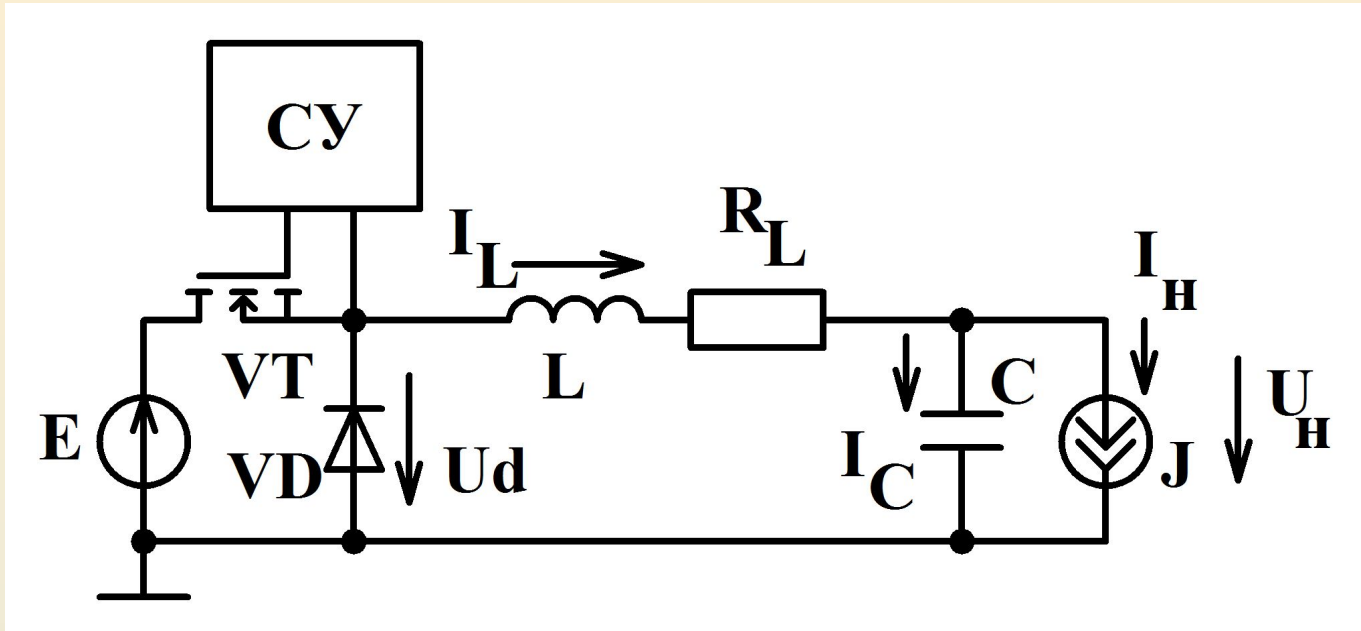


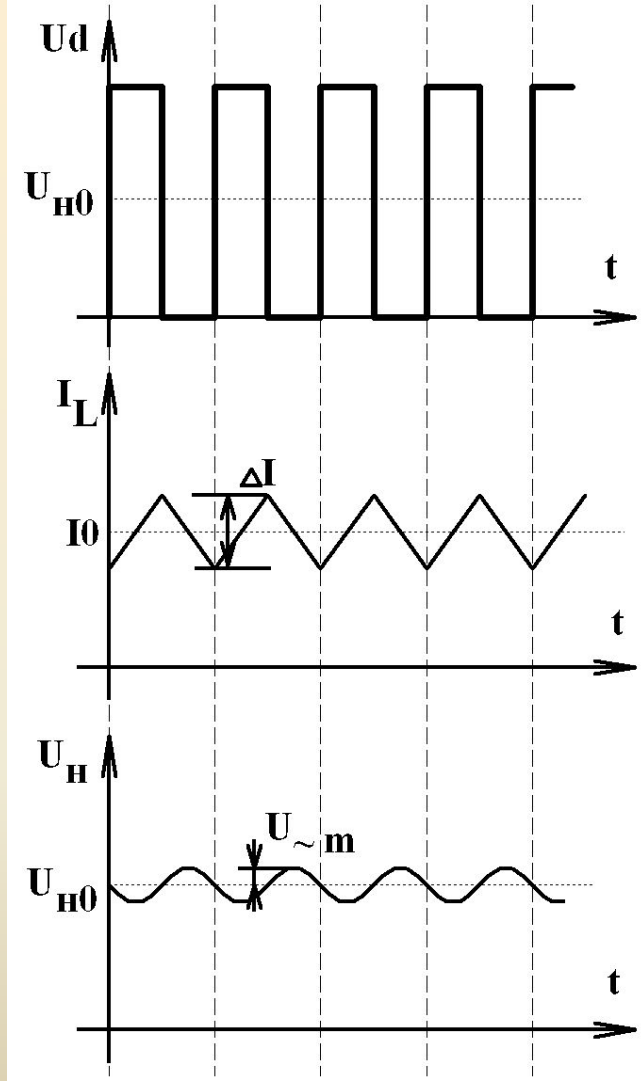
Преобразователь I рода:

