

Лабораторная работа № 4 ВРАЩАЮЩИЕСЯ ТРАНСФОРМАТОРЫ

Целью работы является изучение основных характеристик и погрешностей вращающихся трансформаторов, а также способов определения их основных показателей.

Общие сведения

Вращающиеся трансформаторы представляют собой информационные электрические машины, предназначенные для преобразования углового положения вала в выходное напряжение переменного тока, амплитуда которого соответствует текущему угловому положению. В зависимости от функциональной связи между выходным напряжением и угловым положением вала различают синусные, синусно-косинусные и линейные вращающиеся трансформаторы. Как и для всех информационных машин важнейшим показателем качества вращающегося трансформатора является точность воспроизведения функциональной зависимости. При этом вращающиеся трансформаторы находят и другие применения, например, в качестве построителей для преобразования координат или устройств для согласования (масштабирования) напряжений различных каскадов, на их основе строят фазовращатели и трансформаторные системы синхронной связи, отличающиеся высокой точностью, хотя и меньшей выходной мощностью, чем традиционные сельсины. Выходные характеристики вращающегося трансформатора зависят от схемы соединения обмоток и их питания.

Конструктивно большинство вращающихся трансформаторов напоминают двухфазные асинхронные двигатели с фазным ротором. На статоре в полузакрытых пазах располагаются две распределенные взаимно перпендикулярные фазные обмотки с одинаковым числом витков, имеющие одинаковые активное и индуктивное сопротивления. Две взаимно перпендикулярные фазные обмотки ротора также имеют одинаковые числа витков и одинаковые активное и индуктивное сопротивления. Они подключаются к внешней цепи через контактные кольца и щетки. Причем, для уменьшения влияния переходного сопротивления скользящего контакта щетки часто изготавливаются металлическими с покрытием из благородных металлов. А в случае ограниченного угла поворота вала щетки и контактные кольца заменяют спиральными пружинами из латуни, устраняя скользящий контакт.

Особенностью конструкции распределенных обмоток статора и ротора является то, что они обеспечивают синусоидальное изменение взаимоиндуктивности между первичными и вторичными обмотками при

повороте вала, что приводит при определенных условиях к синусоидальному изменению амплитуды ЭДС вторичных обмоток (точнее, синусному и косинусному изменению амплитуды ЭДС в двух перпендикулярных обмотках ротора).

Программа работы

1. Экспериментальные исследования

1. Снять зависимость выходного напряжения синусной обмотки ВТ от углового положения

- на холостом ходу;
- под нагрузкой;
- под нагрузкой при первичном симметрировании.

2. Снять зависимость выходного напряжения синусной и косинусной обмоток ВТ от углового положения

- на холостом ходу;
- под нагрузкой при полном симметрировании.

3. Снять зависимость выходного напряжения линейного ВТ от углового положения.

2. Обработка результатов эксперимента

1. Для синусного вращающегося трансформатора определить:

- расчетное напряжение на выходе синусной обмотки;
- погрешность воспроизведения синусной зависимости;
- коэффициент трансформации ВТ;
- ЭДС компенсационной обмотки;
- остаточную ЭДС в нулевых точках.

2. Для синусно-косинусного вращающегося трансформатора определить:

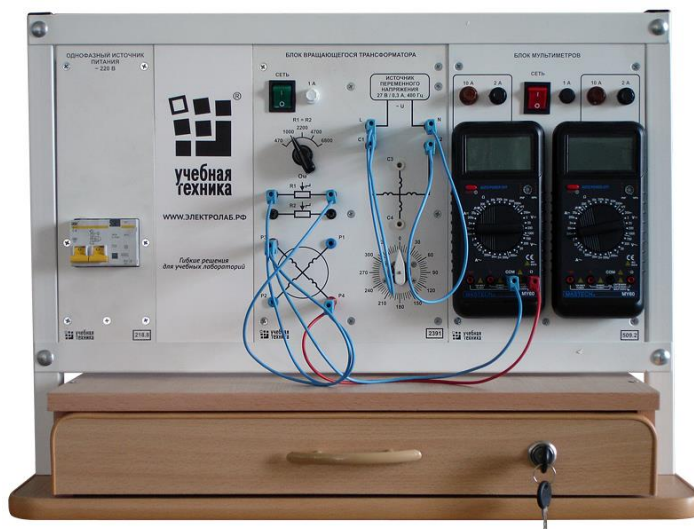
- расчетные напряжения на выходе синусной и косинусной обмоток;
- погрешности воспроизведения синусной и косинусной зависимости;
- коэффициенты трансформации синусной и косинусной обмоток;
- ЭДС компенсационной обмотки;
- остаточную ЭДС в нулевых точках.

3. Для линейного вращающегося трансформатора определить:

- расчетное значение выходного напряжения ВТ;
- погрешность воспроизведения линейной зависимости.

Пояснения и указания к работе

Для проведения экспериментов используется лабораторный стенд компании Галсен. Он включает в себя источник питания $G1$ с автоматическим выключателем, блок вращающихся трансформаторов $A1$ и блок вольтметров $P1$.



Общий вид лабораторного стенда

В блоке вращающегося трансформатора использован вращающийся трансформатор 2,5 ВТ ЛШ3.010.394 с номинальным напряжением питания 27 В с частотой 400 Гц. Потребляемая мощность 3 Вт. Полное входное сопротивление 400 ± 80 Ом. Такие вращающиеся трансформаторы предназначены для работы в электромеханических счетно-решающих устройствах, следящих системах, а также в качестве первичного датчика в цифровых преобразователях.

Синусный вращающийся трансформатор: снятие зависимости выходного напряжения от углового положения вала

Перед началом исследований надо привести модули в исходное состояние, отключить их питание и соединить устройства в соответствии с требуемой схемой электрических соединений (рис. 4.1).

В данной работе требуется снять выходную характеристику синусной обмотки $U_{\sin} = f(\alpha)$ для трех режимов работы: на холостом ходу ($U_{\sin XX}$), под нагрузкой ($U_{\sin H}$) и под нагрузкой при первичном симметрировании ($U_{\sin HC}$). Чтобы получить возможность точного сравнения трех характеристик, необходимо снимать каждую точку характеристики при одном и том же угловом положении вала. Поэтому в процессе работы для каждого исследуемого положения вала ВТ необходимо измерять выходное напряжение как при холостом ходе, так и при включенной нагрузке, а также при включенной нагрузке с

одновременно включенным первичным симметрированием, затем переходить к следующей точке с новым положением вала.

