

# Принципы управления VLT

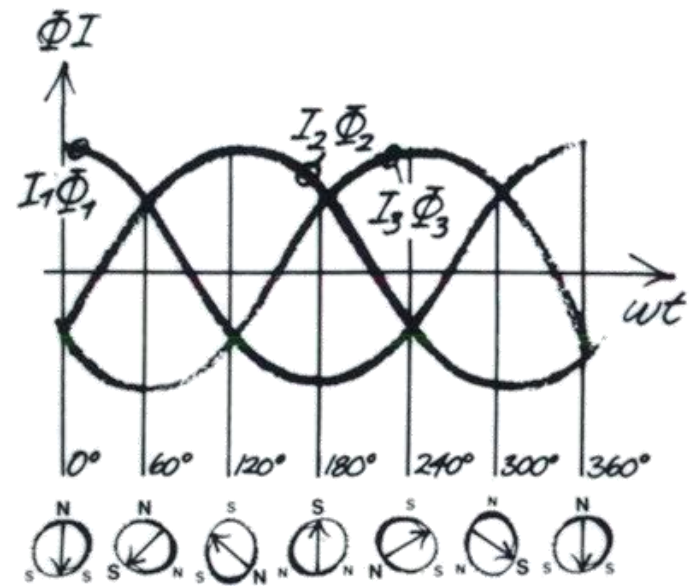
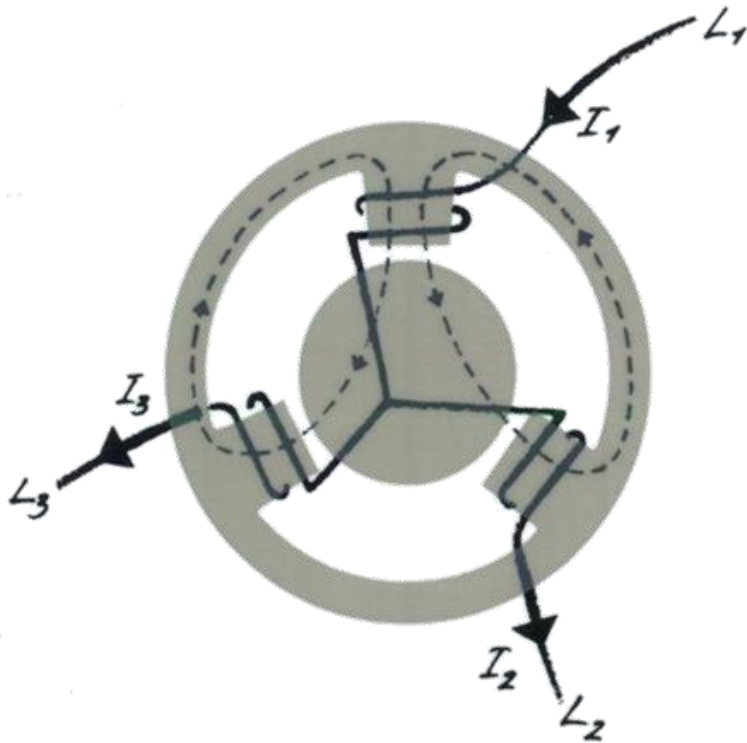
# Основные принципы управления, используемые Danfoss

- Скалярный (U/f)
- Управление Вектором Напряжения Плюс (VVC+)
- Управление вектором потокосцепления (FLUX)

# Преимущества плавной регулировки скорости асинхронных двигателей

- Энергосбережение
- Оптимизация процесса (технологии)
- Плавная работа механизмов
- Меньше обслуживания

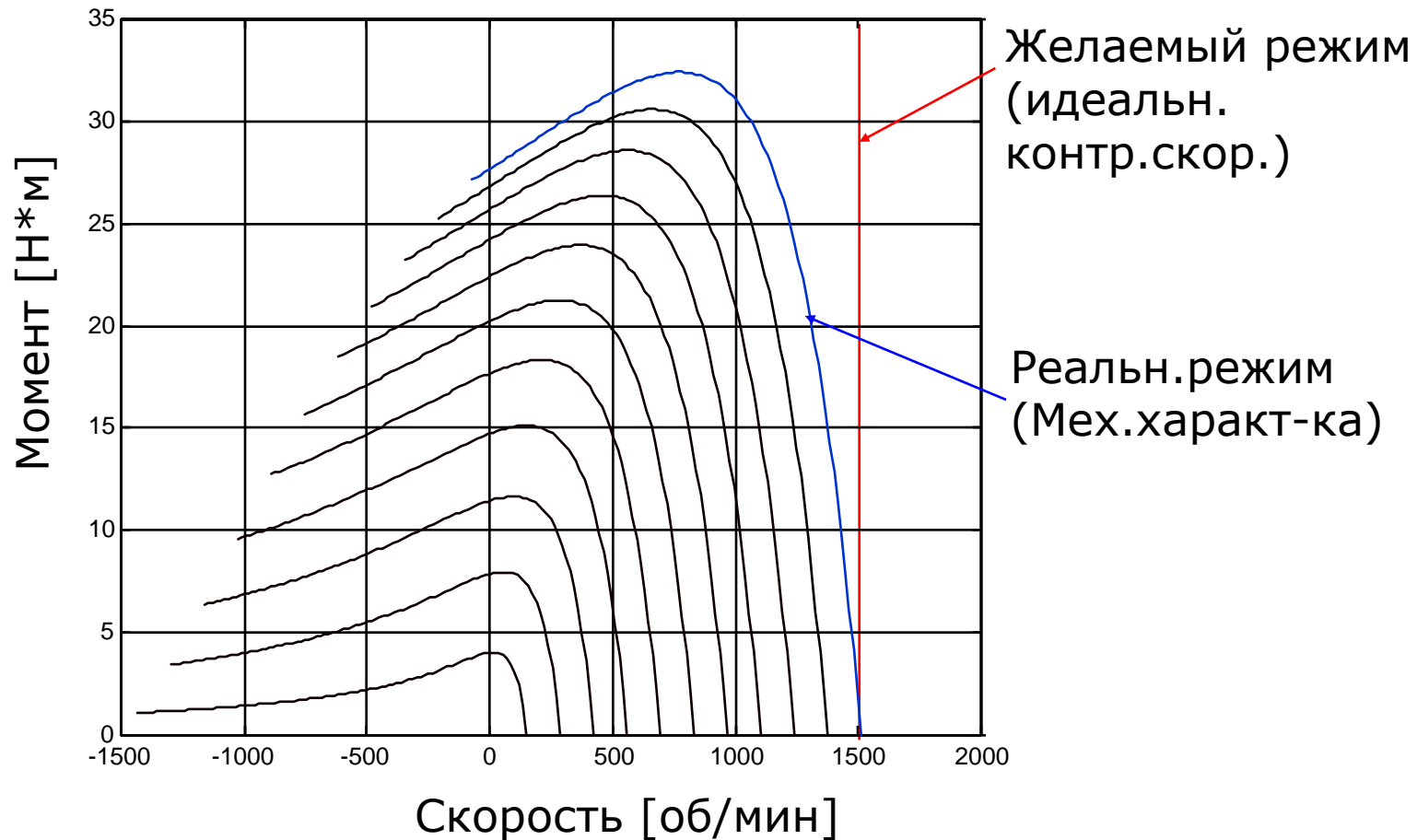
# Трёхфазный ток создает симметричное вращающееся магнитное поле



