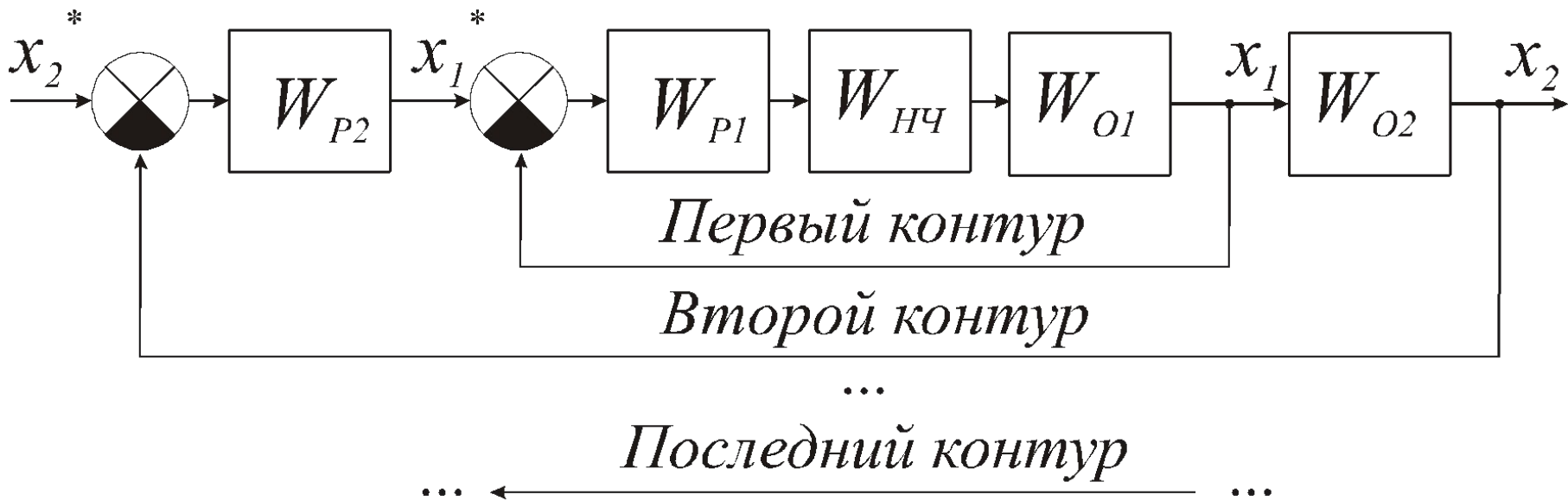

Замкнутые СУЭП ПОСТОЯННОГО ТОКА

Тема 3

Подчиненное регулирование координат



Настройка первого контура на технический оптимум

- Чтобы после замыкания контура ООС обеспечивались требуемые статические и динамические показатели качества регулирования, ПФ разомкнутого контура должна иметь определенный вид и параметры

$$W_{PK1}^* = \frac{1}{T_1 p} \cdot \frac{1}{T_\mu p + 1}$$

Замыкая ИЗ получаем ОЕЗ
ОЕЗ – хорошая динамика

От НЧ избавиться невозможно,
поэтому ее необходимо учитывать

Настройка первого контура на технический оптимум

- С учетом НЧ от постоянной времени контура T_1 зависят показатели качества регулирования

$$W_{K1}^* = \frac{W_{PK1}^*}{1 + W_{PK1}^*} = \frac{1}{T_1 T_\mu p^2 + T_1 p + 1}$$

- Двухъёмкостное звено
- Чтобы перерегулирование σ находилось в пределах 5% выбирают $T_1 = 2T_\mu$

Настройка первого контура на технический оптимум

- Настройка контура – это определение ПФ регулятора

$$W_{PK1}^* = \frac{1}{2T_{\mu}p} \cdot \frac{1}{T_{\mu}p + 1}$$

То, что хотим

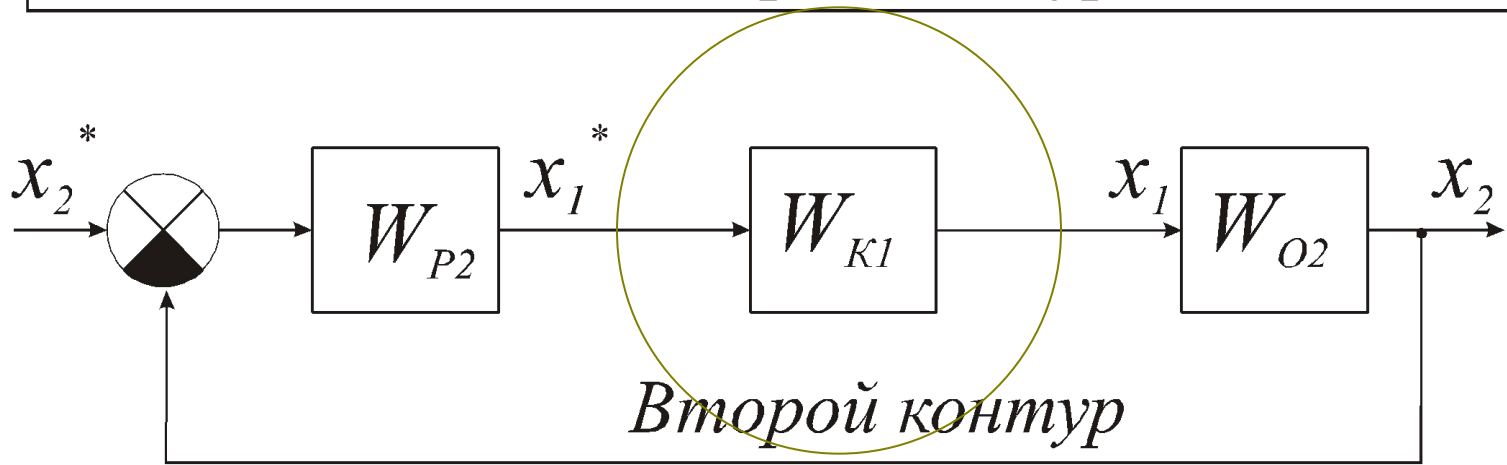
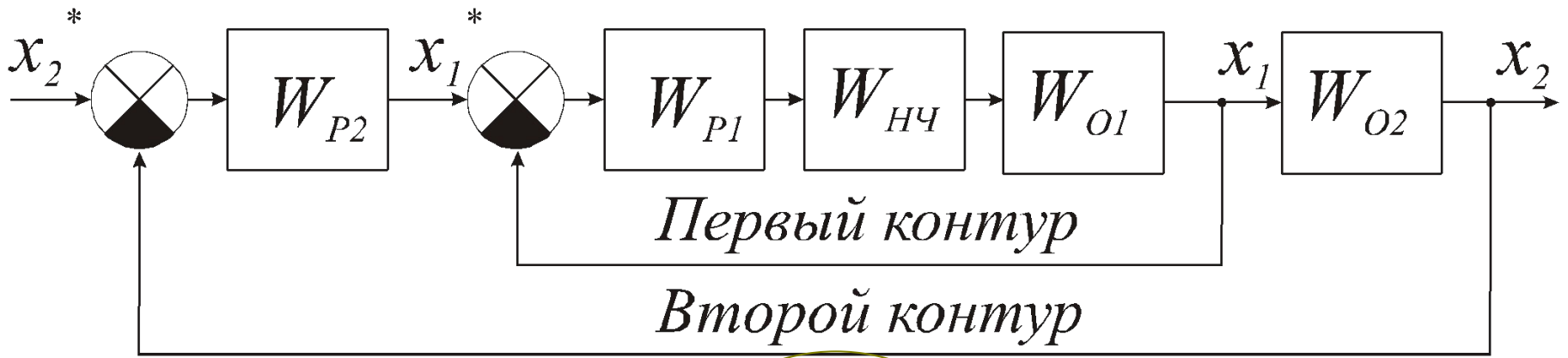
$$W_{PK1} = W_{P1} \cdot W_{O1} \cdot \frac{1}{T_{\mu}p + 1}$$

То, что имеем

- Из условия $W_{PK1}^* = W_{PK1}$ ПФ регулятора

$$W_{P1} = \frac{1}{2T_{\mu}p \cdot W_{O1}}$$

Настройка второго контура на технический оптимум



Настройка второго контура на технический оптимум

- Первый контур настроен по требованиям
- Динамику его работы нельзя компенсировать регулятором

$$W_{KI} = \frac{\frac{1}{T_\mu p + 1} \cdot \frac{1}{2T_\mu p}}{1 + \frac{1}{T_\mu p + 1} \cdot \frac{1}{2T_\mu p}} = \frac{1}{\cancel{2T_\mu^2 p^2} + 2T_\mu p + 1}$$

