
MINISTÈRE DE L'ÉDUCATION ET DES SCIENCES D'UKRAINE
UNIVERSITÉ NATIONALE TECHNIQUE DE DONETSK
INSTITUT DE LA COOPÉRATION INTERNATIONALE

La chaire "L'électrotechnique"



Cours
D'ELECTROTECHNIQUE

Instructions méthodiques
pour l'exécution des travaux calculés - graphiques
Deuxième partie: «MACHINES ELECTRIQUES»

Donetsk 2004

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ДОНЕЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІНСТИТУТ МІЖНАРОДНОГО СПІВРОБІТНИЦТВА

Кафедра електротехніки

Курс
ЕЛЕКТРОТЕХНІКИ

Методичні вказівки
до виконання розрахунково-графічних робіт
Частина друга: «ЕЛЕКТРИЧНІ МАШИНИ»
(на французькій мові)

ЗАТВЕРДЖЕНО:
на засіданні кафедри
електротехніки
Протокол N 8
Від 13.05.2004

Донецьк ДонНТУ 2004

УДК 621.3

Курс «Електротехніка». Методичні вказівки до виконання розрахунково-графічних робіт. Частина II «Електричні машини». (на французькій мові).

В.О. Сажин. Донецьк: ДонНТУ, 2004

Є частиною комплексу методичних матеріалів, що розроблені кафедрою електротехніки ДонНТУ і містять в собі завдання, вказівки та пояснення до виконання розрахунково-графічних робіт з курсу «Електротехніка», розділ «Електричні машини».

Методичні вказівки призначені для студентів, що вивчаються на французькій мові.

Методичні вказівки розроблялись з участю студентів: А.Перегіняк (група Ф-01в), Ю.Кепін (група Ф-01в): комп'ютерна графіка, відбір термінології.

Рецензент: Є. Б. Ковальов, проф. кафедри гірничої електротехніки і автоматики

© В.О. Сажин.

4. CALCUL DES PARAMÈTRES PRINCIPAUX DU TRANSFORMATEUR TRIPHASÉ ET LEUR ANALYSE

4.1. Les données initiales

Le transformateur triphasé a les paramètres de base suivants: la puissance apparente nominale S_{nom} , kVA; la tension primaire nominal composé $U_{1C\ nom}$, kV; la tension secondaire nominal composé (dans le régime de marche à vide) $U_{2C\ nom}$, kV; la puissance des pertes (dans trois phases) de marche à vide P_0 , W; la puissance des pertes (dans trois phases) par un essai du court - circuit P_{CC} , W; la tension du court – circuit u_{CC} en pourcentage % par rapport à $U_{1C\ nom}$; le courant de marche à vide i_{10} en pourcentage % par rapport à I_{Inom} ; la fréquence du courant du réseau d'alimentation $f=50$, Hz; les schémas de la connexion des phases du transformateur.

Les valeurs de toutes ces grandeurs sont choisies selon deux derniers chiffres du numéro du livret d'examen en fonction du tab. 4.1.

4.2. Le devoir

1. Tracer l'esquisse du circuit magnétique d'un transformateur. Indiquer sur celle-ci des enroulements haute et basse tensions. Désigner les bornes homonymes des enroulements de transformateur. Montrer la section droite des colonnes et les culasses du circuit magnétique. Indiquer les directions conditionnellement - positives des tensions simples et FEM dans chaque enroulement, les directions conventionnellement - positives des flux magnétiques dans les colonnes de chaque phase.

2. Tracer le schéma de principe du circuit triphasé électrique du transformateur avec les interrupteurs et les coupe-circuit à fusibles, ainsi qu'avec la charge connectée (dans les exécutions troifilaire et unifilaire). Indiquer sur le premier de ceux-ci les directions conventionnellement - positives des tensions composées et simples, des courants composés (en ligne) et simples (par phase).

3. Définir les grandeurs des tensions nominales simples des enroulements primaires et secondaires du transformateur.

4. Définir le rapport de transformation n des tensions simples et composées.

5. Définir la quantité de spires des bobinages en croyant, que pour une spire on admet la tension U_{sp} en fonction de tab. 4.2.

6. Définir l'amplitude du flux magnétique dans les colonnes du circuit magnétique.

7. Définir la section de noyau du transformateur ayant accepté l'amplitude admissible de l'induction magnétique dans l'acier magnétique $B_M = 1\ T$.

Le tableau 4.1. - Les variantes les paramètres de base et les paramètres de la charge

Le numéro	S_{nom} , kVA	$U_{1C\ nom}/U_{2C\ nom}$, kV/kV	P_0 , kW	P_{CC} , kW	u_{CC} , %	i_{10} , %	Les schémas de la connexion des phases
1	2	3	4	5	6	7	8
01	20	6,3/0,4	0,18	0,6	5,5	5	Y/ Δ
02	20	10,0/0,4	0,22	0,6	5,5	5	Δ /Y
03	30	6.3/0,4	0,25	0,85	5,5	5	Y/Y
04	30	10,0/0,4	0,3	0,85	5,5	5	Δ / Δ
05	50	6,3/0,525	0,35	1,33	5,5	5	Y/ Δ
06	50	10,0/0,4	0,4	1,33	5,5	5	Δ /Y
07	100	6,3/0,525	0,6	2,4	5,5	5	Y/Y
08	100	10,0/0,525	0,73	2,4	5,5	5	Δ / Δ
09	100	35,0/0,525	0,9	2,4	6,5	5	Y/ Δ
10	180	10,0/0,525	1,2	4,1	5,5	5	Δ /Y
11	180	10,0/0,525	1,2	4,1	5,5	6	Y/Y
12	180	35,0/10,5	1,5	4,1	6,5	6	Δ / Δ
13	320	6,3/0,525	1,6	6,1	5,5	6	Y/ Δ
14	320	10,0/0,525	1,9	6,2	5,5	6	Δ /Y
15	320	35,0/10,5	2,3	6,2	6,5	6	Y/Y
16	560	10,0/0,525	2,5	9,4	5,5	6	Δ / Δ
17	560	10,0/6,3	3,35	9,4	5,5	6	Y/ Δ
18	560	35,0/10,5	3,35	9,4	6,5	6	Δ /Y
19	750	10,0/0,525	4,1	1,19	5,5	6	Y/Y
20	1000	10,0/6,3	4,9	15,0	5,5	6	Δ / Δ
21	1000	35,0/10,5	5,1	15,0	6,5	5	Y/ Δ
22	1800	10,0/6,3	8,0	24,0	5,5	5	Δ /Y
23	1800	35,0/10,5	8,3	24,0	6,5	5	Y/Y
24	3200	10,0/6,3	11,0	37,0	6,5	5	Δ / Δ
25	3200	38,5/10,5	11,5	37,0	7,0	5	Y/ Δ
26	5600	10,0/6,3	18,0	56,0	5,5	5	Δ /Y
27	5600	38,5/10,5	18,5	57,0	7,5	5	Y/Y
28	20	6,3/0,4	0,155	0,515	4,5	5	Δ / Δ
29	20	10,0/0,4	0,155	0,515	4,5	5	Y/ Δ
30	35	6.3/0,4	0,23	0,63	4,5	5	Δ /Y
31	35	10,0/0,4	0,23	0,83	4,5	6	Y/Y
32	60	6,3/0,525	0,35	1,3	4,5	6	Δ / Δ
33	60	10,0/0.525	0,35	1,3	4,5	6	Y/ Δ
34	100	6,3/0,525	0,5	2,07	4,5	6	Δ /Y
35	100	10,0/0,525	0,5	2,07	4,5	6	Y/Y
36	180	6,3/0,525	0,8	3,2	4,5	6	Δ / Δ
37	180	10,0/0,525	0,8	3,2	4,5	6	Y/ Δ
38	320	6,3/0,525	1,35	4,85	4,5	6	Δ /Y
39	320	10,0/0,525	1,35	4,85	4,5	6	Y/Y
40	560	6,3/0,525	2,0	7,2	4,5	6	Δ / Δ
41	560	10,0/0,525	2,0	7,2	4,5	5	Y/ Δ

Le tableau 4.2 - Rationnel la tension par spire des transformateurs

S_{nom} , kVA	jusqu'à 100	jusqu'à 500	jusqu'à 1000	jusqu'à 10000	jusqu'à 60000
U_{sp} , V	5	10	15	50	100

8. Définir les courants nominaux composés et les courants des enroulements du transformateur (le courant de magnétisant et les pertes dans le transformateur négliger).

9. Définir les sections des conducteurs des enroulements haute et base tensions (m^2) ayant accepté une densité de courant admissible selon la chauffe dans les conducteurs $j=2 A/mm^2$. Faire la conclusion sur le rapport des courants, les sections des conducteurs et la quantité de spires des enroulements haute et base tensions.

10. Calculer et construire les graphiques de la variation du rendement η d'un transformateur en fonction du coefficient de la charge $\beta = I_2/I_{2nom}$ (au facteur de puissance de la charge $\cos \varphi = 0,8$). Faire la conclusion: à quelle charge il faut s'orienter au choix du transformateur ?

11. Tracer le schéma de principe électrique du transformateur au changement du mode de couplage de l'enroulement secondaire.

Définir comme changeront les tensions composées et simples, ainsi que le rapport de transformation composé.

12. Tracer le schéma de principe électrique du transformateur au changement du mode de couplage de l'enroulement primaire.

Définir, comme changeront les tensions composées et simples (primaires et secondaires), ainsi que les rapports de transformation.

13. Faire la conclusion sur l'admissibilité et l'opportunité de l'utilisation du transformateur au changement du mode de couplage des ses enroulements par comparaison avec le schéma indiqué dans le passeport.

4.3. Les instructions selon le calcul.

4.3.1. Les données initiales

Copier, en fonction du tab. 4.1, selon deux derniers chiffres du numéro du livret d'examen les paramètres donnés.

4.3.2. L'exécution du devoir

1. Sur l'esquisse du circuit magnétique du transformateur représenter: par les lignes fines avec un grand nombre des spires - les enroulements haute tension; par de grosses lignes avec un petit nombre des spires - les enroulements base tension.

Porter la représentation de la section droite des colonnes du circuit magnétique des phases A, B, C (A-A, B-B, C-C) et de culasse (P-P).

Par les lignes pointillées indiquer les directions conventionnellement - positives des flux magnétiques dans les colonnes (Φ_A, Φ_B, Φ_C).

Désigner les bornes homonymes des phases des bobinages primaires et secondaires ($A-X$ et $a-x, B-Y$ et $b-y, C-Z$ et $c-z$).

Indiquer les directions conventionnelles - positives des tensions simples (\dot{U}_A et \dot{U}_a, \dot{U}_B et \dot{U}_b, \dot{U}_C et \dot{U}_c) et F.E.M (\dot{E}_A et \dot{E}_a, \dot{E}_B et \dot{E}_b, \dot{E}_C et \dot{E}_c).

2. Sur le schéma de principe du circuit triphasé électrique du transformateur donné indiquer les directions conventionnellement - positives des tensions composées ($\dot{U}_{AB}, \dot{U}_{BC}, \dot{U}_{CA}$) et simples ($\dot{U}_A, \dot{U}_B, \dot{U}_C$) des bobinages primaires; des tensions composées ($\dot{U}_{ab}, \dot{U}_{bc}, \dot{U}_{ca}$) et simples ($\dot{U}_a, \dot{U}_b, \dot{U}_c$) des bobinages secondaires; des courants composés ($\dot{I}_A, \dot{I}_B, \dot{I}_C$) et simples ($\dot{I}_{AX}, \dot{I}_{BY}, \dot{I}_{CZ}$) des bobinages primaires; des courants simples ($\dot{I}_{ax}, \dot{I}_{by}, \dot{I}_{cz}$) et composés ($\dot{I}_a, \dot{I}_b, \dot{I}_c$) des bobinages secondaires. Les tensions composées secondaires du transformateur sont simultanément les tensions composées pour la charge.