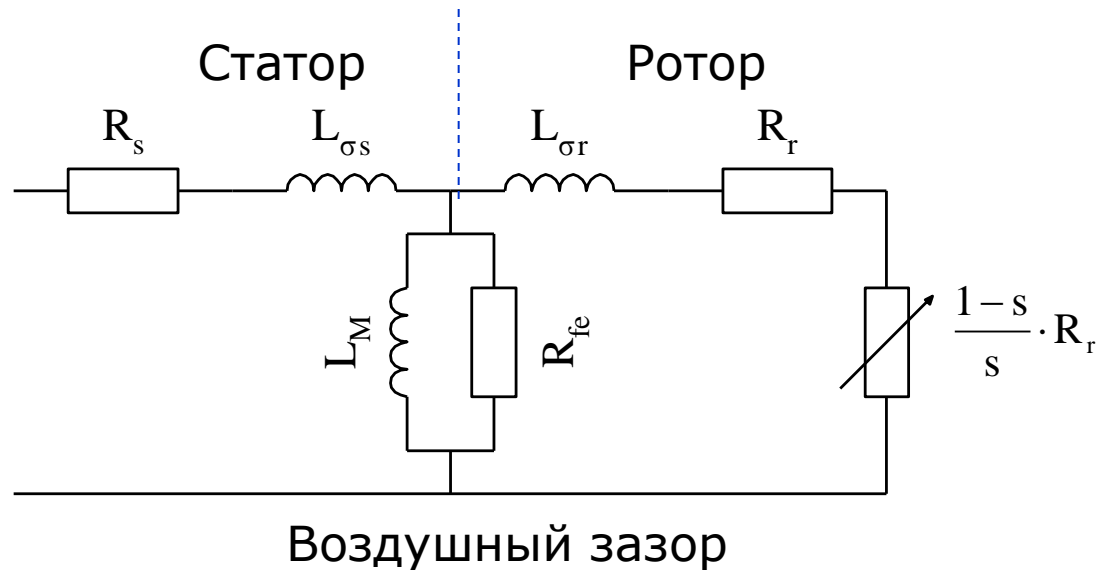
# Скольжение



Расчетные кривые момента двигателя 1.5кВт  
ATB 380V/50Hz, Type VAV 90L/4C-11

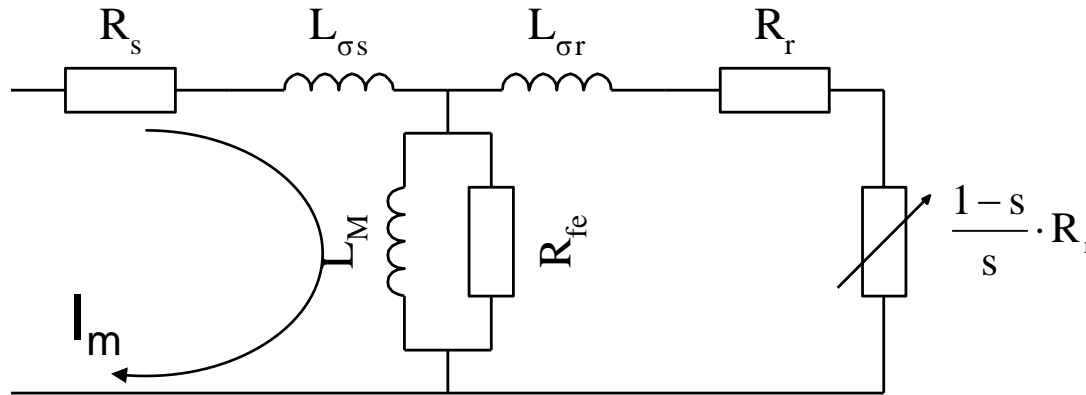


# Эквивалентная диаграмма



- |               |            |                                     |
|---------------|------------|-------------------------------------|
| $R_s, R_r$    | :          | Омические потери в статоре и роторе |
| $R_{fe}$      | :          | потери в железе                     |
| $L_{ss}$      | ( $L_1$ ): | Индуктивность рассеяния статора     |
| $L_{sr}$      | ( $L_2$ ): | Индуктивность рассеяния ротора      |
| $L_M$         | ( $L_H$ ): | Индуктивность намагничивания        |
| $(1-s)/s R_r$ | :          | Нагрузка                            |

# Ток намагничивания Скалярное управление



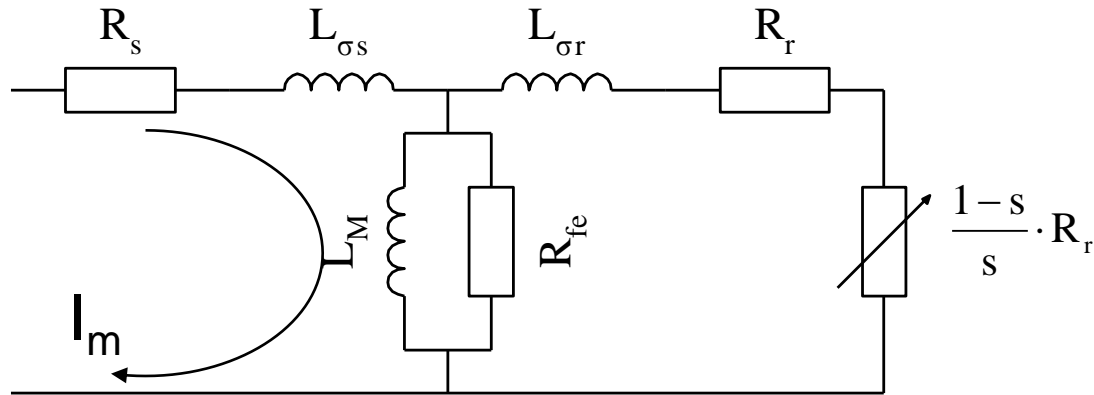
$$X_m = L_m \omega = L_m 2\pi f$$

$$I_m \approx V / X_m$$

Лучшие характеристики – при поддержании постоянного тока намагничивания.

Если не учитывать падение напряжения в статоре, мы можем контролировать  $I_m$  соотношением напряжения и частоты:  $V/f$  управление.

