Министерство образования Республики Беларусь

Учреждение образования

«Гродненский государственный университет имени Янки Купалы»

Технологический колледж

Специальность: 2-360331 «Монтаж и эксплуатация

электрооборудования»

Группа МиЭЭ-17з

###### **КУРСОВАЯ РАБОТА**

**по дисциплине**

**«Теоретические основы электротехники»**

#### Расчет линейных электрических цепей

**переменного тока**

**Вариант №44**

##### Разработал: Куликов А.Г.

Руководитель: Дубок Н.Д.

# Задание на курсовую работу

Заданы три приёмника электрической энергии со следующими параметрами: Z 1 = -j65 Ом, Z 2 = 14+j56 Ом, Z 3 =56- j23 Ом. Рассчитать режимы работы электроприёмников при следующих схемах включения:

1.Присоединить приёмники последовательно к источнику с напряжением U = 300 В. Определить полное сопротивление цепи Z, ток I, напряжения на участках, угол сдвига фаз, мощности участков и всей цепи, индуктивности и ёмкости участков. Построить топографическую векторную диаграмму цепи.

2. Присоединить приёмники параллельно к источнику с напряжением

U = 300 В. Определить токи в ветвях и в неразветвленной части цепи, углы сдвига фаз в ветвях и во всей цепи, мощности ветвей и всей цепи. Построить векторную диаграмму цепи.

3. Составить из приёмников цепь с двумя узлами, включив в каждую

ветвь соответственно электродвижущую силу E2=230 В и Е3 = j240 B. Рассчитать в комплексной форме токи в ветвях, напряжения на участках, мощности источников и приёмников, составить уравнение баланса мощностей. Построить векторную диаграмму в комплексной плоскости. Для расчёта применить метод контурных токов.

4. Соединить приёмники в звезду с нулевым проводом (ZN = -j32 Ом), и подключить их к трёхфазному источнику с линейным напряжением UЛ =380 В. Определить фазные токи и напряжения источника, напряжение смещения нейтрали и ток в нулевом проводе. Построить топографическую векторную диаграмму в комплексной плоскости.

5. Соединить приёмники в треугольник и подключить его к тому же источнику трехфазного напряжения. Определить фазные и линейные напряжения и токи, мощности фаз и всей цепи. Построить векторную диаграмму цепи в комплексной плоскости.

6. Присоединить приёмники последовательно к источнику несинусоидального тока i=7Sin(ωt+130)+1,2Sin(2ωt-860)+0,4Sin3ωt A. Определить действующие значения тока и напряжения, активную мощность цепи. Записать уравнения мгновенных значений напряжения в цепи. Значения сопротивлений считать для частоты первой гармоники.

Частоту напряжения считать равной f = 50 Гц.

**1 Расчёт неразветвлённой цепи с помощью векторных диаграмм**

В задании на курсовую работу сопротивления даны в комплексной форме. Так как расчёт цепи нужно выполнить с помощью векторных диаграмм, определяем соответствующие заданным комплексам активные и реактивные сопротивления: XС1= 65 Ом, R2 = 14 Ом, XL2=56 Ом, R3=56 Ом ,ХC3= 23 Ом.

Из заданных приёмников составляем неразветвлённую цепь (рис. 1).

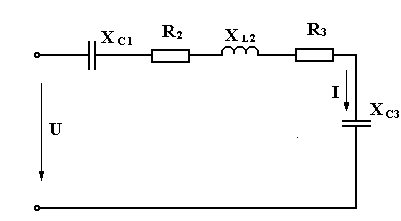


Рисунок 1

Определяем активные и реактивные сопротивления всей цепи:

R = R2+ R3= 14 + 56 = 70 Ом;

X = -XC1+ XL2 – XC3 = - 65 + 56 - 23 = - 32 Ом.

Полное сопротивление всей цепи тогда определяем из выражения:

Z = = = 77 Ом.



