

ФГОУ СПО  
«Краснодарский технический колледж»

**КОНТРОЛЬНАЯ РАБОТА  
ПО КУРСУ «ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ МАШИНЫ»**

Выполнил:  
Студент 4 курса  
Сухинин Александр Иванович  
Группа Э-4-10  
Проверил:  
Гак В.А.

2009г.

## Задача 1

Построить развернутую и электрическую схемы простой петлевой обмотки

Якоря машины постоянного тока если дано:

$Z=K=S=24$ - число реальных пазов;

$2P=4$ - число главных полюсов.

### Решение

-Определяем шаг обмотки по коллектору

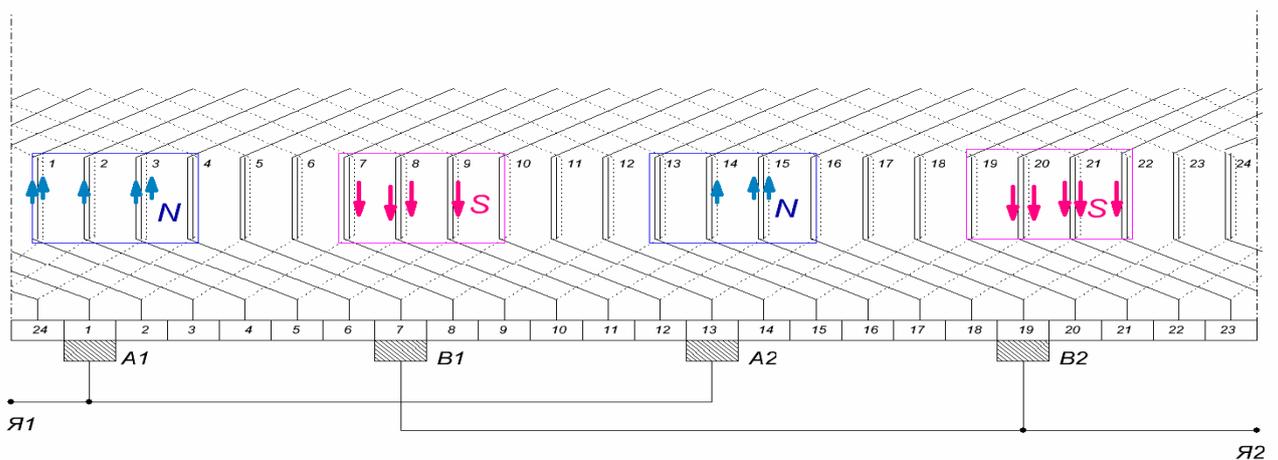
$Y_k=+1$  (обмотка правоходовая)

