

Часть 2. Исполнительные двигатели

Исполнительные двигатели постоянного
тока



Исполнительные (управляемые) двигатели

Исполнительные двигатели преобразуют электрический сигнал (U) в механическое перемещение вала (частота вращения, момент, мощность)

ИД работают в системах автоматики, в условиях частых пусков, остановок и реверса

» энергетические показатели (η , $\cos\varphi$) неважны

Важно иметь

» малоинерционный ротор

Другие особенности

» разные, в том числе низкие, скорости

→ отсутствие вентилятора на валу

→ малые плотности токов в обмотках

» высокие требования к линейности характеристик

→ большое μ в линейной зоне

→ большое сечение магнитопровода

» много меди, много стали

→ плохие массогабаритные показатели

Исполнительный двигатель имеет 2 обмотки

» Обмотка возбуждения (ОВ) – $U_B = \text{const}$

» Обмотка управления (ОУ) – $U_y = \text{var}$

U_y – сигнал управления

» величина / фаза U_y определяют n , M

Исполнительные (управляемые) двигатели

Основные требования к исполнительным двигателям

- » линейность характеристик (механических и регулировочных)
- » устойчивая работа во всем диапазоне скоростей в двигательном режиме
- » отсутствие самохода (самоторможение при снятии U_y)
- » большой пусковой момент
- » высокое быстродействие
- » малая мощность управления
- » широкий диапазон регулирования n
- » малое напряжение трогания
- » надежность в работе
- » малые габариты и масса

В качестве исполнительных двигателей применяются

- » двигатели постоянного тока
 - с независимым возбуждением
 - с постоянными магнитами
- » асинхронные двигатели
 - двухфазные
- » синхронные шаговые двигатели

Исполнительные двигатели постоянного тока ИДПТ

Исполнительные двигатели постоянного тока

Достоинства ИДПТ

- » линейные характеристики
- » практически любые частоты вращения
- » плавное и экономичное регулирование скорости в широком диапазоне
- » устойчивость работы при любых скоростях
- » отсутствие самохода
- » большой пусковой момент
- » небольшая электромеханическая постоянная времени
- » малые габариты и масса

Способы управления ИДПТ

- » Сигнал управления – напряжение на ОУ
- » Якорное управление – U_y на обмотке якоря
- » Полюсное управление – U_y на обмотке полюсов

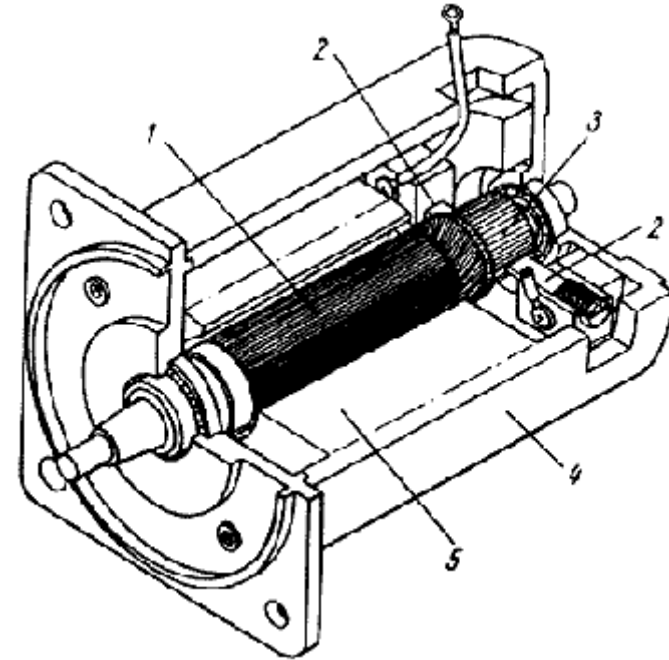
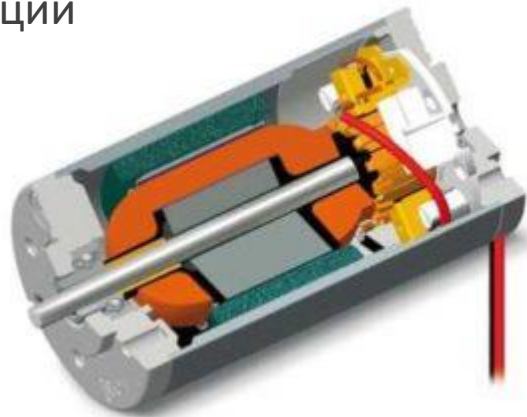
Недостатки ИДПТ

- » наличие щеточно-коллекторного узла
 - непостоянство переходного сопротивления скользящих контактов
→ нестабильность характеристик
 - искрение под щетками
→ подгорание контактов
→ загрязнение двигателя
→ необходимость регулярного ухода
- радиопомехи и гармоники тока
→ необходимость применения фильтров

Конструкции ИДПТ

Похожи на традиционные двигатели постоянного тока, за исключением

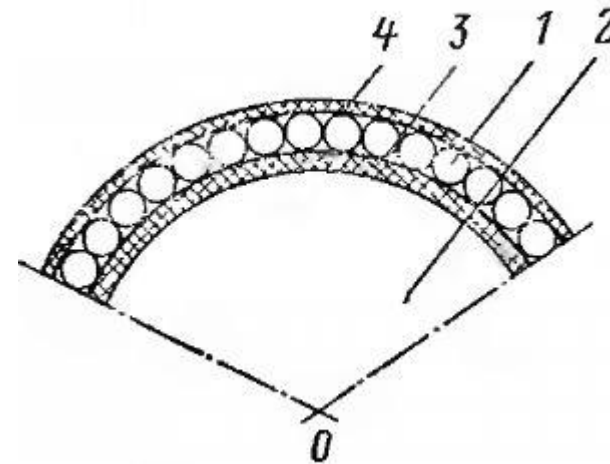
- » полностью шихтованные сердечники
 - снижение потерь в стали при переходных процессах
 - повышение быстродействия
- » увеличенная масса меди и стали
 - малая $B_{ст}$ → линейность характеристик
 - малая j → малое тепловыделение
- » отсутствие добавочных полюсов (нет места)
- » повышенное число коллекторных пластин
 - улучшение коммутации



Конструкции ИДПТ

Иногда применяется гладкий беспазовый якорь

- » ОЯ уложена поверх ярма ротора и закреплена компаундом
 - малое рассеяние – малая индуктивность
 - улучшение коммутации
 - снижение электрохимической постоянной времени (повышение быстродействия)
- » улучшенное охлаждение ОЯ
 - повышенная плотность тока
 - повышенная удельная мощность / момент
- » увеличенный немагнитный зазор
 - повышенный ток ОВ