По сути это НЧ для второго контура

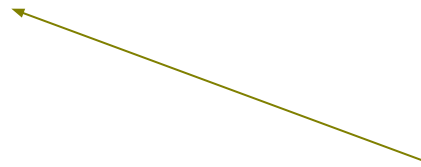
Настройка второго контура на технический оптимум

- Желаемая ПФ разомкнутого второго контура

$$W_{PK2}^* = \frac{1}{T_2 p} \cdot \frac{1}{T_1 p + 1}$$



Постоянная времени второго контура T_2
зависит от постоянной времени T_1



Все это можно выразить через T_μ

Настройка второго контура на технический оптимум

- Настройка второго контура

$$W_{PK2}^* = \frac{1}{2^2 T_{\mu} p} \cdot \frac{1}{2T_{\mu} p + 1} \quad W_{PK2} = W_{P2} \cdot W_{O2} \cdot \frac{1}{2T_{\mu} p + 1}$$

То, что хотим

То, что имеем

- Из условия $W_{PK2}^* = W_{PK2}$ ПФ регулятора

$$W_{P2} = \frac{1}{2^2 T_{\mu} p \cdot W_{O2}}$$

Настройка произвольного контура на технический оптимум

- Следующие контуры настраиваются так же

$$W_{K(i-1)} \approx \frac{1}{2^{i-1} T_{\mu} p + 1} \quad W_{PKi}^* = \frac{1}{2^i T_{\mu} p} \cdot \frac{1}{2^{i-1} T_{\mu} p + 1}$$

Замыкаем предыдущий контур

Записываем желаемую разомкнутую ПФ

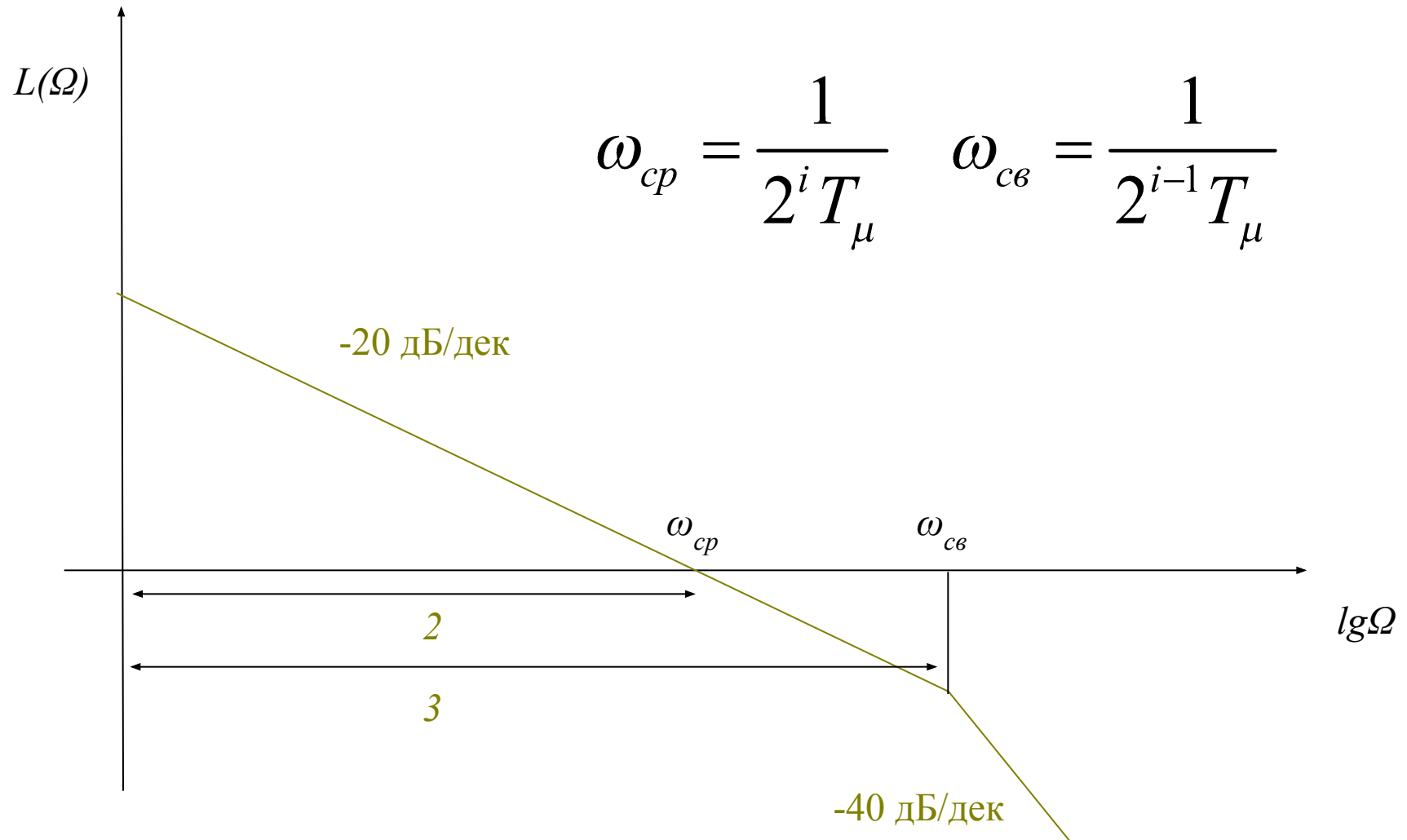
$$W_{PKi} = W_{Pi} \cdot W_{Oi} \cdot \frac{1}{2^{(i-1)} T_{\mu} p + 1}$$

Записываем имеющуюся разомкнутую ПФ

Выражаем регулятор

$$W_{Pi} = \frac{1}{2^i T_{\mu} p \cdot W_{Oi}}$$

Свойства контура, настроенного на технический оптимум



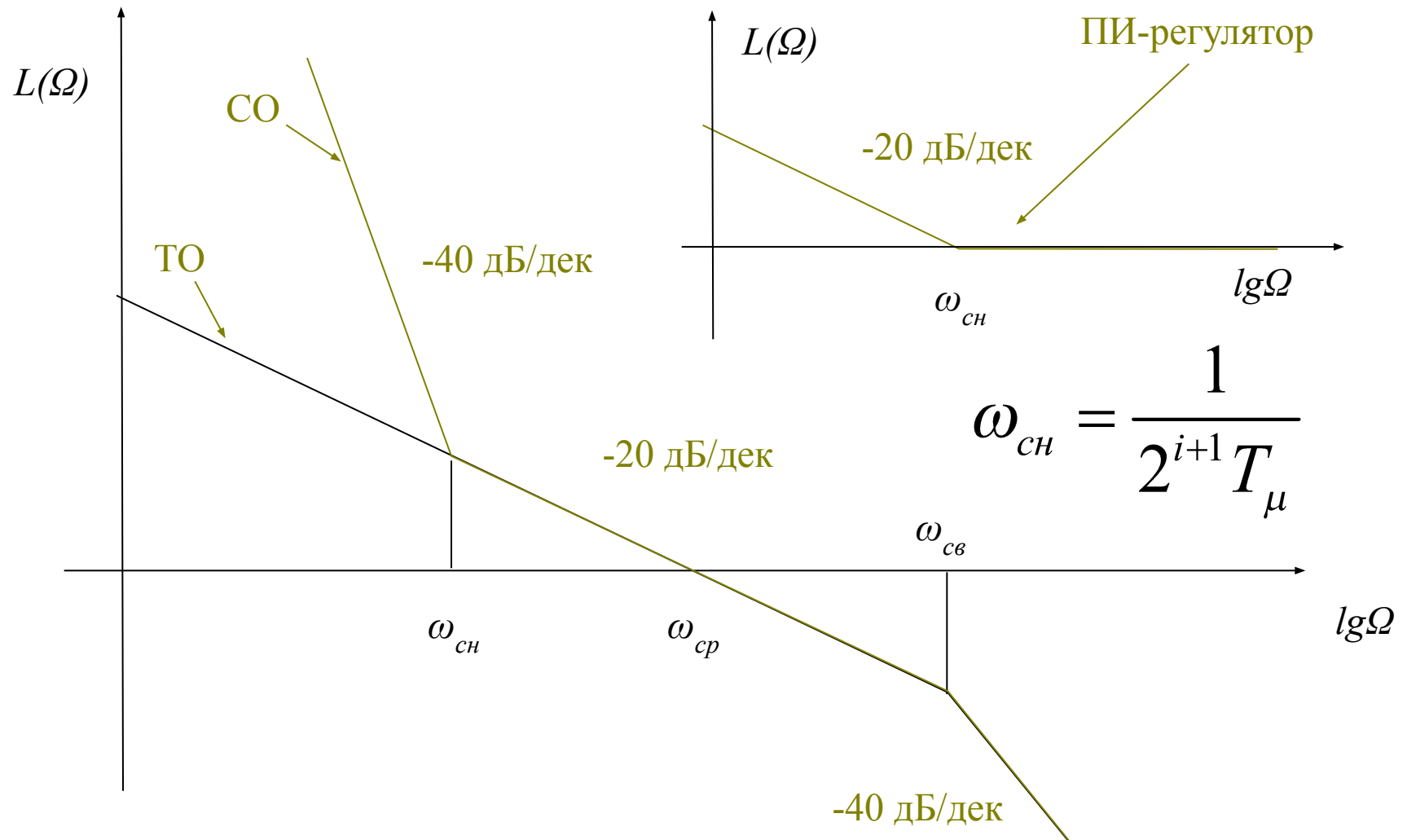
Свойства контура, настроенного на технический оптимум

