

Лабораторная работа № 1

ИСПОЛНИТЕЛЬНЫЙ ДВИГАТЕЛЬ ПОСТОЯННОГО ТОКА

Целью работы является изучение способов управления исполнительным двигателем постоянного тока и снятие основных характеристик ИДПТ при разных способах управления.

Общие сведения

Микродвигатели постоянного тока мощностью от одного до нескольких сотен ватт широко применяются в схемах автоматики как в качестве вспомогательных (регулируемых и нерегулируемых) двигателей, предназначенных для привода всевозможных деталей и узлов автоматических устройств, так и в качестве исполнительных двигателей, преобразующих электрический сигнал (напряжение управления) в механическое перемещение – вращение вала.

Исполнительные микродвигатели, постоянного тока обладают целым рядом достоинств, из которых основными являются:

- линейность механических характеристик, а в случае якорного управления также и регулировочных характеристик;
- высокое использование активных материалов и, следовательно, малые габариты и масса;
- более высокий КПД по сравнению с асинхронными исполнительными двигателями.

Эти достоинства в значительной степени способствовали широкому распространению, исполнительных микродвигателей постоянного тока в схемах автоматического управления, несмотря на существенные недостатки, связанные в основном с наличием щеточно-коллекторного узла.

В конструктивном отношении исполнительный двигатель постоянного тока представляет собой обычную коллекторную машину постоянного тока с независимым возбуждением. В некоторых случаях обмотка полюсов отсутствует, и магнитный поток создается постоянными магнитами.

По способу управления различают два основных типа двигателей: с якорным и полюсным управлением. При якорном управлении (рис. 1.1, а) роль обмотки возбуждения выполняет обмотка полюсов, подключенная постоянно к сети с напряжением U_B .

Обмоткой управления в данном случае служит обмотка якоря, на которую подается регулируемое напряжение U_Y (электрический сигнал), причем только тогда, когда необходимо привести якорь во вращение.

При полюсном управлении (рис. 1.1, б) обмоткой возбуждения является обмотка якоря, подключенная постоянно к напряжению U_B , а

роль обмотки управления выполняет обмотка полюсов, на которую подается регулируемое напряжение U_y .

В настоящее время в схемах автоматики преимущественное применение получило якорное управление, так как при этом способе управления обеспечиваются благоприятные характеристики двигателей при минимальных потерях.

Однако в тех случаях, когда необходимо ограничить мощность управления, нередко используется полюсное управление. К сожалению, полюсное управление недоступно в исполнительных двигателях постоянного тока с возбуждением от постоянных магнитов. В них магнитный поток всегда остается постоянным.

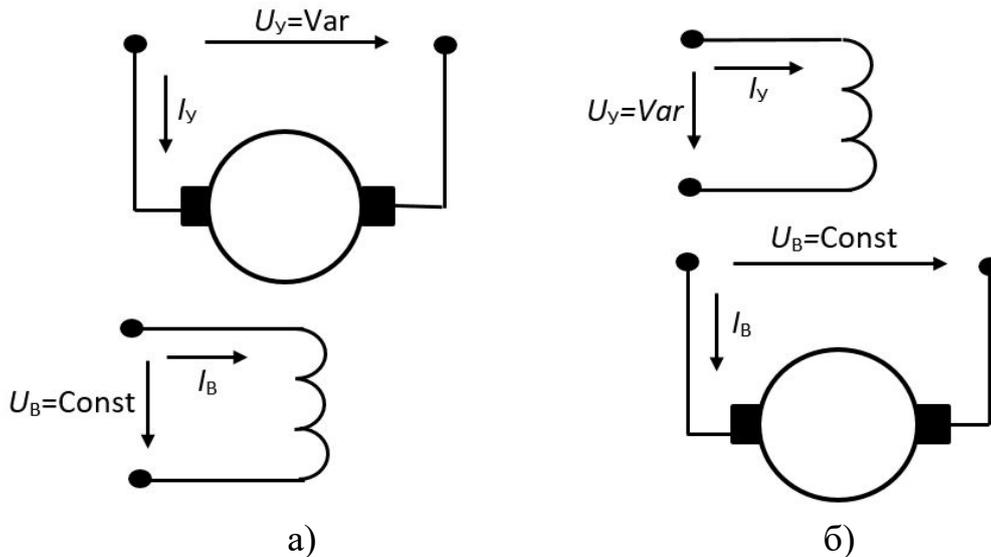


Рис. 1.1. Схемы включения исполнительных двигателей постоянного тока

При небольших мощностях исполнительных двигателей постоянного тока может применяться импульсное управление, являющееся разновидностью якорного способа управления. Оно отличается способом регулирования напряжения, подаваемого на обмотку якоря, однако, при этом изменяются основные характеристики ИДПТ.