Ток в цепи будет общим для всех приёмников и определится по закону Ома:

I = U / Z = 300/77 = 3.9 A.

Угол сдвига фаз между напряжением и током определяется по синусу

Sin ϕ = X / Z или тангенсу Tg ϕ = X / R,

так как эти функции являются нечётными и определяют знак угла “плюс” или “минус”. Положительный знак угла указывает на активно-индуктивный (или чисто индуктивный) характер нагрузки, а отрицательный знак угла указывает на активно-ёмкостный (или чисто ёмкостный) характер. Таким образом, угол сдвига фаз между напряжением и током определим по синусу

Sin ϕ = X/Z = - 32/77 = - 0,4156;ϕ = - 24.56°; Cos ϕ = 0,9096.

Напряжения на участках цепи определяем также из формулы закона Ома:

UC1= I \* XC1 = 3.9 \*65 =253.5 B.

UR2 = I \* R2 = 3.9 \* 14 = 54.6 B.

UL2 = I \* XL2 = 3.9 \* 56 = 19.5 B

UR3 = I \* R3 = 3.9 \* 56 = 19.5 B

UC3 = I \* XC3 = 3.9 \* 23 = 89.7 B.

Определяем активные и реактивные мощности участков цепи:

QC1= I2 \* XC1 =3.92 \*65 = 989 вар.

P2 = I2 \* R2 =3.92 \* 14 = 213 Bт.

QL2 = I2 \* XL2 = 3.92\*56 = 852 вар.

P3=I2\*R3 = 3.92\*56= 852 Вт

QС3 = I2 \* XС3 = 3.92 \*23 =350 вар.

Активная, реактивная и полная мощности всей цепи соответственно будут равны:

P = P2+ P3= 213 +852 =1065 Вт.

Q = -QC1+ QL2 - QС3= -989+852- 350 = - 487 вар.

S = = =1171 B\*A.



Полную, активную и реактивную мощности всей цепи можно определить также по другим формулам:

S = U \* I =300 \*3.9 =1170 В\*А.

Р = S \* Cos ϕ =1170\* 0,9096 =1064 Вт,

Q = S \* Sin ϕ=1170\*( - 0,4154) = - 486 вар.

Определяем ёмкость и индуктивность участков. Угловая частота ω = 2 πf = 2 \* 3,14 \* 50 = 314 с-1

C1 = 1/ωXc1=1/(314\*65)= 0,000049 Ф = 49 мкФ

L2 = XL2/ω = 56/314 = 0,178 Гн



С3 = 1/ωXС3 = 1/(314\*23) = 0,000138 Ф = 138 мкФ.



Для построения векторной диаграммы задаёмся масштабами тока и напряжения, которые будут соответственно равны MI = 0,25 A/см и MU = 25 B/см.

Построение топографической векторной диаграммы начинаем с вектора тока, который откладываем вдоль положительной горизонтальной оси координат. Векторы напряжений на участках строятся в порядке обтекания их током с учётом того, что векторы напряжений на активных элементах R2 и R3 совпадают по фазе с током и проводятся параллельно вектору тока. Вектор напряжения на индуктивности L2 опережает ток по фазе на угол 900 и поэтому откладывается на чертеже вверх по отношению к току. Векторы напряжений на ёмкости С1 и отстают от тока по фазе на угол 900 и откладываются на чертеже вниз по отношению к току. Вектор напряжения между зажимами цепи проводится с начала вектора тока в конец вектора С3. На векторной диаграмме отмечаем треугольник напряжений ОАВ, из которого активная составляющая напряжения



Uа = UR2 + UR3

и реактивная составляющая напряжения

Uр = -UС1 + UL2 – UС3.

Топографическая векторная диаграмма построена на рисунке 2.

Ua

O

φ

MI = 0,5 А/см

МU = 25 В/см

UC1 U UP

UR3

UR2 UL2

UC3

Рисунок 2

### 2 Расчёт разветвлённой цепи с помощью векторных диаграмм

Присоединяем заданные приёмники параллельно к источнику напряжения. Это значит, что цепь состоит из трех ветвей, для которых напряжение источника является общим. Схема цепи показана на рисунке 3.