На рисунке 4.1 показана полная схема эксперимента, соответствующая подключенной нагрузке (сопротивление $R1$ подключено к выходным зажимам синусной обмотки $P1-P2$) и включенному первичному симметрированию ВТ (закороченные зажимы компенсационной обмотки $C3-C4$).

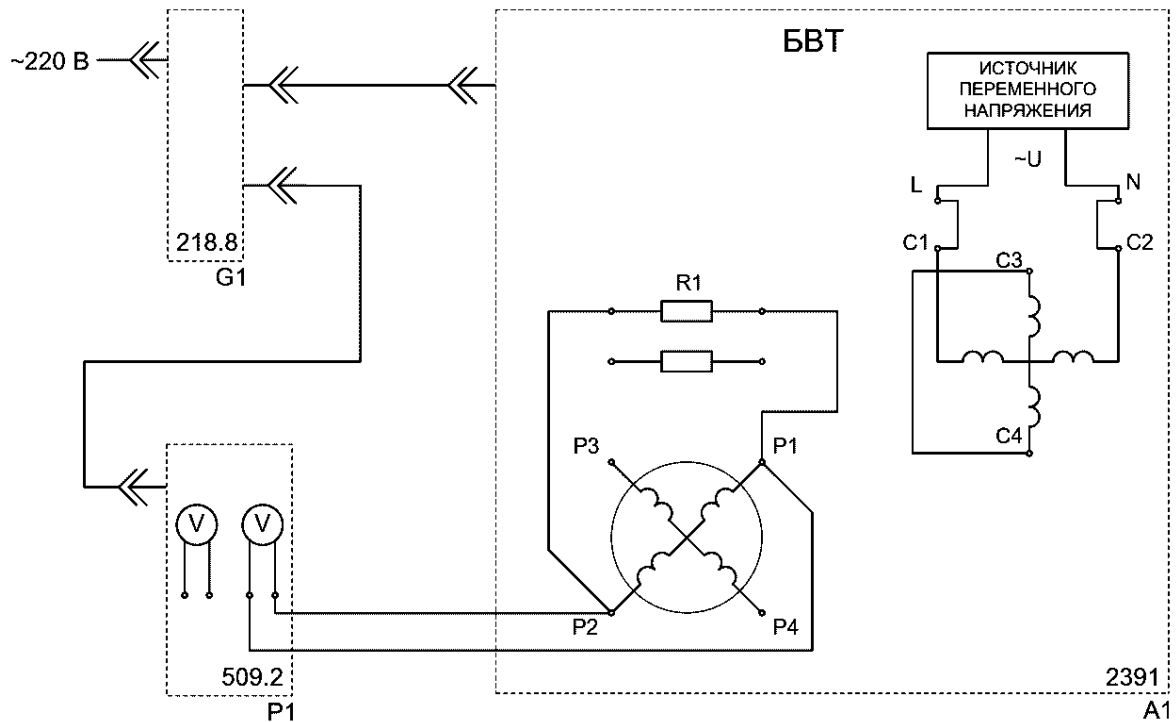


Рис. 4.1. Схема электрических соединений для исследования синусного ВТ под нагрузкой при первичном симметрировании

При работе ВТ на холостом ходу его выходная обмотка остается разомкнутой, ток по ней не протекает. При этом подключенный к выходной обмотке мультиметр в режиме измерения напряжения обладает очень большим внутренним сопротивлением (более 1МОм), что не нарушает условий холостого хода для выходной обмотки. Первичное симметрирование не влияет на выходное напряжение при холостом ходе, но для чистоты эксперимента оно также должно быть отключено в первом опыте.

При работе ВТ под нагрузкой его выходная обмотка подключена к внешней цепи, моделируемой в данной работе с помощью активного сопротивления $R1$. Рекомендуется выбрать сопротивление на уровне 1000 Ом. Во втором опыте первичное симметрирование должно быть отключено.

В третьем опыте измеряется выходное напряжение ВТ, подключенного к нагрузке, при включенном первичном симметрировании (выходные зажимы компенсационной обмотки должны быть замкнуты).

Перед снятием выходной характеристики необходимо провести несколько измерений. Вначале соедините устройства в соответствии со схемой электрических соединений, показанной на рис. 4.1.

Отсоедините нагрузку от выходной синусной обмотки ВТ – для этого уберите один из проводников, соединяющих сопротивление $R1$ с выходными зажимами $P1$ и $P2$.

Отключите первичное симметрирование – для этого уберите проводник, соединяющий зажимы компенсационной обмотки $C3$ и $C4$.

Включите автоматический выключатель источника питания $G1$ и выключатели «Сеть» блока вращающихся трансформаторов $A1$ и блока мультиметров $P1$. Активизируйте мультиметры.

С помощью мультиметра измерьте напряжение на выходе источника питания U_1 – между зажимами L и N .

С помощью мультиметра измерьте напряжение на компенсационной обмотке U_K – между зажимами $C3$ и $C4$.

Сохраните измеренные значения напряжений в таблице 4.1.

Снятие выходных характеристик

Установите вал вращающегося трансформатора в положение «0». Для более точной подстройки положения медленно поворачивайте вал до тех пор, пока не получите минимального значения выходного напряжения (на мультиметре, подключенном к выходным зажимам $P1-P2$). Величина минимального напряжения синусной обмотки обычно не превышает 50 мВ. Внесите первое значение выходного напряжения синусной обмотки при холостом ходе U_{sinXX} в таблицу 4.1.

Не меняя положение вала ВТ, подключите к выводам синусной обмотки $P1$ и $P2$ сопротивление нагрузки $R1$. Измерьте выходное напряжение синусной обмотки под нагрузкой U_{sinH} и внесите это значение в таблицу 4.1.

Включите первичное симметрирование ВТ, замкнув проводником зажимы компенсационной обмотки $C3$ и $C4$. Измерьте выходное напряжение синусной обмотки под нагрузкой при первичном симметрировании U_{sinHC} и внесите это значение в таблицу 4.1.

