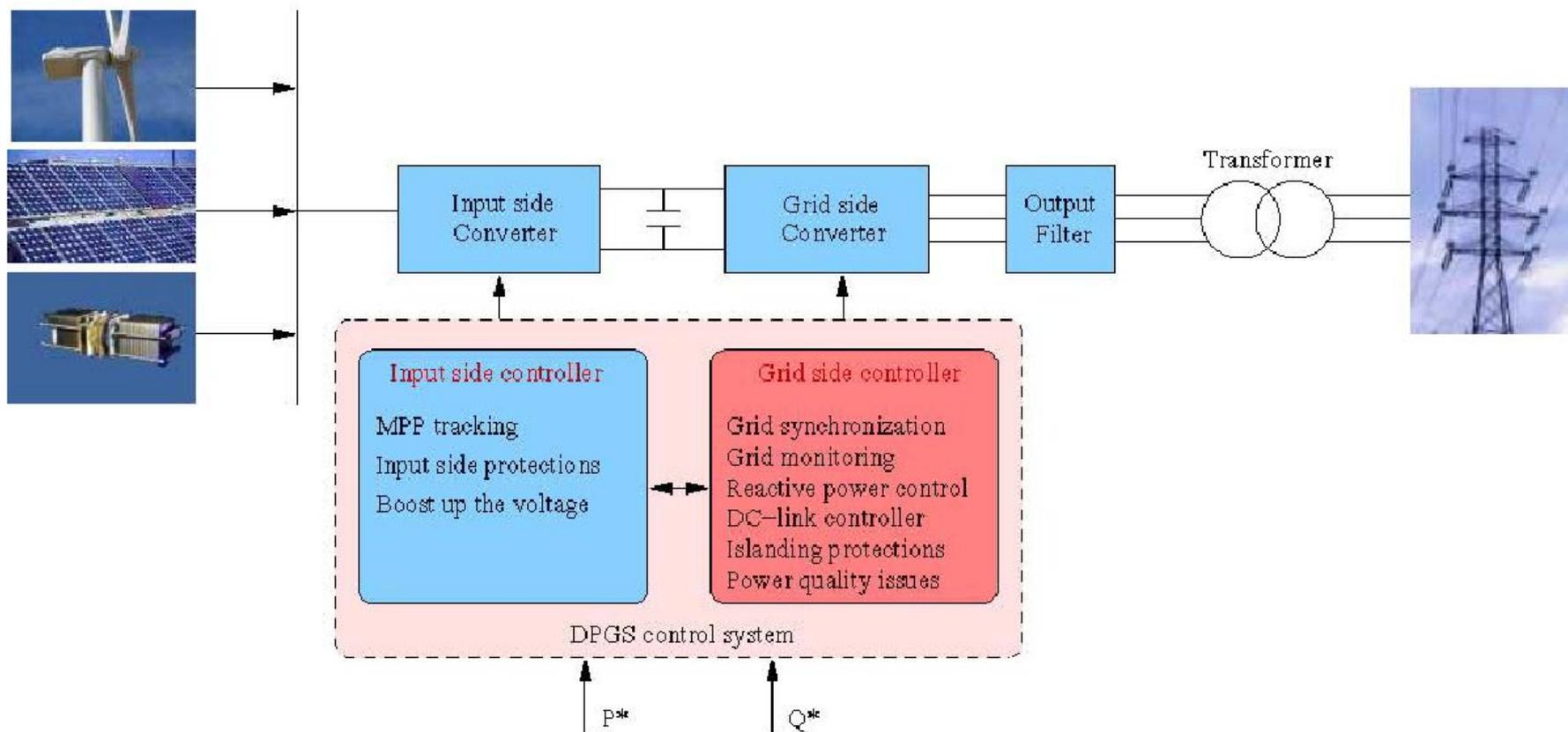


«Синтез регулятора струму  
розосередженого джерела за  
внутрішньою моделлю об'єкту  
управління»

