
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
Première partie
«CIRCUITS ELECTRIQUES»

Instructions méthodiques
pour l'exécution des travaux laboratoires

Donetsk 2003

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

Кафедра електротехніки

Курс
ЕЛЕКТРОТЕХНІКИ
Перша частина
«ЕЛЕКТРИЧНІ КОЛА»

Методичні вказівки
до виконання лабораторних робіт
(на французькій мові)

ЗАТВЕРДЖЕНО:
на засіданні кафедри
електротехніки
Протокол N 2
Від 13.11.2003

Донецьк ДонНТУ 2003

УДК 621.3

Курс «Електротехніки». Перша частина «Електричні кола». Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт (на французькій мові).

В. О. Сажин, Г. О. Капанадзе. Донецьк: ДонНТУ, 2003

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

Розділ «Електричні вимірювання» 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: В.Вовкодав (група ЕКМ-99ф), В.Кріпаченко (група МЧМ-01ф): комп'ютерна графіка, відбір термінології.

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

MESURES ÉLECTRIQUES

1.1. Erreurs des mesures et classes de précision

Toutes les mesures s'effectuent inévitablement avec une certaine erreur.

La différence entre la valeur mesurée A_m d'une grandeur et sa valeur réelle A est appelée *erreur absolue*

$$\Delta A = A_m - A$$

La *correction* est l'erreur absolue prise avec un signe inverse. On l'ajoute aux indications de l'appareil.

Pour évaluer la précision des mesures on détermine *l'erreur relative* – le rapport de l'erreur absolue à la valeur réelle, exprimé en pour cent.

$$\delta = \Delta A \ 100\% / A$$

et puisque la différence entre A et A_m dans la plupart des cas est relativement petite on a

$$\delta \approx \Delta A \ 100\% / A_m$$

Dans les appareils à aiguille les erreurs exprimées en unités de division de l'échelle sont à peu près du même ordre pour toutes les divisions de la partie utile de l'échelle. Et pour cette raison l'erreur relative augmente rapidement au fur et à mesure qu'on se rapproche au début de l'échelle. Il est rationnel d'évaluer la précision d'un appareil d'après *l'erreur rapportée*, c.-à-d. d'après le rapport de l'erreur absolue à la valeur maximale A_{nom} qui peut être mesurée d'après l'échelle de l'appareil (valeur nominale):

$$\gamma = \Delta A \ 100\% / A_{nom}$$

Les *erreurs d'indications* d'un appareil sont conditionnées par des défauts de l'appareil lui-même (le mécanisme des mesures, le circuit d'une mesure, le manque de la précision dans la graduation de l'échelle, etc.), ainsi que par l'influence des facteurs extérieurs (température, position, champs magnétiques et électriques, etc.). Conformément à cela les erreurs d'un appareil sont classées par les erreurs systématiques et erreurs accidentelles.













Les *erreurs systématiques* sont les erreurs rapportées de l'appareil déterminé dans les *conditions normales*, c'est-à-dire sous une température du milieu ambiant de 20° C (si sur l'échelle de l'appareil ne figure pas une autre température), l'appareil est en position correspondante à celle indiquée sur l'échelle, l'absence au voisinage de l'appareil de masses ferromagnétiques et de champs magnétiques extérieurs (le champ terrestre exclu), la tension et la fréquence nominales.

Les *erreurs accidentelles* (complémentaires) sont provoquées par l'écart des conditions extérieures des conditions normales (température, position de l'appareil, etc.). Selon de l'erreur systématique maximum admissible les appareils de mesure électri-

ques sont partagés en 8 classes de la précision; 0,1; 0,2; 0,5; 1; 1,5; 2,5; 4. La valeur correspondante de l'erreur admissible désigne la classe. Pour qu'en l'appareil appartienne à une classe déterminée il faut que son erreur systématique sur toutes les divisions de la partie utile de l'échelle ne dépasse pas la valeur déterminée par cette classe (par exemple pour un appareil de la classe 0,5, l'erreur systématique $\gamma\%=0,5\%$).

Sur la face avant de l'appareil on indique, conformément aux normes, les inscriptions conventionnelles lesquelles déterminent les particularités techniques d'un appareil de mesure électrique: l'unité de la grandeur mesurée, la classe de précision, le genre du courant et le nombre des phases, le système de l'appareil, la protection contre les champs magnétiques ou électriques extérieurs, la position normale de l'appareil, etc. Les désignations conventionnelles les plus importantes sont indiquées dans le tableau 1.

Tableau 1 - Signes graphiques conventionnels indiqués sur le cadran d'un appareil

Symboles	Designation
	Appareil magnéto-électrique
	Appareil magnéto-électrique à aimant mobile
	Appareil électromagnétique
	Appareil électrodynamique
	Appareil ferro-dynamique
	Appareil à induction
1.5	Classe de précision (par exemple 0,5)
	Courant continu
	Courant alternatif (monophasé)
	Courant continu et courant alternatif
	Cadran en position horizontale
	Cadran en position verticale
	Circuit de mesure est isolé de la masse; la tension d'épreuve diélectrique est, par exemple, de 2 kV

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ

Погрешности измерения и классы точности

Все измерения неизбежно осуществляются с некоторой погрешностью

Абсолютная погрешность ΔA есть разность между измеренным $A_{из}$ и действительным A значениями измеряемой величины:

$$\Delta A = A_m - A$$

Поправка – абсолютная погрешность, взятая с обратным знаком. Она прибавляется к показаниям прибора.

Для оценки точности измерений определяется **относительная погрешность** - отношение абсолютной погрешности к действительному значению, выраженное в процентах:

$$\delta = \Delta A \cdot 100\% / A$$

а так как разница между $A_{из}$ и A в большинстве случаев относительно мала, то

$$\delta \approx \Delta A \cdot 100\% / A_{из}$$

В стрелочных приборах погрешности, выраженные в единицах деления шкалы, обычно одного порядка вдоль рабочей части шкалы. В связи с этим относительная ошибка быстро растет по мере приближения к началу шкалы. Целесообразнее оценивать точность прибора по **приведенной погрешности**, т.е. по отношению абсолютной погрешности к наибольшему значению $A_{ном}$, которое может быть измерено по шкале прибора (номинальному значению)

$$\gamma = \Delta A \cdot 100\% / A_{ном}$$

Погрешности показаний прибора обуславливаются недостатками самого прибора (механизм измерений, цепи измерения, недостаточная точность при градуировке шкалы и т.п.) и влиянием внешних факторов (температура, расположение, магнитные и электрические поля и т.д.). В соответствии с этим погрешности прибора разделяются на *систематические погрешности* и *случайные погрешности*.

Систематическая погрешность (основная) – это приведенная погрешность прибора, определенная в *нормальных рабочих условиях*, т.е. при температуре окружающей среды 20° С (если на шкале прибора не указана другая температура), прибор находится в положении, которое соответствует указанному на шкале, отсутствие вблизи прибора ферромагнитных масс и внешних магнитных полей (кроме земного), номинальных напряжении и частоте.

Случайные погрешности (дополнительные) вызваны отклонением внешних условий от нормальных (температура, положение прибора и др.).

В зависимости от максимально допустимой систематической погрешности, электрические измерительные приборы делятся на 8 классов точности: 0,05; 0,1; 0,2; 0,5; 1; 1,5; 2,5; 4. Соответствующее значение допустимой погрешности обозначает класс. Чтобы прибор принадлежал к определенному классу надо, чтобы систематическая ошибка на всех делениях рабочей части шкалы не превышала значения, определяемого этим классом (например, у прибора класса «0,5» систематическая погрешность $\gamma = 0,5\%$).

На передней стороне прибора, в соответствии со стандартами, указываются условные знаки, которые определяют технические особенности электрического измерительного прибора: единица измеряемой величины, класс точности, род тока и число фаз, система прибора, защита от внешних магнитных и электрических полей, нормальное положение прибора, и др. Наиболее важные условные обозначения приведены в таблице 1.

1.2. Shunts et résistances additionnelles

Les appareils servant à mesurer l'intensité du courant (ampèremètres) et la tension (voltmètres) sont construits dans la plupart des cas de façon identique et différent surtout par le mode de branchement dans le circuit, ainsi que par la valeur relative de leur résistance.

Un ampèremètre doit être branché en série avec le récepteur dont on veut mesurer le courant (fig. 1) afin que tout le courant du récepteur passe par l'ampèremètre. De plus, pour que l'ampèremètre ne provoque pas de chute de tension sensible sa résistance doit être aussi réduite que possible.

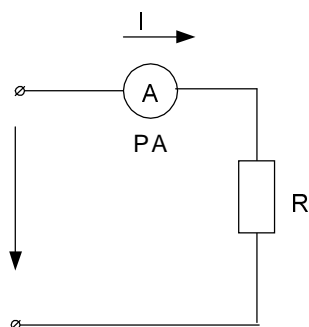


Fig. 1. Schéma de connexion d'un ampèremètre

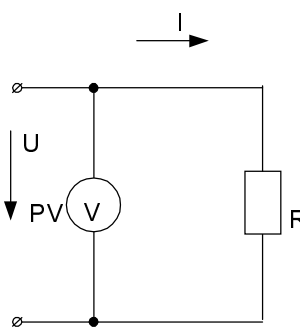


Fig. 2. Schéma de connexion d'un voltmètre

Un voltmètre, au contraire, doit avoir une grande résistance et doit être branché directement aux points (fig. 2) dont il mesure la différence de potentiel. On peut utiliser en qualité de voltmètre un ampèremètre sensible branché en série avec une grande résistance additionnelle. Au changement de la tension aux bornes d'un tel circuit, le courant absorbé par ce dernier changera proportionnellement et l'indication de l'appareil sera proportionnelle à la tension entre tels points du circuit auxquels il est connecté.

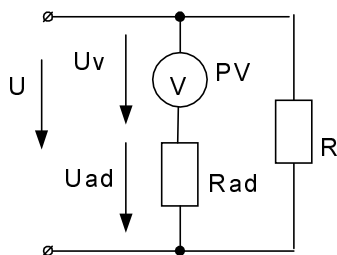


Fig. 3. Branchement d'un voltmètre avec résistance additionnelle

A l'aide des résistances branchées de façon différente on peut élargir les limites de mesure d'un voltmètre et d'un ampèremètre. Une telle résistance branchée en série avec le voltmètre (fig. 3) et est appelée *résistance additionnelle*. L'appareil reçoit seulement une partie de la tension U , U_v , qui est proportionnelle à la résistance de l'appareil.

La valeur de R_{ad} pour l'appareil donné est déterminée à partir des valeurs nominales de la tension à mesurer U , du courant I_v et de la résistance R_v de l'appareil de la façon suivante:

$$U/I_v = R_{ad} + R_v$$

donc

$$R_{ad} = U/I_v - R_v$$

Le courant passant par l'appareil doit être proportionnel à la tension et par suite la résistance du circuit de l'appareil doit être constante dans le temps et ne changer pas lors des variations de la température. Pour cette raison les résistances additionnelles sont faites de fil des alliages fabriqués spécialement à un coefficient faible de la température de la résistance.

Parmi ces alliages le plus répandu est la *manganine* (Cu 85%, Mn 12%, Ni 3%). On fabrique les résistances additionnelles sous forme des bobines ou des plaques.

Le même voltmètre doté de plusieurs résistances additionnelles peut mesurer des tensions de différentes valeurs.

En cas où il serait difficile ou n'est pas rationnel de faire passer par l'ampèremètre tout le courant mesuré, on branche en parallèle avec l'appareil *un shunt* par lequel passe la plus grande partie du courant à mesurer (fig. 4). Le shunt représente une résistance faible d'une valeur connue.

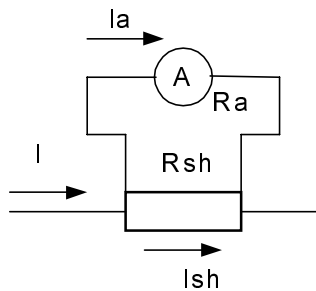


Fig. 4. Schéma de branchement d'un shunt

Les courants sont répartis entre le shunt et l'ampèremètre de façon inversement proportionnelle aux résistances des branches correspondantes:

$$I_{sh}/I_a = R_a/R_{sh}$$

et puisque le courant mesuré

$$I = I_{sh} + I_a$$

on a

$$I = I_a (I + R_a/R_{sh}) = I_a k_{sh}$$

où k_{sh} est le coefficient du shunt;

Aux cas où le shunt est interchangeable (dans les appareils portatifs) on prend k_{sh} égal à 10, 100 ou 1000 pour faciliter le calcul de I d'après la mesure de I_a .

La résistance du shunt $-R_{sh}$ est une grandeur relativement petite de l'ordre de 10^{-2} à 10^{-4} Ohm; par rapport à cette grandeur les résistances des contacts et les résistances des fils et des pièces de connexion prennent une importance considérable. Pour cette raison les shunts, comme toutes les résistances étalons de la valeur faible, sont dotés de 4 bornes (fig. 5) dont deux bornes m (de courant) sont utilisées pour brancher le shunt dans le circuit du courant à mesurer et deux autres bornes n (de potentiel) sont employées pour connecter l'appareil.

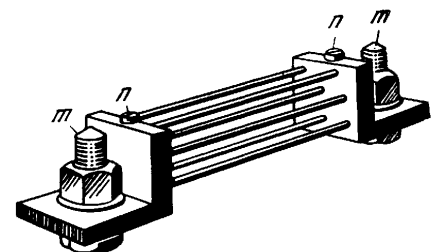


Fig. 5. Shunt

Parmi les facteurs extérieurs le plus important est l'influence de la température sur k_{sh} ; pour l'éliminer on fabrique les shunts en manganine.

Шунты и добавочные сопротивления

Приборы, служащие для измерения силы тока (амперметр) и напряжения (вольтметр), устроены в большинстве случаев, по существу, совершенно одинаково и отличаются друг от друга главным образом способом включения в цепь, а также относительной величиной своего сопротивления.

Амперметр должен быть включен последовательно с тем приемником, ток которого он должен измерять (рис. 1), чтобы через амперметр прошел весь ток приемника. При этом сопротивление амперметра должно быть настолько малым, чтобы в нем не происходила сколько-нибудь заметная потеря напряжения.

Наоборот, вольтметр должен иметь большое сопротивление и включаться непосредственно между теми точками (рис. 2) между которыми он измеряет разность потенциалов. В качестве вольтметра можно включить чувствительный амперметр последовательно с большим добавочным сопротивлением. При изменении напряжения на зажимах такой цепи будет пропорционально изменяться потребляемый ею ток, и показание прибора будет пропорционально напряжению между теми точками цепи, между которыми он включен. При малом собственном сопротивлении вольтметр потреблял бы большой ток, без пользы нагружая источник энергии и соединительные провода.

При помощи различным образом включенных сопротивлений можно расширить пределы измерения вольтметра и амперметра. Такое сопротивление включается последовательно с вольтметром (рис. 3) и называется *добавочным сопротивлением*. На сам прибор; приходится при этом лишь часть напряжения U , пропорциональная сопротивлению прибора.

Величина R_d для данного прибора определяется на основании номинальных значений измеряемого напряжения U , тока I_v и сопротивления R_v прибора следующим образом:

$$U/I_v = R_d + R_v$$

следовательно,

$$R_d = U/I_v - R_v$$

В силу принципа построения вольтметра ток через прибор должен быть пропорционален напряжению, а, следовательно, сопротивление прибора должно быть постоянно во времени и не меняться при изменениях температуры. По этой причине добавочные сопротивления наматываются из проволоки, изготовленной из специальных сплавов с ничтожным температурным коэффициентом сопротивления.

Из числа подобных сплавов наибольшее распространение имеет манганин (Си 85%, Мп 12%, Ni 3%). Добавочные сопротивления изготавливаются в виде катушек или пластин.

Один и тот же вольтметр с несколькими добавочными сопротивлениями может измерять напряжения различного порядка.

В тех случаях, когда затруднительно или нецелесообразно пропускать через амперметр весь измеряемый ток, параллельно прибору включается шунт, через который пропускается большая часть измеряемого тока (рис. 4). Шунт представляет собой небольшое сопротивление известной величины.

Токи распределяются между шунтом и амперметром обратно пропорционально сопротивлениям соответствующих ветвей:

$$I_w/I_a = R_a/R_w$$

а так как измеряемый ток

$$I = I_w + I_a$$

то, следовательно,

$$I = I_a (I + R_a/R_w) = I_a k_w$$

здесь k_w —шунтовой коэффициент;

в тех случаях, когда шунт делается сменным (в переносных приборах), k_w берется равным 10, 100, 1 000, чтобы упростить подсчет на основании измерения.

1.3. Systèmes des appareils de mesure électrique

Un appareil de mesure électrique à lecture directe comprend un mécanisme de mesure et un circuit de mesure.

Le *mécanisme de mesure*, transforme l'énergie électrique amenée en énergie mécanique de déplacement de la partie mobile et de l'aiguille solidaire de ce dernier.

Le *circuit de mesure* transforme la grandeur électrique mesurée en une grandeur qui lui est proportionnelle et qui agit directement sur le mécanisme de mesure. Ainsi dans un voltmètre, le circuit de mesure comprend une résistance additionnelle et une bobine du mécanisme de mesure. Grâce à la constance de la résistance de ce circuit de mesure le courant qui passe à travers le mécanisme de mesure du voltmètre est proportionnel à la tension mesurée. Le même mécanisme de mesure combiné avec différents circuits de mesure peut servir pour mesurer la tension (en utilisant une résistance additionnelle), le courant (en utilisant un shunt) ou la résistance (d'après un schéma d'un ohmmètre).

Les appareils de mesure électriques sont classés en différents systèmes selon le phénomène physique de mesure utilisé dans ces appareils (généralement pour obtenir le couple moteur).

Les systèmes les plus employés sont: magnétoélectrique, électromagnétique, à induction, électrodynamique et ferrodynamique.

Les mécanismes de mesure magnétoélectriques ne conviennent que pour le courant continu et pour cette raison, afin de mesurer le courant alternatif, on les branche avec les différents convertisseurs qui transforment le courant alternatif à mesurer en courant continu proportionnel à ce dernier. Car la présence de convertisseurs change considérablement les propriétés de l'appareil dans son ensemble et pour cette raison ces appareils sont classés comme appartenant aux systèmes spéciaux: à redresseur, thermoélectrique et électronique.

Dans les *appareils magnétoélectriques* le couple moteur est dû à l'interaction du champ d'un aimant permanent avec le courant parcourant une bobine. Deux principaux types d'appareils magnétoélectriques: appareils à cadre mobile et appareils à aimant mobile.

Dans un *appareil à cadre mobile* (fig. 6) ce dernier est monté avec des supports dans l'entrefer d'un circuit magnétique d'un aimant permanent *NS*. Le cou-

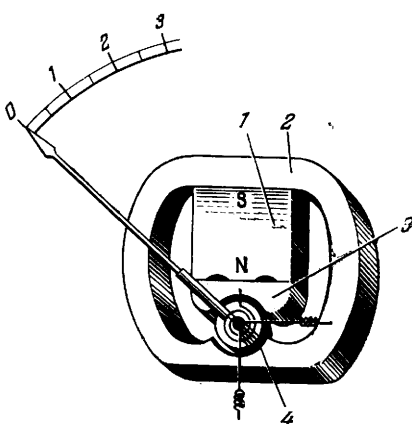


Fig. 6. Mécanisme de mesure magnétoélectrique à cadre mobile:

1 — aimant ; 2 et 3 — circuit magnétique ; 4 — cadre mobile

rant est amené dans le cadre mobile par deux ressorts ou haubans qui en même temps servent à créer le couple antagoniste.

Sur chaque conducteur agit une force électromagnétique égale à

$$F = BIl,$$

où l est la longueur active du conducteur égale environ à la hauteur de la bobine h . La bobine a n spires et un diamètre d , et de cette façon le couple moteur agissant sur l'équipage mobile de l'appareil magnétoélectrique sera:

$$C_m = BIhdn$$

c'est-à-dire que le couple moteur est proportionnel au courant.

$C_m = k_m I$ et puisque le couple antagoniste créé par des ressorts spiraux est proportionnel à l'angle de torsion $C_a = k_r \alpha$, l'angle de rotation de la bobine est proportionnel au courant mesuré:

$$k_r \alpha / k_m = C_a \alpha = I$$

où C_a est la constante de l'appareil (valeur d'une division), c'est-à-dire le nombre par lequel il faut multiplier le chiffre lu exprimé en degrés angulaires de l'échelle ou en divisions, pour obtenir la valeur de la grandeur mesurée.

Lorsque le courant change le sens le couple moteur change également le sens.

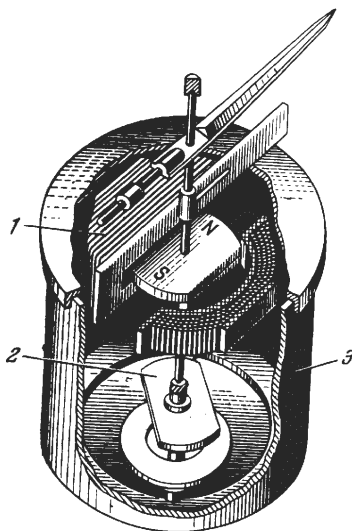


Fig. 7. Mécanisme de mesure magnétoélectrique à aimant mobile:
N—S— aimant mobile;
1 — bobine défectrice;
2 — aimant fixe; 3 — écran ferromagnétique

Pour cette raison en courant alternatif de fréquence industrielle, puisque l'équipage mobile de l'appareil est soumis à des impulsions de sens opposés alternant rapidement, l'aiguille ne quittera pas la position zéro.

La bobine de l'appareil est enroulée sur un cadre d'aluminium. Lorsque la bobine il tourne dans le champ d'un aimant permanent ce cadre représente une spire court-circuitée. Le flux magnétique embrassé par cette spire change au mouvement de la bobine. L'interaction du courant induit dans ce cadre avec le champ magnétique crée un couple de freinage. De cette façon dans un appareil magnétoélectrique est réalisée le principe de l'amortissement des oscillations de l'équipage mobile par courant induit dans le cadre.

Etant donné que le champ magnétique de l'appareil est créé par un aimant permanent, on peut obtenir un couple moteur suffisant même avec de faibles intensités du courant. Les appareils magnétoélectriques sont très sensibles et pour cette raison les galvanomètres qui doivent avoir une grande sensibilité sont, dans la plupart des cas, à système magnétoélectrique.

Un appareil magnétoélectrique supporte facilement les surcharges.

Les champs magnétiques extérieurs influant peu sur les indications des appareils magnétoélectriques car ceux-ci ont un champ magnétique assez fort. La consommation de ces appareils est relativement faible.

Les voltmètres magnétoélectriques sont dotés de résistances additionnelles et les ampèremètres pour les courants supérieurs à 0,1 A de shunts. Le remplacement des shunts et des résistances additionnelles permet d'utiliser le même appareil pour mesurer différentes intensités et tensions. Les appareils de ce système sont utilisés en laboratoire et pour des mesures industrielles en courant continu.

