

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №1

ИССЛЕДОВАНИЕ НЕРАЗВЕТЛЕННОЙ ЦЕПИ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

Цель работы: исследовать резонанс напряжений: снять резонансные кривые при переменной индуктивности, определить на опыте соотношения между сопротивлениями отдельных участков и падениями напряжения на них между активными и реактивными мощностями.

1. Резонансом напряжений называют такой режим работы неразветвленной электрической цепи, содержащей участки с индуктивностью и емкостью, при котором разность фаз напряжения на зажимах цепи и тока, на входе цепи, равна нулю. При этом сопротивления на реактивных участках равны:

$$2\pi fL = \frac{1}{2\pi fC}$$

Можно записать формулу частоты сети при резонансе:

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} = f_n$$

Резонанс можно получить изменением частоты, индуктивности или емкости цепи. В лабораторной работе предстоит изменять индуктивность передвижением катушки относительно сердечника. Чем дальше от сердечника находится катушка, тем меньше индуктивность и индуктивное сопротивление.

2. В случае резонанса напряжений реактивное сопротивление:

$X = X_L - X_C = 0$, следовательно, полное сопротивление равно активному $Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2} = R$.

При резонансе напряжения сила тока в цепи максимальна, что позволяет на опыте фиксировать точку резонанса по показаниям амперметра. Падения напряжения на реактивных участках равны между собой:

$U_L = U \cdot \left(\frac{X_L}{R}\right)$, $U_C = U \cdot \left(\frac{X_C}{R}\right)$, т.е. они будут больше напряжения на зажимах цепи, если $X_L = X_C > R$. Векторы напряжений U_L и U_C сдвинуты относительно друг друга на угол 180° , поэтому взаимно компенсируются при сложении: $U = \sqrt{U_R^2 + (U_L - U_C)^2} = U_R$.

Отсюда следует, что напряжение на активном сопротивлении равно напряжению на зажимах цепи.

Реактивная, емкостная и индуктивная мощность также равны между собой: $Q_L = I^2 X_L = I^2 X_C = Q_C$. Полная мощность будет носить активный характер: $S = UI + \sqrt{P^2 + (Q_L - Q_C)^2} = P$

3. Изменение силы тока, напряжений, мощностей в зависимости от X_L можно изобразить графически в виде резонансных кривых.

Форма резонансных кривых в значительной степени зависит от соотношения активного и волнового сопротивления в цепи. Это соотношение учитывается добротностью контура $Q = \frac{Z_b}{R} = \sqrt{4C/R}$.

Чем больше добротность, тем более острую форму будут иметь, кривые тока, напряжений и мощностей.

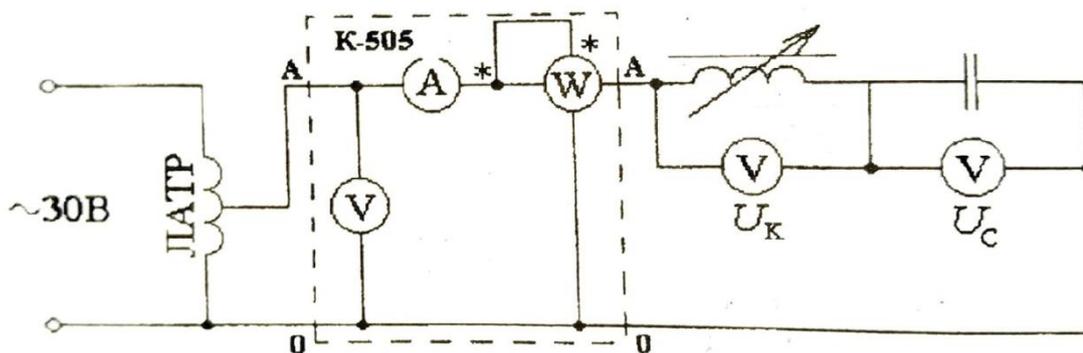


Рис. 1.

ПРОГРАММА РАБОТЫ

1. Собрать цепь и показать ее преподавателю для проверки.
2. Включить цепь, установить необходимые напряжения на ее зажимах (50 В) и емкость батареи конденсаторов. При различных положениях катушки относительно сердечника измерить силу тока и напряжения на участках. В табл. 1 записать показания приборов для семи разных положений катушки, в том числе и для резонанса напряжений.

Таблица 1.

| № | Из опыта | | | | | Из расчета | | | | | |
|---|----------|----------|----------|------|-------|------------|-----------|-----------|-----------|----------|----------|
| | U, В | $U_K, В$ | $U_C, В$ | I, А | P, Вт | $R_K, Ом$ | $Z_K, Ом$ | $X_L, Ом$ | $X_C, Ом$ | $U_L, В$ | $U_R, В$ |
| 1 | | | | | | | | | | | |
| 2 | | | | | | | | | | | |
| 3 | | | | | | | | | | | |
| 4 | | | | | | | | | | | |
| 5 | | | | | | | | | | | |
| 6 | | | | | | | | | | | |
| 7 | | | | | | | | | | | |

Обработка результатов опытов

1. Допустим, что конденсатор в исследуемой цепи не имеет потерь, рассчитать активное сопротивление катушки по показаниям амперметра и вольтметра: $R_K = P_{max} / I_{max}^2$.

2. Рассчитать полное и индуктивное сопротивление катушки: $Z_K = U_K / I$, $X_L = \sqrt{Z_K^2 - R_K^2}$ и емкостное сопротивление конденсатора $X_C = 1 / (2\pi f C)$.

3. Рассчитать активную нагрузку и индуктивную составляющие вектора напряжений на катушке: $U_R = I R_K$, $U_L = I X_L$.

4. По результатам опытов и расчетов построить резонансные кривые: $I = f(X_L)$, $U_L = f(X_L)$, $U_C = f(X_L)$.

5. С учетом масштабов построить векторные диаграммы для трех различных режимов исследуемой цепи: $X_L < X_C$, $X_L = X_C$, $X_L > X_C$.

6. По лабораторной работе сделать заключение:

- а) о возможности получения резонанса напряжений путем изменения индуктивности;
- б) о характере резонансных кривых;
- в) о причине неполного совпадения опытных результатов с теорией.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Какова цель лабораторной работы?
2. Что называют резонансом напряжений?
3. Каким образом можно достичь резонанса напряжений?
4. Каковы характерные особенности сопротивлений цепи при резонансе напряжений?
5. Какую величину имеет коэффициент мощности и угол φ при резонансе?
6. Каким образом можно определить на опыте состояние резонанса напряжений?
7. Каковы особенности падений напряжений на отдельных участках исследуемой цепи при резонансе напряжений?
8. Каковы характерные особенности мощностей при резонансе напряжений?
9. Изобразите векторные диаграммы для различных режимов работы исследуемой электрической цепи при: $X_L < X_C$, $X_L = X_C$, $X_L > X_C$.
10. Что называют добротностью контура?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №2 ИССЛЕДОВАНИЕ РАЗВЕТВЛЕННОЙ ЦЕПИ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

Цель работы: проверить опытным путем первое правило Кирхгофа и закон Ома для параллельной цепи переменного тока, состоящей из активного сопротивления, индуктивности и емкости. Исследование явления резонанса токов.

Краткая теория

В отличие от последовательных цепей переменного тока, где ток, протекающий по всем элементам цепи одинаков, в параллельных цепях одинаковым будет напряжение, приложенное к параллельно включенным ветвям цепи.

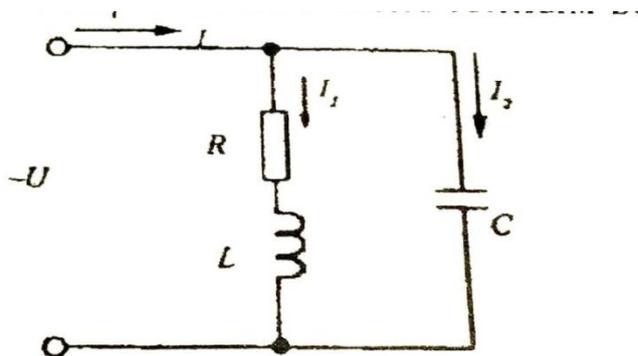


Рис. 1.

Рассмотрим параллельное включение емкости и ветви, состоящей из индуктивности и активного сопротивления (рис. 1). Обе ветви находятся под одним и тем же приложенным напряжением U . Построим векторную диаграмму для этой цепи. За основной вектор выберем вектор приложенного напряжения U (рис. 2). Затем найдем длину вектора тока I_1 из соотношения:

$$I_1 = \frac{U}{z_1} = \frac{U}{\sqrt{R^2 + X_L^2}} \quad (1)$$

И отложим этот вектор по отношению к вектору U под углом φ_1 , который определяется по формуле:

$$\operatorname{tg} \varphi_1 = \frac{x_L}{R_1} \quad (2)$$

Полученный таким образом вектор тока I_1 разложим на две составляющие: активную $I_{IR} = I_1 \cos \varphi_1$ и реактивную $I_{IP} = I_1 \sin \varphi_1$.

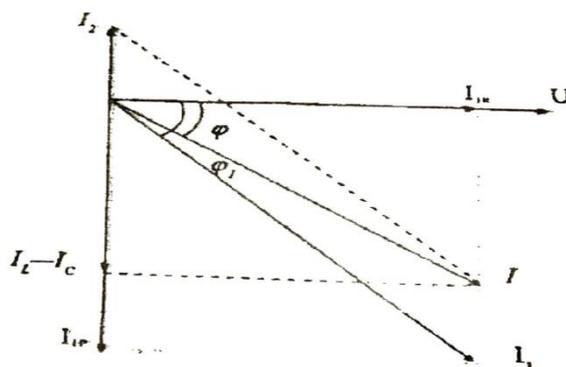


Рис. 2.

Значение вектора тока I_2 находим из соотношения

$$I_2 = \frac{U}{x_c} = \omega C U \quad (4)$$

И откладываем этот вектор на 90° против часовой стрелки относительно вектора приложенного напряжения U .

Общий ток I будет геометрической суммой токов I_1 и I_2 или геометрической суммой реактивного тока $I_{1P} - I_2 = I_L - I_C$ и активного тока I_{1R} . Длина вектора I будет равна $I = \sqrt{(I_L - I_C)^2 + I_{1R}^2}$ (5)

Угол сдвига фаз между общим током I и приложенным напряжением U можно определить из соотношения:

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{I_L - I_C}{I_{1R}} \quad (6)$$

Из векторной диаграммы видно, что длина и положение вектора общего тока зависят от соотношения реактивных токов I_L и I_C . В частности, при $I_L > I_C$ общий ток отстает по фазе с приложенным напряжением. Последний случай ($I_L = I_C$) называется резонансом токов. При резонансе токов общий ток равен активной составляющей тока в цепи, то есть происходящие в цепи процессы таковы, будто в ней содержится только активное сопротивление (в этом случае $\varphi=0$ и $\cos \varphi=1$). При резонансе общий ток в цепи принимает минимальное значение и становится чисто активным, тогда как реактивные токи в ветвях не равны нулю и имеют противоположные фазы.

В настоящей работе резонанс токов достигается путем изменения емкости и/или индуктивности цепи.

Порядок выполнения работы

1. Для проведения измерений соберите электрическую цепь, показанную на рис. 3. Проследите за тем, чтобы в начальном положении выключатели K_1 , K_2 и K_3 были замкнуты.