# Ток намагничивания Скалярное управление



$$X_m = L_m \omega = L_m 2\pi f \quad (1)$$

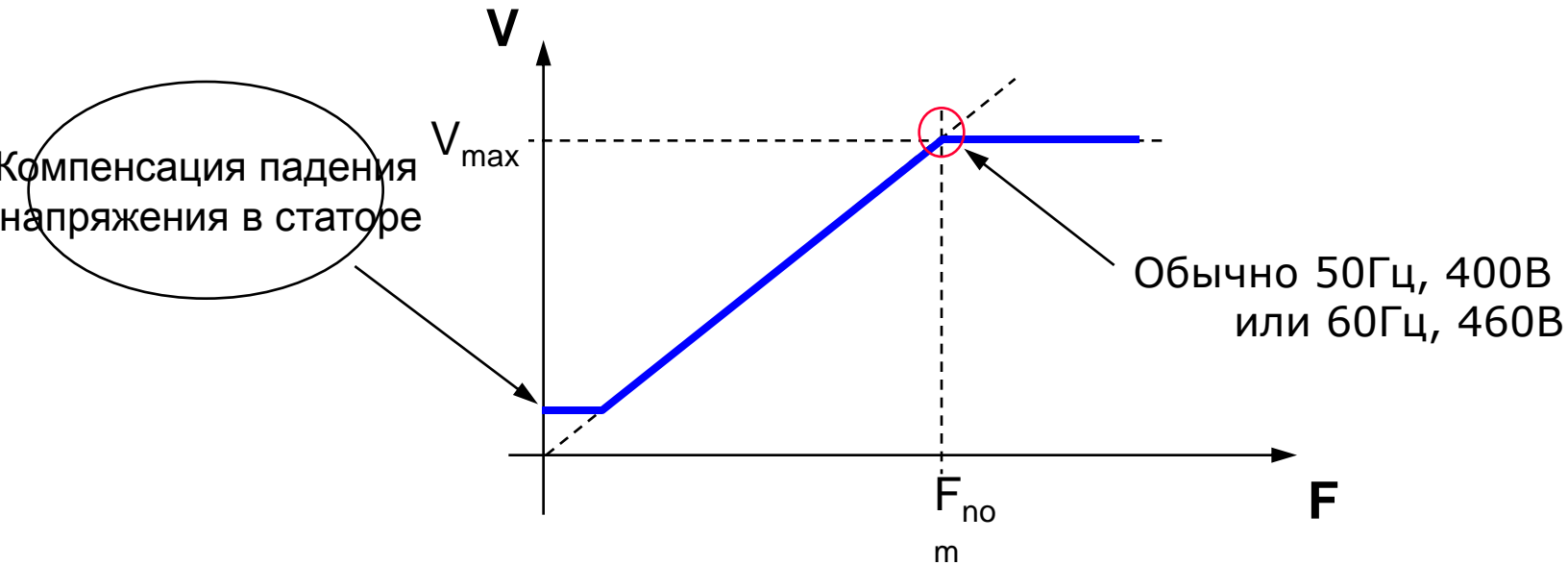
$$I_m \approx V / X_m$$

$$(2) \quad \frac{V}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot L} \approx \frac{V}{f} \cdot K \quad (3)$$

$$I_m \approx \frac{V}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot L} \approx \frac{V}{f} \cdot K_m \quad (4)$$