Расчёт параллельной цепи выполняем по активным и реактивным составляющим токов.

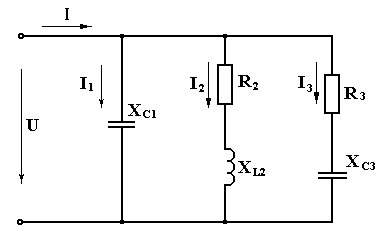


Рисунок 3

Этот метод предусматривает использование схемы замещения с последовательным соединением элементов. В данном случае три параллельные ветви рассматриваются как три отдельные неразветвлённые цепи, подключенные к одному источнику с напряжением U. Поэтому в начале расчёта определяем полные сопротивления ветвей:

Z1 = Хс1 = 65 Ом.

Z2 = = = 57.7 Ом.



Z3 = = 60.5 Ом.



Углы сдвига фаз между напряжениями и токами в ветвях определяются также по синусу (или тангенсу):

Sinφ1 = -1; ϕ1 = - 90°;Cosφ1 = 0

Sinφ2 = XL2 / Z2 = 56 / 57.7 = O.9705; ϕ2 = 76.05°; Cosφ2 = 0.241.

Sinφ3 = - XC3/Z3= - 23/60.5= - 0.38; φ3 = - 22.34°; Cosφ3 = 0.9249.

Затем можно определять токи в ветвях по закону Ома:

I1 = U / Z1 =300 / 65 = 4.62 А.

I2 = U / Z2 = 300 / 57.7 = 5.2 А.

I3 = U / Z3 = 300 / 60.5 = 4.96 А.

Для определения тока в неразветвлённой части цепи нужно знать активные и реактивные составляющие токов в ветвях и неразветвленной части цепи:

Ip1 = I1\*Sinϕ1= 4.62\*(- 1) = - 4.62 A.

Ia2 = I2 \* Cosφ2 = 5.2 \* 0,241 = 1.25 A;

Ip2 = I2 \* Sinφ2 = 5.2 \* 0,9705 = 5.05 A;

Ia3 = I3\*Cosϕ3 = 4.96\*0.9249 = 4.59 A.

Ip3 = I3\*Sinϕ3 = 4.96\*(- 0.38) = - 1.88 A.

Активная и реактивная составляющие тока в неразветвлённой части цепи:

Ia = Ia2 + Ia3 = 1.25+4.59 = 5.84 A.

Ip = Ip1 + Ip2 + Ip3 = - 4.62+5.05 – 1.88 = - 1.45 A.

Полный ток в неразветвлённой части цепи:

I = = = 6.02 A.



Угол сдвига фаз на входе цепи:

Sinφ = IP / I = - 1.45/6.02 = - 0.2409; φ = -13.940; Cosφ = 0.9706.

Активные, реактивные и полные мощности ветвей:

QC1 = I12 \*XC1= 4.622 \*65 = 1387 вар.

S1 = U\*I1 = 300\*4.62 = 1387 B\*A.

P2 = I22 \* R2 = 5.22\* 14 = 379 Вт.

QL2 = I22 \* XL2 = 5.22 \* 56 =1514 вар.

S2 = U \* I2 = 300 \* 5.2 =1560 В\*А.

P3 = I32\*R3 = 4.962\*56 = 1378 Bт

QC3 = I32 \* XC3 = 4.962 \* 23 =566 вар.

S2 = U \* I2 = 300 \*4.96 = 1488 В\*А

Активные, реактивные и полные мощности всей цепи:

P = P2 + P3 = 379 + 1378 =1757 Вт.

Q = - QC1 + QL2 - QC3 = - 1387 +1514 -566 = - 439 вар.

