

*ТАШКЕНТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ имени  
АБУ РАЙХАНА БЕРУНИ*

*ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ*

*кафедра «Электротехника, электромеханика и электротехнологии»*

***курсовой проект***

*«Основы электропривода»*

*доц. Мирисаев А.У., ст.пр. Куприянова А.С.*

*ТАШКЕНТ – 2012*

### 1. Цель курсового проекта

Цель курсового проекта по дисциплине «Основы электропривода» – закрепление и систематизация знаний студентов, полученных при изучении курсов «Основы электропривода» 1 и 2 ч., освоение методов расчета статических и динамических режимов, знакомство с каталогами электродвигателей.

При выполнении курсового проекта следует пользоваться каталогами и литературой, приведенной в конце данной работы.

Законченный и оформленный курсовой проект в виде расчетно-пояснительной записки и чертежа сдается преподавателю-консультанту для проверки. После исправления замечаний по проекту, указанных консультантом в рецензии, проект защищается в комиссии, состоящей из преподавателей кафедры в составе не менее двух человек.

### 2. Содержание курсового проекта

1. Задание на курсовой проект с кинематической схемой механизма и основными данными по ней.

2. Расчет мощности и статических моментов инерции частей рабочего механизма.

3. Предварительные расчеты мощности электродвигателя и выбор его по каталогу.

4. Проверка выбранного электродвигателя по нагреву и перегрузочной способности.

5. Расчет и выбор пусковых и тормозных сопротивлений.

6. Расчет нагрузочной диаграммы для заданного цикла работы.

7. Расчет переходных процессов электропривода рабочего механизма.

8. Расчет электромеханических и механических характеристик электропривода для указанных в задании режимов работы.

9. Оформление графической части проекта.

### 3. Объем курсового проекта

Курсовой проект состоит из расчетно-пояснительной записки на 20–25 листах формата А4 и 1 листа чертежа формата А0 на ватманской бумаге. В записке должны быть представлены исходные данные для проекта, обоснования принятых решений и основные аналитические зависимости методики расчета.

Изложенное содержание записки должно быть кратким, четким, логическим, исключая возможность субъективного толкования. Материал записки разделяют на параграфы, наименование которых должно быть кратким, соответствовать содержанию рассматриваемого вопроса, записываются в виде заголовков. В начале расчетно-пояснительной записки помещается содержание, в конце приводится список используемой литературы с указанием полного названия книги, фамилии и инициалов авторов, издательства, года издания и страницы.

Результаты расчетов представляются в табличной форме, а для одной из точек приводится ход решения задачи. В пояснительной записке необходимо привести рисунки и графики расчетов.

Сокращение слов в тексте и подписях под иллюстрациями за исключением общепринятых (КПД, ЭДС и т.д.) не допускается. Значения всех символов и числовых коэффициентов, входящих в формулу, должны быть приведены непосредственно под формулой.

На листе чертежа представляется кинематическая схема механизма, графики статических характеристик, графики переходных процессов, силовая часть схемы электропривода, схемы соединений сопротивлений.

Все схемы, представленные на листе, а также графики, должны быть выполнены в соответствии с Единой Системой Конструкторской Документации (ЕСКД).

#### 4. Задание на курсовой проект

1. Привод механизма осуществляется от электродвигателя постоянного (переменного) тока с номинальным напряжением питания  $U_{ном} = 220В$ .

2. Задана кинематическая схема станка (рис.1).

3. Пуск осуществляется на холостом ходу или под нагрузкой.

4. Относительная продолжительность включения ПВ=40%. Время работы электропривода равно десятикратному времени разгона электропривода  $t_p = 10t_{разгона}$ .

