

## Начальные данные

Номинальная мощность:  $S_n := 250 \quad \text{кВ} \cdot \text{А}$

Номинальное линейное напряжение обмотки ВН:  $U_1 := 35 \quad \text{кВ}$

Номинальное линейное напряжение обмотки НН:  $U_2 := 0.4 \quad \text{кВ}$

Частота:  $f := 50 \quad \text{Гц}$

Напряжение короткого замыкания:  $U_k := 6.5 \quad \%$

Потери короткого замыкания:  $P_k := 3700 \quad \text{Вт}$

Потери холостого хода:  $P_x := 900 \quad \text{Вт}$

Ток холостого хода:  $I_x := 2.3 \quad \%$

Схема и группа соединения  $Y/Y_n - O$  обмоток:

### 1. Расчет основных электрических величин:

Число фаз:  $m := 3$

Мощность одной фазы трансформатора:  $S_\phi := \frac{S_n}{m} \quad S_\phi = 83.333$

Номинальные токи:

$$\text{ВН:} \quad I_{\text{ном1}} := \frac{S_n \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot U_1 \cdot 10^3} \quad I_{\text{ном1}} = 4.124$$

$$\text{НН:} \quad I_{\text{ном2}} := \frac{S_n \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot U_2 \cdot 10^3} \quad I_{\text{ном2}} = 360.844$$

Фазный ток обмотки одного стержня трехфазного трансформатора при соединении обмоток в звезду, А:

$$I_{\phi 1} := I_{\text{ном1}} \quad I_{\phi 1} = 4.124$$

$$I_{\phi 2} := I_{\text{ном2}} \quad I_{\phi 2} = 360.844$$

Фазное напряжение трехфазного трансформатора при соединении обмоток в звезду, В:

$$U_{\phi 1} := \frac{U_1}{\sqrt{3}} \quad U_{\phi 1} = 20.207 \quad \text{кВ}$$

$$U_{\phi 2} := \frac{U_2}{\sqrt{3}} \quad U_{\phi 2} = 0.231 \quad \text{кВ}$$

Выбираем испытательное напряжение на стороне ВН и НН по таблице 4.1:

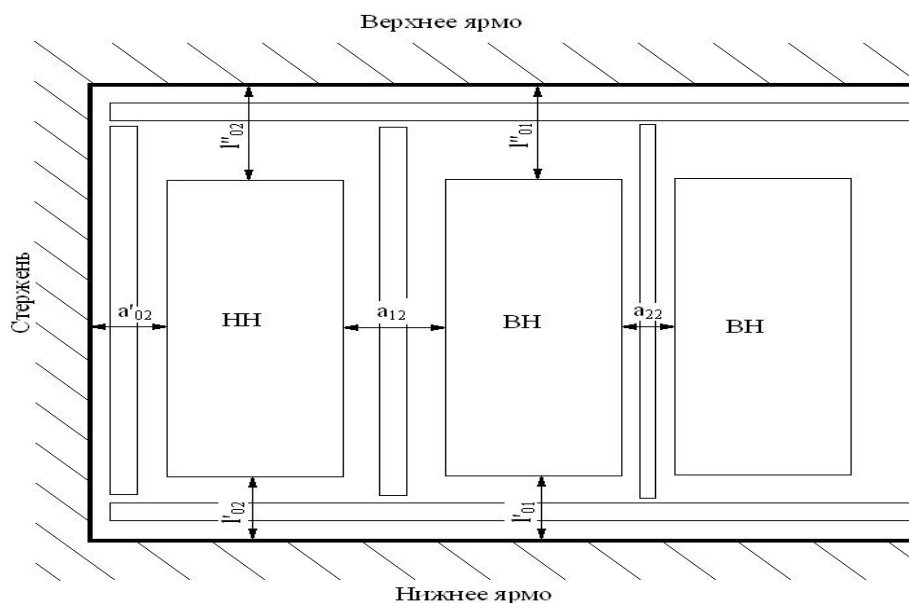
ВН:  $U_{исп1} := 85$  кВ

НН:  $U_{исп2} := 5$  кВ (примечание к табл 4.1)

По таблице 5.8 стр.259 выбираем типы обмоток:

обмотка ВН при напряжении 35 кВ и токе 4.124 А цилиндрическая многослойная из круглого провода;

обмотка НН при напряжении 0,4 кВ и токе 360.844 А цилиндрическая одно- и двухслойная из прямоугольного провода;



Для испытательного напряжения обмотки ВН  $U_{исп1}=35$  кВ по рисунку 4.6 и таблице 4.5 на стр.184 находим изоляционные расстояния: между обмотками НН и ВН -  $a_{12}=30$  мм, от обмотки ВН до ярма -  $l_{01}=75$  мм

$$a_{12} := 30 \cdot 10^{-3} \text{ м} \quad a_{22} := 20 \cdot 10^{-3} \text{ м} \quad l_{02} := 75 \cdot 10^{-3} \text{ м} \quad l_{01} := 75 \cdot 10^{-3} \text{ м}$$

