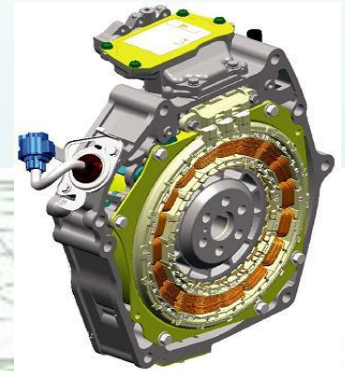
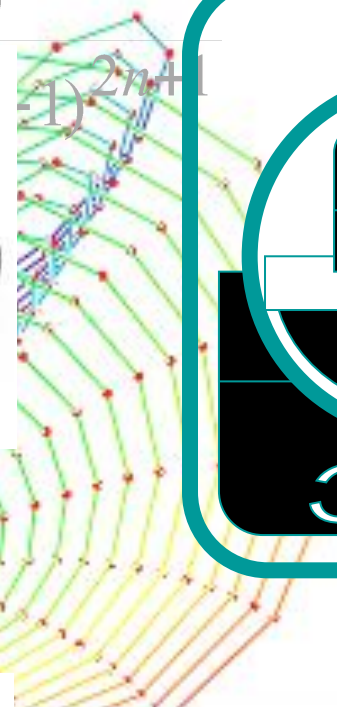
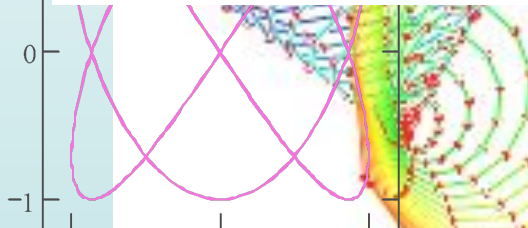


# Асинхронный тяговый привод

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



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



Доктор техн. наук,  
профессор  
Щуров Николай Иванович

## Недостатки ТЭД постоянного тока:

1. являются напряженными в коммутационном и тепловом отношении;
2. щеточный узел ненадежен.

## Бесколлекторные ТЭД:

1. допускают большую частоту вращения;
2. имеют меньшую массу;
3. отсутствует скользящий контакт

**Что затрудняло применение асинхронных тяговых двигателей:**

- 1. Квадратичная зависимость вращающего момента от приложенного напряжения;**
- 2. громоздкость, сложность и ненадежность ранее существующих преобразователей;**
- 3. Значительное расхождение нагрузок между параллельно работающими ТЭД.**

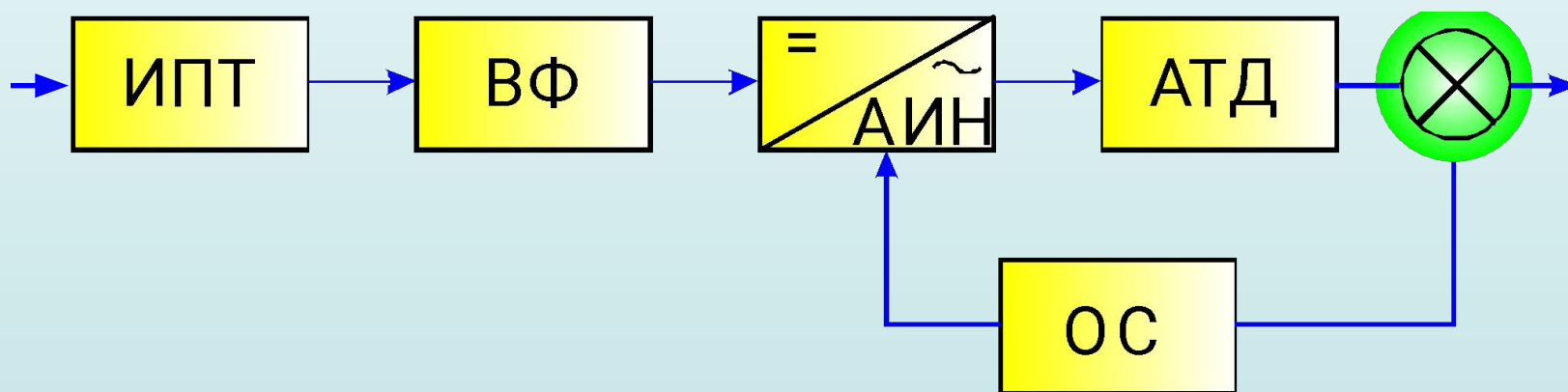
**Применение современных полупроводниковых приборов решило проблему использования асинхронных ТЭД на новой технической основе.**

