

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования

ПЕНЗЕНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

Кафедра: «Электроэнергетика и электротехника»

КУРСОВАЯ РАБОТА

по дисциплине «Теоретические основы электротехники»
на тему «Исследование режимов работы трехфазной цепи
и анализ переходных процессов»

Выполнил: студент гр. 14ПЭ2
Калаев А.

Проверил: зав. кафедры
Ашанин В.Н.

с. 1
2017
12.11.17
В.Н. Ашанин

Пенза 2017

Реферат.

Трехфазные электрические цепи являются основой сетей и систем энергоснабжения, обеспечивающих энергией промышленные предприятия и жилые районы, которые, с точки зрения электроэнергетики, являются потребителями различного характера.

На промышленных предприятиях в трехфазную сеть включаются различные станки и аппараты, в преобладающей части которых электрическая энергия преобразуется в механическую и тепловую. Нагрузка по фазам распределена более равномерно в основном из-за наличия большого количества трехфазных электрических машин, представляющие для сети симметричную нагрузку, и из-за лучшей организации подключения к сети других элементов потребления.

Электрические машины часто работают в недогруженном режиме, при котором коэффициент мощности достаточно низок.

Это снижает эффективность работы электростанций и линий передачи электрической энергии. Для улучшения коэффициента мощности на практике используются как автоматические системы, так и электромашинные компенсаторы реактивного тока или реактивной мощности. Такие устройства устанавливаются в местах ввода фидеров электропитания на предприятия, что позволяет контролировать коэффициент мощности перед компенсатором и после. -

При эксплуатации сетей и систем электроснабжения нередки случаи подключения и отключения от промышленной сети мощных потребителей. Не удастся избежать и аварийных режимов работы сети, в частности, связанных с появлением неисправностей в электромашинных установках, вызванных короткими замыканиями в обмотках. Это приводит к переходу работы электрической сети из одного в другой устойчивый энергетический режим.

Возникающий переходный процесс необходимо анализировать как для правильного проектирования устройств защиты, так и для определения законов изменения токов и напряжений в сети, поскольку переходный процесс может привести к перенапряжениям и перегрузкам по току. Это может привести к выводу из строя дорогостоящего оборудования.

Задание:

Вариант № 208.

Начальные условия:

В трехфазную сеть (рис. 1) напряжением ($U_n=220$ В (50 Гц)) включены два потребителя 1 и 2. Первый потребитель представляет собой резистивную несимметричную нагрузку, мощности фаз которой составляют $P_A=6$ кВт; $P_B=8$ кВт; $P_C=5$ кВт. Нагрузка при этом соединена "звездой" с нулевым проводом. Второй потребитель является симметричной нагрузкой с общей активной мощностью $P_2=39$ кВт и коэффициентом мощности $\cos\varphi_2=0,53$ (активно-индуктивного характера). Фазы второй нагрузки соединены "треугольником". Для улучшения коэффициента мощности второго потребителя до $\cos\varphi_{2K}=0,98$ в сеть может быть включен компенсатор, обладающий потерями активной мощности $P_K=0,7$ кВт. Источник трехфазного напряжения представляет собой генератор, обмотка которого соединена "звездой" с нулевым проводом с внутренним фазным сопротивлением $R_0=20 \cdot 10^{-3}$ Ом и $X_0=145 \cdot 10^{-2}$ Ом.

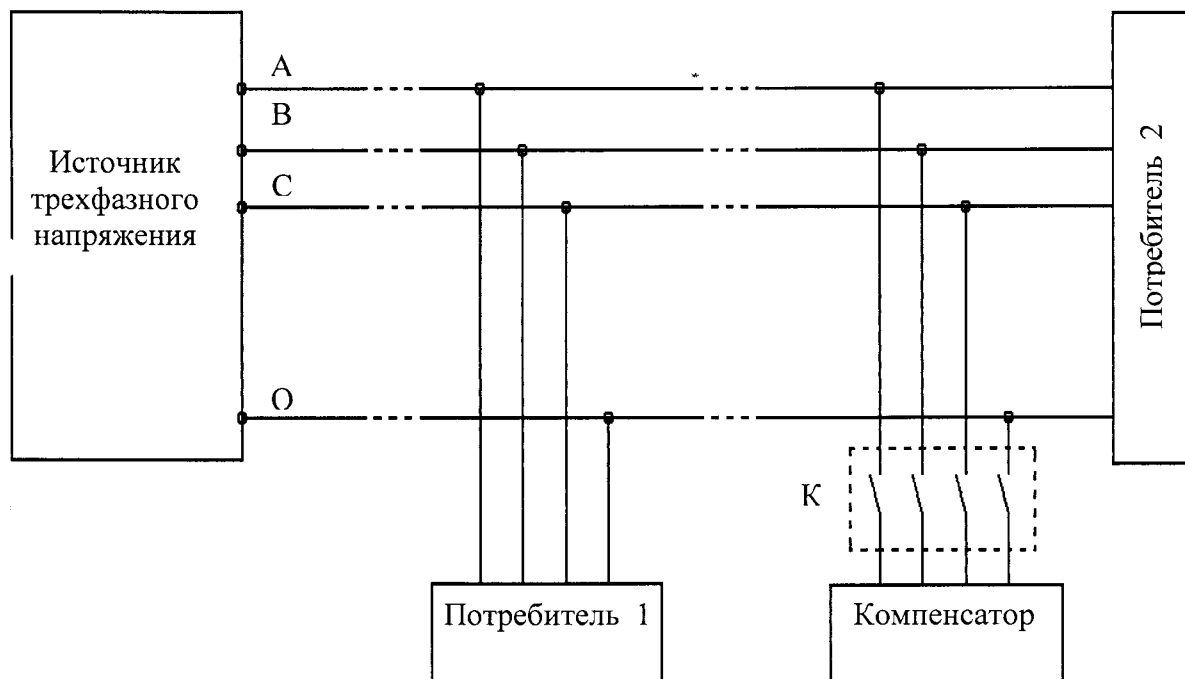


Рис. 1. Структурная схема трехфазной сети.

Для заданного варианта трехфазной сети:

1. Рассчитать токи и напряжения на элементах при отключенном компенсаторе, мощности потребителей и общую мощность всей сети. Вычислить результирующий коэффициент мощности всей сети.
Примечание 1. При расчете трехфазной цепи рекомендуется принять 45° начальную фазу линейного напряжения U_{AB} . Сопротивление линейных проводов принять равными нулю.
2. По полученным результатам расчета построить векторные диаграммы токов и напряжений, потребителей и источника питания.
3. Начертить развернутую схему цепи с указанием эквивалентных сопротивлений и индуктивностей в фазах приемников и источника.
4. Вычислить эквивалентные параметры компенсатора из условия улучшения коэффициента мощности второго приемника до значения $\cos\varphi_{2K}$. В расчетах учесть мощность потерь в компенсаторе P_K .
5. Рассчитать трехфазную сеть при включенном компенсаторе, т.е. определить токи фаз компенсатора и линейные токи источника питающего два потребителя и компенсатор.
6. Построить векторные диаграммы токов и напряжений источника и приемников при подключенном компенсаторе.
7. Вычислить результирующий коэффициент мощности всей трехфазной сети работающей с компенсатором.
8. Вычислить ЭДС фазы B генератора из условия реальной нагрузки при наличии внутреннего сопротивления генератора.
9. В фазе B трехфазной цепи определить закон изменения токов при переходном процессе при подключении приемников и компенсатора к источнику трехфазного напряжения
10. Построить в масштабе временную диаграмму найденной величины.
11. Проанализировать расчеты и сделать выводы о режиме работы цепи без компенсатора, о назначении компенсатора; о распределении нагрузки и о переходных процессах в цепи.

Содержание:

Реферат.....	2
Задание.....	3
Для заданного варианта трехфазной сети.....	4
Содержание.....	5
Расчет.....	6
1. Расчёт токов и напряжений на элементах при отключенном компенсаторе, мощностей потребителей и общей мощности всей сети. Вычисление результирующего коэффициента мощности всей сети.....	6
2. Построение векторной диаграммы токов и напряжений потребителей и источника питания.....	9
3. Развёрнутая схема цепи с указанием эквивалентных сопротивлений и индуктивностей в фазах приёмников и источника.....	12
4. Вычисление эквивалентных параметров компенсатора из условия улучшения коэффициента мощности второго приёмника до значения $\cos\varphi_{2ж}$	15
5. Расчёт трёхфазной цепи при включенном компенсаторе	17
6. Построение векторной диаграммы токов и напряжений источника и приёмников при подключенном компенсаторе	18
7. Вычисление результирующего коэффициента мощности всей трёхфазной цепи, работающей с компенсатором.....	20
8. Вычисление ЭДС фазы B генератора из условия реальной нагрузки при наличии внутреннего сопротивления генератора.....	20
9. Определение в фазе B закона изменения тока при переходном процессе при подключении нагрузки.....	21
10. Построение в масштабе временной диаграммы найденной величины	26
11. Анализ расчётов и выводов о режиме работы цепи без компенсатора, о назначении компенсатора; о распределении нагрузки и о переходных процессах в цепи	28
Литература.....	29

1. Расчет токов и напряжений на элементах при отключенном компенсаторе, мощностей потребителей и общей мощности всей сети. Вычисление результирующего коэффициента мощности всей сети. Примечание: при расчете трехфазной цепи рекомендуется принять равной 45° начальную фазу линейного напряжения U_{AB} . Сопротивления линейных проводов принять равными нулю.

Расчет первого приемника. Нагрузка первого приемника соединена «звездой», и имеет активный характер, $\varphi = 0$, $\cos\varphi = 1$. Для вычисления фазных токов первого приемника необходимо использовать мощности соответствующих фаз.

