МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА РФ
ДЕПАРТАМЕНТ КАДРОВОЙ ПОЛИТИКИ И ОБРАЗОВАНИЯ

ВОЛГОГРАДСКАЯ ГОСУДАРСТВЕННАЯ
СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННАЯ АКАДЕМИЯ

КАФЕДРА ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЕ СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА И ТОЭ

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ЭЛЕКТРОТЕХНИКИ

Линейные электрические цепи однофазного переменного тока

методические указания и контрольное задание

ВОЛГОГРАД 2006

Теоретические основы электротехники. Линейные электрические цепи однофазного переменного тока. Методические указания и контрольное задание.
/Сост. Л.Г. Горковенко. Волгогр. гос. с.– х. акад. Волгоград, 2006, 24с.

Методические указания предназначены для студентов очного и заочного обучения по специальности 110302- «Электрификация и автоматизация сельского хозяйства».

Изложены основные указания и советы по выполнению контрольной работы, данные вариантов контрольного задания.

Одобрено и рекомендовано к печати кафедрой «Электроснабжение сельского хозяйства и ТОЭ» и методической комиссией факультета электрификации с.х.. ВГСХА.

Оглавление.

Предисловие 4
1.Общие методические указания к выполнению
контрольного задания 5
2.Методические советы 7
3.Примеры решения задач 9
3.1. Примеры решения задачи 1 9
3.2. Примеры решения задачи 2 12
3.3. Примеры решения задачи 3 17
4.Библиотическийсписок 22
5.Контрольное задание 23
Приложение 1 27
Приложение 2 31
Приложение 3 36
Приложение 4 40

Предисловие

Курс «Теоретические основы электротехники» (ТОЭ) является основной теоретической дисциплиной в системе подготовки инженера-электрика. Курс базируется на знаниях, полученных студентами в результате изучения физики и высшей математики.

Основная задача курса – дать необходимую теоретическую подготовку по главным вопросам исследования и расчета электрических и магнитных цепей.

Одним из основных видов занятий по курсу является выполнение контрольного задания. Предлагаемое задание охватывает основной материал раздела « Линейные цепи однофазного переменного тока» и составлена в соответствии с Государственным общеобразовательным стандартом высшего профессионального образования (направление подготовки дипломированного специалиста 660300 Агроинженерия, квалификация - инженер-электрик, специальность-110302) и рабочей программой.

Целью выполнения контрольного задания является проверка степени усвоения студентом выше названного раздела курса и оценка приобретенных им навыков использования основных инженерных методов расчета линейных цепей однофазного переменного тока. Четко и кратко излагать свои мысли.

1. Общие методические указания к выполнению контрольного задания

1.1. Изучение курса должно вестись систематически и сопровождаться составлением подробного конспекта.

1.2. К выполнению контрольного задания следует приступить после изучения соответствующих разделов курса, разбора решения задач, рекомендованных в качестве примеров и самостоятельного решения ряда подобных задач.

1.3. Контрольное задание выполняется в виде пояснительной записки на листах формата А4(297×210) в соответствии с разработанными на кафедре методическими указаниями.

1.4.Текстовая часть отчета выполняется в соответствии с требованиями стандартов ЕСКД (общие требования к текстовым документам) и ГОСТ 7.32-81 (отчеты по научно-исследовательской работе) на писчей бумаге. Титульный лист желательно оформлять на плотной чертежной бумаге, а графики и диаграммы на миллиметровой.

1.5.Формулы, текст и числовые выкладки должны быть написаны чернилами четко и аккуратно.

1.6.Электрические схемы вычерчиваются карандашом при помощи чертежных принадлежностей согласно установленным правилам (ГОСТ 2.702-75; 2.705-70; 2.722-68; 2.723-74; 2.728-74; 2.730-73; 2.710-81).

1.7.Все необходимые графики и диаграммы выполняются карандашом при помощи чертежных принадлежностей. На координатных осях приводятся равномерные шкалы с применением стандартных масштабов из ряда (1,2 или5)$\times10^{\pm n}$, где n-целое число.

1.8.Все единицы измерений должны соответствовать Международной системе единиц (СИ).

1.9.При выполнении вычислений необходимо записать расчетную формулу, подставить в нее все необходимые величины в порядке их следования в формуле, записать числовое значение результата с точностью до трех значащих цифр и указанием единицы измерения. При этом решение не следует перегружать приведением всех алгебраических преобразований и арифметических расчетов.

1.10.Решение должно сопровождаться вычерчиванием всех промежуточных эквивалентных схем и сопровождаться краткими, но четкими пояснениями (указать законы, на основании которых составлены уравнения, раскрыть смысл преобразований в схемах и формулах, последовательность действий, прокомментировать полученные результаты).

1.11.При решении задачи разными методами все напряжения и токи должны сохранять свои буквенные обозначения и направления.

1.12.Студент выполняет работу строго по своему варианту, который определяется: для студентов заочного обучения по двум последним цифрам номера зачетной книжки; для студентов очного обучения, по указанию ведущего преподавателя. Сдавая оформленную работу на кафедру, студент обязательно должен на заглавном листе пояснительной записки указать вариант и данные этого варианта. При несоблюдении данного пункта работа студенту не зачитывается и назад не возвращается.

1.13.В конце работы необходимо указать использованную литературу, примерные затраты времени на выполнение задания, поставить подпись и дату.

1.14.На рецензию работа должна быть представлена студентами заочного обучения не позднее дня начала экзаменационной сессии, а очного обучения, в срок, установленный ведущим преподавателем.

Работы, отвечающие данным требованиям и не содержащие принципиальных ошибок, допускаются к собеседованию, которое проводится на кафедре в индивидуальном порядке во время экзаменационной сессии. Зачтенной считается работа, прошедшая собеседование. Если работа не допущена к собеседованию или не зачтена, то студент выполняет работу над ошибками в той же пояснительной записке после подписи рецензента, добавляя нужное число листов. Какие-либо исправления в тексте уже проверенном рецензентом, не допускаются.

2. Методические советы.

Основным преимуществом переменного тока является способность трансформировать напряжение. Это дает возможность осуществлять экономичную передачу электрической энергии на большие расстояния. Поэтому подавляющее большинство электрических установок работает на переменном токе. Отсюда понятна важность изучения процессов, протекающих в цепях переменного тока, и методики их расчетов. Это и является задачей данного раздела.

К выполнению контрольного задания следует приступать после изучения следующих вопросов.

Периодические токи и напряжения. Их мгновенные, максимальные, средние и действующие значения. Понятия периода, частоты, угловой частоты, фазы, начальной фазы, сдвига фаз для периодических функций тока и напряжения. Синусоидальные ток и напряжение. Получение синусоидального э.д.с. Изображение синусоидальных величин с помощью вращающихся векторов на комплексной плоскости. Топографические (потенциальные) и векторные диаграммы.

Физические явления в цепях переменного тока. Явление электромагнитной индукции. Самоиндукция. Индуктивность. Модели элементов электрических цепей. Резистор, индуктивная катушка и конденсатор в цепях синусоидального тока. Последовательное и параллельное соединение резистора, индуктивной катушки и конденсатора в цепях синусоидального тока. Полное, активное и реактивное сопротивления и проводимости. Мгновенная, средняя, активная, реактивная и полная мощности. Измерение мощностей. Баланс мощностей. Коэффициент мощности и его экономическое значение.

Система линейных дифференциальных уравнений – основная математическая модель линейных цепей синусоидального тока. Изображение синусоидальных функций, их интегралов и производных с помощью показательных функций времени с комплексным показателем. Комплексный метод расчета цепей синусоидального тока. Комплексное сопротивление, проводимость и мощность. Законы Ома и Кирхгофа в комплексной форме. Распространение на цепи синусоидального тока методов расчета цепей постоянного тока.

Падение и потеря напряжения в линии переменного тока. Условия передачи максимальной активной мощности от источника к приемнику. Резонанс токов и напряжений. Компенсация реактивной мощности. Пути повышения коэффициента мощности. Двухполюсники. Круговые диаграммы и их использование при анализе режимов работы цепей синусоидального тока.

Разложение периодических функций в тригонометрические ряды. Мгновенные, максимальные, средние и действующие значения несинусоидальных токов и напряжений. Полная, активная и реактивная мощности в цепи периодического несинусоидального тока. Расчет линейных цепей при периодических несинусоидальных токах и

напряжениях. Замена несинусоидальных токов и напряжений эквивалентными синусоидальными. Сглаживающее влияние индуктивности и искажающее действие емкости. Резонансные явления и высшие гармоники в цепях несинусоидального тока.

3. Примеры решения задач

3.1. Пример решения задачи 1

Данные варианта: U_m=141В; f=50Гц; R_1=40Ом; R_2=0; R_3=0; L_1=0; L_2=0; L_3=255,2мГ; C_1=∞; C_2=79,6мкФ; C_3=∞; ваттметр включен на напряжение U_{fb}.

Используя заданную схему (рис.12) вычертим расчетную схему замещения цепи (рис.1) согласно данным варианта.

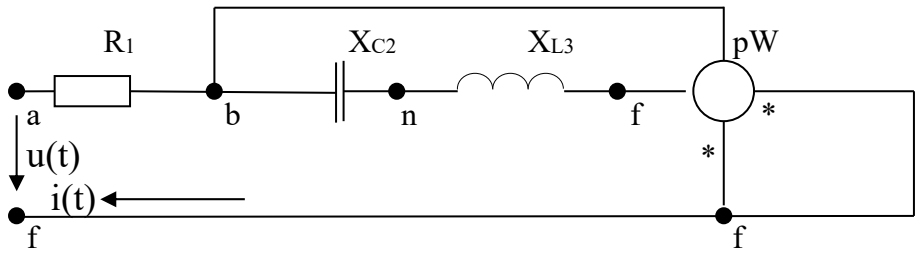

Рис. 1.

Зададимся вектором напряжения на зажимах цепи на комплексной плоскости

$$\mathring{U}_{af}=U_{maf}/\sqrt{2}\,e^{j\,0}=141/\sqrt{2}\,e^{j\,0}=100e^{j\,0}=100\text{ В}.$$

Определим комплексные сопротивления отдельных участков и всей цепи в целом

$\underline{Z}_1 = R_1 = 40$ Ом;

$\underline{Z}_2 = -j1/\omega C_3 = -j1/2\pi f C_3 = -j1/2\cdot 3{,}14\cdot 50\cdot 79{,}6\cdot 10^{-6} = -j40$ Ом;

$\underline{Z}_3 = j\omega L_3 = j2\pi f L_3 = j2\cdot 3{,}14\cdot 50\cdot 255{,}2\cdot 10^{-3} = j80$ Ом.

$\underline{Z}_\Sigma = \underline{Z}_1 + \underline{Z}_2 + \underline{Z}_3 = 40 - j40 + j80 = 40 + j40 = 56{,}6e^{j\,45^\circ}$ Ом.

Определим действующее значение тока в цепи используя закон Ома

$$\dot{I} = \dot{U}_{af} / \underline{Z}_{\Sigma} = 100 / 56{,}6e^{-j\,45^\circ} = 1{,}77e^{-j\,45^\circ}\ \text{А}.$$

Запишем выражение для мгновенного значения тока в цепи

$$i(t) = I_m \sin(\omega t + \varphi_I) = 2{,}5\ \sin(314t - 45^\circ)\ \text{А};$$

где: $I_m = I\sqrt{2} = 1{,}77\sqrt{2} = 2{,}5$ А; $\omega = 2\pi f = 2\cdot 3{,}14\cdot 50 = 314\ c^{-1}$

Определим действующие значения напряжений на отдельных участках цепи в комплексном виде

$$\dot{U}_{ab} = \dot{I}\,\underline{Z}_1 = 1{,}77e^{-j\,45^\circ}\cdot 40 = 70{,}8e^{-j\,45^\circ}\ \text{В};$$

$$\dot{U}_{bn} = \dot{I}\,\underline{Z}_2 = 1{,}77e^{-j\,45^\circ}\cdot 40e^{-j\,90^\circ} = 70{,}8e^{-j135^\circ}\ \text{В};$$

$$\dot{U}_{nf} = \dot{I}\,\underline{Z}_3 = 1{,}77e^{-j\,45^\circ}\cdot 80e^{j\,90^\circ} = 141{,}6e^{j\,45^\circ}\ \text{В}.$$

. Построим векторную (топографическую) диаграмму напряжений и векторную диаграмму токов (рис.2). Векторная диаграмма напряжений строится на основании второго закона Кирхгофа

$$\dot{U}_{af} = \dot{U}_{ab} + \dot{U}_{bn} + \dot{U}_{nf}$$

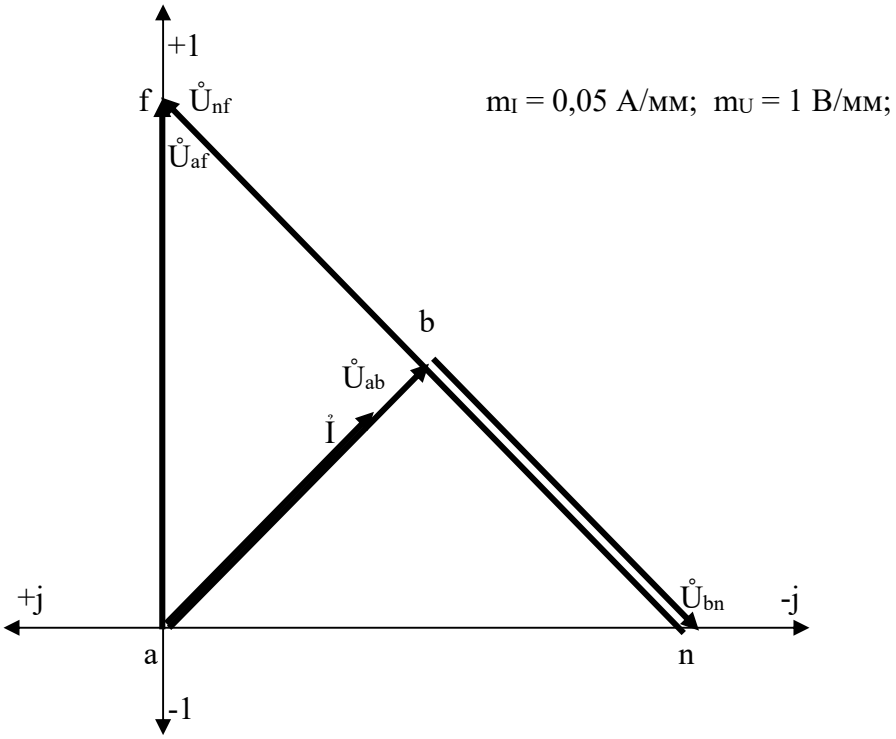

Рис.2.