- Частота ω_{cp} находится на участке с наклоном -20 дБ/дек – это гарантирует устойчивость
- Соотношение частот $\omega_{cp}/\omega_{св}$ как $2/3$ свидетельствует о хорошем запасе устойчивости
- Настройка на технический оптимум обеспечивает порядок астатизма $a=1$

Свойства контура, настроенного на технический оптимум

- Так как порядок астатизма $a=1$, при внешних возмущениях может возникнуть статическая ошибка
- Нужно повысить порядок астатизма
- Для этого применяют настройку на симметричный оптимум, для которого $a=2$

Свойства контура, настроенного на симметричный оптимум



Настройка произвольного контура на симметричный оптимум

- Чтобы настроить контур на СО надо задать соответствующую желаемую ПФ

$$W_{PKi}^* = \frac{1}{2^i T_\mu p} \cdot \frac{1}{2^{i-1} T_\mu p + 1} \cdot \frac{2^{i+1} T_\mu p + 1}{2^{i+1} T_\mu p}$$

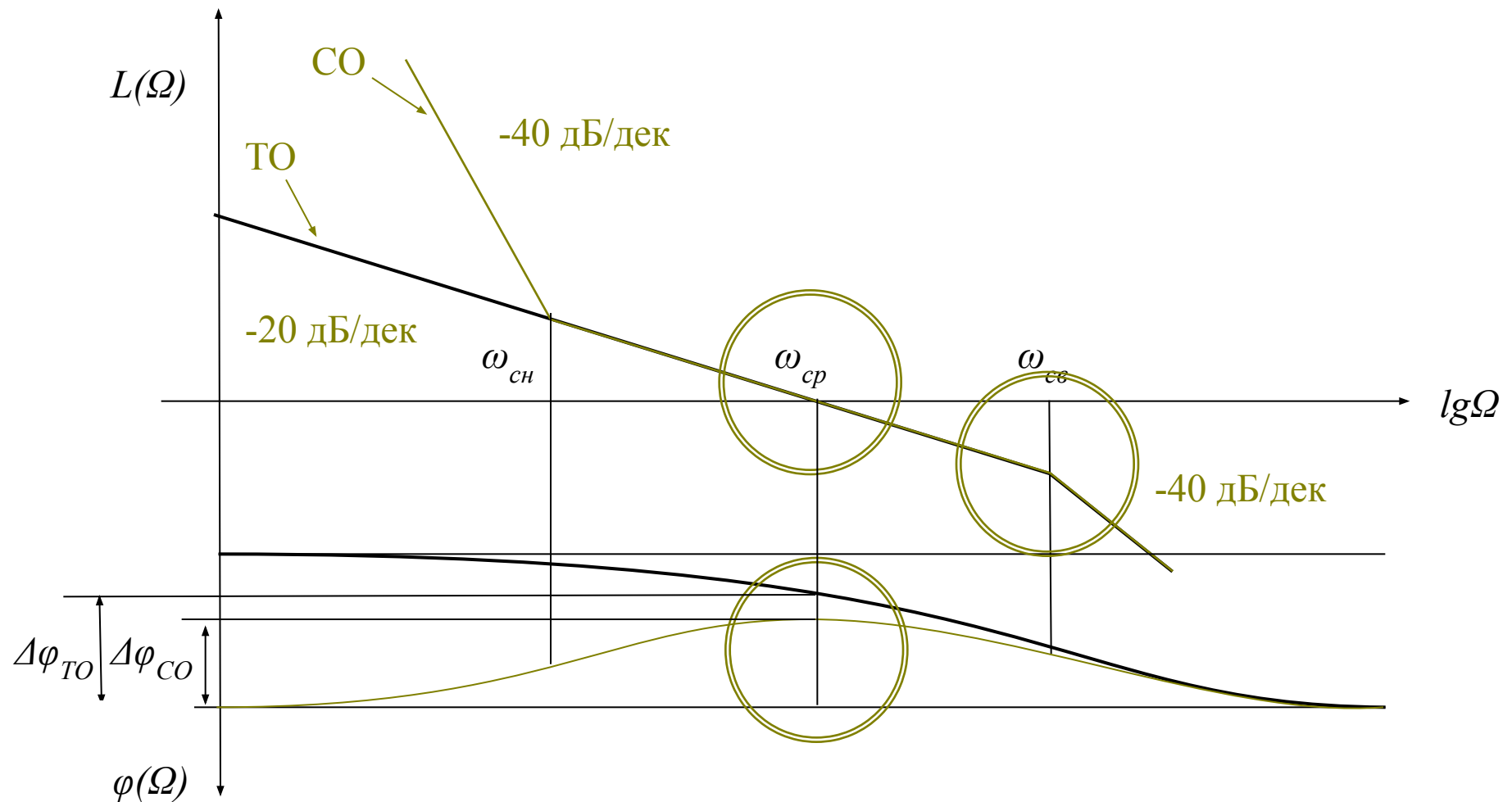
$$W_{PKi} = W_{Pi} W_{Oi} \frac{1}{2^{i-1} T_\mu p + 1}$$

↑ Записываем желаемую разомкнутую ПФ
← Записываем имеющуюся разомкнутую ПФ

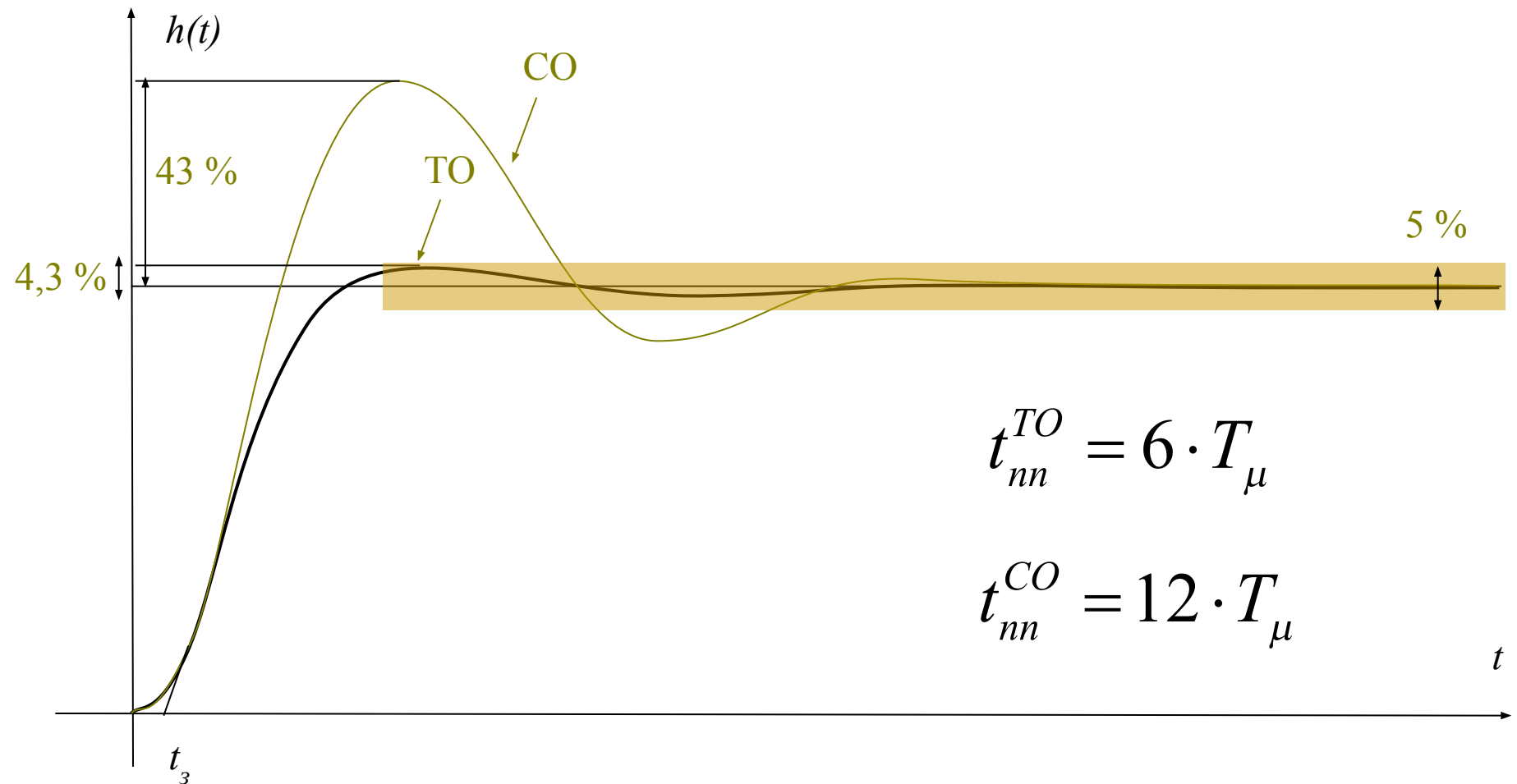
$$W_{Pi} = \frac{1}{W_{Oi}} \frac{1}{2^i T_\mu p} \frac{2^{i+1} T_\mu p + 1}{2^{i+1} T_\mu p}$$