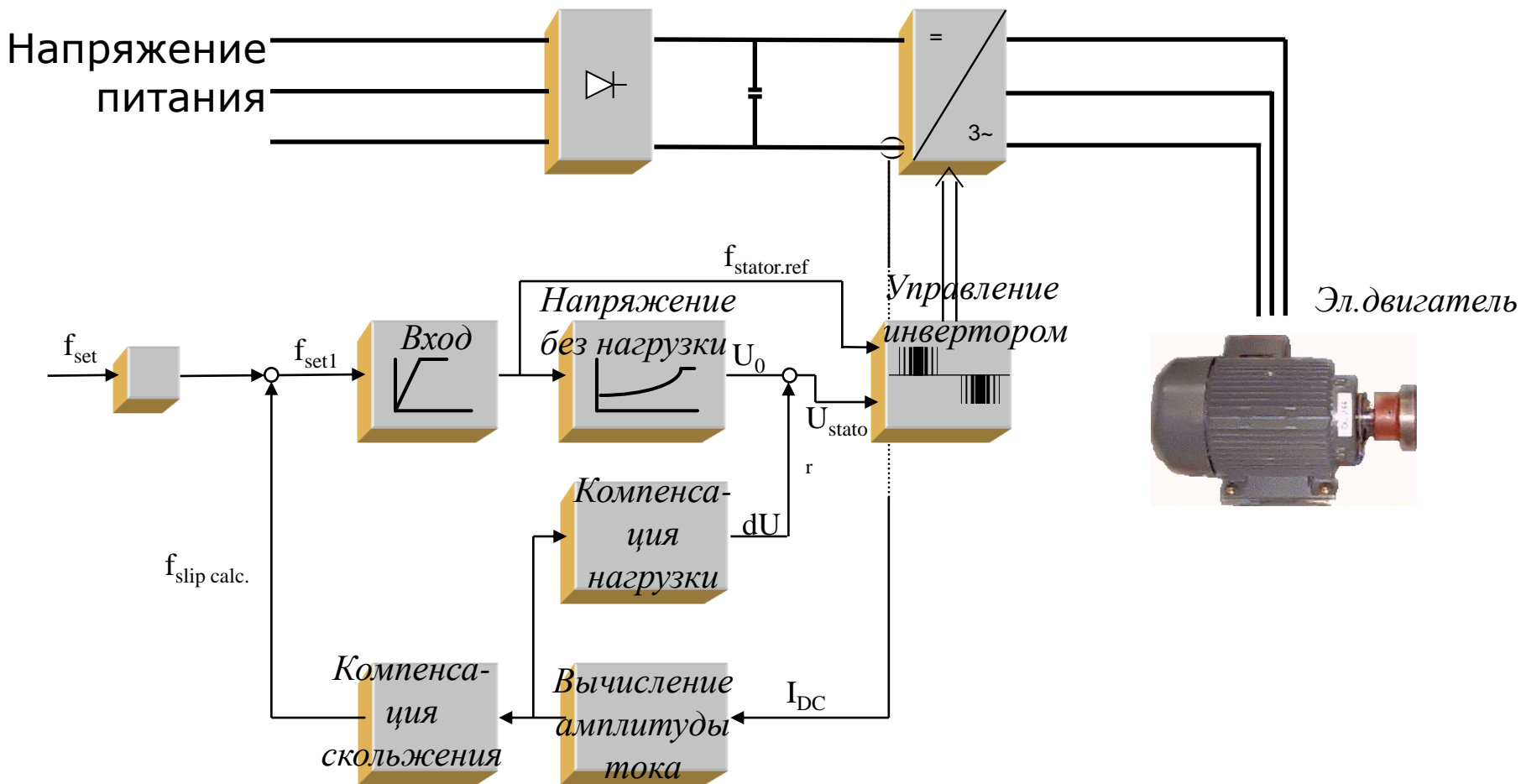
# V/F



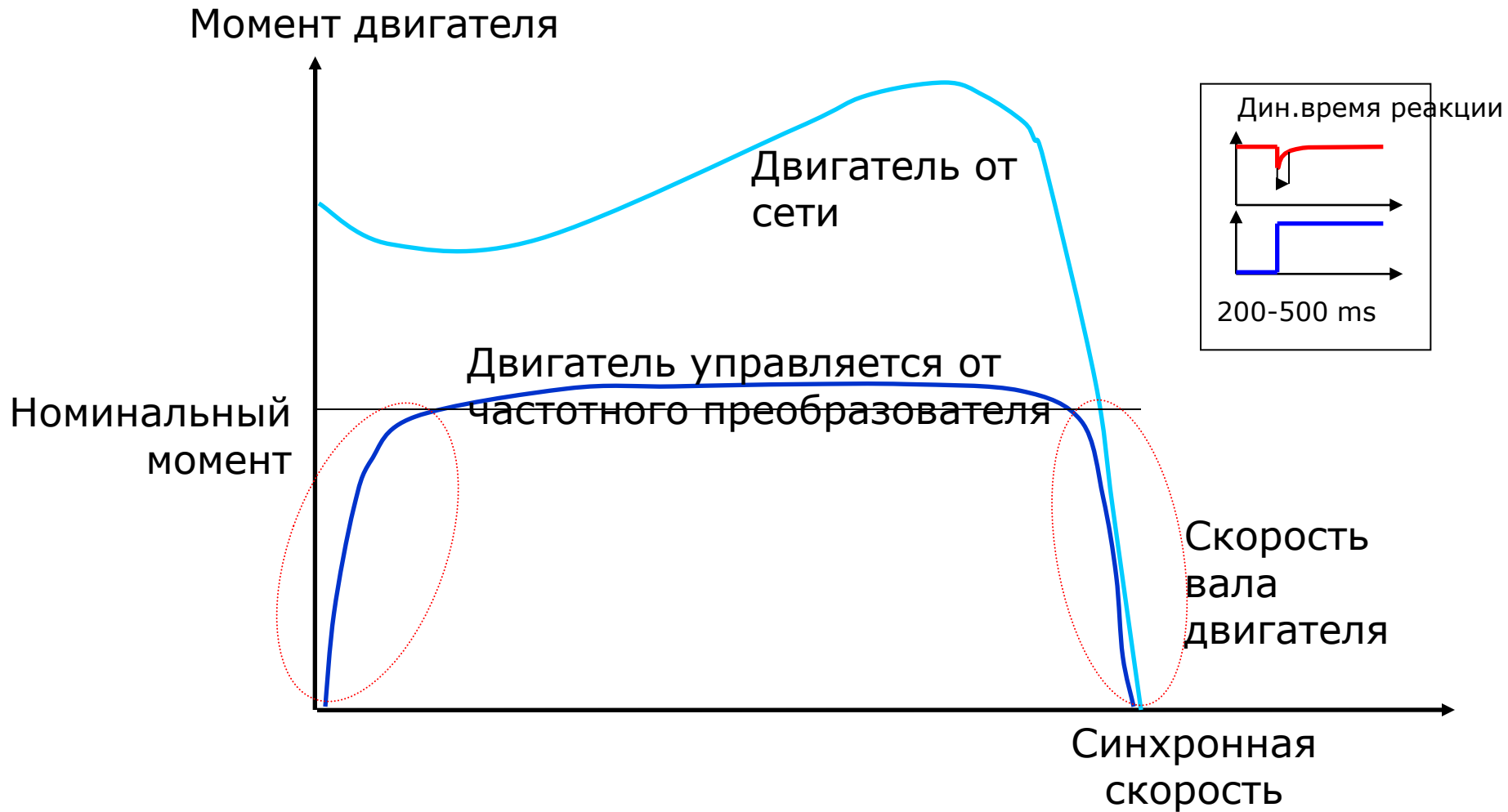
Номинальные значения для  $V$  и  $F$  обычно используется для значений  $F_{nom}$  и  $V_{max}$ . Напряжение  $V_{max}$  привода ограничено напряжением питания. Частота не ограничена.

Для  $F > F_{nom}$  отношение  $V / F$  уменьшается из-за ограничения напряжения – ведет к ослаблению поля.

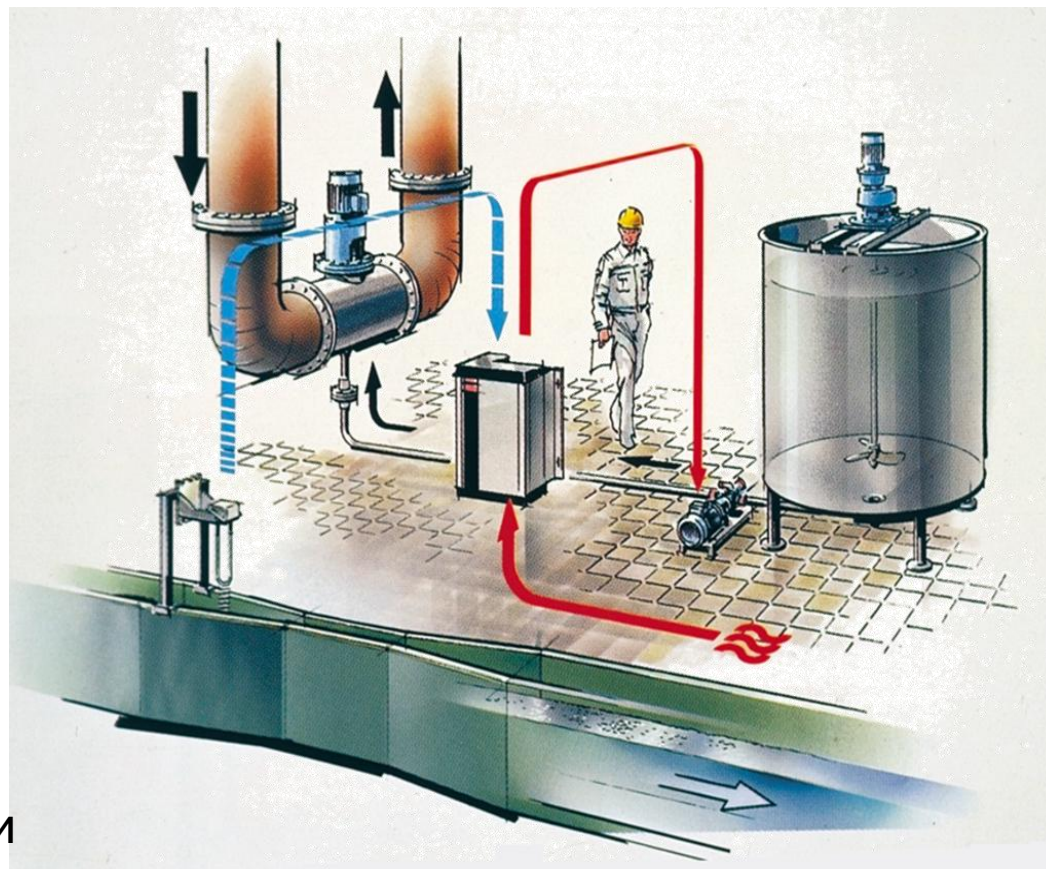
# Скалярное управление с компенсациями (Micro Drive FC-051)



# Механическая характеристика (М/п диаграмма)

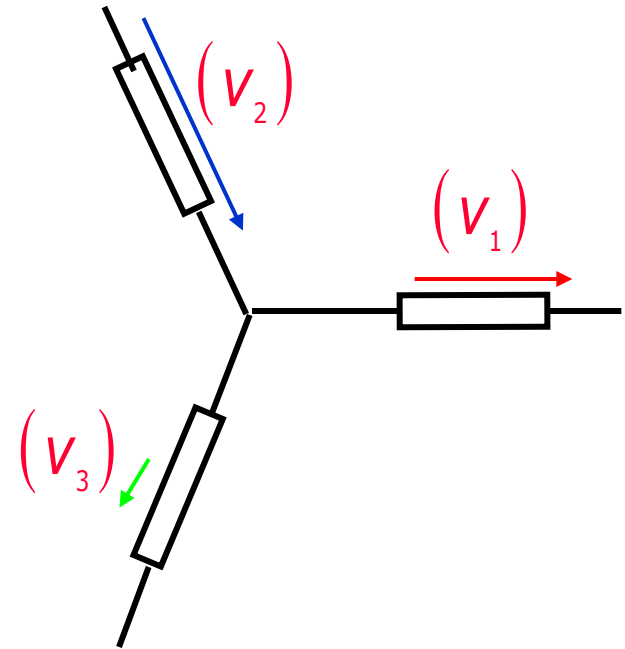
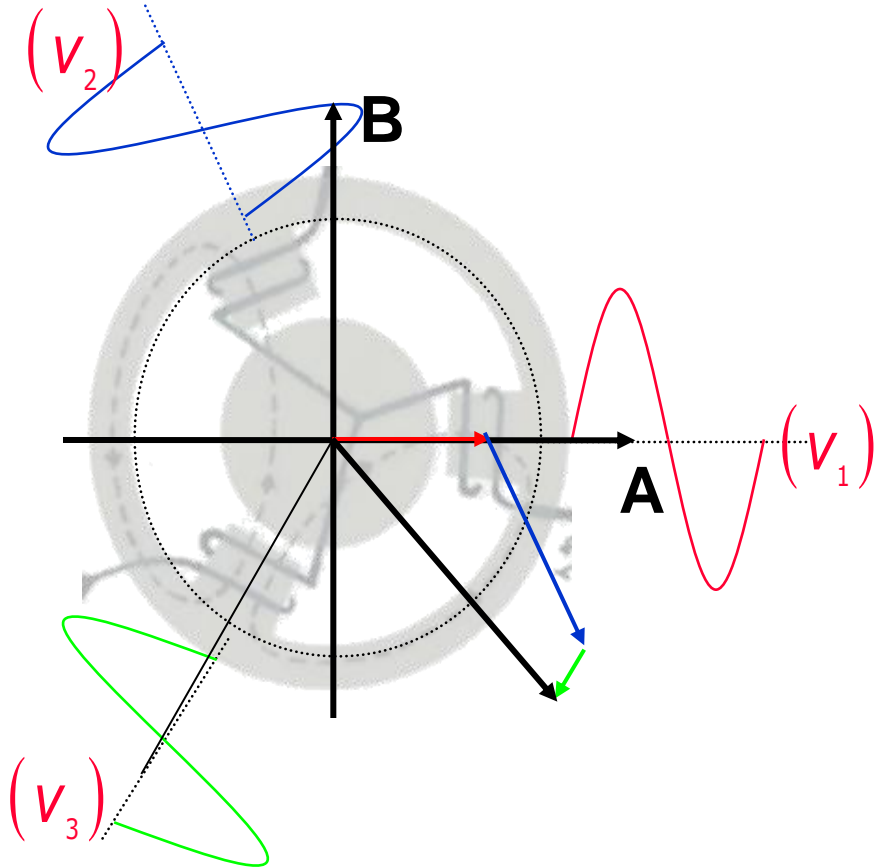