Определим активную, реактивную, полную мощности и значение коэффициента мощности цепи.

$$\hat{S} = P \pm jQ = \mathring{U}_{af}\overset{*}{I} = 177e^{j\,45^\circ} = 125 + j125 \text{ (ВА)};$$

где: $\overset{*}{I} = 1{,}77e^{j\,45^\circ}$ А – сопряженное значение тока в цепи.

Следовательно, полная мощность S=177 ВА, активная мощность P=125 Вт, реактивная мощность Q=125 вар.

$$\cos\varphi = P / S = 125 / 177 = 0{,}706$$

Составим уравнение баланса мощности в цепи.

$$\hat{S}_{ист} = P_{ист} \pm jQ_{ист} = \hat{S}_{пот} = P_{пот} \pm jQ_{пот}$$

$S_{ист} = |\mathring{U}_{af}\overset{*}{I}| = |177e^{j\,45^\circ}| = 177$ ВА;

$S_{пот} = U\,I = 100\cdot 1{,}77 = 177$ ВА; $\underline{S_{ист} = S_{пот};}$

$P_{ист} = U_{af}\,I\cos\varphi = 100\cdot 1{,}77\cdot 0{,}706 = 125$ Вт,

$P_{пот} = I^2 R_1 = 1{,}77^2\cdot 40 = 125$ Вт; $\underline{P_{ист} = P_{пот};}$

$Q_{ист} = U_{af}\,I\sin\varphi = 100\cdot 1{,}77\cdot 0{,}706 = 125$ вар,

$Q_{пот} = I^2 (X_{L3} - X_{C2}) = 1{,}77^2\cdot(80 - 40) = 125$ Вт; $\underline{Q_{ист} = Q_{пот}}$

Следовательно, баланс мощностей соблюдается.

Определим показания ваттметра, включенного в цепь на участке bf (рис.2). Обмотка напряжения включена на напряжение U_{fb}, через токовую обмотку протекает ток (–I). Следовательно, показания ваттметра P_W будут равны

$$P_W = |\mathring{U}_{fb}\cdot(-\overset{*}{I})| = |(-\overset{*}{I})\cdot(\underline{Z}_2 - \underline{Z}_3)\cdot(-\overset{*}{I})| = |(-\overset{*}{I})^2\cdot(\underline{Z}_2 - \underline{Z}_3)| = |(-1{,}77e^{j\,45^\circ})^2\cdot$$
$$\cdot(40e^{-j\,90^\circ} - 80e^{j\,90^\circ})| = |3{,}13e^{j\,90^\circ}\cdot 40e^{j180}| = 0$$

Действительно, на участке bf отсутствуют потребители активной мощности, а значит ваттметр покажет ноль.

3.1. Пример решения задачи 2

Данные варианта: f=50Гц; R_1=0; R_2=29Ом; R_3=40Ом; L_1=0; L_2=255,2мГ ; L_3=0; C_1=79,6мкФ ∞; C_2=∞; C_3=∞; $e_1(t)=141\cos\omega t$ В; $e_2(t)=0$; $e_3(t)=0$; $e_4(t)=0$; $e_5(t)=141\sin(\omega t + 90^\circ)$ В; $e_6(t)=70{,}5\sin\omega t$ В; ваттметр включен на напряжение U_{as} и ток I_1; сопротивление $0 \le X_{C1} \ge \infty$.

Используя заданную схему (рис.13) вычертим расчетную схему замещения цепи (рис.3) согласно данным варианта.

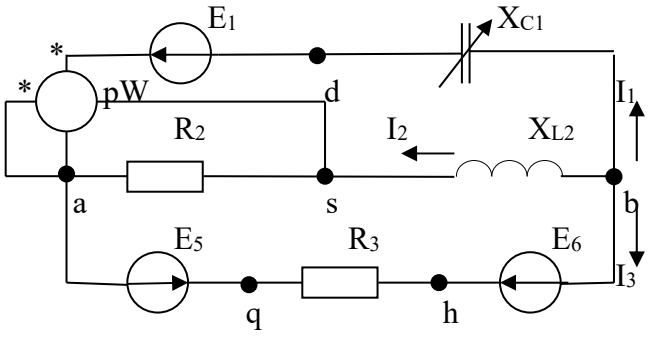

Рис.3.

Зададимся условно положительными направлениями токов в ветвях (обозначим стрелками на рис.3).

Определим комплексы действующих значений э.д.с.

$\dot{E}_1 = 141/\sqrt{2}\, e^{j\,90^\circ} = 100e^{j\,90^\circ}$ В; $\dot{E}_5 = 141/\sqrt{2}\, e^{j\,90^\circ} = 100\, e^{j\,90^\circ}$ В; $\dot{E}_6 = 70{,}5/\sqrt{2} = 50$ В.

Рассчитаем комплексные сопротивления проводимости отдельных элементов и ветвей цепи

$\underline{Z}_1 = -j1/2\pi fC_1 = -\,j1/\,2\cdot 3{,}14\cdot 50\cdot 79{,}6\cdot 10^{-6} = -\,j40 = 40e^{-j\,90^\circ}$ Ом;

$\underline{Z}_2 = R_2 + j2\pi fL_2 = 29 + j2\cdot 3{,}14\cdot 50\cdot 255{,}2\cdot 10^{-3} = 29 + j80 = 85e^{j\,70^\circ}$ Ом;

$\underline{Z}_3 = R_3 = 40$ Ом;

$\underline{Y}_1 = 1/\underline{Z}_1 = 1/ 40e^{-j\,90^\circ} = 0{,}025e^{j\,90^\circ} = j0{,}025$ См;

$\underline{Y}_2 = 1/\underline{Z}_2 = 1/ 85e^{j\,70^\circ} = 0{,}0118e^{-j\,70^\circ} = 0{,}004 - j0{,}0111$ (См);

$\underline{Y}_3 = 1/\underline{Z}_3 = 1/ 40 = 0{,}025 = 0{,}025$ См;

Определим напряжение между точками a,b - U_{ab}, используя метод двух узлов

$$\mathring{U}_{ab} = (\dot{E}_1 \underline{Y}_1 - \dot{E}_5 \underline{Y}_3 + \dot{E}_6 \underline{Y}_3)/ (\underline{Y}_1 + \underline{Y}_2 + \underline{Y}_3) =$$

$$= (100e^{j\,90^\circ}\cdot 0{,}025e^{j\,90^\circ} - 100e^{j\,90^\circ}\cdot 0{,}025 + 50\cdot 0{,}025)/(0{,}025e^{j\,90^\circ}+$$

$$+ 0{,}0118e^{-j\,70^\circ}+ 0{,}025) = 86{,}9e^{-j\,142^\circ} = -68{,}4 - j53{,}5 \text{ (В)}.$$

Токи в ветвях определим на основании закона Ома

$$\dot{I}_1 = (\dot{E}_1 - \mathring{U}_{ab}) \underline{Y}_1 = (j100 + 68{,}4 + j53{,}5)\cdot j0{,}025 = -3{,}85 + j1{,}71 = 4{,}22e^{j\,156^\circ} \text{ А};$$

$$\dot{I}_2 = (- \mathring{U}_{ab}) \underline{Y}_2 = (68{,}4 + j53{,}5)\cdot 0{,}0118e^{-j\,70^\circ} = 0{,}89 - j0{,}55 = 1{,}05e^{-j\,32^\circ} \text{ А};$$

$$\dot{I}_3 = (-\dot{E}_5 + \dot{E}_6 - \mathring{U}_{ab}) \underline{Y}_3 = (-j100 + 50 + 68{,}4 + j53{,}5)\cdot 0{,}025 =$$

$$= 2{,}96 - j1{,}16 = 3{,}23e^{-j\,21^\circ} \text{ А}.$$

Проверка: $\dot{I}_1 + \dot{I}_2 + \dot{I}_3 = -3{,}85 + j1{,}71 + 0{,}89 - j0{,}55 + 2{,}96 - j1{,}16 = 0$

Определим действующие значения напряжения на отдельных участках цепи.

$$\mathring{U}_{ad} = \dot{E}_1 = 100e^{j\,90^\circ} \text{ В}; \mathring{U}_{db} = -\dot{I}_1 \underline{Z}_1 = -4{,}22e^{j\,156^\circ}\cdot 40e^{-j\,90^\circ} = 168{,}8e^{-j\,114^\circ} \text{ В}; \mathring{U}_{as} =$$

$$= -\dot{I}_2 R_2 = -1{,}05e^{-j\,32^\circ}\cdot 29 = 30{,}5e^{j\,148^\circ} \text{ В}; \mathring{U}_{sb} = -\dot{I}_2 X_{L2}e^{j\,90^\circ} = -1{,}05e^{-j\,32^\circ}\cdot 80e^{j\,90^\circ} =$$

$$= 84{,}0e^{-j\,122^\circ} \text{ В}; \mathring{U}_{aq} = -\dot{E}_5 = 100e^{-j\,90^\circ} \text{ В}; \mathring{U}_{qh} = -\dot{I}_3 \underline{Z}_3 = -3{,}23e^{-j\,21^\circ}\cdot 40 =$$

$$= 129{,}2e^{j\,159^\circ} \text{ В}; \mathring{U}_{hb} = \dot{E}_6 = 50 \text{ В}.$$

Построим векторную (топографическую) диаграмму напряжений и векторную диаграмму токов (рис.4), на основании первого ($\dot{I}_1 + \dot{I}_2 + \dot{I}_3 =0$) и второго ($\mathring{U}_{ab} = \mathring{U}_{ad} + \mathring{U}_{db}$; $\mathring{U}_{ab} = \mathring{U}_{as} + \mathring{U}_{sb}$; $\mathring{U}_{ab} = \mathring{U}_{aq} + \mathring{U}_{qh} + \mathring{U}_{hb}$) законов Кирхгофа.

Составим уравнение баланса мощностей.

$$\hat{S}_{ист} = P_{ист} \pm jQ_{ист} = \hat{S}_{пот} = P_{пот} \pm jQ_{пот}$$

$$\hat{S}_{ист} = \dot{E}_1 \dot{I}_1 + (\dot{E}_6 - \dot{E}_5)\dot{I}_3 = 100e^{j\,90^\circ} \cdot 4{,}22e^{j\,156^\circ} + (50 - 100e^{j\,90^\circ})\,3{,}23e^{-j\,21^\circ} =$$

$$= 448 - j634\ (ВА);\quad т.е.\quad P_{ист} = 448\ Вт;\quad Q_{ист} = 634\ вар;$$

$$\hat{S}_{пот} = I_2^2 R_2 + I_3^2 R_3 + j(I_2^2 X_{L2} - I_1^2 X_{C1}) = 1{,}05^2 \cdot 29 + 3{,}23^2 \cdot 40 + j(1{,}05^2 \cdot 80 -$$

$$-4{,}22^2 \cdot 40) = 449{,}3 - j624{,}1\ (ВА);\ т.е.\ P_{пот} = 449Вт;\quad Q_{пот} = 624\ вар,$$

а значит, баланс мощностей соблюдается.

