
MINISTERE DE L'EDUCATION ET DES SCIENCES D'UKRAINE
UNIVERSITE NATIONALE TECHNIQUE DE DONETSK
INSTITUT DE LA COOPERATION INTERNATIONALE

La chaire "L'électrotechnique"



Cours
D'ELECTROTECHNIQUE
Deuxième partie
«MACHINES ELECTRIQUES»

Instructions méthodiques
pour l'exécution des travaux laboratoires

Donetsk 2004

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

Кафедра електротехніки

Курс
ЕЛЕКТРОТЕХНІКИ
Друга частина
«ЕЛЕКТРИЧНІ МАШИНИ»

Методичні вказівки
до виконання лабораторних робіт
(на французькій мові)

ЗАТВЕРДЖЕНО:
на засіданні кафедри
електротехніки
Протокол N 8
Від 13.05.2004

УДК 621.3

Курс «Електротехніка». Друга частина «Електричні машини». Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт (на французькій мові).

В.О. Сажин, Г.О. Капанадзе. Донецьк: ДонНТУ, 2004

Є частиною комплексу методичних матеріалів, що розроблені кафедрою електротехніки ДонНТУ і містять в собі вказівки до підготовки і проведення лабораторних робіт з курсу «Електротехніка», друга частина «Електричні машини», а також форми звітів.

Розділ «Електричні машини» призначений для самостійного вивчення студентами до початку проведення лабораторних робіт.

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, Г.О. Капанадзе.

MACHINES ELECTRIQUES

1. Transformateurs

Le transformateur est un appareil électromagnétique statique dont le fonctionnement est basé sur le phénomène d'induction mutuelle. Le courant alternatif d'une tension y est transformé en courant alternatif de même fréquence mais de tension différente.

Les transformateurs sont généralement monophasés ou triphasés. La fig. 1.1 donne les principaux symboles des transformateurs.

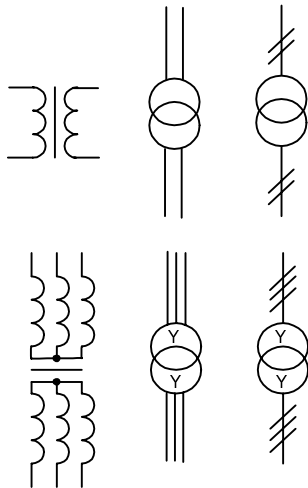


Fig. 1.1. Symboles graphiques des transformateurs

Un transformateur possède plusieurs enroulements (deux au moins) isolés l'un de l'autre. L'enroulement connecté à la source d'énergie est appelé enroulement *primaire*, l'autre enroulement qui fournit de l'énergie à un circuit extérieur est appelée enroulement *secondaire*.

Si la tension primaire U aux bornes de l'enroulement primaire est inférieure à la tension secondaire U , c'est le transformateur *élevateur*; dans le cas contraire - *abaisseur*. Conformément à la valeur relative de la tension nominale on distingue l'*enroulement haute tension* (HT) et l'*enroulement basse tension* (BT).

gnétique commun - le noyau.

Afin d'élever le couplage magnétique entre les enroulements ces derniers sont enroulés sur un circuit ma-

Le noyau est en tôles d'acier magnétique comprenant 4 à 5 % de silicium. Les tôles sont de 0,35 ou de 0,5 mm d'épaisseur. Pour isoler les tôles l'une de l'autre, avant le montage du noyau on les couvre d'un vernis isolant.

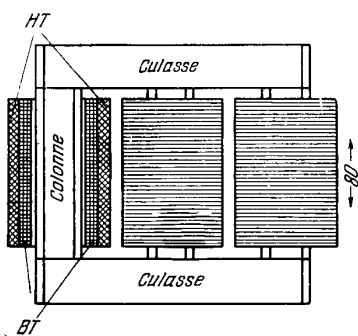


Fig. 1.2. Transformateurs monophasé et triphasé à colonnes

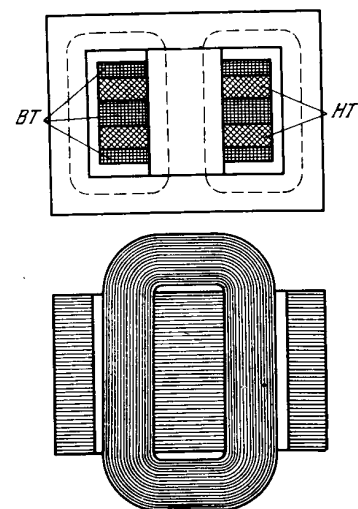
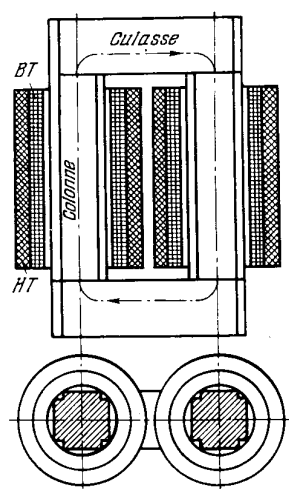


Fig. 1.3. Transformateur monophasé cuirassé

En dépendance de la position du noyau par rapport aux enroulements on distingue les transformateurs à *colonnes* (fig. 1.2) dans lesquels les enroulements embrassent les colonnes du noyau et les transformateurs *cuirassés* (fig. 1.3) dans lesquels le noyau entoure partiellement les enroulements.

Le noyau à colonnes est de construction plus simple et permet plus facilement d'isoler les enroulements; pour cette raison il est employé dans la plupart des cas. Le noyau comprend les colonnes entourées d'enroulements et les culasses qui ferment le circuit magnétique et qui ne comportent pas d'enroulement (fig. 1.2).

Ce n'est que dans les petits transformateurs que la section du noyau a la forme carrée; dans la plupart des cas, pour mieux utiliser la surface à l'intérieur de l'enroulement,

la section du noyau a la forme d'un polygone à gradins, le nombre de gradins étant d'autant plus grand que le transformateur est plus puissant (fig.1.4).

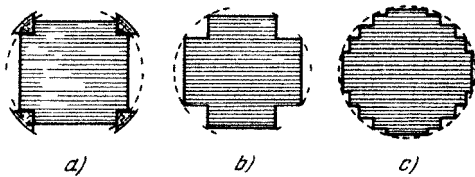


Fig. 1.4 Sections des colonnes de transformateurs

Le noyau cuirassé est utilisé surtout pour des petits transformateurs et pour ceux à destination spéciale lorsque la protection des enroulements par le noyau contre les endommagements mécaniques présente un certain avantage.

Dans la plupart des transformateurs on utilise des enroulements concentriques dont les plus simples sont les enroulements cylindriques (fig. 1.2) où les enroulements se présentent sous la forme de deux cylindres coaxiaux. Près du noyau se trouve l'enroulement de la basse tension, puis vient l'enroulement de la haute tension. Les enroulements sont distingués par un cylindre isolant en carton spécial ou en papier bakérisé. Lorsque le nombre de spires est grand on fait l'enroulement de plusieurs couches entre lesquelles on met du papier isolant ou du carton.

On indique sur la plaque signalétique d'un transformateur les grandeurs nominales suivantes: la puissance apparente, les tensions composées, les courants composés à puissance nominale, la fréquence, le nombre de phases, le schéma et le couplage, la tension de court-circuit, le service (continu ou temporaire) et le mode de refroidissement.

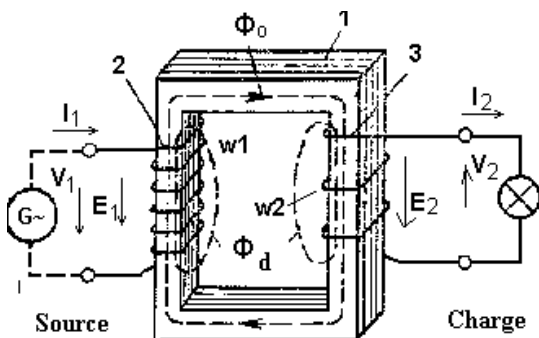


Fig. 1.5. Schéma d'un transformateur à deux enroulements et à noyau de fer

1.1. Principe de fonctionnement d'un transformateur

La tension u_1 (fig. 1.5) appliquée aux bornes de l'enroulement primaire (2) crée dans ce dernier un courant alternatif i_1 . Le courant crée dans le noyau du transformateur (1) un flux magnétique variable Φ . La variation périodique de ce flux fait qui induit dans les deux enroulements (2, 3) du transformateur les forces électromotrices.

Le rapport des forces électromotrices induites dans les enroulements est égal au rapport des nombres de spires de ces enroulements. Ce rapport est appelé *rapport de transformation*.

Lors de la marche à vide on peut considérer les tensions comme pratiquement égales aux forces électromotrices correspondantes et, en partant de leur rapport, trouver le *rapport de transformation*: $U_1/U_2 = W_1/W_2$, où W_1 et W_2 sont respectivement le nombre des spires de l'un et de l'autre enroulement.

Le rendement d'un transformateur est relativement très grand (l'ordre de 98%), ce qui permet à charge nominale de considérer la puissance primaire reçue par le transformateur et la puissance secondaire rendue par lui à peu près comme égales, c'est-à-dire que $s_1 = s_2$ ou $u_2 i_2 = u_1 i_1$, donc on a: $i_1/i_2 = u_2/u_1$. Pour les valeurs efficaces: $I_2/I_1 = U_1/U_2 = W_1/W_2$, c'est-à-dire le rapport des courants dans les enroulements d'un transformateur peut être considéré comme l'inverse du rapport des tensions et des nombres de spires des enroulements correspondants.

Sur les plaques signalétiques des transformateurs ce rapport est indiqué sous la forme du rapport de tensions nominales du transformateur à vide; par exemple 6000/230 V. Puisque le même transformateur peut fonctionner comme transformateur abaisseur et comme transformateur élévateur on indique généralement sur la plaque signalétique le rapport de transformation sous la forme du rapport de la haute tension à la basse tension.

La tension u_1 appliquée aux bornes de l'enroulement primaire est toujours équilibrée par la force électromotrice e_1 et par la chute de tension dans la résistance pure de l'enroulement - *la condition de l'équilibre électrique*:

$$u_1 = -e_1 + R_1 i_1 = W_1 d\Phi/dt + R_1 i_1$$

Lorsque l'enroulement secondaire est fermé sur une certaine charge Z_{ch} il y naît un courant i_2 . Dans le circuit secondaire le courant i_2 est créé par la force électromotrice e_2 qui joue le rôle d'une force électromotrice de la source du courant.

Le courant i_2 , en circulant dans l'enroulement secondaire, crée dans le noyau du transformateur un flux magnétique déterminé par la force magnétisante $i_2 W_2$. Selon la loi de Lenz le sens de ce flux opposé à celui du flux principal: le courant secondaire tend à diminuer le flux magnétique que l'induit. Mais une telle diminution du flux magnétique principal Φ détruit l'équilibre électrique: $u_1 = W_1 d\Phi/dt + R_1 i_1$. Pour cette raison simultanément avec l'apparition du courant secondaire, le courant primaire augmente de manière à compenser l'action démagnétisante du courant secondaire et donc à conserver l'équilibre électrique.

1.2. Transformateur triphasé

Les bornes d'un transformateur sont repérées suivant l'ordre de succession des phases: côté de la haute tension les bornes A, B, C sont les commencements des enroulements et X, Y, Z sont les fins des enroulements; côté basse tension - correspondent a, b, c et x, y, z (fig. 1.6).

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ МАШИНЫ

1. Трансформатор

Трансформатор представляет собой статический электромагнитный аппарат, действие которого основано на явлении взаимной индукции. В нем переменный ток одного напряжения преобразуется в переменный ток той же частоты, но другого напряжения.

Трансформаторы делятся на однофазные и трехфазные.

На рис. 1.1 приведены основные условные графические обозначения трансформаторов.

Трансформатор имеет несколько обмоток (не менее двух), изолированных электрически друг от друга. Обмотка, соединенная с источником энергии, именуется первичной, остальные обмотки, отдающие энергию во внешние цепи, называются вторичными.

Если напряжение на зажимах первичной обмотки — первичное напряжение U меньше вторичного напряжения U , то трансформатор называется повышающим, в противном случае — понижающим. В соответствии с относительной величиной номинального напряжения принято различать обмотку высшего напряжения (ВН) и обмотку низшего напряжения (НН).

Для того чтобы усилить магнитную связь между обмотками, последние снабжаются общей магнитной цепью - сердечником.

Сердечник собирается из листов электротехнической стали, содержащей до 4—5% кремния. Листы берутся толщиной 0,35 или 0,5 мм. Чтобы создать изоляцию между листами, их перед сборкой сердечника покрывают изоляционным лаком.

В зависимости от положения сердечника по отношению к обмоткам принято различать стержневые трансформаторы (рис. 1.2), у которых обмотки охватывают стержни сердечника, и броневого (рис. 1.3), у которых сердечник частично охватывает обмотки.

Стержневой сердечник проще по конструкции и позволяет легче осуществить изоляцию обмоток; поэтому он применяется для большинства трансформаторов. Сердечник состоит из стержней, на которых размещаются обмотки, и ярем, замыкающих магнитную цепь и свободных от обмоток (рис. 1.2).

Поперечное сечение стержня сердечника только у малых трансформаторов имеет форму квадрата; в большинстве же случаев для лучшего использования площади внутри обмотки поперечное сечение стержня имеет форму ступенчатого многоугольника с тем большим числом ступеней, чем мощнее трансформатор (рис. 1.4)

Броневого сердечник применяется в основном лишь для малых трансформаторов и трансформаторов специального назначения, когда некоторым преимуществом является защита сердечником обмоток от механических повреждений.

В большинстве трансформаторов применяются концентрические обмотки, простейшим видом которых является цилиндрическая обмотка (рис. 1.2), при которой обмотки имеют форму двух коаксиальных цилиндров. Ближе к стержню располагается обмотка низшего напряжения, а ее охватывает обмотка высшего напряжения. Обмотки отделяются друг от друга изолирующим цилиндром из специального картона. При значительном числе витков обмотка наматывается в несколько слоев, между которыми прокладывается изолирующая бумага или картон.

На щитке трансформатора указываются его следующие номинальные величины: кажущаяся мощность, линейные напряжения, линейные токи при номинальной мощности, частота, число фаз, схема и группа соединений, напряжение короткого замыкания, режим работы (длительный или кратковременный) и способ охлаждения.

1.1. Принцип действия трансформатора

Напряжение u_1 (рис. 1.5), приложенное к зажимам первичной обмотки, создает в этой обмотке переменный ток i_1 . Ток возбуждает в сердечнике трансформатора переменный магнитный поток Φ . Вследствие периодического изменения этого потока в обеих обмотках трансформатора индуцируются э. д. с. e_1, e_2 .

Отношение э. д. с., индуцируемых в обмотках, равно отношению чисел витков этих обмоток. Это отношение именуется коэффициентом трансформации.

При холостом ходе напряжения можно считать практически равными соответствующим э.д.с. и на основании их отношения определять коэффициент трансформации: $U_1/U_2=W_1/W_2$, где W_1 и W_2 - соответственно, числа витков одной и другой обмотки.

Коэффициент полезного действия трансформатора относительно очень высок — в среднем порядка 98 %, что позволяет при номинальной нагрузке считать приблизительно одинаковыми первичную мощность, получаемую трансформатором, и вторичную мощность, им отдаваемую, т.е. $s_1=s_2$ или $u_2i_2=u_1i_1$, следовательно: $i_1/i_2=u_2/u_1$. Для действующих значений: $I_2/I_1=U_1/U_2= W_1/W_2$, т.е. отношение токов в обмотках трансформатора можно считать обратным отношению напряжений и чисел витков соответствующих обмоток.

На щитках трансформаторов коэффициент трансформации указывается в форме отношения номинальных напряжений трансформатора при холостом ходе: например, 6000/230В. Так как один и тот же трансформатор может работать и как понижающий и как повышающий, то на щитке обычно указывается коэффициент трансформации трансформатора в виде отношения высшего напряжения к низшему.