*Исходные данные, необходимые для проведения расчетов.*

1-ая цифра варианта:

0	1	2	3	4	5
ДТ	Пр	выбег	ДТ, Пр	ДТ, реверс	Пр, реверс

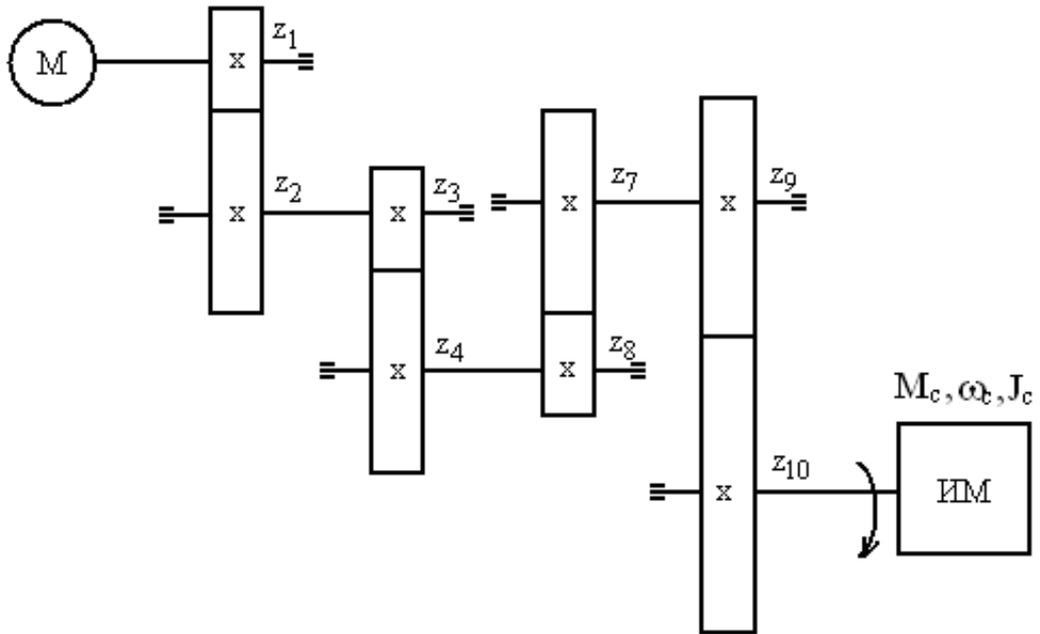
ДТ – динамическое торможение; Пр – торможение противовключением.

2, 3 цифры варианта:

2-ая цифра варианта.		0	1	2	3	4	5
	$M_c \cdot 10^4$	Н·м	1	0,85	0,5	0,4	0,12
3-я цифра варианта	1 вариант $\omega_c$	рад/с	4,8	3,2	2,0	4,5	3,0
	2 вариант $\omega_c$	рад/с	12,0	8,0	18,0	9,5	11,0
	3 вариант $\omega_c$	рад/с	16,8	22,4	8,9	11,6	18,8

4-ая цифра варианта.