Расчет фильтра

Принципиальная схема ППН-1



Статический расчет фильтра



$$f_{(1)} = f_K$$

$$2 \cdot \pi \cdot f_{(1)} = \omega_K$$

Задано требование

к качеству напряжения нагрузки –
коэффициент пульсации

$$q_{\text{ВЫХ}} = \frac{U_{\sim m}}{U_{H0}}$$

Используем метод первой гармоники:

$$q_{\text{ВЫХ}} = \frac{U_{\sim(1)m}}{U_{H0}}$$

$$q_{\text{ВХ}} = \frac{U_{d\sim(1)m}}{U_{H0}}$$

$$S_{\Phi} = \frac{q_{\text{ВХ}}}{q_{\text{ВЫХ}}} = \frac{U_{d\sim(1)m}}{U_{\sim(1)m}}$$

$$S_{\Phi} = \left| \frac{\frac{1}{j \cdot 2 \cdot \pi \cdot f_{(1)} \cdot C}}{\frac{1}{j \cdot 2 \cdot \pi \cdot f_{(1)} \cdot C} + j \cdot 2 \cdot \pi \cdot f_{(1)} \cdot L} \right| =$$

$$= \left| \frac{1}{1 - (2 \cdot \pi \cdot f_{(1)})^2 \cdot L \cdot C} \right| \approx \frac{1}{(2 \cdot \pi \cdot f_{(1)})^2 \cdot L \cdot C}$$

Статический расчет фильтра

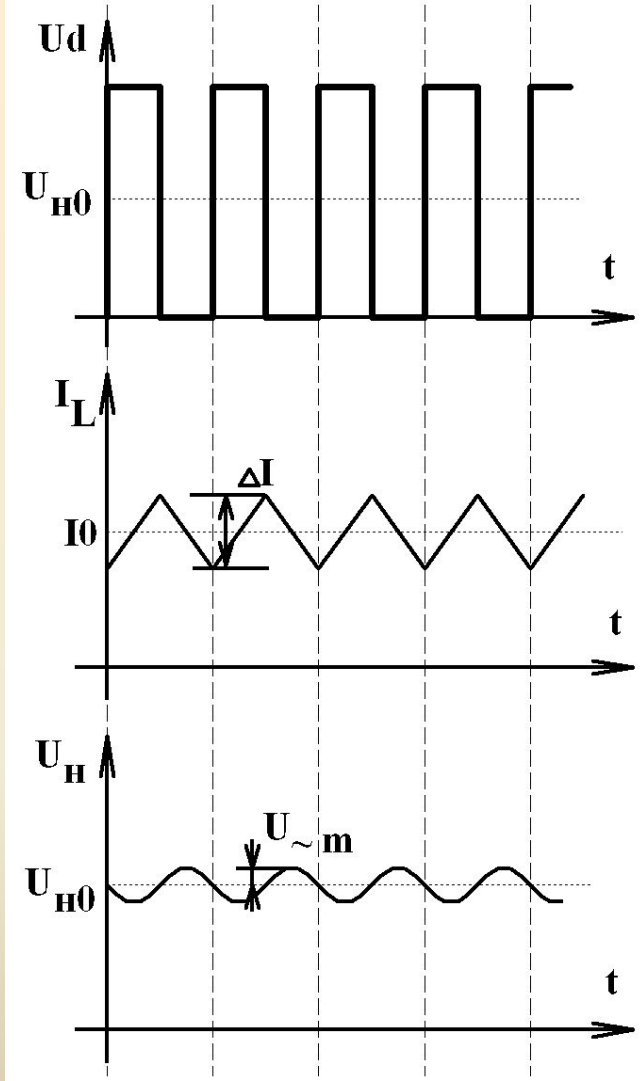
Из разложения Фурье для U_d :

$$q_{\text{ВХ}} = \frac{2}{\pi} \cdot \frac{\sin(\gamma \cdot \pi)}{\gamma}$$

$$\gamma = \frac{U_{\text{H0}}}{E}$$

$$S_{\Phi} = \frac{\frac{2}{\pi} \cdot \frac{\sin(\gamma \cdot \pi)}{\gamma}}{q_{\text{ВЫХ}}}$$

$$L \cdot C = S_{\Phi} \cdot (\omega_K)^2 = \frac{\frac{2}{\pi} \cdot \frac{\sin(\gamma \cdot \pi)}{\gamma}}{q_{\text{ВЫХ}}} \cdot (\omega_K)^2$$



Статический расчет фильтра:

ΔI

$$\Delta I \approx 2 \cdot I_{\sim m}$$

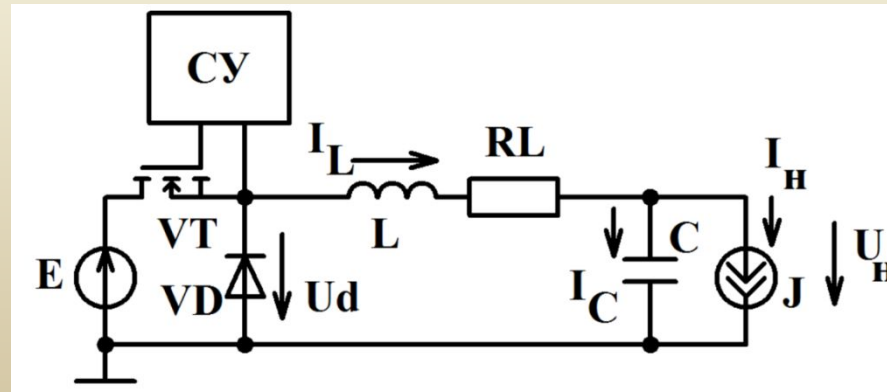
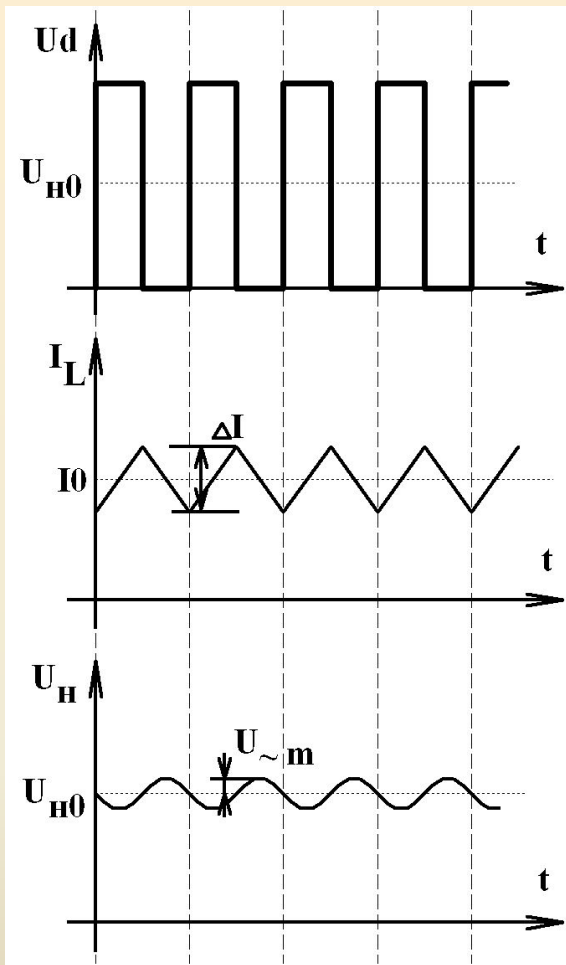
Ограничение на ΔI (связано с ограничением потерь в элементах схемы преобразователя):

$$I_{\sim m} = 20\% \cdot J = 20\% \cdot I_{L \text{ ср}}$$

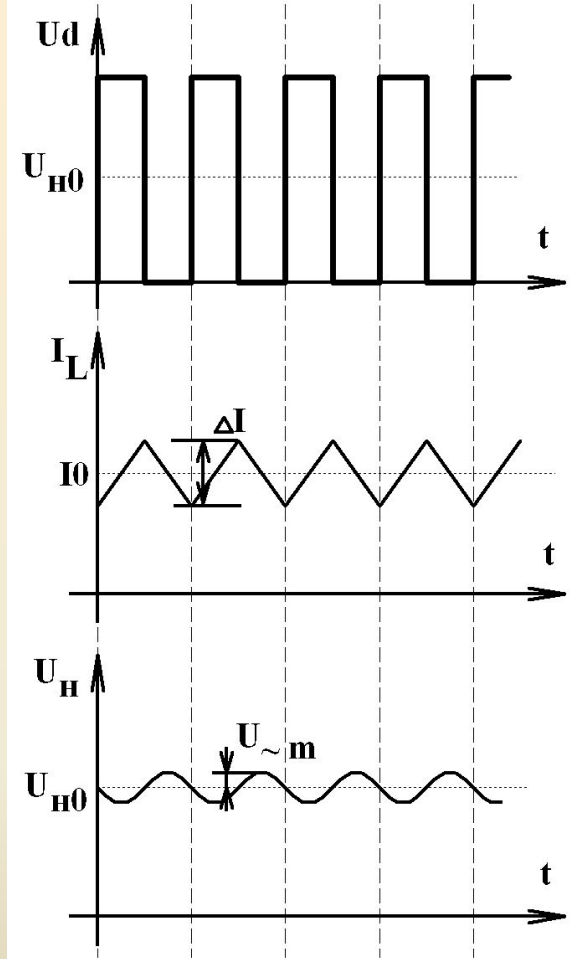
$$q_{\text{ВЫХ}} \ll q_{\text{ВХ}}$$

$$U_{\sim(1)m} \ll U_{d\sim(1)m}$$

$$I_{\sim(1)m} = \frac{U_{d\sim(1)m}}{\omega_K \cdot L}$$



Статический расчет фильтра:



ΔI

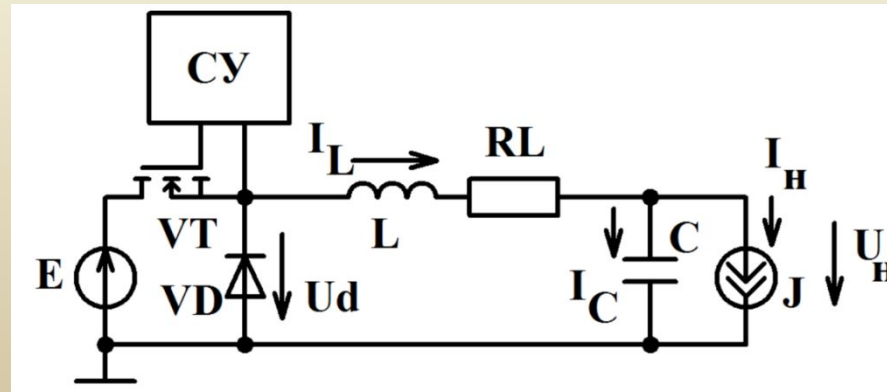
$$I_{\sim m} = 20\% \cdot J = I_{\sim(1)m}$$