Определение значений фазных напряжений:

$$U_\phi = \frac{U_\lambda}{\sqrt{3}} = \frac{220}{\sqrt{3}} = 127 \text{ В.}$$

Определение комплексов фазных напряжений первого приемника:

$$\underline{U}_{1A} = 127 \cdot e^{j0^\circ} = 127 \text{ В;}$$

$$\underline{U}_{1B} = 127 \cdot e^{-j120^\circ} = -63,5 - j110 \text{ В;}$$

$$\underline{U}_{1C} = 127 \cdot e^{j120^\circ} = -63,5 + j110 \text{ В.}$$

Определение значений комплексов фазных токов первого приемника:

$$\underline{I}_{1A}^* = \frac{\underline{S}_A}{\underline{U}_{1A}} = \frac{6000 \cdot e^{j0}}{127 \cdot e^{j0}} = 47,2 \text{ А;}$$

$$\underline{I}_{1B}^* = \frac{\underline{S}_B}{\underline{U}_{1B}} = \frac{8000 \cdot e^{j0}}{127 \cdot e^{-j120^\circ}} = 63 \cdot e^{j120^\circ} \text{ А;}$$

$$\underline{I}_{1C}^* = \frac{\underline{S}_C}{\underline{U}_{1C}} = \frac{5000 \cdot e^{j0}}{127 \cdot e^{j120^\circ}} = 39,4 \cdot e^{-j120^\circ} \text{ А;}$$

$$\underline{I}_{1A} = 47,2 \text{ А;}$$

$$\underline{I}_{1B} = 63 \cdot e^{-j120^\circ} = -31,5 - j55 \text{ А;}$$

$$\underline{I}_{1C} = 39,4 \cdot e^{j120^\circ} = -19,7 + j34 \text{ А.}$$

Определение тока нулевого провода:

$$\underline{I}_{nN} = \underline{I}_{1A} + \underline{I}_{1B} + \underline{I}_{1C} = 4,2 - 31,5 - j55 - 19,7 + j34 = -4 - j21 = 21,4 \cdot e^{-j100^\circ} \text{ A}.$$

Расчет второго потребителя. Второй потребитель представляет собой симметричную нагрузку «треугольником». Нам задана суммарная активная мощность $P_2 = 39 \text{ кВт}$ и $\cos \varphi_2 = 0,53$.

$$\cos \varphi_2 = 0,53 \Rightarrow \varphi_2 = 58^\circ;$$

$$\sin \varphi_2 = 0,85;$$

$$S_2 = \frac{P_2}{\cos \varphi_2} = \frac{39000}{0,53} = 73585 \text{ ВА}; Q_2 = S_2 \cdot \sin \varphi_2 = 73585 \cdot 0,85 = 62547 \text{ ВАр},$$

$$S_{2A} = S_{2B} = S_{2C} = \frac{1}{3} S_2 = \frac{73585}{3} = 24528 \text{ ВА}.$$

Линейные токи второго потребителя:

$$\underline{I}_{2A} = \frac{S_{2A}}{\underline{U}_{1A}} = \frac{24528 \cdot e^{j50^\circ}}{127 \cdot e^{j0^\circ}} = 193 \cdot e^{j58^\circ} \text{ A}; \quad \underline{I}_{2ab} = 193 \cdot e^{-j58^\circ} = 102 - j164 \text{ A};$$

$$\underline{I}_{2B} = \frac{S_{2B}}{\underline{U}_{1B}} = \frac{24528 \cdot e^{j50^\circ}}{127 \cdot e^{-j120^\circ}} = 193 \cdot e^{j178^\circ} \text{ A}; \quad \underline{I}_{2bc} = 193 \cdot e^{-j178^\circ} = -192 - j7 \text{ A};$$

$$\underline{I}_{2C} = \frac{S_{2C}}{\underline{U}_{1C}} = \frac{24528 \cdot e^{j50^\circ}}{127 \cdot e^{j120^\circ}} = 193 \cdot e^{-j62^\circ} \text{ A}; \quad \underline{I}_{2ca} = 193 \cdot e^{j62^\circ} = 91 + j170 \text{ A}.$$

Токи фаз источника:

$$\underline{I}_A = \underline{I}_{2A} + \underline{I}_{1A} = 102 - j164 + 47,2 = 149,2 - j164 = 222 \cdot e^{-j48^\circ} \text{ A};$$

$$\underline{I}_B = \underline{I}_{2B} + \underline{I}_{1B} = -192 - j7 - 31,5 - j55 = -223,5 - j62 = 232 \cdot e^{-j165^\circ} \text{ A};$$

$$\underline{I}_C = \underline{I}_{2C} + \underline{I}_{1C} = 91 + j170 - 19,7 + j34 = 71,3 + j204 = 216 \cdot e^{j71^\circ} \text{ A}.$$

Расчет результирующего коэффициента мощности всей сети.

$$\cos \varphi_C = \frac{\sum P_C}{\sqrt{(\sum P_C)^2 + (\sum Q_C)^2}}$$

$$\sum P_C = P_A + P_B + P_C + P_2 = 6000 + 8000 + 5000 + 39000 = 58000 \text{ Вт};$$

$$\sum Q_C = Q_2 = 62547 \text{ Вар};$$

$$\cos \varphi_C = \frac{58000}{\sqrt{58000^2 + 62547^2}} = 0,68;$$

$$\varphi_C = 47^\circ;$$

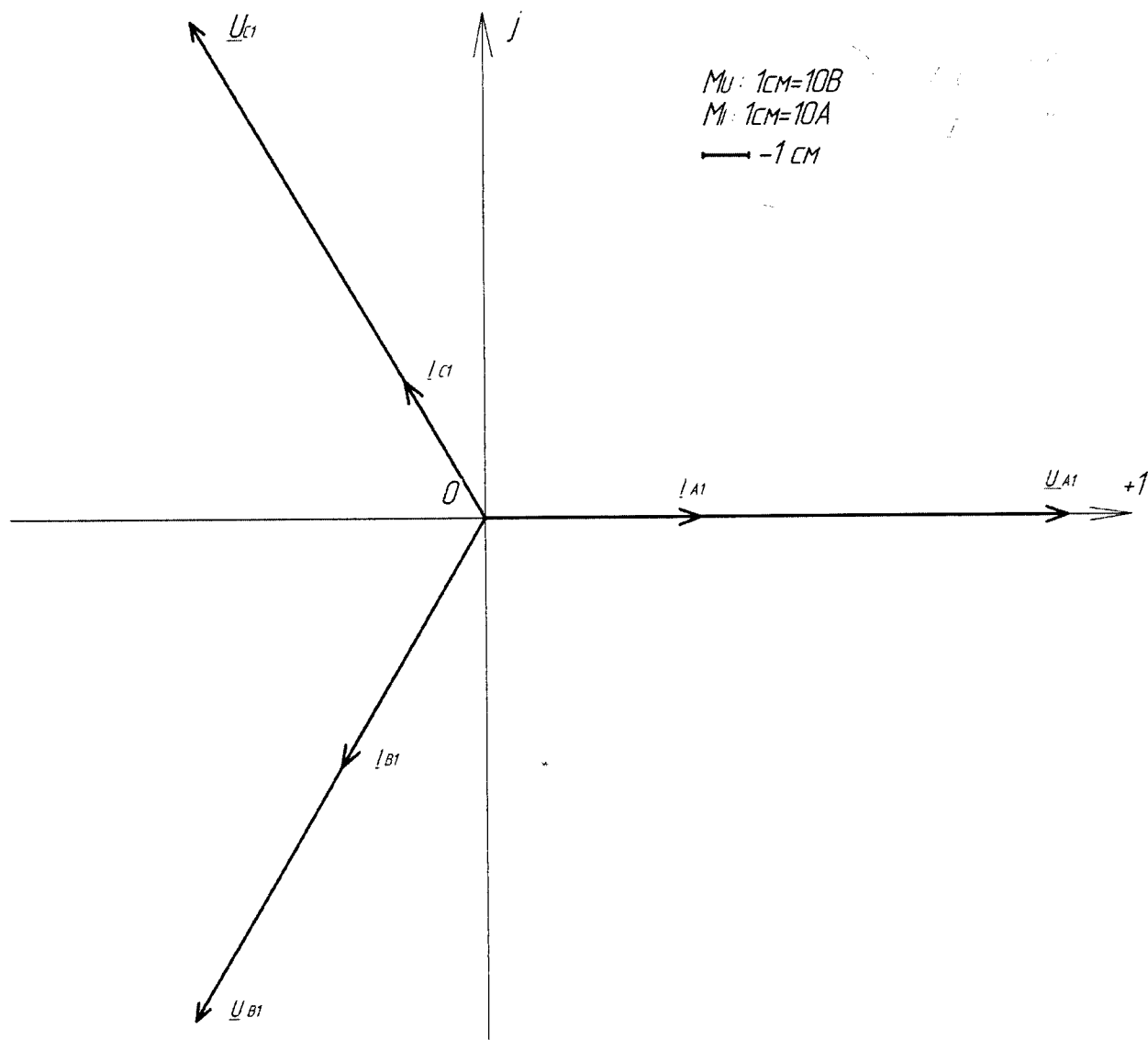
$$S_C = \sqrt{(\sum P_C)^2 + (\sum Q_C)^2} = 85300 \text{ ВА};$$