S = = = 1811 В\*А, или



S = U \* I = 300\*6.02 = 1806 В\*А.

P = S \* Cosφ = 1806 \* 0,9706 = 1753 Вт.

Q = S \* Sinφ = 1806\*(- 0.2404) = - 434 вар.

Для построения векторной диаграммы задаёмся масштабами напряжений MU = 25 В/см и токов MI = 0.5 А/см. Векторную диаграмму начинаем строить с вектора напряжения, который откладываем вдоль горизонтальной положительной оси. Векторная диаграмма токов строится с учётом того, что активные токи Ia2 и Ia3 совпадают по фазе с напряжением, поэтому их векторы параллельны вектору напряжения; реактивный индуктивный ток Ip2 отстает по фазе от напряжения, и его вектор строим под углом 900 к вектору напряжения в сторону отставания; реактивные емкостные токи Ip1 и Ip3 опережают по фазе напряжение, и их векторы строим под углом 90° к вектору напряжения в сторону опережения. Вектор тока в неразветвлённой части цепи строим с начала построения в конец вектора емкостного тока Ip3. Векторная диаграмма построена на рисунке 4.

Ia2

MI = 0,5 А/см

φ2

МU = 25 В/см

I2

I1=Ip1 Ip2

OIa U

Ia3

φ

I3 Ip3 Ip

φ3

I

Рисунок 4

**3 Расчёт сложных цепей переменного тока символическим методом**

Электрическая схема цепи и комплексная схема замещения представлены на рисунке 5а и б соответственно.

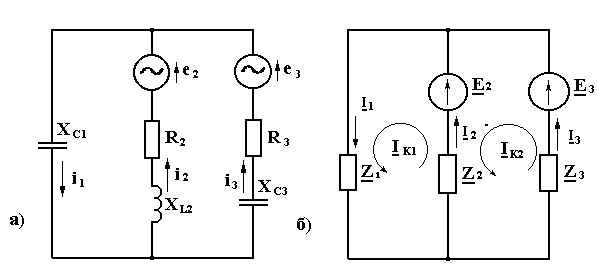


Рисунок 5

Намечаем в независимых контурах заданной цепи, как показано на рисунке 5б, контурные токи IK1 и IK2 – некоторые расчётные комплексные величины, которые одинаковы для всех ветвей выбранных контуров. Направления контурных токов принимаются произвольно. Для определения контурных токов составляем два уравнения по второму закону Кирхгофа:

IK1\*(Z1 + Z2) – IK2\*Z2 = E2

- IK1\*Z2+IK2\*(Z2+Z3)= E3 - E2

Подставляем данные в систему:

IK1\*(- j65+14+j56) – IK2\*(14+j56) = 230

-IK1\*(14+j56) +IK2 \*(14+j56+56 – j23) = j240-230

IK1\*(14-j9) – IK2\*(14+j56) = 230

-IK1\*(14+j56) + IK2\*(70+j33) = -230+ j240

Решаем систему с помощью определителей. Определитель системы:

=1277-j168+2940– j1568=4217-j1736



Частные определители :

= = 16100+j7590–16660-j9520= -560–j1930.



=-1060+j5430+3220+j12880 = 2160+j18310



Определяем контурные токи:

IK1 = = = 0.0476-j0.438 A.



IK2 = = = - 1.09+ j3.89 A.



Действительные токи в ветвях цепи определяем как результат наложения контурных токов:

I1 = IK1 = 0.0476 – j0.438 = 0.441 A



I2 = IK1-IK2 = 0.0476.- j0.438+1.09- j3.89 = 1.14 – j4.33 = 4.48 A



I3 = IK2 = -1.09 + j3.89 = 4.04 A.



