

$$u_{Lp} = p \cdot L \cdot I_p - L \cdot i_0 \quad \text{операторное падение напряжения на инд.}$$

$$u_{Cp} = \frac{1}{p \cdot C} \cdot I_p + \frac{u_{C0}}{p} \quad \text{операторное падение напряжения на емк.}$$

$$u_{Rp} = R \cdot I_p \quad \text{операторное падение напряжения на рез.}$$

$$E_p = u_{Rp} + u_{Lp} + u_{Cp} = R \cdot I_p + (p \cdot L \cdot I_p - L \cdot i_0) + \left( \frac{1}{p \cdot C} \cdot I_p + \frac{u_{C0}}{p} \right)$$

$$E_p = R \cdot I_p + (p \cdot L \cdot I_p - L \cdot i_0) + \left( \frac{1}{p \cdot C} \cdot I_p + \frac{u_{C0}}{p} \right)$$

$$I_p = \frac{E_p - \frac{u_{C0}}{p} + L \cdot i_0}{R + \frac{1}{C \cdot p} + L \cdot p} = \frac{E_p - \frac{u_{C0}}{p} + L \cdot i_0}{R + \frac{1}{C \cdot p} + L \cdot p}$$

$$E_p = E_m \cdot \frac{(\omega \cdot \cos(\varphi) + p \cdot \sin(\varphi))}{\omega^2 + p^2}$$

$$I_p = \frac{C \cdot p \cdot (E_m \cdot p^2 \cdot \sin(\varphi) - p^2 \cdot u_{C0} - \omega^2 \cdot u_{C0} + L \cdot i_0 \cdot p^3 + E_m \cdot \omega \cdot p \cdot \cos(\varphi) + L \cdot \omega^2 \cdot i_0 \cdot p)}{(\omega^2 \cdot p + p^3) \cdot (C \cdot L \cdot p^2 + C \cdot R \cdot p + 1)}$$

$$j := \sqrt{-1}$$

$$f := 50 \quad \omega := 2 \cdot \pi \cdot f$$

$$Zs1 := 4.932 + j \cdot 20.377$$

$$Zs0 := 0.561 + j \cdot 6.592$$

$$ZL := \frac{Zs0 + 2 \cdot Zs1}{3} = 3.475 + 15.782i$$

$$R := \operatorname{Re}(ZL) = 3.475 \quad L := \frac{1}{\omega} \operatorname{Im}(ZL) = 0.0502$$

$$E_m := \frac{121 \cdot 10^3 \cdot \sqrt{2}}{\sqrt{3}} = 9.8796 \times 10^4 \quad \varphi := 90 \cdot \frac{\pi}{180} \quad \text{фаза включения 90 градусов при максимуме ЭДС}$$

$$S_{ном} := 25 \quad U_{ном} := 121$$

$$C := \frac{S_{ном}}{\omega \cdot U_{ном}^2} = 5.4352 \times 10^{-6} \quad \frac{1}{\omega \cdot C} = 585.64$$

$$i_0 := 0$$

**!Остаточный заряд: менять строки местами для перебора вариантов**

$$u_{C0} := -E_m \quad \text{конденсатор заряжен отрицательно}$$

$$u_{C0} := E_m \quad \text{конденсатор заряжен положительно}$$

$$u_{C0} := 0 \quad \text{конденсатор разряжен}$$

$$i(t) := \frac{C \cdot p \cdot (E_m \cdot p^2 \cdot \sin(\varphi) - p^2 \cdot u_{C0} - \omega^2 \cdot u_{C0} + L \cdot i_0 \cdot p^3 + E_m \cdot \omega \cdot p \cdot \cos(\varphi) + L \cdot \omega^2 \cdot i_0 \cdot p)}{(\omega^2 \cdot p + p^3) \cdot (C \cdot L \cdot p^2 + C \cdot R \cdot p + 1)} \operatorname{invlaplace}, p \rightarrow 1.0571706597068087293 \cdot \cos(314.15926535897932385 \cdot t) - 173.36321087746838863 \cdot \sin$$



