

# ИССЛЕДОВАНИЕ ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ В ЦЕПЯХ, ПИТАЮЩИХСЯ ОТ УПРАВЛЯЕМЫХ ВЫПРЯМИТЕЛЕЙ

Т.В.Миланич

Харьковский Государственный политехнический университет  
Украина, 310002, г. Харьков, ул. Фрунзе, 21, ХГПУ, кафедра "Промышленная электроника"  
Тел./факс (0572) 40-03-12, E-mail: gvu@lotus.kpi.kharkov.ua

*Annotation* – Application of method of reflection on a complex plain for analysis of transients in circuits, fed by controlled rectifiers, has been considered.

*Key words* – controlled rectifier, transients, complex plain, commutational transition, initial conditional.

Случай работы преобразовательных устройств от управляемых или неуправляемых выпрямителей довольно часто встречается на практике. Для анализа переходных процессов он представляет определенные трудности, которые могут быть преодолены при использовании отображения на комплексную плоскость.

Рассмотрим  $m$ -фазный управляемый выпрямитель, питающий цепь, содержащую реактивные элементы (рисунок 1). Угол регулирования  $\alpha_p$  удобно

отсчитывать от начала полуволны управляемой фазы. При этом изменению выпрямленного напряжения от максимального значения до нуля будет соответствовать изменение угла регулирования в пределах

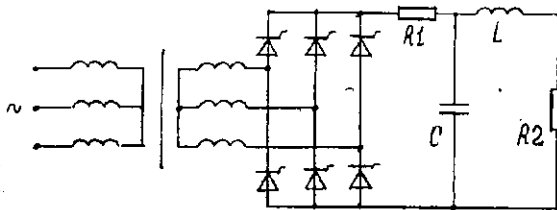


Рисунок 1

$$\frac{\pi}{2} - \frac{\pi}{m} \leq \alpha_p \leq \pi - \frac{\pi}{m}$$

Анализируя эту цепь, можно прийти к обобщенному выражению для любой переходной величины (тока или напряжения):

$$f(t) = U_m \cdot M \cdot \left\{ A \cdot \sin(\omega_c t + \nu) + B \cdot \cos(\omega_c t + \nu) + \left[ C \cdot \sin \nu + D \cdot \cos \nu + \frac{G \cdot U_0 + H \cdot i_0}{U_m \cdot M} \right] \cdot \frac{\alpha}{\omega} \cdot e^{-\alpha t} \cdot \sin \alpha t + \left[ E \cdot \sin \nu + F \cdot \cos \nu + \frac{f_0}{U_m \cdot M} \right] \cdot e^{-\alpha t} \cdot \cos \alpha t \right\}, \quad (1)$$

где  $U_m$  - амплитудное значение вторичного напряжения,

$\omega_c$  - частота переменного тока питающей сети,

$$\nu = \alpha_p - \varphi,$$

$$\varphi = \arctg \frac{2 \cdot \alpha \cdot \omega_c}{\omega_0^2 - \omega_c^2},$$

$A, B, C, D, E, F, G, H, \alpha, \omega, \omega_0$  - коэффициенты, зависящие от параметров цепи,

$u_0, i_0$  - начальные значения напряжения на конденсаторе и тока в катушке,

$f_0$  - начальное значение переходной величины, определяемой по выражению (1),

$$M = \frac{1}{\sqrt{(\omega_0^2 - \omega_c^2) + 4\alpha^2 \omega_c^2}}$$

Значения коэффициентов А-Н различны для каждой переменной, тогда как  $\alpha, \omega_0$  и  $\omega = \sqrt{\omega_0^2 - \alpha^2}$  являются единичными для данной схемы вне зависимости от того, какая величина определяется.

Периодическое изменение питающего напряжения затрудняет расчет переходного процесса по сравнению, скажем, с анализом работы автономного инвертора тока или напряжения, когда питающее напряжение неизменно во времени, так как для каждого последующего такта работы выпрямителя длительностью

$$T = \frac{2\pi}{\omega_c m}$$

необходимо по выражениям (1) определять как ток в катушке, так и напряжение на конденсаторе в конце предшествующего такта, поскольку они являются начальными значениями для рассматриваемого такта.

Отображение на комплексную плоскость, как известно, освобождает от необходимости находить начальные условия для каждого такта работы [1]. Для анализа необходимо выразить (1) в комплексном виде

$$f(t) = U_m \cdot M \cdot \left\{ \frac{A}{\cos \gamma} \cdot e^{j(\omega_c t + \nu + \gamma)} + \left[ \frac{C}{\cos \delta} \cdot \sin(\nu + \delta) + \frac{G \cdot U_0 + H \cdot i_0}{U_m \cdot M} \right] \cdot k + j \cdot \left[ \frac{E}{\cos \xi} \cdot \sin(\nu + \xi) + \frac{f_0}{U_m \cdot M} \right] \cdot e^{pt} \right\}, \quad (2)$$

Здесь:

$$\gamma = \arctg \frac{B}{A}; \quad \delta = \arctg \frac{D}{C};$$

$$\xi = \arctg \frac{F}{E}; \quad k = \frac{\alpha}{\omega}; \quad p = -\alpha + j\omega.$$

Рассмотрим, как будет перемещаться на комплексной плоскости точка, изображающая  $f(t)$ .