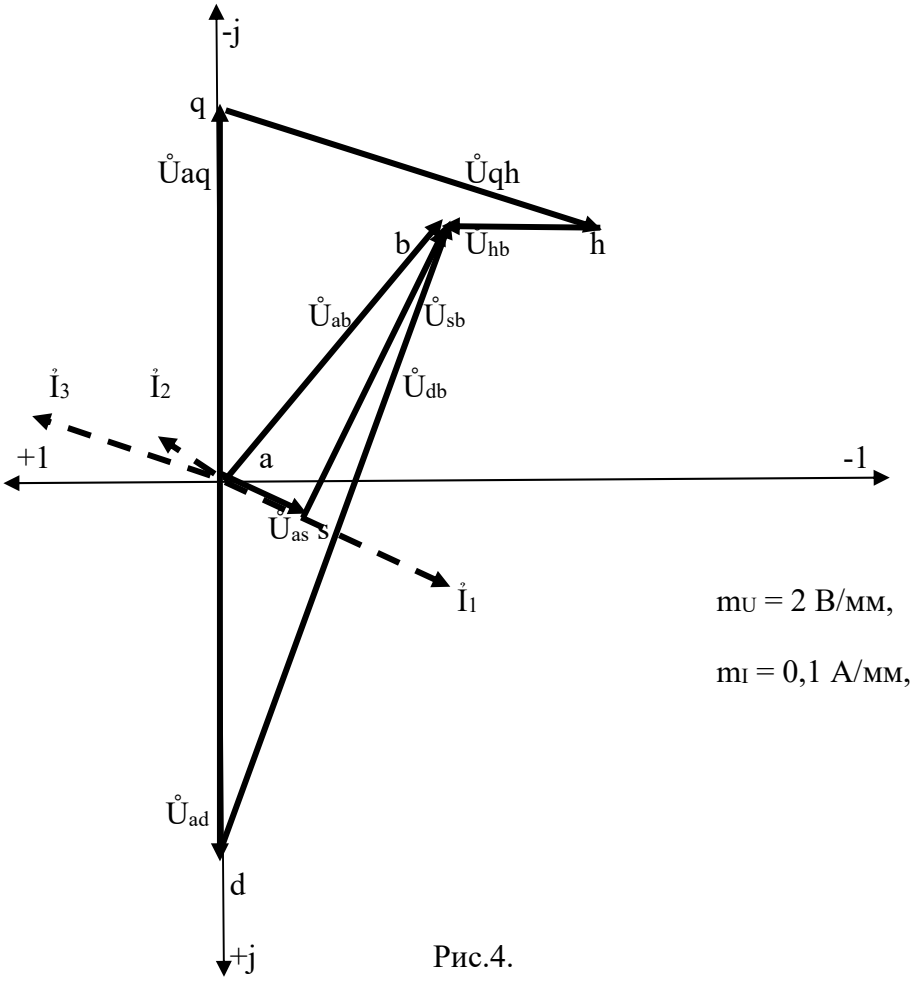

Рис.4.

Построение круговой диаграммы для тока, протекающего через переменное сопротивление X_{C1} (тока $\dot{I}_1$), ведем по выражению, полученному на основании метода активного двухполюсника:

$$\dot{I}_1 = \frac{\dot{U}_{xxbd}}{\underline{Z}_{вxbd} + \underline{Z}_1} = \frac{\dot{I}_{кз}}{1 + \frac{z_1}{z_{вxbd}} e^{j\Psi}}$$

где: $\dot{I}_{кз} = \dot{U}_{xxbd}/\underline{Z}_{вxbd}$ – ток $\dot{I}_1$ в режиме короткого замыкания ($X_{C1} = 0$);

$\dot{U}_{xxbd}$ – напряжение между точками b и d в режиме холостого хода ($X_{C1} = \infty$, рис.5);

$\underline{Z}_{вxbd}$ – входное сопротивление цепи относительно точек b и d, рассчитывается по схеме при закороченных э.д.с. и $X_{C1} = \infty$ (рис.6);

$\Psi = \varphi_1 - \varphi_{вx}$ - разность аргументов сопротивлений $\underline{Z}_1$ и $\underline{Z}_{вxbd}$.

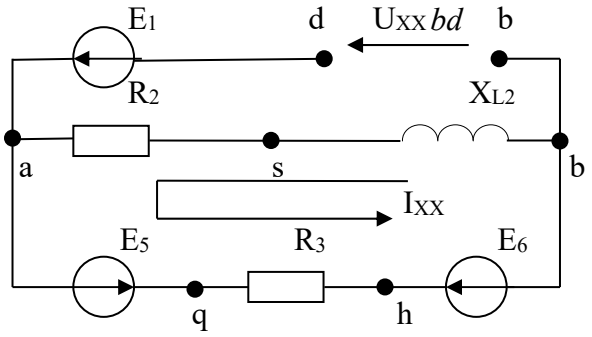

Рис.5.

Рассчитаем данные величины.

На основании второго закона Кирхгофа имеем:

$\dot{U}_{xxbd} = \dot{I}_{xx}\underline{Z}_2 + \dot{E}_1 = 1{,}05e^{j\,67^\circ 20'} \cdot 85e^{j\,70^\circ} + 100e^{j\,90^\circ} = 173e^{j\,112^\circ 30'}$ В;

где: $\dot{I}_{xx} = (\dot{E}_5 - \dot{E}_6)/(\underline{Z}_2 + \underline{Z}_3) = (j100 - 50)/(29 + j80 + 40) =$

$= 1{,}05e^{j\,67^\circ 20'}$ А;

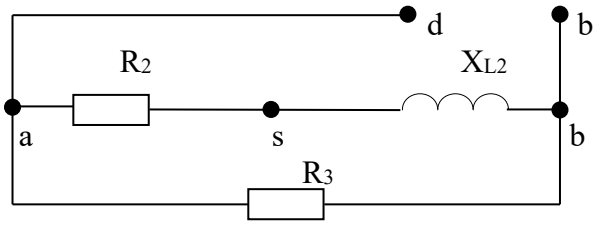

Рис.6.

$$\underline{Z}_{вхbd} = \underline{Z}_2 \cdot \underline{Z}_3/(\underline{Z}_2 + \underline{Z}_3) = 85e^{j\,70^\circ} \cdot 40/(29 + j80 + 40) = 32{,}2e^{j\,20^\circ 40'}\ \text{Ом},$$

$$\mathring{I}_{кз} = \mathring{U}_{xxbd}/\underline{Z}_{вхbd} = 173e^{j\,112^\circ 30'}/32{,}2e^{j\,20^\circ 40'} = 5{,}37e^{j\,91^\circ 50'}\ \text{А}.$$

По данным расчета построим круговую диаграмму для тока I_1 (рис.7). На комплексной плоскости, в масштабе тока и масштабе напряжений, соответственно строим вектора тока короткого замыкания $\mathring{I}_{кз}$ и вектора напряжения холостого хода $\mathring{U}_{xxbd}$. В масштабе сопротивлений на векторе $\mathring{I}_{кз}$

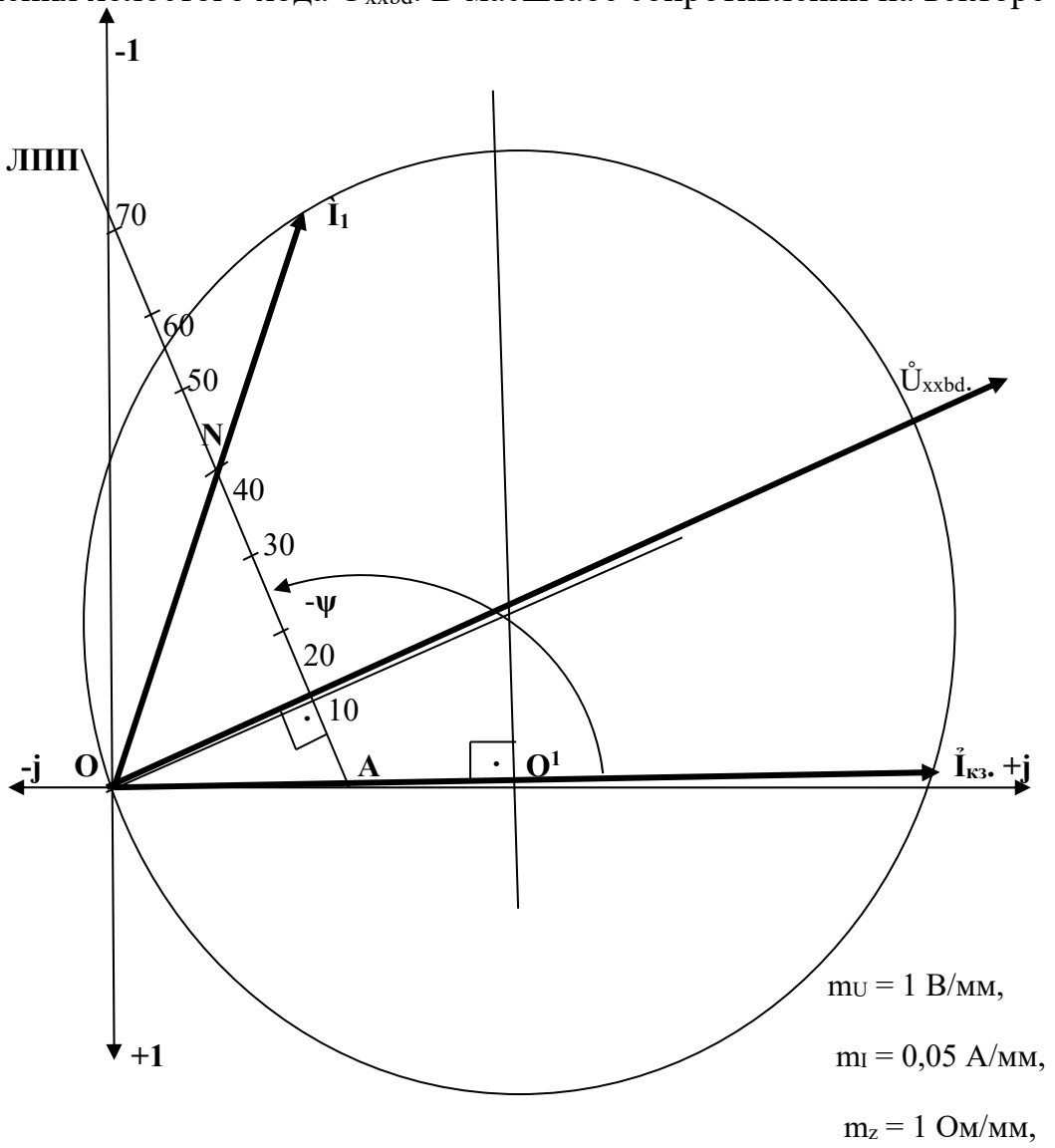

Рис.7.

откладываем величину входного сопротивления $z_{вхbd}$ (отрезок ОА). Из точки А, под углом $-\Psi = -\varphi_1 + \varphi_{вх} = -(-90^\circ) + 20^{\circ 40'} = 110^\circ 40'$, проводим линию переменного параметра (ЛПП) и наносим на нее шкалу масштаба

сопротивлений. Центр окружности (точку O^1) находим как точку пересечения двух перпендикуляров. Первый - проводится из начала координат к ЛПП, второй – из середины вектора $\mathring{I}_{кз}$. Проводим окружность радиусом O^1O. Рабочая часть окружности лежит по ту же сторону относительно вектора $\mathring{I}_{кз}$, что и ЛПП. На ЛПП откладываем величину заданного сопротивления X_{C1} = 40 Ом (отрезок AN). Соединяем прямой точки O и N и продлим ее до пересечения с дугой. Часть прямой, ограниченная дугой окружности, дает искомое значение тока $\mathring{I}_1$. Измерив длину полученного вектора и угол между ним и осью +1, получим, что $\mathring{I}_1$ = = $4{,}2e^{j\,155^\circ}$ А , что соответствует результатам теоретического расчета.

Ваттметр покажет

$$P_w = |\,\mathring{U}_{as}\cdot\overset{*}{I}_1\,| = |\,30{,}5e^{j\,148^\circ}\cdot 4{,}22e^{-j\,156^\circ}\,| = |\,128{,}7e^{-j8}\,| = =127{,}8 \text{ Вт.}$$

3.3. Пример решения задачи 3

Данные варианта: K=1; N=3; $U_{(0)}$=50В; $U_{(K)}$=141В; $U_{(N)}$=70,5В; $\psi_{(K)}=0^\circ$; $\psi_{(N)}=60^\circ$; $\underline{Z}_{1(K)}$=j20 Ом; $\underline{Z}_{2(K)}$=0; $\underline{Z}_{3(K)}$=30 Ом; $\underline{Z}_{4(K)}$=-j60 Ом ; $\underline{Z}_{5(K)}$=-j60 Ом; определить показания вольтметра pU2 и амперметра pA2.

Используя заданную схему (рис.14) вычертим расчетную схему замещения цепи (рис.8) согласно данным варианта.

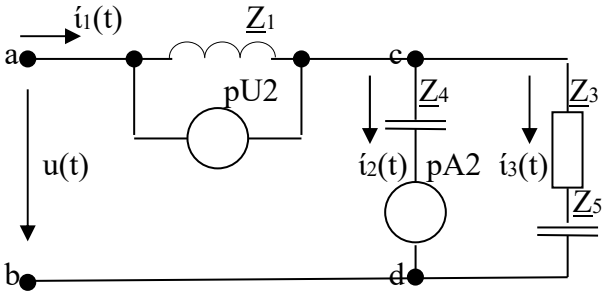

Рис.8.