Для испытательного напряжения обмотки НН  $U_{исп2}=5$  кВ находим изоляционные расстояния таблице 4.4 на стр. 183:

$$a_{01} := 4 \cdot 10^{-3} \text{ м}$$

Изоляционные расстояния  $l_{01}$  от обмотки НН до ярма:

$$l_{01} := 15 \cdot 10^{-3} \text{ м}$$

## 2. Определение основных размеров трансформатора (§ 3.5 и §3.6 )

Расчет основных размеров начинается с определения (по 3.17) диаметра стержня:

$$A = 0.507 \cdot \sqrt[4]{\frac{S_{\phi} \cdot a_p \cdot K_p}{f \cdot U_{kr} \cdot B_c^2 \cdot K_c^2}}$$

### 1. нахождение $a_p$

Выберем коэффициент  $k$  по таблице 3.3 на стр. 121.  $k := 0.65 \cdot 1.25$

$$a_{\Sigma} = \frac{a_1 + a_2}{3} \quad \text{- приведенная ширина двух обмоток}$$

$$a_{\Sigma} := k \cdot \sqrt[4]{S_{\phi}} \cdot 10^{-2} \quad a_{\Sigma} = 0.025 \quad \text{м}$$

Согласно формуле 3.21 (стр. 112), допускаем возможность приближенного, но с достаточной точностью, определения приведенной ширины приведенного канала рассеивания двух обмоток (стр. 120).

$$a_p := a_{\Sigma} + a_{\Sigma} \quad a_p = 0.055 \quad \text{м}$$

### 2. нахождение $U_{kr}$

Активная составляющая напряжения короткого замыкания (формула 3.9 стр. 99):

$$U_{ka} := \frac{P_k}{10 \cdot S_n} \quad U_{ka} = 1.48 \quad \%$$

Реактивная составляющая напряжения короткого замыкания (формула 3.9 на стр 99):

$$U_{kr} := \sqrt{U_k^2 - U_{ka}^2} \quad U_{kr} = 6.329$$

### 3. Коэффициент Роговского

$$K_p := 0.95$$

### 4. нахождение индукции в стержне $B_c$ (табл. 2.4)

$$B_c := 1.6 \quad \text{Тл}$$

### 5. нахождение коэффициента заполнения активным сечением стали площади круга, описанного около сечения стержня $K_c$ .

Магнитная система плоская, стержневая несимметричная штрихованная с косыми стыками в четырех и прямые - в двух углах (рис 2.17 б) из рулонной холоднокатаной текстурированной стали 3404 толщиной 0,35 мм с нагревостойким покрытием

В сечении стержня 7 ступеней без прессовки стержня бандажами (табл. 25 стр. 82-83).

Коэффициент заполнения площади круга (табл 2.5):

$$K_{kr} := 0.918$$

Коэффициент заполнения пакета сталью (табл. 2.2 стр. 77)

$$K_z := 0.97$$

Число пластин в пакетах равной толщины (табл. 2.3 стр. 78): 100 пластин.

$$K_c := K_{kr} \cdot K_z \quad K_c = 0.89$$

По таблице 3.6 находим коэффициент, учитывающий отношение основных потерь в обмотка потерям короткого замыкания,  $K_d$  и по таблице 3.4 и 3.5 постоянные коэффициенты для меж обмоток:

$$K_d := 0.93$$

Значение  $a$  определяем по таблице 3.4 (стр. 131)

$$a := 1.4 \cdot 1.06$$

Значение  $b$  определяем по таблице 3.5 (стр 125)

$$b := 0.32 \cdot 1.25$$

Значение коэффициента усиления ярма определяем по таблице 2.8 (стр 92)

$$K_y := 1.025$$

Индукция в ярме:

$$B_y := \frac{B_c}{K_y} \quad B_y = 1.561 \text{ Тл}$$

Индукция в зазоре на прямом стыке:

$$B'z := B_c \quad B'z = 1.6 \quad \text{стр. 379}$$

Индукция в зазоре на косом стыке:

$$B'z := \frac{B_c}{\sqrt{2}} \quad B'z = 1.131$$

По пояснениям на стр. 126 принимаем:  $e := 0.405$

$$A := 0.507 \cdot \sqrt[4]{\frac{S_\phi \cdot a_p \cdot K_p}{f \cdot U_{kp} \cdot B_c^2 \cdot K_c^2}} \quad A = 0.145$$

$$A1 := 5.633 \cdot 10^4 \cdot K_c \cdot A^3 \cdot a \quad A1 = 227.752 \text{ кг}$$

$$A2 := 3.605 \cdot 10^4 \cdot A^2 \cdot K_c \cdot l_0 \quad A2 = 50.742 \text{ кг}$$