В случае применения импульсного управления обмотку якоря подключают постоянно к напряжению U_B (как и обмотку возбуждения), но в цепь якоря включают полупроводниковый ключ, коммутируемый с высокой частотой. В зависимости от соотношения длительности включенного состояния и периода коммутации, которое называют коэффициентом заполнения, получают разные значения среднего напряжения, подаваемого к обмотке якоря за период коммутации, что приводит к изменению частоты вращения.

Импульсное управление в маломощных исполнительных двигателях позволяет обойтись без регулятора напряжения постоянного тока, обходясь одним полупроводниковым ключом с логической цепью задания коэффициента заполнения.

Программа работы

1. Экспериментальные исследования

1. Для исполнительного двигателя с якорным управлением:

1.1. Снять семейство механических характеристик $n = f(M)$ при значениях напряжения управления $U_y = 12$ В, $U_y = 8$ В и $U_y = 4$ В.

1.2. Снять семейство регулировочных характеристик $n = f(U)$ при холостом ходе и при значении момента сопротивления $M_c = 2$ мНм.

2. Для исполнительного двигателя с импульсным управлением:

2.1. Снять семейство механических характеристик $n = f(M)$ при значениях коэффициента заполнения $\tau = 0,8$ и $\tau = 0,66$.

2.2. Снять семейство регулировочных характеристик $n = f(\tau)$ при холостом ходе и при значении момента сопротивления $M_c = 2$ мНм.

2. Обработка результатов эксперимента

1. Для исследуемого исполнительного двигателя постоянного тока определить базовые значения момента, частоты вращения, механической мощности и напряжения.

2. На основании снятой механической характеристики ИДПТ с якорным управлением для каждого значения напряжения якоря рассчитать зависимость механической мощности от частоты вращения.

3. Применяв систему относительных единиц построить на отдельных графиках семейства характеристик для ИДПТ с якорным управлением:

- механические характеристики $v = f(m)$;
- регулировочные характеристики $v = f(\alpha)$;
- зависимости механической мощности от скорости $p = f(v)$.

4. На основании снятой механической характеристики ИДПТ с импульсным управлением для каждого значения коэффициента заполнения рассчитать зависимость механической мощности от частоты вращения.

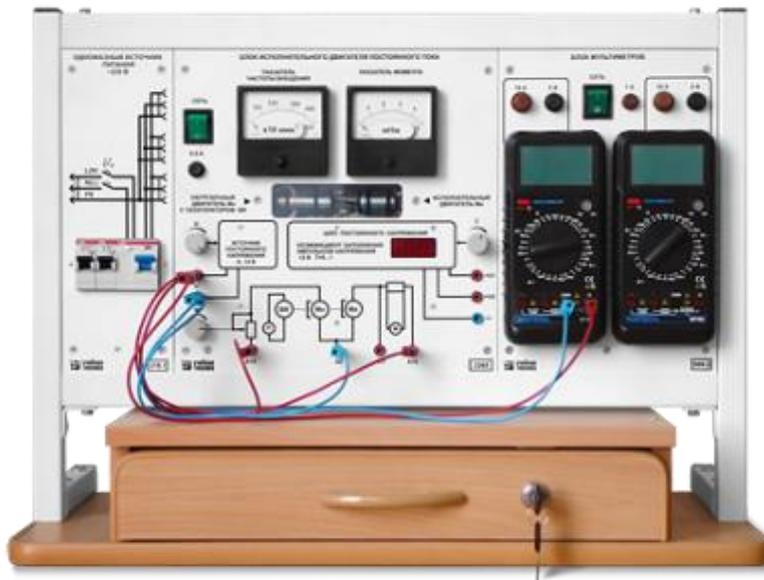
5. Применяв систему относительных единиц построить на отдельных графиках семейства характеристик для ИДПТ с импульсным управлением:

- механические характеристики $v = f(m)$ (включая характеристику для $\tau = 1$);
- регулировочные характеристики $v = f(\tau)$;
- зависимости механической мощности от скорости $p = f(v)$.

