

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

### Расчет трансформатора

Система

$$E_m := 38500 \cdot \sqrt{2} = 5.445 \times 10^4 \quad \varphi := -0 \cdot \frac{\pi}{180} \quad j := \sqrt{-1} \quad \text{ЭДС линейная, т.к. обмотка ВН в треугольник!}$$

$$R_{\text{сист}} := 5.562 \quad X_{\text{сист}} := 39.125 \quad \text{Режим 1}$$

Суммарное сопротивление

$$R_s := R_{\text{сист}} = 5.562$$

$$X_s := X_{\text{сист}} = 39.125$$

$$L_s := \frac{X_s}{\omega} = 0.125$$

Трансформатор основной

$$N_{\text{трансф}} := 3$$

$$K_{\text{max}} = \frac{B_{\text{max}}}{B_{\text{раб}}} \quad K_{\text{max}} := 1.2 \quad \text{Параметр отвечает за величину БТН}$$

$$U_{\text{НОМ}} := 35000 \quad S_{\text{НОМ}} := 250 \times 10^3 \quad u_k := 6.5 \quad I_x := 2.2 \quad I_{\text{НОМ}} := \frac{S_{\text{НОМ}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{НОМ}}} = 4.124 \quad \Delta P_k := 3700 \quad N_{\text{СТ}} := 3$$

$$Z_k := \frac{u_k}{100} \cdot \frac{U_{\text{НОМ}}^2}{S_{\text{НОМ}}} = 318.5 \quad R_k := \Delta P_k \cdot \frac{U_{\text{НОМ}}^2}{S_{\text{НОМ}}^2} = 72.52 \quad X_k := \sqrt{Z_k^2 - R_k^2} = 310.134$$

$L_1 := 6.836$  по Тихомирову для аналогичного (примерно) трансформатора, для справки. Здесь используется рассчитанное по параметрам Т значение.

Формула

$$X_1 := 3 \cdot X_k \cdot 1.455 \cdot 10^{-2} \cdot \sqrt[4]{\frac{S_{\text{НОМ}}}{u_k \cdot N_{\text{СТ}} \cdot \left(0.03 + 0.0011 \cdot \sqrt[4]{\frac{S_{\text{НОМ}}}{N_{\text{СТ}}}}\right)^3}} = 1.39 \times 10^3 \quad L_1 := \frac{1}{\omega} \cdot X_1 = 4.424 \quad \text{множитель 3, т.к. треугольник}$$

$$R_1 := 3 \cdot \left(\frac{1}{2} \cdot R_k\right) = 108.78$$

$$L_{11} := 3 \cdot \left[\frac{1}{\omega} \cdot \left(\frac{100}{I_x} \cdot \frac{U_{\text{НОМ}}^2}{S_{\text{НОМ}}}\right)\right] = 2.127 \times 10^3 \quad \text{множитель 3, т.к. обмотка ВН в треугольник!}$$

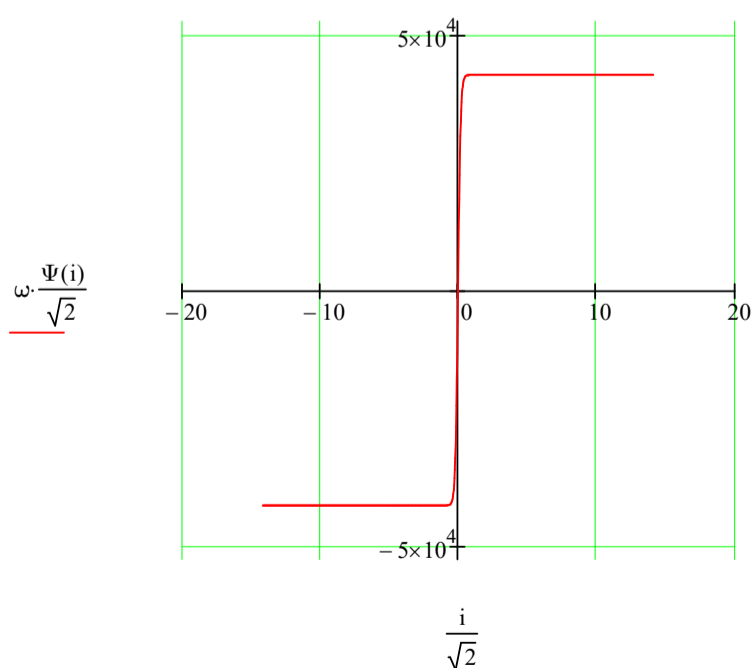
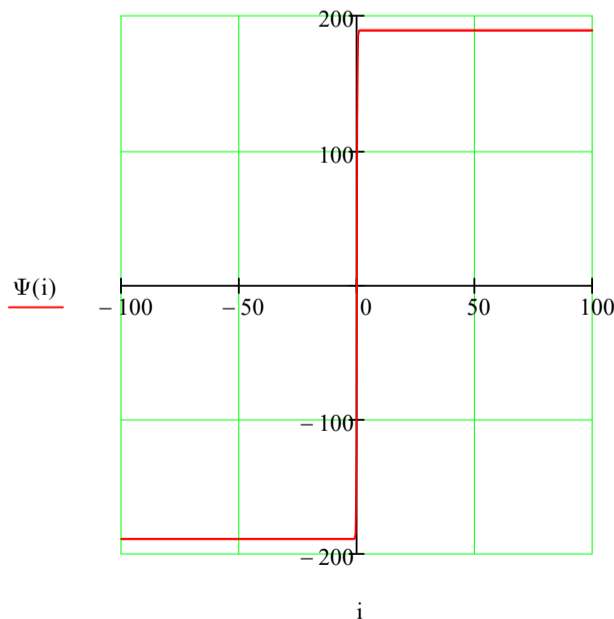
$$L_{\mu} := \frac{(L_{11} - L_1)}{N_{\text{трансф}}} = 707.488$$