Приложенное к зажимам первичной обмотки напряжение u_1 всегда уравнивается э. д. с. e_1 и падением напряжения в активном сопротивлении обмотки - условие электрического равновесия.

При замыкании вторичной обмотки на некоторую нагрузку Z_{ch} в ней возникает ток i_2 . Во вторичной цепи ток i_2 создается э. д. с. e_2 , играющей роль э. д. с. источника тока.

Ток, проходя по вторичной обмотке, создает в сердечнике трансформатора магнитный поток, определяемый намагничивающей силой (н. с.) i_2W_2 . Согласно закону Ленца этот поток имеет направление, обратное направлению главного потока: вторичный ток стремится ослабить индуцирующий его магнитный поток. Однако такое уменьшение главного магнитного потока Φ нарушает электрическое равновесие. Поэтому одновременно с появлением вторичного тока увеличивается первичный ток, притом настолько, чтобы компенсировать размагничивающее действие вторичного тока и, таким образом, сохранить электрическое равновесие.

1.2. Трехфазный трансформатор

Для зажимов трансформатора принята следующая разметка в порядке чередования фаз: на стороне высшего напряжения зажимы A, B, C — начала обмоток; X, Y, Z — их концы; на стороне низшего напряжения соответственно a, b, c и x, y, z (рис. 1.6).

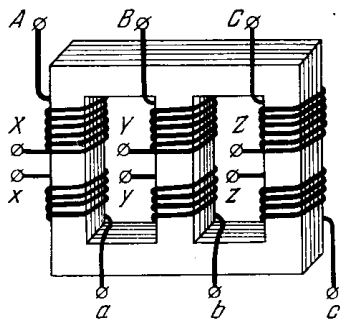


Fig. 1.6. Transformateur triphasé

Le montage en étoile et celui en triangle des enroulements d'un transformateur triphasé est largement utilisé. Ces deux types de montage sont désignés conventionnellement et respectivement par les symboles Y et Δ . Les schémas du montage des enroulements d'un transformateur:

1. Triangle - triangle - Δ/Δ ;
2. Etoile - étoile - Y/Y;
3. Triangle - étoile - Δ/Y ;
4. Etoile - triangle - Y/ Δ .

Rappelons-nous que lors de la transformation en courants triphasés seulement le rapport des tensions simples U_{s1} , U_{s2} est approximativement égal au rapport du nombre de spires de l'enroulement primaire et de l'enroulement secondaire; en ce qui concerne les tensions composées leur rapport dépend aussi du mode de couplage des enroulements du transformateur.

2. Machine à courant continu

2.1. Principaux éléments d'une machine à courant continu

Les principaux éléments d'une machine à courant continu sont l'*induit* et le *stator*. La partie fixe, le *stator* comprend la carcasse (fig. 2.1), qui est généralement fabriquée en acier coulé. Sur la surface intérieure sont fixés les noyaux qui se terminent par les épanouissements polaires. Ces derniers assurent une répartition plus uniforme

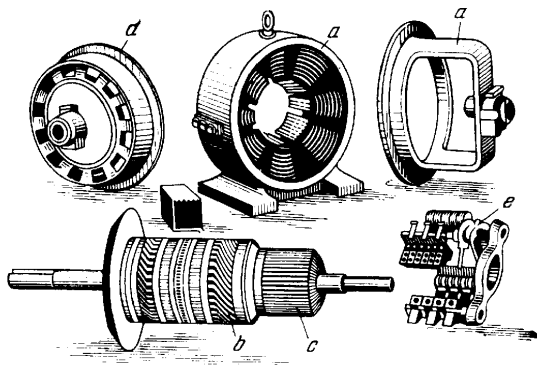


Fig. 2.1. Machine à courant continu démonté

a — carcasse; b — induit; c - collecteur;
d — boucliers; e — couronne avec porte-balais

de l'induction magnétique le long de la périphérie de l'induit. Les pièces polaires portent des bobines qui forment l'enroulement d'excitation de la machine. La carcasse de la machine ferme le circuit magnétique.

Sur la carcasse, en plus des pôles principaux, sont placés les pôles auxiliaires dont les bobines sont connectées en série avec l'induit. Les pôles auxiliaires sont destinés à améliorer la commutation

Un *collecteur* a la forme d'un certain nombre des lames de cuivre isolées les unes des autres et qui forment une surface cylindrique. Les lames du collecteur sont connectées par des conducteurs à l'enroulement fixé sur la partie tournante de la machine.

L'induit est un corps cylindrique formé de tôles magnétiques dont l'épaisseur est généralement de 0,5 mm. L'induit est la partie tournante; dans ses encoches est logé

l'enroulement d'induit relié électriquement au collecteur qui est calé sur l'arbre de l'induit.

Les lames du collecteur sont isolées les unes des autres ainsi que de la masse par de la micanite.

Sur le collecteur s'appuient les balais en charbon ou en cuivre, montés dans des porte-balais fixes. De cette façon, pendant la rotation de l'induit les balais gardent une même position par rapport aux pôles de la machine.

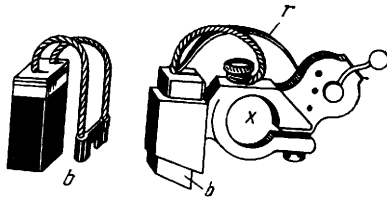


Fig. 2.2. Balai (à droite il se trouve dans le porte-balais)
b - balai; r - ressort; x - ouverture pour la tige de porte-balais

Le ressort r applique le balai b contre le collecteur (fig. 2.2). Les porte-balais sont calés sur des tiges et sur une couronne fixée soit au bouclier de la machine, soit à la carcasse. On peut faire pivoter la couronne et de cette façon faire changer la position de toute la ligne de balais par rapport aux pôles de la machine. Les tiges sont isolées de la couronne. L'induit de la machine est connecté au circuit extérieur par l'intermédiaire du collecteur et des balais.

2.2. Classification des machines à courant continu selon le mode d'excitation

Les caractéristiques des machines à courant continu dépendent surtout du mode de connexion de l'enroulement d'excitation avec l'induit. Voici cette classification.

A. Machines à excitation en dérivation (machines shunt) (fig. 2.3).

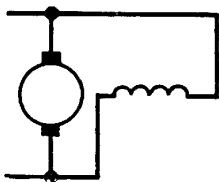


Fig. 2.3. Machine à excitation en dérivation

L'enroulement d'excitation est connecté en parallèle avec les bornes de l'induit. Le courant d'excitation I_{exc} en fonctionnement normal atteint 5 % de la valeur du courant de l'induit pour les machines de faible puissance et 1 % pour les grosses machines.

Car l'enroulement d'excitation est à la tension de la machine U et son courant I_{exc} est de beaucoup inférieur au courant de l'induit, la résistance de l'enroulement d'excitation $R_{exc} = U / I_{exc}$ doit être relativement grande. Pour régler le courant dans l'enroulement d'excitation on branche en série avec ce dernier un rhéostat dit rhéostat de champ. Les machines à excitation en dérivation se caractérisent par la constance relative du flux principal qui dépend peu de la charge de la machine.

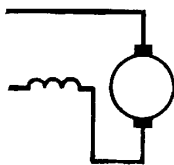


Fig. 2.4. Machine à excitation série

B. Machines à excitation série (fig. 2.4).

Le courant de l'induit passe par l'enroulement d'excitation. Pour cette raison ce dernier est fait en fil de section relativement grande et de faible résistance. Dans ces machines le flux magnétique varie dans de grandes limites en fonction de la charge.

C. Machines à excitation compound (composée) (fig.2.5).

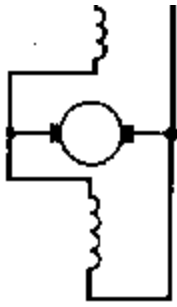


Fig. 2.5. Machine à excitation compound

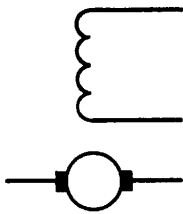


Fig. 2.6. Machine à excitation indépendante

Sur les pôles de ces machines sont placés deux enroulements d'excitation dont l'un est connecté en série et l'autre en parallèle avec l'induit.

En fonction de la destination d'une telle machine un des enroulements d'excitation est principal et est parcouru par un courant total relativement grand (IW) et l'autre n'agit que complémentaiement sur le champ magnétique principal de la machine. De cette façon, une machine compound peut être, d'après ses caractéristiques, en général une machine shunt avec un faible enroulement série (par exemple une génératrice à excitation compound fournissant une tension qui pratiquement ne dépend pas de la charge) ou une machine à excitation série avec un petit enroulement shunt (par exemple un moteur à excitation compound avec une courbe caractéristique tombante). Dans les machines compound les enroulements peuvent être connectés de façon que leurs forces magnétomotrices s'ajoutent ou se retranchent.

D. Machines à excitation indépendante (fig. 2.6).

Dans ces machines le courant d'excitation ne dépend pas de la tension aux bornes de l'induit car l'enroulement d'excitation est alimenté par une source indépendante E_{exc} - les machines à excitation indépendante pour certaines caractéristiques diffèrent peu des machines shunt.

2.3. Moteurs à courant continu

Une machine à courant continu comporte deux circuits électriques: le circuit de l'induit et le circuit de l'excitation.

Le champ magnétique d'une machine à courant continu est créé par l'enroulement d'excitation

Si l'induit et l'enroulement d'excitation de la machine à courant continu sont sous la tension continue, le courant passant par l'enroulement de l'induit en interaction avec le champ magnétique de la machine fait naître un couple moteur sous l'action duquel l'induit tourne et dans son enroulement crée une force contre-électromotrice. La machine fonctionne alors en moteur en transformant l'énergie électrique en énergie mécanique.

Широко применяются два способа соединения обмоток трехфазного трансформатора: звездой и треугольником. Эти два способа соединения условно обозначаются символами Y и Δ .

Схемы соединения обмоток трансформатора:

1. Треугольник-треугольник;
2. Звезда-звезда;
3. Треугольник-звезда;
4. Звезда –треугольник.

Необходимо учитывать, что при трехфазной трансформации только отношение фазных напряжений $U_{\phi 1}$, $U_{\phi 2}$ всегда приближенно равно отношению чисел витков первичной и вторичной обмоток; что же касается линейных напряжений, то их отношение зависит и от способа соединения обмоток трансформатора

2. Машины постоянного тока

2.1. Основные части машины постоянного тока

Основными частями машины постоянного тока являются якорь и статор.

(Рис. 2.1 - Машина постоянного тока в разобранном виде; а — станина; б—якорь; в—подшипниковые щиты; г—коллектор; д—крышка, прикрывающая зажимы; ж—траверса со щеткодержателями.)

Неподвижная часть — статор, состоит из станины, которая изготавливается обычно из литой стали. С внутренней стороны на станине укрепляются сердечники полюсов; на концах эти сердечники снабжаются полюсными наконечниками («полюсными башмаками»); задачей последних является более равномерное распределение магнитной индукции вдоль окружности якоря. На сердечники надеты катушки, составляющие обмотку возбуждения машины.

Станина машины служит замыкающей частью — ярмом магнитопровода.

Кроме основных полюсов возбуждения, на станине, посередине между сердечниками главных полюсов, помещаются сердечники дополнительных полюсов, катушки которых соединяются последовательно с якорем. Назначение дополнительных полюсов — улучшение коммутации

Якорь (ротор) машины представляет собой цилиндрическое тело, собранное из листовой электротехнической стали, обычно толщиной в 0,5 мм. Якорь является вращающейся частью машин, в его пазах размещается обмотка, соединенная проводниками с укрепленным на валу якоря коллектором.

Коллектор, представляет собой ряд медных изолированных друг от друга пластин, образующих цилиндрическую поверхность. Пластины коллектора соединяются проводниками с обмоткой машины, размещенной на ее вращающейся части (на роторе).

Пластины коллектора изолируются друг от друга и от корпуса миканитом.

На коллектор опираются неподвижные в пространстве комплекты угольных или медных щеток, установленных в щеткодержателях. Таким образом, при вращении якоря щетки сохраняют неизменное положение по отношению к полюсам машины.

В щеткодержателе щетка a пружиной b прижимается к коллектору

(Рис. 2.2. - Щетка, справа она же в щеткодержателе: a — щетка; b — пружина; c — отверстие для щеточного болта).

Щеткодержатели укрепляются на щеточных болтах и щеточной траверсе, которая связывается либо с подшипником щитом машины, либо с ее станиной. Траверсу можно поворачивать и тем самым изменять положение всей системы щеток по отношению к полюсам ма-

шины. Щеточные болты изолируются от траверсы. Через коллектор и щетки якорь машины соединяется с внешней цепью.

2.2. Классификация машин постоянного тока по способу возбуждения

Свойства машин постоянного тока в большой мере зависят от способа соединения обмотки возбуждения с якорем машины. По этому принципу машины разделяются:

А. Машины, параллельного возбуждения (шунтовые) (рис. 2.3).

В этих машинах обмотка возбуждения присоединяется параллельно к зажимам якоря. Ток возбуждения I_b при нормальных условиях работы составляет по отношению к току якоря от 5%, у маленьких машин, до 1%, у крупных машин.

Так как обмотка возбуждения включается непосредственно под напряжение машины U , а ее ток I_b во много раз меньше тока якоря, то сопротивление обмотки возбуждения $R_b = U/I_b$ должно быть относительно велико. Для регулирования тока в обмотке возбуждения последовательно с ней включается реостат — так называемый шунтовой регулятор. Для машин параллельного возбуждения характерным является относительное постоянство главного потока и его малая зависимость от нагрузки машины.

Б. Машины, последовательного возбуждения (сериесные) (рис. 2.4). У этих машин весь ток якоря проходит через обмотку возбуждения. Последняя поэтому выполняется проводом относительно большого сечения и имеет небольшое сопротивление. В этих машинах магнитный поток изменяется в широких пределах в зависимости от изменения нагрузки.

В. Машины смешанного возбуждения (компаундные) (рис. 2.5). В этих машинах на полюсных сердечниках размещены две обмотки возбуждения; одна, соединенная последовательно с якорем, и вторая, соединенная параллельно с якорем.

В зависимости от назначения такой машины одна из обмоток возбуждения является основной, имеющей относительно большой полный ток (I_w), а вторая служит лишь для относительно слабого дополнительного воздействия на главное магнитное поле машины. Таким образом, машина смешанного возбуждения может быть по своим характеристикам в основном машиной параллельного возбуждения с небольшой последовательной обмоткой (например, генератор смешанного возбуждения, дающий напряжение, практически не зависящее от нагрузки) или же машиной последовательного возбуждения с небольшой параллельной обмоткой (например, двигатель смешанного возбуждения с мягкой механической характеристикой). В случае смешанного возбуждения обмотки машины могут иметь согласное соединение, если их н.с. складываются, или же встречное соединение, если их н.с. вычитаются.

Г. Машины независимого возбуждения (рис. 2.6). В этих машинах ток возбуждения не зависит от напряжения на зажимах якоря машины, обмотка возбуждения получает ток от независимого источника E_0 . По ряду свойств машины с независимым возбуждением весьма мало отличаются от машин параллельного возбуждения.

2.3. Двигатель постоянного тока

В машине имеются две электрические цепи: цепь якоря и цепь возбуждения.

Магнитное поле машины создается обмоткой возбуждения

Если якорь и обмотка возбуждения машины постоянного тока включены под постоянное напряжение, то ток, проходящий через обмотку якоря, взаимодействуя с магнитным полем машины, создает вращающий момент, под действием которого якорь вращается и в его обмотке наводится противо-э. д.с. Машина работает двигателем, превращая электрическую энергию в механическую.

Pour changer le sens de rotation d'un moteur à courant continu il faut changer le sens du courant dans l'induit ou dans l'enroulement d'excitation. Si changer le sens du courant dans l'induit et dans l'enroulement d'excitation le sens de rotation reste le même.

Pour limiter le courant de démarrage le moteur est doté d'un rhéostat de démarrage.