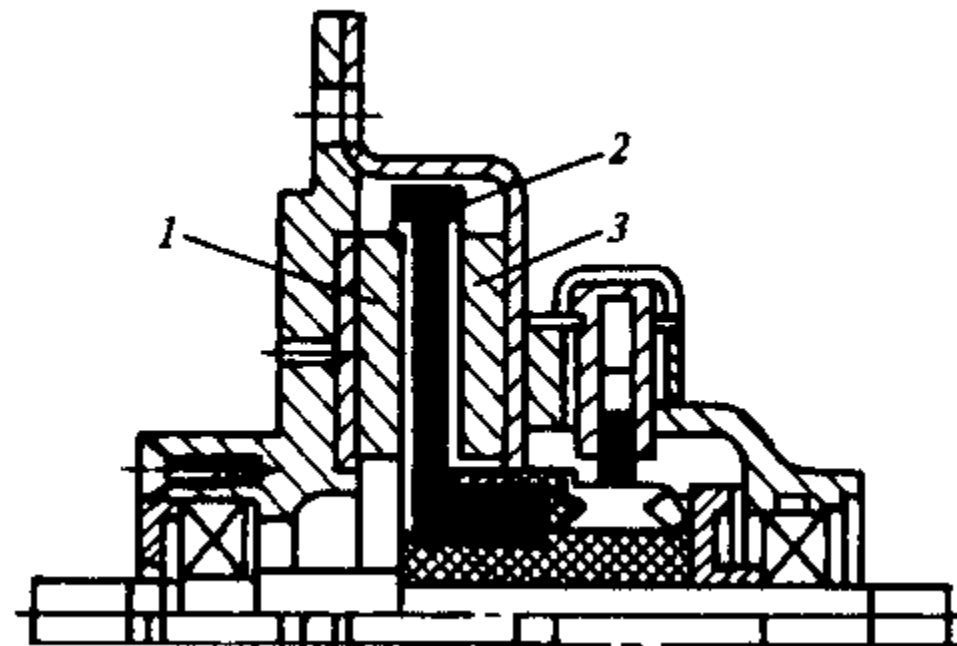
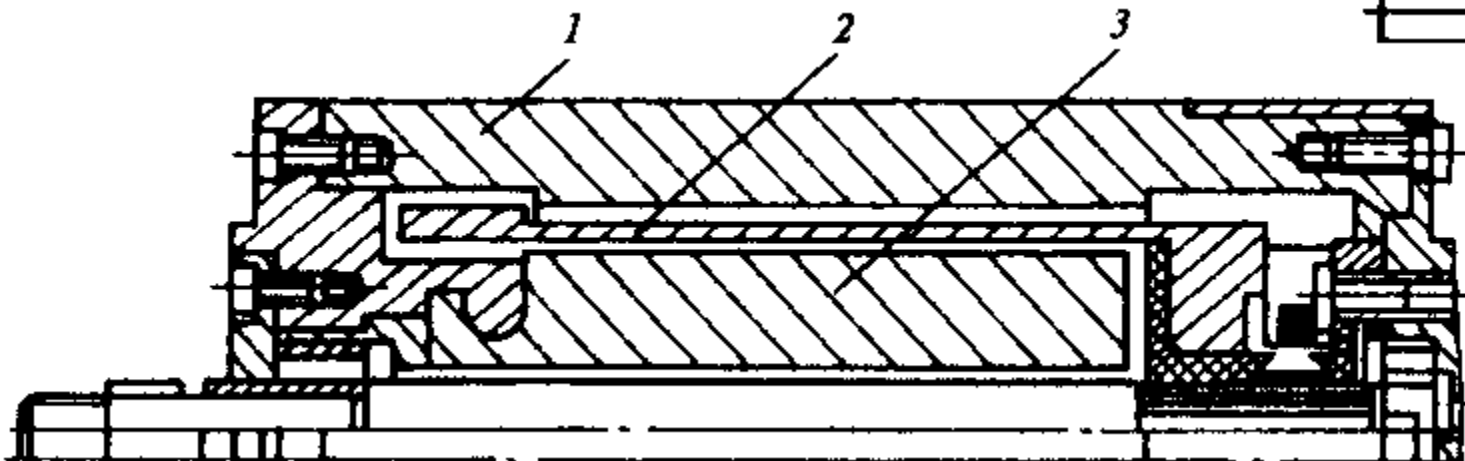
Конструкции ИДПТ

Малоинерционный ИДПТ

Обмотку якоря укладывают на оправке, закрепляют компаундом и убирают оправку

- » ОЯ вращается вместе с коллектором (без сердечника)
- » Внутренний неподвижный сердечник снижает магнитное сопротивление

с цилиндрическим якорем



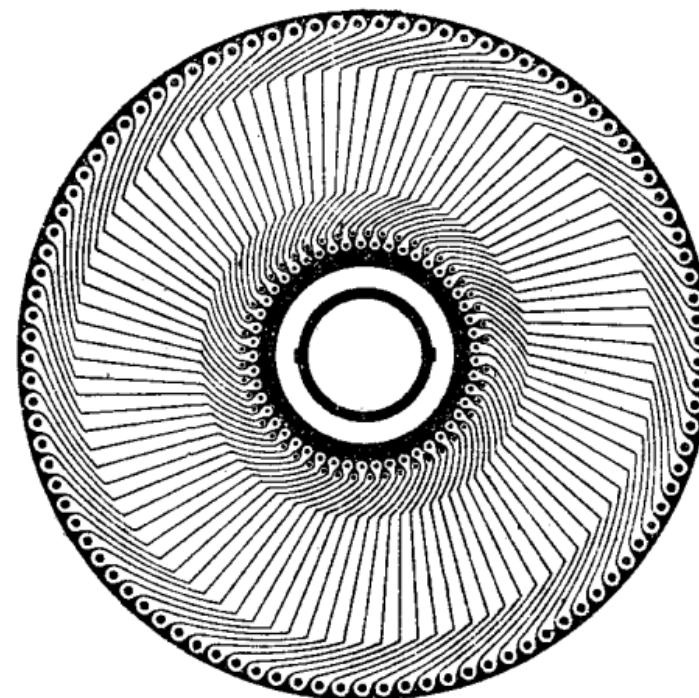
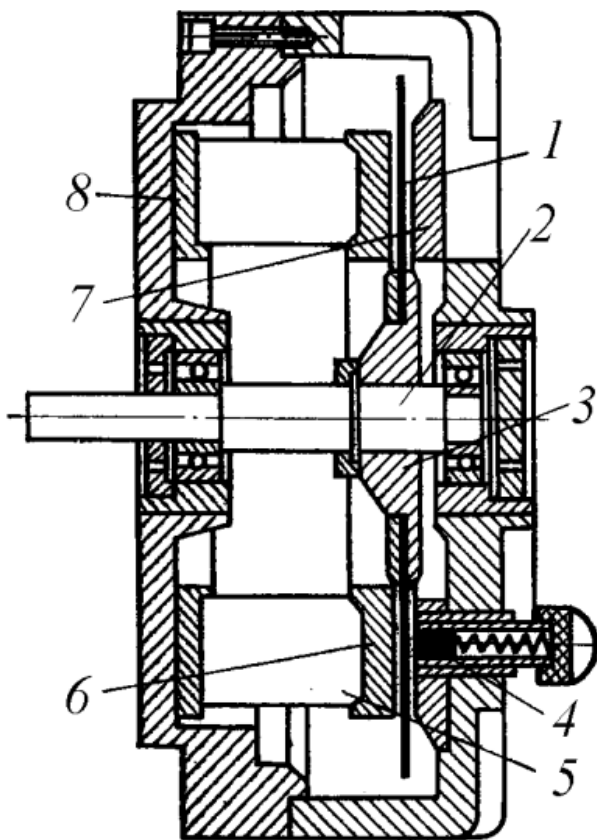
с дисковым якорем

Конструкции ИДПТ

Малоинерционный ИДПТ с дисковым якорем с печатной обмоткой

Проводники обмотки якоря изготавливают по технологии печатных плат (с двух сторон диска)

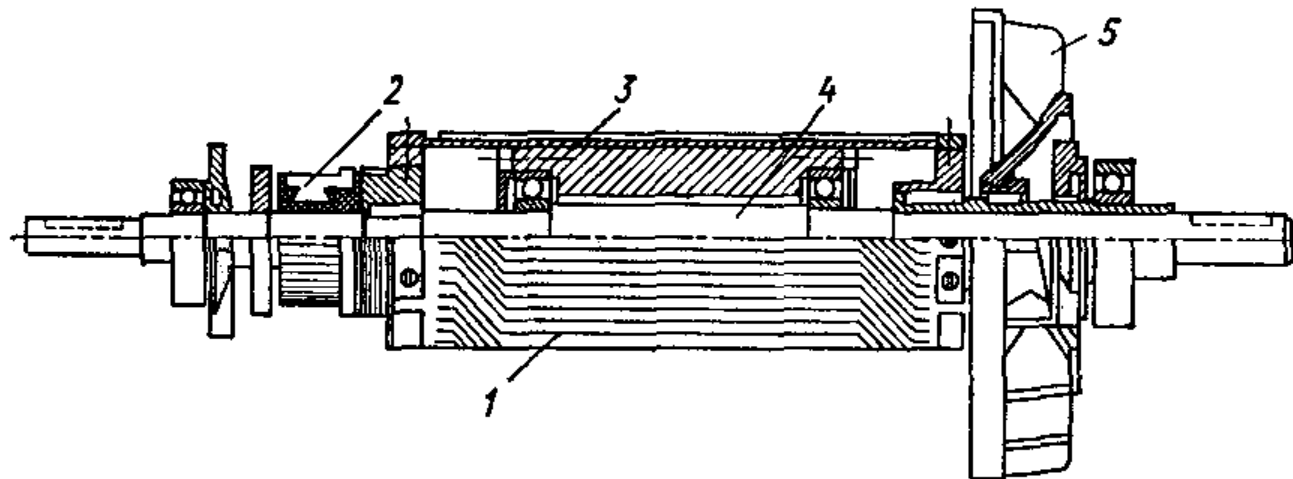
- » Ротор легкий с малым J
- » Не требуется коллектор – щетки скользят по проводникам ОЯ
- » Возбуждение – от ПМ
- » С другой стороны диска – сердечник (ядро)