$$\underline{R} := R_s + \frac{R_1}{N_{\text{трансф}}} = 41.822 \quad \underline{L} := L_s + \frac{L_1}{N_{\text{трансф}}} = 1.599$$

$$\Psi_m := \frac{1}{\omega} \cdot (K_{\text{max}} \cdot U_{\text{НОМ}} \cdot \sqrt{2}) = 189.066$$

$$\Psi(i) := \Psi_m \cdot \tanh\left(\frac{L_{\mu}}{\Psi_m} \cdot i\right)$$

$$d\Psi_{-di}(i) := L_{\mu} \cdot \left[1 - \tanh\left[\frac{i \cdot (L_{\mu})}{\Psi_m}\right]^2\right]$$



ВАХ по действующим значениям

Вычисления

$$u = R \cdot i + L \cdot \frac{d}{dt} i + d\Psi_{-di}(i) \cdot \frac{d}{dt} i$$

$$E_m \cdot \sin(\omega \cdot t + \varphi) = R \cdot i + (L + d\Psi_{di}(i)) \cdot \frac{d}{dt} i$$

$$D(t, i) := \frac{(E_m \cdot \sin(\omega \cdot t + \varphi) - R \cdot i)}{(L + d\Psi_{di}(i))}$$

$$t_{\text{start}} := 0 \quad t_{\text{end}} := 1 \quad \text{NUM} := 200001 \quad \Delta t := \frac{t_{\text{end}} - t_{\text{start}}}{\text{NUM} - 1}$$

$$K_r := 0.86 \quad i_0 := \begin{cases} i_0 \leftarrow 0 \\ \text{for } k \in 0..5 \\ \quad \begin{cases} f_k \leftarrow \Psi(i_k) - K_r \cdot \Psi_m \\ df_k \leftarrow d\Psi_{di}(i_k) \\ i_{k+1} \leftarrow i_k - \frac{f_k}{df_k} \end{cases} \\ \text{return } i_{k+1} \end{cases}$$