I вариант



II вариант

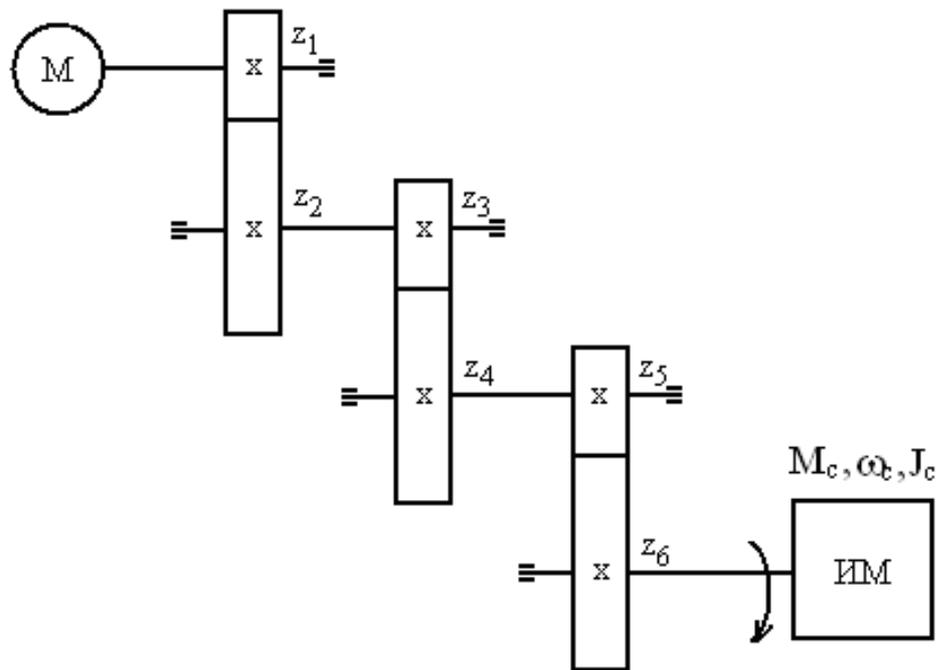


рис.1

таблица 1

№	z	b	d <sub>B</sub>	d	δ	d <sub>2</sub>	d <sub>1</sub>
-	-	мм	мм	мм	мм	мм	мм
1	24	90	100	192	-	-	-
2	72	90	120	575	30	530	200
3	52	90	120	426	30	360	200
4	54	90	120	424	30	360	200
5	33	120	120	330	-	-	-
6	83	120	240	830	80	600	420
7	28	110	120	280	-	-	-
8	56	110	150	560	30	480	240
9	20	250	150	320	-	-	-
10	100	250	240	1600	50	1400	400

Требуется:

1. Определить моменты инерции отдельных звеньев по кинематической схеме.
2. Определить предварительную мощность электродвигателя и сделать выбор электродвигателя.
3. Рассчитать и построить механические характеристики электродвигателя:
  - естественную;
  - пусковые;
  - тормозные.
4. Рассчитать пусковые и тормозные сопротивления и выбрать по каталогу соответствующие ящики сопротивлений.
5. Привести момент сопротивления и момент инерции к валу электродвигателя.
6. Рассчитать и построить нагрузочную диаграмму механизма по заданному циклу работы.
7. Рассчитать переходные процессы в электроприводе.
8. Проверить выбранные электродвигатели по нагреву и перегрузочной способности.

## 5. Методические указания к проектированию

### Определение мощности электродвигателя и предварительный выбор электродвигателя

Величина мощности на валу механизма:

$$P_c = M_c \cdot \omega_c, \text{ Вт},$$

где:  $M_c$  – момент сопротивления по заданию,  $\text{Н}\cdot\text{м}$ ;

$\omega_c$  – угловая скорость вала механизма по заданию,  $1/\text{с}$ .

Для работы в циклических режимах электродвигатель может быть выбран либо из серии, предназначенной для повторно-кратковременного режима ПВ, либо из серии длительного режима (ПВ=100%).

При этом величина мощности с учетом режима ПВ должна быть пересчитана:

$$P'_c = P_c \sqrt{\varepsilon},$$

где:  $\varepsilon$  – относительная продолжительность включения, для ПВ=40%  $\varepsilon=0,4$ .

Для учета потерь в переходных режимах пуска, торможения и т.д., необходимую величину статической мощности следует увеличить на 15–20%, а с учетом потерь в передачах необходимая мощность электродвигателя будет определяться

$$P_{\text{дв}} = \frac{K_3 \cdot P'_c}{\eta_n}, \text{ Вт},$$

где:  $K_3$  – коэффициент запаса,  $K_3=(1,15 \div 1,2)$ ;

$\eta_n = \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot \eta_3 \cdot \dots \cdot \eta_n$  – КПД коробки передач.

Требуемая скорость вала электродвигателя для заданной кинематической схемы определяется:

$$\text{I вариант: } \omega_{\text{дв}} = \omega \left( \frac{z_2 \cdot z_4 \cdot z_8 \cdot z_{10}}{z_1 \cdot z_3 \cdot z_7 \cdot z_9} \right), 1/\text{с},$$

$$\text{II вариант: } \omega_{\text{дв}} = \omega \left( \frac{z_2 \cdot z_4 \cdot z_6}{z_1 \cdot z_3 \cdot z_5} \right), 1/\text{с}.$$

По назначениям из каталогов выбирается электродвигатель ближайшей мощности и соответствующей скорости. Далее необходимо выписать из каталога полные номинальные данные электродвигателя.