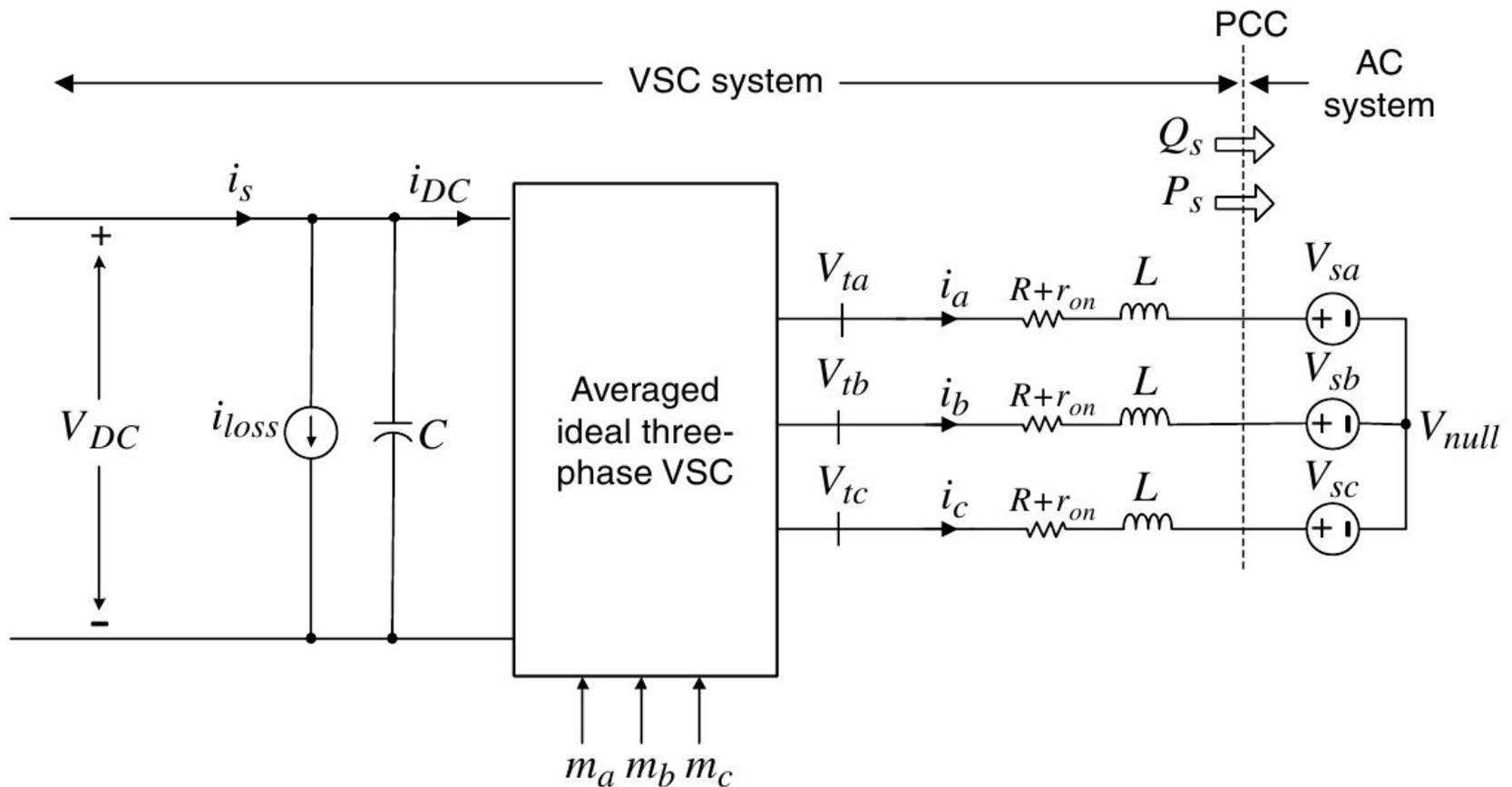
Ноздренков Валерій Станіславович, доцент, к.т.н.,  
кафедра електроенергетики, Сумський державний  
університет