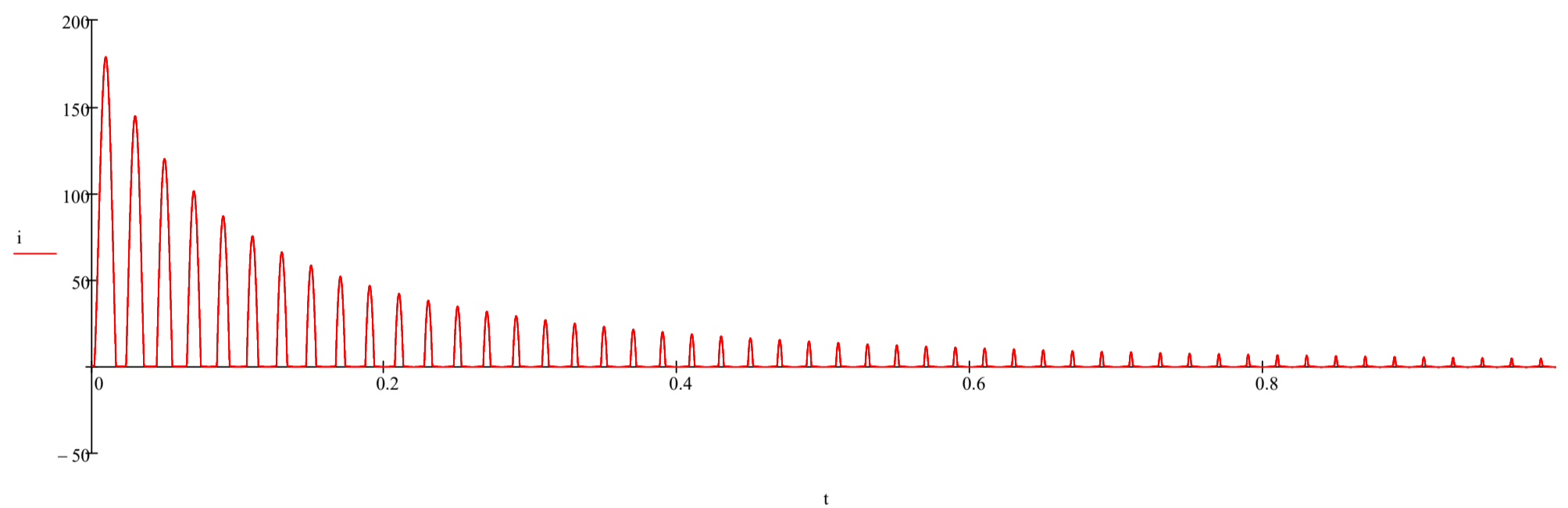
$$i_0 = 0.346 \quad n := 0, 1 \dots \text{NUM} - 1$$

$$\text{RES} := \text{rkfixed}(i_0, t_{\text{start}}, t_{\text{end}}, \text{NUM}, D)$$

$$t_n := \text{RES}_{n,0}$$

$$K_{\text{сх}} := 1 \quad \text{т.к. треугольник}$$

$$i_n := K_{\text{сх}} \cdot \text{RES}_{n,1}$$



Расчет тока КЗ

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

$$E := \frac{E_m}{\sqrt{2}} = 3.85 \times 10^4$$

$$Z := R_s + 2 \cdot R_l + j \cdot (X_s + X_k) = 223.122 + 349.259j$$

$$I_k := \frac{E}{\sqrt{3} \cdot Z} = 28.874 - 45.197j \quad |I_k| = 53.633 \quad \text{ток трехфазного КЗ за Т}$$

Номинальный ток трансформатора

$$I_{\text{НОМ}} := \frac{S_{\text{НОМ}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{НОМ}}} = 4.124$$

Фурье и среднеквадратичное

Формулы

$$N := \text{round}\left(\frac{1}{f \cdot dt}\right) = 4 \times 10^3$$

$$\text{DECIMATE}(f, k_{\text{dec}}) := \begin{cases} n \leftarrow 0 \\ \text{for } k \in 0.. \text{длина}(f) \\ \quad \text{if } \text{floor}\left(\frac{k}{k_{\text{dec}}}\right) \cdot k_{\text{dec}} = k \\ \quad \quad \left| \begin{array}{l} \text{VAL}_n \leftarrow f_k \\ n \leftarrow n + 1 \end{array} \right. \\ \text{return VAL} \end{cases}$$

$$\Delta t := \frac{t_{\text{end}} - t_{\text{start}}}{N - 1} = 2.501 \times 10^{-4} \quad N_{\text{per}} := \frac{1}{f \cdot \Delta t} = 79.98 \quad j := \sqrt{-1}$$

$$\text{ABS}(\text{value}) := \begin{cases} \text{for } n \in 0.. \text{last}(\text{value}) \\ \quad \text{Xabs}_n \leftarrow |\text{value}_n| \\ \text{return Xabs} \end{cases} \quad \text{ARG}(\text{value}) := \begin{cases} \text{for } n \in 0.. \text{last}(\text{value}) \\ \quad \text{Xarg}_n \leftarrow \arg(\text{value}_n) \cdot \frac{180}{\pi} \\ \text{return Xarg} \end{cases}$$

$$\text{ArrInsertBack}(\text{ArrInit}, \text{val}) := \begin{cases} \text{for } k \in 1.. \text{длина}(\text{ArrInit}) - 1 \\ \quad \text{X}_{k-1} \leftarrow \text{ArrInit}_k \\ \quad \text{X}_{\text{длина}(\text{ArrInit})-1} \leftarrow \text{val} \\ \text{return X} \end{cases} \quad \text{zeros}(N) := \begin{cases} \text{for } k \in 0.. N - 1 \\ \quad \text{X}_k \leftarrow 0 \\ \text{return X} \end{cases}$$