Les *appareils* magnétoélectriques à *aimant mobile* (fig. 7) n'ont pas de ressort. Celui-ci est remplacé par la force directrice d'un aimant permanent fixe. Ces appareils sont de construction simple et de bon marché, mais la précision n'est pas très exacte

grande par suite de l'influence de l'hystérésis. Ils sont utilisés pour des mesures approchées, par exemple sur les tableaux aux bords des automobiles.

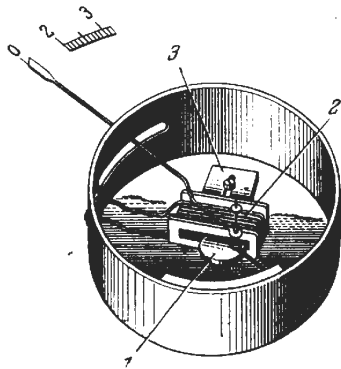


Fig. 8. Appareil électromagnétique à bobine plate et équipement mobile avec haubans

Dans les *appareils électromagnétiques*, le couple moteur est obtenu par l'action du champ magnétique créé par le courant mesuré traversant la bobine fixe de l'appareil sur un noyau ferromagnétique mobile.

On utilise deux sortes d'appareils électromagnétiques: appareils à bobine circulaire et appareils à bobine plate.

Dans un *appareil à bobine plate* (fig. 8) le noyau mobile 1 est avalé par la bobine 2 traversée par le courant à mesurer. Le noyau fixe 3 sert à renforcer le champ magnétique et à régler le couple moteur. Pour protéger l'appareil de mesure contre l'influence des champs magnétiques extérieurs celui-ci est mis sous un écran.

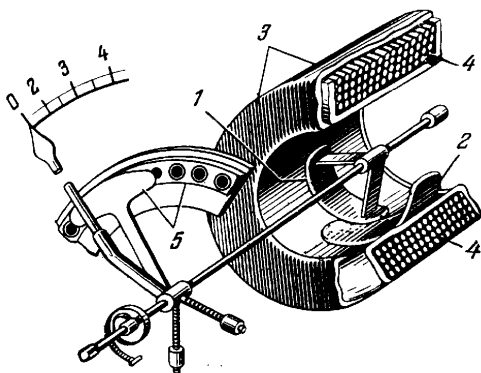


Fig. 9. Appareil électromagnétique à bobine circulaire

Dans un *appareil à bobine circulaire* (fig.9) à l'intérieur de la bobine se trouvent deux noyaux, dont un mobile 1 et un autre fixe 2. Lorsque la bobine 4 est parcourue par le courant les deux noyaux aimantent et la répulsion de leurs même pôles crée un couple moteur. L'écran ferromagnétique 3 est placé directement sur la bobine.

Le couple moteur des appareils de ce système est déterminé par la variation de l'énergie

magnétique $W=LI^2$ lors d'une déviation de l'équipage mobile, c.-à-d. $C_m \sim I^2$

Le couple est donc proportionnel au carré de l'intensité du courant et à la variation de l'inductance du système lors de la rotation de l'équipage mobile. Cette dernière relation ne peut pas être calculée de façon précise et on peut la changer en choisissant convenablement la forme du noyau de fer, sa position dans la bobine, etc. Cela permet d'obtenir par tâtonnements une régularité relative de l'échelle de l'appareil dans la plus grande partie de celle-ci, sauf les divisions initiales (1/5 à 1/10 de l'échelle) qui restent très serrées.

Lorsque le sens du courant change, le sens du couple dans l'appareil ne change pas et pour cette raison l'appareil convient également pour les mesures en courant alternatif.

La quantité de l'acier placée dans le champ magnétique de l'appareil est relativement réduite et les lignes d'induction passent surtout dans l'air. Il en résulte que l'appareil de mesure électromagnétique a une faible sensibilité. Il est donc difficile de construire un ampèremètre électromagnétique prévu pour un faible courant (inférieur à 0,5 A) ou un voltmètre prévu pour une faible tension (inférieure à 10 V). La consommation des appareils électromagnétiques est relativement grande et pour les protéger contre l'action des champs magnétiques extérieurs on est obligé de les doter d'écrans ou de mécanismes astatiques.

La classe de précision des appareils électromagnétiques ne dépasse généralement pas 1,5.

On peut réduire considérablement les erreurs s'ils sont faits de permalloy. On munit de tels noyaux les appareils électromagnétiques portatifs pour lesquels on arrive à assurer une classe de précision de 0,5 et même de 0,2 en courant continu et en courant alternatif à des fréquences allant jusqu'à 1 500 Hz.

L'utilisation large des appareils électromagnétiques s'explique par de nombreux avantages de ceux-ci. Dans un appareil électromagnétique le courant n'est pas amené dans l'équipage mobile et peut construire la bobine fixe avec un fil de cuivre de section suffisante pour supporter les surcharges. Les appareils de ce système supportent facilement les surcharges; en plus, ils sont de construction simple et leur prix est réduit.

Les appareils électromagnétiques sont utilisés surtout pour mesurer les tensions et les courants alternatifs (sauf ceux à haute fréquence). La plupart des ampèremètres et des voltmètres montés dans les installations industrielles sont du type électromagnétique.

Сопротивление шунта $R_{ш}$ — величина относительно малая, порядка 10^{-2} — 10^{-4} Ом; по сравнению с ней существенное значение имеют величины сопротивления контактов и сопротивления соединительных проводов и частей. По этой причине шунты, как и все образцовые малые сопротивления, снабжаются четырьмя зажимами (рис. 14), из которых два m (токовые) служат для включения шунта в цепь измеряемого тока, а два других n (потенциальные) — для присоединения прибора.

Из числа внешних влияний наиболее важным является влияние на $k_{ш}$ температуры; в целях его устранения шунты изготавливаются из манганина.

Системы электроизмерительных приборов

Прибор прямого отсчета состоит из двух основных частей измерительного механизма и измерительной цепи (измерительной схемы).

Назначение *измерительного механизма* — преобразование подводимой к нему электрической энергии в механическую энергию перемещения подвижной части и связанного с ней указателя.

Измерительная цепь преобразует измеряемую электрическую в пропорциональную ей величину, непосредственно воздействующую на измерительный механизм. Один и тот же измерительный механизм в соединении с различными измерительными цепями может служить для измерения напряжения (с добавочным сопротивлением), тока (с шунтом), сопротивления (по схеме омметра).

В зависимости от физического явления, используемого в приборе (обычно для получения вращающего момента), измерительные приборы классифицируются по системам.

Наиболее широкое применение имеют магнитоэлектрическая, электромагнитная, индукционная, электродинамическая и ферродинамическая системы.

Магнитоэлектрические измерительные механизмы пригодны лишь для постоянного тока, поэтому для измерений переменного тока они соединяются с различными преобразователями, преобразующими измеряемый переменный ток в пропорциональный ему постоянный. Так как наличие преобразователей очень существенно изменяет свойства прибора в целом, то магнитоэлектрические приборы с преобразователями классифицируются как принадлежащие к особым системам: выпрямительной, термоэлектрической и электронной.

В *магнитоэлектрических приборах* вращающий момент создается взаимодействием измеряемого тока, проходящего по катушке механизма, с полем постоянного магнита. Существуют два основных типа приборов магнитоэлектрической системы: приборы с подвижной рамкой и приборы с подвижным магнитом.

В *приборе с подвижной рамкой* (рис. 6) последняя устанавливается на опорах в воздушном зазоре магнитной цепи постоянного магнита NS . Ток в рамку подводится через две пружины или растяжки, они же служат для получения противодействующего момента.

На каждый из проводников будет действовать электромагнитная сила:

$$F = BIl,$$

где l — активная длина проводника, приблизительно равная высоте катушки h . Катушка имеет w витков и диаметр d ; таким образом, вращающий момент, воздействующий на подвижную часть механизма,

$$M = BIh2n,$$

т.е. вращающий момент прямо пропорционален току.

$M_{ep} = k_{ep}I$, а так как противодействующий момент, создаваемый спиральными пружинами, прямо пропорционален углу закручивания $M_{ep} = k_{np}\alpha$, то угол поворота катушки прямо пропорционален измеряемому току:

$$k_{np}\alpha/k_{ep} = C_{np} \alpha = I$$

здесь C_{np} — постоянная прибора («цена деления») — число, на которое нужно умножить отсчет, выраженный в угловых градусах шкалы или в делениях, чтобы получить значение измеряемой величины.

При изменении направления тока меняет свое направление и вращающий момент. При переменном токе технической частоты, поскольку подвижная часть прибора, испытывает быстро чередующиеся импульсы противоположного направления, стрелка не будет отклоняться из нулевого положения.

Катушка прибора намотана на алюминиевую рамку. Когда катушка вращается в поле постоянного магнита, эта рамка представляет собой короткозамкнутый виток. Сцепленный с ним магнитный поток меняется при движении катушки. Взаимодействие тока, наводимого в этой рамке, с магнитным полем создает тормозящую силу. Таким путем в магнитоэлектрическом приборе осуществляется принцип магнитоиндукционного успокоителя колебаний подвижной части.

Магнитное поле прибора создается постоянным магнитом, благодаря чему даже при малых токах можно получить достаточный вращающий момент. Магнитоэлектрические приборы весьма чувствительны. По этой причине чувствительные гальванометры в большинстве случаев изготавливаются магнитоэлектрической системы.

Магнитоэлектрический прибор достаточно вынослив к перегрузкам.

Благодаря тому, что магнитоэлектрические приборы обладают сильным собственным магнитным полем, внешние магнитные поля мало влияют на их показания.

Собственное потребление энергии магнитоэлектрическими механизмами относительно мало.

Магнитоэлектрические вольтметры снабжаются добавочными сопротивлениями, а амперметры при токах свыше 0,1 А — шунтами. Замена шунтов и добавочных сопротивлений дает возможность использовать один и тот же механизм для измерения самых различных токов и напряжений.

Магнитоэлектрические приборы применяются для всех лабораторных и промышленных измерений при постоянном токе.

В приборах магнитоэлектрической системы с подвижным магнитом (рис. 7) нет пружины. Ее заменяет направляющая сила неподвижного постоянного магнита. Приборы эти просты по устройству, весьма устойчивы к перегрузкам и дешевы, но точность их низка из-за влияния гистерезиса. Они используются для ориентировочных измерений, например на щитах автомобилей.

В приборах электромагнитной системы вращающий момент создается воздействием магнитного поля измеряемого тока, проходящего по неподвижной катушке прибора, на подвижный ферромагнитный сердечник.

Применяются два типа приборов электромагнитной системы: приборы с круглой катушкой и приборы с плоской катушкой.

В приборе с плоской катушкой (рис. 8) подвижный сердечник 1 втягивается в катушку 2, по которой проходит измеряемый ток. Для усиления магнитного поля и регулирования

вращающего момента служит второй неподвижный сердечник 3. Для защиты от внешних магнитных влияний измерительный механизм со всех сторон закрыт ферромагнитным экраном.

В приборе с круглой катушкой (рис. 9) внутри круглой катушки 4 установлены два сердечника: подвижный 1 и неподвижный 2. Когда по катушке 4 проходит ток, оба сердечника намагничиваются и отталкивание их одноименных полюсов создает вращающий момент. Ферромагнитный экран 3 надет непосредственно на катушку.

Вращающий момент приборов этой системы определяется изменением магнитной энергии $W = LI^2$ при повороте подвижной части, т.е.

$$C_m \sim I^2$$

Следовательно, момент пропорционален квадрату силы тока и изменению индуктивности системы при повороте подвижной части. Последняя зависимость не поддается точному расчету, ее характер можно менять путем соответствующего подбора формы стального сердечника, его положения в катушке и т. д. Это дает возможность добиться относительной равномерности шкалы прибора в большей ее части, кроме начальных делений (1/5—1/10 шкалы), которые остаются сильно сжатыми.

При изменении направления тока направление момента в приборе не изменяется, следовательно, прибор пригоден и для переменного тока.

Количество стали в магнитном поле прибора относительно мало, большая часть пути индукционных линий проходит в воздухе. По этой причине измерительный прибор электромагнитной системы обладает малой чувствительностью. Вследствие этого затруднительно построить электромагнитный амперметр на малую силу тока (примерно меньше 0,5 а) или вольтметр на малое напряжение (примерно меньше 10 В). Потребление энергии приборами электромагнитной системы относительно велико; для защиты от внешних магнитных полей применяются ферромагнитные экраны или астатические механизмы.

Класс точности электромагнитных приборов обычно не выше 1,5.

Погрешности можно сделать незначительными, если изготовить из пермаллоя. Такими сердечниками снабжаются переносные электромагнитные приборы, причем у этих приборов удается обеспечить класс точности 0,5 и даже 0,2 как для постоянного, так и для переменного тока при частоте не свыше 1 500 Гц.

Широкое использование электромагнитных приборов объясняется многочисленными их преимуществами. В его подвижную часть ток не подводится, а неподвижную катушку легко выполнить с достаточным запасом сечения меди на случай перегрузок. Приборы этой системы исключительно выносливы к перегрузкам, дешевы и просты по устройству.

Электромагнитные приборы используются преимущественно для измерения переменных напряжений и токов (кроме высокой частоты). Большинство амперметров и вольтметров в промышленных установках переменного тока принадлежит к электромагнитной системе.

Les *appareils électrodynamiques* sont basés sur le principe de l'interaction des conducteurs parcourus par un courant: deux conducteurs parcourus par des courants de même sens s'attirent mutuellement et ils se repoussent lorsqu'ils sont parcourus par des courants de sens inverse. L'appareil de ce système comprend une bobine fixe 1 et la bobine mobile 2 (fig. 10). Le courant est amené dans la bobine mobile par des ressorts spiraux 3 qui créent en même temps un couple antagoniste. La bobine mobile de l'appareil tend à se placer de façon où la direction de son champ magnétique coïncide avec celle du champ de la bobine fixe. Le couple moteur de l'appareil est proportionnel au produit des courants dans les bobines:

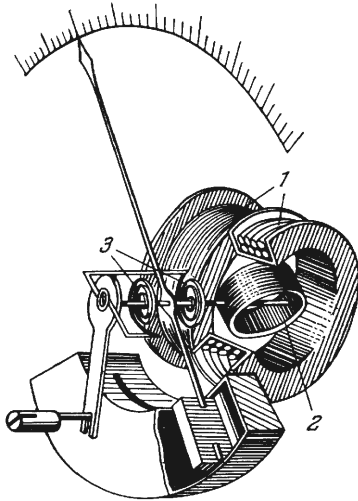


Fig. 10. Appareil électrodynamique

où I_1 et I_2 sont les courants qui parcourent respectivement la bobine fixe et la bobine mobile.

$$C_m \sim I_1 I_2$$

Le champ magnétique de l'appareil est créé dans l'air, donc il est relativement faible; pour obtenir un couple moteur suffisant il faut que la bobine fixe et la bobine mobile possèdent un grand nombre de spires. En

résulta la consommation de l'appareil est relativement grande. L'intensité faible du champ est la cause de la sensibilité réduite de l'appareil et de la grande influence des phénomènes magnétiques extérieurs sur les indications. Par l'absence de l'acier et de la nécessité d'amener le courant dans l'équipage mobile, les appareils électrodynamiques (surtout les ampèremètres) supportent très mal les surcharges. La fabrication de l'appareil est relativement compliquée, ce qui influe sur son grand prix.

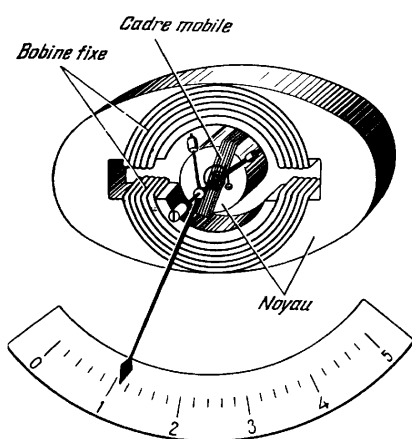


Fig. 11. Appareil ferrodynamique

Lorsque le sens du courant change simultanément dans les deux bobines de l'appareil le sens du couple moteur reste le même, donc l'appareil convient aux courants continu et alternatif, l'échelle reste la même pour les deux sortes de courant. Grâce à l'absence des pièces en acier l'appareil peut être très précis.

On utilise les appareils électrodynamiques aux laboratoires pour la mesure des courants alternatifs et surtout pour la mesure de la puissance. Dans la plupart des cas les wattmètres portatifs sont électrodynamiques.

Les défauts principaux des appareils électrodynamiques ils sont: l'influence forte des champs extérieurs et la faiblesse du couple moteur; ils peuvent être éliminés par

l'introduction de l'acier dans le champ magnétique de l'appareil. Les appareils électrodynamiques à circuit magnétique en fer sont appelés *appareils ferrodynamiques* (fig. 11). Mais l'utilisation de l'acier diminue la précision des appareils par suite de l'influence de l'hystérésis et des courants de Foucault; la construction de l'appareil devient aussi plus compliquée. Pour ces raisons les appareils ferrodynamiques sont employés peu pour des mesures de précision. Ils sont utilisés surtout comme appareils enregistreurs et comme wattmètres de tableau; ces derniers n'ont pas les défauts des wattmètres électrodynamiques et sont beaucoup plus précis que les wattmètres à induction.

Dans les *appareils à induction* (fig. 12) le couple moteur est créé par l'interaction des courants induits dans l'équipage mobile de l'appareil 1 et des flux magnétiques des électroaimants fixes 2 et 3.

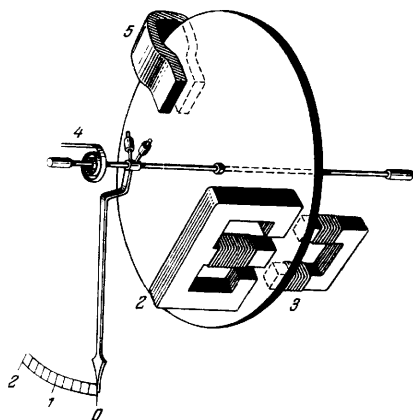


Fig. 12. Appareil d'induction à disque mobile

Le champ tournant résultant de l'appareil est créé par deux ou plusieurs flux magnétiques alternatifs déphasés dans le temps et décalés dans l'espace. Le champ tournant induit des courants de Foucault dans le disque métallique. L'interaction des courants de Foucault avec le champ tournant crée un couple moteur agissant sur l'équipage mobile de l'appareil. Le couple antagoniste est créé par un ressort en spirale 4.

On utilise comme amortisseur un aimant permanent 5 dans le champ duquel se déplace le disque de l'appareil.

Un appareil à induction peut être construit sous forme d'un voltmètre, d'un ampèremètre ou d'un wattmètre. Dans un voltmètre et dans un ampèremètre les bobines sont couplées en parallèle.

Dans le circuit d'un *wattmètre à induction* une bobine est en série et l'autre en parallèle. Grâce à cela le flux d'une bobine est proportionnel au courant I et le flux de l'autre bobine est proportionnel à la tension U .

Le couple moteur est proportionnel à la fréquence f et pour cette raison un appareil à induction ne convient que pour le courant alternatif d'une fréquence bien déterminée. L'influence de la température sur les indications est un défaut important du système à induction, qui rend les appareils à induction insuffisamment précis même pour des mesures industrielles.

Les avantages du système à induction grâce à l'emploi des noyaux de l'acier: les appareils ont un grand couple moteur, ils ne sont pas influencés par les champs magnétiques extérieurs et en plus, vu que le courant n'est pas amené dans l'équipage mobile, ils résistent bien aux surcharges.

On utilise le système à induction dans les compteurs à courant alternatif.

Le choix du type de l'appareil dépend des exigences métrologiques d'utilisation et de fabrication. Lorsqu'on a besoin d'appareils précis, il faut tenir compte du fait qu'en courant continu les classes de précision de 0,1 et 0,2 sont assurées seulement par les appareils magnétoélectriques et en courant alternatif la classe de précision de 0,2 est assurée seulement par les appareils électrodynamiques. Les appareils ferrodynamiques ont une classe de précision qui n'est pas supérieure à 1,0. Les appareils à induction à aiguille assurent une précision de la classe 2,5. Pour la mesure de la puissance on utilise les systèmes électrodynamiques, ferrodynamique et à induction.

1.4. Wattmètres

Pour mesurer la puissance d'un circuit à courant continu on n'a pas besoin d'un appareil spécial car la puissance $P = UI$ peut facilement être calculée d'après les indications d'un voltmètre et d'un ampèremètre. Dans un circuit à courant alternatif un tel calcul est impossible car la puissance du courant alternatif dépend non seulement de la tension et du courant mais aussi du déphasage entre eux. Pour cette raison un wattmètre est indispensable pour mesurer la puissance d'un courant alternatif.

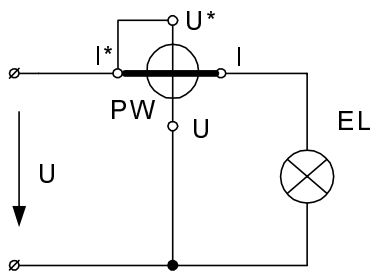


Fig. 13. Schéma branchement d'un wattmètre

$$P = UI \cos \varphi$$

En qualité de wattmètre on peut utiliser un appareil électrodynamique, ferrodynamique ou à induction. Dans un wattmètre électrodynamique la bobine fixe (I^*-I) est branchée en série avec la charge et la bobine mobile (U^*-U) est dotée d'une résistance additionnelle et est branchée parallèlement à la charge.

Le couple moteur d'un appareil électrodynamique est proportionnel au produit des courants dans les bobines fixe et mobile et à la variation de l'inductance mutuelle M des bobines d'après l'angle de rotation.

Pendant le changement de sens du courant dans les deux bobines d'un wattmètre branché dans un circuit à courant alternatif, le sens du couple moteur ne change pas, mais si l'on change les places des bornes de l'un des deux circuits du wattmètre, cela fera changer la phase relative du courant dans la bobine correspondante de 180° et le sens du couple moteur. Pour prévenir la possibilité d'un branchement erroné il faut marquer convenablement sur les bornes les «commencements» et les «fins» relatifs des circuits.

Электродинамические приборы основаны на принципе взаимодействия проводников, по которым проходит ток: два проводника с одинаково направленными токами взаимно притягиваются, с противоположно направленными токами взаимно отталкиваются. Прибор этой системы состоит из неподвижной 1 и подвижной 2 катушек (рис. 10). Ток в подвижную катушку подводится через спиральные пружины 3, которые вместе с тем создают противодействующий момент. Подвижная катушка прибора стремится стать так, чтобы направление ее магнитного поля совпало с направлением поля неподвижной катушки. Вращающий момент прибора пропорционален произведению токов в катушках:

$$M_{\text{вр}} \sim I_1 I_2$$

где $I_1 I_2$ — токи неподвижной и подвижной катушек.

Магнитное поле прибора создается в воздухе, вследствие чего оно относительно слабо, и для получения достаточного вращающего момента необходимо дать неподвижной и подвижной катушкам значительное число витков. В силу этого собственное потребление энергии прибором относительно велико. Слабость поля обуславливает малую чувствительность прибора и зависимость показаний от внешних магнитных влияний. Вследствие отсутствия стали и наличия подвода тока в подвижную часть, электродинамические приборы плохо выносят перегрузку (в особенности амперметр). Изготовление прибора относительно сложно, в силу чего он дорог.

