
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

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

Donetsk 2004

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

Кафедра електротехніки

Курс
ЕЛЕКТРОТЕХНІКИ

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

ЗАТВЕРДЖЕНО:
на засіданні кафедри
електротехніки
Протокол N 8
Від 13.05.2004

Донецьк ДонНТУ 2004

УДК 621.3

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

В.О. Сажин. Донецьк: ДонНТУ, 2004

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

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

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

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

© В.О. Сажин.

1. CALCUL DES CIRCUITS A COURANT CONTINU

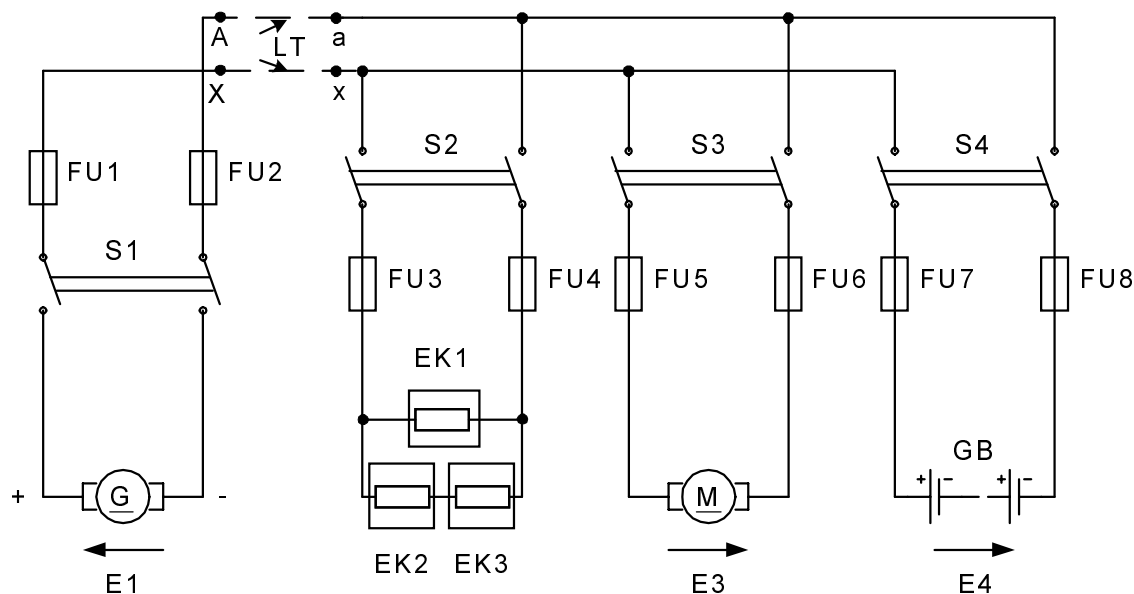


Fig. 1.1 Le schéma de principe du circuit

1.1. Les données initiales

Aux bornes $a-x$ de la ligne de transmission (LT) à courant continu (fig. 1.1) avec la résistance totale des deux fils $R_l = 1 \text{ Ohm}$, qui est alimenté par l'interrupteur $S1$ du générateur G avec F.E.M $E1$ et la résistance intérieure $R_{01} = 0,1 \text{ Ohm}$, sont branchés à l'aide des interrupteurs $S2 \dots S4$ les consommateurs suivants d'énergie électrique:

1. Les réchauffeurs électriques (EK1 - EK3) chacun avec paramètres P_{nom} et $U_{nom1} = U_{nom2} = 127 \text{ V}$; $U_{nom3} = 220 \text{ V}$;

2. Le moteur à courant continu M avec F.E.M $E3$ et la résistance intérieure $R_{03} = 0,4 \text{ Ohm}$.

3. La batterie d'accumulateur GB comprenant n des éléments connectés en série et en accord avec les paramètres de chacun: F.E.M E_n et la résistance intérieure $R_{0n} = 0,004 \text{ Ohm}$.

1.2. Le devoir

Pour la variante choisie il est nécessaire:

1. Tracer le schéma de principe (ne pas représenter les branches, les interrupteurs de qui selon le devoir sont déconnectées).

2. Tracer le schéma équivalent du circuit. Remplacer les éléments connectés en série et en parallèle, branchés vers chaque interrupteur les éléments équivalent.

3. Définir les courants dans les branches par la méthode des équations de Kirchhoff.

4. Définir les régimes de travail des sources F.E.M et les autres portions du circuit.

5. Etablir l'équation de bilan des puissances et estimer l'erreur des calculs en pourcentage.

Le tableau 1.1. - Les puissances nominales des réchauffeurs électriques

La puissance nominale du réchauffeur	La variante										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	m
P_{nom1}	500	600	500	400	350	300	400	500	400	2000	2000
P_{nom2}	400	400	600	700	600	750	800	1200	400	800	600
P_{nom3}	22000	1500	1750	2000	1500	2000	2250	1500	1750	1000	1000

Le tableau 1.2. - Les paramètres des branches avec les sources F.E.M

Les paramètres des branches	La variante										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	n
$E1, V$	230	24	220	240	235	230	225	230	230	225	230
$E2, V$	200	210	180	170	200	195	190	200	180	180	200
$E3, V$	2,1	2,16	2,05	2,2	2,18	2,2	2,1	2,1	2,2	2,0	2,2
n, pièce	85	80	80	75	100	90	80	80.	85	95	80
On déconnecte l'interrupteur	4	3	4	4	3	4	4	3	4	4	3

Le tableau 1.3. - Le courant de charge admissible

La section conductrice, mm^2	1	1,5	2,5	4	6	10	16	25	35	50	70	95	120
Le courant de charge admissible	6	10	15	25	35	60	90	125	150	190	240	290	340

Le tableau 1.4. - Les courants nominaux des fusibles

Le courant nominal de fusible	6	10	15	20	25	35	45	60	80	100	125	160	200	300	350
-------------------------------	---	----	----	----	----	----	----	----	----	-----	-----	-----	-----	-----	-----

6. Indiquer sur le schéma équivalent et définir les tensions sur les bornes extérieures du générateur $U_1=U_{AX}$ et les consommateurs $U_2=U_{ax}$, connectés vers la LT, par les valeurs de leurs paramètres.

7. Définir la chute de tension dans les fils LT ΔU_{LT} dans le régime examiné.

8. Choisir la section des fils LT et les lignes particulières partant des interrupteurs $S2$. - $S4$, en se servant des données des courants admissibles (tab. 1.3).

9. Calculer le coût des pertes d'énergie dans les fils LT (C) en un mois, si selon le tarif elle est payée selon le prix $P = 15,6 \text{ cop/kWh}$. Les consommateurs sont branchés en moyenne selon $t = 8$ heures par le jour.

10. Tracer de schéma équivalent du circuit en ayant un court-circuit à l'extrémité de la LT (les interrupteurs S2... S4 sont déconnectée).

Définir le courant du court-circuit I_{cc} dans ce cas.

11. Choisir les valeurs des courants des fusibles des coupes - circuits FU1...FU8 pour la protection de la ligne, de la source, ainsi que des consommateurs contre une surcharge dangereuse et des courants du court - circuit (le tab. 1.4).

1.3. Les indications selon le calcul

1. Les valeurs E , P_{nom} , E_n et les numéros des interrupteurs S2 ... S4 déconnectées sont choisies selon deux derniers chiffres mn du livret d'examen en fonction du tableau 1.1 et du tableau 1.2.

En fonction du tableau 1.1. (selon le chiffre avant-dernier - m) on choisit les puissances des réchauffeurs, en fonction du tableau 1.2. (selon le dernier chiffre - n) – les paramètres des branches.

2. À la rédaction du schéma équivalente les branches sont numérotées en fonction des numéros des interrupteurs. Ces numéros s'approprient aux courants et les résistances.

2.1. La première branche (la branche du générateur) insère la source avec la résistance $R_{01} = 0,1 \text{ Ohm}$ et la résistance LT $R_{LT} = 1 \text{ Ohm}$ connectés en série.

2.2. La charge branchée à l'interrupteur S2, contient deux réchauffeurs électriques connectés en série EK1 et EK2 et connectés en parallèle avec le réchauffeur EK3.

La résistance de réchauffeur électrique on défini par paramètre nominal P_{nom} , U_{nom} .

2.3. La branche quatrième contient n des éléments d'accumulateur connectés en série et en accord.

À la connexion en série et en accord des sources total équivalent de F.E.M est égale à la somme de F.E.M des éléments ($E_{4=n} E_n$), mais la résistance totale - la somme des résistances des éléments ($R_{4=n} R_{0n}$).

3. Pour la définition des courants dans les branches par la méthode des équations de Kirchhoff.

3.1. De sens des courants dans les branches choisir arbitrairement. Cela définit les sens conventionnelles des chutes de tension sur les résistances des éléments et la tension sur la charge, qui sont indiqués par des flèches sur le schéma.

3.2. Faire et résoudre le système des équations de Kirchhoff.

Le nombre des équations est égal au nombre des courants définis. Selon la première loi de Kirchhoff:

$\sum I = 0$, (les courants dirigés vers le nœud ont le signe «+», dirigés du nœud - «-») on fait $(k-1)$ des équations, où k - le nombre des nœuds dans le schéma. Les autres équations sont faites selon la deuxième loi Kirchhoff pour les contours indépendants:

$\sum E = \sum IR + \sum U$, (si la direction F.E.M, le courant, la tension coïncident avec le sens du parcours d'un circuit ferme - le signe «+», opposées - le signe «-»).

Résoudre le système des équations en ce qui concerne les courants.

Si les courants sont positifs, les sens réelles des courants coïncident avec celles que sont conventionnellement acceptés; si les courants sont négatifs - les sens réelles des courants sont opposées à celles que sont conventionnellement acceptés.

Il faut indiquer les sens réelles des courants sur le schéma par la flèche pointillée.

Dans les calculs suivants il est nécessaire d'appliquer seulement les sens réelles des courants.