# Общая структура возобновляемого источника энергии (DER)

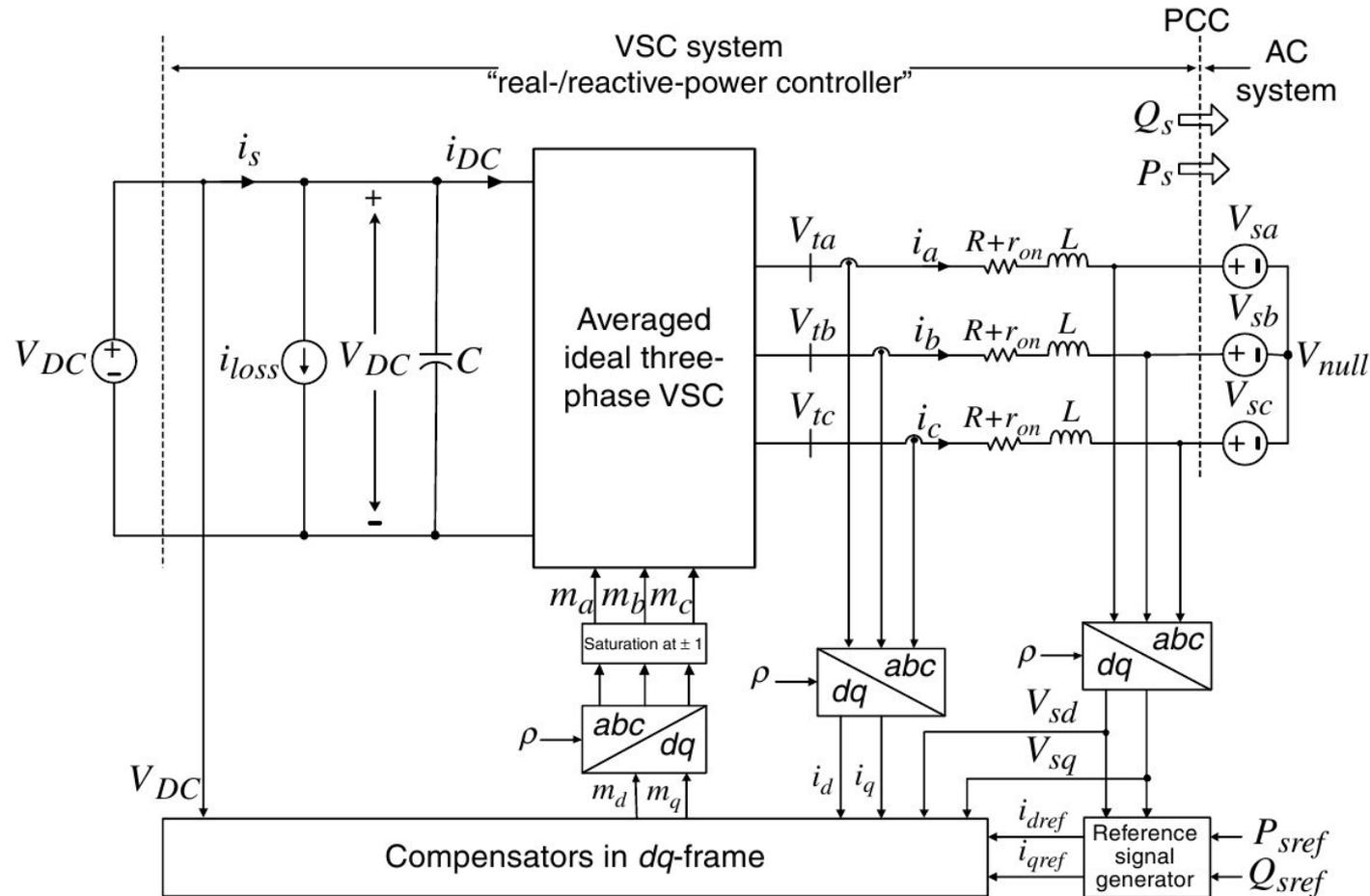


# Схематическая диаграмма инвертора ведомого СЕТЬЮ

VSC / VSI (voltage source converter / inverter) - преобразователь / инвертор с питанием от источника напряжения