Составляем уравнение баланса мощностей в заданной электрической цепи. Определяем комплексные мощности источников:

SE2 = E2\* =230(1.14+j4.33) = 262+j996=1030 B\*A



SE23= E3\* = j240\*(-1.09 – j3.89) = 912 – j262 = 949 B\*A



Определяем комплексные мощности приёмников электрической энергии:

S1 = I12\*Z1 =0.4412\*( – j65) = – j12.6 =12.6 B\*A



S2 = I22\*Z2 = 4.482\*(14+j56) = 281+j1124=1159 B\*A



S3 = I32\*Z3 = 4.042\*(56 – j23) = 914– j375 =988B\*A.



Уравнение баланса комплексных мощностей!

SЕ1 + SE2 = S1 + S2 + S3;

262+j996+912-j262 = – j12.6+281+j1124+914– j375

1174+ j734 ≅ 1182+ j749; 1385≅ 1400



Относительная и угловая погрешности незначительны.

Для построения векторной диаграммы задаёмся масштабами токов MI = 0.25 А/см и ЭДС ME = 50 В/см. Векторная диаграмма в комплексной плоскости построена на рисунке 6.

**4 Расчёт трёхфазной цепи при соединении приемника в звезду**

Схема заданной цепи изображена на рисунке 7.

Определяем систе­му фазных напряжений генератора. Фазное напряжение:

UФ = Uл/= 380/1,73=220 В.



Комплексные фазные напряжения генератора:

UA = UФ = 220 B

UB = UAe-j120 = 220e-j120 = –110 – j191 B

UC = UAej120 = 220ej120 = –110 + j191 B

Определяем полные проводимости фаз приёмника:

YA = = j0,01538 См.



YB = = 0.0042-j0.0168 См.



YC = = 0.0153+j0.00628Cм.



YN=== j0.03125 См.

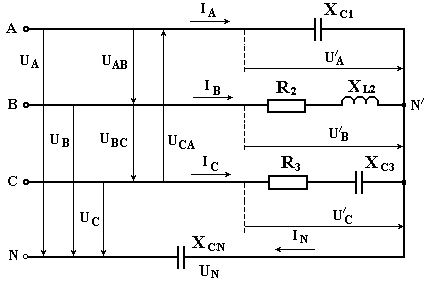


Рисунок 7

Узловым напряжением является в данном случае напряжение смещения нейтрали, которое определяется по формуле:

UN=



= (j3.38-3.67+j1.05-2.88+j2.23)/(0.05075+j0.00486) = (-6.55+j6.66)/(0.0195+j0.03611)= 67+j218 = 228B.



Определяем фазные напряжения на нагрузке:

UA/ = UA – UN = 220- (67+j218) = 153-j218 = 266 B.



UB/ = UB – UN = (–110-j191) - (67+j218) = -177-j409 =446 B.



UC/ = UC–UN=(–110+j191) - (67+j218) = -177 – j27 = 179 B.



Определяем токи в фазах нагрузки:

IA = UA/\*YA = (153-j218)\*(j0.01538) = 3.35+j2.35 = 4.1 A.



IB = UB/\*YB = (-177-j409)\*(0.0042-j0.0168) = -7.61+j1.26 =7.72A.



IC=UC/\*YC= (-177 – j27)\*(0.0153+j0.00628)=- 2,53–j1,52= 2,96A.



IN = UN\*YN = (67+j218)\*j0.03125 = - 6,8 + j2,09 = 7,12\*



Проверяем правильность определения токов по первому закону Кирхгофа для точки N’:

IA + IB + IC =IN

3.35+j2.35 -7.61+j1.26 - 2,53 – j1,52 ≅ - 6,8 + j2,09;

- 6,79+j2.09 ≅ - 6,8 + j2,09.

Определяем комплексные мощности фаз и всей цепи:

SA = IA2 \* Z1 = 4,12\*(-j65) = -j1092=1092 B\*A.



SB = IB2 \* Z2 = 7,722\*(14+j56) = 834+j3338 =3440 B\*A



SC = IC2 \* Z3 = 2,962\*(56-j23) = 491 – j 202 = 530 B\*A.



