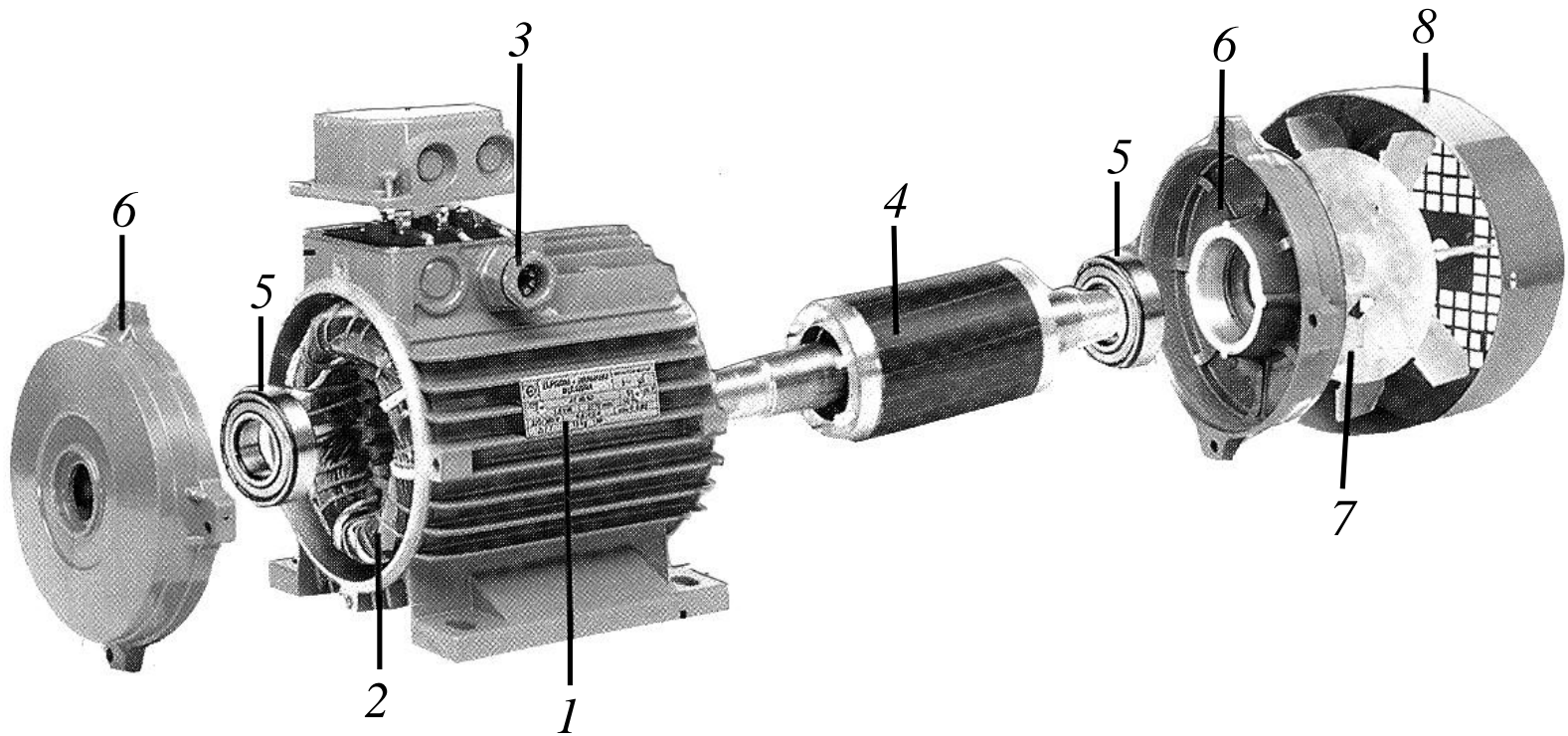
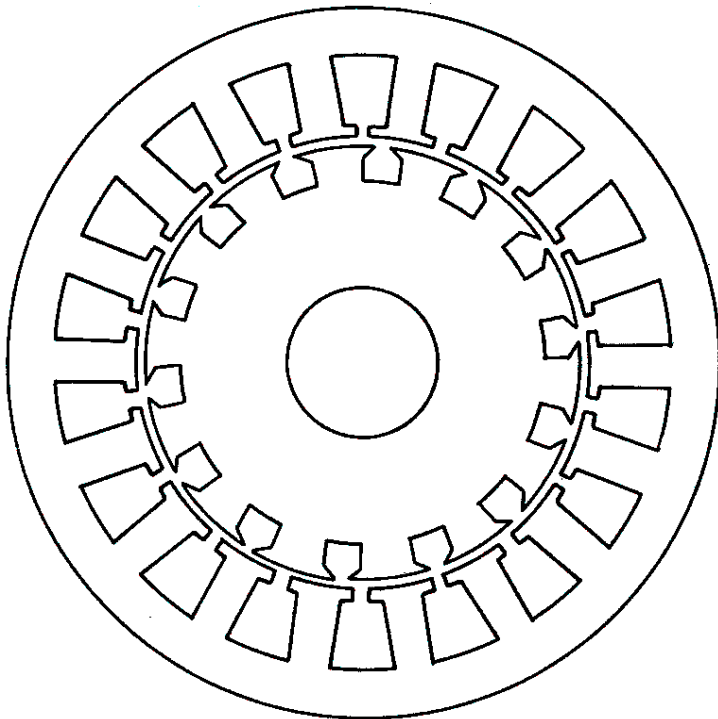


АСИНХРОННИ МАШИНИ

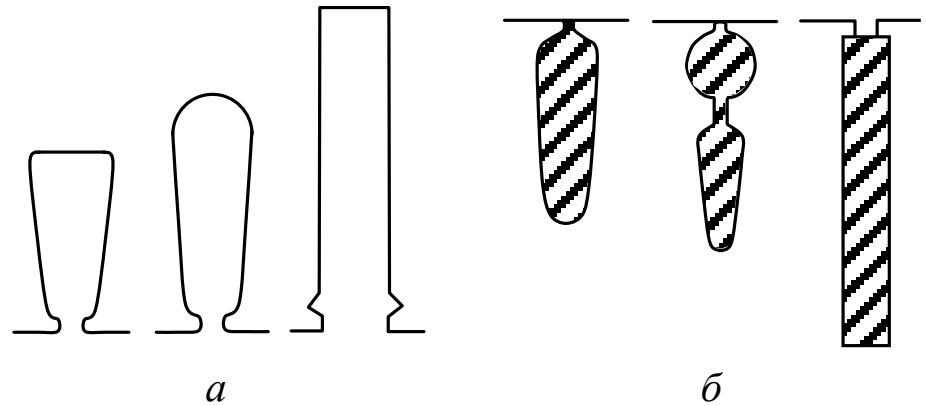


Фиг. 7.1. Устройство на асинхронен двигател с накъсосъединен ротор:
1 – статор; 2 – статорна намотка; 3 – вход на клемната кутия; 4 – ротор;
5 – лагери; 6 – лагерни щитове; 7 – вентилатор; 8 – вентилаторен кожух

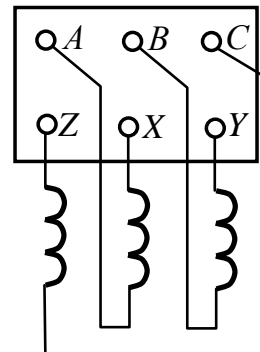
АСИНХРОННИ МАШИНИ



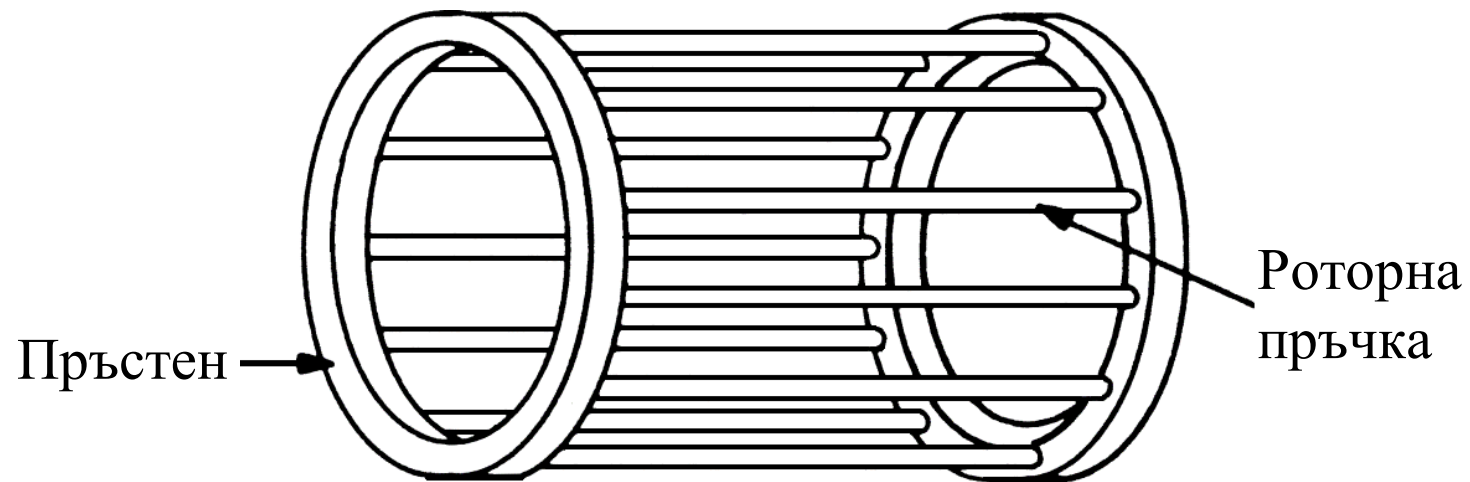
Статорен и роторен лист



Фиг. 7.3. Форми на статорни (а) и роторни (б) канали на асинхронни двигатели с накъсосоъединен ротор

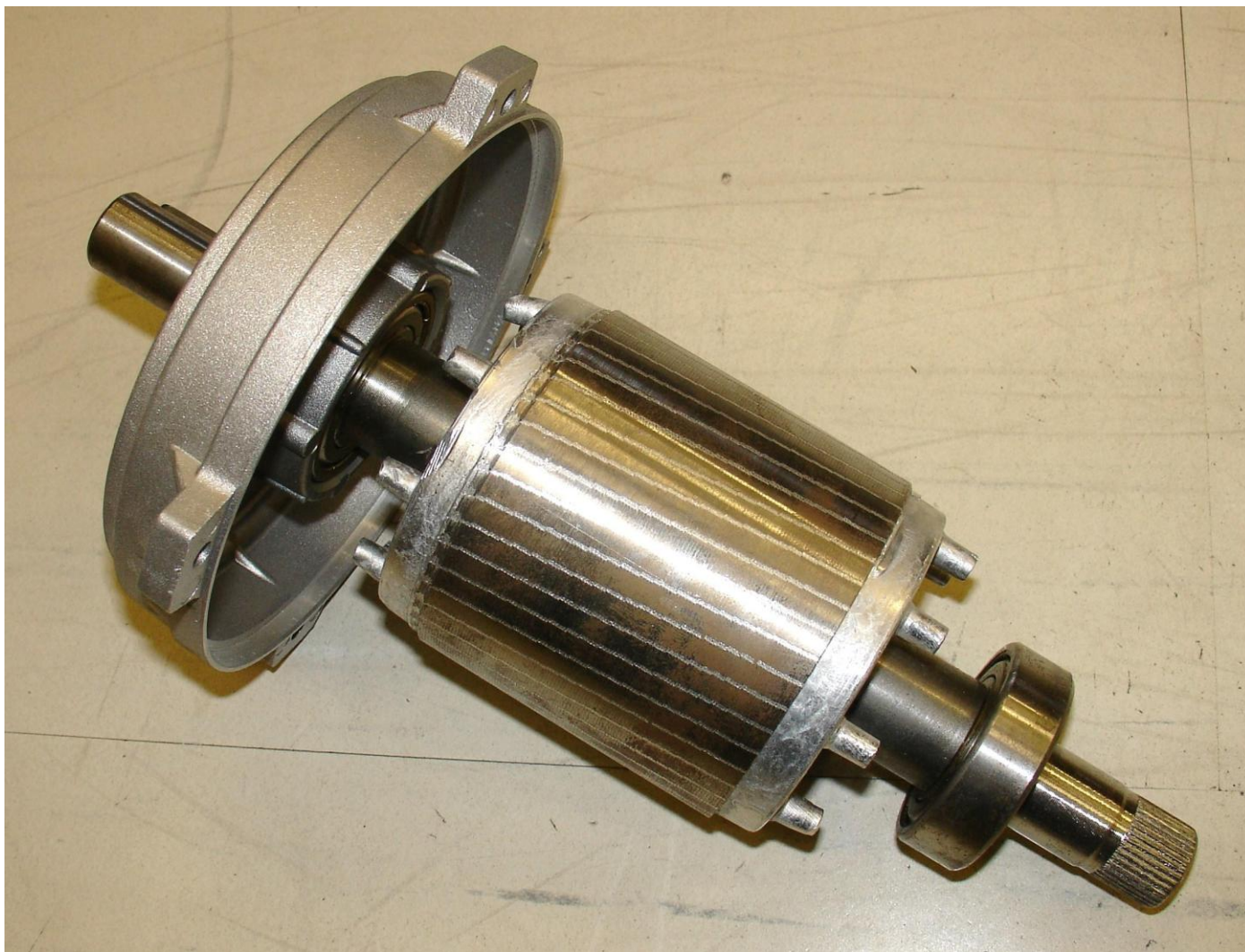


АСИНХРОННИ МАШИНИ



кафез

АСИНХРОННИ МАШИНИ



АСИНХРОННИ МАШИНИ



АСИНХРОННИ МАШИНИ

$$n_1 = \frac{60f_1}{p} \quad n_2 = n_1 - n$$

Хлъзгане!

$$s = \frac{n_2}{n_1} = \frac{n_1 - n}{n_1} \quad s = \frac{n_1 - n}{n_1} 100, \%$$

АСИНХРОННИ МАШИНИ

Motor & Co GmbH	
Typ 160 l	
3 ~ Mot.	Nr. 12345-88
Δ Y 400/690 V	29/17 A
S1 15 kW	cos ϕ 0,85
1430 U/min	50 Hz
iso.-Kl. F	IP 54
IEC34-1/VDE 0530	

SIEMENS			
PE*21 PLUS™ PREMIUM EFFICIENCY			
ORD.NO.	1LA02864SE41	№	
TYPE	RGZESD	FRAME	286T
H. P.	30.00	EFFICIENCY FACTOR	1.15
AMPS	34.9	VOLTS	460
R.P.M.	1765	HERTZ	60
DUTY	CONT	40°C AMB.	DATE CODE
CLASS INSUL.	F	NEMA DESIGN B	K.V.A. CODE G
			NEMA NOM. EFF. 93.6
SH. END BRG.	50BC03JPP3	OPP. END BRG.	50BC03JPP3
MILL AND CHEMICAL DUTY QUALITY INDUCTION MOTOR			
Siemens Energy & Automation, Inc. Little Rock, AR			MADE IN U.S.A.