-Определяем первый частичный шаг обмотки по якорю

$$Y_1 = \frac{Z}{2P} \pm \pi = \frac{24}{4} \pm 0 = 6$$

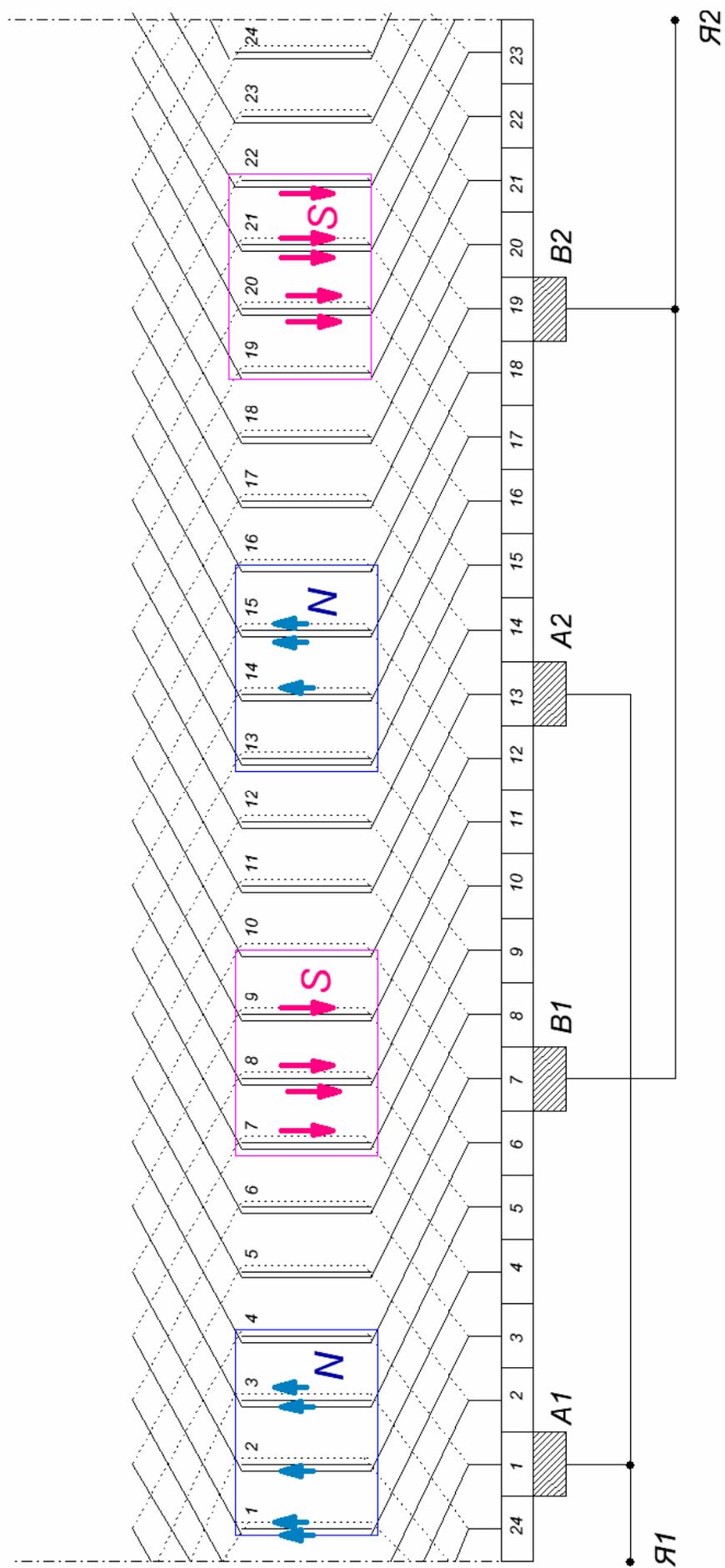
Чертим развернутую схему обмотки якоря

Развернутая схема обмотки якоря



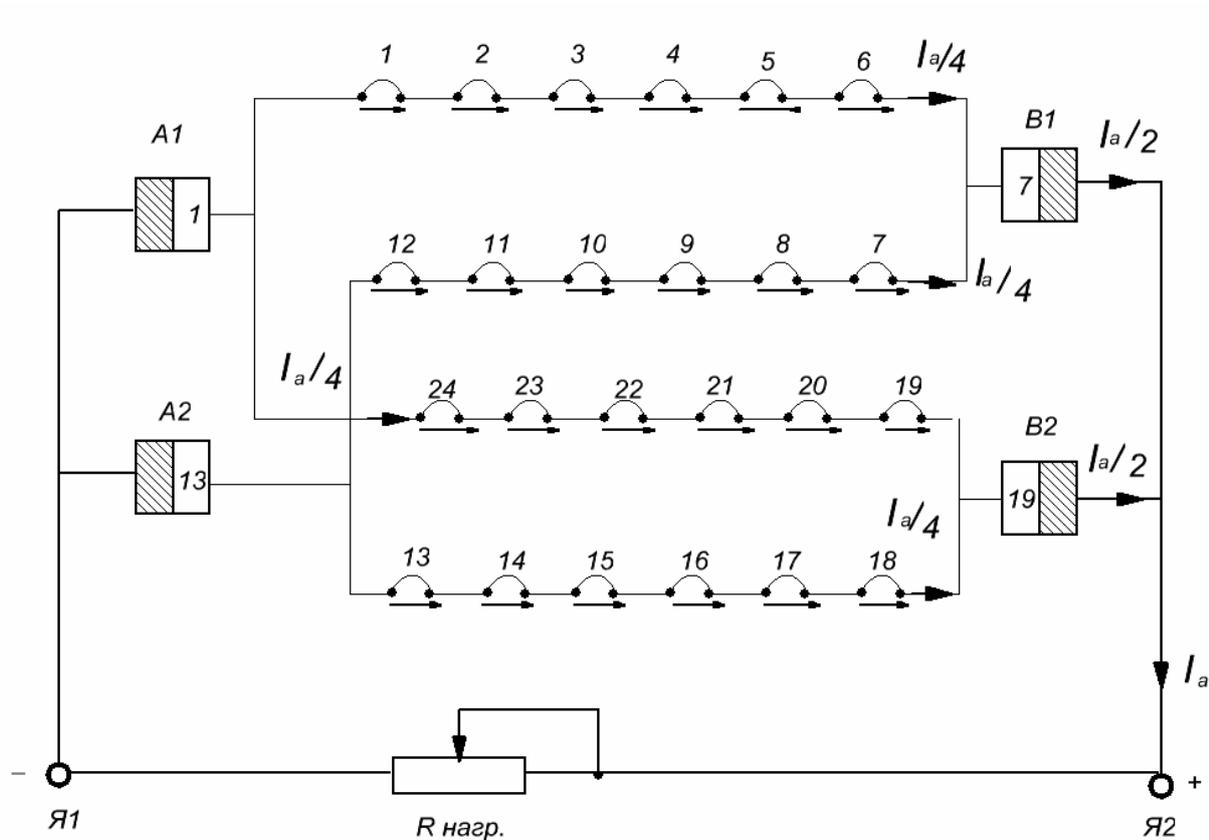
$$Z=K=S=24 \quad 2P=4$$

Развернутая схема обмотки якоря



$$Z=K=S=24 \quad 2P=4$$

Рисуем электрическую схему обмотки якоря.



### Задача 2

Для двигателя постоянного тока смешанного возбуждения, технические данные которого:

Тип ПЗ1

$P_H = 1.5 \text{ кВт}$  – номинальная мощность;

$U_H = 220 \text{ В}$  – номинальное напряжение;

$n_H = 1500$  – номинальная частота вращения;

$I_H = 8.6 \text{ А}$  – номинальный ток;

$R_{ДП} = 0.475 \text{ Ом}$  – сопротивление обмотки добавочных полюсов;

$R_{ПО} = 0.356 \text{ Ом}$  – сопротивление последовательной обмотки возбуждения;

$R_B = 384 \text{ Ом}$  – сопротивление главной обмотки возбуждения;

$R_A = 0.3 \text{ Ом}$  – сопротивление обмотки якоря.

Определить:

$I_{aа}$  - номинальный ток якоря

$E_{aа}$  - номинальную ЭДС

$M_{эм.н}$  - номинальный электромагнитный момент;

$M_n$  - номинальный момент на валу;

$E_a$  - ЭДС обмотки якоря при  $n = 0,75n_n$ ;

$\eta_n$  - номинальный коэффициент полезного действия;

$\Sigma P_n$  - суммарные потери мощности при номинальной нагрузке;

$\Sigma P_{var}$  - переменные потери мощности при номинальной нагрузке;

$\Sigma P_{cons}$  - постоянные потери мощности;

$P_0, M_0$  - мощность и момент холостого хода.

Решение

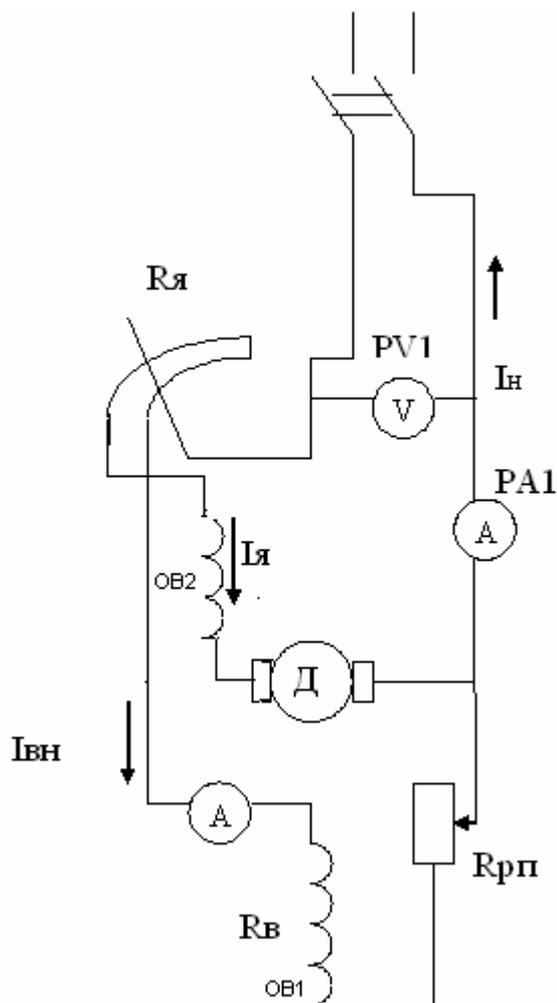


рис. Схема электродвигателя смешанного возбуждения.