где: $u(t)=U_{(0)}+U_{m(K)}\sin(K\omega t+\varphi_K)+U_{m(N)}\cos(N\omega t+\varphi_N)=$

$=50 + 141\sin(2\cdot\pi\cdot f_{(K)}t+\varphi_K) +70{,}5\sin(2\cdot\pi\cdot f_{(N)}t+\varphi_N+90^\circ)=$

$$=50 + 141 \sin(314t+0^\circ) +70{,}5 \sin(942t+150^\circ) \text{ В};$$

$$f_{(N)} = f_{(K)}N/K = 3\cdot 50 = 150 \text{ Гц}.$$

Расчет данной цепи ведется для каждой гармоники в отдельности, а значит, заданную цепь необходимо рассчитать столько раз, сколько гармоник содержит входное напряжение сети. Это объясняется тем, что каждая гармоника имеет свою частоту f_K. Сопротивление емкости и индуктивности зависят от частоты. Значит и сопротивление цепи для каждой гармоники так же зависит от частоты. В нашем варианте входное напряжение сети содержит напряжение нулевой гармоники $U_{(0)}$, первой гармоники $U_{(1)}$ и третьей гармоники $U_{(3)}$. Значит, необходимо решить три задачи, относительно каждой из гармоник.

Задача для нулевой гармоники решается по схеме (рис.9), которая представляет собой цепь постоянного тока. Для постоянного тока индуктивность является коротким замыканием ($\underline{Z}_{1(0)}=0$), а емкость-

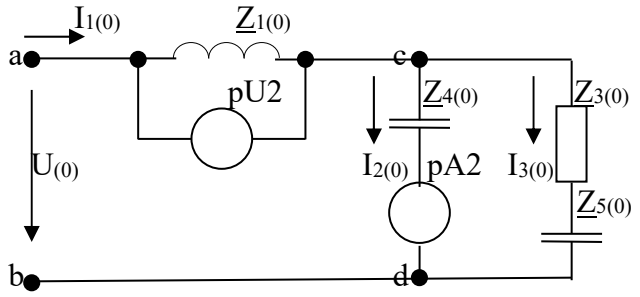

Рис.9.

обрывом цепи ($\underline{Z}_{4(0)}= \underline{Z}_{5(0)}= \infty$). $\underline{Z}_{3(0)}= R_3 =30$Ом. Суммарное сопротивление цепи $\underline{Z}_{\Sigma(0)}= \infty$. Следовательно:

$$I_{1(0)} = I_{2(0)} = I_{3(0)}= 0;\ U_{ac(0)} = 0,\ \ U_{cd(0)} = U_{(0)} = 50\text{В};$$

$$P_{(0)} = I_{1(0)}\cdot U_{(0)} = 0;\ \ Q_{(0)} = S_{(0)} = 0$$

Рассчитаем цепь, на зажимы которой подана первая гармоника напряжения $u_{(1)}(t) = 141 \sin(314t+0^\circ)$ В (рис.10), т.е. цепь синусоидального тока частотой $f_{(1)} = 50$Гц.

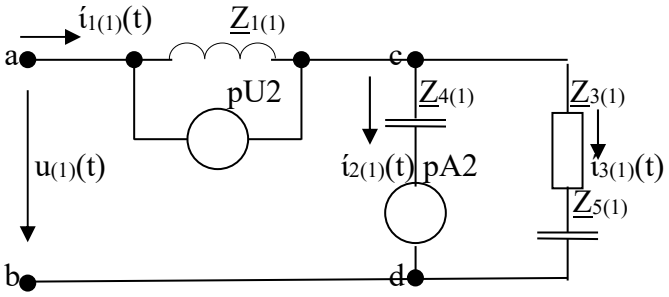

Рис.10.

Комплекс действующего значения первой гармоники напряжения

$$\acute{U}_{(1)} = \acute{U}_{m(1)}/\sqrt{2} = 141/\sqrt{2}\, e^{j\,0^\circ} = 100 \text{ В}.$$

Комплексные сопротивления участков цепи и всей цепи в целом для токов первой гармоники

$$\underline{Z}_{1(1)} = j20 \text{ Ом};\ \underline{Z}_{2(1)} = 0;\ \underline{Z}_{3(1)} = 30 \text{ Ом};\ \underline{Z}_{4(1)} = -j60 \text{ Ом};\ \underline{Z}_{5(1)} = -j60 \text{ Ом};$$

$$\underline{Z}_{cd(1)} = \underline{Z}_{4(1)}\cdot(\underline{Z}_{3(1)} + \underline{Z}_{5(1)})/(\underline{Z}_{4(1)} + \underline{Z}_{3(1)} + \underline{Z}_{5(1)}) =$$

$$= -j60\cdot(30 - j60)/(-j60 + 30 - j60) = 7{,}25 - j31{,}5 = 32{,}3e^{-j\,77^\circ} \text{ Ом};$$

$$\underline{Z}_{\Sigma(1)} = \underline{Z}_{1(1)} + \underline{Z}_{cd(1)} = j20 + 7{,}25 - j31{,}5 = 13{,}6e^{-j\,57^\circ 40'} \text{ Ом}.$$

Комплексы действующих значений первой гармоники токов в цепи

$$\grave{I}_{1(1)} = \underline{\acute{U}}_{(1)}/\underline{Z}_{\Sigma(1)} = 100/13{,}6e^{-j\,57^\circ 40'} = 7{,}36e^{j\,57^\circ 40'} \text{ А};$$

$$\grave{I}_{2(1)} = \underline{\acute{U}}_{cd(1)}/\underline{Z}_{4(1)} = 237{,}4e^{-j\,20^\circ 40'}/60e^{-j\,90^\circ} = 3{,}96e^{j69^\circ 20'} \text{ А};$$

$$\grave{I}_{3(1)} = \underline{\acute{U}}_{cd(1)}/(\underline{Z}_{3(1)} + \underline{Z}_{5(1)}) = 237{,}4e^{-j\,20^\circ 40'}/66{,}9e^{-j\,63^\circ 20'} = 3{,}55e^{j\,42^\circ 40'} \text{ А};$$

где: $\underline{\acute{U}}_{cd(1)} = \grave{I}_{1(1)}\cdot \underline{Z}_{cd(1)} = 7{,}356e^{j\,57^\circ 40'}\cdot 32{,}3e^{-j\,77^\circ} = 237{,}4e^{-j\,20^\circ 40'}$ В.

Мгновенные значения первой гармоники токов на отдельных участках

$$\acute{i}_{1(1)}(t) = I_{m1(1)}\sin(\omega_{(1)}t + \psi_{1(1)}) = \sqrt{2}\cdot 7{,}36\sin(314t + 57^\circ 40') =$$

$$= 10{,}4\sin(314t + 57^\circ 40') \text{ А};$$

$$\acute{i}_{2(1)}(t) = I_{m2(1)}\sin(\omega_{(1)}t + \psi_{2(1)}) = \sqrt{2}\cdot 3{,}96\sin(314t + 69^\circ 20') =$$

$$= 5{,}6(314t + 69^\circ 20') \text{ А};$$

$$\acute{i}_{3(1)}(t) = I_{m3(1)}\sin(\omega_{(1)}t + \psi_{3(1)}) = \sqrt{2}\cdot 3{,}55\sin(314t + 42^\circ 40') =$$

$$= 5{,}0\sin(314t + 42^\circ 40') \text{ А};$$

Действующие значения первой гармоники напряжения на отдельных участках цепи

$$U_{ac(1)} = I_{1(1)} \cdot z_{1(1)} = 7{,}36 \cdot 20 = 147{,}2 \text{ В};$$

$$U_{cd(1)} = I_{2(1)} \cdot z_{4(1)} = 3{,}96 \cdot 60 = 237{,}4 \text{ В};$$

$$U_{cp(1)} = I_{3(1)} \cdot z_{3(1)} = 3{,}55 \cdot 30 = 106{,}5 \text{ В};$$

$$U_{pd(1)} = I_{3(1)} \cdot z_{5(1)} = 3{,}55 \cdot 60 = 213{,}0 \text{ В};$$

Активная, реактивная и полная мощности цепи для первой гармоники

$$\hat{S}_{(1)} = P_{(1)} + jQ_{(1)} = |\mathring{U}_{(1)} \cdot I^{*}_{1(1)}| = 100 \cdot 7{,}36e^{-j\,57^{\circ}40'} = 736e^{-j\,57^{\circ}40'} = 389 - j623 \text{ (ВА)};$$

$$S_{(1)} = 736 \text{ ВА}; P_{(1)} = 389 \text{ Вт}; Q_{(1)} = 623 \text{ вар}.$$

Рассчитаем цепь, на зажимы которой подана третья гармоника напряжения $u_{(3)}(t)=70{,}5\sin(942t+150^{\circ})$ В (рис.11), т.е. цепь синусоидального тока частотой $f_{(3)} = 150$Гц.

Комплекс действующего значения третьей гармоники напряжения сети

$$\acute{U}_{(3)} = \acute{U}_{m(3)}/\sqrt{2} = 70{,}5/\sqrt{2}\, e^{j\,150^{\circ}} = 50e^{j\,150^{\circ}} \text{ В}.$$

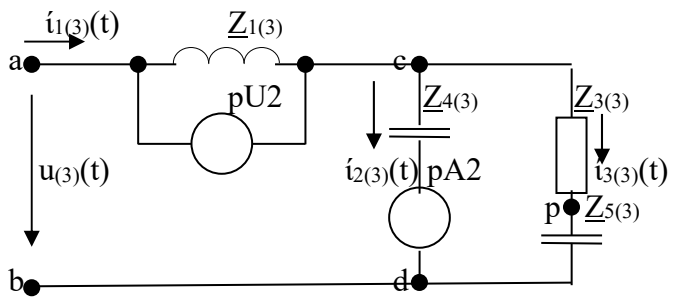

Рис.11.

Комплексные сопротивления участков цепи и всей цепи в целом для токов третьей гармоники

$$\underline{Z}_{1(3)} = 3\underline{Z}_{1(1)} = j60 \text{ Ом}; \ \underline{Z}_{2(3)} = 0; \ \underline{Z}_{3(3)} = \underline{Z}_{3(1)} = 30 \text{ Ом}; \ \underline{Z}_{4(3)} = \underline{Z}_{4(1)}/3 =$$

$$= -j20 \text{ Ом}; \ \underline{Z}_{5(3)} = \underline{Z}_{5(1)}/3 = -j20 \text{ Ом};$$

$$\underline{Z}_{cd(3)} = \underline{Z}_{4(3)} \cdot (\underline{Z}_{3(3)} + \underline{Z}_{5(3)})/(\underline{Z}_{4(3)} + \underline{Z}_{3(3)} + \underline{Z}_{5(3)}) =$$

$= -j20\cdot(30 - j20)/(-j20 + 30 - j20) = 4{,}75 - j13{,}6 = 14{,}4e^{-j\,70^\circ 40'}$ Ом;

$\underline{Z}_{\Sigma(3)} = \underline{Z}_{1(3)} + \underline{Z}_{cd(3)} = j60 + 4{,}75 - j13{,}6 = 47{,}2e^{j\,84^\circ 30'}$ Ом.

Комплексы действующих значений третьей гармоники токов в цепи

$\grave{I}_{1(3)} = \underline{\acute{U}}_{(3)}/\underline{Z}_{\Sigma(3)} = 50e^{j\,150^\circ}/47{,}2e^{j\,84^\circ 30'} = 1{,}06e^{j\,65^\circ 30'}$ А;

$\grave{I}_{2(3)} = \underline{\acute{U}}_{cd(3)}/\underline{Z}_{4(3)} = 15{,}3e^{-j\,5^\circ 10'}/20e^{-j\,90^\circ} = 0{,}77e^{j84^\circ 50'}$ А;

$\grave{I}_{3(3)} = \underline{\acute{U}}_{cd(3)}/(\underline{Z}_{3(3)} + \underline{Z}_{5(3)}) = 15{,}3e^{-j\,5^\circ 10'}/36{,}0e^{-j\,33^\circ 40'} = 0{,}42e^{j\,28^\circ 30'}$ А;

где: $\underline{\acute{U}}_{cd(3)} = \grave{I}_{1(3)}\cdot \underline{Z}_{cd(3)} = 1{,}06e^{j\,65^\circ 30'}\cdot 14{,}4e^{-j\,70^\circ 40'} = 15{,}3e^{-j\,5^\circ 10'}$ В.