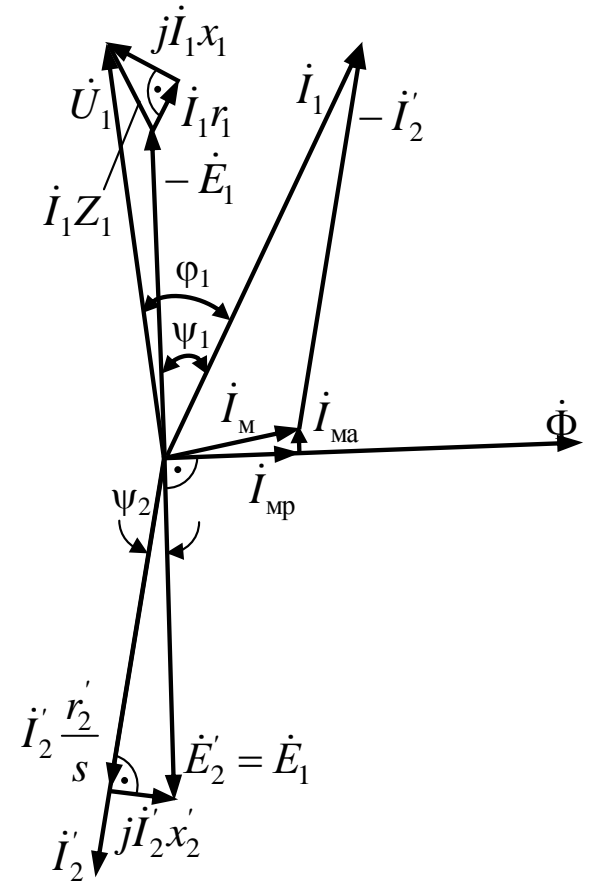
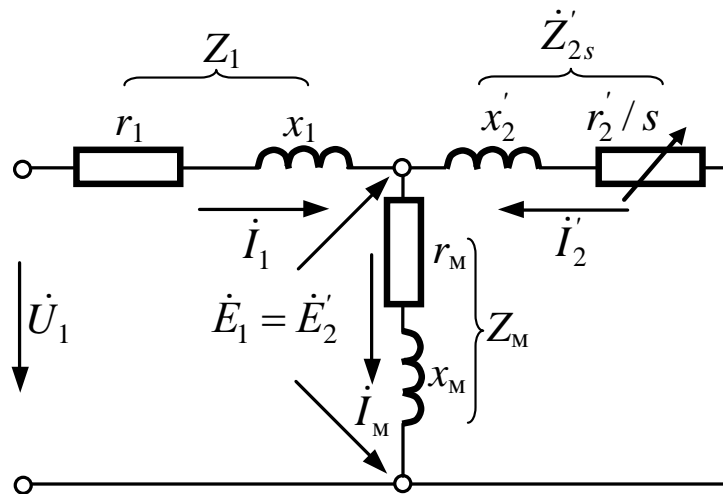
MALMBERGS					
THREE - PHASE INDUCTION MOTOR					
FRAME MS 711-2			INS.CL F		
kW	0.37	HP	0.5	IP	55
RPM	2730	Hz	50	CONN.	Δ / Y
V	230/400	A	1.67/0.97	NO.	1212073091

АСИНХРОННИ МАШИНИ

Приложение?

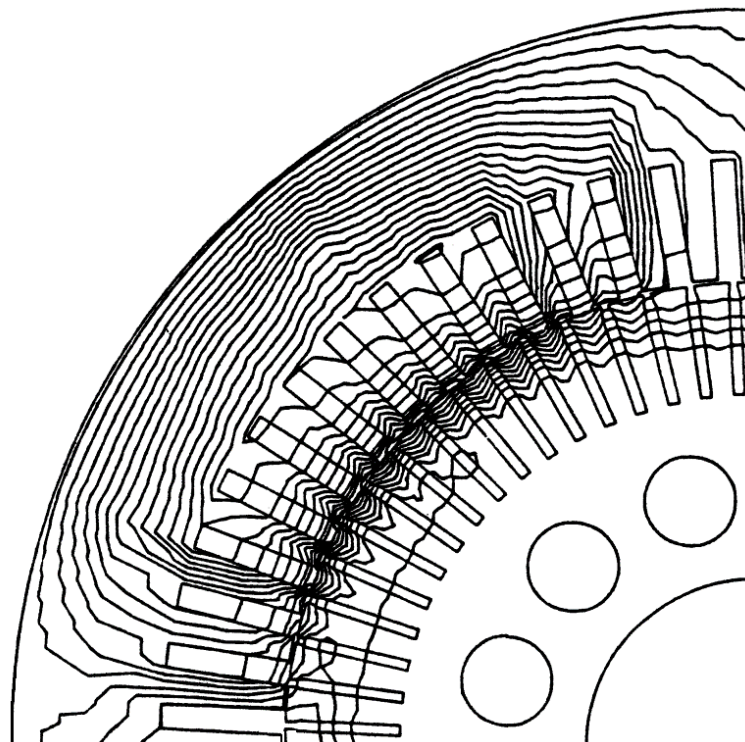
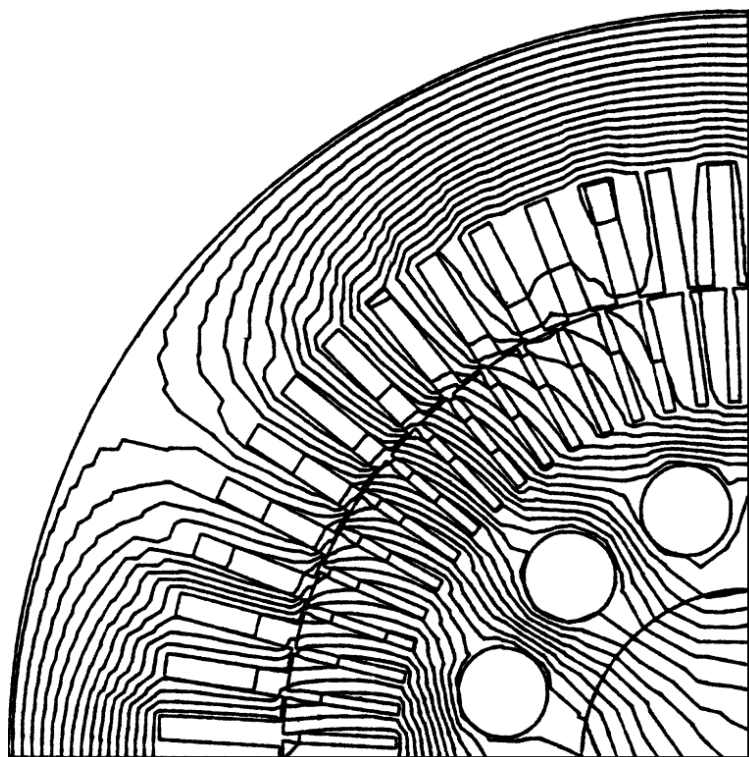
АСИНХРОННИ МАШИНИ

Заместваща схема и
векторна диаграма на АД



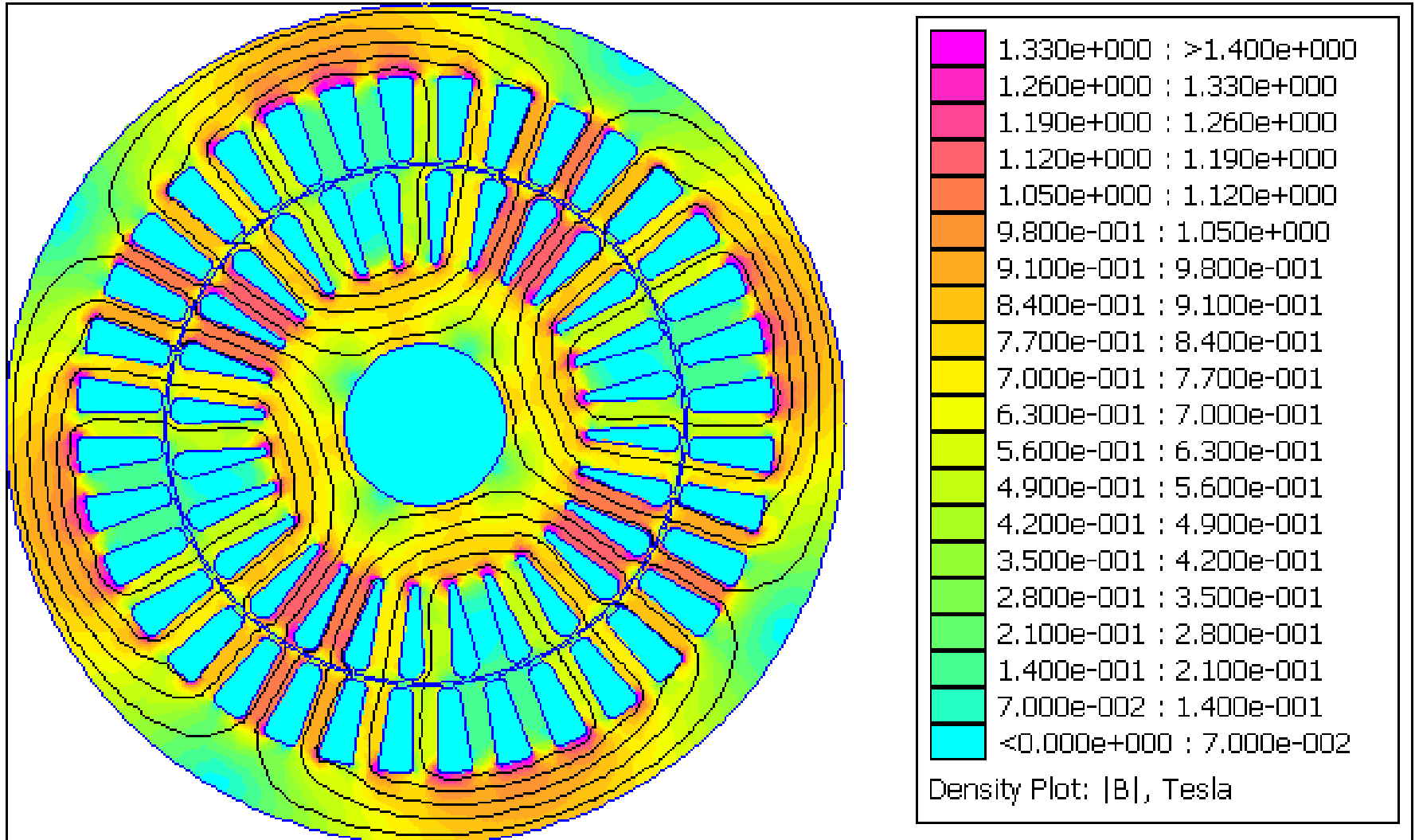
АСИНХРОННИ МАШИНИ

Разпределени на магнитното поле –
при пускане и при номинална работа ?