← Выражаем регулятор

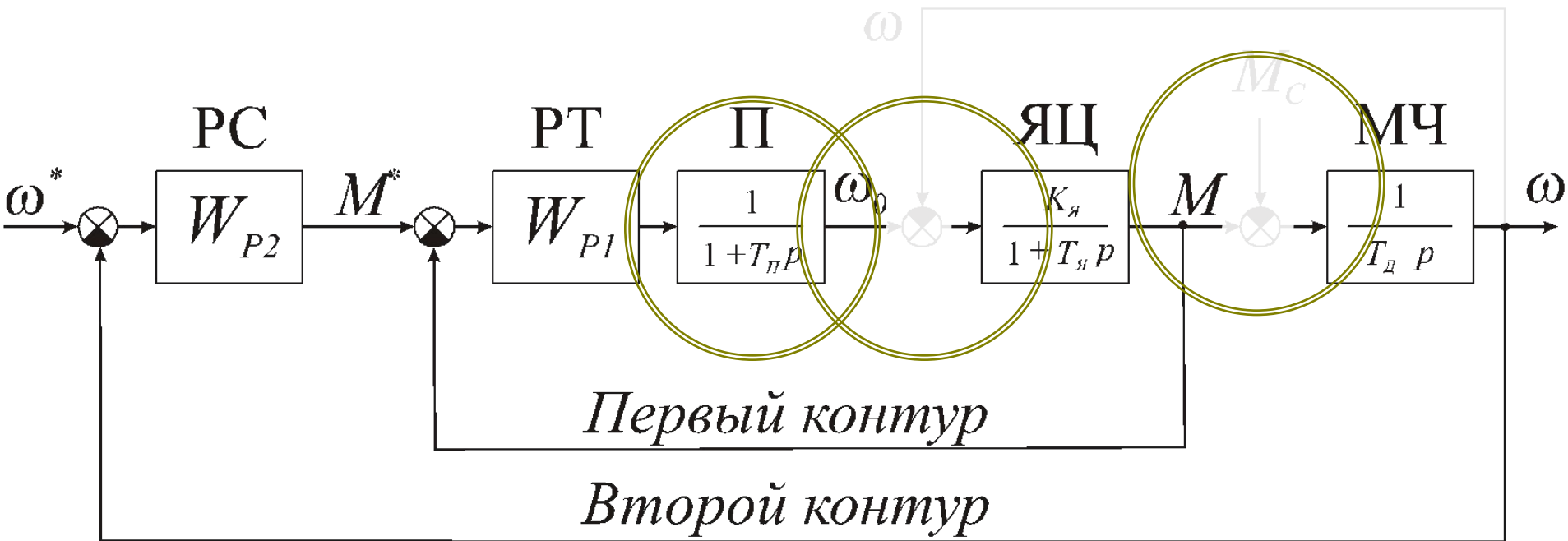
Сравнение технического и симметричного оптимума



Сравнение технического и симметричного оптимума



Настройка подчиненного регулирования в электроприводе



Настройка подчиненного регулирования в электроприводе

- Допущения
 - Пренебрегаем влиянием обратной связи по ЭДС
 - Пренебрегаем нагрузкой
- Настраиваем на ТО
 - Некомпенсируемая постоянная времени $T_{\mu} = T_{\Pi}$
 - Регулятор тока (*1 контур*) это ПИ-регулятор
 - Регулятор скорости (*2 контур*) это П-регулятор

Настройка подчиненного регулирования в электроприводе

- Влияние обратной связи по ЭДС
 - Медленно меняющееся возмущение
 - Незначительно влияет на динамику
 - Вносит незначительную статическую ошибку
- Влияние нагрузки
 - Незначительно влияет на динамику
 - Создает существенную статическую ошибку

Можно пренебречь

Сложно пренебречь

Настройка подчиненного регулирования в электроприводе

- Контур скорости настраивают на СО
 - Регулятор скорости (*2 контур*) это ПИ-регулятор
 - Нужна дополнительная коррекция
 - 1. Чтобы избежать превышения по току на выходе регулятора скорости устанавливают ограничение на заданный ток и момент
 - 2. Чтобы сформировать плавный процесс пуска используют задатчик интенсивности
-