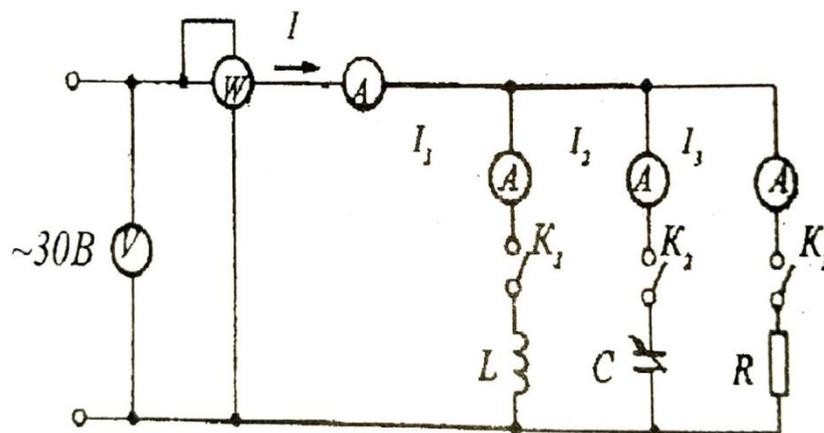


Рис. 3.

2. После проверки преподавателем включите схему в сеть и проверьте работу всех приборов.

3. Проведите измерения для цепи, в которую включено только активное сопротивление. Для этого необходимо замкнуть выключатель K_3 , а выключатели K_1 и K_2 оставить разомкнутыми. Результаты измерений занесите в первую таблицу 1.

4. Проведите измерения для цепи, в которую включены активное сопротивление и индуктивность. Для этого необходимо замкнуть выключатели K_1 и K_3 и разомкнуть выключатель K_2 . Результаты измерений занести в таблицу 1.

5. Проведите измерения для цепи, в которую включены активное сопротивление и емкость. Для этого необходимо замкнуть выключатели K_2 и K_3 и разомкнуть выключателя K_1 . Результаты измерений занести в третью строку таблицы 1.

6. Проведите измерения для цепи, в которую включены активное сопротивление, индуктивность и емкость. Для этого необходимо замкнуть выключатели K_1, K_2 и K_3 . Результаты измерений занесите в четвертую строку таблицы 1.

Таблица 1.

| Исследуемая цепь | Измерено | | | | | |
|------------------|----------|------|----------|----------|----------|---------|
| | U, В | I, А | $I_1, А$ | $I_2, А$ | $I_3, А$ | $P, Вт$ |
| R | | | | | | |
| R L | | | | | | |
| R C | | | | | | |
| R L C | | | | | | |

Таблица 2.

| Исследуемая цепь | Вычислено | | | | | | | | | | |
|------------------|-----------|-----------|-------|---------------|-----------|-----------|-------|-----------|--------|------|---|
| | Z, Ом | $Z_1, Ом$ | R, Ом | $R_{общ}, Ом$ | $R_1, Ом$ | $x_L, Ом$ | L, Гн | $x_C, Ом$ | C, мкФ | cosφ | φ |
| R | | - | | - | - | - | - | - | - | | |
| R L | | | | | | | | - | - | | |
| R C | | - | | - | - | - | - | | | | |
| R L C | | | | | | | | | | | |

7. Провести вычисления всех указанных в таблице 2 величин, используя следующие формулы:

$$Z = \frac{U}{I} - \text{полное сопротивление цепи}$$

$$Z_1 = \frac{U}{I} - \text{полное сопротивление индуктивной ветви (катушки)}$$

$$R = \frac{U}{I_3} - \text{сопротивление ветви с активным сопротивлением}$$

$$P_{\text{ОБЩ}} = R + R_1 = \frac{U^2}{P} - \text{суммарное активное сопротивление}$$

$$R_1 = R_{\text{ОБЩ}} - R - \text{активное сопротивление катушки}$$

$$x_L = \sqrt{Z_1^2 - R_1^2} - \text{индуктивное сопротивление катушки}$$

$$L = \frac{x_L}{\omega} - \text{индуктивность катушки}$$

$$x_C = \frac{U}{I_C} - \text{емкостное сопротивление}$$

$$C = \frac{1}{\omega x_C} - \text{емкость конденсатора}$$

$$\cos \varphi = \frac{P}{IU} - \text{сдвиг по фазе между общим током и напряжением}$$

8. По данным измерений построить в масштабе векторные диаграммы для всех четырех случаев.

9. Исследовать резонанс токов, для чего в параллельной цепи с катушкой индуктивности и конденсатором (выключатель K_3 выключить!) провести измерения для семи значений емкости. Сначала надо найти значение емкости C_0 , при котором наступает резонанс токов. Это значение находится из условия равенства токов I_1 и I_2 в ветвях с емкостью и катушкой индуктивности. При этом общий ток должен иметь минимальное значение. Затем для измерений следует взять три значения емкости меньше C_0 , и три значения больше C_0 , следя за тем, чтобы измерения емкости общий ток заметно менялся. Результаты измерений занести в таблицу 3.

Таблица 3.

| № | Измерено | | | | | Вычислено | | | | | |
|---|----------|------|----------|----------|-------|-----------|----------|----------|-------|---------------|-----------|
| | U, В | I, А | $I_1, А$ | $I_2, А$ | P, Вт | $I_R, А$ | $I_L, А$ | $I_C, А$ | C мкФ | cos φ | φ |
| 1 | | | | | | | | | | | |
| 2 | | | | | | | | | | | |
| 3 | | | | | | | | | | | |
| 4 | | | | | | | | | | | |
| 5 | | | | | | | | | | | |
| 6 | | | | | | | | | | | |
| 7 | | | | | | | | | | | |

10. Провести вычисления всех указанных в таблице 3 величин, используя следующие формулы:

$$I_R = \frac{P}{U} - \text{активная составляющая тока в катушке}$$

$I_L = \sqrt{I_1^2 - I_R^2}$ - реактивная составляющая тока в катушке

I_P - реактивная составляющая общего тока

$C = \frac{I_2}{\omega U}$ - емкость

$\cos\varphi = \frac{P}{IU}$ - сдвиг по фазе между общим током и напряжением

11. По данным таблицы 3 построить на одном графике резонансные кривые I , I_K , I_L и I_C , как функции X_C или X_L .

12. На основе данных таблицы 3 построить векторные диаграммы для случаев $\varphi < 0$, $\varphi = 0$, $\varphi > 0$.

Контрольные вопросы

1. Каково условие резонанса токов и его особенности?

2. Как записать полное сопротивление цепи, состоящей из параллельно включенных активного сопротивления индуктивности и емкости? Как вычисляется сдвиг по фазе между током и напряжением в такой цепи?

3. Как строится векторная диаграмма для параллельной цепи, состоящей из активного сопротивления, индуктивности и конденсатора? Запишите закон Ома для этой цепи.

4. В каком случае в параллельной цепи, состоящей из активного сопротивления, индуктивности и емкости сдвиг по фазе между током и напряжением будет положительным? Отрицательным?

5. Объясните характер изменения резонансных кривых при изменении емкости или индуктивности.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №3

ИССЛЕДОВАНИЕ ЦЕПИ ТРЕХФАЗОВОГО ПЕРЕМЕННОГО ТОКА ПРИ СОЕДИНЕНИИ ЗВЕЗДОЙ И ТРЕУГОЛЬНИКОМ.

Цель работы: исследование режимов цепи трехфазового тока при наличии нагрузки, соединенной звездой и треугольником.

Умение и навыки: формирование умений проведения измерений линейных и фазных токов и напряжений в трехфазных цепях при симметричной и несимметричной нагрузках.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ:

1. Исследование режимов трехфазной четырехпроводной цепи при наличии симметричной нагрузки, соединенной звездой.
2. Исследование режимов трехфазной трехпроводной цепи при наличии симметричной нагрузки, соединенной звездой.
3. Исследование режимов трехфазной четырехпроводной цепи при наличии несимметричной нагрузки, соединенной звездой.
4. Исследование режимов трехфазной трехпроводной цепи при наличии симметричной нагрузки, соединенной звездой.
5. Исследование режимов трехфазной цепи при наличии симметричной нагрузки, соединенной треугольником.
6. Исследование режимов трехфазной цепи при наличии несимметричной нагрузки, соединенной треугольником.

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Исследование режимов трехфазной четырехпроводной цепи при наличии симметричной нагрузки, соединенной звездой.

- Измерить линейные и фазные напряжения сети на зажимах трансформатора. Сделать заключение о симметрии системы линейных и фазных напряжений.

- Рассматривая три магазина активных сопротивлений (ламповые реостаты) в качестве трехфазной нагрузки, соединить их звездой, а затем подключить их к трансформатору четырехпроводной линией (см. рис. 1). Получив со стороны лаборанта подтверждение правильности сборки электрической цепи, подать напряжение к цепи и установить симметричную нагрузку фаз. Убедиться в отсутствии тока в нейтральном проводе.

- Записать показания приборов и построить в масштабе векторную диаграмму напряжений – линейных и фазных, токов – линейных, они же и фазные. Фазные напряжения на нагрузках U_A, U_B, U_C , измеряются путем подключения вольтметра к зажимам $AХ - U_A, ВУ - U_B, CZ - U_C$. Линейные напряжения U_{AB}, U_{BC}, U_{CA} измеряются путем подключения вольтметра к зажимам $AB - U_{AB}, BC - U_{BC}, CA - U_{CA}$ лампового реостата.

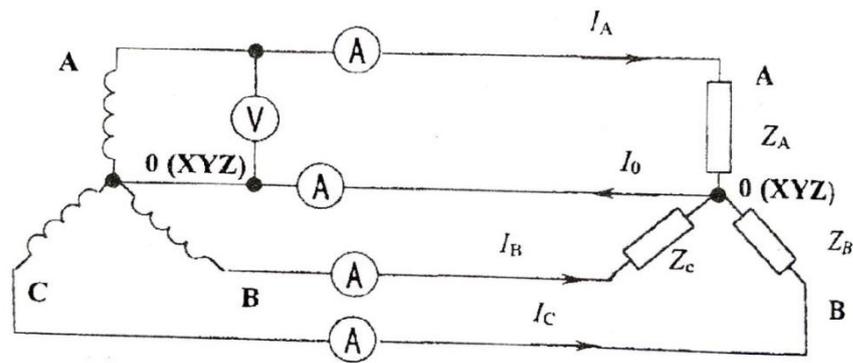


Рис 1. Принципиальная схема включения трехфазной цепи звездой.

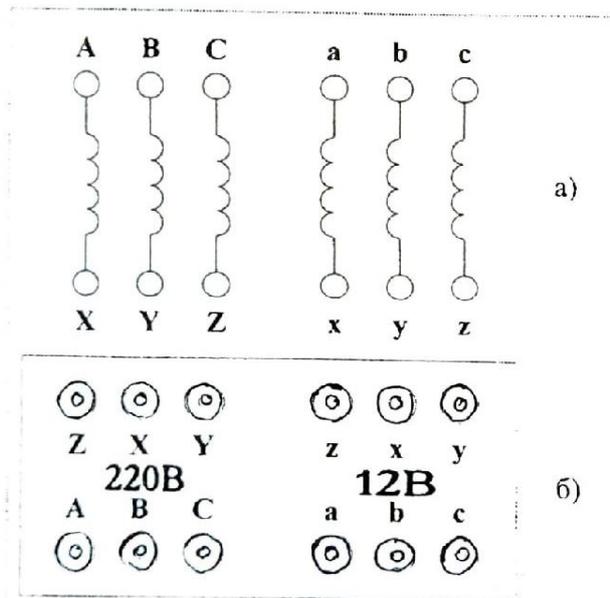


Рис2. а) схема трехфазного трансформатора и б) клеммный щиток: AX, BY, CZ- первичные [220В]; ax, by, cz-вторичные [12В] обмотки

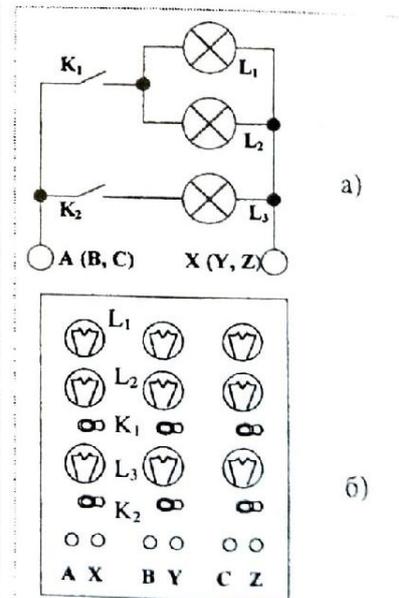


Рис3. а) схема подключения одной фазы нагрузки Z_A (AX) лампового реостата и б) его клеммный щиток.