### Определение моментов инерции и сопротивлений отдельных звеньев и их приведение к валу электродвигателя

Вначале необходимо определить моменты инерции и сопротивлений отдельных шестерней в кинематике токарного станка. Момент инерции шестерни определяется в зависимости от ее конфигурации. Если шестерня имеет размеры, указанные в таблице 1, то ее моменты инерции определяются в виде разности моментов инерции полых цилиндров согласно рисунку:  $J_{\text{ш}} = J_{\text{Iш}} - 2J_{\text{IIш}}$ .

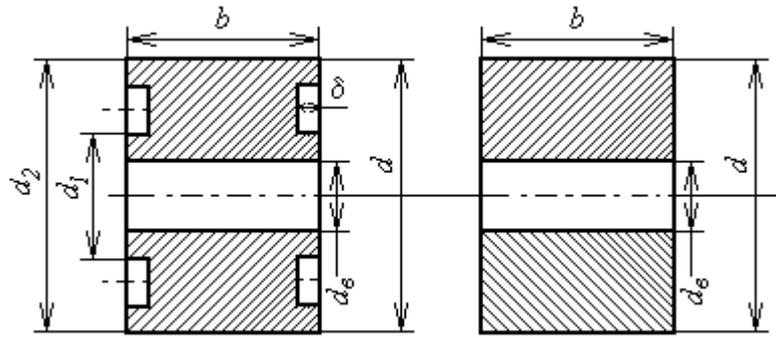


рис.2. Полые цилиндры

После определения моментов инерции отдельных звеньев необходимо привести их к скорости вала электродвигателя следующим образом:

I вариант:

$$J_{\Sigma} = J_{\text{дв}} + J_1 + \frac{J_2 + J_3}{\left(\frac{z_2}{z_1}\right)^2} + \frac{J_4 + J_7}{\left(\frac{z_2 \cdot z_4}{z_1 \cdot z_3}\right)^2} + \frac{J_8 + J_9}{\left(\frac{z_2 \cdot z_4 \cdot z_8}{z_1 \cdot z_3 \cdot z_7}\right)^2} + \frac{J_{10}}{\left(\frac{z_2 \cdot z_4 \cdot z_8 \cdot z_{10}}{z_1 \cdot z_3 \cdot z_7 \cdot z_9}\right)^2}, \text{ кг}\cdot\text{м}^2,$$

II вариант:

$$J_{\Sigma} = J_{\text{дв}} + J_1 + \frac{J_2 + J_3}{\left(\frac{z_2}{z_1}\right)^2} + \frac{J_4 + J_5}{\left(\frac{z_2 \cdot z_4}{z_1 \cdot z_3}\right)^2} + \frac{J_6}{\left(\frac{z_2 \cdot z_4 \cdot z_6}{z_1 \cdot z_3 \cdot z_5}\right)^2}, \text{ кг}\cdot\text{м}^2,$$

где:  $J_1 \div J_{10}$  – моменты инерции отдельных звеньев,

$z_1 \div z_{10}$  – число зубьев шестерен,

$J_{\text{дв}}$  – момент инерции электродвигателя,

$J_{\Sigma}$  – приведенный суммарный момент инерции электродвигателя.

Приведение момента сопротивления к валу электродвигателя производится по выражениям:

I вариант:

$$M'_c = \frac{M_c}{\frac{z_2 \cdot z_4 \cdot z_8 \cdot z_{10}}{z_1 \cdot z_3 \cdot z_7 \cdot z_9} \cdot \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot \eta_3 \cdot \eta_4}, \text{ Н}\cdot\text{м},$$

II вариант:

$$M'_c = \frac{M_c}{\frac{z_2}{z_1} \cdot \frac{z_4}{z_3} \cdot \frac{z_6}{z_5} \cdot \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot \eta_3}, \text{ Н}\cdot\text{м}.$$

Значения приведенных моментов инерции и момента сопротивления необходимы в дальнейшем для расчета статических и динамических режимов работы электропривода.