3. Machines asynchrones

Une machine asynchrone comprend une partie fixe - un *stator* et la partie tournante - un *rotor*. Ainsi, le circuit magnétique d'une machine asynchrone comprend deux parties: la partie extérieure fixe en forme d'un cylindre creux et la partie intérieure cylindrique tournante (fig. 3.1). Les deux parties sont en tôles magnétiques de 0,5 mm d'épaisseur. Ces tôles sont isolées les unes des autres par une couche de vernis afin de réduire les pertes par courants de Foucault.

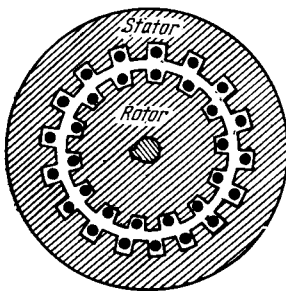


Fig. 3.1. Circuit magnétique d'une machine asynchrone

Dans les encoches situées du côté intérieur du stator est placé un enroulement triphasé (trois bobines *AX*, *BY* et *CZ* – phases, dont les axes *A*, *B* et *C* forment entre eux des angles de 120° , si la machine asynchrone a une paire de pôles), dont les courants créent le champ tournant de la machine.

Dans les encoches du rotor est placé un deuxième enroulement - l'enroulement du rotor. Le stator se trouve dans une carcasse qui forme la partie extérieure de machine, tandis que le rotor est calé sur un arbre

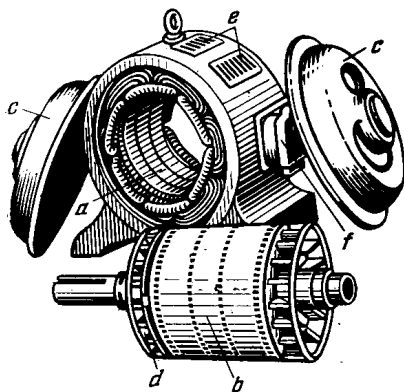


Fig. 3.2. Moteur asynchrone à rotor en court-circuit démonté:
a — stator ; *b* — rotor; *c* — boucliers;
d — ventilateur; *e* — ouvertures de ventilation;
f — boîte à bornes

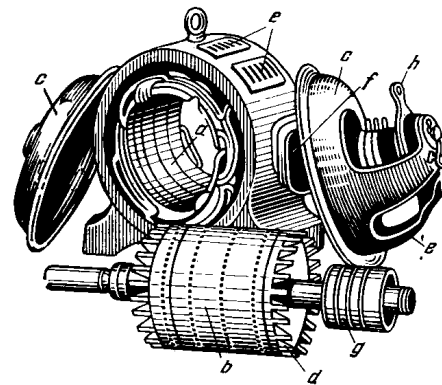


Fig. 3.3. Moteur asynchrone à bagues démonté:
a — stator; *b* — rotor; *c* — boucliers;
d — ventilateur; *e* — trous de ventilation;
f — boîte à bornes; *g* — bagues;
h — porte-balais et balais

Les rotors des machines asynchrones sont de deux types rotors en court-circuit (fig. 3.2) et rotors à bagues (fig. 3.3). Les premiers, plus simples, sont utilisés plus fréquemment. L'enroulement d'un tel rotor est constitué par une cage d'écureuil, dite cage d'écureuil, formée de barres de cuivre ou d'aluminium court-circuitées à leurs

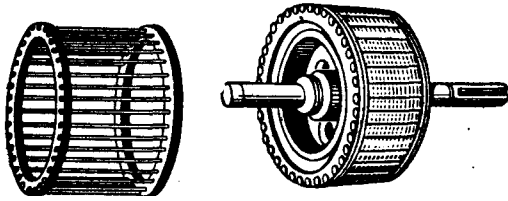


Fig. 3.4. Cage d'écureuil (a) et rotor en court-circuit (b)

extrémités par deux anneaux. Les barres non isolées de cet enroulement sont placées dans les encoches du rotor (fig. 3.4). On utilise également la méthode qui consiste à couler de l'aluminium pour remplir les encoches rotoriques et pour former les anneaux de court-circuit.

L'enroulement statorique de machine asynchrone reçoit l'énergie depuis le réseau triphasé. Le champ tournant, créé dans la machine par les courants de l'enroulement statorique, croise l'entrefer entre le stator et le rotor et induit des courants dans l'enroulement fermé du rotor. L'interaction de ces courants et du champ magnétique crée un couple moteur obligeant le rotor à suivre le champ et à produire un travail mécanique.

La machine asynchrone a ceci de commun avec un transformateur que le transfert de l'énergie de l'enroulement statorique (primaire) à l'enroulement rotorique (secondaire) est réalisé seulement par l'induction mutuelle. Pour cette raison la machine asynchrone est parfois appelée *machine à l'induction*.

Le sens de rotation du champ magnétique du moteur asynchrone est déterminé par l'ordre des phases (*A, B, C*) d'un système triphasé qui alimente l'enroulement statorique: une modification dans l'ordre des phases fait changer le sens de rotation du champ magnétique de la machine et par conséquent le sens de rotation du rotor.

De cette façon, pour changer le *sens de rotation* d'un moteur asynchrone il suffit de changer les connexions du stator au réseau de façon que la borne du stator connectée initialement disions au fil *A* du réseau soit connectée au fil *B* et de changer la connexion de la deuxième borne statorique avec le réseau (la connecter avec *A* au lieu de *B*).

Для изменения направления вращения (*реверсирования*) двигателя постоянного тока нужно изменить направление тока в якоре или в обмотке возбуждения. Если же изменить направление тока и в якоре и в обмотке возбуждения, то направление вращения двигателя останется без изменения.

Для ограничения пускового тока двигатель снабжается пусковым реостатом

3. Асинхронные машины

Асинхронная машина состоит из неподвижной части - статора и вращающейся части – ротора. Таким образом, магнитная система асинхронной машины состоит из двух сердечников: наружного неподвижного, имеющего форму пологого цилиндра (рис. 3.1), и внутреннего цилиндрического вращающегося сердечника. Оба они собираются из листов электротехнической стали толщиной 0,5 мм. Эти листы для уменьшения потерь на вихревые токи изолированы друг от друга слоем лака.

В пазах с внутренней стороны статора уложена трехфазная обмотка (три катушки $AХ$, $BУ$ и CZ – фазы, оси которых A , B и C образуют между собой углы по 120° , если асинхронная машина имеет одну пару полюсов), токи которой возбуждают вращающееся магнитное поле машины. В пазах ротора размещена вторая обмотка – обмотка ротора. Сердечник статора заключен в массивный корпус, являющийся внешней частью машины, а сердечник ротора укреплен на валу (рис. 3.2. - Асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором в разобранном виде: а — статор; б — ротор; в — подшипниковые щиты; г — вентилятор; д - вентиляционные люки; е — коробка выводов).

Роторы асинхронных машин изготавливаются двух видов: короткозамкнутые (рис. 3.2) и с контактными кольцами (рис. 3.3). Первые из них проще по устройству и чаще применяются. Обмотка такого ротора представляет собой цилиндрическую клетку — так называемое «беличье колесо» — из медных шин или алюминиевых стержней, замкнутых накоротко на торцах двумя кольцами. Стержни этой обмотки вставляются без изоляции в пазы ротора (рис. 3.4). Применяется также способ заливки пазов ротора расплавленным алюминием с одновременной отливкой и замыкающих колец.

Обмотка статора асинхронной машины получает энергию от сети трехфазного тока. Вращающееся магнитное поле, создаваемое в машине токами обмотки статора, пересекает воздушный зазор между статором и ротором и индуцирует токи в замкнутой обмотке ротора. Взаимодействие последних с магнитным полем создает вращающий момент, что заставляет ротор следовать за полем, и производить механическую работу.

Асинхронная машина подобна трансформатору, в том отношении, что передача энергии от ее статорной (первичной) к роторной (вторичной) обмотке осуществляется лишь путем взаимоиндукции. По этой причине асинхронная машина иногда именуется также индукционной.

Направление вращения магнитного поля асинхронного двигателя определяется последовательностью фаз (A , B , C) трехфазной системы, питающей обмотку статора: изменение последовательности фаз меняет направление вращения магнитного поля машины, а, следовательно, и направление вращения ротора.

Таким образом, для изменения направления вращения — реверсирования асинхронного двигателя — нужно лишь изменить соединения статора с сетью так, чтобы зажим статора, соединенный первоначально, например, с проводом A сети, был присоединен к проводу B и, соответственно, было бы изменено соединение второго зажима статора с сетью (соединить с A вместо B).

Le travail de laboratoire №2.1

ETUDE DES CIRCUITS MAGNETIQUES DES COURANTS CONTINUS ET ALTERNATIF

Le but du travail: l'étude de la structure et les caractéristiques de base des circuits magnétiques (CM), l'étude des processus énergétiques à CM avec la bobine aimantant (BA) et la rédaction des schémas équivalent BA.

La préparation à domicile:

- a) *Etudier la matière théorique sur le sujet du travail.*
- b) *Etudier les instructions données;*
- c) *Préparer le formulaire du rapport d'après ce travail.*

A par. 1 de rapport faire les esquisses: CM sans bifurcations, homogène avec un BA (fig. 1); CM hétérogène sans bifurcations avec un BA (fig. 2); CM ramifié à trois colonnes avec le placement BA sur la colonne moyen (fig. 3). Indiquer arbitrairement les directions des courants dans les bobines et les directions, leur correspondant, des flux magnétiques.

On étudie la même bobine à la connexion de celle-ci au circuit des courants continu et alternatif.

L'ordre de l'exécution du travail

1. L'étude de l'installation CM

Prendre connaissance de la structure qui étudie CM, pour la base de laquelle on accepte le transformateur triphasé. En qualité de BA on utilise l'enroulement à basse tension W_{BT} (fig. 4), disposé sur la colonne moyenne de circuit magnétique.

Définir et inscrire dans le rapport la surface de section du noyau de circuit magnétique S (est remarqué par la peinture sur le circuit magnétique).

2. L'étude BA avec le circuit magnétique au circuit à courant alternatif

BA on branche du réseau alternatif (fig. 4). Le courant alternatif aimantant I crée le flux magnétique alterné Φ . Pour sa définition sur la colonne moyenne de circuit magnétique on dispose la bobine auxiliaire de mesure avec les nombres des spires W_S . Le flux alterné magnétique induisant dans cette bobine FEM alternatif.

La valeur efficace par celui-ci FEM

$$E_S = 4,44 * f * W_S * \Phi_m$$

Ainsi, sur l'amplitude du flux Φ_S on peut juger par la valeur E_S , qui est mesuré par le voltmètre PV_S .

- a) *Monter le circuit selon le schéma (fig. 4);*

PA - l'ampèremètre du système électromagnétique sur 5 A;

PV et PV_S - voltmètres du système électromagnétique sur la tension comme il faut 250 et 50 V;

PW - wattmètre;

- b) *La réalisation des recherches*

- établir le levier de rhéostat régulateur R à la position correspondant à la valeur maximale de la résistance.
- brancher l'interrupteur QF_{\sim} ;
- en diminuant la résistance de rhéostat R , augmenter le courant aimantant I par les degrés environ selon 0,5 A jusqu'à la signification 4,5 - 5,0 A. Avec cela les affichages des appareils PA, PV et PV_S , à chaque degré, inscrire dans le tab. 1 (sans compte des affichages de wattmètre).
- les affichages des appareils PA, PV et PW pour le courant maximal inscrire au tab.2
- déconnecter QF_{\sim} .

Inscrire le nombre des spires W_S .

3. L'étude de BA avec le circuit magnétique au circuit à courant continu

a) Monter le circuit selon le schéma (fig. 7).

PA - l'ampèremètre du système électromagnétique jusqu'à 7,5 A;

EV - le voltmètre du système électromagnétique jusqu'à 150.

A titre de l'indicateur FEM dans l'enroulement W_S utiliser l'ampèremètre PA_S sur 1 A du système électromagnétique.

b) La réalisation des recherches

- établir le levier de rhéostat R à la position correspondant à la valeur maximale de la résistance;
- brancher l'interrupteur QF_{\sim} ;
- établir avec l'aide de rhéostat R la valeur du courant continu aimantant I_{\sim} égal à la valeur du courant alternatif aimantant I_{\sim} , amène au tab. 2 ($I_{\sim} = I_{\sim}$).
- les affichages des appareils (PA, PV et PW) inscrire dans le tab. 2.
- déconnecter QF_{\sim} ;
- brancher de nouveau QF_{\sim} .

Faire attention à ce qu'au moment de l'enclenchement a lieu un rejet la déviation de l'aiguille de l'ampèremètre PA_S du zéro.

- déconnecter QF_{\sim} .

Faire attention à ce qu'avec cela il y a aussi un rejet la déviation de l'aiguille de l'ampèremètre PA_S du zéro.

La présentation du rapport

1. BA avec le circuit magnétique au circuit à courant alternatif

a) Selon les données du tab. 2 calculer :

- la puissance apparente $S = U_{\sim} \cdot I_{\sim}$;
- la puissance réactive

$$Q_L = \sqrt{S^2 - P^2}$$

- les paramètres BA:

- l'impédance $Z = U_{\sim} / I_{\sim}$;
- la résistance active BA sur le courant alternatif $R_{\sim} = P_{\sim} / I_{\sim}^2$;
- la réactance inductive X_L .

Les résultats inscrire dans le tab. 2;

b) Dessiner sur la fig. 9 du schéma équivalent BA, ayant indiqué des valeurs des résistances, entrants dans ce schéma, (du tab. 1);

c) Comparer les valeurs R_{\sim} , X_L et Z , ainsi que P , Q_L et S

d) Calculer et inscrire pour tous les cas du tab. 1 de la valeur de l'amplitude du flux magnétique et l'amplitude de l'induction magnétique

$$B_m = \Phi_m / S$$

e) Construire les caractéristiques CM: sur fig. 5 - weber-ampère $\Phi_m (I)$, mais sur fig.6 - le volt - ampère $U (I)$

2. BA avec le circuit magnétique au circuit à courant continu

a) Calculer et inscrire dans le tab. 2 la valeur de la résistance des fils de la bobine sur le courant continu

$$R_{\sim} = U_{\sim} / I_{\sim};$$

$$l'œuvre: P_{\sim} = U_{\sim} I_{\sim};$$

$$\text{la puissance dépensée pour le chauffage de la bobine: } \Delta P_{\sim} = R I_{\sim}^2;$$

b) Comparer les valeurs de l'œuvre ($U.I$), les puissances P_{\sim} et P_{\sim} ;

c) Dessiner sur la fig.8 le schémas équivalent BA au circuit à courant continu. Indiquer la valeur de la résistance R (du tab. 2).

3. La correspondance des résultats de la connexion BA avec le circuit magnétique au circuit à courant continu et alternatif

Comparer les tentions sur BA des mêmes valeurs des courants aimantants (créant le même flux magnétique) aux circuits à courant continu et alternatif (du tab.2).

Comparer les valeurs Z (tab. 2) et R_{\sim} (tab. 2);

Comparer les valeurs $S = U_{\sim} I_{\sim}$ et $P_{\sim} = U_{\sim} I_{\sim}$ le tab. (2);

Répondre par écrit aux questions :

1. Quelle est la différence entre CM à courant continu et alternatif?

2. Comment change le flux magnétique avec la croissance du courant aimantant?

3. Pourquoi le caractéristique weber-ampère n'est pas linéaire?

4. Quels points des caractéristiques weber-ampère et le volt-ampère choisir rationnellement à titre des nominaux (des ouvriers) pour CM. Pourquoi? Indiquez ces points sur les caractéristiques.

5. De quoi témoigne la déviation de l'aiguille de l'ampèremètre PA_S aux phénomènes transitoires (au couplage de la bobine) et sa valeur nulle à l'état stabilisé de la bobine?

6. Quel procès physique amène à ce que l'impédance de BA à courant alternatif est plus grande, que l'impédance de BA à courant continu?

