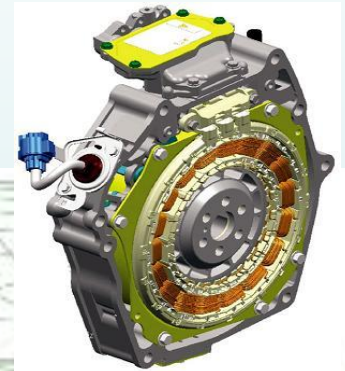
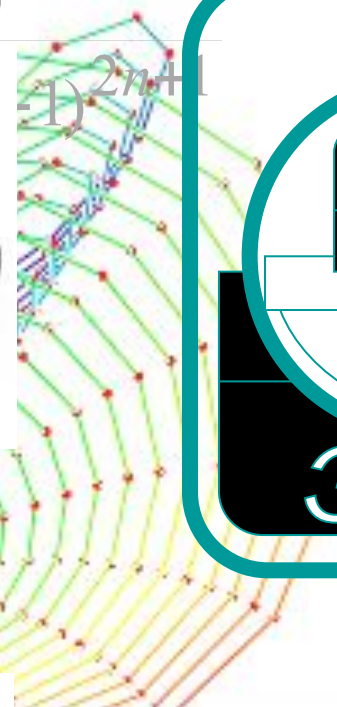
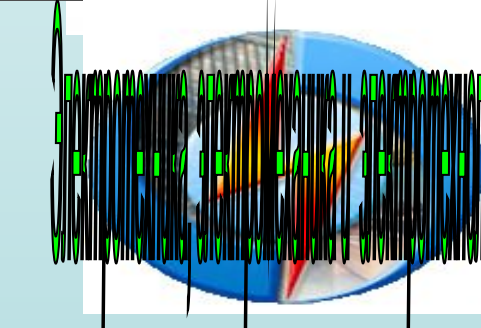
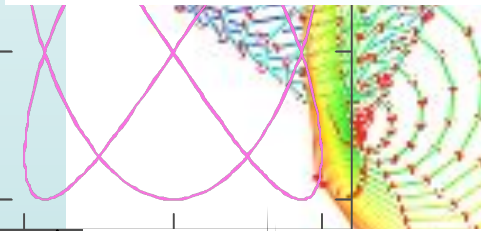


# Следящее рекуперативно-реостатное торможение (СРРТ)

$$\zeta = \sqrt{\sum_{n=0}^{\infty} 2(x-1)^{2n+1}}$$



$$\int_0^{3\pi} \frac{x^n}{(n^2 + 1)\sqrt{n^2 + 2}}$$



Доктор техн. наук,  
профессор  
Щуров Николай Иванович

# Принцип действия и основные уравнения

При рекуперативном торможении ТЭД работают в генераторном режиме, причем вырабатываемая ими электрическая энергия возвращается в контактную сеть.

Для осуществления рекуперативного торможения, необходимо, чтобы э.д.с. двигателя (или сумма э.д.с. двигателей при последовательном их соединении) превосходила напряжение сети.

Ток рекуперации  $I_P$  равен при этом

$$C\Phi \cdot V = U + I \cdot r$$

$$I_P = \frac{C\Phi \cdot V - U}{r}$$

Отсюда скорость движения поезда при рекуперации

$$V = \frac{U + I_P \cdot r}{C\Phi_\Gamma}$$

$B_{ЭМ} = F_{ЭМ} = 0,367 \cdot C \cdot \Phi \cdot I$  при переходе на тормозной режим изменяется знак электромагнитной силы.