Конструкции ИДПТ

Малоинерционный ИДПТ с цилиндрическим якорем с печатной обмоткой

В случае цилиндрического якоря момент инерции еще меньше
Выше прочность ротора
(допускается больше n)



Достоинства малоинерционных ИДПТ

- » малый момент инерции
- » высокое быстродействие
- » отсутствие магнитных потерь в якоре
- » безыскровая коммутация (малая индуктивность секций)
- » отсутствие сил магнитного тяжения (статор-ротор)

Недостатки

- » большой немагнитный промежуток
- » малая механическая прочность ротора
- » ограниченное число витков якоря (печатная обмотка - однослойная)
- » износ витков якоря из-за трения щеток

Якорное управление ИДПТ

Уравнения,
характеристики

Якорное управление ИДПТ

Обмотка возбуждения (ОВ) – обмотка полюсов ИДПТ (или ПМ)

» независимое возбуждение

» $U_B = \text{const}$

Обмотка управления (ОУ) – обмотка якоря ИДПТ

» $U_y = \text{var} \rightarrow n, M$

Обмотка возбуждения (ОВ)

» $U_B \rightarrow I_B \rightarrow \Phi_B$

» $\Phi_B = c_\Phi U_B (= \text{const})$

Обмотка управления (ОУ)

» $E_y = c_E n \Phi_B$

» $U_y = E_y + I_y r_y$

(r_y – сопротивление обмотки якоря)

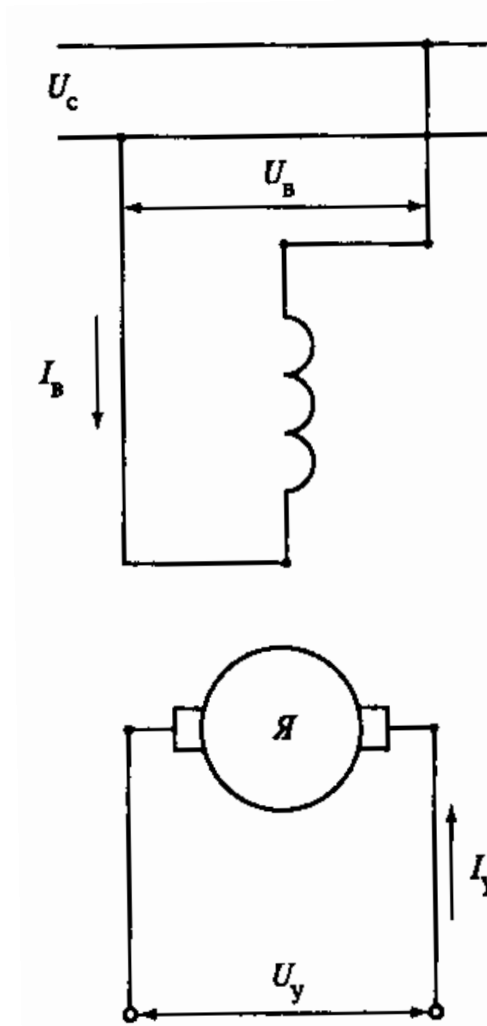
Ток обмотки управления

$$I_y = \frac{U_y - E_y}{r_y} = \frac{U_y - c_E c_\Phi U_B n}{r_y}$$

Вращающий момент ИДПТ

$$M = c_M \Phi_B I_y = c_M c_\Phi U_B I_y$$

$$M = \frac{c_M c_\Phi U_B U_y - c_E c_M c_\Phi^2 U_B^2 n}{r_y}$$



Якорное управление ИДПТ

Исполнительные двигатели используются в системах автоматики
Для них принято записывать уравнения в относительных единицах

Система относительных единиц

– относительно базовых величин

» Базовое напряжение $U_{\sigma} = U_B (=const)$

➤ Напряжение управления $\rightarrow \alpha = \frac{U_y}{U_B}$ (коэффициент сигнала)

» Базовый момент

– момент ИДПТ при пуске ($n = 0$) при $\alpha = 1$ $M_{\sigma} = M_{\text{пл}} = \frac{c_M c_{\Phi} U_B^2}{r_y}$

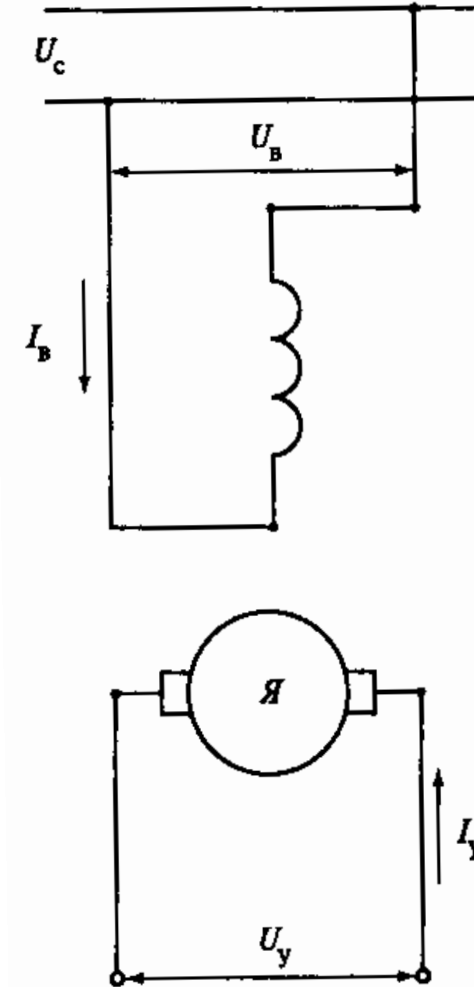
➤ Относительный момент $\rightarrow m = \frac{M}{M_{\sigma}}$

» Базовая частота вращения

– частота вращения ХХ ($M = 0$) при $\alpha = 1$ $n_{\sigma} = n_0 = \frac{1}{c_E c_{\Phi}}$

➤ Относительная скорость $\rightarrow v = \frac{n}{n_{\sigma}} = \frac{\Omega}{\Omega_{\sigma}}$

Тогда момент ИДПТ $M = \frac{c_M c_{\Phi} U_B U_y - c_E c_M c_{\Phi}^2 U_B^2 n}{r_y} \rightarrow m = \alpha - v$



Якорное управление ИДПТ

Механические характеристики

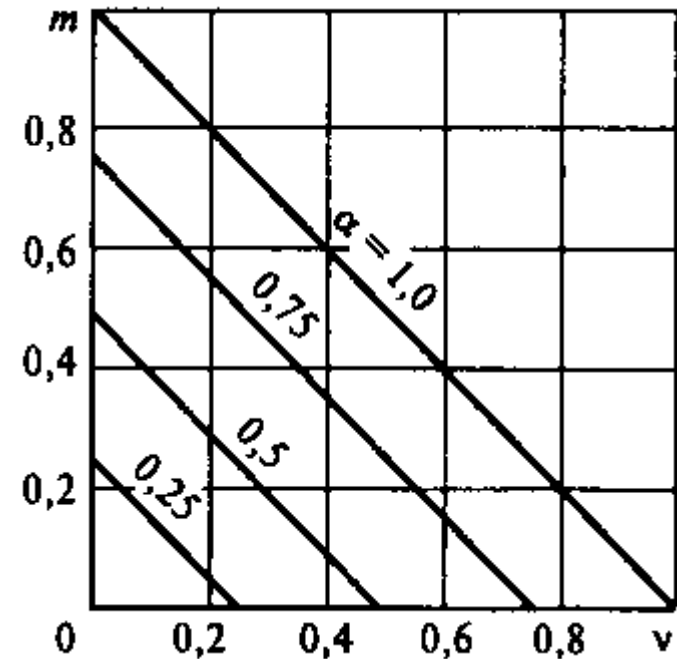
Механическая характеристика: $m = f(v)$ при $\alpha = \text{const}$

