

СПОСОБЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ ПУСКОМ И ТОРМОЖЕНИЕМ АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ С КОРОТКОЗАМКНУТЫМ РОТОРОМ

(2 часа)

I. ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Изучение особенностей автоматического управления пуском и торможением асинхронного двигателя (АД) с короткозамкнутым (к.з.) ротором.

II. ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ВВЕДЕНИЕ

Асинхронные двигатели с к.з. ротором широко распространены в металлургии для приводов механизмов доменных печей, транспортных рольгангов, различных типов мостовых кранов, вентиляторов и насосов малой мощности и т.д., благодаря своей дешевизне, высокому к.п.д., простой конструкции и надежности в работе.

Для управления пуском используют схему прямого включения двигателя в питающую сеть с использованием магнитного пускателя. Он состоит из одного или двух контакторов, смонтированных вместе с тепловым реле в общем корпусе. Схема управления АД с к.з. ротором приведена на рис. 3.1А. С ее помощью осуществляют следующие функции:

- пуск двигателя в двух направлениях;
- остановку двигателя;
- защиту от одновременного включения "вперед" и "назад";
- защиту от перегрузки и короткого замыкания;
- защиту от исчезновения напряжения сети (нулевая защита);

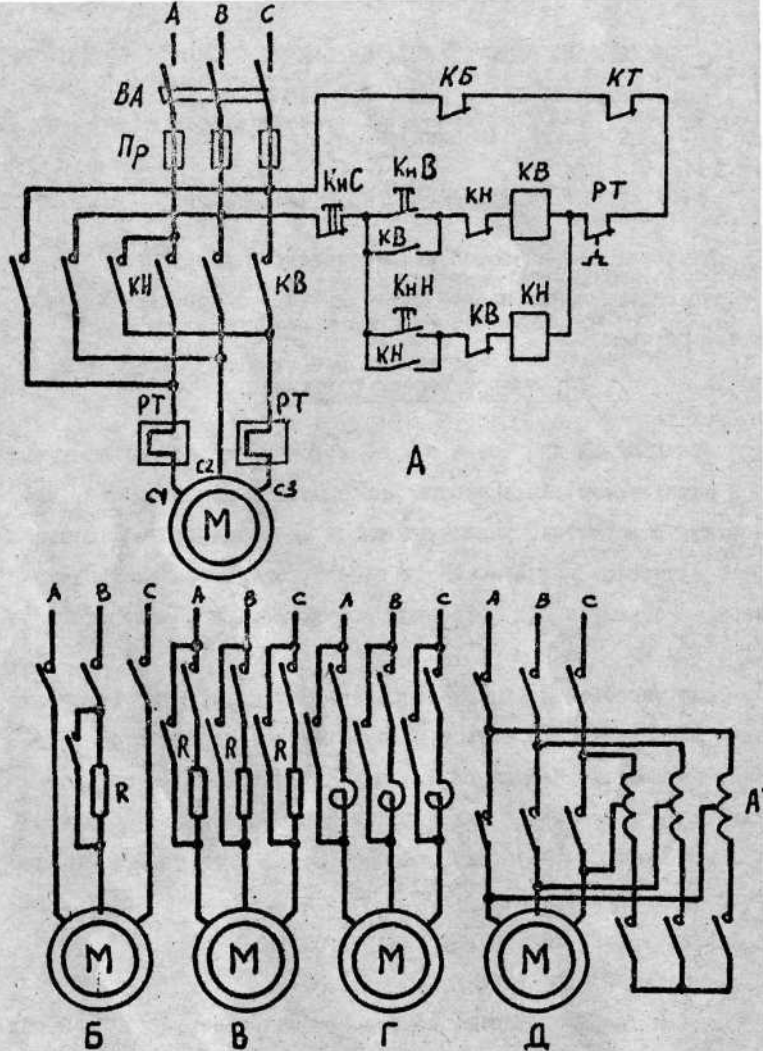


Рис. 3.1. Схемы пуска асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором

- защиту от нарушения технологического процесса;
- защиту от нарушений правил техники безопасности.