Механические и магнитные потери, вызывающие в двигательном режиме уменьшение силы тяги на величину  $\Delta F$ , при генераторном режиме увеличивают тормозную силу

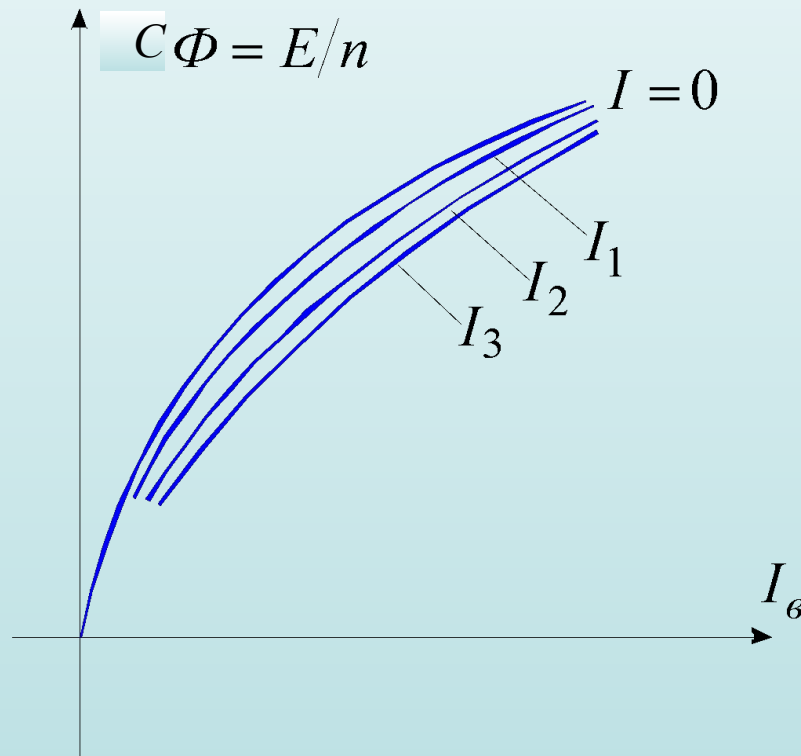
$$B = F_{ЭМ} + \Delta F = 0,367 \cdot C\Phi \cdot I + \Delta F$$

или  $B = F + 2 \cdot \Delta F$

$$\Delta F = 0.367 \cdot \frac{\Delta P_C + \Delta P_M + \Delta P_{3П}}{V}$$

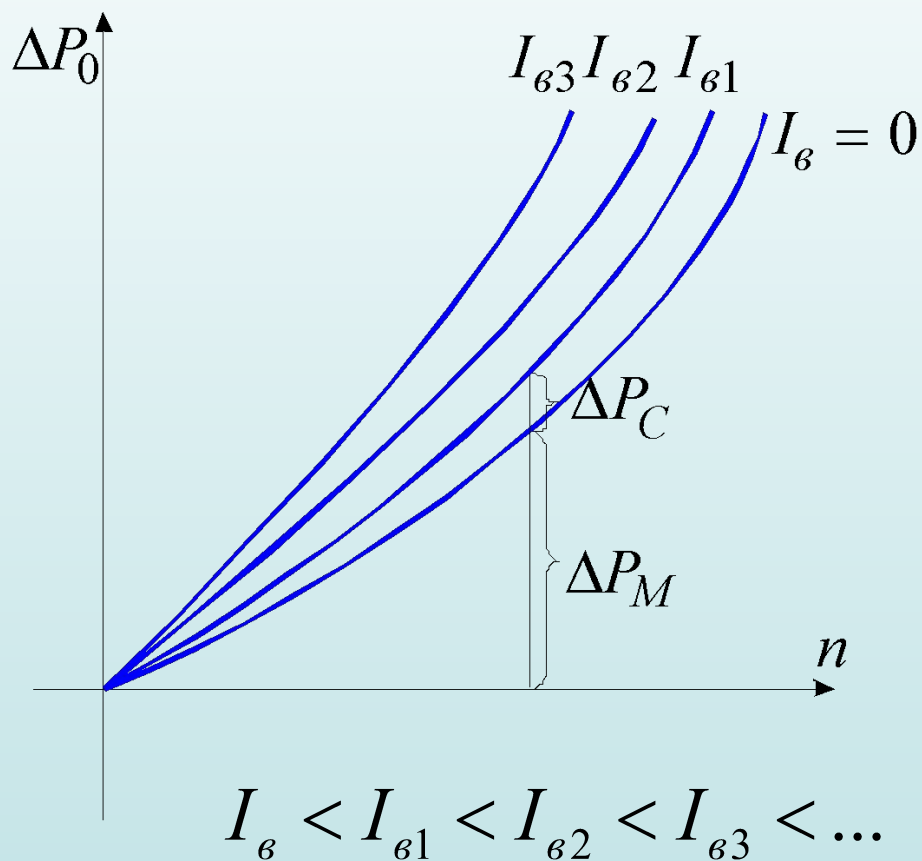
$$B = 0.367 \cdot \left[ C\Phi \cdot I + \frac{\Delta P_C + \Delta P_M + \Delta P_{3П}}{V} \right]$$