# Приложения



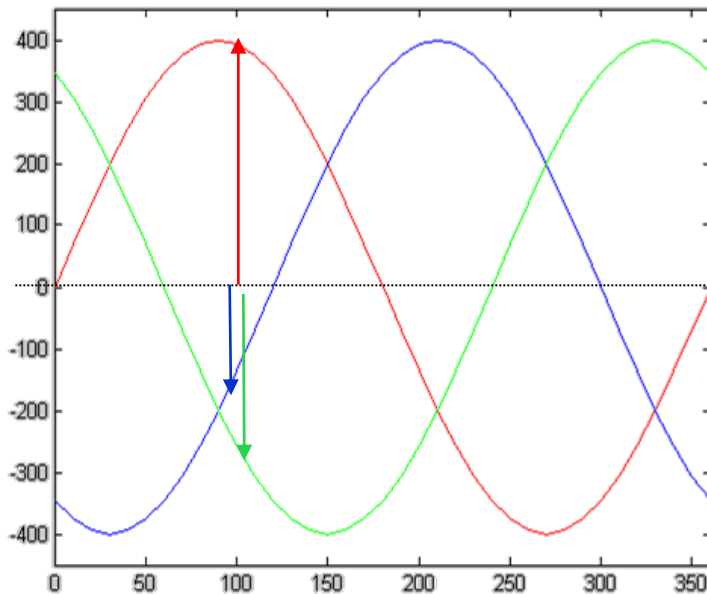
Момент – функция скорости

# Определение вектора напряжения



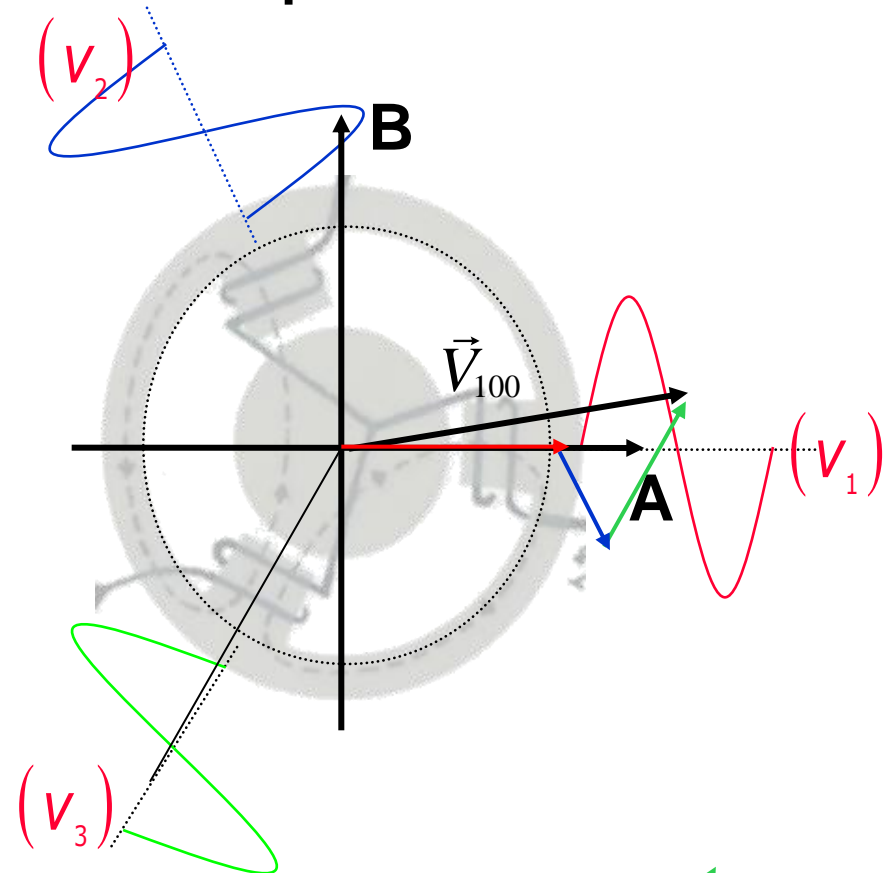
# Сложение векторов напряжения

$$\vec{V} = \left( v_1 + v_2 e^{j\frac{2\pi}{3}} + v_3 e^{j\frac{4\pi}{3}} \right)$$



\*

$$\vec{V}_{100} = (v_1) + (v_2) + (v_3)$$



The vectors are:  $(v_1)$   $(v_2)$   $(v_3)$

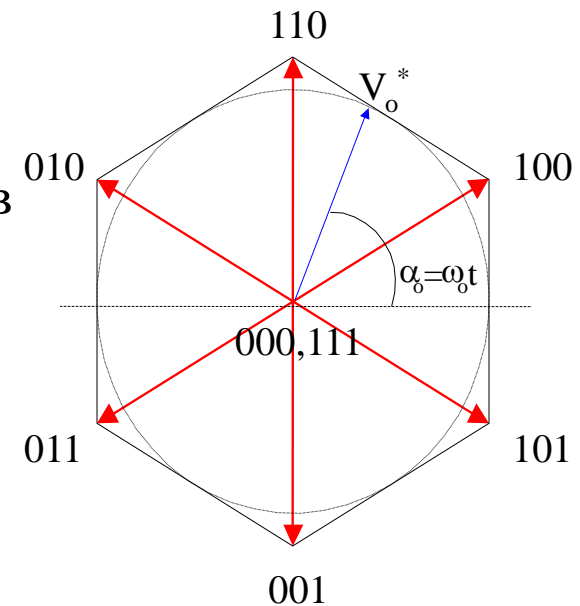
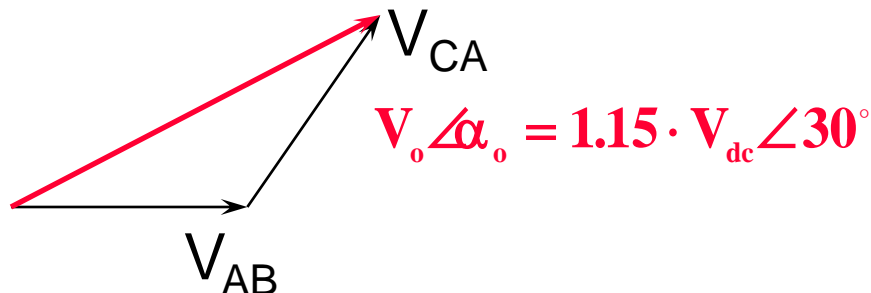
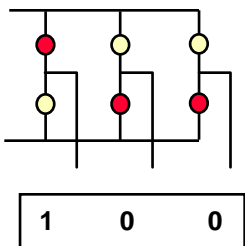
# Модуляция положения вектора в пространстве