Faire attention, que dans le bobinage primaire les tensions coïncident avec les courants, c'est-à-dire les bobinages primaires sont les récepteurs de l'énergie électrique. Dans les bobinages secondaires les courants sont dirigés opposés aux tensions, c'est-à-dire les bobinages secondaires sont les sources de l'énergie électrique pour la charge.

3. Pour le triangle: la tension par phase d'enroulement $U_{s\ nom}$ est égale à la tension composée du secteur $U_{c\ nom}$, c'est-à-dire $U_{s\ nom} = U_{c\ nom}$

Pour l'étoile: $U_{s\ nom} = U_{c\ nom} / \sqrt{3}$

4. Les rapports de transformation:

$$n_s = U_{1s\ nom} / U_{2s\ nom} = W1 / W2; n_c = U_{1c\ nom} / U_{2c\ nom}$$

5. Définir la tension par spire pour la valeur donnée de la puissance apparente (en fonction du tab. 4.2), alors

$$W = U_{s\ nom} / U_{sp}$$

6. L'amplitude du flux magnétique sinusoïdal dans le noyau du circuit magnétique est définie à partir de la propriété principale du flux magnétique de la bobine idéale du courant alternatif (la relation qui relie la tension primaire à la fréquence et au flux).

7. Puisque tous les colonnes et la culasse du circuit magnétique ont les flux identiques, leurs sections sont égales et sont calculées selon la formule:

$$S_n = \Phi_M / B_M$$

8. La puissance apparente du récepteur triphasé symétrique (de la source)

$$S = \sqrt{3} U_C I_C$$

Pour le couplage en étoile $I_C = I_S$

en triangle $I_C = \sqrt{3} I_S$

Si négliger le courant à vide et les pertes dans le transformateur, la puissance apparente consommé par le transformateur du réseau dans le régime nominal S_1 et la puissance apparente S_2 livrée à la charge sont égaux à la puissance nominale S_{nom} , c'est-à-dire

$$S_1 = S_2 = S_{nom}$$

9. Les sections des conducteurs des bobinages haute et base tensions: $s_c = I_S/j$

10. Le rendement et le coefficient de la charge sont liées par la relation

$$\eta = \beta S_{nom} \cos \varphi_{nom} / (\beta S_{nom} \cos \varphi_{nom} + P_0 + \beta^2 P_{cc})$$

Les résultats des calculs présenter en tableau 4.3.

Le tableau 4.3. - Les résultats des calculs du rendement

β	0	0,05	0,1	0,25	0,5	0,75	1,0	1,25
η								

Comparer les valeurs η à vide et sous la charge. Faire la conclusion.

11., 12. Les valeurs des tensions après le changement du schéma de la connexion des bobinages (de l'étoile pour le triangle et vice versa) sont calculées à partir de ce que le rapport de transformation reste sans changements. La tension primaire du réseau non plus change.

13. Les résultats du calcul selon p. 11, 12 inscrire au tableau 4.4.

À la valeur de la tension simple il y a moins de nominal le transformateur est utilisé insuffisamment.

Si la tension se trouve plus nominal, un tel changement du schéma de la connexion est inadmissible.

Le tableau 4.4. - Les résultats des calculs des tensions

Les schémas de la connexion des bobinages	le bobinage HT		le bobinage BT		La conclusion
	U_{1C} , V	U_{1S} , V	U_{2C} , V	U_{2S} , V	
Δ/Y					
Δ/Δ					
Y/Y					
Y/Δ					

4. РАСЧЕТ ОСНОВНЫХ ПАРАМЕТРОВ ТРЕХФАЗНОГО ТРАНСФОРМАТОРА И ИХ АНАЛИЗ

4.1. Исходные данные

Трехфазный трансформатор имеет следующие паспортные (каталожные) данные: номинальная мощность $S_{\text{ном}}$ кВА; номинальное первичное линейное напряжение $U_{1\text{л ном}}$, кВ; номинальное вторичное линейное напряжение (в режиме холостого хода) $U_{2\text{л ном}}$, кВ; мощность потерь (в трех фазах) при холостом ходе P_x Вт; мощность потерь (в трех фазах) при опыте короткого замыкания P_k , Вт, напряжение короткого замыкания u_k , % от $U_{1\text{л ном}}$; ток холостого хода i_{10} % от $I_{1\text{ном}}$; частота тока питающей сети $f = 50$ Гц; схемы соединения фаз трансформатора.

Значения всех этих величин выбираются по двум последним цифрам номера зачетной книжки в соответствии с табл. 4.1.

4.2. Задание

1. Начертить эскиз магнитной цепи трансформатора с указанием на ней обмоток высшего и низшего напряжений. Обозначить одноименные выводы обмоток. Показать поперечное сечение стержней и ярма магнитопровода. Указать условно-положительные направления фазных напряжений и ЭДС в каждой обмотке, условно-положительные направления магнитных потоков в стержнях каждой фазы.

2. Начертить принципиальную схему трехфазной электрической цепи трансформатора с выключателями и предохранителями, подключенной нагрузкой в трехлинейном и однолинейном исполнениях. Нанести на первой из них условно-положительные направления линейных и фазных напряжений и токов.

3. Определить значения номинальных фазных напряжений первичных и вторичных обмоток трансформатора.

4. Определить коэффициент n трансформации фазных и линейных напряжений,

5. Определить количество витков обмоток, считая, что на один виток допускается напряжение $U_{\text{вит}}$ в соответствии с табл. 4.2.

6. Определить амплитуду магнитного потока в стержнях магнитопровода.

7. Определить сечение сердечника трансформатора, приняв допустимую амплитуду магнитной индукции в электротехнической стали $B_m = 1$ Тл.

8. Определить номинальные линейные токи и токи обмоток трансформатора (током намагничивания и потерями в трансформаторе пренебречь).

9. Определить сечения проводов обмоток высшего и низшего напряжений (мм^2). приняв допустимую по нагреву плотность тока в проводах $j = 2$ А/мм². Сделать вывод о соотношении токов, сечений проводов и количества витков обмоток высшего и низшего напряжений.

10. Рассчитать и построить графики зависимости КПД η трансформатора от коэффициента нагрузки $\beta = I_2/I_{2\text{ном}}$ при коэффициенте мощности нагрузки $\cos\varphi = 0,8$. Сделать вывод о том, на какую нагрузку трансформатора следует ориентироваться при его выборе.

11. Начертить принципиальную электрическую схему трансформатора при изменении способа соединения его вторичной обмотки.

Таблица 4.1. - Варианты каталожных данных и параметров нагрузки

Таблица 4.2 Рациональные витковые напряжения трансформаторов

Определить, как изменятся вторичные линейные и фазные напряжения и линейный коэффициент трансформации.

12. Начертить принципиальную электрическую схему трансформатора при изменении способа соединения его первичной обмотки.

Определить, как изменятся первичные и вторичные линейные и фазные напряжения трансформатора, а также коэффициенты трансформации.

13. Сделать вывод о допустимости и целесообразности использования трансформатора при изменении способа соединения его обмоток в сравнении со схемой, указанной в каталоге (паспорте).

4.3. Указания по расчету

4.3.1. Исходные данные

Выписать, в соответствии с табл. 4.1, по двум последним цифрам номера зачетной книжки заданные параметры.

4.3.2. Выполнение задания

1. На эскизе магнитной цепи трансформатора изобразить: тонкими линиями с большим числом витков - обмотки высшего напряжения, толстыми линиями с малым числом витков - обмотки низшего напряжения.

Вынести изображение поперечного сечения стержней магнитопровода фаз А, В, С (А-А, В-В, С-С) и ярма (Я-Я).

Пунктирными линиями указать условно-положительные направления магнитных потоков в стержнях (Φ_A , Φ_B , Φ_C).

Обозначить одноименные зажимы фаз первичной и вторичной обмоток (А-Х и а-х, В-У и в-у, С- Z и с-z).

Указать условно-положительные направления фазных напряжений (U_A и U_a , U_B и U_b , U_C и U_c) и ЭДС (E_A и E_a , E_B и E_b , E_C и E_c).

2. На принципиальной схеме трехфазной электрической цепи с заданным трансформатором указать условно-положительные направления линейных (U_{AB} , U_{BC} , U_{CA}) и фазных (U_A , U_B , U_C) напряжений первичных обмоток, линейных (U_{ab} , U_{bc} , U_{ca}) и фазных (U_a , U_b , U_c) напряжений вторичных обмоток, линейных (I_A , I_B , I_C) и фазных (I_{AX} , I_{BY} , I_{CZ}) токов первичных обмоток, фазных (I_{ax} , I_{by} , I_{cz}) и линейных (I_a , I_b , I_c) токов вторичных обмоток. Вторичные линейные напряжения трансформатора являются одновременно линейными напряжениями для нагрузки.

Обратить внимание, что в первичной обмотке напряжения совпадают с токами, т.е. первичные обмотки являются приемниками электроэнергии. Во вторичных обмотках токи - направлены встречно (на встречу; противоположно) напряжениям, т.е. вторичные обмотки являются источниками электроэнергии для нагрузки.

3. Для треугольника: напряжение на фазной обмотке равно линейному напряжению сети, т.е.: $U_{\text{ф ном}} = U_{\text{л ном}}$

для звезды: $U_{\text{ф ном}} = U_{\text{л ном}} / \sqrt{3}$

4. Коэффициенты трансформации:

$$n_{\text{ф}} = U_{1\text{ф ном}} / U_{2\text{ф ном}} = W_1 / W_2; n_{\text{л}} = U_{1\text{л ном}} / U_{2\text{л ном}}$$

5. В соответствии с табл. 4.2, для заданного значения полной мощности, определить витковое напряжение, тогда

$$W = U_{\text{ф ном}} / U_{\text{вит}}$$

6. Амплитуда синусоидального магнитного потока в сердечнике магнитопровода определяется исходя из основного свойства магнитного потока идеальной катушки переменного тока (соотношение, которое связывает первичное напряжение с частотой и потоком).

7. Так как все стержни и ярмо магнитопровода имеют одинаковые потоки, их сечения равны и вычисляются по формуле:

$$S_c = \Phi_m / B_m$$

8. Полная мощность трехфазного симметричного приемника (источника)

$$S = \sqrt{3} U_L I_L$$

Для соединения звездой $I_L = I_{\text{ф}}$

треугольником $I_L = \sqrt{3} I_{\text{ф}}$

Если пренебречь током холостого хода и потерями в трансформаторе, потребляемая трансформатором из сети в номинальном режиме полная мощность S_1 и отдаваемая им нагрузке полная мощность S_2 равны номинальной мощности $S_{\text{ном}}$, т.е.

$$S_1 = S_2 = S_{\text{ном}}$$

9. Сечения проводов обмоток высшего и низшего напряжений: $s_{\text{пр}} = I_{\text{ф}} / j$

10. КПД и коэффициента нагрузки связаны соотношением

$$\eta = \beta S_{\text{ном}} \cos \varphi_{\text{ном}} / (\beta S_{\text{ном}} \cos \varphi_{\text{ном}} + P_x + \beta^2 P_k)$$

Результаты расчетов свести в таблицу 4.3.

Таблица 4.3. - Результаты расчетов КПД

Сравнить значения η на холостом ходу и под нагрузкой. Сделать вывод.

11., 12. Значения напряжений после пересоединения обмоток (из звезды на треугольник и наоборот) рассчитываются исходя из того, что фазный коэффициент трансформации остается без изменений. Первичное напряжение сети также не изменяется.

13. Результаты расчета по п.11, 12 занести в таблицу 4.4.

Таблица 4.4. - Результаты расчетов напряжений

При значении фазного напряжения меньше номинального трансформатор недоиспользуется.

Если напряжение окажется больше номинального - такое изменение схемы соединения (пересоединение) недопустимо.