Отключите первичное симметрирование, убрав проводник, соединяющий зажимы компенсационной обмотки $C3$ и $C4$. Отключите нагрузку выходной обмотки, убрав один из проводников, соединяющих сопротивление $R1$ с выходными зажимами $P1$ и $P2$. На этом заканчивается снятие первой точки каждой из трех выходных характеристик.

Таблица 4.1.

$U_1 = \underline{\hspace{2cm}}, U_K = \underline{\hspace{2cm}}$									
α , град.	0	10	20	30	40		...		350
$U_{\sin XX}$, В									
$U_{\sin H}$, В									
$U_{\sin HC}$, В									
$U_{\sin m} = \underline{\hspace{2cm}}$									
$U_{P-\sin}$, В									
$k_{тр}$									

В таблице принято:

α – угловое положение вала вращающегося трансформатора, град.;

$U_{\sin XX}$ – напряжение синусной обмотки ВТ на холостом ходу, В;

$U_{\sin H}$ – напряжение синусной обмотки ВТ под нагрузкой, В;

$U_{\sin HC}$ – напряжение синусной обмотки ВТ под нагрузкой при первичном симметрировании, В;

$U_{P-\sin}$ – расчетные значения выходного напряжения, В;

$k_{тр}$ – значения коэффициента трансформации.

Поверните вал ВТ в новое положение, изменяя его угловое положение в диапазоне от 0° до 360° с шагом 10° . Для каждого положения вала проведите измерение выходного напряжения синусной обмотки на холостом ходу, под нагрузкой и под нагрузкой при первичном симметрировании как это было сделано для нулевого положения. Внесите полученные значения напряжений в таблицу 4.1.

Обратите внимание, что при угловом положении 180° необходимо точно подстроить положение вала ВТ, медленно поворачивая вал до тех пор, пока не получится минимальное значение выходного напряжения, близкое по величине к напряжению при $\alpha = 0^\circ$. При угловых положениях 90° и 270° также необходимо точно подстроить положение, медленно поворачивая вал до тех пор, пока не получится максимальное значение выходного напряжения.

По окончании эксперимента, отключите выключатели «Сеть» блока вращающегося трансформатора А1 и блока мультиметров Р1, отключите автоматический выключатель источника питания G1.

Определение показателей синусного вращающегося трансформатора

Расчетное напряжение на выходе синусной обмотки представляет собой синусоидально изменяющееся напряжение, амплитуда которого

совпадает с амплитудой реального выходного напряжения синусной обмотки, измеренного под нагрузкой.

Используя результаты измерений из таблицы 4.1 определите максимальное значение выходного напряжения синусной обмотки на холостом ходу $U_{\sin m}$. Сохраните это значение в таблице 4.1. Используя найденное амплитудное значение напряжения найдите расчетные значения выходного напряжения при тех же угловых положениях вала, для которых проводились измерения:

$$U_{P-\sin}(\alpha) = U_{\sin m} \sin(\alpha).$$

Сохраните эти расчетные значения в таблице 4.1.

Постройте на одном графике все полученные зависимости выходного напряжения синусной обмотки ВТ от углового положения вала: экспериментальные значения при холостом ходе $U_{\sin XX}$, под нагрузкой $U_{\sin H}$ и под нагрузкой с первичным симметрированием $U_{\sin HC}$, а также расчетные значения выходного напряжения $U_{P-\sin}$. Поясните различия.

Найдите *погрешность воспроизведения синусной зависимости* выходного напряжения под нагрузкой. Для этого сравните экспериментальные значения выходного напряжения, полученные под нагрузкой, с расчетными значениями и выберите максимальные положительное и отрицательное отклонения. Максимальное положительное отклонение находят по разнице расчетных и экспериментальных значений выходного напряжения в диапазоне углов $0^\circ \dots 180^\circ$

$$\Delta U_{1m} = \max(|U_{P-\sin} - U_{\sin H}|) \text{ при } \alpha = 0^\circ \dots 180^\circ.$$

Максимальное отрицательное отклонение находят по разнице расчетных и экспериментальных значений выходного напряжения в диапазоне углов $180^\circ \dots 360^\circ$

$$\Delta U_{2m} = \max(|U_{P-\sin} - U_{\sin H}|) \text{ при } \alpha = 180^\circ \dots 360^\circ.$$

Погрешность воспроизведения синусной зависимости выходного напряжения находят по формуле

$$\varepsilon_{\sin} = \frac{\Delta U}{U_{\sin m}} \cdot 100\% = \frac{1}{2} \cdot \frac{(\Delta U_{1m} + \Delta U_{2m})}{U_{\sin m}} \cdot 100\%.$$

Коэффициент трансформации вращающегося трансформатора изменяется при изменении углового положения вала и рассчитывается как

$$k_{\text{тр}}(\alpha) = k_{\text{тр}m} \sin(\alpha) = \frac{U_{\text{sin } m}}{U_1} \sin(\alpha).$$

Здесь $k_{\text{тр}m}$ – максимальное значение коэффициента трансформации, равное отношению максимального выходного напряжения $U_{\text{sin } m}$ к напряжению питания обмотки возбуждения U_1 .

Рассчитайте максимальное значение коэффициента трансформации и с его помощью найдите значения коэффициента трансформации при тех же угловых положениях вала, для которых проводились измерения. Сохраните эти значения в таблице 4.1.

Электродвижущая сила компенсационной обмотки равна измеренному в начале экспериментов напряжению на зажимах разомкнутой компенсационной обмотки $U_{\text{к}}$. Эту ЭДС принято выражать в процентах от величины питающего напряжения U_1 , подаваемого на обмотку возбуждения. Рассчитайте требуемое значение ЭДС по формуле

$$e_{\text{к}} = \frac{U_{\text{к}}}{U_1} \cdot 100\% .$$

Остаточная ЭДС в нулевых точках наводится в синусной обмотке вращающегося трансформатора при условии, что вал находится в положении $\alpha = 0^\circ$ и в положении $\alpha = 180^\circ$. Теоретически эта ЭДС должна быть равна нулю. Практически в качестве значений остаточной ЭДС используют найденные экспериментально напряжения выходной обмотки ВТ при холостом ходе при положении вала $\alpha = 0^\circ$ и $\alpha = 180^\circ$. Эти значения также принято выражать в процентах от максимальной ЭДС, наводимой в обмотке.