Семейство механических характеристик для разных α

- » Механические характеристики – линейны
- » При пуске ($v = 0$)
(M_{II} пропорционален U_y) $m_{II} = \alpha$
- » При ХХ ($m = 0$)
(n_{XX} пропорциональна U_y) $v_{XX} = \alpha$
- » Жесткость механических характеристик не изменяется для всех α

Идеальные механические характеристики для исполнительного двигателя

$$m = \alpha - v$$



Якорное управление ИДПТ

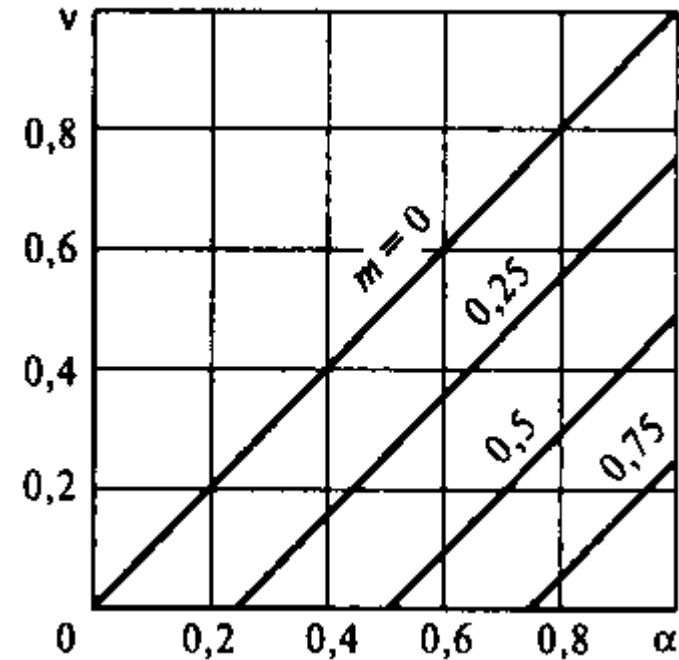
Регулировочные характеристики

Регулировочная характеристика: $v = f(\alpha)$ при $m_c = \text{const}$

Семейство регулировочных характеристик для разных m_c

- » Регулировочные характеристики – линейны
- » При любом моменте сопротивления скорость пропорциональная сигналу управления
- » При любом моменте сопротивления максимальная скорость – при $\alpha = 1$
- » Напряжение управления, при котором начинается вращение ИД (при заданном моменте сопротивления) – **напряжение трогания**
- » Тогда **сигнал трогания** – $\alpha_{\text{тр}} = m$
(в реальных ИД есть собственный момент сопротивления, поэтому $U_{\text{тр}}$ на 5% больше теоретического)

$$v = \alpha - m$$



При $\alpha = 0$ всегда $v = 0$ (даже при ХХ)
→ ИДПТ с якорным управлением не имеет самохода

Якорное управление ИДПТ

Мощности ИДПТ

При анализе работы двигателя надо знать потребляемую и отдаваемую мощности

Мощность возбуждения

потребляется обмоткой полюсов

» неизменна при любом α

» не зависит от нагрузки

» выделяется в виде тепла (потери)

В ИДПТ мощностью >250 Вт P_B составляет 5...10% от потребляемой мощности

В ИДПТ мощностью <10 Вт P_B составляет 20...30% от потребляемой мощности

$$P_B = I_B^2 r_B = \frac{U_B^2}{r_B}$$

В машинах с ПМ $P_B = 0$

Якорное управление ИДПТ

Мощности ИДПТ

При анализе работы двигателя надо знать потребляемую и отдаваемую мощности

Мощность управления

потребляется обмоткой якоря

$$P_y = U_y I_y = U_y \frac{U_y - E_y}{r_y}$$

- » преобразуется в механическую мощность
– заставляет вращаться двигатель и нагрузку
- » покрывает потери в якоре (электрические и магнитные)
- » составляет 70...95% всей потребляемой мощности
(это недостаток, т.к. придется усиливать сигнал управления)

Перепишем выражение P_y с учетом $n_\sigma = \frac{1}{c_E c_\Phi}$ и $E = c_E n \Phi_B = c_E n c_\Phi U_B = \frac{1}{n_\sigma} n U_B = v U_B$

$$P_y = U_y \frac{U_y - E_y}{r_y} = \alpha U_B \frac{\alpha U_B - v U_B}{r_y} = \alpha^2 \frac{U_B^2}{r_y} - \alpha v \frac{U_B^2}{r_y} = \alpha \left(\alpha \frac{U_B^2}{r_y} - v \frac{U_B^2}{r_y} \right)$$

Максимальная потребляемая мощность

– мощность P_y при пуске ($v = 0$) и номинальном напряжении ($U_y = U_{y.H}, \alpha = 1$) $P_{1max} = U_{y.H} I_{y.H} = U_{y.H} \frac{U_{y.H} - 0}{r_y} = \frac{(U_B)^2}{r_y}$

Тогда относительно максимальной мощности $p_y = \frac{P_y}{P_{1max}} = \alpha^2 - \alpha v = \alpha(\alpha - v)$

Якорное управление ИДПТ

Мощности ИДПТ

При анализе работы двигателя надо знать потребляемую и отдаваемую мощности

Полная механическая мощность

$$P_{\text{мех}} = M\Omega \rightarrow p_R = mv = (\alpha - v)v = \alpha v - v^2$$

Нелинейная функция частоты вращения

» при пуске ($v = 0$) $\rightarrow p_R = 0$

» при ХХ ($m = 0$) $\rightarrow p_R = 0$

Найдем экстремум (максимальную мощность)

приравняем нулю производную dp_R/dv ,

получим скорость, при которой мощность максимальна

$$v_{p_{\text{max}}} = \frac{\alpha}{2} = \frac{v_{\text{ХХ}}}{2} \quad \text{Тогда максимальная мощность} \quad P_{R_{\text{max}}} = \frac{\alpha^2}{4}$$

Номинальная мощность ИДПТ

– максимальная механическая мощность при $\alpha = 1$

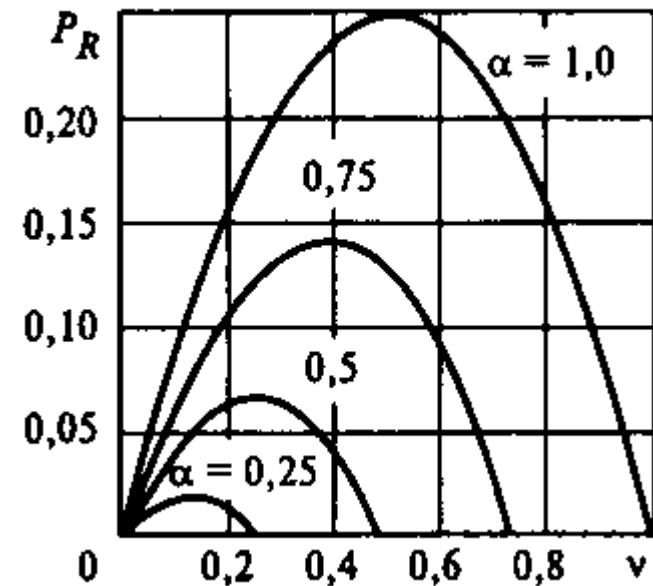
$$P_{R_{\text{H}}} = \frac{1}{4}$$

Номинальная частота вращения ИДПТ

– та, при которой мощность максимальна при $\alpha = 1$

$$v_{\text{H}} = \frac{1}{2}$$

Зависимость $p_R = f(v)$ при разных α



Базовая механическая мощность – произведение базового момента и базовой скорости

$$P_{\text{б}} = M_{\text{б}} \cdot \Omega_{\text{б}}$$

Импульсное управление ИДПТ

Разновидность
якорного управления

Импульсное управление ИДПТ

В маломощных системах автоматики вместо регулирования напряжения U_y проще коммутировать его, меняя продолжительность включения ОУ