$$N := 10001$$

$$t_{start} := 0 \quad t_{end} := 0.1$$

$$\Delta t := \frac{t_{end} - t_{start}}{N - 1} = 1 \times 10^{-5}$$

$$N_{per} := \frac{1}{f \cdot \Delta t} = 2000$$

$$k := 0, 1 \dots N$$

$$t_k := t_{start} + k \cdot \Delta t$$

$$i_{val_k} := i(t_k)$$

$$\text{DFT}(\text{value}, N_{\text{per}}, N) := \begin{cases} \text{for } n \in 0..N - N_{\text{per}} \\ X_n \leftarrow \frac{2 \cdot j}{N_{\text{per}}} \cdot \sum_{k=n}^{N_{\text{per}}-1+n} (\text{value}_k \cdot \exp(-j \cdot \omega \cdot \Delta t \cdot k)) \\ \text{return } X \end{cases}$$

$$\text{ABS}(\text{value}) := \begin{cases} \text{for } n \in 0.. \text{last}(\text{value}) \\ X_{\text{abs}_n} \leftarrow |\text{value}_n| \\ \text{return } X_{\text{abs}} \end{cases}$$

$$\text{ARG}(\text{value}) := \begin{cases} \text{for } n \in 0.. \text{last}(\text{value}) \\ X_{\text{arg}_n} \leftarrow \arg(\text{value}_n) \cdot \frac{1}{N_{\text{per}}} \\ \text{return } X_{\text{arg}} \end{cases}$$

$$\text{RMS}(\text{value}, N_{\text{per}}, N) := \begin{cases} \text{for } n \in 0..N - N_{\text{per}} \\ X_n \leftarrow \sqrt{\frac{1}{N_{\text{per}}} \cdot \sum_{k=n}^{N_{\text{per}}-1+n} [(\text{value}_k)^2]} \\ \text{return } X \end{cases}$$

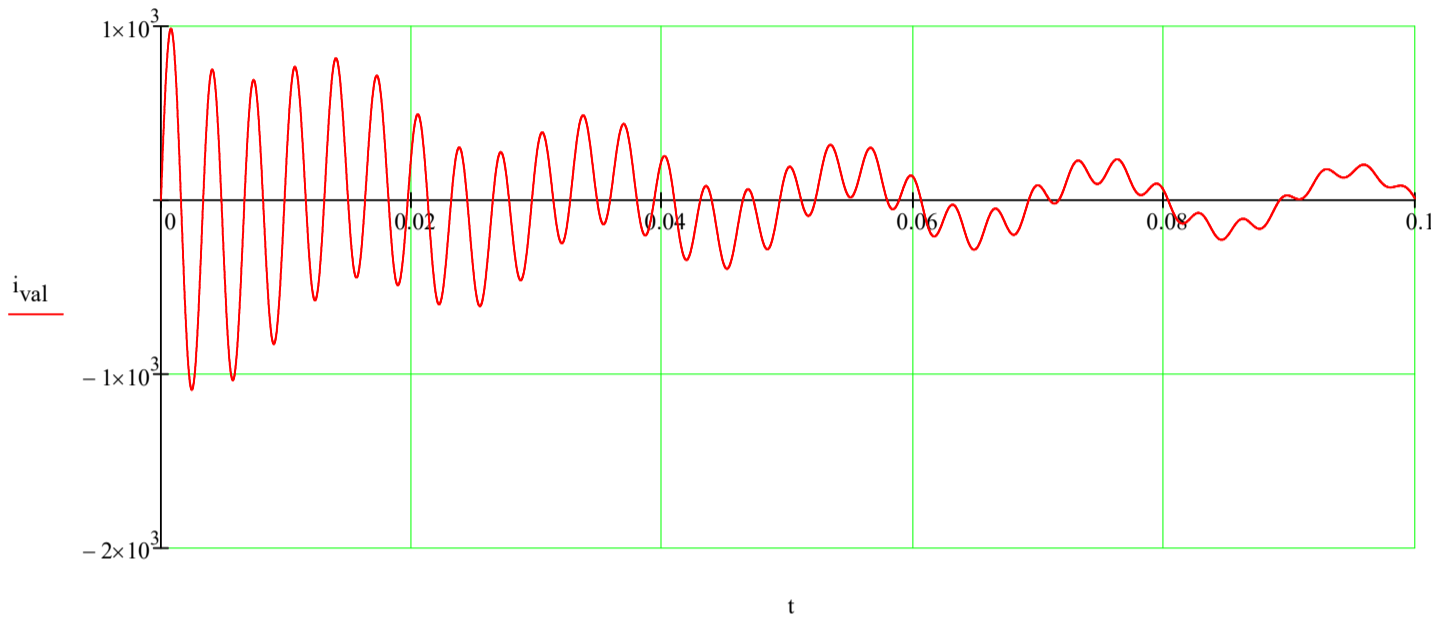


$$i_l(t) := \frac{E_m \cdot \left( \sin\left(t \cdot \sqrt{\frac{1}{C \cdot L}}\right) - C \cdot L \cdot \sin(t \cdot \omega) \cdot \omega \cdot \sqrt{\frac{1}{C \cdot L}} \right)}{\sqrt{\frac{L}{C}} \cdot (1 - C \cdot L \cdot \omega^2)}$$