5. LA DÉFINITION DES PARAMÈTRES PRINCIPAUX DU MOTEUR A COURANT CONTINU ET LEUR ANALYSE

5.1. Les données initiales

Le moteur du courant continu à excitation en dérivation se caractérise par les données suivantes: la puissance nominale P_{nom} , la puissance prise au secteur $P_{a\ nom}$, le courant nominal I_{nom} , la tension nominal U_{nom} , le courant de l'enroulement d'induit $I_{ind\ nom}$, le courant de l'enroulement d'excitation I_{ex} , la résistance de l'enroulement d'induit R_{ind} , la résistance de l'enroulement d'excitation R_{ex} , le couple moteur nominale M_{nom} , la vitesse nominale de rotation n_{nom} , f.é.m. de l'induit $E_{ind\ nom}$, le rendement nominal η_{nom} , $\sum\Delta P_{nom}$ - les pertes totales de puissance dans le moteur, la perte de puissance dans l'enroulement d'induit

$$\Delta P_{ind\ nom} = 0,5 \sum\Delta P_{nom}$$

Les pertes de puissance dans l'enroulement d'excitation

$$\Delta P_{ex\ nom} = 0,2 \sum\Delta P_{nom}$$

Les pertes mécaniques de puissance

$$\Delta P_{méc\ nom} = 0,3 \sum\Delta P_{nom}$$

Le facteur de surcharge admissible selon le courant $k_I = 2$.

5.2. Le devoir

1. Tracer le schéma de principe électrique de connexion d'un moteur, ayant indiqué sur celle-ci: le réseau d'alimentation, l'interrupteur, les coupe-circuit à fusibles, le bobinage de l'excitation, l'induit, le rhéostat de démarrage.

Expliquer la désignation de chacun de ces éléments.

En ayant été donné la polarité de la tension du secteur, montrer sur le schéma de la direction de tous les courants, f.é.m. d'induit.

2. Selon les significations de la série de grandeurs nominales (du tab. 5.1) définir les autres grandeurs manquant remarquées par le trait.

3. Calculer et construire la caractéristique mécanique naturelle du moteur.

Indiquer sur celle-ci les terrains du travail admissible de longue durée et de courte durée du moteur pour les conditions de la chauffe et de la formation d'étincelles sur le collecteur.

4. Analyser le travail du moteur selon la caractéristique mécanique naturelle au changement du couple résistant de $M_{r1} = 0,2M_{nom}$ jusqu'à $M_{r2} = 0,8M_{nom}$.

Faire la conclusion sur le changement relatif de la vitesse de rotation établie à l'augmentation du couple résistant sur l'arbre du moteur.

5. Définir la résistance du rhéostat de démarrage R_d et le couple de démarrage du moteur M_d au courant d'induit maximum admissible $I_{ind\ m}$.

Le tableau 5.1. - Les données initiales

Le méro	nu- P kW	P _{Rnom} kW	I _{nom} A	U _{nom} V	I _{ind nom} A	I _{ex} A	R _{ind} Ohm	R _{ex} Ohm	M _{nom} Nm	n _{nom} tours/mn	E _{ind nom} V	∑ΔP _{nom} kW	η _{nom} %
1	1,0	1,35	6,14	-	-	-	-	-	-	1500	-	-	-
2	2,2	-	-	110	-	-	-	-	7	-	-	-	70
3	3,0	-	-	-	2,2	-	-	-	-	3000	-	1,23	-
4	4,0	5,55	-	-	23,6	-	-	-	42,4	-	-	-	-
5	-	-	147	440	-	4,4	-	-	-	1000	-	-	-
6	-	-	19,5	110	18,3	-	-	-	4,77	-	-	-	-
7	-	-	-	-	-	-	0,154	86,4	716	1000	-	-	-
8	-	-	-	-	-	-	0,315	53,8	102	1400	-	-	77
9	-	-	-	-	222,5	-	0,101	-	-	1000	417,5	-	-
10	2,2	3,14	14,3	-	-	-	-	-	-	1500	-	-	-
11	1,0	-	-	220	-	-	-	-	6,37	-	-	-	74
12	2,2	-	-	-	-	1,7	-	-	-	3000	-	0,94	-
13	3,0	4,23	-	-	36,2	2,2	-	-	9,55	-	-	-	-
14	-	-	25	220	-	1,4	-	-	-	900	-	-	-
15	-	-	147	440	142,6	-	-	-	525	-	-	-	-
16	-	-	-	-	-	1,2	0,956	94,5	4,77	3000	-	-	-
17	-	-	-	-	-	-	0,154	86,4	716	1000	-	-	87
18	-	-	-	-	84,5	-	0,315	-	-	1400	193	-	-
19	-	-	-	-	222,2	-	-	-	860	-	417,5	10	-
20	2,2	-	-	220	-	-	-	-	14	-	-	-	70
21	1,0	-	-	-	-	-	0,314	-	-	1500	-	0,35	-
22	2,2	3,14	-	-	26,8	1,7	-	-	7,0	-	-	-	-
23	-	-	38,4	110	-	2,2	-	-	-	3000	-	-	-
24	-	-	25	220	23,6	-	-	-	42,4	-	-	-	-
25	-	-	-	-	-	4,4	0,239	99,8	525	1000	-	-	-
26	-	-	-	-	-	-	0,956	94,5	4,77	3000	-	-	70
27	-	-	-	-	190,9	-	0,154	-	-	1000	410,6	-	-
28	-	-	-	-	84,5	-	-	-	102	-	193	4,5	-
29	90	100	227	-	-	-	-	-	-	1000	-	-	-

6. Calculer et construire la caractéristique mécanique artificielle du moteur dans le système des coordonnées de la caractéristique naturelle à la présence au circuit d'induit de la résistance R_d , défini selon l'art. 5.

7. Analyser le fonctionnement du moteur selon la caractéristique mécanique artificielle. Faire la conclusion sur la possibilité du réglage de la vitesse de rotation du moteur au passage à la caractéristique artificielle.

8. Calculer et construire la courbe de rendement du moteur en fonction du coefficient de charge β

$$\beta = I_{ind} / I_{ind\ nom}$$

Indiquer sur la courbe la valeur β à qui le rendement atteint le maximum.

Faire la conclusion: à quelle charge il faut s'orienter pour choix du moteur ?

5.3. Les instructions selon le calcul.

5.3.1. Les données initiales

Les données initiales sont choisies en fonction du tab. 5.1.

5.3.2. L'exécution du devoir

1. Le schéma de connexion d'un moteur prendre à [1 - 3].

2. La puissance adsorbée au réseau dans le régime nominal

$$P_{a\ nom} = P_{nom} / \eta_{nom}$$

Le courant nominal adsorbé

$$I_{nom} = P_{a\ nom} / U_{nom}$$

Les pertes totales au moteur dans le régime nominal

$$\sum \Delta P_{nom} = P_{a\ nom} - P_{nom}$$

Le courant nominal au circuit d'excitation

$$I_{ex\ nom} = \Delta P_{ex\ nom} / U_{nom}$$

La résistance du circuit d'excitation

$$R_{ex} = U_{nom} / I_{ex\ nom}$$

Le courant nominal d'induit

$$I_{ind\ nom} = I_{nom} - I_{ex\ nom}$$

La résistance d'induit

$$R_{ind} = \Delta P_{ind\ nom} / I_{ind\ nom}^2$$

Le couple moteur nominal

$$M_{nom} = 9,55 P_{nom} / n_{nom}$$

La force électromotrice d'induit dans le régime nominal

$$E_{ind\ nom} = U_{nom} - R_{ind} I_{ind\ nom}$$

Inscrire les données reçues et initiales à tabl. 5.2:

Le tableau 5.2 - Les paramètres du moteur

P_{nom} kW	P_{Rnom} kW	I_{nom} A	U_{nom} V	$I_{ind\ nom}$ A	I_{ex} A	R_{ind} Ohm	R_{ex} Ohm	M_{nom} Nm	n_{nom} tr/mn	$E_{ind\ nom}$ V	$\sum \Delta P_{nom}$ kW	η_{nom} %

3. L'équation de la caractéristique mécanique du moteur.

La vitesse de rotation:

$$n = n_0 - \Delta n$$

d'où :

$$n_0 = U_{nom} / C_E \Phi - \text{la vitesse de la marche à vide idéale}$$

$$\Delta n = R_{ind} M / C_E C_M \Phi^2 - \text{l'accroissement de la vitesse}$$

Avec cela:

$$E_{ind\ nom} = C_E \Phi n_{nom}$$

$$M_{nom} = C_M \Phi I_{ind\ nom}$$

En prenant en considération, que l'équation exprime la ligne directe, pour la construction de la caractéristique il suffit deux points:

a) le régime nominal: $M = M_{nom}$, $n = n_{nom}$.

b) la marche à vide idéale: $M = 0$, $n = n_0$

A la surcharge le travail de courte durée du moteur jusqu'à la valeur M_{adm} est possible.

4. Pour les couples résistant $M_{r1} = 0,2M_{nom}$ et $M_{r2} = 0,8M_{nom}$ définir les vitesses de rotation du moteur n_1 et n_2 respectivement.

Faire attention au changement la vitesse de rotation établie au changement de la charge du moteur.

Le changement relatif de la vitesse de rotation

$$\Delta n = (n_1 - n_2) / n_1$$

Exprimer Δn dans le % et faire la conclusion sur la rigidité de la caractéristique.

5. La résistance du rhéostat de démarrage R_d est définie de la condition de réception du courant d'induit de démarrage $I_{ind\ d} = I_{ind\ max}$ selon l'équation de l'équilibre électrique du moteur au démarrage

$$U = I_{ind\ d} (R_d + R_{ind})$$

Le facteur de surcharge

$$k_I = I_{ind\ max} / I_{ind\ nom}$$

6. La résistance totale au circuit d'induit:

$$R_{ind\ \Sigma} = R_{ind} + R_d$$

L'accroissement de la vitesse

$$\Delta n = R_{ind\ \Sigma} M / C_E C_M \Phi^2$$

7. Pour les couples résistant $M_{r1}=0,2M_{nom}$ et $M_{r2}=0,8M_{nom}$ définir les vitesses de rotation du moteur n_{1a} et n_{2a} respectivement.

Faire attention au changement de la rigidité de caractéristique.

8. Le calcul de rendement du moteur est produit selon la formule:

$$\eta = \beta P_{nom} / (\beta P_{nom} + \beta^2 \Delta P_{ind nom} + \Delta P_{ex nom} + \Delta P_{méc nom})$$

Les résultats des calculs inscrire dans le tab. 5.2.

Le tableau 5.2. - Les résultats des calculs du rendement

β	0,05	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
η											

Faire attention au changement du rendement d'un moteur.

Faire la conclusion.

5. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОСНОВНЫХ ПАРАМЕТРОВ ДВИГАТЕЛЯ ПОСТОЯННОГО ТОКА И ИХ АНАЛИЗ

5.1. Исходные данные

Двигатель постоянного тока параллельного возбуждения характеризуется следующими данными: номинальная мощность $P_{ном}$, потребляемая из сети мощность $P_{с ном}$, номинальный ток $I_{ном}$, номинальное напряжение $U_{ном}$, ток обмотки якоря $I_{я ном}$, ток обмотки возбуждения $I_{в}$, сопротивление обмотки якоря $R_{я}$, сопротивление обмотки возбуждения $R_{в}$, номинальный вращающий момент $M_{ном}$, номинальная частота вращения $n_{ном}$, номинальный КПД $\eta_{ном}$, противо-эдс якоря $E_{я ном}$, $\sum \Delta P_{ном}$ - суммарные потери мощности в двигателе, потери мощности в обмотке якоря

$$\Delta P_{я ном} = 0,5 \sum \Delta P_{ном}$$

потери мощности в обмотке возбуждения

$$\Delta P_{в ном} = 0,2 \sum \Delta P_{ном}$$

механические потери мощности

$$\Delta P_{мех. ном} = 0,3 \sum \Delta P_{ном}$$

допустимая перегрузочная способность по току

$$k_I = 2.$$

5.2. Задание

1. Начертить принципиальную электрическую схему включения двигателя, указав на ней: питающую сеть, выключатель, предохранители, обмотку возбуждения, якорь, пусковой реостат. Объяснить назначение каждого из этих элементов. Задавшись полярностью напряжения сети, показать на схеме направления всех токов, ЭДС якоря.