$$I_H = I_{aH} + I_B \quad \text{Ток обмотки возбуждения: } I_B = \frac{U}{R_B} = \frac{220}{384} = 0,57 \text{ A}$$

$$\text{Ток обмотки якоря- } I_{aH} = I_H - I_B \quad I_{aH} = 8,6 - 0,57 = 8,03 \text{ A.}$$

Сопротивление щеток и переходного контакта:

$$R_{щ} = \frac{\Delta U_{щ}}{I_{aH}} = \frac{2_B}{8,03_A} = 0,249 \text{ Ом} \quad \Delta U_{щ} = 2 \text{ В}$$

$$\Sigma R_a = R_a + R_{дл} + R_{по} + R_{щ} = 0,3 + 0,475 + 0,356 + 0,249 = 1,38 \text{ Ом}$$

$$U = E_a + I_a \times \Sigma R_a \quad \text{Противо-ЭДС обмотки якоря: } E_a = U - I_a \times \Sigma R_a$$

$$E_a = 220 - 8,03 \times 1,38 = 208,92 \text{ В}$$

Номинальный электромагнитный момент:

$$E_a I_a = M_{эм} \omega = P_{эм} \quad \omega = \frac{2\pi n}{60} = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 1500}{60} = 157$$

$$M_{эм} = \frac{\omega}{E_a I_a} = \frac{157}{208,92 \cdot 8,03} = 10,68 \text{ Нм}$$

Вращающий момент:

$$M_H = \frac{P_H \cdot 60}{2\pi n_H} = \frac{1500 \cdot 60}{2 \cdot 3,14 \cdot 1500} = 9,55 \text{ Нм}$$

Потери мощности:

$$P_{э.в} = U_B I_B = 220 \cdot 0,57 = 125,4 \text{ Вт} \text{ - обмотки возбуждения}$$

$$P_{э.а} = I^2 \Sigma R_a = 8,03^2 \cdot 1,38 = 88,9 \text{ Вт} \text{ - обмотки якоря}$$

$$P_{э.щ} = \Delta U_{щ} \cdot I_{aH} = 2 \cdot 8,03 = 16,06 \text{ Вт} \text{ - щетки}$$

$$P_D = \frac{1500}{100} \cdot 1 = 15 \text{ Вт}$$

$$\Sigma P = P_{ст} + P_{мех.} + P_{э.в} + P_{э.а} + P_{э.щ} + P_D = 245,9 \text{ Вт}$$

КПД двигателя при номинальной нагрузке:

$$\eta = 1 - \frac{\Sigma P}{P_1} \quad P_1 = U_H I_H = 220 \cdot 8,6 = 1892 \text{ Вт}$$

$$\eta = 1 - \frac{245,9}{1892} = 0,87$$

ЭДС обмотки якоря при  $n=0,75n_H$ :

$$n_{ном.} = \frac{U - I_a \Sigma R_a}{Ce(\Phi_1 \pm \Phi_2)}$$

$$Ce(\Phi_1 \pm \Phi_2) = \frac{U - I_a \Sigma R_a}{n_{ном.}} = \frac{220 - 8,03 \cdot 1,38}{1500} = 0,14 \quad n_{75\%} = 0,75 \cdot 1500 = 1125$$

$$E_a = Ce(\Phi_1 \pm \Phi_2) \cdot n = 0,14 \cdot 1125 = 157,5 \text{ В}$$

Переменные потери мощности при номинальной нагрузке  $P_{var}$ :

$$P_{var} = I_a^2 (R_{HO} + R_a) + I_B U = 8,03^2 (0,356 + 0,3) + 220 \cdot 0,57 = 167,6 \text{ Вт}$$

### Задача 3

Для 3-х фазного трансформатора, технические данные которого:

Тип ТМ 630/10

$S_H = 630 \text{ кВА}$  -номинальная мощность;

$U_{H1} = 10 \text{ кВ}$  -номинальное первичное напряжение;

$U_{H2} = 0,4 \text{ кВ}$  -номинальное вторичное напряжение;

$U_K 5,5\% \text{ от } U_{H1}$  -напряжение короткого замыкания;

$P_K = 7,6 \text{ кВт}$  -потери мощности при коротком замыкании;

$P_0 = 1,68 \text{ кВт}$  -потери мощности на холостом ходу;

$I_0 2\% \text{ от } I_{H1}$  -ток холостого хода.

Определить:

-параметры схемы замещения:  $R_1, R_2, R_0, X_1, X_2$ ;

-начертить схему замещения с указанием величин параметров;

-номинальный КПД, максимальный КПД и КПД при заданной нагрузке;

-построить график  $\eta' = f(\beta)$

-напряжение на вторичной обмотке трансформатора при номинальной нагрузке, при заданной нагрузке и при нагрузке соответствующей максимальному КПД;

-построить график  $U_2 = f(\beta)$

Заданный коэффициент загрузки  $\beta_{зад.} = 0,3$ ,

коэффициент мощности  $\cos \phi_2 = 0,8$

Решение:

Номинальный первичный ток:

$$I_{1H} = \frac{S_H \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot U_{H1}} = \frac{630 \cdot 1000}{\sqrt{3} \cdot 10000} = 36,41 \text{ А}$$

Ток холостого хода:  $I_0 = \frac{2\%}{100\%} \cdot 36,41 = 0,72 \text{ A}$

коэффициент мощности на холостом ходу:

$$\cos \phi_0 = \frac{P_0}{\sqrt{3} \cdot U_0 I_0} = \frac{1680}{1,73 \cdot 10000 \cdot 0,72} = 1,3 \quad U_0 = U_{H1}$$

коэффициент мощности при коротком замыкании:

$$I_{1H} = I_K = 36,41 \text{ A}$$

$$U_K = \frac{5,5\%}{100\%} \cdot 10000 = 550 \text{ B} \quad \cos \phi_K = \frac{P_K}{\sqrt{3} \cdot U_K I_K} = \frac{7600}{1,73 \cdot 550 \cdot 36,41} = 0,21$$

