



## **Механические характеристики асинхронных электродвигателей**

1. Модель асинхронного электродвигателя.
2. Естественная механическая характеристика асинхронного электродвигателя.
3. Управление пуском асинхронных электродвигателей. Расчет пусковых реостатов

## Модель асинхронного электродвигателя.



Достоинства асинхронного электродвигателя:

- простота конструкции;
- низкая металлоемкость;
- допускает прямой пуск от сети;
- повышенная надежность;
- простота в ремонте и эксплуатации.

## Модель асинхронного электродвигателя.

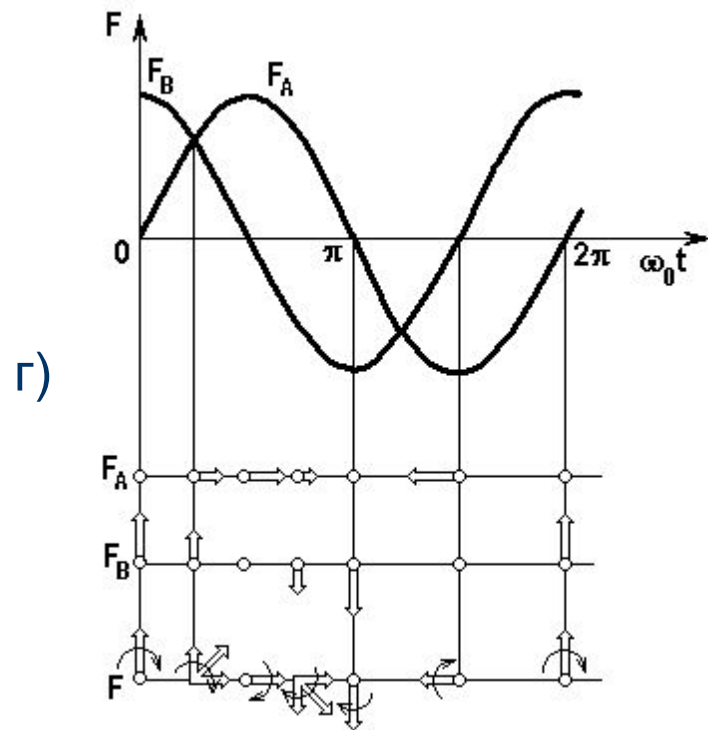
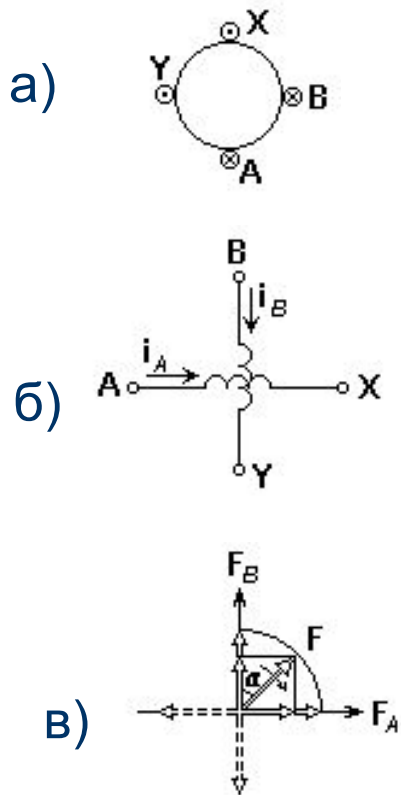
Асинхронного электродвигатели изготавливают двух типов с *фазным* и *короткозамкнутым* ротором.

0

## Модель асинхронного электродвигателя.

Электродвигатели с короткозамкнутым ротором имеют обмотку ротора в виде «беличьей клетки». Она постоянно замкнута в лобовых частях ротора при помощи короткозамкнутых колец. К ним подсоединены стержни проводники, которые размещены в пазах сердечника ротора.