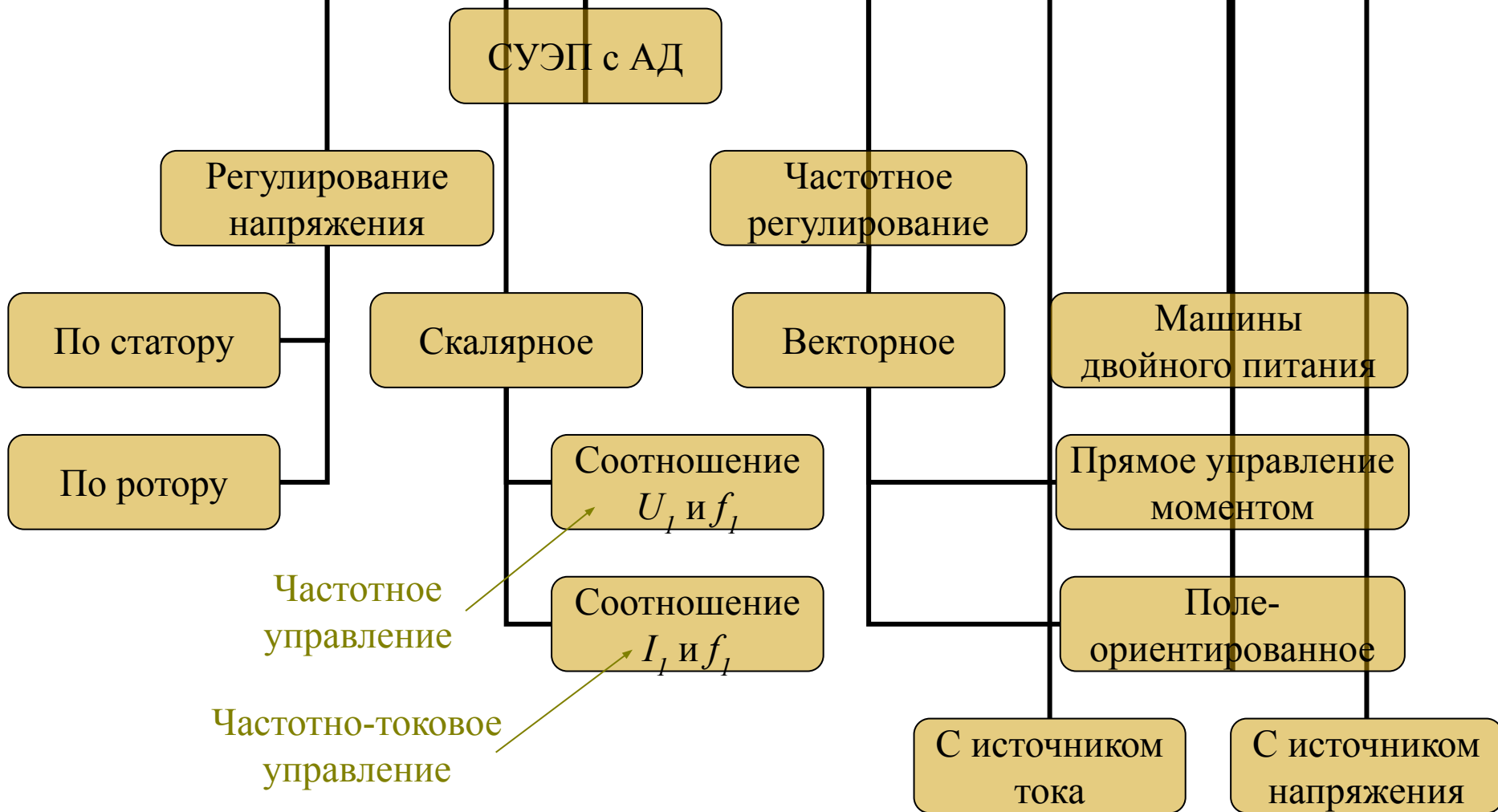
Замкнутые СУЭП на базе АД

Тема 4

Замкнутые СУЭП на базе асинхронных двигателей

- Электрические преобразователи
 - Тиристорные регуляторы напряжения – софт стартеры или устройства плавного пуска
 - Непосредственные преобразователи частоты
 - Преобразователи частоты со звеном постоянного тока
 - Информационная часть СУЭП
 - Датчики координат
 - Регуляторы и элементы коррекции
-

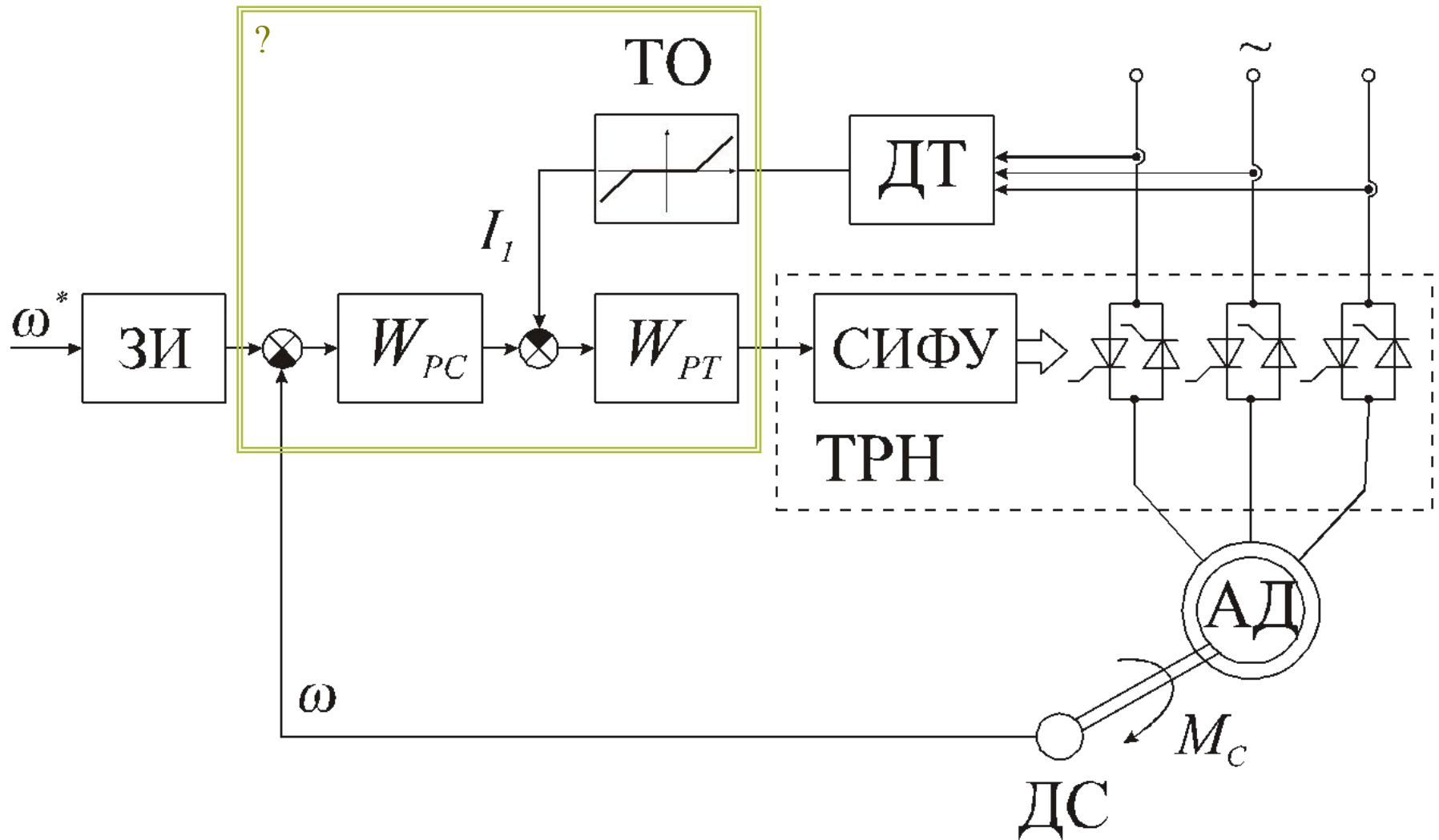
Замкнутые СУЭП на базе асинхронных двигателей



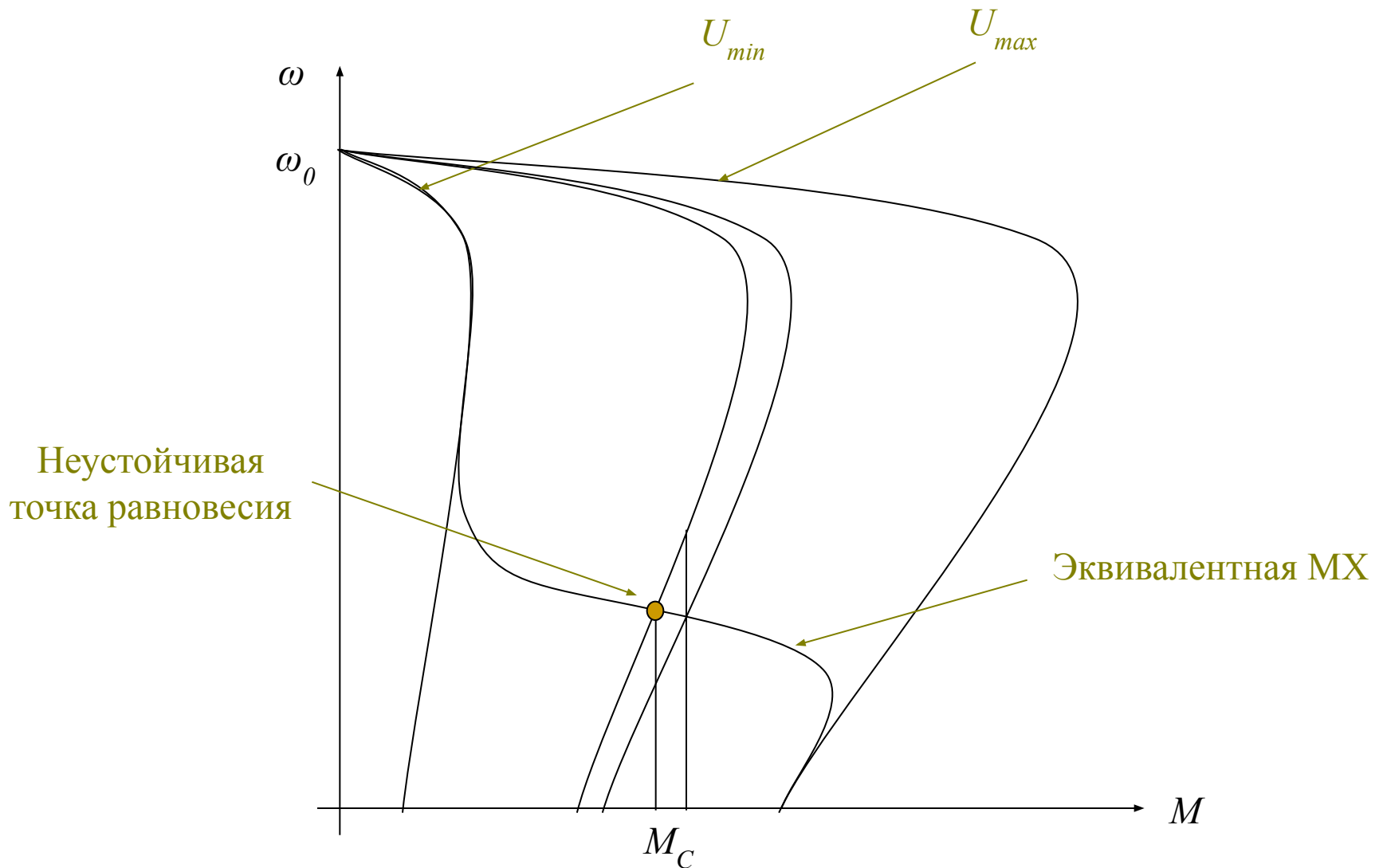
Регулирование напряжения статора

- Изменение напряжения АД в разомкнутом электроприводе
 - Диапазон $D=1..1,5:1$
 - Перегрузочная способность λ_M в квадратичной зависимости снижается при снижении U_1
- Используется для плавного пуска
- Можно регулировать скорость, если ввести обратную связь