2. Исследование режимов трехфазной трехпроводной цепи при симметричной нагрузке, соединенной звездой.

- Не изменяя режима симметричной нагрузки, отсоединить нейтральный провод на трансформаторе и вновь подать напряжение. Убедиться в том, что в условиях трехпроводного питания нагрузки, соединенной звездой нагрузочный режим не изменится, что фазные (линейные токи) и фазные напряжения сохранили прежние значения. Записать показания приборов и сделать заключение.

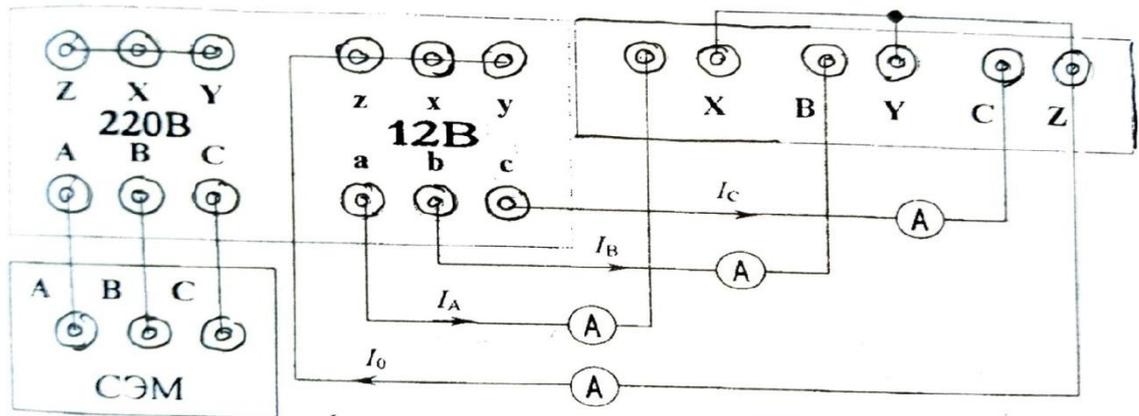


Рис 4. Схема соединений трехфазной цепи звездой (СЭМ- стенд электрических машин).

3. Исследование режимов трехфазной четырехпроводной цепи при наличии несимметричной нагрузки, соединенной звездой.

- Вновь осуществить питание нагрузки от четырехпроводной линии по схеме п.1.
- Сохраняя неизменными сопротивления одной фазы нагрузки, изменить сопротивление двух фаз. Проследить за изменением тока в нейтральном проводе.
- Записать показания приборов, построить векторную диаграмму напряжений токов. Пользуясь диаграммой, рассчитать ток в нейтральном проводе и сопоставить с показаниями амперметра в нем.

4. Исследование режимов трехфазной трехпроводной цепи при наличии несимметричной нагрузки, соединенной звездой.

- Вновь образовать трехфазную нагрузку, соединенную звездой, питаемую четырехпроводной линией, и установить несимметричную нагрузку. Отсоединить нейтральный провод на щитке трансформатора, убедиться в нарушении режима, в частности, в нарушении симметрии фазных напряжений нагрузки. Изменяя сопротивление одной фазы от ее разрыва до короткого замыкания, сделать заключение об изменении режима в отношении величины фазных напряжений.

- Записать показания приборов для трех режимов, соответствующих произвольному значению сопротивления фазы Z_A , короткому замыканию ее ($Z_A = 0$) и разрыву фазы ($Z_A = \infty$).

Построить векторные диаграммы для первых двух режимов.

Результаты измерений п.4. поместить в общую таблицу 1.

Таблица 1

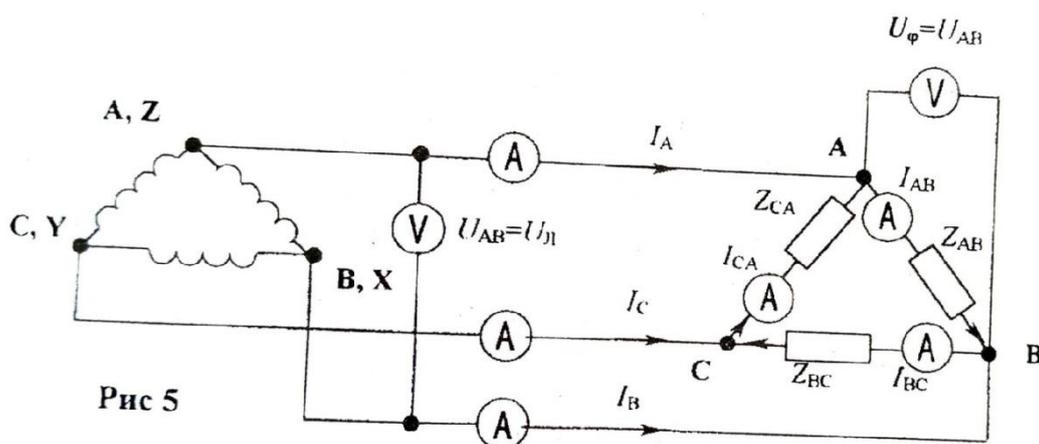
| № набл. и режим | Измерения | | | | | | | | | | Вычисления |
|-------------------|-------------------|----------|----------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------------|
| | U_{AB} | U_{BC} | U_{CA} | U_A | U_B | U_C | I_A | I_B | I_C | I_0 | I_0 |
| 1.Симм. с «0» | | | | | | | | | | | |
| 2.Симм. без «0» | | | | | | | | | | | |
| 3.Несимм. с «0» | | | | | | | | | | | |
| 4.Несимм. без «0» | $Z_A \neq 0$ | | | | | | | | | | |
| | $Z_A = 0$ | | | | | | | | | | |
| | $Z_A \neq \infty$ | | | | | | | | | | |

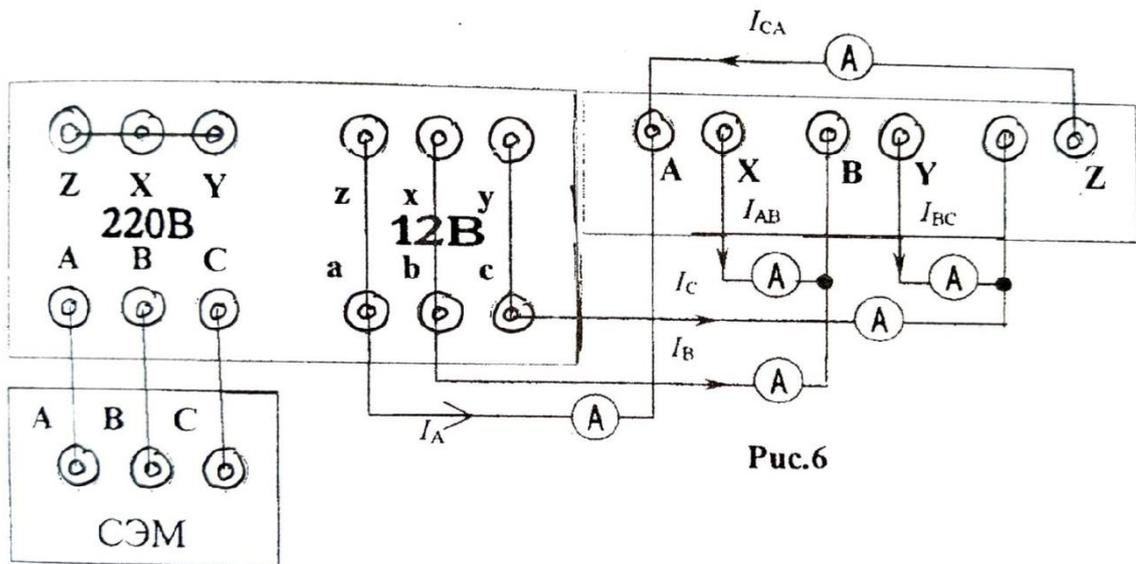
5. Исследования режимов трехфазной цепи трехфазного тока при наличии симметричной нагрузки, соединенной треугольником (рис. 5).

- Измерить линейные напряжения трехфазной сети U_{AB}, U_{BC}, U_{CA} на зажимах. Сделать заключение о симметрии системы линейных напряжений.

- Соединить ламповые реостаты треугольником и подключить к трансформатору трехпроводной линией (рис. 6).

- Получив у лаборанта подтверждение правильности сборки электрической цепи, подать напряжение к цепи и установить симметричную нагрузку. Записать показания приборов. Линейные токи I_A, I_B, I_C измеряются путем подключения амперметров и разрыв перемычек ВХ – фазный ток I_{AB} , СУ – фазный ток I_{BC} , АЗ – фазный ток I_{CA} . За критерий симметрии принять равенство фазных токов. Убедиться в справедливости соотношения: $I_L = \sqrt{3} \cdot I_\phi$; $U_L = U_\phi$. На основании данных опыта построить в масштабе векторные диаграммы токов и напряжений для симметричного режима нагрузки. Начинать следует с построения линейных напряжений. Линейные токи построить, используя связь между линейным и фазным токами, например, $\vec{I}_A = \vec{I}_{AB} - \vec{I}_{CA}$.





6. Исследование режимов трехфазной цепи при наличии несимметричной нагрузки, соединенной треугольником.

- Установить несимметричную нагрузку, изменяя сопротивление фаз. Записать показания приборов.
- Построить в масштабе векторную диаграмму напряжений и токов. Используя векторную диаграмму, рассчитать величины линейных токов и сравнить их с показаниями соответствующих приборов. Результаты измерений записать в таблицу 2.

Таблица 2.

| Режим № наблюд. | Измерения | | | | | | | | | Векторные диаграммы U и I |
|-------------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|--------------|--------------|--------------|---------------------------|
| | U_{AB} (В) | U_{BC} (В) | U_{CA} (В) | I_{AB} (А) | I_{BC} (А) | I_{CA} (А) | I_A (А) | I_B (А) | I_C (А) | |
| 1. Симметричный | | | | | | | | | | Построить |
| 2. Несимметричный | | | | | | | | | | Построить |

Контрольные вопросы:

1. Как осуществить соединение трехфазной нагрузки звездой?
2. Что называется линейным и фазным напряжением трехфазной нагрузки соединенных звездой?
3. Каково соотношение между линейным и фазным напряжениями трехфазной нагрузки, соединенной звездой, при питании ее трехпроводной, четырехпроводной линией для симметричной и несимметричной нагрузки?
4. Как осуществляется соединение трехфазной нагрузки треугольником?
5. Что называется линейным и фазным током трехфазной нагрузки соединенной треугольником?
6. Каково соотношение между линейным и фазным токами для симметричной и несимметричной нагрузки, соединенной треугольником?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №4 ИЗУЧЕНИЕ ОДНОФАЗНОГО ТРАНСФОРМАТОРА

Цель работы: Изучение устройства и принципа действия однофазного трансформатора и испытание его в различных режимах работы.

Умение и навыки: Умение снимать нагрузочные характеристики трансформатора и определять мощность потерь в нем.

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

Упр 1. Ознакомьтесь с устройством однофазных трансформаторов, рассмотрите образцы сердечников, обмоток.

Упр 2. Опыт холостого хода.

