

Режимы работы и их анализ

§ 1. Классификация режимов.

В общем случае работа схемы рис. 1 зависит от параметров схемы и определяется зарядно-разрядными процессами ёмкости C при некоторых начальных условиях, определяемых напряжением на ёмкости $U_c(0)$ в момент замыкания /размыкания/ ключей K_1 и K / при $t = 0$ /.

Это значит, что схема рис. 1 имеет как стационарные, так и импульсные режимы. Те и другие включают переходные и установившиеся процессы. Эти процессы в их аналитической форме и графическом виде зависят от некоторых, определённых комбинаций стационарных /одноразовых/ замыканий /размыканий/ ключей K и K_1 .

С точки зрения работы нагрузки могут быть два основных варианта стационарной работы схемы:

1. Замыкание ключа K_1 при замкнутом ключе K , при конкретных начальных условиях, определяемых неравенством $0 \leq U_c(0) \leq 1$; $[0 \leq U_c^*(0) \leq E^*]$
2. Ключ K_1 размыкается при замкнутом ключе K , с начальными условиями, не равными 0. $U_c(0) \neq 0$ [$U_c^*(0) \neq 0$].

По значимости практически встречающихся случаев первый вариант может быть представлен тремя режимами работы, отличающимися конкретизацией начальных условий.

Режим 1. $0 < U_c(0) < 1$; $[0 < U_c^*(0) < E^*]$ - 1-й основной режим. При этом режиме может быть три случая:

- а) $E_3 < U_c(0) < 1$; $[E_3^* < U_c^*(0) < E^*]$ - процесс разряда ёмкости с ненулевыми начальными условиями до некоторой эквивалентной ЭДС E_3 ;
- б) $0 < U_c(0) < E_3$; $[0 < U_c^*(0) < E_3^*]$ - процесс заряда ёмкости с ненулевыми начальными условиями;

¹ См. стр.1-9 в номере econf.rae.ru/article/, должно быть, на единицу меньше № данного файла.

в/ $U_c(0) = E_3; [U_c^*(0) = E_3^*]$ - при таком режиме отсутствует переходный процесс.

Режим II. $U_c(0) = 1; [U_c^*(0) = E^*]$ - 1-й границный режим.

В этом случае происходит разряд ёмкости с ненулевыми начальными условиями до ЭДС E_3 ($0 < E_3 < 1; 0 < E_3^* < E^*$).

Режим III. $U_c(0) = 0; [U_c^*(0) = 0]$ - 2-й границный режим.

В этом режиме происходит заряд ёмкости с нулевыми начальными условиями до величины $E_3; [E_3^*]$, определяемой источником питания и делителем $R_i; R_n$. ($E_3^* = k E^*; k = \frac{R_n}{R_i + R_n}; E_3 = k$).

Во втором варианте может быть только один режим:

Режим IV. $0 < U_c(0) < E; [0 < U_c^*(0) < E^*]$ - 2-й основной режим.

В этом случае происходит заряд ёмкости с ненулевыми начальными условиями до величины $E = 1 / E^*$.

С точки зрения анализа схемы могут быть также следующие комбинации стационарных замыканий и размыканий ключей K и K_1 :

1. Ключ K размыкается при замкнутом ключе K_1 . В этом случае имеет ^{место} разряд ёмкости на нагрузку R_n .

2. Ключ K_1 размыкается при разомкнутом ключе K . Этот случай не имеет физического смысла.

③ Ключ K замыкается при разомкнутом ключе K_1 . Начальные условия равны 0. $U_c(0) = 0$.

4. Ключ K_1 размыкается при замкнутом ключе K , с нулевыми начальными условиями. С физической точки зрения при замкнутом ключе K не может быть нулевых начальных условий. Так может быть только в случае одновременного /безынерционного/ замыкания ключа K и размыкания ключа K_1 . Тогда это будет случай 3.

5. Замыкается ключ K при замкнутом ключе K_1 . В этом случае начальные условия равны 0, и, следовательно, это режим III

Как видно, из последних пяти комбинаций представляет самостоятельный интерес только 3-й случай. Будем считать этот случай как режим V. /3-й граничный режим/.