**С помощью устройств, называемых инверторами преобразуют постоянный ток в трехфазный переменный регулируемой частоты.**

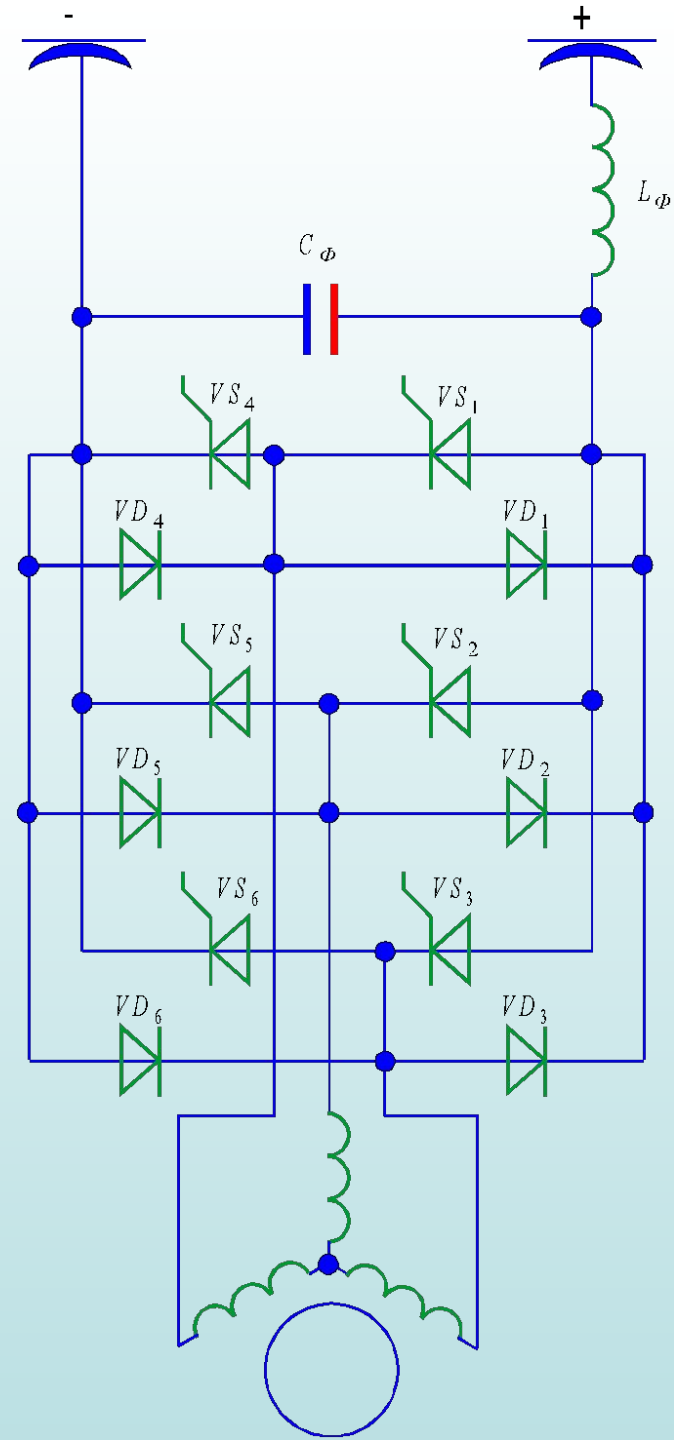
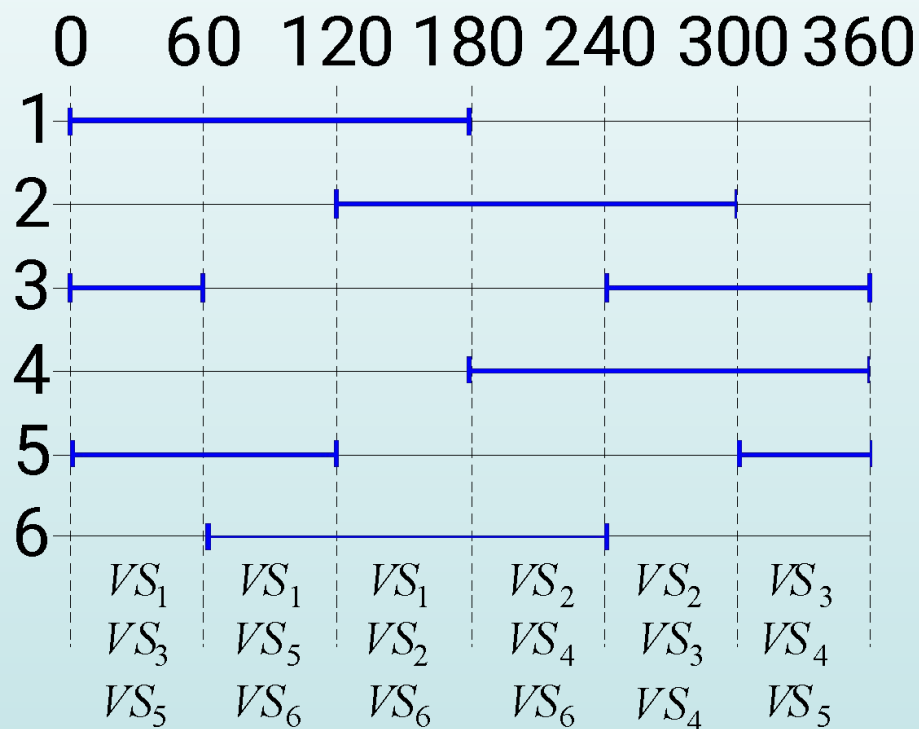
**Регулирование режимов работы АД заключается в преобразовании по заданным законам напряжения и тока источника питания в систему напряжения и тока требуемого для питания обмоток бесколлекторного двигателя.**