Среди экспериментальных значений выходного напряжения синусной обмотки при холостом ходе (таблица 4.1) найдите значения напряжения при $\alpha = 0^\circ$ и при $\alpha = 180^\circ$ – это будут значения остаточной ЭДС в нулевых точках. Сохраните найденные значения в таблице 4.2 вместе с их относительными значениями, найденными как

$$e_{\text{ост}} = \frac{E_{\text{ост}}}{U_{\text{sin } m}} \cdot 100\% .$$

Таблица 4.2.

$U_{\text{sin } m} = \underline{\hspace{2cm}}$		
α , град.	0	180
$E_{\text{ост}}$, В		
$e_{\text{ост}}$, %		

В таблице принято:

α – угловое положение вала вращающегося трансформатора, град.;

$E_{\text{ост}}$ – значение остаточной ЭДС, В;

$e_{\text{ост}}$ – относительное значение остаточной ЭДС, %.

Синусно-косинусный вращающийся трансформатор на холостом ходу: снятие зависимостей выходного напряжения синусной и косинусной обмоток от углового положения вала

Перед началом исследований надо привести модули в исходное состояние, отключить их питание и соединить устройства в соответствии с требуемой схемой электрических соединений (рис. 4.2).

На рисунке 4.2 показана полная схема эксперимента, соответствующая холостому ходу синусно-косинусного вращающегося трансформатора (к выходным зажимам синусной обмотки $P1-P2$ и косинусной обмотки $P3-P4$ подключены только мультиметры в режиме вольтметра, обладающие очень большим внутренним сопротивлением) при отсутствии первичного симметрирования ВТ (зажимы компенсационной обмотки $C3-C4$ не замкнуты).

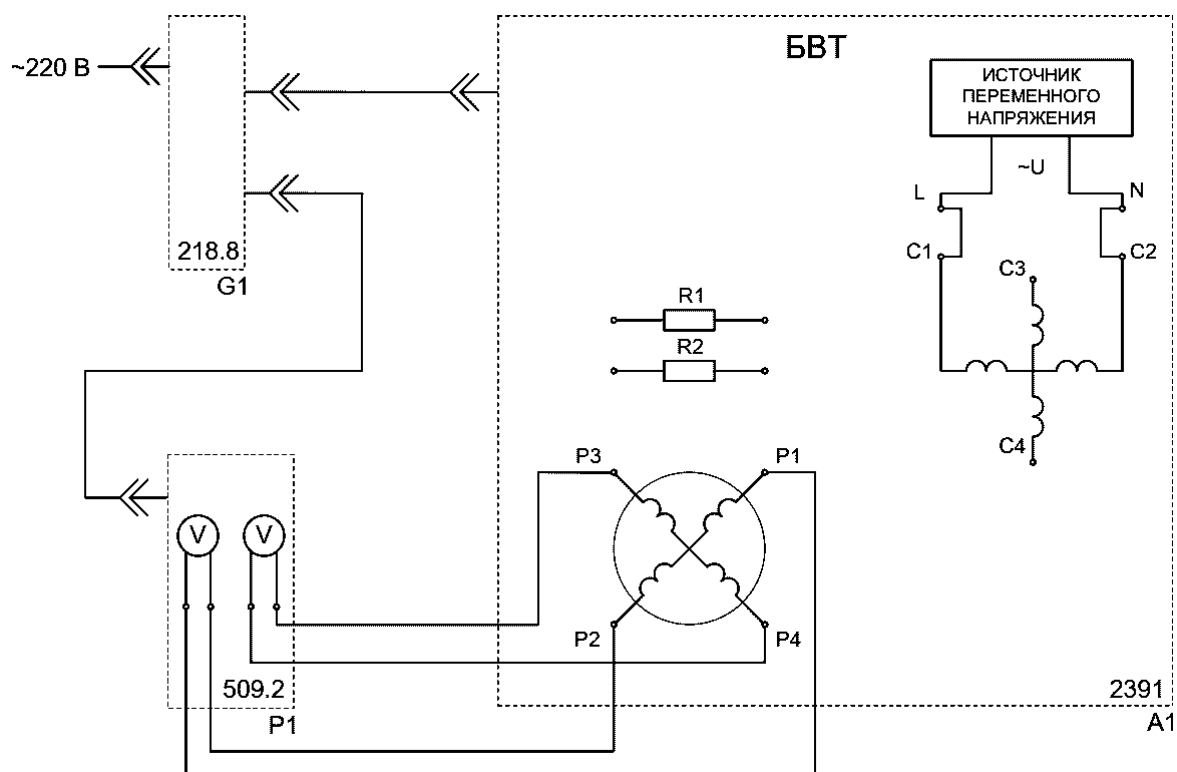


Рис. 4.2. Схема электрических соединений для исследования синусно-косинусного ВТ на холостом ходу

Перед снятием выходной характеристики необходимо провести несколько измерений. Вначале соедините устройства в соответствии со схемой электрических соединений, показанной на рис. 4.2.

Включите автоматический выключатель источника питания $G1$ и выключатели «Сеть» блока вращающихся трансформаторов $A1$ и блока мультиметров $P1$. Активизируйте мультиметры.

Отключите один из мультиметров от синусной обмотки вращающегося трансформатора (зажимы $P1-P2$) и с его помощью измерьте напряжение на выходе источника питания U_1 – между зажимами L и N .

С помощью мультиметра измерьте напряжение на компенсационной обмотке U_K – между зажимами $C3$ и $C4$.

Сохраните измеренные значения напряжений в таблице 4.3. Вновь подключите мультиметр к синусной обмотке вращающегося трансформатора (зажимы $P1-P2$).

Снятие выходных характеристик

Установите вал вращающегося трансформатора в положение «0». Для более точной подстройки положения медленно поворачивайте вал до тех пор, пока не получите минимального значения выходного напряжения синусной обмотки (на мультиметре, подключенном к выходным зажимам $P1-P2$). Величина минимального напряжения синусной обмотки обычно не превышает 50 мВ. Внесите первые значения выходного напряжения синусной и косинусной обмоток при холостом ходе $U_{\sin XX}$ и $U_{\cos XX}$ в таблицу 4.3.