$$\text{Fourier}(\text{sample\_arr}, \text{time\_arr}, \omega) := \begin{cases} N \leftarrow \text{длина}(\text{sample\_arr}) \\ \text{RE} \leftarrow 0 \\ \text{IM} \leftarrow 0 \\ \text{for } i \in 0.. N - 1 \\ \quad \left| \begin{array}{l} t \leftarrow \text{time\_arr}_i \\ \text{val} \leftarrow \text{sample\_arr}_i \\ \text{RE} \leftarrow \text{RE} + \frac{2}{N} \cdot \text{val} \cdot \sin(\omega \cdot t) \\ \text{IM} \leftarrow \text{IM} + \frac{2}{N} \cdot \text{val} \cdot \cos(\omega \cdot t) \end{array} \right. \\ \text{return RE} + j \cdot \text{IM} \end{cases}$$

$$\text{RMS}(\text{sample\_arr}) := \begin{cases} N \leftarrow \text{длина}(\text{sample\_arr}) \\ \text{RES} \leftarrow 0 \\ \text{for } i \in 0.. N - 1 \\ \quad \left| \begin{array}{l} \text{val} \leftarrow \text{sample\_arr}_i \\ \text{RES} \leftarrow \text{RES} + \frac{\text{val}^2}{N} \end{array} \right. \\ \text{return } \sqrt{\text{RES}} \end{cases}$$

$$\text{Fourier\_arr}(\text{samples}, \text{times}, \text{Twindow}, f) := \begin{cases} \text{Num\_samples} \leftarrow \text{длина}(\text{samples}) \\ \text{dt} \leftarrow \frac{(\text{times}_{\text{длина}(\text{times})-1} - \text{times}_0)}{\text{Num\_samples}} \\ N \leftarrow \text{floor}\left(\frac{\text{Twindow}}{\text{dt}}\right) \\ \text{sample\_arr} \leftarrow \text{zeros}(N) \\ \text{time\_arr} \leftarrow \text{zeros}(N) \\ \text{for } k \in 0.. \text{Num\_samples} - 1 \\ \quad \left| \begin{array}{l} \text{sample\_arr} \leftarrow \text{ArrInsertBack}(\text{sample\_arr}, \text{sample}_k) \\ \text{time\_arr} \leftarrow \text{ArrInsertBack}(\text{time\_arr}, \text{times}_k) \\ \text{result}_k \leftarrow \text{Fourier}(\text{sample\_arr}, \text{time\_arr}, 2 \cdot \pi \cdot f) \end{array} \right. \\ \text{return result} \end{cases}$$

$$\text{RMS\_arr}(\text{samples}, \text{times}, \text{Twindow}) := \begin{cases} \text{Num\_samples} \leftarrow \text{длина}(\text{samples}) \\ \text{dt} \leftarrow \frac{(\text{times}_{\text{длина}(\text{times})-1} - \text{times}_0)}{\text{Num\_samples}} \\ N \leftarrow \text{floor}\left(\frac{\text{Twindow}}{\text{dt}}\right) \\ \text{sample\_arr} \leftarrow \text{zeros}(N) \\ \text{time\_arr} \leftarrow \text{zeros}(N) \\ \text{for } k \in 0.. \text{Num\_samples} - 1 \\ \quad \left| \begin{array}{l} \text{sample\_arr} \leftarrow \text{ArrInsertBack}(\text{sample\_arr}, \text{samples}_k) \\ \text{time\_arr} \leftarrow \text{ArrInsertBack}(\text{time\_arr}, \text{times}_k) \\ \text{result}_k \leftarrow \text{RMS}(\text{sample\_arr}) \end{array} \right. \\ \text{return result} \end{cases}$$

$N_{\text{req}} := 20$       Число отсчетов на период

$k_{\text{dec}} := \text{floor}\left(\frac{N}{N_{\text{req}}}\right) = 200$       Шаг децимации

$i_{\text{dec}} := \text{DECIMATE}(i, k_{\text{dec}})$

$t_{\text{dec}} := \text{DECIMATE}(t, k_{\text{dec}})$        $f = 50$

$I_{\text{DFT}} := \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot \text{Fourier\_arr}\left(i_{\text{dec}}, t_{\text{dec}}, \frac{1}{f}, f\right)$        $I_{\text{RMS}} := \text{RMS\_arr}\left(i_{\text{dec}}, t_{\text{dec}}, \frac{1}{f}\right)$

$I_{\text{DFT.abs}} := \text{ABS}(I_{\text{DFT}})$