# Модель асинхронного электродвигателя.



## Модель асинхронного электродвигателя.

Пусть на статоре расположена катушка А-Х по которой протекает переменный ток

$$i_A = I_m \sin \omega t; \quad \omega = 2\pi f_1.$$

МДС  $F_A$ , созданная этим током, будет пульсировать по оси обмотки

$$F_A = F_m \sin \omega t.$$

## Модель асинхронного электродвигателя.

Если добавить катушку  $B$ - $Y$ , расположенную под углом  $90^\circ$  и пропускать по ней ток

$$i_B = I_m \cos \omega t, \text{ то}$$

МДС  $F_B$  будет пульсировать по оси этой обмотки

$$F_B = F_m \cos \omega t.$$

## Модель асинхронного электродвигателя.

Вектор результирующей МДС имеет модуль

$$F = \sqrt{F_A^2 + F_B^2} = F_m = \text{const.}$$

Его фаза  $\alpha$  определится из условия

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{F_A}{F_B} = \operatorname{tg} \omega t$$

Таким образом, вектор результирующей МДС вращается с угловой скоростью

$$\omega = 2\pi f_1.$$



## Модель асинхронного электродвигателя.

Частота вращения магнитного поля  $n_1$  как и угловая скорость  $\omega_1$  находится в строгой зависимости от частоты подводимого напряжения сети  $f_1$  и числа пар полюсов  $p$  двигателя:

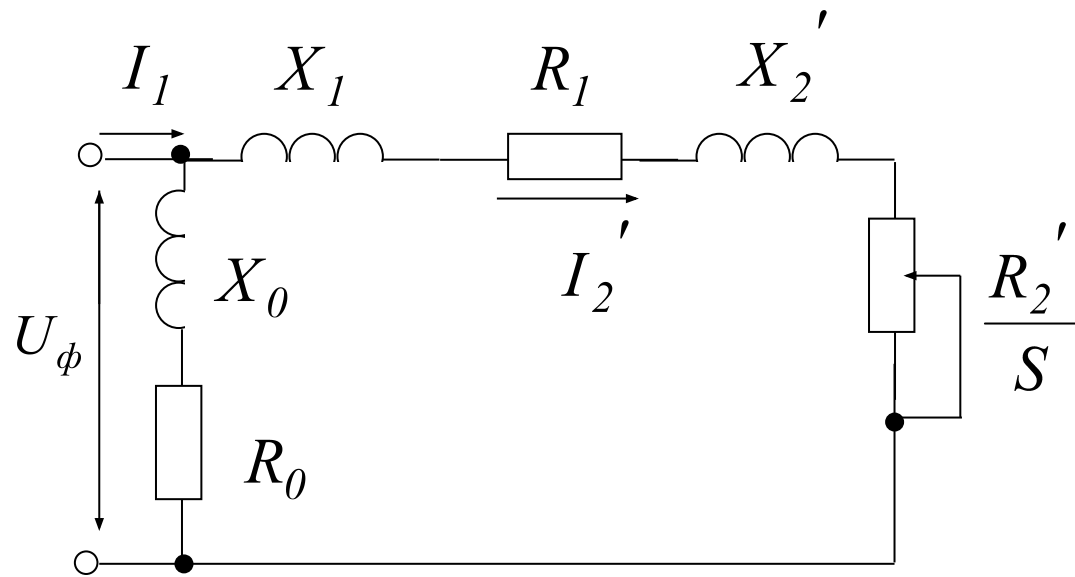
$$n_1 = \frac{60 f_1}{p}, \quad \omega_1 = \frac{2\pi f_1}{p}.$$