6. Сделать выводы о преимуществах и недостатках каждого из исследованных способов управления исполнительным двигателем постоянного тока.

Пояснения и указания к работе

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



Общий вид лабораторного стенда

Исследуемый исполнительный двигатель постоянного тока со встроенным тахогенератором имеет номинальное напряжение 12 В, частоту вращения холостого хода 4400 об/мин и момент короткого замыкания 4,5 мНм. В качестве нагрузочного двигателя используется двигатель постоянного тока с максимально допустимой частотой вращения 5000 об/мин. Для индикации частоты вращения и момента сопротивления двигателя используются миллиамперметры. Для индикатора частоты вращения цена деления составляет 200 об/мин, для индикатора момента сопротивления цена деления – 0,2 мНм. Для управления исполнительным двигателем используется регулируемый источник постоянного напряжения $U = 2...12$ В либо широтно-импульсный преобразователь постоянного напряжения (ШИП) с регулируемым коэффициентом заполнения $\tau = 0...1$ при амплитудном значении напряжения 12 В.

В случае использования регулируемого источника постоянного напряжения схема включения ИДПТ и нагрузочного двигателя показана на рис. 1.2.

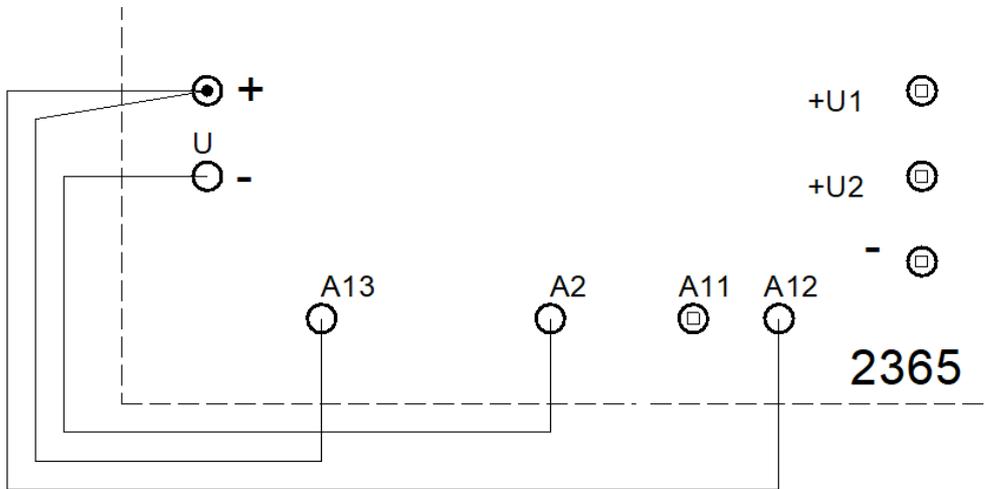


Рис. 1.2. Типовая схема включения блока ИДПТ при работе от источника постоянного напряжения

В случае использования широтно-импульсного преобразователя постоянного напряжения схема включения показана на рис. 1.3.