Активное сопротивление ветви намагничивания:

$$R_0 = \frac{U_0}{\sqrt{3} \cdot I_0} \cdot \cos \phi_0 \quad R_0 = \frac{10000}{1,73 \cdot 0,72} \cdot 1,3 = 10436,7 \text{ Ом}$$

Индуктивное сопротивление ветви намагничивания:

$$\sin \phi_0 = \pm \sqrt{1 - \cos^2 \phi_0} \quad X_0 = \frac{U_0}{\sqrt{3} \cdot I_0} \cdot \sin \phi_0$$

$$\sin \phi_0 = \pm \sqrt{1 - 1,3^2} = 0,83 \quad X_0 = \frac{10000}{1,73 \cdot 0,72} \cdot 0,83 = 6663,4 \text{ Ом}$$

Активные сопротивления первичной вторичной обмоток:

$$R_1 = R_2 = \left( \frac{U_K}{\sqrt{3} I_K} \cos \phi_K \right) : 2 \quad R_1 = R_2 = \left( \frac{550}{1,73 \cdot 36,41} \cdot 0,21 \right) : 2 = 0,91 \text{ Ом}$$

Индуктивные сопротивления первичной вторичной обмоток:

$$X_1 = X_2 = \left( \frac{U_K}{\sqrt{3} I_K} \sin \phi_K \right) : 2 \quad \sin \phi_K = \pm \sqrt{1 - \cos^2 \phi_K} = 0,99$$

$$X_1 = X_2 = \left( \frac{550}{1,73 \cdot 36,41} \cdot 0,99 \right) : 2 = 4,32 \text{ Ом}$$

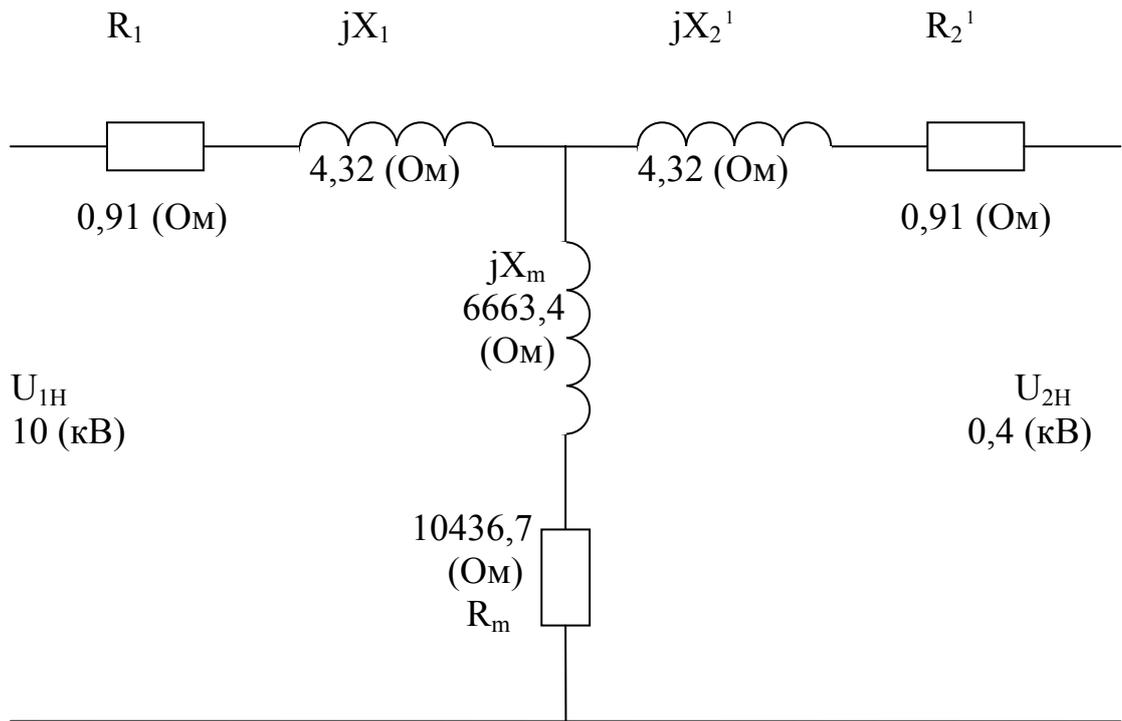


Рис. Схема замещения трансформатора:

Оптимальный коэффициент загрузки трансформатора:

$$\beta_{\text{опт.}} = \sqrt{\frac{P_0}{P_K}} = \frac{1680}{7600} = 0,47$$

Величину КПД трансформатора при заданном значении загрузки по току  $\beta_i = I_i / I_H$  определяют методом отдельных потерь:

$$\eta_i = \frac{\beta_i S_H \cos \phi_2}{\beta_i S_H \cos \phi_2 + P_0 + \beta_i^2 P_{KH}} \quad (1)$$

Для построения зависимости  $\eta = f(\beta)$  при  $U_1 = \text{const}$  и  $\cos \phi_2 = \text{const}$  в формулу (1) последовательно подставляют значения  $\beta_i = 0; 0,2; 0,3; \beta_{\text{опт}} 0,47; 1;$  и находят  $\eta_i \cos \phi_2 = 0,8$

$$\beta_0 = 0 \quad \eta_0 = 0$$

$$\beta_1 = 0,2 \quad \eta_1 = \frac{0,2 \cdot 630000 \cdot 0,8}{0,2 \cdot 630000 \cdot 0,8 + 1680 + 304} = 0,980$$