Используя трансформацию

$$\vec{V}_o = \frac{2}{3} \left( v_{AB} + v_{BC} e^{j\frac{2\pi}{3}} + v_{CA} e^{j\frac{4\pi}{3}} \right) = V_o \angle \alpha_o$$

восемь комбинаций состояния IGBT-транзисторов трансформируются в шесть активных и два нулевых вектора

**Пример:** комбинация ключей 100  
 $V_{AB} = V_{dc}$      $V_{BC} = 0$      $V_{CA} = -V_{dc}$

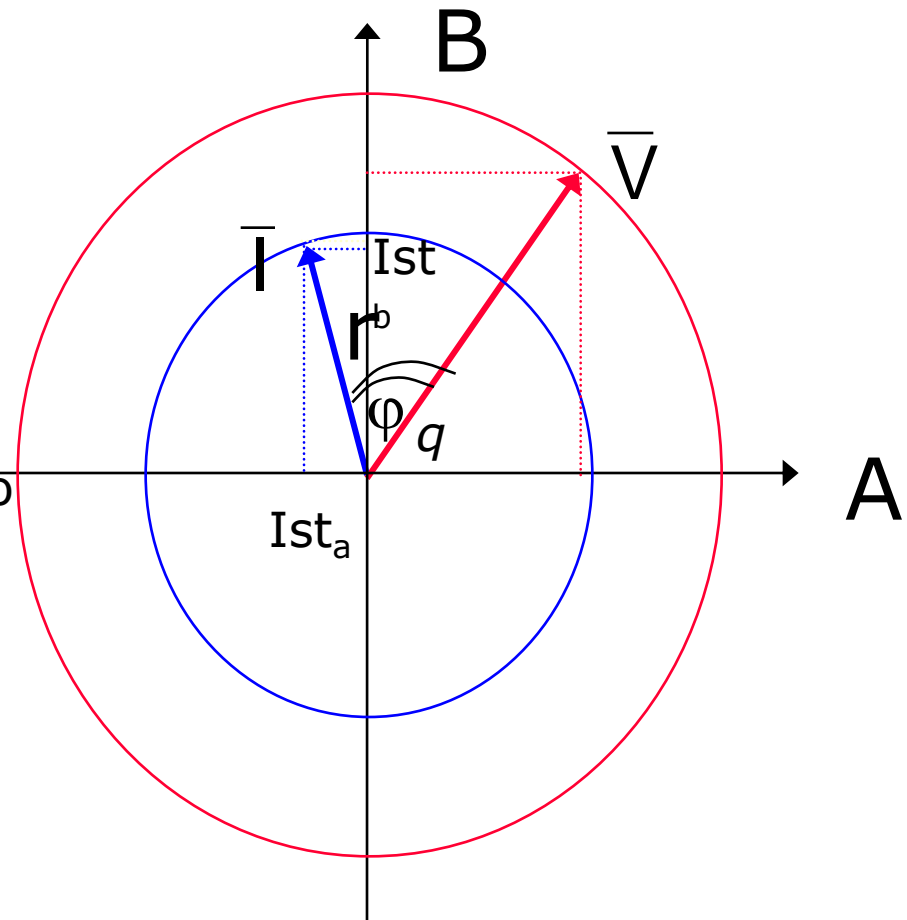


# Вектор тока

Вектор тока определяется так же как и напряжения

Каждый вектор представляется либо  $I_{st}$  (a,b) координатами либо величиной и углом ( $r, q$ )

Для кругового пути a- и b-компоненты меняются во времени по  $\sin$  и  $\cos$

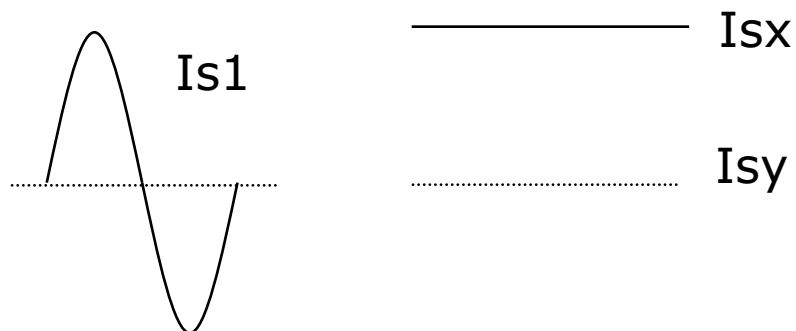
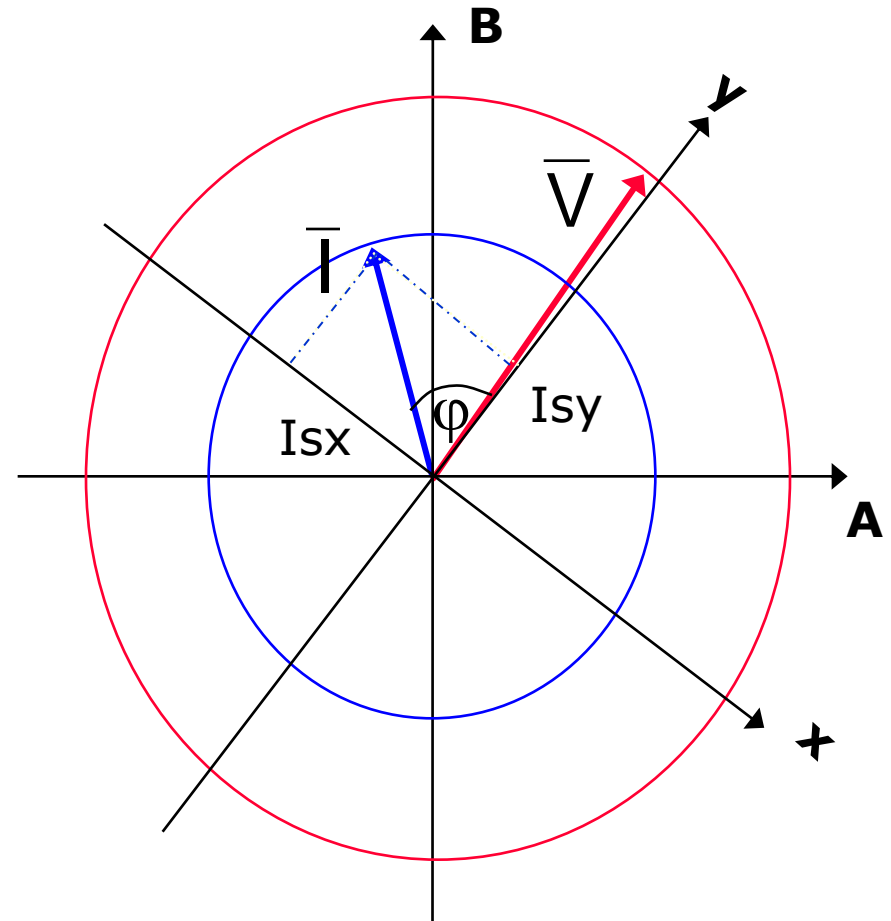