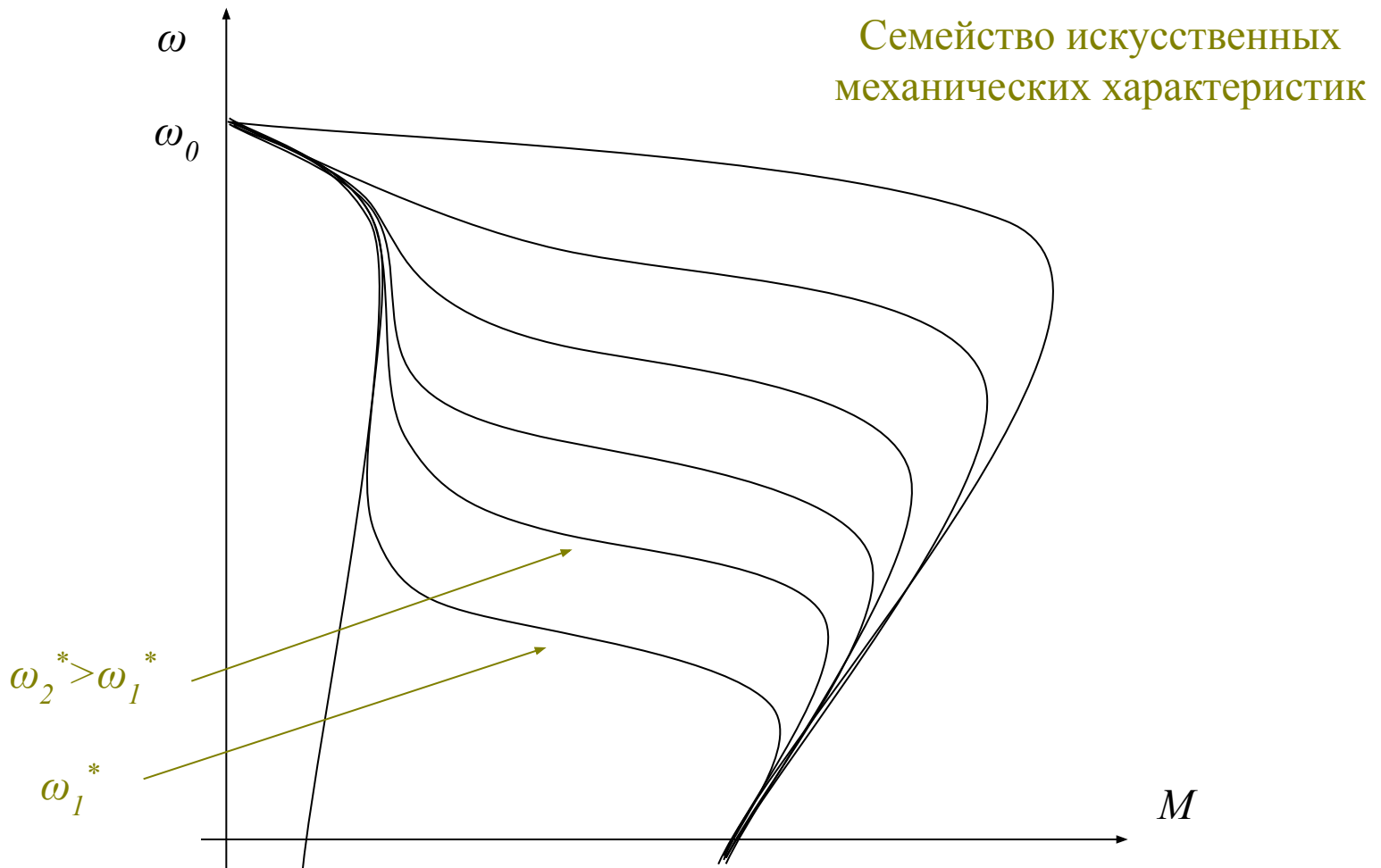
Регулирование напряжения статора



Регулирование напряжения статора



Регулирование напряжения статора



Регулирование напряжения статора

- Токовая отсечка ТО включает ООС по току только если $I_1 > I_{ОТС}$

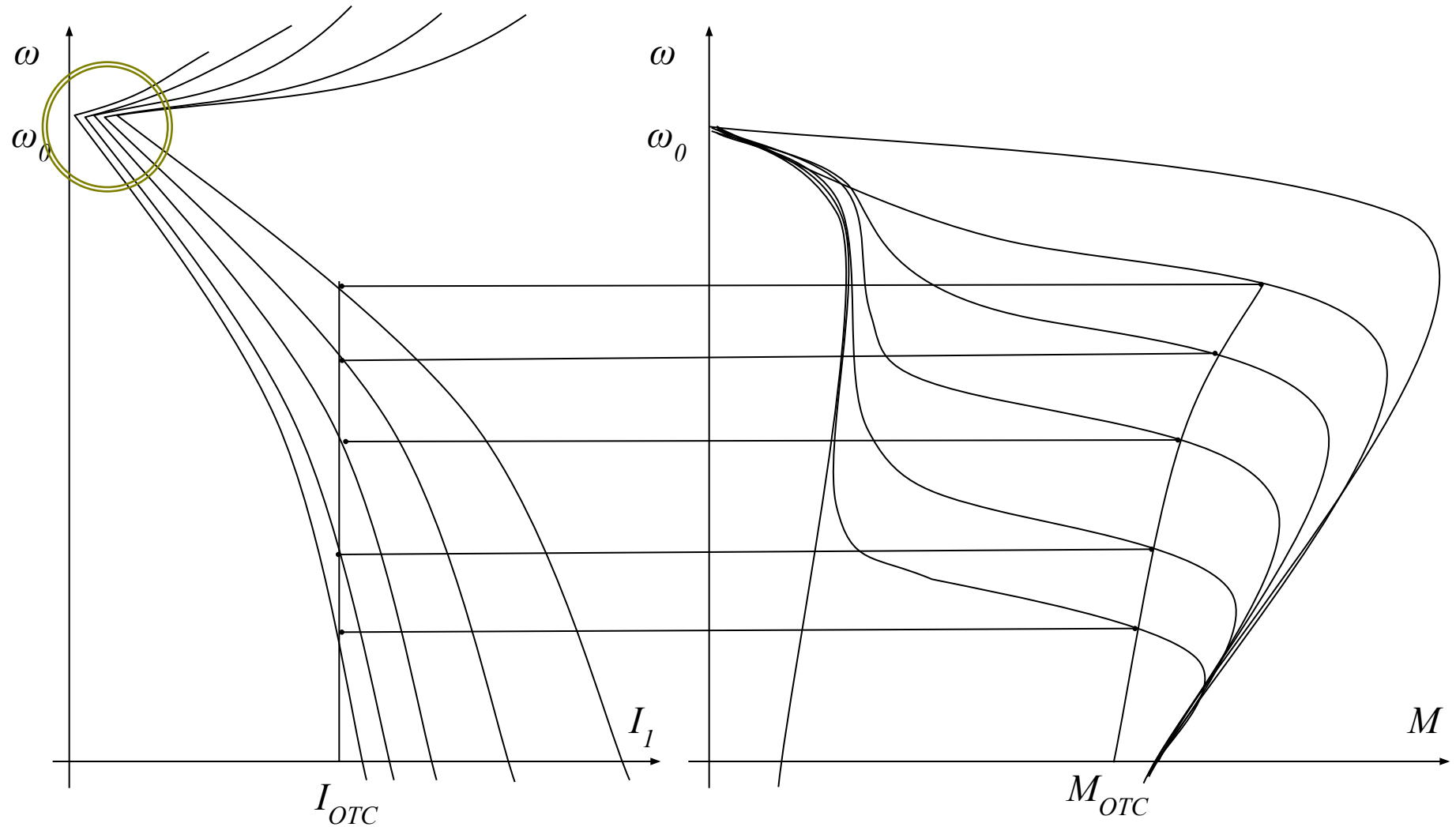
$$W_{PT} = k_{PT} = \frac{\Delta U}{k_{СИФУ} \left(\Delta I / I_{ОТС} \right)}$$