$$\underline{S}_C = \sum P_C + j \sum Q_C = 58000 + j62547 \text{ ВА}.$$

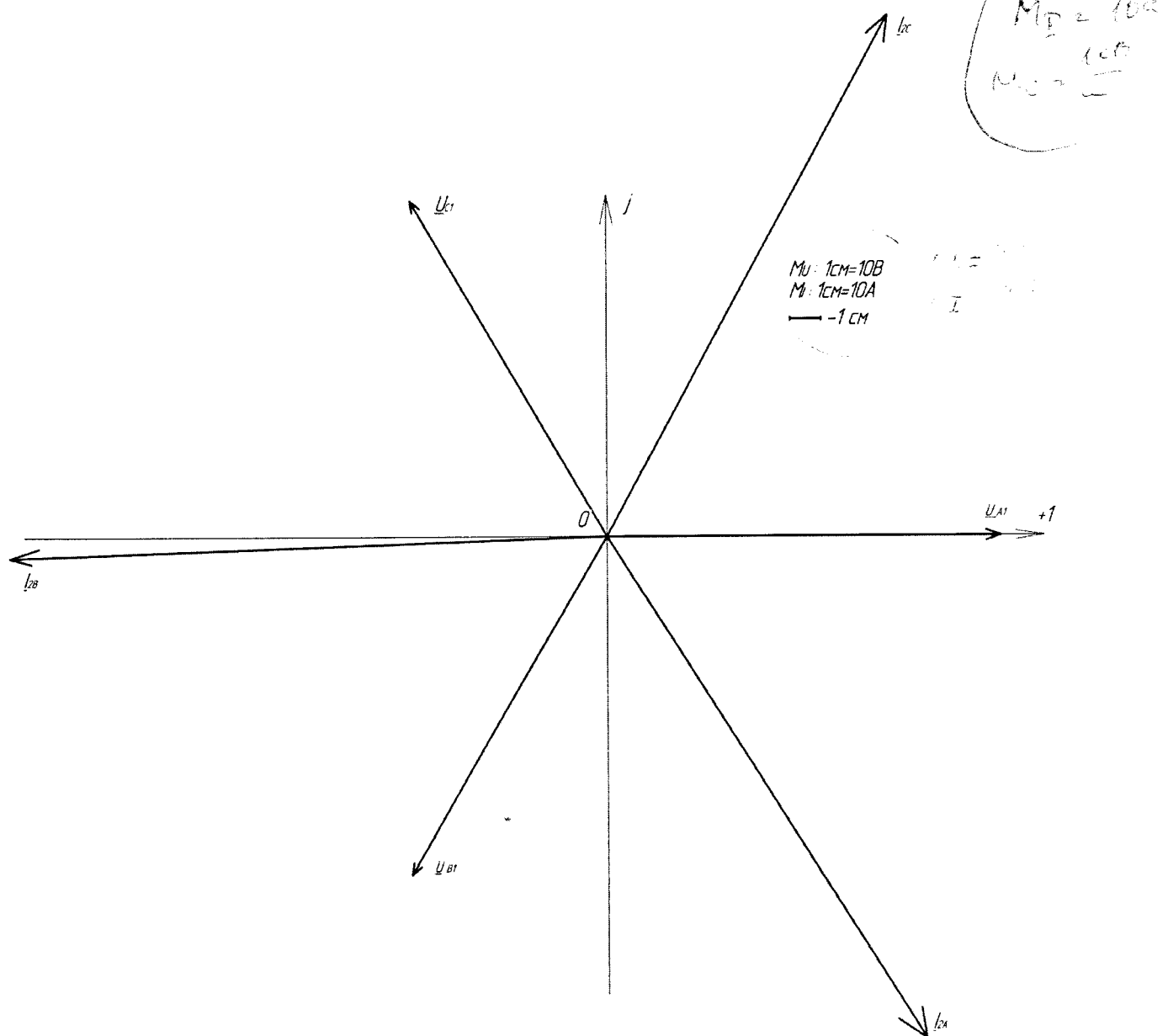
*

2. По полученным результатам расчета построить векторные диаграммы токов и напряжений, потребителей и источника питания.

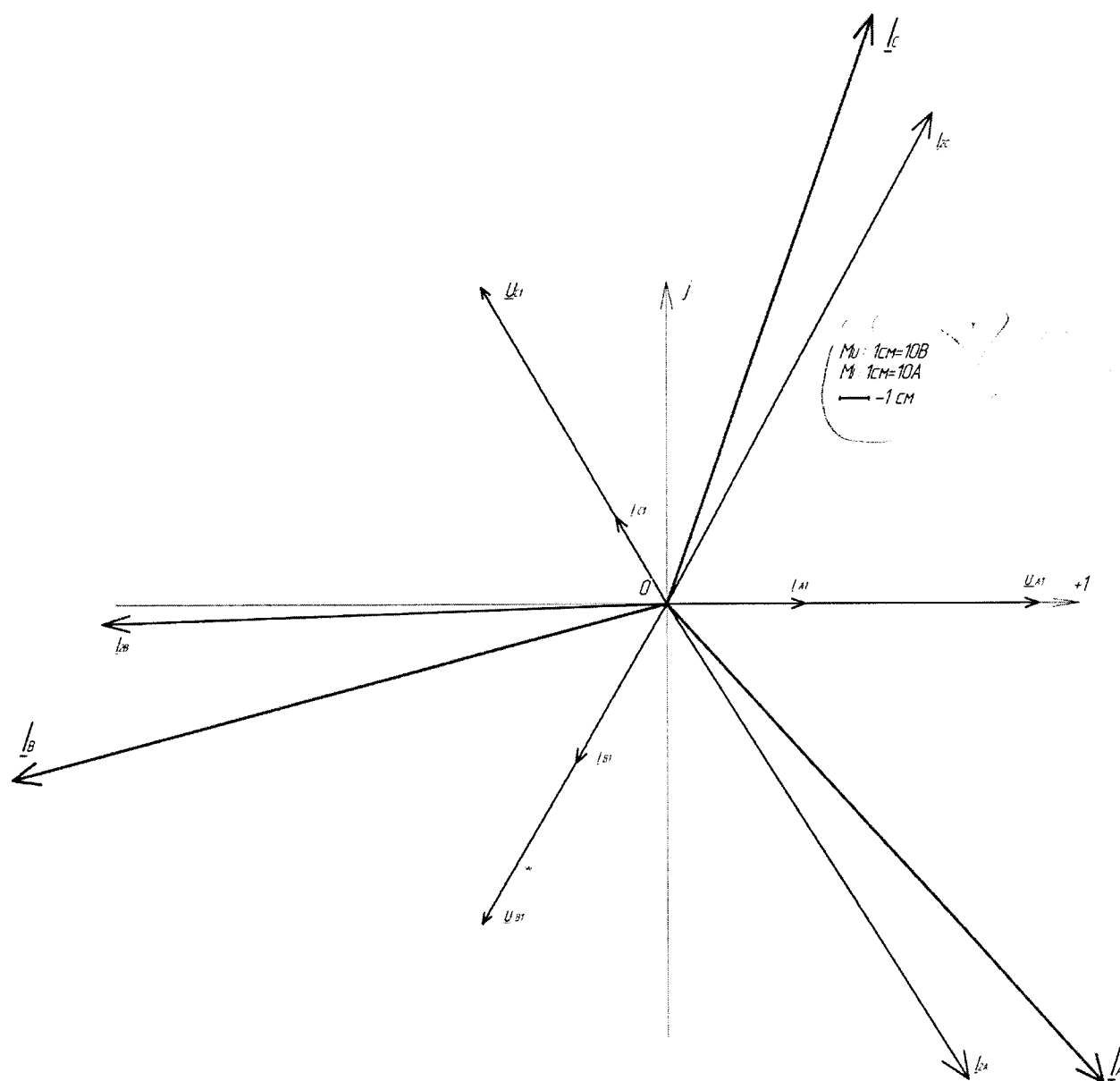
a) Векторная диаграмма для первого приемника.



б) Векторная диаграмма для второго приемника.



в) Общая векторная диаграмма токов и напряжений.



3. Развернутая схема цепи с указанием эквивалентных сопротивлений и индуктивностей в фазах приемника и источника.

Вычисление параметров первого приемника.

$$R_{1A} = \frac{P_A}{I_{1A}^2} = \frac{6000}{47,2^2} = 2,7 \text{ Ом};$$

$$R_{1B} = \frac{P_B}{I_{1B}^2} = \frac{8000}{63^2} = 2 \text{ Ом};$$

$$R_{1C} = \frac{P_C}{I_{1C}^2} = \frac{5000}{39,4^2} = 3,2 \text{ Ом}.$$

Вычисление параметров второго приемника.

$$R_{2A} = \frac{P_2}{3 \cdot I_{2A}^2} = \frac{39000}{3 \cdot 193^2} = 0,35 \text{ Ом};$$

$$R_{2A} = R_{2B} = R_{2C} = 0,35 \text{ Ом};$$

$$X_L = \frac{Q_2}{3 \cdot I_{2A}^2} = \frac{66339}{3 \cdot 193^2} = 0,56 \text{ Ом};$$

$$L_2 = \frac{X_L}{2 \cdot \pi \cdot f} = \frac{0,56}{2 \cdot 3,14 \cdot 50} = 1,8 \text{ мГн}.$$

Вычисление параметров источника.