7. Peut-on BA de la tension alternative, branché au réseau de la tension continu de la même valeur?

8. Qu'est-ce qu'il faut faire, pour pouvoir brancher la même bobine au réseau à courant continu.

Лабораторная работа №2.1
ИССЛЕДОВАНИЕ МАГНИТНЫХ ЦЕПЕЙ ПОСТОЯННОГО
И ПЕРЕМЕННОГО ТОКОВ

Цель работы: изучение конструкции и основных характеристик магнитных цепей (МЦ), исследование энергетических процессов в МЦ с намагничивающей катушкой (НК) и составление схем замещения НК.

Домашняя подготовка:

- а) изучить теоретический материал по теме работы.*
- б) изучить настоящие указания;*
- в) подготовить бланк отчета о работе.*

В разд. 1 отчета сделать эскизы: неразветвленной, однородной МЦ с одной НК (рис.1); неоднородной неразветвленной МЦ с одной НК (рис. 2); разветвленной Ш-образной МЦ с размещением НК на среднем стержне (рис. 3). Указать произвольно направления токов в катушках и соответствующие им направления магнитных потоков.

Исследования производятся для одной и той же катушки, при включении ее в цепь постоянного и переменного токов.

Порядок выполнения работы

1. Изучение устройства МЦ

Ознакомиться с конструкцией исследуемой МЦ, за основу которой принят трехфазный трансформатор. В качестве НК используется обмотка низшего напряжения W_n (рис.4), расположенная на среднем стержне магнитопровода.

Определить и записать в отчете площадь сечения сердечника магнитопровода S (отмечено краской на магнитопроводе).

2. Исследование НК с магнитопроводом в цепи переменного тока

НК включается в сеть переменного тока (рис.4). Намагничивающий переменный ток I создает переменный магнитный поток Φ . Для его определения на среднем стержне магнитопровода размещена дополнительная измерительная катушка с числом витков W_d . Переменный магнитный поток наводит в этой катушке переменную ЭДС.

Действующее значение этой ЭДС

$$E_d = 4,44 \cdot f \cdot W_d \cdot \Phi_m$$

Таким образом, об амплитуде потока Φ_d можно судить по значению E_d , которое измеряется вольтметром PV_d .

а) собрать электрическую цепь по схеме (рис.4);

РА - амперметр электромагнитной системы на 5 А;

PV и PV_d - вольтметры электромагнитной системы на напряжение соответственно 250 и 50 В;

PW - ваттметр;

б) проведение исследований

- установить рукоятку регулировочного реостата R в положение, соответствующее максимальному значению сопротивления.

- включить выключатель QF..

- уменьшая сопротивление реостата R, увеличивать намагничивающий ток I степенями примерно по 0,5 А до значения 4,5 - 5,0 А. При этом показания приборов РА, PV и PV_d, на каждой ступени, записывать в табл. 1 (без учета показаний ваттметра).

- показания приборов PA, PV и PW для максимального тока записать в табл. 2. - - отключить QF₁.

Записать число витков W_d.

3. Исследование НК с магнитопроводом в цепи постоянного тока

а) собрать электрическую цепь по схеме рис. 7.

PA - амперметр магнитоэлектрической системы до 7,5 А;

PV - вольтметр магнитоэлектрической системы до 150.

В качестве индикатора ЭДС в обмотке W_d использовать амперметр PA_d на 1 А электромагнитной системы.

б) проведение исследований

- установить рукоятку реостата R в положение, соответствующее максимальному значению сопротивления;

- включить QF₁;

- установить с помощью реостата R значение постоянного намагничивающего тока I_п равным значению переменного намагничивающего тока I_н, приведенному в табл.2 (I_п = I_н).

- показания приборов (PA, PV и PW) записать в табл. 2.

- отключить QF₁;

- повторно включить QF₁.

Обратить внимание на то, что в момент включения имеет место кратковременное отклонение стрелки амперметра PA_d от нуля.

- отключить QF₁.

Обратить внимание на то, что при этом также имеет место кратковременное отклонение стрелки амперметра PA_d от нуля;

Оформление отчета

1. НК с магнитопроводом в цепи переменного тока

а) по данным табл.2 вычислить:

- полную мощность $S = U_{\text{н}} \cdot I_{\text{н}}$;

- реактивную мощность $Q_L = \sqrt{S^2 - P^2}$

- параметры НК:

◆ полное сопротивление $Z = U_{\text{н}} / I_{\text{н}}$;

◆ активное сопротивление НК на переменном токе $R_{\text{н}} = P_{\text{н}} / I_{\text{н}}^2$;

◆ индуктивное сопротивление X_L .

Результаты записать в табл.2;

б) нарисовать на рис. 9 схему замещения НК, указав значения входящих в эту схему сопротивлений (из табл.1);

в) сравнить значения $R_{\text{н}}$, X_L и Z , а также P , Q_L и S

г) вычислить и записать для всех случаев табл. 1 значения амплитуды магнитного потока и амплитуды магнитной индукции

$$B_m = \Phi_m / S$$

д) построить характеристики МЦ: на рис.5 - вебер-амперную $\Phi_m(I)$, а на рис. 6 - вольт-амперную $U(I)$

2. НК с магнитопроводом в цепи постоянного тока

а) вычислить и записать в табл.2:

- значение сопротивления проводов катушки на постоянном токе

$$R_{\text{н}} = U_{\text{н}} / I_{\text{н}};$$

- произведение: $P_{\sim} = U_{\sim} \cdot I_{\sim}$;

- мощность, расходуемую на нагрев катушки: $\Delta P_{\sim} = R_{\sim} \cdot I_{\sim}^2$;

б) сравнить значения произведения ($U_{\sim} \cdot I_{\sim}$), мощностей P_{\sim} и P_{\sim} ;

в) нарисовать на рис. 8 схему замещения НК в цепи постоянного тока. Указать значение сопротивления R (из табл.2).

3. *Сопоставление результатов включения НК с магнитопроводом в цепи постоянного и переменного токов*

Сравнить напряжения на НК при одних и тех же значениях намагничивающих токов (создающих один и тот же магнитный поток) в цепях постоянного и переменного токов (табл.2).

Сравнить значения Z (табл.2) и R_{\sim} (табл.2);

Сравнить значения $S = U_{\sim} \cdot I_{\sim}$ и $P_{\sim} = U_{\sim} \cdot I_{\sim}$ (табл.2);

Письменно ответить на вопросы:

1. Чем отличаются магнитопроводы МЦ постоянного и переменного токов?
2. Как изменяется магнитный поток с ростом намагничивающего тока?
3. Почему вебер-амперная характеристика нелинейная?
4. Какие точки вебер-амперной и вольтамперной характеристик целесообразно выбрать в качестве номинальных (рабочих) для МЦ. Почему? Указать эти точки на характеристиках.
5. О чем свидетельствует отклонение стрелки амперметра РАд при переходных процессах (включении катушки) и нулевое его значение при установившемся состоянии катушки?
6. Какой физический процесс приводит к тому, что полное сопротивление НК на переменном токе больше, чем на постоянном?
7. Можно ли НК переменного напряжения, включить в сеть постоянного напряжения такого же значения?
8. Что нужно сделать, чтобы ту же катушку можно было включить в сеть постоянного тока.

Compte-rendu
sur le travail de laboratoire №2.1
“Etude des circuits magnétiques à courant continu et alternatif”

| | | | |
|--------|----------------|------|-------------------------|
| Groupe | Nom d'étudiant | Date | Signature du professeur |
| | | | |

1. Construction de CM.

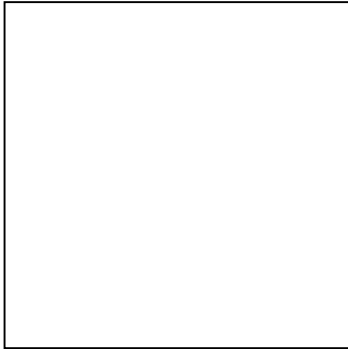


Fig.1. CM homogène.

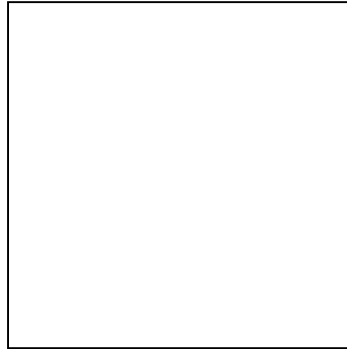


Fig.2. CM hétérogène.

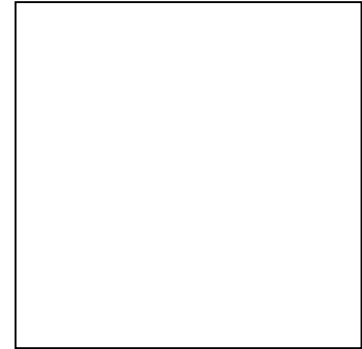


Fig.3. CM ramifié.

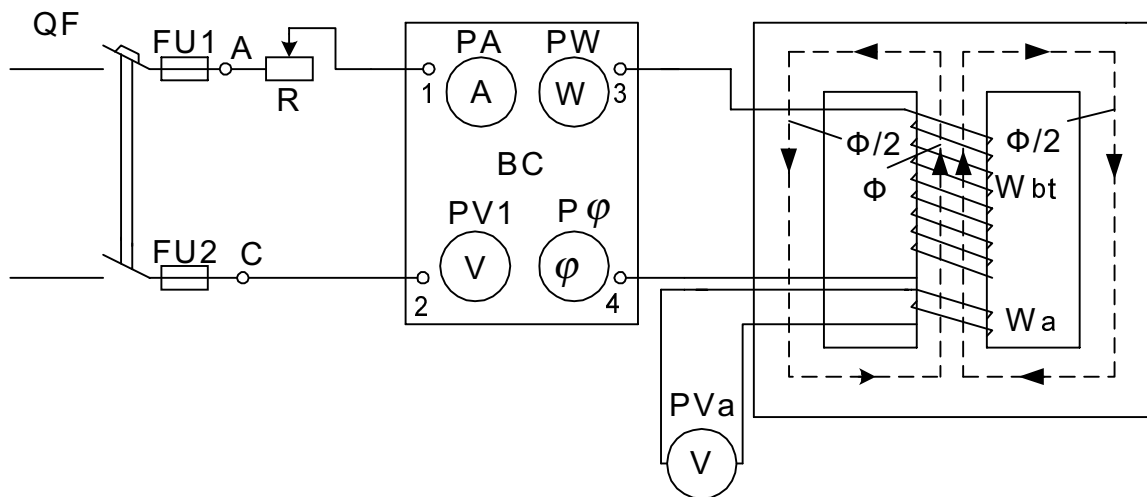


Fig.4. Schema de principe de CM a courant alternatif

2. Etude de circuit magnétique.

$S =$, m^2 ; $W_a =$.

Tableau 1

| Valeurs mesurées et calculées | Signification des valeurs | | | | | | | | | |
|-------------------------------|---------------------------|---|---|---|---|---|---|---|---|----|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| I, A | | | | | | | | | | |
| E_a , V | | | | | | | | | | |
| U, V | | | | | | | | | | |
| $\Phi_m * 10^6$, Wb | | | | | | | | | | |
| B_m , T | | | | | | | | | | |

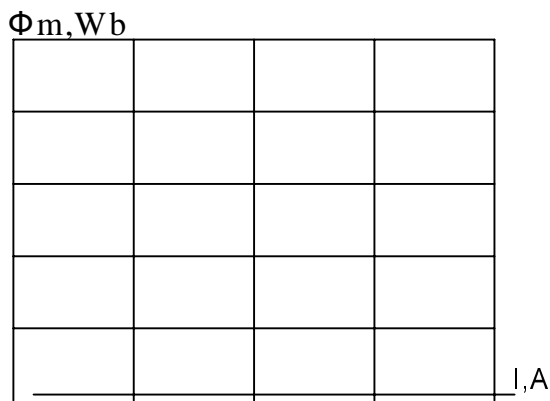


Fig.5. Caractéristique veber-ampere

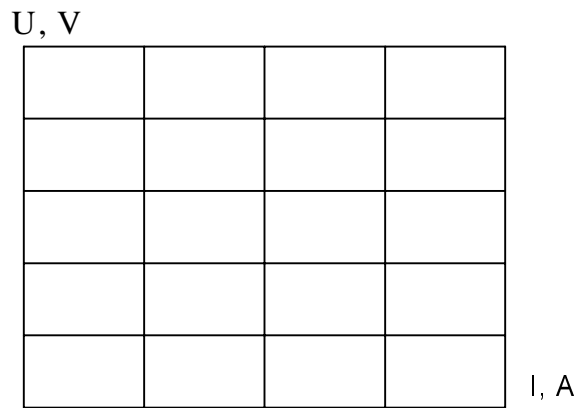


Fig.6. Caractéristique volt-ampere

3. Estimation comparée des processus dans CM au couplage à courant continu et alternatif.

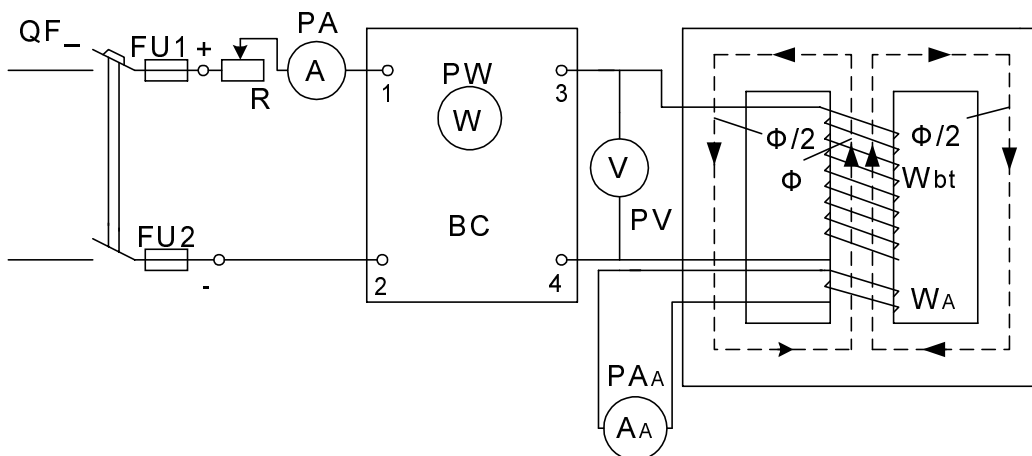


Fig.7. Schema de principe de CM a courant continu

Tableau 2

| Données de la mesure | | | Données du calculent | | | | |
|----------------------|---------------|---------------|----------------------|---------------|----------|-----------------|------------|
| I_{\sim}, A | U_{\sim}, V | P_{\sim}, W | S, VA | Q_L, VAR | Z, Ohm | R_{\sim}, Ohm | X_L, Ohm |
| | | | | | | | |
| I_{-}, A | U_{-}, V | P_{-}, W | R_{-}, Ohm | $\Delta P, W$ | X | X | X |
| | | | | | | | |

Répondre aux questions:

Le travail de laboratoire №2.2
ETUDE DU TRANSFORMATEUR TRIPHASE

Le but du travail: l'étude de l'installation et du principe de fonctionnement du transformateur triphasé; la définition des rapports de transformation aux schémas différents des connexions des phases, l'étude du transformateur en charge.

La préparation à domicile:

- a) *Etudier la matière théorique sur le sujet du travail.*
- b) *Etudier les instructions données.*
- c) *Préparer le formulaire du rapport d'après ce travail.*

Inscrire à par. 1 les paramètres de base du transformateur. Pour le laboratoire 1.103: le transformateur TC - 2,5/0,38; $S_{nom} = 2,5$ kVA; Y/ Y - 380/230 V; 3,8/6,3 A; pour le laboratoire 2.236 : transformateur TC - 2,5/0,66, $S_{nom} = 2,5$ kVA, Y/ Y - 660/230 V; 2,2/6,3 A;

A par. 2 tracer les schémas des connexions des phases du transformateur (Y/Y, Δ/Δ , Δ/Y , Y/ Δ) sur fig. 2, 3, 4, 5. Indiquer les par le pointille la connexion des voltmètres pour la mesure des tensions composées et simples, primaires et secondaires. A partir des paramètres de base du transformateur, calculer et inscrire dans le paragraphe "On calcule" le tab. 1 les tensions primaires et secondaires et les rapports de transformation pour tous les schémas des connexions selon la méthode suivante:

- inscrire selon les paramètres de base du transformateur dans la première ligne du tab. 1 de la valeur U_{1c} celle-la U_{2c} ;
- calculer selon ces valeurs pour le schéma donné des tensions simples U_{1s} et U_{2s} ;
- transmettre les tensions U_{1s} et U_{2s} à toutes les autres lignes;
- selon les tensions simples définir pour chaque ligne du tab. 1 les tensions primaires et secondaires composées nominales.
- calculer pour chaque ligne du tab. 1 les rapports de transformation.