Таблица 4.3.

$U_1 = \underline{\hspace{2cm}}, U_K = \underline{\hspace{2cm}}$									
α , град.	0	10	20	30	40		...		350
$U_{\sin XX}$, В									
$U_{\cos XX}$, В									
$U_{\sin m} = \underline{\hspace{2cm}}, U_{\cos m} = \underline{\hspace{2cm}}$									

В таблице принято:

α – угловое положение вала вращающегося трансформатора, град.;

$U_{\sin XX}$ – напряжение синусной обмотки ВТ на холостом ходу, В;

$U_{\cos XX}$ – напряжение косинусной обмотки ВТ на холостом ходу, В.

Поверните вал ВТ в новое положение, изменяя его угловое положение в диапазоне от 0° до 360° с шагом 10° . Для каждого положения вала проведите измерение выходного напряжения синусной и косинусной обмоток. Внесите полученные значения напряжений в таблицу 4.3.

Обратите внимание, что при угловом положении 180° необходимо точно подстроить положение вала ВТ, медленно поворачивая вал до тех пор, пока не получится минимальное значение выходного напряжения

синусной обмотки, близкое по величине к напряжению при $\alpha = 0^\circ$. При угловых положениях 90° и 270° также необходимо точно подстроить положение, медленно поворачивая вал до тех пор, пока не получится минимальное значение выходного напряжения косинусной обмотки.

По окончании эксперимента, отключите выключатели «Сеть» блока вращающегося трансформатора А1 и блока мультиметров P1, отключите автоматический выключатель источника питания G1.

Синусно-косинусный вращающийся трансформатор под нагрузкой: снятие зависимостей выходного напряжения синусной и косинусной обмоток от углового положения вала

Перед началом исследований надо привести модули в исходное состояние, отключить их питание и соединить устройства в соответствии с требуемой схемой электрических соединений (рис. 4.3).

На рисунке 4.3 показана полная схема эксперимента, соответствующая подключенной нагрузке при вторичном симметрировании (одинаковые сопротивления $R1$ и $R2$ подключены к выходным зажимам синусной обмотки P1-P2 и косинусной обмотки P3-P4 соответственно) и включенному первичному симметрированию ВТ (закороченные зажимы компенсационной обмотки C3-C4). Сопротивление нагрузки рекомендуется выбрать на уровне 1000 Ом.

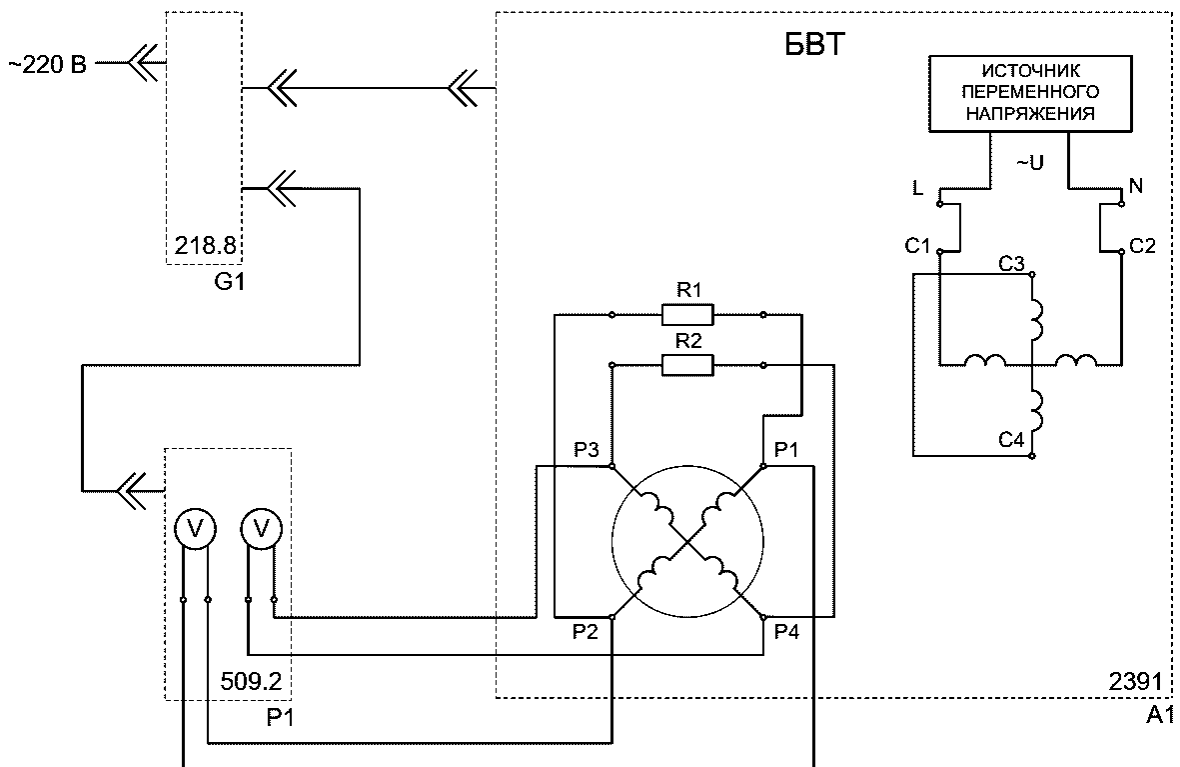


Рис. 4.3. Схема электрических соединений для исследования синусно-косинусного ВТ под нагрузкой

Снятие выходных характеристик

Включите автоматический выключатель источника питания $G1$ и выключатели «Сеть» блока вращающихся трансформаторов $A1$ и блока мультиметров $P1$. Активизируйте мультиметры.

Установите вал вращающегося трансформатора в положение «0». Для более точной подстройки положения медленно поворачивайте вал до тех пор, пока не получите минимального значения выходного напряжения синусной обмотки (на мультиметре, подключенном к выходным зажимам $P1-P2$). Величина минимального напряжения синусной обмотки обычно не превышает 50 мВ. Внесите первые значения выходного напряжения синусной и косинусной обмоток под нагрузкой $U_{\sin H}$ и $U_{\cos H}$ в таблицу 4.4.