$$X_0 = 145 \cdot 10^{-2} \text{ Ом};$$

$$R_0 = 20 \cdot 10^{-3} \text{ Ом};$$

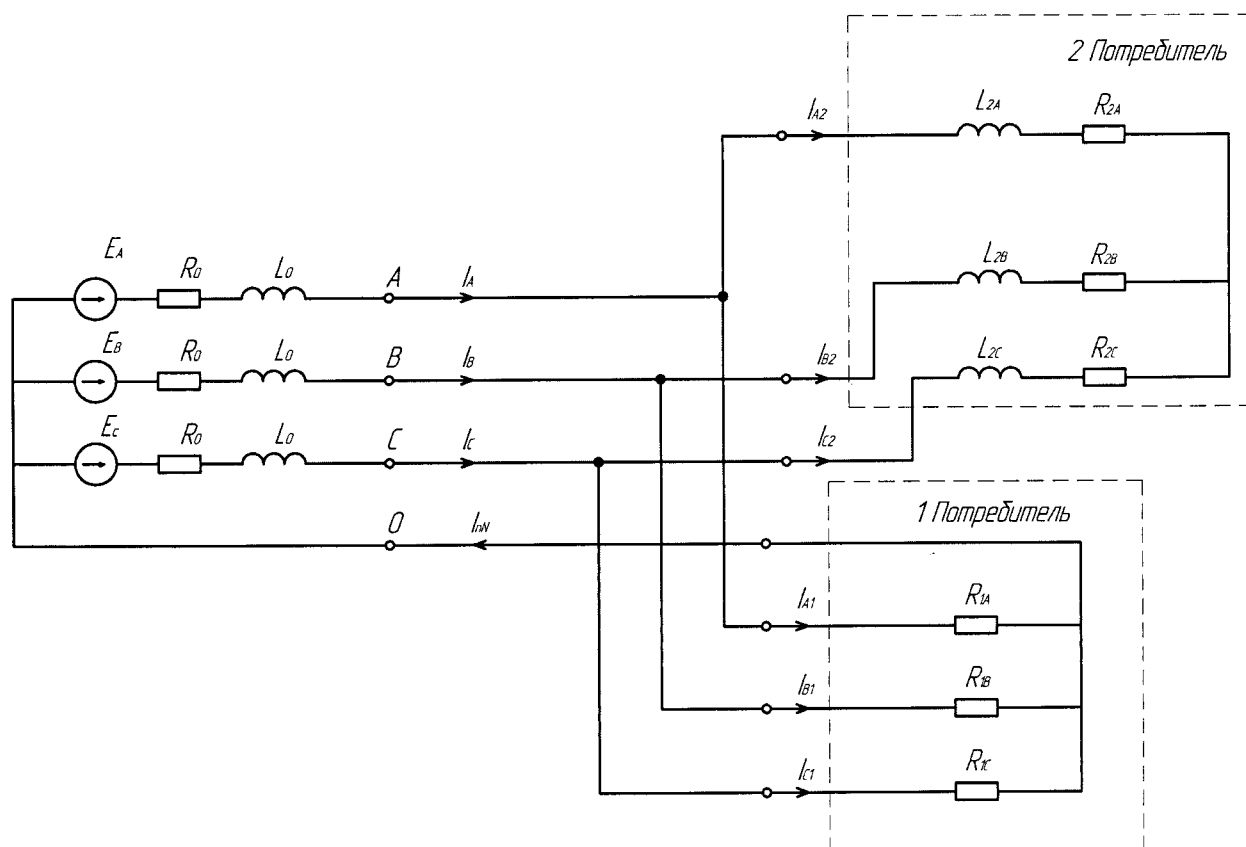
$$\underline{Z}_0 = R_0 + jX_0 = 0,02 + j0,145 = 0,146 \cdot e^{j82^\circ} \text{ Ом}.$$

$$\begin{aligned} \underline{E}_A &= \underline{I}_A \cdot \underline{Z}_0 + \underline{U}_{1A} = 222 \cdot e^{-j48^\circ} \cdot 0,146 \cdot e^{j82^\circ} + 127 = 32,4 \cdot e^{j34^\circ} + 127 = \\ &= 26,8 + j18 + 127 = 153,8 + j18 = 155 \cdot e^{j7^\circ} \text{ В}; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \underline{E}_B &= \underline{I}_B \cdot \underline{Z}_0 + \underline{U}_{1B} = 232 \cdot e^{-j165^\circ} \cdot 0,146 \cdot e^{j82^\circ} + 127 \cdot e^{-j120^\circ} = 34 \cdot e^{-j83^\circ} + 127 \cdot e^{-j120^\circ} = \\ &= 4 - j34 - 63,5 - j110 = -67,5 - j144 = 159 \cdot e^{-j115^\circ} \text{ В}; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \underline{E}_C &= \underline{I}_C \cdot \underline{Z}_0 + \underline{U}_{1C} = 216 \cdot e^{j71^\circ} \cdot 0,146 \cdot e^{j82^\circ} + 127 \cdot e^{j120^\circ} = 32 \cdot e^{j153^\circ} + 127 \cdot e^{j120^\circ} = \\ &= -28,5 + j15 - 63,5 + j110 = -92 + j125 = 155 \cdot e^{j126^\circ} \text{ В}. \end{aligned}$$

Развернутая схема приемников.



4. Вычисление эквивалентных параметров компенсатора из условия улучшения коэффициента мощности второго приемника до заданного значения.

$$P_2 = 39000 \text{ Вт};$$

$$Q_2 = 62547 \text{ ВАр};$$

$$P_K = 700 \text{ Вт};$$

$$\cos \varphi_{2K} = 0,98;$$

$$\sin \varphi_{2K} = 0,2.$$

$$P_{2K} = P_K + P_2 = 700 + 39000 = 39700 \text{ Вт};$$

$$Q_{2K} = Q_K + Q_2;$$

$$Q_{2K} = \frac{P_{2K}}{\cos \varphi_{2K}} \cdot \sin \varphi_{2K} = \frac{39700}{0,98} \cdot 0,2 = 8102 \text{ ВАр};$$

$$Q_K = Q_{2K} - Q_2 = 8102 - 62547 = -54445 \text{ ВАр};$$

$$\underline{S}_K = P_K + jQ_K = 700 - j54445 = 54450e^{-j89^\circ} \text{ ВА};$$

$$\underline{S}_K^* = 54450 \cdot e^{j89^\circ} \text{ ВА}.$$

Полное сопротивление компенсатора:

$$\underline{Z}_{KA} = \underline{Z}_{KB} = \underline{Z}_{KC} = \frac{3 \cdot \underline{U}_A^2}{\underline{S}_K^*} = \frac{3 \cdot 127^2 \cdot e^{j0^\circ}}{54450 \cdot e^{j89^\circ}} = 0,89 \cdot e^{-j89^\circ} = 0,016 - j0,89 \text{ Ом};$$

$$R_K = 0,016 \text{ Ом};$$

$$X_{CK} = 0,89 \text{ Ом} \Rightarrow C_K = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot X_{CK}} = 3,6 \text{ мФ}.$$

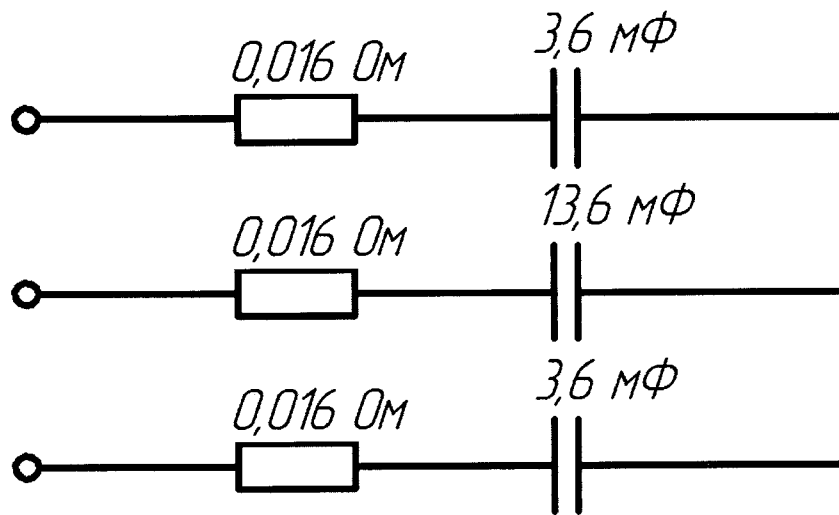


Рис. 1. Эквивалентная схема компенсатора.

5. Расчет трехфазной сети при улучшенном компенсатором коэффициенте мощности второго приемника.

Из практики известно, что компенсаторы включаются параллельно с той нагрузкой, характер которой и требует его подключения. В этой ситуации подключение компенсатора не окажет влияния на токи самого второго потребителя. Тем более такое подключение не скажется на режиме работы первого потребителя.

Токи первого потребителя.

$$\underline{I}_{1A} = 47,2 \text{ A};$$

$$\underline{I}_{1B} = 63 \cdot e^{-j120^\circ} = -31,5 - j55 \text{ A};$$

$$\underline{I}_{1C} = 39,4 \cdot e^{j120^\circ} = -19,7 + j34 \text{ A}.$$

Токи второго потребителя без компенсатора.

$$\underline{I}_{2ab} = 193 \cdot e^{-j58^\circ} = 102 - j164 \text{ A};$$

$$\underline{I}_{2bc} = 193 \cdot e^{-j178^\circ} = -192 - j7 \text{ A};$$

$$\underline{I}_{2ca} = 193 \cdot e^{j62^\circ} = 91 + j170 \text{ A}.$$

Токи в компенсаторе:

$$\underline{I}_{KA}^* = \frac{\underline{S}_K}{3 \cdot \underline{U}_A} = \frac{54450 \cdot e^{-j89^\circ}}{3 \cdot 127 \cdot e^{j0^\circ}} = 143 \cdot e^{-j89^\circ} A;$$

$$\underline{I}_{KA} = 143 \cdot e^{j89^\circ} = 2,5 + j143 A;$$

$$\underline{I}_{KB}^* = \frac{\underline{S}_K}{3 \cdot \underline{U}_B} = \frac{54450 \cdot e^{-j89^\circ}}{3 \cdot 127 \cdot e^{-j120^\circ}} = 143 \cdot e^{j31^\circ} A;$$

$$\underline{I}_{KB} = 143 \cdot e^{-j31^\circ} = 123 - j74 A;$$

$$\underline{I}_{KC}^* = \frac{\underline{S}_K}{3 \cdot \underline{U}_C} = \frac{54450 \cdot e^{-j89^\circ}}{3 \cdot 127 \cdot e^{j120^\circ}} = 143 \cdot e^{-j209^\circ} A;$$

$$\underline{I}_{KC} = 143 \cdot e^{j209^\circ} = -125 - j69 A.$$

Токи 2-го потребителя при включенном компенсаторе:

$$\underline{I}_{2KA} = \underline{I}_{2A} + \underline{I}_{KA} = 102 - j164 + 2,5 + j143 = 104,5 - j21 = 107 \cdot e^{-j11^\circ} A;$$

$$\underline{I}_{2KB} = \underline{I}_{2B} + \underline{I}_{KB} = -192 - j7 + 123 - j74 = -69 - j81 = 106,4 \cdot e^{-j131^\circ} A;$$

$$\underline{I}_{2KC} = \underline{I}_{2C} + \underline{I}_{KC} = 91 + j170 - 125 - j69 = -34 + j101 = 106,6 \cdot e^{j109^\circ} A.$$