Мгновенные значения третьей гармоники токов на отдельных участках

$$\acute{\imath}_{1(3)}(t) = I_{m1(3)}\sin(\omega_{(3)}t + \psi_{1(3)}) = \sqrt{2}\cdot 1{,}06\sin(942t + 65^\circ 30') =$$
$$= 1{,}5\sin(942t + 65^\circ 30') \text{ А};$$

$$\acute{\imath}_{2(3)}(t) = I_{m2(3)}\sin(\omega_{(3)}t + \psi_{2(3)}) = \sqrt{2}\cdot 0{,}77\sin(942t + 84^\circ 50') =$$
$$= 1{,}1(942t + 84^\circ 50') \text{ А};$$

$$\acute{\imath}_{3(3)}(t) = I_{m3(3)}\sin(\omega_{(3)}t + \psi_{3(3)}) = \sqrt{2}\cdot 0{,}42\sin(942t + 28^\circ 30') =$$
$$= 0{,}6\sin(942t + 28^\circ 30') \text{ А};$$

Действующие значения третьей гармоники напряжения на отдельных участках цепи

$$U_{ac(3)} = I_{1(3)}\cdot z_{1(3)} = 1{,}06\cdot 60 = 63{,}6 \text{ В};$$
$$U_{cd(3)} = I_{2(3)}\cdot z_{4(3)} = 0{,}77\cdot 20 = 15{,}4 \text{ В};$$
$$U_{cp(3)} = I_{3(3)}\cdot z_{3(3)} = 0{,}42\cdot 30 = 12{,}6 \text{ В};$$
$$U_{pd(3)} = I_{3(3)}\cdot z_{5(3)} = 0{,}42\cdot 20 = 8{,}4 \text{ В};$$

Активная, реактивная и полная мощности цепи для третьей гармоники

$$\hat{S}_{(3)} = P_{(3)} + jQ_{(3)} = |\mathring{U}_{(3)}\cdot I^*_{1(3)}| = 50\cdot 1{,}06e^{-j\,65^\circ 30'} = 53e^{-j\,65^\circ 30'} = 21{,}9 - j47{,}3 \text{ (ВА)};$$

$$S_{(1)} = 53 \text{ ВА}; P_{(1)} = 21{,}9 \text{ Вт}; Q_{(1)} = 47{,}3 \text{ вар}.$$

Мгновенные значения токов на отдельных участках

$$\acute{\imath}_1(t) = I_{1(0)} + \acute{\imath}_{1(1)}(t) + \acute{\imath}_{1(3)}(t) = 0 + 10{,}4\sin(314t + 57^\circ 40') + 1{,}5\sin(942t + 65^\circ 30') \text{ А};$$

$$\acute{\imath}_2(t) = I_{2(0)} + \acute{\imath}_{2(1)}(t) + \acute{\imath}_{2(3)}(t) = 0 + 5{,}6\sin(314t + 69^\circ 20') + 1{,}1\sin(942t + 84^\circ 50') \text{ А};$$

$$i_3(t) = I_{3(0)} + i_{3(1)}(t) + i_{3(3)}(t) = 0 + 5{,}0\sin(314t + 42^\circ 40') + 0{,}6\sin(942t + 28^\circ 30') \text{ A.}$$

Действующие значения токов на отдельных участках

$$I_1 = \sqrt{I_{1(0)}^2 + I_{1(1)}^2 + I_{1(3)}^2} = \sqrt{0 + 7{,}36^2 + 1{,}06^2} = 7{,}44 \text{ A.}$$

$$I_2 = \sqrt{I_{2(0)}^2 + I_{2(1)}^2 + I_{2(3)}^2} = \sqrt{0 + 5{,}6^2 + 1{,}1^2} = 5{,}71 \text{ A.}$$

$$I_3 = \sqrt{I_{3(0)}^2 + I_{3(1)}^2 + I_{3(3)}^2} = \sqrt{0 + 5{,}0^2 + 0{,}6^2} = 5{,}04 \text{ A.}$$

Действующие значения напряжений на отдельных участках

$$U = \sqrt{U_{(0)}^2 + U_{(1)}^2 + U_{(3)}^2} = \sqrt{50^2 + 100^2 + 50^2} = 122{,}5 \text{ В;}$$

$$U_{ac} = \sqrt{U_{ac(0)}^2 + U_{ac(1)}^2 + U_{ac(3)}^2} = \sqrt{0^2 + 147{,}2^2 + 63{,}6^2} = 160{,}4 \text{ В;}$$

$$U_{cd} = \sqrt{U_{cd(0)}^2 + U_{cd(1)}^2 + U_{cd(3)}^2} = \sqrt{50^2 + 237{,}4^2 + 15{,}4^2} = 243{,}1 \text{ В;}$$

Активная, реактивная и полная мощности всей цепи

$$P = P_{(0)} + P_{(1)} + P_{(3)} = 0 + 389 + 21,9 = 410,9 \text{ Вт;}$$

$$Q = Q_{(0)} + Q_{(1)} + Q_{(3)} = 0 + 623 + 47{,}3 = 670{,}3 \text{ вар;}$$

$$S = U \cdot I_{(1)} = 122{,}5 \cdot 7{,}44 = 911 \text{ ВА.}$$

где: U - действующее значение напряжения на зажимах цепи;

I_1 - действующее значение тока в неразветвленной части цепи.

Коэффициент мощности цепи

$$\cos\varphi = P/S = 410{,}9/911 = 0{,}451$$

Приборы электромагнитной системы реагируют на действующие значения несинусоидальных функций. Значит, вольтметр pU2 данной системы, включенный на напряжение U_{ac} покажет 160,4 В, а амперметр pA2 той же системы, измеряющий ток I_2, покажет 5,71 А.

Приборы магнитоэлектрической системы реагируют на постоянные составляющие несинусоидальных функций. Значит, вольтметр pU2 данной системы, включенный на напряжение U_{ac} и амперметр pA2 той же системы, измеряющий ток I_2, покажут ноль.

4. Библиографический список

1.Бессонов Л.А. Теоретические основы электротехники. М.: Высшая школа, 2002, 1996, 1984, 1978, ч. I-я.

2.Демирчан К.С. Нейман Л.Р. Коровин Н.В. и др. Теоретические основы электротехники. Питер, 2003. том 1,2,3.

3. Зевеке Г.В. и др. Основы теории цепей. М.: Энергия, 1989, 1975.

4. Шебес М.Р., Каблукова М.В. Задачник по теории линейных электрических цепей. М.: Высшая школа, 1990.

5.Атабеков Г.И. Теоретические основы электротехники. М.: Энергия, 1979.

6.Барсов И.Н. Теоретические основы электротехники. М.: Энергоатомиздат, 1992, кн.1, кн. 2.

7.Нейман Л.Р., Демирчан К.С. Теоретические основы электротехники. т.I. Л. Энергоиздат, 1981.

8.Евдокимов Ф.Е. Теоретические основы электротехники. М.: Высшая школа, 1981.

5.Контрольное задание

Задача 1. Линейные, неразветвленные электрические цепи однофазного синусоидального тока

Для заданной электрической цепи (рис.12) на зажимы которой подано напряжение u(t), изменяющееся по синусоидальному закону с амплитудой Um и частотой f, по данным приложения 1 требуется:

1. Вычертить расчетную схему замещения цепи согласно варианта.

2. Определить действующее значение тока в цепи и записать выражение

для его мгновенного значения.

3. Определить действующие значения напряжений на отдельных участках цепи.

4. Построить векторную (топографическую) диаграмму напряжений и векторную диаграмму токов.

5. Определить активную, реактивную, полную мощности и значение коэффициента мощности цепи.

6. Составить уравнение баланса мощности в цепи.

7. По данным пунктов 2 и 3 определить показания ваттметра, включенного в цепь на участке согласно варианта.

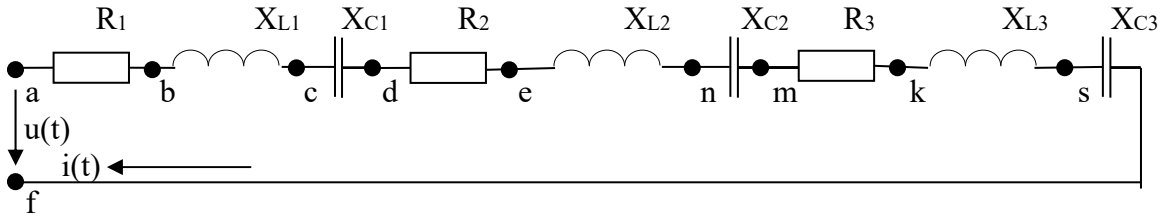

Рис. 12.

Задача 2. Линейные, разветвленные электрические цепи однофазного синусоидального тока

Для заданной электрической цепи (рис.13) по данным приложений 2 и 3 требуется:

1. Вычертить расчетную схему замещения цепи согласно варианта.

2. Определить действующие значения токов на всех участках цепи и проверить правильность полученных результатов по первому закону Кирхгофа.

3. Определить действующие значения напряжений на отдельных участках цепи.

4. Построить векторную (топографическую) диаграмму напряжений и векторную диаграмму токов.

5. Составить уравнение баланса мощностей.

6. Построить круговую диаграмму для тока в ветви с сопротивлением, величина которого меняется от 0 до ∞ согласно варианта.

7. Определить по круговой диаграмме ток в этой ветви для указанного значения изменяемого сопротивления и сравнить его с результатом расчета (пункт 2).

8. По данным пунктов 2 и 3 определить показания ваттметра, включенного в цепь согласно варианта.

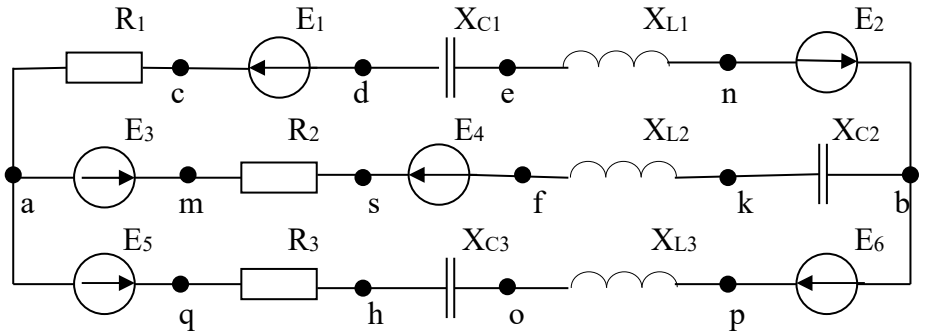

Рис.13.

Задача 3. Линейные электрические цепи однофазного, периодического, несинусоидального тока

Для заданной электрической цепи (рис.14), к зажимам которой приложено напряжение $u(t)=U_{(0)}+U_{m(K)}\sin(K\omega t+\varphi_K)+U_{m(N)}\cos(N\omega t+\varphi_N)$ с частотой f_K=50 Гц, по данным приложения 4 требуется:

1. Вычертить расчетную схему замещения цепи согласно варианта.

2. Определить действующие значения токов в цепи и записать выражения для их мгновенных значений.

3. Определить действующие значения напряжений на отдельных участках цепи.

4. Определить активную, реактивную, полную мощности и значение коэффициента мощности цепи.

5. Определить показания приборов (вольтметра и амперметра), включенных в цепь согласно варианта для двух случаев: приборы электромагнитной системы; приборы магнитоэлектрической системы.

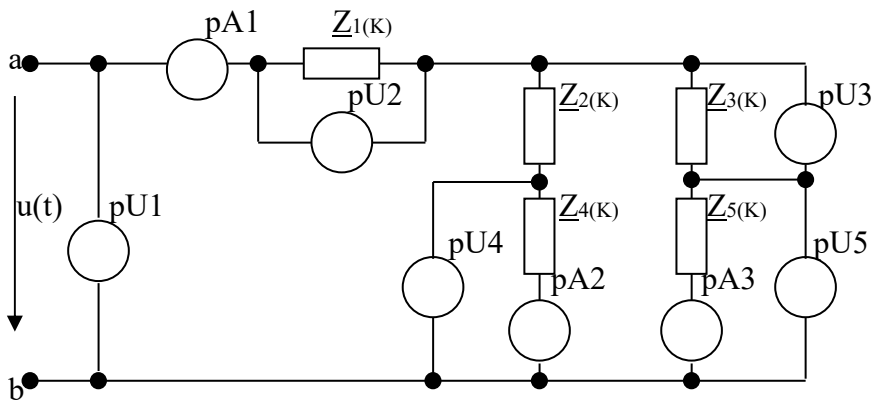

Рис.14.