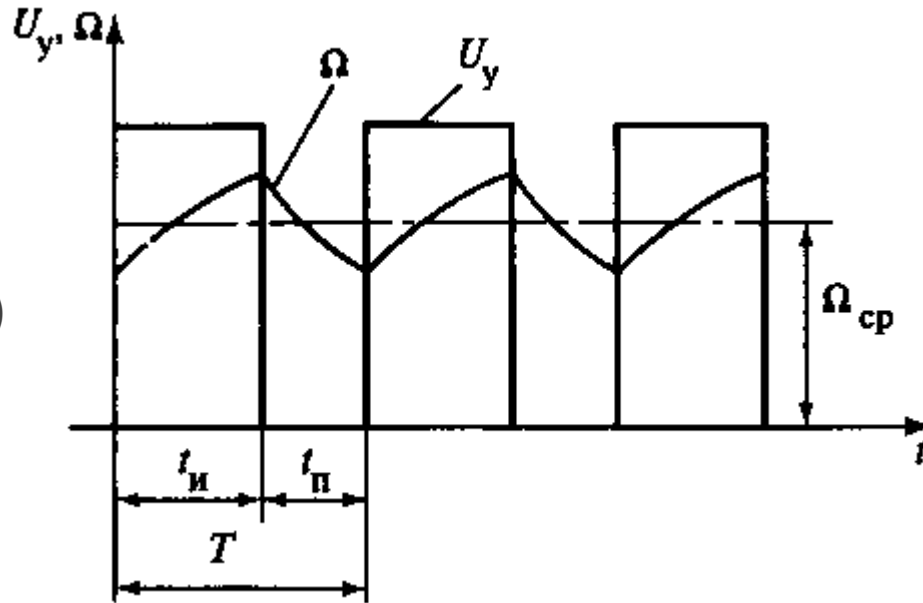
T – период коммутации

$t_{и}$ – длительность импульса

$t_{п}$ – длительность паузы

Продолжительность включения
(коэффициент заполнения / duty cycle)

$$\tau_{и} = \frac{t_{и}}{T} \quad \tau_{и} = 0 \dots 1$$



Скважность $S = \frac{T}{t_{и}} = \frac{1}{\tau_{и}}$

За время импульса – разгон на $\Delta\Omega_p$

$$J\Delta\Omega_p = (M_{эм} - M_{вн})t_{и}$$

За время паузы – торможение на $\Delta\Omega_T$

$$J\Delta\Omega_T = -M_{вн}t_{п}$$

В установившемся режиме \rightarrow средняя скорость и $\Delta\Omega_p = \Delta\Omega_T$

тогда $(M_{эм} - M_{вн})t_{и} = M_{вн}(T - t_{и})$

Электромагнитный момент должен быть

$$M_{эм} = M_{вн} \frac{T}{t_{и}} = \frac{M_{вн}}{\tau_{и}} \quad (> M_{вн} \text{ в } S \text{ раз})$$

Импульсное управление ИДПТ

При импульсном управлении всегда $\alpha = 1$, момент $m = m_{\text{ЭМ}}$, скорость $v = v_{\text{ср}}$

Тогда выражение для момента при якорном управлении $m = \alpha - v$ запишется в виде $m_{\text{ЭМ}} = 1 - v_{\text{ср}}$

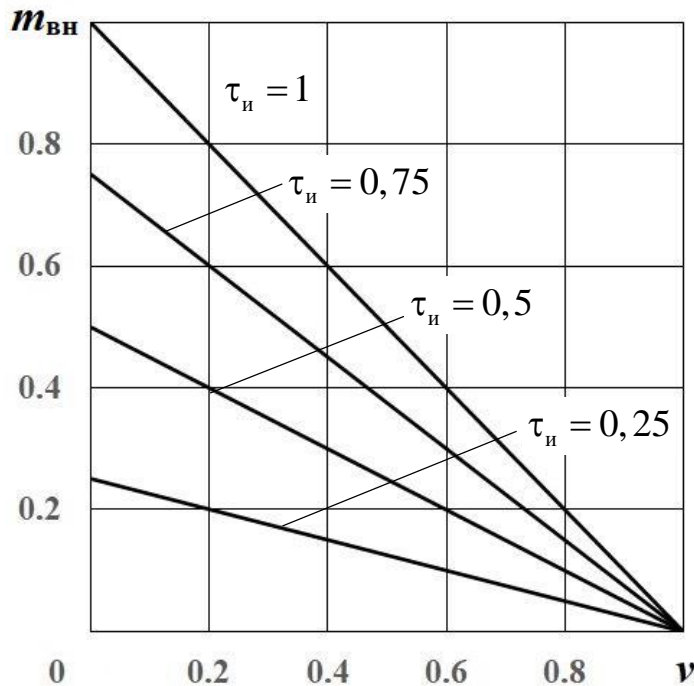
Электромагнитный момент при этом в о.е. $m_{\text{ЭМ}} = m_{\text{ВН}} / \tau_{\text{И}}$

Тогда внешний момент,

уравновешиваемый вращающим моментом $m_{\text{ВН}} = \tau_{\text{И}} (1 - v_{\text{ср}})$

При $\tau_{\text{И}} = \text{const}$ получаем выражение

механической характеристики $m_{\text{ВН}} = f(v_{\text{ср}})$



» Механические характеристики линейны

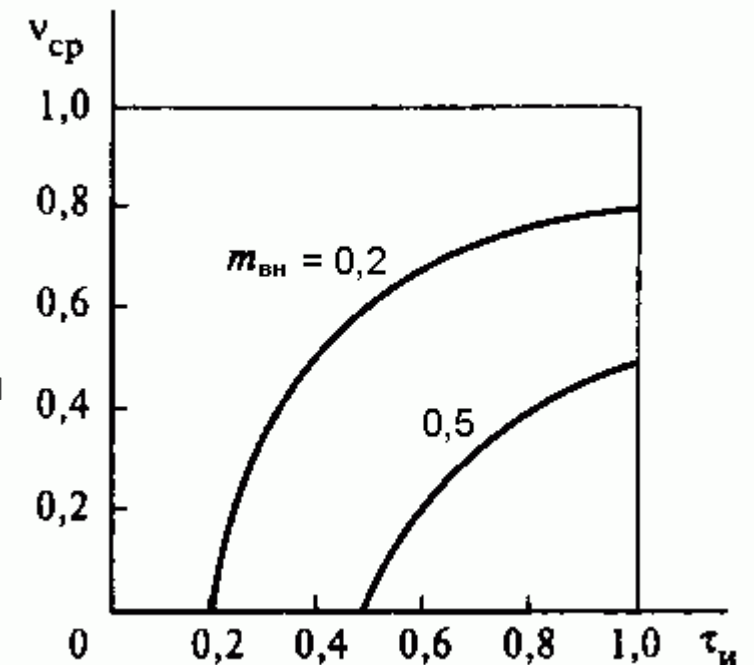
» Жесткость характеристик снижается с уменьшением $\tau_{\text{И}}$

» Регулировочные характеристики нелинейны

» Регулирование возможно лишь при $m_{\text{ВН}} > 0$ (на ХХ $v_{\text{ср}} = 1$ всегда)

Средняя скорость $v_{\text{ср}} = 1 - \frac{m_{\text{ВН}}}{\tau_{\text{И}}}$

При $m_{\text{ВН}} = \text{const}$ это выражение **регулировочной характеристики**



Полюсное управление ИДПТ

Уравнения,
характеристики

Полюсное управление ИДПТ

Обмотка возбуждения (ОВ) – обмотка якоря ИДПТ

- » ток ОВ (ток якоря) течет всегда и максимален при $E = 0$ ($n = 0$)
- » в ИДПТ мощностью >10 Вт включают $r_{доб}$ для ограничения тока

Обмотка управления (ОУ) – обмотка полюсов ИДПТ

- » ПМ использовать нельзя
- » $U_y = \text{var} \rightarrow n, M$

Обмотка полюсов (ОУ)