Результирующие токи при подключенном компенсаторе:

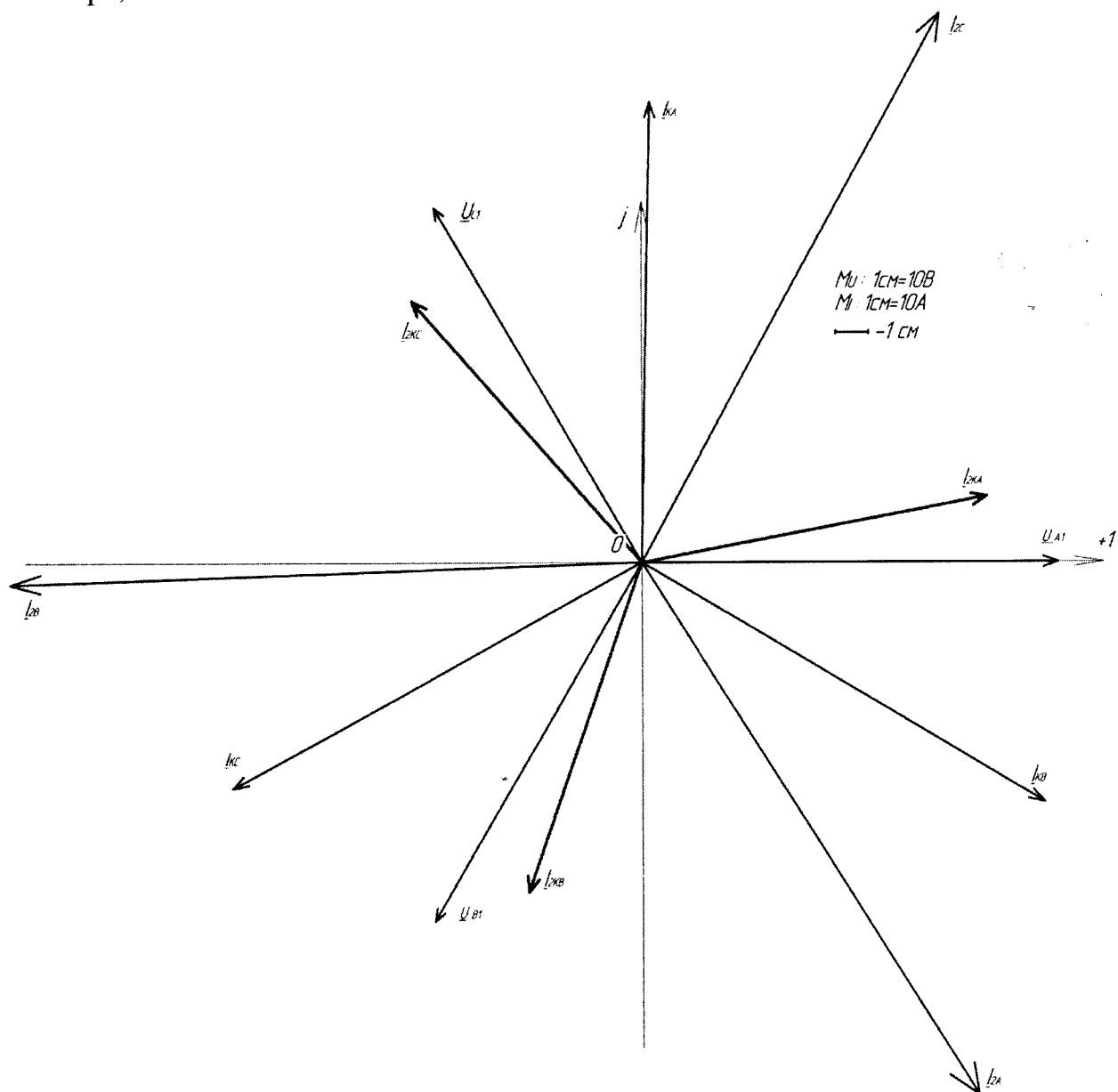
$$\underline{I}'_A = \underline{I}_{2KA} + \underline{I}_{1A} = 104,5 - j21 + 47,2 = 151,7 - j21 = 153 \cdot e^{-j8^\circ} A;$$

$$\underline{I}'_B = \underline{I}_{2KB} + \underline{I}_{1B} = -69 - j81 - 31,5 - j55 = -100,5 - j136 = 168 \cdot e^{-j127^\circ} A;$$

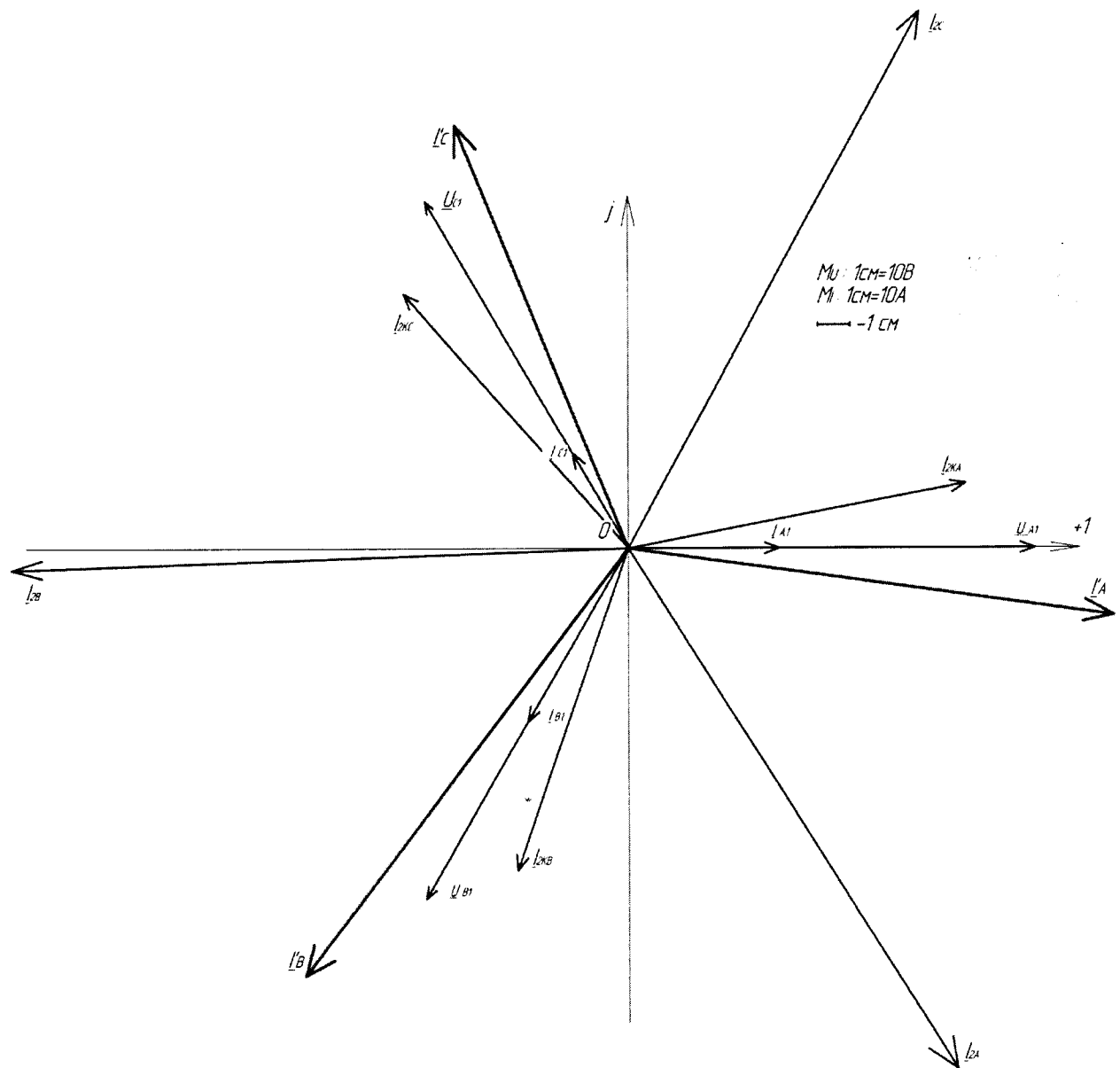
$$\underline{I}'_C = \underline{I}_{2KC} + \underline{I}_{1C} = -34 + j101 - 19,7 + j34 = -53,7 + j135 = 145 \cdot e^{j112^\circ} A.$$

6. Построение векторной диаграммы токов и напряжений источника и приемников при подключенном компенсаторе.