S= SA + SB + SC = -j1092+ 834+j3338+ 491 – j 202 = 1325+j2044 =

= 2436 B\*A.



Для построения векторной диаграммы задаёмся масштабами токов MI = 1 А/см и напряжений MU = 40 B/см. Векторная диаграмма на комплексной плоскости построена на рисунке 8.

## 5 Расчёт трёхфазной цепи при соединении приёмника в треугольник

Схема заданной цепи изображена на рисунке 9

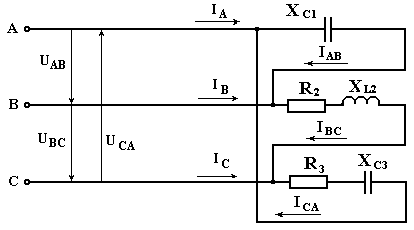


Рисунок 9.

В данном случае линейные напряжения генератора являются фазными

напряжениями нагрузки:

UAB = UЛ = 380 В.

UBC = 380 = -190-j329 B.



UCA = 380= -190+j329 B.



Определяем систему фазных токов нагрузки:

IAB = = = j5,85 = 5,85 A



IBC = = = -6,32+j1,81 = 6,58 A



ICA = = = -4,96+j3,83 = 6,27 A



Систему линейных токов определяем из соотношений:

IA = IAB – ICA = j5,85+4,96-j3,83 = 4,96+j2,02 = 5,36 A



IB = IBC – IAB = -6,32+j1,81-j5,85 = -6,32-j4,04 = 7,5A



IC = ICA – IBC = -4,96+j3,83+6,32-j1,81 = 1,36+j1,92 =2,35 A



Определяем мощности фаз приемника:

SAB =IAB2\*Z1 = 5,852\*(-j65) = -j2224 = 2224B\*A.



SBC = IBC2\*Z2 = 6,582\*(14+j56) = 606+j2425 = 2499B\*A.



SCA = ICA2\*Z3 = 6,272\*(56 – j23) =2201– j904 = 2380\*B\*A.



Определяем мощность трехфазной нагрузки:

SAB +SBC +SCA = -j2224+606+j2425+2201– j904 =2807 – j703 =

= 2894B\*A.



Для построения векторной диаграммы задаёмся масштабами токов MI =1 A/см и напряжений MU = 50A/см. Векторная диаграмма построена на рисунке 10.

## 6 Расчёт неразветвлённой цепи с несинусоидальными напряжениями и токами

Составляем схему заданной цепи, подключая последовательно соединённые приёмники к источнику несинусоидального напряжения, под действием которого в цепи возникает ток с мгновенным значением

i=7Sin(ωt+130)+1,2Sin(2ωt-860)+0,4Sin3ωt A, который на схеме замещения представляем как последовательно соединённые три источника переменного напряжения u1, u2 и u3 c разными частотами (рисунок 11)

Величины сопротивлений заданы для частоты первой гармоники:

XC11 = 18 Ом, R2 = 23 Ом, XL21 = 14 Ом, R3 = 12 Ом, XC31 = 62 Ом. Поскольку напряжения источников имеют разные частоты, то и реактивные сопротивления для них будут иметь разные величины. Активные сопротивления считаем от частоты не зависящими. Поэтому расчёт ведём методом наложения, то есть отдельно для каждой гармоники.

.

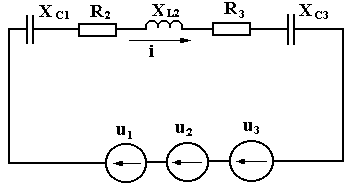


Рисунок 11.

Первая гармоника

Определяем активное и реактивное сопротивления всей цепи:

R = R2 + R3 = 14+56 = 70 Ом. X1 = -XC11+ XL21- XC31 = - 65+56–23 =

= -32 Ом.

Полное сопротивление цепи:

Z1 = = = 76,7 Ом.



Амплитудные значения напряжения и тока:

Im1 = 7 A, Um1 = Im1\*Z1= 7\*76.7 =537 B.