АСИНХРОННИ МАШИНИ

Разпределени на магнитното поле



АСИНХРОННИ МАШИНИ

bg.m.wikipedia.org



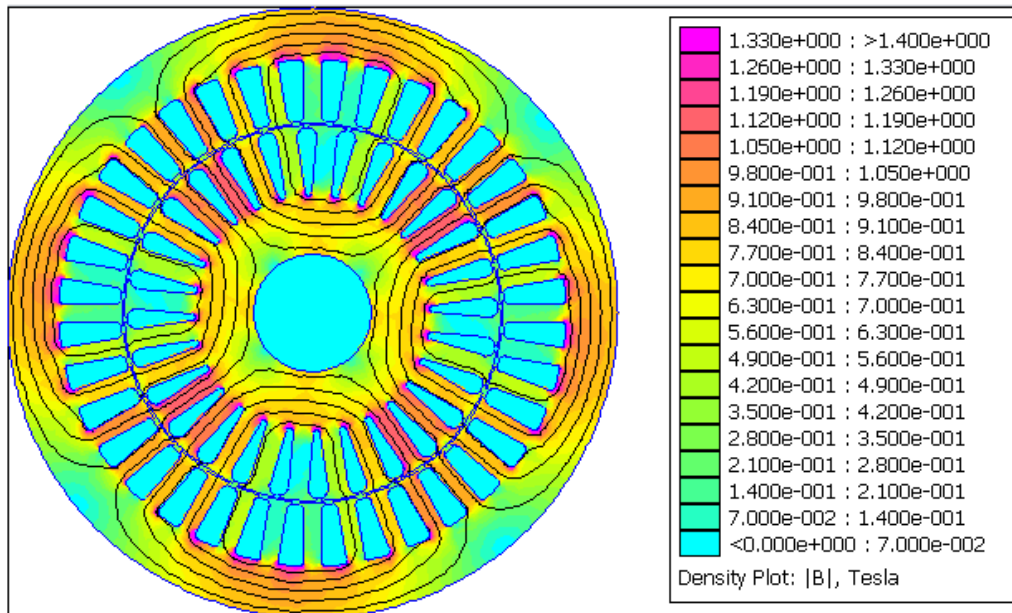
WIKIPEDIA

Търсене в Уикипедия

Файл:2HP 1500RPM induction motor no slip.gif

Език

Наблюдение Редактиране



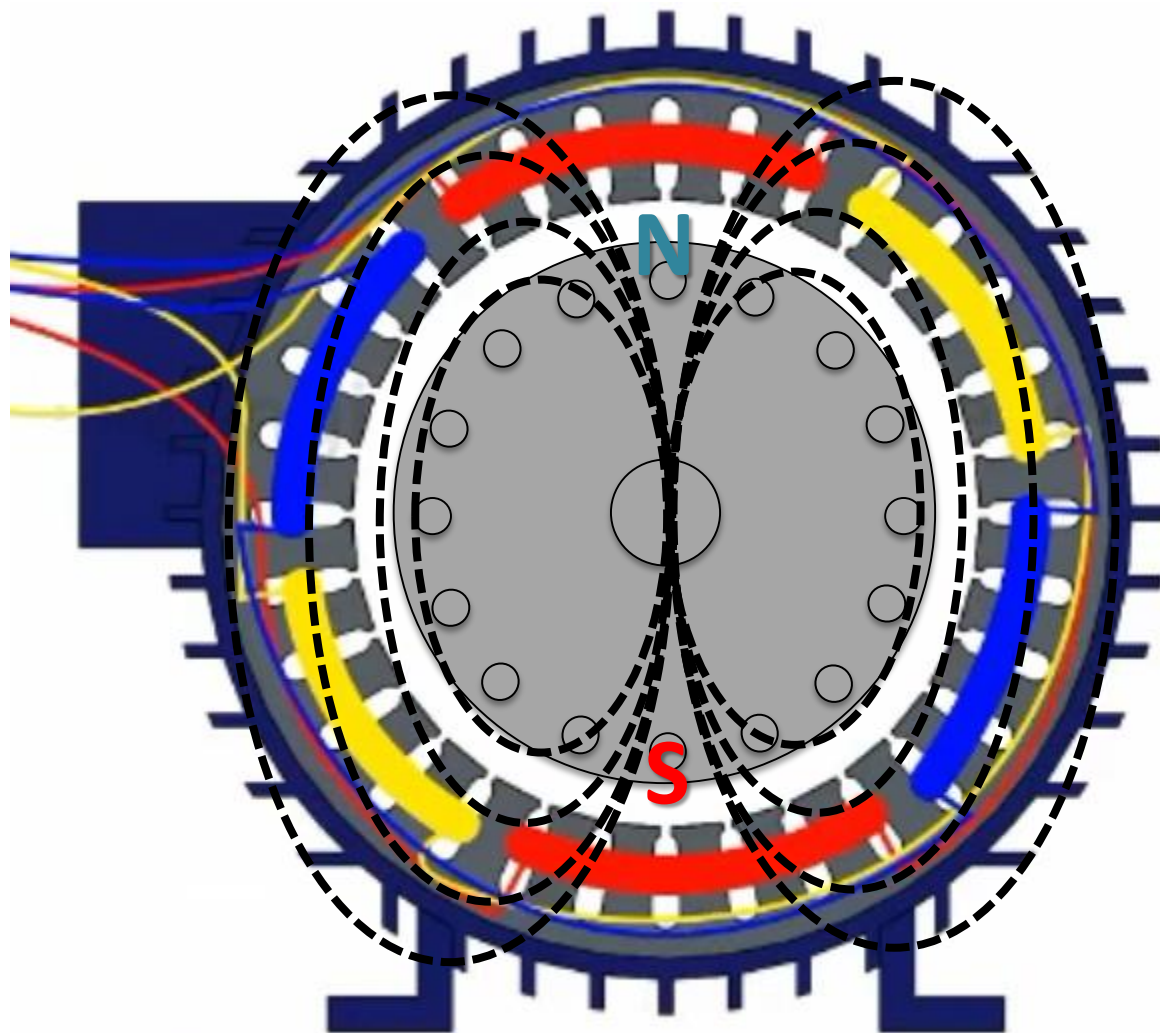
Разпределени на
магнитното поле

No slip ?!?

Не е налична версия с по-висока разделителна способност.

2HP_1500RPM_induction_motor_no_slip.gif (617 × 369 пиксела, големина на файла: 12,58 MB, MIME-тип: image/gif, зациклен, 360 кадъра, 3,6 s)

АСИНХРОННИ МАШИНИ



АСИНХРОННИ МАШИНИ

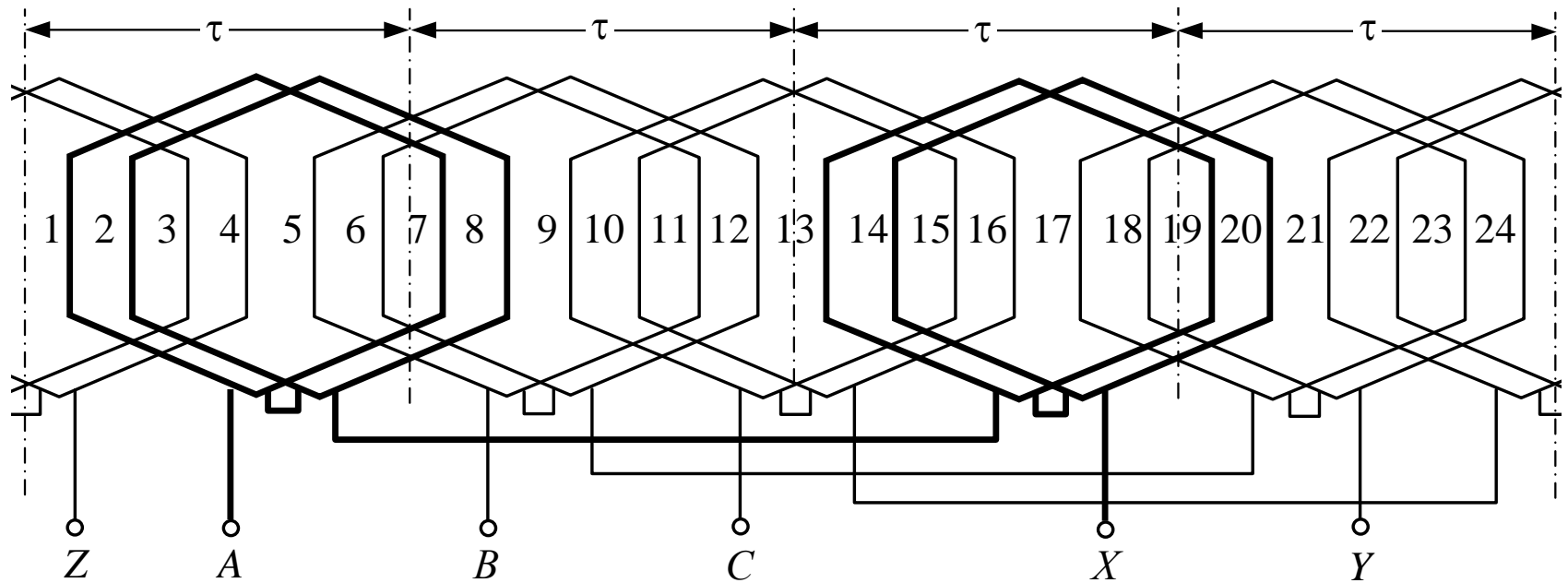


Схема на трифазна еднослойна намотка

АСИНХРОННИ МАШИНИ

Windings Property Editor

Stator winding:

Stator circuit: StarConnection

Number of slots (Ns): 36

Number of winding layers: 2

Number of parallel paths (Npp): 2

Number of conductors per slot (W): 135

Slot fill factor (fillfactor): 0.7

Winding material conductivity * (ks): 57143000 S/m

End winding axial overhang (Hsew): 20 mm

Layout input method: Automatic

Winding type: Lap

Number of pole pairs: 2

Coil span in slot pitches: 8

Winding Layout:

phase a				phase b				phase c			
coil	from	to	p/p	coil	from	to	p/p	coil	from	to	p/p
1	1	9	1	1	12	4	1	1	7	15	1
2	2	10	1	2	13	5	1	2	8	16	1
3	3	11	1	3	14	6	1	3	9	17	1
4	18	10	2	4	13	21	2	4	24	16	2
5	19	11	2	5	14	22	2	5	25	17	2

End winding inductance input method: Automatic

End winding inductance (Lsew): 0.0016434319 H

Winding phase resistance input method: Automatic

Winding phase resistance * (Rs): 3.006155981 Ohm

Rotor winding:

Number of bars (Nr): 28

Rotor bar skew (RBSkew): 12.86 grad

Cage material conductivity * (kr): 35700000 S/m

End ring outer diameter (D1re): 83 mm

End ring inner diameter (D2re): 50 mm

End ring thickness (Hre): 10 mm

End ring parameters input method: Automatic

End ring inductance (Lrew): 2.69554e-09 H

End ring resistance * (Rre): 1.266664e-06 Ohm

Stator winding layout preview

Redraw

Temperature effects on resistance:

Stator winding temperature: 20 °C

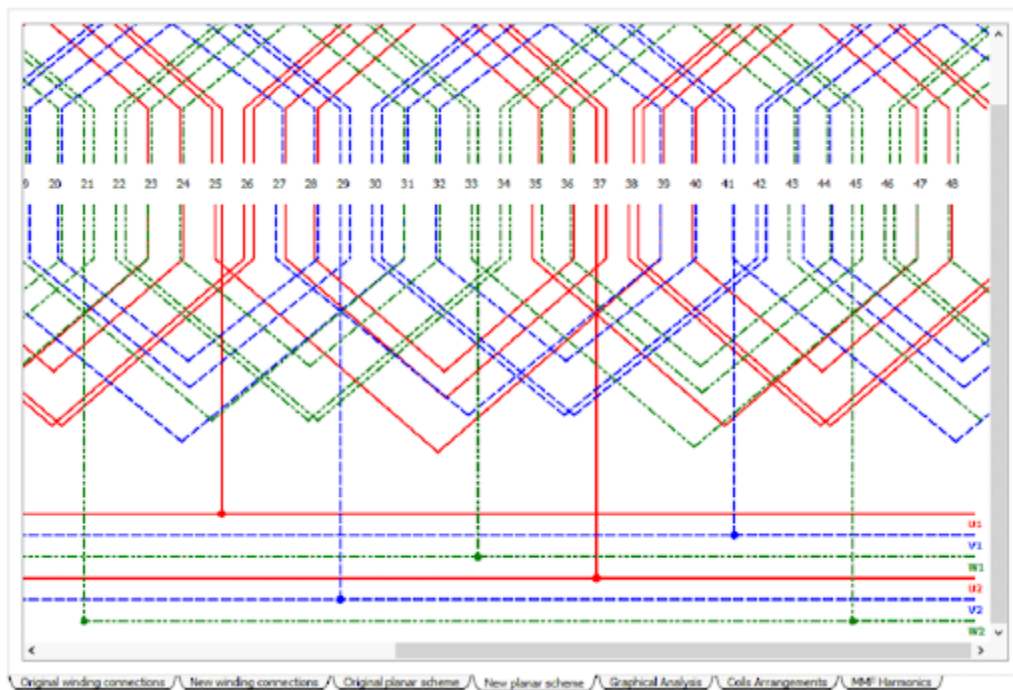
Rotor winding temperature: 20 °C

Stator winding temperature coefficient of resistance: 0

Rotor winding temperature coefficient of resistance: 0

* referred to ambient temperature 20 °C

АСИНХРОННИ МАШИНИ



Modelni podaci br.: 7.3.11.2012

NOMINALNI PODACI		MJEŠTE ST. FAZETA (mm)	
naoba	4 kW	broj slotova	24
broj polova	2	deblina	112
napon (V)	380	promjer	58
frekvencija (Hz)	50	unut. promjer	87
vrsta	zvjezdica	širina ruba "a"	5
vrsta (K)		širina ruba "b"	5
tip			
oznaka			

