13.4.1. Анализ двух- и трехинтервального режимов

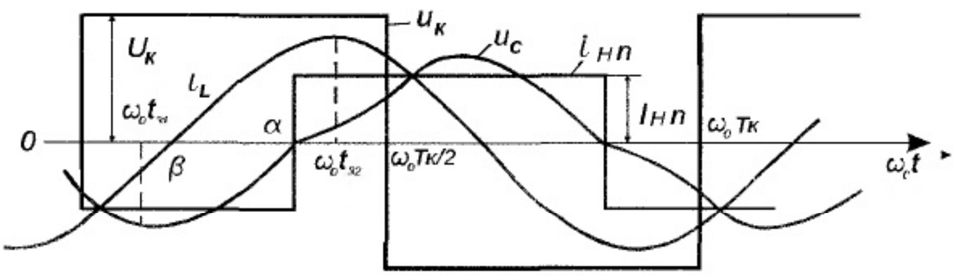

Рис. 13.13. Диаграммы процессов в двухинтервальном режиме работы.

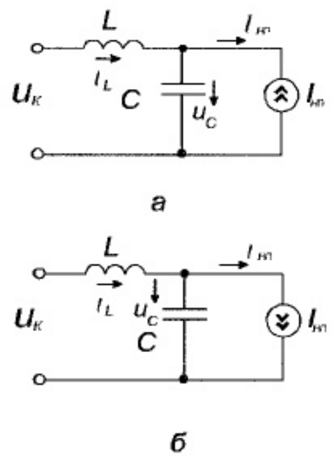

Рис. 13.14. Схемы замещения для первого и второго интервалов в полупериоде.

Временные диаграммы напряжений на входе контура, на конденсаторе, а также тока в дросселе показаны на рис. 13.13. Там же показан приведенный к первичной обмотке ток нагрузки $i_{нп}$. По оси абсцисс на рис. 13.13 отложен угол $\omega_0 t$, где $\omega_0 = 1/\sqrt{LC}$ — резонансная частота контура.

Переход тока $i_{нп}$ через ноль обусловлен переключением диодов $D1$, $D2$ и совпадает с моментом изменения знака напряжения u_C на конденсаторе контура (угол α на рис. 13.13).

Приведя ток нагрузки к обмотке W_1 трансформатора и обозначив его $I_{нп}$, получим две схемы замещения для первого ($0 \le \omega_0 t \le \alpha$) и второго ($0 \le \omega_0 t' \le \omega_0 Tк/2 - \alpha$) интервалов в полупериоде, которые показаны на рис. 13.14. После составления системы дифференциальных уравнений и их решения, определяются начальные условия с учетом симметричности работы в обоих полупериодах.

В результате мгновенное напряжение на конденсаторе и ток в дросселе в первом и втором интервалах в относительном виде записываются следующим образом:

$$\frac{u_{C1}(\omega_0 t)}{U_{нп}} = \frac{1}{U_{нп}} + \frac{1}{\cos\frac{\pi}{2\mu}}\left\{\left[q\cos\left[\frac{\pi}{2\mu}-\alpha\right] - \frac{\sin\frac{\pi}{2\mu}}{U_{нп}}\right]\sin\omega_0 t + \left[q\sin\left[\frac{\pi}{2\mu}-\alpha\right] - \frac{\cos\frac{\pi}{2\mu}}{U_{нп}}\right]\cos\omega_0 t\right\}; \qquad (13.4.1)$$

$$\frac{i_{L1}(\omega_0 t)}{I_{нп}} = -1 + \frac{1}{\cos\frac{\pi}{2\mu}}\left\{\left[\frac{\cos\frac{\pi}{2\mu}}{U_{нп}q} - \sin\left[\frac{\pi}{2\mu}-\alpha\right]\right]\sin\omega_0 t + \left[-\frac{\sin\frac{\pi}{2\mu}}{U_{нп}q} + \cos\left[\frac{\pi}{2\mu}-\alpha\right]\right]\cos\omega_0 t\right\}; \qquad (13.4.2)$$

$$\frac{u_{C2}(\omega_0 t')}{U_{\text{н п}}} = \frac{1}{U_{\text{нп}}} + \frac{1}{\cos\frac{\pi}{2\mu}}\left\{\left[\frac{-\sin\left[\frac{\pi}{2\mu}-\alpha\right]}{U_{\text{нп}}} - q\cos\frac{\pi}{2\mu}\right]\sin\omega_0 t' + \right.$$

$$\left. + \left[-\frac{\cos\left[\frac{\pi}{2\mu}-\alpha\right]}{U_{\text{нп}}} + q\sin\frac{\pi}{2\mu}\right]\cos\omega_0 t'\right\}; \tag{13.4.3}$$

$$\frac{i_{L2}(\omega_0 t')}{I_{\text{н п}}} = 1 + \frac{1}{\cos\frac{\pi}{2\mu}}\left\{\left[\frac{\cos\left[\frac{\pi}{2\mu}-\alpha\right]}{U_{\text{нп}}q} - \sin\frac{\pi}{2\mu}\right]\sin\omega_0 t' + \right.$$

$$\left. + \left[\frac{\sin\left[\alpha-\frac{\pi}{2\mu}\right]}{U_{\text{нп}}q} - \cos\frac{\pi}{2\mu}\right]\cos\omega_0 t\right\}. \tag{13.4.4}$$