## Модель асинхронного электродвигателя.

Наведение в обмотке ротора ЭДС и появление вращающего или тормозящего момента асинхронного двигателя возможно только при наличии разности между угловыми скоростями вращения магнитного поля статора и ротора. Это различие оценивают в относительных единицах и называют *скольжением*

$$S = \frac{\omega_1 - \omega_2}{\omega_1}.$$

# Естественная механическая характеристика асинхронного электродвигателя



Упрощенная схема замещения асинхронного электродвигателя

## Естественная механическая характеристика асинхронного электродвигателя

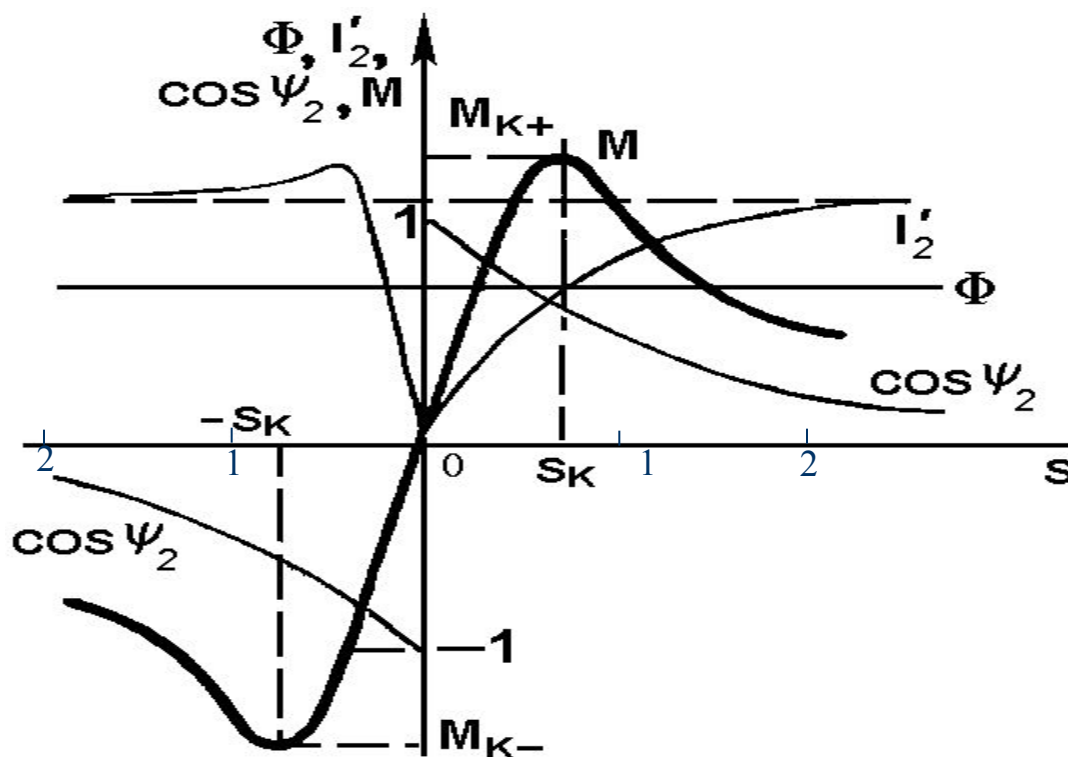
$$I_2' = \frac{U_\phi}{\sqrt{\left(R_1 + \frac{R_2'}{S}\right)^2 + (X_1 + X_2')^2}}$$

Вращающий момент асинхронного двигателя может быть определен из выражения потерь :

$$M\omega_1 S = 3(I_2')^2 R_2' \Rightarrow M = \frac{3(I_2')^2 R_2'}{\omega_1 S}.$$

$$M = \frac{3U_\phi^2 R_2'}{\omega_1 \left[ \left(R_1 + \frac{R_2'}{S}\right)^2 + (X_1 + X_2')^2 \right] S}$$