L'ordre de l'exécution du travail

1. L'étude de l'architecture et des paramètres de base du transformateur:

Prendre connaissance de l'architecture du transformateur sur la maquette; faire attention à la quantité de spires et la section des fils l'enroulement à haute tension (HT) et l'enroulement à basse tension (BT).

2. L'étude des schémas des connexions des phases du transformateur à vide :

a) *Monter le circuit selon le schéma fig. 2.*

Pour mesurer toutes les tensions appliquer le voltmètre sur 250 V;

b) *La réalisation des recherches*

- brancher l'interrupteur QF_{..};
- à l'aide de voltmètre mesurer des tensions composées et simples, primaires et secondaires. Les tensions mesurées inscrire dans la première ligne de partie "On mesure" le tab. 1.
- déconnecter QF_{..}.

L'INSTRUCTION: les mesures sont produites par la connexion alternative du voltmètre aux points demandés. Les commutations du voltmètre réaliser à l'interrupteur déconnecté.

- répéter les actions à l'art. *a* et *b* pour les schémas fig. 3, 4, 5, ayant inscrire les résultats des mesures dans les lignes correspondantes du tab. 1;
- calculer et inscrire dans le tab. 1 les rapports de transformation n_c et n_s pour tous les schémas.
- déconnecter QF_~;

3. L'étude du travail d'un transformateur en charge:

a) Monter le circuit selon le schéma de principe (fig. 6).

L'ampèremètre PA1 - la limite de la mesure 5 A, PA2 - 10 A, le voltmètre PV1 - 250 V, PV2 - 150 V ou en chiffre;

b) La réalisation des recherches

- brancher l'interrupteur QF_~;
- en changeant la quantité des lampes branchées dans chaque phase, mesurer et inscrire dans le tab. 2 les valeurs des tensions et des courants primaires et secondaires.
- déconnecter QF_~.

La présentation du rapport

a) Selon les données du tab. 2 construire les dépendances $I_1(I_2)$ - fig. 7, $U_2(I_2)$ - fig.8;

b) Calculer selon les données de la dernière ligne du tab. 2 la puissance apparente et débitée par le transformateur $S_1 = \sqrt{3} \cdot U_{1c} I_{1c}$ et la puissance consommée $S_2 = \sqrt{3} \cdot U_{2c} I_{2c}$

Répondre par écrit aux questions:

1. Quelle l'enroulement a le plus grand nombre des spires (de haute ou de basse tension)? Pourquoi?
2. Quelle l'enroulement a des fils de la plus grande section? Pourquoi?
3. Dans quels schémas de les connexions le transformateur est branché par correspondance des tensions nominales?
4. A quoi amène le couplage du transformateur à la tension augmente primaire ? Est-ce que c'est dangereux et rationnel?
5. Quel des rapports de transformation change et quel en reste constant au changement du schéma des connexions et pourquoi ?
6. Pourquoi à l'absence de la charge du transformateur ($I_2=0$) il y a un courant primaire?
7. Comment le courant primaire du transformateur change-t-il avec l'augmentation du courant de charge dans l'enroulement secondaire? Pourquoi?
8. Comment la tension secondaire du transformateur change-t-elle avec l'augmentation du courant de charge? Quelle est la raison de ce changement?
9. De quoi témoigne l'égalité approximative des puissances S_1 et S_2 ?
10. Pourquoi est indiquée dans le passeport du transformateur on indique la puissance nominale à VA (kVA)?

Лабораторная работа №2.2

ИССЛЕДОВАНИЕ ТРЕХФАЗНОГО ТРАНСФОРМАТОРА

Цель работы: изучение устройства и принципа действия трехфазного трансформатора; определение коэффициентов трансформации при различных схемах соединений фаз, исследование трансформатора под нагрузкой.

Домашняя подготовка:

- а) изучить теоретический материал по теме работы.*
- б) изучить настоящие указания;*
- в) подготовить бланк отчета о работе.*

Внести в разд. 1 паспортные данные трансформатора. Для лаборатории **1.103**: трансформатор ТС - 2,5/0,38; $S_{ном} = 2,5$ кВА; Y/ Y - 380/230 В; 3,8/6,3 А; для лаборатории **2.236**: трансформатор ТС - 2,5/0,66, $S_{ном} = 2,5$ кВА, Y/ Y - 660/230 В; 2,2/6,3А;

В разд. 2 начертить схемы соединения фаз трансформатора (Y/Y, Δ/Δ , Δ/Y , Y/ Δ) на рис. 2, 3, 4, 5. Указать на них пунктиром подключение вольтметров для измерения линейных и фазных первичных и вторичных напряжений. Исходя из паспортных данных трансформатора, рассчитать и записать в разделе "Вычислено" табл. 1 первичные и вторичные напряжения и коэффициенты трансформации для всех схем соединения по следующей методике:

- записать по паспортным данным трансформатора в первой строке табл. 1 значения $U_{1л}$ та $U_{2л}$;
- вычислить по этим значениям для данной схемы фазные напряжения $U_{1ф}$ и $U_{2ф}$;
- перенести напряжения $U_{1ф}$ и $U_{2ф}$ во все остальные строки;
- по фазным напряжениям определить для каждой строки табл. 1 первичное и вторичное номинальные линейные напряжения.
- вычислить для каждой строки табл. 1 коэффициенты трансформации.

Порядок выполнения работы

1. Изучение конструкции и паспортных данных трансформатора:

Ознакомиться с конструкцией трансформатора на макете; обратить внимание на количество витков и сечения проводов обмоток высшего напряжения (ВН) и низшего напряжения (НН).

2. Исследование схем соединения фаз трансформатора на холостом ходу:

а) собрать цепь по схеме рис. 2.

Для измерения всех напряжений применять один вольтметр на 250 В;

б) проведение исследований

- включить QF~;
- вольтметром измерить первичные и вторичные линейные и фазные напряжения. Измеренные напряжения занести в первую строку раздела "Измерено" табл. 1.
- отключить QF~;

УКАЗАНИЕ: измерения производятся поочередным подключением вольтметра к требуемым точкам. Переключения вольтметра осуществлять при отключенном выключателе.

- повторить действия по пп. а и б для схем рис. 3, 4, 5, записав результаты измерений в соответствующие строки табл. 1;
- вычислить и записать в табл. 1 коэффициенты трансформации $n_{л}$ и $n_{ф}$ для всех схем.
- отключить QF~;

3. Исследование работы трансформатора под нагрузкой:

а) собрать цепь по принципиальной схеме рис. 6.

Амперметр PA1 - предел измерения 5 А, PA2 - 10 А, вольтметр PV1 - 250 В, PV2 - 150 В или цифровой;

б) проведение исследований

- включить QF~;

- изменяя количество включенных ламп в каждой фазе, измерить и записать в табл. 2 значения первичных и вторичных напряжений и токов.

- отключить QF~;

Оформление отчета

а) по данным табл. 2 построить зависимости $I_1(I_2)$ - рис.7, $U_2(I_2)$ – рис.8;

б) вычислить по данным последней строки табл. 2 отдаваемую трансформатором полную мощность $S_1 = \sqrt{3} \cdot U_{1л} \cdot I_{1л}$ и $S_2 = \sqrt{3} \cdot U_{2л} \cdot I_{2л}$ потребляемую мощность

Письменно ответить на вопросы:

1. Какая обмотка имеет большее число витков (высшего или низшего напряжений)? Почему?
2. Какая обмотка имеет провода большего сечения? Почему?
3. В каких схемах соединения трансформатор оказался включенным в соответствии с номинальными напряжениями?
4. К чему приводит подключение трансформатора к повышенному первичному напряжению? Опасно и целесообразно ли это?
5. Какой из коэффициентов трансформации не изменяется, а какой изменяется при изменении схемы соединения и почему?
6. Почему при отсутствии нагрузки трансформатора ($I_2=0$) имеется первичный ток?
7. Как изменяется первичный ток трансформатора с увеличением тока нагрузки во вторичной обмотке? Почему?
8. Как изменяется вторичное напряжение трансформатора при увеличении тока нагрузки? Что является причиной этого изменения?
9. О чем свидетельствует примерное равенство мощностей S_1 и S_2 ?
10. Почему в паспорте трансформатора номинальная мощность указывается в ВА (кВА)?

Compte-rendu
sur le travail de laboratoire №2.2
“Étude du transformateur triphasé.”

| Groupe | Nom d'étudiant | Date | Signature du professeur |
|--------|----------------|------|-------------------------|
| | | | |

1. Etude de l'architecture et les paramètres de base du transformateur.

Livret matricule du transformateur

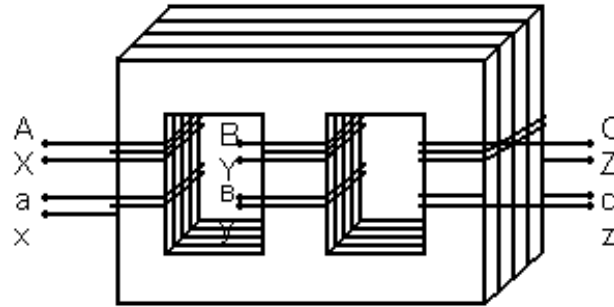


Fig.1. Esquisse de l'architecture du transformateur.

2. Etude des schémas des connexions des enroulements du transformateur à vide.

Schéma de connexion du transformateur

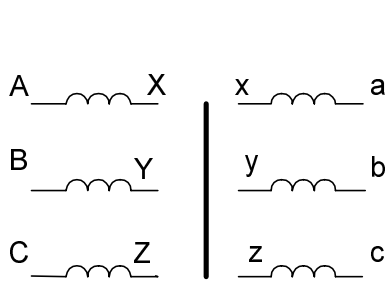


Fig.2. Montage Y/Y

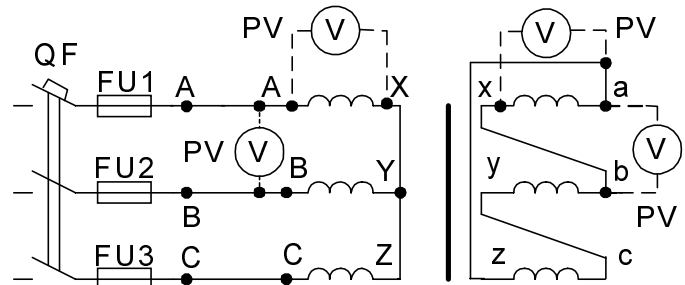


Fig.3. Montage Y/Δ

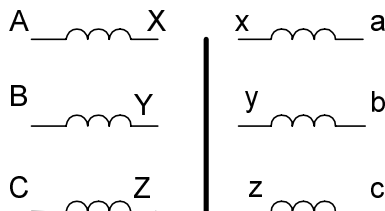


Fig.4. Montage Δ/Δ .

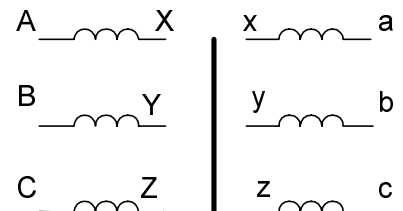


Fig.5. Montage Δ/Y

Tableau 1

| Schéma du montage | Données de mesure | | | | | | Données du calcul | | | | | |
|-------------------|-------------------|-------------|-------------|-------------|-------|-------|-------------------|-------------|-------------|-------------|-------|-------|
| | HT | | BT | | n_C | n_S | HT | | BT | | n_C | n_S |
| | U_{1C}, V | U_{1S}, V | U_{2C}, V | U_{2S}, V | | | U_{1C}, V | U_{1S}, V | U_{2C}, V | U_{2S}, V | | |
| Y/Y | | | | | | | | | | | | |
| Y/ Δ | | | | | | | | | | | | |
| Δ/Δ | | | | | | | | | | | | |
| Δ/Y | | | | | | | | | | | | |

3. Etude du fonctionnement d'un transformateur en charge.

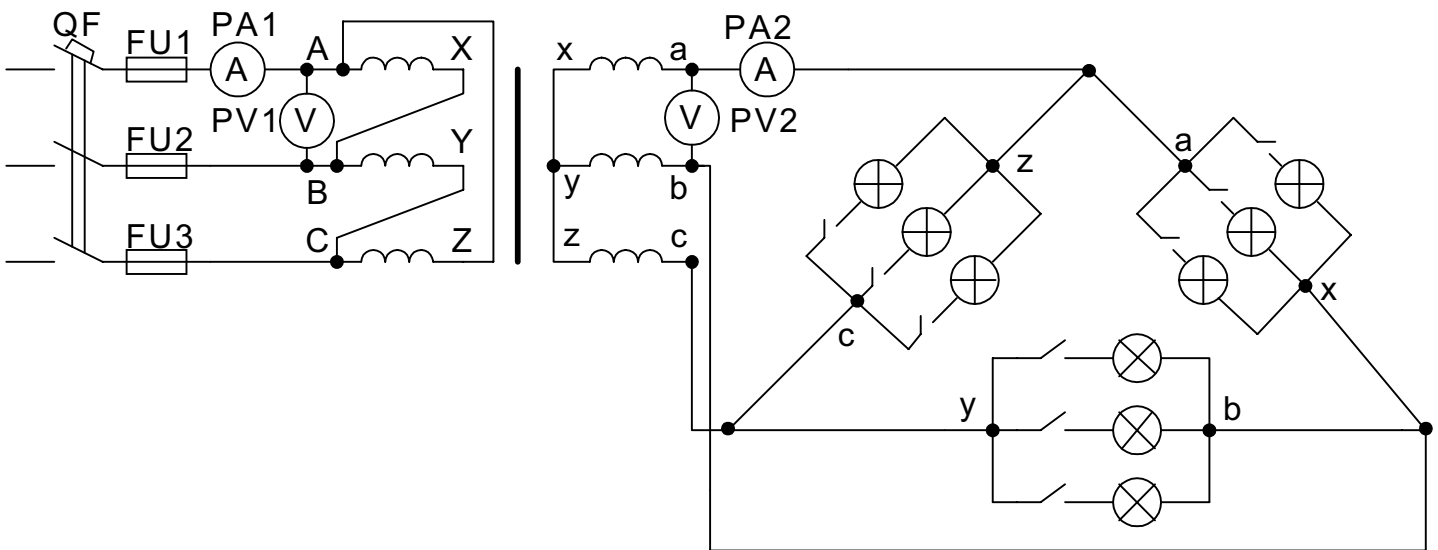


Fig.6. Schéma du couplage du transformateur sous charge.

Données pour la détermination de la caractéristique externe

Tableau 2

| Qualité des lampes dans une phase | Données de mesure | | | |
|-----------------------------------|-------------------|----------|----------|----------|
| | U_1, V | I_2, A | U_2, V | I_2, A |
| 0 | | | | |
| 1 | | | | |
| 2 | | | | |
| 3 | | | | |

Détermination de puissance apparente du transformateur

$S_2 =$, VA; $S_1 =$, VA.