При одновременном изменении направления тока в обеих катушках прибора направление вращающего момента остается неизменным, следовательно, прибор пригоден как для постоянного, так и для переменного токов, причем шкала у прибора для обоих родов тока одна и та же. Благодаря отсутствию стали, прибор может быть сделан весьма точным.

Электродинамические приборы используются при лабораторных измерениях переменного тока, главным образом для измерения мощности. В большинстве случаев переносные ваттметры изготавливаются электродинамической системы.

Основные недостатки электродинамических приборов — сильное влияние внешних полей, и слабость вращающего момента — могут быть устранены посредством введения стали в магнитное поле прибора. Электродинамические приборы со стальным магнитопроводом носят название *ферродинамических* (рис. 11). Однако применение стали уменьшает точность прибора вследствие влияния гистерезиса и вихревых токов; кроме того, конструкция прибора значительно усложняется. В силу этих причин ферродинамические приборы для точных измерений мало пригодны. Они применяются главным образом в качестве регистрирующих приборов и щитовых ваттметров; в качестве последних они не имеют недостатков электродинамических ваттметров и значительно точнее индукционных.

В *индукционных приборах* (рис. 12) вращающий момент создается взаимодействием токов, наводимых в подвижной части прибора 1, с магнитными потоками неподвижных электромагнитов 2 и 3.

Результирующее вращающееся магнитное поле прибора создается двумя или более переменными магнитными потоками, не совпадающими по фазе во времени и по расположению в пространстве. Вращающееся магнитное поле наводит вихревые токи в металле диска. Вихревые токи, взаимодействуя с вращающимся магнитным полем, создают вращающий момент, воздействующий на подвижную часть прибора. Противодействующий момент создается спиральной пружиной 4.

В качестве успокоителя применяется постоянный магнит 5, в поле которого движется диск прибора.

Индукционный прибор может быть сконструирован в виде вольтметра, амперметра и ваттметра. В вольтметре и амперметре катушки прибора соединяются параллельно.

В индукционном ваттметре одна катушка включается последовательно в цепь, а вторая параллельно. Благодаря этому поток одной катушки пропорционален току I , а поток второй катушки напряжению U .

Вращающий момент прямо пропорционален частоте, поэтому индукционный прибор пригоден только для переменного тока одной определенной частоты. Влияние температуры на показания — важный дефект индукционной системы, вследствие которого индукционные приборы оказываются недостаточно точными даже для технических измерений.

Достоинства этой системы обусловлены применением стальных сердечников: приборы имеют большой вращающий момент, не боятся внешних магнитных влияний, а благодаря отсутствию подвода тока в подвижную часть устойчивы к перегрузкам.

Индукционная система применяется в счетчиках переменного тока.

Выбор системы прибора зависит от предъявляемых метрологических эксплуатационных и производственных требований. Если требуются точные приборы, то класс 0,1 и 0,2 могут обеспечить только магнитоэлектрические приборы при постоянном токе и класс 0,2 - электродинамические приборы при переменном токе. Ферродинамические приборы имеют точность не выше класса 1,0. Индукционные стрелочные приборы дают точность лишь по классу 2,5. Для измерения мощности используются электродинамическая, ферродинамическая и индукционная системы.

Ваттметры

Для измерения мощности в цепи постоянного тока не требуется специального прибора, потому что мощность $P=UI$ легко может быть подсчитана по показаниям вольтметра и амперметра. В цепи переменного тока такой подсчет, вообще говоря, невозможен, так как мощность переменного тока зависит не только от напряжения и тока, но и от сдвига фаз между ними. Поэтому для измерения мощности переменного тока необходим ваттметр.

$$P == UI \cos \varphi$$

В качестве ваттметра может быть применен электродинамический, ферродинамический или индукционный прибор. В электродинамическом ваттметре неподвижная катушка включается последовательно с нагрузкой, а подвижная снабжается добавочным сопротивлением и включается параллельно нагрузке.

Вращающий момент у электродинамического прибора пропорционален произведению токов в неподвижной и подвижной катушках.

У ваттметра, включенного в цепь переменного тока, при изменении направления тока в обеих катушках направление вращающего момента не меняется, но если поменять местами зажимы одной из двух цепей ваттметра, то это изменяет относительную фазу тока в соответствующей катушке на 180° и меняет направление вращающего момента. Чтобы предупредить возможность такого неправильного соединения, необходимо, чтобы соответственно были размечены у зажимов относительные «начала» и «концы» цепей.

On appelle généralement les «commencements» *bornes de générateur* car l'aiguille du wattmètre dévie dans le sens convenable si ces deux bornes sont connectées au même pôle de la source du courant (fig.13). Les «commencements» sont marqués sur les bornes de l'appareil par un astérisque (*).

1.5. Compteurs d'énergie électrique

Ces appareils servent à calculer l'énergie reçue par différents consommateurs depuis la centrale électrique ou l'énergie fournie par la centrale au réseau.

L'équipage mobile tourner dans les compteurs et sa vitesse de rotation est proportionnelle à la puissance. Un *couple de freinage* proportionnel à la vitesse de rotation de l'équipage mobile est créé par la rotation d'un disque en aluminium calé sur l'axe de l'équipage mobile et placé entre les pôles d'un aimant permanent (fig. 14).

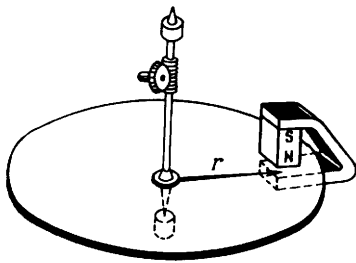


Fig. 14. Disque de freinage et aimant

Dans le disque est induite une force électromotrice proportionnelle au flux de l'aimant permanent et à la vitesse circonférentielle de rotation de la partie du disque se trouvant entre les pôles. Cette force électromotrice crée un courant proportionnel à la conductivité du matériau dont est fait le disque. Le courant dans le disque en interaction avec le flux de l'aimant permanent crée un couple de freinage proportionnel au courant et au flux, c'est-à-dire que le couple de freinage est proportionnel à la vitesse de rotation du disque n [tr/mn] $C_{fr} \sim n$

tation du disque n [tr/mn] $C_{fr} \sim n$

Le couple moteur de l'appareil est proportionnel à la puissance $C_m \sim P$ et pour une vitesse de rotation établie ce couple est égal au couple de freinage $C_{fr} = C_m$ ou $P \sim n$

En multipliant les deux parties de l'égalité par t qui désigne un intervalle de temps déterminé, nous obtenons dans la partie gauche $Pt=W$, soit l'énergie électrique dépensée dans le réseau contrôlé pendant le temps t et dans la partie droite $nt = N$, soit le nombre de tours total du compteur pendant le même temps. Par conséquent,

$$W = C_{compteur}N$$

c'est-à-dire qu'en multipliant le nombre de tours N du compteur par le coefficient $C_{compteur}$ nous obtenons l'énergie dépensée dans le réseau pendant le temps t . La grandeur $C_{compteur}$ est appelée *constante du compteur*. Elle représente la quantité d'énergie électrique dépensée dans le réseau pendant un tour du disque du compteur.

L'axe de l'équipage mobile du compteur, par l'intermédiaire d'une vis sans fin, actionne une *minuterie*. Le rapport de transmission est choisi de façon qu'on puisse d'après la minuterie évaluer non pas le nombre de tours mais directement les kWh.

La fig. 15 présente un *wattheuremètre électrodynamique* à courant continu. Son champ magnétique principal est créé par des bobines fixes 1 en gros fil; ces bobines sont branchées en série avec la ligne et sont parcourues par le courant de service I . L'induit 2 comprend au moins 3 bobines connectées aux lames du collecteur 3 sur lequel frottent les balais 4, en série avec l'induit est branchée une grande résistance additionnelle 6.

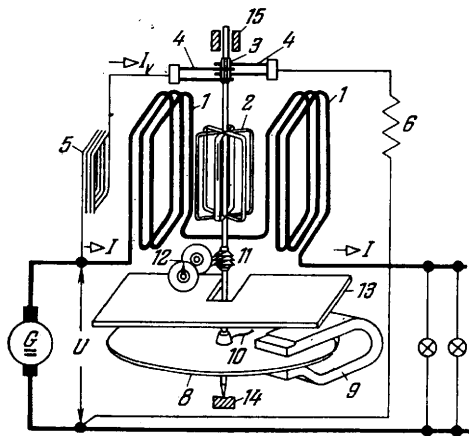


Fig. 15. Schéma d'un *wattheuremètre électrodynamique*

Comme dans tout appareil électrodynamique le couple moteur est proportionnel au produit des courants, on a donc: $C_m \sim UI \sim P$

Le couple de freinage de l'appareil est fourni par le disque 8 qui tourne entre les pôles d'un aimant permanent 9. Ce dernier est protégé

contre l'influence du champ des bobines principales par un écran en tôle d'acier 13. Le couple de freinage: $C_{fr} \sim n$

La vitesse de rotation, surtout pour de faibles charges, est considérablement influencée par le couple de frottement C_f dans les crapaudines 14 et 25, dans la minuterie 11 et 12 et dans l'air. Pour éliminer l'influence perturbatrice du frottement, le compteur est doté d'un *compensateur de frottement* 5 constitué par une petite bobine en série avec l'induit. Le champ de cette bobine est proportionnel au courant traversant l'induit et leur action combinée crée un petit couple moteur auxiliaire qui ne dépend pas de la charge C_{aux} .

Lorsque le compteur fonctionne de façon parfaite on a: $C_f = C_{aux}$. Ces couples s'équilibrent et il reste l'équation fondamentale des couples $C_m = C_{fr}$ d'où nous avons déduit plus haut la relation:

$$W = C_{compteur} N$$

Le couple auxiliaire existe même en l'absence de charge; pour éviter la *rotation spontanée* de l'induit en l'absence de charge, ce qui est possible lorsque la tension U s'élève, le compteur est doté d'un crochet de freinage 10. Ce crochet est constitué par un morceau de fil d'acier soudé à l'axe du compteur et attiré par l'aimant permanent. Ce crochet de freinage empêche la rotation du compteur pouvant avoir lieu sous l'action du seul couple auxiliaire créé par le compensateur de frottement.

Le réglage d'un compteur se fait en déplaçant l'aimant permanent radialement; en effet en modifiant r (fig. 14) on modifie le couple de freinage. Le couple auxiliaire lui se règle en approchant ou en éloignant la bobine du compensateur par rapport à l'induit.

«Начала» принято называть генераторными зажимами, так как стрелка ваттметра отклоняется в надлежащую сторону, если оба эти зажима присоединены к одному и тому же полюсу источника тока (рис. 13). Начала отмечаются у зажимов прибора знаком звездочки (*).

Счетчики электрической энергии

Эти приборы служат для учета энергии, получаемой отдельными потребителями от электрической станции или отдаваемой электрической станцией в сеть.

Подвижная часть в счетчиках вращается, причем скорость ее вращения пропорциональна мощности.

Тормозящий момент, пропорциональный скорости вращения подвижной части, создается посредством вращения алюминиевого диска, насаженного на ось подвижной части счетчика и помещенного между полюсами постоянного магнита (рис. 14).

В диске наводится э. д. с., прямо пропорциональная потоку постоянного магнита и окружной скорости вращения части диска, находящейся между полюсами.

Эта э. д. с. создает ток, прямо пропорциональный удельной проводимости материала диска. Ток в диске, взаимодействуя с потоком постоянного магнита, создает тормозящий момент, прямо пропорциональный току и потоку, т. е. тормозящий момент прямо пропорционален скорости вращения диска, [об/мин]: $M_m \sim n$

Вращающий момент прибора прямо пропорционален мощности: $M_{вр} \sim P$ и при установившейся скорости вращения равен тормозящему моменту $M_m = M_{вр}$

Умножив теперь обе части равенства на t , обозначающее определенный промежуток времени, мы получим в левой части $Pt = W$ — электрическую энергию, израсходованную в контролируемой сети за время t , а в правой части $nt = N$ — суммарное число оборотов счетчика за это же время. Следовательно,

$$W = C_{сч}N,$$

т. е., умножив число оборотов счетчика N на коэффициент $C_{сч}$, мы получим энергию, израсходованную в сети за время t . Величина $C_{сч}$ носит название постоянной счетчика; она представляет собой количество электрической энергии, израсходованной в сети за время одного оборота счетчика.

Ось подвижной части счетчика через посредство червячной передачи приводит во вращение счетный механизм. Передаточное число здесь выбирается так, чтобы по счетному механизму можно было отсчитывать не обороты, а непосредственно киловатт-часы.

Электродинамический счетчик ватт-часов постоянного тока показан на рис.16. Его главное магнитное поле создается неподвижными катушками 1 из толстой проволоки; они включаются последовательно в линию и через них проходит рабочий ток I . Якорь 2 состоит не менее чем из трех катушек, присоединенных к пластинам коллектора 3, по которым скользят щетки 4; последовательно с якорем включено большое добавочное сопротивление 6.

Вращающий момент, как во всяком электродинамическом приборе, пропорционален произведению токов, следовательно

$$M_{вр} \sim UI \sim P.$$

Тормозящий момент прибора создается при помощи тормозного диска 8, вращающегося между полюсами постоянного магнита 9. Этот последний защищен от поля главных катушек стальным экраном 13. Тормозящий момент: $M_m \sim n$

На скорость вращения, в особенности при малых нагрузках, оказывает значительное влияние момент трения $M_{тр}$ в подпятниках 14 и 15, в счетном механизме 11 и 12 и о воздух. Чтобы устранить мешающее влияние трения, счетчик снабжается компенсатором трения 5, который представляет собой небольшую катушку, соединяемую последовательно с якорем. Поле этой катушки пропорциональное току в якоре, взаимодействуя с током в якоре, создает небольшой вспомогательный вращающий момент, не зависящий от нагрузки: $M_{вс}$

При идеальной работе счетчика $M_{тр} = M_{вс}$, и, следовательно, эти моменты взаимно уравновешиваются, и остается основное равновесие моментов $M_{вр} = M_m$, на основании которого, как мы вывели выше:

$$W = C_{сч}N$$

Вспомогательный момент существует, даже когда нет нагрузки: чтобы устранить опасность *самохода*, т. е. безостановочного вращения якоря при отсутствии нагрузки, возможно при повышении напряжения U , счетчик снабжается тормозным крючком 10. Этот последний представляет собой кусок стальной проволоки, припаянной к оси счетчика и притягивающейся к постоянному магниту. Тормозной крючок удерживает счетчик от вращения, которое могло бы возникнуть под действием одного вспомогательного момента, создаваемого компенсатором трения.

Для регулирования счетчика нужно переставлять постоянный магнит и тем самым изменять тормозной момент путем изменения r (рис. 14). Вспомогательный момент регулируется путём приближения или удаления катушки компенсатора по отношению к якорю.

Le travail de laboratoire N°1.1
COUPLAGE DES RECEPTEURS EN PARALLELE ET EN SERIE
AU CIRCUIT A COURANT CONTINU.

Le but du travail: se procurer des pratiques du montage des circuits électriques; prendre connaissance avec les données nominales des récepteurs d'énergie électrique; éclaircir les différences entre les régimes nominaux et effectifs de leur travail; établir des singularités de leur travail au couplage en parallèle et en série.

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 sur le travail.*

L'ordre de l'exécution du travail

1. La définition des données nominales des récepteurs étudiés

Choisir la lampe de la plus grande puissance sur le groupe "a-x" mais du groupe des lampes "b-y" - plus petit, leurs paramètres de base (indique sur le banc) écrire au tableau 1.

2. L'étude du couplage en parallèle des récepteurs

a) *Le choix de la source d'alimentation:*

Selon les paramètres de base des récepteurs (*le tab. 1*) choisir les bornes de la source d'alimentation (220V ou 127V) pour la garantie du régime nominal des lampes;

b) *Monter le circuit selon le schéma de principe (la fig. 1);*

c) *La réalisation des recherches:*

- brancher QF ~ et les interrupteurs dans le circuit des lampes choisies EL1 et EL2;
- les affichages des appareils écrire sur le *tableau 2*;
- estimer la luminance des lampes (vivement ou faiblement) et inscrire sur le *tab. 2*;
- déconnecter la lampe EL1;
- inscrire les résultats d'observation au formulaire du rapport;
- déconnecter l'interrupteur automatique QF ~.

3. L'étude du couplage en série des récepteurs

a) *Monter le circuit selon le schéma de principe (la fig. 2).*

Pour mesurer des tensions connecter au voltmètre les tâteurs mesurent.

b) *La réalisation des recherches:*

- brancher l'interrupteur automatique QF ~,
- brancher les lampes qu'est que sont choisies dans l'art. 1, EL1 et EL2
- mesurer alternativement les tensions U_1 et U_2 [les bornes "a" et "x" (U_1); "b" et "y" (U_2)].
- inscrire les affichages des appareils sur le *tableau 3*.

La tension U est mesurée par le voltmètre qu'est dans la boîte de contrôle (BC).

- inscrire sur le *tableau 3* estimation de luminance des lampes par comparaison avec le couplage en parallèle;
- déconnecter par l'interrupteur la lampe EL1. Le résultat de l'observation inscrire au formulaire du rapport;
- déconnecter OF ~.

4. Métrologie

Paramètres de base des appareils (indique sur l'appareil) inscrire au *tableau 4*.

La présentation du rapport

a) *Les données nominales des récepteurs:*

Calculer et inscrire sur le *tableau 1* les données nominales théoriques des récepteurs recherchés:

- le courant $I_{\text{nom}} = P_{\text{nom}}/U_{\text{nom}}$,
- la résistance $R_{\text{nom}} = U_{\text{nom}}/I_{\text{nom}}$;
- la conductibilité $G = I_{\text{nom}}/U_{\text{nom}}$.

Comparer les paramètres EL1 et EL2

b) *Le couplage en parallèle des récepteurs:*

Selon les données sur le *tableau 2* calculer et inscrire:

- la conductibilité des lampes $G_1 = I_1/U$ et $G_2 = I_2/U$;
- la conductibilité d'équivalent du circuit en parallèle $G_{\text{éq}} = I/U$;
- les puissances des lampes $P_1 = U \cdot I_1$ et $P_2 = U \cdot I_2$.

Pour le schéma étudié faire, écrire dans le rapport et contrôler la première loi de Kirchhoff et l'équation du bilan des puissances.

$$I = I_1 + I_2, \quad (1)$$

$$P = P_1 + P_2 \quad (3)$$

$$G_{\text{éq}} = G_1 + G_2, \quad (2)$$

Ecrire dans le rapport la cause des erreurs.

Comparer les valeurs I_1 et I_2 , P_1 et P_2 du *tab. 2* à leurs valeurs nominales du *tab. 1*.

c) *Le couplage en série des récepteurs:*

Selon les données de *tableau 3* calculer et inscrire:

- les résistances des lampes $R_1 = U_1/I$ et $R_2 = U_2/I$;
- les résistances d'équivalent du circuit en série $R_{\text{éq}} = U/I$;
- les puissances des lampes $P_1 = U_1 \cdot I_1$ et $P_2 = U_2 \cdot I_2$.

Se persuader à la justice de la deuxième loi de Kirchhoff, faire l'équation du bilan des puissances.

$$U = U_1 + U_2, \quad (4) \qquad P = P_1 + P_2, \quad (5)$$

$$R_{\text{éq}} = R_1 + R_2 \quad (6).$$

Comparer les valeurs I , U_1 , U_2 , P_1 , P_2 sur le *tab. 3* avec leurs valeurs nominales.

Лабораторная работа №1.1

ПАРАЛЛЕЛЬНОЕ И ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОЕ СОЕДИНЕНИЯ ПРИЁМНИКОВ В ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЦЕПИ

Цель работы – приобрести навыки сборки электрических цепей, ознакомиться с номинальными данными приемников электроэнергии, уяснить различия между номинальными и фактическими режимами их работы, установить особенности их работы при параллельном и последовательном соединениях.

Домашняя подготовка:

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

Порядок выполнения работы

1. Определение номинальных данных исследуемых приемников

Выбрать из группы «а-х» лампу наибольшей мощности, а из группы ламп «в-у» – наименьшей, их каталожные данные (указанные на стенде) записать в таблицу 1.

2. Исследование параллельного соединения приемников

а) выбор источника питания.

По каталожным данным приемников (таблица1) выбрать зажимы источника питания ($U_{AB}=220$ В или $U_{AN}=127$ В) для обеспечения номинального режима работы ламп;

б) собрать цепь по принципиальной схеме рис. 1;

в) проведение исследований

- включить QF~ и выключатели в цепи выбранных ламп EL1 и EL2.
- показания приборов записать в таблицу 2.
- оценить яркость свечения ламп (ярко или тускло) и внести в таблицу 2;
- отключить лампу EL1.
- записать результат наблюдения в бланк отчёта.
- отключить автоматический выключатель QF~.

3. Исследование последовательного соединения приёмников

а) собрать цепь по принципиальной схеме рис. 2.

Для измерения напряжений подключить к вольтметру измерительные щупы.

б) проведение исследований

- включить автоматический выключатель QF~,
- включить лампы EL1 и EL2, выбранные в п.1.
- измерить поочерёдно напряжения U_1 и U_2 [точки «а» и «х» (U_1); «а» и «у» (U_2)]. Записать показания в таблицу 3.

Напряжение U измеряется вольтметром, находящимся в комплекте измерительных приборов (КИП).

- записать в таблицу 3 оценку яркости свечения ламп в сравнении с параллельным соединением;
- отключить выключателем лампу EL1. Результат наблюдения записать в бланк отчёта.
- отключить OF~.

4. Метрологическое обеспечение лабораторной работы.

Точность измерений обеспечивается применением измерительных приборов высоких классов точности и периодической проверкой этих приборов по образцовым. Для осуществления возможности повторения измерений данные использованных приборов заносятся в табл.4.

Оформление отчета

а) номинальные данные приемников

Вычислить и записать в таблицу 1 расчетные номинальные данные исследованных приемников:

- ток $I_{\text{ном}} = P_{\text{ном}}/U_{\text{ном}}$,
- сопротивление $R_{\text{ном}} = U_{\text{ном}}/I_{\text{ном}}$;
- проводимость $G = I_{\text{ном}}/U_{\text{ном}}$.

Сравнить параметры EL1 и EL2

б) параллельное соединение приемников

По данным таблицы 2 вычислить и записать:

- проводимости ламп $G_1 = I_1/U$ и $G_2 = I_2/U$;
- эквивалентную проводимость параллельной цепи $G_{\text{эКВ}} = I/U$;
- мощности ламп $P_1 = U \cdot I_1$ и $P_2 = U \cdot I_2$.

Для исследуемой схемы: составить, записать в отчете и проверить I-й закон Кирхгофа и уравнение баланса мощностей.

$$I = I_1 + I_2, \quad (1)$$

$$P = P_1 + P_2 \quad (2)$$

$$G_{\text{эКВ}} = G_1 + G_2, \quad (3)$$

Указать в отчете причину возникающих ошибок.

Сравнить значения I_1 и I_2 , P_1 и P_2 из табл. 2 с их номинальными значениями (табл. 1).