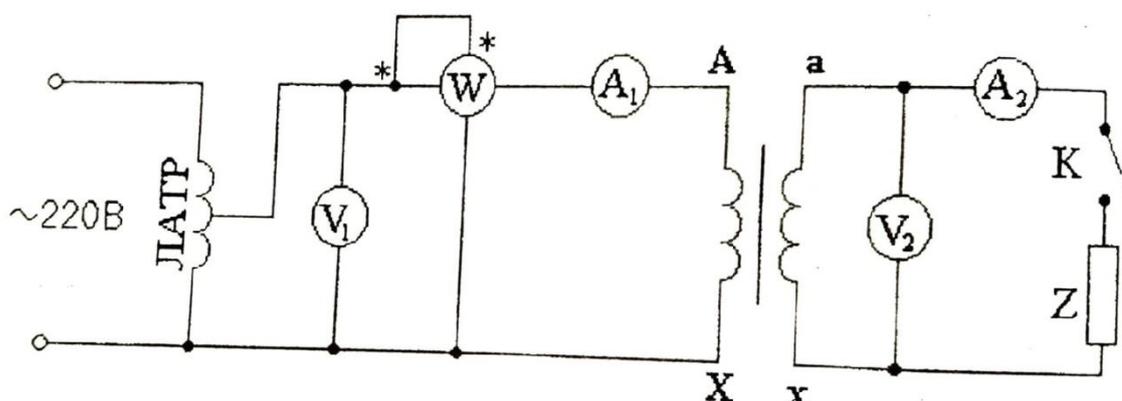


Рис.1.

Соберите схему рис.1.

Соберите схему рис.1. Оставив вторичную цепь разомкнутой, измерьте электродвижущую силу $E_2 = U_{2X}$, наводимую во вторичной обмотке, напряжение, подаваемое на первичную обмотку U_{1X} , ток холостого хода I_X и потребляемую трансформатором мощность P_X . Взяв отношение $K = U_{1X}/U_{2X}$, вычислите коэффициент трансформации. Измеренная мощность практически определяет мощность, идущую на потери в стали (гистерезис и вихревые токи) $P_X = P_{ст}$.

Все данные внести в таблицу 1.

Таблица 1.

| Измерение | | | | Вычисление | |
|-----------|----------|----------------|----------|---------------------|-------------------------------------|
| U_{1X} | U_{2X} | $P_X = P_{ст}$ | I_{1X} | $K = U_{1X}/U_{2X}$ | $\cos \varphi_x = P_x/(I_x U_{1x})$ |
| | | | | | |

Упр.3. Снятие нагрузочных характеристик, определение К.П.Д. трансформатора и $\cos \varphi_1$.

Замкните ключ К и, увеличивая нагрузку во вторичной цепи, измерьте точки I_1 и I_2 , напряжение U_2 и мощность P_1 , при 6 различных значениях тока нагрузки I_2 . Возрастание нагрузки во вторичной цепи достигается увеличением количества подключаемых лампочек (от одной до шести).

Вычислите коэффициент мощности первичной цепи и К.П.Д. трансформатора для каждого тока нагрузки по следующим формулам:

$$\cos \varphi_1 = \frac{P_1}{I_1 U_1}; \eta = \frac{P_2}{P_1} = \frac{I_2 U_2 \cos \varphi_2}{I_2 U_2 \cos \varphi_2 + P_{\text{СТ}} + P_M}; P_1 = P_2 + P_{\text{СТ}} + P_M \quad (1)$$

При активной нагрузке $\cos \varphi_2 = 1$. Рассмотрим каждую из составляющих мощностей.

При постоянстве напряжения питающей сети U_1 и частоты f амплитуда магнитного потока Φ_m практически не зависит от величины нагрузки. Поэтому потери мощности в стали при нагрузке равны мощности потерь при холостом ходе: $P_{\text{СТ}} = P_x = \text{const}$.

Потери в обмотках можно определить по мощности короткого замыкания P_k . При любой нагрузке:

$P_M = I_1^2 \cdot r_k = \left(\frac{I_1}{I_{1H}}\right)^2 \cdot I_{1H}^2 \cdot r_k = \beta^2 P_k$, где $P_k = I_{1H}^2 \cdot r_k$ — мощность потерь в обмотках при коротком замыкании; r_k — активное сопротивление короткого замыкания.

$$\beta = \frac{I_1}{I_{1H}} = \frac{I_2}{I_{2H}} \text{ — коэффициент нагрузки.}$$

Где: I_2 — ток нагрузки, а $I_{2H} = 5\text{A}$ — номинальный ток вторичной обмотки трансформатора. Подставляя эти выражения в формулу (1), получим:

$$\eta = \frac{I_2 U_2}{I_2 U_2 + P_{\text{СТ}} + \beta^2 P_k}$$

Данные вычислений и измерений сведите в таблицу 2:

Таблица 2

| № | I_1 (А) | U_1 (В) | I_2 (А) | U_2 (В) | P_1 (Вт) | $\cos \varphi_1$ | η |
|---|-----------|-----------|-----------|-----------|------------|------------------|--------|
| 1 | | | | | | | |
| 2 | | | | | | | |
| 3 | | | | | | | |
| 4 | | | | | | | |
| 5 | | | | | | | |
| 6 | | | | | | | |

Упр.4. Опыт короткого замыкания. Для определения мощности потерь в обмотках трансформатора проведите опыт короткого замыкания.

Для этого соберите схему по рис.2.

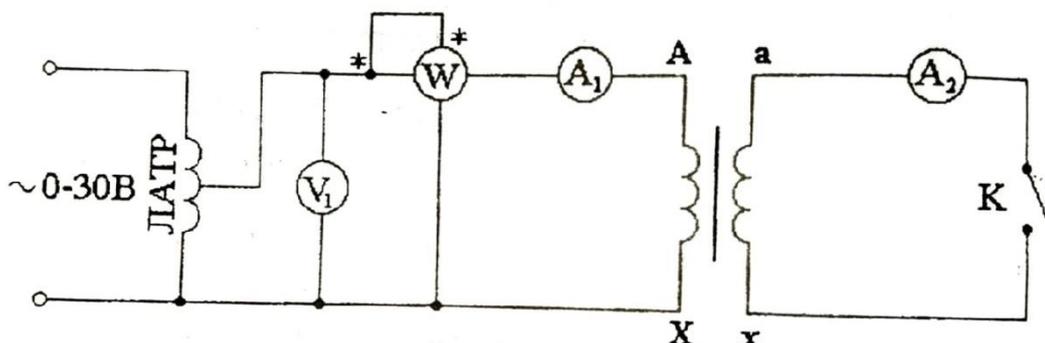


Рис. 2

В схеме короткого замыкания напряжение на первичную обмотку трансформатора подается с автотрансформатора. В цепь вторичной обмотки включается амперметр A_2 , ключ К должен быть разомкнут. Убедитесь, что напряжение, снимаемое с ЛАТРа не превышает десять вольт. Замкните ключ К, и плавно увеличивайте напряжение на первичной обмотке до тех пор, пока во вторичной обмотке не получится ток короткого замыкания I_{2k} , равный номинальному допустимому току во вторичной обмотке, определяемому по паспорту трансформатора (5А).

При токе короткого замыкания ($I_{2k} = 5 \text{ A}$) отметьте мощность P_k и напряжение U_{1k} в первичной цепи. Т.к. это напряжение U_{1k} мало, то потерями в железе $P_{ст}$ в первом приближении пропорциональными второй степени подводимого к первичной обмотке напряжения, можно пренебречь. Тогда вся, подводимая к трансформатору мощность, расходуется на нагревание его обмоток (потери в меди) $P_k = P_M$.

Все данные внести в таблицу 3.

Таблица 3.

| $U_{1k}(\text{В})$ | $I_2 (\text{А})$ | $P_k (\text{Вт})$ | $\frac{U_{1k}}{U_{1H}} \cdot 100\%$ |
|--------------------|------------------|-------------------|-------------------------------------|
| | | | |

Контрольные вопросы:

- 1.Объясните устройство и принцип действия трансформатора.
- 2.Почему в испытательном режиме короткого обмотки трансформатора нагреваются, а сталь (магнитопровод) – холодная?
- 3.Почему в режиме холостого хода нагревается сердечник трансформатора, а обмотка холодная?
- 4.Изменится ли величина магнитного потока в стали трансформатора, при переходе от режима номинальной нагрузки в режим нагрузки трансформатора?
- 5.По данным какого опыта определяют коэффициент трансформации? Потеря в стали?
- 6.По данным какого опыта можно определить величину потерь в обмотках трансформатора?
- 7.Чем отличается испытательный режим короткого замыкания, от аварийного короткого замыкания?
- 8.Почему мощность холостого хода принимают за магнитные потери, а мощность короткого замыкания за электрические потери?

По полученным данным построить графики:

$$I_1 = f(I_2); U_2 = f(I_2); \cos \varphi_1 = f(I_2); \eta = f(I_2).$$

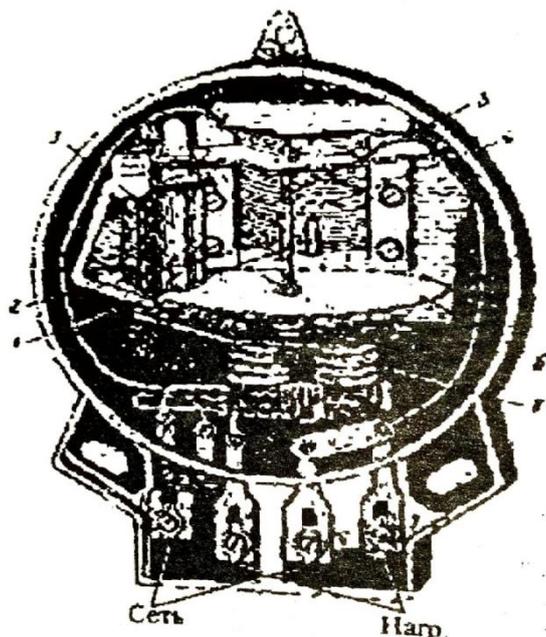
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №5 ИЗУЧЕНИЕ ОДНОФАЗНОГО ЭЛЕКТРОСЧЕТЧИКА

Цель работы: изучение устройства и принципа действия электросчётчика индукционной системы, определение его погрешности и чувствительности, проверка наличия «самохода».

ОСНОВНЫЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

Из индукционных приборов широкое применение в практике получил счетчик электрической энергии переменного тока.

Индукционный счетчик (рис.1) имеет два электромагнита, между полюсами которых размещен алюминиевый диск – 6, насаженный на вертикальную ось. На оси также крепится железная пластинка – 2, служащая для устранения самохода, и червяк – 5 счетного механизма. Электромагнит – 7 имеет обмотку из толстого изолированного провода, которая является токовой и включается в цепь последовательно нагрузке. Электромагнит – 4 имеет обмотку из тонкого изолированного провода, которая является обмоткой напряжения и включается в цепь параллельно нагрузке.



Токовая обмотка расположена на двух полюсах U – образного сердечника и имеет противоположную намотку, т.е. на одном полюсе по часовой стрелке, а на другом против часовой стрелке. Переменный магнитный поток, созданный токовой обмоткой, пронизывает алюминиевый диск и возбуждает в нем индукционные токи, которые, взаимодействуя с магнитным полем обмотки напряжения, приводит алюминиевый диск во вращение. Вращающий момент диска пропорционален мощности, потребляемой приемником: $M_{вр} = K_1 P$.

Для создания противодействующего момента служит постоянный магнит. При движении алюминиевого диска в поле магнита – 3 в диске возбуждаются индукционные токи. Взаимодействие индукционных токов диска с магнитным полем постоянного магнита создает тормозящий момент, который пропорционален скорости вращения диска и величине магнитного поля постоянного магнита: $M_{вр} = K_2 \cdot n \cdot \Phi = K_2 \cdot n$, где n – число оборотов диска в минуту, K_2 - коэффициент пропорциональности, зависящий от величины магнитного поля, т.е. $K_2' = K_2 \cdot \Phi$.

При определенной скорости вращения диска, зависящей от величины нагрузки, противодействующий момент уравнивает вращающий момент диска, т.е. $M_{вр} = M_{пр}$ или $K_1 \cdot P = K_2 \cdot n$, откуда $P = K_1 / K_2 \cdot n$, обозначив K_1 / K_2 через C получим

$$P = C \cdot n \quad (1)$$

Таким образом, скорость вращения диска пропорциональна мощности, потребляемой нагрузкой. Произведение мощности на время дает энергию. Обозначив энергию W , имеем $W = P \cdot t$, подставив значение P из формулы (1), получим $W = C \cdot n \cdot t$; обозначив $n \cdot t$ через N , можем записать

$$W = C \cdot N \quad (2)$$

Где N – число оборотов диска за время t .