2. По значениям ряда номинальных величин (табл. 5.1) определить недостающие остальные величины, отмеченные прочерком.

3. Рассчитать и построить естественную механическую характеристику двигателя. Указать на ней участки допустимой длительной и кратковременной работы двигателя по условиям нагрева и искрения на коллекторе.

4. Проанализировать работу двигателя по естественной механической характеристике при изменении момента сопротивления от $M_{с1} = 0,2M_{ном}$ до $M_{с2} = 0,8M_{ном}$.

Сделать вывод об относительном изменении установившейся частоты вращения при увеличении момента сопротивления на валу двигателя.

5. Определить сопротивление пускового реостата R_n и пусковой момент двигателя M_n при максимально допустимом токе якоря $I_{я макс}$.

6. Рассчитать и построить искусственную механическую характеристику двигателя в системе координат естественной характеристики при наличии в цепи якоря сопротивления R_n , определенного по п.5.

7. Проанализировать работу двигателя по искусственной механической характеристике. Сделать вывод о возможности регулирования частоты вращения двигателя при переходе на искусственную характеристику.

8. Рассчитать и построить график зависимости КПД двигателя от коэффициента нагрузки β

$$\beta = I_{я} / I_{я ном}$$

Указать на графике значение β , при котором КПД достигает максимума.
Сделать вывод о том, на какую нагрузку следует ориентироваться при выборе двигателя.

5.3. Указания по расчету

5.3.1. Исходные данные

Исходные данные выбираются в соответствии с табл. 5.1.

Таблица 5.1. - Исходные данные

5.3.2. Выполнение задания

1. Схему включения двигателя взять из [1 – 3].
2. Потребляемая из сети мощность в номинальном режиме

$$P_{с ном} = P_{ном} / \eta_{ном}$$

Потребляемый номинальный ток

$$I_{ном} = P_{с ном} / U_{ном}$$

Суммарные потери в двигателе в номинальном режиме

$$\sum \Delta P_{ном} = P_{с ном} - P_{ном}$$

Номинальный ток в цепи возбуждения

$$I_{в ном} = \Delta P_v / U_{ном}$$

Сопротивление цепи возбуждения

$$R_v = U_{ном} / I_{в ном}$$

Номинальный ток якоря

$$I_{я ном} = I_{ном} - I_{в ном}$$

Сопротивление якоря

$$R_я = \Delta P_{я ном} / I_{я ном}^2$$

Номинальный вращающий момент

$$M_{ном} = 9,55 P_{ном} / \eta_{ном}$$

Противо-эдс якоря в номинальном режиме

$$E_{я ном} = U_{ном} - R_я I_{я ном}$$

Занести полученные и исходные данные в 5.2:

Таблица 5.2 – Параметры двигателя

3. Уравнение механической характеристики двигателя.

Частота вращения:

$$n = n_0 - \Delta n$$

где: $n_0 = U_{ном} / C_E \Phi$ - скорость идеального холостого хода

$\Delta n = R_я M / C_E C_M \Phi^2$ – приращение скорости

При этом:

$$E_{я ном} = C_E \Phi n_{ном}$$

$$M_{ном} = C_M \Phi I_{я ном}$$

Учитывая, что уравнение выражает прямую линию, для построения характеристики достаточно двух точек:

- а) номинального режима работы: $M = M_{ном}$, $n = n_{ном}$.

б) идеального холостого хода $M=0$, $n = n_0$

При перегрузке возможна кратковременная работа двигателя до значения $M_{доп}$.

4. Для моментов сопротивления $M_{c1}=0,2M_{ном}$ и $M_{c2}=0,8M_{ном}$ определить соответственно частоты вращения двигателя n_1 и n_2 .

Обратить внимание на изменение установившаяся частота вращения при изменении нагрузки двигателя.

Относительное изменение частоты вращения

$$\Delta n = (n_1 - n_2) / n_1$$

Выразить Δn в % и сделать вывод о жесткости характеристики.

5. Сопротивление пускового реостата R_n определяется из условия получения тока якоря при пуске $I_{я пуск} = I_{я макс}$ по уравнению электрического состояния двигателя при пуске

$$U = I_{я пуск} (R_n + R_я)$$

Перегрузочной способностью

$$k_I = I_{я макс} / I_{я ном}$$

6. Общее сопротивление цепи якоря:

$$R_{я \Sigma} = R_я + R_n$$

Приращение скорости

$$\Delta n = R_{я \Sigma} M / C_E C_M \Phi^2$$

7. Для моментов сопротивления $M_{c1}=0,2M_{ном}$ и $M_{c2}=0,8M_{ном}$ определить соответственно частоты вращения двигателя n_{1u} и n_{2u} .

Обратить внимание на изменение жесткости характеристики.

8. Расчет КПД двигателя производится по формуле:

$$\eta = \beta P_{ном} / (\beta P_{ном} + \beta^2 \Delta P_{я ном} + \Delta P_{в ном} + \Delta P_{мех ном})$$

Результаты расчетов свести в табл. 5.2.

Таблица 5.2. - Результаты расчетов КПД

Обратить внимание на изменение КПД двигателя.

Сделать вывод.

6. LA DEFINITION DES PARAMETRES PRINCIPAUX DU MOTEUR ASYNCHRONE TRIPHASE A ROTOR EN COURT-CIRCUIT ET LEUR ANALYSE

6.1. Les données initiales

Dans le catalogue pour les moteurs asynchrones à rotor en court-circuit amène les données suivantes: le type du moteur, le nombre des paires de pôles p ; la puissance nominale P_{nom} , kW; la vitesse nominale de rotation du rotor n_{nom} , tr/min; la tension primaire nominal composé du stator $U_{IC\ nom}$, kV; , le rendement nominal η_{nom} ; le facteur de puissance nominal $\cos\varphi_{nom}$; le facteur de surcharge au cours de démarrage k_I ,

$$k_I = I_{IC\ d} / I_{I\ nom}$$

la multiplicité du couple de décollage λ_d :

$$\lambda_d = M_d / M_{nom};$$

le facteur de surcharge λ_m :

$$\lambda_m = M_m / M_{nom};$$

La fréquence du courant au réseau $f = 50\ Hz$.

6.2. Le devoir

1. Tracer le schéma de principe électrique de connexion d'un moteur simplifié et déroulé, ainsi que le schéma des connexions dans la boîte à bornes du moteur.

2. Selon des valeurs nominales (du tab. 6.1) définir:

- les courants nominaux de ligne $I_{IC\ nom}$ et par phase $I_{IS\ nom}$ du stator;
- la vitesse de rotation du champ magnétique n_0 ;
- le glissement nominal et critique du rotor s_{nom} et s_{cr} ;
- la vitesse critique de rotation du rotor n_{cr} ;
- les couples nominaux M_{nom} , de décollage $M_{d\cdot nom}$ et maximum (critique) M_m ;
- la puissance active nominale adsorbée au réseau, P_{Inom} ;
- la puissance apparente nominale adsorbée au réseau, S_{nom} ;
- la puissance réactive inductive nominale adsorbée au réseau, Q_{nom} ;
- les pertes nominales de puissance dans le moteur ΔP_{nom} .

Les valeurs des paramètres calculées présenter en tableau.

3. Selon les paramètres calculés construire la caractéristique approchée mécanique du moteur. Indiquer sur celle-ci les terrains du travail admissible de longue durée et de courte durée du moteur pour les conditions de la chauffe et les terrains du travail stable et instable du moteur.

Le tableau 6.1. - Les données de catalogue des moteurs asynchrones triphasés

nu- mé- ro	type du moteur	p	P _{nom} , kW	n _{nom} , tr/min	U _{1C nom} , V	η _{nom}	cosφ _{nom}	k _I	M _d / M _{nom}	M _m / M _{nom}
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
	BAO-42-4	2	5,5	1450	380	0,84	0,88	6,5	1,8	2
	BAOЛ-42-8	4	3	715	660	0,715	0,6	4	1,8	2
3	BAOЛ-52-4	2	13	1460	380	0,85	0,79	6,5	1,8	2
4	BAOЛ-52-8	4	5,5	730	660	0,81	0,65	5,0	1,8	2
5	ВП80В2У5	1	2,2	2800	380	0,76	0,91	5,5	1,6	2,5
6	ВП80В2У5(15)	1	2,2	2800	380	0,76	0,87	5,5	1,6	2,5
7	ВП13М2У5	1	15	2920	380	0,875	0,87	5,5	1,6	2,5
8	2BAO 4	2	4	1440	380	0,84	0,82	7	2,1	2,6
9	2ВДП2М4	2	5,5	1410	380	0,867	0,84	7	2,3	2,8
10	2BA2M2	2	7,5	1430	380	0,88	0,88	7	2,2	2,8
11	2BAI32M2	1	11	2900	380	0,885	0,87	7	2,0	2,8
12	ВРШ60М2У2	1	15	2920	660	0,895	0,89	6	1,8	2,5
13	ВРП160М4У2	2	18,5	1460	660	0,905	0,850	6,5	2,2	2,6
14	ВРП160 6У2	3	11	976	380	0,88	0,86	6	2,0	2,5
15	ВРП16098У2	4	7,5	730	380	0,86	0,76	5,5	2,0	2,6
16	2ЭДКОФ250М4	2	55	1477	660	0,925	0,87	7,5	3,0	3,4
17	2ЭДКОФ250М4	2	55	1477	380	0,925	0,87	7,5	3,0	3,4
18	2ЭДКОФ250М4	2	55	1477	1140	0,925	0,87	7,5	3,0	3,4
19	2ЭДФ250М4	2	90	1473	1140	0,93	0,86	7,5	3,0	3,3
20	4ABC112A47У	2	3,0	1420	220	0,83	0,86	6	2,2	2,5
21	4ABGI32A474I	2	5,0	1390	380	0,83	0,83	6	2,2	2,5
22	4ABCP2B412ЭУ	2	3,0	1420	220	0,82	0,82	6	2,2	2,5
23	4ABC132B	2	5,0	1440	380	0,84	0,88	7	2,2	2,5
24	4AX90 4Ш	2	2,2	1440	660	0,8	0,83	6	2	2,2
25	4AI00 4ВП	2	4,0	1480	380	0,84	0,89	6	2	2,2
26	4AI32 6ВП	3	5,5	946	660	0,855	0,81	7	2	2
27	4A132M6Ш	3	7,5	975	380	0,85	0,8	7	2	2
28	4AM112M2Ж	1	7,5	2900	380	0,875	0,88	7,5	2,1	2,2
29	4AMP2M4Ж	2	5,5	1450	380	0,855	0,86	7	2	2,2
30	4A132M2Ж	1	11	2900	380	0,88	0,90	7,5	1,8	2,2
31	4A1Л132 4Ж	2	7,5	1450	380	0,875	0,86	7,5	2	2,2
32	4AI60 2PHУ2	1	15	2930	660	0,88	0,91	7,5	1,4	2,2
33	ЧА180М2PHУ2	1	30	2940	660	0,9	0,89	7,5	1,2	2,2
34	4A200M4PHУ2	2	37	1460	380	0,91	0,9	7,0	1,4	2,2
35	4A2180M4PHУ2	2	30	1460	380	0,9	0,87	7,5	2,0	2,2
36	4AI60 4EУ3	2	15	1466	660	0,886	0,88	7	1,4	2,2
37	4AI60M6E	3	15	975	360	0,875	0,87	6	1,2	2,0
38	4AI60 8EУ3	4	7,5	730	660	0,87	0,75	6	1,4	2,2
39	4ABCP2A4	2	3,0	1420	380	0,93	0,86	6	2,2	2,5
40	BA061-6У5	3	10	970	1140	0,85	0,85	6,5	1,3	2,2
41	BA061-4У5	2	13	1465	1140	0,88	0,86	7	1,3	2,2
42	ЧА160М2НД	1	15	2710	660	0,85	0,9	5,5	1,5	2,1
43	BAC022-14У1	7	22	420	660	0,89	0,77	5,5	1,4	2,3

4. Calculer et construire les caractéristiques ouvrières du moteur: les courbes le rendement η et le facteur de puissance du moteur $\cos\varphi$ en fonction du coefficient de charge β :

$$\beta = P/P_{nom}$$

5. Analyser le travail du moteur au changement du couple résistant de $M_{r1}=0,2M_{nom}$ jusqu'à $M_{r2}=0,8M_{nom}$.

Faire la conclusion au changement relatif de la vitesse de rotation, du rendement, du facteur de puissance à l'augmentation du couple résistant sur l'arbre du moteur et à la charge rationnelle du moteur.