# Структурная схема управляемого током регулятора активной/реактивной мощности



## Основные уравнения в d-q системе координат

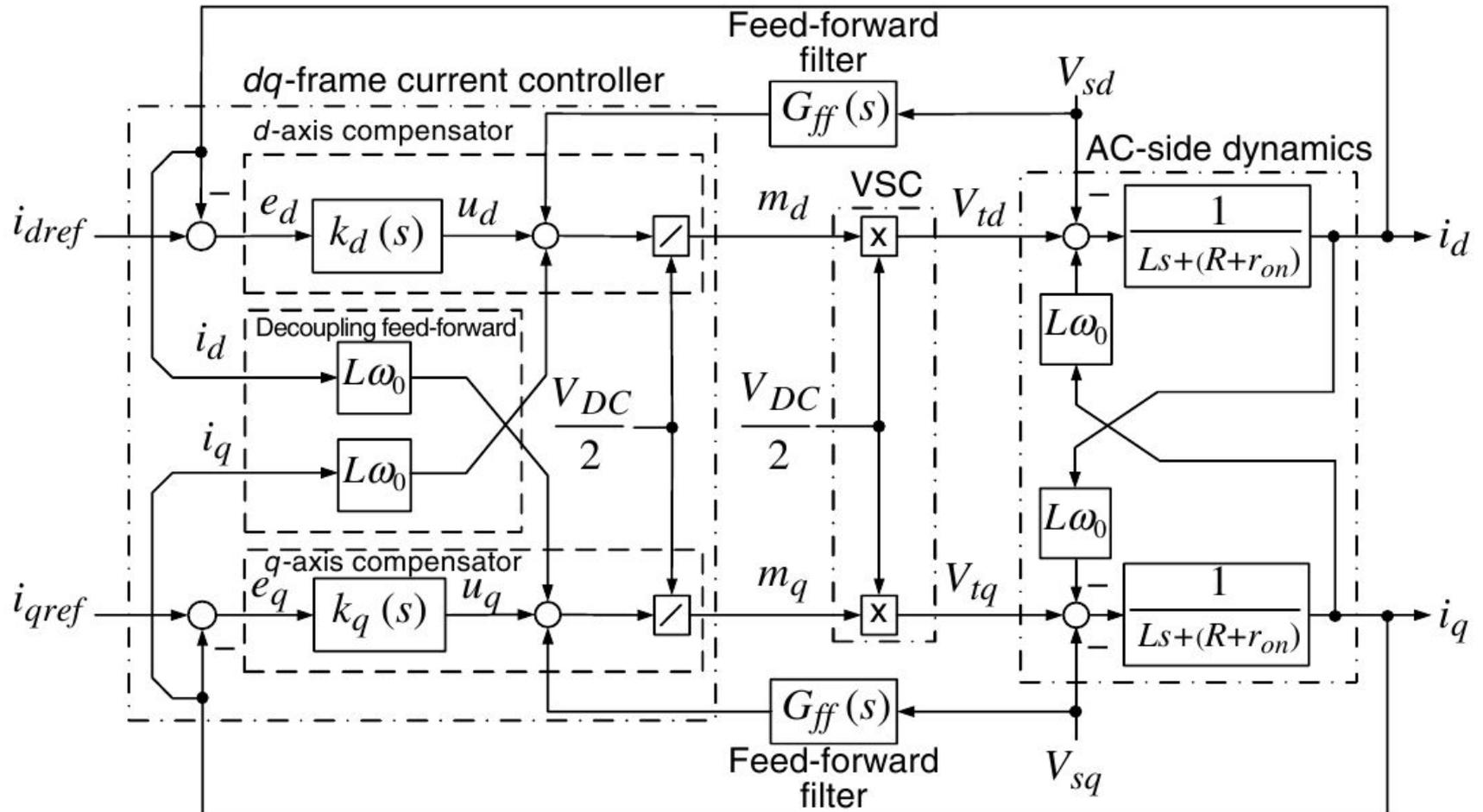
$$L \frac{di_d}{dt} = L\omega_0 i_q - (R + r_{on})i_d + V_{td} - V_{sd},$$

$$L \frac{di_q}{dt} = -L\omega_0 i_d - (R + r_{on})i_q + V_{tq} - V_{sq},$$

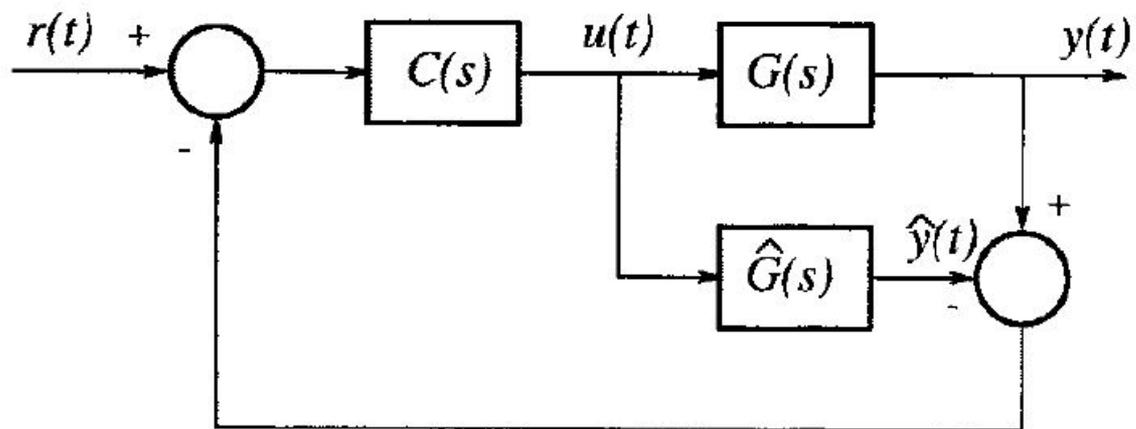
$$V_{td}(t) = \frac{V_{DC}}{2} m_d(t),$$

$$V_{tq}(t) = \frac{V_{DC}}{2} m_q(t).$$

# Блок-схема регулятора



# Метод внутренней модели объекта управления



$$G(s) = G_A(s)G_M(s)$$

$G_A(s)$  - Частотонезависимая часть  $G(s)$

$$C(s) = G_M^{-1}(s)$$

# Метод внутренней модели объекта управления

$$C(s) = G_M^{-1}(s)L(s).$$

$L(s)$  – фильтр низких частот

$$L(s) = \text{diag} \left[ \frac{\alpha_1^n}{(s + \alpha_1)^n}, \frac{\alpha_2^n}{(s + \alpha_2)^n}, \dots, \frac{\alpha_{n_y}^n}{(s + \alpha_{n_y})^n} \right]$$