Во всех указанных режимах /I + V/ переходные и установившиеся процессы происходят, как было сказано, при $f = 0$ /стационарные режимы/. В случае, если ключи K и K_T замыкаются и размыкаются с частотой, не равной нулю, в схеме происходят режимы импульсного характера. Переходные и установившиеся процессы этих режимов^{*/} безусловно сложнее, чем стационарных, однако, результаты анализа последних /аналитические выражения, эюры/ в определённых комбинациях позволяют исследовать любой возможный в схеме рис. 1, импульсный режим.

Для иллюстрации, в качестве примера, в этой части отчёта будет рассмотрен представляющий наибольший практический интерес случай установившегося импульсного режима, когда ключ K_T имеет постоянный период замыкания / $T = const$ / для $t_u \leq t_n = const$ при постоянно замкнутом ключе K.

/Режим VI./

Имея все необходимые зависимости для указанных режимов, можно рассчитать схему, выбрать её элементы, определить мощности, КПД и другие электрические и режимные характеристики.

Перейдём к анализу перечисленных режимов. Начнём рассмотрение с режима V. Легко заметить, что режим V определяет те же самые начальные условия, которые требуются для исследования всех режимов с ненулевыми начальными условиями / $\bar{I}_a; \bar{I}_s; \bar{U}; \bar{U}'$ /

^{*/} Наиболее общим из импульсных режимов является режим, когда оба ключа имитируют импульсную работу с несинхронными, переменными частотами /периодами/ и длительностями импульсов

/пауз/. Легко представить, что из этого режима может быть получено очень большое /в первом приближении более 100/ всевозможных комбинаций частных случаев.

§2. Режим V. Начальное включение схемы. $U_c(0) = 0$. Заряд до E .

/Ключ К замыкается при разомкнутом ключе K_1 /

В этом случае схема имеет вид /рис. 2/. Происходящий в ней процесс определяется зарядом ёмкости при нулевых начальных условиях. Как известно, для такого случая имеют место выражения:

$$i^*(t) = -i_c^*(t) = \frac{E^*}{R_i} e^{-\frac{t}{\tau}}, \quad /1/$$

$$U_c^*(t) = E^*(1 - e^{-\frac{t}{\tau}}), \quad /2/$$

где: $\tau = R_i C$ - постоянная времени цепи;
 e - основание натурального логарифма.

Перейдём к относительным единицам. Приняв за базисные /опорные/ величины:

$$U_0 = E^* \quad \text{и} \quad i_0 = \frac{E^*}{R_i}, \quad /3/$$

в относительных единицах получаем:

$$i(t) = -i_c(t) = e^{-\frac{t}{\tau}}, \quad /4/$$

$$U_c(t) = 1 - e^{-\frac{t}{\tau}}, \quad /5/$$

где: $i(t) = \frac{i^*(t)}{i_0}$; $U_c(t) = \frac{U_c^*(t)}{U_0}$ - относительные значения тока и напряжения на ёмкости

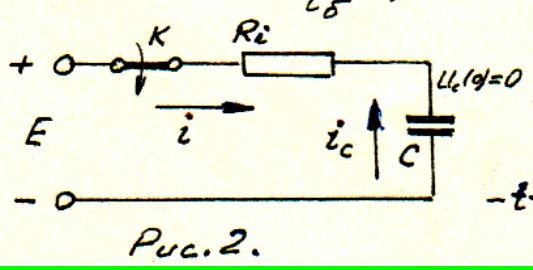


Рис. 2.

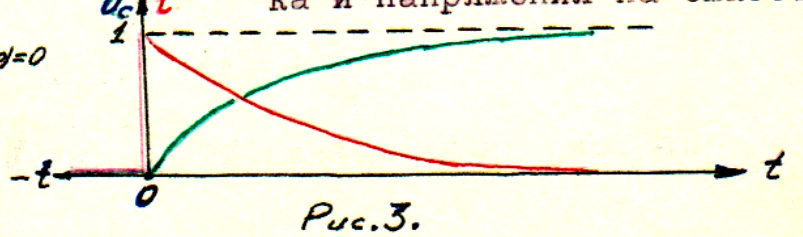


Рис. 3.

Графики мгновенных значений тока и напряжения на ёмкости для нулевых начальных условий $[u_c(0) = 0]$ приведены на рис. 3.

Далее логично рассмотреть, что происходит в такой цепи при ненулевых начальных условиях? Этому соответствует IV режим.

