

1 Контрольная работа №2

Вариант № 2

Для варианта задания № 2 формируем исходные данные:

Номинальная мощность $S_{\text{НОМ}} = 25000$ кВА

Потери холостого хода $\Delta P_{\text{ХХ}} = 29$ кВт

Потери короткого замыкания $\Delta P_{\text{КЗ}} = 145$ кВт

Токи холостого хода $\Delta I_{\text{ХХ}\%} = 0,7 \%$

Номинальное напряжение на зажимах первичной обмотки трансформатора (линейное) $U_1 = 35$ кВ

Номинальное напряжение на зажимах вторичной обмотки трансформатора (линейное) $U_2 = 10,5$ кВ

Напряжение короткого замыкания $U_{\text{к}\%} = 6,5 \%$

Группа соединений трансформатора $Y/\Delta - 11$

1. Для номинальной мощности трехфазного двухобмоточного трансформатора определить фазные и линейные значения напряжений и токов, а также коэффициент трансформации.

Фазное напряжение первичной обмотки:

$$U_{1\phi} = \frac{U_1}{\sqrt{3}} \quad (1.1)$$

$$U_{1\phi} = \frac{35}{\sqrt{3}} = 20,207 \text{ кВ}$$

Фазное напряжение вторичной обмотки:

$$U_{2\phi} = 10,5 \text{ кВ}$$

Номинальный ток первичной обмотки:

$$I_{1\text{Н}} = \frac{S_{\text{НОМ}}}{\sqrt{3} \cdot U_1} \quad (1.2)$$

$$I_{1\text{Н}} = \frac{25000}{\sqrt{3} \cdot 35} = 412,393 \text{ А}$$

Номинальный ток вторичной обмотки:

$$I_{2H} = \frac{S_{НОМ}}{3 \cdot U_{2\phi}} \quad (1.3)$$

$$I_{2H} = \frac{25000}{3 \cdot 10,5} = 793,651 \text{ А}$$

Коэффициент трансформации

$$n_T = \frac{U_{1\phi}}{U_{2\phi}} \quad (1.4)$$

$$n_T = \frac{20,207}{10,5} = 1,924 \text{ о. е.}$$

Напряжение короткого замыкания:

$$U_K = \frac{U_{K\%}}{100} \cdot U_{1\phi} \quad (1.5)$$

$$U_K = \frac{6,5}{100} \cdot 20,207 = 1,313 \text{ кВ}$$

Активная и реактивная составляющие напряжения короткого замыкания:

$$U_a = \frac{\Delta P_{K3} \cdot 1000}{10 \cdot S_{НОМ}} \quad (1.6)$$

$$U_a = \frac{145 \cdot 1000}{10 \cdot 25000} = 0,58 \%$$

$$U_p = \sqrt{U_{K\%}^2 - U_a^2} \quad (1.7)$$

$$U_p = \sqrt{6,5^2 - 0,58^2} = 6,474 \%$$

Ток холостого хода:

$$I_{xx} = \frac{\Delta I_{xx\%}}{100} \cdot I_{1H} \quad (1.8)$$

$$I_{xx} = \frac{0,7}{100} \cdot 412,393 = 2,887 \text{ А}$$

2. Схемой и векторными диаграммами подтвердить заданную группу соединения трансформатора, а также установить группу соединения при перемене местами начал и концов фаз одной из обмоток трансформатора.

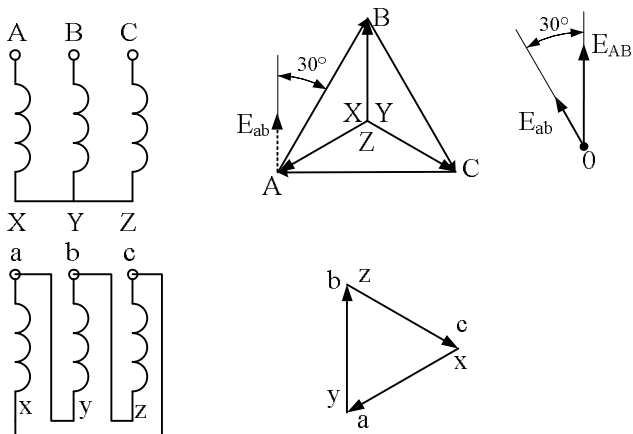


Рисунок 1.1-Схема соединения и векторная диаграмма трансформатора звезда/треугольник - 11