Где положительное целое  $n$  выбирается достаточно большим, чтобы  $C(s)$  стало подходящим. Таким образом замкнутая система будет робастной при выборе значения  $\alpha_i$  меньшим

# Синтез контроллера преобразователя (VSC)

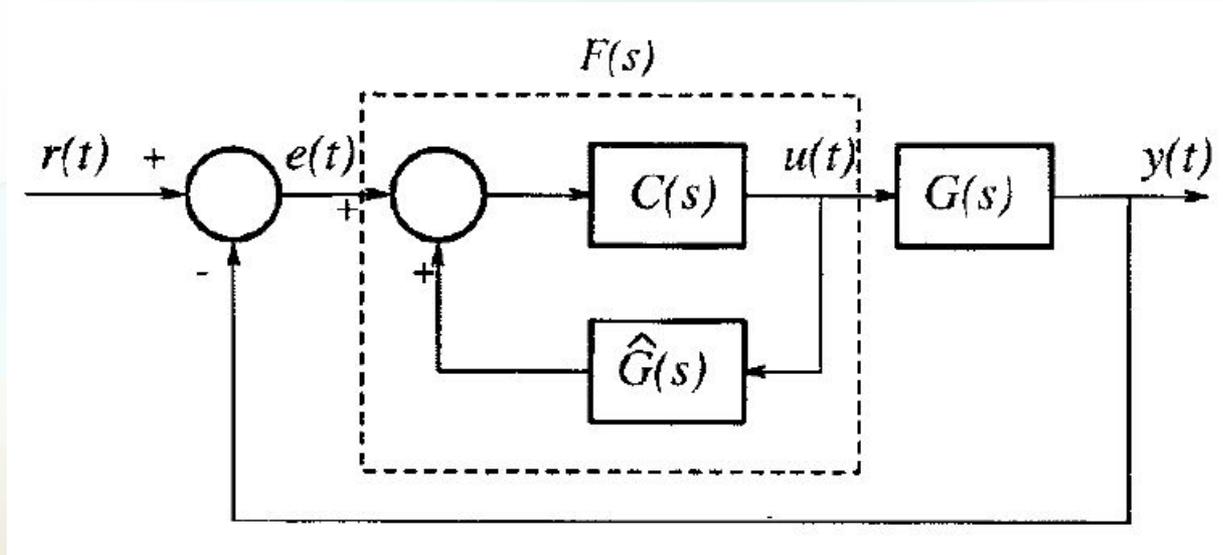
Так как  $G(s)$  не имеет нулей в правой полуплоскости и ведет себя как система первого порядка

$$C(s) = G^{-1}(s)L(s)$$

$$L(s) = \frac{\alpha}{s + \alpha} I.$$

В этом и заключается основная польза использования метода внутренней модели объекта управления. Настройка ПИ регулятора сводится к выбору только одного параметра -  $\alpha$  желаемой полосы пропускания замкнутой системы

# Классическая структура системы управления



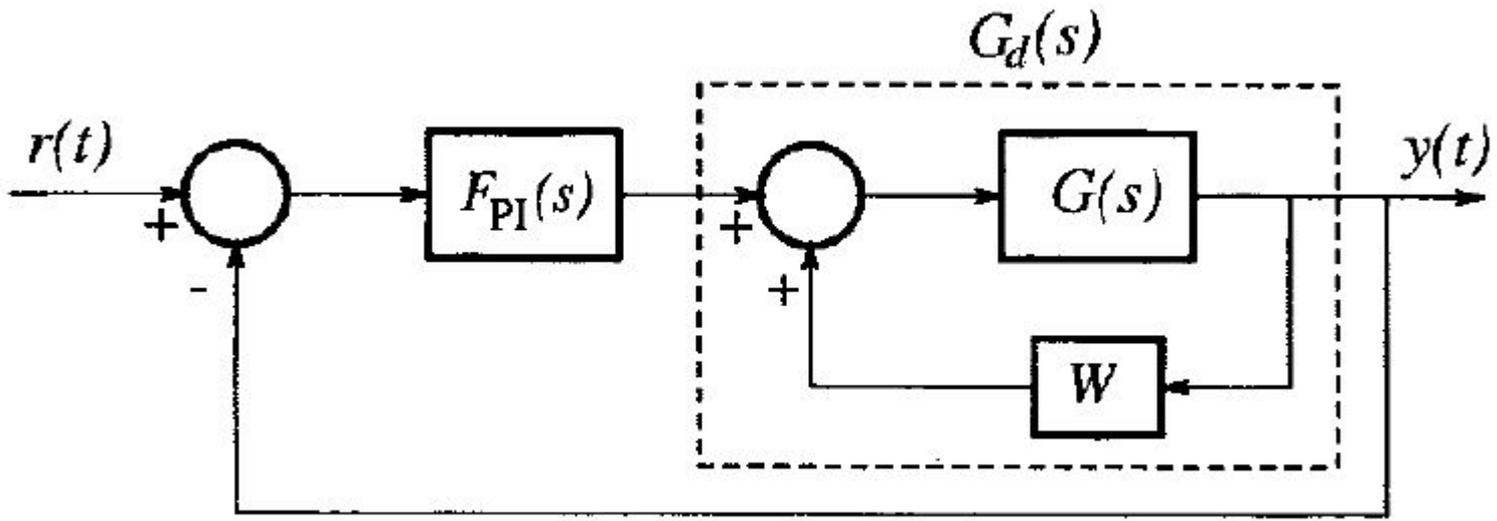
Метод внутренней модели можно рассматривать как особый случай классической структуры