$$I_{\sim(1)m} = \frac{U_{d\sim(1)m}}{\omega_K \cdot L}$$

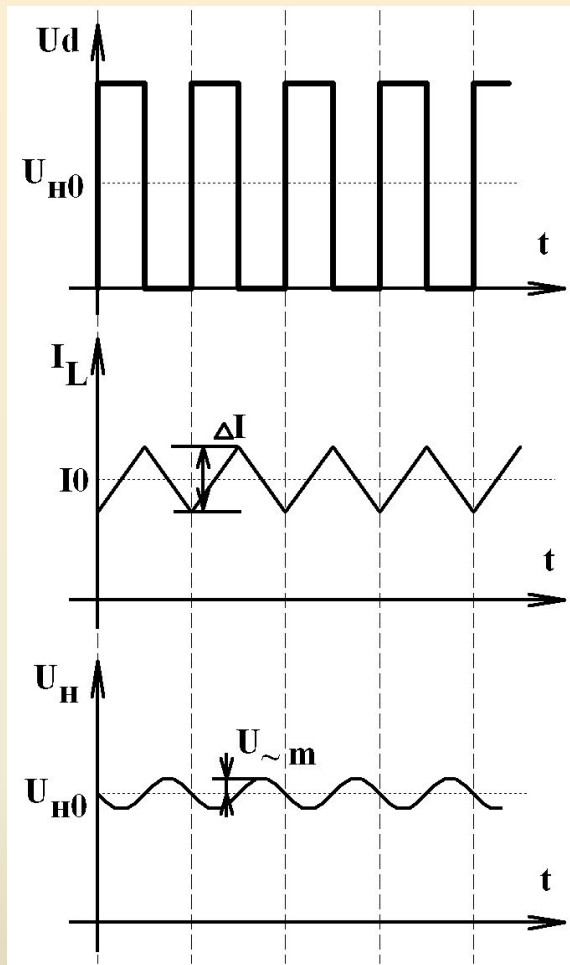
$$U_{d\sim(1)m} = q_{BX} \cdot U_{H0} =$$

$$= \frac{2}{\pi} \cdot \frac{\sin(\gamma \cdot \pi)}{\gamma} \cdot \gamma \cdot E = \frac{2}{\pi} \cdot \sin(\gamma \cdot \pi) \cdot E$$

$$L = \frac{\frac{2}{\pi} \cdot \sin(\gamma \cdot \pi) \cdot E}{\omega_K \cdot 20\% \cdot J}$$



Статический расчет фильтра:



При изменении напряжения питания и стабилизации напряжения нагрузки:

$$E_{min} \leq E \leq E_{max}$$

$$U_n = U_{н0}$$

$$\gamma \approx \frac{U_{н0}}{E}$$

При росте E и $E > U_{н0}$:

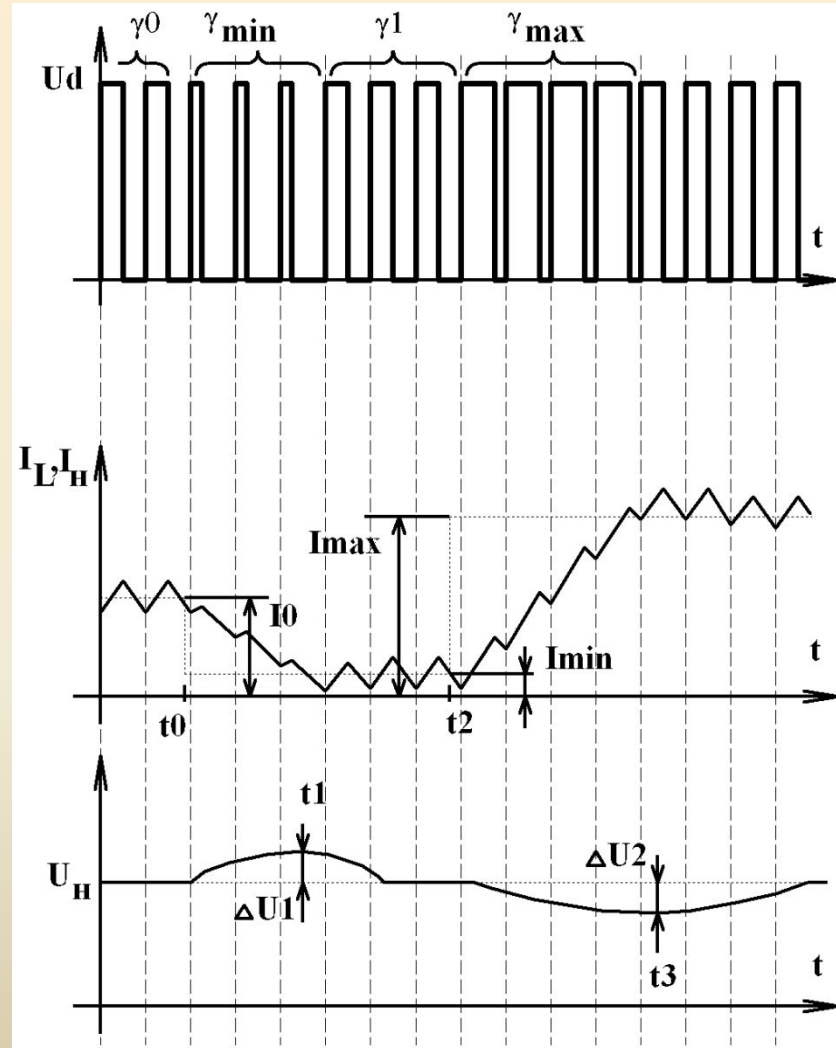
$$U_{d\sim(1)m} = U_{н0} \cdot q_{вх} = \frac{2}{\pi} \cdot \frac{\sin\left(\frac{U_{н0}}{E} \cdot \pi\right)}{\frac{U_{н0}}{E}} \cdot U_{н0} = \frac{2}{\pi} \cdot E \cdot \sin\left(\frac{U_{н0}}{E} \cdot \pi\right) \rightarrow 2 \cdot U_{н0}$$