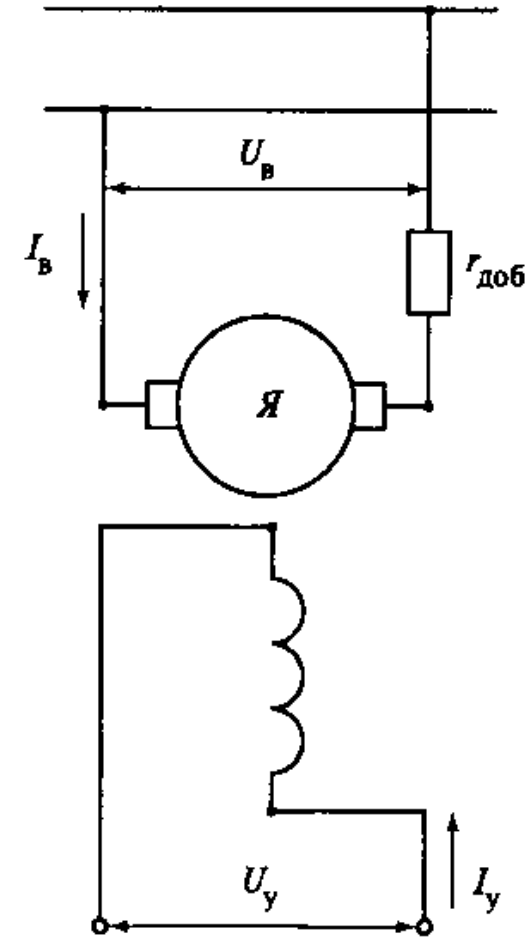
- » $U_y \rightarrow I_y \rightarrow \Phi_y$
- » $\Phi_y = c_\Phi U_y = c_\Phi \alpha U_B (= \text{var})$

Обмотка якоря (ОВ)

- » $E_B = c_E n \Phi_y = c_E c_\Phi \alpha U_B n$
- » $U_B = E_B + I_B r_B$
(r_B – сопротивление обмотки якоря)

Ток обмотки возбуждения
$$I_B = \frac{U_B - E_B}{r_B} = \frac{U_B - c_E c_\Phi \alpha U_B n}{r_B}$$

Вращающий момент ИДПТ
$$M = c_M \Phi_y I_B = \frac{c_M c_\Phi \alpha U_B^2 - c_E c_M c_\Phi^2 \alpha^2 U_B^2 n}{r_B}$$



Полюсное управление ИДПТ

Система относительных единиц полностью аналогична якорному управлению (базовые величины имеют те же значения)

» Базовый момент
– момент ИДПТ при пуске ($n = 0$) при $\alpha = 1$

$$M_{\delta} = M_{\text{пл}} = \frac{c_M c_{\Phi} U_B^2}{r_B}$$

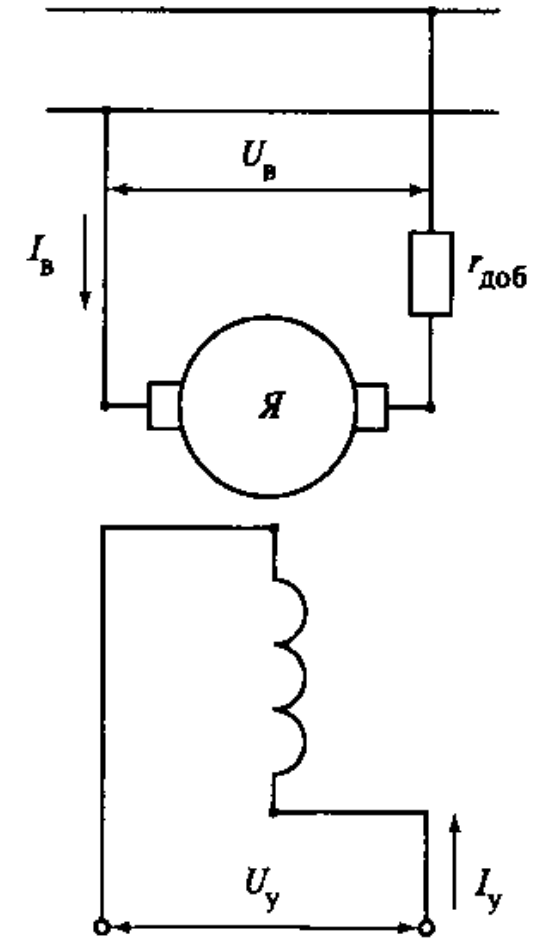
➤ Относительный момент $\rightarrow m = \frac{M}{M_{\delta}}$

» Базовая частота вращения
– частота вращения ХХ ($M = 0$) при $\alpha = 1$

$$n_{\delta} = n_0 = \frac{1}{c_E c_{\Phi}}$$

➤ Относительная скорость $\rightarrow v = \frac{n}{n_{\delta}} = \frac{\Omega}{\Omega_{\delta}}$

Тогда момент $M = \frac{c_M c_{\Phi} \alpha U_B^2 - c_E c_M c_{\Phi}^2 \alpha^2 U_B^2 n}{r_B} \rightarrow m = \alpha - \alpha^2 v$



Полюсное управление ИДПТ

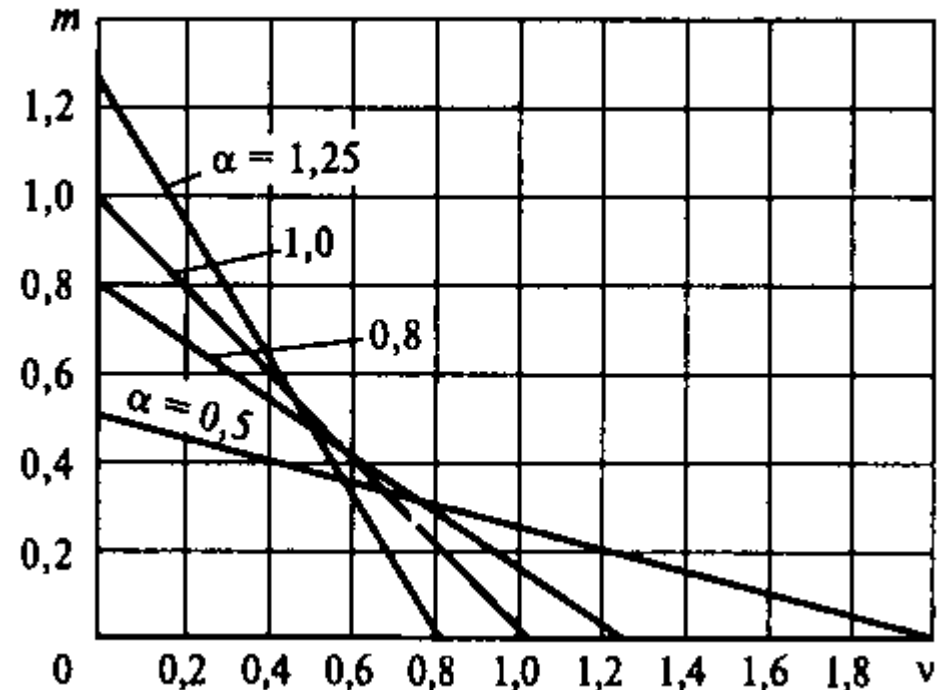
Механические характеристики

$$m = f(v) \text{ при } \alpha = \text{const}$$

Семейство механических характеристик для разных α

- » Механические характеристики – линейны
- » Жесткость характеристик снижается при уменьшении α
- » При пуске ($v = 0$)
(как и при якорном управлении) $m_{\pi} = \alpha$
- » При ХХ ($m = 0$)
($n_{\text{ХХ}}$ обратно пропорциональна α) $v_{\text{ХХ}} = \frac{1}{\alpha}$
- » При $\alpha = 0$ скорость ХХ $v_{\text{ХХ}} \rightarrow \infty$
(в реальном ИДПТ $M_c > 0$ и $v_{\text{ХХ}}$ конечна, но она может превысить допустимую \rightarrow двигатель идет вразнос)
- » Нельзя использовать ИДПТ при малых α в системах с малым моментом сопротивления