Законы регулирования задают так, чтобы обеспечить желаемые характеристики ЭПС.

## Структурная схема системы регулирования



# Силовая схема асинхронного тягового привода



# Характеристики ЭПС с асинхронным тяговым приводом

6

Одним из важных параметров режима работы АД является относительное скольжение:

$$s = \frac{n_1 - n_2}{n_1}$$

$n_1$  и  $n_2$  - соответственно частота вращения магнитного поля статора и частота вращения ротора,

$$n_1 \neq n_2.$$

Так как  $f_1 = \frac{p \cdot n_1}{60}$  и  $f_2 = \frac{p \cdot n_2}{60}$ , то

$$s = \frac{f_1 - f_2}{f_1} = \frac{\Delta f}{f_1}; \quad \Delta f = s \cdot f_1$$

$\Delta f = f_1 - f_2$  - абсолютная частота скольжения ротора. Именно эту частоту  $\Delta f$  имеет Э.Д.С. наводимая в роторе АД.

Относительное скольжение меняется от  $s = 1$  при неподвижном роторе, до  $s = 0$ , соответствующей синхронной скорости.

Рабочей частью моментной характеристики  $M(s)$  АД является отрезок изменения скольжения от  $s = 0$  до  $s \leq s_{кр}$ , за которым лежит область неустойчивой работы



При движении ЭПС приходится регулировать скорость, а следовательно  $f_1$  и  $f_2$ .

Зависимость момента вращения  $M$  асинхронного двигателя выражается:

$$M = \frac{9,82 \cdot p_1 \cdot m_1 \cdot r_2' \cdot U_1^2 \cdot s}{2 \cdot \pi \cdot f_1 \cdot [(C_1 \cdot r_2' + s \cdot r_1)^2 + (x_1 + C_1 \cdot x_2')^2 \cdot s^2]} \quad [H \cdot m]$$

$p_1$  и  $m_1$  - соответствующее число пар полюсов и число фаз статора;

$r_1$  и  $x_1$  - соответствующее активное и индуктивное сопротивления статора;

$r_2'$  и  $x_2'$  - приведенные к параметрам цепи статора активное и индуктивное сопротивления ротора;

$U_1$  - напряжение питания;

$C_1$  - постоянная статора, для ТЭД  $C_1 = 1$ ;