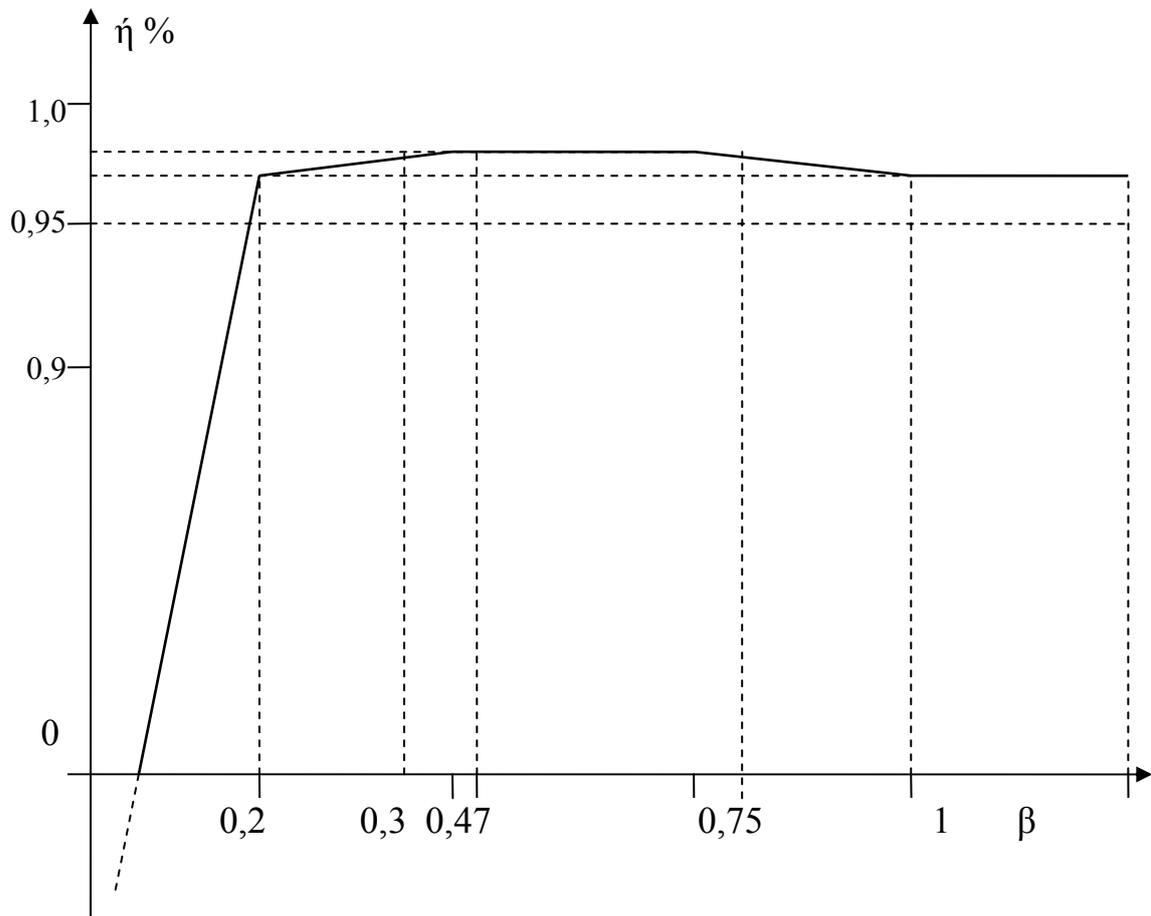
$$\beta_2 = 0,3 \quad \eta_2 = \frac{0,3 \cdot 630000 \cdot 0,8}{0,3 \cdot 630000 \cdot 0,8 + 1680 + 304} = 0,984$$

$$\beta_3 = 0,47 \quad \eta_3 = \frac{0,47 \cdot 630000 \cdot 0,8}{0,47 \cdot 630000 \cdot 0,8 + 1680 + 304} = 0,986$$

$$\beta_4 = 0,75 \quad \eta_4 = 0,984$$

$$\beta_5 = 1 \quad \eta_5 = \frac{1 \cdot 630000 \cdot 0,8}{1 \cdot 630000 \cdot 0,8 + 1680 + 304} = 0,981$$

Рис. График зависимости  $\eta = f(\beta)$



$\eta_i$		0,980	0,984	0,986	0,984	0,981
$\beta$	0	0,2	0,3	0,47	0,75	1

Напряжение на вторичной обмотке трансформатора

- активная составляющая напряжения короткого замыкания;

$$U_{Ka} = U_K \cos \phi_K \quad U_{Ka} = 550 \cdot 0,21 = 115,5 \text{ B}$$

Реактивная составляющая напряжения короткого замыкания;

$$U_{Kp} = U_K \sin \phi_K \quad U_{Kp} = 550 \cdot 0,99 = 544,5$$

Изменение первичного напряжения при нагрузке;

$$\Delta U = \beta (U_{Ka} \cos \phi_2 + U_{Kp} \sin \phi_2) \quad \sin \phi_2 = \pm \sqrt{1 - \cos^2 \phi_2} = \pm \sqrt{1 - 0,8^2} = 0,6$$

$$\Delta U_1 = 0,2 (115,5 \cdot 0,8 + 544,5 \cdot 0,6) = 83,82 \text{ B}$$

$$\Delta U_2 = 0,3(115,5 \cdot 0,8 + 544,5 \cdot 0,6) = 125,73 \text{ В}$$

$$\Delta U_3 = 0,47(115,5 \cdot 0,8 + 544,5 \cdot 0,6) = 196,9 \text{ В}$$

$$\Delta U_4 = 0,75(115,5 \cdot 0,8 + 544,5 \cdot 0,6) = 314,3 \text{ В}$$

$$\Delta U_5 = 1(115,5 \cdot 0,8 + 544,5 \cdot 0,6) = 419,1 \text{ В}$$

Изменение вторичного напряжения при нагрузке в относительных единицах;

$$\Delta U^* = \frac{\Delta U}{U_{1H}} \quad \Delta U_1^* = \frac{83,82}{10000} = 0,008 \quad \Delta U_2^* = \frac{125,73}{10000} = 0,012 \quad \Delta U_3^* = \frac{196,9}{10000} = 0,019$$

$$\Delta U_4^* = \frac{314,3}{10000} = 0,031 \quad \Delta U_5^* = \frac{419,9}{10000} = 0,041$$

Напряжение на вторичной обмотке трансформатора при нагрузке:

$$U_2 = U_{2H} \left( 1 - \Delta U_i^* \right) \quad U_{2,1} = 400 \cdot (1 - 0,008) = 396,8 \text{ В}$$

$$U_{2,2} = 395,2 \text{ В} \quad U_{2,3} = 392,4 \text{ В} \quad U_{2,4} = 387,6 \text{ В} \quad U_{2,5} = 383,6 \text{ В}$$

