

Как видно из рис. 1, б, период содержит три интервала:

1. Интервал заряда ёмкости ( $0 \leq \nu \leq \frac{\pi}{2} - \psi$ ). В этом интервале источник энергии питает нагрузку  $R$  и заряжает конденсатор  $C$ .

2. Интервал вынужденного разряда ёмкости ( $\frac{\pi}{2} - \psi \leq \nu \leq \lambda$ ). В этом интервале нагрузка  $R$  получает питание как от источника энергии, так и от конденсатора при его разряде.

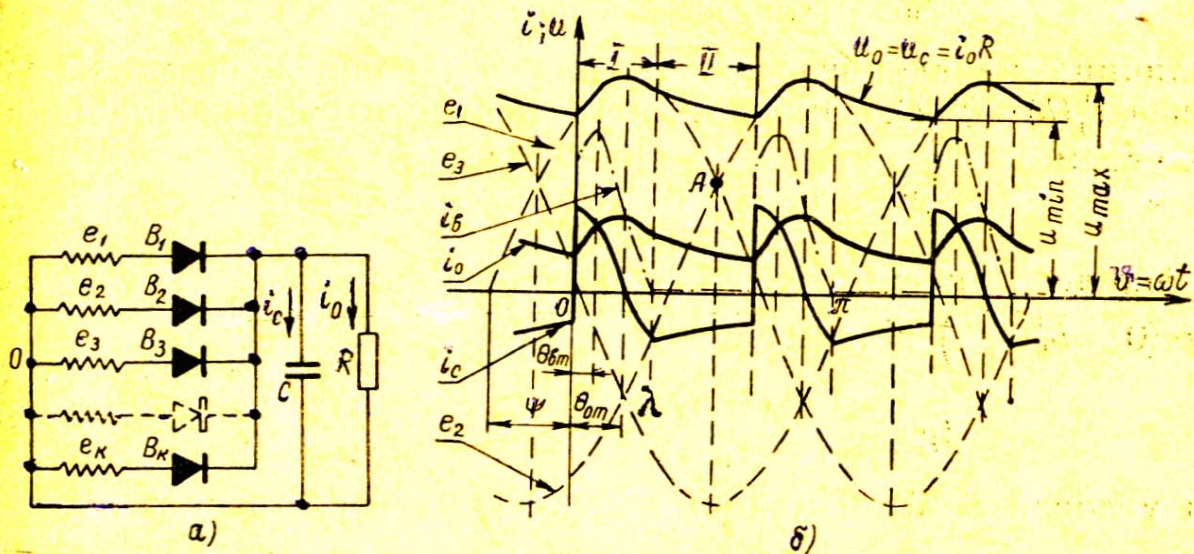


Рис. 1. Схема выпрямления (а); диаграммы напряжений и токов (б)

3. Интервал самостоятельного разряда емкости. В этом интервале все вентили схемы закрыты и нагрузка получает энергию за счёт разряда конденсатора. Вместе с тем, поскольку возможны только два режима работы схемы в целом, соответствующие двум состояниям вентиля (открытое и закрытое), то и систем уравнений, описывающих процессы, оказывается две, и для анализа процессов достаточно рассмотреть два интервала: интервал I, когда вентиль открыт, и интервал II, когда все вентили закрыты и происходит самостоятельный разряд конденсатора на нагрузку. Положим, что в первом интервале работает вентиль  $B_1$ .

а) Интервал I ( $0 \leq \nu \leq \lambda$ )

Исходные уравнения:

$$i_B^I = i_0^I + i_C^I, \quad i_C^I = \omega C \frac{de_1}{d\nu}, \quad i_0^I = \frac{e_1}{R}.$$

Обозначив  $\operatorname{tg} \beta = \omega RC$ , получаем в относительных единицах

$$\bar{i}_0^I = \bar{u}_0^I = \bar{u}_C^I = \sin(\nu + \psi), \quad (1)$$

$$\bar{i}_C^I = \operatorname{tg} \beta \cos(\nu + \psi), \quad (2)$$

$$\bar{i}_B^I = \frac{1}{\cos \beta} \sin(\nu + \psi + \beta). \quad (3)$$

**б) Интервал II**  $\left(\lambda \leq \nu \leq \frac{2\pi}{m}\right)$

Все вентили закрыты. Конденсатор  $C$  разряжается на нагрузку  $R$ .

$$i_0^{II} = -i_C^{II}; \quad i_0^{II} = -\frac{u_C(\lambda)}{R} e^{-(\nu - \lambda) \operatorname{ctg} \beta}.$$

Величина начального напряжения  $u_C(\lambda)$  определяется из условия  $i_0^I(\lambda) = i_0^{II}(\lambda)$ . Окончательно в относительных единицах получаем

$$\bar{i}_0^{II} = \bar{u}_0^{II} = \sin(\lambda + \psi) e^{-(\nu - \lambda) \operatorname{ctg} \beta}. \quad (4)$$