Рассмотрим работу схемы

Для пуска "вперед" необходимо нажать кнопку КнВ. Замыкается цепь катушки контактора КВ через замыкающие технологические контакты КТ (например, контакты, размыкающиеся при отключении принудительной вентиляции), контакты безопасности КБ (например, контакты, размыкающиеся при открывании дверей шкафа управления), контакты тепловых реле РТ (нагревательные элементы, которые включены в две фазы двигателя), катушка контактора "вперед"- КВ, размыкающий контакт контактора "назад"- КН (что исключает включения контактора "вперед" при включении контактора "назад"), кнопку КнС. Срабатывают все размыкающие контакты контактора КВ, что приводит к подключению на нажимы статора двигателя С1, С2, С3 соответственно фаз напряжения сети А, В, С. Блокировочный контакт КВ шунтирует (блокирует) кнопку КнВ и позволяет ее опустить. Двигатель начинает вращаться.

При нажатии кнопки КнП все происходит аналогично, только вместо цепи катушки КВ замыкается цепь катушки КН. Контакты контактора КН подключают фазу сети А к зажиму двигателя С3, а фазу сети С к зажиму С1. Происходит переключение фаз и направление вращения двигателя меняется. Остановка двигателя производится нажатием кнопки КнС.

Защита от перегрузок осуществляется тепловым реле РТ, которое размыкает контакт РТ в цепи катушек КВ и КН, а защита от коротких замыканий - плавкими предохранителями, защита от исчезновения напряжения осуществляется контактора

ми КН и КВ. При значительном снижении напряжения или его исчезновении контактор отключает двигатель от сети.

При пуске двигателей большой мощности иногда требуется ограничить величину пускового тока до допустимой для питающей системы. Чтобы смягчить удары в передачах и обеспечить плавное ускорение, применяют схемы, ограничивающие пусковой момент двигателей. Практические способы ограничения пускового тока и момента приведены на рис. 3.1 (Б, В, Г, Д). Включение в статорную цепь двигателя сопротивлений, реакторов и автотрансформатора снижает напряжение, подводимое к статорным клеммам двигателя, что приводит к уменьшению критического и пускового момента двигателя, так как

$$M \equiv U^2 \quad (3.1)$$

Пусковой ток снижается в значительно меньшей степени. Необходимо учитывать, что понижение напряжения влечет за собой уменьшение магнитного потока двигателя. При одном и том же моменте нагрузки уменьшения потока вызывает увеличение тока ротора, так как момент двигателя, приблизительно пропорциональный произведению тока ротора на величину потока, должен и при пониженном напряжении уравновешивать момент нагрузки. Если напряжение снижено более, чем на 5 %, то возможен перегрев обмотки ротора, поэтому такое понижение напряжения должно сопровождаться снижением нагрузки. Поэтому каждый из рассматриваемых способов пуска имеет свою область применения.

Если требуется понизить пусковой момент и нет ограничений по току, используют для двигателей малой и средней мощности схему пуска на рис. 3.1Б, как самую простую и дешевую.

Добавочное сопротивление R , включаемое в одну фазу двигателя, определяют на основании универсальных кривых, приведенных на рис. 3.2. Предварительно определяют относительный пусковой момент двигателя

$$M_n = \frac{M_{ип}}{M_{ен}}, \quad (3.2)$$

где $M_{ип}$ — пусковой момент при включении сопротивления в фазу двигателя. Обычно

$$M_{ип} = (1,1 \div 1,3) M_n, \quad (3.3)$$

$M_{ен}$ — пусковой момент при отсутствии сопротивлений в фазах двигателя.

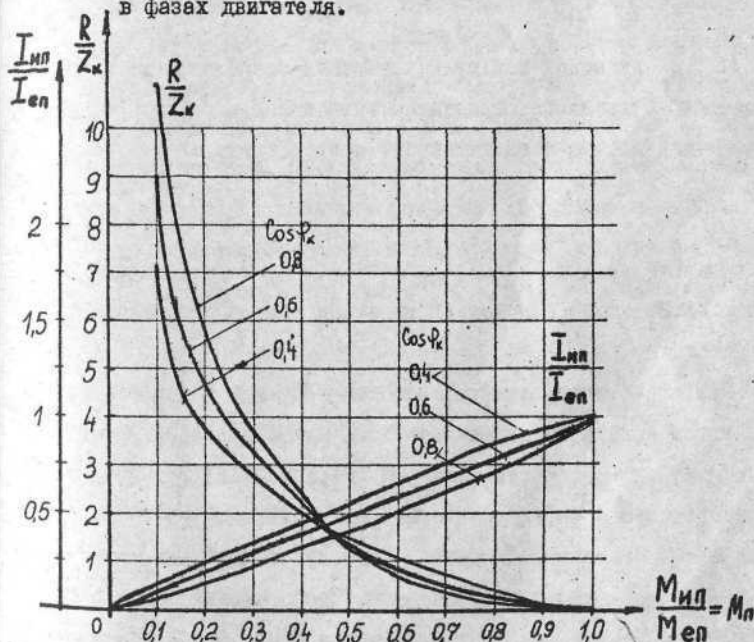


Рис. 3.2. Универсальные характеристики привода

В каталогах приведено значение

$$\lambda = \frac{M_{en}}{M_n} \quad (3.4)$$

По кривым для M_n находим относительное сопротивление $\zeta^* = \frac{R}{Z_k}$, где R — величина добавочного активного сопротивления, Z_k — полное сопротивление фазы двигателя при коротком замыкании.