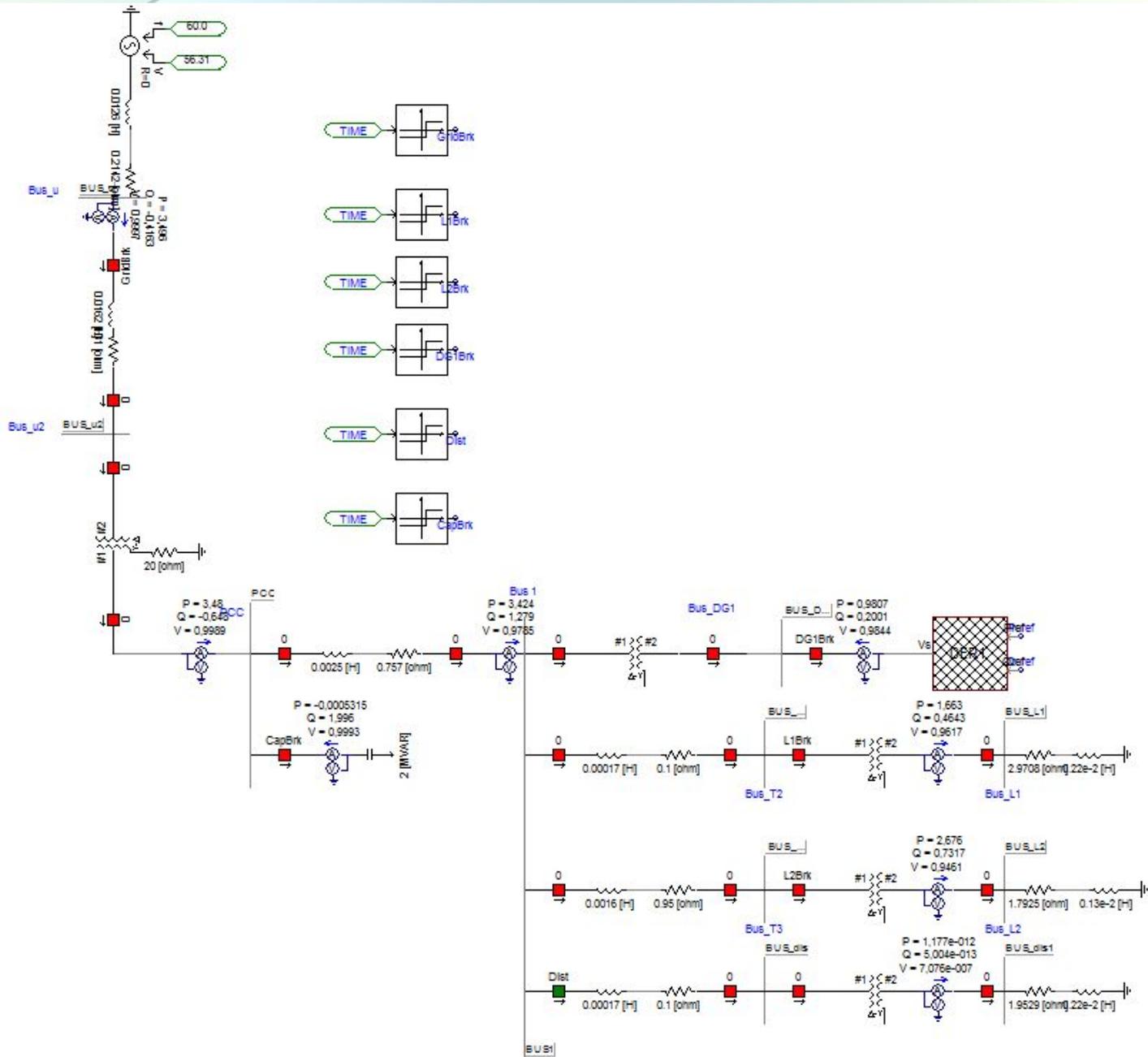
$$F(s) = [I - C(s)\hat{G}(s)]^{-1}C(s)$$