В силу того, что  $s$  в нормальном режиме относительно мало, то  $s^2 = 0$

Принебрегая малым активным сопротивлением обмотки статора  $r_1 = 0$  (тогда  $r_1 \cdot r_2' \cdot s = 0$ )

$$M = \frac{C \cdot U_1^2 \cdot s}{f_1}, \quad \text{где} \quad C = \frac{9,82 \cdot p_1 \cdot m_1}{2 \cdot \pi \cdot r_2'}$$

Так как в процессе работы ЭПС, вращающий момент АД меняется в широких пределах, то важно обеспечить условие:

$$\Delta P_{\min} = (\Delta P_M + \Delta P_C + \Delta P_2)_{\min} = const$$

$\Delta P_M + \Delta P_C$  - не зависят от тока ротора  $I_2$

**Потери в роторе**  $\Delta P_2 = M \cdot (\omega_1 - \omega_2)$ , где

$$\omega_1 = \frac{2 \cdot \pi \cdot f_1}{p}; \quad \omega_2 = \frac{2 \cdot \pi \cdot f_2}{p}$$

$\omega_1 - \omega_2 = \Delta\omega$  - **абсолютное скольжение ротора**,  $c^{-1}$ .

**Тогда потери в роторе:**

$$\Delta P_2 = \frac{2 \cdot \pi}{p} M \cdot \Delta f$$

**Следовательно, условие**  $\Delta P_{\min} = const$  **требует того, чтобы абсолютная разность частот**  $\Delta f$  **вращения поля статора**  $f_1$  **и ротора**  $f_2$  **была минимальной во всех режимах работы АТД**

$$\Delta f = (f_1 - f_2)_{\min} = const$$

Чтобы выявить способы реализации этого условия сопоставим два режима нагрузки АТД

### Режим 1

$$U_1, f_1, s_1 = \frac{f_1 - f_2}{f_1} \quad \text{и} \quad M_1 = C \cdot \frac{U_1^2 \cdot (f_1 - f_2)}{f_1^2}$$

### Режим 2

$$U'_1, f'_1, s'_1 = \frac{f'_1 - f'_2}{f'_1} \quad \text{и} \quad M'_1 = C \cdot \frac{(U'_1)^2 \cdot (f'_1 - f'_2)}{(f'_1)^2}$$

Так, как  $(f_1 - f_2) = (f'_1 - f'_2) = const$

Отношение вращающихся моментов для рассматриваемых режимов составит:

$$\frac{M_1}{M'_1} = C \cdot \frac{U_1^2 \cdot (f_1 - f_2)}{f_1^2} \cdot C \cdot \frac{(f'_1)^2}{(U'_1)^2 \cdot (f'_1 - f'_2)} = \frac{U_1^2}{(U'_1)^2} \cdot \frac{(f_1)^2}{f_1^2}$$

Отсюда  $\frac{U_1}{U'_1} = \frac{f_1}{f'_1} \cdot \sqrt{\frac{M_1}{M'_1}}$

Следовательно оптимальный режим работы АД определяется соотношением трех его параметров:

$$U_1, f_1, M_1$$

Изменяя соотношение между этим параметрами по определенному закону можно обеспечить работу с  $\Delta P_{\min}$ , т.е. с наибольшими к.п.д. и  $\cos \varphi$

Режим работы ЭПС характеризуется  $V$  и  $F$ , то

$$\frac{U_1}{U'_1} = \frac{V_1}{V'_1} \cdot \sqrt{\frac{F_1}{F'_1}}$$

## Реализация режимов движения ЭПС:

**Режим пуска**  $M = const; F_{II} = const$

$M \equiv \Phi \cdot I_2'$ , где  $I_2'$  - ток ротора, приведенный к цепи статора.

При  $\Phi = const$  будет и  $I_2' = const$

Постоянство момента и силы тяги равносильно таким образом  $I_1 = const$ . Это значит, что в течении времени пуска ток статора должен быть неизменным, если необходимо обеспечить  $F_1/F_1' = 1$ , тогда необходимо повышать напряжение приложенное к статору пропорционально скорости

$$\frac{U_1}{U_1'} = \frac{V_1}{V_1'}$$

После выхода на номинальную характеристику АД, т.е. при  $V = V_a$  для равномерной нагрузки двигателя и устройств электроснабжения необходимо обеспечивать условие постоянства мощности  $P = const$