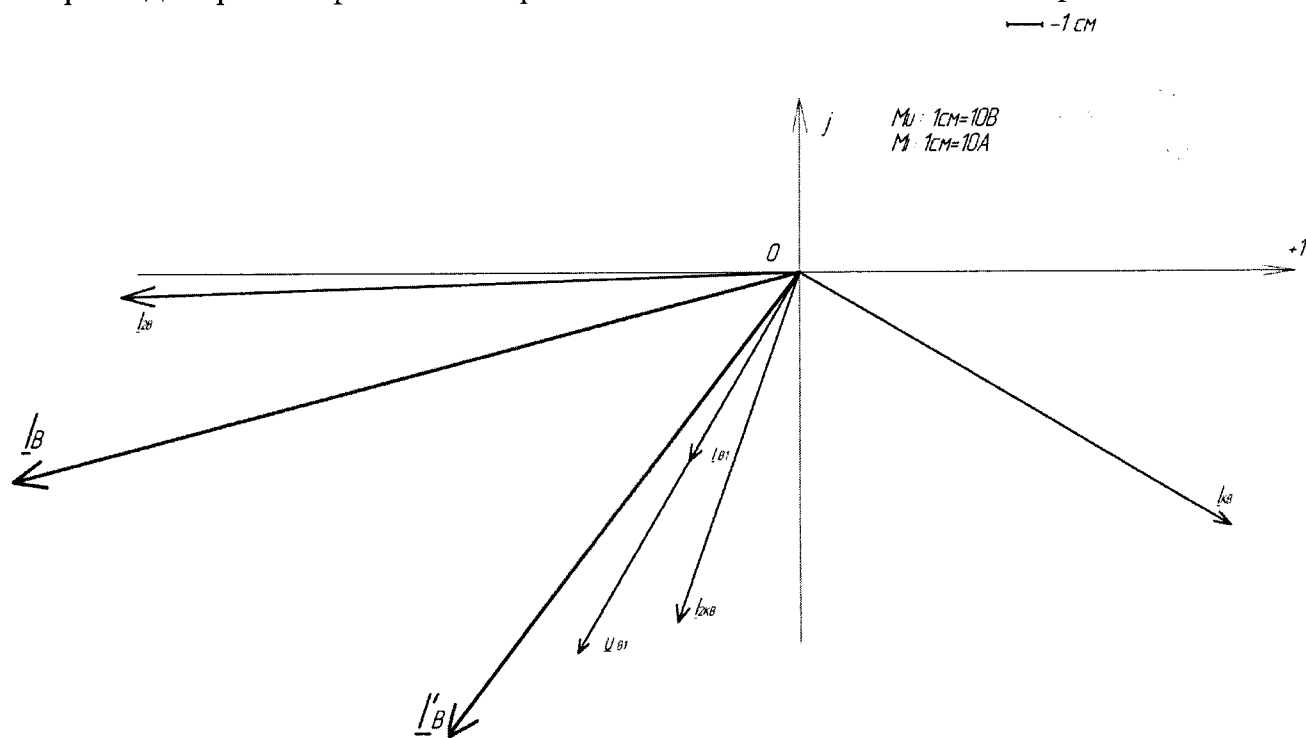
а) векторная диаграмма токов и напряжений второго потребителя и компенсатора;



б) векторная диаграмма напряжений и линейных токов источника, первого потребителя и суммарных линейных токов второго потребителя с подключенным компенсатором;



в) векторная диаграмма фазного напряжения и всех линейных токов фазы B .



7. Вычисление результирующего коэффициента мощности всей трёхфазной цепи, работающей с компенсатором.

$$\underline{S} = \underline{S}_1 + \underline{S}_2 + \underline{S}_K;$$

$$\underline{S}_1 = P_A + P_B + P_C = 6000 + 8000 + 5000 = 19000 \text{ BA};$$

$$\underline{S}_2 = P_2 + jQ_2 = 39000 + j62547 \text{ BA};$$

$$\underline{S}_K = P_K + jQ_K = 700 - j54445 \text{ BA};$$

$$\underline{S} = 19000 + 39000 + j62547 + 700 - j54445 = 58700 + j8102 = 59257 \cdot e^{j8^\circ} \text{ BA};$$

$$\cos \varphi_c' = 0,99 \quad \sin \varphi_c' = 0,139.$$

8. Вычисление ЭДС фаз генератора из условия реальной нагрузки при наличии внутреннего сопротивления генератора.

а) ЭДС генератора с отключенным компенсатором:

$$\underline{E}_A = \underline{I}_A \cdot \underline{Z}_0 + \underline{U}_{1A} = 153,8 + j18 = 155 \cdot e^{j7^\circ} \text{ B};$$

$$\underline{E}_B = \underline{I}_B \cdot \underline{Z}_0 + \underline{U}_{1B} = -67,5 - j144 = 159 \cdot e^{-j115^\circ} \text{ B};$$

$$\underline{E}_C = \underline{I}_C \cdot \underline{Z}_0 + \underline{U}_{1C} = -92 + j125 = 155 \cdot e^{j126^\circ} \text{ B}.$$

б) ЭДС генератора с включенным компенсатором:

$$\begin{aligned} \underline{E}'_A &= \underline{I}'_A \cdot \underline{Z}_0 + \underline{U}_{1A} = 153 \cdot e^{-j8^\circ} \cdot 0,146 \cdot e^{j82^\circ} + 127 = 22,3 \cdot e^{j74^\circ} + 127 = \\ &= 6 + j21 + 127 = 133 + j21 = 135 \cdot e^{j9^\circ} \text{ B}; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \underline{E}'_B &= \underline{I}'_B \cdot \underline{Z}_0 + \underline{U}_{1B} = 168 \cdot e^{-j127^\circ} \cdot 0,146 \cdot e^{j82^\circ} + 127 \cdot e^{-j120^\circ} = 24,5 \cdot e^{-j45^\circ} + 127 \cdot e^{-j120^\circ} = \\ &= 17 - j17 - 63,5 - j110 = -46,5 - j127 = 135 \cdot e^{-j110^\circ} \text{ B}; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \underline{E}'_C &= \underline{I}'_C \cdot \underline{Z}_0 + \underline{U}_{1C} = 145 \cdot e^{j112^\circ} \cdot 0,146 \cdot e^{j82^\circ} + 127 \cdot e^{j120^\circ} = 21,2 \cdot e^{j194^\circ} + 127 \cdot e^{j120^\circ} = \\ &= -20,5 - j5 - 63,5 + j110 = -84 + j105 = 135 \cdot e^{j129^\circ} \text{ B}. \end{aligned}$$

9. В фазе B трехфазной цепи определить закон изменения токов при подключении приемников и компенсатора к источнику трехфазного напряжения;

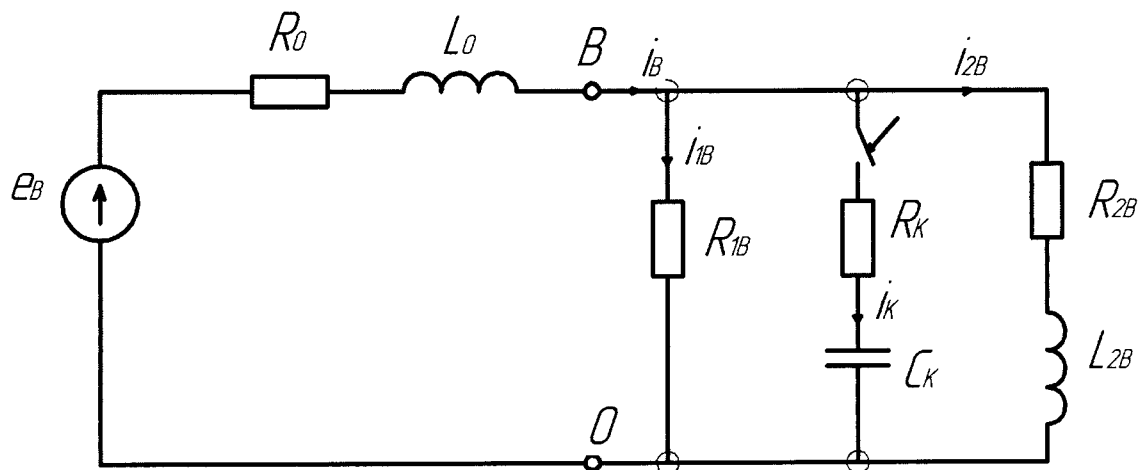


Схема переходного процесса.

$$\underline{E}'_B = 135 \cdot e^{-j110^\circ} B; e_B(t) = 135 \cdot \sqrt{2} \sin(314t - 110^\circ) B;$$

$$R_0 = 0,02 \text{ Ом}; T = \frac{1}{f} = \frac{1}{50} = 0,02 \text{ с};$$

$$L_0 = 0,5 \text{ мГн}; R_{1B} = 2 \text{ Ом}; R_{2B} = 0,35 \text{ Ом};$$

$$L_{2B} = 1,8 \text{ мГн}; R_K = 0,016 \text{ Ом}; C_K = 3,6 \text{ мФ}.$$

1) Определяем независимые начальные условия.