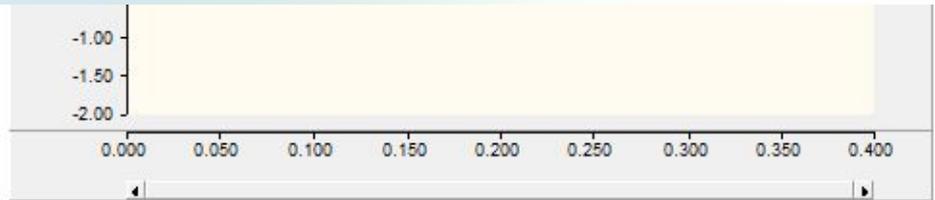
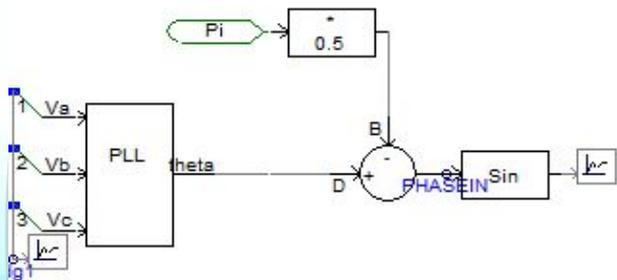
Полагая  $\overset{\sphericalangle}{G} = G$

$$\begin{aligned} F(s) &= \left[ I - \frac{\alpha}{s + \alpha} I \right]^{-1} G^{-1}(s) \frac{\alpha}{s + \alpha} = \frac{\alpha}{s} G^{-1}(s) = \\ &= \frac{\alpha}{s} \begin{bmatrix} sL + (R + r_{on}) & -\omega L \\ \omega L & sL + (R + r_{on}) \end{bmatrix} = \\ &= \alpha \begin{bmatrix} L \left( 1 + \frac{R + r_{on}}{sL} \right) & -\frac{\omega L}{s} \\ \frac{\omega L}{s} & L \left( 1 + \frac{R + r_{on}}{sL} \right) \end{bmatrix} \end{aligned}$$

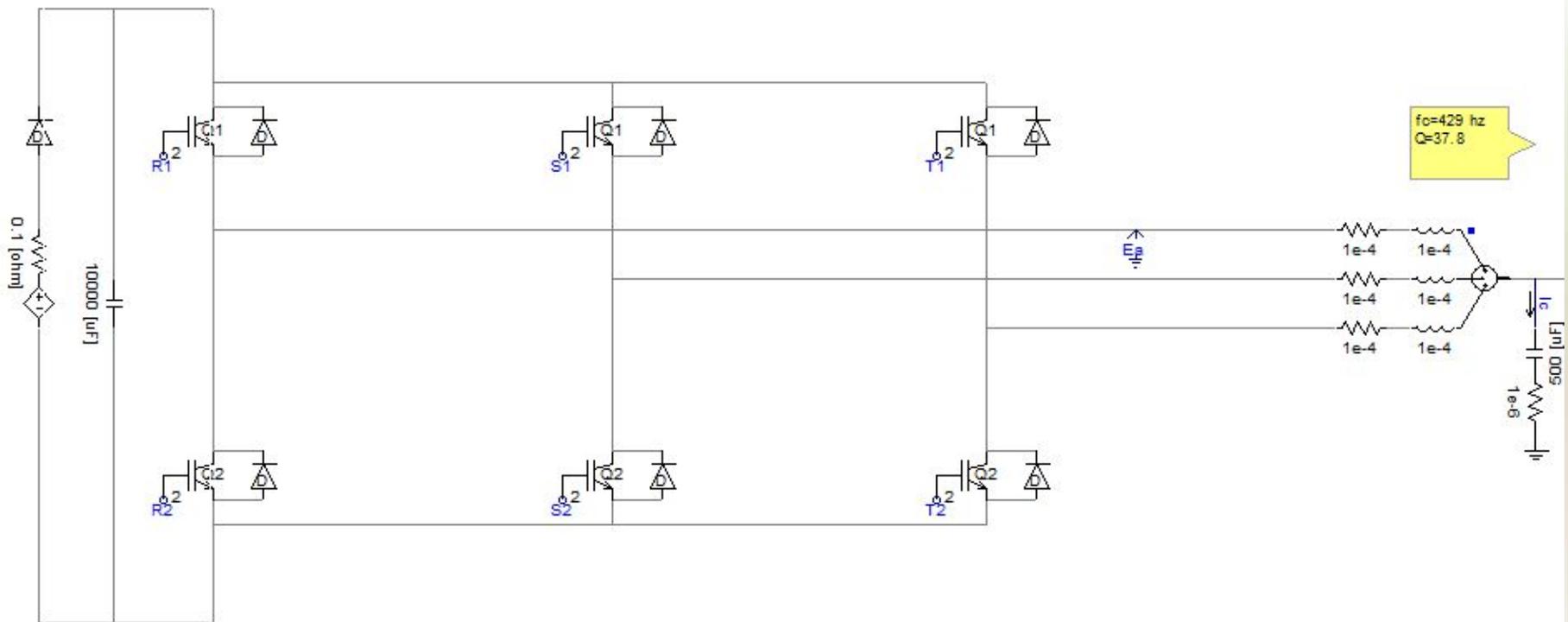
$$F_{\text{ПИ}}(s) = \begin{bmatrix} K_d \left( 1 + \frac{1}{sT_i} \right) & 0 \\ 0 & K_d \left( 1 + \frac{1}{sT_i} \right) \end{bmatrix}$$