$C\Phi$  - определяется по нагрузочным характеристикам генераторного режима



$$I_3 > I_2 > I_1 > I$$

Потери в стали  $\Delta P_C$  и потери механические  $\Delta P_M$  определяются по кривым  $\Delta P_0(n)$  из опыта XX



$$K_C = 3 \sqrt{1 + 0,45 \cdot \frac{F_{PвЯ}}{F_e}}$$

$$\Delta p_{3n} = 100 \cdot \frac{\Delta P_{3n}}{U \cdot I}$$

**К.п.д. при рекуперации представляет отношение  
отданной электрической мощности к механической  
мощности**

$$\eta_{рек} = \frac{0,367 \cdot (U \cdot I_P - P_{\Pi})}{B \cdot V}$$

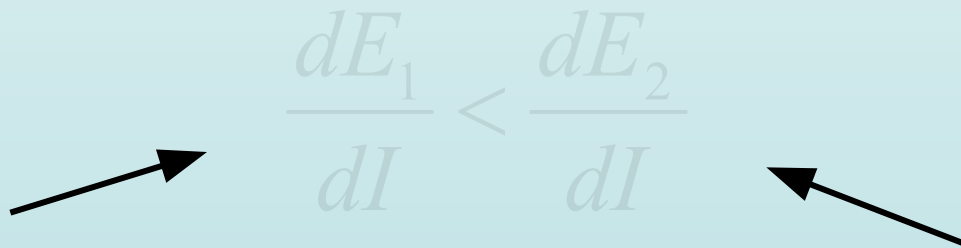
$P_{\Pi}$  - мощность потребляемая системой  
параллельного возбуждения

# Сравнение рекуперативных характеристик

Выбор системы возбуждения определяется требованиями предъявляемыми к характеристикам рекуперативного торможения.

Основными из них является условие электрической устойчивости, без выполнения которого вообще не возможна рекуперация.

Условие электрической устойчивости в общем виде:

$$\frac{dE_1}{dI} < \frac{dE_2}{dI}$$


Изменение по току действующей ЭДС

Изменение по току уравновешивающей ЭДС

При рекуперации действующей является ЭДС  $C\Phi \cdot V$

Эту э.д.с. уравнивает сумма напряжения сети и падения напряжения в ТЭД -  $U + I \cdot r$