В начале первого такта при  $t=0$  начальные условия нулевые ( $u_o=i_o=f_o=0$ ) и

$$f_{1H}(0) = U_m \cdot M \cdot \left[ \frac{A}{\cos \gamma} \cdot e^{j(\nu + \gamma)} + \frac{k \cdot C}{\cos \delta} \cdot \sin(\nu + \delta) + j \cdot \frac{E}{\cos \xi} \cdot \sin(\nu + \xi) \right]. \quad (3)$$

Любая определяемая величина в начале первого такта равна нулю, следовательно, мнимая координата выражения (3) отсутствует и  $f_{1H}(0)$  вещественно:

$$f_{1H}(0) = f_{1H} = U_m \cdot M \times \left[ \frac{A}{\cos \gamma} \cdot \cos(\nu + \gamma) + \frac{k \cdot C}{\cos \delta} \cdot \sin(\nu + \delta) \right].$$

Выражение (3) можно представить в виде суммы двух векторов:

$$f_{1H} = P_{1H} + Q_{1H},$$

$$\text{где } P_{1H} = \frac{A \cdot U_m \cdot M}{\cos \gamma} \cdot e^{j(\nu + \gamma)};$$

$$Q_{1H} = U_m \cdot M \left[ \frac{k \cdot C}{\cos \delta} \cdot \sin(\nu + \delta) + j \cdot \frac{E}{\cos \xi} \cdot \sin(\nu + \xi) \right]. \quad (4)$$

Построение векторной диаграммы выполнено на рисунке 2. Модуль  $P_{1H}$  есть не что иное, как амплитуда переменной составляющей искомой величины. Он не изменяется по длине, но сам вектор вращается в положительном направлении с частотой  $\omega_c$ . Вектор же  $Q_{1H}$  из-за умножения его на  $e^{pt}$  не только поворачивается на угол  $\omega \cdot t$ , но и длина его уменьшается в соответствии со множителем  $e^{-\alpha \cdot t}$ .

В конце первого такта работы оба вектора примут новые положения  $P_{1k}$  и  $Q_{1k}$ , а их сумма определит положение изображающей точки  $f_{1k}$  в конце первого такта.

Второй такт начнется при тех же значениях  $i_L$  и  $u_c$ , которые мгновенно измениться не могут. Следовательно, мнимая координата при переходе к следующему такту остается без изменений, вещественная же

получит новое значение - изображающая точка совершит так называемый коммутационный переход по горизонтальной прямой в положение  $f_{2H}$ .

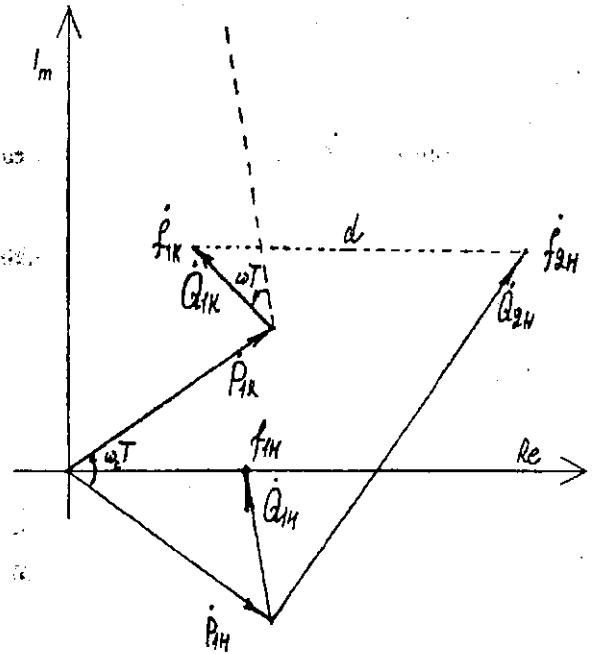


Рисунок 2

Анализ показал, что длина прямой коммутационного перехода при анализе напряжения  $u_c$

$$d_u = \frac{2 \cdot U_m \cdot M}{\omega \cdot L \cdot C \cdot \cos \xi} \cdot \sin \frac{\omega_c T}{2} \cdot \sin \left( \frac{\omega_c T}{2} + \gamma + \xi \right).$$

При анализе тока  $i_L$   $d_i = d_u / R_1$

После коммутационного перехода начинается второй такт. Вектор  $P$  возвратится в исходное положение  $P_{1H}$ , а вектор  $Q$  займет новое положение, начинаясь в конце вектора  $P_{1H}$  и заканчиваясь уже в точке  $f_{2H}$ . Далее процесс повторится уже описанным способом.

Таким образом, представляется возможность проследить переходный процесс, обходя нахождение для каждого такта новых начальных условий, что потребовало бы определения изменения всех переменных, связанных с инерционными элементами. Алгоритм расчета всего переходного процесса описанным методом проще и требует примерно вдвое меньше затрачиваемого машинного времени.

[1] В.Т.Долбня, Е.И.Сокол. Исследование переходных процессов в преобразователях путем отображения на комплексную плоскость. Харьков: Вища школа, Изд-во при Харьк. ун-те, 1988, 136 с.