### Расчет статических характеристик электропривода

1. а) Естественную механическую характеристику электродвигателя постоянного тока можно построить по двум точкам:

1.  $M=M_{ном}, \omega=\omega_{ном}$ ,
2.  $M=0, \omega=\omega_0$

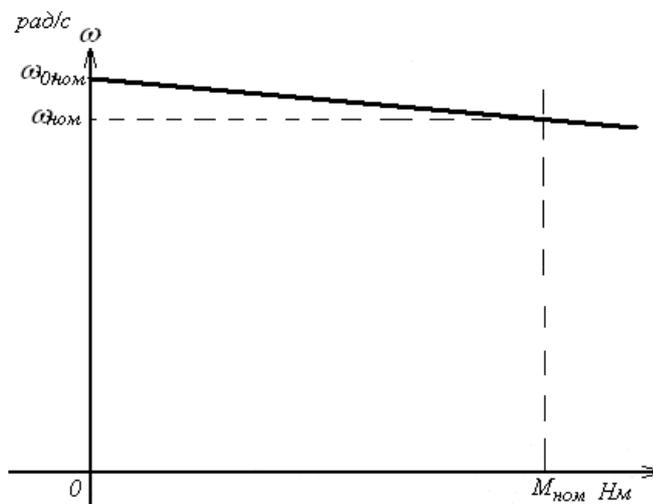


рис.3. Естественная механическая характеристика электродвигателя постоянного тока

б) Естественная механическая характеристика электродвигателя переменного тока можно построить по упрощенной формуле Клосса:

$$M = \frac{2M_{кр}}{\frac{s}{s_{кр}} + \frac{s_{кр}}{s}}$$

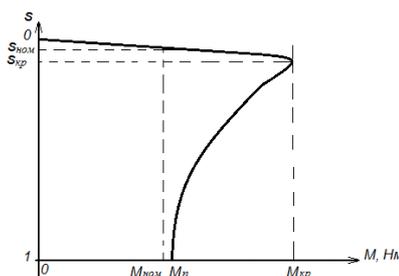


рис.4. Естественная механическая характеристика асинхронного электродвигателя

## 2. Пусковые характеристики.

а) Расчет пусковых характеристик двигателя постоянного тока может быть произведен либо аналитически, либо графически.

При аналитическом методе расчета величину максимального тока переключения  $I_2$  определим, задаваясь максимальными значениями тока  $I_1$  из условия допустимого, а также по заданному числу ступеней пускового реостата "К".

Предельно допустимый ток определяется условиями коммутации и для электродвигателей параллельного возбуждения общепромышленных серий при номинальной скорости он равен  $I_1 = (2 \div 4) I_{ном}$ .

$$I_2 = I_1 K \sqrt{\frac{R_{я} \cdot I_1}{U_{ном}}}, A,$$

где:  $R_{я} = (r_{я} + r_{оп} + r_{ко})$  – суммарное сопротивление якорной цепи электродвигателя (обмотки якоря, добавочных полюсов, компенсационных обмоток).

При расчете  $I_2$  должно соблюдаться условие  $I_2 \geq 1,1 \cdot I_{ном}$ .

Зная токи переключения, можно построить пусковые характеристики электродвигателя.

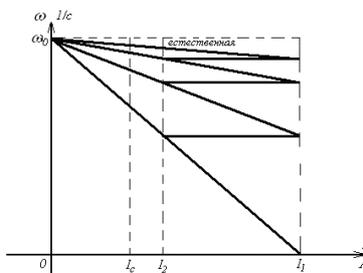


рис.5. Пусковая диаграмма электродвигателя

б) Расчет пусковых характеристик асинхронного двигателя может быть произведен либо аналитически, либо графически.