Таблица 4.4.

α , град.	0	10	20	30	40		...		350
$U_{\sin H}$, В									
$U_{\cos H}$, В									
$U_{P-\sin}$, В									
$U_{P-\cos}$, В									
k_{Tpsin}									
k_{Tpcos}									

В таблице принято:

α – угловое положение вала вращающегося трансформатора, град.;

$U_{\sin H}$ – напряжение синусной обмотки ВТ под нагрузкой, В;

$U_{\cos H}$ – напряжение косинусной обмотки ВТ под нагрузкой, В;

$U_{P-\sin}$ – расчетные значения напряжения синусной обмотки, В;

$U_{P-\cos}$ – расчетные значения напряжения косинусной обмотки, В;

k_{Tpsin} – значения коэффициента трансформации синусной обмотки;

k_{Tpcos} – значения коэффициента трансформации косинусной обмотки.

Поверните вал ВТ в новое положение, изменяя его угловое положение в диапазоне от 0° до 360° с шагом 10° . Для каждого положения вала проведите измерение выходного напряжения синусной и косинусной обмоток. Внесите полученные значения напряжений в таблицу 4.4.

Обратите внимание, что при угловом положении 180° необходимо точно подстроить положение вала ВТ, медленно поворачивая вал до тех пор, пока не получится минимальное значение выходного напряжения синусной обмотки, близкое по величине к напряжению при $\alpha = 0^\circ$. При угловых положениях 90° и 270° также необходимо точно подстроить

положение, медленно поворачивая вал до тех пор, пока не получится минимальное значение выходного напряжения косинусной обмотки.

По окончании эксперимента, отключите выключатели «Сеть» блока вращающегося трансформатора А1 и блока мультиметров Р1, отключите автоматический выключатель источника питания G1.

Определение показателей синусно-косинусного вращающегося трансформатора

Расчетное напряжение на выходе синусной обмотки представляет собой синусоидально изменяющееся напряжение, амплитуда которого совпадает с амплитудой реального выходного напряжения синусной обмотки под нагрузкой. Расчетное напряжение на выходе косинусной обмотки представляет собой косинусоидально изменяющееся напряжение, амплитуда которого совпадает с амплитудой выходного напряжения косинусной обмотки под нагрузкой.

Используя результаты измерений из таблицы 4.3 определите максимальные значения выходного напряжения синусной и косинусной обмоток $U_{\sin m}$ и $U_{\cos m}$. Сохраните эти значения в таблице 4.3. Используя найденные амплитудные значения напряжений найдите расчетные значения выходного напряжения синусной и косинусной обмоток при тех же угловых положениях вала, для которых проводились измерения:

$$U_{P-\sin}(\alpha) = U_{\sin m} \sin(\alpha);$$

$$U_{P-\cos}(\alpha) = U_{\cos m} \cos(\alpha).$$

Сохраните эти расчетные значения в таблице 4.4.

Постройте на одном графике все полученные зависимости выходного напряжения синусной и косинусной обмоток ВТ от углового положения вала: экспериментальные значения при холостом ходе $U_{\sin XX}$, $U_{\cos XX}$, значения напряжений под нагрузкой $U_{\sin H}$, $U_{\cos H}$ и расчетные значения выходного напряжения $U_{P-\sin}$, $U_{P-\cos}$. Поясните различия.

Найдите **погрешности воспроизведения синусной и косинусной зависимостей** выходного напряжения под нагрузкой. Для этого сравните экспериментальные значения выходного напряжения, полученные под нагрузкой, с расчетными значениями и выберите максимальные положительное и отрицательное отклонения. Максимальное положительное отклонение синусной обмотки находят по разнице

расчетных и экспериментальных значений выходного напряжения в диапазоне углов $0^\circ \dots 180^\circ$

$$\Delta U_{1m\sin} = \max(|U_{P-\sin} - U_{\sin H}|) \text{ при } \alpha = 0^\circ \dots 180^\circ.$$

Максимальное отрицательное отклонение синусной обмотки находят по разнице расчетных и экспериментальных значений выходного напряжения в диапазоне углов $180^\circ \dots 360^\circ$

$$\Delta U_{2m\sin} = \max(|U_{P-\sin} - U_{\sin H}|) \text{ при } \alpha = 180^\circ \dots 360^\circ.$$

Погрешность воспроизведения синусной зависимости выходного напряжения находят по формуле

$$\varepsilon_{\sin} = \frac{\Delta U}{U_{\sin m}} \cdot 100\% = \frac{1}{2} \cdot \frac{(\Delta U_{1m\sin} + \Delta U_{2m\sin})}{U_{\sin m}} \cdot 100\%.$$

Максимальное положительное отклонение косинусной обмотки находят по разнице расчетных и экспериментальных значений выходного напряжения в диапазоне углов $-90^\circ \dots 90^\circ$

$$\Delta U_{1m\cos} = \max(|U_{P-\cos} - U_{\cos H}|) \text{ при } \alpha = -90^\circ \dots 90^\circ.$$

Максимальное отрицательное отклонение косинусной обмотки находят по разнице расчетных и экспериментальных значений выходного напряжения в диапазоне углов $90^\circ \dots 270^\circ$

$$\Delta U_{2m\cos} = \max(|U_{P-\cos} - U_{\cos H}|) \text{ при } \alpha = 90^\circ \dots 270^\circ.$$

Погрешность воспроизведения косинусной зависимости выходного напряжения находят по формуле

$$\varepsilon_{\cos} = \frac{\Delta U}{U_{\cos m}} \cdot 100\% = \frac{1}{2} \cdot \frac{(\Delta U_{1m\cos} + \Delta U_{2m\cos})}{U_{\cos m}} \cdot 100\%.$$

Коэффициент трансформации синусно-косинусного вращающегося трансформатора рассчитывается для синусной и косинусной обмоток отдельно

$$k_{\text{трсин}}(\alpha) = k_{\text{трсин}m} \sin(\alpha) = \frac{U_{\sin m}}{U_1} \sin(\alpha);$$

$$k_{\text{тркос}}(\alpha) = k_{\text{тркос}m} \cos(\alpha) = \frac{U_{\cos m}}{U_1} \cos(\alpha).$$

Здесь $k_{\text{трсин}m}$ и $k_{\text{тркос}m}$ – максимальные значения коэффициентов трансформации синусной и косинусной обмоток, равные отношению

максимального выходного напряжения соответствующей обмотки к напряжению питания обмотки возбуждения U_1 .