Таким образом, число оборотов диска счетчика пропорционально электрической энергии, потребляемой в цепи. Ось диска связана со счетным механизмом, показания которого соответствуют выраженной в (кВт·ч) энергии, прошедшей через счетчик.

Энергия, приходящая на один оборот диска, называется постоянной счетчика и определяется из формулы (3):

$$C = W/N \quad (3)$$

При включении счетчика в сеть зажима I и III (рис.1) подключаются к источнику тока и называются генераторными, а зажимы II и IV- к нагрузке и называются нагрузочными.

Обмотка напряжения счетчика все время подключена к сети. Увеличение напряжения сети может вызвать вращение диска без подключения нагрузки, т.е. самоход счетчика. Он может быть вызван также вибрацией щита, на котором укреплен счетчик. Для устранения самохода нужно пластину-2 несколько отогнуть. При этом она больше намагничивается полюсной пластинкой -1 и сильнее притягивается, чем и тормозится вращение диска.

На лицевой стороне счетчика указывается число оборотов диска, соответствующее прошедшему через счетчик 1кВт·ч электроэнергии. Например, 1кВт·ч -1250 оборотов диска. Следовательно, можно записать $W_H = C_H \cdot N$, где C_H - номинальная постоянная счетчика. В действительности, при тех же оборотах диска может пройти через счетчик другое количество энергии, т.е. $W_D = C_D \cdot N$, где C_D - действительная постоянная счетчика.

Учитывая, что $W_D = I \cdot U \cdot t$, получим:

$$C_D = \frac{I \cdot U \cdot t}{N} \quad (4)$$

Относительная погрешность счетчика:

$$\gamma_{\text{отн}} = \frac{W_H - W_D}{W_H} \times 100\% = \frac{C_H N - C_D N}{C_H N} \times 100\% = \frac{C_H - C_D}{C_H} \times 100\%$$

Индукционные счетчики имеют невысокий класс точности с погрешностями 1,0;2,0;2,5 и низкую чувствительность.

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Определение погрешности счетчика.

Вычислите номинальную постоянную счетчика по надписи на щитке. С помощью лампового реостата R установить нагрузку (ток), равную 20 % от номинальной для данного счетчика. По секундомеру отметить время t , в течение которого диск счетчика совершит 25 полных оборотов.

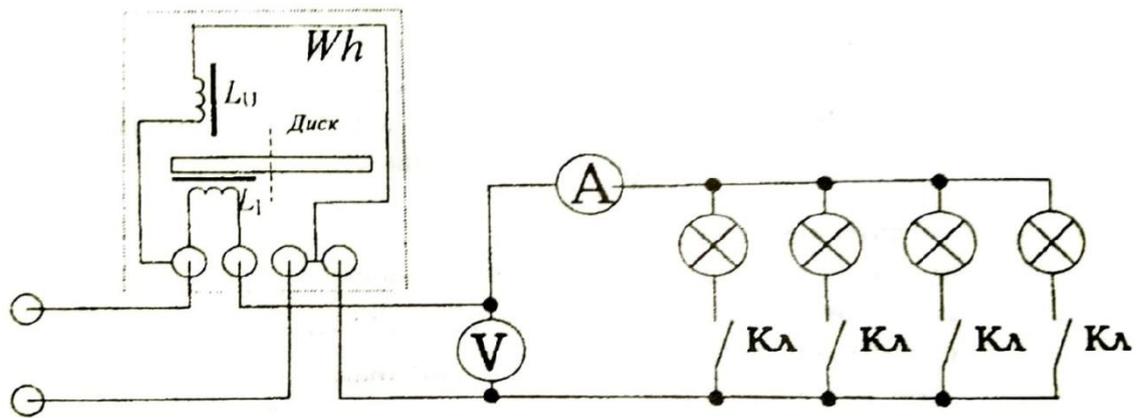


Рис.2. Схема подключения счетчика при измерении погрешности.

Повторить измерения для нагрузки 20%,40%,60% от номинальной. Вычислите действительные постоянные счетчика и определите относительные погрешности.

$$\gamma_{\text{отн}} = \frac{C_{\text{н}} - C_{\text{д}}}{C_{\text{н}}} \times 100\%$$

Заполните таблицу:

| № | Известно $C_{\text{н}}$ (Вт·с/об) | Измерено | | | | Вычислено | |
|---|--------------------------------------|----------|--------|-------|-------|-----------------------|----------------|
| | | t (с) | N (об) | U (В) | I (А) | $\gamma_{\text{отн}}$ | $C_{\text{д}}$ |
| 1 | | | | | | | |
| 2 | | | | | | | |
| 3 | | | | | | | |
| 4 | | | | | | | |

Постройте кривую погрешностей $\gamma_{\text{отн}} = f(I)$.

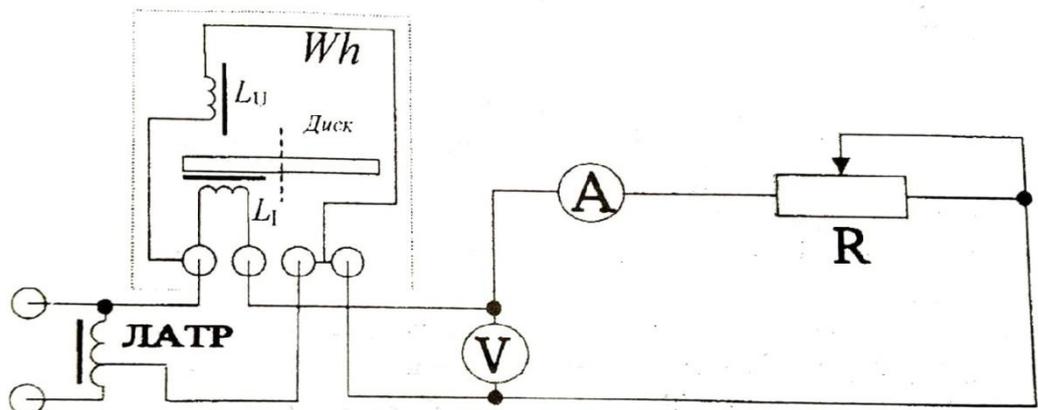


Рис.3. Схема подключения счетчика при измерении чувствительности

2. Определение чувствительности счетчика. Соберите схему (рис.3), реостат малого сопротивления (ламповый) замените реостатом (переменным резистором) 5-6 тыс. Ом, а амперметр замените миллиамперметром переменного тока с пределом измерений 500 мА. Реостат ввести полностью (на MAX). Установите напряжение на зажимах (на входе счетчика) равное

25% от $U_{НОМ}$. Осторожно перемещая движок реостата, заметьте начало вращения диска электросчетчика. Отметьте величину тока I_{MN} . Повторите измерения для напряжений, составляющих 0,5;0,75;0,9;0,1,1 от номинального значения ($U_{НОМ} = 220В$). Минимальный ток, при котором диск начинает вращаться без останова, характеризует чувствительность счетчика, вычисляемую по формуле: $S = \frac{I_{MN}}{I_{НОМ}} \cdot 100\%$. Вычислите чувствительность счетчика. Заполните таблицу.

| № | U (В) | I_{MN} (А) | S% | U% |
|---|-------|--------------|----|----|
| 1 | | | | |
| 2 | | | | |
| 3 | | | | |
| 4 | | | | |
| 5 | | | | |

Постройте кривую чувствительности: $S=f(U, \%)$.

3. Проверка наличия «самохода» счетчика. Отключите потребителя (последовательная цепь будет разомкнута), подайте на входные зажимы счетчика напряжение на 10% выше номинального. При этом диск счетчика должен оставаться неподвижным.

Контрольные вопросы:

1. Каково устройство и принцип действия счетчика индукционной системы?

2. На какой ток реагирует индукционная система?

3. Магнитная система создает вращающееся магнитное поле, увлекающее за собой диск. Как это происходит?

4. Активная энергия, учитываемая счетчиком, пропорциональна числу оборотов N диска. Как называется коэффициент пропорциональности C?

5. На щитке счетчика написано 1 кВт·ч=2500 оборотов диска. Как определить номинальную постоянную счетчика?

6. Как, по показаниям измерительных приборов, определить действительную постоянную счетчика?

7. Самостоятельное вращение диска включенного счетчика при отключенных потребителях называется «самоходом». При наличии «самохода» прибор снимается с эксплуатации. За счет чего возникает явление «самохода»?

8. Как осуществляется в счетчике торможение диска, пропорциональное угловой скорости его вращения?

9. Как изменяется постоянная счетчика, если постоянный магнит M несколько размагнитится?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №6

ИССЛЕДОВАНИЕ ТРЕХФАЗОВОГО АСИХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ С КОРОТКОЗАМКНУТЫМ РОТОРОМ.

Цель работы: изучение конструкции, параметров и режимов работы асинхронного двигателя с коротко замкнутым ротором.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

1. Изучение конструкции и параметров асинхронного двигателя.
2. Экспериментальное исследование рабочих характеристик двигателя.
3. Данная работа выполняется на стенде электрических машин.

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Изучение конструкции и параметров асинхронного короткозамкнутого двигателя.

- Ознакомиться с конструкцией асинхронного двигателя, используя для этого имеющиеся в лаборатории двигателя рабочих установок, части двигателей в разобранном виде, таблицы и др.

- Записать номинальные параметры исследуемого двигателя, приведенные на его щитке. К номинальным параметрам электрические и механические показатели, обусловленные заводом изготовителем. Номинальными параметрами асинхронного двигателя являются: номинальная мощность, номинальное напряжение, номинальная скорость вращения и тд. В тех случаях, когда трехфазный асинхронный двигатель предназначен для работы при различных схемах соединения статорной обмотки: звездой и треугольником, указывается два номинальных напряжения, соответствующие этим соединениям. Номинальное напряжение на фазе двигателя для обеих схем соединения. Номинальное напряжение на фазе двигателя для обеих схем соединения остается постоянным. Определить величину этого напряжения для исследуемого двигателя.

- Установить, по какой схеме соединения – звездой или треугольником необходимо соединить статорную обмотку исследуемого двигателя, сопоставив номинальное напряжение сети трехфазного тока, питающей лаборатории с номинальным напряжением на фазе исследуемого двигателя, найденным в п.1.б.

- Соединить статорную обмотку двигателя по схеме согласно п.1.в. При этом принадлежность концов статорной обмотки устанавливается по маркировке.

2. Экспериментальные исследования рабочих характеристик асинхронного двигателя.

Рабочими/нагрузочными/ характеристиками асинхронных двигателей называют зависимость тока статора, потребляемой мощности, скорости вращения, К.П.Д. от развиваемой мощности на валу.

$$n_2 = f_1(P_2); I_1 = f_2(P_2); S = f_3(P_2); \cos \varphi_1 = f_4(P_2); \eta = f_5(P_2) .$$

После завершения опыта двигатель должен быть отключен от сети. При выполнении вычислений используются известные соотношения:

$$\cos \varphi_1 = \frac{P_1}{\sqrt{3}U_1 I_1} ; \eta = \frac{P_2}{P_1} ; s = \frac{n_1 - n_2}{n_1} \cdot 100\% ; P_2 = \frac{M_2 n_2}{2550} \text{ кВт};$$

$$M_2 = \frac{2550 M_2}{n_2} \text{ Н} \cdot \text{ м}$$

Где: n_1 – синхронная скорость вращения, устанавливаемая косвенно по данным щитка двигателя в обозначении типа двигателя.