6. Analyser selon la caractéristique mécanique le procès de démarrage du moteur.

Faire la conclusion, à quelles conditions le démarrage du moteur est possible.

7. Analyser selon la caractéristique mécanique le procès du renversement du moteur.

Faire la conclusion sur les mesures de la protection de ce régime.

6.3. Les instructions selon le calcul

6.3.1. Les données initiales

Les données initiales sont choisies selon deux derniers chiffres du numéro du livret d'examen en fonction du tab. 5.1.

Les enroulements statorique sont connectés en étoile pour impairs des variantes et en triangle - pour pairs des variantes

6.3.2. L'exécution du devoir

1. Sur le schéma de principe déroulé d'un moteur indiquer les sens conventionnelles - positives des tensions composées ($\dot{U}_{AB}, \dot{U}_{BC}, \dot{U}_{CA}$) du réseau d'alimentation; des courants simples ($\dot{I}_{ab}, \dot{I}_{bc}, \dot{I}_{ca}$) et composés ($\dot{I}_A, \dot{I}_B, \dot{I}_C$) d'enroulements statorique.

Pour le schéma de connexion des enroulements statorique en étoile indiquer les sens conventionnelles des tensions simples ($\dot{U}_A, \dot{U}_B, \dot{U}_C$).

Dans la boîte à bornes, qui est disposée sur le stator, établir deux (L1 - L2) ou trois (L1 - L3) le linteau pour les schémas de connexion des enroulements statorique la "étoile" ou le "triangle" respectivement. Les bornes des phases sont désignées C1 - C6.

2. Les résultats du calcul inscrire au tableau 6.2.

Le tableau 6.2. - Les résultats du calcul des paramètres le moteur asynchrone

I_{IC}	$I_{IS\ nom}$	n_0	S_{nom}	S_{cr}	n_{cr}	M_{nom}	M_{dnom}	M_m	P_{Inom}	S_{nom}	Q_{nom}	ΔP_{nom}

Le rendement nominal du moteur:

$$\eta_{nom} = P_{nom} / P_{I_{nom}}$$

La puissance active nominale adsorbée au réseau:

$$P_{I_{nom}} = S \cos\varphi_{nom}$$

La puissance apparente nominale adsorbée au réseau:

$$S = \sqrt{3} U_{IC_{nom}} I_{IC_{nom}}$$

La puissance réactive inductive nominale adsorbée au réseau

$$Q_{nom} = \sqrt{(S_{nom}^2 - P_{I_{nom}}^2)}$$

La vitesse de rotation du champ magnétique:

$$n_0 = 60f_1 / p$$

Le glissement nominal du rotor:

$$s_{nom} = (n_0 - n_{nom}) / n_0$$

Le glissement critique du rotor:

$$s_{cr} = s_{nom} (\lambda_m + \sqrt{[\lambda_m^2 - 1]})$$

Le couple nominal du moteur:

$$M_{nom} = 9550 P_{nom} / n_{nom}$$

Les pertes nominales de puissance dans le moteur:

$$\Delta P_{nom} = P_{I_{nom}} - P_{nom}$$

3. La caractéristique approchée mécanique est construite selon quatre points:

a) $n=n_0; M=0;$

b) $n=n_{nom}, M=M_{nom};$

c) $n=n_{cr}, M=M_m.$

d) $n=0; M=M_{d_{nom}};$

Le travail de longue durée du moteur est possible à la charge n'excédant pas la valeur nominale.

A la surcharge le travail de courte durée du moteur pour les conditions de la surchauffe est possible.

4. On peut calculer le rendement du moteur en fonction du coefficient de charge selon la formule approchée: $\eta = P / P_1$

Définir la puissance active adsorbée au réseau, au changement de la charge, selon la formule

$$P_1 = \beta P_{nom} + \beta^2 \Delta P_{\acute{e}nom} + \Delta P_{m_{nom}}$$

$\Delta P_{m_{nom}}$ - la puissance des pertes magnétiques conditionnant la chauffe de circuit magnétique du moteur à la charge nominale (pratiquement ne dépend pas de la charge du moteur dans la limite du terrain de la caractéristique mécanique définissant le travail stable du moteur);

$\Delta P_{\acute{e} nom}$ - la puissance des pertes électriques conditionnant la chauffe des enroulements par le courant à la charge nominale (à la charge variable est proportionnelle au carré du courant, c'est-à-dire approximativement au carré β).

Accepter, qu'en régime nominal de la perte à circuit magnétique et dans les enroulements sont égaux, c'est-à-dire: $\Delta P_{m nom} = \Delta P_{\acute{e} nom} = \Delta P_{nom} / 2$.

$$\eta = \beta P_{nom} / (\beta P_{nom} + \beta^2 \Delta P_{\acute{e} nom} + \Delta P_{m nom})$$

Le facteur de puissance du moteur est défini à n'importe quel degré de la charge selon la formule

$$\cos\varphi = P_1 / S = P_1 / \sqrt{(P_1^2 + Q_{nom}^2)}$$

Les résultats du calcul des dépendances inscrire au tableau 6.2.

Le tableau 6.2. - Les résultats du calcul des dépendances

β	0	0,05	0,1	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0	1,2
η									
$\cos\varphi$									

5. Pour les couples résistant $M_{r1}=0,2M_{nom}$ et $M_{r2}=0,8M_{nom}$ définir les vitesses de rotation du moteur n_1 et n_2 conformément.

Faire attention au changement la vitesse de rotation établie au changement de la charge du moteur.

Le changement relatif de la vitesse de rotation

$$\Delta n = (n_1 - n_2) / n_1$$

Exprimer Δn dans le % et faire la conclusion sur la rigidité de la caractéristique.

En restaurant les perpendiculaires des points correspondant $\beta_1=0,2$ et $\beta_2=0,8$, avant l'intersection avec les caractéristiques $\eta(\beta)$ et $\cos\varphi(\beta)$ définir les valeurs du rendement et les facteurs de puissance.

Le changement relatif du rendement et le facteur de puissance définir selon les formules, analogiques la relation pour la vitesse de rotation

6. À l'analyse de démarrage du moteur indiquer les points correspondant au début et l'achèvement de l'accélération du moteur.

Faire attention sur la relation des couples de décollage et de frein.

7. Représenter la condition, sur qui le renversement du moteur est possible.

Faire attention au courant à renversement du moteur. Faire la conclusion.

6. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОСНОВНЫХ ПАРАМЕТРОВ ТРЕХФАЗНОГО АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ С КОРОТКОЗАМКНУТЫМ РОТОРОМ И ИХ АНАЛИЗ

6.1. Исходные данные

В каталоге на асинхронные двигатели с короткозамкнутым ротором различных серий приведены следующие данные: тип двигателя, число пар полюсов p ; номинальная мощность $P_{ном}$, кВт; номинальная частота вращения ротора $n_{ном}$, об/мин; номинальное линейное напряжение статора $U_{л ном}$, В; номинальный КПД $\eta_{ном}$; номинальный коэффициент мощности $\cos\varphi_{ном}$; кратность начального пускового тока k_I ,

$$k_I = I_{Iлн} / I_{I ном}$$

кратность начального пускового момента λ_n

$$\lambda_n = M_n / M_{ном};$$

кратность максимальных моментов λ_m

$$\lambda_m = M_{макс} / M_{ном};$$

частота тока в сети $f = 50$ Гц.

6.2. Задание

1. Начертить принципиальную упрощенную и развернутую схемы включения двигателя, а также схему соединений в коробке выводов двигателя.

2. По значениям номинальных величин (табл. 6.1) определить:

1) номинальные линейный $I_{Iл ном}$ и фазный $I_{Iф ном}$ токи статора;

2) частоту вращения магнитного поля n_0 ;

3) номинальное и критическое скольжение ротора $s_{ном}$ и $s_{кр}$

4) критическую частоту вращения ротора $n_{кр}$;

5) номинальный $M_{ном}$, начальный пусковой M_n и максимальный (критический) $M_{макс}$ моменты;

6) потребляемую из сети номинальную активную мощность $P_{I ном}$

7) потребляемую из сети номинальную полную мощность $S_{ном}$;

8) потребляемую из сети номинальную реактивную индуктивную мощность $Q_{ном}$

9) номинальные потери мощности в двигателе $P_{ном}$.

Вычисленные значения параметров свести в таблицу.

3. По вычисленным параметрам построить приближенную механическую характеристику двигателя. Указать на ней участки допустимой длительной и кратковременной работы двигателя по условиям нагрева и участки устойчивой и неустойчивой работы двигателя.

4. Рассчитать и построить рабочие характеристики двигателя: зависимости КПД η и коэффициента мощности двигателя $\cos\varphi$ от коэффициента нагрузки β :

$$\beta = P / P_{ном}$$

5. Проанализировать работу двигателя при изменении момента сопротивления от $M_{с1} = 0,2M_{ном}$ до $M_{с2} = 0,8M_{ном}$.

Сделать вывод об относительном изменении частоты вращения, КПД, коэффициента мощности при увеличении момента сопротивления на валу двигателя и о рациональной нагрузке двигателя.

6. Проанализировать по механической характеристике процесс пуска двигателя.

Сделать заключение, при каких условиях возможен пуск двигателя.

7. Проанализировать по механической характеристике процесс опрокидывания двигателя. Сделать заключение о мерах защиты от этого режима.

Таблица 6.1. - Каталожные данные трехфазных асинхронных двигателей

6.3. Указания по расчету

6.3.1. Исходные данные

Исходные данные выбираются по двум последним цифрам номера зачетной книжки в соответствии с табл. 5.1.

Обмотки статора соединены звездой для нечетных вариантов и треугольником - для четных.

6.3.2. Выполнение задания

1. На развернутой принципиальной схеме электродвигателя указать условно-положительные направления линейных напряжений питающей сети (U_{AB} , U_{BC} , U_{CA}) ; линейных (I_A , I_B , I_C) и фазных (I_{ca} , I_{ab} , I_{bc}) токов обмотки статора.

Для схемы соединения обмоток статора звездой указать условные направления фазных напряжений (U_a , U_b , U_c).

В статорной коробке выводов установить две (П1 – П2) или три (П1 – П3) перемычки, соответственно для схем соединения обмоток статора «звезда» или «треугольник». Выводы фаз обозначаются С1 – С6.

2. Результаты расчета записать в табл. 6.2.