$$m = \alpha - \alpha^2 v$$



Полюсное управление ИДПТ

Регулировочные характеристики

$$v = f(\alpha) \text{ при } m_c = \text{const}$$

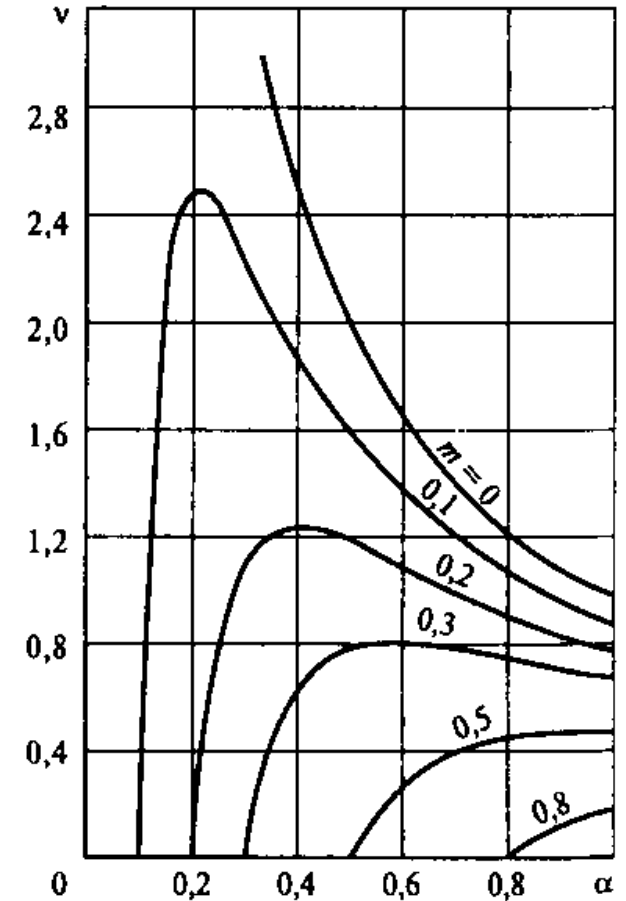
Семейство регулировочных характеристик для разных m_c

- » Регулировочные характеристики нелинейны
- » При ХХ ($m = 0$) получается гипербола ($v_{\text{ХХ}} = 1/\alpha$)
- » Максимум скорости при нагрузке ($m > 0$) найдем, приравняв нулю производную $dv/d\alpha$

$$\alpha_{v_{\text{max}}} = 2m \quad \text{тогда} \quad v_{\text{max}} = \frac{1}{4m}$$

- » При $\alpha = 1$ скорость $v = 1 - m$
- » Нелинейность регулировочных характеристик – недостаток
Недопустимый недостаток – неоднозначность характеристик
- » Допускается применять полюсное управление только в схемах, где момент сопротивления не ниже $\frac{1}{2}M_{\text{нп}}$ ($m > 0,5$)
- » Напряжение трогания (при $v = 0$) пропорционально моменту сопротивления т.е. сигнал трогания – $\alpha_{\text{тр}} = m$
(как и при якорном управлении)

$$v = \frac{\alpha - m}{\alpha^2}$$



Полюсное управление ИДПТ

Мощность возбуждения

потребляется обмоткой якоря

$$P_B = U_B I_B = U_B \frac{U_B - E_B}{r_B}$$

- » это основная часть потребляемой мощности
- » преобразуется в механическую мощность и покрывает потери в якоре

В ИДПТ мощностью >250 Вт P_B составляет до 95% от потребляемой мощности

В ИДПТ мощностью <10 Вт P_B составляет до 70% от потребляемой мощности

Мощность управления

потребляется обмоткой полюсов

$$P_y = I_y^2 r_y = \frac{U_y^2}{r_y} = \frac{\alpha^2 U_B^2}{r_y}$$

- » покрывает электрические потери в обмотке полюсов
- » составляет не более 5% потребляемой мощности в ИДПТ мощностью >250 Вт
- » и не более 30% потребляемой мощности в ИДПТ мощностью <10 Вт
(это достоинство ИДПТ с полюсным управлением)

Полюсное управление ИДПТ

Полная механическая мощность

$$p_R = mv = (\alpha - \alpha^2 v)v = \alpha v - \alpha^2 v^2$$

Найдем скорость, при которой мощность максимальна

$$v_{p\max} = \frac{1}{2\alpha} = \frac{v_{xx}}{2}$$

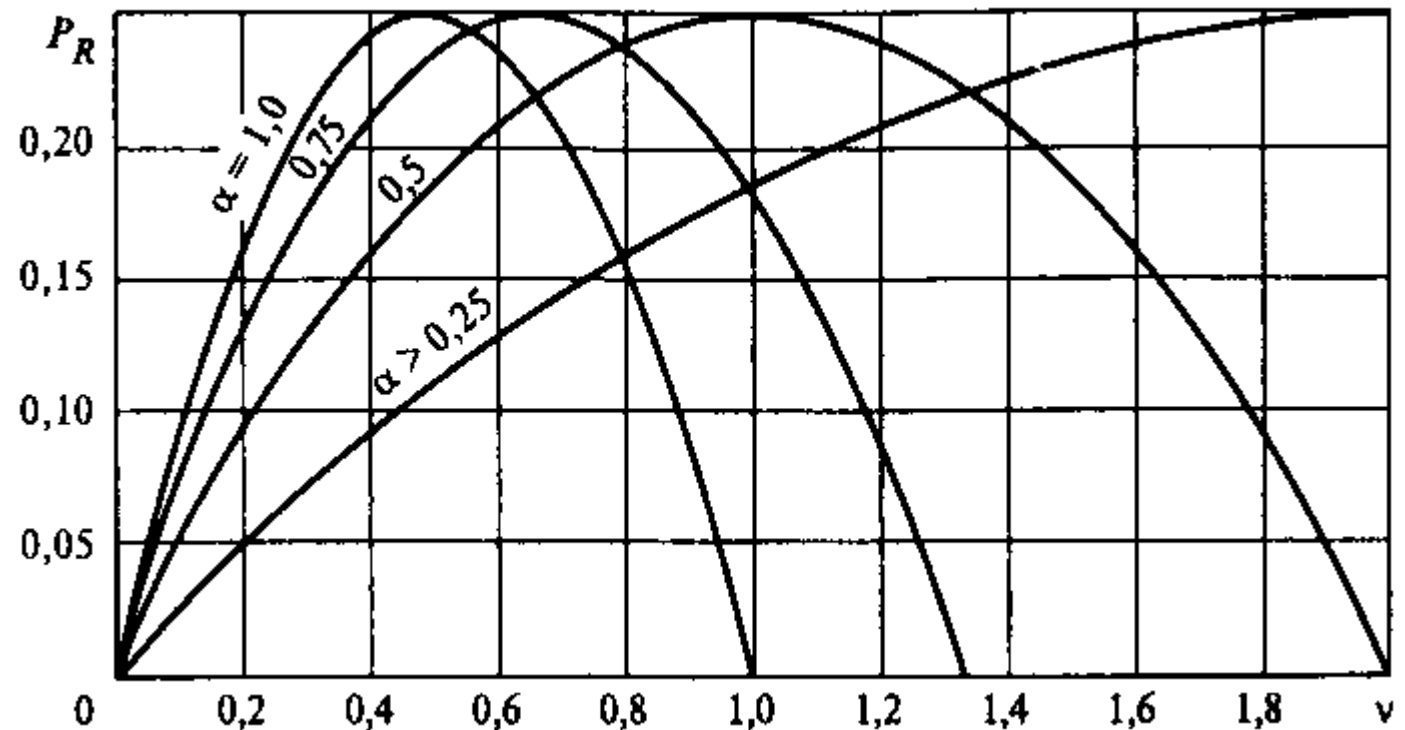
Тогда максимальная мощность

$$p_{R\max} = \alpha v_{p\max} - \alpha^2 v_{p\max}^2 = \frac{1}{2} - \frac{1}{4} = \frac{1}{4}$$

Максимальная мощность не зависит от α , но от α зависит скорость, при которой мощность максимальна

Достоинство: при незначительных U_y можно получить значительную мощность на валу

Зависимость $p_R = f(v)$ при разных α



Динамические характеристики исполнительных двигателей

На примере ИДПТ

Динамические характеристики исполнительных двигателей

Для оценки реакции двигателя на сигнал управления используются коэффициенты управления

Коэффициент внутреннего демпфирования (коэффициент вязкого трения)