в) последовательное соединение приемников

По данным таблицы 3 вычислить и записать:

- сопротивления ламп $R_1 = U_1/I$ и $R_2 = U_2/I$;
- эквивалентное сопротивление последовательной цепи $R_{\text{эКВ}} = U/I$;
- мощности ламп $P_1 = U_1 \cdot I_1$ и $P_2 = U_2 \cdot I_2$.

Убедиться в справедливости II-го закона Кирхгофа, составить уравнение баланса мощностей.

$$U = U_1 + U_2, \quad (4)$$

$$P = P_1 + P_2, \quad (5)$$

$$R_{\text{эКВ}} = R_1 + R_2 \quad (6).$$

Сравнить значения I , U_1 , U_2 , P_1 , P_2 из табл. 3 с их номинальными значениями (табл. 1).

Письменно ответить на вопросы:

1. Как изменится номинальный ток, сопротивление, проводимость при увеличении номинальной мощности (напряжение неизменно)?
2. Каким, при параллельном соединении, должно быть напряжение питания для работы приемников в номинальном режиме?
3. Как распределилось напряжение сети между лампами при последовательном соединении. Ответ объяснить.
4. Какое из соединений последовательное или параллельное необходимо применять для обеспечения независимой работы приемников?
5. Что такое номинальный режим работы приемника электрической энергии, чем он характеризуется?
6. При каких условиях фактический режим работы отличается от номинального?

Compte-rendu
sur le travail de laboratoire № 1.1

«Couplage des récepteurs en parallèle et en série au circuit à courant continu»

Groupe	Nom d'étudiant	Date	Signature du professeur

1. Définition des données nominales des récepteurs

Tableau 1

Lampe	Paramètres de base		Données nominales calculées		
	U_{nom}, V	P_{nom}, W	I_{nom}, A	R_{nom}, Ohm	G_{nom}, Sm
EL1					
EL2					

2. Etude du couplage en parallèle des récepteurs.

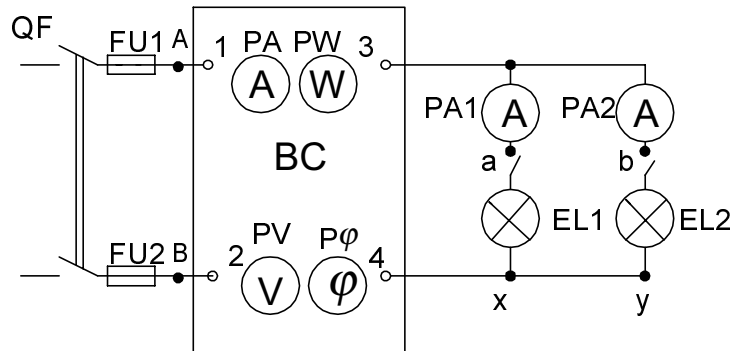


Fig 1. Schema de principe du circuit.

Tableau 2

Données de la mesure					Estimation de l'incandescence des lampes	Données du calculent				
U,V	I,A	I_1,A	I_2,A	P,W		G_1, Sm	G_2, Sm	G_{eq}, Sm	P_1,W	P_2,W

Quand on déconnecte la lampe EL1 celle la lampe EL2

Vérification des corrélations:

1

2

3

Cause des erreurs:

3. Etude du couplage en série des récepteurs.

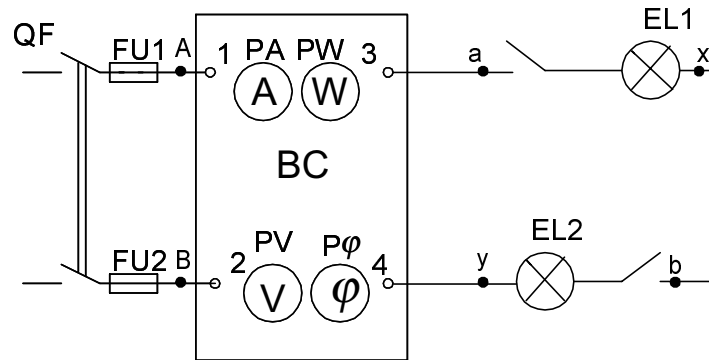


Fig. 2. Schema de principe du circuit.

Tableau 3

Données de la mesure					Estimation de l'incandescence des lampes	Données du calculent				
I,A	P,W	U,V	U ₁ ,V	U ₂ ,V		R ₁ , Ohm	R ₂ , Ohm	R _{équiv} , Ohm	P ₁ ,W	P ₂ ,W

Quand on déconnecte de la lampe EL1 celle la lampe El2

Vérification des corrélations:

4

5

6

Tableau 4

N ^o	Nom de l'appareil	Désignation dans le schéma	Système de l'appareil	Classe de précision	Limite une mesure supérieure
1					
2					
3					
4					
5					

Répondre par écrit aux questions:

1. Comment change le courant du récepteur, la résistance du récepteur et sa conductibilité à l'augmentation de la puissance du récepteur (à la même tension)?
2. Déterminez la tension U pour le travail des lampes dans le régime nominale si les lampes sont connectées en parallèle.
3. Comment s'est distribué la tension du secteur U entre les lampes ($U_1=U_2$, $U_1<U_2$, $U_1>U_2$) si les lampes sont connectées en série? Expliquez la réponse.
4. Quel doit être le couplage (en parallèle et en série) pour assurer le travail normal et indépendant des récepteurs?
5. Est-ce que c'est le régime nominal du travail des récepteurs d'énergie électrique et comment est-il caractérisé?
6. En quelles conditions le régime effectif du travail se distingue du régime nominal?

Le travail de laboratoire №1.2
ETUDE DES REGIMES DE FONCTIONNEMENT DES CIRCUITS
ELECTRIQUES

Le but du travail: l'étude des régimes principaux de travail du circuit réelle électrique; la définition de la puissance limite, qui on peut transporter aux récepteurs dans le circuit électrique, et le mode de son augmentation.

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 sur le travail.*

L'ordre de l'exécution du travail

- a) *Monter le circuit (la fig. 1)*

Le circuit comprenant du modelé de la ligne de transmission (LT) et les récepteurs de l'énergie électrique. Les fils du LT sont suspendus sur les isolateurs et sont connectes aux bornes OL1-EL1 et OL2-EL2 (OL – l'origine; EL – l'extrémité de la ligne). La tension U_1 pour l'entrée du LT (le voltmètre PV1) est amenée par l'interrupteur automatique QF ~ et le coupe-circuit à fusible FU1 pour les bornes A - N du panneau. La tension U_2 sur la sortie du LT (le voltmètre PV2) est amenée pour les récepteurs d'énergie électrique - la lampe à incandescence (les bornes "a-x", "b-y", "c-z"). Le courant de la ligne des transmissions électriques est mesuré par l'ampèremètre PA, mais la puissance – par wattmètre PW;

- b) *Etudier le régime de marche à vide.*

- brancher QF ~
- déconnecter toutes les lampes;
- inscrire dans la ligne 1 de *tableau 2* les affichages des appareils;

- c) *Etudier le régime de fonctionnement du circuit à l'augmentation de la charge.*

- brancher une lampe.
- inscrire dans la ligne 2 de *tableau 2* les affichages des appareils.
- en augmentant le nombre des lampes branchées, remplir les lignes 3 et 7 sur le *tableau 2*.
- faire attention au changement de luminance des lampes, sur la chauffée et la flèche des fils du LT.

Les résultats des observations écrire à le *tableau*.

- d) *Etudier le régime du court-circuit,*

- déconnecter l'interrupteur automatique QF ~
- établir la barrette de connexion "B" entre les bornes "c" et "z" (selon le schéma sur la *fig. 1*),

-
- enclencher QF ~.
 - les affichages des appareils inscrire à la ligne 8 de *tableau 2*.
 - déconnecter QF ~,
 - retirer la barrette de connexion "B".

ATTENTION! En régime du court-circuit l'inscription des affichages des appareils produire plus vite, sans admettre excessif de flèche des fils du LT;

e) *Etudier la possibilité de l'augmentation de la limite de puissance transportée selon LT.*

- augmenter la tension U1 sur l'entrée LT, pour quoi commuter le fil de la borne "N" pour la borne "C" (on est montré par le pointillé sur la fig. 1).
- répéter les études des points *b, c, d*.
- les affichages des appareils inscrire aux lignes 9-16 de *tableau 2*.

La présentation du rapport

a) Selon les données du *tableau 2* pour les lignes 10... 16 calculer la puissance générée par la source dans le circuit $P_1=U \cdot I$, la perte de la puissance dans les fils LT $\Delta P_L=P_1-P_2$ (ou $\Delta P_L=R_{LT} \cdot I^2$), le rendement du circuit $\eta =P_2/P_1$, la résistance de récepteur $R_{ch}=U_2/I$.

b) Selon les données des lignes 10... 16 de *tableau 2* construire les dépendances $U_2=f(I)$, $P_1=f(I)$, $P_2=f(I)$, $\eta =f(I)$. Remarquer pour ceux-ci les points des régimes m.v., c.c., concerté et nominal. Construire la dépendance $P_2=f(I)$ pour la tension inférieure du secteur.

c) Selon les données de l'expérience c.c. (le point 8 ou le point 16) définir la résistance à la ligne des transmissions électriques $R_{LT}=U1/I_{c.c}$. Le résultat du calcul inscrire sur la *fig.1*.

d) Du *tableau 2* au *tableau 3* copier les plus grandes valeurs de la puissance P_2 consommée par les lampes aux tensions de l'alimentation LT U_1 inférieur (A - N) et supérieur (A - C). Les valeurs de ces tensions inscrire au *tableau 3*.

Лабораторная работа №1.2
ИССЛЕДОВАНИЕ РЕЖИМОВ РАБОТЫ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЦЕПИ

Цель работы - исследование основных режимов работы реальной электрической цепи, определение предельной мощности, которую возможно передать приемникам в электрической цепи, и способа ее повышения.

Домашняя подготовка:

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

Порядок выполнения работы

а) собрать цепь (рисунок 1)

Цепь состоит из модели линии электропередачи (ЛЭП) и приемников электроэнергии. Провода ЛЭП подвешены на изоляторах и подключены к зажимам НЛ1-КЛ1 и НЛ2-КЛ2 (НЛ - начало; КЛ - конец линии). Напряжение U_1 на вход ЛЭП (вольтметр PV1) подается через автоматический выключатель QF~ и предохранитель FU1 на зажимы А - N стенда. Напряжение U_2 на выходе ЛЭП (вольтметр PV2) подается на приемники электроэнергии - лампы накаливания (зажимы "а-х", "в-у", "с-з."). Ток линии электропередачи измеряется амперметром РА, а мощность - ваттметром РW;

б) исследовать режим холостого хода.

- включить QF~
- отключить все лампы.
- записать в строке 1 таблицы 2 показания приборов;

в) исследовать режим работы цепи при увеличении нагрузки.

- включить одну лампу.
 - записать в строке 2 таблицы 2 показания приборов.
 - увеличивая число включенных ламп, заполнить строки 3...7 таблицы 2.
 - обратить внимание на изменение яркости ламп, нагрев и провисание проводов ЛЭП.
- Результаты наблюдений записать в таблицу.

г) исследовать режим короткого замыкания

- отключить автоматический выключатель QF~
- установить перемычку "П" между зажимами "с" и "з" (по схеме на рисунке 1),
- включить QF~.
- показания приборов записать в строку 8 таблицы 2.
- выключить QF~,
- снять перемычку "П".

ВНИМАНИЕ! В режиме к.з. запись показаний приборов производить быстро, не допуская чрезмерного провисания проводов ЛЭП;

д) исследовать возможность повышения предела мощности, передаваемой по ЛЭП.

- повысить напряжение U_1 на входе ЛЭП, для чего переключить провод от зажима "N" на зажим "С" (показано пунктиром на рисунке 1).
- повторить исследования по пунктам б, в, г при напряжении U_2 .
- показания приборов записать в строки 9...16 таблицы 2.

Оформление отчета

- а) по данным таблицы 2. для строк 10... 16 рассчитать мощность, генерируемую источником в цепь $P_1=U_1 \cdot I$, потери мощности в проводах ЛЭП $\Delta P_{л} = P_1 - P_2$ (или $\Delta P_{л} = R_{л\text{ЭП}} \cdot I^2$), к.п.д цепи $\eta = P_2/P_1$, сопротивление приемников $R_{н} = U_2/I$.
- б) по данным отрок 10... 16 таблицы 2 построить зависимости $U_2=f(I)$, $P_1=f(I)$, $P_2=f(I)$, $\eta=f(I)$. Отметить на них точки режимов х.х., к.з., согласованного и номинального. Построить зависимость $P_2=f(I)$ при низшем напряжении сети.
- в) По данным опыта к.з. (п. 8 или п. 16) определить сопротивление линии электропередачи $R_{л\text{ЭП}} = U_1/I_{к.з.}$. Результат расчета записать на рисунке 1.
- г) Из таблицы 2 в таблицу 3 выписать наибольшие значения мощности P_2 , потребляемые лампами при низшем (А - N) и высшем (А - С) напряжениях питания ЛЭП U_1 . Значения этих напряжений записать в таблицу 3.

Письменно ответить на вопросы:

1. Как и почему изменяется напряжение U_2 в конце ЛЭП (т.е. на нагрузке) при увеличении тока нагрузки I ? Чему оно равно при х.х.?
2. Как и почему изменяется потребляемая нагрузкой мощность P_2 при непрерывном увеличении тока нагрузки I и мощности источника P_1 ? Какие явления в проводах ЛЭП, наблюдаемые вами, подтверждают ваш ответ?
3. При каком соотношении полезных ($R_{н}$) и вредных ($R_{л\text{ЭП}}$) сопротивлений возникает согласованный режим работы цепи? Почему нецелесообразна работа промышленных ЛЭП в согласованном режиме, несмотря на то, что приемник потребляет в этом режиме максимальную мощность? Какой режим применяется для работы промышленных ЛЭП?
4. Что целесообразно делать для увеличения величины мощности, передаваемой по ЛЭП?

Compte-rendu
sur le travail de laboratoire № 1.2
“Etude des régimes de fonctionnement des circuits électrique à courant continu”

Groupe	Nom d'étudiant	Date	Signature du professeur

1. Schéma de principe du circuit.

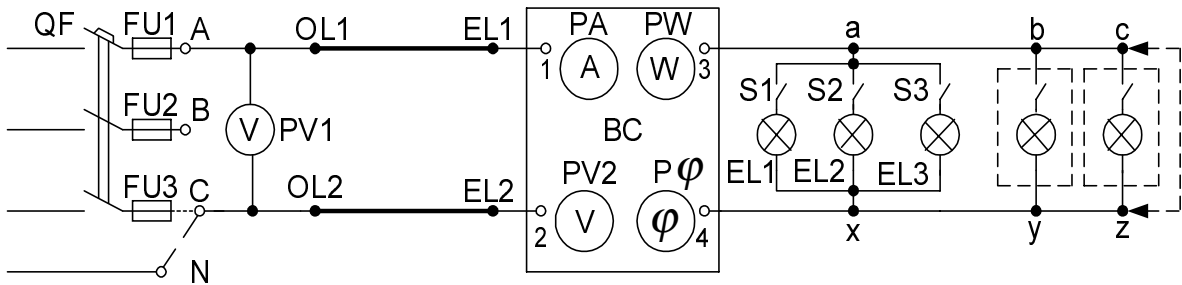


Fig 1.

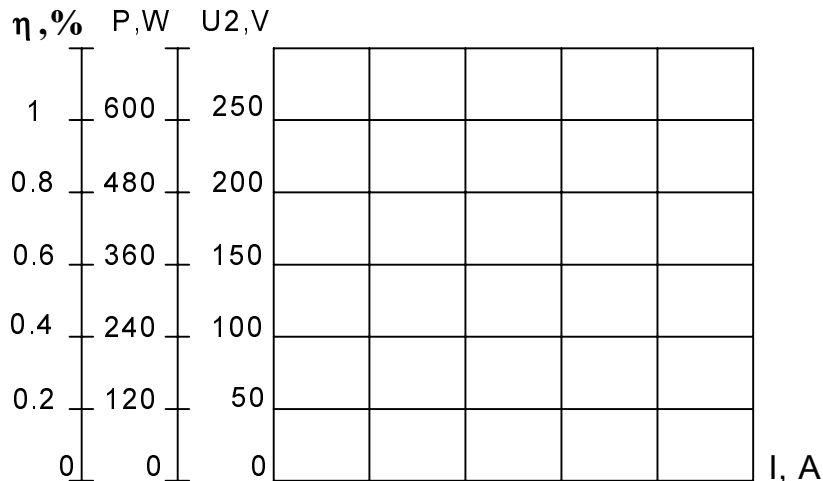
$R_{LT} = \quad \text{Ohm}$

2. Résultats de l'étude du circuit.

Tableau 2

№	Tension d'alimentation	Quantité des lampes	Données de la mesure				L'estimation visuelle		Données du calculent			
			U_1, V	U_2, V	I, A	P_2, W	Luminance des lampes	Flèche des fils	P_1, W	$\eta \%$	$\Delta P_L, W$	R_{ch} hm
1	Supérieur (A - N)	0(m.v.)							 			
2		1										
3		2										
4		3										
5		5										
6		7										
7		8										
8		c.c.										
9	Inférieur (A - C)	0(m.v.)										
10		1										
11		2										
12		3										
13		5										
14		7										
15		9										
16		c.c.										

Dépendances graphiques des résultats des expériences



Puissance maximale transportée selon LT (ligne de transport) et les méthodes d'augmentation de la limite de puissance.

Tableau 3

U_1, V	P_{2max}, W
Inférieur	
Supérieur	

$$\frac{U_{1sup}}{U_{1inf}} = \text{---} = \text{---} ; \quad (1)$$

$$\frac{P_{2max.s}}{P_{2max.i}} = \text{---} = \text{---} ; \quad (2)$$

Répondre par écrit aux questions:

1. Comment et pourquoi change la tension U_2 à la fin de LT (c.-à-d. sur la charge) si on augmente le courant de charge I ? A quoi égale la tension U_2 dans le régime de la marche à vide?
2. Comment et pourquoi change la puissance P_2 consommée par la charge à l'augmentation du courant de la charge I et de la puissance P_1 de la source d'énergie? Quels en LT phénomènes marqués peuvent confirmer votre réponse?
3. Quelle doit être la corrélation entre les résistances utiles (R_{ch}) et les traînées parasites (R_{LT}) nous pourrions obtenir le régime de la puissance maximale? Pourquoi le régime de la puissance maximale ne s'utilise pas pour le travail de LT industrielles malgré que le récepteur consomme la puissance maximale à ce régime? Quel est utilisé régime pour le travail de LT industrielles?
4. Qu'est-ce qu'il faut faire pour augmenter la puissance transportée par LT?

Le travail de laboratoire №1.3

ETUDE DU COUPLAGE SEPARÉ DES RECEPTEURS DIVERS EN CIRCUIT A COURANT ALTERNATIF

Le but du travail: l'étude des paramètres caractérisant les tensions et les courants alternatifs sinusoïdaux; l'établissement des différences qualitatives des processus énergétiques au couplage sur le secteur du courant alternatif d'une résistance pure (R), d'une réactance inductive (U) et d'une réactance capacitive (C); la précision des singularités de l'addition des courants alternatifs (des tensions).

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 sur le travail.*

L'ordre de l'exécution du travail

1. La définition des paramètres des tensions sinusoïdales (des courants)

- a) *Monter le circuit selon le schéma de principe fig. 1*

PV - le voltmètre électromagnétique sur 250 A.

Des entrées "Y" de l'oscillographe électronique (OE) connecter aux bornes A, N;

- b) *Préparer OE au travail.*

Brancher l'interrupteur de OE. Ayant attendu deux - trois minutes, tourner à droite jusqu'à la butée de manette "brillance". En tournant les manettes "à droite - à gauche" (\leftrightarrow) et "en haut - en bas" (\updownarrow) amener le rayon au centre de l'écran. Par la manette "foyer" réduire le rayon au point. Par la manette "brillance" enlever superflu de brillance. Presser les boutons "Balayage" et "1Hz - 10kHz". En tournant les manettes "fréquence" déployer le rayon selon l'horizontale (la ligne de référence du signal).

ATTENTION! Le boîtier d'oscillographe n'est pas mis à la terre et peut être se trouver sous la tension.

Ne pas toucher! Manipuler seulement les manettes isolées et les boutons!

- c) *L'ordre de recherche*

- brancher QF ~;
- inscrire dans le *tableau 1* les affichages du voltmètre PV;
- en tournant la manette "l'amplification selon la verticale" déployer d'image sur OE de manière que d'image mise exactement selon la verticale sur l'écran. En tournant les manettes "fréquence", obtenir d'arrêt de l'image de manière que sur l'écran il y ait deux - trois périodes. Faire attention, que la courbe est disposée aux deux côtés de la ligne de référence.
- transférer la courbe de l'écran OE sur la *fig. 2* de manière que son zéro se trouve sur l'intersection des axes u et t et commence le demi - cycle positif;
- déconnecter QF ~ et l'oscillographe.

2. L'étude du couplage séparé des récepteurs divers en circuit de courant alternatif

a) Le couplage du récepteur actif

- monter le circuit selon le schéma de principe *fig. 3a*. A titre du récepteur actif on utilise le groupe des lampes à incandescence "a-x";
- brancher QF ~ et tous les interrupteurs des lampes "a-x";
- les affichages des appareils inscrire dans le *tableau 2*;
- déconnecter QF ~.

b) Le couplage du récepteur capacitif:

- au lieu des lampes connexion la batterie des condensateurs;
- brancher QF ~, l'interrupteur au circuit de la batterie des condensateurs S (*fig. 3b*) et trois tumblers de la batterie des condensateurs de la capacité selon 20 mkF;
- les affichages des appareils inscrire dans le *tableau 3*. Si l'aiguille du phasemètre s'est appuyée au limiteur, inscrire $\cos\varphi_C = 0$.
- déconnecter QF ~, décharger les condensateurs.

c) Le couplage du récepteur inductif:

- connexion la bobine d'inductance;
- brancher les interrupteurs QF ~ et S au circuit d'inductance L;
- les affichages des appareils inscrire dans le *tableau 4*. Si l'aiguille du phasemètre s'est appuyée au limiteur, inscrire $\cos\varphi_L = 0$.
- déconnecter QF ~.