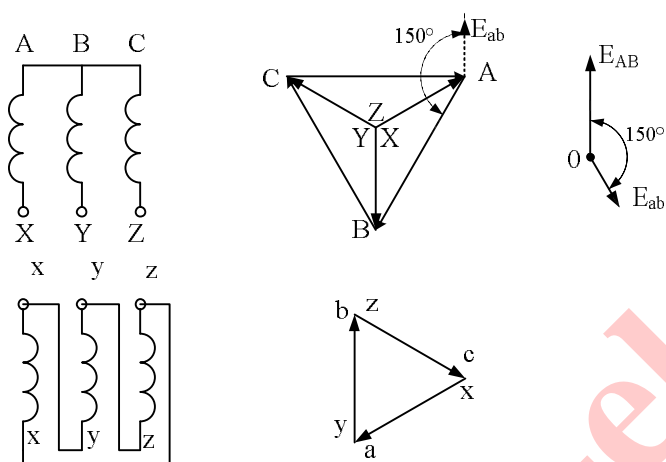


Рисунок 1.2-Схема соединения и векторная диаграмма трансформатора при перемене местами начал и концов фаз одной из обмоток

Получаем группу соединений - 5

3. Определить параметры и вычертить схему замещения трансформатора, приняв ее симметричной

Определим параметры схемы замещения (рис.1.3):

Определяем сопротивление холостого хода (намагничивающей цепи).

Модуль полного сопротивления взаимной индукции:

$$Z_M = U_{1\phi} \cdot \frac{10^3}{I_{xx}} \quad (1.9)$$

$$Z_M = 20,207 \cdot \frac{10^3}{2,887} = 6999,307 \text{ Ом}$$

Активная составляющая сопротивления взаимной индукции:

$$R_M = \frac{\Delta P_{XX} \cdot 10^3}{3 \cdot I_{XX}^2} \quad (1.10)$$

$$R_M = \frac{29 \cdot 10^3}{3 \cdot 2,887^2} = 1159,8 \text{ Ом}$$

Реактивная составляющая сопротивления взаимной индукции:

$$X_M = \sqrt{Z_M^2 - R_M^2} \quad (1.11)$$

$$X_M = \sqrt{6999,307^2 - 1159,8^2} = 6902,548 \text{ Ом}$$

Далее определяем сопротивление короткого замыкания.

Активная составляющая сопротивления трансформатора при опыте короткого замыкания:

$$R_K = \frac{\Delta P_{KЗ} \cdot 10^3}{3 \cdot I_{1Н}^2} \quad (1.12)$$

$$R_K = \frac{145 \cdot 10^3}{3 \cdot 412,393^2} = 0,284 \text{ Ом}$$

Модуль полного сопротивления при опыте короткого замыкания:

$$Z_K = U_K \cdot \frac{10^3}{I_{1Н}} \quad (1.13)$$

$$Z_K = 1,313 \cdot \frac{10^3}{412,393} = 3,184 \text{ Ом}$$

Реактивное сопротивление при опыте короткого замыкания

$$X_K = \sqrt{Z_K^2 - R_K^2} \quad (1.14)$$

$$X_K = \sqrt{3,184^2 - 0,284^2} = 3,171 \text{ Ом}$$

Сопротивление первичной обмотки:

$$R_1 = \frac{R_K}{2} \quad (1.15)$$

$$R_1 = \frac{0,284}{2} = 0,142 \text{ Ом}$$

$$X_2 = \frac{X_K}{2} \quad (1.16)$$

$$X_2 = \frac{3,171}{2} = 1,586 \text{ Ом}$$

$$R_1 = 0,142 \text{ Ом}; X_1 = X_2 = 1,586 \text{ Ом}$$

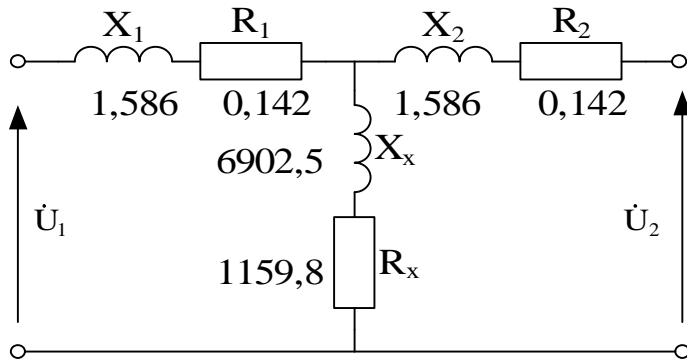


Рисунок 1.3-Схема замещения трансформатора

4. Рассчитать значения КПД при коэффициентах загрузки 0,25;0,75;1,0. Определить максимальный КПД и соответствующее ему значение нагрузки. $\cos\varphi_H = 0,8$; $K_{нг} = 0,25$

Мощность вторичной обмотки:

$$P_2 = K_{нг} \cdot S_{ном} \cdot \cos\varphi_H \quad (1.17)$$

$$P_2 = 0,25 \cdot 25000 \cdot 0,8 = 5000 \text{ кВт}$$

Мощность первичной обмотки:

$$P_1 = P_2 + \Delta P_{xx} + K_{нг}^2 \cdot \Delta P_{кз} \quad (1.18)$$

$$P_1 = 5000 + 29 + 0,25^2 \cdot 145 = 5038,063 \text{ кВт}$$

Коэффициент полезного действия трансформатора:

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} \cdot 100 \quad (1.19)$$

$$\eta = \frac{5000}{5038,063} \cdot 100 = 99,244 \%$$

Коэффициент загрузки, дающий максимальный КПД:

$$K_{\text{НГмакс}} = \sqrt{\frac{\Delta P_{\text{ХХ}}}{\Delta P_{\text{КЗ}}}} \quad (1.20)$$

$$K_{\text{НГмакс}} = \sqrt{\frac{29}{145}} = 0,447$$

Произведем аналогичные расчеты для других коэффициентах загрузки и сведем данные в таблицу:

Таблица 1.1-КПД трансформатора при коэффициентах загрузки 0,25;0,75;1

$K_{\text{нз}}$, о.е	P_1 , МВт	P_2 , МВт	η , %
0,25	5000	5038,06	99,24
0,447	8940	8997,97	99,36
0,75	15000	15110,56	99,27
1	20000	20174,00	99,14

Максимальный КПД трансформатора: $\eta_{\text{макс}} = 99,36\%$

Соответствующая максимальному КПД нагрузка: $P_{2\text{макс}} = 8997,97$ кВт

5. Рассчитать токи короткого замыкания, установившийся и ударный ток, а также их кратность. Короткое замыкание произошло при холостом ходе

Установившийся ток короткого замыкания на обмотке ВН

$$I_{\text{ку}} = \frac{I_{1\text{н}} \cdot 100}{U_{\text{к\%}}} \quad (1.21)$$

$$I_{\text{ку}} = \frac{412,393 \cdot 100}{6,5} = 6344,508 \text{ А}$$

Кратность ударного тока

$$k_y = 1 + e^{-\pi \cdot \frac{U_a}{U_p}} \quad (1.22)$$

$$k_y = 1 + 2,718^{-3,14 \cdot \frac{0,58}{6,474}} = 1,755$$

Ударный ток:

$$i_y = \sqrt{2} \cdot k_y \cdot I_{\text{ку}} \quad (1.23)$$

$$i_y = \sqrt{2} \cdot 1,755 \cdot 6344,508 = 15746,719 \text{ А}$$

б. Данный трансформатор включен на параллельную работу с другим трансформатором такой же мощности. Определить распределение нагрузок между параллельно работающими трансформаторами, если одного из трансформаторов отличается на 15% от заданного в таблице, а нагрузка равна сумме их номинальных мощностей.