Относительное сопротивление ζ^* определяется при соответствующем $\cos \varphi_k$. Средний $\cos \varphi_k$ для большинства серий двигателей можно принять равным 0,5.

Величину Z_k находим по формуле

$$Z_k = \frac{U_n}{\sqrt{3} I_{en}} \quad (3.5)$$

где I_{en} — пусковой ток при отсутствии сопротивлений в фазах двигателя. В каталогах приведено значение I_{en} / I_n . Определяем величину добавочного активного сопротивления:

$$R = \zeta^* \cdot Z_k \quad (3.6)$$

На основании кривых $I_{en} / I_n = f(M_{ин} / M_{en})$, приведенных на рис. 3.2, можно определить величину тока в сопротивлении при пуске.

При пуске двигателя на холостом ходу или с малой нагрузкой, когда требуется ограничить ток, нужно применять пуск через симметричные сопротивления R (рис. 3.1В) для низковольтных двигателей и через реакторы (рис. 3.1Г) для высоковольтных двигателей. Используются также схемы пуска для двигателей большой мощности, приводящие генераторы преобразовательных агрегатов и т.п. Схема с автотрансформатором (рис. 3.1Д) обходится дороже и оправдывается в установках с высоковольтными двига-

телями большой мощности (например, синхронные компенсаторы).

Асинхронные двигатели обладают свойствами обратимости, т.е. могут работать как в двигательном, так и в тормозном режимах. Рассмотрим принцип работы асинхронных двигателей в режимах противозвключения и динамического торможения.

Динамическое торможение АД заключается в том, что обмотку статора отключают от питающей сети и подключают к источнику постоянного тока пониженного напряжения. Создается неподвижное магнитное поле, в котором по инерции продолжает вращаться ротор двигателя.

В обмотках ротора наводится переменная э.д.с. и протекает переменный ток. Этот ток, взаимодействуя с неподвижным магнитным полем статора, создает тормозящий момент. После прекращения вращения ротора постоянный ток должен быть отключен. Подключение постоянного тока (тока возбуждения) осуществляется по одной из схем (в зависимости от того, как соединена обмотка статора в треугольник или в звезду), показанных на рис. 3.3. Эти схемы являются наиболее простыми, дешевыми и надежными, так как требуют по сравнению с другими схемами меньшего

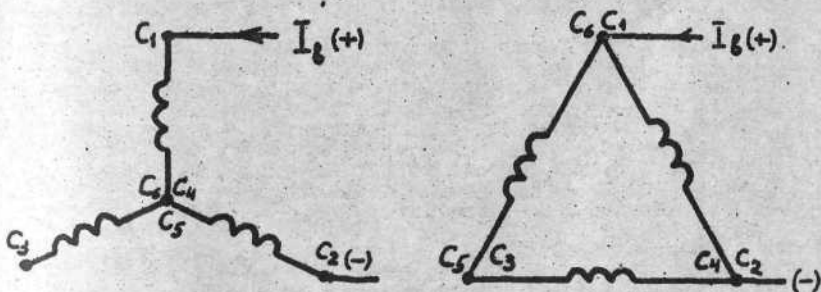


Рис. 3.3. Схемы подключения постоянного тока в обмотки статора двигателя

количества силовых контакторов и меньшего количества внешних проводов. Вид механических характеристик динамического торможения для асинхронных двигателей показан на рис. 3.4.