3. L'étude des singularités de l'addition des grandeurs sinusoïdales (par exemple des courants alternatifs) :

a) La charge active

- monter le circuit (*fig. 5*);
- brancher QF ~;
- brancher les lampes dans les groupes "a-x" et "b-y";
- inscrire dans le *tableau 5* les affichages des ampèremètres PA1 (le courant I_1), PA2 (le courant I_2), PA (le courant I);
- déconnecter QF ~;
- estimer le courant total I , écrire entre les valeurs I_1 et I_2 le signe manquant "+" ou "-";

b) la charge à composantes inductive et capacitive

- monter le circuit selon le schéma *fig. 6*;
- brancher QF ~, les interrupteurs de la bobine d'inductance et les condensateurs. Brancher tant des tumblers de la batterie des condensateurs pour que leur courant I_2 soit moins de courant de la bobine d'inductance I_1 .
- les affichages des appareils inscrire dans le *tab. 5*;

- déconnecter QF ~;
- estimer le courant total I , écrire entre les valeurs I_1 et I_2 le signe manquant "+" ou "-";

c) la charge à composantes capacitive et active

- remplacer la bobine d'inductance L par les lampes "a-x";
- brancher QF ~, l'interrupteur en circuit capacitance C et la lampe du groupe "a-x";
- les affichages des appareils inscrire dans le *tab. 5*;
- déconnecter QF ~;
- estimer, si le courant total I est égal au somme arithmétique $I_1 + I_2$, il est plus grand ou moins de somme arithmétique.

La présentation du rapport

a) Les paramètres des valeurs sinusoïdales

Selon les données du *tab. 1* calculer et inscrire à celle-ci les valeurs de:

- l'amplitude de la tension $U_m = \sqrt{2} U$,
- la vitesse angulaire $\omega = 2\pi f$,
- la période $T = 1/f$.

Indiquer sur la *fig. 2* la période T , positif ($+U_m$) et négatif ($-U_m$) de l'amplitude.

Tracer (compte tenu de l'échelle) sur la *fig. 2* la ligne horizontale correspondant à la valeur efficace de la tension U .

Selon les données du *tab. 1* écrire la formule trigonométrique (1) pour les valeurs instantanées de la tension $u(t)$.

b) Du couplage séparé des récepteurs

- inscrire les résultats des calculs aux *tableaux 2, 3, 4*.
- compte tenu de la tension sinusoïdale donnée à l'art 1 par formule (1), des angles de déphasage $\varphi_a, \varphi_L, \varphi_c$ et les valeurs efficaces des courants I_a, I_L et I_C (le *tab. 2, 3, 4*) écrire au paragraphe 2 (le *tab. 4*) les formules trigonométriques pour les valeurs instantanées des courants i_a, i_L et i_C (la formule 2, 3, 4).
- dans l'échelle $m_i = 1 \text{ A/sm}$ tracer sur la *fig. 4* les vecteurs des courants I_a, I_L, I_C

c) Addition des grandeurs sinusoïdales

- tracer sur la *fig. 8-10* selon une période du courant sinusoïdal i_1 et i_2 conformément pour chacun des courants I_1 et I_2 . Pour chacun de ces cas construire sur la *fig. 8-10* de la sinusoïde totale $i = i_1 + i_2$.
- accomplir l'addition vectorielle des valeurs efficace des courants. (dans l'échelle au *tab. 5*) sur la *fig. 11-13*. Comparer les résultats de l'addition avec les valeurs du courant I pour chaque cas du *tab. 5*.

Inscrivez dans le *tab. 2, 3, 4* à la coté de la produit $U \cdot I_a$; $U \cdot I_c$; $U \cdot I_L$ le symbole littéral et l'unité de mesure de la puissance déterminée par produit cette.

Лабораторная работа №1.3

ИССЛЕДОВАНИЕ ОБОСОБЛЕННОГО ВКЛЮЧЕНИЯ РАЗЛИЧНЫХ ПРИЕМНИКОВ В ЦЕПЬ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

Цель работы - усвоение параметров, характеризующих переменные синусоидальные напряжения и токи; установление качественных различий энергетических процессов при включении в сеть переменного тока резистивного (R), индуктивного (U) и емкостного (C) сопротивлений; уточнение особенностей суммирования переменных токов (напряжений).

Домашняя подготовка:

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

Порядок выполнения работы

1. Определение параметров синусоидальных напряжений (токов):

а) собрать цепь по принципиальной схеме рис. 1

PV - вольтметр электромагнитной системы на 250 В.

Вход "У" электронного осциллографа (ЭО) подключить к зажимам А, N;

б) подготовить ЭО к работе.

Включить выключатель ЭО. Выждав две-три минуты, повернуть вправо до упора ручку «яркость». Вращая ручки ("вправо - влево" \leftrightarrow , "вверх - вниз" \updownarrow) вывести луч в центр экрана. Ручкой "фокус" свести луч в точку; ручкой "яркость" убрать излишнюю яркость. Нажать клавиши "Развертка" и "1Hz - 10kHz". Вращая ручки "частота" развернуть луч по горизонтали (нулевая линия сигнала).

ВНИМАНИЕ: Корпус осциллографа не заземлен и при измерениях может быть под напряжением.

Не прикасаться! Манипулировать только изолированными ручками и кнопками!

в) порядок исследований

- включить QF~.

- записать в табл. 1 показания вольтметра PV и частотомера.

- вращая ручку "усиление по вертикали" развернуть изображение на ЭО так, чтобы оно точно уложилось по вертикали на экране. Вращая ручки "частота", добиться остановки изображения так, чтобы на экране было два-три периода. Обратите внимание, что кривая расположена по обе стороны от нулевой линии.

- перенести кривую с экрана ЭО на рис. 2. так, чтобы ее ноль был на пересечении осей u и t и начинался положительный полупериод.

- отключить QF~ и осциллограф.

2. Исследование обособленного включения различных приемников в цепь переменного тока

а) включение активного приемника:

- собрать цепь по принципиальной схеме рис. 3а. В качестве активного приемника используется группа ламп накаливания "а-х";

- включить QF~, и все выключатели ламп "а-х".

- показания приборов записать в табл. 2.

- отключить QF~.

б) включение емкостного приемника:

- вместо ламп подключить к цепи батарею конденсаторов;
- включить QF~, выключатель в цепи батареи конденсаторов S (рис. 3б) и три тумблера конденсаторов емкостью по 20 мкФ.
- показания приборов записать в табл. 3. Если стрелка фазометра уперлась в ограничитель, записать $\cos\varphi_c = 0$.
- отключить QF~, разрядить конденсаторы.

в) включение индуктивного приемника:

- подключить к цепи индуктивную катушку;
- включить выключатели QF~ и S в цепи L.
- показания приборов записать в табл., 4. Если стрелка фазометра уперлась в ограничитель, записать $\cos\varphi_L = 0$.
- отключить QF~.

3. Исследование особенностей сложения синусоидальных величин (на примере переменных токов):

а) активная нагрузка

- собрать цепь (рис. 5).
- включить QF~. Включить лампы в группах "а-х" и "в-у".
- вписать в табл. 5 показания амперметров PA1 (ток I_1), PA2 (ток I_2), PA (ток I).
- отключить QF~.
- оценить суммарный ток I, вписать между значениями I_1 и I_2 недостающий знак ("+" или "-");

б) индуктивно-емкостная нагрузка

- собрать цепь по схеме рис. 6.
- включить QF~, выключатели катушки и конденсаторов. Включить столько тумблеров конденсаторов, чтобы их ток I_2 был несколько меньше тока индуктивной катушки I_1 .
- показания приборов записать в табл. 5.
- отключить QF~.
- оценить суммарный ток I, вписать между значениями I_1 и I_2 недостающий знак ("+" или "-");

в) активно-емкостная нагрузка

- заменить индуктивную катушку L на лампы "а-х".
- включить QF~, выключатель в цепи C и лампы группы "а-х".
- показания приборов записать в табл. 5.
- отключить QF~.
- оценить, равен ли суммарный ток I арифметической сумме $I_1 + I_2$, больше или меньше арифметической суммы.

Оформление отчета

а) Параметры синусоидальных величин

По данным табл. 1 вычислить и записать в нее значения:

- амплитуды напряжения $U_m = \sqrt{2} U$,

- угловой частоты $\omega = 2\pi f$,
- периода $T = 1/f$.

Указать на рис. 2 период T , положительную ($+U_m$) и отрицательную ($-U_m$) амплитуды.

Провести (с учетом масштаба) на рис. 2 горизонтальную линию, соответствующую действующему значению напряжения U .

По данным табл. 1 записать тригонометрическую формулу (1) для мгновенных значений напряжения $u(t)$.

б) обособленное включение приемников

- Записать результаты вычислений в таблицы 2, 3, 4.
- С учетом синусоидального напряжения, заданного в разд. 1 формулой (1), углов сдвига фаз φ_a , φ_L , φ_C и действующих значений токов I_a , I_L и I_C (табл. 2, 3, 4) записать в разд. 2 (табл. 4) тригонометрические формулы для мгновенных значений токов i_a , i_L и i_C (формулы 2, 3, 4).
- В масштабе $m_i = 1$ А/см отложить на рис. 4 векторы токов I_a , I_L , I_C

в) сложение синусоидальных величин

- Начертить на рис.8–10 по одному периоду синусоидального тока i_1 и i_2 соответственно для каждого из токов I_1 и I_2 . Для каждого из этих случаев построить на рис.8-10 суммарную синусоиду $i = i_1 + i_2$.
- На рис.11-13 выполнить векторное сложение действующих значений токов. (в масштабе по табл. 5). Сравнить результаты сложения с значениями тока I для каждого случая в табл. 5.
- Запишите в табл. 2, 3, 4 рядом с произведением $U \cdot I_a$, $U \cdot I_C$, $U \cdot I_L$ буквенное обозначение и единицу измерения мощности, определяемой этим произведением.

Письменно ответить на вопросы:

1. Какое значение синусоидального напряжения показывает вольтметр PV, а какие значения наблюдаются на ЭО?
2. Какой энергетический процесс имеет место в активном приемнике
3. Сравните произведение $U \cdot I_a$ с показанием ваттметра. Сделайте вывод: полностью ли в активном приемнике ток и напряжение приемника (т.е. $U \cdot I_a$) используются для безвозвратного потребления электроэнергии и преобразования ее в другие виды?
4. Сравните произведение $U \cdot I_C$ с показанием ваттметра. Сделайте вывод о том, происходит ли безвозвратное потребление электроэнергии в емкостном приемнике.
На какой энергетический процесс используется напряжение и ток емкостного приемника?
5. Сравните произведение $U \cdot I_L$ с показанием ваттметра, учитывая, что $P \ll U \cdot I_L$, т.е. $P \approx 0$.
Сделайте вывод о том, происходит ли безвозвратное потребление электроэнергии в идеальном индуктивном приемнике.
На какой энергетический процесс используется напряжение и ток в идеальном индуктивном приемнике?
6. Почему показание прибора PA, определяющего суммарный ток амперметров PA1 (I_1) и PA2 (I_2) в схемах рис. 5, 6, 7 в одних случаях равно арифметической сумме, в других - разности, а в третьих - промежуточному значению?
7. Учитывая, что каждый вектор на плоскости может быть представлен также комплексным числом, сделать вывод: какие методы (синусоид, векторных диаграмм, комплексных чисел) наиболее удобны для сложения синусоидальных величин?

**Compte-rendu
sur le travail de laboratoire № 1.3**

“Etude du couplage séparé des récepteurs divers en circuit à courant alternatif.”

Groupe	Nom d'étudiant	Date	Signature du professeur

1. Définition des paramètres des tensions alternatives sinusoïdales (des courants, de FEM).

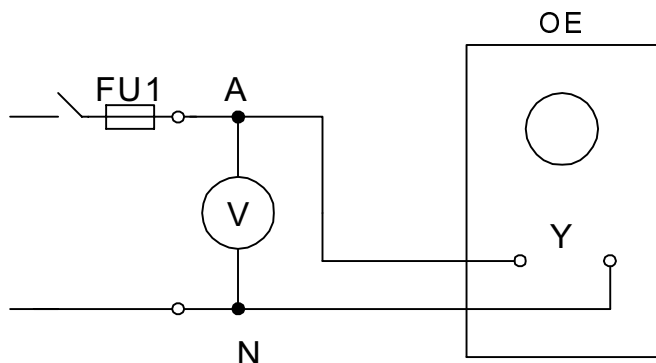


Fig.1. Schéma de principe du couplage des appareils

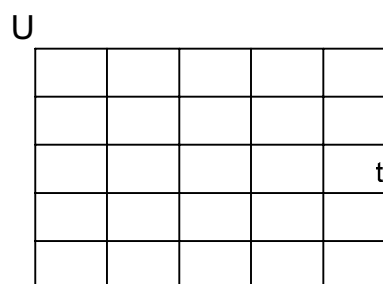


Fig.2. Oscillogramme de tension

Tableau 1

Données de la mesure		Données du calculent		
U, V	f, Hz	U_m, V	$\omega, 1/s$	T, s

$$u(t) = \dots \quad (1)$$

2. Etude du couplage séparé des récepteurs divers.

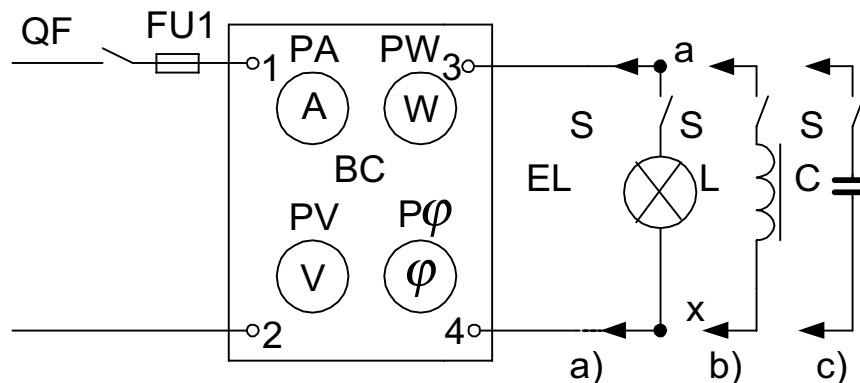


Fig. 3. Schéma de principe du couplage des récepteurs

Couplage du récepteur actif.

Tableau 2

Données de la mesure				Données du calculent			
U, V	I _a , A	P, W	cos φ _a	U*I _a =	φ _a , degré	R, Ohm	G, Sm

Couplage du récepteur capacitif.

Tableau 3

Données de la mesure				Données du calculent			
U, V	I _c , A	P, W	cos φ _c	U*I _c =	φ _c , degré	R _c , Ohm	B _c , Sm

Couplage du récepteur inductif.

Tableau 4

Données de la mesure				Données du calculent			
U, V	I _L , A	P, W	cos φ _L	U*I _L =	φ _L , degré	R _L , Ohm	B _L , Sm

$i_a(t)=$

(2) $i_c(t)=$

(3) $i_l(t)=$

(4)



Fig. 4. Diagramme vectoriel.

3. Etude des singularités de l'addition des grandeurs sinusoïdales (par exemple les courants alternatifs).

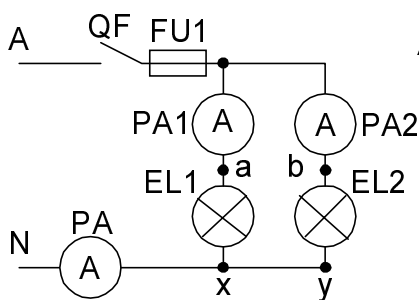


Fig.5

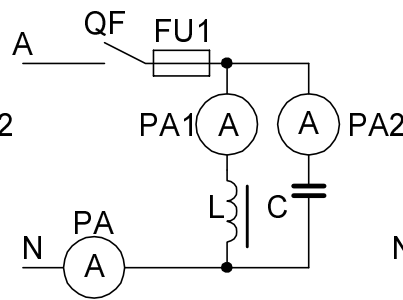


Fig.6

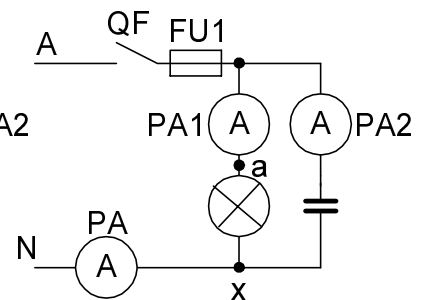
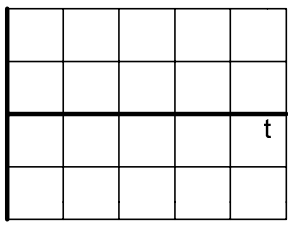
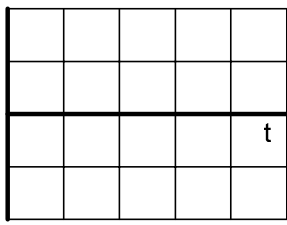
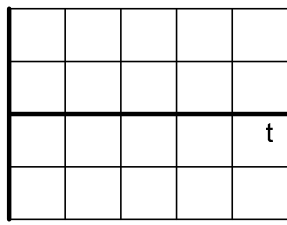
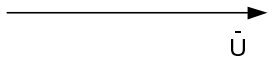
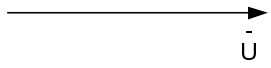
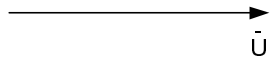


Fig.7

Tableau 5

I1,A	I2,A	I,A	I1,A	I2,A	I,A	I1,A	I2,A	I,A
 Fig.8			 Fig.9			 Fig.10		
 Fig.11			 Fig.12			 Fig.13		

Répondre par écrit aux questions:

1. Quelle valeur de la tension sinusoïdale montre le voltmètre et quelles valeurs sont observées sur l'oscillographe électrique?
2. Quel processus d'énergétique a lieu dans le récepteur actif?
3. Comparez la produit $U \cdot I_a$ avec l'affichage du wattmètre. Tirez la conclusion: dans le récepteur actif courant et la tension du récepteur (c.-à-d. U , I_a) sont totalement utilisés pour de consommation irréversible d'énergie électrique et pour sa conversion en l'autre type?
4. Comparez la produit $U \cdot I_c$ avec l'affichage du wattmètre. Tirez la conclusion: se passe la consommation irréversible d'énergie électrique dans le récepteur capacitif. A quel processus énergétique la tension et le courant de ce récepteur sont utilisés?
5. Comparez la produit $U \cdot I_L$ avec l'affichage du wattmètre. Tenant compte, que $P \ll U \cdot I_L$, c.-à-d. $P \approx 0$; tirez la conclusion: se passe la consommation irréversible d'énergie électrique dans le récepteur inductif idéal. A quel processus énergétique la tension et le courant de ce récepteur sont utilisés?
6. Pourquoi l'affichage de l'appareil PA (courant I) déterminant le courant sommaire des ampèremètres PA_1 (I_1) et PA_2 (I_2) sur les schémas un fig. 5, 6, 7 dans les uns cas est égaux à la somme arithmétique de ces valeurs, dans les autres cas égale à la différence et dans le troisième cas elle correspondre à la valeur intermédiaire?

Le travail de laboratoire №1.4
ETUDE DU COUPLAGE DES RECEPTEURS EN SERIE ET EN PARALLE-
LE AU CIRCUIT A COURANT ALTERNATIF

Le but du travail: l'étude des phénomènes par connexion en série et en parallèle des récepteurs dans les circuits à courant alternatif; la définition des paramètres des schémas du remplacement des récepteurs réels; l'étude de la méthode de l'augmentation du coefficient de puissance des réseaux électriques.

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 sur le travail.*

L'ordre de l'exécution du travail

1. L'étude du couplage en série:

a) *Monter le circuit selon le schéma de principe fig. 1.*

- l'élément actif – le groupe de lampe "a-x";
- l'élément inductif – la bobine L ;
- l'élément capacitif – la batterie des condensateurs C .
- préparer au travail le voltmètre pV2 (l'appareil combiné de mesure I4342)

b) *La réalisation des recherches*

- brancher QF~, les interrupteurs des lampes "a-x", la bobine L et les condensateurs C (S1, S2 et S3 selon le schéma fig. 1).
- brancher la tumbler de la batterie des condensateurs avec l'inscription "20".
- inscrire à la ligne 1 de tab. 1 les affichages des appareils BC ($U, P, I, \cos\varphi$),
- en connectant les tâteurs du voltmètre pV2 vers les bornes des lampes "a-x", la bobine L et la batterie des condensateurs C , mesurer et inscrire dans le tab. 1 de la tension U_a, U_L et U_C .
- la tension réactive U_R mesurer sur le terrain "la bobine L - le condensateur C " ou (que même chose) entre les points "x" et "4" fig. 1;

c) *La résonance de tension (la ligne 2 de tab.1)*

- en changeant la capacité de la batterie des condensateurs à l'aide des tumbler de la batterie, obtenir de la résonance de tension ($U_L=U_C$). La valeur $U_R=U_L-U_C$ doit être égale à la résonance des tensions au zéro.
- déconnecter QF~.

2. L'étude du couplage en parallèle R, L, C et la méthode de l'augmentation du coefficient de puissance dans les réseaux industriels:

a) *Monter le circuit selon le schéma de principe fig. 3*

b) *La réalisation des recherches*

- brancher QF~, deux lampes et la bobine inductive L (S1, S2 selon le schéma fig.3).

-
- inscrire à la ligne 1 de *tab. 2* les affichages des appareils:
 pV1 – la tension dans l'origine du LT (du générateur) U_G ,
 pV2 – la tension dans l'extrémité du LT (des récepteurs) U_{Ch} ,
 pA – le courant dans la partie sans bifurcation du circuit - le courant du LT (I);
 pA1 et pA2 - les courants des récepteurs actif et inductif (I_a, I_L);
 pW - la puissance active consommée par les récepteurs (P);
 - estimer la luminance des lampes ("vivement" ou "faiblement") et la flèche des fils du LT ("visiblement" ou "imperceptiblement").

c) la résonance des courants

- brancher l'interrupteur de la batterie des condensateurs (S3 selon le schéma *fig. 3*).
- en changeant de la capacité de la batterie des condensateurs (les tumblers de la batterie S) obtenir d'égalité approchée $I_L \approx I_C$ (le régime du travail proche de la résonance des courants).
- les affichages des appareils et l'estimation visuelle inscrire à la ligne 2 de *tab. 2*. Estimer la flèche des fils du LT et la luminance des lampes par comparaison avec le cas précédent ("a diminué" ou "s'est agrandi").
- déconnecter QF ~.

La présentation du rapport

a) le couplage en série des éléments

Calculer et inscrire dans le *tableau 1* pour chaque ligne

- de la résistance active ($R = U_d/I$), inductance ($X_L = U_L/I$), capacitance ($X_C = U_C/I$), réactance équivalent ($X = X_L - X_C$), impédance ($Z = U/I$);
- les puissances: inductive $Q_L = U_L * I$, capacitive $Q_C = U_C * I$, réactive équivalent $Q = Q_L - Q_C$, apparente $S = U * I$;
- $\cos\varphi = P/S$;
- l'angle de déphasage φ ;

Construire dans l'échelle les diagrammes vectoriels des tensions U_L, U_C, U_R, U_a et U pour les deux cas (*fig. 2a* et *fig. 2b*).

b) le couplage en parallèle de l'élément

- calculer et inscrire dans le *tableau 2* pour chaque ligne de la valeur $S = U_{Ch} * I$ et $\cos\varphi = P/S$;
- construire dans l'échelle $m_I = 1A$: 1sm les diagrammes vectoriels des courants ($\bar{I}_a, \bar{I}_L, \bar{I}_C, \bar{I}$) pour les deux cas de *tab. 2* (*fig. 4a* et *fig. 4b*).