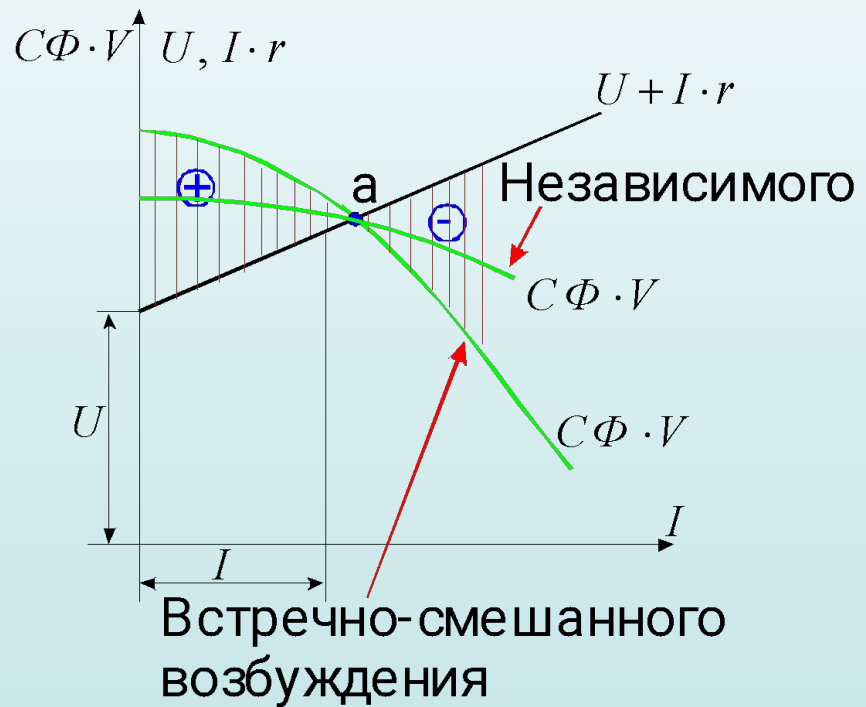
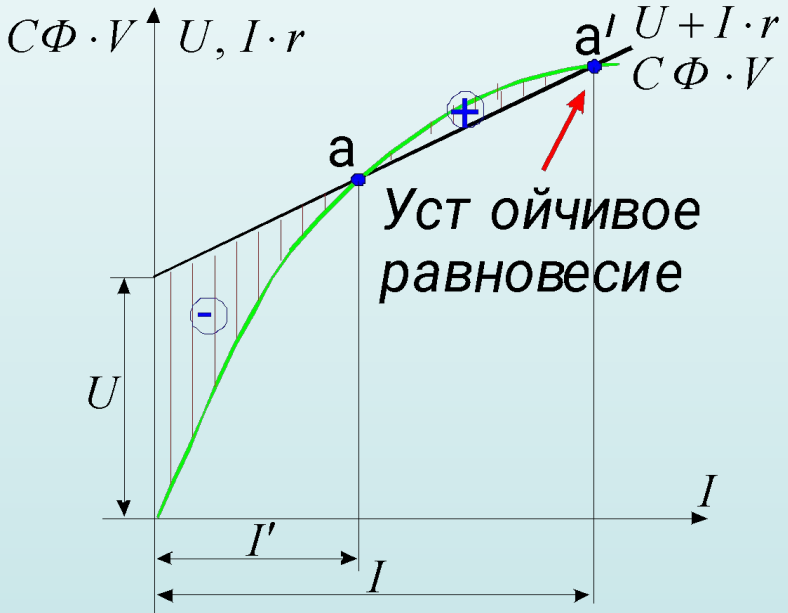
$$\frac{d(C\Phi \cdot V)}{dI} < \frac{d(U + I \cdot r)}{dI}$$

$$\frac{d(C\Phi \cdot V - I \cdot r)}{dI} < \frac{d(U)}{dI} \quad \text{при} \quad U = const$$