Таблица 6.2. - Результаты расчетов параметров АД

Номинальный КПД двигателя: $\eta_{\text{ном}} = P_{\text{ном}} / P_{1\text{ном}}$

Потребляемая из сети номинальная мощность: $P_{1\text{ном}} = S \cos\varphi_{\text{ном}}$

Потребляемая из сети номинальная полная мощность: $S = \sqrt{3} U_{\text{л ном}} I_{\text{л ном}}$

Потребляемая из сети номинальная реактивная индуктивная мощность

$$Q_{\text{ном}} = \sqrt{(S^2_{\text{ном}} - P^2_{1\text{ном}})}$$

Частота вращения магнитного поля: $n_0 = 60f_1 / p$

Номинальное скольжение ротора: $s_{\text{ном}} = (n_0 - n_{\text{ном}}) / n_0$

Критическое скольжение ротора: $s_{\text{кр}} = s_{\text{ном}}(\lambda\mu + \sqrt{\lambda^2\mu - 1})$

Номинальный момент двигателя: $M_{\text{ном}} = 9550 P_{\text{ном}} / n_{\text{ном}}$

Номинальные потери мощности в двигателе: $\Delta P_{\text{ном}} = P_{1\text{ном}} - P_{\text{ном}}$

3. Приближенная механическая характеристика строится по четырем точкам:

1) $n = n_0; M = 0;$

2) $n = n_{\text{ном}}, M = M_{\text{ном}};$

3) $n = n_{\text{кр}}, M = M_{\text{макс}}.$

4) $n = 0; M = M_{\text{н ном}};$

Длительная работа двигателя возможна при нагрузке, не превышающей номинального значения.

При перегрузке возможна кратковременная работа двигателя по условиям перегрева.

4. КПД двигателя в зависимости от коэффициента нагрузки можно вычислить по приближенной формуле: $\eta = P / P_1$

Потребляемую из сети мощность, при изменении нагрузки, определить по формуле

$$P_1 = \beta P_{\text{НОМ}} + \beta^2 \Delta P_{\text{Э НОМ}} + \Delta P_{\text{М НОМ}}$$

$\Delta P_{\text{М НОМ}}$ - мощность магнитных потерь, обуславливающих нагрев магнитопровода двигателя при номинальной нагрузке (практически не зависит от нагрузки двигателя в пределах участка механической характеристики, определяющего устойчивую работу двигателя);

$\Delta P_{\text{Э НОМ}}$ - мощность электрических потерь, обуславливающих нагрев обмоток током при номинальной нагрузке (при переменной нагрузке пропорциональна квадрату тока, т.е. приблизительно квадрату β).

Принять, что в номинальном режиме потери в магнитопроводе и в обмотках равны, т.е.:

$$\Delta P_{\text{М НОМ}} = \Delta P_{\text{Э НОМ}} = \Delta P_{\text{НОМ}}/2.$$

$$\eta = \beta P_{\text{НОМ}} / (\beta P_{\text{НОМ}} + \beta^2 \Delta P_{\text{Э НОМ}} + \Delta P_{\text{М НОМ}})$$

Коэффициент мощности двигателя при любой степени нагрузки определяется по формуле

$$\cos \varphi = P_1 / S = P_1 / \sqrt{(P_1^2 + Q_{\text{НОМ}}^2)}$$

Результаты расчетов зависимостей свести в табл. 6.2.

Таблица 6.2. - Результаты расчета зависимостей

5. Для моментов сопротивления M_{c1} и M_{c2} определить соответствующие частоты вращения n_1 и n_2 .

Обратить внимание на изменение установившаяся частота вращения при изменении нагрузки двигателя.

Относительное изменение частоты вращения

$$\Delta n = (n_1 - n_2) / n_1$$

Выразить Δn в % и сделать вывод о жесткости характеристики.

Восстанавливая перпендикуляры из точек, соответствующих $\beta_1=0,2$ и $\beta_2=0,8$, до пересечения с характеристиками $\eta(\beta)$ $\theta \cos \varphi(\beta)$ ξ определить значения КПД и коэффициентов мощности.

Относительное изменение КПД и коэффициента мощности определить по формулам, аналогичным соотношению для частоты вращения.

6. При анализе пуска двигателя указать точки, соответствующие началу и завершению разгона двигателя.

Обратить внимание на соотношение начального пускового и тормозного моментов.

7. Отразить условие, при котором возможно опрокидывание двигателя.

Обратить внимание на ток при опрокидывании двигателя.

Сделать вывод.

7. LA DÉFINITION DES PARAMÈTRES PRINCIPAUX DU TRANSFORMATEUR TRIPHASÉ ET DU MOTEUR ASYNCHRONE, QUI S'ALIMENTE DE LUI

7.1. Les données initiales

Le moteur asynchrone triphasé (M) à rotor en court-circuit est branché au réseau par les interrupteurs $Q1$ et $Q2$ par le transformateur triphasé TV (fig. 7.1).

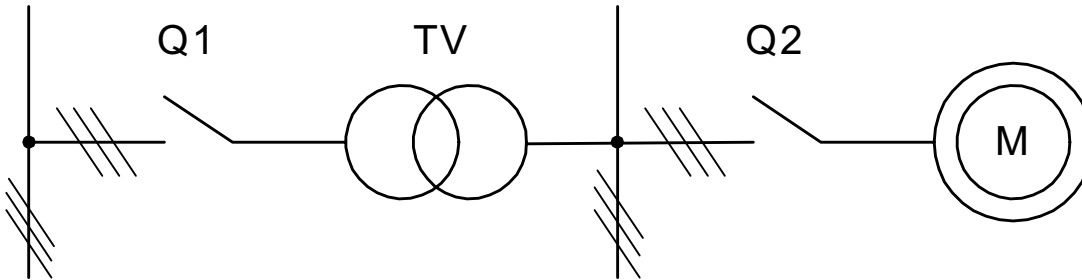


Fig. 7.1. Le schéma unifilaire d'un branchement du moteur asynchrone au réseau par le transformateur abaisseur

Le transformateur triphasé a les paramètres de base suivants (tab. 7.1):

Le tableau 7.1. - Les données de catalogue des transformateurs

m	le schéma de connexion	S_{nom} kVA	$U_{1C nom}$ kV	$U_{2C nom}$ kV	$U_{1S nom}$ kV	$U_{2S nom}$ kV	$I_{1C nom}$ A	$I_{2C nom}$ A	$I_{1S nom}$ A	$I_{2S nom}$ A	n_s	n_c
0	Y/Y		6,0			127				65,6		
1	Y/ Δ		10				1,44				26,2	
2	Y/Y	40				127			3,8			
3	Y/ Δ	40	10							60,6		
4	Y/Y				5,77				3,64		45,5	
5	Y/ Δ				3,46	220	6,06					
6	Y/Y				3,46				9,6	262,5		
7	Y/ Δ	100					5,7			151,5		
8	Y/Y		6,0							419,9	27,3	
9	Y/ Δ	160	10								26,2	

$U_{1C nom}$, $U_{2C nom}$ - les tensions primaire et secondaire nominaux composés;

$U_{1S nom}$, $U_{2S nom}$ - les tensions primaire et secondaire nominaux simples;'

S_{nom} - la puissance apparente nominale;

$I_{1C nom}$, $I_{2C nom}$ - les courants primaires et secondaires nominaux de ligne;

$I_{1S nom}$, $I_{2S nom}$ - les courants primaires et secondaires nominaux par phases;

n_s - le rapport de transformation simple;

n_c - le rapport de transformation composé;

Le tableau 7.2. - Les données de catalogue du moteur

u	schéma de connexion	P^{nom} kW	U_C^{nom} V	U_S^{nom} V	I_C^{nom} A	I_S^{nom} A	η^{nom} %	$\cos\phi^{nom}$	n^{nom} tr/min	s^{nom}	n_{cr} tr/min	s_{cr}	P^{Inoms} kW	Q^{Inoms} kVAR	S^{Inoms} kVA	p	n_0 tr/min	M_{nom} n.m	M_s n.m	M_p n.m	I_{CB} A	λ_d	λ_m	k_t	
6	Y		220				87,5	0,87						7,1			2		215,9		158,3			3,0	7,5
8	Δ	11				21,9		0,87				0,097		7,1	12,04		4		392,5		235,5			3,0	7,5
2	Y					55,2		0,82					17,2	12,03		4					235,5	331		6,0	6,0
9	Δ		220				87,0							11,35		3						317		2,0	6,0
5	Δ			220			88,0		0,025			0,093		11,49		3			362,4					2,0	5,0
4	Y	22		127									21,0	11,8		2	1500						2,0	5,0	
3	Δ			220					0,02					11,8	27,1	2							1,4	6,5	
2	Y				71,2		90,0		1470					11,8		2					200		1,4	6,5	
1	Δ		220					0,91		0,02					27,3	1		178,7					1,4	7,5	
0	Y			127			88,5							11,3						100	537,7		1,4	7,5	

Le tableau 7.3 - Les tensions par spire des transformateurs

S_{nom} , kVA	jusqu'à 100	jusqu'à 500	jusqu'à 1000	jusqu'à 10000	jusqu'à 60000
U_{sp} , V	5	10	15	50	100

Y/Y ou Y/Δ - le schéma de connexion des enroulements.

La fréquence du courant du réseau d'alimentation $f=50$, Hz.

Les données de catalogue de moteur sont amenées au tab. 7.2:

Y, Δ - le schéma de connexion des enroulements du stator;

P_{nom} - la puissance nominale, kW;

$U_{C nom}, U_{S nom}$ - les tensions composées et simple nominal;

$I_{C nom}, I_{S nom}$ - les courants de ligne et par phases nominales;

η_{nom} - le rendement nominal, %;

$\cos\varphi_{nom}$ - le facteur de puissance nominal;

n_{nom} - la vitesse nominale de rotation du rotor, tr/min;

s_{nom} - glissement nominal;

n_{cr} - la vitesse critique de rotation du rotor, tr/min;

s_{cr} - glissement critique;

$P_{Inom}, Q_{nom}, S_{nom}$ – respectivement, les puissances nominales active (kW), réactive (kVAr), apparente (kVA) adsorbées du réseau;

p - le nombre des paires de pôles;

n_0 - la vitesse de rotation du champ magnétique du stator, tr/min;

M_{nom} - le couple nominal, n·m;

M_m - le couple maximum, n·m;

M_d - le couple de décollage, n·m;

I_{ICd} - le courant de décollage. A;

$\lambda_d = M_d / M_{nom}$ - la multiplicité du couple de décollage;

$\lambda_m = M_m / M_{nom}$ - le facteur de surcharge;

$k_I = I_{ICd} / I_{Inom}$ - le facteur de surcharge au cours de démarrage.

7.2. Le devoir

1. Définir les données manquant (dans le tab. 7.1) pour le transformateur.
2. Définir les données manquant (dans le tab. 7.2) pour le moteur.
3. Tracer le schéma de principe électrique unifilaire et déroulé du circuit électrique triphasé.

Indiquer les sens conventionnelles - positives des tensions composées et simple des enroulements du transformateur et le moteur.

Indiquer, quels bobinages les récepteurs, mais quelles sources d'énergie électrique.

Indiquer, l'égalité des quelles tensions est la condition du couplage juste du moteur vers le transformateur, indépendamment des schémas d'une connexion de leur enroulement.

4. Définir la quantité de spires des enroulements du transformateur, croyant, que pour une spire on admet la tension U_{sp} en conformité du tab. 7.3.

5. Définir l'amplitude du flux magnétique dans les colonnes du circuit magnétique d'un transformateur.

6. Définir la section de noyau du transformateur ayant accepté l'amplitude admissible de l'induction magnétique dans l'acier magnétique $B_M = 1 T$.

7. Selon des valeurs d'une vitesse de rotation du rotor n et de couple électromagnétique M , qui sont pris du tab. 7.2, construire la caractéristique approchée mécanique du moteur asynchrone $n(M)$

Indiquer sur celle-ci les terrains du travail admissible de longue durée et de courte durée du moteur pour les conditions de la chauffe, ainsi que les terrains du travail stable et instable du moteur

8. Calculer et construire les caractéristiques ouvrières du moteur: les courbes le rendement η et le facteur de puissance du moteur $\cos\varphi$ en fonction du coefficient de charge β : $\beta = P/P_{nom}$

9. Analyser le travail du moteur au changement du couple résistant de $M_{r1}=0,2M_{nom}$ jusqu'à $M_{r2}=0,8M_{nom}$.

Faire la conclusion au changement relatif de la vitesse de rotation, du rendement, du facteur de puissance à l'augmentation du couple résistant sur l'arbre du moteur et à la charge rationnelle du moteur.