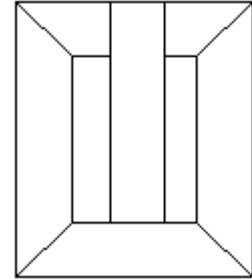
$$B1 := 2.4 \cdot 10^4 \cdot K_c \cdot K_y \cdot A^3 \cdot (a + b + e) \quad B1 = 153.416 \text{ кг}$$

$$B2 := 2.4 \cdot 10^4 \cdot K_c \cdot K_y \cdot A^2 (a12 + a22) \quad B2 = 23.084 \text{ кг}$$

$$K0 := 1.20 \cdot 10^{-2}$$

$$C1 := K0 \cdot \frac{S_H \cdot a^2}{K_d \cdot K_c^2 \cdot B_c^2 \cdot U_{ka} \cdot A^2} \quad C1 = 112.2 \text{ кг}$$

$$K_{k3} := 1.41 \cdot \frac{100}{U_k} \cdot \left( 1 + \exp\left(\frac{-\pi \cdot U_{ka}}{U_{kp}}\right) \right) \quad K_{k3} = 32.098$$



$$M := 0.152 \cdot 10^{-6} \cdot K_{k3}^2 \cdot K_d \cdot K_p \cdot \frac{P_k}{a \cdot A} \quad M = 2.376 \quad \text{МПа}$$

$$B := \frac{2}{3} \cdot \frac{A2 + B2}{B1} \quad B = 0.321$$

$$K_{oc} := 1.84 \quad (\text{по табл. 3.7})$$

$$C := \frac{A1}{3B1} \quad C = 0.495$$

$$K_{up} := 1.13 \quad \text{стр 133}$$

$$D := \frac{2}{3} \cdot \frac{C1}{B1} \cdot K_{oc} \cdot K_{up} \quad D = 1.014$$

Находим предельные значения  $\beta$  по допустимым значениям плотности тока и растягивающим механическим напряжениям.

Активное сечение стержня:

$$P_c := 0.785 \cdot K_c \cdot A^2 \cdot x^2 \quad (\text{по формуле 3.59 на стр. 12})$$

Примем:

$$\beta := 1.5$$

$$x := \sqrt[4]{\beta} \quad x = 1.107 \quad \text{по формуле 3.31 на стр. 12}$$

$$d := A \cdot x \quad d = 0.161 \quad \text{м} \quad \text{по формуле 3.29 на стр. 12}$$

Выберем ближайший нормализованный диаметр согласно табл 8.7 на стр. 365

$$d_n := 0.16$$

Следовательно, магнитная система не имеет поперечных каналов (по стр. 88), а согласно табл. 2.7 на стр. 88 не имеет продольных каналов.

$$\beta_n := \left( \frac{d_n}{A} \right)^4 \quad \beta_n = 1.475$$

$$\beta := \beta_n \quad \beta = 1.475$$

$$x := \sqrt[4]{\beta} \quad x = 1.102$$

Диаметр стержня:

$$d := A \cdot x \quad d = 0.16 \quad \text{м}$$

Активное сечение стержня:

$$P_c := 0.785 \cdot K_c \cdot A^2 \cdot x^2 \quad P_c = 0.018 \quad \text{м}^2$$

Средний диаметр обмоток:

$$d_{12} := a \cdot A \cdot x \quad d_{12} = 0.237 \quad \text{м}$$

Высота обмоток:

$$l := \frac{\pi \cdot d_{12}}{\beta} \quad l = 0.506 \quad \text{м} \quad (\text{по формуле 3.72 на стр. 164})$$

Высота стержня:

$$l_c := l + 2 \cdot l_0 \quad l_c = 0.6556 \quad \text{м}$$

Расстояние между осями стержней:

$$a_2 := \frac{b \cdot d}{2} \quad a_2 = 0.032 \quad \text{м} \quad (\text{стр. 125})$$

$$C := d_{12} + a_{12} + 2 \cdot a_2 + a_{22} \quad C = 0.351 \quad \text{м} \quad (\text{стр. 124})$$

Электродвижущая сила 1-го витка:

$$U_v := 4.44 \cdot f \cdot P_c \cdot B_c \quad U_v = 6.356 \quad \text{В} \quad (\text{по формуле 3.74 на стр. 164})$$

### 3. Расчет обмоток

#### 3.1 Расчет обмотки НН:

Общее число витков ориентировочно (по формуле 6.1 на стр. 265):

$$W_2 := \frac{U_{\phi 2} \cdot 10^3}{U_v} \quad W_2 = 36.333$$

Принимаем число витков:

$$W_2 := 36$$

#### 3.2 Расчет обмотки ВН:

$$\Delta U := U_1 \cdot 10^3 \cdot 0.025 \quad \Delta U = 875$$

Число витков в обмотке ВН при номинальном напряжении (по форм. 6.27 на стр. 281):

$$W_{H1} := \frac{U_{\phi 1} \cdot W_2}{U_{\phi 2}} \quad W_{H1} = 3.15 \times 10^3$$

Принимаем:

$$W_{H1} := 3150$$

Х К  
ДНЫХ

1М

з стр. 136)

1

1

М