Prezentirano

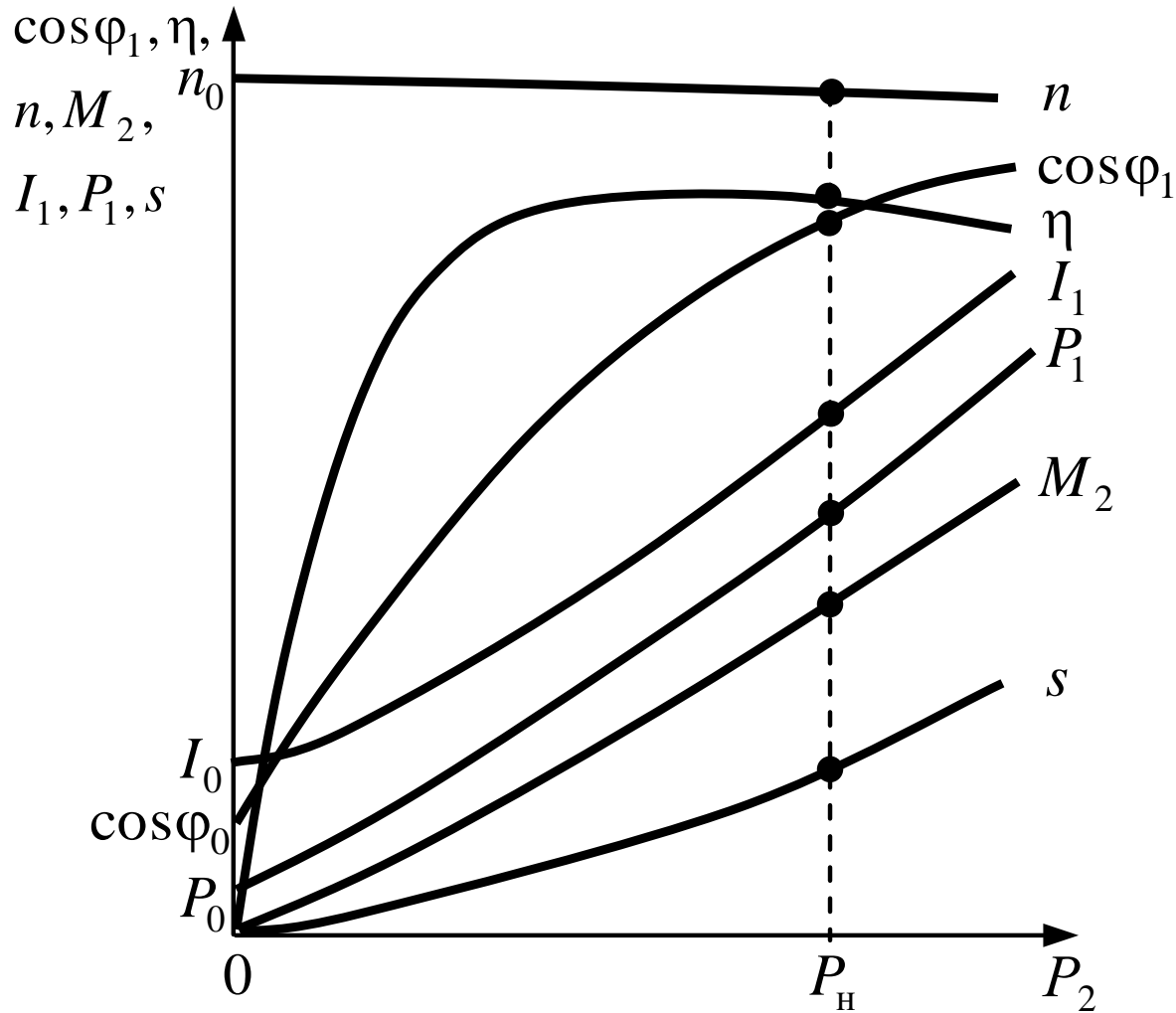
DIMENZIONIRANJE (mm)

b1 (mm)	25
b2 (mm)	9
h (mm)	6
irad (mm)	8.7

Šema: 2p=2, 2k, u=4, st, a1, a2, p=1+2, 2+1 k - m3M77

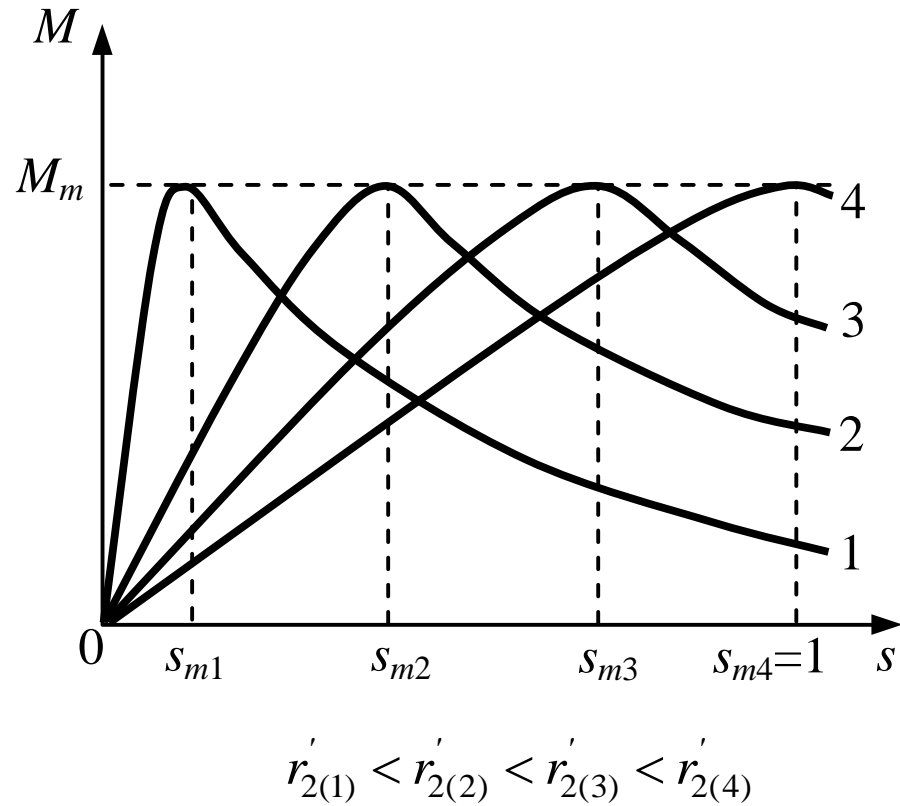
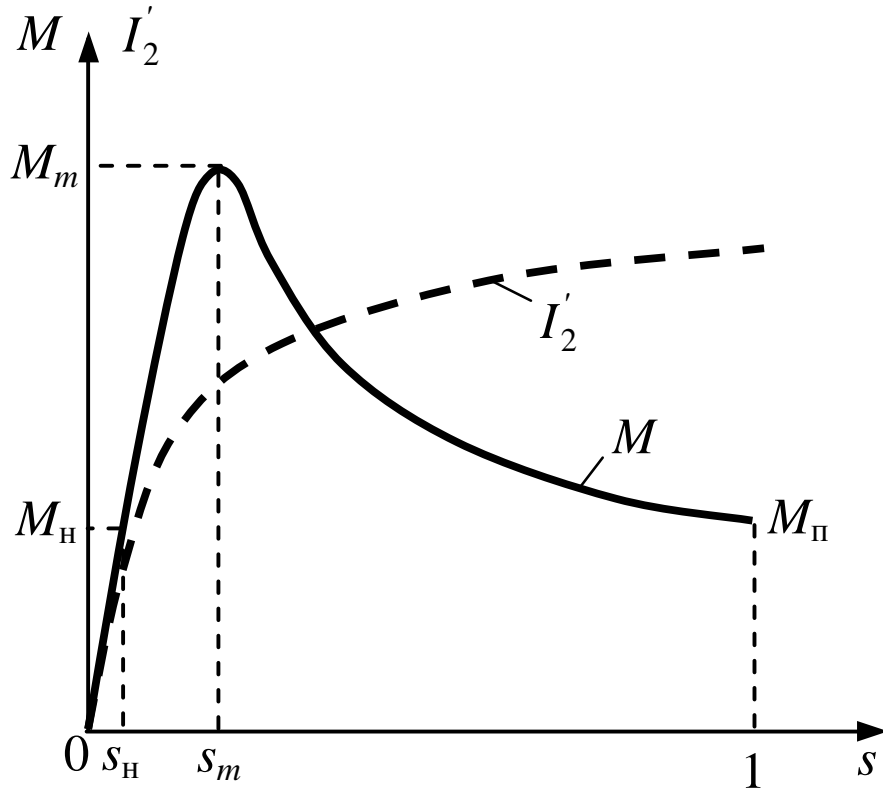
<< nazad / idu / print / dalje >>

АСИНХРОННИ МАШИНИ



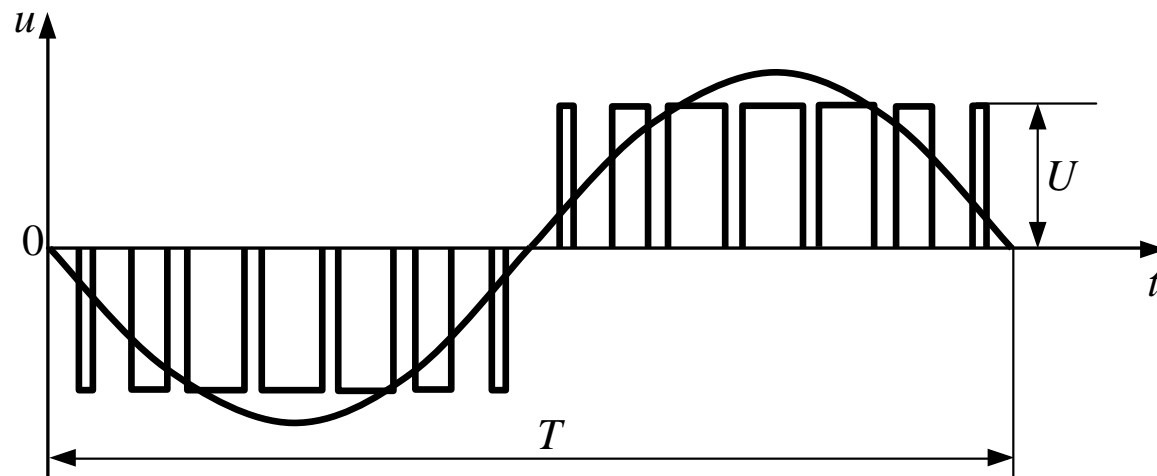
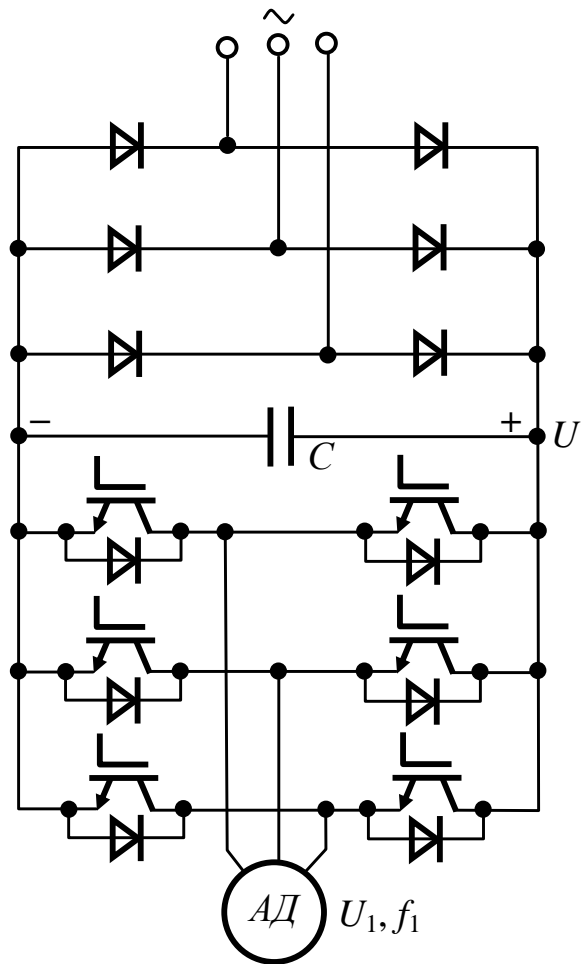
Работни характеристики