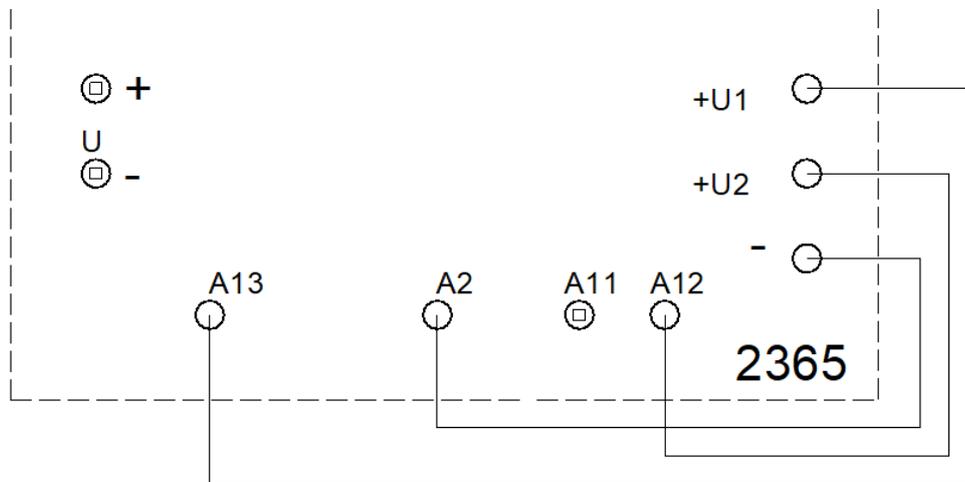


Рис. 2.4. Типовая схема включения блока ИДПТ при работе от ШИП

Для этого необходимо включить автоматический выключатель источника питания $G1$ и включить выключатель «Сеть» блока $A1$.

Снятие механических характеристик ИДПТ при якорном управлении

Перед началом исследований надо привести модули в исходное состояние, отключить их питание и соединить устройства в соответствии с требуемой схемой электрических соединений (рис. 1.4). Вольтметр подключается к выходу источника постоянного напряжения.

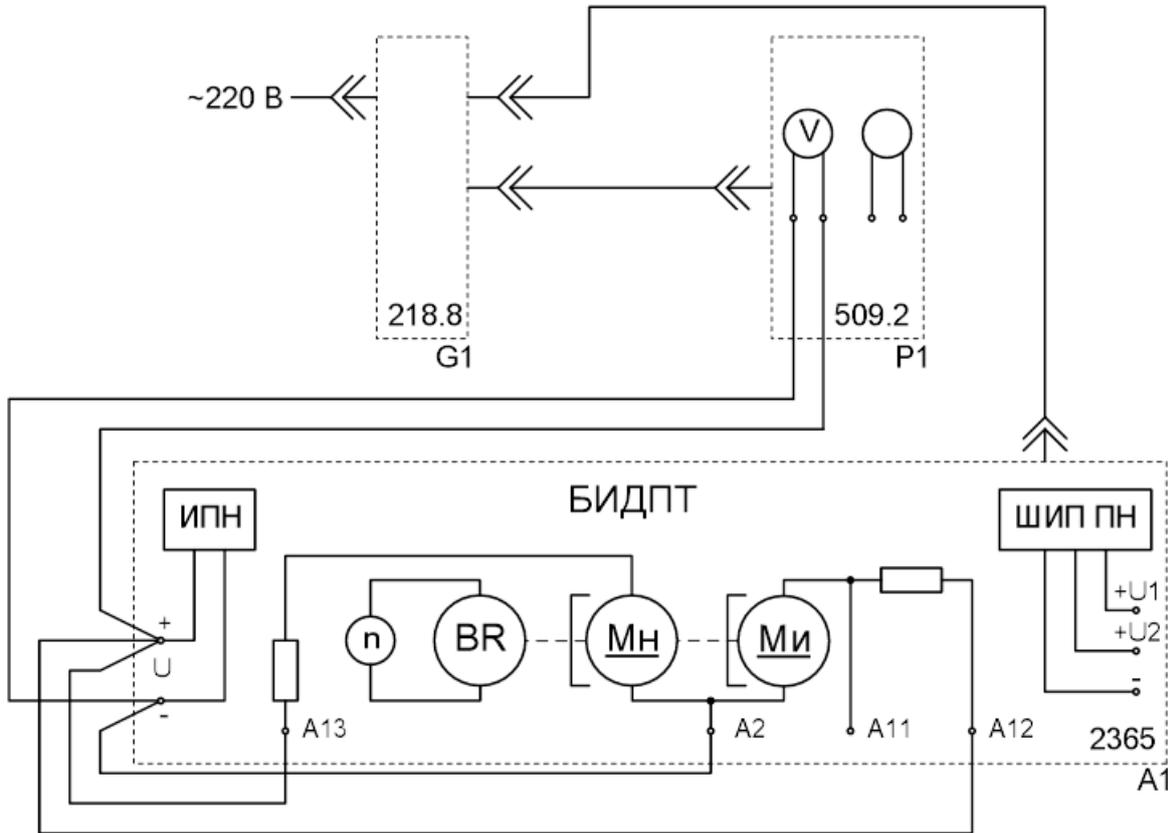


Рис. 1.4. Схема электрических соединений для исследования ИДПТ при якорном управлении

Включите автоматический выключатель источника питания $G1$ и выключатель «Сеть» блока мультиметров $P1$. Активизируйте и настройте необходимые мультиметры в соответствии с планируемыми измерениями.