Лабораторная работа № 1.4
ИССЛЕДОВАНИЕ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОГО И ПАРАЛЛЕЛЬНОГО СОЕДИНЕНИЯ
ПРИЕМНИКОВ В ЦЕПИ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

Цель работы: исследование явлений при последовательном и параллельном соединениях приемников в цепях переменного тока; определение параметров схем замещения реальных приемников; исследование метода повышения коэффициента мощности электрических сетей.

Домашняя подготовка:

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

Порядок выполнения работы

1. Изучение последовательного соединения:

а) собрать цепь по принципиальной схеме рис.1

- активный элемент - группа ламп «а-х»,
- индуктивный элемент - катушка L;
- емкостной элемент - батарея конденсаторов С.
- подготовить к работе вольтметр pV_2 (комбинированный измерительный прибор Ц4342).;

б) проведение исследований

- включить QF_~, выключатели ламп «а-х», катушки L и конденсаторов С (S_1 , S_2 и S_3 по схеме рис.1);
- включить тумблер батареи конденсаторов с надписью «20»;
- записать в строку 1 табл.1 показания приборов КИП (U , P , I , $\cos\varphi$);
- подключая щупы вольтметра pV_2 к зажимам ламп «а-х», катушки L и батареи конденсаторов С, измерить и записать в табл.1 напряжения U_a , U_L и U_C ;
- реактивное напряжение U_P измерять на участке «катушка L- конденсатор С» или (что, то же самое) между точками «х» и «4» (рис.1).

в) резонанс напряжений (строка 2 табл.1)

- изменяя ёмкость батареи конденсаторов при помощи тумблеров батареи, добиться резонанса напряжений $U_L=U_C$. Значение $U_P=U_L-U_C$ при резонансе напряжений должно быть равно нулю или близким к нулю $U_P\approx 0$ (добиться минимального значения).
- записать в строку 2 табл.1 показания приборов;
- отключить QF_~.

2. Изучение параллельного соединения R, L, C и метода повышения коэффициента мощности в промышленных сетях:

а) собрать цепь по принципиальной схеме рис.3.

Эта цепь имитирует схему электроснабжения промышленного предприятия. Жирно выделена модель линии электропередачи (НЛ1–КЛ1 и НЛ2-КЛ2).

Группа ламп «а-х» и индуктивная катушка L имитируют активно-индуктивные приёмники предприятия.

Емкостной элемент С, цепь которого показана пунктиром, имитирует устройство для повышения коэффициента мощности – конденсаторные батареи, дополнительно устанавливаемые на предприятиях;

б) проведение исследований (строка 1 табл.2)

- включить QF_~, две лампы и индуктивную катушку L (S₁, S₂ по схеме рис.3).
- записать в строку 1 табл.2 показания приборов:
 pV_1 – напряжение в начале ЛЭП (генератора) U_g ,
 pV_2 – напряжение в конце ЛЭП (приемников) U_n ,
 pA – ток в неразветвленной части цепи – ток ЛЭП (1);
 pA_1 и pA_2 – токи активного и индуктивного приёмников (I_a , I_L);
 pW – активная мощность, потребляемая приёмниками (P);
- дать оценку яркости ламп и провисания проводов ЛЭП. Оценка яркости производить словами: «ярко» или «тускло»; оценку провисания проводов – «заметно» или «не заметно»;
- в) резонанс токов (строка 1 табл.2)
 - включить выключатель батареи конденсаторов (S₃ по схеме рис.3).
 - изменяя ёмкость батареи конденсаторов (тумблерами S) добиться приближенного равенства $I_L \approx I_C$ (режим работы близкий к резонансу токов).
 - показания приборов и визуальную оценку записать в строку 2 табл.2. Оценка провисания проводов ЛЭП и яркости ламп производить в сравнении с предыдущим случаем - «уменьшилось» или «увеличилось».
 - отключить QF_~.

Оформление отчёта

а) последовательное соединение элементов

Вычислить и записать в табл.1 для каждой строки:

- сопротивления: активное ($R=U_a/I$), реактивные ($X_L=U_L/I$, $X_C=U_C/I$), эквивалентное реактивное ($X=X_L-X_C$), полное ($Z=U/I$);
- мощности: индуктивную $Q_L=U_L \cdot I$, ёмкостную $Q_C=U_C \cdot I$, эквивалентную реактивную $Q=Q_L-Q_C$, полную $S=U \cdot I$;
- $\cos\varphi=P/S$;
- угол сдвига фаз φ ;

Построить в масштабе векторные диаграммы напряжений \vec{U}_a , \vec{U}_L , \vec{U}_C , \vec{U}_P и \vec{U} для обоих случаев (рис.2а и рис.2б).

б) параллельное соединение элементов

- вычислить и занести в табл.2 для каждой строки значения $S=U_n \cdot I$ и $\cos\varphi=P/S$;
- построить в масштабе $m_I=1A$: 1см векторные диаграммы токов (\vec{I}_a , \vec{I}_L , \vec{I}_C , \vec{I}) для обоих случаев табл.2 (рис.4а и рис.4б).

Письменно ответить на вопросы:

1. От каких параметров цепи зависит угол сдвига фаз φ и в каких пределах он изменяется?
2. При каком соединении индуктивной катушки и конденсатора и при каком соотношении между X_L и X_C имеет место резонанс напряжений?
3. Почему, для определения полного сопротивления цепи, нельзя арифметически складывать составляющие R, X_L и X_C ? А как надо?
4. Какие составляющие имеет ток I в ЛЭП и какие мощности поступают по ЛЭП от источника к приёмнику до компенсации? После компенсации.
5. К каким положительным явлениям приводит компенсация реактивной мощности приёмника?

Compte-rendu
sur le travail de laboratoire № 1.4
“Etude du couplage en série et en parallèle des récepteurs au circuit à courant alternatif.”

Groupe	Nom d'étudiant	Date	Signature du professeur

1. Etude du couplage en série de R, L, C.

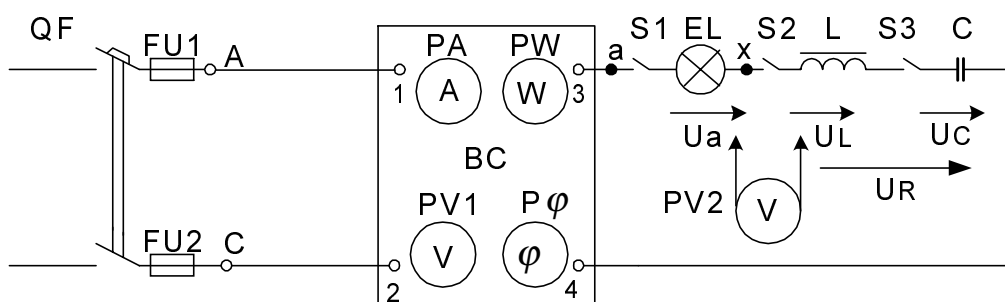


Fig. 1. Schema de principe du couplage en serie R,L,C.

Tableau 1

Données de la mesure							
Nº	U,V	I,A	P,W	U _a ,V	U _L ,V	U _C ,V	U _R ,V
1							
2							

Suite du tableau1

Données du calculent										
R,Ohm	X _L ,Ohm	X _C ,Ohm	X,Ohm	Z,Ohm	Q _L ,VAr	Q _C ,VAr	Q,VAr	S,VA	cos φ	φ

a) $X_L > X_C$ ou $X_L < X_C$;
 (pour la première ligne du tabl.1)
 échelle

b) $X_L = X_C$.
 (pour la deuxième ligne du tabl.1)
 échelle



Fig.2. Diagrammes vectoriels aux corrélations différents X_L et X_C .

2. Etude du couplage en parallèle R, L, C et de la méthode d'augmentation du facteur de puissance ($\cos \varphi$) dans le réseau industriel.

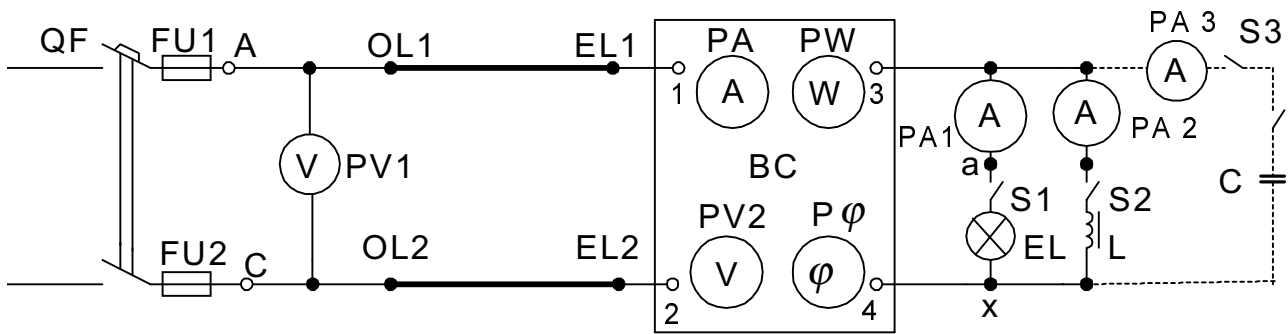


Fig.3. Schema de principe du modèle de l'alimentation en énergie électrique c l'entreprise

Tableau 2

Données de la mesure								Estimation visuelle		Données du calcul	
N ^o	$U_G,$ V	$U_R,$ V	I, A	$I_a,$ A	$I_L,$ A	$I_c,$ A	P, W	Flèche des fils	Luminance des lampes	S,VA	$\cos \varphi$
1											
2											

a) pour la première ligne du tabl.2

b) pour la deuxième ligne du tabl.2



Fig.4. Diagrammes vectoriels avant et après la compensation

Répondre par écrit aux questions:

- De quel paramètre du circuit dépend l'angle de déphasage φ et dans quelles limites il est varié?
- Au quel couplage de la bobine d'inductance et de condensateur et à laquelle corrélation entre X_L et X_C a lieu la résonance série?
- Pourquoi pour déterminer l'impédance du circuit on ne peut pas additionner arithmétique les composantes R, X_L et X_C ? Et comment faut-il?
- Quelles composantes ont le courant I dans LT et quelles puissances entrent de la source au récepteur avant la compensation? Après la compensation
- Aux quels phénomènes positifs mène la compensation de la puissance réactive du récepteur?

Le travail de laboratoire №1.5
ETUDE DES REGIMES DE FONCTIONNEMENT DES CIRCUITS
TRIPHASEES DE COURANT ALTERNATIF

Le but du travail: l'assimilation des notions principales des circuits triphasés; des différences entre les récepteurs symétriques et dissymétriques triphasés; de rôle du conducteur neutre.

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 sur le travail.*

L'ordre de l'exécution du travail

1. L'étude du travail du circuit triphasé au couplage du récepteur en étoile

- a) *Monter le circuit du récepteur triphasé selon le schéma de principe fig. 1.*

"a-x", "b-y" et "c-z" - les phases du récepteur triphasé;

le point commun x, y, z – neutre du conducteur n ;

PA1 - PA4 - les ampèremètres du système électromagnétique pour le courant 5A;

PV - le voltmètre du système électromagnétique sur 250 V.

Inscrire sur (fig. 1) la tension nominale U_{nom} des lampes utilisées à titre des récepteurs.

- b) *L'étude du travail du récepteur symétrique:*

- brancher QF~.

- brancher dans chaque phase à trois lampes (le récepteur symétrique triphasé).

- avec le voltmètre PV mesurer les tensions composées sur le récepteur: U_{ab} , U_{bc} , U_{ca} (aux bornes des lampes "a" et "b", "b" et "c", "c" et "a"), ainsi les tensions simple U_a , U_b , U_c (aux bornes "a" et "x", "b" et "y", "c" et "z"). Les résultats de mesures et les affichages des ampèremètres inscrire à la ligne 1 de tab. 1.

- déconnecter QF~.

- c) *L'étude du travail du récepteur dissymétrique au circuit triphasé à quatre fils.*

- brancher QF~ et les lampes dans les phases selon la ligne 2 de tab. 1.

- les résultats des mesures inscrire à la ligne 2 de tab. 1.

- déconnecter QF~.

- d) *L'étude du travail du récepteur dissymétrique au circuit triphasé à trois fils.*

- déconnecter le conducteur neutre.

- brancher QF~.

- les résultats des mesures inscrire à la ligne 3 de tab. 1.

- déconnecter QF~.

- e) *Le branchement du récepteur monophasé sur la tension de phase.*

- restaurer le circuit du conducteur neutre.

- brancher QF~.
- brancher les lampes seulement dans la phase "a-x" (trois lampes).
- à la *ligne 4* de *tab. 1* inscrire les valeurs de tension U_a , les courants I_a et I_n .
- déconnecter QF~.

2. L'étude du travail du circuit triphasé au couplage du récepteur en triangle

a) *Monter le circuit selon le schéma de principe de fig. 3.*

Se débrouiller au banc, quels ampèremètres montreront les courants des lignes, mais quels – les courants des phases.

b) *L'étude du travail du récepteur symétrique.*

- brancher QF~.
- brancher dans chaque phase à trois lampes (le récepteur symétrique triphasé).
- mesurer et inscrire à la *ligne 1* de *tab. 2* les valeurs des tensions composées U_{ab} , U_{bc} , U_{ca} .
- inscrire les affichages des ampèremètres à la *ligne 1* de *tab. 2*.

c) *L'étude du travail du récepteur dissymétrique.*

- brancher la quantité diverse de lampes dans les phases selon la *ligne 2* de *tab. 2* (le récepteur dissymétrique triphasé).
- les résultats des mesures inscrire à la *ligne 2* de *tab. 2*.
- comparer, si l'incandescence des lampes identiques dans les phases diverses.

d) *Le branchement du récepteur monophasé sur la tension composée.*

- brancher les lampes seulement dans la phase "a-x" (trois lampes).
- inscrire les valeurs des courants I_a , I_b , I_{ax} à la *ligne 3* de *tab. 2*.
- déconnecter QF~.

La présentation du rapport

a) *Le schéma de principe.*

Sur *fig. 1* dessiner le schéma de la source triphasée d'énergie d'électricité connecte en étoile au conducteur neutre et partant de lui les conducteurs linéaire et neutre.

Indiquer par les flèches les directions positives la force électromotrice (FEM) de phase (E_a , E_b , E_c), des tensions simples (U_a , U_b , U_c) et composées (U_{ab} , U_{bc} , U_{ca}).

Inscrire sous le schéma du circuit de la source triphasée des valeurs de tension composée et simple de source (selon les données de la *ligne 1* le *tab. 1*).

b) *Le schéma "étoile"*

Construire dans l'échelle 1A:1cm les diagrammes vectoriels des courants du récepteur.

Sur *fig. 2a* - pour le récepteur symétrique selon les données de la *ligne 1* de *tab. 1*.

Sur *fig. 2b* - pour le récepteur dissymétrique selon les données de la *ligne 2* de *tab. 1*.

L'INSTRUCTION: à la construction des diagrammes vectoriels prendre en considération, que pour les lampes du récepteur actif $\cos \varphi = 1$ (l'angle de déphasage entre la tension simple et le courant par phase $\varphi = 0^\circ$).

Le courant de neutre sur *fig. 2b* construire selon la formule vectorielle $\bar{I}_n = \bar{I}_a + \bar{I}_b + \bar{I}_c$. Le résultat comparer avec par la valeur mesurée (la ligne 3 de *tab. 1*).

c) *Le schéma "triangle"*.

Choisir l'échelle pour la construction des diagrammes vectoriels des courants des phases et des lignes du récepteur couplé en triangle. Sur *fig. 4a* construire le diagramme pour le récepteur symétrique selon les données de la *ligne 1* de *tab. 2*. Sur *fig. 4b* - le diagramme pour le récepteur dissymétrique selon les données de la *ligne 2* de *tab. 2*.

Les courants des lignes construire à l'aide des formules vectorielles: $\bar{I}_a = \bar{I}_{ax} - \bar{I}_{cz}$,
 $\bar{I}_b = \bar{I}_{by} - \bar{I}_{ax}$, $\bar{I}_c = \bar{I}_{cz} - \bar{I}_{by}$.

Les valeurs des courants I_a, I_b, I_c comparer avec inscrit aux *lignes 1* et *2* de *tab. 2*.

Répondre par écrit aux questions:

1. Quels deux systèmes des tensions forment la source au montage en l'étoile avec le conducteur neutre?

A quoi égal l'angle de déphasage entre les tensions en chacun de ces systèmes? Quel est la corrélation entre les valeurs des tensions de ces systèmes ?

2. Pourquoi le travail du circuit dissymétrique triphasé est inadmissible sans conducteur neutre?

Quelles sont acceptées mesures pour exclure le débranchement accidentel du conducteur neutre ?

3. Aux frais de quelles deux fonctions du conducteur neutre sont assurées les conditions normales et indépendantes du travail des phases des récepteurs dissymétriques au montage en étoile?

4. En comparant la tension nominale U_{nom} des lampes avec la tension du secteur simple U_{ph} (*fig. 1*), répondre: si on assure le travail normal des lampes au montage en étoile sur le secteur donné?

5. Quelle corrélation est entre les courants par phase et en ligne du récepteur symétrique au montage en triangle dans le circuit triphasé?

Contrôlez, si est-il accompli pour les valeurs mesurées (selon les données de la ligne 1 de *tab. 2*)?

6. Expliquer, pourquoi au montage en triangle du récepteur le courant par phase I_{ax} à 2 et 3 cas (la ligne 2 et 3) n'a pas changé?

Est-ce que se conservé la corrélation entre les courants par phase et en ligne $I_L = \sqrt{3} I_{ph}$ pour ces cas?

7. Expliquer, pourquoi au montage en triangle des lampes données au réseau donné on assure leur travail normal?

Лабораторная работа №1.5

ИССЛЕДОВАНИЕ РЕЖИМОВ РАБОТЫ ТРЕХФАЗНЫХ ЦЕПЕЙ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

Цель работы - усвоение основных понятий трехфазных цепей; различий между симметричными и несимметричными трехфазными приемниками; роли нейтрального провода.

Домашняя подготовка:

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

Порядок выполнения работы

I. Исследование работы трехфазной цепи при включении приемника звездой

а) Собрать цепь трехфазного приемника по принципиальной схеме рис. 1.

"а-х", "в-у" и "с-z" - фазы трехфазного приемника;

Общая точка х, у, z - нейтраль приемника n.

РА1 - РА4 - амперметры электромагнитной системы на ток 5А;

PV - вольтметр электромагнитной системы на 250 В.

Записать на (рис. 1) номинальное напряжение $U_{ном}$ ламп, используемых в качестве приемников.

б) *Исследование работы симметричного приемника:*

- включить QF~.

- включить в каждой фазе по три лампы (симметричный трехфазный приемник).

- вольтметром PV измерить линейные напряжения на приемнике: $U_{ав}$, $U_{вс}$, $U_{са}$ (на зажимах ламп "а" и "в", "в" и "с", "с" и "а" соответственно), а также фазные напряжения U_a , U_b , U_c (на зажимах "а" и "х", "в" и "у", "с" и "z"). Результаты измерений и показания амперметров записать в строку 1 табл. 1.

- отключить QF~.

в) *Исследование работы несимметричного приемника в трехфазной четырехпроводной цепи*

- включить QF~ и лампы в фазах, согласно строке 2 табл. 1

- результаты измерений записать в строку 2 табл. 1.

- отключить QF~.

г) *Исследование работы несимметричного приемника в трехфазной трехпроводной цепи*

- отсоединить нейтральный провод

- включить QF~.

- результаты измерений записать в строку 3 табл. 1.

- отключить QF~.

д) *Включение однофазных приемников на фазное напряжение*

- восстановить цепь нейтрального провода.

- включить QF~.

- включить лампы только в фазе "а-х" (три лампы).

- в строку 4 табл. 1 записать значения напряжения U_a , токов I_a и I_n .

- отключить QF~.

2. Исследование работы трехфазной цепи при включении приемника треугольником

а) Собрать цепь по принципиальной схеме рис. 3.

Разобраться на стенде, какие амперметры будут показывать линейные токи, а какие - фазные.

б) Исследование работы симметричного приемника

- включить QF~.

- включить в каждой фазе по три лампы (симметричный трехфазный приемник). - измерить и записать в строку 1 табл. 2 значения линейных напряжений $U_{ав}$, $U_{вс}$, $U_{са}$.

- записать показания амперметров в строку 1 табл. 2.

в) Исследование работы несимметричного приемника

- включить различное количество ламп в фазах согласно строке 2 табл.2 (несимметричный трехфазный приемник).

- результаты измерений записать в строку 2 табл.2.

- сравнить, одинаков ли накал одинаковых ламп в различных фазах.

г) Включение однофазного приемника на линейное напряжение

- включить лампы только в фазе "а-х" (три лампы).

- записать значения токов I_a , I_b , $I_{ах}$ в строку 3 табл. 2.

- отключить QF~.

Оформление отчета

а) принципиальная схема

На рис. 1 дорисовать схему трехфазного источника электроэнергии, соединенного звездой с нейтральным проводом, и отходящие от него линейные и нейтральный провода.

Указать стрелками положительные направления фазных эдс (E_a , E_b , E_c) фазных (U_a , U_b , U_c) и линейных ($U_{ав}$, $U_{вс}$, $U_{са}$) напряжений.

Записать под схемой цепи трехфазного источника значения фазного и линейного напряжений источника (по данным строки 1 табл. 1).

б) схема соединения «звезда»

Достроить в масштабе 1А:1см векторные диаграммы токов приемника. На рис. 2а - для симметричного приемника по данным строки 1 табл. 1, на рис. 2б - для несимметричного приемника по данным строки 2 табл. 1.

УКАЗАНИЕ: при построении векторных диаграмм учесть, что для ламп - активного приемника, $\cos\varphi = 1$ (угол сдвига фаз между фазным напряжением и током $\varphi = 0^\circ$).

Ток нейтрали на рис. 2б построить по векторной формуле $\bar{I}_n = \bar{I}_a + \bar{I}_b + \bar{I}_c$.

Результат сравнить с измеренным значением (строка 3 табл. 1).

в) схема соединения «треугольник»

Выбрать масштаб для построения векторных диаграмм фазных и линейных токов приемника, включенного треугольником. На рис. 4а - диаграмму для симметричного приемника по данным строки 1 табл. 2. На рис. 4б - диаграмму для несимметричного приемника по данным строки 2 табл. 2.

Линейные токи строить с помощью векторных формул: $\bar{I}_a = \bar{I}_{ах} - \bar{I}_{сз}$, $\bar{I}_b = \bar{I}_{by} - \bar{I}_{ах}$, $\bar{I}_c = \bar{I}_{сз} - \bar{I}_{by}$.

Полученные значения токов I_a , I_b , I_c сравнить с записанными в строках 1 и 2 табл. 2.