# Естественная механическая характеристика асинхронного электродвигателя



## Естественная механическая характеристика асинхронного электродвигателя

$$\frac{dM}{dS} = \frac{3 \cdot U_{\phi}^2 \cdot R_2'}{\omega_1} \cdot \frac{R_2' - R_1^2 \cdot S^2 - (X_1 + X_2')^2 \cdot S^2}{\left( (R_1 S + R_2')^2 + (X_1 + X_2')^2 \cdot S^2 \right)^2} = 0,$$

$$R_2' - R_1^2 \cdot S^2 - (X_1 + X_2')^2 \cdot S^2 = 0 \Rightarrow R_2' = R_1^2 \cdot S^2 + (X_1 + X_2')^2 \cdot S^2 \Rightarrow$$

$$s_k = \pm \frac{R_2'}{\sqrt{R_1^2 + (X_1 + X_2')^2}}$$

$$M_k = \frac{3U^2}{2\omega_0 \left[ R_1 \pm \sqrt{R_1^2 + (X_1 + X_2')^2} \right]}$$

## Естественная механическая характеристика асинхронного электродвигателя

Разделив уравнение механической характеристики на выражение для максимального момента получим

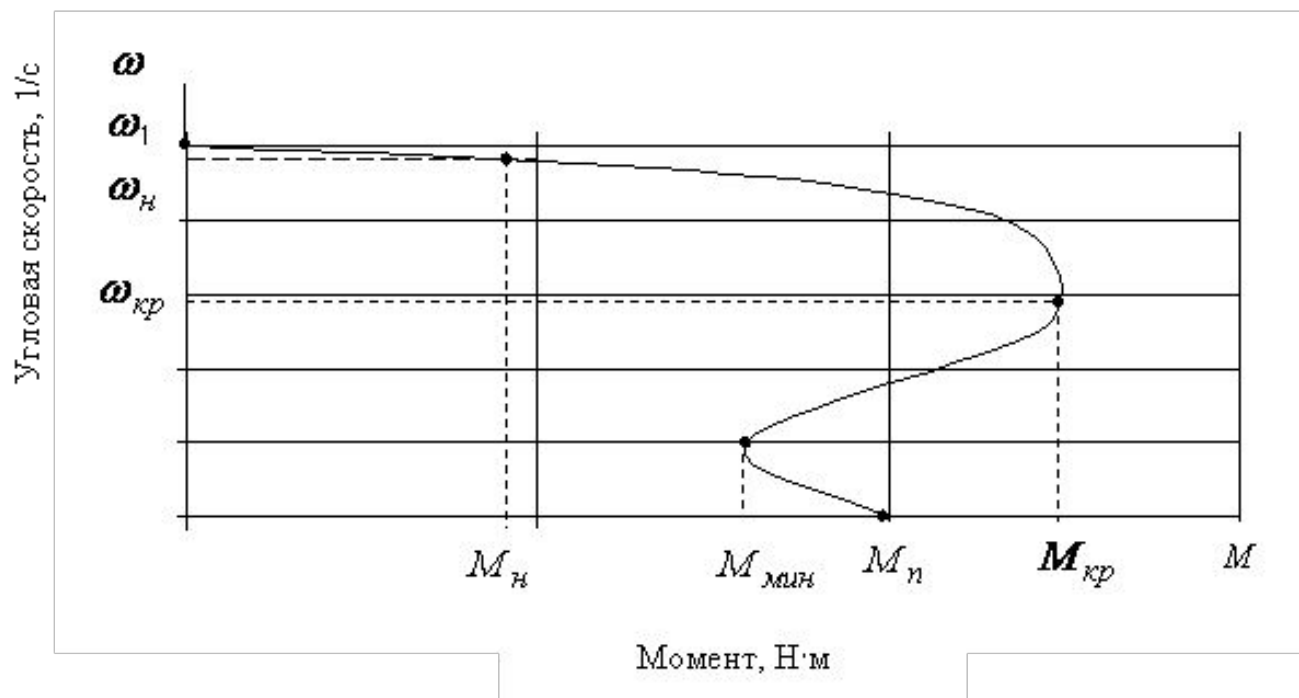
$$M = \frac{2M_{\kappa}(1 + \alpha \cdot S_{\kappa})}{\frac{S}{S_{\kappa}} + \frac{S_{\kappa}}{S} + 2\alpha \cdot S_{\kappa}}, \quad \alpha = \frac{R_1}{R_2'}$$