Например: Двигатель А052 – 4 означает, в частности, что машина четырехполюсная (число пар полюсов $P=2$) и, следовательно, синхронная скорость вращения при частоте.

$$n_1 = \frac{60 \cdot 50}{P} = \frac{60 \cdot 50}{2} = 1500 \text{ об/мин}$$

Следует иметь ввиду также, что номинальные скорости вращения близки к их синхронным скоростям, а последние образуют при частоте $f=50$ Гц. ряд значений скоростей: 3000, 1500, 1000, 750 об/мин.

Поэтому, например, по номинальной скорости вращения двигателя $n_2 = 1460$ об/мин можно сделать заключение о том, что синхронная скорость равна 1500 об/мин.

По данным измерений и вычислений построить рабочие характеристики двигателя и сделать общее заключение о характеристике изменения величин и свойствах асинхронного двигателя. Обратит особое внимание на зависимость, $M=f(n)$ называемую механической характеристикой.

Контрольные вопросы:

1. Устройство и принцип действия асинхронного двигателя.
2. Как изменится скольжение S , частота f_2 и ЭДС E_2 ротора при переходе от начального момента пуска к идеальному холостому ходу?
3. Почему относительная величина тока холостого хода I_0/I_{1H} у асинхронного двигателя значительно больше чем у трансформатора?
4. Как регулируют скорость вращения и реверсируют асинхронные двигатели?
5. В каких случаях возможно и необходимо переключение обмоток статора со звезды на треугольник при пуске асинхронного двигателя?
6. Чему равно число катушек обмоток статора асинхронного двигателя с номинальной скоростью $n=585$ об/мин?
7. Какая характеристика асинхронного двигателя называется механической?
8. Какие характеристики асинхронного двигателя называют рабочими?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №7

ИССЛЕДОВАНИЕ ГЕНЕРАТОРА ПОСТОЯННОГО ТОКА С ПАРАЛЛЕЛЬНЫМ ВОЗБУЖДЕНИЕМ

Цель работы: изучение конструкции генератора параллельного возбуждения, снятие характеристики: внешней, регулировочной, холостого хода.

ОСНОВНЫЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

Свойства генераторов постоянного тока определяются, в основном, способом питания обмотки возбуждения. В зависимости от этого различают генераторы:

1. С независимым возбуждением, его обмотка возбуждения питается от источника постоянного тока.

2. С параллельным возбуждением (шунтовый), его обмотка возбуждения включена к обмотке якоря параллельно нагрузке.

3. С последовательным возбуждением (компаундный), он имеет две обмотки возбуждения включена последовательно с обмоткой якоря и нагрузкой.

4. Со смешанным возбуждением (компаундный), он имеет две обмотки возбуждения, одна подключается параллельно обмотке якоря, а другая последовательно с ней и нагрузкой.

Перечисленные генераторы имеют одинаковое устройство и отличаются лишь обмоткой возбуждения. Обмотки независимого и параллельного возбуждения изготавливаются из провода малого сечения, они имеют большое число витков.

Обмотку последовательного возбуждения изготавливают из провода большого сечения, она имеет малое число витков.

ГЕНЕРАТОР С ПАРАЛЛЕЛЬНЫМ ВОЗБУЖДЕНИЕМ

В этом генераторе обмотка возбуждения присоединяется через регулировочный реостат параллельно обмотки якоря. Следовательно, в машине используется принцип самовозбуждения, при котором обмотка возбуждения получает питание непосредственного от самого генератора.

Самовозбуждение генератора возможно при наличии остаточного магнетизма в магнитной цепи. При вращении якоря в его обмотке потоком остаточного магнетизма индуцируется Э.Д.С. $E_{ост.}$ и по обмотке возбуждения начинает проходить ток. Если обмотка возбуждения включена так, что ее намагничивающая сила F_B направлена согласно с намагничивающей силой остаточного магнетизма, то магнитный поток нарастает, увеличивается Э.Д.С. E , поток Φ и ток возбуждения I_B . При этом машина самовозбуждается и начинает устойчиво работать. Однако устойчивость режима самовозбуждения обеспечивается только при определенных значениях сопротивления $R_{вкр.}$. Это условие ограничивает возможный диапазон регулирования тока возбуждения генератора, а следовательно и его напряжения. Обычно уменьшать напряжение генератора можно лишь до $(0,6 - 0,7) U_{ном.}$

Внешняя характеристика генератора с параллельным возбуждением представляет собой зависимость напряжения генератора U от тока нагрузки I_H при постоянном n и сопротивлении цепи возбуждения R_B . Она располагается ниже внешней характеристики генератора с независимым возбуждением. Объясняется это тем, что в рассматриваемом генераторе кроме двух причин, вызывающих уменьшение напряжения с ростом нагрузки (падение напряжения в якоре и размагничивающее действие реакции якоря), существует еще третья причина уменьшения тока возбуждения $I_B = UIR_B$, который зависит от напряжения U , т.е. от тока I_B . При коротком замыкании якоря ток I_K генератора с параллельным возбуждением сравнительно мал, т.к. в этом режиме напряжение и ток Э.Д.С. от остаточного магнетизма и составляет $(0,4 - 0,8) I_{НОМ}$.

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Изучение устройства машины постоянного тока на разобранном образце.
2. Исследование генератора в режиме холостого хода.
3. Соберите схему по рис. 1.

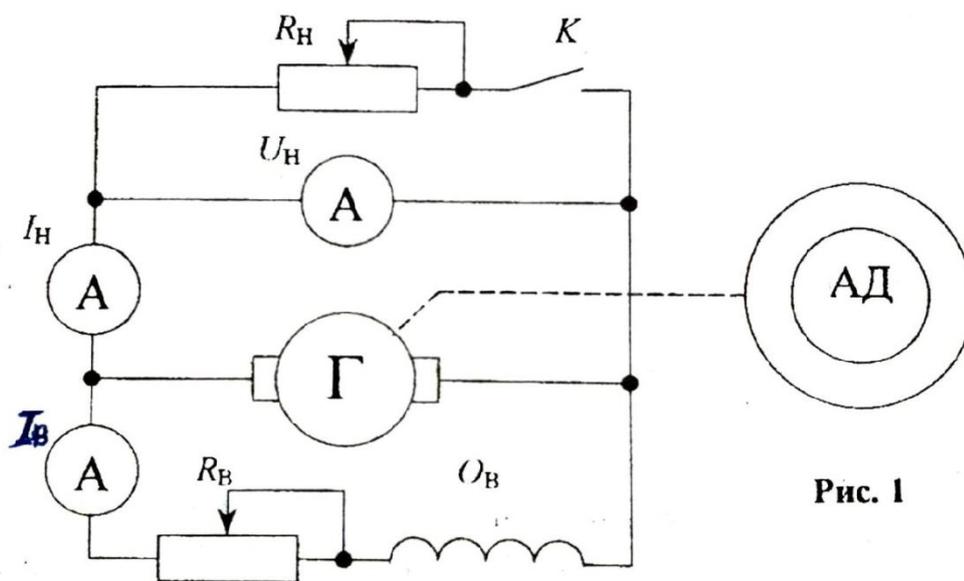


Рис. 1

Разомкните ключ K и включите двигатель, вращающий вал генератора.

Вольтметр показывает Э.Д.С. генератора, наведенную в обмотке якоря магнитным потоком остаточного магнетизма. Сопротивление R_B в цепи обмотки возбуждения уменьшают и снимают восходящую ветвь характеристики холостого хода, записывая показания вольтметра и амперметра в цепи возбуждения. Сделайте 6-8 измерений. Повторите измерения, уменьшая ток возбуждения, т.е. увеличивая сопротивление реостата R_B , генератора.

При снятии характеристики холостого хода движок реостата можно двигать только в одну сторону при снятии восходящей ветви только уменьшать сопротивление R_B , а при снятии нисходящей ветви только увеличивать сопротивление R_B .

Все данные занести в таблицу 1. Постройте график $E = f(I_B)$.

Таблица 1.

| № | Характеристика холостого хода | | | | Внешняя характеристика | | Регулировочная характеристика | |
|---|-------------------------------|-------|-----------------|-------|------------------------|-------|-------------------------------|-----------|
| | Возрастающая ветвь | | Убывающая ветвь | | I_H (А) | U (В) | I_H (А) | I_B (А) |
| | I_B (А) | U (В) | I_B (А) | U (В) | | | | |
| 1 | | | | | | | | |
| 2 | | | | | | | | |
| 3 | | | | | | | | |
| 4 | | | | | | | | |
| 5 | | | | | | | | |
| 6 | | | | | | | | |

3. Исследование генератора в режиме нагрузки:

Включите нагрузку ключом и постепенно увеличивать ток в нагрузке, сделайте 6-8 отсчетов показаний приборов. Все данные занести в таблицу. Построить график $U = f(I_H)$.

4. Снятие регулировочной характеристики.

Перед снятием регулировочной характеристики установите режим холостого хода генератора при $U_{НОМ} = 10 В$. После этого замкните ключ К, измените ток в цепи якоря и, регулируя ток возбуждения, поддерживайте неизменным напряжение на генераторе.

Следует произвести 6-8 измерений. Постройте график $I_B = f(I_H)$ и определите относительное увеличение тока возбуждения.

Все данные занести в таблицу 1.

Контрольные вопросы:

1. Как устроен генератор постоянного тока?
2. В проводниках обмотки якоря генератора во время его работы наводится переменная Э.Д.С. Каким образом получают от машины постоянное напряжение?
3. Как происходит процесс самовозбуждения генератора?
4. Что такое реакция якоря?
5. При $I_B = 0$ отключенных потребителей напряжение на зажимах работающей машины отличное от нуля. Чем это объяснить?
6. Почему напряжение на зажимах генератора с параллельным возбуждением уменьшается при возрастании нагрузки?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №8 ИЗУЧЕНИЕ ТЕПЛОВЫХ РЕЛЕ ТРН

Цель работы: изучить устройство и принцип действия теплового реле. Освоить методику настройки теплового реле типа ТРН.

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ:

1. Ознакомиться с конструкцией теплового реле.
2. Выбрать реле в соответствии с защищаемым двигателем.
3. Снять характеристики реле.
4. Определить зону защиты реле.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ И МЕТОДИКА ЕЕ ВЫПОЛНЕНИЯ

Тепловое двухэлементное реле серии ТРН служит для защиты электродвигателей от перегрузки и неполнофазных режимов питающей сети. Обычно реле встраивают в магнитный пускатель.

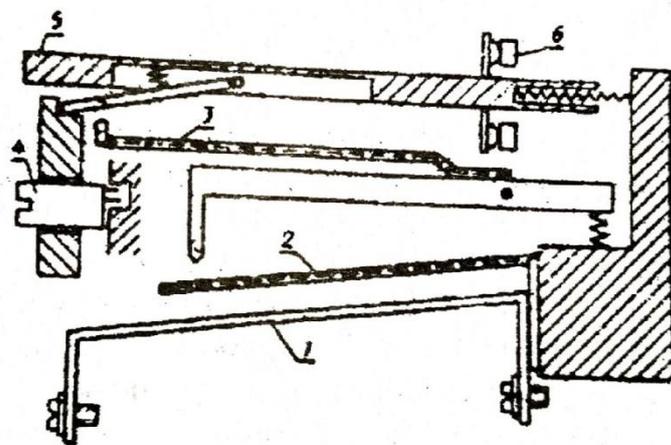
Принцип действия реле заключается в следующем. Ток двух фаз электродвигателя, протекая по двум нагревательным элементам, вызывает их нагрев. Тепло от нагревателя через небольшой воздушный промежуток передается на термобиметаллический элемент, который тоже нагревается. При протекании предельного тока нагреватель и термобиметаллическая пластинка нагревается, последняя изгибается и приводит к отключению аппарата.

Реле состоит из пластмассового корпуса, разделенного на три ячейки. В крайних ячейках размещены нагревательные элементы и биметаллические пластины (рис.1.).

Рис. 1. Конструкция теплового реле ТРН

1. Нагревательный элемент;
2. Биметаллическая пластинка;
3. Температурный компенсатор;
4. Регулятор тока срабатывания;
5. Рычаг ручного возврата;
6. Размыкающий контакт.