10. Analyser selon la caractéristique mécanique le procès de démarrage du moteur. Faire la conclusion, à quelles conditions le démarrage du moteur est possible.

11. Analyser selon la caractéristique mécanique le procès du renversement du moteur. Faire la conclusion sur les mesures de la protection de ce régime.

7.3. Les instructions selon le calcul.

7.3.1. Les données initiales

Les données initiales sont choisies selon deux derniers chiffres d'un numéro du livret d'examen mn en fonction du tab. 7.1 et 7.2

7.3.2. L'exécution du devoir

1. Le rapport entre les tensions (les courants) simple et composée:

Pour le triangle:

$$U_{s\ nom} = U_{c\ nom}; I_{c\ nom} = \sqrt{3} I_{s\ nom}$$

Pour l'étoile:

$$U_{s\text{ nom}} = U_{c\text{ nom}} \sqrt{3}; I_{s\text{ nom}} = I_{c\text{ nom}}$$

Les rapports de transformation:

$$n_s = U_{1\text{ s nom}} / U_{2\text{ s nom}} = W_1 / W_2;$$

$$n_c = U_{1\text{ c nom}} / U_{2\text{ c nom}}$$

La puissance apparente du récepteur triphasé symétrique (de la source)

$$S = \sqrt{3} U_C I_C$$

Si négliger le courant à vide et les pertes dans le transformateur, la puissance apparente consommée par le transformateur du réseau dans le régime nominal S_1 et la puissance apparente S_2 livrée à la charge sont égaux à la puissance nominale S_{nom} , c'est-à-dire

$$S_1 = S_2 = S_{nom}$$

2. Le rendement nominal du moteur:

$$\eta_{nom} = P_{nom} / P_{1nom}$$

La puissance active nominale adsorbée au réseau:

$$P_{1nom} = S \cos \varphi_{nom}$$

La puissance apparente nominale adsorbée au réseau:

$$S = \sqrt{3} U_{1Cnom} I_{1Cnom}$$

La puissance réactive inductive nominale adsorbée au réseau

$$Q_{nom} = \sqrt{(S_{nom}^2 - P_{1nom}^2)}$$

La vitesse de rotation du champ magnétique:

$$n_0 = 60f_1 / p$$

Le glissement nominal du rotor:

$$s_{nom} = (n_0 - n_{nom}) / n_0$$

Le glissement critique du rotor:

$$s_{cr} = s_{nom} (\lambda_m + \sqrt{[\lambda_m^2 - 1]})$$

Le couple nominal du moteur:

$$M_{nom} = 9550 P_{nom} / n_{nom}$$

Les pertes nominales de puissance dans le moteur:

$$\Delta P_{nom} = P_{1nom} - P_{nom}$$

3. Sur le schéma de principe du circuit triphasé électrique pour d'un transformateur indiquer les directions conventionnellement - positives des tensions composées (U_{AB}, U_{BC}, U_{CA}) et simples ($\dot{U}_A, \dot{U}_B, \dot{U}_C$) des bobinages primaires; des tensions composées (U_{ab}, U_{bc}, U_{ca}) et simples (U_a, U_b, U_c) des bobinages secondaires; des courants composés (I_A, I_B, I_C) et simples (I_{AX}, I_{BY}, I_{CZ}) des bobinages primaires; des courants simples (I_{ax}, I_{by}, I_{cz}) et composés (I_a, I_b, I_c) des bobinages secondaires. Les tensions composées secondaires du transformateur sont simultanément les tensions composées pour le moteur.

Pour le moteur indiquer les directions conventionnelles - positives des courants simples (\dot{I}_{ab} , \dot{I}_{bc} , \dot{I}_{ca}) d'enroulements du stator (le schéma de connexion - le triangle) ou les tensions simples (\dot{U}_A , \dot{U}_B , \dot{U}_C) (les schémas de connexion des enroulements du stator - l'étoile).

Faire attention, que l'enroulement primaire du transformateur et l'enroulement du stator d'un moteur sont les récepteurs de l'énergie électrique, puisque les directions des courants et les tensions coïncident.

Dans l'enroulement secondaire du transformateur les directions des tensions et les courants sont opposés. Donc, elle est la source d'énergie.

La condition de la connexion juste de l'enroulement du stator du moteur chez l'enroulement secondaire du transformateur comprend dans l'égalité de leurs tensions composées, car avec cela, indépendamment des schémas de connexion les phases du stator s'alimentent de la tension nominale.

4. Définir la tension par spire pour la valeur donnée de la puissance apparente (en fonction du tab. 7.3), alors:

$$W = U_{s\ nom} / U_{sp}$$

5. L'amplitude du flux magnétique sinusoïdal dans le noyau du circuit magnétique est définie à partir de la propriété principale du flux magnétique de la bobine idéale du courant alternatif (la relation qui relie la tension primaire à la fréquence et au flux).

6. Puisque tous les colonnes et la culasse du circuit magnétique ont les flux identiques, leurs sections sont égales et sont calculées selon la formule: $S_n = \Phi_M / B_M$

7. La caractéristique approchée mécanique est construite selon quatre points:

a) $n=n_0$; $M=0$ (la marche à vide idéale);

b) $n=n_{nom}$, $M=M_{nom}$ (le régime nominal);

c) $n=n_{cr}$, $M=M_m$ (critique).

d) $n=0$; $M=M_{d\ nom}$ (de décolage);

Le travail de longue durée du moteur est possible à la charge n'excédant pas la valeur nominale.

A la surcharge le travail de courte durée du moteur pour les conditions de la surchauffe est possible.

8. On peut calculer le rendement du moteur en fonction du coefficient de charge selon la formule approchée: $\eta = P / P_1$

Définir la puissance active adsorbée au réseau, au changement de la charge, selon la formule

$$P_1 = \beta P_{nom} + \beta^2 \Delta P_{\epsilon\ nom} + \Delta P_{m\ nom}$$

$\Delta P_{m\ nom}$ - la puissance des pertes magnétiques conditionnant la chauffe de circuit magnétique du moteur à la charge nominale (pratiquement ne dépend pas de la charge du moteur dans la limite du terrain de la caractéristique mécanique définissant le travail stable du moteur);

$\Delta P_{é\ nom}$ - la puissance des pertes électriques conditionnant la chauffe des enroulements par le courant à la charge nominale (à la charge variable est proportionnelle au carré du courant, c'est-à-dire approximativement au carré β).

Accepter, qu'en régime nominal de la perte à circuit magnétique et dans les enroulements sont égaux, c'est-à-dire: $\Delta P_{m\ nom} = \Delta P_{é\ nom} = \Delta P_{nom} / 2$.

$$\eta = \beta P_{nom} / (\beta P_{nom} + \beta^2 \Delta P_{é\ nom} + \Delta P_{m\ nom})$$

Le facteur de puissance du moteur est défini à n'importe quel degré de la charge selon la formule

$$\cos\varphi = P_1 / S = P_1 / \sqrt{(P_1^2 + Q_{nom}^2)}$$

Les résultats du calcul des dépendances inscrire au tableau 6.2.

Le tableau 6.2. - Les résultats du calcul des dépendances

β	0	0,05	0,1	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0	1,2
η									
$\cos\varphi$									

9. Pour les couples résistant $M_{r1}=0,2M_{nom}$ et $M_{r2}=0,8M_{nom}$ définir les vitesses de rotation du moteur n_1 et n_2 conformément.

Faire attention au changement la vitesse de rotation établie au changement de la charge du moteur.

Le changement relatif de la vitesse de rotation: $\Delta n = (n_1 - n_2) / n_1$

Exprimer Δn dans le % et faire la conclusion sur la rigidité de la caractéristique.

En restaurant les perpendiculaires des points correspondant $\beta_1=0,2$ et $\beta_2=0,8$, avant l'intersection avec les caractéristiques $\eta(\beta)$ et $\cos\varphi(\beta)$ définir les valeurs du rendement et les facteurs de puissance.

Le changement relatif du rendement et le facteur de puissance définir selon les formules, analogiques la relation pour la vitesse de rotation

10. À l'analyse de démarrage du moteur indiquer les points correspondant au début et l'achèvement de l'accélération du moteur.

Faire attention sur la relation des couples de décolage et de frein.

11. Réfléter la condition, sur qui le renversement du moteur est possible.

Faire attention au courant à renversement du moteur. Faire la conclusion.

7. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПО КАТАЛОЖНЫМ ДАННЫМ ОСНОВНЫХ ПАРАМЕТРОВ ТРЕХФАЗНОГО ТРАНСФОРМАТОРА И ПИТАЮЩЕГОСЯ ОТ НЕГО АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ

7.1. Исходные данные

Трехфазный асинхронный двигатель М с короткозамкнутым ротором подключается к сети выключателями Q1 и Q2 через трехфазный трансформатор Т (рис. 7.1).

Рис. 7.1. Однолинейная схема подключения асинхронного двигателя к сети через понижающий трансформатор

Трансформатор характеризуется следующими паспортными данными (табл. 7.1):

Таблица 7.1. - Каталогные данные трансформаторов

$U_{1л ном}$, $U_{2л ном}$ - первичное и вторичное номинальные линейные напряжения, кВ;

$U_{1ф ном}$, $U_{2ф ном}$ - первичное и вторичное номинальные фазные напряжения, кВ, '

S - номинальная мощность, кВА;

$I_{1л ном}$, $I_{2л ном}$ - первичный и вторичный номинальные линейные токи, А;

$I_{1ф ном}$, $I_{2ф ном}$ - первичный и вторичный номинальные фазные токи, А;

$n_{ф}$ - фазный коэффициент трансформации;

$n_{л}$ - линейный коэффициент трансформации;

Y/Y или Y/Δ - схема соединения обмоток.

Частота тока питающей сети $f = 50$ Гц.

Каталожные данные двигателя приведены в табл. 7.2:

Y, Δ - схема соединения обмотки статора;

$P_{ном}$ - номинальная мощность, кВт;

$U_{л ном}$, $U_{ф ном}$ - линейное и фазное номинальные напряжения, В;

$I_{л ном}$, $I_{ф ном}$ - линейный и фазный номинальные токи, А;

$\eta_{ном}$ - номинальный коэффициент полезного действия, %;

$\cos\varphi_{ном}$ - номинальный коэффициент мощности, о.е.;

$n_{ном}$ - номинальная частота вращения ротора, об/мин;

$s_{ном}$ - номинальное скольжение, о.е.;

$n_{кр}$ - критическая частота вращения ротора, об/мин;

$s_{кр}$ - критическое скольжение, о.е.;

$P_{I ном}$, $Q_{ном}$, $S_{ном}$ - соответственно активная (кВт), реактивная (кВАр), полная (кВА) потребляемые из сети номинальные мощности;

p - число пар полюсов;

n_0 - частота вращения магнитного поля статора, об/мин;

$M_{ном}$ - номинальный момент, Нм;

$M_{макс}$ - максимальный момент, Нм;

M_n - начальный пусковой момент, Нм;

$I_{л п}$ - начальный пусковой линейный ток, А;

$\lambda_n = M_n / M_{ном}$ - кратность пускового начального момента;

$\lambda_{ц} = M_{макс} / M_{ном}$ - кратность максимального момента;

$k_I = I_{л п} / I_{I ном}$ - кратность начального пускового тока.

7.2. Задание

1. Определить недостающие (в табл. 7.1) данные для трансформатора.
2. Определить недостающие (в табл. 7.2) данные для двигателя.
3. Начертить однолинейную и развернутую принципиальные схемы трехфазной электрической цепи.

Нанести условно-положительные направления линейных и фазных напряжений обмоток трансформатора и двигателя.