$t(0_-)$:

$$i_{L_0}(0_-) = 232 \cdot \sqrt{2} \sin(314t - 165^\circ) A;$$

$$i_{L_2}(0_-) = 193 \cdot \sqrt{2} \sin(314t - 178^\circ) A;$$

$$u_c(0_-) = 0 B.$$

2) Определяем необходимые начальные условия:

$$i_{L_0}(0_+) = i_{L_0}(0_-) = 328 \cdot \sin(314t - 165^\circ) A;$$

$$i_{L_2}(0_+) = i_{L_2}(0_-) = 273 \cdot \sin(314t - 178^\circ) A;$$

$$u_c(0_+) = u_c(0_-) = 0 B.$$

3) Нахождение корней характеристического уравнения:

$$\underline{Z}_1(p) = \frac{\underline{Z}_{2B} \cdot \underline{Z}_K}{\underline{Z}_{2B} + \underline{Z}_K} = \frac{(0,35 + p \cdot 0,0018) \cdot \left(0,016 + \frac{1}{p \cdot 0,0036}\right)}{0,35 + p \cdot 0,0018 + 0,016 + 278 \frac{1}{p}} = \frac{0,51 + 97 \cdot \frac{1}{p} + 29 \cdot 10^{-6} \cdot p}{0,366 + 0,0018 \cdot p + 278 \cdot \frac{1}{p}} =$$

$$= \frac{29 \cdot 10^{-6} \cdot p^2 + 0,51 \cdot p + 97}{0,0018 p^2 + 0,366 \cdot p + 278} \text{ Ом};$$

$$\underline{Z}_2(p) = \frac{\underline{Z}_1 \cdot \underline{Z}_{1B}}{\underline{Z}_1 + \underline{Z}_{1B}} = \frac{\frac{29 \cdot 10^{-6} \cdot p^2 + 0,51 \cdot p + 97}{0,0018 p^2 + 0,366 \cdot p + 278} \cdot 2}{\frac{29 \cdot 10^{-6} \cdot p^2 + 0,51 \cdot p + 97}{0,0018 p^2 + 0,366 \cdot p + 278} + 2} =$$

$$= \frac{58 \cdot 10^{-6} \cdot p^2 + 1,02 \cdot p + 194}{0,003629 \cdot p^2 + 1,242 \cdot p + 653} \text{ Ом};$$

$$\underline{Z}_{\text{экв}}(p) = \underline{Z}_2(p) + \underline{Z}_0(p) = \frac{58 \cdot 10^{-6} \cdot p^2 + 1,02 \cdot p + 194}{0,003629 \cdot p^2 + 1,242 \cdot p + 653} + 0,02 + 0,0005 p =$$

$$= \frac{58 \cdot 10^{-6} \cdot p^2 + 1,02 \cdot p + 194 + 73 \cdot 10^{-6} \cdot p^2 + 0,025 \cdot p + 13,1 + 1,8 \cdot 10^{-6} \cdot p^3 + 621 \cdot 10^{-6} \cdot p^2 + 0,3 \cdot p}{0,003629 \cdot p^2 + 1,242 \cdot p + 653} = 0;$$

$$1,8 \cdot 10^{-6} \cdot p^3 + 752 \cdot 10^{-6} \cdot p^2 + 1,345 \cdot p + 207,1 = 0;$$

$$p_1 = -163 \text{ c}^{-1};$$

$$p_2 = -127 + j830 \text{ c}^{-1};$$

$$p_3 = -127 - j830 \text{ c}^{-1}.$$

4) $t \rightarrow \infty$:

$$i_{\text{np}}(t) = 168 \cdot \sqrt{2} \cdot \sin(314t - 127) \text{ A};$$

$$e_B(t) = 191 \cdot \sin(314 \cdot t - 110) \text{ B}.$$

5) Записываем выражение свободной составляющей тока:

$$i_{c6}(t) = A_1 \cdot e^{p_1 t} + A_2 \cdot e^{-\alpha} \cdot \sin(\omega_{c6} t + \varphi) \Rightarrow i_{c6}(t) = A_1 \cdot e^{-163 t} + A_2 \cdot e^{-127 t} \cdot \sin(830 t + \varphi).$$

6) Записываем выражение искомой величины:

$$i_B(t) = A_1 \cdot e^{-163t} + A_2 \cdot e^{-127t} \cdot \sin(830t + \varphi) + 238 \cdot \sin(314t - 127^\circ)$$

$$\begin{cases} i_B(t) = A_1 \cdot e^{-163t} + A_2 \cdot e^{-127t} \cdot \sin(830t + \varphi) + 238 \cdot \sin(314t - 127^\circ) \\ \frac{di_B}{dt} = -163A_1 \cdot e^{-163t} - 127A_2 \cdot e^{-127t} \sin(830t + \varphi) + A_2 \cdot e^{-127t} \cdot 830 \cdot \cos(830t + \varphi) + 238 \cdot 314 \cdot \cos(314t - 127^\circ) \\ \frac{d^2i_B}{dt^2} = 163^2 A_1 \cdot e^{-163t} + 127^2 \cdot A_2 \cdot e^{-127t} \sin(830t + \varphi) + 127 \cdot 830 \cdot A_2 \cdot e^{-127t} \cdot \cos(830t + \varphi) - \\ - 127 \cdot 830 \cdot A_2 \cdot e^{-127t} \cdot \cos(830t + \varphi) - 830^2 A_2 \cdot e^{-127t} \cdot \sin(830t + \varphi) - 238 \cdot 314^2 \sin(314t - 127^\circ) \end{cases}$$

7) Определяем необходимые начальные условия:

Составляем систему уравнений для состояния цепи после коммутации:

$$\begin{cases} i_B - i_{1B} - i_K - i_{2B} = 0 \\ i_B \cdot R_0 + U_{L_0} + i_{1B} \cdot R_{1B} = e_B \\ -i_{1B} \cdot R_{1B} + i_K R_K + U_C = 0 \\ -i_K \cdot R_K - U_C + i_{2B} R_{2B} + U_{L_2} = 0 \end{cases}$$

Решаем систему при $t=(0_+)$:

$$\begin{cases} 328 \cdot \sin(-165^\circ) - i_{1B} - i_K - 273 \cdot \sin(-178^\circ) = 0 \\ 0,02 \cdot 328 \cdot \sin(-165^\circ) + 2 \cdot i_{1B} + U_{L_0} = 191 \cdot \sin(-110^\circ) \\ -2 \cdot i_{1B} + 0,016 \cdot i_K = 0 \\ -0,016 \cdot i_K + 0,35 \cdot 273 \cdot \sin(-178^\circ) + U_{L_2} = 0 \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} -i_{1B} - i_K = 75 \\ 2 \cdot i_{1B} + U_{L_0} = -178 \\ -2 \cdot i_{1B} + 0,016 \cdot i_K = 0 \\ -0,016 \cdot i_K + U_{L_2} = 3 \end{cases}$$

Составляем три матрицы, одну из которых из коэффициентов при неизвестных, другая из свободных членов и находим неизвестные при помощи MathCad:

$$A := \begin{bmatrix} -1 & -1 & 0 & 0 \\ 2 & 0 & 1 & 0 \\ -2 & 0,016 & 0 & 0 \\ 0 & -0,016 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad B := \begin{bmatrix} 75 \\ -178 \\ 0 \\ 3 \end{bmatrix}$$

$$X := A^{-1} \cdot B = \begin{bmatrix} -0,595 \\ -74,405 \\ -176,81 \\ 1,81 \end{bmatrix}$$

$$i_{1B} = -0,6 \text{ A};$$

$$i_K = -74,4 \text{ A};$$

$$u_{L0} = -176,8 \text{ B} \Rightarrow U_{L0}(t) = -176,8 \cdot \sqrt{2} \cdot \sin(314 \cdot t - 165 + 90) \text{ B};$$

$$u_{L2} = 1,8 \text{ B};$$

$$\frac{u_{L0}}{L_0} = \frac{-250 \cdot \sin(314 \cdot t - 75)}{0,0005} = -500000 \cdot \sin(314 \cdot t - 75);$$

$$\left(\frac{u_{L0}}{L_0} \right)' = (-500000 \cdot \sin(314 \cdot t - 75))' = -500000 \cdot 314 \cdot \cos(314 \cdot t - 75).$$

$$\begin{cases} i_B(0+) = A_1 + A_2 \cdot \sin(\varphi) + 238 \cdot \sin(-127^\circ) = 328 \cdot \sin(-165^\circ) \\ \frac{di_B(0+)}{dt} = -163A_1 - 127 \cdot A_2 \cdot \sin(\varphi) + A_2 \cdot 830 \cdot \cos(\varphi) + 74732 \cdot \cos(-127^\circ) = \frac{U_{L0}(0+)}{L_0} \\ \frac{d^2i_B(0+)}{dt^2} = 26569A_1 + 16129 \cdot A_2 \cdot \sin(\varphi) - 688900 \cdot A_2 \cdot \sin(\varphi) - 2346548 \cdot \sin(-127^\circ) = \left(\frac{U_{L0}(0+)}{L_0} \right)' \end{cases}$$

$$\begin{cases} A_1 + A_2 \cdot \sin(\varphi) + 238 \cdot \sin(-127^\circ) = 328 \cdot \sin(-165^\circ) \\ -163A_1 - 127 \cdot A_2 \cdot \sin(\varphi) + A_2 \cdot 830 \cdot \cos(\varphi) + 74732 \cdot \cos(-127^\circ) = -500000 \cdot \sin(-75^\circ) \\ 26569A_1 - 672771 \cdot A_2 \cdot \sin(\varphi) - 2346548 \cdot \sin(-127^\circ) = -157 \cdot 10^6 \cdot \cos(-75^\circ) \end{cases}$$

$$\begin{cases} A_1 + A_2 \cdot \sin(\varphi) = 105 \\ -163 \cdot A_1 - 127 \cdot A_2 \cdot \sin(\varphi) + 830 \cdot A_2 \cdot \cos(\varphi) = 527938 \\ 26569 \cdot A_1 - 672771 \cdot A_2 \cdot \sin(\varphi) = -59375250 \end{cases}$$

$$\begin{cases} A_2 \cdot \sin(\varphi) = 105 - A_1 \\ -163A_1 - 127A_2 \cdot \sin(\varphi) + 830 \cdot A_2 \cdot \cos(\varphi) = 527938 \\ 26569 \cdot A_1 - 70640955 + 672771 \cdot A_1 = -59375250 \\ 699340 \cdot A_1 = 11265705 \\ A_1 = 16 \end{cases}$$

$$\begin{cases} A_1 = 16 \\ -163A_1 - 127A_2 \cdot \sin(\varphi) + 830 \cdot A_2 \cdot \cos(\varphi) = 527938 \\ A_2 \cdot \sin(\varphi) = 89 \end{cases}$$

$$\begin{cases} A_1 = 16 \\ A_2 = \frac{89}{\sin(\varphi)} \\ -163 \cdot 16 - 127 \cdot \frac{89}{\sin(\varphi)} \cdot \sin(\varphi) + 830 \cdot \frac{89}{\sin(\varphi)} \cdot \cos(\varphi) = 527938 \\ -2608 - 11303 + 73870 \cdot \operatorname{ctg}(\varphi) = 527938 \\ \operatorname{ctg}(\varphi) = 7,3 \Rightarrow \operatorname{tg}(\varphi) = 0,14 \Rightarrow \varphi = 8^\circ \end{cases}$$

$$\begin{cases} A_1 = 16 \\ \varphi = 8^\circ \\ A_2 = 640 \end{cases}$$

*

8) В результате получим:

$$i_B(t) = 16 \cdot e^{-163t} + 640 \cdot e^{-127t} \cdot \sin(830t + 8^\circ) + 238 \cdot \sin(314t - 127^\circ), \quad A.$$