$\beta i$	0	0, 2	0, 3	0, 47	0,75	1
U (В)	400	396,8	395,2	392,4	387,6	383,6

Построение внешней характеристики трансформатора  $U_2 = f(\beta)$

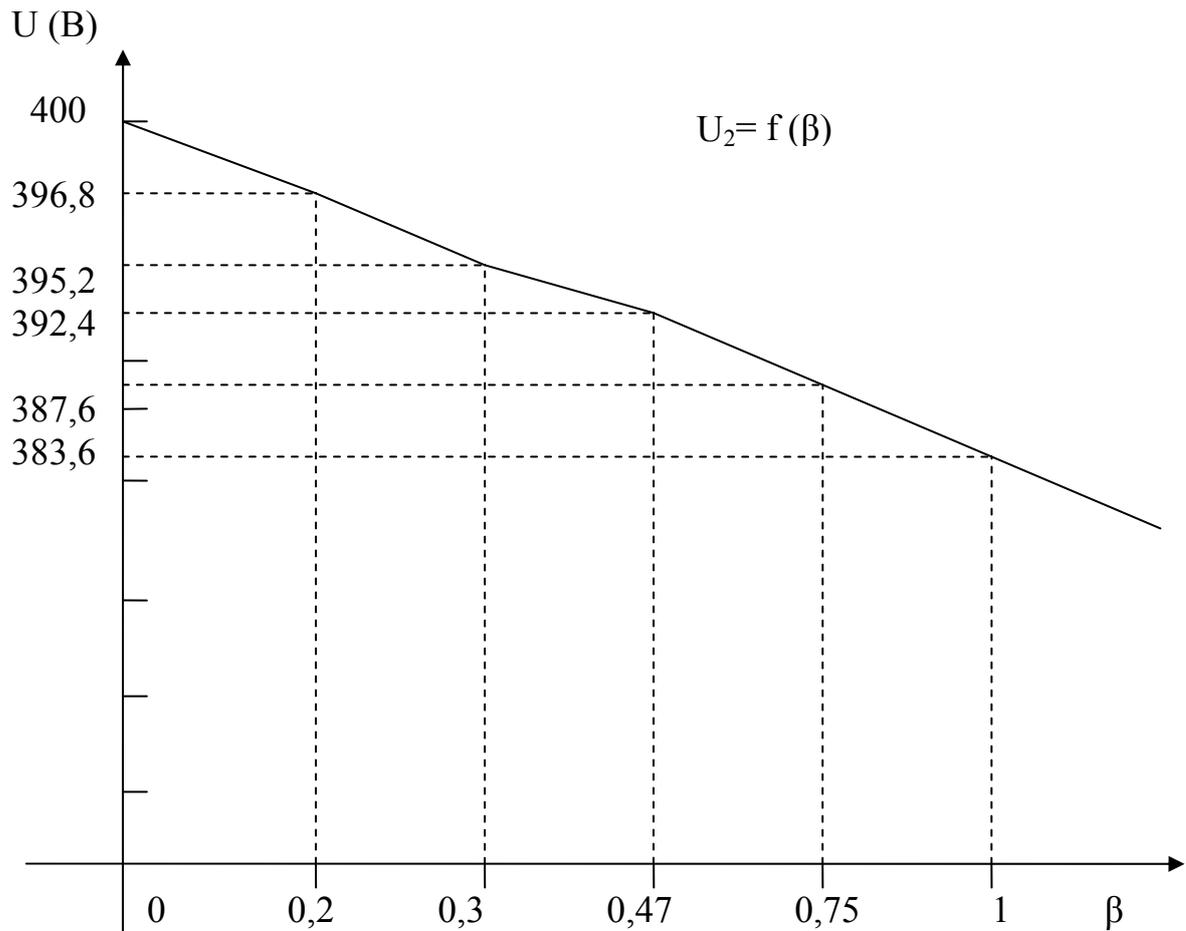


Рис. Внешняя характеристика трансформатора.

#### Задача 4

Построить развернутую схему трехфазной двухслойной обмотки статора, если дано:

$Z=48$  -число пазов

$2P=4$  - число главных полюсов

$\varepsilon = -3$  -число укорочения шага обмотки

C -схема соединения секционных групп- смешанное

#### Решение

-определяем шаг обмотки:  $Y_1 = \frac{Z}{2P} \pm \varepsilon = \frac{48}{4} - 3 = 9$

-определяем число пазов на полюс и фазу:  $q = \frac{Z}{2Pm_1} = \frac{48}{4 \cdot 3} = 4$

## Задача 5

Для трехфазного асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором технические данные которого :

Тип – 4А112М4УЗ

$P_H = 5,5 \text{ Квт}$	- номинальная мощность;
$n_H = 1445 \text{ об./мин}$	- номинальная частота вращения;
$\eta_i = 0,855$	- номинальный КПД;
$\cos \phi_i = 0,85$	- номинальный коэффициент мощности;
$\frac{I_{\Pi}}{I_H} = 7,0$	- кратность пускового тока;
$\frac{M_{\Pi}}{M_H} = 2,0$	-кратность пускового момента;
$\frac{M_K}{M_H} = 2,2$	- кратность максимального момента;
$U_{1H} = 380 \text{ В}$	- номинальное напряжение .

Определить:

$I_{1H}$	-номинальный ток;
$I_{\Pi}$	-пусковой ток
$S_H$	-номинальное скольжение;
$M_H$	-номинальный момент на валу;
$M_n$	-пусковой момент;
$M_K$	- максимальный момент;
$\Sigma P$	-суммарные потери мощности.

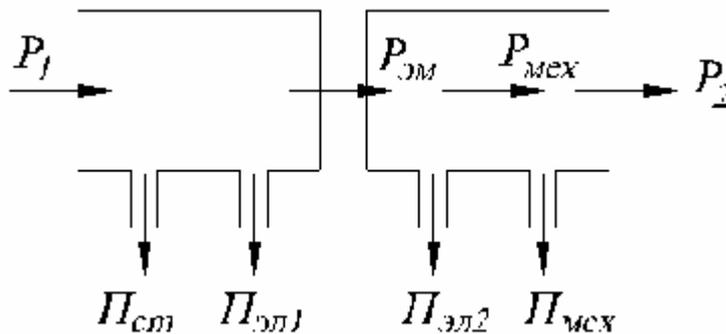
Пользуясь упрощенной формулой Клосса рассчитать и построить зависимость  $M=f(S)$

Решение:

КПД-  $\eta = \frac{P_2}{P_1}$  отсюда мощность  $P_1 = \frac{P_2}{\eta} = \frac{5500}{0,855} = 6432,7 \text{ Вт}$