Письменно ответить на вопросы:

1. Какие две системы напряжений образует источник, соединенный звездой с нейтральным проводом? Чему равен угол сдвига фаз между напряжениями в каждой из этих систем? Какое соотношение между значениями напряжений этих систем?
 2. Почему недопустима работа несимметричной трехфазной цепи без нейтрального провода? Какие меры принимаются, чтобы исключить случайное отключение нейтрального провода?
 3. За счет каких двух функций нейтрального провода обеспечиваются нормальные и независимые условия работы фаз несимметричных приемников, включенных звездой?
 4. Сравнивая номинальное напряжение $U_{ном}$ ламп с фазным напряжением сети U_{ϕ} (см. рис.1), ответить: обеспечивается ли нормальная работа ламп при включении звездой в данную сеть?
 5. Какое соотношение между фазным и линейным токами симметричного приемника, включенного в трехфазную цепь треугольником?
- Проверьте, выполняется ли оно для измеренных значений (по данным строки 1 табл. 2)?
6. Объяснить, почему при включении приемника треугольником фазный ток I_{ϕ} во 2-м и 3-м случае (строки 2 и 3) не изменился?
- Сохранилось ли соотношение между фазным и линейным токами $I_{л} = \sqrt{3} I_{\phi}$ для этих случаев?
7. Объяснить, почему при включении данных ламп в данную сеть треугольником обеспечивается их нормальная работа?

Compte-rendu
sur le travail de laboratoire №1.5
“Etude des régimes du travail du circuit triphasé à courant alternatif.”

Groupe	Nom d'étudiant	Date	Signature du professeur

1. Etude des régimes du travail du circuit triphasé au couplage du récepteur en étoile.

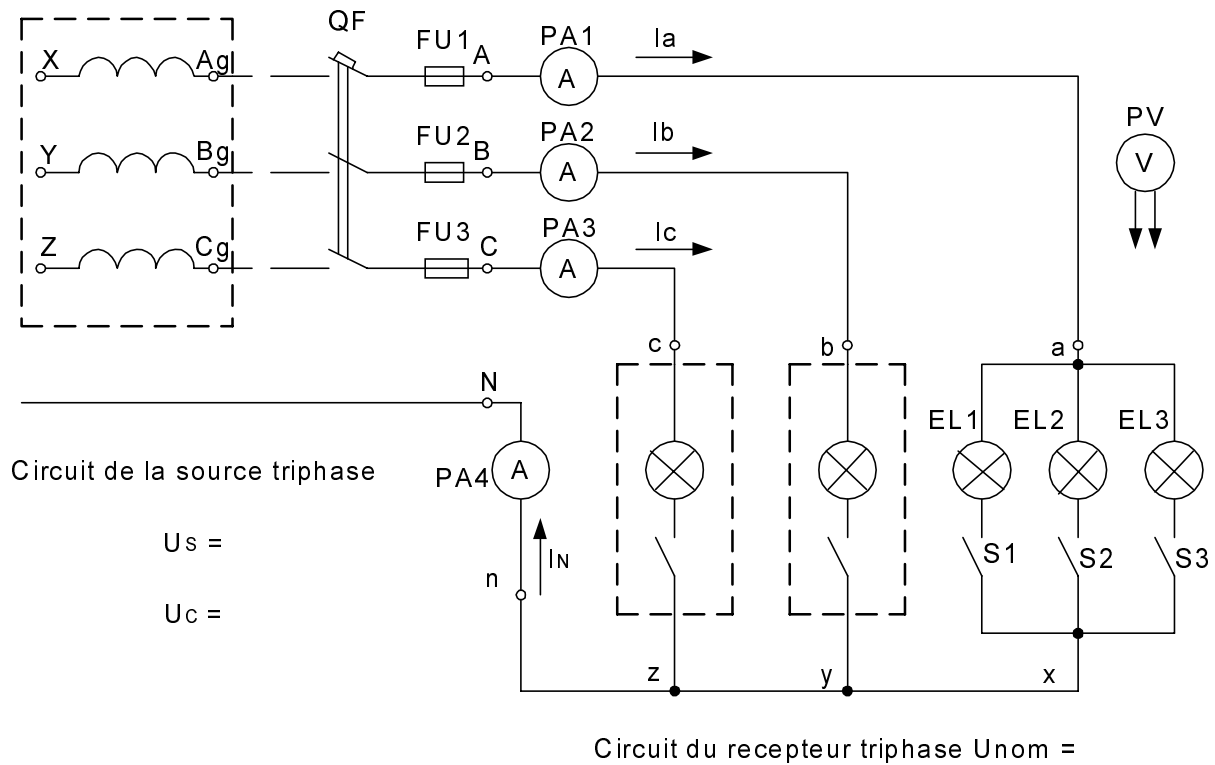


Fig. 1. Schema de principe de la source triphase et du recepteur triphase branche en étoile

Tableau 1

№	Qualité des lampes dans une phase			Type du récepteur	Conducteur neutre	Données de la mesure										
	a-x	b-y	c-z			Tensions						courants				
						Uab	Ubc	Uca	Ua	Ub	Uc	Ia	Ib	Ic	In	
1	3	3	3		avec N											
2	3	2	2		avec N	X	X	X								
3	3	2	2		sans N	X	X	X								X
4	3	0	0		avec N	X	X	X		X	X		X	X		

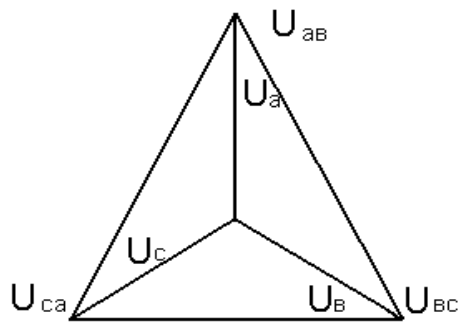


Fig.2. Diagramme vectoriel du récepteur dissymétrique

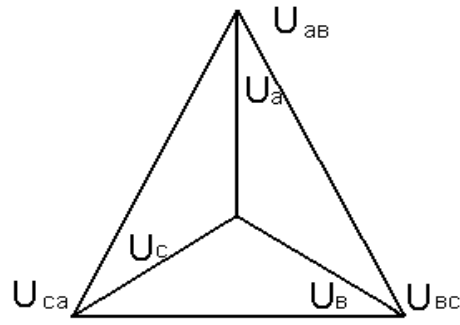


Fig.2b. Diagramme vectoriel du récepteur symétrique

2. Etude des régimes du travail du circuit triphasé au couplage du récepteur en triangle.

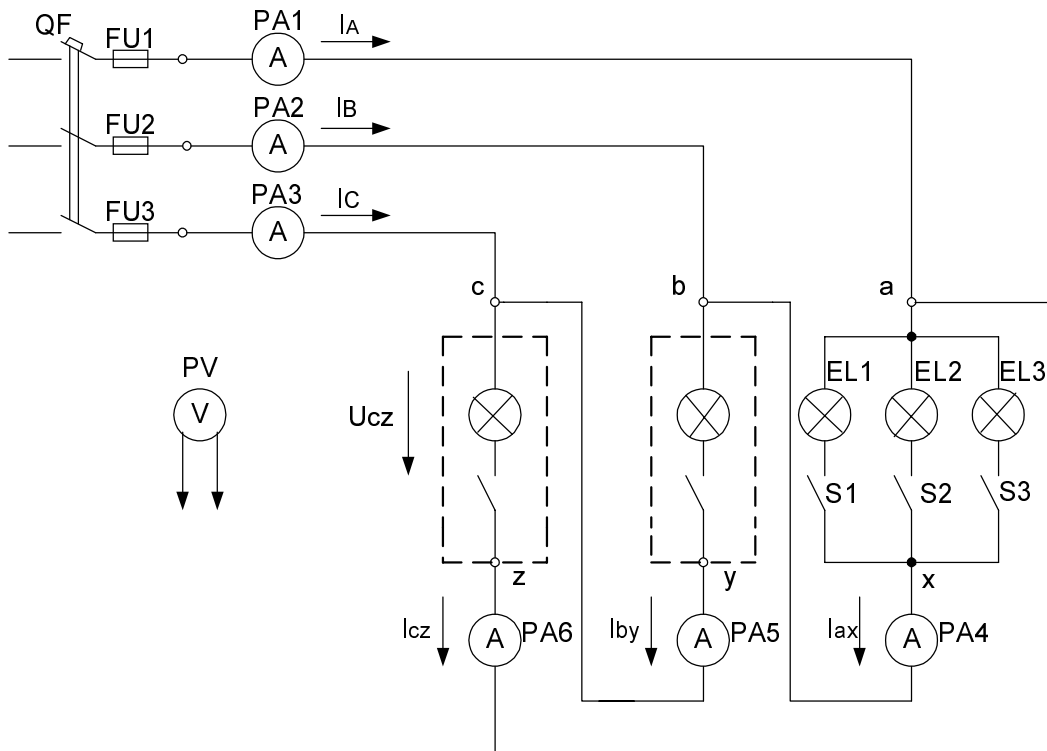


Fig.3. Schéma de principe du récepteur triphasé branché en triangle

Tableau 2

N°	Qualité des lampes dans une phase			Type du récepteur	Données de la mesure								
					Tensions			Courants					
	a-x	b-y	c-z		U _{aB}	U _{BC}	U _{ca}	I _a	I _B	I _c	I _{ax}	I _{By}	I _{cz}
1	3	3	3	symétr.									
2	3	2	2	dissymétr.									
3	3	0	0	monophasé									

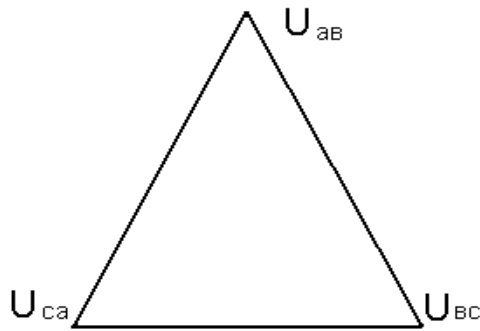


Fig.2. Diagramme vectoriel du récepteur dissymétrique

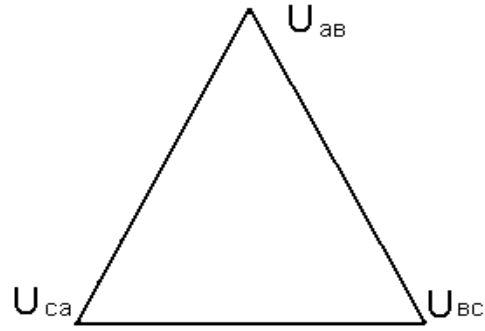


Fig.2b. Diagramme vectoriel du récepteur symétrique

Répondre par écrit aux questions:

1. Quels deux systèmes des tensions forment la source au montage en l'étoile avec le conducteur neutre?

A Quoi égal l'angle de déphasage entre les tensions en chacun de ces systèmes? Quel est la corrélation entre les valeurs des tensions de ces systèmes ?

2. Pourquoi le travail du circuit dissymétrique triphasé est inadmissible sans conducteur neutre?

Quelles sont acceptées mesures pour exclure le débranchement accidentel du conducteur neutre ?

3. Aux frais de quelles deux fonctions du conducteur neutre sont assurées les conditions normales et indépendantes du travail des phases des récepteurs dissymétriques au montage en étoile?

4. En comparant la tension nominale U_{nom} des lampes avec la tension du secteur simple U_{ph} (fig. 1), répondre: si on assure le travail normal des lampes au montage en étoile sur le secteur donné?

5. Quelle corrélation est entre les courants par phase et en ligne du récepteur symétrique au montage en triangle dans le circuit triphasé?

Contrôlez, si est-il accompli pour les valeurs mesurées (selon les données de la ligne 1 de tab. 2)?

6. Expliquer, pourquoi au montage en triangle du récepteur le courant par phase I_{ax} à 2 et 3 cas (la ligne 2 et 3) n'a pas changé?

Est-ce que se conservé la corrélation entre les courants par phase et en ligne $I_L = \sqrt{3} I_{ph}$ pour ces cas?

7. Expliquer, pourquoi au montage en triangle des lampes données au réseau donné on assure leur travail normal?

Le travail de laboratoire №1.6

MESURE DE PUISSANCE ET D'ENERGIE DANS LES CIRCUITS TRI-PHASEES. LA DEFINITION DU DEBIT SPECIFIQUE ET DE PAIEMENT D'ENERGIE ELECTRIQUE.

Le but du travail - l'étude des méthodes principales de la mesure de puissance et de quantité d'énergie consommée dans les circuits triphasés du courant alternatif, ainsi que l'utilisation de ces données pour la définition des débits spécifiques et le paiement d'énergie électrique.

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 sur le travail.*

L'ordre de l'exécution du travail

La description du stand de laboratoire.

Le travail de laboratoire est accompli au banc universel de laboratoire. Le schéma de l'installation étudiée (fig. 1.1 du formulaire du rapport) représente le récepteur d'énergie triphasé - on montre par le pointillé "La boîte noire" (BN). Il comprend les enroulements statorique du moteur M asynchrone ($C_1 - C_6$) et la résistance à lampes à incandescence (trois groupes des lampes ("a-x", "b-y", "c-z")).

Le schéma BN se monte une fois. Les bornes d'entrée du schéma *a, b, c*.

Pour l'étude des procès dans le système sont utilisés :

- le lot de mesure spécial, qui comprend le wattmètre triphasé et le compteur triphasé (se monte au banc séparé);
- le lot d'appareillage de mesure au banc universel.

1. La définition des puissances du récepteur triphasé par la méthode d'un seul wattmètre:

a) La charge symétrique:

- monter le circuit à fig. 1.1;
- brancher QF_~ et à 3 lampes dans chaque phase;
- inscrire les affichages des appareils dans la *ligne 1* de *tab. 1*. Dans la colonne *cosφ* indiquer le caractère de charge ("ind.", "cap.", "act.-ind.", "act.-cap").

ATTENTION! Si on utilise le moteur à rotor en court-circuit, après le branchement il commencera se tourner;

b) La charge dissymétrique

- déconnecter à 2 lampes dans les phases "a-x" et "b-y".
- les affichages des appareils inscrire dans la *ligne 2* de *tab. 1*. Faire attention à ce que les affichages des appareils n'ont pas changé.
- déconnecter QF_~.

2. La mesure de la puissance par le wattmètre triphasé.

Monter le circuit selon le schéma *fig. 1.2*. Le wattmètre triphasé comprend 2 éléments des mesures montées selon le schéma 2 wattmètres, c.-à-d. est destiné à la mesure de la puissance à circuits triphasés à trois files (sans conducteur neutre).

a) *La charge symétrique:*

- brancher QF_~ et à trois lampes dans les phases;
- les affichages des appareils inscrire à la *ligne 1* de *tab. 2*;

b) *La charge dissymétrique:*

- déconnecter à deux lampes dans les phases "a-x" et "b-y";
- les affichages des appareils inscrire à la *ligne 2* de *tab. 2*.
- déconnecter QF_~

3. La mesure d'énergie électrique consommée

- remplacer le wattmètre au circuit (le schéma *fig. 1.2*) de compteur triphasé (i.e. monter le circuit à *fig. 2.1*);
- brancher QF_~ et à trois lampes dans chaque phase.
- compter et inscrire dans le *tab. 3* le nombre de tours du disque du compteur par temps *t* (par exemple, pour 2 min);
- inscrire dans le *tab. 3* (avec l'écran du compteur) le nombre de tours de son disque *N*, correspondant 1 kWt·h de l'énergie consommée.
- déconnecter QF_~.

La présentation du rapport

1. La mesure de la puissance du récepteur triphasé

- Calculer et inscrire à la *ligne 1* de *tab. 1* et de *tab. 2* la puissance active, apparente et réactive consommées par le récepteur triphasé.
- Comparer les valeurs calculées dans le *tab. 1* et le *tab. 2*.

2. La définition d'énergie électrique consommée.

Calculer et inscrire dans le *tab. 3* la quantité d'énergie consommée par le récepteur symétrique pendant le travail, selon la formule $W=n/N$ [kW·h] et le débit d'énergie électrique par ce récepteur en un mois du travail (pendant 540 heures) selon la formule:

$$W_M = 540 \cdot 60 \cdot n/N \cdot t \text{ [kW·h]}.$$

3. La définition du débit spécifique et du paiement d'énergie électrique.

a) Conventionnellement accepter, qu'à l'entreprise on installé 2000 récepteurs d'énergie (analogue indiqué sur *fig. 1.1*, avec les paramètres amenés dans le *tab. 2*).

Définir et inscrire dans le *tab. 4*:

- les puissances active $P_{En} = 2000P$ et réactive $Q_{LEn} = 2000Q$ des récepteurs.
- en fait consommé par l'entreprise en un mois l'énergie électrique $W_{En} = 2000W_M$;

b) Définir de paiement d'énergie électrique.

Pour l'entreprise avec de puissance installée de récepteur $S_{En} > 750 \text{ kVA}$ le paiement d'énergie électrique P_M s'effectue mensuellement selon au tarif mixte compte tenu des diminutions et des majorations pour la puissance réactive. Le calcul est produit selon la formule

$$P_M = (P_m \cdot a/12 + W_{En} \cdot b/100) \cdot (1 + \kappa/100), \text{ où}$$

P_M - le paiement d'énergie électrique, grv/mois;

a - le premier taux, le grv/kW·l'année ($a = 36 \text{ grv/kW} \cdot \text{l'année}$);

b - le deuxième taux, le kop/kW·h ($b = 15,6 \text{ kop/kW} \cdot \text{h}$);

κ - le coefficient de majoration ou de diminution est définir selon la formule

$$\kappa = (Q_f - Q_0)/P_f, \text{ où}$$

Q_f - la valeur réelle de la puissance réactive de l'entreprise, kVAr ;

Q_0 - prescrit du système énergétique à l'entreprise la puissance réactive à des heures du maximum;

P_f - la puissance active réelle au maximum de la consommation, le kW.

De la formule s'ensuivre, que l'entreprise paie pour les indices suivants:

- pour la puissance active P_m , consommé par l'entreprise aux heures du maximum de la consommation de système énergétique (il est recommandé du système énergétique);

- pour la quantité totale d'énergie électrique consommée W_{En} ;

- pour la "consommation" superflue de la puissance réactive Q_f par comparaison avec permission Q_0 (l'amende (+ κ) à $Q_f > Q_0$; la diminution (- κ) à $Q_f < Q_0$). Pour avoir la diminution, l'entreprise doit baisser la "consommation" de la puissance réactive Q_f , i.e. augmenter le coefficient de puissance.

Au calcul accepter : $P_f = P_m = P_{En}$, le kW; $Q_f = Q_{En}$, kVAr ; $Q_0 = 0,9 Q_{LEn}$, kVAr

c) Définir la dépense spécifique d'énergie électrique de l'entreprise, i.e. la quantité d'énergie électrique dépensée par unité de la production

$$E_S = W_{En} / N_{\text{pièce}}, \text{ kW} \cdot \text{h/mesure de la production},$$

où $N_{\text{pièce}}$ - la quantité de la production produite. Accepter $N_{\text{pièce}} = 14000$ pièces.

Répondre par écrit aux questions :

1. Pourquoi selon la méthode d'un seul wattmètre on ne peut pas définir les puissances du circuit à la charge dissymétrique ?
2. Comment définir la puissance active du récepteur dissymétrique en présence d'un wattmètre monophasé?
3. A quel schéma de la connexion du récepteur dissymétrique on ne peut appliquer pas le wattmètre, utilisé dans le travail, pour la mesure de la puissance active du circuit triphasé? Quelle méthode de mesure de la puissance active il est nécessaire d'appliquer dans ce cas?

Лабораторная работа №1.6

ИЗМЕРЕНИЕ МОЩНОСТИ И ЭНЕРГИИ В ТРЕХФАЗНЫХ ЦЕПЯХ. ОПРЕДЕЛЕНИЕ УДЕЛЬНОГО РАСХОДА И ПЛАТЫ ЗА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИЮ.

Цель работы - изучение основных методов измерения мощности и количества потребляемой энергии в трехфазных цепях переменного тока, а также использования этих данных для определения удельных расходов и платы за электроэнергию.

Домашняя подготовка:

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

Порядок выполнения работы

Описание лабораторного стенда.

Лабораторная работа выполняется на универсальном лабораторном стенде. Схема исследуемой установки (рис. 1.1 бланка отчета) представляет собой трехфазный приемник энергии – показан пунктиром "Черный ящик" (Ч.Я.). Он состоит из обмоток статора асинхронного двигателя М (С1 – С6) и лампового реостата (три группы ламп ("а-х", "в-у", "с-з")).

Схема Ч.Я. собирается один раз. Входные зажимы схемы а, в, с;

Для исследования процессов в системе используются:

- специальный комплект, который состоит из трехфазного ваттметра и трехфазного счетчика (собирается на отдельном стенде);
- комплект измерительных приборов на универсальном стенде.

1. Определение мощностей трехфазного приемника методом одного ваттметра:

а) симметричная нагрузка:

- собрать цепь по рис. 1.1;
- включить QF₁ и по 3 лампы в каждой фазе;
- записать показания приборов в отроку 1 табл.1. В графе cosφ указать характер нагрузки ("инд.", "емк", "акт.-инд.", "акт.-емк. ").

ВНИМАНИЕ! Если используется двигатель с к.з. ротором, то после включения он начнет вращаться;

б) несимметричная нагрузка

- отключить по 2 лампы в фазах "а-х" и "в-у".
- показания приборов записать в отроку 2 табл.1. Обратит внимание на то, что показания приборов не изменились.
- отключить QF₁.

2. Измерение мощности трехфазным ваттметром.

Собрать цепь по схеме рис. 1.2. Трехфазный ваттметр состоит из 2 измерительных элементов, собранных по схеме 2 ваттметров, т.е. предназначен для измерения мощности в трехфазных трехпроводных цепях (без нейтрального провода).

а) симметричная нагрузка:

- включить QF₂, и по три лампы в фазах;
- показания приборов записать в строку 1 табл.2;

б) несимметричная нагрузка:

- отключить по две лампы в фазах "а-х" и "в-у";
- показание приборов записать в строку 2 табл.2.
- отключить QF_~,

3. Измерение потребленной электроэнергии

- заменить ваттметр в цепи (схема рис. 1.2) трехфазным счетчиком (т.е. собрать цепь по рис. 2.1);
- включить QF_~ и по три лампы в каждой фазе.
- подсчитать и записать в табл.3 число оборотов диска счетчика за время t (например, за 2 мин.);
- записать в табл.3 (со щитка счетчика) число оборотов его диска N, соответствующее 1кВт·час потребленной энергии.
- отключить QF_~.

Оформление отчета

1. Измерение мощности трехфазного приемника

- а) Вычислить и записать в строку 1 табл.1 и табл.2 активную, полную и реактивную мощности, потребляемые трехфазным приемником.
- б) Сравнить рассчитанные значения в табл. 1 и табл. 2.

2. Определение потребленной электроэнергии.

Вычислить и записать в табл. 3 количество энергии, потребленной симметричным приемником за время работы, по формуле $W=n/N$ кВт·час и расход электроэнергии этим приемником за месяц работы (в течение 540 часов) по формуле:

$$W_M = 540 \cdot 60 \cdot n / N \cdot t \text{ кВт·час.}$$

3. Определение удельного расхода и платы за электроэнергию.

- а) условно принять, что на предприятии установлено 2000 приемников энергии (аналогичных указанному на рис.1.1, с параметрами, приведенными в табл.2).