То есть наибольшей величины $U_{d\sim(1)m}$ достигнет при:

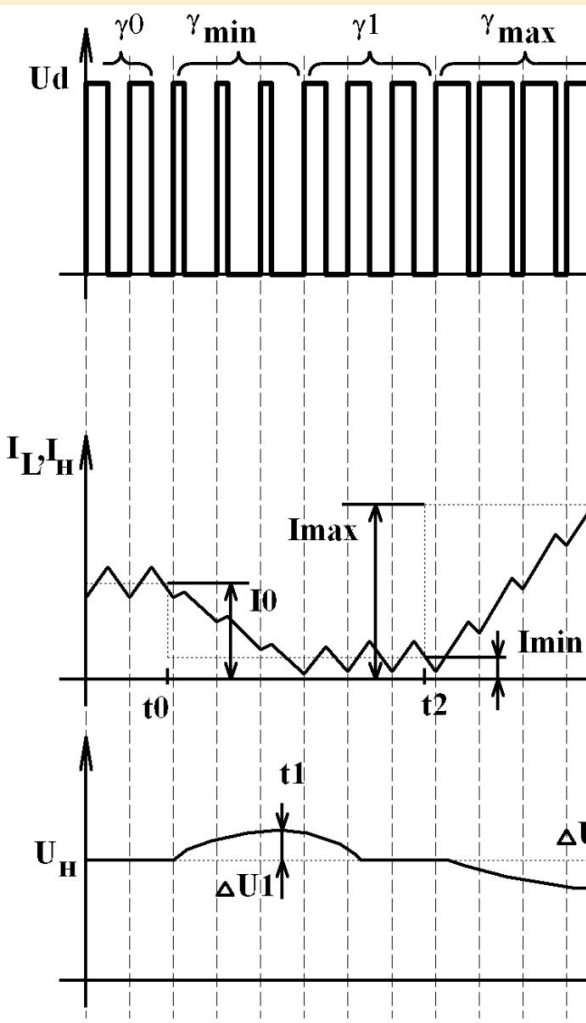
$$E = E_{max}$$

$$\gamma \approx \frac{U_{н0}}{E_{max}}$$

Динамический расчет фильтра



Сброс (уменьшение) нагрузки



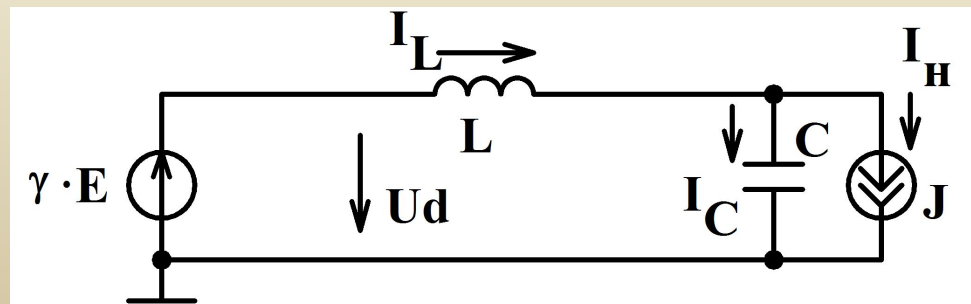
$$\begin{cases} i_L(t) = i_C(t) + i_H(t) \\ i_L(t) = \frac{E \cdot \gamma - u_H(t)}{L} t + i_L(t_0) \\ u_H(t) = u_H(t_0) + \frac{1}{C} \int_{t_0}^t i_C(\tau) d\tau \end{cases}$$

$$\gamma = \gamma_{min}$$

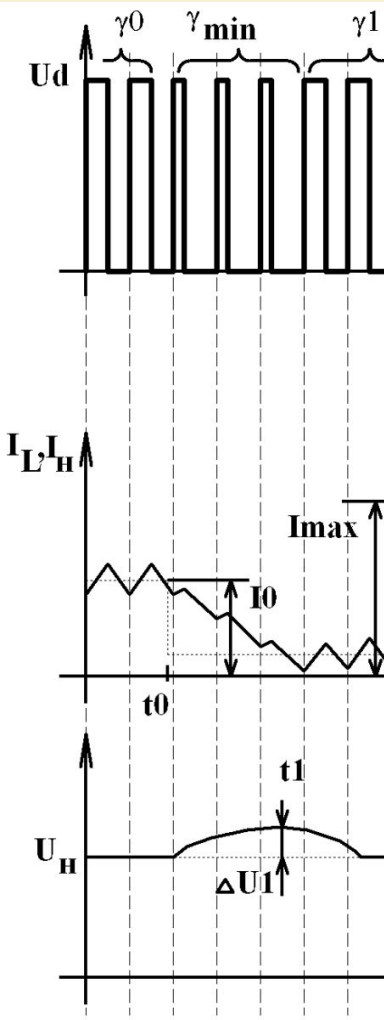
Начальные условия:

$$\begin{cases} i_L(t_0) = I_{min} + \Delta I_1 \\ u_H(t_0) = U_{H0} \end{cases}$$

$$\begin{aligned} i_C(t) = i_L(t) - i_H(t) &= \frac{E \cdot \gamma_{min} - u_H(t)}{L} t + \\ &+ I_{min} + \Delta I_1 - I_{min} = \frac{E \cdot \gamma_{min} - u_H(t)}{L} t + \Delta I_1 \end{aligned}$$