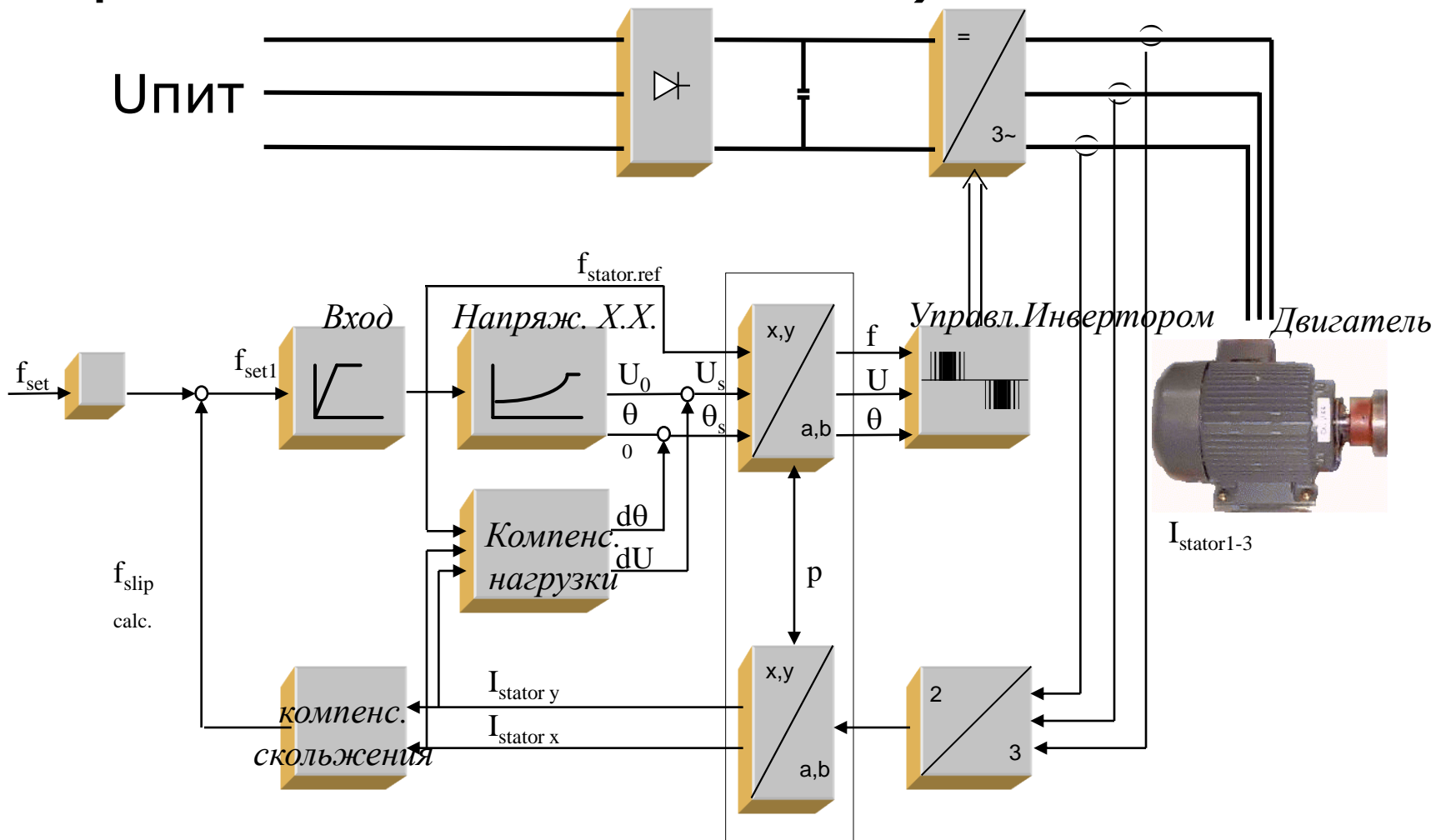
# Вращающиеся координаты

Токи могут быть представлены в системе координат  $(x, y)$ , одна из осей которой расположена на векторе напряжения. Эта система координат вращается со скоростью напряжения.

В этой системе координат  $i_x$  and  $i_y$  постоянны во времени (при неизменной нагрузке)



# Управление вектором потока без обратной связи (FC-302 режим Flux Sensorless)



# VVC+ Приложения

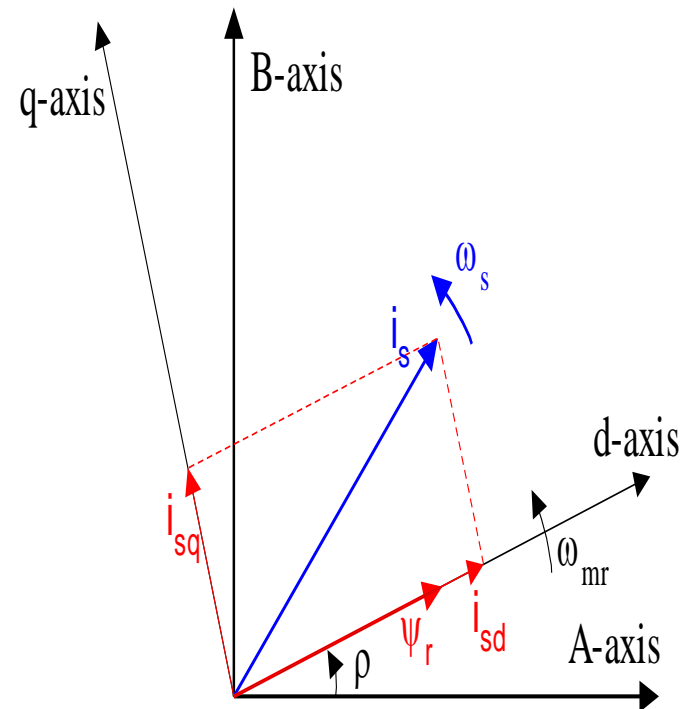
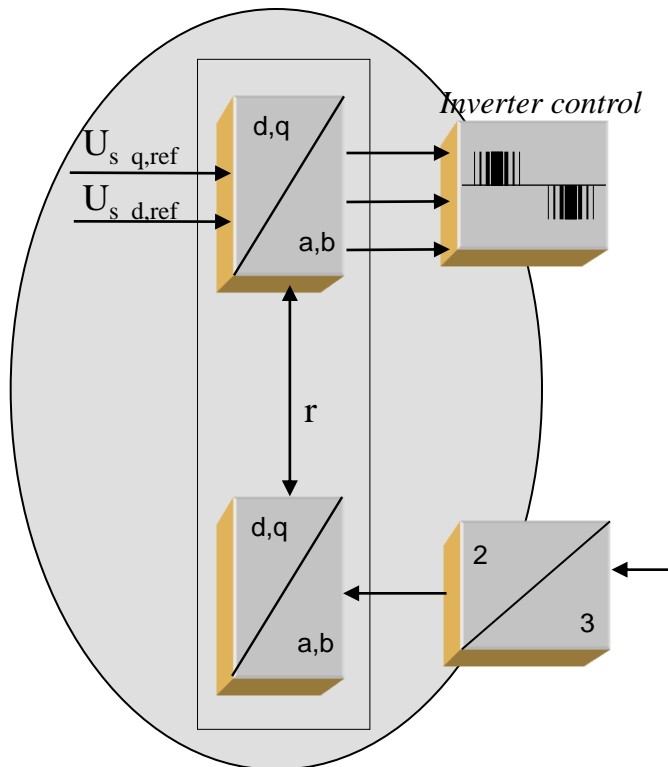