4. Les signes de la définition les régimes de travail des portions du circuit sont les suivants :

A. Pour n'importe quelle portion du circuit (selon les sens des tensions et les courants)

a) La portion du circuit est le récepteur d'énergie électrique si le courant coïncide selon la direction avec la tension;

b) La portion du circuit est la source d'énergie électrique si le courant est opposé selon la direction à la tension.

B. Pour les portions actifs du circuit (selon les sens de F.E.M et des courants):

a) L'élément actif travaille dans le régime de la source d'énergie électrique si le courant coïncide avec F.E.M;

b) L'élément actif travaille dans le régime du récepteur de l'énergie électrique si le courant est opposé F.E.M.

B. Les éléments passifs - les résistances travaillent dans le régime du récepteur d'énergie électrique (pour ceux-ci la tension et le courant coïncident toujours selon le sens).

5. À la rédaction de l'équation de bilan des puissances: la F.E.M, coïncidant selon aux sens avec la direction réelle du courant, c'est-à-dire les sources d'énergie électrique, ajoutent le signe "+" et ne coïncidant pas, c'est-à-dire les récepteurs de l'énergie électrique, - le signe "-".

$$\sum EI = \sum RI^2$$

La valeur de l'erreur admissible 5 %

6. Chaque fil a un courant admissible en service continu d'après d'échauffement, (tab. 1.3). La condition du choix de la section du fil selon d'échauffement admissible - $I_{admis} > I_{LT}$, où I_{LT} - le courant maximum de la charge à la ligne, I_{admis} - la grande valeur plus proche de courant (tab. 1.3).

7. Le coût des pertes d'énergie dans les fils LT est calculé selon la formule:

$$C = W * P,$$

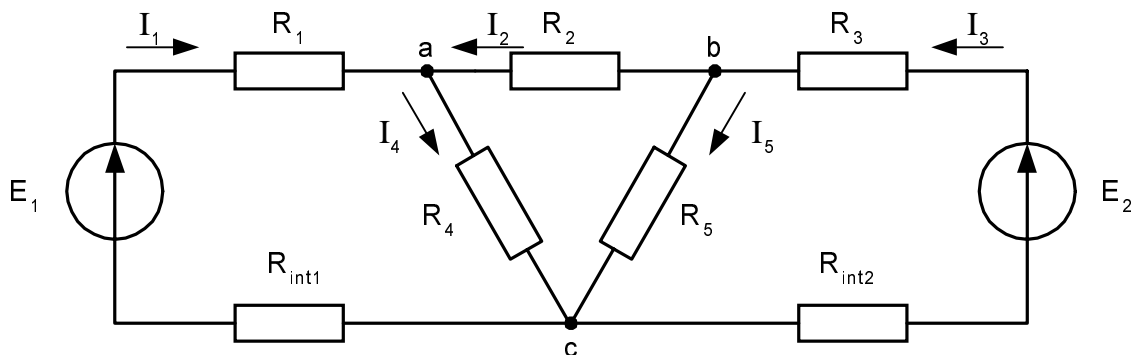
où les pertes d'énergie dans les fils LT: $W = \Delta P_{LT} t$

8. Le fusible du coupe-circuit doit subir le courant ouvrrier du circuit, mais à de grands courants des courts - circuits elle doit sauter. C'est pourquoi le courant nominal de fusible du coupe-circuit est choisi selon la condition $I_{f nom} > I_{LT}$, où $I_{f nom}$ - le plus grand courant plus proche de fusible (tab. 1.4)

L'exemple de l'application des lois de Kirchhoff pour le calcul des circuits complexes.

Le réseau représente sur la figure contient cinq branches, c'est-à-dire cinq courants inconnus.

Puisqu'il a trois nœuds on peut établir deux équations d'après la première loi de Kirchhoff et trois équations d'après la seconde loi.



Circuit électrique à 3 nœuds

Selon la première loi de Kirchhoff on a:

pour le nœud a $I_1 + I_2 - I_4 = 0$;

pour le nœud b $I_3 - I_2 - I_5 = 0$

Les trois circuits fermés auxquels on appliquera la seconde loi de Kirchhoff seront formés par exemple par les branches *ac* et *bc*. En parcourant les mailles dans le sens des aiguilles d'une montre on obtient:

pour la maille gauche

$$E_1 = (R_{INT1} + R_1) * I_1 + R_4 * I_4$$

pour la maille médiane qui ne contient pas de source d'énergie

$$0 = -R_2 * I_2 + R_5 * I_5 - R_4 * I_4$$

pour la maille droite

$$-E_2 = - (R_{INT2} + R_3) * I_3 - R_5 * I_5$$

Ont reçu le système des équations:

$$I_1 + I_2 - I_4 = 0;$$

$$I_3 - I_2 - I_5 = 0;$$

$$E_1 = (R_{INT1} + R_1) * I_1 + R_4 * I_4;$$

$$0 = -R_2 * I_2 + R_5 * I_5 - R_4 * I_4;$$

$$-E_2 = - (R_{INT2} + R_3) * I_3 - R_5 * I_5$$

Résolvant le système d'équations obtenu, on trouve les valeurs des cinq courants cherchés.

1. РАСЧЕТ ЦЕПЕЙ ПОСТОЯННОГО ТОКА

1.1. Исходные данные

К выводам а - х линии электропередачи (ЛЭП) постоянного тока (рис.1.1.) с общим сопротивлением обоих проводов $R_{л} = 1 \text{ Ом}$, которая питается через выключатель $S1$ от генератора G с ЭДС $E1$ и внутренним сопротивлением $R_{01} = 0,1 \text{ Ом}$, присоединены через выключатели $S2...S4$ следующие потребители электроэнергии:

1. электронагреватели (ЕК1 - ЕК3), каждый с параметрами $R_{ном}$ и $U_{ном1} = U_{ном2} = 127\text{В}$; $U_{ном3} = 220\text{В}$;
2. двигатель постоянного тока M с ЭДС $E3$ и внутренним сопротивлением $R_{03} = 0,4 \text{ Ом}$;
3. аккумуляторная батарея GB , состоящая из n последовательно соединенных элементов с параметрами каждого: ЭДС E_n и внутреннее сопротивление $R_{0n} = 0,004 \text{ Ом}$.

1.2. Задание

Для выбранного варианта необходимо:

1. Начертить принципиальную схему (ветви, выключатели которых по заданию отключены, не изображать).
2. Начертить схему замещения цепи. Заменить последовательно и параллельно соединенные элементы, присоединенные к каждому выключателю, эквивалентными элементами.
3. Определить токи в ветвях методом уравнений Кирхгофа.
4. Определить режимы работы источников ЭДС и остальных участков цепи.
5. Составить уравнение баланса мощностей и оценить погрешность вычислений в процентах.
6. Указать на схеме замещения и определить напряжения на внешних зажимах генератора $U1 = U_{AX}$ и потребителей $U2 = U_{ax}$, подключенных к ЛЭП, через значения их параметров.
7. Определить падение напряжения в проводах ЛЭП $\Delta U_{л}$ в рассматриваемом режиме.
8. Выбрать сечение проводов ЛЭП и отдельных линий, идущих от выключателей $S2...S4$, пользуясь данными табл. 1.3 допустимых токов.
9. Вычислить стоимость потерь энергии в проводах ЛЭП (С) за месяц, если по тарифу она оплачивается по $\Pi = 15,6 \text{ коп. за } 1 \text{ кВтч}$. Потребители включены в среднем по $t = 8 \text{ час}$. в сутки.
10. Начертить схему замещения цепи при коротком замыкании в конце ЛЭП (отключены выключатели $S2 \dots S4$).
Определить ток короткого замыкания I_k цепи в этом случае.
11. Выбрать величины токов плавких вставок предохранителей $FU1...FU8$ для защиты линии, источника (табл.1.4), а также потребителей от опасной перегрузки и токов короткого замыкания.

Таблица 1.1. - Номинальные мощности электронагревателей

Таблица 1.2. - Параметры ветвей с источниками ЭДС

Таблица 1.3. - Допустимые токовые нагрузки (Сечение проводящей жилы, мм² /Длительно допустимый ток нагрузки)

Таблица 1.4. - Номинальные токи плавких вставок

1.3. Указания по расчету

1. Значения величин E , $R_{ном}$, E_n и номера отключенных выключателей $S2...S4$ выбираются по двум последним цифрам mn номерам зачетной книжки в соответствии с табл. 1.1 и

1.2. В соответствии с табл. 1.1. (по предпоследней цифре - m) выбираются мощности нагревателей; в соответствии с табл. 1.2. (по последней цифре - n) – параметры ветвей.

2. При составлении схемы замещения ветви нумеруют в соответствии с номерами выключателей. Эти номера присваивают токам и сопротивлениям.

2.1. Первая ветвь (ветвь генератора) включает источник с сопротивлением $R_{01}=0,1$ Ом и сопротивление ЛЭП 1 Ом, соединенные последовательно.

2.2. Нагрузка, подключенная к выключателю S2, содержит два последовательно соединенных электронагревателя ЕК1 и ЕК2, соединенные параллельно с нагревателем ЕК3.

Сопротивление электронагревателей определяются через их номинальные параметры $P_{ном}$, $U_{ном}$.

2.3. Четвертая ветвь содержит n последовательно согласно - соединенных аккумуляторных элементов. При последовательном согласном соединении источников общая эквивалентная ЭДС равна сумме ЭДС элементов ($E_4=n E_n$), а общее сопротивление - сумме сопротивлений элементов ($R_4=n R_{0n}$).

3. Для определения токов в ветвях методом уравнений Кирхгофа:

3.1. Задать произвольно направления токов в ветвях. Этим определяются условные направления падений напряжения на сопротивлениях элементов и напряжение на нагрузке, которые указываются стрелками на схеме.

3.2. Составить и решить систему уравнений Кирхгофа.

Число уравнений равно числу определяемых токов. По первому закону Кирхгофа:

$\sum I=0$, (токи направленные к узлу имеют знак «+», от узла - «-»)

составляются ($k-1$) уравнений, где k - число узлов в схеме. Остальные уравнения составляются по второму закону Кирхгофа для независимых контуров:

$\sum E=\sum IR + \sum U$, (если направление ЭДС, тока, напряжения совпадают с направлением обхода контура - знак «+», противоположны – знак «-»).