Приняв  $2\alpha \cdot S_{\kappa} = q$ ,

окончательно получаем

$$M_{\text{дв}} = \frac{M_{\text{кр}}(2 + q)}{\frac{S}{S_{\text{кр}}} + \frac{S_{\text{кр}}}{S} + q}$$

# Естественная механическая характеристика асинхронного электродвигателя



Механическая характеристика асинхронного двигателя



## Естественная механическая характеристика асинхронного электродвигателя

Характерными точками механической характеристики являются:

- пусковая точка –  $M=M_{\text{п}}$ ;  $\omega=0$ ;
- точка провала на пусковой ветви, угловая скорость,
- в которой соответствует скольжению  $S=0,8$ ;  $M=M_{\text{мин}}$ ;
- критическая точка с координатами  $\omega_{\text{к}}$ ,  $M_{\text{к}}$ ;
- номинальная точка –  $\omega_{\text{н}}$ ,  $M_{\text{н}}$ ;
- точка холостого хода –  $\omega=\omega_1$ ;  $M=0$ .

## Управление пуском асинхронных электродвигателей. Расчет пусковых реостатов

Кратность начального пускового момента двигателя составляет

$$k_M = \frac{M_n}{M_H} = 1 \dots 1,8$$

а кратность начального пускового тока


$$k_I = \frac{I_n}{I_H} = 5 \dots 7$$

Отсутствие пропорциональности между моментом двигателя и током статора во время пуска объясняется значительным снижением магнитного потока.

## Управление пуском асинхронных электродвигателей. Расчет пусковых реостатов

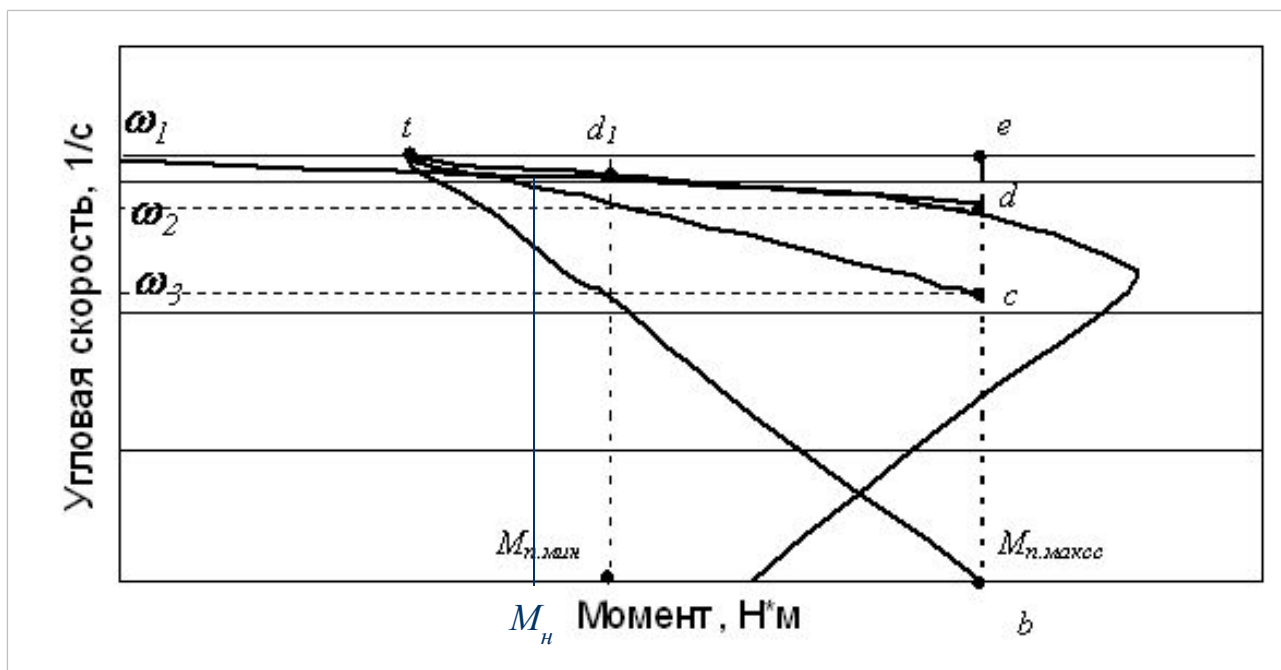
Для повышения начального пускового момента и снижения пускового тока применяются короткозамкнутые двигатели специальных конструкций, у которых ротор имеет две клетки, расположенные концентрически, или глубокие пазы с высокими и узкими стержнями.