Сброс (уменьшение) нагрузки



$$u_H(t) = U_{H0} + \frac{1}{C} \int_{t_0}^t \left[\frac{E \cdot \gamma_{min} - u_H(t)}{L} t + \Delta I1 \right] d\tau$$

$$U_{H0} \gg \Delta U1 \Rightarrow \text{под интегралом } u_H(t) \approx U_{H0}$$

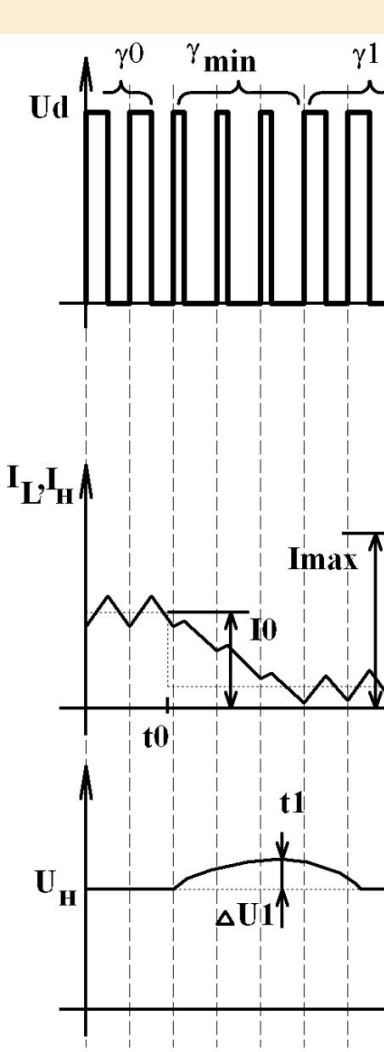
$$\begin{aligned} u_H(t) &= U_{H0} + \frac{1}{C} \int_{t_0}^t \left[\frac{E \cdot \gamma_{min} - U_{H0}}{L} t + \Delta I1 \right] d\tau = \\ &= U_{H0} + \frac{1}{C} \left[\frac{E \cdot \gamma_{min} - U_{H0}}{2 \cdot L} (t - t_0)^2 + \Delta I1 \cdot (t - t_0) \right] \end{aligned}$$

$$\left. \frac{du_H(t)}{dt} \right|_{t=t_1} = \frac{1}{C} \left[\frac{E \cdot \gamma_{min} - U_{H0}}{L} (t_1 - t_0) + \Delta I1 \right] = 0$$

$$t_1 - t_0 = \frac{\Delta I1 \cdot L}{U_{H0} - E \cdot \gamma_{min}}$$

$$u_H(t_1) = U_{H0} + \frac{1}{C} \left[-\frac{\Delta I1^2 \cdot L}{2 \cdot (U_{H0} - E \cdot \gamma_{min})} + \frac{\Delta I1^2 \cdot L}{U_{H0} - E \cdot \gamma_{min}} \right] = U_{H0} + \frac{L}{C} \cdot \frac{\Delta I1^2}{2 \cdot (U_{H0} - E \cdot \gamma_{min})}$$

Сброс (уменьшение) нагрузки



$$u_H(t1) = U_{H0} + \frac{1}{C} \left[-\frac{\Delta I1^2 \cdot L}{2 \cdot (U_{H0} - E \cdot \gamma_{min})} + \frac{\Delta I1^2 \cdot L}{U_{H0} - E \cdot \gamma_{min}} \right] := U_{H0} + \frac{L}{C} \cdot \frac{\Delta I1^2}{2 \cdot (U_{H0} - E \cdot \gamma_{min})}$$

$$\Delta U1 = \frac{L}{C} \cdot \frac{\Delta I1^2}{2 \cdot (U_{H0} - E \cdot \gamma_{min})}$$

$$C = \frac{L}{\Delta U1} \cdot \frac{\Delta I1^2}{2 \cdot (U_{H0} - E \cdot \gamma_{min})}$$

$$C = \frac{\Delta I1}{\omega_K} \sqrt{\frac{S_\Phi}{2 \cdot \Delta U1 \cdot (U_{H0} - E \cdot \gamma_{min})}}$$