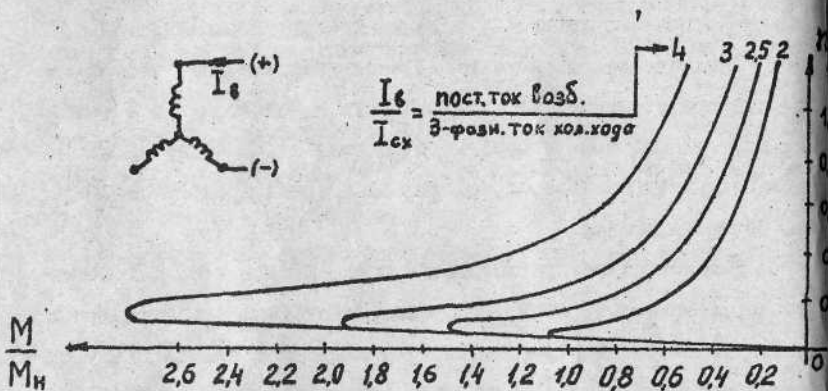


Рис. 3.4. Механические характеристики динамического торможения асинхронного двигателя

Вследствие малого начального тормозящего момента двигатель значительную часть времени вращается с высокой скоростью, что приводит к большому выбегу по пути. Для получения удовлетворительного торможения подают относительно большие токи возбуждения до 3+5 кратных трехфазного тока холостого хода или начинают торможение с пониженных скоростей. Например, для рольганговых двигателей используется динамическое торможение, так как они работают с пониженной частотой.

Чтобы ток возбуждения (I_g) не превышал допустимого значения, вводят внешнее сопротивление в цепь статора, которое рассчитывают по формуле

$$Z_b = \frac{U_H}{I_{b\text{доп}}} - 2Z_c,$$

где $I_{b\text{доп}} = (3+5)I_{сх}$ - допустимое значение тока возбуждения;
 $I_{сх}$ - трехфазный ток холостого хода двигателя;
 U_H - напряжение сети постоянного тока;
 Z_c - сопротивление обмотки статора определяется по паспортным данным машины.

Автоматизация перехода двигателя из двигательного режима в тормозной после отключения его кнопкой КНС (стоп) может быть осуществлена различными способами.

В данной работе применяют схему (рис. 3.5), в которой используют:

- контактор торможения (КТ) для включения и последующего отключения постоянного тока в цепи обмотки статора двигателя;
- реле времени (РДТ), контролирующее время окончания динамического торможения.

Режим противовключения может быть получен путем переключения вращающегося двигателя на обратное направление вращения. При этом ротор двигателя вращается в сторону, обратную направлению момента, развиваемого двигателем. В результате на валу электродвигателя возникает тормозящий момент. Если при достижении скорости вращения двигателя, близкой к нулевой, обмотку его статора не отключить от питающей сети, то двигатель может снова перейти в двигательный режим, изменив направление своего вращения.

Сравнение режимов торможения показывает, что наибольшее потребление энергии из сети имеет место в режиме противовключения, т.к. в этом режиме энергия, потребляемая из сети, и

$$t_r = J \frac{n_1}{M_r + M_c}, \quad (3.8)$$

где J - момент инерции вращающихся масс в кгм;
 M_r - тормозной момент, создаваемый двигателем в Нм;
 M_c - статический момент сопротивления в Нм.

Сравнения производят при одних и тех же значениях J , M_c , n_1 . Такое сравнение условно, поскольку неизвестно, являются ли полученные значения тормозных моментов предельными для соответствующих способов торможения.

III. Описание установки

На лабораторном стенде собраны две рабочие схемы, показанные на рис. 3.5 и 3.6.

Схема (рис. 3.5) дает возможность осуществить режим динамического торможения двигателя М. Нажатием кнопки пуск КнП замыкаем цепь питания катушки контактора КМ. Контактор КМ срабатывает и подключает двигатель к питающей сети. Одновременно блокировочный контакт КМ замыкает цепь катушки реле времени динамического торможения РДТ; в цепи катушки контактора КТ замыкаются контакты реле РДТ. Динамическое торможение наступает после нажатия кнопки торможения КнТ. Цепь втягивающей катушки контактора КМ разрывается и все контакты контактора срабатывают. Силовые контакты КМ отключают обмотку статора от питающей сети переменного тока, размыкающий контакт КМ замыкает цепь катушки контактора КТ, а замыкающий контакт КМ размыкает цепь питания катушки реле времени РДТ. Ток, проходящий по цепи катушки контактора торможения КТ, включает его. Замыкающие контакты контактора КТ замыкаются и подключают обмотку

статора к источнику постоянного тока. Двигатель переводится в режим динамического торможения. С момента разрыва цепи катушки реле времени РДТ начинается выдержка временим согласно уставки реле (замыкающий контакт РДТ замкнут), выбираемой на несколько большее время, чем время торможения электродвигателя, после чего контакт реле времени РДТ в цепи катушки КТ размыкается. Этим прекращается питание катушки контактора КТ, его контакты КТ разрывают цепь питания обмоток статора постоянным током.