Рассчитайте максимальные значения коэффициентов трансформации синусной и косинусной обмоток и с их помощью найдите значения коэффициентов трансформации этих обмоток при тех же угловых положениях вала, для которых проводились измерения. Сохраните эти значения в таблице 4.4.

Электродвижущая сила компенсационной обмотки равна измеренному в начале экспериментов напряжению на зажимах разомкнутой компенсационной обмотки U_K . Эту ЭДС принято выражает в процентах от величины питающего напряжения U_1 , подаваемого на обмотку возбуждения. Рассчитайте требуемое значение ЭДС по формуле

$$e_K = \frac{U_K}{U_1} \cdot 100\% .$$

Остаточные ЭДС в нулевых точках рассчитываются отдельно для синусной и косинусной обмоток. Нулевые точки синусной обмотки соответствуют положениям вала при $\alpha = 0^\circ$ и $\alpha = 180^\circ$. Нулевые точки косинусной обмотки соответствуют положениям вала при $\alpha = 90^\circ$ и $\alpha = 270^\circ$.

Среди экспериментальных значений выходного напряжения синусной обмотки при холостом ходе (таблица 4.3) найдите минимальные значения напряжения при $\alpha = 0^\circ$ и $\alpha = 180^\circ$ – остаточные ЭДС $E_{\text{остsin}}$. Среди экспериментальных значений выходного напряжения косинусной обмотки при холостом ходе найдите минимальные значения напряжения при $\alpha = 90^\circ$ и $\alpha = 270^\circ$ – остаточные ЭДС $E_{\text{остcos}}$. Сохраните найденные значения в таблице 4.5. Рассчитайте относительные значения остаточных ЭДС как

$$e_{\text{остsin}} = \frac{E_{\text{остsin}}}{U_{\text{sin } m}} \cdot 100\% \text{ и } e_{\text{остcos}} = \frac{E_{\text{остcos}}}{U_{\text{cos } m}} \cdot 100\% .$$

Таблица 4.5.

$U_{\text{sin } m} = \underline{\hspace{2cm}}$			$U_{\text{cos } m} = \underline{\hspace{2cm}}$		
α , град.	0	180	α , град.	90	270
$E_{\text{остsin}}$, В			$E_{\text{остcos}}$, В		
$e_{\text{остsin}}$, %			$e_{\text{остcos}}$, %		

В таблице принято:

- α – угловое положение вала вращающегося трансформатора, град.;
- $E_{\text{остsin}}$, $E_{\text{остcos}}$ – значения остаточной ЭДС обмоток, В;
- $e_{\text{остsin}}$, $e_{\text{остcos}}$ – относительные значения остаточной ЭДС обмоток, %.

Линейный вращающийся трансформатор: снятие зависимости выходного напряжения ЛВТ от углового положения вала

Синусоидальная зависимость выходного напряжения синусной обмотки синусно-косинусного трансформатора мало отличается от прямолинейной в диапазоне углов от -30° до $+30^\circ$. Этот диапазон можно существенно расширить, если применить специальную схему соединения обмоток, например, схему линейного вращающегося трансформатора с первичным симметрированием.

Перед началом исследований надо привести модули в исходное состояние, отключить их питание и соединить устройства в соответствии с требуемой схемой электрических соединений (рис. 4.4).

На рисунке 4.4 показана полная схема эксперимента, соответствующая подключенной нагрузке линейного вращающегося трансформатора с первичным симметрированием (зажимы компенсационной обмотки $C3-C4$ закорочены). При этом обмотка возбуждения $C1-C2$ соединена последовательно с косинусной обмоткой $P3-P4$ и вместе они подключены к источнику напряжения. Синусная обмотка $P1-P2$ является выходной. Она подключена к сопротивлению нагрузки $R1$ и к ней же подключается мультиметр для измерения выходного напряжения. Сопротивление нагрузки рекомендуется выбрать на уровне 1000 Ом.