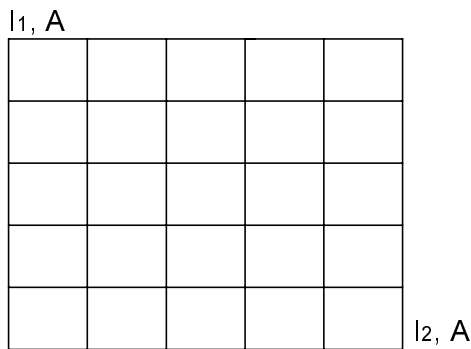


Fig.7. Dependence $I_1(I_2)$

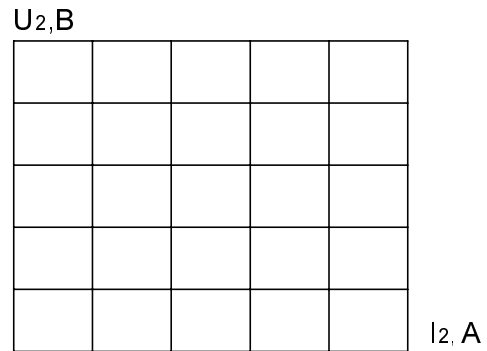


Fig.8. Caractéristique externe du transformateur

Répondre aux questions:

1. Quelle l'enroulement a le plus grand nombre des spires (de haute ou de basse tension)? Pourquoi?
2. Quelle l'enroulement a des fils de la plus grande section? Pourquoi?
3. Dans quels schémas des connexions le transformateur est branché par correspondance des tensions nominales?
4. A quoi amène le couplage du transformateur à la tension augmente primaire ? Est-ce que c'est dangereux et rationnel?
5. Quel des rapports de transformation change et quel en reste constant au changement du schéma des connexions et pourquoi ?
6. Pourquoi à l'absence de la charge du transformateur ($I_2=0$) il y a un courant primaire?
7. Comment le courant primaire du transformateur change-t-il avec l'augmentation du courant de charge dans l'enroulement secondaire? Pourquoi?
8. Comment la tension secondaire du transformateur change-t-elle avec l'augmentation du courant de charge? Quelle est la raison de ce changement?
9. De quoi témoigne l'égalité approximative des puissances S_1 et S_2 ?
10. Pourquoi est indiquée dans le passeport du transformateur on indique la puissance nominale à VA (kVA)?

Le travail de laboratoire №2.3

ETUDE DU MOTEUR A COURANT CONTINU (MCC)

Le but du travail: l'étude de l'installation et le principe de fonctionnement MCC; le démarrage, le renversement de marche, l'analyse de fonctionnement en charge; les régimes de freinage MCC.

La préparation à domicile:

- a) *Etudier la matière théorique sur le sujet du travail.*
- b) *Etudier les instructions données.*
- c) *Préparer le formulaire du rapport d'après ce travail.*

Sur la fig.1 faire les esquisses du rotor (de l'induit) et du stator du moteur

L'ordre de l'exécution du travail

1. L'étude de l'installation et la définition des données nominales du moteur étudié à courant continu:

- a) *Etudier sur le banc l'installation MCC.*
- b) *Inscrire au formulaire du rapport les paramètres de base du moteur.*

Définir le couple moteur nominal

$$M_{nom} = 9550 \frac{P_{nom}}{n_{nom}}$$

2. La réalisation de démarrage et le renversement de marche du moteur à l'excitation en dérivation à vide :

- a) *Monter le circuit du moteur selon le schéma fig. 2.*

R – le rhéostat de démarrage.

Le choix des appareils du système magnétoélectrique est défini par les paramètres de base du moteur: le voltmètre PV - pour la tension $U \approx 1.2 \cdot U_{nom}$, l'ampèremètre PA2- pour le courant $I_{ind} \approx 1.5 \cdot I_{nom}$, PA1 - pour le courant $I_e \approx 0.1 \cdot I_{nom}$.

Au banc (fig. 2) sont montes: le frein mécanique FM, qui crée sur l'arbre du moteur le moment résistant M_r ; tachymètre BR pour mesure de la fréquence de rotation de l'induit n .

Le frein FM compose du tambour T sur l'arbre du moteur, des sabotes de frein SF, la vis de frein VF, le levier L, le dynamomètre. Au rotation dextrorsum de vis VF les sabotes de frein se serrent contre le tambour T. Entre ceux-ci s'accroissent les forces de frottement et le moment résistant M_r , à la suite de quoi le moteur se charge. Au rotation sinistorsum de la vis VF le moteur se décharge. Le moment résistant est:

$$M_r = L F,$$

où L - la longueur du bras de levier, m;

F - la force étendant le ressort et enregistrée par dynamomètre.

Tachymètre T se compose d'alternateur tachymétrique BR et de l'appareil de mesure PN. Pour la coordination de la direction de la déviation de l'aiguille PN avec le sens de rotation BR il est nécessaire commuter SA;

- b) *Produire le démarrage du moteur à vide.*

- defreiner le moteur, ayant tourné la vis de frein VF dans le sens inverse des aiguilles d'une montre ($M_r = 0$);
- le levier de rhéostat de démarrage R établir à la position le "Démarrage" (la résistance de rhéostat maximale);
- brancher l'interrupteur QF_;
- le levier du rhéostat R déplacer harmonieusement à la position le "Travail" (la résistance du rhéostat $R = 0$).
- définir le sens de rotation selon l'arbre du moteur.
- arrêter le moteur, ayant déconnecté QF_.

Etablir le levier du rhéostat R à la position "Démarrage".

c) Produire le renversement de marche du moteur.

- échanger les places de la connexion des fils vers les bornes I1 et I2 ou Sh1 et Sh2.

Produire le démarrage du moteur selon l'art. 2 b.

- se persuader du changement du sens de rotation de l'arbre du moteur.
- arrêter le moteur, ayant déconnecté QF_.

3. L'étude de fonctionnement en charge du moteur:

a) Calculer l'effort du dynamomètre F_{nom} , correspondant au couple moteur nominal

$$F_{nom} = \frac{M_{nom}}{L}$$

Noter de livret matricule du frein la valeur L.

b) Etudier la caractéristique naturelle mécanique $n(M)$ du moteur.

- produire le démarrage du moteur à vide.
- contrôler la conformité du sens de rotation qui est indiqué par l'aiguille sur le capot du frein. Au cas de non-conformité de la direction produire le renversement de marche du moteur.
- mesurer et inscrire les valeurs de la tension du secteur U et le courant d'excitation I_e
- au régime à vide de la valeur du courant de l'induit I_{ind} , la vitesse de rotation de l'induit n_0 inscrire à la première ligne du tab.1
- en tournant la vis du frein VF, augmenter par les degrés le moment résistant M_r , en contrôlant sa valeur selon l'affichage du dynamomètre (F). Charger le moteur jusqu'à la valeur $F \approx (1.2-1.4) \cdot F_{nom}$. Les valeurs F , I_{ind} , n à chaque degré inscrire dans le tab.1.
- déconnecter le moteur;

c) Etudier le fonctionnement du moteur à l'introduction au circuit de l'induit de la résistance supplémentaire.

- defreiner le moteur
- brancher le moteur
- introduire dans le circuit de l'induit la résistance du rhéostat de démarrage R.
- en fonction des instructions à l'art. 3. b étudier la caractéristique mécanique $n(M)$ du moteur.
- déconnecter le moteur.

4. L'étude de régime du freinage dynamique du moteur (FD):

a) *Monter le circuit du moteur selon le schéma fig. 4.*

Le commutateur SA est établi au circuit de l'induit pour deux positions:

- dans la position 1 le circuit de l'induit est connecté au réseau continu pour le fonctionnement d'une machine dans le régime moteur;
- dans la position 2 le circuit de l'induit est connecté au rhéostat aux lampes à incandescence (enclencher 2 ou 3 lampes) pour le fonctionnement au régime FD;

b) *Rotation du rotor après l'arrêt du moteur libre*

- le commutateur SA établir à la position 1
- réaliser le démarrage du moteur à vide (voir l'art. 2, b).
- mesurer et inscrire dans le tab. 2 la valeur n_0 .
- le commutateur SA déplacer à la position 0
- définir et inscrire dans le tab. 2 le temps jusqu'à l'arrêt du moteur aux frais des moments de frottement intrinsèque - rotation du rotor après l'arrêt du moteur libre;
- déconnecter QF_.

c) *Le freinage dynamique*

- réaliser le démarrage du moteur à vide.
- mesurer et inscrire dans le tab. 2 la valeur n_0 .
- le commutateur SA déplacer de la position 1 à la position 2
- définir et inscrire dans le tab. 2 le temps jusqu'à l'arrêt du moteur.

Faire attention à la lueur courte des lampes

- déconnecter QF_.

La présentation du rapport

a) *Construire les caractéristiques mécaniques du moteur;*

b) *Répondre par écrit aux questions :*

1. Quels enroulements d'excitation sont placés sur les pôles principaux de la machine? Leur destination. Quelle est la différence entre eux?
2. Quels moteurs, selon le mode d'excitation du champ magnétique, peuvent-être reçu aux connexions diverses des enroulements d'excitation ?
3. De quoi est dangereux le démarrage direct du moteur à l'absence du rhéostat de démarrage?
4. Aura-t-elle lieu renversement de marche du moteur, si on échange par les places de la connexion des fils aux bornes "+" et "-" l'interrupteur QF_. Expliquer la réponse.
5. Comment change le couple moteur à l'augmentation du moment de résistant sur son arbre?
6. Comment est-il nécessaire changer la résistance du rhéostat de démarrage pour augmenter le moment de démarrage?
7. Qu'est-ce qui passe avec le moteur fonctionnant au moment résistant invariable sur arbre si dans le circuit d'induit on introduit la résistance supplémentaire ?
8. Pourquoi s'arrête le moteur au régime de freinage dynamique plus vite, qu'à la rotation du rotor après l'arrêt du moteur libre?

Лабораторная работа №2.3

ИССЛЕДОВАНИЕ ДВИГАТЕЛЯ ПОСТОЯННОГО ТОКА (ДПТ)

Цель работы: изучение устройства и принципа действия ДПТ; пуск, реверс, анализ работы под нагрузкой; тормозные режимы ДПТ.

Домашняя подготовка:

а) изучить теоретический материал по теме работы.

б) изучить настоящие указания;

в) подготовить бланк отчета о работе.

Сделать на рис. 1 эскизы статора и ротора (якоря) двигателя

Порядок выполнения работы

1. Изучение устройства и определение номинальных данных исследуемого двигателя постоянного тока:

а) изучить на демонстрационном стенде устройство ДПТ.

б) внести в бланк отчета паспортные данные двигателя.

Определить номинальный вращающий момент двигателя

$$M_{\text{ном}} = 9550 \frac{P_{\text{ном}}}{\Pi_{\text{ном}}}$$

2. Осуществление пуска и реверсирование двигателя параллельного возбуждения на холостом ходу:

а) собрать электрическую цепь двигателя по схеме рис. 2.

R - реостат пусковой.

Выбор приборов магнитоэлектрической системы определяется паспортными данными двигателя: вольтметр PV - на напряжение $U \approx 1.2 \cdot U_{\text{ном}}$, амперметр PA2 - на ток $I_a \approx 1.5 \cdot I_{\text{ном}}$, PA1 - на ток $I_b \approx 0.1 \cdot I_{\text{ном}}$.

На стенде (рис. 2) смонтированы: механический тормоз МТ, создающий на валу двигателя момент сопротивления M_c ; тахометр BR для измерения частоты вращения якоря n .

Тормоз МТ состоит из барабана Б на валу двигателя, тормозных колодок ТК, винта тормоза ВТ, рычага Р, динамометра Д. При вращении винта ВТ по часовой стрелке тормозные колодки прижимаются к барабану Б. Между ними увеличиваются силы трения и момент сопротивления M_c , в результате чего двигатель нагружается (притормаживается). При вращении винта ВТ против часовой стрелки двигатель разгружается (растормаживается). Момент сопротивления:

$$M_c = L F,$$

где L - длина плеча рычага, м;

F - сила, растягивающая пружину и регистрируемая динамометром.

Тахометр Т состоит из тахогенератора переменного тока BR и измерительного прибора PN. Для согласования направления отклонения стрелки PN с направлением вращения BR необходимо переключить SA;

б) произвести пуск двигателя на холостом ходу.

- растормозить двигатель, повернув винт тормоза ВТ против часовой стрелки ($M_c = 0$);

- рукоятку пускового реостата R установить в положение "Пуск" (сопротивление реостата максимальное);

- включить выключатель QF₁;

- рукоятку реостата R плавно перевести в положение "Работа" (сопротивление реостата R=0).

- определить направление вращения по валу двигателя.

- остановить двигатель, отключив QF₋.

Установить рукоятку реостата R в положение "Пуск".

в) произвести реверсирование двигателя.

- поменять местами подключения проводов к клеммам Я1 и Я2 или Ш1 и Ш2. произвести пуск двигателя согласно п. 2 б.

- убедиться в изменении направления вращения вала двигателя.

- остановить двигатель, отключив QF₋.

3. Исследование работы двигателя, под нагрузкой:

а) рассчитать усилие динамометра $F_{ном}$, соответствующее номинальному вращающему моменту $M_{ном}$ двигателя.

$$F_{ном} = \frac{M_{ном}}{L}$$

Выписать из паспорта тормоза значение L.

б) исследовать естественную механическую характеристику $n(M)$ двигателя.

- произвести пуск двигателя на холостом ходу.

- проверить соответствие направления вращения указанному стрелкой на кожухе тормоза.

При несоответствии направления произвести реверсирование двигателя.

- измерить и записать значения напряжения сети U и тока возбуждения I_v

- в режиме холостого хода значения тока якоря $I_{яx}$, частоты вращения якоря n_x записать в первую строку табл. 1

- вращая винт тормоза ВТ, увеличивать степенями момент сопротивления M_c , контролируя его значение по показаниям динамометра (F). Нагружать двигатель до значения $F \approx (1.2-1.4) \cdot F_{ном}$. Значения F, $I_{я}$, n на каждой ступени записать в табл. 1.

- отключить двигатель;

в) исследовать работу двигателя при введении в цепь якоря дополнительного сопротивления.

- растормозить двигатель

- включить двигатель

- ввести в цепь якоря сопротивление пускового реостата R.

- в соответствии с указаниями п.3,б исследовать механическую характеристику $n(M)$ двигателя.

- отключить двигатель.

4. Исследование режима динамического торможения двигателя:

а) собрать цепь двигателя по схеме рис. 4.

В цепи якоря установлен переключатель SA на два положения:

- в положении 1 цепь якоря подключается к сети постоянного тока для работы машины в двигательном режиме;

- в положении 2 цепь якоря подключается к ламповому реостату (включить 2 или 3 лампы) для работы в режиме ДТ;

б) свободный выбег

- переключатель SA установить в положение 1

- осуществить пуск двигателя на холостом ходу (см. п. 2, б).

- измерить и записать в табл.2 значение n_x .

- переключатель SA перевести в положение 0

- определить и записать в табл. 2 время до остановки двигателя за счет собственных моментов трения - свободный выбег;

- отключить QF₁.

в) динамическое торможение

- осуществить пуск двигателя на холостом ходу.

- измерить и записать в табл. 2 значение n_x .

- переключатель SA перевести из положения 1 в положение 2

- определить и записать в табл. 2 время до остановки двигателя.

Обратить внимание на кратковременное свечение ламп

- отключить QF₁.

Оформление отчета

Построить механические характеристики двигателя.

Письменно ответить на вопросы:

1. Какие обмотки возбуждения расположены на главных полюсах машины. Их назначение. Чем они различаются между собой?
2. Какие двигатели, по способу возбуждения магнитного поля, могут быть получены при различных включениях обмоток возбуждения?
3. Чем опасен прямой пуск двигателя (при отсутствии пускового реостата)?
4. Произойдет ли реверсирование двигателя, если поменять местами подключение проводов к клеммам "+" и "-" выключателя QF₁. Ответ объяснить.
5. Как изменяется вращающий момент двигателя при увеличении момента сопротивления на его валу?
6. Как необходимо изменить сопротивление пускового реостата, чтобы увеличить пусковой момент?
7. Что происходит с работающим двигателем при неизменном моменте сопротивления на валу, если в цепь якоря ввести добавочное сопротивление?
8. Почему при динамическом торможении двигатель останавливается значительно быстрее, чем при свободном выбеге?