Решить систему уравнения относительно токов.

Если токи положительны - действительные направления токов совпадают с условно принятыми; если токи отрицательны - действительные направления токов противоположны условно принятым.

Действительные направления токов следует указать на схеме пунктирной стрелкой.

В дальнейших расчетах необходимо применять только действительные направления токов.

4. Признаки определения режимов работы участков цепи следующие:

А. Для любого участка цепи (по направлениям напряжений и токов)

а) если ток совпадает по направлению с напряжением, участок цепи - приемник электроэнергии;

б) если ток противоположен по направлению напряжению, участок цепи - источник электроэнергии.

Б. Для активных участков цепи (по направлениям ЭДС и токов):

а) если ток совпадает с ЭДС, активный элемент работает в режиме источника электроэнергии;

б) если ток противоположен ЭДС, активный элемент работает в режиме приемника электроэнергии.

В. Пассивные элементы - резисторы работают в режиме приемника электроэнергии (на них напряжение и ток всегда совпадают по направлению).

5. При составлении уравнения баланса мощностей: ЭДС, совпадающей по направлению с действительным направлением тока, т.е. источникам электроэнергии, приписывают знак +, а не совпадающей, т.е. приемникам электроэнергии, - знак "-".

$$\sum EI = \sum RI^2$$

Допустимое значение ошибки 5 %

6. Каждый провод имеет определенный длительно допустимый по нагреву ток (табл. 1.3). Условие выбора сечения провода по допустимому нагреву - $I_{доп} > I_l$, где I_l - максимальный ток нагрузки в линии, $I_{доп}$ - ближайшее большее значение тока из табл. 1.3.

7. Стоимость потерь энергии в проводах ЛЭП вычисляется по формуле: $C = W * Ц$, где потери энергии в проводах ЛЭП: $W = \Delta P_{л} t$

8. Плавкая вставка предохранителя должна выдерживать рабочий ток цепи, а при больших токах коротких замыканий — перегорать. Поэтому номинальный ток плавкой вставки предохранителя выбирается по условию $I_{в.ном} > I_l$, где $I_{в.ном}$ - ближайший больший ток плавкой вставки (табл. 1.4).

2. CALCUL DES CIRCUITS MONOPHASES A COURANT ALTERNATIF

2.1. Les données initiales

A une ligne de transport d'énergie électrique (LT) ayant deux fils qui est alimenté de générateur monophasé par la fréquence 50 Hz (fig. 2.1), sont branchées en parallèle par les interrupteurs $S1 \dots S6$ des récepteurs $R1 \dots R6$ (tab. 2.1). La tension aux bornes du générateur U_1 (dans l'origine de LT) est mesuré par le voltmètre PV1 et aux bornes des récepteurs U_2 (à l'extrémité de LT) – par le voltmètre PV2. Pour la mesure le courant de chaque récepteur sont branchées les ampèremètres PA1 ... PA6, mais pour la mesure le courant de générateur - PA7.

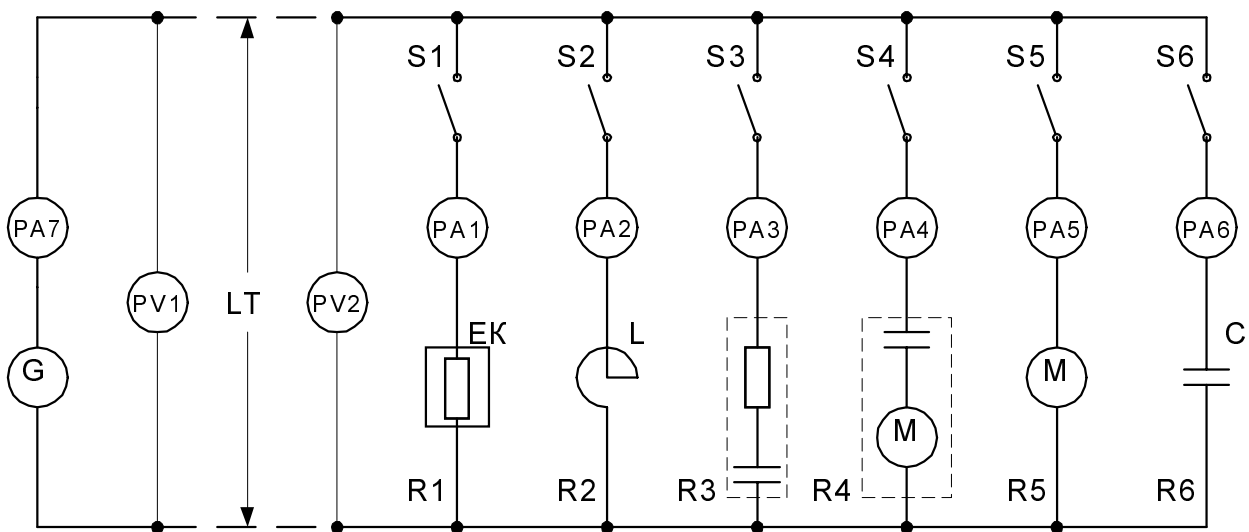


Fig. 2.1. Le schéma de principe du branchement des récepteurs

2.2. Le devoir

Pour la variante choisie il est nécessaire:

1. Tracer le schéma de principe (ne pas représenter les branches, les interrupteurs de qui selon le devoir sont déconnectées; garder le numérotage resté selon la fig. 2.1).
2. Tracer le schéma équivalent du circuit. Dessiner sur le schéma les directions conditionnement - positives des sources du F.E.M, des tensions et des courants, ainsi que les chutes des tensions sur les résistances (LT).
3. Définir le courant de chaque récepteur (les indications des ampèremètres PA1... PA6).
4. Définir le courant à LT (l'indication de l'ampèremètre PA7).
5. Selon le courant à LT et la tension à l'extrémité de LT U_2 remplacer le groupe des récepteurs par un récepteur équivalent.
6. Définir la chute de tension à LT U_l .

Tableau 2.1. - Les paramètres des récepteurs d'énergie électrique

Le chiffre avant-dernier du livret d'examen	Le type du récepteur et les paramètres de son schéma équivalent (Ohm)									
	P1 le four- neau chauf- fant	P2 le réac- teur	P3 le filtre ac- tivement - capacité		P4 le moteur mono- phasé de condensa- teur			P5 le moteur mo- nophasé		P6 la batte- rie des conden- sateurs
	R_1	X_2	R_3	X_{C3}	R_4	X_{L4}	X_{C4}	R_5	X_{L5}	X_{C6}
0	100	100	80	60	100	100	100	80	60	100
1	60	80	40	30	40	40	70	40	30	83,3
2	50	50	40	30	40	40	10	30	40	100
3	100	70	70,7	70,7	50	50	50	60	80	125
4	100	80	60	80	80	40	100	70,7	70,7	100
5	40	100	80	60	80	100	100	32	24	66,6
6	40	40	24	32	24	40	72	80	60	20
7	40	40	32	24	24	72	40	60	80	125
8	50	30	32	24	12	16	32	16	24	30
9	20	20	15	20	16	48	48	32	24	66,6
m	80	275	50	50	100	400	400	100	100	200

Tableau 2.1. - Les paramètres du schéma selon fig. 2.1.

Les paramètres	Le dernier chiffre de numéro du livret d'examen										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	n
Les numéros des interrupteurs branchés	1	1	1	1	2	2	2	3	3	4	2
	2	2	2	2	3	3	3	4	4	5	4
	4	5	6	3	5	4	6	6	5	6	5
La tension, V	127	220	380	660	127	220	380	660	127	380	220
La résistance active des fils de la ligne R_{LT} , Ohm	1	5	3	2	1	5	3	2	1	3	6
L'inductance des fils de la ligne X_{LT} , Ohm	3	15	9	6	3	15	9	6	3	9	18

7. Définir la tension aux bornes du générateur U_1 (l'indication du voltmètre PV1).

8. Construire pour le schéma devoir (dans l'échelle) le diagramme vectoriel selon l'indication de tous les courants et les tensions. Accomplir l'analyse du diagramme vectoriel: déterminer l'angle de déphasage entre les tensions U_1 , U_2 et le courant total, ainsi que la perte de tension (la différence algébrique des tensions $U_1 - U_2$).

9. Indiquer la branche du schéma dans laquelle il y a une résonance de tensions. Définir les tensions sur ses éléments.

10. Indiquer le groupe des branches dans laquelle il y a une résonance des courants.

11. Définir les puissances actives, réactives et la puissance apparente de chaque récepteur et du récepteur équivalent.

12. Faire l'équation de bilan des puissances actives et réactives des récepteurs. Estimer l'erreur relative du calcul.

2.3. Les indications selon le calcul

1. Les variantes des valeurs données: tension U_2 , les résistances des fils (LT) R_{LT} et X_{LT} , les numéros des interrupteurs branchés et les paramètres des récepteurs sont choisis en fonction du tab. 2.1 et 2.2. Le générateur est accepté idéal, sa résistance intérieure est égale au zéro $R_0=0$.

2. À la rédaction du schéma équivalent: les résistances actives et inductances des deux fils de la ligne remplacer par des résistances équivalentes (la résistance active R_{LT} et inductance X_{LT}).

Au courant alternatif F.E.M, les tensions et les courants changent leur direction deux fois dans une période. Une des directions F.E.M à l'intérieur de la source est acceptée comme conditionnement - positif et il est indiqué par la flèche (fig. 2.3). Par rapport à cette direction on établit les directions conditionnement - positives des tensions et des courants selon les règles établis pour le courant continu: la tension à la source U_1 est acceptée opposée F.E.M, le courant I_L - coïncidant avec F.E.M de la source, les directions des tensions et des courants sur les récepteurs d'énergie électrique coïncident.

Le point au-dessus du signe de chacune dans chacune de ces grandeurs indique, que c'est les grandeurs complexes et sur les diagrammes vectoriels ils sont représentés par les vecteurs

Il faut résoudre par la méthode de la décomposition des courants sur activement - réactifs composant.