В блоке ИДПТ $A1$ рукоятку « U » источника постоянного напряжения и рукоятку « M » в цепи нагрузочного двигателя установите в крайнее левое положение против часовой стрелки, выбрав нулевое значение напряжения питания и момента нагрузки.

Включите выключатель «Сеть» блока ИДПТ $A1$ и с помощью рукоятки « U » источника постоянного напряжения установите первое значение напряжения $U_y = 12$ В (контролируя напряжение с помощью подключенного мультиметра).

С помощью рукоятки «М» изменяйте момент сопротивления на валу исполнительного двигателя. Контролируйте значения момента и соответствующую частоту вращения по показаниям стрелочных индикаторов с учетом известной цены деления.

Изменяя значение момента нагрузки в диапазоне от минимального до короткого замыкания снимите механическую характеристику двигателя $n = f(M)$ при заданном постоянном напряжении (не менее 10 точек во всем диапазоне нагрузки). Сохраните значения в таблице 1.1. В ходе эксперимента поддерживайте напряжение на заданном уровне.

Повторите опыт и снимите механические характеристики при других заданных напряжениях.

По окончании эксперимента, поверните рукоятки «U» и «M» блока ИДПТ в крайнее левое положение против часовой стрелки, отключите выключатели «Сеть» блока ИДПТ и блока вольтметров, отключите автоматический выключатель источника питания G1.

Таблица 1.1.

$U_y = 12 \text{ В}$										
n , об/мин										
M , мНм										
$U_y = 8 \text{ В}$										
n , об/мин										
M , мНм										
$U_y = 4 \text{ В}$										
n , об/мин										
M , мНм										

В таблице принято:

U_y – напряжение питания двигателя, В;

n – частота вращения двигателя в об/мин;

M – величина момента нагрузки в мНм.

Снятие регулировочных характеристик ИДПТ при якорном управлении

Убедитесь, что все устройства соединены в соответствии с требуемой схемой электрических соединений (рис. 1.4).

Включите автоматический выключатель источника питания G1 и выключатель «Сеть» блока мультиметров P1. Активизируйте и настройте необходимые мультиметры в соответствии с планируемыми измерениями.

В блоке ИДПТ А1 рукоятку «U» источника постоянного напряжения и рукоятку «M» в цепи нагрузочного двигателя установите в крайнее левое

положение против часовой стрелки, выбрав нулевое значение напряжения питания и момента нагрузки.

Для исключения влияния нагрузочного двигателя в режиме холостого хода ИДПТ отключите нагрузочный двигатель от источника питания, отсоединив гнездо «+» от гнезда «А13».

Включите выключатель «Сеть» блока ИДПТ А1 и с помощью рукоятки «U» источника постоянного напряжения изменяйте напряжение на исполнительном двигателе в диапазоне от 0 до номинального напряжения, контролируя частоту вращения с помощью стрелочного индикатора (не менее 10 точек во всем диапазоне напряжения). Сохраните полученные значения регулировочной характеристики в таблице 1.2.

После снятия регулировочной характеристики при холостом ходе поверните рукоятку «U» источника постоянного напряжения в крайнее левое положение против часовой стрелки, выбрав нулевое напряжение.

Отключите выключатель «Сеть» блока ИДПТ А1 и подключите нагрузочный двигатель к источнику питания, соединив гнезда «+» и «А13».

Включите выключатель «Сеть» блока ИДПТ А1 и с помощью рукоятки «U» источника постоянного напряжения выберите некоторое напряжение питания, например 10 В. С помощью рукоятки «M» установите требуемое значение момента сопротивления $M_c = 2$ мНм. При необходимости, подрегулируйте значения напряжения и затем момента.

Вращая рукоятку «U» источника постоянного напряжения, изменяйте напряжение питания ИДПТ в диапазоне от минимального до номинального напряжения, поддерживая момент сопротивления на неизменном уровне. Сохраните полученные значения напряжения питания и соответствующей частоты вращения при заданном моменте сопротивления в таблице 1.2.