Указать, какие обмотки приемники, а какие источники электрической энергии.

Указать, равенство каких напряжений является условием правильного подключения двигателя к трансформатору, независимо от схем соединения их обмоток.

4. Определить количество витков обмоток трансформатора, считая, что на один виток допускается напряжение $U_{вит}$ соответствии с табл. 7.3.

5. Определить амплитуду магнитного потока в стержнях магнитопровода трансформатора.

6. Определить сечение сердечника трансформатора, приняв допустимую амплитуду магнитной индукции в электротехнической стали $B_m = 1,2 \text{ Тл}$.

7. По значениям частоты вращения ротора n и электромагнитного момента M , взятым из табл. 7.2, построить приближенную механическую характеристику асинхронного двигателя $n(M)$

Указать на ней участки допустимой длительной и кратковременной работы двигателя по условиям нагрева, а также участки устойчивой и неустойчивой работы двигателя.

8. Рассчитать и построить рабочие характеристики двигателя - зависимости КПД и коэффициента мощности двигателя от коэффициента нагрузки $\beta = P / P_{ном}$.

9. Проанализировать работу двигателя при изменении момента сопротивления от $M_{с1} = 0,2M_{ном}$ до $M_{с2} = 0,8M_{ном}$.

Сделать вывод об относительном изменении частоты вращения, КПД и $\cos\varphi$ при увеличении момента сопротивления на валу двигателя и о рациональной нагрузке двигателя.

10. Проанализировать по механической характеристике процесс пуска двигателя.

Сделать заключение, при каких условиях возможен пуск двигателя.

11. Проанализировать по механической характеристике процесс опрокидывания двигателя.

Сделать заключение о мерах защиты от этого режима.

7.3. Указания по расчету.

7.3.1. Исходные данные

Исходные данные выбираются по двум последним цифрам номера зачетной книжки tn в соответствии с табл. 7.1 и 7.2

1. Соотношение между фазными и линейными напряжениями (токами):

для треугольника

$$U_{\text{ф ном}} = U_{\text{л ном}}; I_{\text{л}} = \sqrt{3} I_{\text{ф}}$$

для звезды

$$U_{\text{ф ном}} = U_{\text{л ном}} / \sqrt{3}; I_{\text{л}} = I_{\text{ф}}$$

Коэффициенты трансформации:

$$n_{\phi} = U_{1\phi \text{ ном}} / U_{2\phi \text{ ном}} = W1 / W2$$

$$n_{\text{л}} = U_{1\text{л} \text{ ном}} / U_{2\text{л} \text{ ном}}$$

Полная мощность трехфазного симметричного приемника (источника)

$$S = \sqrt{3} U_{\text{л}} I_{\text{л}}$$

Если пренебречь током холостого хода и потерями в трансформаторе, потребляемая трансформатором из сети в номинальном режиме полная мощность $S1$ и отдаваемая им на нагрузку полная мощность $S2$ равны номинальной мощности $S_{\text{ном}}$, т.е.

$$S1 = S2 = S_{\text{ном}}$$

2. Номинальный КПД двигателя

$$\eta_{\text{ном}} = P_{\text{ном}} / P_{1\text{ном}}$$

Потребляемая из сети номинальная мощность

$$P_{1\text{ном}} = S \cos \phi_{\text{ном}}$$

Потребляемая из сети номинальная полная мощность

$$S = \sqrt{3} U_{1\text{л} \text{ ном}} I_{1\text{л} \text{ ном}}$$

Потребляемая из сети номинальная реактивная индуктивная мощность

$$Q_{\text{ном}} = \sqrt{(S_{\text{ном}}^2 - P_{1\text{ном}}^2)}$$

Частота вращения магнитного поля

$$n_0 = 60f1 / p$$

Номинальное скольжение ротора

$$s_{\text{ном}} = (n_0 - n_{\text{ном}}) / n_0$$

Критическое скольжение ротора

$$s_{\text{кр}} = s_{\text{ном}} (\lambda \mu + \sqrt{[\lambda^2 \mu - 1]})$$

Номинальный момент двигателя:

$$M_{\text{ном}} = 9550 P_{\text{ном}} / n_{\text{ном}}$$

Номинальные потери мощности в двигателе

$$\Delta P_{\text{ном}} = P_{1\text{ном}} - P_{\text{ном}}$$

3. На принципиальной схеме трехфазной электрической цепи для трансформатора указать условно-положительные направления линейных (U_{AB}, U_{BC}, U_{CA}) и фазных (U_A, U_B, U_C) напряжений первичных обмоток, линейных (U_{ab}, U_{bc}, U_{ca}) и фазных (U_a, U_b, U_c) напряжений вторичных обмоток, линейных (I_A, I_B, I_C) и фазных (I_{AX}, I_{BY}, I_{CZ}) токов первичных обмоток, фазных (I_{ax}, I_{by}, I_{cz}) и линейных (I_a, I_b, I_c) токов вторичных обмоток. Вторичные линейные напряжения трансформатора являются одновременно линейными напряжениями для двигателя.

Для электродвигателя указать условно-положительные направления фазных (I_{ca}, I_{ab}, I_{bc}) токов обмотки статора (схема соединения – треугольник) или фазных напряжений (U_a, U_b, U_c) (схем соединения обмоток статора - звезда).

Обратить внимание, что первичная обмотка трансформатора и обмотка статора двигателя являются приемниками электрической энергии, поскольку направления токов и напряжений совпадают.

Во вторичной обмотке трансформатора направления напряжений и токов противоположны. Следовательно, она является источником энергии.

Условие правильного подключения обмотки статора двигателя ко вторичной обмотке трансформатора состоит в равенстве их линейных напряжений, т.к. при этом, независимо от схем соединения фазы статора питаются номинальным напряжением.

4. В соответствии с табл. 7.3, для заданного значения полной мощности, определить витковое напряжение, тогда

$$W = U_{\text{ф ном}} / U_{\text{вит}}$$

5. Амплитуда синусоидального магнитного потока в сердечниках магнитопровода определяется исходя из основного свойства магнитного потока идеальной катушки переменного тока (соотношение, которое связывает первичное напряжение с частотой и потоком).

6. Так как все стержни и ярмо магнитопровода имеют одинаковые потоки, их сечения равны и вычисляются по формуле:

$$S_c = \Phi_m / B_m$$

7. Приближенная механическая характеристика строится по четырем точкам:

1) идеального холостого хода $n = n_0$; $M = 0$;

2) номинального режима $n = n_{\text{ном}}$, $M = M_{\text{ном}}$;

3) критической $n = n_{\text{кр}}$, $M = M_{\text{макс}}$.

4) пусковой $n = 0$; $M = M_n$ ном;

Длительная работа двигателя возможна при нагрузке, не превышающей номинального значения.

При перегрузке возможна кратковременная работа двигателя по условиям перегрева.

8. КПД двигателя в зависимости от коэффициента нагрузки можно вычислить по приближенной формуле: $\eta = P / P_1$

Потребляемую из сети мощность, при изменении нагрузки, определить по формуле

$$P_1 = \beta P_{\text{ном}} + \beta^2 \Delta P_{\text{э ном}} + \Delta P_{\text{м ном}}$$

$\Delta P_{\text{м ном}}$ - мощность магнитных потерь, обуславливающих нагрев магнитопровода двигателя при номинальной нагрузке (практически не зависит от нагрузки двигателя в пределах участка механической характеристики, определяющего устойчивую работу двигателя);

$\Delta P_{\text{э ном}}$ - мощность электрических потерь, обуславливающих нагрев обмоток током при номинальной нагрузке (при переменной нагрузке пропорциональна квадрату тока, т.е. приблизительно квадрату β).

Принять, что в номинальном режиме потери в магнитопроводе и в обмотках равны, т.е.:

$$\Delta P_{\text{м ном}} = \Delta P_{\text{э ном}} = \Delta P_{\text{ном}} / 2.$$

$$\eta = \beta P_{\text{ном}} / (\beta P_{\text{ном}} + \beta^2 \Delta P_{\text{э ном}} + \Delta P_{\text{м ном}})$$

Коэффициент мощности двигателя при любой степени нагрузки определяется по формуле

$$\cos \varphi = P_1 / S = P_1 / \sqrt{(P_1^2 + Q_{\text{ном}}^2)}$$

Результаты расчетов зависимостей свести в табл. 6.2.

Таблица 6.2. - Результаты расчета зависимостей

9. Для моментов сопротивления M_{c1} и M_{c2} определить соответствующие частоты вращения n_1 и n_2 .

Обратить внимание на изменение установившаяся частота вращения при изменении нагрузки двигателя.

Относительное изменение частоты вращения

$$\Delta n = (n_1 - n_2) / n_1$$

Выразить Δn в % и сделать вывод о жесткости характеристики.

Восстанавливая перпендикуляры из точек, соответствующих $\beta_1=0,2$ и $\beta_2=0,8$, до пересечения с характеристиками $\eta(\beta)$ $\theta \cos \varphi(\beta)$ ξ определить значения КПД и коэффициентов мощности.

Относительное изменение КПД и коэффициента мощности определить по формулам, аналогичным соотношению для частоты вращения.

10. При анализе пуска двигателя, указать точки, соответствующие началу и завершению разгона двигателя.

Обратить внимание на соотношение начального пускового и тормозного моментов.

11. Отобразить условие, при котором возможно опрокидывание двигателя.

Обратить внимание на ток при опрокидывании двигателя. Сделать вывод.

LITTERATURE

1. Методические указания по подготовке к занятиям по электротехническим дисциплинам (для студентов неэлектротехнических специальностей). Раздел 1. Электрические и магнитные цепи / сост.: Е.С. Траубе, Е.Б.Ковалев, С.Н.Шапочка, А.В. Колодежный. – Донецк: ДГТУ, 1993.-169 с.
2. Les instructions méthodiques. Le cours de "ELECTRICITE", partie 2, «Machines électriques», - В.И. Костенко, В.Б. Потапов, Д.Я. Савченков: Донецк, ДонГТУ, 1999 г. – с.40.
3. Пантюшин В.С. Электротехника: - М.: Высш. шк., 1989 -560 с.
4. Китаєв В.Є. Електротехніка з основами промислової електроніки: - К.: Будівельник, 1994.-240 с.
5. Русско-французский политехнический словарь. /Сост. Л. Б. Александров и др./ - 2-е изд., стереотип. – М.: Русский язык, 1980 – 800 с.

TABLE DES MATIERES

4. Calcul des paramètres principaux du transformateur triphasé et leur analyse.....	3
4. Расчет основных параметров трехфазного трансформатора и их анализ.....	8
5. La définition des paramètres principaux du moteur à courant continu et leur analyse	11
5. Определение основных параметров двигателя постоянного тока и их анализ.....	16
6. La définition des paramètres principaux du moteur asynchrone triphasé à rotor en court-circuit et leur analyse	19
6. Определение основных параметров трехфазного асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором и их анализ	24
7. La définition des paramètres principaux du transformateur triphasé et du moteur asynchrone, qui s'alimente de lui.....	27
7. Определение по каталожным данным основных параметров трехфазного трансформатора и питающегося от него асинхронного двигателя.....	34
LITTERATURE.....	39

Курс «Електротехніка». Методичні вказівки до виконання розрахунково-графічних робіт. Частина II «Електричні машини». (на французькій мові).

Автори:

Сажин Володимир Олександрович, ст. викладач каф. електротехніки ДонНТУ.

Відп. за випуск В.І. Костенко, професор, зав. каф. електротехніки ДонНТУ.

Подписано к печати 02.06.2004. Формат 60x84 1/16.
Усл. печ. л. 2,8. Печать лазерная. Тираж 50 экз.

**Отпечатано в типографии ООО «Норд Компьютер»
На цифровом лазерном издательском комплексе Rank Xerox DocuTech 135.
Адрес: г. Донецк, б. Пушкина, 23. Телефон: (062) 342-14-82.**