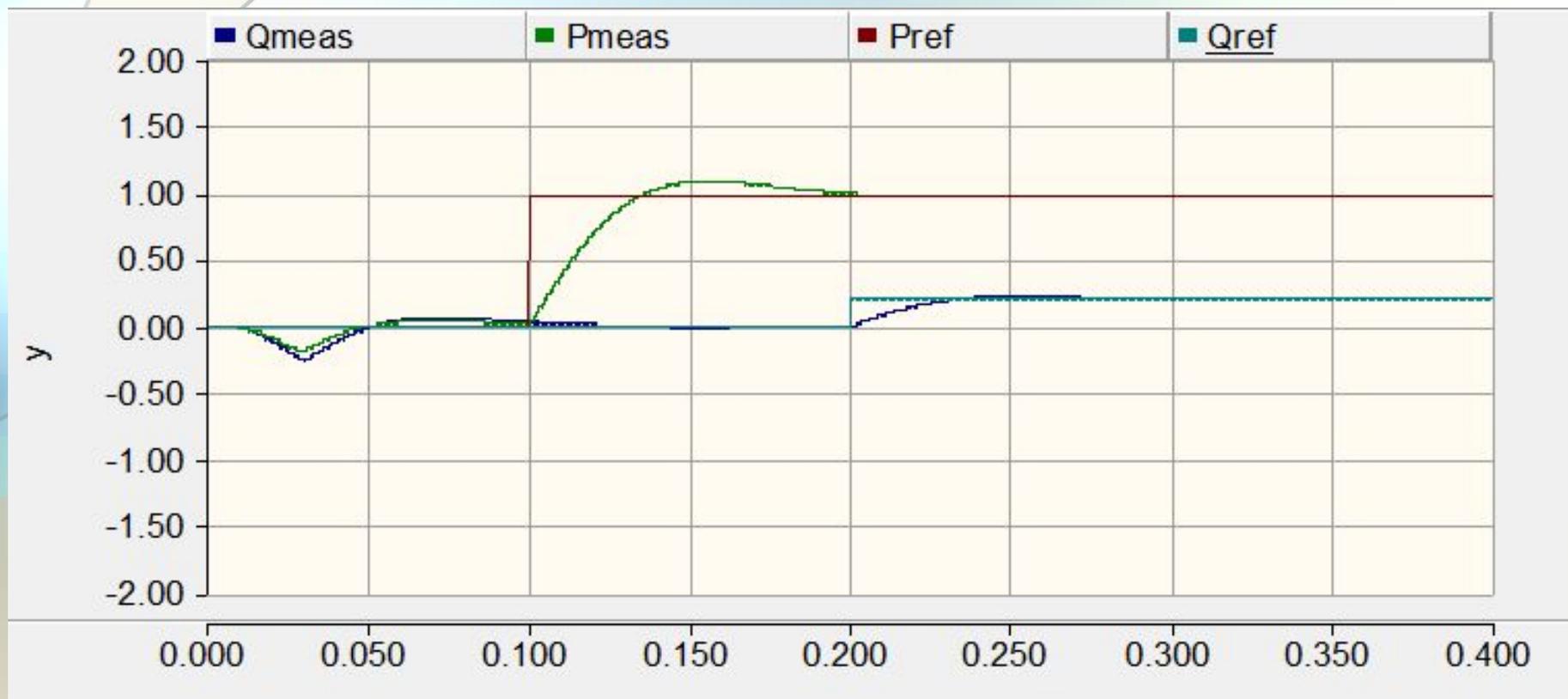






$V_{og0}$





## Дальнейшие направления исследования

- Построение робастных регуляторов
- Анализ устойчивости энергосистемы с увеличением доли распределенной генерации

Доклад окончен, спасибо за внимание!