По окончании эксперимента, поверните рукоятки «U» и «M» блока ИДПТ в крайнее левое положение против часовой стрелки, отключите выключатели «Сеть» блока ИДПТ и блока вольтметров, отключите автоматический выключатель источника питания G1.

Таблица 1.2.

$M_c = 0$										
n , об/мин										
U , В										
$M_c = 2$ мНм										
n , об/мин										
U , В										

В таблице принято:

U – напряжение питания двигателя, В;

n – частота вращения двигателя в об/мин;
 M_c – величина момента сопротивления в мНм.

Снятие механических характеристик ИДПТ при импульсном управлении

Перед началом исследований надо привести модули в исходное состояние, отключить их питание и соединить устройства в соответствии с требуемой схемой электрических соединений (рис. 1.5).

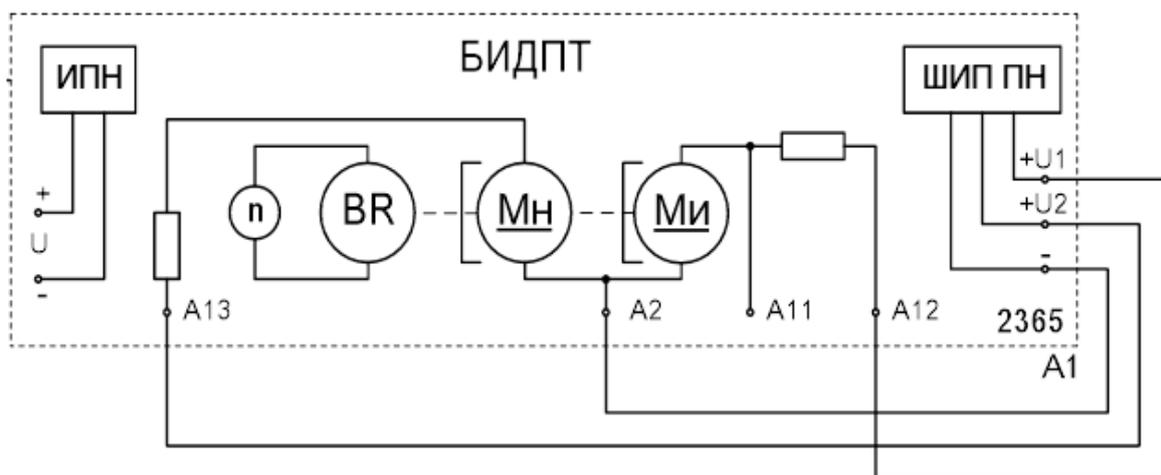


Рис. 1.5. Схема электрических соединений для исследования ИДПТ при импульсном управлении

Включите автоматический выключатель источника питания $G1$.

В блоке ИДПТ $A1$ рукоятку « M » в цепи нагрузочного двигателя установите в крайнее левое положение против часовой стрелки, выбрав нулевое значение момента нагрузки.

Включите выключатель «Сеть» блока ИДПТ $A1$ и с помощью рукоятки « τ » широтно-импульсного преобразователя (ШИП) постоянного напряжения установите первое значение коэффициента заполнения $\tau = 0,8$.

С помощью рукоятки « M » изменяйте момент сопротивления на валу исполнительного двигателя. Контролируйте значения момента и соответствующую частоту вращения по показаниям стрелочных индикаторов с учетом известной цены деления.

Изменяя значение момента нагрузки в диапазоне от минимального до короткого замыкания снимите механическую характеристику двигателя $n = f(M)$ при заданном коэффициенте заполнения. Сохраните значения в таблице 4.3.

Повторите опыт и снимите механические характеристики при других заданных значениях коэффициента заполнения.

По окончании эксперимента, поверните рукоятки « τ » и « M » блока ИДПТ в крайнее левое положение против часовой стрелки, отключите

выключатели «Сеть» блока ИДПТ, отключите автоматический выключатель источника питания G1.

Таблица 1.3.