Номинальный ток-  $I_H = \frac{P_1}{\sqrt{3}U_1 \cdot \cos \phi_H} = \frac{6432,7}{1,73 \cdot 380 \cdot 0,85} = \frac{6432,7}{558,79} = 11,5 \text{ А}$

Суммарные потери мощности-  $\Sigma P = P_1 - P_2 = 6432,7 - 5500 = 932,7 \text{ Вт}$



Пусковой ток-  $I_H = I_H \cdot 7 = 11,5 \cdot 7,0 = 80,5 \text{ А}$

Синхронная частота вращения-  $n_1 = f_1 \frac{60}{P} = 50 \cdot \frac{60}{2} = 1500 \text{ об / мин}$

номинальное скольжение-  $S_H = \frac{n_1 - n_2}{n_1} = \frac{1500 - 1445}{1500} = 0,03$

номинальный момент на валу-  $M_H = 9,55 \frac{P_H}{n_2} = 9,55 \cdot \frac{5500}{1445} = 36,34 \text{ Н} \cdot \text{м}$

пусковой момент-  $M_H = M_H \cdot 2 = 36,34 \cdot 2 = 72,69 \text{ Н} \cdot \text{м}$

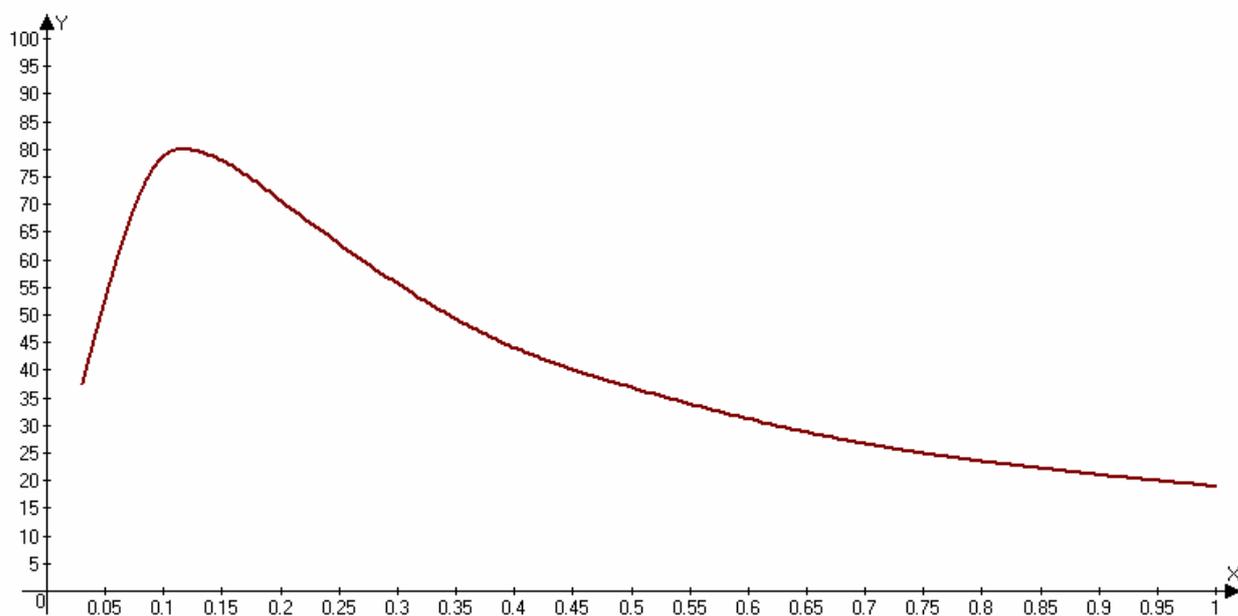
максимальный момент-  $M_K = M_H \cdot 2,2 = 36,34 \cdot 2,2 = 79,94 \text{ Н} \cdot \text{м}$

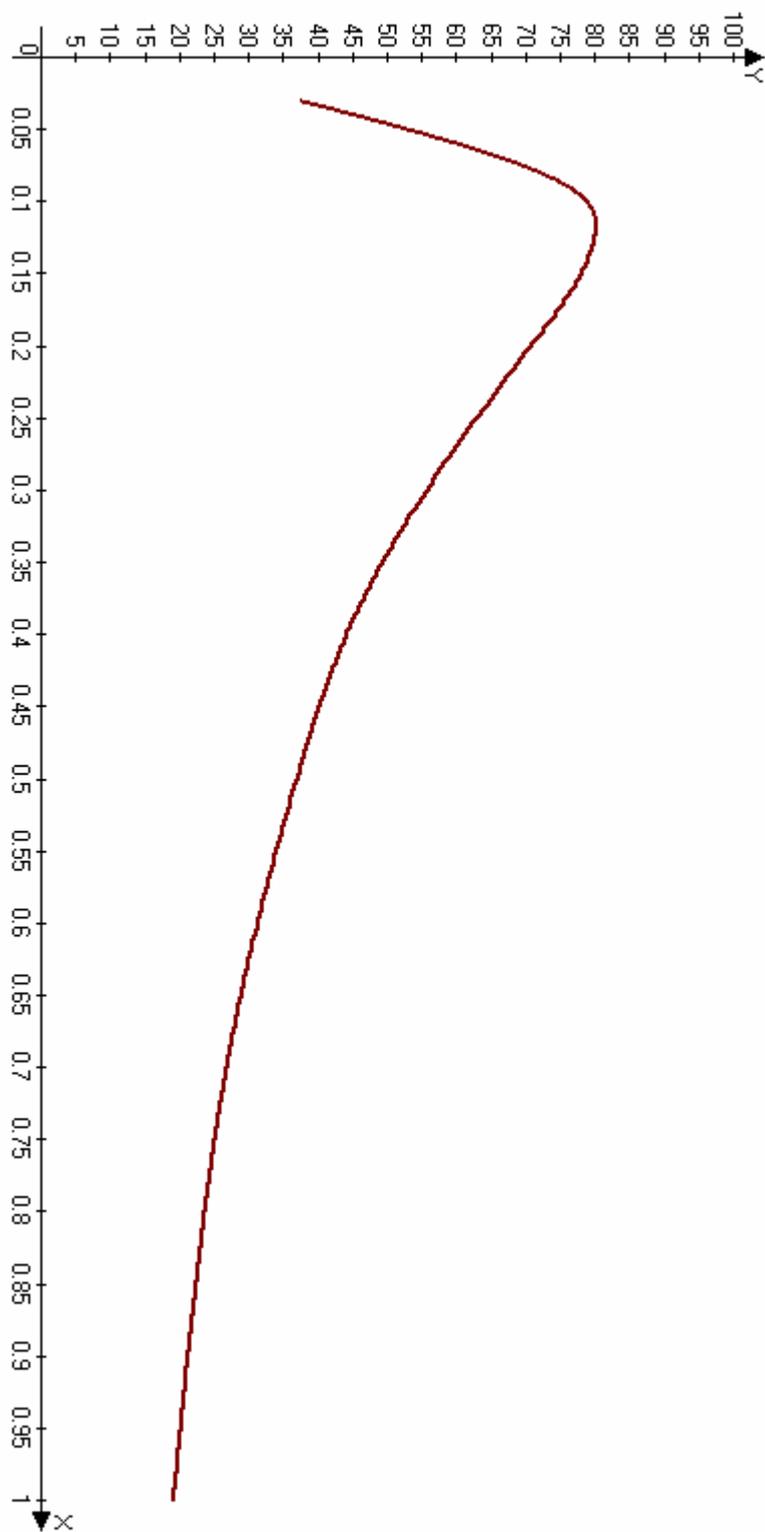
критическое скольжение -  $S_K = S_H \left( \frac{M_K}{M_H} + \sqrt{\left( \frac{M_K}{M_H} \right)^2 - 1} \right)$