3. Pour la définition des courants de chaque récepteur, c'est-à-dire les courants dans les branches parallèles du circuit il est nécessaire de calculer l'impédance des récepteurs.

$$Z_n = \sqrt{(R_n^2 + X_n^2)} = \sqrt{[R_n^2 + (X_{Ln} - X_{Cn})^2]}$$

n - le numéro de branche parallèle.

Les inductances sont comprenant dans les formules avec le signe "+", mais les capacités – avec le signe moins "-".

$$\text{Ainsi } I_n = U_2 / Z_n$$

4. Pour la définition du courant de la ligne I_{LT} il est nécessaire de mettre les courants dans les branches parallèles pour les composants actifs et réactifs.

$$Ia_n = I_n \cos\varphi_n;$$

$$Ir_n = I \sin\varphi_n,$$

$$\text{où } \cos\varphi_n = R_n/Z_n; \sin\varphi_n = X_n/Z_n$$

Faire attention, que les composants inductifs et les capacités ont les signes opposés. Dans les calculs ultérieurs les courants inductifs se prennent avec le signe "+", mais les courants d'une capacité - avec le signe "-".

$$I_{LT} = \sqrt{(\sum Ia)^2 + (\sum Ir)^2} = \sqrt{[(\sum Ia)^2 + (\sum I_L - \sum I_C)^2]}$$

$\sum Ia = Ia_{LT}$ - la somme arithmétique des composantes actives du courant dans les branches

$\sum Ir = Ir_{LT}$ - la somme algébrique des composantes réactives du courant dans les branches

5. Les récepteurs connectés en parallèle sont remplacés par un équivalent, l'impédance Z_ϵ de qui est définie par le courant LT I_{LT} et la tension à l'extrémité de LT.

Dessiner le schéma du circuit au remplacement des récepteurs connectés en parallèle par un équivalent avec le circuit équivalent en série.

Pour le calcul active R_ϵ et réactive X_ϵ des composantes équivalent d'impédance: selon les composants ($\sum Ia$, $\sum Ir$) du courant complet I_{LT} on définit les valeurs du $\cos\varphi_\epsilon$ et $\sin\varphi_\epsilon$ de récepteur équivalent.

Sur le schéma équivalent: la réactance du consommateur équivalent doit être capacitive à la prédominance des courants de capacité. Si dans le composant réactif du courant total prédomine le courant inductif, la réactance du consommateur équivalent - inductive.

Les composants active U_{2a} et réactive U_{2r} de la tension U_2 seront définis par $\cos\varphi_\epsilon$ et $\sin\varphi_\epsilon$.

6. La chute de tension à LT:

$$\Delta U_{LT} = \sqrt{(\Delta U^2 a_{LT} + \Delta U^2 r_{LT})}$$

Les composants active $\Delta U a_{LT}$ et réactif $\Delta U r_{LT}$ des chutes de tension à LT sont définies par R_{LT} , X_{LT} et I_{LT} selon la loi de L'ohm

7. La tension sur les bornes du générateur U_1 (selon le schéma équivalent en série).

$$U_1 = \sqrt{(\sum Ua)^2 + (\sum Ur)^2} = \sqrt{[(\sum Ua)^2 + (\sum U_L - \sum U_C)^2]}$$

Les chutes de tension sur les inductances se prennent avec le signe "+", mais aux bornes d'une capacité - avec le signe "-".

8. L'ordre de la construction du diagramme vectoriel

Choisir les échelles pour les tensions: (m_U [V/cm]) et les courants (m_I [A/cm]).

Remettre le vecteur de tension U_2 sur la ligne droite horizontale.

Remettre successivement les composants actifs I_{a_n} et réactifs I_{r_n} des courants des récepteurs en ce qui concerne le vecteur U_2 (la fin du vecteur précédent est le début du suivant).

La somme vectorielle des composants correspondant I_{a_n} et I_{r_n} (le vecteur joignant le début du premier vecteur à la fin du dernier) fait le courant I_n de chaque récepteur particulier.

Le courant actif est en phase avec la tension, le courant capacitif (a le signe "-") est en avance la tension selon la phase sur l'angle $\pi/2$, le courant inductif (a le signe "+") est en retard sur l'angle $\pi/2$.

Recevoir le vecteur du courant total I_{LT} en additionnant tout actif I_{a_n} et tout réactif I_{r_n} les composants des courants des récepteurs (la somme vectorielle).

En projetant le vecteur de la tension U_2 sur la direction du vecteur I_{LT} , trouver les composants active U_{2a} et réactive U_{2r} . La somme de ces composants fait la tension U_2 .

La tension active est en phase avec le courant I_{LT} , la tension réactive est en avance ou est en retard sur l'angle $\pi/2$ (en fonction du caractère de la charge).

Pour la définition de la tension U_1 vers le vecteur U_2 ajouter le vecteur ΔU_{LT} .

Le vecteur ΔU_{LT} est construit de la fin du vecteur U_2 . Sa direction est définie par la somme des composants actifs $\Delta U_{a_{LT}}$ et réactif $\Delta U_{r_{LT}}$. Le composant actif est en phase avec le courant I_{LT} , mais réactif est en avance le courant sur l'angle $\pi/2$.

9. Dans les branches du schéma il peut arriver une résonance série, si on accomplit sa condition - l'égalité des réactances X_{L_n} et X_{C_n} , entrants à la branche.

10. Entre les branches du schéma on peut avoir la résonance parallèle, si on réalise sa condition - d'égalité des susceptances B_L et B_C entrants à la branche. Avec cela, les courant réactifs sont égaux en valeur.

11. Les puissances actives P_n , réactives Q_n et la puissance apparente S_n de chaque récepteur et du récepteur équivalent ($P_{\acute{e}}$, $Q_{\acute{e}}$, $S_{\acute{e}}$) sont définis par les valeurs des courants I_n , $I_{\acute{e}}$ et les tensions U_2 de ces récepteurs, en tenant compte de l'angle du déphasage des phases φ_n , $\varphi_{\acute{e}}$.

12. À la rédaction l'équation de bilan des puissances actives et réactives:

La puissance active totale $\sum P$ consommée par les récepteurs est égale à la somme arithmétique des puissances de tous les consommateurs.

L'erreur relative du calcul:

$$\Delta P = (P_{\acute{e}} - \sum P) / P_{\acute{e}}$$

La valeur admissible de l'erreur 5 %

La puissance réactive total $\sum Q$ consommé par les récepteurs du réseau est égaux à la somme algébrique des puissances réactives de tous les consommateurs.

Les puissances réactives sur les éléments inductifs se prennent avec le signe "+", mais sur les capacités - avec le signe "-".

L'erreur relative du compte:

$$\Delta Q = (Q_e - \sum Q) / Q_e$$

L'exemple numérique.

A l'extrémité de ligne de transport d'énergie électrique (LT) (fig. 2.2) (la résistance active r_{LT} et inductance x_{LT}), sont branchées en parallèles récepteurs: 1) le fourneau chauffant (la résistance active r_2 et inductance x_{L2}), 2) le moteur monophasé, 3) le filtre activement – capacité (la résistance active r_3 et capacité x_{c3})

Définir le courant de chaque récepteur et le courant à LT.

La tension à l'extrémité de LT (aux bornes $d-f$ des récepteurs) $U_2 = 220 V$.

Construire pour le schéma devoir le diagramme vectoriel selon l'indication de tous les courants et les tensions

Définir l'angle du déphasage entre la tension U et le courant I à la ligne de transport.

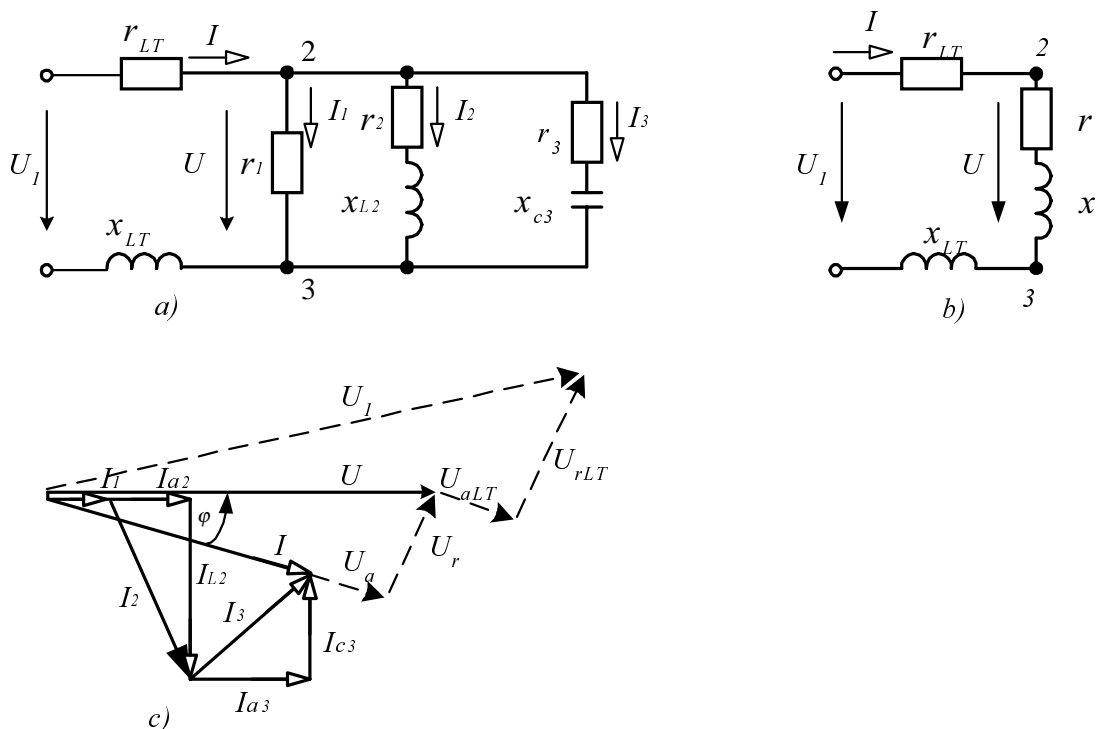


Fig. 2.2

Résolution.