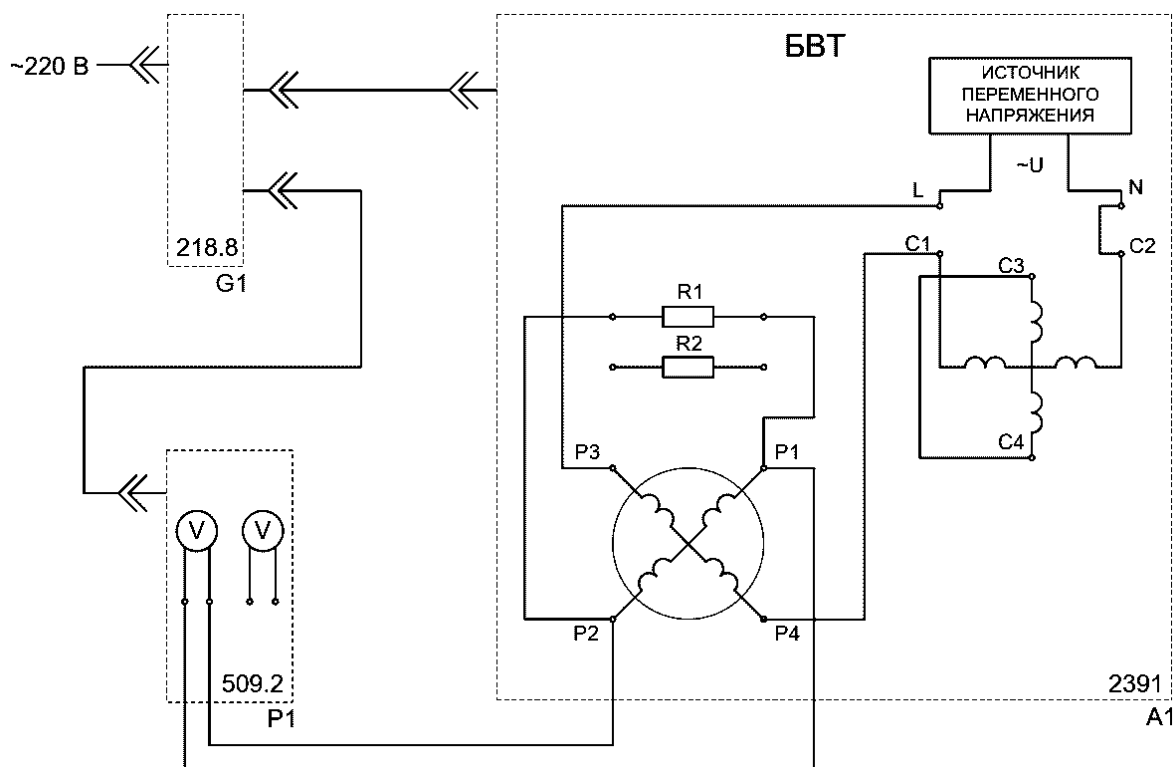


Рис. 4.4. Схема электрических соединений для исследования линейного вращающегося трансформатора

Снятие выходных характеристик

Включите автоматический выключатель источника питания $G1$ и выключатели «Сеть» блока вращающихся трансформаторов $A1$ и блока мультиметров $P1$. Активизируйте мультиметры.

Перед началом эксперимента с помощью одного из мультиметров измерьте напряжение на выходе источника питания U_1 – между зажимами L и N . Сохраните найденное значение в таблице 4.6.

Установите вал вращающегося трансформатора в положение «0». Для более точной подстройки положения медленно поворачивайте вал до тех пор, пока не получите минимального значения выходного напряжения обмотки (на мультиметре, подключенном к выходным зажимам $P1$ - $P2$). Внесите первое значение выходного напряжения U_2 в таблицу 4.6.

Таблица 4.6.

$U_1 =$ _____									
α , град.	-90	-85	...	-5	0	5	...	85	90
U_2 , В									
U_{P2} , В									

В таблице принято:

α – угловое положение вала вращающегося трансформатора, град.;

U_2 – выходное напряжение линейного ВТ под нагрузкой, В;

U_{P2} – расчетные значения выходного напряжения линейного ВТ, В.

Поверните вал ВТ в новое положение, изменяя его угловое положение в диапазоне от -90° до 90° с шагом 5° . Для каждого положения вала проведите измерение выходного напряжения U_2 . Внесите полученные значения напряжений в таблицу 4.6.

По окончании эксперимента, отключите выключатели «Сеть» блока вращающегося трансформатора $A1$ и блока мультиметров $P1$, отключите автоматический выключатель источника питания $G1$.

Определение показателей линейного вращающегося трансформатора

Расчетное напряжение на выходе линейного вращающегося трансформатора с первичным симметрированием может быть найдено по формуле

$$U_{P2}(\alpha) = \frac{U_1 k_{\text{трм}} |\sin(\alpha)|}{1 + k_{\text{трм}} \cos(\alpha)},$$

где $k_{\text{трм}}$ – максимальное значение коэффициента трансформации синусной обмотки (используемый в данной работе вращающийся трансформатор имеет $k_{\text{трм}} = 0,54$).

Найдите расчетные значения выходного напряжения при тех же угловых положениях вала, для которых проводились измерения. Сохраните эти расчетные значения в таблице 4.6.

Постройте на одном графике экспериментальные и расчетные зависимости выходного напряжения линейного ВТ от углового положения вала. Поясните различия.

Погрешность воспроизведения линейной зависимости выходного напряжения рассчитывают для диапазона углов от -60° до $+60^\circ$. Для этого сравнивают экспериментальные значения выходного напряжения с расчетными значениями при углах -60° и $+60^\circ$ и находят максимальные положительное и отрицательное отклонения. Максимальное положительное отклонение находят как

$$\Delta U_{1m} = |U_{\text{р2}} - U_2| \text{ при } \alpha = 60^\circ.$$

Максимальное отрицательное отклонение находят как

$$\Delta U_{2m} = |U_{\text{р2}} - U_2| \text{ при } \alpha = -60^\circ.$$

Погрешность воспроизведения линейной зависимости выходного напряжения находят по формуле

$$\varepsilon_{\text{л}} = \frac{\Delta U}{U_{2m}} \cdot 100\% = \frac{1}{2} \cdot \frac{(\Delta U_{1m} + \Delta U_{2m})}{U_{2m}} \cdot 100\% ,$$

где за максимальное вторичное напряжение U_{2m} принимают напряжение U_2 при угле $\alpha = 60^\circ$.

По таблице 4.6 найдите максимальное значение выходного напряжения U_{2m} , максимальное положительное и отрицательное отклонения и рассчитайте погрешность воспроизведения линейной зависимости.

Контрольные вопросы

1. Опишите конструкцию типичного вращающегося трансформатора.
2. Чем обеспечивается высокая точность вращающихся трансформаторов?
3. В чем причина погрешностей синусного вращающегося трансформатора?

4. Как влияет на погрешность вращающегося трансформатора использование сразу двух выходных обмоток – синусной и косинусной?
5. Что такое симметрирование вращающихся трансформаторов? Какие бывают виды симметрирования и как они влияют на погрешность вращающегося трансформатора?
6. Какие схемы включения обмоток используются в линейных вращающихся трансформаторах?
7. Как измерить асимметрию нулевых точек и остаточную ЭДС? На что влияют эти погрешности?
8. Что характеризует ЭДС компенсационной обмотки? Как ее измерить?
9. Что относится к конструктивным причинам погрешностей ВТ?
10. Что относится к технологическим причинам погрешностей ВТ?

Литература

1. Осин И.Л., Юферов Ф.М. Электрические машины автоматических устройств. – М.: Издательство МЭИ, 2003 - 410 с. (*Глава 16. Вращающиеся трансформаторы*).
2. Юферов Ф.М. Электрические машины автоматических устройств – М.: Высш. школа, 1988 – 479 с. (*Глава 16. Вращающиеся трансформаторы*).