АСИНХРОННИ МАШИНИ



Електромагнитен момент / хлъзгане

АСИНХРОННИ МАШИНИ

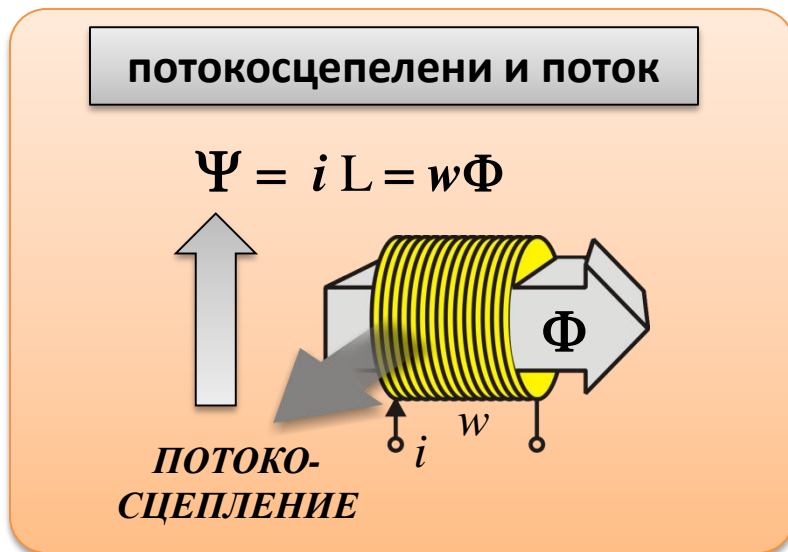


Управление на АД

1. Методи за честотно (скаларно) управление на асинхронни електродвигатели

АСИНХРОНЕН ДВИГАТЕЛ, от гледна точка на управлението

Магнитно състояние на машината



i – ток

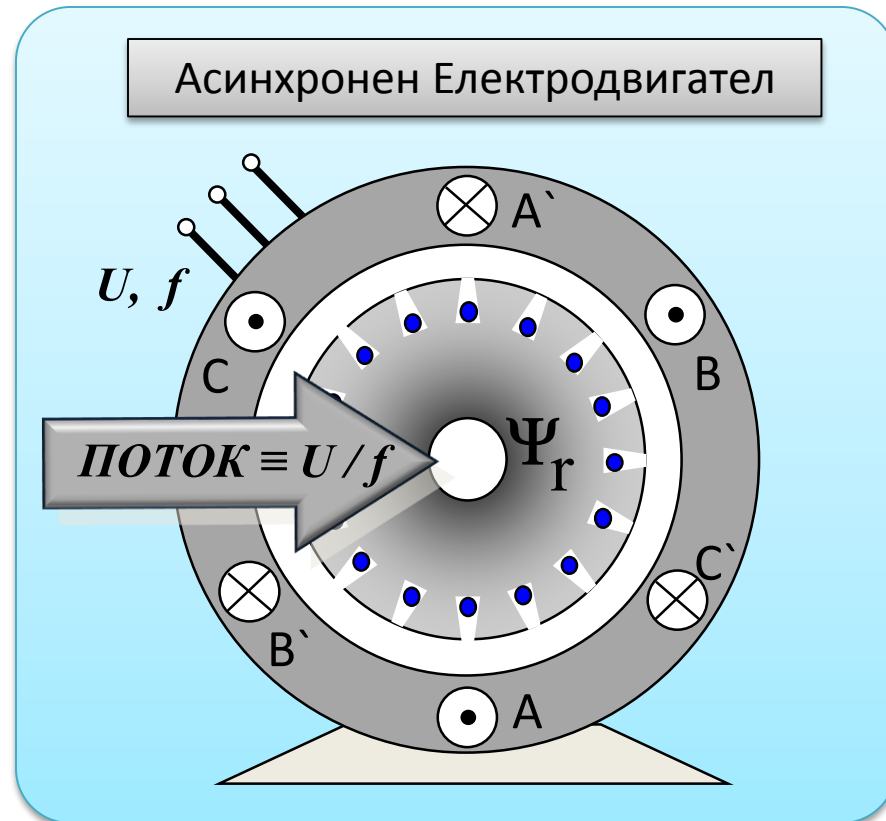
L – индуктивност на намотката

w – брой навивки на намотката

U – напрежение

f – честота на захранващото напрежение

Φ – поток; Ψ – потокосцепление;

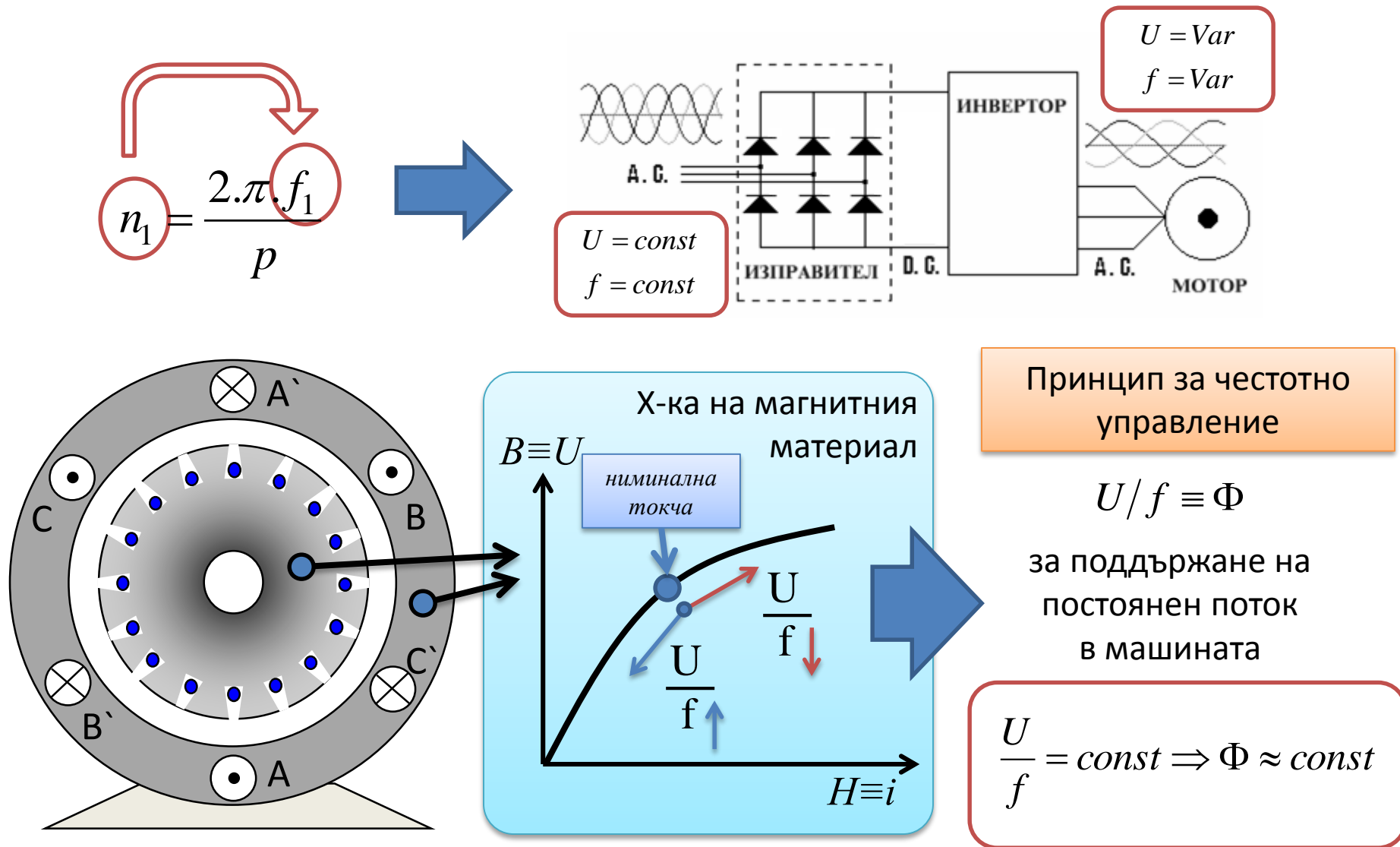


РОТОРНО
ПОТОКОСЦЕПЛЕНИЕ

$$\Psi_r = f\left(\frac{U}{f}, \text{товар}\right)$$

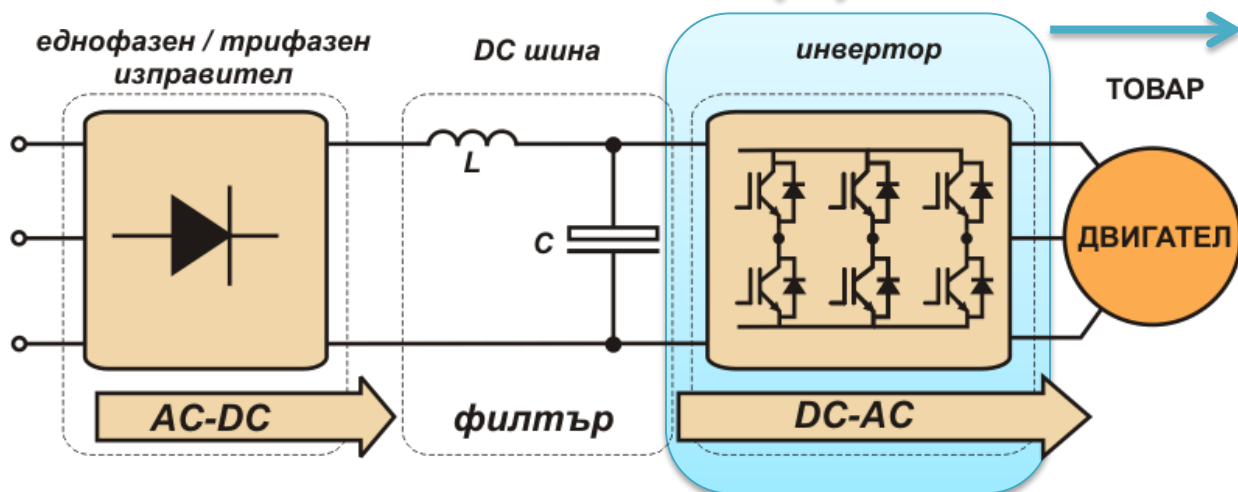
1. Методи за честотно (скаларно) управление на асинхронни електродвигатели

АСИНХРОНЕН ДВИГАТЕЛ, от гледна точка на управлението



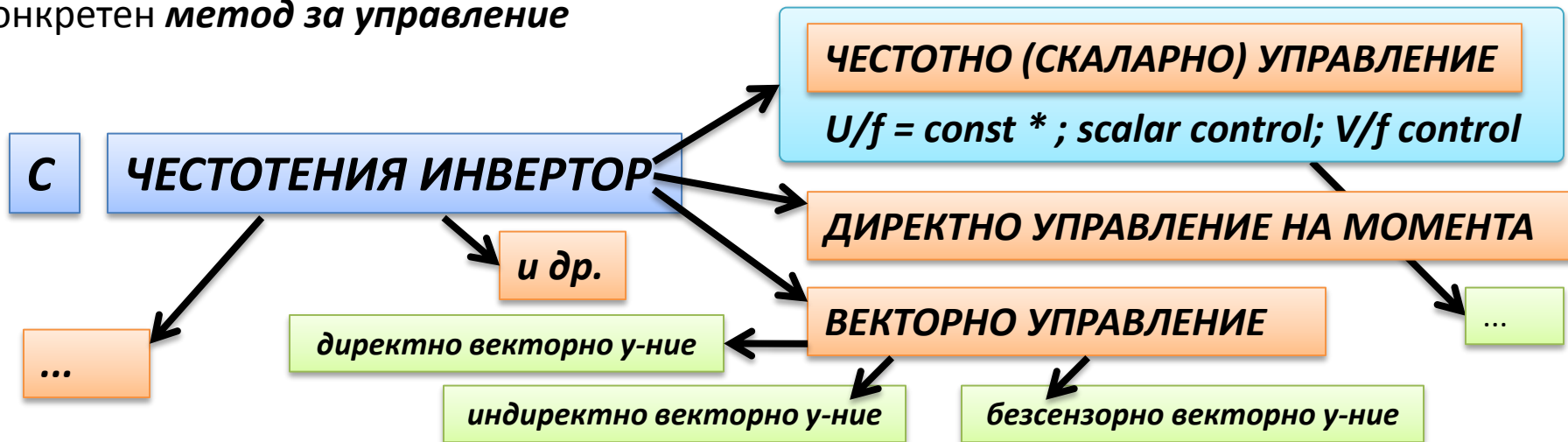
1. Методи за честотно (скаларно) управление на асинхронни електродвигатели

ЧЕСТОТЕН ИНВЕРТОР ~~≡~~ МЕТОД ЗА ЧЕСТОТНО УПРАВЛЕНИЕ



ЧЕСТОТЕН ИНВЕРТОР силов електронен преобразувател, който преобразува постоянно в променливо напрежение; при управление на двигатели под **честотен инвертор** често се разбира инвертора, изправителя и т.н. (целия преобразувател)