Аналитический метод. Задаемся максимальными допускаемыми пиками моментов  $M_1 = M_{кр}$  и определяем отношение пиков момента к моментам переключения:

$$\lambda = m \sqrt{\frac{I}{s_{ном} \cdot M_1^*}}.$$

Проверяем моменты переключения:

$$M_2 = \frac{M_1}{\lambda}, \text{ при этом соблюдается условие, что } M_2 \geq 1,21 \cdot M_{ном}.$$

Зная моменты переключения, можно построить пусковые характеристики электродвигателя.

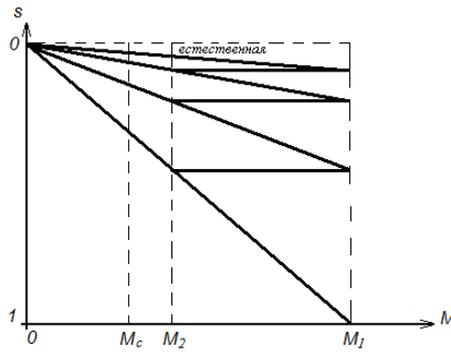


рис.6. Пусковая диаграмма электродвигателя

### 3. Построение тормозных характеристик

В зависимости от задания торможение электродвигателя можно рассматривать либо динамическое, либо противовключением (рис.7).

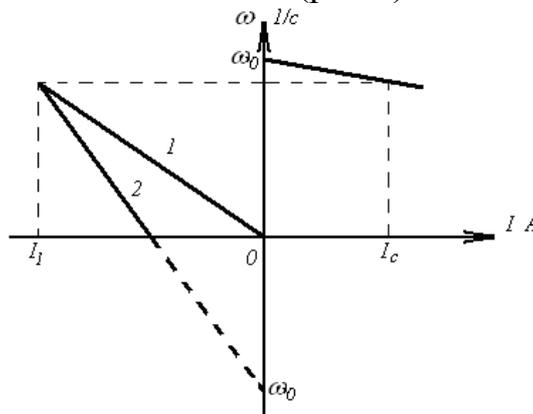


рис.7. Тормозные характеристики:  
1 – динамическое, 2 – противовключением

Способ динамического торможения у асинхронных двигателей характеризуется тем, что статорные обмотки отключаются от сети переменного тока и подключаются к источнику постоянного напряжения. При питании обмоток статора постоянным током создается неподвижное в пространстве электромагнитное поле, т.е. скорость вращения поля статора  $\omega_{0dm} = 0$ . Скольжение будет равно

$$s_{dm} = -\omega / \omega_{0H},$$

где  $\omega_{0H}$  – номинальная угловая скорость вращения поля статора.

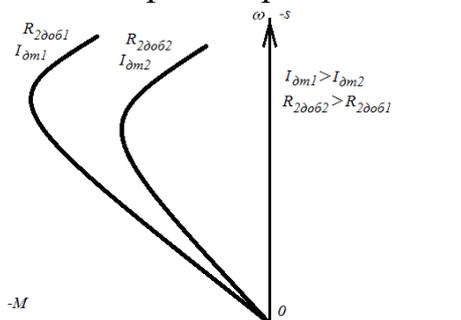


рис.8. Механические характеристики асинхронного двигателя в режиме динамического торможения

В режиме противовключения электромагнитное поле статора и ротор двигателя вращаются в разные стороны. Скольжение двигателя в режиме противовключения всегда больше 1

$$s_{не} = \frac{\omega_0 + \omega}{\omega_0} > 1.$$

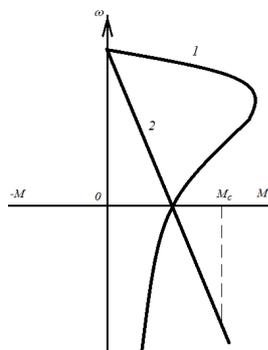


рис.9. Режим противовключения асинхронного двигателя:

1 – естественная механическая характеристика при включении «вперед»,  
2 – механическая характеристика двигателя с фазным ротором со включенным добавочным сопротивлением в цепь ротора

#### *Выбор пусковых и тормозных сопротивлений*

Выбор сопротивлений сопровождается их тепловым расчетом, который сводится к определению эквивалентного тока, т.е. постоянного по величине длительного тока, вызывающего такой же перегрев сопротивлений, что и реальный меняющийся ток.