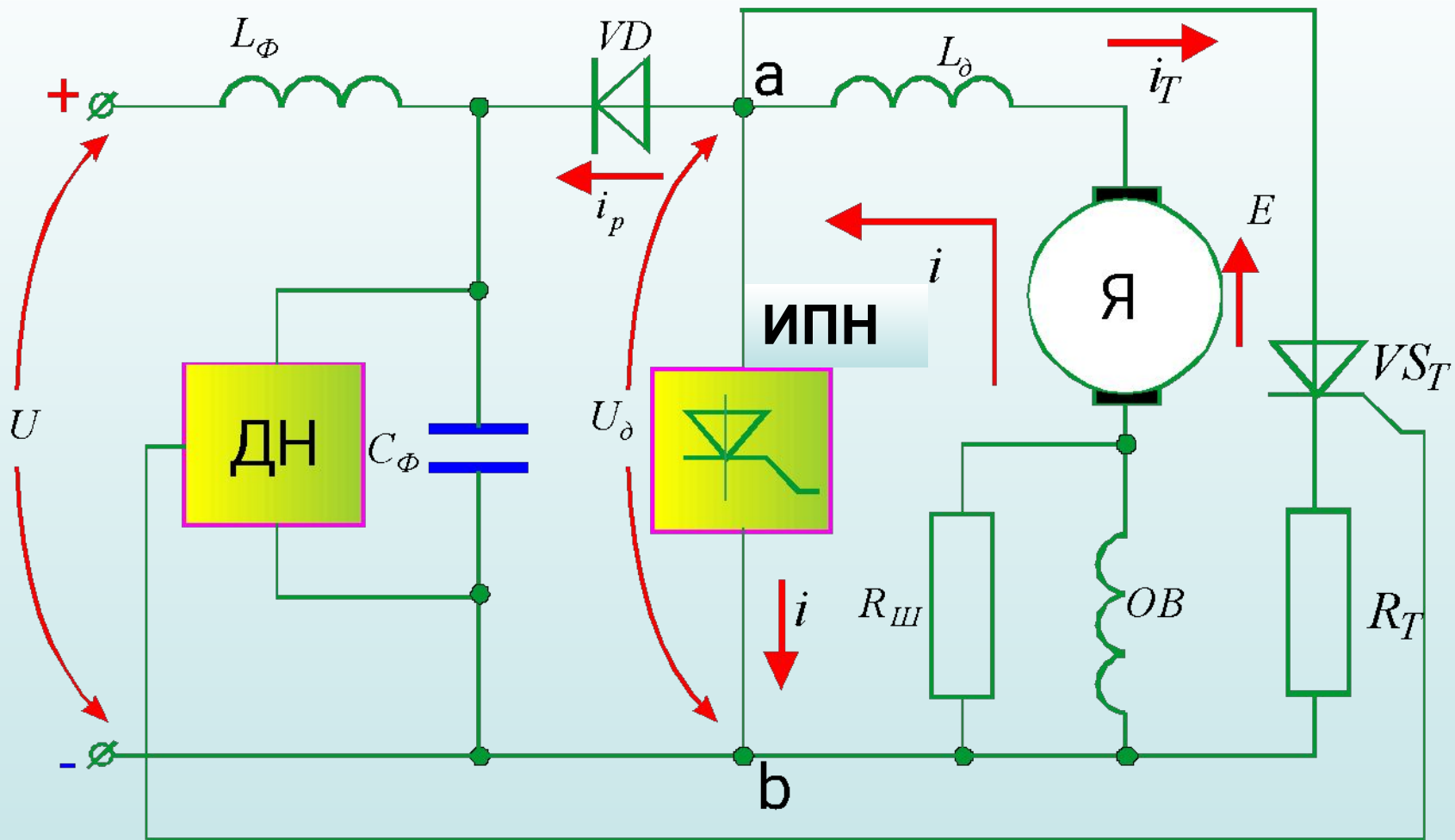
$$\frac{d(C\Phi \cdot V - I \cdot r)}{dI} < 0$$