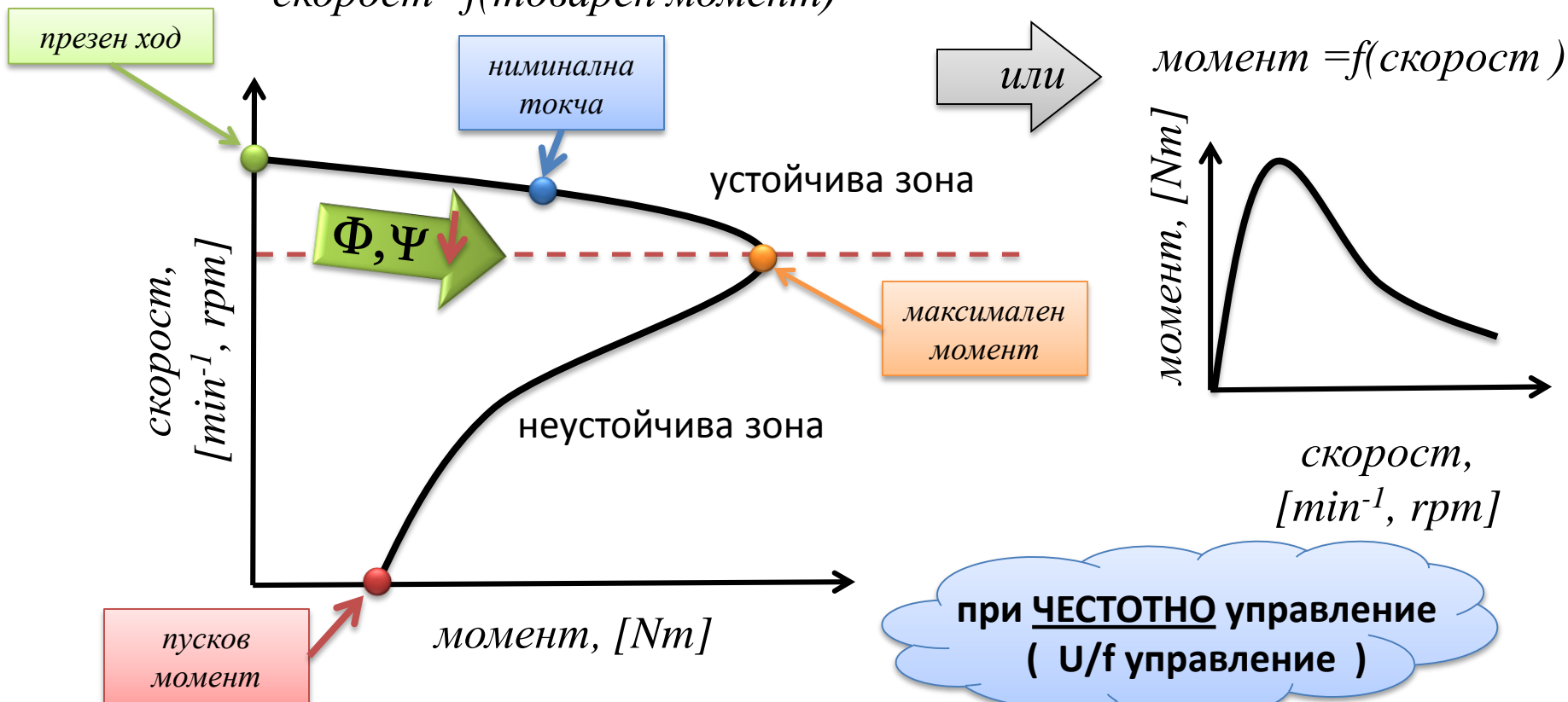
ЧЕСТОТЕНИЯ ИНВЕРТОР се управлява с цифров сигнален процесор (DSP), който реализира конкретен **метод за управление**



1. Методи за частотно (скаларно) управление на асинхронни електродвигатели

Механична характеристика на асинхронен двигател без управление

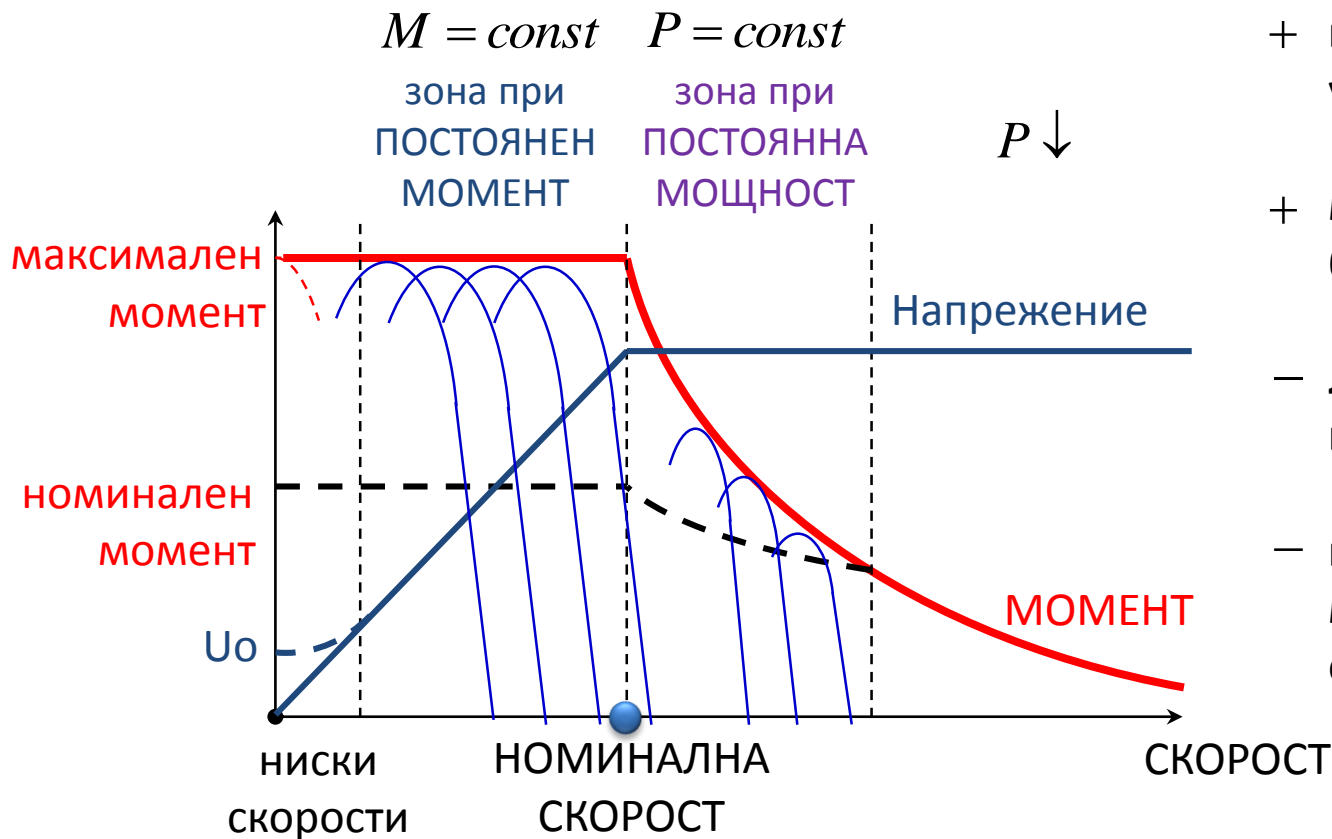
$$\text{скорост} = f(\text{товарен момент})$$



Дори, ако $\frac{U}{f} = const$ $\Phi \downarrow$ при натоварване, намалява и скоростта

1. Методи за честотно (скаларно) управление на асинхронни електродвигатели

Механична характеристика на асинхронен двигател с ЧЕСТОТНО УПРАВЛЕНИЕ

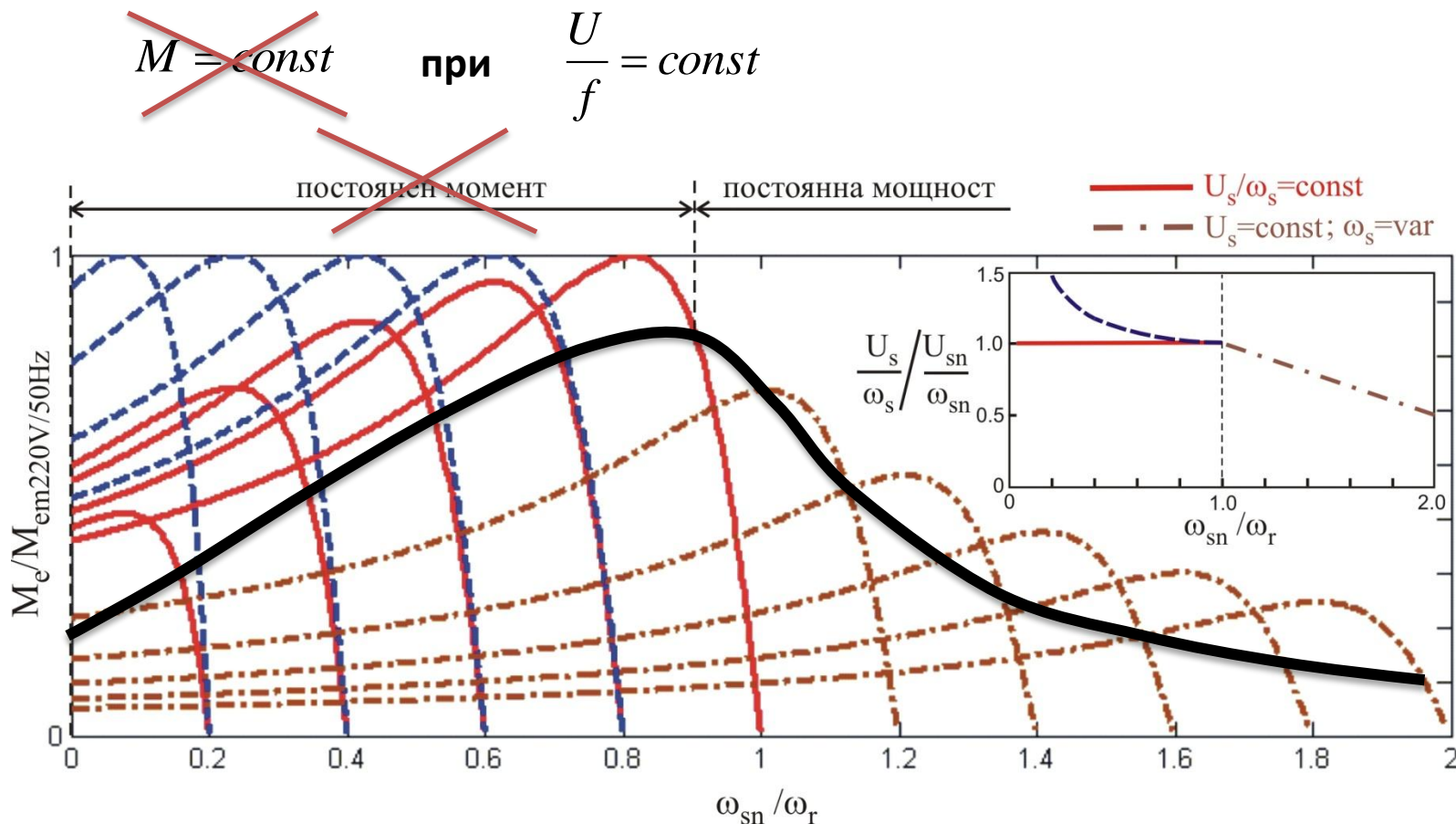


- + просто пропорционално управление
 - + може да се реализира и без сезор за скорост
 - лоши динамични качества
 - не се постига оптимален момент в целия скоростен диапазон
- $P \downarrow$

на теория се постига работа при постоянен момент, т.е. постоянна претоварваща способност при ниски скорости

1. Методи за честотно (скаларно) управление на асинхронни електродвигатели

Механична характеристика на асинхронен двигател с честотно управление



на ПРАКТИКА при чисто честотно управление НЕ СЕ постига работа при постоянен момент, т.е. постоянна претоварваща способност при ниски скорости

1. Методи за честотно (скаларно) управление на асинхронни електродвигатели

Механична характеристика на асинхронен двигател с честотно управление

Електронен преобразувател

Altivar 58



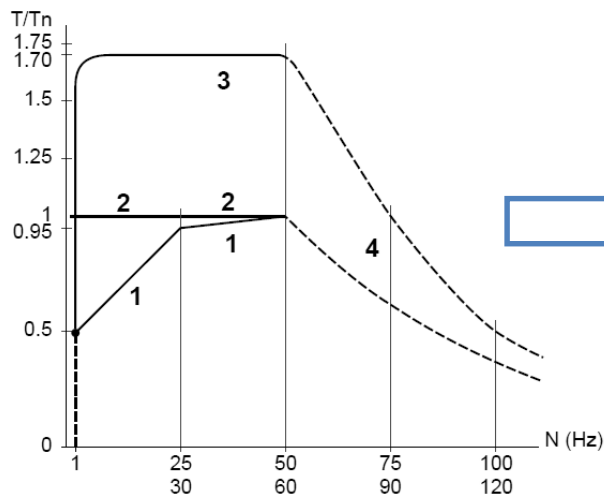
Технически
параметри и характеристики

Line supply	Line		Max.	Motor	Altivar 58		Reference (6)	Weight
Supply voltage (1)	current (2)	at U1	prospective line Isc at U1	Power indicated on plate at U2 (3)	Nominal current	Max. transient current (4)	Power dissipated at nominal load (5)	
U1...U2	at U1	at U2	at U1	at U2 (3)				

High torque applications (170% Tn)

V	A	A	kA	kW	HP	A	A	W		kg
200...240 50/60 Hz single-phase	5.6	4.7	2	0.37	0.5	2.3	3.1	25	ATV-58PU09M2	1.8
	9.8	8.3	2	0.75	1	4.1	5.6	30	ATV-58PU18M2	1.8
	18.5	15.6	5	1.5	2	7.8	10.6	40	ATV-58PU29M2	2.9
	24.8	21.1	5	2.2	3	11	15	50	ATV-58PU41M2	2.9

• High torque applications :



1. Самовентилиращ се двигател в продължителен режим до номинален момент
2. Двигател с принудително охлаждане до номинален момент.
3. Моментно претоварване по момент до 1 мин. до 170% от номиналния момент.
4. Работа в режим на постоянна мощност над номинална скорост.