Так как сопротивления в целом работают в повторно-кратковременном режиме с разными сопротивлениями ПВ% для каждой ступени, то необходимо расчет эквивалентного тока производить для отдельных ступеней.

Сопротивления комплектуются из отдельных стандартных элементов в ящики сопротивлений, комплектуемые из чугунных или фехральных элементов. Выбрав ящики сопротивлений необходимо составить схему соединений.

#### Расчет графиков переходного процесса

##### *Реостатный пуск электропривода.*

Процесс реостатного пуска электропривода предполагает, что система управления электроприводом в процессе пуска обеспечивает автоматическое переключение ступеней пускового реостата таким образом, чтобы начальное и конечное значения момента электродвигателя остались неизменными.

В начальный момент пуска в якорную цепь вводится полное сопротивление пускового реостата с целью ограничения пускового тока на уровне  $I_{я} = I_1$  (1). При увеличении скорости до значения  $\omega_{кон1}$  замыканием К1 (рис.6) выводится первая ступень пускового реостата, ток вновь возрастет до  $I_1$ , продолжается пуск по характеристике 2 и т.д.

Исходя из условия пропорциональности между моментом и током при  $\Phi = \Phi_n = const$  для каждой ступени переключения реостата можно записать уравнения движения электропривода.

$$\omega_i = \omega_{0i} + (\omega_{начi} - \omega_{0i})e^{\frac{-t}{T_{M1}}},$$

$$I_{я} = I_0 + (I_1 - I_0)e^{\frac{-t}{T_{M1}}},$$

Зависимости  $\omega=f(t)$  и  $i_{я}=f(t)$  процесса пуска приведены на рис.7.

По мере увеличения скорости и перехода от ступени к ступени  $R_{я\Sigma l}$  уменьшается, а модуль жесткости  $\beta_l$  увеличивается. Это приводит к постепенному уменьшению продолжительности работы на пусковых ступенях.

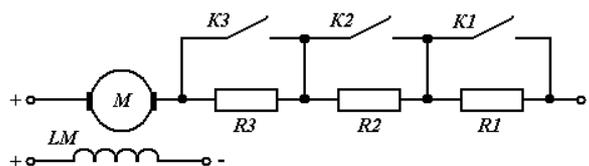


рис.6. Схема реостатного пуска

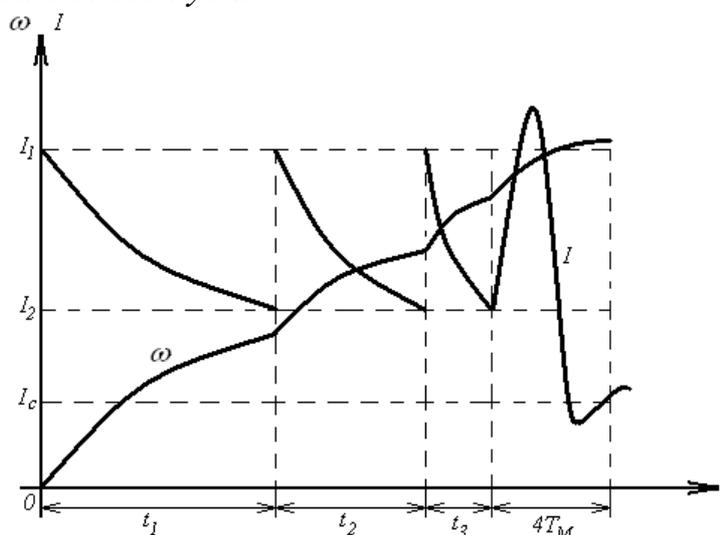


рис.7. Зависимости  $\omega$ ,  $i_{я}=f(t)$  при пуске электродвигателя постоянного тока независимого возбуждения