Les courants dans les branches parallèles sont définis selon la loi de L'ohm.

$$I_1 = \frac{U}{r_1} = \frac{220}{20} = 11 \text{ A};$$
$$I_2 = \frac{U}{z_2} = \frac{U}{\sqrt{r_2^2 + x_{L2}^2}} = \frac{220}{\sqrt{3^2 + 4^2}} = 44 \text{ A};$$
$$I_3 = \frac{U}{z_3} = \frac{U}{\sqrt{r_3^2 + x_{c3}^2}} = \frac{220}{\sqrt{6^2 + 8^2}} = 22 \text{ A} .$$

Le courant en LT est égal à la somme géométrique des courants dans les branches parallèles

$$I = \sqrt{(I_{a1} + I_{a2} + I_{a3})^2 + (I_{L2} - I_{C3})^2} ,$$

où $I_{a1} = I_1 = 11 \text{ A}$; $I_{a2} = I_2 \cos \varphi_2 = I_2 \frac{r_2}{z_2} = 44 \cdot \frac{3}{5} = 25,4 \text{ A}$;

$$I_{a3} = I_3 \cos \varphi_3 = 22 \cdot \frac{8}{10} = 17,6 \text{ A} ; I_{L2} = I_2 \sin \varphi_2 = 44 \cdot \frac{4}{5} = 33,2 \text{ A} ;$$

$$I_{c3} = I_3 \sin \varphi_3 = I_3 \frac{x_{c3}}{z_3} = 22 \cdot \frac{6}{10} = 13,2 \text{ A} .$$

Alors:

$$I = \sqrt{(11 + 25,4 + 17,6)^2 + (33,2 - 13,2)^2} = 57,5 \text{ A} .$$

Le schéma équivalent du circuit est amené pour le fig. 2.2.,b.

Le diagramme vectoriel du circuit est construit pour le fig. 2.2,c.

Le cosinus de l'angle du déphasage entre la tension U et le courant I à la ligne de transport:

$$\cos \varphi = \frac{I_a}{I} = \frac{I_{a1} + I_{a2} + I_{a3}}{I} = \frac{11 + 25,4 + 17,6}{57,5} = 0,94 .$$

2. РАСЧЕТ ОДНОФАЗНЫХ ЦЕПЕЙ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

2.1. Исходные данные

К двухпроводной линии передачи (ЛЭП), питаемой от однофазного генератора G частотой 50 Гц (рис. 2.1- *Принципиальная схема подключения приемников*), подключается параллельно через выключатели $S1...S6$ приемники $П1 ... П6$ (табл. 2.1). Напряжение на зажимах генератора $U1$ (в начале ЛЭП) измеряется вольтметром $PV1$, а на зажимах приемников $U2$ (в конце ЛЭП) - вольтметром $PV2$. Для измерения тока каждого приемника включены амперметры $РА1 ... РА6$, а для генератора - $РА7$.

2.2. Задание

Для выбранного варианта необходимо:

1. Начертить принципиальную схему (ветви, выключатели которых по заданию отключены, не изображать; нумерацию оставшихся сохранить по рис. 2.1).
2. Начертить схему замещения цепи. Нанести на схеме условно-положительные направления ЭДС источника, напряжений и токов, а также падений напряжения на сопротивлениях ЛЭП.
3. Определить ток каждого приемника (показания амперметров $РА1...РА6$).
4. Определить ток в ЛЭП (показания амперметра $РА7$).
5. По току в ЛЭП и напряжению в конце ЛЭП $U2$ заменить группу приемников эквивалентным приемником.
6. Определить падение напряжения в ЛЭП $\Delta U_{л}$.
7. Определить напряжение на зажимах генератора $U1$ (показание вольтметра $PV1$).
8. Построить для заданной схемы (в масштабе) векторную диаграмму с указанием всех токов и напряжений. Выполнить анализ диаграммы: определить угол сдвига фаз между напряжениями $U1$, $U2$ и общим током, а также потерю напряжения (алгебраическая разность напряжений $U1 - U2$).
9. Указать ветвь схемы, в которой имеет место резонанс напряжений. Определить напряжения на ее элементах.
10. Указать группу ветвей, в которых имеет место резонанс токов.
11. Определить активную, реактивную и полную мощности на каждом приемнике и эквивалентном приемнике.
12. Составить уравнение баланса активных и реактивных мощностей приемников. Оценить относительную погрешность расчета.

Таблица 2.1.- 1 Параметры приемников электроэнергии

Тип приемника и параметры его последовательной схемы замещения:

П1 -Нагревательная печь

П2 – Реактор

П3 - Активно-емкостной фильтр

П4 - Однофазный конденсаторный электродвигатель

П5 - Однофазный электродвигатель

П6 - Батарея конденсаторов

m - Предпоследняя цифра зачетной книжки

Таблица 2.2. - Параметры схемы

n - Последняя цифра номера зачетной книжки

2.3. Указания по расчету

1. Варианты заданных значений напряжения U_2 , сопротивлений проводов ЛЭП R_l и X_l , номеров включенных выключателей и параметров приемников выбираются в соответствии с табл. 2.1 и 2.2. Генератор принят идеальным, его сопротивление равно нулю.

2. При составлении схемы замещения: активные и индуктивные сопротивления обоих проводов линии заменить общими эквивалентными сопротивлениями: активным R_l и индуктивным X_l .

На переменном токе ЭДС, напряжения и токи меняют свое направление дважды за период. Одно из направлений ЭДС внутри источника принимается за условно-положительное и указывается стрелкой (рис. 2.3). По отношению к этому направлению устанавливаются условно-положительные направления напряжений и токов по правилам установленным для постоянного тока: напряжение на источнике \dot{U}_1 , принимается противоположно ЭДС, тока \dot{I}_l - совпадающим с ЭДС источника, направления напряжений и токов на приемниках электроэнергии совпадают.

Точка над знаком каждой из этих величин указывает, что это комплексные величины и на векторных диаграммах они изображаются векторами.

Решение произвести методом разложения токов на активно-реактивные составляющие.

3. Для определения токов каждого приемника, т.е. токов в параллельных ветвях схемы необходимо вычислить полные сопротивления приемников.

$$Z_n = \sqrt{(R_n^2 + X_n^2)} = \sqrt{[R_n^2 + (X_{Ln} - X_{Cn})^2]}$$

n – номер параллельной ветви.

Индуктивные сопротивления входят в формулы со знаком "+", а емкостные - со знаком "-".

Тогда $I_n = U_2 / Z_n$

4. Для определения тока линии I_l необходимо разложить токи в параллельных ветвях на активные и реактивные составляющие.

$$I_{an} = I_n \cos\varphi_n;$$

$$I_{pn} = I_n \sin\varphi_n,$$

$$\text{где } \cos\varphi_n = R_n / Z_n; \sin\varphi_n = X_n / Z_n$$

Обратить внимание, что индуктивные и емкостные составляющие имеют противоположные знаки. В дальнейших расчетах индуктивные токи берутся со знаком "+", а емкостные токи - со знаком "-".

$$I_l = \sqrt{(\sum I_a)^2 + (\sum I_p)^2} = \sqrt{[(\sum I_a)^2 + (\sum I_L - \sum I_C)^2]}$$

$\sum I_a = I_{la}$ – арифметическая сумма активных составляющих токов ветвей;

$\sum I_p = I_{lp}$ – алгебраическая сумма реактивных составляющих токов ветвей.

5. Параллельно соединенные приемники заменяются одним эквивалентным, полное сопротивление Z_Σ которого определяется током ЛЭП I_l и напряжением U_2 в конце ЛЭП.

Нарисовать схему цепи при замене параллельно соединенных приемников эквивалентным с последовательной схемой замещения.

Для расчета активной R_{Σ} и реактивной X_{Σ} составляющих эквивалентного сопротивления необходимо по составляющим (ΣI_a , ΣI_p) полного тока I_l определить величины $\cos\varphi_3$ и $\sin\varphi_3$ эквивалентного приемника:

На схеме замещения: при преобладании емкостных токов реактивное сопротивление эквивалентного потребителя должно быть емкостным. Если в реактивной составляющей общего тока преобладает индуктивный ток, то реактивное сопротивление эквивалентного потребителя – индуктивное.

Составляющие активная U_{2a} и реактивная U_{2p} напряжения U_2 определяются через $\cos\varphi_3$ и $\sin\varphi_3$.

6. Падение напряжения в ЛЭП:

$$\Delta U_l = \sqrt{(\Delta U_{ла}^2 + \Delta U_{лр}^2)},$$

Активная $\Delta U_{ла}$ и реактивная $\Delta U_{лр}$ составляющие падения напряжения в ЛЭП определяются через R_l , X_l и I_l по закону Ома.

7. Напряжение на зажимах генератора U_1 (по эквивалентной последовательной схеме замещения):

$$U_1 = \sqrt{(\Sigma U_a)^2 + (\Sigma U_p)^2} = \sqrt{[(\Sigma U_a)^2 + (\Sigma U_L - \Sigma U_C)^2]}$$

Падения напряжения на индуктивных сопротивлениях берутся со знаком "+", а на емкостных - со знаком "-".

8. Порядок построения векторной диаграммы:

Выбрать масштабы для напряжений (m_U [В/см]) и токов (m_I [А/см]).

На горизонтальной прямой отложить вектор напряжения U_2 .

Относительно вектора U_2 отложить последовательно активные I_{an} и реактивные I_{pn} составляющие токов приемников (конец предыдущего вектора является началом следующего). Векторная сумма соответствующих составляющих (вектор, соединяющий начало первого вектора с концом последнего) дает ток I_n каждого отдельного приемника.

Активный ток совпадает по фазе с напряжением, емкостный (имеет знак "-") опережает напряжение по фазе на угол $\pi/2$, индуктивный (имеет знак "+") отстает на угол $\pi/2$.