Распределение нагрузок между трансформаторами подчинено условию

$$\frac{S_1}{S_2} = \frac{S_{1\text{НОМ}}}{S_{2\text{НОМ}}} * \frac{U_{к2}}{U_{к1}}$$

Таким образом, согласно условию

$$\frac{S_1}{S_2} = \frac{U_{к2}}{U_{к1}} = 1,15$$

$$S_1 = 1,15 * S_2$$

Найдем нагрузку трансформаторов из условия

$$1,15 * S_2 + S_2 = 2 * S_{\text{НОМ}}$$

тогда нагрузка 2-ого трансформатора

$$S_2 = \frac{2 \cdot S_{\text{НОМ}}}{1 + 1,15} \tag{1.24}$$

$$S_2 = \frac{2 \cdot 25000}{1 + 1,15} = 23255,814 \text{ кВА}$$

нагрузка 1-ого трансформатора

$$S_1 = 1,15 \cdot S_2 \tag{1.25}$$

$$S_1 = 1,15 \cdot 23255,814 = 26744,186 \text{ кВА}$$

Таким образом более загруженным является трансформатор с меньшим $U_k\%$

2 Контрольная работа №3

1. Номинальные данные трехфазного асинхронного двигателя с фазным ротором:

Номинальная мощность $P_{\text{НОМ}} = 18,5$ кВт

Номинальное напряжение $U_{\text{H}} = 660$ В

Число пар полюсов $p = 1$

Номинальная частота $f_1 = 50$ Гц

Коэффициент полезного действия $\eta_{\text{НОМ}} = 89$ %

Коэффициент мощности $\cos\varphi_{\text{НОМ}} = 0,89$

схема соединения обмоток- звезда.

Сопротивления Т-образной схемы замещения в относительных единицах:

$$R_{1*} = 0,03; R_{2*} = R_{1*} = 0,03; X_{1*} = 0,18; X_{2*} = X_{1*} = 0,18;$$

$$X_{0*} = 6; R_{0*} = 1,3$$

Отношение эффективных чисел витков статора и ротора равно $n = 2$

Потребляемая мощность при номинальной загрузке:

$$P_1 = \frac{P_{\text{НОМ}}}{\frac{\eta_{\text{НОМ}}}{100}} \quad (2.1)$$

$$P_1 = \frac{18,5}{\frac{89}{100}} = 20,787 \text{ кВт}$$

Номинальный фазный ток двигателя :

$$I_1 = \frac{P_{\text{НОМ}} \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{H}} \cdot \cos\varphi_{\text{НОМ}}} \quad (2.2)$$

$$I_1 = \frac{18,5 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 660 \cdot 0,89} = 18,183 \text{ А}$$

Фазное напряжение:

$$U_1 = \frac{U_{\text{H}}}{\sqrt{3}} \quad (2.3)$$

$$U_1 = \frac{660}{\sqrt{3}} = 381,051 \text{ В}$$

Базисная величина сопротивления:

$$Z_6 = \frac{U_1}{I_1} \quad (2.4)$$

$$Z_6 = \frac{381,051}{18,183} = 20,956 \text{ Ом}$$

$$R_1 = R_{1*} \cdot Z_6 \quad (2.5)$$

$$R_1 = 0,03 \cdot 20,956 = 0,629 \text{ Ом}$$

$$R_2 = R_{2*} \cdot Z_6 \quad (2.6)$$

$$R_2 = 0,03 \cdot 20,956 = 0,629 \text{ Ом}$$

$$X_1 = X_{1*} \cdot Z_6 \quad (2.7)$$

$$X_1 = 0,18 \cdot 20,956 = 3,772 \text{ Ом}$$

$$X_2 = X_{2*} \cdot Z_6 \quad (2.8)$$

$$X_2 = 0,18 \cdot 20,956 = 3,772 \text{ Ом}$$

$$R_0 = R_{0*} \cdot Z_6 \quad (2.9)$$

$$R_0 = 1,3 \cdot 20,956 = 27,243 \text{ Ом}$$

$$X_0 = X_{0*} \cdot Z_6 \quad (2.10)$$

$$X_0 = 6 \cdot 20,956 = 125,736 \text{ Ом}$$

Номинальное скольжение: $s_H = R_{2*} = 0,03$

Сопротивления роторной обмотки, приведенные к обмотке статора:

$$R'_2 = \frac{R_2}{2} \quad (2.11)$$

$$R'_2 = \frac{0,629}{2} = 0,315 \text{ Ом}$$

$$X'_2 = \frac{X_2}{2} \quad (2.12)$$

$$X'_2 = \frac{3,772}{2} = 1,886 \text{ Ом}$$

Сопротивления короткого замыкания и Г-образной схемы замещения:

$$R_K = R_1 + R'_2 \quad (2.13)$$

$$R_K = 0,629 + 0,315 = 0,944 \text{ Ом}$$

$$X_K = X_1 + X'_2 \quad (2.14)$$

$$X_K = 3,772 + 1,886 = 5,658 \text{ Ом}$$

$$Z_K = \sqrt{R_K^2 + X_K^2} \quad (2.15)$$

$$Z_K = \sqrt{0,944^2 + 5,658^2} = 5,736 \text{ Ом}$$

Приведенное механическое сопротивление:

$$R'_{\text{мех}} = R'_2 \cdot \frac{1 - s_H}{s_H} \quad (2.16)$$

$$R'_{\text{мех}} = 0,315 \cdot \frac{1 - 0,03}{0,03} = 10,185$$

Начертим схему замещения асинхронного двигателя с фазным ротором и нанесем на схему ее параметры:

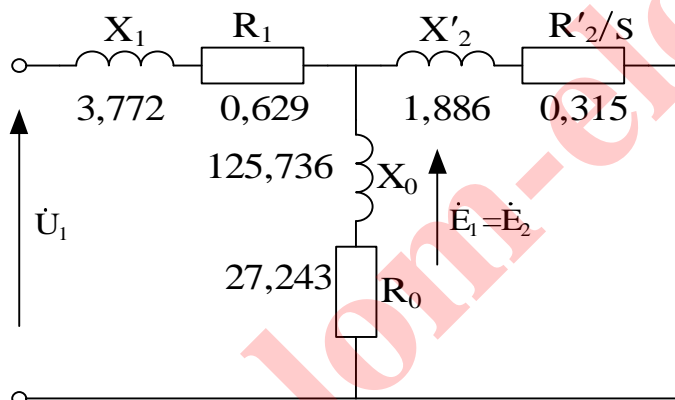


Рисунок 2.1-Схема замещения асинхронного двигателя с фазным ротором

Уравнение напряжений и токов для цепи статора:

$$\underline{U}_1 = \underline{E}_1 + R_1 \cdot \underline{I}_1 + jX_1 \cdot \underline{I}_1$$

$$\underline{I}_1 = I_1 \cdot e^{-j\varphi_1}$$

где $\varphi_1 = \arccos(\cos\varphi_{\text{ном}}) = 0,473 \text{ рад} = 27,101^\circ$

Определим ЭДС в статоре:

$$\underline{E}_1 = \underline{U}_1 - (R_1 + X_1) * \underline{I}_1$$

Модуль ЭДС в статоре: $E_1 = \text{IM}(e_1) = 311,951$

ЭДС в цепи ротора: $E_2 = E_1 = 311,951$ кВ

Уравнение напряжений и токов для цепи ротора:

$$\underline{E}'_2 = \frac{R'_2}{s} \cdot \underline{I}'_2 + jX'_2 \cdot \underline{I}'_2$$