← Диапазон изменения напряжения

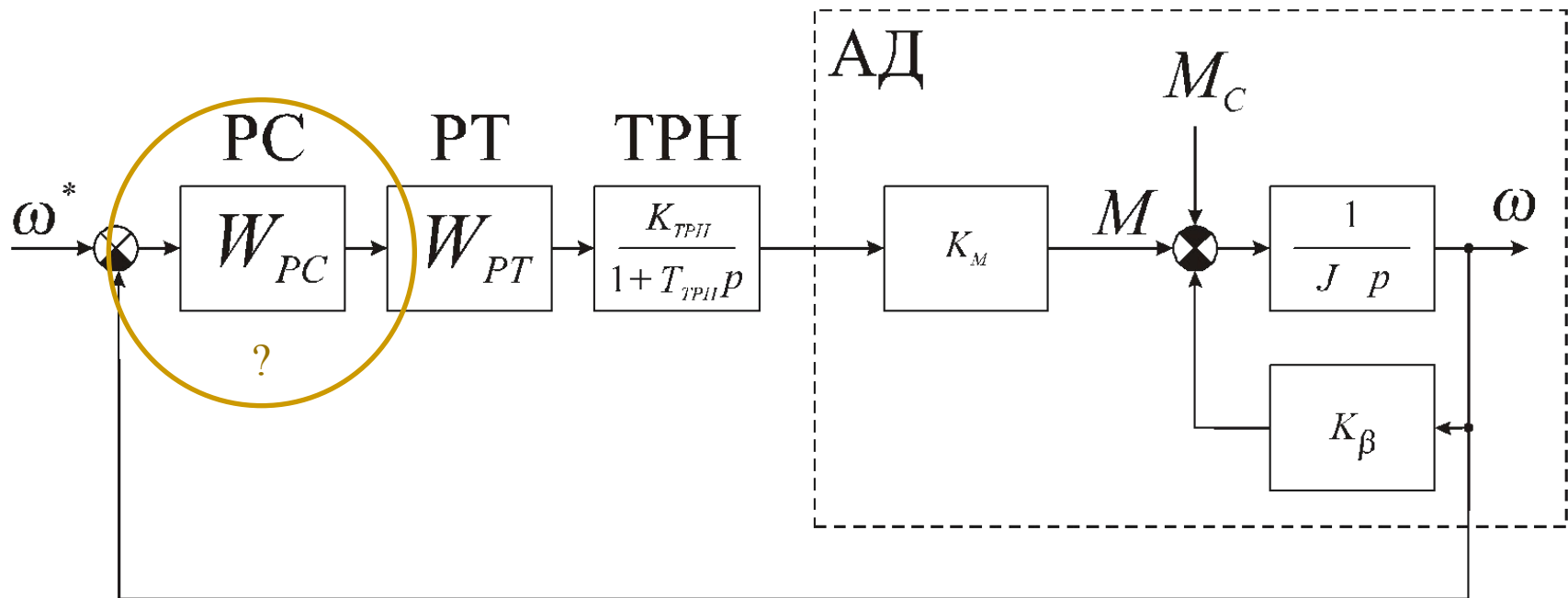
← Желаемое отклонение тока

- Полученный коэффициент нужно проверять на соответствие динамическим показателям

Регулирование напряжения статора



Регулирование напряжения статора



Регулирование напряжения статора

- При настройке регулятора W_{PC} требуется линеаризовать двигатель

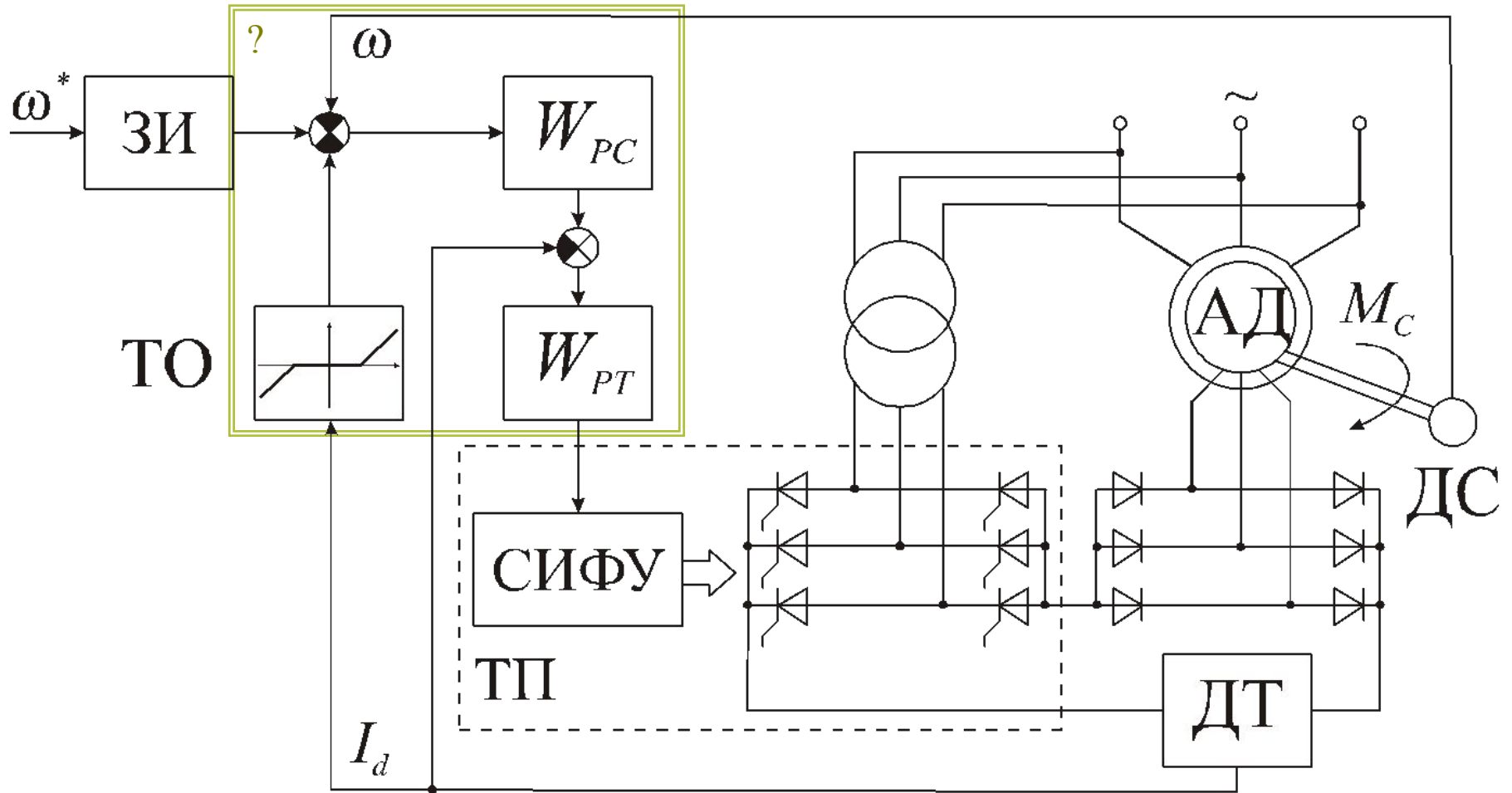
$$k_{\beta} = \frac{\partial M}{\partial \omega} = \frac{2M_K}{\omega_0 s_K} \quad k_M = \frac{\partial M}{\partial U_1} = 2\lambda_{НОМ} U_1 \frac{M_{НОМ}}{U_{1НОМ}^2}$$