Суммируя (векторно) все активные I_{an} и все реактивные I_{pn} составляющие токов приемников получить вектор общего тока I_l .

Проектируя вектор напряжения U_2 на направление вектора I_l , найти активную U_{2a} и реактивную U_{2p} составляющие, сумма которых дает напряжение U_2 .

Активное напряжение совпадает по фазе с током I_l , реактивное опережает или отстает на угол $\pi/2$ (β зависимости от характера нагрузки).

Для определения напряжения U_1 к вектору U_2 добавить вектор ΔU_l .

Вектор ΔU_l строится из конца вектора U_2 . Его направление определяется суммой активной $\Delta U_{ла}$ и реактивной $\Delta U_{лр}$ составляющих, причем активная составляющая совпадает по фазе с током I_l , а реактивная - опережает его на угол $\pi/2$.

9. В ветвях схемы может наступить резонанс напряжений, если выполняется его условие - равенство сопротивлений X_{Ll} и X_{Cn} , входящих в ветвь.

10. Между ветвями схемы может наступить резонанс токов, если выполняется его условие – равенство проводимостей B_L и B_C , входящих в ветви. При этом, общий ток потребляемый из сети совместно приемниками, включенными в эти ветви, является только активным током.

11. Активные P_n , реактивные Q_n и полные S_n мощности каждого приемника отдельно и эквивалентного (P_{Σ} , Q_{Σ} , S_{Σ}) приемника определяются величинами токов I_n , I_{Σ} и напряжений U_n этих приемников, с учетом угла сдвига фаз φ_n , φ_{Σ} .

12. При составлении баланса активных и реактивных мощностей:

Общая потребляемая приемниками активная мощность $\sum P$ равна арифметической сумме активных мощностей всех потребителей.

Относительная погрешность расчета:

$$\Delta P = (P_{\Sigma} - \sum P) / P_{\Sigma}$$

Допустимое значение ошибки 5 %

Общая потребляемая из сети приемниками реактивная мощность $\sum Q$ равна алгебраической сумме реактивных мощностей всех потребителей.

Реактивные мощности на индуктивных элементах берутся со знаком "+", а на емкостных - со знаком "-".

Относительная погрешность расчета:

$$\Delta Q = (Q_{\Sigma} - \sum Q) / Q_{\Sigma}$$

3. CALCUL DES CIRCUITS TRIPHASES A COURANT ALTERNATIF

3.1. Les données initiales

A un réseau triphasé à quatre fils du courant alternatif sont branchées les récepteurs selon le schéma fig. 3.1. Les valeurs de la tension composée du réseau U_l et les paramètres des récepteurs sont amenées dans le tab. 3.1 (les capacitances sont indiquées avec le signe "-").

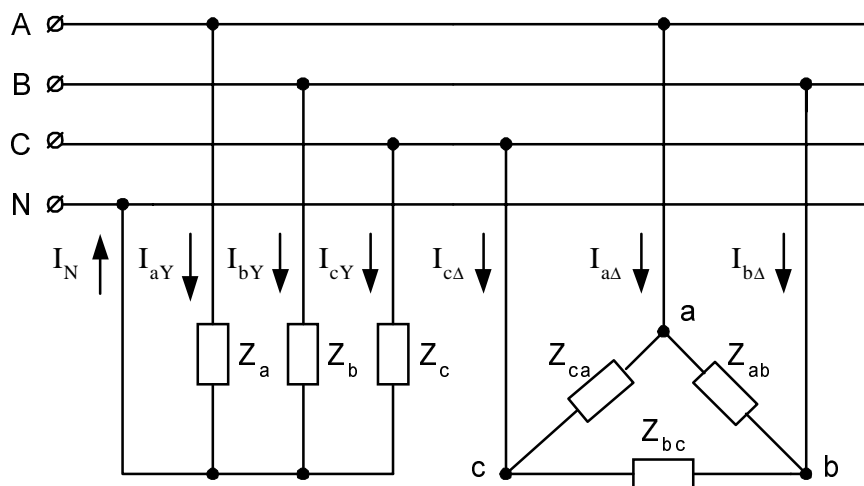


Fig. 3.1. Le schéma de principe de la connexion des consommateurs au circuit triphasé

3.2. Le devoir

1. Tracer le schéma équivalent du circuit donné compte tenu des paramètres des récepteurs.
2. Définir les courants simples et les angles de déphasage entre le courant et la tension des récepteurs branchés selon le schéma du triangle.
3. Construire le diagramme vectoriel pour le point 2. Définir avec son aide les courants composés des récepteurs branchés selon de schéma un triangle.
4. Définir les courants des récepteurs branchés en étoile avec le fil neutre.
5. Construire le diagramme vectoriel pour le 4^{ème} point. Définir avec son aide le courant dans le fil neutre.
6. Définir graphiquement (selon le diagramme vectoriel cumulé) les courants totaux consommés par les récepteurs du réseau d'alimentation.
7. Calculer les puissances actives des phases des récepteurs branchés selon les schémas «l'étoile et le triangle», ainsi que la puissance totale active de tout le circuit.
8. Calculer les puissances réactives des phases des récepteurs branchés selon les schémas «l'étoile et le triangle».

Le tableau 3.1. - Les paramètres des récepteurs d'énergie électrique

Le numéro de la variante	Les récepteurs sont connectés												U _c , V
	en triangle						en étoile.						
	R _{ab} , Ohm	X _{ab} , Ohm	R _{bc} , Ohm	X _{bc} , Ohm	R _{ca} , Ohm	X _{ca} , Ohm	R _a , Ohm	X _a , Ohm	R _b , Ohm	X _b , Ohm	R _c , Ohm	X _c , Ohm	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
mn	10	0	32	-24	12	16	48	0	3	-4	8	6	380
00	6	8	10	0	10	0	5	0	5	0	-5	0	220
01	5	0	5	0	5	0	6	8	10	0	10	0	380
02	6	8	10	0	8	6	0	-5	5	0	5	0	660
03	0	-5	5	0	5	0	-6	8	6	8	6	8	220
04	3	4	5	0	0	5	0	10	0	10	0	-10	220
05	10	0	10	0	0	10	4	3	4	-3	0	-5	660
06	3	4	5	0	0	5	0	10	0	10	0	10	220
07	0	-10	10	0	0	10	3	4	3	4	3	4	380
08	20	0	20	0	12	16	0	20	0	20	0	20	660
09	0	-20	20	0	16	12	20	0	20	0	20	0	1140
10	6	8	10		8	-6	4	0	4	0	4	0	220
11	40	0	40	0	24	-32	6	8	6	8	8	6	220
12.	0	-5	5	0	3	24	8	6	8	6	6	8	380
13	8	6	8	-6	8	6	0	-5	0	-5	0	-5	660
14	5	0	5	0	0	-5	0	10	0	10	0	10	220
15	0	-10	10	0	0	-10	5	0	5	0	5	0	380
16	12	16	20	0	0	-20	10	0	10	0	10	0	1140
17	10	0	0	10	10	0	12	16	12	16	12	16	660
18	16	12	16	-12	16	-12	20	0	20	0	20	0	1140
19	20	0	0	20	0	20	16	12	16	12	16	12	380
20	24	32	0	40	40	0	40	0	40	0	40	0	1140
21	40	0	0	40	24	32	24	32	0	40	40	0	660
22	4	3	0	5	5	0	5	0	5	0	5	0	220
23	5	0	0	5	4	-3	4	3	4	3	4	-3	380
24	8	6	0	10	0	-10	10	0	10	0	10	0	660
25	10	0	0	10	0	-10	8	6	0	10	0	10	220
26	16	12	0	20	16	-12	20	0	20	0	20	0	660
27	20	0	16	12	20	0	16	12	16	12	16	12	1400
28	24	32	0	40	0	-40	12	16	12	16	12	16	660
29	5	0	3	4	0	5	6	-8	6	-8	6	-8	220
30	12	16	12	16	20	0	10	0	10	0	-10	0	380
31	10	0	6	8	6	-8	12	16	12	16	12	-16	1140

9. À la rupture du fil linéaire B-B (fig. 3.1): tracer le schéma équivalent des récepteurs branchés en triangle. Définir les courants dans les phases des récepteurs et dans les fils linéaires. Construire le diagramme vectoriel pour ce cas.

3.3. Les instructions selon le calcul

Les données initiales choisies en fonction du tab. 3.1 selon deux derniers chiffres du livret d'examen.

1. Sur le schéma équivalent, indiquer les sens conventionnellement - positives des tensions composées \dot{U}_{AB} , \dot{U}_{BC} , \dot{U}_{CA} et simples \dot{U}_A , \dot{U}_B , \dot{U}_C du réseau, des tensions simples des récepteurs connectés en étoile \dot{U}_a , \dot{U}_b , \dot{U}_c et en triangle \dot{U}_{ab} , \dot{U}_{bc} , \dot{U}_{ca} ; des courants simples \dot{I}_{ab} , \dot{I}_{bc} , \dot{I}_{ca} et composés \dot{I}_{AA} , \dot{I}_{BA} , \dot{I}_{CA} de la charge pour le triangle; des courants simples \dot{I}_{aY} , \dot{I}_{bY} , \dot{I}_{cY} de la charge pour l'étoile, les courants totaux composés \dot{I}_A , \dot{I}_B , \dot{I}_C , arrivées selon la ligne de la source, le courant neutre \dot{I}_N .

2. Pour la définition des courants à phases des récepteurs connectés en triangle, ainsi que des angles de déphasage entre le courant et la tension il est nécessaire de calculer les impédances des récepteurs.

$$Z_S = \sqrt{(R_S^2 + X_S^2)} = \sqrt{[R_S^2 + (X_{L_S} - X_{C_S})^2]}$$

Les réactances inductives ont dans les formules avec le signe "+", mais les réactances de capacité avec le signe "-".

$$\text{Pour «}\Delta\text{» : } U_S = U_C$$

Si la charge des phases est déséquilibrée: les courants et les angles de déphasage sont définis pour chaque phase à part.