§3. Режим IV. Второй основной режим. $0 < u_c(0) < E$. (Заряд до E).

/Ключ K_1 размыкается при замкнутом ключе K /.

Схема остаётся той же, что и для режима V, с той лишь разницей, что конденсатор C после предшествующего ему режима I имеет остаточное напряжение $u_c(0)$. Этот режим эквивалентен включению цепи RC на постоянное напряжение E при ненулевых начальных условиях $[u_c(0) \neq 0]$

В этом случае:

$$i^*(t) = -i_c^*(t) = \frac{E^* - u_c^*(0)}{R_i} e^{-\frac{t}{\tau}}, \quad /6/$$

$$u_c^*(t) = E^* - [E^* - u_c^*(0)] e^{-\frac{t}{\tau}}. \quad /7/$$

В относительных единицах получаем:

$$i(t) = [1 - u_c(0)] e^{-\frac{t}{\tau}}, \quad /8/$$

$$u_c(t) = 1 - [1 - u_c(0)] e^{-\frac{t}{\tau}}, \quad /9/$$

где: $u_c(0) = \frac{u_c^*(0)}{U_0}$; $E = \frac{E^*}{U_0} = 1$; $u_c(t) = \frac{u_c^*(t)}{U_0}$;

$$i(t) = \frac{i^*(t)}{i_0}; \quad U_0 = E^*; \quad i_0 = \frac{E^*}{R_i}.$$

Графики выражений /8/ и /9/ приведены на рис. 4.

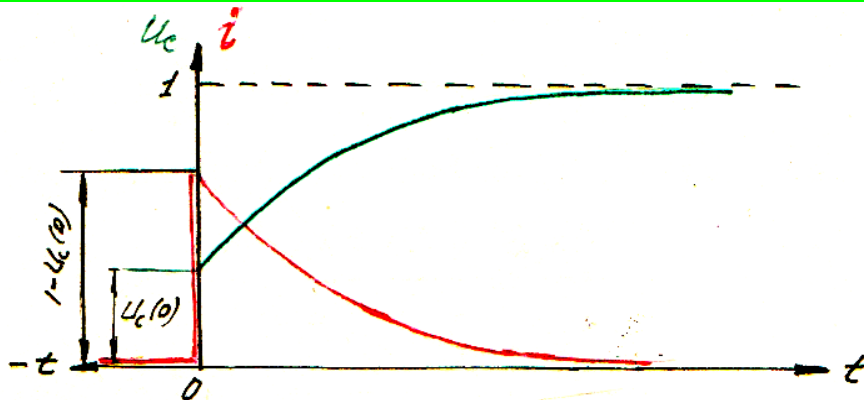


Рис. 4.

Как и в V режиме здесь конденсатор стремится зарядиться до напряжения источника. В этом режиме переходные процессы протекают быстрее, чем в режиме V .] Перейдем к рассмотрению наиболее общего случая.

§4. Режим I. Первый основной режим. $0 < U_c(0) < 1$.

/Ключ K_1 замыкается при замкнутом ключе K /.

Схема этого режима от обычной RC цепочки /рис. 2/ отличается лишь тем, что емкость шунтируется сопротивлением R_H /рис. 5/.

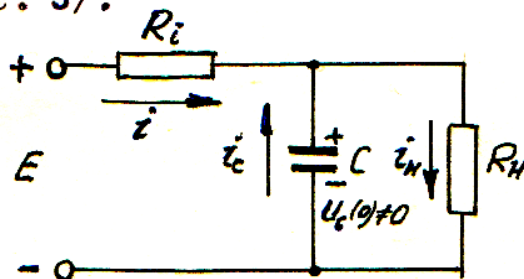


Рис. 5.

В соответствии с выбранными направлениями токов, считая ток i и i_H за контурные, на основе законов Кирхгофа получаем следующую систему уравнений в операторной форме записи:

$$E^* - U_c^*(0) = i^*(p) \left(R_i + \frac{1}{pC} \right) - i_H^*(p) \frac{1}{pC},$$

$$U_c^*(0) = i_H^*(p) (R_H + 1/pC) - i^*(p)/pC, \quad (10)$$

$$i^*(p) + i_c^*(p) = i_H^*(p).$$