Т.к.  $\frac{P_1}{P'_1} = \frac{F_1 \cdot V_1}{F'_1 \cdot V'_1} = 1$ ;  $\frac{U_1^2}{(U'_1)^2} = \frac{V_1^2 \cdot F_1}{(V'_1)^2 \cdot F'_1}$ , откуда

$$\frac{U_1}{U'_1} = \sqrt{\frac{V_1}{V'_1}}, \text{ режим } P = const$$

**Режим постоянства скорости равносильен условию постоянства частоты**

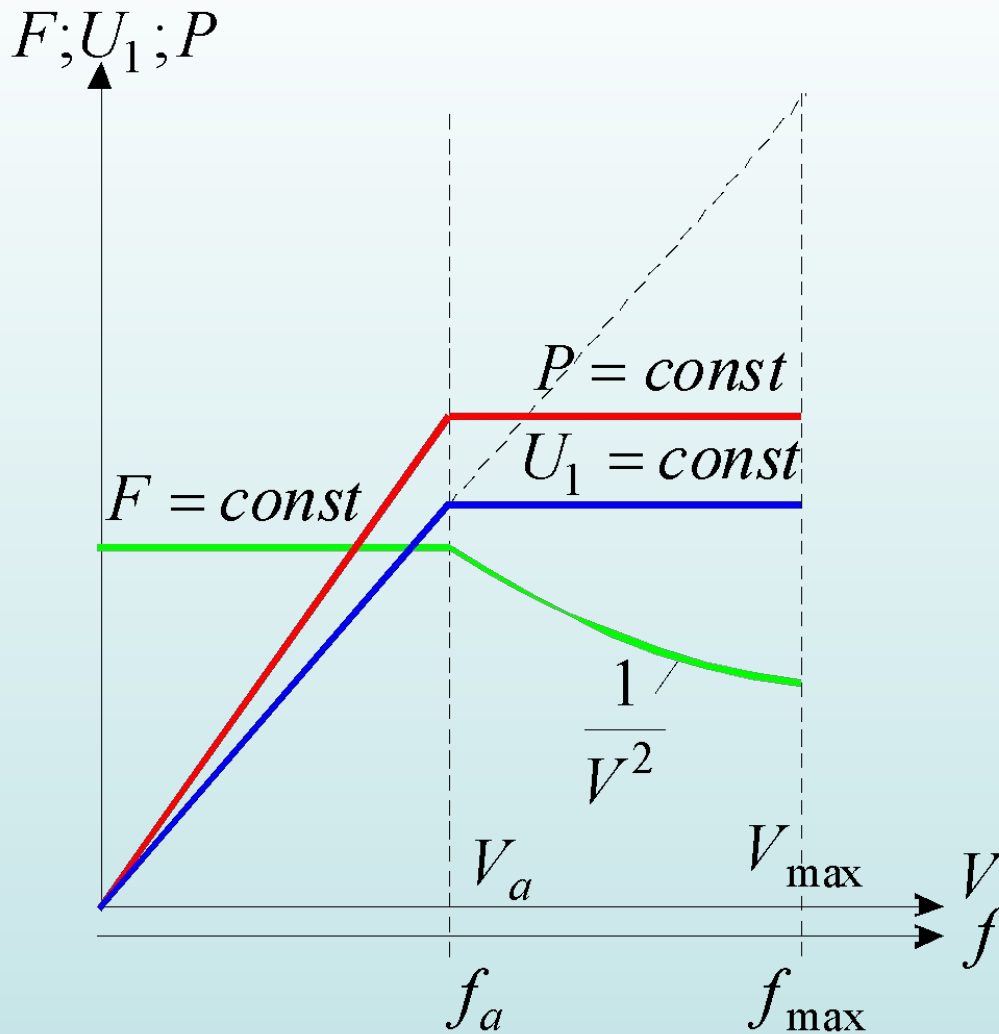
$$f_1/f_1' = 1 \quad \text{и} \quad \frac{U_1}{U_1'} = \sqrt{\frac{F_1}{F_1'}}$$