Compte-rendu
sur le travail de laboratoire N° 2.3
“Etude du moteur à courant continu (MCC)”

| Groupe | Nom d'étudiant | Date | Signature du professeur |
|--------|----------------|------|-------------------------|
| | | | |

1. L'étude de l'installation et la définition des données nominales du moteur étudié à courant continu.

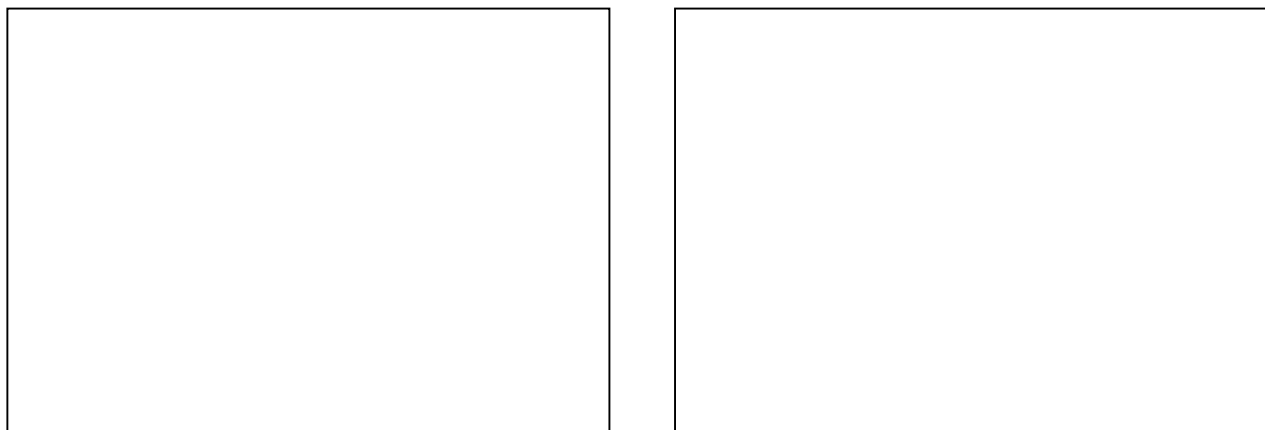


Fig.1. Esquisses du stator (a) et l'induit (b) du moteur.

Livret matricule du moteur

| |
|---|
| $P_{nom} =$ kW; $n_{nom} =$ tr/min; |
| $U_{nom} =$ V; $I_{nom} =$ A; $\eta_{nom} =$ %; |
| $m =$ kg; |
| Excitation |

Selon les paramètres de base calculer:

$M_{nom} =$

2. La réalisation de démarrage et le renversement de marche du moteur à excitation en dérivation à vide.

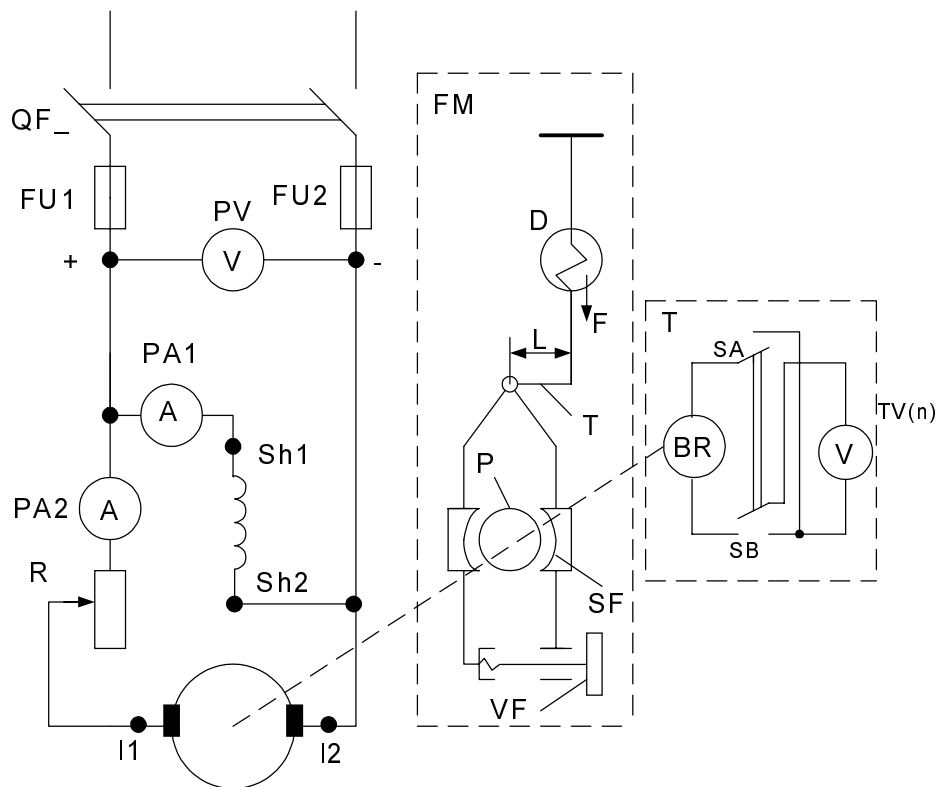


Fig.2. Circuit fonctionnel pour d'etude du moteur a excitation en derivation

3. L'étude du fonctionnement du moteur en charge.

$$L = \quad m; F_{nom} = M / L = \quad n; U = \quad V; I_e = \quad A.$$

Tableau 1

| Caractéristique naturel | | | | Caractéristique artificiel | | | |
|-------------------------|--------------------|-----------|----------------------|----------------------------|--------------------|-----------|----------------------|
| Données de la mesure | | | Données du calculent | Données de la mesure | | | Données du calculent |
| F, N | I _i , A | n, tr/min | M, N·m | F, N | I _i , A | n, tr/min | M, N·m |
| | | | | | | | |

4. L'étude du régime du freinage dynamique (FD) du MCC.

Tableau 2

| Fréquence de rotation | Arrêt du moteur | Temps jusqu'à l'arrêt de MCC, s |
|-----------------------|--|---------------------------------|
| | Rotation du rotor après l'arrêt du MCC libre | |
| | FD | |

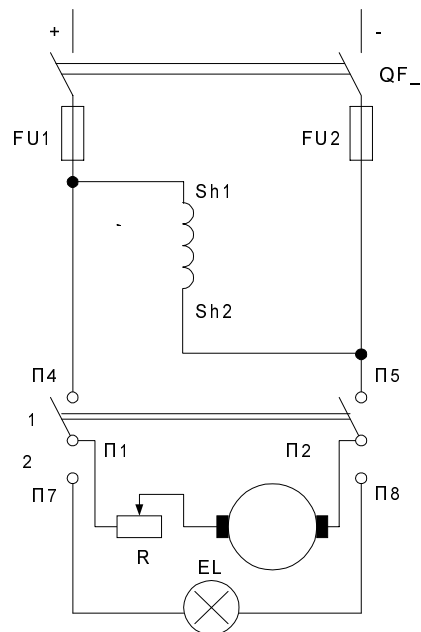


Fig. 4. Schema d'etude du regime du freinage dynamique

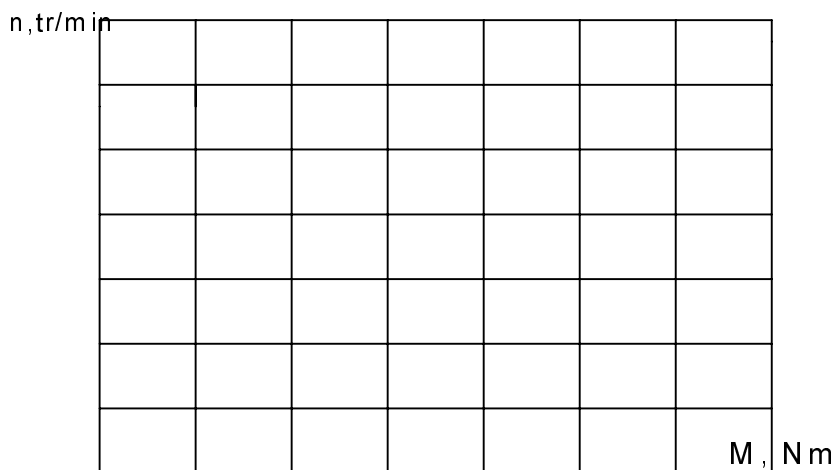


Fig.3. Caracteristique mecanique du moteur

Répondre aux questions:

Le travail de laboratoire №2.4

ETUDE DU MOTEUR ASYNCHRONE A ROTOR EN COURT-CIRCUIT

Le but du travail: l'étude de l'installation et du principe de fonctionnement du moteur asynchrone (MA) dans les régimes du moteur et du freinage; l'analyse des caractéristiques mécanique et électromécanique.

La préparation à domicile:

- Etudier la matière théorique sur le sujet du travail.
- Etudier les instructions données.
- Préparer le formulaire du rapport d'après ce travail.

Sur la fig.1 faire les esquisses du stator et du rotor en court – circuit MA;

L'ordre de l'exécution du travail

1. L'étude de l'installation, le principe de fonctionnement MA. La définition des données nominales MA:

- Etudier sur le banc l'installation MA;
- Inscrire au formulaire du rapport les paramètres de base du moteur étudié.

Définir pour le régime de fonctionnement nominal:

- la puissance active, prise au secteur, $P_{1nom} = P_{nom} / \eta_{nom}$, kW;
- la puissance apparente $S_{nom} = P_{1nom} / \cos \varphi_{nom}$, kVA;

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

- la puissance réactive (inductive), kVA
- le couple moteur $M_{nom} = 9550 P_{nom} / n_{nom}$, nm.

2. Le démarrage et le renversement de marche MA à vide.

a) Monter le circuit du moteur

Pour le moteur avec les paramètres de base Y/ Δ 380/220 V monter le circuit selon le schéma fig. 2.a, qu'à la tension du secteur 220 V assure l'amenée pour le moteur de la tension nominale ($U_c = U_s = 220$ V)

Sur la fig. 2:

PA - l'ampèremètre du système électromagnétique pour deux limites de mesure 5-20A;

PV - voltmètre du système électromagnétique sur la tension jusqu'à 250 V;

FM - le frein mécanique créant sur l'arbre du moteur le moment de la résistance M_r ;

BR - tachymètre pour la mesure de la fréquence de la rotation du rotor n .

La description détaillée de l'installation et le principe de fonctionnement du frein et du tachymètre - au travail de laboratoire №2.3. Il ne faut pas monter ces éléments au schéma.

b) Produire le démarrage du moteur à vide

- defreiner le moteur, ayant tourné la vis de frein VF dans le sens inverse des aiguilles d'une montre ($M_r = 0$);
- brancher l'interrupteur QF \sim ;
- définir la sens de rotation selon l'arbre du moteur;

- arrêter le moteur, ayant déconnecté QF_~.

c) *Produire le renversement de marche du moteur.*

- échanger les places de la connexion des fils convenant aux bornes B et C.

- brancher QF_~.

- se persuader au changement du sens de rotation de l'arbre du moteur.

- déconnecter QF_~.

3. L'étude du fonctionnement en charge du moteur

a) *Calculer l'effort nominal du dynamomètre*

Inscrire au rapport la longueur du bras L (un livret matricule du frein).

Calculer l'effort du dynamomètre $F_{nom} = M_{nom} / L$, correspondant au couple moteur nominal M_{nom} ;

b) *Etudier le fonctionnement en charge du moteur.*

- produire le démarrage du moteur à vide.

- contrôler la conformité du sens de rotation indiquée par l'aiguille sur le capot du frein. Au cas de non-conformité du sens de rotation produire le renversement de marche du moteur.

- mesurer et inscrire la tension du secteur U_{1c}

- mesurer et inscrire dans la première ligne du tab.1 les valeurs: de charge F; du courant stator I_{1c} ; de fréquence de rotation du rotor n_0 ; de la puissance consommée d'une phase stator P_{1ph} .

- en tournant la vis du frein VF dans le sens des aiguilles d'une montre, augmenter par les degrés le moment résistant M_r , en contrôlant sa valeur selon d'affichage dynamomètre. La rotation de la vis VF produire lentement pour fixer le couple maximal du moteur. A la rotation suivante VF le moteur s'arrête (moteur calerait) $n=0$. Avec cela il développe le moment de démarrage M_d , à quoi correspond F_d . La valeur des grandeurs F, I_{1c} , n, P_{1ph} à chaque degré inscrire dans le tab.1.

- déconnecter QF_~.

L'INSTRUCTION: pour éviter le surchauffage du moteur, inscrire vite les données au rotor immobile et déconnecter QF_~.

4. L'étude du régime de freinage dynamique du moteur (FD)

a) *Monter le circuit du moteur selon le schéma fig. 4.*

PA - l'ampèremètre du système magnétoélectrique sur 7,5 A, R - rhéostat.

b) *Etablir le courant du freinage dynamique*

- défreiner le moteur, ayant tourné la vis du frein VF dans le sens inverse des aiguilles d'une montre;

- établir le levier du rhéostat R à la position correspondant à la résistance maximale «Démarrage»;

- brancher l'interrupteur QF₋;

- établir à l'aide du rhéostat R la valeur du courant continu $I_{FD} \approx I_{1s nom}$, où $I_{1s nom} = I_{1c nom}$ le courant nominal MA dans le schéma "l'étoile".

- déconnecter QF₋.

d) *Rotation du rotor après l'arrêt du moteur libre*

- réaliser le démarrage du moteur à vide;
- déconnecter QF_~. Mesurer et inscrire dans le tab.2 le temps jusqu'à l'arrêt complet du moteur aux frais des moments l'intrinsèque de frottement;

ð) *Le freinage dynamique*

- réaliser le démarrage du moteur à vide.
- déconnecter QF_~ et brancher à la fois QF₋. Mesurer et inscrire dans le tab.2 le temps jusqu'à l'arrêt complet du moteur.
- déconnecter QF₋.

L'INSTRUCTION: il est nécessaire de suivre strictement l'ordre des commutations, i.e. brancher QF₋ seulement à l'arrêt de QF_~.

La présentation du rapport

a) *Calculer selon les données des mesures de la signification des grandeurs nécessaires à la construction des caractéristiques du moteur :*

- le couple moteur $M = L F$, nm;
- la puissance active prise du secteur par le moteur $P_1 = 3 P_{1ph} 10^{-3}$, kW;
- la puissance apparente $S = \sqrt{3} \cdot U_{1c} I_{1c} 10^{-3}$, kVA
- la puissance mécanique sur l'arbre du moteur $P_2 = (M n) / 9550$, kW
- le facteur de puissance du moteur $\cos \varphi = P_1 / S$

b) *Selon les données du tab. 1 sur fig. 5 construire la caractéristique mécanique $n(M)$ et électromécanique $n(I_{1L})$ du moteur.*

Remarque pour fig. 5 les points correspondants aux régimes: de la marche à vide (M_{mv} , I_{1mv}), nominal (M_{nom} , I_{1nom}), critique (M_{max}) et de démarrage (M_d , I_{1d}).

Calculer :

- la capacité de surcharge du moteur
- la multiplicité du couple de démarrage;
- le facteur de surcharge au cours du démarrage

Répondre par écrit aux questions:

1. Combien de phases a l'enroulement du stator MA et quel champ magnétique elle crée?
2. Aux frais de la coopération de quelles grandeurs à MA se forme un couple moteur?
3. Aux frais de quoi se produise le renversement de marche MA au changement des places de la connexion de deux phases d'enroulement du stator sur le secteur?
4. Comment changeront le couple moteur et la fréquence de rotation MA avec l'augmentation du moment de résistant sur son arbre?
5. De quoi est dangereux le calerait MA?
6. Pourquoi au régime de marche à vide le courant MA est beaucoup plus grand, qu'il faut pour l'élimination du frottement mécanique?
7. Pourquoi n'a pas rationnel le fonctionnement MA avec une charge réduite? Comment éviter cela?