$\tau = 0,8$										
n , об/мин										
M , мНм										
$\tau = 0,66$										
n , об/мин										
M , мНм										

В таблице принято:

τ – коэффициент заполнения импульсов в напряжении питания, В;

n – частота вращения двигателя в об/мин;

M – величина момента нагрузки в мНм.

Снятие регулировочных характеристик ИДПТ при импульсном управлении

Убедитесь, что все устройства соединены в соответствии с требуемой схемой электрических соединений (рис. 1.5).

В блоке ИДПТ А1 рукоятку «М» в цепи нагрузочного двигателя установите в крайнее левое положение против часовой стрелки, выбрав нулевое значение момента нагрузки.

Для исключения влияния нагрузочного двигателя в режиме холостого хода ИДПТ отключите нагрузочный двигатель от источника питания, отсоединив гнездо «+U2» от гнезда «A13».

Включите выключатель «Сеть» блока ИДПТ А1 и с помощью рукоятки « τ » ШИП постоянного напряжения плавно повышайте значения коэффициента заполнения импульсов напряжения на исполнительном двигателе от 0 до момента начала вращения ИДПТ. Зафиксируйте это первое значение коэффициента заполнения по индикатору τ и соответствующее значение момента холостого хода по индикатору момента. Сохраните полученные значения в таблице 1.4.

С помощью рукоятки « τ » ШИП постоянного напряжения плавно повышайте значения коэффициента заполнения вплоть до значения $\tau = 1$ и контролируйте изменение частоты вращения (не менее 10 точек во всем диапазоне τ). Сохраните значения коэффициента заполнения и частоты вращения при неизменном моменте холостого хода в таблице 1.4.

После снятия регулировочной характеристики при холостом ходе поверните рукоятку « τ » ШИП постоянного напряжения в крайнее левое положение против часовой стрелки, выбрав нулевое значение.

Отключите выключатель «Сеть» блока ИДПТ А1 и подключите нагрузочный двигатель к источнику питания, соединив гнезда «+U2» и «А13».

Включите выключатель «Сеть» блока ИДПТ А1 и с помощью рукоятки «τ» ШИП постоянного напряжения выберите некоторое значение коэффициента заполнения, например 0,8. С помощью рукоятки «M» установите требуемое значение момента сопротивления $M_c = 2$ мНм. Сохраните значения коэффициента заполнения и частоты вращения в таблице 1.4.

Вращая рукоятку «τ» ШИП постоянного напряжения, изменяйте коэффициент заполнения во всем доступном диапазоне, поддерживая момент сопротивления на неизменном уровне. Сохраните полученные значения коэффициента заполнения и соответствующей частоты вращения при заданном моменте сопротивления в таблице 1.4.

По окончании эксперимента, поверните рукоятки «τ» и «M» блока ИДПТ в крайнее левое положение против часовой стрелки, отключите выключатель «Сеть» блока ИДПТ, отключите автоматический выключатель источника питания G1.

Таблица 1.4.

$M_c = M_{xx} =$										
n , об/мин										
τ										
$M_c = 2$ мНм										
n , об/мин										
τ										

В таблице принято:

τ – коэффициент заполнения импульсов в напряжении питания, В;

n – частота вращения двигателя в об/мин;

M_c – величина момента сопротивления в мНм.

Определение механической мощности ИДПТ

Механическая мощность, развиваемая двигателем, может быть найдена в любом режиме работы как произведение момента и угловой скорости вращения. Таким образом, на основании полученной экспериментально механической характеристики исполнительного двигателя $n = f(M)$ может быть получена зависимость механической мощности от частоты вращения.

Подобные зависимости должны быть найдены для всех исследованных напряжений питания при якорном управлении ИДПТ и

для всех значений коэффициента заполнения при импульсном управлении ИДПТ (включая значение $\tau = 1$).

Система относительных единиц для исполнительных двигателей

В теории автоматического управления принято использовать систему относительных единиц и характеристики исполнительных двигателей строить именно в относительных единицах. Для получения значений переменных в относительных единицах находят их долю от базовых значений соответствующих переменных.

В качестве базового напряжения управления принято использовать напряжение возбуждения, которое всегда остается неизменным. В случае двигателей с возбуждением от постоянных магнитов в качестве базового выбирают номинальное напряжение питания U_H . В таком случае величину напряжения управления, подаваемого к ИДПТ с якорным управлением, выражают через коэффициент сигнала и номинальное напряжение, где коэффициент сигнала

$$\alpha = U_y / U_H.$$

Коэффициент сигнала принимает значения от 0 до 1.