## Управление пуском асинхронных электродвигателей. Расчет пусковых реостатов



У двигателей с контактными кольцами начальный пусковой момент увеличивается по мере возрастания до известных пределов сопротивления реостата. величина начального пускового момента может быть доведена до величины критического момента. пусковой ток при увеличении сопротивления уменьшается.

# Управление пуском асинхронных электродвигателей. Расчет пусковых реостатов



К расчету пускового реостата асинхронного двигателя

## Управление пуском асинхронных электродвигателей. Расчет пусковых реостатов

Методика расчета:

- на характеристике  $M_{\partial\epsilon} = f(\omega)$ , наносятся границы пуска;
- через точки  $d$  и  $d_1$  естественной механической характеристики, соответствующие значениям моментов  $M_{\text{пуск макс}}$  и  $M_{\text{пуск мин}}$ , проводится прямая до пересечения с линией синхронной скорости ( $S=0$ ) в точке  $t$ ;
- из полученной точки проводится пусковая характеристика до точки с координатами  $M_{\text{пуск макс}}$ ,  $\omega=0$ ;

## Управление пуском асинхронных электродвигателей. Расчет пусковых реостатов

- в точке с координатами  $M_{\text{пуск мин}}, \omega = \omega_3$  происходит отключение первой ступени реостата;
- в точке с координатами  $M_{\text{пуск мин}}, \omega = \omega_2$  происходит отключение второй ступени реостата;
- отрезок  $[ed]$  пропорционален величине активного сопротивления одной фазы ротора. Соответственно отрезок  $[dc]$  в относительных единицах пропорционален сопротивлению первой ступени пускового реостата, отрезок  $[bc]$  – второй ступени.

## Управление пуском асинхронных электродвигателей. Расчет пусковых реостатов

Измерив длины этих отрезков, определяют величины сопротивления каждой ступени пускового реостата:

$$R_1 = \frac{[dc]}{[ed]} \cdot R_{пот} \quad R_2 = \frac{[cb]}{[ed]} \cdot R_{пот}$$

где  $R_{пот} = \frac{U_{2н} \cdot S_n}{\sqrt{3} I_{2н}}$  или  $R_{пот} = \frac{P_n \cdot S_n}{\sqrt{3} \cdot I_{2н}^2 \cdot \eta_n}$ .



## Управление пуском асинхронных электродвигателей. Расчет пусковых реостатов

При реостатном пуске асинхронного электродвигателя с контактными кольцами поочередное закорачивание ступеней пускового сопротивления может производиться автоматически при помощи контакторов, управление включением которых может осуществляться в *функции времени, частоты вращения, тока* или *частоты тока* ротора.

## Управление пуском асинхронного электродвигателя. Расчет пусковых реостатов

Для обеспечения заданной диаграммы пуска необходима фиксация моментов подачи команд на включение контакторов. Это может осуществляться следующими способами:

- путем отсчета промежутков времени  $\Delta t_1$ ,  $\Delta t_2$ ,  $\Delta t_3$ , для чего используются реле времени;
- посредством контроля значения скорости двигателя или ЭДС ротора, что может быть сделано при помощи датчиков скорости или ЭДС;
- применением датчиков тока;
- посредством контроля частоты тока ротора .