Схема (рис. 3.6) дает возможность осуществить:

- прямой пуск двигателя М;
- пуск с одним сопротивлением в цепи статора двигателя М;
- пуск с сопротивлениями в каждой фазе статора двигателя М;
- режим противовключения двигателя М.

Прямой пуск получают нажатием кнопки пуск КнВ, предварительно замкнув рубильники В8, В10, В12.

Пуск с сопротивлениями в цепи статора проходит автоматически в два этапа:

- 1 этап - подключение обмотки статора на пониженное напряжение сети;
- 2 этап - переключение с пониженного напряжения на полное напряжение сети.

Замкнув рубильники В7, В9, В11, вводят сопротивления в фазы статора двигателя М. Нажатием кнопки КнВ осуществляют подачу питания на катушку контактора КВ. Силовые контакты этого контактора подключают двигатель через сопротивление к питающей сети. Двигатель пускается в ход при пониженном напряжении.

На втором этапе разгона двигателя, выключив рубильник В5, используется реле времени РВ и контактор ускорения КУ. Бло-

кировочный контакт КВ замыкает цепь катушки реле времени РВ, которое служит для создания выдержки времени при питании двигателя М пониженным напряжением. Контакт реле РВ, по окончании времени уставки, замыкается и подает питание на катушку контактора ускорения КУ, который, замкнув свои контакты в силовой цепи, блокирует сопротивления. Двигатель подключается на полное напряжение сети.

Режим противовключения работающего двигателя М осуществляется переводом переключателя К в положение 2. Цепь катушки контактора КВ разрывается. Силовые контакты КВ отключают обмотку статора от питающей сети переменного тока. Подается питание на катушку контактора КН. В цепи этого контактора находится контакт реле напряжения РН. Он замыкается еще при пуске, когда двигатель только начинает вращаться. Силовые контакты контактора КН подключают двигатель питающей сети с обратным чередованием фаз. Начинается процесс торможения. При скорости, близкой к нулю, теряет питание катушка реле напряжения РН и ее контакт разрывает цепь питания катушки КН.

Двигатель отключается по сети переменного тока, что препятствует его переводу в двигательный режим.

В лабораторной работе используется асинхронный двигатель типа АОЛ-3, который имеет следующие характеристики (табл.3.1).

Таблица 3.1

Характеристики двигателя

Тип	P_n , кВт	n_n , $\frac{об}{мин}$	U_n , В	$\frac{M_{ен}}{M_n}$	статор				
					$I_{ср}/I_{сн}$	$I_{сн}$	$I_{сх}$	z_c	$\cos \varphi$
АОЛ-3	0,6	1410	220	1,6	4,5	28	1,7	5,5	0,4

IV. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ И УКАЗАНИЯ ПО ТЕХНИКЕ БЕЗОПАСНОСТИ

1. Подготовить схемы к работе:

а) осмотреть машину и лабораторный стенд, ознакомиться с ними, уяснить назначение каждого контрольно-измерительного прибора, установленного на лицевой панели лабораторной установки;

б) записать данные, указанные на шитке машины, а для измерительных приборов — на лицевой стороне.

2. Соблюдать правила техники безопасности:

- следить за тем, чтобы случайно не коснуться вращающихся частей электрических машин;
- не производить пуска двигателя по схеме реле 3.6 при выключенном выключателе В1 (рис. 3.5).

3. Исследовать режимы торможения.

3.1. Определить время свободного выбега (рис. 3.5).

На лабораторном стенде необходимо:

- включить автомат АВ и выключатель В1;
- выключатель В3 поставить в положение ДТ;
- отключить выключатель В2.

Производят пуск и остановку двигателя нажатием соответственно кнопки пуск КнП, а через две-пять секунд — кнопки КнС.

По секундомеру определяют время свободного выбега от момента отключения обмотки статора от питающей сети до момента полной остановки двигателя. Результаты трех замеров записывают в таблицу 3.2.

3.2. Определить время торможения двигателя:

а) динамическое торможение (рис. 3.5).

Рассчитывают допустимые значения тока возбуждения при $3 I_{сх}, 4 I_{сх}, 5 I_{сх}$ и соответственно величины добавочных сопротивлений по методике, указанной в общей части. Результаты расчетов заносят в табл. 3.2.