- Диапазон регулирования $D=20:1$

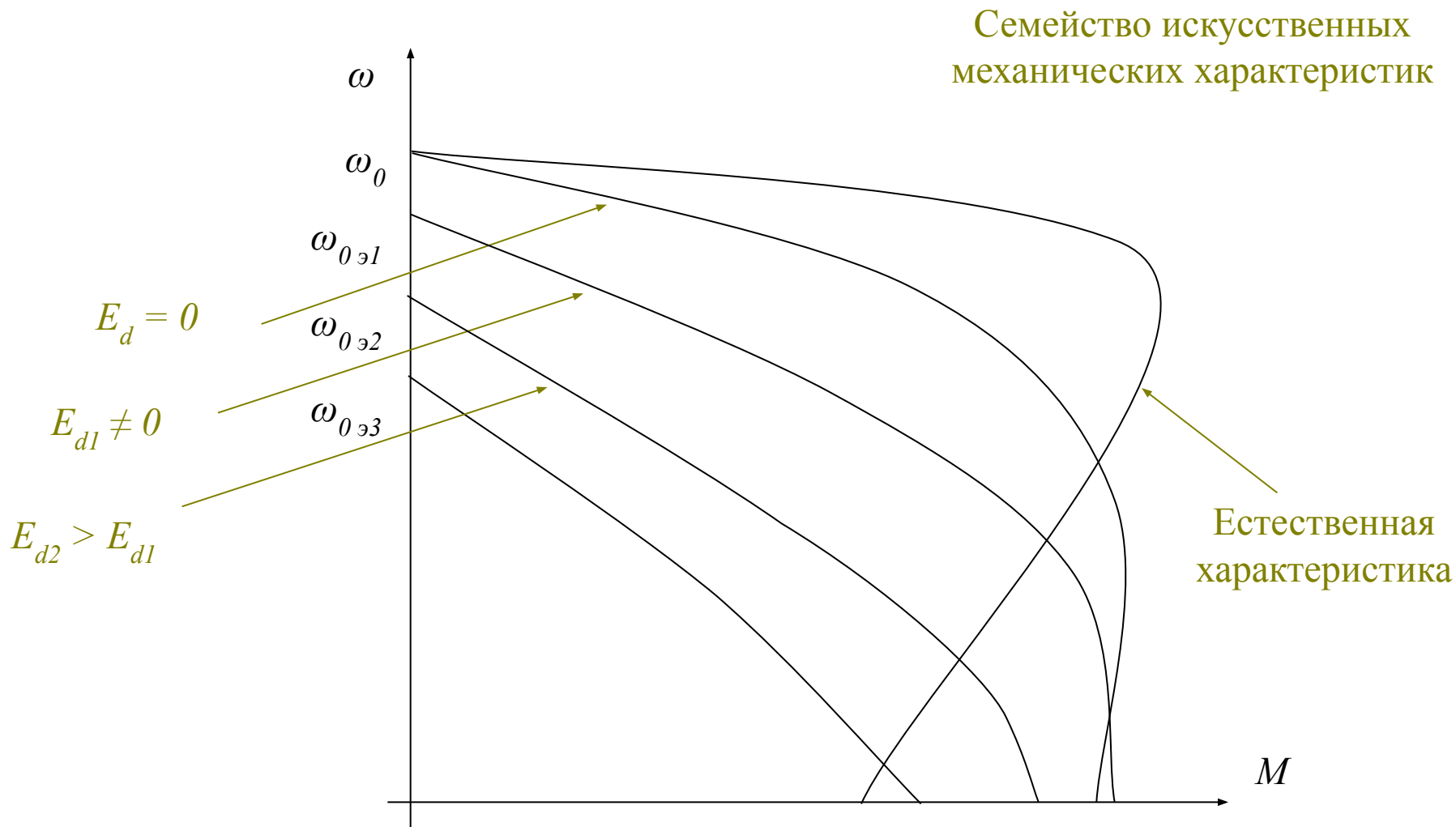
Регулирование напряжения ротора

- Изменение напряжения ротора в разомкнутом АВК
 - Диапазон $D=2..3:1$
 - Габариты зависят от диапазона регулирования
 - Направление регулирования однозонное
- Можно расширить диапазон регулирования, если ввести обратную связь

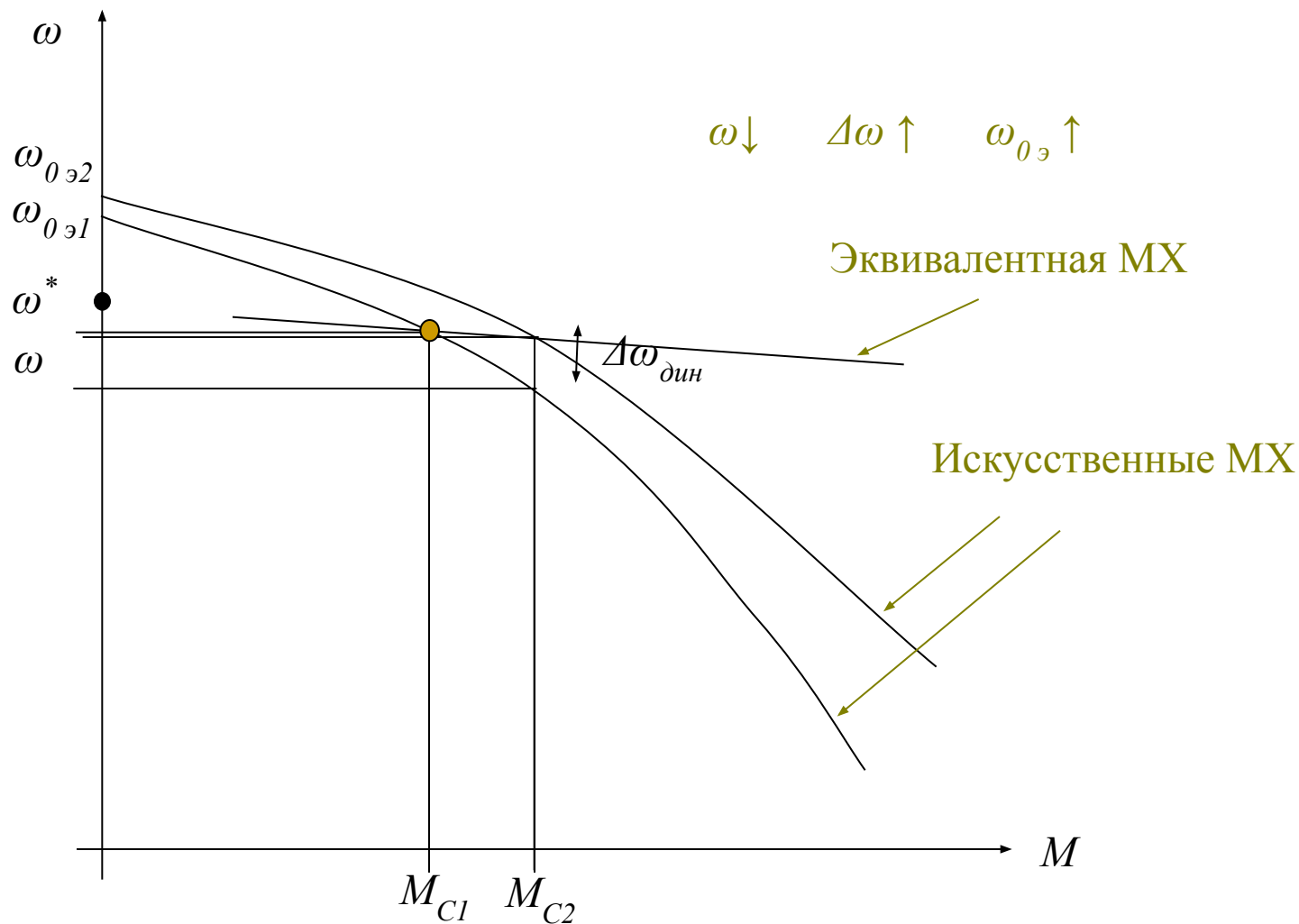
Регулирование напряжения ротора



Регулирование напряжения ротора



Регулирование напряжения ротора



Регулирование напряжения ротора

- При настройке регуляторов W_{PT} и W_{PC} требуется линеаризовать двигатель

$$\omega_{0\vartheta} = \omega_0 (1 - E_d / E_{d \max})$$

$$\beta = \frac{\partial M}{\partial \omega} = \frac{M_K}{\omega_0 (1 + s_K - \omega_0 / \omega_0)}$$

$$s_K = \frac{R_{2\Sigma}}{X_\gamma + 2R'_1} \quad M_K = \frac{E_{d \max}^2}{\omega_0 (X_\gamma + 2R'_1)} \quad T_\vartheta = \frac{L_{2\Sigma}}{R_{2\Sigma}}$$

- Диапазон регулирования $D=20:1$

Контрольный срез!

- Почему контур скорости электропривода постоянного тока надо настраивать на симметричный оптимум?
- Чему равна скорость ω_0 при регулировании скорости ω с помощью изменения U_1 ?
- Почему жесткость искусственных механических характеристик в АВК с увеличением E_d падает?