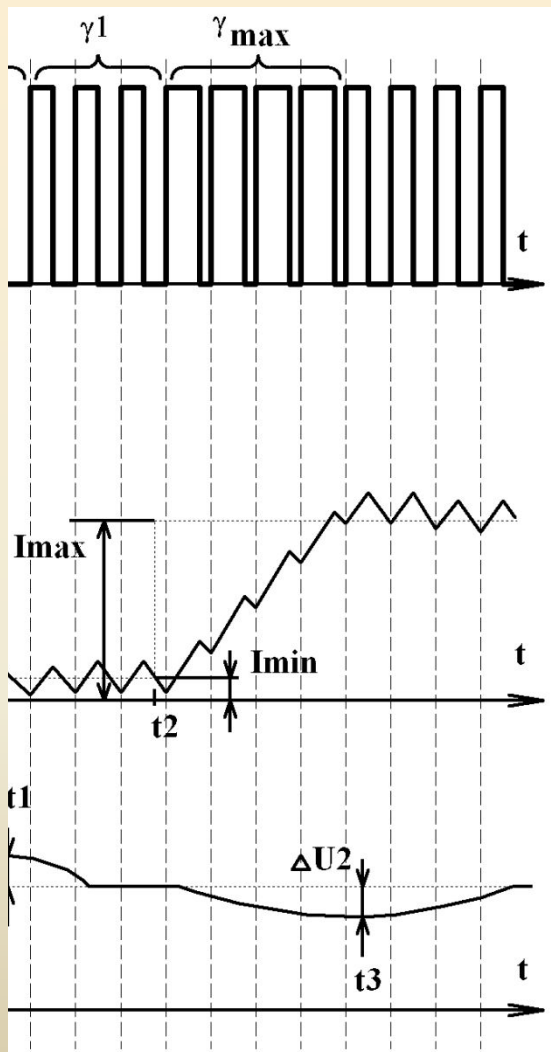
$$S_\Phi = (\omega_K)^2 \cdot L \cdot C$$

$\gamma_{min}=0$:

$$C = \frac{L}{\Delta U1} \cdot \frac{\Delta I1^2}{2 \cdot U_{H0}}$$

$$C = \frac{\Delta I1}{\omega_K} \sqrt{\frac{S_\Phi}{2 \cdot \Delta U1 \cdot U_{H0}}}$$

Наброс (увеличение) нагрузки



$$\begin{cases} i_L(t) = i_C(t) + i_H(t) \\ i_L(t) = \frac{E \cdot \gamma - u_H(t)}{L} t + i_L(t_0) \\ u_H(t) = u_H(t_0) + \frac{1}{C} \int_{t_0}^t i_C(\tau) d\tau \end{cases}$$

Система та же, но

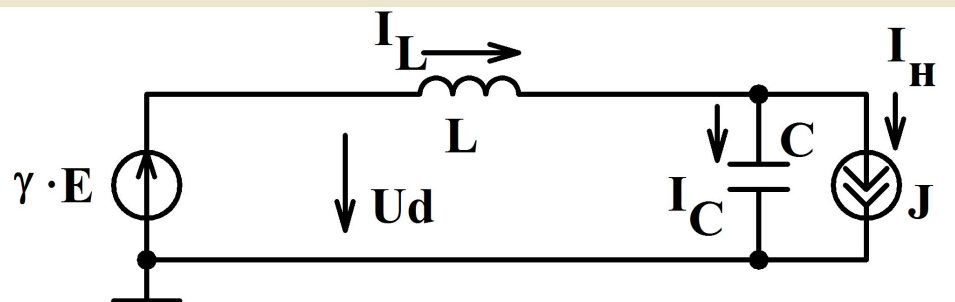
$$\gamma = \gamma_{max}$$

Начальные условия:

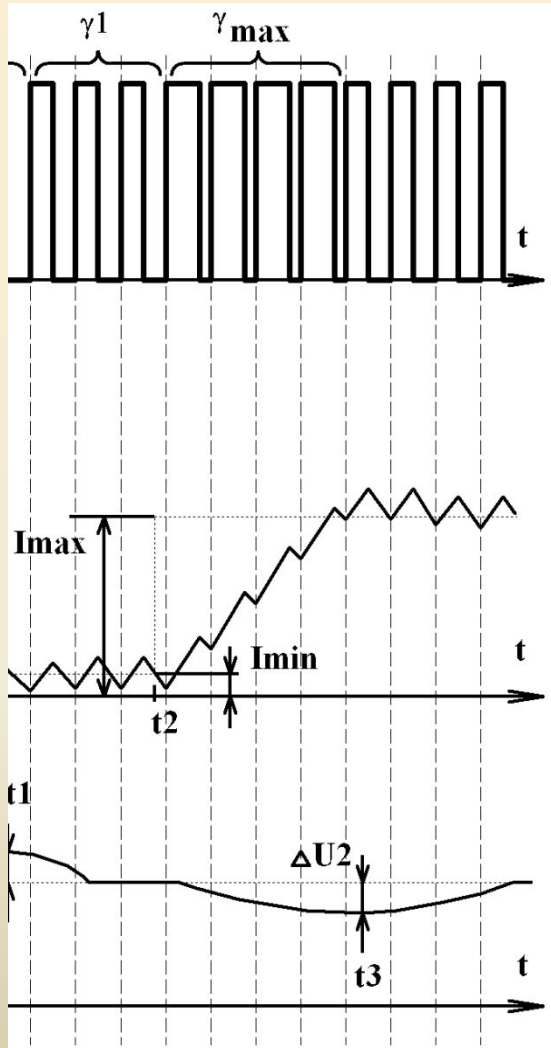
$$\begin{cases} i_L(t_2) = I_{min} = I_{max} - \Delta I_2 \\ u_H(t_2) = U_{H0} \end{cases}$$

$$i_H(t) = I_{max}$$

$$i_C(t) = \frac{E \cdot \gamma_{max} - u_H(t)}{L} t - \Delta I_2$$



Наброс (увеличение) нагрузки



$$u_H(t) = U_{H0} + \frac{1}{C} \int_{t2}^t \left[\frac{E \cdot \gamma_{max} - u_H(\tau)}{L} \tau - \Delta I2 \right] d\tau \approx$$

$$U_{H0} \gg \Delta U2 \Rightarrow \text{под интегралом} \quad u_H(t) \approx U_{H0}$$