В соотношениях (13.4.1)...(13.4.4) приняты следующие обозначения: u_{C1}, i_{L1}, u_{C2}, i_{L2} — напряжение и ток в первом (индекс 1) и во втором (индекс 2) интервалах; $U_{\text{н п}} = U_{\text{вых}}/n$ — приведенное к первичной обмотке трансформатора выходное напряжение ($n = W_2/W_1$ — коэффициент трансформации); $I_{\text{н п}} = nI_{\text{н}}$ — приведенный к первичной обмотке трансформатора ток нагрузки; $U_{\text{нп}} = U_{\text{н п}}/U_{\text{к}} = \dfrac{U_{\text{н п}}}{KU_{\text{вх}}}$ — нормированное приведенное выходное напряжение ($U_{\text{к}}$ — амплитуда напряжения на входе контура; K — коэффициент, учитывающий структуру выходного каскада преобразователя и равный: единице при мостовой схеме, полумостовой с двумя источниками напряжения постоянного тока и двухтактной с двумя обмотками резонансного дросселя; двум при двухтактной схеме с промежуточным трансформатором); $\mu = f/f_0$ — относительная частота; $q = \sqrt{L/C}/R_{\text{нп}}$ — параметр, характеризующий нагрузку преобразователя ($R_{\text{нп}} = R_{\text{н}}/n^2$ — приведенное к первичной обмотке трансформатора сопротивление нагрузки).

В (13.4.1)...(13.4.4) параметры μ и q считаются известными, а $U_{\text{нп}}$ и α определяются из системы уравнений:

$$\begin{cases} \cos\left[\alpha-\frac{\pi}{2\mu}\right] - \cos\frac{\pi}{2\mu} = U_{\text{нп}}q\sin\frac{\pi}{2\mu}; \\ 1 - 2\alpha\frac{\mu}{\pi} + 2\frac{\mu}{\pi}\frac{\sin\left[\alpha-\frac{\pi}{2\mu}\right]}{\cos\frac{\pi}{2\mu}} = U_{\text{нп}}. \end{cases} \tag{13.4.5}$$

Первое уравнение в (13.4.5) получено из условия равенства нулю напряжения u_C в момент α (например, из (13.4.3)), а второе — интегрированием (13.4.1) и (13.4.3) в целях определения нормированного и приведенного к первичной обмотке выходного напряжения. Исключая из (13.4.5) $U_{\text{нп}}$, получим уравнение относительно угла α:

После составления и решения дифференциальных уравнений имеем:
для рис. 13.14 а) (интервал $0 \le w_0 t \le \alpha$)

$$Vc(t) = Vk + (V0-Vk)*\cos(w_0 t) + (I0+Iн)*a*\sin(w_0 t); \quad (1)$$

$$Il(t) = -Iн + (I0 + Iн)*\cos(w_0 t) - (V0-Vk)*\sin(w_0 t) / a ; \quad (2)$$

для рис. 13.14 б) (интервал $0 \le w_0 t1 \le w_0 Tk/2 - \alpha$)

$$V(t1) = Vk - Vk*\cos(w_0 t1) + (I\alpha - Iн)*a*\sin(w_0 t1); \quad (3)$$

$$Il(t1) = Iн + (I\alpha - Iн)*\cos(w_0 t1) + Vk*\sin(w_0 t1) / a; \quad (4)$$

Обозначения: $a = \sqrt{\frac{l}{c}}$,

$w_0 Tk/2 = \frac{\pi}{\mu}$,
V0 – напряжение на емкости в момент времени 0,
I0 – ток в индуктивности в момент времени 0,
$I\alpha$ – ток в индуктивности в момент времени α,
$x = w_0 Tk/2 - \alpha$;

$I\alpha$ можно определить из уравнения (2). Далее из условий: V(x) = -V0 (уравнение (3)), I(x)= - I0 (уравнение (4)) можно определить I0, V0.

Но… получаются громоздкие тригонометрические выражения. Например у меня получилось:

$$V0 = \frac{- Vk- Vk* \cos(\alpha)\cos(x)+Vk*\cos(x)+Vk*\cos(\alpha)-Vk*\sin(\alpha)*\sin(x)+ 2*Iн*a*\sin(x)}{-(1+\cos(\alpha)*\cos(x)-\sin(\alpha)*\sin(x))}$$

У Мелешина

$$V0 = \frac{\sin (\pi/(2*\mu) - \alpha)}{\cos(\pi/(2*\mu))}$$

Как он вывел?