- Резкие изменения нагрузки
- Точное поддержание скорости

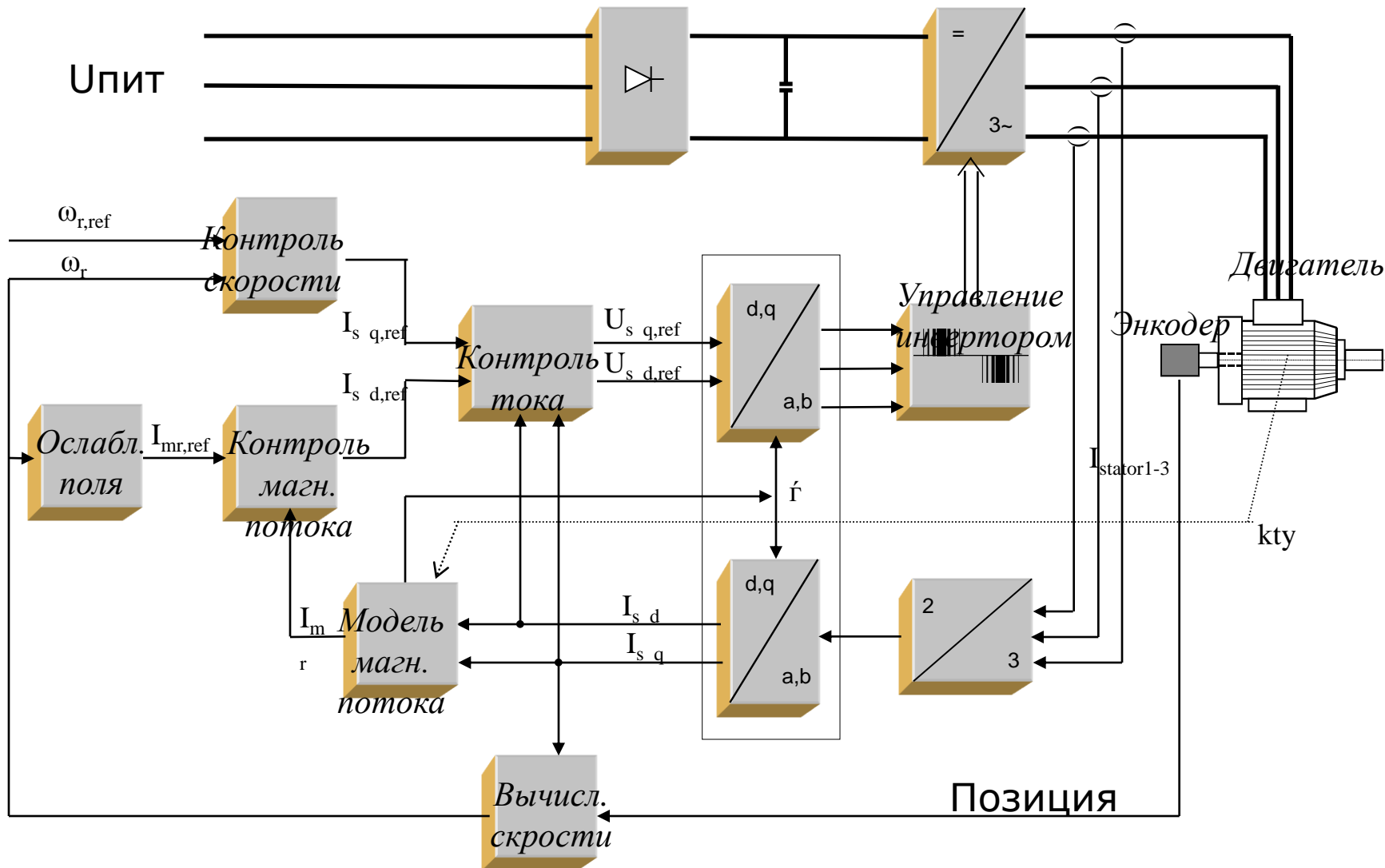
# Flux Vector Control

(Управление вектором магнитного потока)

Векторы тока  $a$  и  $b$  преобразуются во вращающуюся систему координат  $q$ - $d$ . Эта система координат связана с вектором магнитного потока в воздушном зазоре,  $\omega_s$ . При постоянной нагрузке токи  $i_q$  и  $i_d$  не изменяются во времени.



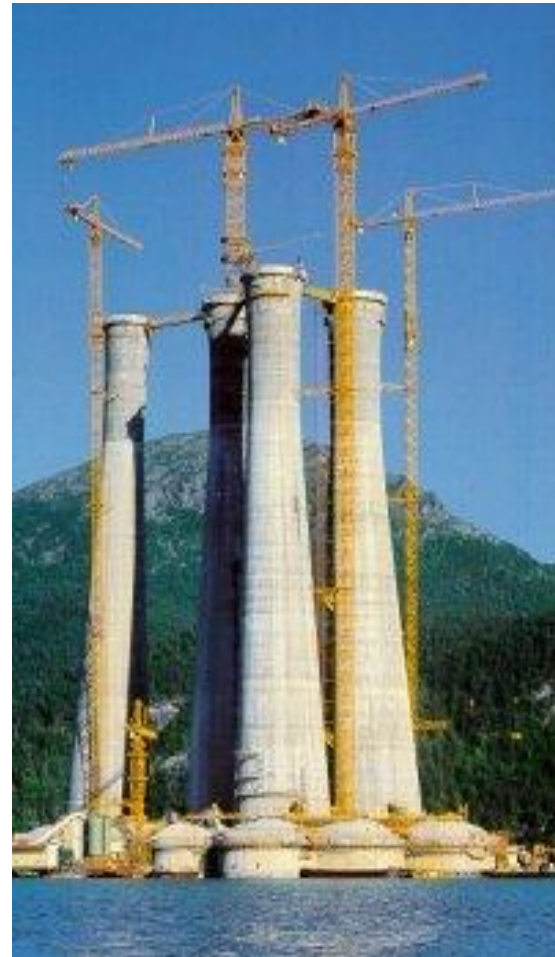
# Управление вектором потока (замкнутый контур)



# Управление вектором потока. Применение: Кран



- Полный момент при нулевой скорости
- Постоянный момент, не зависящий от скорости



# Заключение

Для пользователя, оптимальное решение заключается в методы, которые сочетают в себе грубые свойства скалярного V/F способа управления с более высокой динамикой поля-ориентированного (векторного) принципа управления.

	<b>Скалярное управление</b>	<b>Векторное управление U (без ОС)</b>	<b>Векторное управление U (с ОС)</b>	<b>Векторное управление Потокосцеплением (без ОС)</b>	<b>Векторное управление Потокосцеплением (с ОС)</b>
<b>Диапазон регулирования скорости</b>	1:25	1:100	1:1000-10000 зависит от датчика	1:100	1:1000-10000 зависит от датчика
<b>Точность поддержания скорости</b>	+/-1% в осн. диапа-зоне скорости	+/-0.5% в осн. диапа-зоне скорости	зависит от датчика	+/-0.5% в осн. диапа-зоне скорости	зависит от датчика
<b>Ускорение момента</b>	40-90% от номин. момента	80-130% от номин. момента		100-150% от номин. момента	100-160% от номин. момента
<b>Время реакции на изменение скорости</b>	200-500мс	50-300мс		10-100мс	5-50мс
<b>Время реакции на изменение момента</b>	отсутствует	20-50мс		0.5-5мс	0.5-5мс