Определить и записать в табл.4:

- активную $P_{пр} = 2000 P$ и реактивную $Q_{Lпр} = 2000Q$ мощности приемников предприятия.
- фактически потребленную предприятием за месяц электроэнергию $W_{пр}=2000W_M$;

- б) определить плату за электроэнергию.

Для предприятия с установленной мощностью приемников $S_{пр} > 750$ кВА плата за электроэнергию P_M производится ежемесячно по двухставочному тарифу с учетом скидок и надбавок (штрафов) за реактивную мощность. Расчет производится по формуле

$$P_M = (P_m \cdot a / 12 + W_{пр} \cdot v / 100) \cdot (1 + k / 100), \text{ где}$$

P_M - плата за электроэнергию, грн/мес;

a - первая ставка, грн/кВт·год ($a = 36$ грн/кВт·год);

v - вторая ставка, коп/кВт·час ($v = 15,6$ коп/кВт·час);

k - коэффициент надбавки или скидки определяется по формуле

$$k = (Q_\phi - Q_0) / P_\phi, \text{ где}$$

Q_ϕ - фактическое значение реактивной мощности предприятия, кВАр;

Q_0 - предписанная энергосистемой предприятию реактивная мощность в часы максимума;

P_ϕ - фактическая активная мощность при максимуме потребления, кВт.

Из формулы следует, что предприятие платит за следующие показатели:

-
- за активную мощность P_m , потребляемую предприятием в часы максимума потребления от энергосистемы (предписывается энергосистемой);
 - за общее количество потребленной электроэнергии $W_{пр}$;
 - за излишнее "потребление" реактивной мощности Q_ϕ в сравнении с разрешенной Q_0 (штраф (+к) при $Q_\phi > Q_0$; скидка (-к) при $Q_\phi < Q_0$). Чтобы иметь скидку, а не штраф, предприятие должно снижать "потребление" реактивной мощности Q_ϕ , т.е. повышать коэффициент мощности.

При расчете принять:

$$P_\phi = P_m = P_{пр}, \text{ кВт};$$

$$Q_\phi = Q_{пр}, \text{ кВАр};$$

$$Q_0 = 0,9 Q_{L,пр}, \text{ кВАр}$$

в) определить удельный расход электроэнергии предприятия, т.е. количество электроэнергии, израсходованной на единицу продукции

$$E_y = W_{пр} / N_{шт}, \text{ кВт}\cdot\text{час/ед. продукции},$$

где $N_{шт}$ - количество выпущенной продукции.

Принять $N_{шт} = 14000$ шт.

Письменно ответить на вопросы:

1. Почему по методу одного ваттметра нельзя определить мощности цепи при несимметричной нагрузке?
2. Как определить активную мощность несимметричного приемника при наличии одного однофазного ваттметра?
3. При какой схеме соединения несимметричного приемника нельзя применять использованный в работе ваттметр для измерения активной мощности трехфазной цепи? Какой метод измерения активной мощности необходимо применить в этом случае?

Compte-rendu
sur le travail de laboratoire №1.6
“Mesure de puissance et d’énergie dans les circuits triphasés. La définition du
débit spécifique et de paiement d’énergie électrique.”

Groupe	Nom d’étudiant	Date	Signature du professeur

1. Définition de puissance du circuit triphasé.

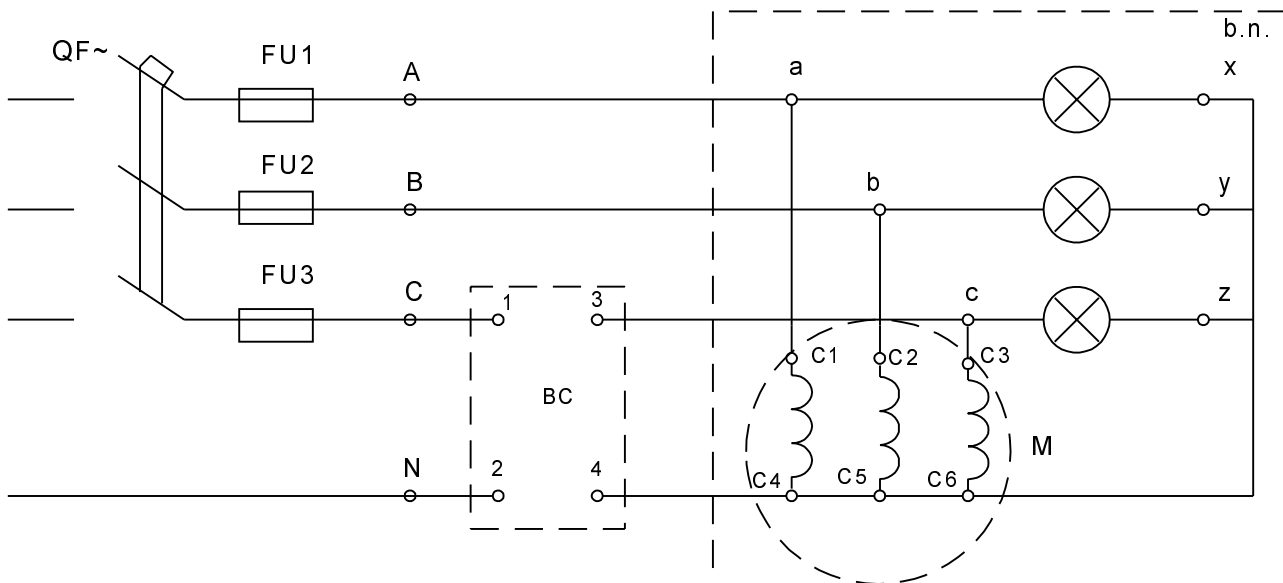


Fig.1.1. Mesure de la puissance par la méthode d’un seul wattmètre

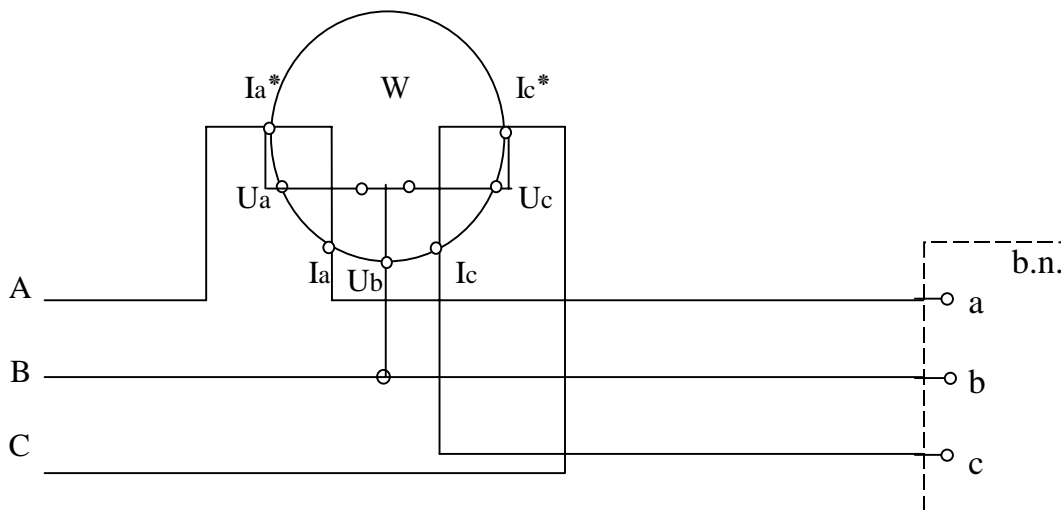


Fig.1.2. Mesure de la puissance par le wattmètre triphasé.

Tableau1

Méthode de la mesure	N°	Type de la charge	Données de la mesure				Données du calculent			
			U _s , V	I _s , A	cosφ	P _s , W	P, W	S, VA	Q, VAr	cosφ
Schéma du wattmètre seul	1	sym.								
	2	dessym.					X	X	X	X

Tableau2

Méthode de la mesure	N°	Type de la charge	Données de la mesure			Données du calculent	
			U _c ,V	I _c ,A	P,W	S,VA	Q,VAr
Wattmètre triphasé	1	sym.					
	2	dessym.				X	X

2. Mesure de l'énergie consommée.

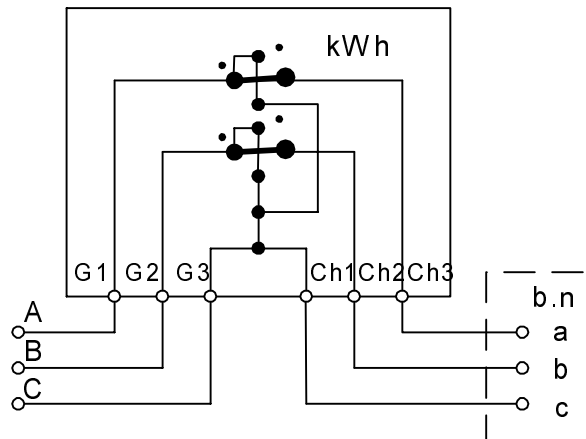


Fig.2.1. Schéma du couplage du compteur triphasé.
Tableau 3

Données de la mesure			Données du calculent	
n,tr	t,min	N,tr/kWh	W,kWh	W _M ,kWh

3. Détermination du débit spécifique et du paiement d'énergie électrique.

Tableau 4

Valeur	P _{en} , kWh	Q _{L en} ,kVAr	W _{en} ,kWh
Signification			

Paiement pour la consommation mensuelle d'énergie électrique

$$K, \% = P_M =$$

Le débit spécifique d'énergie électrique.

$$Q_{SP}, \text{ kWh/un. production} =$$

Le travail de laboratoire № 1.7
ETUDE DES CIRCUITS A COURANT SINUSOÏDAL AVEC DES INDUC-
TANCES MUTUELLES

Le but du travail: la vérification expérimentale des relations principales entre les grandeurs des tensions et des courants dans les circuits avec les bobines couplées d'inductif et la définition des paramètres du circuit à la connexion de concordant et de rencontre des bobines.

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 sur le travail.*

L'ordre de l'exécution du travail

1. L'objet de l'étude.

Le travail de laboratoire est accompli sur le transformateur triphasé.

- trouver sur le transformateur les bornes des bobines $a-x$ et $c-z$ la partie de la tension inférieure (TI). La bobine avec les bornes $a-x$ sera de premier, mais avec les bornes $c-z$ - deuxième.
- le travail accomplir à la tension 127 V (les bornes A-N de la source du courant triphasé).

2. Définir les paramètres de la première bobine.

- monter le circuit selon le schéma *fig. 1* du rapport.
- brancher l'interrupteur QF~.
- mesurer des paramètres de la bobine première et inscrire les affichages des appareils dans le *tableau 1*.
- déconnecter QF~.

3. Définir les paramètres de la deuxième bobine.

- monter le circuit selon le schéma *fig. 2*. Pour cela suffit changer par endroits les bornes des bobines $a-x$ et $c-z$ dans le schéma *fig. 1*.
- brancher l'interrupteur QF~.
- mesurer des paramètres de la deuxième bobine et inscrire les affichages des appareils dans le *tableau 2*.
- déconnecter QF~.

4. L'étude expérimentale du circuit avec la connexion en série des deux bobines couplées d'inductif.

- a) *Monter le circuit selon le schéma *fig. 3* à la connexion de concordant des bobines.*
- brancher l'interrupteur QF~.

-
- mesurer toutes les grandeurs, qui sont indiqués dans le *tab. 3*.
 - déconnecter QF~.

6) *Monter le circuit selon le schéma fig. 3 à la connexion de rencontre des bobines.*

Pour cela il suffit changer dans le schéma les endroits des bornes des bobines *a-x* ou *c-z*.

- brancher l'interrupteur QF~.
- mesurer toutes les grandeurs, qui sont indiqués dans le *tab. 3*.
- déconnecter QF~.

La présentation du rapport

1. La définition des paramètres des bobines.

- faire le compte selon les données des *tableaux 1, 2*.
- comparer de l'inductance mutuelle M_{12} et M_{21} .
- faire la conclusion.

2. La connexion des bobines en série.

Selon la tension du secteur et les paramètres des bobines (le *tab. 1* et *2*) calculer les grandeurs du courant I , les tensions $U1$ celle-là $U2$, ainsi que la puissance P du circuit avec la connexion en série des bobines (*fig. 3*) pour deux cas:

- a) les bobines connecter en concorde;
- 6) les bobines connecter en rencontre.

Répondre par écrit aux questions:

1. Quels éléments appelle-t-on couplée d'inductif?
2. Qu'est ce que c'est les bornes homonymes des éléments couplées d'inductif et comment se sont-ils désignés?
3. Quelle connexion des bobines couplées d'inductif appelle-t-on concordant et quel de rencontre?
4. Comment définit-on l'inductance totale des deux bobines couplées d'inductif à la connexion de concordant et de rencontre?

Лабораторная работа № 1.7
ИССЛЕДОВАНИЕ ЦЕПЕЙ СИНУСОИДАЛЬНОГО ТОКА С ВЗАИМНЫМИ ИНДУКТИВНОСТЯМИ

Цель работы: экспериментальная проверка основных соотношений между величинами токов и напряжений в цепях с индуктивно связанными катушками и определение параметров цепи при согласном и встречном их включении.

Домашняя подготовка:

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

Порядок выполнения работы

1. Объект исследований.

Лабораторная работа выполняется на трехфазном трансформаторе.

- найти на трансформаторе выводы катушек а-х і с-z, стороны низшего напряжения (НН). Катушка с выводами а-х будет первой, а с выводами с-z – второй.
- работа выполняется при напряжении 127 В (выводы А-Н источника трехфазного тока).

2. Определение параметров первой катушки

- собрать схему цепи по рис.1 отчета.
- включить выключатель QF₁.
- измерить параметры первой катушки и записать результаты измерений в табл.1.
- отключить QF₁.

3. Определить параметры второй катушки.

- собрать схему цепи по рис.2. Для этого достаточно поменять местами выводы катушек а-х и с-z в схеме рис.1.
- включить выключатель QF₂.
- измерить параметры второй катушки и записать результаты измерений в табл.2.
- отключить QF₂.

4. Экспериментальное исследование цепи с последовательным соединением двух индуктивно связанных катушек.

а) Собрать схему цепи по рис.3. при согласном включении катушек.

- включить выключатель QF₃.
- измерить все величины, указанные в табл.3.
- отключить QF₃.

б) Собрать схему цепи по рис.3. при встречном включении катушек. Для этого достаточно поменять местами выводы катушек а-х или с-z в схеме.

- включить выключатель QF₃.
- измерить все величины, указанные в табл.3.
- отключить QF₃.

Оформление отчета

1. *Определение параметров катушек.*

Выполнить расчет по данным таблиц 1, 2.

Сравнить взаимные индуктивности M_{12} і M_{21} .

Сделать выводы.

2. Последовательное соединение катушек.

По напряжению сети и параметрам катушек (табл.1 и 2) рассчитать величины токов I , напряжения U_1 и U_2 , а также мощности P цепи с последовательным соединением катушек (рис.3) для двух случаев: катушки включены встречно; катушки включены согласно.

Письменно ответить на вопросы:

1. Какие элементы называются индуктивно связанными?
2. Одноименные выводы индуктивно связанных катушек – что это? Как они определяются?
3. Какое соединение индуктивно связанных катушек называют согласным, и какое встречным?
4. Как определяется полная индуктивность двух индуктивно связанных катушек при согласном и встречном включении?

Compte-rendu
sur le travail de laboratoire N° 1.7
«Etude des circuits à courant sinusoïdal avec des inductances mutuelles»

Groupe	Nom d'étudiant	Date	Signature du professeur

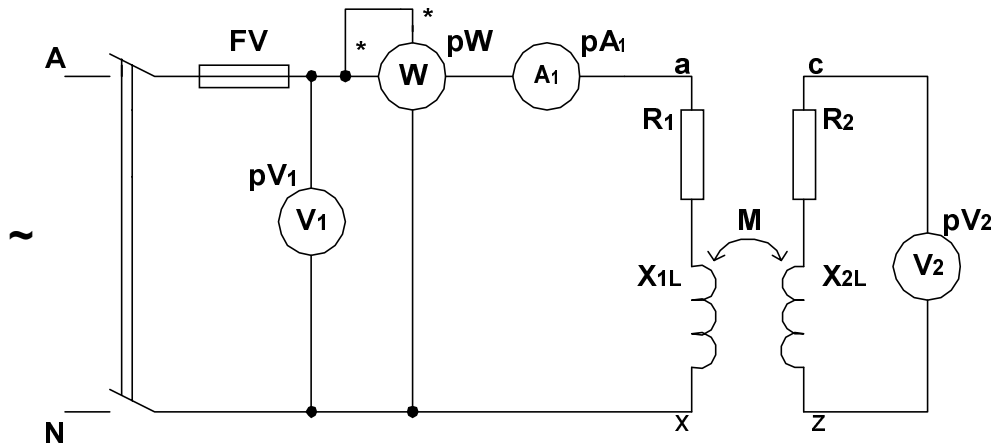


Fig. 1. Le schéma pour la définition des paramètres de la première bobine et l'inductance mutuelle

Tableau 1

Données de mesure				Données de calculent					
$U_1,$ V	$I_1,$ A	$P_1,$ W	$U_2,$ V	$Z_1,$ Ohm	$R_1,$ Ohm	$X_1,$ Ohm	$X_{M12},$ Ohm	$M_{12},$ Hn	$L_1,$ Hn

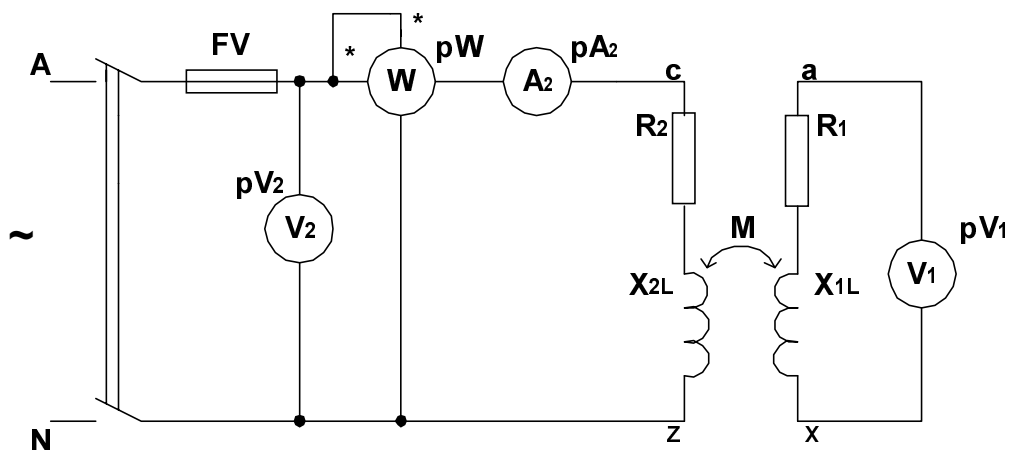


Fig. 2. Le schéma pour la définition des paramètres de la deuxième bobine et l'inductance mutuelle

Tableau 2

Données de mesure				Données de calcul					
$U_2,$ B	$I_2,$ V	$P_2,$ W	$U_1,$ V	$Z_2,$ Ohm	$R_2,$ Ohm	$X_2,$ Ohm	$X_{M21},$ Ohm	$M_{21},$ Hn	$L_2,$ Hn

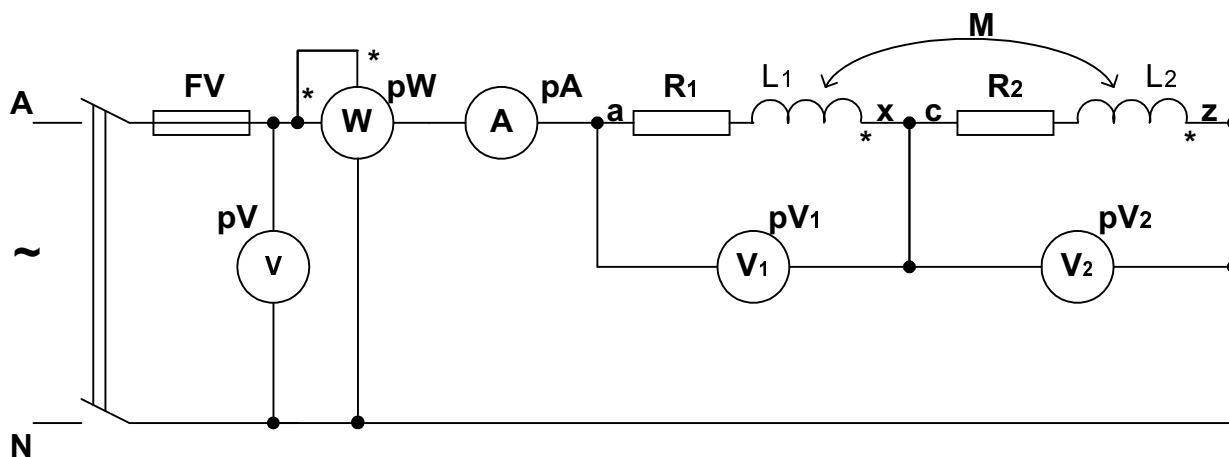


Fig. 3. La connexion en série des bobines couplées d'inductif

Tableau 3

La connexion des bobines	Données de calcul				Données de mesure					
	I, A	$U_1,$ V	$U_2,$ V	P, W	U, V	I, A	$U_1,$ V	$U_2,$ V	P, W	
De concordante										
De rencontre										

Répondre par écrit aux questions:

LITTEATURE

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 sur du cours "ELECTRICITE", partie 1, «Les circuits électriques», - В.И.Костенко, В.Б. Потапов, С.С.Багдасарян: Донецк, ДонГТУ, 1999 г. – с.40.
3. Пантюшин В.С. Электротехника: - М.: Высш. шк., 1989 -560 с.
4. Китаев 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

1. Mesures électriques.....	3
1.1. Erreurs et classes de précision.....	3
1.2. Shunts et résistances additionnelles.....	6
1.3. Systèmes des appareils de mesure électrique.....	9
1.4. Wattmètres.....	18
1.5. Compteurs d'énergie électrique.....	21
2. Le travail de laboratoire №1.1 «Couplage des récepteurs en parallèle et en série au circuit à courant continu».....	25
3. Le travail de laboratoire № 1.2 «Etude des régimes de fonctionnement des circuits électrique à courant continu».....	31
4. Le travail de laboratoire № 1.3 «Etude du couplage séparé des récepteurs divers en circuit à courant alternatif».....	37
5. Le travail de laboratoire № 1.4 «Etude du couplage en série et en parallèle des récepteurs au circuit à courant alternatif».....	46
6. Le travail de laboratoire №1.5 «Etude des régimes du travail du circuit triphasé à courant alternatif».....	52
7. Le travail de laboratoire №1.6 «Mesure de puissance et d'énergie dans les circuits triphasés. La définition du débit spécifique et de paiement d'énergie électrique».....	61
8. Le travail de laboratoire № 1.7 «Etude des circuits à courant sinusoïdal avec des inductances mutuelles».....	69
LITTÉRATURE.....	75

Курс «Електротехніки». Перша частина «Електричні кола». 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 01.12.2003. Формат 60x84 1/16.

Усл. печ. л. 5,1. 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.**