В средней части корпуса расположен температурный компенсатор 3, регулятор тока срабатывания 4, механизм расцепителя, размыкающий контакт 6 и рычаг ручного возврата 5. Температурный компенсатор выполнен в виде биметаллической пластины с обратным прогибом по отношению к основной пластине.



Поэтому работа реле практически не зависит от окружающей температуры. Шкала регулятора разбита на десять делений: пять в сторону «плюс» и пять в сторону «минус». Цена одного деления соответствует 5% номинального тока нагревательного элемента. Механический расцепитель состоит из защелки, пружины и кнопки возврата. В исходное положение реле возвращают вручную, спустя 1-2 мин. После срабатывания. Для того, чтобы реле надежно защищало электродвигатель от перегрузки, оно должно быть правильно выбрано в соответствии с условиями его работы.

Встраиваемое в пускатель тепловое реле, через которое в течении длительного времени протекает номинальный ток, должно срабатывать не более чем через 20 минут после наступления 20% перегрузки.

При выборе нагревательных элементов реле необходимо соблюдать следующие условия: $1,25 \cdot I_{дн} \geq I_{н.э} \geq I_{дв}$.

Нагревательные элементы имеют следующие номинальные токи: 0,5; 0,8; 1,0; 1,25; 1,6; 2,0; 2,5; 3,2; 4,0; 5,0; 6,3; 8,0; 10; 12,5; 16; 20; 25; 32; 40 (А).

Положение рычага регулятора определяется с учетом токов двигателя и нагревательного элемента и поправки на разность температур окружающей среды.

Число шкалы для корректировки несоответствия тока двигателя определяют по формуле:

$$N_1 = \frac{I_{дв} - I_{н.э.}}{C \cdot I_{н.э.}}$$

Здесь $C=0,05$ – цена одного деления шкалы. Поправку разность температур среды двигателя и пускателя определяют по формуле:

$$N_2 = \frac{t_{окр} - 30}{10}$$

Где $t_{окр}$ - температура среды, при которой работает двигатель. Результирующее значение поправки определяется алгебраической суммой N_1 и N_2 : $N=N_1+N_2$.

Заводы – изготовителя настраивают реле при температуре окружающей среды $+40^{\circ}\text{C}$. Если температура окружающей среды, в которой работает реле, отличается от температуры настройки, необходима корректировка.

Регулятор установки реле следует поворачивать на одно деление вправо (при повышении температуре) или влево (при пониженной температуре).

Характеристикой теплового реле называется зависимость времени срабатывания реле от тока, протекающего через нагревательный элемент:

$$t = f(I_{нагр})$$

Для снятия характеристик реле собирают электрическую схему, приведенную на рис. 2.

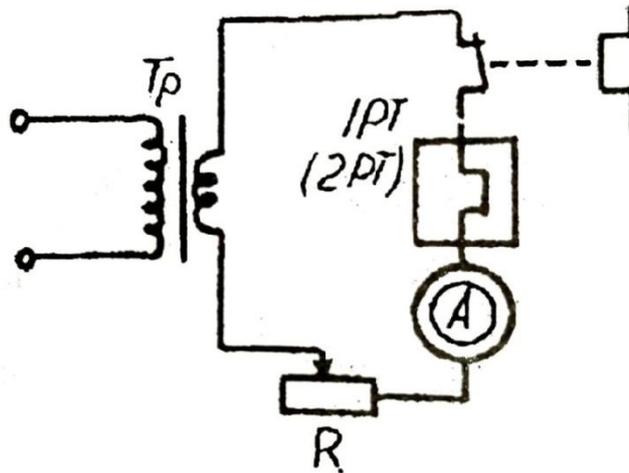


Рисунок 2. Схема испытания тепловых реле

Характеристика теплового реле нужно снимать в следующем порядке.

Подать напряжение на трансформатор. Перемещая рукоятку регулировочного автотрансформатора, установить ток нагревательного элемента РТ в пределах от 1,3 до 2 $I_{н.э.}$ (в процессе опыта ток поддерживается постоянным). Одновременно с установкой тока на заданное значение необходимо включить секундомер. После нагрева биметаллической пластинке срабатывает тепловое реле и выключается секундомер, а затем охлаждается нагревательный элемент. Время охлаждения занимает 2 минуты.

Характеристика реле снимать для положения регулятора -1;0;1 примерно по 3-8 точек для каждой характеристики. Данные опыта занести в таблицу 1.

Таблица 1.

| Положение регулятора | | Кратность тока, А | | | | |
|----------------------|-----------------------|-------------------|-----|-----|-----|-----|
| | | 1,3 | 1,4 | 1,5 | 1,6 | 2,0 |
| -1 | Время срабатывания, с | | | | | |
| 0 | | | | | | |
| 1 | | | | | | |

По результатам опыта построить характеристики теплового реле $t = f(I_{нагр.})$.

По полученным данным построить токовременные характеристики теплового реле:

- 1-для положения регулятора +1
- 2-для положения регулятора 0
- 3-для положения регулятора -1.

Контрольные вопросы:

- 1.Для чего применяются тепловые реле типа ТРН?

2. Каков принцип действия реле типа ТРН?
3. Каковы основные факторы влияющие на работу теплового реле?
4. Что называется характеристикой теплового реле?
5. Как подобрать нагревательный элемент для защиты трехфазного асинхронного двигателя мощностью Р?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №9 ИЗУЧЕНИЕ МАГНИТНОГО ПУСКАТЕЛЯ

Цель работы: изучить магнитные пускатели серии ПМЕ, ПА и пр.
Изучить принципиальные и монтажные схемы пускателя.

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Изучить устройство, назначение и принцип действия магнитных пускателей.
2. Собрать схему соединения магнитного пускателя. Включить и отключить.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ И МЕТОДИКА ЕЕ ВЫПОЛНЕНИЯ

Магнитные воздушные пускатели серии ПМЕ и ПА предназначены для дистанционного управления трехфазными асинхронными электродвигателями или другими токоприемниками.

Основными элементами магнитного пускателя: трехполюсной контактор, блокировочные контакты и тепловое реле. Контактор серии ПМЕ имеет прямоходовую Ш-образную электромагнитную систему, состоящую из якоря и катушки. Якорь шарнирно соединен с изоляционной траверсой, несущей контактные мосты.

Магнитные пускатели серии ПА созданы на базе поворотно – рычажных контакторов. Главные контакты состоят из неподвижных и подвижных мостиков, расположенных в закрытой дугогасительной камере.

Для управления работой пускателя применяют кнопочные посты, снабженные кнопками «пуск», «стоп», имеющие замыкающие и размыкающие контакты.

Втягивающая катушка магнитного пускателя надежно работает при напряжении 85-105 % от номинального. При снижении напряжения в сети ниже 35-40 % от номинального пускатель выключается.

Пускатели с тепловыми реле типа ТРН и ТРП защищают электродвигатели от длительных перегрузок.

Реле имеют регулировку тока установки теплового элемента в пределах $\pm 25\%$ от номинального. При нагрузке, равной 1,2 номинального тока установки, реле отключает пускатель не более чем за 20 мин. Реле ТРН и ТРП имеют только ручной возврат, который возможен при нажатии кнопки возврата спустя 1-2 мин., после срабатывания реле.

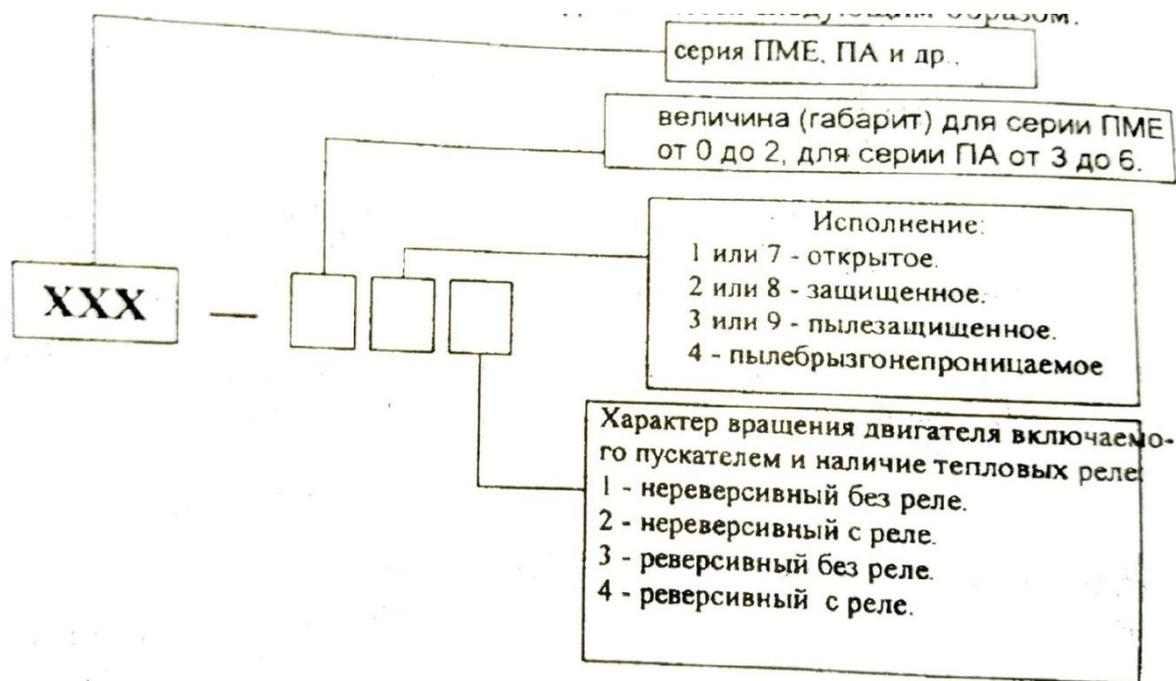
Импортные пускатели имеют тепловые реле с самовозратом например, польские типа В.

Пускатели рассчитаны для работы при температуре окружающего воздуха от -40 до $+40^{\circ}\text{C}$, относительной влажности окружающего воздуха не более 90 при $+20^{\circ}\text{C}$ и не более 50 при $+40^{\circ}\text{C}$, высоте над уровнем моря до 1000 м. Допускается вибрация мест крепления пускателей с частотой не более 26 Гц при ускорении не более $0,7g$ (ускорение свободного падения). Магнитные пускатели открытого исполнения предназначены для установки на панелях, в закрытых шкафах, нишах, местах, защищенных от попадания пыли и посторонних предметов.

Пускатели в защищенном исполнении устанавливаются внутри помещений, окружающая среда которых не содержит значительного количества пыли.

Пускатели пылебрызгопроницаемого исполнения предназначены для внутренних и наружных установок в местах, защищенных от солнечных лучей и прямого попадания струй дождя.

Обозначение пускателей расшифровывается следующим образом:



Например: ПА-312 – пускатели серии ПА третьего габарита (на ток включаемого электроприемника до 40А), открытого исполнения, нереверсивный с тепловым реле.

Механическая износостойчивость пускателя составляет не менее 5 млн срабатываний. Изоляция контактора выдерживает напряжений 2000В переменного тока 50 Гц в течении 1 мин. Сопротивление изоляции пускателя измеренное мегомметром на 500В, должны быть не менее 0,5 Ом.

Технические данные магнитных пускателей приведены в таблице 1.

Монтаж пускателей нужно проводить на ровной жестко укрепленной вертикальной поверхности (допускаемое отклонение от вертикали не более $\pm 0,5\%$).

Для ввода проводников в пускатели защищенного исполнения в них пробивают отверстие по имеющимся кольцевым надрубам.

Присоединяемые к клеммам медные концы должны быть облужены. Если необходимо подсоединить алюминиевые провода, их концы следует зачистить мелким надфилем под слоем смазки ЦИАТИМ-201 или технического вазелина и дополнительно покрыть слоем смазки после зачистки.