Приложения 1

Данные вариантов к задаче 1

№ варианта	U_m	f	R_1	R_2	R_3	L_1	L_2	L_3	C_1	C_2	C_3	Ваттметр включен
-	*В*	Гц	Ом			мГ			мкФ			-
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
01	50	50	40	0	45	127,4	63,9	0	∞	79,6	45,5	U_{sa}
02	60	60	25	0	40	0	34,7	0	∞	79,6	63,7	U_{af}
03	70	55	30	45	0	63,7	0	35,4	∞	∞	63.7	U_{fd}
04	80	70	28	0	34	21,2	42,5	0	26,5	∞	∞	U_{an}
05	90	75	0	24	65	0	95,2	0	79,6	∞	30,3	U_{sd}
06	100	90	26	0	54	15,9	0	31,9	∞	31,9	∞	U_{fd}
07	110	100	30	40	0	79.5	0	53,1	∞	17,7	∞	U_{bm}
08	120	125	0	15	10	63,6	0	0	63.7	∞	14,2	U_{kb}
09	130	150	8	0	20	0	10,6	31,8	∞	∞	13,3	U_{an}
10	140	175	30	0	12	18,2	27,3	0	0	∞	13,3	U_{ka}
11	150	25	12	0	30	0	382,2	0	∞	91,9	127,4	U_{ds}
12	160	50	0	44	38	191.1	0	0	106.2	∞	39,8	U_{fm}
13	170	100	0	18	25	0	0	95,5	159,2	39,8	∞	U_{ec}
14	180	150	30	40	0	31,8	0	26,6	∞	26,6	∞	U_{ma}
15	200	175	0	0	70	31.8	72,8	0	∞	13,0	10,1	U_{nk}
16	210	25	15	10	0	0	191,1	254,8	∞	∞	212,3	U_{am}
17	220	50	0	15	10	159,2	0	0	159,2	∞	45.5	U_{cb}
18	230	75	18	12	0	63,7	0	21,2	∞	23,6	∞	U_{as}
19	240	100	0	32	24	0	47,8	0	26,5	∞	39,8	U_{fc}
20	250	160	8	0	20	0	21,2	59,1	∞	∞	15,2	U_{bm}

Продолжение приложения 1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
21	260	50	25	30	0	0	318,5	0	∞	79,6	106,2	U_{sb}
22	270	25	0	0	12	382,2	254,8	0	212,3	∞	127,4	U_{af}
23	280	50	17	0	24	0	318,5	0	63,9	∞	159,2	U_{ma}
24	290	70	0	65	40	79,6	0	53,1	15,9	∞	∞	U_{de}
25	300	80	80	65	0	0	0	191,1	26,5	∞	21,2	U_{ba}
26	50	90	17	0	5	0	67,3	95,5	∞	∞	79,6	U_{ab}
27	60	100	30	0	25	15,9	47,8	0	∞	42,5	∞	U_{km}
28	75	115	25	0	15	63,5	0	0	21,2	∞	31.9	U_{nk}
29	85	125	17	0	0	0	50,8	25,4	∞	25,5	25,5	U_{cs}
30	95	175	65	0	0	36,4	0	63,7	18.2	∞	30,3	U_{mb}
31	105	50	0	0	100	159,2	254,8	0	35,9	70,9	∞	U_{df}
32	115	30	100	0	0	0	509,6	382,2	∞	212,3	91,9	U_{nf}
33	125	40	0	50	50	0	0	318,5	39,8	∞	31,9	U_{nd}
34	135	75	20	0	60	127,1	42,5	0	∞	26,5	∞	U_{ks}
35	145	100	30	30	0	0	79,5	0	∞	31,9	22,8	U_{bn}
36	155	125	0	100	0	127,1	0	39,2	18,2	∞	12,7	U_{ed}
37	165	150	10	0	10	21,2	0	21,2	∞	17,7	∞	U_{ke}
38	175	20	60	0	0	0	382,2	191,1	159,2	∞	106,1	U_{af}
39	185	60	0	25	0	127,4	127,4	0	∞	63,7	45,5	U_{fa}
40	195	40	0	0	70	318,5	222,9	0	45,5	79,6	∞	U_{mf}
41	205	50	0	10	10	0	63,9	0	318,5	159,2	∞	U_{ap}
42	215	80	15	0	25	21,2	42,5	0	∞	70,9	∞	U_{nd}
43	225	100	17	30	0	0	0	111,5	53,1	∞	79,6	U_{be}
44	235	140	0	65	0	10,6	0	63,6	15,2	∞	35,4	U_{nf}

Продолжение приложения 1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
45	245	160	0	45	10	0	0	42,4	21,2	∞	13,3	U_{sb}
46	200	90	17	0	0	0	63,7	49,6	58,1	∞	26,5	U_{ef}
47	180	50	0	25	20	63,9	191,1	0	∞	39,8	∞	U_{mk}
48	160	25	0	25	0	63,7	0	445,9	76,8	∞	212,3	U_{dk}
49	150	45	19	12	0	0	286,.6	0	∞	79,6	53,1	U_{be}
50	140	60	0	65	0	127,4	0	31,8	159,2	∞	35,4	U_{ca}
51	120	80	0	0	100	127,4	127,4	0	53,1	76,9	∞	U_{ks}
52	100	90	100	0	0	0	63,7	31,8	∞	53,1	19,9	U_{af}
53	80	100	0	100	30	79,5	15,9	0	∞	26,5	∞	U_{fa}
54	60	125	10	0	10	25,4	0	50,8	∞	42,5	∞	U_{ma}
55	70	150	15	10	0	0	53,0	26,6	∞	∞	53,1	U_{as}
56	85	60	0	100	50	159,2	0	31,9	63,7	∞	∞	U_{dk}
57	95	80	0	65	0	191,1	0	54,6	32,5	∞	∞	U_{ed}
58	90	100	0	0	10	31,8	0	47,8	39,8	159,2	∞	U_{sk}
59	100	125	60	0	0	318,5	222,9	0	191,1	∞	191,1	U_{ka}
60	110	150	0	25	0	42,4	106,8	0	∞	17,7	11,8	U_{dk}
61	130	175	0	0	100	72,8	91,0	0	15,2	13,0	∞	U_{ek}
62	150	20	0	0	70	318,5	318,5	0	159,2	∞	63,4	U_{kd}
63	170	30	26	0	10	0	573,3	0	∞	159,2	106,1	U_{as}
64	190	50	0	0	25	63,9	0	127,4	∞	106,1	106,1	U_{es}
65	210	60	17	0	15	0	222,9	0	∞	159,2	106,2	U_{ak}
66	220	80	27	0	15	0	30,3	42,5	∞	∞	19,9	U_{ea}
67	230	100	0	45	0	0	143,3	111,5	53,1	∞	19,9	U_{ed}
68	150	75	0	65	0	63,7	0	42,5	30,3	42,5	∞	U_{de}

Продолжение приложения 1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
69	250	75	18	0	0	0	21,2	63,7	∞	106,2	53,1	U_{sa}
70	230	120	0	65	50	89,2	0	101,6	127,1	∞	∞	U_{bk}
71	210	50	0	0	100	191,1	286,6	0	31,9	45,5	∞	U_{cf}
72	200	60	80	0	0	0	222,9	159,2	∞	53,1	36,4	U_{bk}
73	190	70	0	50	70	0	0	148,6	53,1	∞	23,6	U_{ds}
74	170	50	0	0	45	95,5	254,8	0	53,1	106,2	∞	U_{ks}
75	150	40	0	0	70	191,1	318,5	0	79,6	45,5	∞	U_{cf}
76	130	100	0	0	40	47,8	127,4	0	∞	26,5	∞	U_{dm}
77	110	125	30	50	0	0	76,2	0	∞	31,9	18,2	U_{nc}
78	90	175	0	30	0	18,2	0	63,7	13,0	∞	22,8	U_{af}
79	70	25	0	30	10	63,7	0	191,1	∞	75,6	∞	U_{bs}
80	50	30	60	0	0	0	254,8	509,6	53,1	∞	35,4	U_{kb}
81	120	40	25	0	0	0	0	159,2	79,6	106,3	53,1	U_{ak}
82	100	50	0	70	0	0	95,2	169,9	∞	35,9	109,3	U_{fa}
83	80	100	0	10	25	0	79,5	0	79,5	26,6	∞	U_{fe}
84	60	150	25	0	30	21,2	31,8	0	∞	15,2	∞	U_{am}
85	75	40	19	15	0	0	191	0	∞	106,3	53,1	U_{bs}
86	95	70	0	65	0	42,5	0	148,6	26,5	∞	42,5	U_{ds}
87	105	125	0	0	25	12,7	38,1	0	142,5	21,2	∞	U_{sd}
88	115	30	0	25	0	191,1	382,2	0	159,2	∞	91,9	U_{df}
89	70	75	17	0	37	0	148,6	0	∞	42,5	70,9	U_{ab}
90	90	150	0	0	10	21,2	0	53,0	26,6	106,2	∞	U_{ms}
91	50	100	0	0	10	15,9	47,8	0	79,6	39,8	∞	U_{ek}
92	230	150	0	65	0	42,4	0	84,8	11,8	21,2	∞	U_{ck}

Продолжение приложения 1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
93	210	100	0	0	90	95,5	127,4	0	17,7	31,9	∞	U_{ak}
94	200	50	70	0	0	0	191,1	286,6	∞	45,5	31,9	U_{na}
95	180	75	0	25	25	21,2	0	95,2	35,9	∞	∞	U_{ea}
96	160	120	0	0	75	127,1	76,2	0	∞	14,7	25,5	U_{ck}
97	140	40	30	0	10	222,9	0	59,2	∞	39,8	∞	U_{bk}
98	120	120	60	0	0	50,8	0	101,6	42,5	∞	15,9	U_{bf}
99	100	20	0	25	40	0	0	254,8	127,4	∞	318,5	U_{fd}
00	80	80	0	0	20	63,7	106,2	0	53,1	106,2	∞	U_{ck}

Приложение 2

Данные вариантов к задаче 2

№ варианта	f	R_1	R_2	R_3	L_1	L_2	L_3	C_1	C_2	C_3	Перемен. параметр	Ваттметр включен
-	Гц	Ом			мГ			мкФ			-	-
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
01	25	40	0	30	0	318,5	0	∞	∞	159,3	C_3	U_{ab}; I_1
02	35	25	0	0	0	63,9	0	∞	80,3	106,2	R_1	U_{ae};-I_1
03	55	30	45	0	127,4	0	0	∞	∞	106,2	R_2	U_{ac}; I_2
04	70	0	0	34	95,2	63,8	0	70,9	∞	∞	C_1	U_{ah};-I_2
05	80	0	24	65	0	106,2	0	70,9	∞	∞	L_2	U_{ms}; I_3
06	90	26	0	54	0	0	63,8	∞	53,1	∞	L_3	U_{sm}; -I_3
07	100	30	40	0	0	0	106,2	∞	35,9	∞	L_3	U_{bk}; -I_1
08	125	0	15	10	38,1	0	0	25,4	∞	∞	R_3	U_{ce}; I_1

Продолжение приложения 2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
09	150	8	0	0	0	10,6	31,8	∞	∞	18,2	C_3	U_{ba}; $-I_2$
10	175	0	0	12	9,1	27,3	0	∞	∞	45,5	L_1	U_{bm}; I_2
11	50	12	0	0	0	286,6	0	∞	159,2	45,5	C_2	U_{qp}; I_3
12	75	0	44	38	95,2	0	0	∞	∞	70,9	R_2	U_{ms}; $-I_3$
13	100	0	18	25	0	0	31,8	53,1	53,1	∞	C_1	U_{op}; I_1
14	125	30	40	0	0	0	50,8	∞	31,9	∞	L_3	U_{ed}; $-I_1$
15	150	0	0	70	53,0	0	0	∞	17,7	13,3	C_3	U_{mb}; I_2
16	175	15	10	0	0	18,2	18,2	∞	∞	45,5	R_1	U_{ba}; $-I_2$
17	25	0	15	10	127,4	0	0	212,3	∞	∞	R_2	U_{ah}; I_3
18	30	18	12	0	0	0	127,4	∞	212,3	∞	C_2	U_{bs}; I_3
19	40	0	32	24	0	124,4	0	212,3	∞	318,5	C_3	U_{bm}; I_1
20	50	8	0	0	0	63,9	191,1	∞	∞	106,2	C_3	U_{ak}; I_1
21	60	25	0	0	0	63,9	0	∞	63,7	79,6	R_1	U_{ca}; $-I_2$
22	75	0	0	12	21,8	42,5	0	70,9	∞	106,2	L_1	U_{sk}; I_2
23	100	17	0	24	0	47,8	0	∞	∞	79,6	R_1	U_{bf}; I_1
24	120	0	65	0	25,4	0	63,5	14,2	∞	∞	R_2	U_{km}; I_1
25	150	0	65	40	0	0	74,2	12,5	∞	∞	L_3	U_{mp};$-I_1$
26	130	17	0	0	0	10,6	42,4	∞	∞	18,8	L_2	U_{eo}; I_2
27	100	0	0	25	31,7	79,5	0	∞	53,1	∞	C_2	U_{ba}; I_2
28	80	25	0	15	63,7	0	0	42,5	∞	106,2	C_3	U_{be};$-I_2$
29	60	17	0	0	0	191,1	63,9	∞	79,6	106,2	L_2	U_{bo}; I_3
30	40	65	0	0	127,4	0	191,1	31,9	106,2	∞	L_1	U_{ac}; I_3
31	50	0	0	100	95,5	318.5	0	31,9	106,2	∞	L_1	U_{ah};$-I_3$
32	30	80	0	0	0	191,1	573.3	∞	63,4	159,3	R_1	U_{ak}; I_1