Лабораторная работа №2.4
ИССЛЕДОВАНИЕ АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ
С КОРОТКОЗАМКНУТЫМ РОТОРОМ

Цель работы: изучение устройства и принципа действия асинхронного двигателя (АД) в двигательном и тормозном режимах; анализ его механической и электромеханической характеристик.

Домашняя подготовка:

- а) изучить теоретический материал по теме работы.
- б) изучить настоящие указания;
- в) подготовить бланк отчета о работе.

Сделать на рис. 1 эскизы статора и короткозамкнутого ротора АД;

Порядок выполнения работы

1. Изучение устройства, принципа действия АД. Определение номинальных данных АД:

- а) изучить на демонстрационном стенде устройство АД;
- б) внести в бланк отчета паспортные данные испытуемого двигателя.

Определить для номинального режима работы:

- потребляемую от сети активную мощность $P_{1ном} = P_{ном} / \eta_{ном}$, кВт;
- полную мощность $S_{ном} = P_{1ном} / \cos \varphi_{ном}$, кВА;
- реактивную (индуктивную) мощность $Q_{Lин} = \sqrt{S_{ном}^2 - P_{1ном}^2}$, кВАр
- вращающий момент $M_{ном} = 9550 P_{ном} / n_{ном}$, Нм

2. Пуск и реверс АД на холостом ходу.

- а) собрать электрическую цепь двигателя

Для двигателя с паспортными данными Y/Δ 380/220 В собрать электрическую цепь по схеме рис. 2, а, что при напряжении сети 220 В обеспечивает подачу на двигатель номинального напряжения ($U_L = U_\Phi = 220$ В)

На рис. 2:

РА - амперметр электромагнитной системы на два предела измерения 5-20 А; PV - вольтметр электромагнитной системы на напряжение до 250 В;

MT - механический тормоз создающий на валу двигателя момент сопротивления Mc;

T - тахометр для измерения частоты вращения ротора n.

Подробное описание устройства и принцип действия тормоза и тахометра см. в лабораторной работе 8. Эти элементы схемы собирать не нужно

- б) произвести пуск двигателя на холостом ходу.

- растормозить двигатель, повернув винт тормоза ВТ против часовой стрелки ($M_c = 0$);
- включить выключатель QF..;
- определить направление вращения по валу двигателя;
- остановить двигатель, отключив QF..

- в) произвести реверсирование двигателя.

- поменять местами подключение проводов, подходящих к клеммам В и С.
- включить QF..
- убедиться в изменении направления вращения вала двигателя.
- отключить QF..

3. Исследование работы двигателя под нагрузкой

- а) рассчитать номинальное усилие динамометра

Записать в отчете длину плеча L (из паспорта тормоза).

Рассчитать усилие динамометра $F_{\text{ном}} = M_{\text{ном}} / L$, соответствующее номинальному вращающему моменту $M_{\text{ном}}$;

б) исследовать работу двигателя под нагрузкой.

- произвести пуск двигателя на холостом ходу.
- проверить соответствие направления вращения указанному стрелкой на кожухе тормоза.

При несоответствии направления вращения произвести реверсирование двигателя.

- измерить и записать напряжение сети $U_{1л}$
- измерить и записать в первой строке табл. 1 значения: нагрузки F ; тока статора I_1 ; частоты вращения ротора n ; мощности, потребляемой одной фазой статора $P_{1ф}$.
- вращая винт тормоза ВТ по часовой стрелке, увеличивать ступенями момент сопротивления M_c , контролируя его значение по показаниям динамометра. Вращение винта ВТ производить медленно, чтобы зафиксировать критический момент двигателя. При последующем вращении ВТ двигатель останавливается (опрокидывается) $n=0$. При этом он развивает пусковой момент $M_{п}$, чему соответствует $F_{п}$. Значение величин F , $I_{1л}$, n , $P_{1ф}$ на каждой ступени записать в табл. 1.

- отключить QF_{\sim} .

УКАЗАНИЕ: во избежание перегрева двигателя, показания при неподвижном роторе снять быстро и сразу отключить QF_{\sim} .

4. Исследование двигателя в режиме динамического торможения (ДТ)

а) собрать цепь двигателя по схеме рис. 4.

PA - амперметр магнитоэлектрической системы на 7,5 А, R - реостат.

б) установить ток динамического торможения

- растормозить двигатель, повернув винт тормоза ВТ против часовой стрелки;
- установить рукоятку реостата R в положение, соответствующее максимальному сопротивлению;
- включить выключатель QF_{\sim} ;
- установить реостатом R значение постоянного тока $I_{ДТ} \approx I_{1ф \text{ ном}}$, где $I_{1ф \text{ ном}}$ - номинальный ток АД в схеме "звезда".

- отключить QF_{\sim} .

г) свободный выбег

- осуществить пуск двигателя на холостом ходу;
- отключить QF_{\sim} . Измерить и записать в табл. 2 время до остановки двигателя за счет собственных моментов трения – свободный выбег;

д) динамическое торможение

- осуществить пуск двигателя на холостом ходу.
- отключить QF_{\sim} и сразу включить QF_{\sim} . Измерить и записать в табл. 2 время до остановки двигателя.
- отключить QF_{\sim} .

УКАЗАНИЕ: необходимо строго соблюдать очередность переключений, т.е. включить QF_{\sim} только при отключенном QF_{\sim} .

Оформление отчета

а) вычислить по данным измерений значения величин, необходимых для построения характеристик двигателя:

- вращающего момента $M = L \cdot F$, н·м;
- активной мощности, потребляемой двигателем от сети $P_1 = 3 P_{1ф} \cdot 10^{-3}$, кВт;

- полной мощности $S = \sqrt{3} \cdot U_{1Л} \cdot I_{1Л} \cdot 10^{-3}$, кВА

- механической мощности на валу двигателя $P_2 = (M \cdot n) / 9550$, кВт

- коэффициента мощности двигателя $\cos \varphi = P_1 / S$

б) по данным табл. 1 на рис. 5 построить механическую $n(M)$ и электромеханическую $n(I_{1Л})$ характеристики двигателя.

Отметить на рис. 5 точки, соответствующие режимам: холостого хода (M_x, I_{1x}), номинальному ($M_{ном}, I_{1 ном}$), критическому ($M_{макс}$) и пусковому ($M_{п}, I_{1п}$).

Рассчитать:

- перегрузочную способность двигателя

- кратность пускового момента;

- кратность пускового тока

Письменно ответить на вопросы:

1. Сколько фаз имеет обмотка статора АД и какое магнитное поле она создает?

2. За счет взаимодействия каких величин в АД создается вращающий момент?

3. За счет чего обеспечивается реверсирование АД при перемене местами подключения двух фаз обмотки статора к сети?

4. Как изменятся вращающий момент и частота вращения АД с увеличением момента сопротивления на его валу?

5. Чем опасно опрокидывание АД?

6. Почему в режиме холостого хода ток АД намного больше, чем нужно для преодоления механического трения?

7. Почему нецелесообразна работа недогруженного АД? Как этого избежать?

Compte-rendu
sur le travail de laboratoire №2.4
"Etude du moteur asynchrone a rotor en court-circuit"

| Groupe | Nom d'étudiant | Date | Signature du professeur |
|--------|----------------|------|-------------------------|
| | | | |

1 L'étude de l'installation, le principe de fonctionnement MA. La définition des données nominales MA

| | |
|--|--|
| | |
|--|--|

a) Esquisses du stator

b) Esquisses du rotor

Fig.1. La constitution MA

Livret matricule du moteur MA

| | | | |
|----------------|-----|------------------------|--------|
| Type | | | |
| $P_{nom} =$ | kW; | $n_{nom} =$ | t/min. |
| Y / Δ | / | V; | / A; |
| $\eta_{nom} =$ | % | $\cos \varphi_{nom} =$ | ; |

$P_{1\ nom} =$,kW

$S_{nom} =$, kVA

$Q_{L\ nom} =$, kVAr

$M_{nom} =$, N·m

2. L'étude du travail du moteur à la charge

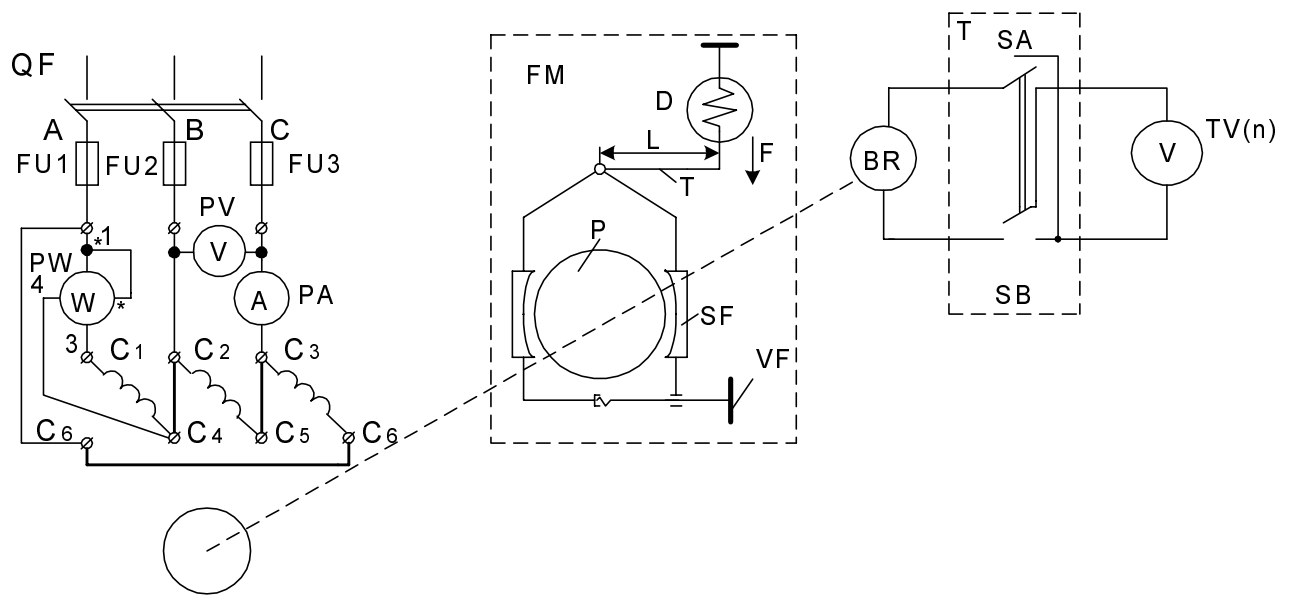


Fig.2. Le schéma fonctionnel du banc pour les essais du moteur asynchrone à rotor en court-circuit.

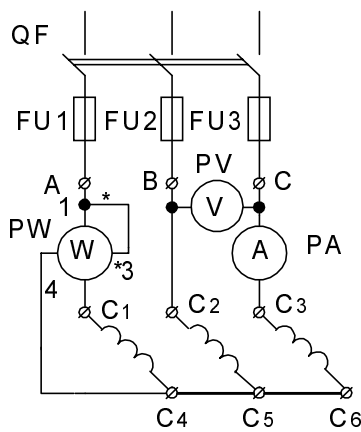


Fig.3. L'insertion du stator asynchrone selon le schéma "étoile"

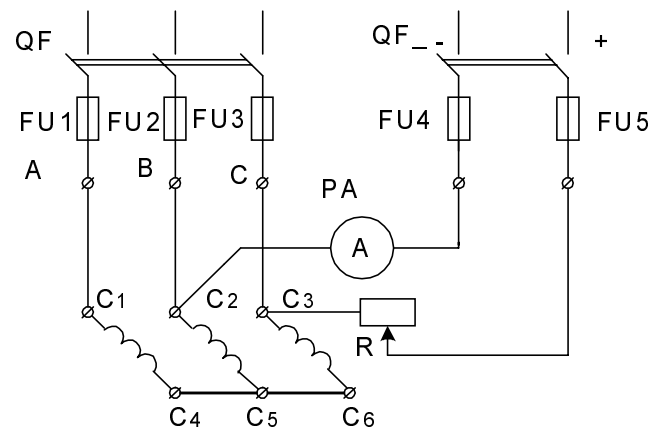


Fig.4. Le schéma pour les exécutions des études du freinage dynamique du moteur asynchrone

$$L = \quad \text{m}; F_{\text{nom}} = \quad / \quad = \quad \text{N}; U_{1C} = \quad \text{V}.$$

Table 1

| Données de mesure | | | | Données du calculent | | | | |
|-------------------|---------------------|-----------|----------------------|----------------------|---------------------|--------|---------------------|-------|
| F, N | I _{1c} , A | n, t/min. | P _{1ph} , W | M, N·m | P ₁ , kW | S, V·A | P ₂ , kW | cos φ |
| | | | | | | | | |

$$\lambda_M = \quad / \quad = \quad ; \lambda_D = \quad / \quad = \quad ; K_D = \quad / \quad = \quad ;$$

Table 2

| | Libre l'arrête du moteur | Freinage dynamique |
|---------------------|--------------------------|--------------------|
| I _{FD} , A | X | |
| t, s | | |

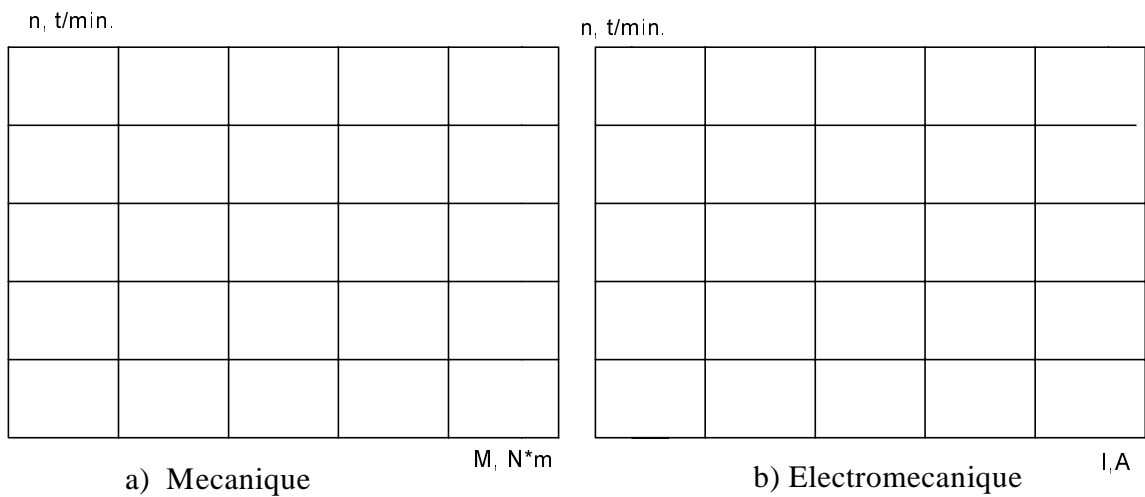


Fig.5. Les caracteristiques du MA

Répondre aux questions:

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

| | |
|--|----|
| MACHINES ELECTRIQUES..... | 3 |
| 1. Transformateurs..... | 3 |
| 1.1. Principe de fonctionnement d'un transformateur | 4 |
| 1.2. Transformateur triphasé | 5 |
| 2. Machine à courant continu..... | 8 |
| 2.1. Principaux éléments d'une machine à courant continu | 8 |
| 2.2. Classification des machines à courant continu selon le mode d'excitation | 9 |
| 2.3. Moteurs à courant continu..... | 10 |
| 3. Machines asynchrones..... | 13 |
| 4. Le travail de laboratoire №2.1 «Etude des circuits magnétiques des cou- rants continus et alternatif»..... | 16 |
| 5. Le travail de laboratoire № 2.2 «Etude du transformateur triphasé»..... | 24 |
| 6. Le travail de laboratoire № 2.3 «Etude du moteur à courant continu»..... | 37 |
| 7. Le travail de laboratoire № 2.4 «Etude du moteur asynchrone à rotor en court-circuit»..... | 40 |
| LITTERATURE..... | 49 |

Курс «Електротехніка». Друга частина «Електричні машини». Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт (на французькій мові).

Автори:

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

Капанадзе Галина Олексіївна, асистент каф. французької мови 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. 3,5. 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.