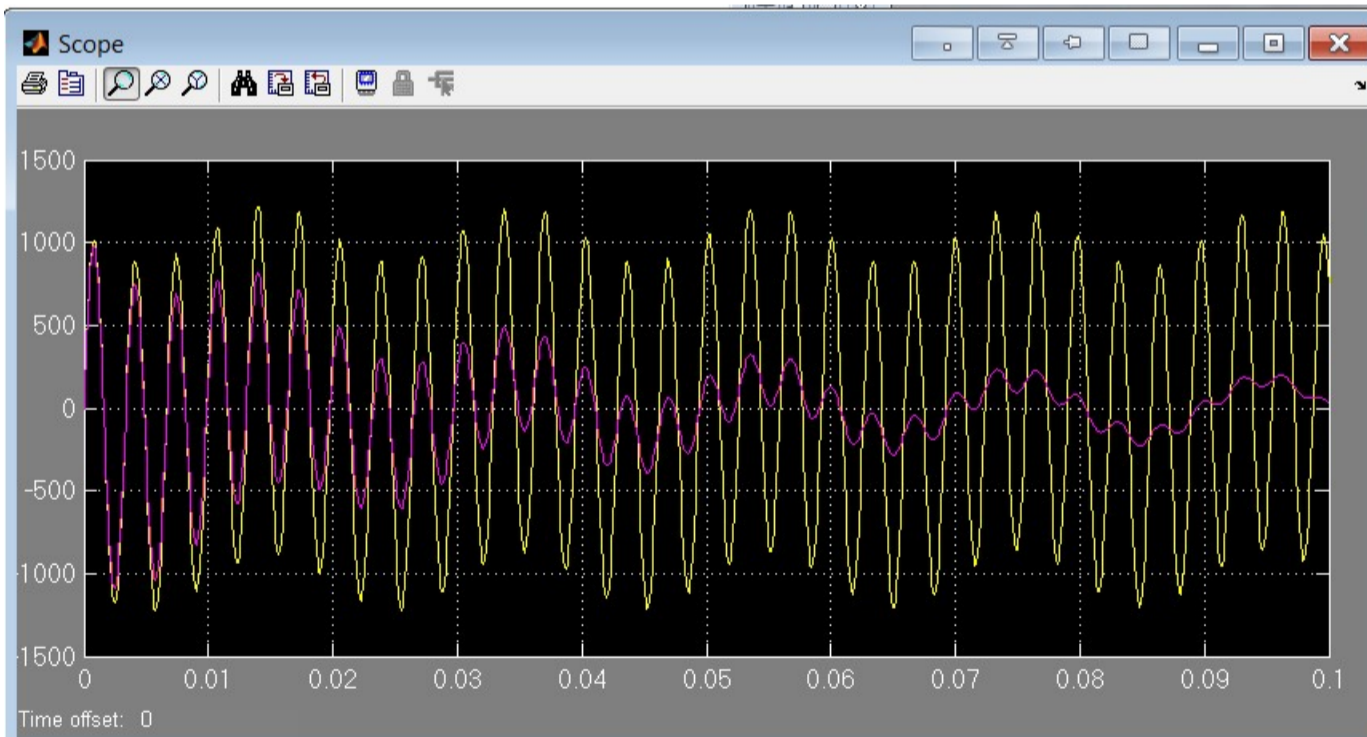
упрощенное выражение без R (без затухания) при  $\Phi=90$

$$A := \frac{E_m \cdot (1 + \omega \cdot \sqrt{L \cdot C})}{\sqrt{\frac{L}{C}} \cdot (1 - \omega^2 \cdot L \cdot C)} = 1229.4755$$