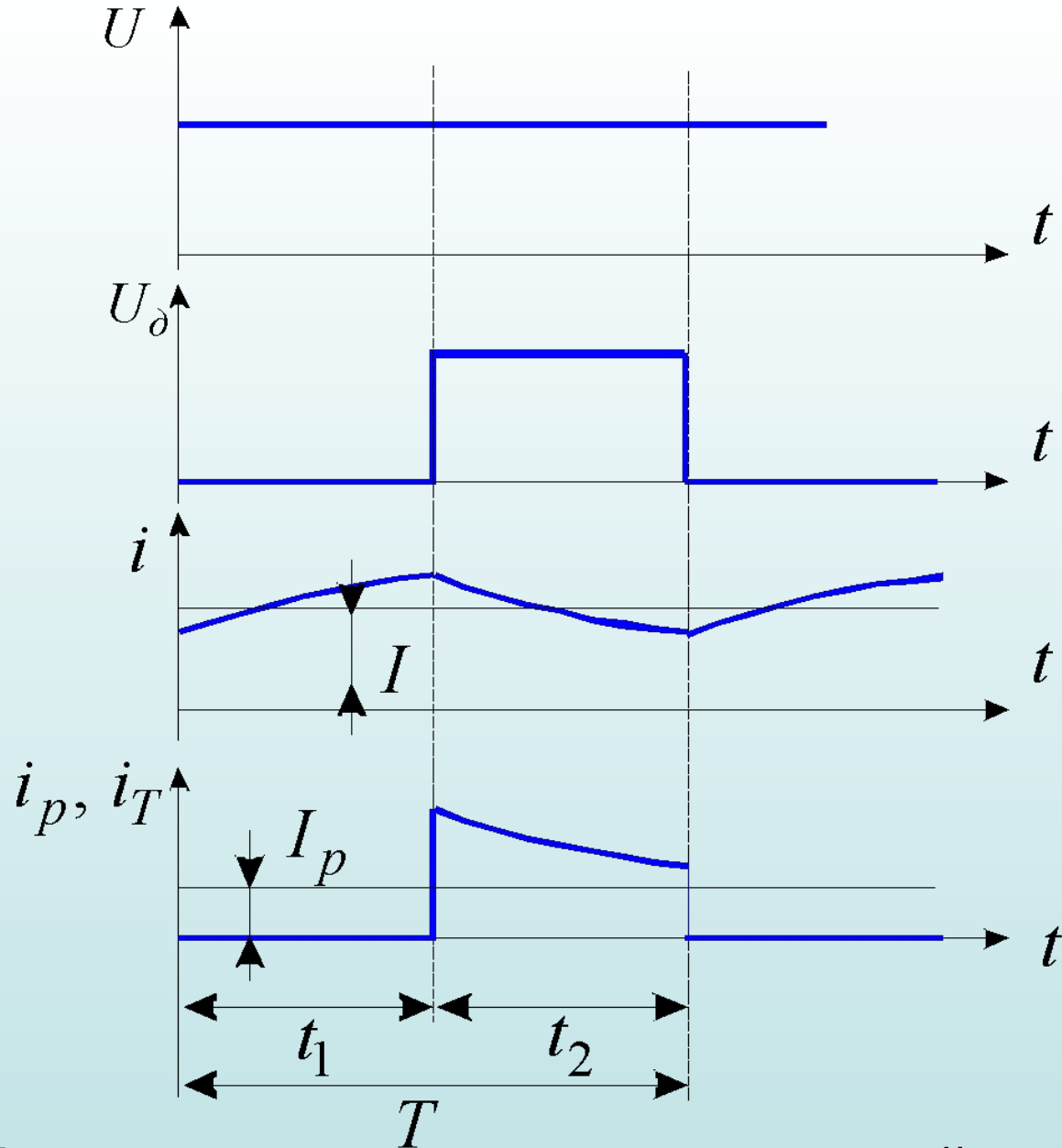
Т.е., чтобы машина имела падающую внешнюю характеристику  $\rightarrow C\Phi \cdot V - I \cdot r$



$$C\Phi \cdot V = U + I_p \cdot r + L \frac{dI_p}{dt}$$



Принципиальная электрическая схема СРРТ



**Диаграммы мгновенных значений токов и напряжений на элементах схемы**

$$U_{\delta} = \frac{1}{T} \cdot \int_{t_1}^T U \cdot dt = \frac{1}{T} \cdot U \cdot (T - t_1) = U \cdot (1 - \lambda)$$

$$U_{\delta} = \frac{1}{T} \cdot \int_{t_1}^T U \cdot dt = \frac{1}{T} \cdot U \cdot (T - t_1) = U \cdot (1 - \lambda)$$

$$\frac{t_1}{T} = \lambda \quad \text{- коэффициент заполнения ИПН}$$

**Процесс рекуперации или реостатного торможения зависит от соотношения напряжения сети  $U$  и  $U_{\delta}$**

**1) При  $U < U_{\max}$  - рекуперация**

**2) При  $U \geq U_{\max}$  - реостатное торможение**