Найдём зависимости для определения  $\psi$  и  $\lambda$ . Из условия  $\bar{i}_0^I(0) = \bar{i}_0^{II}\left(\frac{2\pi}{m}\right)$  получаем

$$\operatorname{tg} \psi = \frac{A \sin \lambda}{1 - A \cos \lambda}; \quad A = e^{-\left(\frac{2\pi}{m} - \lambda\right) \operatorname{ctg} \beta}. \quad (4')$$

Из условия  $\bar{i}_B^I(\lambda) = 0$  находим  $\operatorname{tg}(\lambda + \psi) = -\operatorname{tg} \beta$ , откуда:

$$\lambda + \psi = \pi - \beta. \quad (5)$$

Подставив  $\psi$  в (4'), окончательно имеем

$$\operatorname{tg}(\lambda + \beta) = \frac{A \sin \lambda}{1 - A \cos \lambda}. \quad (6)$$

Зависимости (5) и (6) позволяют определить  $\psi$  и  $\lambda$  как функции параметра  $\beta$  (т. е. как функции параметров схемы, ибо  $\beta = \operatorname{arctg} \omega RC$ ).

**в) Характерные точки зависимостей  $\bar{i}_C^I$   $\bar{i}_0^I$   $\bar{i}_B^I$**

Ток  $\bar{i}_C^I(0)$  максимума (в математическом смысле) не имеет, поскольку

$$\left. \frac{d\bar{i}_C^I}{d\nu} \right|_{\nu=\theta_{Cm}} = -\operatorname{tg} \beta \sin(\theta_{Cm} + \psi) < 0.$$

Наибольшее значение (в амплитуде) положительного тока  $\bar{i}_C^I$  равно

$$\bar{i}_{C \max}^I = \bar{i}_C^I(0) = -\operatorname{tg} \beta \cos(\lambda + \beta) > 0. \quad (7)$$

В момент  $\psi = \theta_{0m}$  ток  $\bar{i}_C^I$  проходит через нуль (момент  $\psi = \lambda$  не рассматривается). Ток  $\bar{i}_0^I$  имеет максимум в момент

$$\psi = \theta_{0m} = \frac{\pi}{2} - \psi = \lambda + \beta - \frac{\pi}{2}. \quad (8)$$

Ток  $\bar{i}_B^I$  имеет максимум в момент

$$\psi = \theta_{Bm} = \lambda - \frac{\pi}{2}. \quad (9)$$

Из (9) следует, что максимум тока вентиля  $\bar{i}_B^I$  существует при  $\lambda \geq \frac{\pi}{2}$ . Поскольку длительность горения вентиля ни при каких соотношениях  $R$  и  $C$  не может превышать критической величины  $\lambda_{кр} = \frac{2\pi}{m}$ , то, подставив  $\lambda_{кр}$  в (9), получаем  $\theta_{Bmкр} = \frac{\pi(4-m)}{2m}$ , откуда следует, что при  $m > 3$  момента максимума тока  $\bar{i}_B^I$  нет. Наибольшее значение тока вентиля определяется так: для  $m=1$  и  $m=2$  при  $\lambda > \frac{\pi}{2}$

$$\bar{i}_B^I \max = \frac{1}{\cos \beta}, \quad (10)$$

для  $m \geq 3$  в любом случае, а также для  $m=1$  и  $m=2$  при  $\lambda \leq \frac{\pi}{2}$

$$\bar{i}_B^I \max = \bar{i}_B^I(0) = \frac{1}{\cos \beta} \sin \lambda. \quad (11)$$

г) Максимальное обратное напряжения (в амплитуде)  $u_{обр \max}$

Для схем с нулевым выводом  $u_{обр \max} = 2E_m$ . Для трехфазной мостовой схемы Ларионова ( $m=6$ )  $u_{обр \max}$  равно амплитуде линейного напряжения. Для однофазной мостовой схемы Грца  $u_{обр \max} = E_m$ .

д) Среднее значение выпрямленного тока  $\bar{I}_0$  (напряжения  $\bar{U}_0$ )

$$\bar{I}_0 = \bar{U}_0 = \frac{m}{2\pi} \left[ \int_0^\lambda \bar{i}_0^I d\psi + \int_\lambda^{\frac{2\pi}{m}} \bar{i}_0^{II} d\psi \right].$$

После подстановки  $\bar{i}_0^I$ ;  $\bar{i}_0^{II}$  и интегрирования получаем

$$\bar{I}_0 = \bar{U}_0 = \frac{m}{\pi} \cdot \frac{1}{\cos \beta} \sin \frac{\lambda}{2} \sin \left( \frac{\lambda}{2} + \psi + \beta \right). \quad (12)$$

Для  $\beta=0$  (т. е.  $C=0$ ) получаем известную формулу ( $m \geq 2$ )

$$\bar{I}_0 = \bar{U}_0 = \frac{m}{\pi} \sin \frac{\pi}{m}.$$

е) Действующие значения тока вентиля  $\bar{J}_B$  и тока фазы вторичной обмотки трансформатора  $\bar{J}_\Phi$

$$\bar{J}_B = \sqrt{\frac{1}{2\pi} \int_0^\lambda (\bar{i}_B^I)^2 d\lambda}$$

После подстановки и преобразований получаем

$$\bar{J}_B = \frac{1}{2 \cos \beta} \cdot \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \sqrt{2\lambda - \sin 2\lambda}. \tag{13}$$