Продолжение приложения 2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
33	100	0	50	0	0	0	15,9	22,8	∞	15,9	R_2	U_{ho}; I_1
34	125	0	0	60	76,2	25,4	0	∞	18,8	∞	L_2	U_{ah};-I_1
35	150	20	0	0	0	84,8	0	∞	17,7	21,2	C_3	U_{oa}; I_2
36	40	0	100	0	36,6	0	0	159,2	∞	31,9	C_1	U_{mk}; I_2
37	50	10	0	10	63,9	0	31,8	∞	106,2	∞	C_2	U_{dn}; -I_2
38	20	60	0	0	0	254,8	254,8	∞	∞	70,8	L_2	U_{qp}; - I_3
39	60	0	25	0	63,9	159,2	0	∞	31,9	79,6	L_2	U_{dn}; I_3
40	40	0	0	70	95,5	254,8	0	35,4	159,2	∞	L_2	U_{bs}; I_3
41	50	0	0	10	0	127,4	0	106,2	318,5	∞	R_3	U_{fb}; -I_1
42	80	0	0	25	42,5	63,7	0	∞	30,3	∞	R_3	U_{ak}; -I_1
43	55	17	30	0	0	0	63,9	∞	∞	79,6	L_3	U_{ab}; I_1
44	140	0	65	0	31,8	0	95,4	11,8	∞	53,1	L_1	U_{ak}; I_2
45	150	0	65	0	0	0	89,2	111,5	∞	79,6	C_3	U_{sa}; -I_2
46	90	17	0	0	0	95,5	79,5	∞	∞	19,9	R_1	U_{fo}; -I_2
47	70	0	0	20	95,2	106,2	0	∞	23,6	∞	L_1	U_{hf}; I_3
48	65	0	25	0	0	0	106,2	30,3	∞	26,5	R_2	U_{ph}; I_3
49	50	19	10	0	0	95,5	0	∞	312,5	159,2	L_2	U_{cp}; -I_3
50	30	0	65	0	191,1	0	509,6	79,6	∞	159,2	C_1	U_{be}; -I_1
51	125	0	0	100	38,1	101,6	0	14,2	∞	∞	R_3	U_{ae}; I_1
52	150	100	0	0	0	21,2	84,4	∞	∞	106,2	C_3	U_{ad}; I_1
53	175	0	70	80	81,9	0	81,9	∞	81,9	∞	R_2	U_{sh}; -I_2
54	40	10	0	10	0	0	95,5	∞	79,6	∞	C_2	U_{ph}; -I_2
55	25	15	10	0	0	254,8	0	∞	∞	318,5	R_1	U_{qh}; I_2
56	60	0	100	50	0	0	222,9	63,7	∞	∞	L_3	U_{pq}; I_3

Продолжение приложения 2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
57	80	40	65	0	0	0	95,5	42,5	∞	∞	R_2	U_{bd}; $-I_3$
58	40	0	0	10	63,9	0	95,5	∞	159,2	∞	L_3	U_{oa}; $-I_3$
59	60	60	0	0	191,1	127,4	0	∞	∞	79,6	R_1	U_{bd}; I_1
60	40	0	25	0	95,5	0	0	∞	106,2	79,6	L_1	U_{km}; I_1
61	55	0	0	100	0	127,4	0	39,8	31,9	∞	L_2	U_{sk}; $-I_1$
62	140	0	0	70	63,6	63,6	0	∞	∞	15,2	C_3	U_{bq}; $-I_2$
63	100	26	0	10	0	47,8	0	∞	∞	53,1	R_1	U_{ab}; I_2
64	50	0	0	25	127,4	0	63,9	∞	106,2	∞	R_3	U_{bq}; I_2
65	60	17	0	30	0	95,5	0	∞	∞	79,6	L_2	U_{mk}; $-I_3$
66	80	27	0	15	0	21,2	0	∞	∞	70,9	C_3	U_{ae}; $-I_3$
67	100	0	40	0	0	47,8	0	39,8	∞	22,8	C_3	U_{hp}; I_3
68	75	0	65	0	95,2	0	106,2	∞	26,5	∞	R_2	U_{bh}; I_1
69	75	18	0	20	0	95,2	0	∞	∞	70,9	L_2	U_{af}; $-I_1$
70	65	0	65	50	0	0	127,7	30,3	∞	∞	R_2	U_{ae}; $-I_1$
71	50	80	0	100	0	159,2	0	35,4	∞	∞	C_1	U_{fa}; I_2
72	60	70	60	0	0	0	127,4	∞	45,5	∞	L_3	U_{ap}; I_2
73	70	0	50	50	0	0	63,7	31,8	∞	42,5	C_3	U_{bq}; $-I_2$
74	50	60	0	100	254,8	254,8	0	∞	∞	29,8	L_1	U_{ka}; $-I_3$
75	40	0	50	70	0	191,1	0	45,5	∞	∞	L_2	U_{ec}; I_3
76	80	40	0	30	106,2	0	0	∞	70,9	∞	R_3	U_{ab}; I_3
77	90	30	80	0	0	127,4	0	∞	∞	26,5	R_1	U_{ms}; $-I_1$
78	100	0	60	0	0	111,5	0	39,8	∞	26,5	C_3	U_{ms}; $-I_1$
79	120	0	30	10	42,5	0	0	∞	127,4	∞	C_2	U_{sm}; I_1
80	30	60	0	50	0	191,1	0	106,2	∞	∞	C_1	U_{qh}; I_2

Продолжение приложения 2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
81	20	25	25	0	0	0	254,8	∞	127,4	∞	R_1	U_{bh}; $-I_2$
82	40	0	70	60	0	254,8	0	∞	∞	45,5	R_2	U_{hq}; $-I_2$
83	50	0	10	25	0	95,5	0	159,2	∞	∞	L_2	U_{bs}; I_3
84	60	25	0	30	159,2	0	0	∞	45,5	∞	C_2	U_{ca}; I_3
85	75	19	15	0	0	95,5	0	∞	∞	212,3	C_3	U_{ms}; $-I_3$
86	80	0	65	20	0	0	106,2	30,3	∞	∞	L_3	U_{qp}; $-I_1$
87	90	25	0	25	31,8	0	0	∞	31,9	∞	L_1	U_{da}; I_1
88	100	0	25	0	31,8	47,8	0	∞	∞	26,5	R_2	U_{hc}; I_1
89	110	17	0	37	0	25,4	0	∞	∞	42,5	R_1	U_{qh}; $-I_2$
90	120	0	0	10	0	0	12,7	63,7	63,7	∞	L_3	U_{mk}; $-I_2$
91	130	0	30	40	76,2	0	0	∞	25,5	∞	R_3	U_{ms}; I_2
92	140	0	75	0	0	0	42,4	21,2	15,3	∞	R_2	U_{qp}; I_3
93	150	35	0	35	0	53,1	0	26,6	∞	∞	R_3	U_{hq}; $-I_3$
94	50	100	100	0	0	318,5	0	∞	∞	31,9	C_3	U_{pa}; $-I_3$
95	60	0	60	60	0	0	251,8	35,4	∞	∞	L_3	U_{ab}; I_1
96	70	0	0	120	169.9	0	0	∞	30,3	23,6	C_2	U_{bq}; I_1
97	80	30	0	0	106,2	0	63,7	∞	53,1	∞	L_1	U_{ca}; $-I_1$
98	90	60	0	0	0	106,2	0	19,9	∞	17,7	R_1	U_{ac}; $-I_2$
99	100	0	25	40	0	0	79,5	22,8	∞	∞	L_3	U_{ab}; I_2
00	125	0	0	70	127,1	101,6	0	∞	∞	15,9	C_1	U_{ba}; $-I_2$

Приложение 3

Данные вариантов к задаче 2

№ варианта	$e_1(t)$	$e_2(t)$	$e_3(t)$	$e_4(t)$	$e_5(t)$	$e_6(t)$
-	В					
1	2	3	4	5		7
01	141cos wt	70sin (wt-160º)	0	0	0	141cos(wt+30º)
02	141sin(wt+40º)	0	221cos wt	0	141sin wt	148cos(wt+50º)
03	0	0	141sin wt	141cos(wt+50º)	70sin(wt+110º)	0
04	0	141cos wt	0	0	70cos(wt+130º)	141sin(wt-30º)
05	0	70sin wt	141cos(wt+60º)	0	0	70sin(wt-190º)
06	141sin(wt-45º)	80cos(wt+130º)	0	0	0	65sin wt
07	0	0	0	141cos(wt-30º)	282sin(wt+55º)	141cos wt
08	141cos wt	92cos(wt+236º)	0	120sin(wt-40º)	0	0
09	0	0	282cos wt	141cos(wt+70º)	211sin(wt-30º)	0
10	0	141sin wt	100sin(wt-70º)	0	0	71cos(wt+130º)
11	0	82cos(wt-160º)	41sin wt	141sin(wt+120º)	0	0
12	141sin wt	141cos(wt-50º)	0	0	141sin(wt+85º)	0
13	0	77sin wt	0	141cos(wt+36º)	0	77sin(wt-155º)
14	211cos(wt-50º)	0	0	141sin wt	0	141cos wt
15	0	81sin wt	0	0	120cos(wt-50º)	141sin(wt+310º)
16	0	70cos wt	0	41cos(wt+100º)	0	141sin(wt-80º)
17	141sin wt	141sin(wt-80º)	141cos(wt+30º)	0	0	0
18	0	0	90sin(wt+45º)	70sin(wt-320º)	0	141cos wt
19	141sin(wt-40º)	0	141sin wt	0	141cos(wt+35º)	0
20		141sin(wt-30º)	0	0	211sin wt	141sin(wt-40º)

Продолжение приложения 3

1	2	3	4	5		7
21	66sin(wt+350º)	0	101sin wt	141cos wt	0	0
22	0	0	141cos(wt+33º)	211sin(wt-60º)	141sin wt	0
23	180cos(wt-50º)	141sin wt	0	0	0	141cos wt
24	0	141cos(wt+60º)	0	0	180sin wt	211sin(wt-10º)
25	0	141cos wt	0	211cos(wt-70º)	0	141sin(wt+30º)
26	141cos(wt-60º)	0	121sin wt	0	81cos wt	0
27	141sin(wt-20º)	0	0	0	141cos wt	70sin wt
28	0	141cos(wt-20º)	141cos wt	141sin wt	141sin(wt+30º)	0
29	0	141cos wt	0	80sin(wt+145º)	141sin wt	141cos(wt-65º)
30	141cos wt	0	141sin(wt+70º)	141cos(wt-160º)	0	141sin wt
31	141cos wt	211sin wt	0	0	0	141cos(wt+35º)
30	0	0	41sin(wt+70º)	81cos(wt-160º)	0	141sin wt
31	41cos wt	14sin wt	0	0	0	21cos(wt+35º)
32	0	0	141cos wt	0	141cos(wt+35º)	211sin(wt-140º)
33	0	141sin(wt+30º)	0	141cos wt	141cos(wt+70º)	0
34	141sin(wt-50º)	0	70cos wt	100cos(wt-30º)	0	0
35	141cos wt	0	141sin(wt-20º)	0	211sin wt	0
36	141cos(wt+50º)	0	0	71sin(wt-80º)	0	141sin wt
37	0	141cos wt	91cos(wt-160º)	0	141sin(wt+230º)	0
38	0	41cos(wt+270º)	0	0	81sin(wt-70º)	66cos wt
39	0	0	141sin(wt-40º)	211sin wt	211cos wt	0
40	141sin wt	0	141cos(wt+30º)	0	0	141sin(wt-160º)
41	0	141sin(wt+70º)	0	141sin wt	0	141cos(wt-30º)
42	0	0	141sin(wt-30º)	71cos(wt+220º)	141cos wt	0

Продолжение приложения 3

1	2	3	4	5		7
43	0	0	141sin(wt-30º)	61cos(wt+320º)	0	141sin wt
44	141sin wt	0	101cos wt	0	75cos(wt-30º)	0
45	0	141sin wt	0	0	89sin(wt+150º)	141cos wt
46	141cos(wt+80º)	90cos wt	70sin(wt-40º)	0	0	0
47	0	0	0	141cos wt	70cos(wt+130º)	141sin(wt-50º)
48	141sin(wt-80º)	211cos(wt+30º)	0	70sin wt	0	0
49	0	0	57sin(wt+370º)	141cos(wt-70º)	0	141cos wt
50	0	70sin(wt-250º)	91cos wt	0	141sin wt	0
51	141cos wt	0	61sin(wt+230º)	0	0	141cos(wt-30º)
52	211sin(wt+120º)	0	0	141cos(wt-50º)	141cos wt	0
53	141sin(wt-70º)	101cos(wt+30º)	0	101cos wt	0	0
54	70sin(wt-130º)	141cos wt	0	0	0	70sin wt
55	0	0	211sin wt	0	211sin(wt-40º)	211cos(wt+60º)
56	0	81sin wt	0	161sin(wt+20º)	0	74cos(wt-230º)
57	81cos(wt-160º)	41cos wt	0	0	41sin(wt+240º)	0
58	0	0	141cos wt	141cos(wt-70º)	0	141sin(wt+36º)
59	0	41sin(wt+60º)	37sin wt	41cos(wt-10º)	0	0
60	0	0	200sin(wt+20º)	241sin wt	141cos(wt+10º)	0
61	141sin wt	211cos(wt+35º)	0	0	141sin(wt+140º)	0
62	0	141sin(wt+150º)	0	211cos wt	0	141sin wt
63	170cos wt	0	141sin(wt+360º)	141sin wt	0	0
64	0	141sin(wt+30º)	68cos(wt+250º)	0	141cos wt	0
65	0	141cos(wt+20º)	0	0	141sin wt	82sin(wt+140º)
66	51sin(wt+126º)	0	71cos wt	71cos(wt-120º)	0	0