10. Построение в масштабе временной диаграммы найденной величины.

$$t := 0, 0.0001 \dots 0.1$$

$$icb1(t) := -16 \cdot e^{-163 t} A$$

$$icb2(t) := -640 e^{-127 t} \cdot \sin\left(830 t + \left(\frac{8}{180} \pi\right)\right) A$$

$$inp(t) := 238 \cdot \sin\left(314 t - \left(\frac{127}{180} \pi\right)\right) A$$

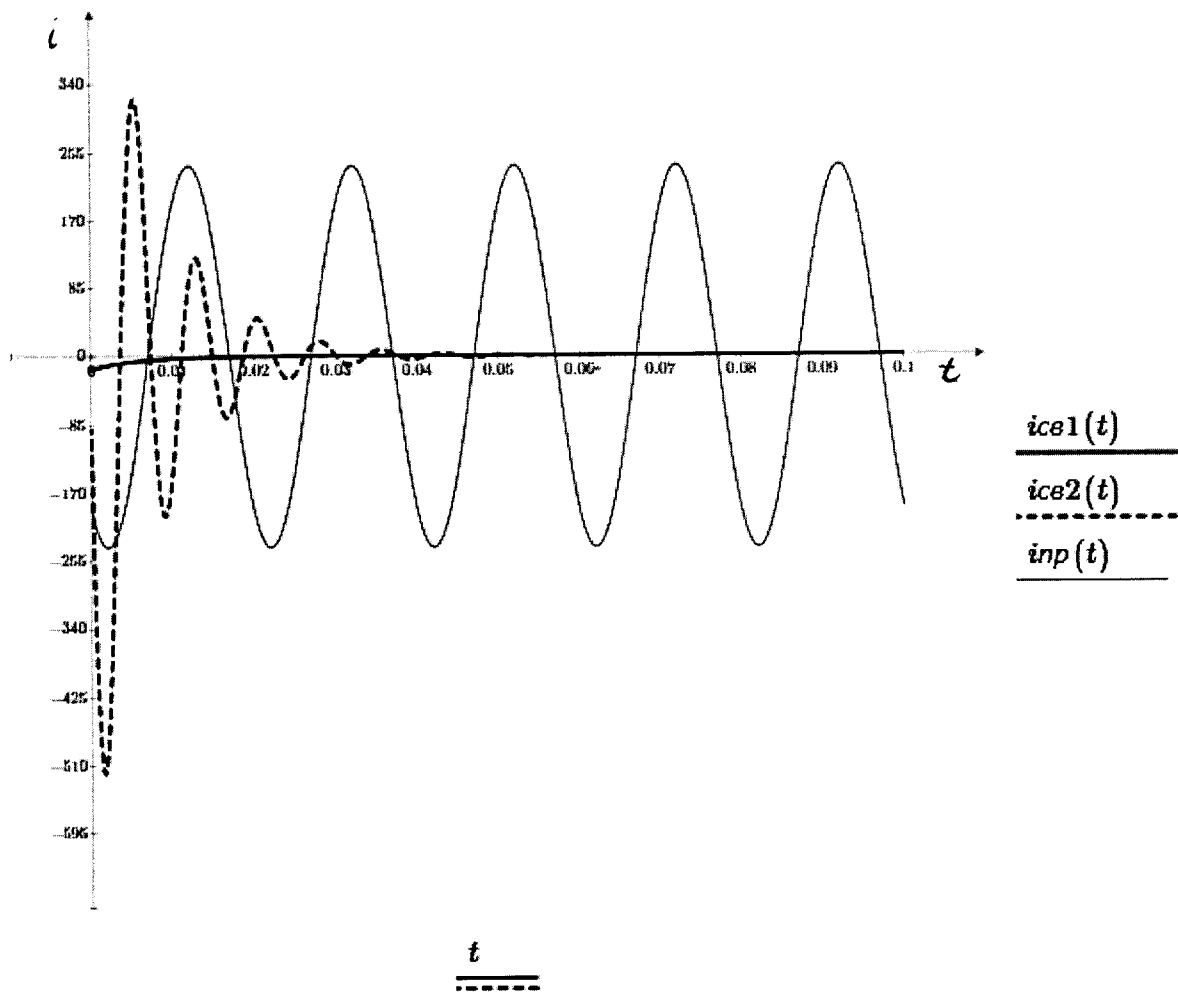


Рисунок 5 – График свободных и принужденной составляющих.

$t := 0, 0.0001 \dots 0.1$

$i(t) := icb1(t) + icb2(t) + inp(t) \text{ A}$

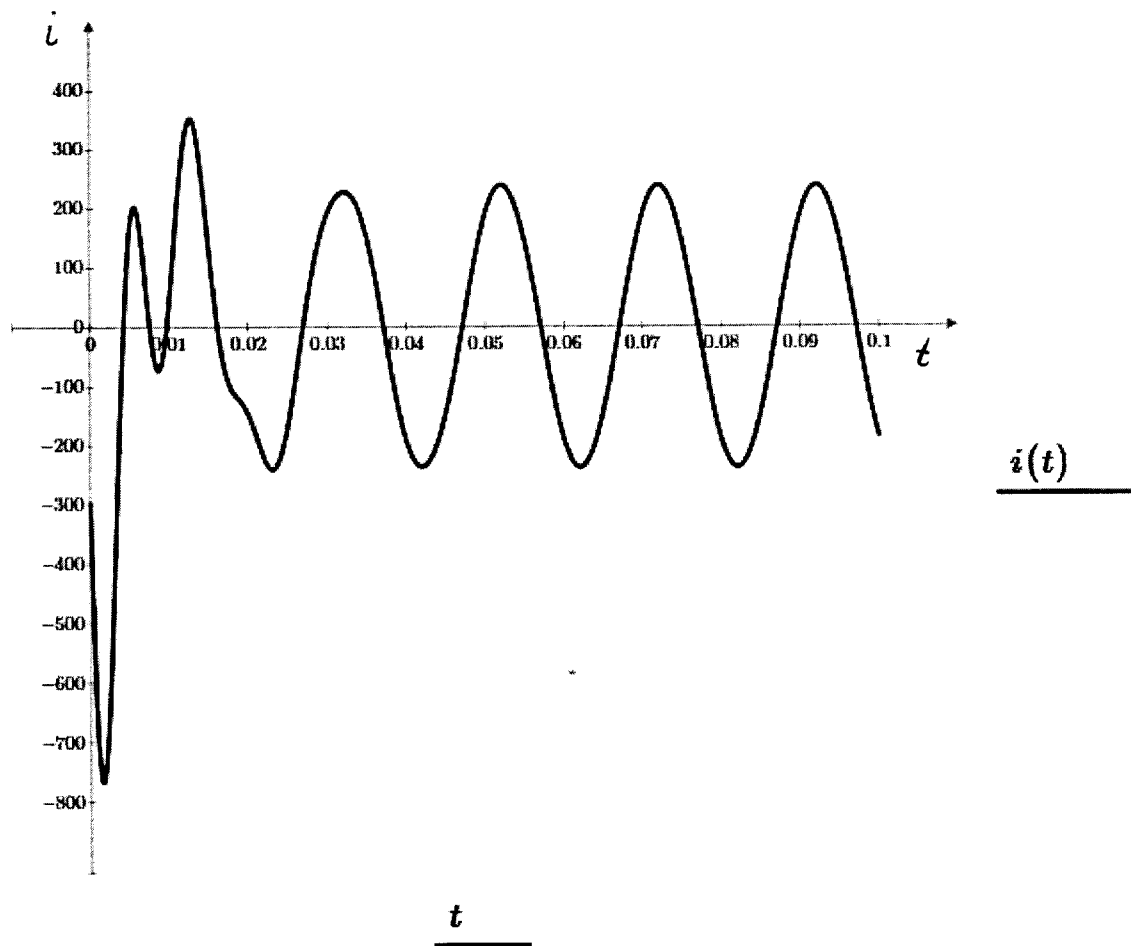


Рисунок 6 – График переходного процесса.

11. Анализ расчётов и выводов о режиме работы цепи без компенсатора, о назначении компенсатора; о распределении нагрузки и о переходных процессах в цепи.

Как правило, нагрузка в сетях имеет активно-индуктивный характер и для уменьшения индуктивной составляющей тока применяют компенсатор, имеющий активно-емкостную нагрузку.

При работе цепи без компенсатора значение $\cos \varphi_c = 0,53$, а при подключении компенсатора оно увеличилось до $\cos \varphi_c' = 0,99$; реактивная мощность Q уменьшилось от значения 62547 до 8102 ВАр а всё это значит что повысилась эффективность работы питающего трансформатора.

При рассмотрении графика переходного процесса можно увидеть, что в первый момент после коммутации значение тока больше значения принужденной составляющей тока. Переходной процесс затихает за 0,08 с.

*

Литература:

1. Бессонов Л.А. Теоретические основы электротехники. - М.: Высш. школа, 1978-528 с.
2. Атабеков Г.И. Теоретические основы электротехники. - М.: Энергия, 1975.
3. Методические указания по выполнению курсовой работы.