Таблица 3.2

Результаты наблюдений

Название		Время (с)				Ток возбуждения	
		t_1	t_2	t_3	$t_{ср}$ (расчет)	$I(A)$ A_2	$I(A)$ (расчет)
Свободный выбег							
Динамическое торможение	R_1						
	R_2						
	R_3						
Противовключение							

На лабораторном стенде необходимо:

- установить одно из рассчитанных значений сопротивлений на резисторе R ;
- включить выключатель В2;
- поставить выключатель В3 в положение ДТ.

Пуск двигателя осуществляют нажатием кнопки КнП. Через 3+5 секунд нажатием кнопки КнТ переводят двигатель в режим динамического торможения.

В таблицу 3.2 заносят время трех замеров по секундомеру и их среднеарифметическое значение. По амперметру A_2 контролируют допустимый ток возбуждения двигателя и его показания записывают в таблицу 3.2.

По данной методике определяют время торможения, ток возбу

дения и для других значений сопротивлений резистора R .

Отключают выключатель В1;

б) режим противовключения (рис. 3.6).

На лабораторном стенде необходимо:

- включить выключатель В4;

- отключить выключатель В5;

- выключатель В3 поставить в положение "Пр.";

- переключатель К поставить в положение "I";

- включить рубильники В8, В10, В12. Выключить В7, В9, В11;

Нажатием кнопки КнВ производят пуск двигателя. Через 2+4 секунды переключатель К переводят в положение "2", что обеспечивает работу двигателя в режиме противовключения. По электросекундомеру определяют время торможения от момента отключения обмотки статора от питающей сети. В табл. 3.2 записывают время секундомеров по электросекундомеру ЭС и вычисляют их средне-арифметическое значение.

4. Исследование режимов пуска (рис. 3.6).

4.1. Прямой пуск.

Предварительно необходимо на лабораторном стенде:

- замкнуть рубильники В8, В10 и В12;

- переключатель К поставить в положение "I";

- отключить выключатель В5 и рубильники В7, В9, В11.

Пуск проводят нажатием кнопки КнВ. В таблицу 3.3 записывают напряжение, подаваемое на обмотку статора (вольтметр U), и пусковой ток двигателя I (амперметр А1). Отключают установку, нажатием кнопки стоп КнС.

4.2. Пуск с сопротивлением в одной фазе статора.

Рассчитывают величину сопротивления резистора R_B и тока, про-

Результаты наблюдений

Прямой пуск		Пуск с одним сопротивлением			Пуск с тремя сопротивлениями	
I (A)	U (B)	I (A) расчет	I (A)	U (B)	I (A)	U (B)

текающего через этот резистор, используя методику, описанную на стр. 33-34, и записывают величину тока в табл. 3.3.

На лабораторном стенде необходимо:

- замкнуть рубильники B9, B8 и BI2;
- включить выключатель B5;
- переключатель K поставить в положение I ;
- отключить рубильники B7, B10 и B11.

Пуск производят нажатием кнопки КнВ. В табл. 3.3 записывают напряжения (U) и ток (AI) при пуске (до отключения резистора $RB8$). Отключают установку, нажатием на кнопку КнС.

4.3. Пуск с сопротивлениями в трех фазах статора.

На лабораторном стенде необходимо:

- замкнуть рубильники B7, B9 и B11;
- отключить рубильники B8, B10 и BI2;
- включить переключатель в положение I ;
- включить выключатель B5.

Пуск производят нажатием кнопки КнВ. В табл. 3.3 записывают ток (AI) и напряжение U при пуске (до отключения резисторов

У. ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ ЭКСПЕРИМЕНТА

Сопоставить полученные значения времени торможения при различных способах торможения, сформулировать преимущество и недостатки исследованных режимов торможения. Оценить точность измеренных параметров. Оценить преимущества и недостатки способов пуска.

УІ. ТРЕБОВАНИЯ К ОТЧЕТУ ПО РАБОТЕ

Отчет по проведенной работе должен включать: название и цель работы, данные приборов и машин; схемы опытов и таблицы с данными наблюдений; расчеты сопротивлений и токов; перечень функций, которые схемы выполняют, с указанием элементов, которые их обеспечивают.

УІІ. ЛИТЕРАТУРА

1. Афанасьев В.Д. Автоматизированный электропривод в прокатном производстве. -М.:Металлургия, 1977, с. 61-70.

УІІІ. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Как произвести пуск двигателя?
2. Как осуществляется нулевая защита?
3. Чем опасно короткое замыкание контакторов прямого и обратного хода?
4. Чем обусловлено возникновение тормозного эффекта в режиме динамического торможения?
5. При каком из режимов торможения потребляется больше всего энергии?