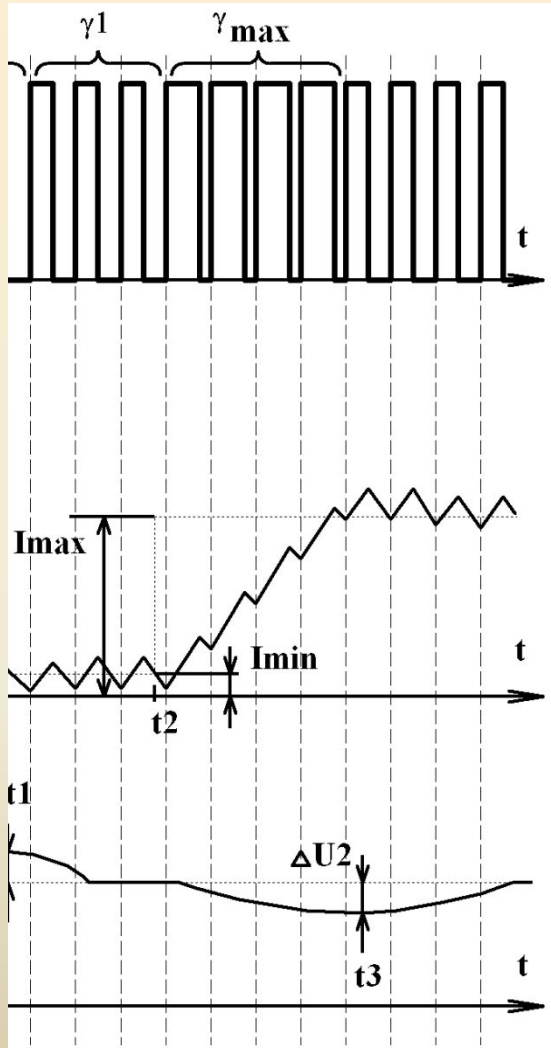
$$\approx U_{H0} + \frac{1}{C} \left[\frac{E \cdot \gamma_{max} - U_{H0}}{2 \cdot L} (t - t2)^2 - \Delta I2 \cdot (t - t2) \right]$$

$$t3 - t2 = \frac{\Delta I2 \cdot L}{E \cdot \gamma_{max} - U_{H0}}$$

$$u_H(t3) = U_{H0} - \frac{L}{C} \cdot \frac{\Delta I2^2}{2 \cdot (E \cdot \gamma_{max} - U_{H0})}$$

$$\Delta U2 = \frac{L}{C} \cdot \frac{\Delta I2^2}{2 \cdot (E \cdot \gamma_{max} - U_{H0})}$$

Наброс (увеличение) нагрузки



$$\Delta U_2 = \frac{L}{C} \cdot \frac{\Delta I^2}{2 \cdot (E \cdot \gamma_{max} - U_{H0})}$$

$$C = \frac{L}{\Delta U_2} \cdot \frac{\Delta I^2}{2 \cdot U_{H0} \cdot (\chi_{min} - 1)}$$

$$\chi_{min} = \frac{E \cdot \gamma_{max}}{U_{H0}}$$

– коэффициент запаса по напряжению

$$\chi_{min} = \frac{U_{H \max}}{U_{H0}}$$

– обобщенно (и более точно, если учесть потери)

Худший случай: $E = E_{min}$, $I = I_{max}$

$$C = \sqrt{\frac{S_{\Phi}}{(\omega_k)^2 \cdot \Delta U_2} \cdot \frac{\Delta I^2}{2 \cdot U_{H0} \cdot (\chi_{min} - 1)}}$$

Расчет фильтра: требования

- обеспечивать коэффициент пульсации напряжения на выходе не более $\gamma_{\text{вых0}}$, что обеспечивается величиной коэффициента сглаживания $S_{\text{ф}}$;
- пульсации тока дросселя фильтра должны быть не более выбранного уровня;
- подброс напряжения при сбросе нагрузки не должен превышать заданной величины ΔU_1 ;
- провал напряжения при набросе нагрузки не должен превышать заданной величины ΔU_2 .

Для каждого конкретного случая сочетания параметров преобразователя некоторые из требований являются лимитирующими,

при выполнении этих требований остальные выполняются, причем, как правило, с значительным запасом.

Расчет фильтра: последовательность

- рассчитывается величина индуктивности дросселя фильтра L ;
- рассчитываются емкости конденсатора, исходя из требований по сбросу и набросу нагрузки. Выбирается наибольшая величина емкости из полученных;
- для выбранной величины емкости S_{Φ} известной величины $q_{\text{вых}}$ и $U_{\sim(1)m}$ рассчитывается коэффициент сглаживания фильтра и пульсации или ;
- если пульсации больше допустимого уровня , следует увеличить емкость C , что увеличит коэффициент сглаживания не ухудшая характеристик фильтра по другим критериям