- » характеризует величину и свойства собственного тормозного момента, развиваемого двигателем при изменении угловой скорости
- » численно равен тангенсу угла наклона касательной к механической характеристике в данной точке

$$k_D = \left. \frac{dM}{d\Omega} \right|_{U_y = \text{const}}$$

Для линейных механических характеристик k_D не зависит от скорости

$$k_D = \frac{M_{\Pi}}{\Omega_{XX}}$$

- » при якорном управлении $k_D = -1$
- » при полюсном управлении $k_D = -\alpha^2$

Условие устойчивой работы электродвигателя – $k_D < 0$

(демпфирующий момент стремится погасить изменение скорости)

В теории электропривода k_D – жесткость механической характеристики

Динамические характеристики исполнительных двигателей

Для оценки реакции двигателя на сигнал управления используются коэффициенты управления

Коэффициент управления по моменту

- » производная пускового момента по напряжению управления
- » и при якорном и при полюсном управлении $k_M = 1$

$$k_M = \frac{dM_{\Pi}}{dU_y}$$

Коэффициент управления по мощности

- » отношение пускового момента к потребляемой мощности управления при $\Omega = 0$

$$k_P = \frac{M_{\Pi}}{P_{y\Pi}}$$

Коэффициент управления по скорости

- » производная скорости ХХ к напряжению управления
- » определяет крутизну регулировочной характеристики при $M = 0$
- » пропорционален тангенсу угла наклона характеристики

$$k_{\Omega} = \frac{d\Omega_{XX}}{dU_y}$$

$$k_{\Omega} = \frac{\Omega_{XX}}{U_y} = \frac{k_M}{k_D}$$

Коэффициент управления по ускорению

- » учитывает влияние момента инерции ротора при пуске

$$k_J = \frac{k_M}{J} = \frac{M_{\Pi}}{U_y J}$$

Динамические характеристики исполнительных двигателей

Постоянная времени – характеризует быстродействие ИД в процессе разгона
Поскольку скорость электромагнитных переходных процессов очень велика,
в постоянной времени учитывают только электромеханическую составляющую

Электромеханические переходные процессы описываются уравнением движения

$$M - M_{\text{вн}} = J \frac{d\Omega}{dt} \quad \text{На ХХ } (M_{\text{вн}} = 0) \text{ переходные процессы определяются только свойствами двигателя}$$

Линейную механическую характеристику можно представить как $M = M_{\text{п}} - k_D \Omega = M_{\text{п}} - \frac{M_{\text{п}} \Omega}{\Omega_{\text{ХХ}}}$
(через пусковой момент $M_{\text{п}}$ и скорость холостого хода $\Omega_{\text{ХХ}}$)

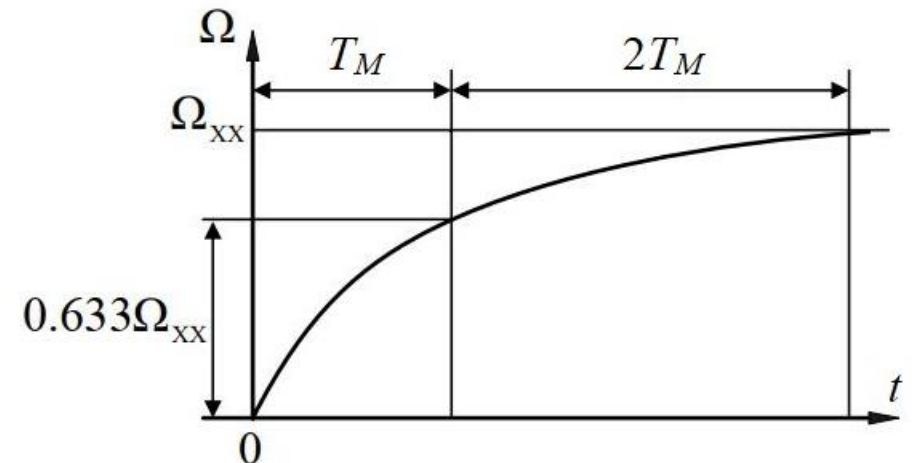
Тогда уравнение движения такого двигателя

$$M_{\text{п}} - \frac{M_{\text{п}} \Omega}{\Omega_{\text{ХХ}}} = J \frac{d\Omega}{dt} \quad \text{или} \quad \frac{d\Omega}{dt} + \frac{M_{\text{п}}}{J \Omega_{\text{ХХ}}} \Omega - \frac{M_{\text{п}}}{J} = 0$$

Решение однородного дифференциального уравнения

$$\Omega = \Omega_{\text{ХХ}} \left(1 - e^{-\frac{M_{\text{п}}}{J \Omega_{\text{ХХ}}} t} \right) = \Omega_{\text{ХХ}} \left(1 - e^{-\frac{t}{T_M}} \right)$$

где $T_M = \frac{J \Omega_{\text{ХХ}}}{M_{\text{п}}}$ – электромеханическая постоянная времени



Динамические характеристики исполнительных двигателей

Постоянная времени – характеризует быстродействие ИД в процессе разгона

$$T_M = \frac{J \Omega_{XX}}{M_{II}} \quad \text{Скорость XX и пусковой момент ИДПТ изменяются при изменении сигнала } \alpha$$

При якорном управлении

$$M_{II} = \alpha M_{II1} \quad \Omega_{XX} = \alpha \Omega_{XX1}$$

$$T_{Mя} = \frac{J \Omega_{XX}}{M_{II}} = \frac{J \alpha \Omega_{XX1}}{\alpha M_{II1}} = \frac{J \Omega_{XX1}}{M_{II1}}$$

При любом α разгон происходит одинаково быстро (достоинство)

При полюсном управлении

$$M_{II} = \alpha M_{II1} \quad \Omega_{XX} = \Omega_{XX1} / \alpha$$

$$T_{Mя} = \frac{J \Omega_{XX}}{M_{II}} = \frac{J \Omega_{XX1} / \alpha}{\alpha M_{II1}} = \frac{J \Omega_{XX1}}{\alpha^2 M_{II1}}$$

При регулировании чем меньше α , тем медленнее разгон ИД

Реальные постоянные времени ИДПТ несколько больше теоретических (влияние индуктивностей обмоток на электромагнитные процессы)

В ИДПТ традиционной конструкции T_M составляет 35...55 мс

В малоинерционных ИДПТ T_M в 2 раза меньше

Динамические характеристики исполнительных двигателей

Передаточная функция представляет собой отношение изображения по Лапласу выходной величины к изображению входной величины

Входной величиной ИДПТ является U_y , выходной может быть угловое перемещение γ или скорость $\Omega = \frac{d\gamma}{dt}$

Для выходной величины γ перепишем уравнение движения относительно углового перемещения

$$\frac{d\Omega}{dt} + \frac{M_{\Pi}}{J \Omega_{XX}} \Omega - \frac{M_{\Pi}}{J} = 0 \quad \rightarrow \quad \frac{d^2\gamma}{dt^2} + \frac{M_{\Pi}}{J \Omega_{XX}} \frac{d\gamma}{dt} - \frac{M_{\Pi}}{J} = 0 \quad \rightarrow \quad \frac{d^2\gamma}{dt^2} + \frac{1}{T_M} \frac{d\gamma}{dt} - \frac{k_M U_y}{J} = 0$$

Запишем последнее уравнение в операторной форме ($d/dt \rightarrow p_t$)

$$T_M p_t^2 \gamma + p_t \gamma = T_M \frac{k_M U_y}{J}$$

поскольку $\frac{T_M k_M}{J} = \frac{\Omega_{XX}}{U_y} = k_{\Omega}$

получим выражение передаточной функции в виде

$$\frac{\gamma}{U_y} = \frac{k_{\Omega}}{p_t(p_t T_M + 1)}$$

(коэф-т управления по скорости)

Если выходной величиной является скорость $\Omega = \frac{d\gamma}{dt} = p_t \gamma$ то передаточная функция записывается как

$$\frac{\Omega}{U_y} = \frac{k_{\Omega}}{p_t T_M + 1}$$

Далее

Асинхронные исполнительные двигатели

👤 Ширинский С.В.
каф. ЭМЭЭА, НИУ «МЭИ»

✉ ShirinskiiSV@mpei.ru

🔗 elmech.mpei.ac.ru/EMAU/
(srv0-5.mpei.ac.ru/EMAU/)