Действующие значения напряжения и тока:

U1 = Um1 / = 537 / 1,41 = 381 B.



I1 = Im1 / = 7 / 1,41 = 4.96 A.



Угол сдвига фаз между напряжением и током определяем по синусу:

Sinφ1 = X1/Z1 = -32/76.7 = - 0.4172. ϕ1= - 24.66°, Cosφ1=0.9088.

Активная и реактивная мощности первой гармоники:

P1 = I12 \* R = 4.962 \* 70 =1722 Вт.

Начальная фаза тока определяется из соотношения:

φ1 = ψU1 – ψI1, отсюда ψU1 =ψI1 + ϕ1 = 13°- 24.66°= - 11.66°

Мгновенное значение напряжения первой гармоники

u1= Um1 \* Sin (ωt + ψU1) = 537 \* Sin (ωt – 11.66°) B.

Вторая гармоника.

Для остальных гармоник напряжения расчёты приводим без дополнительных разъяснений.

X2= XC11/ 2 + XL21\* 2 - XC31 / 2 = -65/ 2 + 56\* 2 - 23 / 2 = 68 Ом.

Z2===97.6 Ом,



Im2=1.2 A, Um2= Im2 \*Z2=1.2\*97.6 =117 B.

U2= Um2/ =117 / 1,41 = 83 B.I2= Im2/ = 1.2 / 1,41 = 0.85 A.



Sin φ2= X2/ Z2= 68/97.6= 0,6967.ϕ2 = 44.16°, Cos φ2 = 0,7173.

P2 = I22 \* R2 = 0.852 \*70 = 51 Вт.

ψU2 =ψI2 + ϕ2 = -86°+ 44.16°= - 41.9°

u2= Um2 \* Sin (2ωt + ψU2) = 117 \* Sin (2ωt – 41.9°) B.

Третья гармоника

X3= XC11 /3 + XL11\* 3 – XC31 / 3 = - 65 / 3 + 56\* 3 - 23 / 3 =139 Ом.

Z3 = = 156 Ом. Im3 =0.4 A, Um3 = Im3 \*Z3 =0.4 \*156 =



= 62.4 B.

U3= Um3/ =62.4/ = 44.3 B. I3 = Im3/ = 0.4 / 1,41 = 0.28 A.



Sin φ3 = X3 / Z3 =139 /156 = 0,891. ϕ3 = 63°. Cos φ3 = 0,454.

P3 = I32 \* R = 0.282 \*70 = 0.5 Вт.

ψU3 =ψI3 + ϕ3 = 63°.

u3= Um3 \* Sin (3ωt + ψU3) =44.3 \* Sin (3ωt +63°) B.

Определяем действующие значения тока и напряжения:

I = = = 5.04 A.



U = = = 559 B.



Активная и реактивная мощности цепи:

P = P1+P2+P3=1722+51+0.5=1774 Вт.

Средневзвешенный коэффициент мощности цепи:

Cos Х = Р / (U \* I) = 1774/ (559 \*5.04) = 0,6296.

Уравнение мгновенных значений напряжения между зажимами цепи:

u=u1+u2+u3=537 \* Sin (ωt – 11.66°)+117 \* Sin (2ωt – 41.9°)+

+44.3 \* Sin (3ωt +63°) B.

**Литература**

1. Ф.Е. Евдокимов. Теоретические основы электротехники. - М. “Высшая школа “,1981 г.
2. В.С. Попов. Теоретическая электротехника. – М. “Энергия”,

1978 г.

1. Ю.В. Буртаев, П. И. Овсянников. Теоретические основы электротехники.– М. “Энергоатомиздат”, 1984 г.
2. Л.А. Частоедов. Электротехника. - М. “Высшая школа”, 1984 г.
3. М.Ю. Зайчик. Сборник задач и упражнений по теоретической электротехнике. – М. “Энергоатомиздат” , 1988 г.