$$S_K = 0,03 \cdot \left( \frac{79,94}{36,34} + \sqrt{\left( \frac{79,94}{36,34} \right)^2 - 1} \right) = 0,12$$

зависимость  $M=f(S)$  по формуле Клосса:  $M_H = \frac{2M_K}{\frac{S_H}{S_K} + \frac{S_K}{S_H}}$

S От.ед.	$S_H$	0,1	$S_K$	0,2	0,4	0,5	0,7	0,8	1,0
$\frac{S}{S_K}$	0,25	0,83	1,0	1,66	3,33	4,1	5,83	6,66	8,33
$\frac{S_K}{S}$	4,0	1,2	1,0	0,6	0,3	0,24	0,17	0,15	0,12
$\frac{S_K}{S} + \frac{S}{S_K}$	4,25	2,03	2,0	2,26	3,63	4,34	6,0	6,81	8,45
$M_H$	37,61	78,75	79,94	70,74	44,04	36,83	26,64	23,47	18,92





### Задача 6

Для трехфазного асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором технические данные которого:

Тип – 4А112М4У3

$P_H = 5,5 \text{ Квт}$	-номинальная мощность;
$n_H = 1445 \text{ об./мин}$	-номинальная частота вращения;
$\eta_H = 0,855$	-номинальный КПД;
$\cos \phi_H = 0,85$	-номинальный коэффициент мощности;
$\frac{I_{II}}{I_H} = 7,0$	-кратность пускового тока;
$\frac{M_{II}}{M_H} = 2,0$	-кратность пускового момента;
$\frac{M_K}{M_H} = 2,2$	-кратность максимального момента;
$U_{1H} = 380 \text{ В}$	-номинальное напряжение;
$I_0 = 4 \text{ А}$	-ток холостого хода;
$R_1 = 0,8 \text{ Ом}$	-активное сопротивление фазы статора;
$U_{K\Phi} = 44 \text{ В}$	-напряжение короткого замыкания;
$P_0 = 0,260 \text{ Квт}$	-мощность потерь холостого хода;
$P_K = 0,670 \text{ Квт}$	-мощность потерь короткого замыкания;
	-соединение обмоток статора-звезда.

1. Построить круговую диаграмму.
2. Используя круговую диаграмму определить номинальные величины и сравнить с паспортными данными.
3. Используя круговую диаграмму определить положение рабочей точки «D» если задано:
  - 3.1.  $S=0.4$
  - 3.2.  $I_1 = 3I_{1H}$

Решение:

Для построения круговой диаграммы необходимы следующие величины:

$\varphi_0$ град	$I_0$ А	$\varphi_K$ град	$I_{KH}$ А	$r_K$ Ом	$r_1$ Ом
84	4	63	80,5	1,68	0,8

$$\cos \varphi_0 = \frac{P_0}{\sqrt{3}U_0 I_0} = \frac{260}{1,73 \cdot 380 \cdot 4,0} = 0,098$$

НОМИНАЛЬНЫЙ ТОК:  $I_{1H} = \frac{P_H}{\sqrt{3} \cdot U_{1H} \cdot \cos \varphi_H \cdot \eta_H} = \frac{5500}{1,73 \cdot 380 \cdot 0,85 \cdot 0,855} = 11,5 \text{ A}$

$$\cos \varphi_K = \frac{P_K}{3U_{KP} I_{1H}} = \frac{670}{3 \cdot 44 \cdot 11,5} = 0,44 \quad \varphi_K = 63^\circ$$

Ток короткого замыкания-  $I_{KH} = I_{1H} \frac{I_n}{I_H} = 11,5 \cdot 7 = 80,5 \text{ A}$

$$r_K = \frac{U_K}{I_{1H}} \cos \varphi_K = \frac{44}{11,5} \cdot 0,44 = 1,68 \text{ Ом}$$

Задаемся масштабом тока- 2,5 А на 1 см.

$$K_1 K_2 = K_1 K \frac{r_1}{r_2} = 14,1 \cdot \frac{0,8}{1,68} = 6,7 \text{ см}$$

Масштаб мощности-  $m_P = m_1 U_\phi \cdot m_I = 3 \cdot 220 \cdot 2,5 = 1650 \text{ Вт / см}$

Масштаб момента-  $m_M = 9,55 \cdot \frac{m_P}{n_1} = 9,55 \cdot \frac{1650}{1500} = 10,5 \text{ Н} \cdot \text{м / см}$

Определяем номинальные величины;

$$P_H = Dc \cdot m_P = 1650 \cdot 3,5 = 5775 \text{ Вт} \quad P = 5500 \text{ Вт}$$

$$P_{1H} = Da \cdot m_P = 1650 \cdot 4 = 6600 \text{ Вт}$$

$$\eta_H = \frac{P_H}{P_{1H}} = \frac{5775}{6600} = 0,875 \quad \cos \varphi = 0,9$$

$$n_H = n_1 (1 - S_H) = 1500 \cdot 0,97 = 1455 \text{ об / мин} \quad S\text{-ном.} = 0,03$$