Продолжение приложения3

1	2	3	4	5		7
67	0	0	211sin(wt-40º)	0	141cos(wt+230º)	141cos wt
68	71sin(wt+130º)	0	0	141cos wt	71cos(wt+330º)	0
69	71cos wt	35sin wt	0	0	0	35sin(wt+230º)
70	41sin(wt+300º)	101sin wt	41sin(wt+245º)	0	0	0
71	0	0	141cos wt	81sin(wt-180º)	0	141cos(wt+30º)
72	41cos(wt+245º)	36sin wt	0	0	17sin(wt+35º)	0
73	0	81cos(wt-130º)	0	0	41sin wt	141sin(wt+70º)
74	141sin wt	141cos(wt+15º)	0	0	0	141sin(wt+190º)
75	141cos(wt+30º)	0	141sin wt	141sin(wt-30º)	141cos wt	0
76	141sin(wt+80º)	0	211cos wt	0	141cos(wt+90º)	141sin wt
77	0	17cos wt	14cos(wt-125º)	31sin wt	0	0
78	0	141cos wt	0	0	70sin wt	141cos(wt+40º)
82	0	0	71sin(wt+300º)	71cos wt	71cos(wt-180º)	0
83	141sin wt	141sin(wt+30º)	141cos wt	0	0	0
84	141cos(wt-80º)	0	71sin(wt+230º)	141cos wt	0	0
85	101cos wt	0	0	0	71cos wt	141sin(wt-330º)
86	0	41cos wt	54cos(wt-40º)	0	41sin(wt+30º)	0
87	0	141cos(wt+60º)	0	141sin(wt-70º)	0	141cos wt
88	0	0	141sin(wt-55º)	141sin wt	141cos wt	0
89	121sin(wt+340º)	0	71cos wt	0	0	66sin(wt-230º)
90	0	41sin wt	55cos(wt+110º)	81sin(wt-70º)	0	0
91	0	0	0	141cos wt	71cos(wt+280º)	141sin(wt-140º)
92	48sin(wt+190º)	0	55cos wt	0	70cos(wt-130º)	0
93	0	141sin wt	0	0	71sin(wt-45º)	141cos(wt+320º)

Продолжение приложения 3

1	2	3	4	5		7
94	141cos(wt+30º)	0	141sin(wt-60º)	0	71sin wt	0
95	0	0	0	41cos(wt-150º)	61cos wt	61sin(wt+130º)
96	41sin(wt+330º)	71cos(wt-60º)	141cos wt	0	0	0
97	0	141sin wt	0	141cos wt	0	71cos(wt+120º)
98	0	141sin(wt+320º)	141cos(wt-30º)	0	141sin wt	0
99	41cos wt	0	31sin(wt-250º)	0	0	71cos(wt+30º)
00	0	0	0	141cos wt	71cos(wt+150º)	81sin(wt+310º)

Приложение 4

Данные вариантов к задаче 3

№ варианта	K	N	$U_{(0)}$	$U_{(K)}$	$U_{(N)}$	φ_K	φ_N	$\underline{Z}_{!(K)}$	$\underline{Z}_{!(K)}$	$\underline{Z}_{!(K)}$	$\underline{Z}_{!(K)}$	$\underline{Z}_{!(K)}$	Определить показания
-	-		В			Град.		Ом					-
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
01	1	3	20	141	35,3	120	10	0	J20	25	-J60	40	pA1; pU1
02	2	4	30	70.5	141	30	20	J20	0	-j60	30	J30	pA2; pU2
03	1	2	40	282	141	60	25	25	-j80	0	-60j	40	pA3; pU3
04	2	3	50	211	70,5	180	30	J25	J30	25	0	-j60	pA1; pU4
05	1	2	55	35,3	35,5	90	40	J25	40	J30	-j80	0	pA2; pU5
06	1	3	45	141	70.5	30	55	0	J15	-j120	45	50	pA3; pU1
07	2	3	35	141	70,5	50	45	-J40	0	J45	-j70	50	pA1; pU2
08	2	4	25	211	70.5	60	65	70	J30	0	-j100	70	pA2; pU3
09	1	2	60	70,5	35,3	70	25	35	-J50	-j80	0	J25	pA3; pU4

Продолжение приложения 4

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
10	2	3	85	211	70,5	180	30	0	J20	25	-J60	40	pA1; pU1
11	1	2	58	35,3	35,5	190	40	J25	0	-j65	30	J30	pA2; pU2
12	1	3	45	141	70.5	30	155	25	-j70	0	-65j	40	pA3; pU3
13	2	3	65	141	70,5	150	45	J25	J30	45	0	-j50	pA1; pU4
14	2	4	75	211	70.5	60	165	J35	45	J30	-j90	0	pA2; pU5
15	1	2	66	70,5	35,3	170	25	0	J15	-j80	35	50	pA3; pU1
16	1	3	80	141	35,3	20	110	-J33	0	J45	-j90	50	pA1; pU2
17	2	4	53	70.5	141	130	120	40	J50	0	-j110	70	pA2; pU3
18	1	2	45	282	141	260	215	0	J20	25	-J60	40	pA3; pU4
19	2	3	85	211	70,5	180	30	J20	0	-j60	30	J30	pA1; pU5
20	1	2	58	35,3	35,5	190	40	45	-j80	0	-j60	40	pA2; pU1
21	1	3	45	141	70.5	30	155	J25	J30	25	0	-j60	pA3; pU2
22	2	3	65	141	70,5	150	45	J25	40	J30	-j80	0	pA1; pU3
23	2	4	75	211	70.5	60	165	0	J15	-j120	45	50	pA2; pU4
24	1	2	66	70,5	35,3	170	25	-J40	0	J45	-j70	50	pA3; pU5
25	1	3	40	141	35,3	20	110	60	J30	0	-j80	70	pA1; pU1
26	2	4	33	70.5	141	130	120	70	J20	0	-j100	70	pA2; pU2
27	1	2	40	282	141	260	215	35	-J50	-j110	0	J25	pA3; pU3
28	2	3	55	211	70,5	180	30	J35	40	J35	-j70	0	pA1; pU4
29	1	2	58	35,3	35,5	190	40	0	J25	-j120	45	50	pA2; pU5
30	1	3	45	141	70.5	30	155	-J90	0	J45	-j120	50	pA3; pU1
31	2	3	65	141	70,5	150	45	60	J35	0	-j90	70	pA1; pU2
32	2	4	75	211	70.5	60	165	45	-J40	-j80	0	J25	pA2; pU3
33	1	2	60	70,5	35,3	170	25	J10	40	J30	-j60	0	pA3; pU4

Продолжение приложения 4

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
34	2	4	46	120	40	180	40	45	-j80	0	-j60	40	pA1; pU1
35	1	3	65	141	60	300	155	J25	J30	25	0	-j60	pA2; pU2
36	1	2	47	250	75	45	45	J25	40	J30	-j80	0	pA3; pU3
37	2	3	64	400	120	120	165	0	J15	-j120	45	50	pA1; pU4
38	2	4	38	180	141	45	25	-J40	0	J45	-j70	50	pA2; pU5
39	1	2	75	200	80	65	110	60	J30	0	-j80	70	pA3; pU1
40	1	3	56	121	80	60	120	70	J20	0	-j100	70	pA1; pU2
41	1	4	76	300	200	30	215	35	-J50	-j110	0	J25	pA2; pU3
42	2	3	45	221	110	40	30	J35	40	J35	-j70	0	pA3; pU4
43	2	4	55	140	85	230	40	0	J25	-j120	45	50	pA1; pU5
44	1	4	90	350	70	150	155	-J90	0	J45	-j120	50	pA2; pU1
45	2	3	78	140	90	320	40	45	-j80	0	-j60	40	pA3; pU2
46	2	4	60	230	120	0	155	J25	J30	25	0	-j60	pA1; pU3
47	1	2	58	35,3	35,5	190	45	J25	40	J30	-j80	0	pA2; pU4
48	1	3	45	141	70.5	30	165	0	J15	-j120	45	50	pA3; pU5
49	2	3	65	141	70,5	150	25	-J40	0	J45	-j70	50	pA1; pU1
50	2	4	75	211	70.5	60	110	60	J30	0	-j80	70	pA2; pU2
51	1	2	66	70,5	35,3	170	120	70	J20	0	-j100	70	pA3; pU3
52	1	3	40	141	35,3	20	215	35	-J50	-j110	0	J25	pA1; pU4
53	2	4	33	70.5	141	130	30	J35	40	J35	-j70	0	pA2; pU5
54	1	2	40	282	141	260	40	0	J25	-j120	45	50	pA3; pU1
55	2	3	55	211	70,5	180	155	-J90	0	J45	-j120	50	pA1; pU2
56	1	2	58	35,3	35,5	190	40	45	-j80	0	-j60	40	pA2; pU3
57	1	3	45	141	70.5	30	155	J25	J30	25	0	-j60	pA3; pU4

Продолжение приложения 4

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
58	2	4	30	70.5	141	30	20	J20	0	-j60	30	J30	pA1; pU1
59	1	2	40	282	141	60	25	25	-j80	0	-60j	40	pA2; pU2
60	1	3	50	211	70,5	180	30	J25	J30	25	0	-j60	pA3; pU3
61	2	3	55	35,3	35,5	90	40	J25	40	J30	-j80	0	pA1; pU4
62	2	4	45	141	70.5	30	55	0	J15	-j120	45	50	pA2; pU5
63	1	2	35	141	70,5	50	45	-J40	0	J45	-j70	50	pA3; pU1
64	1	3	25	211	70.5	60	65	70	J30	0	-j100	70	pA1; pU2
65	2	4	60	70,5	35,3	70	25	35	-J50	-j80	0	J25	pA2; pU3
66	1	2	45	221	110	40	30	J35	40	J35	-j70	0	pA3; pU4
67	2	3	55	140	85	230	40	0	J25	-j120	45	50	pA1; pU5
68	1	2	90	350	70	150	155	-J90	0	J45	-j120	50	pA2; pU1
69	1	3	78	140	90	320	40	45	-j80	0	-j60	40	pA3; pU2
70	1	2	58	35,3	35,5	190	40	45	-j80	0	-j60	40	pA1; pU3
71	1	3	45	141	70.5	30	155	J25	J30	25	0	-j60	pA2; pU4
72	2	3	65	141	70,5	150	45	J25	40	J30	-j80	0	pA3; pU5
73	2	4	75	211	70.5	60	165	0	J15	-j120	45	50	pA1; pU1
74	1	2	66	70,5	35,3	170	25	-J40	0	J45	-j70	50	pA2; pU2
75	1	3	40	141	35,3	20	110	60	J30	0	-j80	70	pA3; pU3
76	2	4	33	70.5	141	130	120	70	J20	0	-j100	70	pA1; pU4
77	1	2	40	282	141	260	215	35	-J50	-j110	0	J25	pA2; pU5
78	2	3	55	211	70,5	180	30	J35	40	J35	-j70	0	pA3; pU1
79	1	2	58	35,3	35,5	190	40	0	J25	-j120	45	50	pA1; pU2
80	1	3	45	141	70.5	30	155	-J90	0	J45	-j120	50	pA2; pU3
81	2	3	85	211	70,5	180	30	0	J20	25	-J60	40	pA3; pU4

Продолжение приложения 4

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
82	1	2	58	35,3	35,5	190	40	45	-j80	0	-j60	40	pA1; pU1
83	1	3	45	141	70.5	30	155	J25	J30	25	0	-j60	pA2; pU2
84	2	3	65	141	70,5	150	45	J25	40	J30	-j80	0	pA3; pU3
85	2	4	75	211	70.5	60	165	0	J15	-j120	45	50	pA1; pU4
86	1	2	66	70,5	35,3	170	25	-J40	0	J45	-j70	50	pA2; pU5
87	1	3	40	141	35,3	20	110	60	J30	0	-j80	70	pA3; pU1
88	2	4	33	70.5	141	130	120	70	J20	0	-j100	70	pA1; pU2
89	1	2	40	282	141	260	215	35	-J50	-j110	0	J25	pA2; pU3
90	2	3	55	211	70,5	180	30	J35	40	J35	-j70	0	pA3; pU4
91	1	2	58	35,3	35,5	190	40	0	J25	-j120	45	50	pA1; pU5
92	1	3	45	141	70.5	30	155	-J90	0	J45	-j120	50	pA2; pU1
93	1	2	58	35,3	35,5	190	40	J25	0	-j65	30	J30	pA3; pU2
94	1	3	45	141	70.5	30	155	25	-j70	0	-65j	40	pA1; pU3
95	2	3	65	141	70,5	150	45	J25	J30	45	0	-j50	pA2; pU4
96	2	4	75	211	70.5	60	165	J35	45	J30	-j90	0	pA3; pU5
97	1	2	66	70,5	35,3	170	25	0	J15	-j80	35	50	pA1; pU1
98	1	3	80	141	35,3	20	110	-J33	0	J45	-j90	50	pA2; pU2
99	2	4	53	70.5	141	130	120	40	J50	0	-j110	70	pA3; pU3
00	1	2	45	282	141	260	215	0	J20	25	-J60	40	pA1; pU4