**Режим постоянства напряжения на АД  $U_1 = const$ ,**

**т.е.  $\frac{U_1}{U_1'} = 1$  обеспечивается законом регулирования**

$$\frac{V_1^2}{(V_1')^2} = \frac{F_1}{F_1'}$$



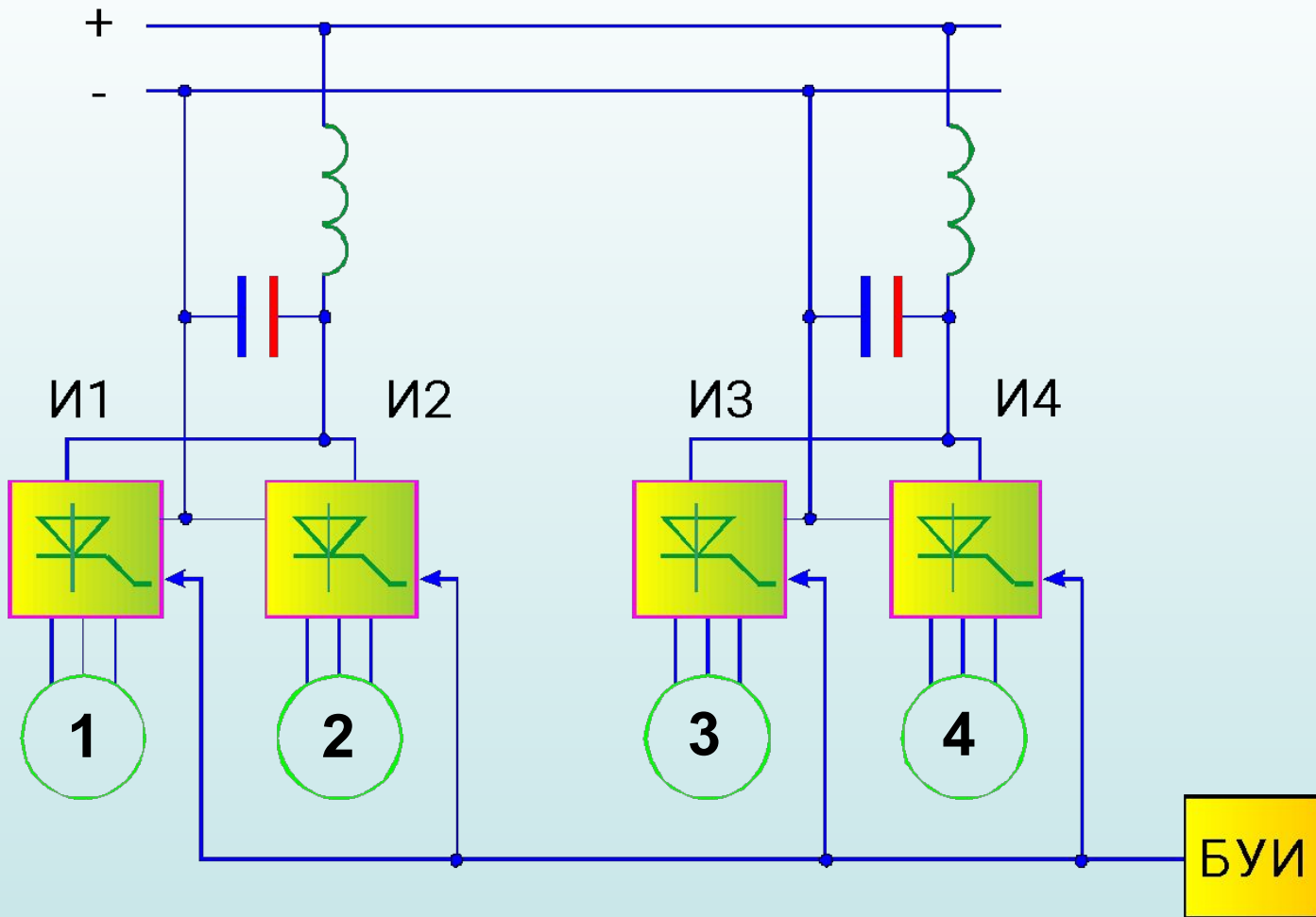


$$E_1 = C \cdot \Phi \cdot f_1$$

$F(V)$  - изменяется по  
закону  
квадратичной  
гиперболы

$0 - V_a$  - режим пуска

$V_a - V_{max}$  - регулиро-  
вание  $U_1, V_1, P$



**Электрическая схема асинхронного  
тягового привода при  $z=4$**