В случае ИДПТ с импульсным управлением в качестве сигнала управления используют коэффициент заполнения импульсов напряжения, изменяющийся в диапазоне от 0 до 1. Причем коэффициент заполнения $\tau = 1$ соответствует подаче постоянного номинального напряжения U_H .

В качестве базового момента исполнительного двигателя постоянного тока принимают момент $M_{к1}$, развиваемый двигателем при пуске ($n = 0$) в случае коэффициента сигнала, равного 1, т.е. при напряжении питания, равном U_H . Тогда значение момента в относительных единицах находят как

$$m = M / M_{к1}.$$

За базовую частоту вращения исполнительного двигателя постоянного тока принимают частоту вращения идеального холостого хода n_0 (при $M = 0$) в случае напряжения питания, равном номинальному, т.е. при коэффициенте сигнала, равном 1. Величина скорости или частоты вращения в относительных единицах находится как

$$v = \Omega / \Omega_{01} = n / n_{01}.$$

Заметим, что выбор базовых величин не меняется при любом способе управления ИДПТ.

В качестве базовой механической мощности в исполнительных двигателях используют произведение базового момента и базовой угловой

скорости. В таком случае механическая мощность в относительных единицах всегда может быть найдена как

$$p = m \cdot v.$$

Для исполнительных двигателей, предназначенных для работы в постоянно изменяющихся условиях при разных сигналах управления, неочевидным становится выбор значения номинальной мощности. Именно для номинальной мощности и номинальной частоты вращения производится тепловой расчет и проверяются перегревы разных частей электрической машины. Для исполнительных двигателей в качестве номинальной мощности выбирается максимальное значение мощности при коэффициенте сигнала, равном 1. А соответствующее значение частоты вращения принимается за номинальную частоту вращения.

Характеристики исполнительных двигателей в относительных единицах

Для исполнительных двигателей, способных работать с различными сигналами управления, принято строить семейства характеристик. Основными характеристиками являются семейство механических характеристик $v = f(m)$ при разных значениях сигнала управления и семейство регулировочных характеристик $v = f(\alpha)$ или $v = f(\tau)$, построенных при разных значениях момента сопротивления. Кроме того, для каждого способа управления строят зависимости механической мощности от скорости $p = f(v)$ при фиксированных значениях сигнала управления.

Контрольные вопросы

1. Перечислите основные достоинства и недостатки исполнительных двигателей постоянного тока (ИДПТ).
2. Укажите основные виды ИДПТ, отличающиеся конструкцией якоря и способом возбуждения.
3. Как осуществляется якорное, импульсное и полюсное управление ИДПТ?
4. Какие значения момента и частоты вращения ИДПТ принимаются в качестве базовых при построении его относительных характеристик?
5. Какой вид имеют механические характеристики ИДПТ а) при якорном управлении; б) при импульсном управлении; в) при полюсном управлении? В чем состоит их различие?
6. По каким двум точкам можно построить механические характеристики ИДПТ?

7. Какой вид имеют регулировочные характеристики ИДПТ: а) при якорном управлении; б) при импульсном управлении; в) при полюсном управлении?

8. В чем проявляется ограниченность применения полюсного управления ИДПТ? Что ограничивает применимость импульсного управления? Якорного управления?

9. В каких случаях целесообразно применять полюсное управление ИДПТ?

10. Как определить начальный пусковой момент ИДПТ?

11. При каких условиях холостой ход ИД называют «идеальным»?

12. Как влияет на быстродействие ИД момент инерции ротора?

Литература

1. Испытание электрических микромашин. – М.: Высш. школа, 1984. - 300 с. (*Глава 8. Испытание исполнительных микродвигателей*)

2. Осин И.Л., Юферов Ф.М. Электрические машины автоматических устройств. – М.: Издательство МЭИ, 2003 - 410 с. (*Глава 11. Исполнительные двигатели постоянного тока*).

3. Юферов Ф.М. Электрические машины автоматических устройств – М.: Высш. школа, 1988 – 479 с. (*Глава 11. Исполнительные двигатели постоянного тока*).