Привиденный ток в цепи ротора:

$$I'_2 = \frac{E_2}{\sqrt{\left(\frac{R'_2}{s_H}\right)^2 + X'^2_2}} \quad (2.17)$$

$$I'_2 = \frac{311,951}{\sqrt{\left(\frac{0,315}{0,03}\right)^2 + 1,886^2}} = 29,242 \text{ А}$$

Угол между I'_2 и E'_2

$$\text{psi}_2 = \text{arctg}\left(\frac{s_H \cdot X'_2}{R'_2}\right) \quad (2.18)$$

$$\text{psi}_2 = \text{arctg}\left(\frac{0,03 \cdot 1,886}{0,315}\right) = 0,178 \text{ рад} = 10,199^\circ$$

Уравнение тока статора:

$$\underline{I}_1 = \underline{I}_0 - \underline{I}'_2$$

Ток холостого хода:

$$I_0 = \frac{E_1}{\sqrt{R_0^2 + X_0^2}} \quad (2.19)$$

$$I_0 = \frac{311,951}{\sqrt{27,243^2 + 125,736^2}} = 2,425$$

Угол между I_0 и E_0 :

$$\varphi_0 = \text{arctg}\left(\frac{X_0}{R_0}\right) \quad (2.20)$$

$$\varphi_0 = \text{arctg}\left(\frac{125,736}{27,243}\right) = 1,357 \text{ рад} = 77,75^\circ$$

Угол потерь в стали:

$$\alpha = \frac{\pi}{2} - \varphi_0 \quad (2.21)$$

$$\alpha = \frac{3,14}{2} - 1,357 = 0,214 \text{ рад} = 12,261^\circ$$

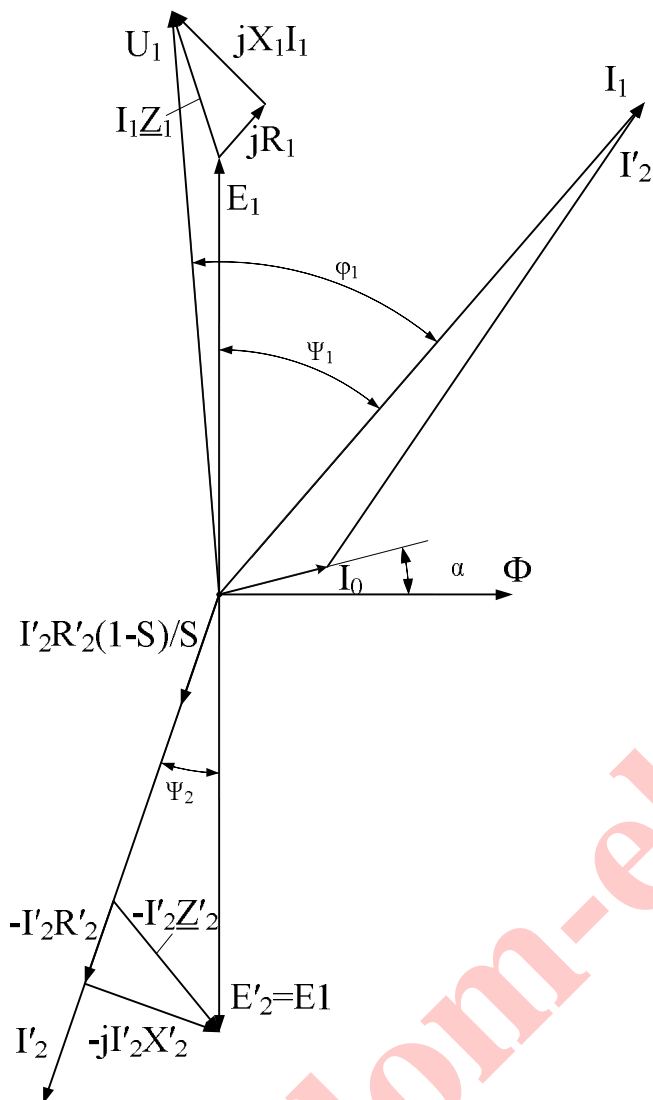


Рисунок 2.2-Векторная диаграмма асинхронного двигателя

Синхронная скорость:

$$n_0 = \frac{60 \cdot f_1}{p} \quad (2.22)$$

$$n_0 = \frac{60 \cdot 50}{1} = 3000 \frac{\text{об}}{\text{мин}}$$

Номинальная частота вращения

$$n_{\text{НОМ}} = n_0 \cdot (1 - s_n) \quad (2.23)$$

$$n_{\text{НОМ}} = 3000 \cdot (1 - 0,03) = 2910 \frac{\text{об}}{\text{мин}}$$

Угловая скорость магнитного поля:

$$w_1 = \frac{2 \cdot \pi \cdot n_0}{60} \quad (2.24)$$

$$w_1 = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 3000}{60} = 314,159 \frac{\text{рад}}{\text{сек}}$$

Критическое скольжение:

$$s_{\text{кр}} = \frac{R'_2}{\sqrt{R_1^2 + X_K^2}} \quad (2.25)$$

$$s_{\text{кр}} = \frac{0,315}{\sqrt{0,629^2 + 5,658^2}} = 0,055$$

Полезный момент на валу двигателя при номинальной нагрузке определим по формуле

$$M_{2\text{НОМ}} = 9,55 \cdot P_{\text{НОМ}} \cdot \frac{10^3}{n_{\text{НОМ}}} \quad (2.26)$$

$$M_{2\text{НОМ}} = 9,55 \cdot 18,5 \cdot \frac{10^3}{2910} = 60,7 \text{ Нм}$$

Критический (максимальный момент):

$$M_{\text{макс}} = \frac{3 \cdot U_1^2}{2 \cdot w_1 \cdot (R_1 + \sqrt{R_1^2 + X_K^2})} \quad (2.27)$$

$$M_{\text{макс}} = \frac{3 \cdot 381,051^2}{2 \cdot 314,159 \cdot (0,629 + \sqrt{0,629^2 + 5,658^2})} = 109,664 \text{ Нм}$$

Максимальный момент в относительных единицах

$$M_{\text{макс}*} = \frac{M_{\text{макс}}}{M_{2\text{НОМ}}} \quad (2.28)$$

$$M_{\text{макс}*} = \frac{109,664}{60,7} = 1,807 \text{ о. е.}$$

Сопротивление пускового реостата, обеспечивающего при пуске максимальный пусковой момент находится по выражению

$$R'_p = X_K - R'_2 \quad (2.29)$$

$$R'_p = 5,658 - 0,315 = 5,343 \text{ Ом}$$

Полное пусковое сопротивление при реостатном пуске:

$$Z_{\text{пуск}} = \sqrt{(R_k + R'_p)^2 + X_k^2} \quad (2.30)$$

$$Z_{\text{пуск}} = \sqrt{(0,944 + 5,343)^2 + 5,658^2} = 8,458 \text{ Ом}$$

Пусковые токи при реостатном пуске двигателя :

Ток в цепи статора:

$$I_{1\text{пуск}} = \frac{U_1}{Z_{\text{пуск}}} \quad (2.31)$$

$$I_{1\text{пуск}} = \frac{381,051}{8,458} = 45,052 \text{ А}$$

Ток в цепи ротора:

$$I_{2\text{пуск}} = n \cdot I_{1\text{пуск}} + I_0 \quad (2.32)$$

$$I_{2\text{пуск}} = 2 \cdot 45,052 + 2,425 = 92,529 \text{ А}$$

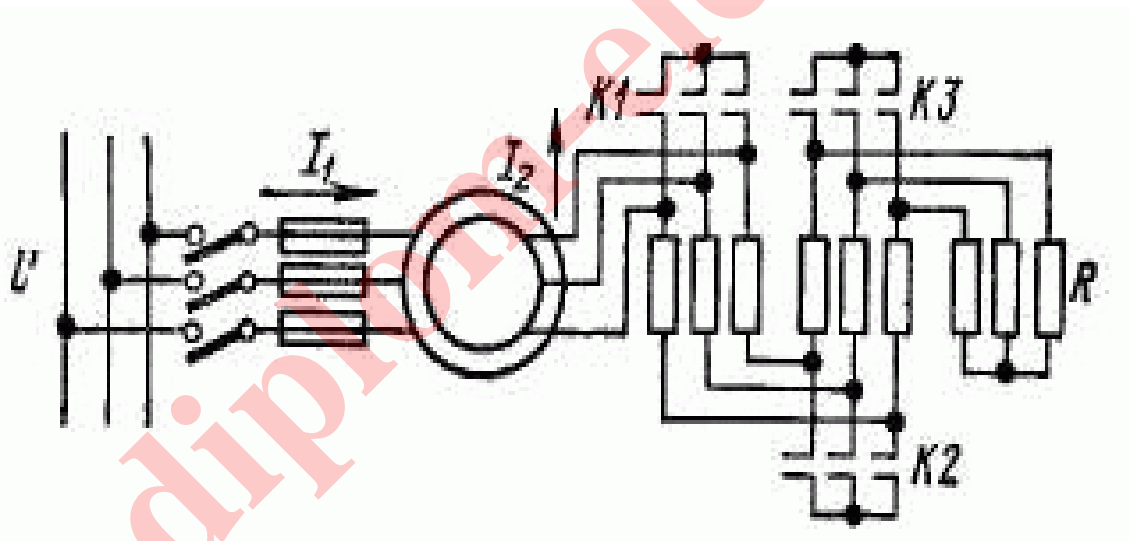


Рисунок 2.3-Схема пуска асинхронного двигателя с помощью пускового реостата.

Перед пуском щетки должны быть опущены на контактные кольца ротора, а все ступени реостата включены. Далее в процессе пуска поочередно включаются контакторы К3, К2, К1.

Определим аналитически сопротивления резисторов на ступенях пускового реостата при кратности максимального момента $\lambda_m = M_{\text{макс}^*} = 1,81$

третьей

$$r_{\text{доб3}} = R_2 \cdot (\lambda_m - 1) \quad (2.33)$$

$$r_{\text{доб3}} = 0,629 \cdot (1,81 - 1) = 0,5095 \text{ Ом}$$

второй

$$r_{\text{доб2}} = r_{\text{доб3}} \cdot \lambda_m \quad (2.34)$$

$$r_{\text{доб2}} = 0,5095 \cdot 1,81 = 0,9222 \text{ Ом}$$

первой

$$r_{\text{доб2}} = r_{\text{доб2}} \cdot \lambda_m \quad (2.35)$$

$$r_{\text{доб2}} = 0,9222 \cdot 1,81 = 1,6692 \text{ Ом}$$

Тогда сопротивления пускового реостата на его ступенях

$$R_{\text{ПР1}} = r_{\text{доб2}} + r_{\text{доб2}} + r_{\text{доб3}} \quad (2.36)$$

$$R_{\text{ПР1}} = 1,6692 + 0,9222 + 0,5095 = 3,101 \text{ Ом}$$

$$R_{\text{ПР2}} = r_{\text{доб2}} + r_{\text{доб3}} \quad (2.37)$$

$$R_{\text{ПР2}} = 0,9222 + 0,5095 = 1,432 \text{ Ом}$$

$$R_{\text{ПР3}} = r_{\text{доб3}} = 0,5095 \text{ Ом}$$

Список использованных источников

1. Копылов И.П. Проектирование электрических машин. – М.:Энергия, 2002
2. Вольдек А.И. Электрические машины. –М.:Энергия, 1974
3. Иванов-Смоленский А. В. Электрические машины: Учебник для вузов. – М.: Энергия, 1980. – 928 с., ил.
4. Костенко М.П., Пиотровский Л.М. Электрические машины. Л.:Энергия, 1973 – 648с, ил.

diplom-electro.ru