наложению) фигур 9 и 10. Построение по осям ведётся в относительных единицах. По оси абсцисс откладывается относительная величина αn, по оси ординат – $U_{max}[n]/U_{max}$. Через точки, соответствующие αn и $\alpha(n+s)$ параллельно оси ординат проводятся масштабные линии.

По справочным данным строится кривая

$$f(x) = 1 - e^{-x},$$

которая и отражает "огибающую максимумов" $U^{0}_{max}[n]$ для $U_{max} = 1$.

Значения x есть ни что иное, как αn. Опустив кривую $f(x)$ по ординатам на величину Δ, получаем "огибающую минимумов".

По выр. (48) и (48.1.) проверяется соответствие значения первого минимума $U^{0}_{min}[1]$ и значения аргумента n_0.

Точки пересечения "огибающей максимумов" с масштабными линиями, проходящими через начала импульсов (через n = 0, 1, 2 ...) соединяются отрезками экспонент с ближайшими точками пересечения "огибающей минимумов" с линиями, соответствующими началам пауз – с линиями, проходящими через $n+s$ (Фиг. 11).

Итак, этот способ построения графиков переходных процессов основан на том, что характерные точки "огибающих" (U_{max}, Δ, $U^{0}_{min}[1]$, α, n_0 и т.п.) известны.

При этом, отрезки экспонент между точками, соответствующими U_{max} и U_{min}, проводятся субъективно, исходя из физических соображений, т.е. приближённо, однако графики, построенные разобранным методом, дают наглядную иллюстративную картину и удобны по способу построения.

Более точное, но более трудоёмкое построение можно осуществить иным способом.

Этот способ основан на том, что известно значения элементов схемы, хотя не известны величины U_{max}, Δ, n_0 и т.п., /как при первом способе/.

По справочным данным строятся кривые 1,2,3 (фир.12), соответствующие выражению $f(x) = 1 - e^{-x}$. Вначале строится кривая 1, для которой берется наибольший масштаб. Уменьшив масштаб по обеим осям в $\bar{R}_H$ раз, строится кривая 2. Для кривой 3 масштаб по оси абсцисс остаётся такой же, как для кривой 2, а значения $f(x)$, лежащих в пределах от 0 до 1 откладываются в соответствующем масштабе между линией $E_э = \bar{R}_H$ и $E = 1$. Через значения x, равные $n\frac{T_u}{\tau_i}$ и $n\frac{T_u}{\tau_i} + \frac{t_u}{\tau_i}$ проводятся линии, параллельные оси ординат, (линии 1,2,3,4,5 .... 19 фиг. 12). Затем осуществляется построение переходных импульсных процессов, основанное на том, что во время импульса процесс идёт по закону кривой 2, если $U_c(nT_u) < E_э$, или кривой 3, если $U_c(nT_u) > E_э = \bar{R}_H$, а во время паузы процесс идёт только по закону кривой 1. Таким образом, построение основано на том, что параллельно оси абсцисс отрезки экспонент 1,2 и 3 переносятся в соответствующие интервалы импульсов и пауз. На фиг.12 последовательность построения показана цифрами.

В результате построения получены значения U_{max}, Δ, времени выхода в режим и качественная картина процесса.

Для начальных условий, не равных 0 $(U_c(0) \neq 0)$, построение осуществляется таким же образом. В частности на фиг. 13 проведено аналогичное построение для максимального значения начальных условий. Последовательность построения показана цифрами. Значения U_{max} и Δ получились те же, что и на фиг. 12.

На этом качественный анализ основных выражений импульсных процессов схемы можно считать законченным.

IУ. ВЫВОДЫ

1. В работе проведен анализ переходных импульсных режимов устройства типа "источник питания-накопитель-нагрузка", в результате чего получены выражения этих процессов, как функции времени.

Продолжение следует.