Для схемы Ларионова действующее значение тока вентиля будет  $\bar{J}'_B = \sqrt{2} \bar{J}_B$ , где  $\bar{J}_B$  определяется по (13) при  $m=6$ . Ток фазы трансформатора  $m$ -фазной схемы с нулевым выводом будет равен току вентиля. Для схемы Грца  $\bar{J}_\Phi = \sqrt{2} \bar{J}_B$ , где  $\bar{J}_B$  определяется по (13) для  $m=2$ . Ток фазы трансформатора для схемы Ларионова зависит от схемы соединения обмоток трансформатора. Ток в каждом линейном проводе схемы равен  $\bar{J} = 2\bar{J}_B$ , где  $\bar{J}_B$  определяется по (13) для  $m=6$ .

ж) Пульсация выпрямленного напряжения

$$\Delta \bar{u} = (\bar{u}_{0 \max} - \bar{u}_{0 \min}) / \bar{U}_0; \bar{u}_{0 \max} = u_{0 \max} / E_m = 1; \bar{U}_{0 \min} = \bar{i}_0^{II} \left( \frac{2\pi}{m} \right).$$

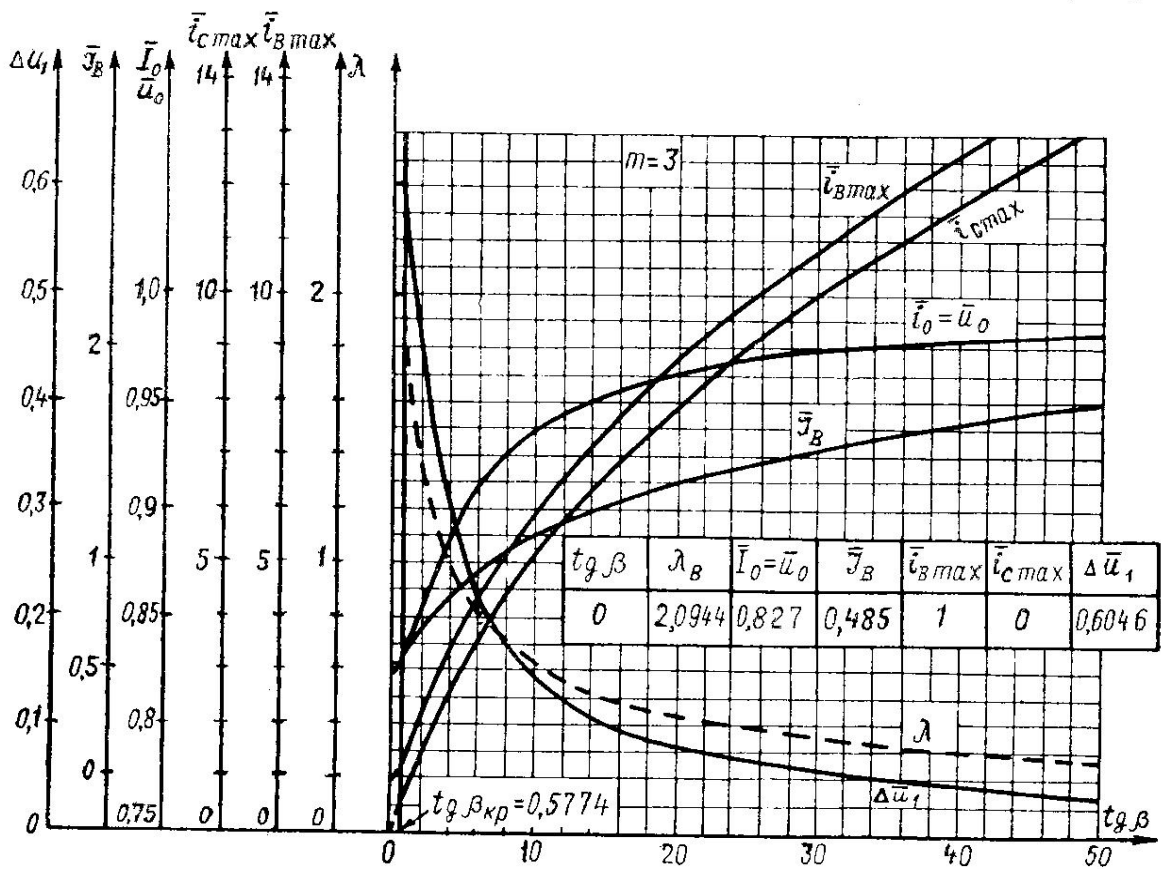


Рис. 2. Расчётные графики для  $m=3, \text{tg } \beta = 0 \div 50$

Продолжение следует.

© Репин А.М. 1966, -68, -69. 2003. 26.9.2013