À la charge équilibrée: le courant et l'angle de déphasage sont définis pour une phase.

$$I_S = U_S / Z_S$$

Les angles de déphasage sont définis selon les valeurs

$$\cos\varphi_S = R_S / Z_S \text{ et } \sin\varphi_S = X_S / Z_S$$

$$\varphi_S = \arcsin X_S / Z_S$$

3. L'ordre de la construction du diagramme vectoriel pour les récepteurs connectés en triangle:

3.1. Choisir les échelles pour des tensions (m_U [B/cm]) et des courants (m_I [A/cm]).

Construire dans l'échelle le triangle des vecteurs des tensions composés du réseau \dot{U}_{AB} , \dot{U}_{BC} , \dot{U}_{CA} . Pour les récepteurs connectés en triangle ces vecteurs coïncident avec des vecteurs des tensions simples \dot{U}_{ab} , \dot{U}_{bc} , \dot{U}_{ca} .

3.2. Compte tenu des angles de déphasage φ_S construire les vecteurs des courants simples \dot{I}_{ab} , \dot{I}_{bc} , \dot{I}_{ca} (en ce qui concerne la direction des vecteurs des tensions simples correspondant).

Les équations liant les courants composés et simples:

$$\dot{I}_{AA} = \dot{I}_{ab} - \dot{I}_{ca}$$

$$\dot{I}_{BA} = \dot{I}_{bc} - \dot{I}_{ab}$$

$$\dot{I}_{CA} = \dot{I}_{ca} - \dot{I}_{bc}$$

En tenant compte de l'échelle du courant définir les grandeurs des courants composés \dot{I}_{AA} , \dot{I}_{BA} , \dot{I}_{CA} .

4. Puisque dans le schéma il y a un fil neutre, donc la tension sur chaque phase du récepteur connecté en étoile ne dépend pas du type de la charge (équilibrée ou déséquilibrée) et est égale la tension simple de la source.

$$U_a = U_b = U_c = U_C / \sqrt{3}$$

Pour «Y» les courants composés sont égaux à celles simples: $\dot{I}_{cY} = \dot{I}_{sY}$.

5. L'ordre de la construction du diagramme vectoriel pour les récepteurs connectés en étoile:

5.1. Choisir les échelles du courant et de tension (il est désirable de garder précédent);

5.2. Construire le triangle des vecteurs des tensions composés du réseau et dans lui l'étoile des vecteurs des tensions simples du réseau, qui sont simultanément les vecteurs des tensions \dot{U}_a , \dot{U}_b , \dot{U}_c sur les phases des récepteurs connectés en étoile avec le fil neutre.

5.3. En tenant compte des angles de déphasage φ_s construire les vecteurs des courants simples \dot{I}_{aY} , \dot{I}_{bY} , \dot{I}_{cY} (en ce qui concerne la direction des vecteurs des tensions simples correspondant).

Selon le diagramme vectoriel trouver le courant dans le fils neutre I_N en fonction de la première loi Kirchhoff:

$$I_N = \dot{I}_{aY} + \dot{I}_{bY} + \dot{I}_{cY}$$

En tenant compte de l'échelle du courant définir la grandeur I_N .

6. L'ordre de la construction du diagramme cumulé vectoriel.

6.1. Choisir les échelles du courant et de tension (il est désirable de garder précédent);

6.2. Construire le triangle des tensions composées et l'étoile des vecteurs des tensions simples du réseau triphasé.

6.3. Du centre du triangle remettre dans l'échelle les vecteurs \dot{I}_{AA} , \dot{I}_{BA} , \dot{I}_{CA} par voie du report parallèle du diagramme vectoriel pour le triangle, c'est-à-dire avec la conservation des angles en ce qui concerne les vecteurs \dot{U}_{AB} , \dot{U}_{BC} , \dot{U}_{CA} . Transférer analogiquement les vecteurs \dot{I}_{aY} , \dot{I}_{bY} , \dot{I}_{cY} du diagramme pour «Y» avec la conservation des angles en ce qui concerne les vecteurs \dot{U}_A , \dot{U}_B , \dot{U}_C .

Par l'addition géométrique des vecteurs correspondants du courant pour «Y» et «Δ» trouver les vecteurs du courant total dans chaque fil linéaire du réseau.

$$\dot{I}_A = \dot{I}_{A\Delta} + \dot{I}_{aY}$$

$$\dot{I}_B = \dot{I}_{B\Delta} + \dot{I}_{bY}$$

$$\dot{I}_C = \dot{I}_{C\Delta} + \dot{I}_{cY}$$

En tenant compte de l'échelle du courant définir la grandeur de ces courants.

6.4. Le contrôle du calcul.

La somme des courants dirigés vers la charge et depuis elle doit être égale à zéro, c'est-à-dire doit être satisfait à la condition:

$$\dot{I}_A + \dot{I}_B + \dot{I}_C + I_N = 0.$$

Pour la vérification de solution, construire le polygone des vecteurs en fonction de cette expression.

7. La formule totale de la puissance active dans la phase indépendamment des schémas de branchement

$$P_S = U_S I_S \cos\varphi_S$$

Aux récepteurs déséquilibrés de la puissance doivent être calculer à part pour chaque phase.

La puissance totale active de n'importe quel circuit P_C est égale à la somme arithmétique des puissances P_S de tous les récepteurs particuliers: $P_C = \sum P_S$.

$$P_\Delta = \sum P_{S\Delta}$$

$$P_Y = \sum P_{SY}$$

$$P_C = P_\Delta + P_Y$$

À la charge équilibrée dans le triangle ou l'étoile des puissances dans toutes les phases sont identiques. La puissance totale active de trois phases du récepteur est calculé indépendamment du schéma de connexion selon la formule

$$P = \sqrt{3} U_C I_C \cos\varphi_S$$

8. La formule totale de la puissance réactive dans la phase pour les deux schémas de branchement:

$$Q_S = U_S I_S \sin\varphi_S$$

À la réactance inductive de la phase c'est puissance inductive (nous ajoutons conventionnellement le signe "+"). À la réactance de capacité c'est la puissance capacitive (nous ajoutons conventionnellement le signe "-"). À la charge déséquilibrée la puissance réactive est définie pour chaque phase à part.

La puissance totale réactive des consommateurs déséquilibrés du circuit est divisée d'une manière compliquée entre les phases de la ligne d'alimentation de la source.

À la charge équilibrée dans le triangle ou l'étoile des puissances réactives dans toutes les phases sont identiques. La puissance totale réactive de trois phases du consommateur est calculée indépendamment du schéma de connexion selon la formule:

$$Q = \sqrt{3} U_C I_C \sin\varphi_S$$

9. À la rupture du fil linéaire B, aux récepteurs arrive une seule tension \dot{U}_{CA} , c'est-à-dire le circuit triphasé s'est transformée à monophasé. Les consommateurs des phases a-x et B-y se sont trouvés branché entre lui-même en série.

L'impédance Z_{abc} des récepteurs connectés en série dans les phases à-x et B-y:

$$Z_{abc} = \sqrt{[(\sum R_S)^2 + (\sum X_S)^2]},$$

L'angle de déphasage φ_{abc} entre le courant $\dot{I}_{ab} = \dot{I}_{bc}$ et la tension \dot{U}_{CA} de cette branche: $\varphi_{abc} = \arcsin X_{abc}/Z_{abc}$.

Sur le diagramme vectoriel (du triangle des tensions composées du réseau il y a seulement un vecteur de tension \dot{U}_{CA}) construire le vecteur du courant $\dot{I}_{ab} = \dot{I}_{bc}$ en ce qui concerne la tension \dot{U}_{CA} . Le courant \dot{I}_{ca} dans la phase c-z ne changera pas à la rupture du fil linéaire B-B.

En additionnant géométriquement les vecteurs \dot{I}_{ab} et \dot{I}_{ca} sur le diagramme vectoriel, nous définirons le vecteur :

$$\dot{I}_A = \dot{I}_C = \dot{I}_{ab} + \dot{I}_{ca}$$

3. РАСЧЕТ ТРЕХФАЗНЫХ ЦЕПЕЙ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

3.1. Исходные данные

К трехфазной четырехпроводной сети переменного тока подключены приемники по схеме рис. 3.1 (*Принципиальная схема подключения потребителей к трехфазной цепи*). Значения линейного напряжения сети U_l и параметры приемников приведены в табл. 3.1 (емкостные сопротивления указаны со знаком "-").

3.2. Задание

1. Начертить схему замещения заданной цепи с учетом параметров приемников.
2. Определить фазные токи и углы сдвига фаз между током и напряжением приемников, включенных по схеме треугольник.
3. Построить векторную диаграмму для п.2, определить с ее помощью линейные токи приемников, включенных по схеме треугольник.
4. Определить токи приемников, включенных по схеме звезда с нейтральным проводом.
5. Построить векторную диаграмму для п.4, с ее помощью определить ток в нейтральном проводе.
6. Определить графическим методом (по совмещенной векторной диаграмме) суммарные токи, потребляемые приемниками из питающей сети.
7. Вычислить активные мощности фаз приемников, включенных по схемам звезда и треугольник, а также суммарную активную мощность всей цепи.
8. Вычислить реактивные мощности фаз приемников, включенных по схемам звезда и треугольник.
9. При обрыве линейного провода В-в (рис. 3.1): начертить схему замещения приемников, включенных по схеме треугольник и определить токи в фазах приемников и в линейных проводах. Построить векторную диаграмму для этого случая.

3.3. Указания по расчету

Исходные данные выбрать в соответствии с табл. 3.1 по двум последним цифрам зачетной книжки.