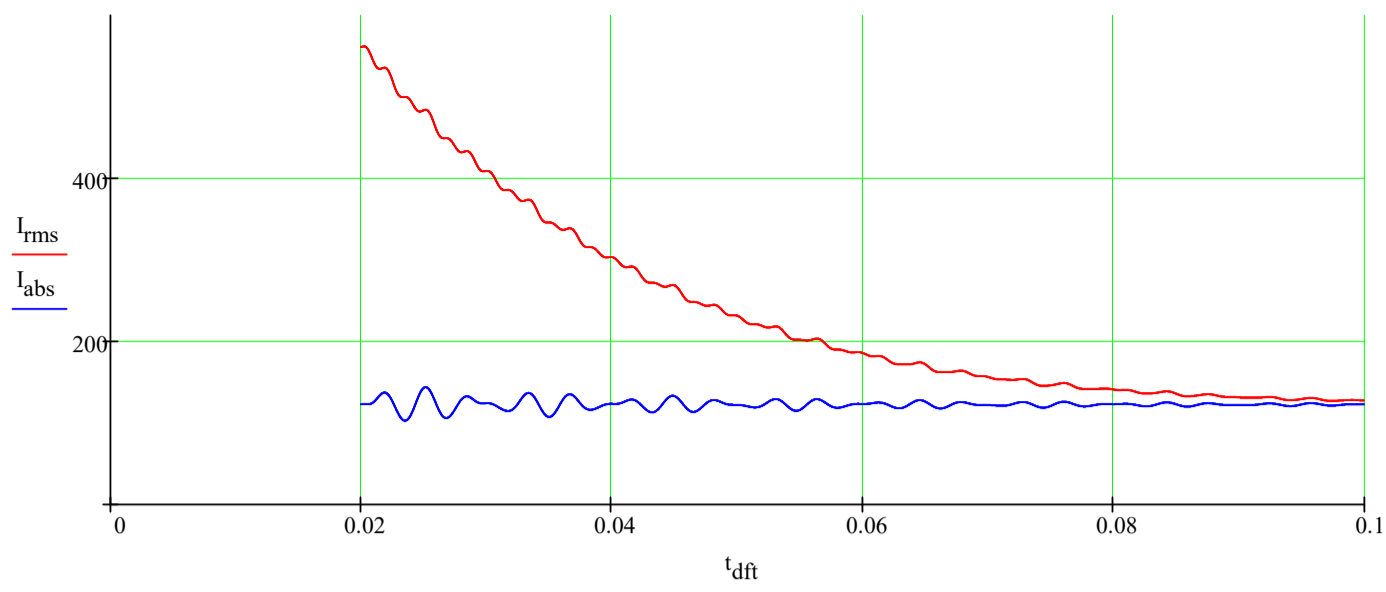
Амплитуда огибающей



Симулинк



$$I_{\text{dft}} := \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot \text{DFT}(i_{\text{val}}, N_{\text{per}}, N) \quad t_{\text{dft}} := \text{TIME\_DFT}(N, N_{\text{per}}) \quad I_{\text{abs}} := \text{ABS}(I_{\text{dft}}) \quad I_{\text{rms}} := \text{RMS}(i_{\text{val}}, N_{\text{per}}, N)$$



По формуле из СТО

$$W_k := \frac{3 \left( \frac{E_m}{\sqrt{2}} \right)^2}{\omega \cdot L} = 9.277 \times 10^8 \quad \text{мощность при 1 ф. КЗ}$$

$$Q_k := S_{\text{ном}} \cdot 10^6 \quad \text{мощность КУ}$$

$$I_{\text{ном}} := \frac{Q_k}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ном}} \cdot 10^3} = 119.2872 \quad \text{номинальный ток}$$

$$I_{\text{нач. ампл}} := \sqrt{2} \cdot I_{\text{ном}} \cdot \left( 1 + \sqrt{\frac{W_k}{Q_k}} \right) = 1196.3432 \quad \text{Амплитудное значение тока включения}$$

$$I_{\text{нач}} := I_{\text{ном}} \cdot \left( 1 + \sqrt{\frac{W_k}{Q_k}} \right) = 845.9424 \quad \text{Действующее значение тока включения}$$

Все примерно сходится.

$$n(314.15926535897932385 \cdot t) - 1.0571706597068087293 \cdot \cos(1913.4330920299922284 \cdot t) \cdot e^{-34.586980329567015461 \cdot t} + 1056.2581770654061877 \cdot \sin(1913.4330920299922284 \cdot t) \cdot e^{-34.586980329567$$

---

$\frac{80}{\pi}$

```
TIME_DFT(N, N_per) := | for n ∈ 0..N - N_per
                       |   t_dft_n ← (n · Δt + N_per · Δt)
                       | return t_dft
```

---