# Управление пуском асинхронного электродвигателя. Расчет пусковых реостатов

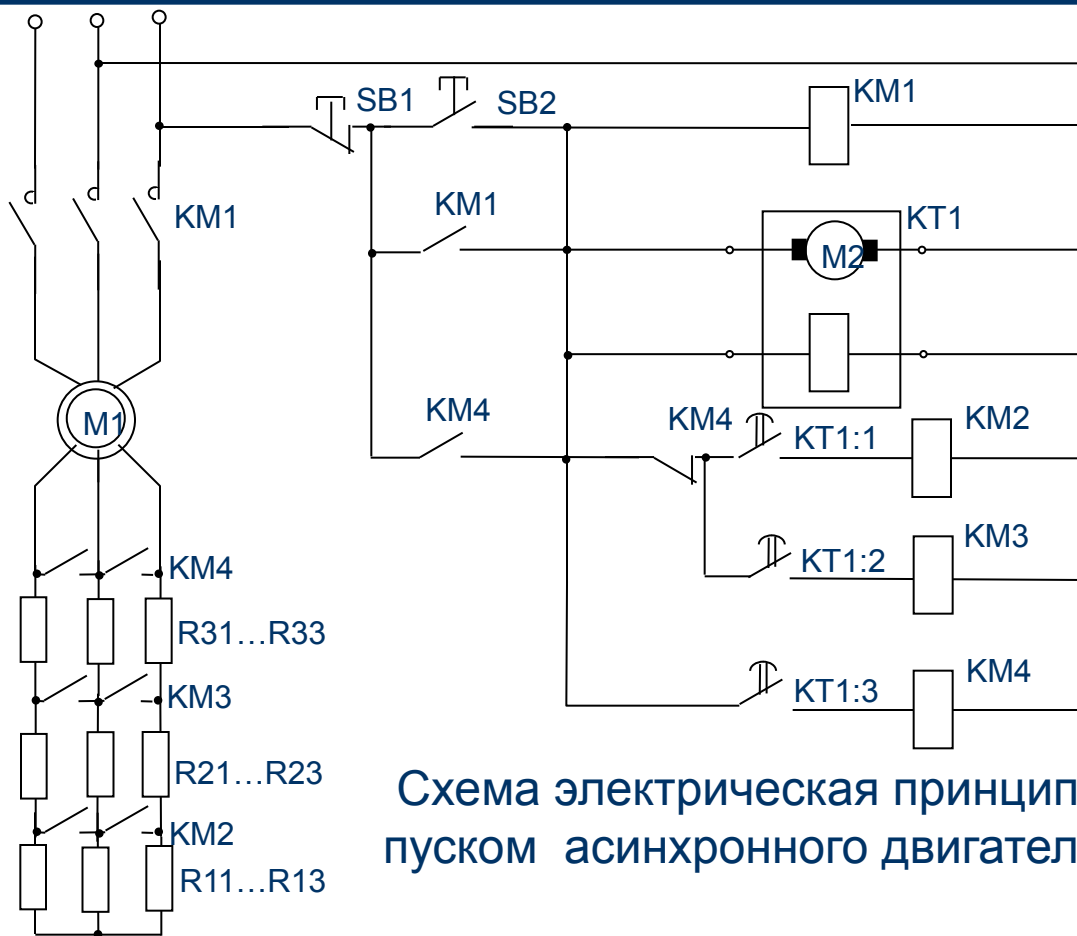


Схема электрическая принципиальная управления пуском асинхронного двигателя в функции времени

## Управление пуском асинхронного электродвигателя. Расчет пусковых реостатов



Время пребывания на каждой ступени пускового реостата определяется по следующему соотношению:

$$t_i = \frac{\omega_o \cdot S_{ni}}{M_n} \cdot \ln \frac{M_{дин 1i}}{M_{дин 2i}},$$

$$M_{дин 1i} = M_{пуск макс} - M_{сi}; \quad M_{дин 2i} = M_{пуск мин} - M_{сi}$$