Таблица 3.1. - Параметры приемников электроэнергии

1. На схеме замещения указать условно-положительные направления линейных \dot{U}_{AB} , \dot{U}_{BC} , \dot{U}_{CA} и фазных напряжений \dot{U}_A , \dot{U}_B , \dot{U}_C сети, фазных напряжений приемников, соединенных звездой \dot{U}_a , \dot{U}_b , \dot{U}_c и треугольником \dot{U}_{ab} , \dot{U}_{bc} , \dot{U}_{ca} ; фазных \dot{I}_{ab} , \dot{I}_{bc} , \dot{I}_{ca} и линейных токов $\dot{I}_{A\Delta}$, $\dot{I}_{B\Delta}$, $\dot{I}_{C\Delta}$ нагрузки для треугольника; фазных токов нагрузки для звезды \dot{I}_{aY} , \dot{I}_{bY} , \dot{I}_{cY} , общих линейных токов \dot{I}_A , \dot{I}_B , \dot{I}_C , поступающих по линии от источника, тока нейтрали \dot{I}_N .

2. Для определения фазных токов приемников, соединенных треугольником, а также углов сдвига фаз между током и напряжением необходимо вычислить полные сопротивления приемников.

$$Z_{\phi} = \sqrt{(R_{\phi}^2 + X_{\phi}^2)} = \sqrt{[R_{\phi}^2 + (X_{L\phi} - X_{C\phi})^2]}$$

Индуктивные сопротивления входят в формулы со знаком "+", а емкостные - со знаком "-".

Для «Δ»: $U_{\phi} = U_l$

Если нагрузка фаз несимметрична: токи и углы определяются для каждой фазы отдельно.

При симметричной нагрузке: ток и угол сдвига фаз определяется для одной фазы.

$$I_{\phi} = U_{\phi} / Z_{\phi}$$

Углы сдвига фаз определяются по величинам

$$\cos\varphi_{\phi} = R_{\phi} / Z_{\phi} \text{ и } \sin\varphi_{\phi} = X_{\phi} / Z_{\phi}$$

$$\varphi_{\phi} = \arcsin X_{\phi} / Z_{\phi}$$

3. Порядок построения векторной диаграммы для приемников, включенных треугольником:

3.1. Выбрать масштабы для напряжений (m_U [В/см]) и токов (m_I [А/см]).

Построить в масштабе треугольник векторов линейных напряжений сети \dot{U}_{AB} , \dot{U}_{BC} , \dot{U}_{CA} , которые для приемников, соединенных треугольником, совпадают с фазными напряжениями \dot{U}_{ab} , \dot{U}_{bc} , \dot{U}_{ca} .

3.2. С учетом углов сдвига фаз φ_{ϕ} построить векторы фазных токов \dot{I}_{ab} , \dot{I}_{bc} , \dot{I}_{ca} (относительно направления векторов соответствующих фазных напряжений).

Уравнения, связывающие линейные и фазные токи:

$$\dot{I}_{A\Delta} = \dot{I}_{ab} - \dot{I}_{ca}$$

$$\dot{I}_{B\Delta} = \dot{I}_{bc} - \dot{I}_{ab}$$

$$\dot{I}_{C\Delta} = \dot{I}_{ca} - \dot{I}_{bc}$$

С учетом масштаба тока определить величины линейных токов $\dot{I}_{A\Delta}$, $\dot{I}_{B\Delta}$, $\dot{I}_{C\Delta}$.

4. Так как в схеме имеется нейтральный провод, то напряжение на каждой фазе приемника, соединенного звездой, не зависит от типа нагрузки (симметричная или несимметричная) и равно фазному напряжению источника.

$$U_a = U_b = U_c = U_{\text{Л}} / \sqrt{3}$$

Для «Y» линейные токи равны фазным: $\dot{I}_{\text{ЛY}} = \dot{I}_{\phi Y}$.

5. Порядок построения векторной диаграммы для приемников, включенных звездой:

5.1. Выбрать масштабы тока и напряжения (желательно сохранение предыдущих);

5.2. Построить треугольник векторов линейных напряжений сети и в нем звезду векторов фазных напряжений сети, которые одновременно являются векторами напряжений \dot{U}_a , \dot{U}_b , \dot{U}_c на фазах приемников, соединенных звездой с нейтральным проводом.

5.3. С учетом углов сдвига фаз φ_{ϕ} построить векторы фазных токов \dot{I}_{aY} , \dot{I}_{bY} , \dot{I}_{cY} (относительно направления векторов соответствующих фазных напряжений).

По векторной диаграмме найти ток в нейтральном проводе I_N в соответствии с первым законом Кирхгофа:

$$I_N = \dot{I}_{aY} + \dot{I}_{bY} + \dot{I}_{cY}$$

С учетом масштаба тока определить величину I_N .

6. Порядок построения совмещенной векторной диаграммы.

6.1. Выбрать масштабы тока и напряжения (желательно сохранение предыдущих);

6.2. Построить треугольник линейных и звезду фазных векторов напряжений трехфазной сети.

6.3. Из центра треугольника отложить в масштабе векторы $\dot{I}_{A\Delta}$, $\dot{I}_{B\Delta}$, $\dot{I}_{C\Delta}$ путем параллельного переноса из векторной диаграммы для треугольника, т.е. с сохранением углов относительно векторов \dot{U}_{AB} , \dot{U}_{BC} , \dot{U}_{CA} и аналогично векторы \dot{I}_{aY} , \dot{I}_{bY} , \dot{I}_{cY} из диаграммы для «Y» с сохранением углов относительно векторов \dot{U}_A , \dot{U}_B , \dot{U}_C .

Геометрическим сложением соответствующих векторов тока для «Y» и «Δ» находим векторы общего тока в каждом линейном проводе сети.

$$\dot{I}_A = \dot{I}_{A\Delta} + \dot{I}_{aY}$$

$$\dot{I}_B = \dot{I}_{B\Delta} + \dot{I}_{bY}$$

$$\dot{I}_C = \dot{I}_{C\Delta} + \dot{I}_{cY}$$

С учетом масштаба тока определить величину этих токов.

6.4. Проверка расчета.

Сумма токов, направленных к нагрузке и от нее, должна быть равна нулю, т.е. должно выполняться условие:

$$\dot{I}_A + \dot{I}_B + \dot{I}_C + \dot{I}_N = 0.$$

Для проверки решения построить многоугольник векторов в соответствии с этим выражением.

7. Общая формула активной мощности в фазе независимо от схем включения

$$P_\phi = U_\phi I_\phi \cos\varphi_\phi$$

При несимметричных приемниках мощности должны рассчитываться отдельно для каждой фазы.

Общая активная мощность любой цепи P_Σ равна арифметической сумме мощностей P_ϕ всех отдельных приемников: $P_\Sigma = \sum P_\phi$.

$$P_\Delta = \sum P_{\phi\Delta}$$

$$P_Y = \sum P_{\phi Y}$$

$$P_\Sigma = P_\Delta + P_Y$$

При симметричной нагрузке в треугольнике или звезде мощности во всех фазах одинаковы и общая активная мощность трех фаз приемника вычисляется по формуле

$$P = \sqrt{3} U_\Delta I_\Delta \cos\varphi_\phi$$

независимо от схемы соединения.

8. Общая формула реактивной мощности в фазе для обеих схем включения:

$$Q_\phi = U_\phi I_\phi \sin\varphi_\phi$$

При индуктивном сопротивлении фазы - это индуктивная мощность (условно приписываем знак "+"), при емкостном - емкостная мощность (условно приписываем знак "-"). При несимметричной нагрузке реактивная мощность определяется для каждой фазы отдельно.

Общая реактивная мощность несимметричных потребителей цепи сложным образом делится между фазами питающей линии источника.

При симметричной нагрузке в треугольнике или в - звезде реактивные мощности во всех фазах одинаковы и общая реактивная мощность трех фаз потребителя вычисляется по формуле:

$$Q = \sqrt{3} U_\Delta I_\Delta \sin\varphi_\phi$$

независимо от схемы его соединения.

9. При обрыве линейного провода В - в на приемники поступает только одно напряжение \dot{U}_{CA} , т.е. цепь из трехфазной превратилась в однофазную. Потребители фаз а-х и в-у оказались включенными между собой последовательно.

Общее сопротивление Z_{abc} последовательно соединенных приемников фаз а-х и в-у:

$$Z_{abc} = \sqrt{[(\sum R_\phi)^2 + (\sum X_\phi)^2]}$$

Угол сдвига фаз φ_{abc} между током $\dot{I}_{ab} = \dot{I}_{bc}$ и напряжением \dot{U}_{CA} этой ветви

$$\varphi_{abc} = \arcsin X_{abc} / Z_{abc}.$$

На векторной диаграмме (из треугольника линейных напряжений сети остается только вектор напряжения \dot{U}_{CA}) построить вектор тока $\dot{I}_{ab} = \dot{I}_{bc}$ относительно напряжения \dot{U}_{CA} . Ток \dot{I}_{ca} в фазе с-z при обрыве линейного провода В-в не изменится.

Суммируя геометрически векторы \dot{I}_{ab} и \dot{I}_{ca} на векторной диаграмме, определим вектор:

$$\dot{I}_A = \dot{I}_C = \dot{I}_{ab} + \dot{I}_{ca}$$

LITTERATURE

1. Методические указания по подготовке к занятиям по электротехническим дисциплинам (для студентов неэлектротехнических специальностей). Раздел 1. Электрические и магнитные цепи / сост.: Е.С. Траубе, Е.Б.Ковалев, С.Н.Шапочка, А.В. Колодежный. – Донецк: ДГТУ, 1993.-169 с.
2. Les instructions méthodiques 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. Китаєв В.Є. Електротехніка з основами промислової електроніки: - К.: Будівельник, 1994.-240 с.
5. Русско-французский политехнический словарь. /Сост. Л. Б. Александров и др./ - 2-е изд., стереотип. – М.: Русский язык, 1980 – 800 с.

TABLE DES MATIERES

1. Calcul des circuits ramifiés à courant continu.....	3
1. Расчет цепей постоянного тока.....	9
2. Calcul des circuits monophasés à courant alternatif ramifiés	12
2. Расчет однофазных цепей переменного тока.....	19
3. Calcul des circuits triphasés à courant alternatif	23
3. Расчет трехфазных цепей переменного тока.....	29
LITTERATURE.....	32

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

Автори:

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

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

Подписано к печати 02.06.2004. Формат 60x84 1/16.

Усл. печ. л. 2,4. 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.