Таблица 1.

| Тип аппарата | Номинальный ток главных контактов | Наибольшая мощность (кВт) электродвигателя при напряжении | |
|--------------|-----------------------------------|---|------|
| | | 220В | 360В |
| ПМЕ-000 | 3 | 0.6 | 1,1 |
| ПМЕ-100 | 10 | 2.2 | 4 |
| ПМЕ-200 | 25 | 5.5 | 10 |
| ПА -300 | 40 | 10 | 17 |
| ПА -400 | 56 | 14 | 28 |
| ПА -500 | 115 | 30 | 55 |
| ПА -600 | 150 | 40 | 75 |

Ввод в оболочку пылебрызгонепроницаемых пускателей нужно делать в трубах или через сальники (кабели). Крепление труб к оболочке и уплотнения кабелей в сальниках должны надежно защищать от проникновения внутрь пускателя пыли и водяных брызг. При наружной установке этих пускателей над ними необходимо делать небольшой навес для защиты от солнечных лучей и прямого попадания струй дождя.

Электрическая схема магнитного пускателя состоит из цепи главного тока, цепей управления и блокировочных связей. Цепи главного тока изображают сплошными толстыми линиями, остальные цепи - тонкими.

На принципиальных схемах (Рис.1) отдельные элементы изображают в том порядке, в котором они соединены между собой, не считаясь с фактическим местонахождением того или иного.

На монтажных схемах аппараты изображают совмещенными с топографическим расположением отдельных элементов. Такие схемы обычно приводятся в инструкциях по эксплуатации магнитных пускателей. На монтажной схеме больше линий, больше пересечений проводов, затруднено чтение схемы. Однако благодаря наглядному изображению аппаратов облегчено выполнение правильного присоединения проводов.

Принцип работы пускателя прост: при подаче напряжения на катушку якорь притягивается к сердечнику, главные контакты и замыкающие блокконтакты замыкаются, кнопка "пуск" блокируется. При отклонении происходит обратная картина.

Изучение пускателей целесообразно начать с рассмотрения различных их типов. В работе необходимо расшифровать обозначение каждого пускателя, обратить внимание на паспортные данные и основные отличительные признаки отдельных серий.

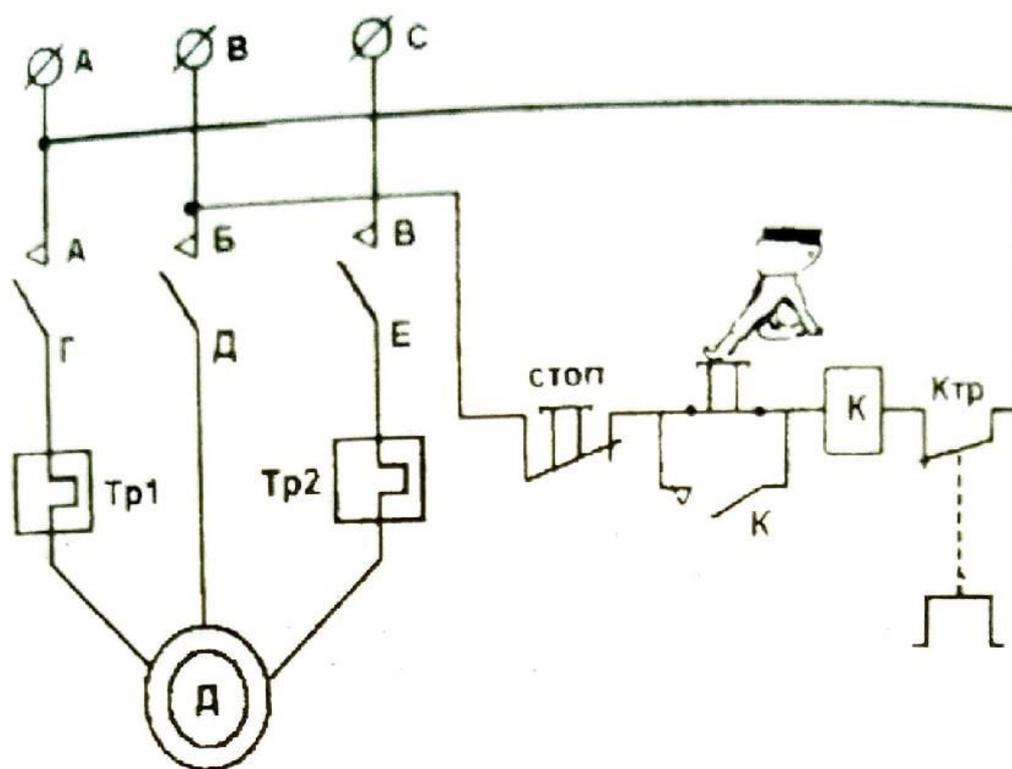


Рис. 1. Нереверсивная схема подключения магнитного пускателя.

К пускателю присоединить провода цепи управления, затем цепи главного тока, проверить правильность присоединения по электрической схеме. Подать напряжение на схему. При помощи пусковых кнопок включить и выключить пускатель. Обратит внимание на отсутствие шумов и вибраций. Допускается слабое гудение включенного пускателя, характерное для исправных аппаратов переменного тока, имеющих воздушные зазоры в магнитных сердечниках.

МОНТАЖ РЕВЕРСИВНЫХ МАГНИТНЫХ ПУСКАТЕЛЕЙ.

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ.

1. Изучить устройство реверсивных магнитных пускателей.
2. Присоединить провода, соблюдая последовательность монтажа.
3. Проверить правильность присоединения проводов
4. Осуществить пуск, реверсирование и остановку электродвигателя.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ И МЕТОДИКА ЕЁ ВЫПОЛНЕНИЯ.

Реверсивный магнитный пускатель состоит из двух равноценных нереверсивных пускателей, из которых включает электродвигатель прямого направления, а другой - в обратном.

Для изменения направления вращения двигателя необходимо поменять местами две фазы сети. В реверсивном пускателе такая коммутация тока происходит автоматически при замыкании соответствующих главных контактов. Одно-

временное включение пускателей КВ и КН недопустимо. Оно приводит к двухфазному короткому замыканию силовой цепи. Чтобы не допустить такую аварию, применяют различные блокировочные устройства.

Реверсивные пускатели могут иметь механическую, электрическую или комбинированную блокировку. Блокировка исключает возможность одновременного замыкания главных контактов двух пускателей.

При механической блокировке подвижные части пускателей соединены между собой при помощи рычагов. Двуплечный рычаг блокировочного устройства допускает включение только одного из двух пускателей. Такую блокировку имеют пускатели П6-123, ПА-313, ПА-424.

Электрическая блокировка осуществляется включением втягивающей катушки одного пускателя через размыкающие контакты другого.

Комбинированная блокировка механически разрывает электрическую цепь управления смежного пускателя. Блокировка осуществляется при помощи специального блокировочного поста КМЗ-3, который имеет по четыре контакта на каждой пусковой кнопке. При нажатии на "пуск вперед", такой пост при помощи подвижного мостика вначале размыкает верхние контакты и разрывает цепь катушки КН (назад), а затем тем же мостиком замыкает нижние контакты и подает питание на катушку пускателя КВ (вперед).

На монтажной схеме пускатель, кнопочный пост, эл. двигатель изображаются в виде технического рисунка, на котором упрощенно показаны элементы аппаратов: клеммы контактов, катушек и соединительные провода.

Буквенные позиционные обозначения элементов на схемах играют важную роль. Элементы аппаратов одного пускателя (катушки, контакты) на этих схемах расположены в различных цепях, а их буквенные обозначения одинаковы. Все однотипные элементы изображаются одинаково, поэтому единственный способ установить, к какому пускателю относится тот или иной контакт - это сопоставить буквенные позиционные обозначения.

До сборки схемы 2 (рис.2) необходимо уточнить местонахождение каждого элемента. Определить клеммы главных контактов, катушек, замыкающих и размыкающих блокконтактов, пусковых кнопок. Определить принадлежность каждого элемента пускателями "вперед" или "назад". При сборке схемы необходимо соблюдать порядок очередности присоединения проводов цепи управления. Проверить правильность сборки и осуществить пробное включение аппаратов. Затем, обесточив установку, собрать силовые цепи сети, убедившись в отсутствии коротких замыканий в схеме, включить установку в целом.

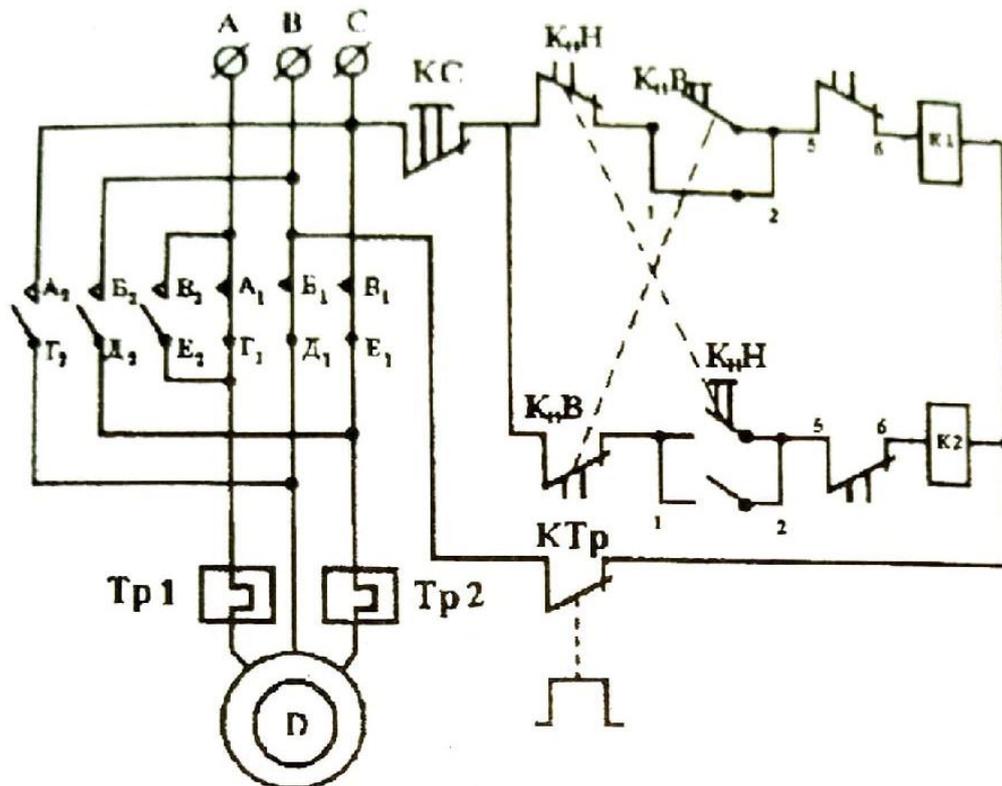


Рис. 2. Реверсивная схема управления асинхронным двигателем.

Присоединение пускателей на лабораторном столе.

На панели стола имеются, пускатели ПМЕ-0,71 кнопочный пост КМЗ-3, электродвигатель. Клеммы отдельных аппаратов присоединены к зажимам панели. Слева изображена монтажная схема, пускателя "вперед", справа - "назад". Сверху от кнопок показана монтажная схема кнопочного поста КМЗ-3. Сборку схемы выполнять гибкими лабораторными проводами с разомкнутыми наконечниками. При сборке необходимо соблюдать очередность согласно настоящей методике.

Контрольные вопросы:

1. Расскажите о назначении и конструктивном исполнении блокировочных устройств.
2. Как осуществляется изменение направления вращения электродвигателя?
3. В какой последовательности собирают схемы магнитного пускателя?
4. Как изображают на схемах силовые и блокировочные контакты?
5. Сколько тепловых реле имеют пускатели ПМЕ-214, ПА-313, ПА-424?
6. Расшифруйте марку ПМЕ-234.
7. Покажите замыкающие контакты на схеме и на пускателе.
8. Объясните принципы действия нереверсивного и реверсивного пускателя?
9. Покажитехождение тока по цепям управления и силовым цепям.