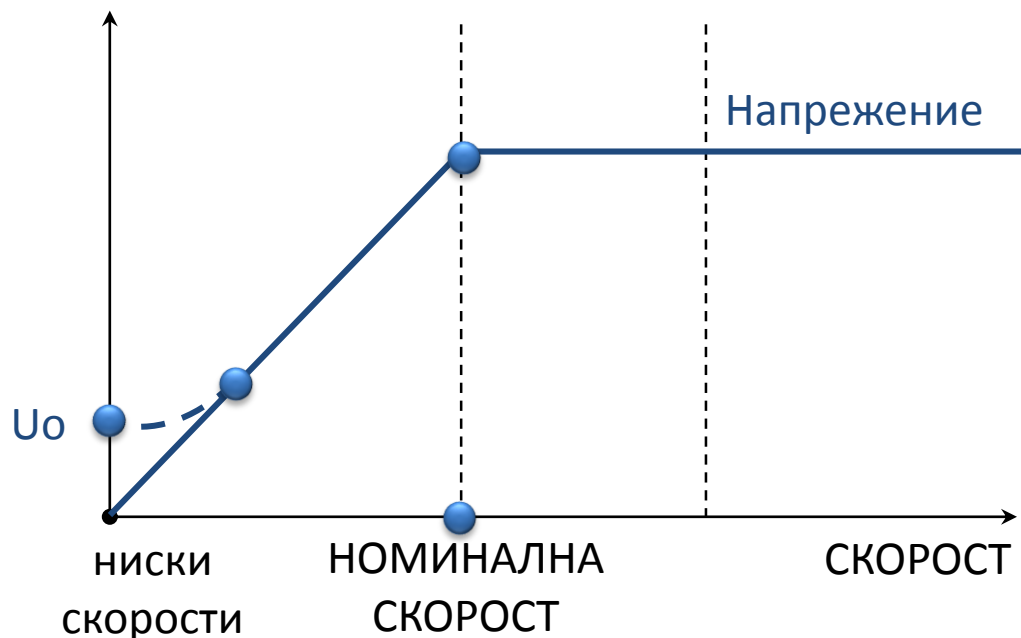
Характеристики на електромагнитния момент

1. Методи за честотно (скаларно) управление на асинхронни електродвигатели

КОМПЕНСАЦИЯ НА АКТИВНОТО СЪПРОТИВЛЕНИЕ

При честотно γ -ние с $U / f = const$ се прилагат различни допълнителни мерки, за елиминиране на недостатъците, свързани с метода

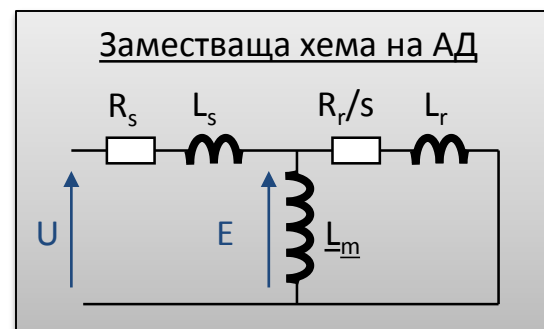
Една от основните мерки против загуба на момент при ниски скорости е компенсацията на активното съпротивление – IR , R , R_s компенсация



Въпреки добилото пополярност:

$$U / f = const$$

По правлно е $E / f = const$



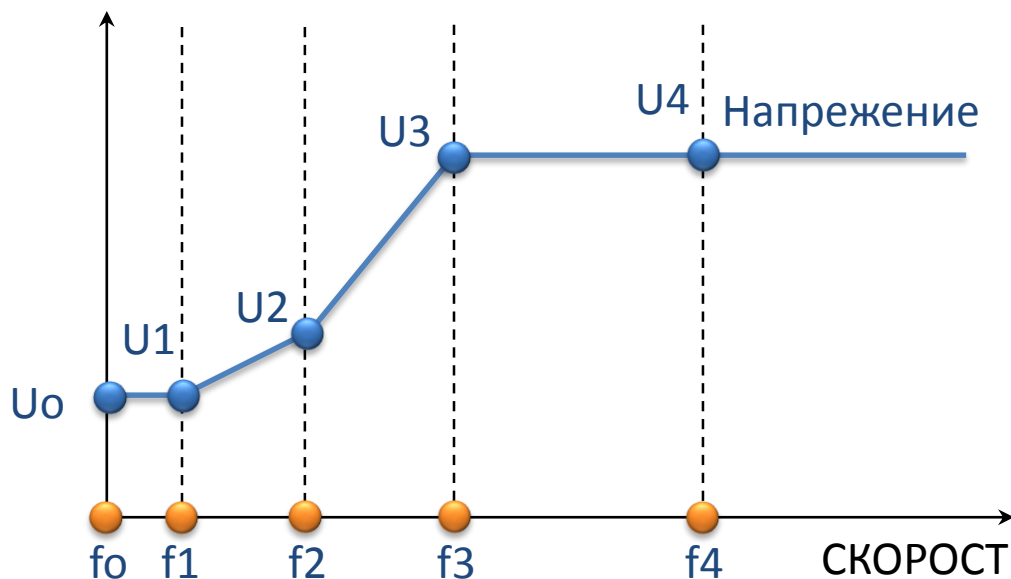
$$\frac{U + I_s R_s}{f} = const$$

1. Методи за честотно (скаларно) управление на асинхронни електродвигатели

КОМПЕНСАЦИЯ НА АКТИВНОТО СЪПРОТИВЛЕНИЕ

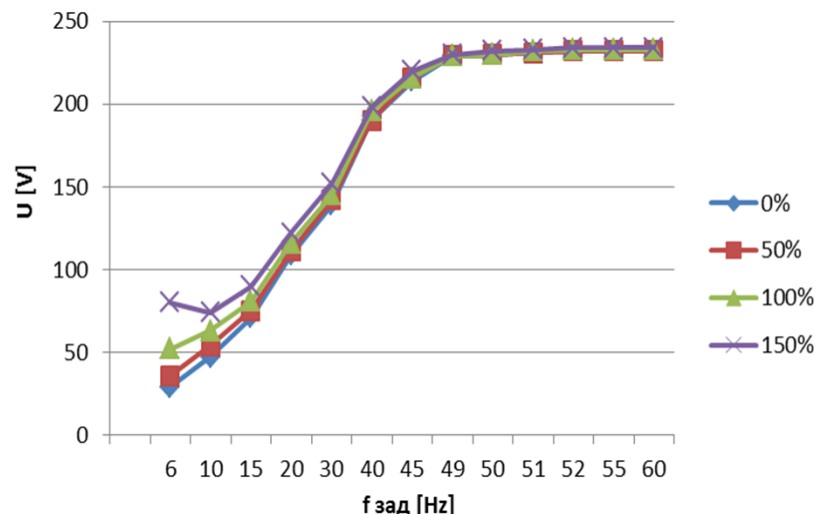
Понякога в задвижванията IR компенсацията се въвежда в проценти.

Понякога се въвежда напрежение U_0 при скорост 0 или таблица с напрежения за различни честоти:



в задвижванията често параметрите се въвеждат в проценти

/IR компенсация – 0–150% /



или друг закон, в зависимост от приложението:

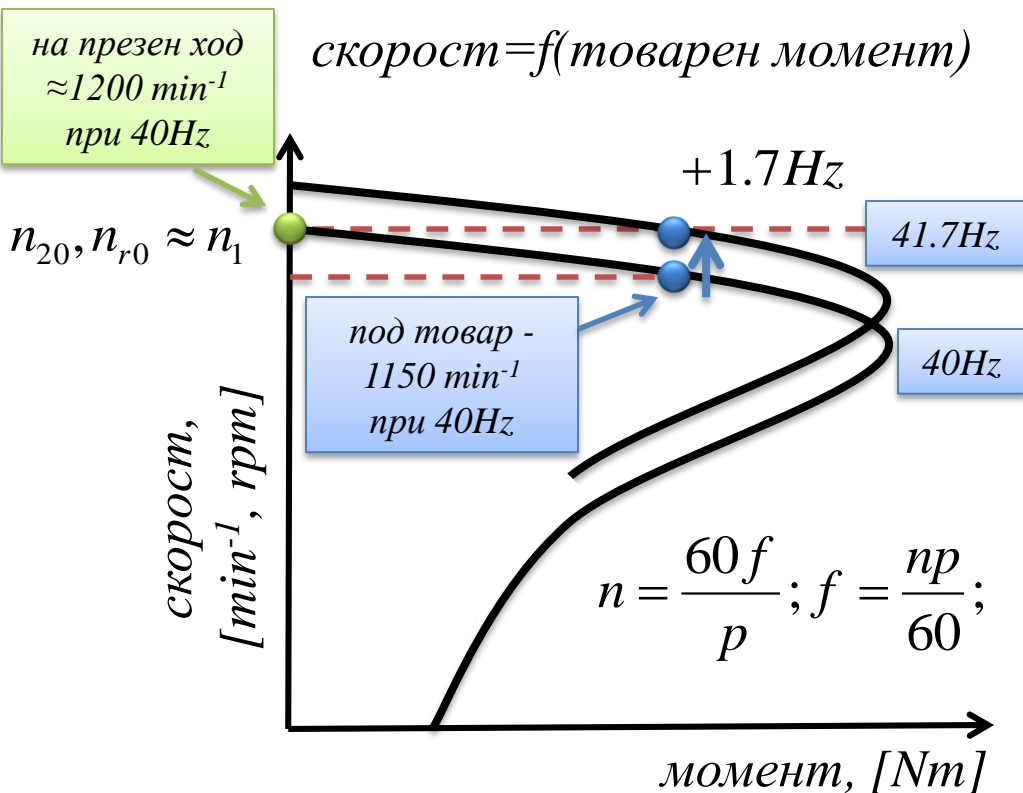
$$M = const \Rightarrow \frac{U}{f} = const$$

$$P = const \Rightarrow \frac{U}{\sqrt{f}} = const$$

$$M = \omega^2 \Rightarrow \frac{U}{f^2} = const$$

1. Методи за частотно (скаларно) управление на асинхронни електродвигатели

КОМПЕНСАЦИЯ НА ХЛЪЗГАНЕТО



хлъзгане:

разликата между скоростта на статорното поле и скоростта на ротора

в абсолютни единици

$$n_1 - n_2 \quad \text{или} \quad n_s - n_r$$

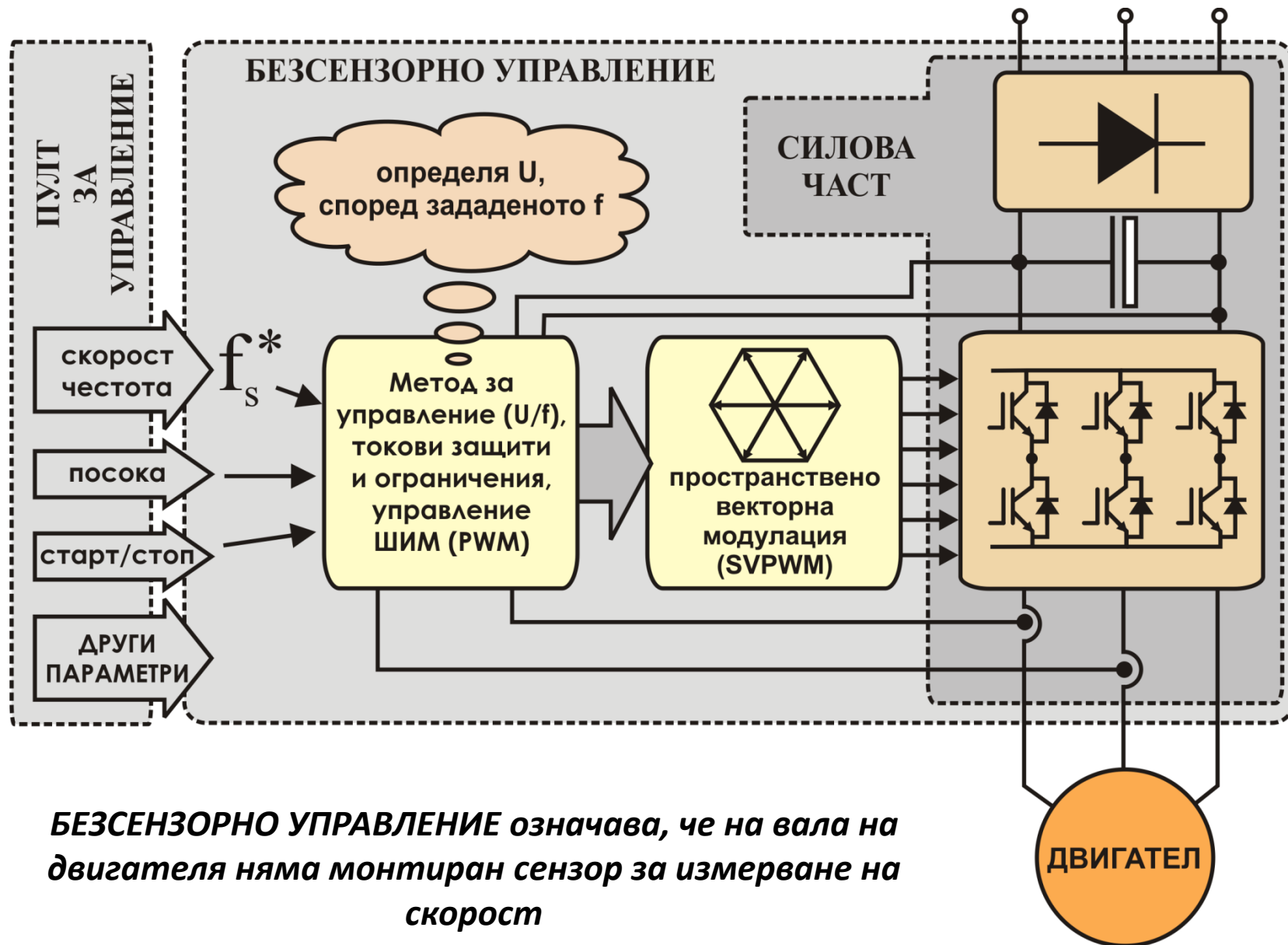
и в относителни единици

$$s = \frac{n_1 - n_2}{n_1} \quad \text{или} \quad s = \frac{n_s - n_r}{n_s}$$

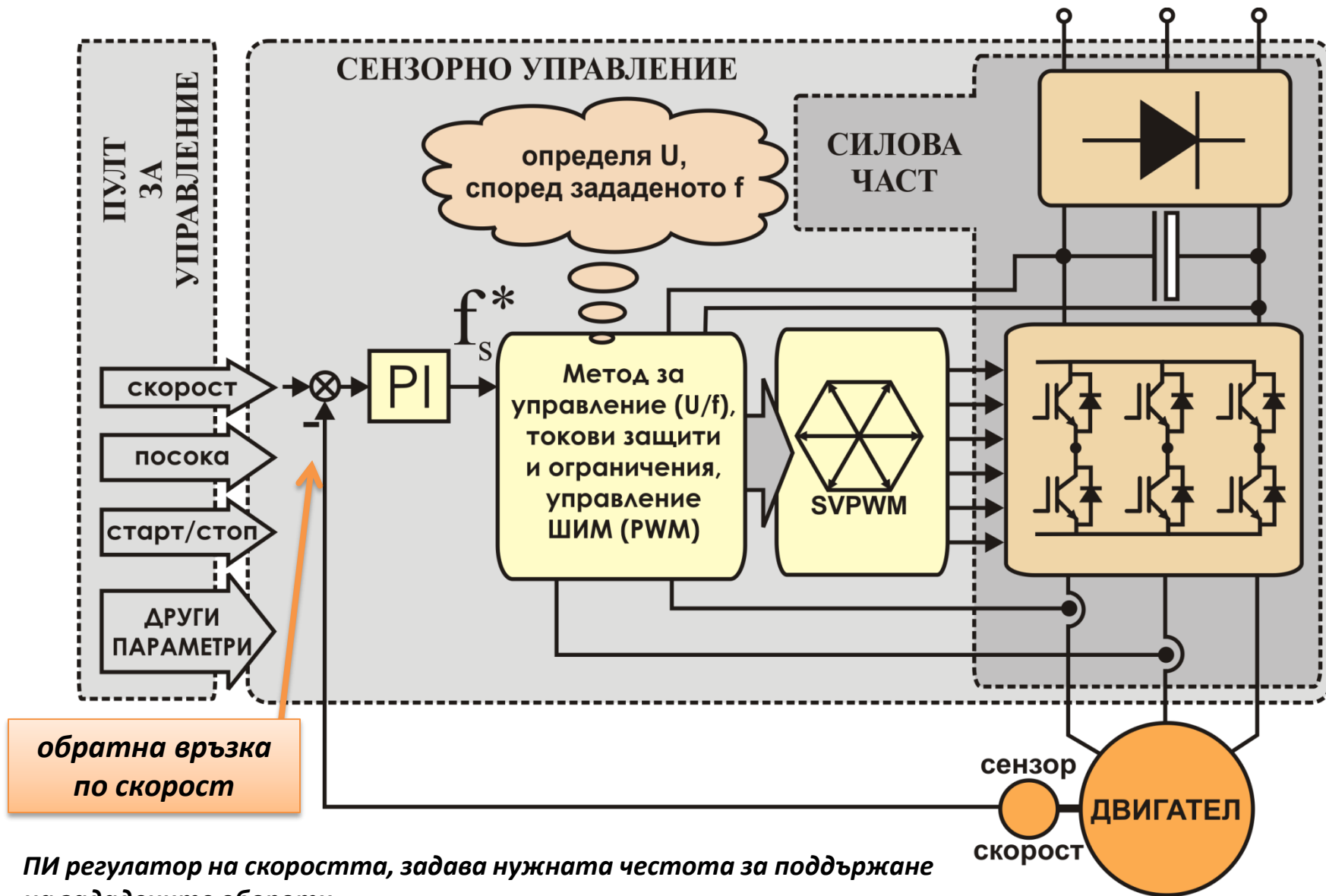
Машина с $2p=4$, при 50Hz, скорост на полето 1500 min^{-1}

При номинална скорост 1420 min^{-1} , хлъзгането е 80 min^{-1} , или в отнесено спрямо статорната честота $s=0.053$ или 5,3%

2. Структура на съвременно регулируемо задвижване с честотно управление



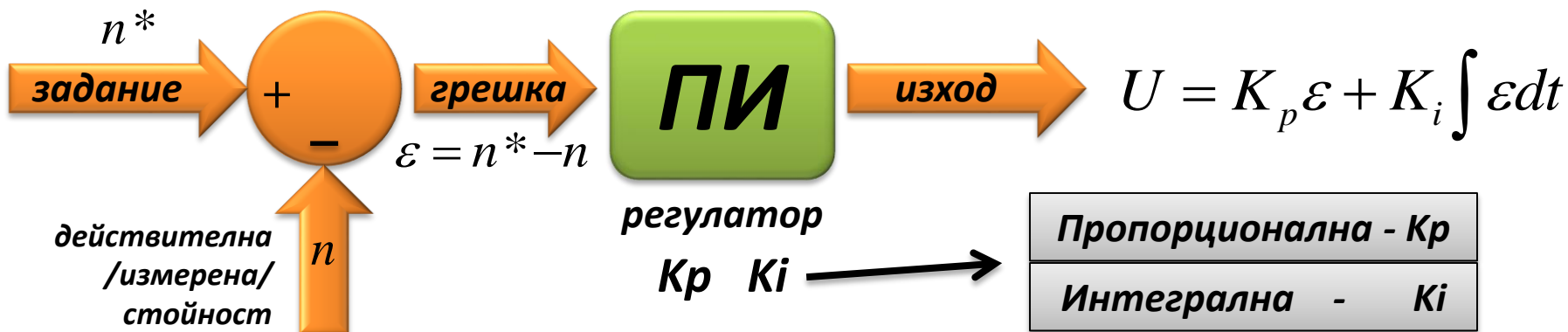
2. Структура на съвременно регулируемо задвижване с честотно управление



ПИ регулатор на скоростта, задава нужната честота за поддържане на зададените обороти

2. Структура на съвременно регулируемо задвижване с честотно управление

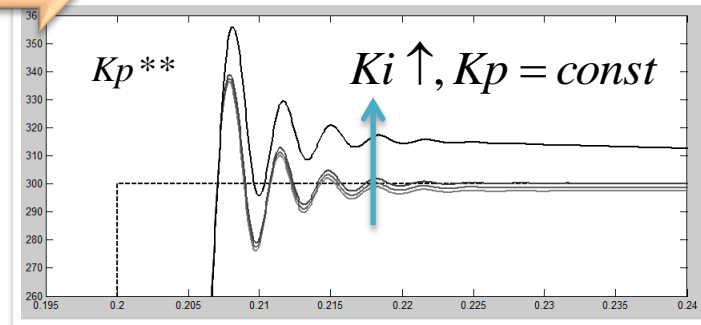
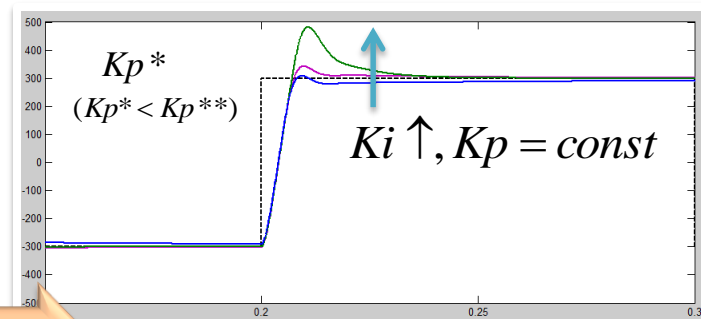
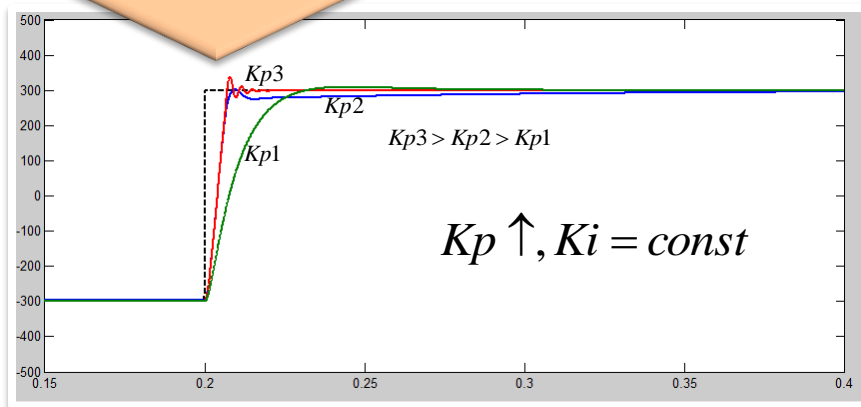
ПРОПОРЦИОНАЛНО-ИНТЕГРАЛЕН РЕГУЛАТОР (ПИ регулатор, PI регулатор)



Пропорционална - K_p Интегрална - K_i

/бързодействие/

/точност в установен режим/



2. Структура на съвременно регулируемо задвижване с честотно управление

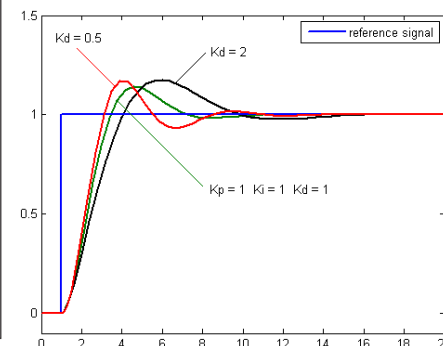
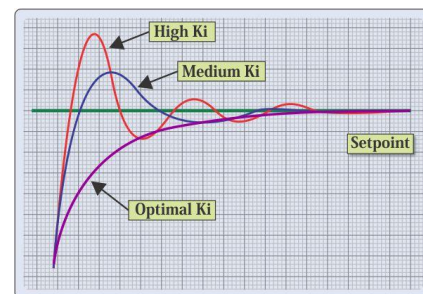
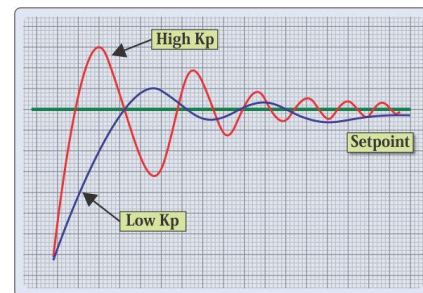
ПРОПОРЦИОНАЛНО-ИНТЕГРАЛЕН-ДИФЕРЕНЦИАЛЕН РЕГУЛАТОР /ПИД регулатор, PID регулатор/

$$U = K_p \varepsilon + K_i \int \varepsilon dt + K_d \frac{d\varepsilon}{dt}$$

Избор на режим:

CONTROL MODE SELECT

Менюта за
настройка
на K_p, K_d, K_i
Curtis 1234



CONTROL MODE SELECT		
PARAMETER	ALLOWABLE RANGE	DESCRIPTION
Control Mode Select	0-2	0 = SPEED MODE EXPRESS
Control_Mode_Select	0-2	1 = SPEED MODE
		2 = TORQUE MODE.

0 - SPEED MODE EXPRESS	
Max Speed	
Kp	
Ki	
Accel Rate	
Decel Rate	
Brake Rate	
Pump Enable	

2 - TORQUE MODE MENU	
Speed Limiter	
Max Speed	
Kp	
Ki	
Kd	
Response	
Accel Rate	
Accel Release Rate	
Brake Rate	
Brake Release Rate	
Neutral Braking	
Neutral Taper Speed	
Fine Tuning	
Creep Torque	
Brake Full Creep Cancel	
Creep Build Rate	
Creep Release Rate	
Creep Rel. Rate Rollback	
Gear Soften	
Brake Taper Speed	
Reversal Soften	
Max Speed Decel	

с обратна връзка по: **скорост**
по момент

2 - TORQUE MODE SPEED LIMITER MENU	
PARAMETER	ALLOWABLE RANGE
Max Speed	500-8000 rpm
Max_Speed_TrqM	500-8000
Kp	
Kp_TrqM	0-100 %
	0-8192
Ki	
Ki_TrqM	0-100 %
	0-1000
Kd	
Kd_TrqM	0-100 %
	0-16384

1 - SPEED MODE MENU	
Speed Controller	
Max Speed	
Kp	
Ki	
Vel Feedforward	
Kvff	
Build Rate	
Release Rate	
Acc Feedforward	
Kaff	
Kbff	
Build Rate	
Release Rate	

torque mode

$K_p = 0 \div 100\%$
 $K_i = 0 \div 100\%$
 $K_d = 0 \div 100\%$

2. Структура на съвременно регулируемо задвижване с честотно управление

ПИ и ПИД регулатор – настройки на параметрите за реален инвертор

Менюта за
настройка
на K_p, K_i
Curtis 1234



$K_p = 0 \div 100\%$

$K_i = 0 \div 100\%$

Параметри
за
двигателя

Софтуер за настройка

The screenshot shows the '1314 PC Programming Station - OEM' software. The main window displays 'Device Parameters (12398501) read from Device'. A tree view on the left shows the parameter structure, with '0 - Speed Mode Express' selected. A blue box highlights the 'Kp' and 'Ki' parameters. A red arrow points from the text 'Кр = 0 ÷ 100%' to the 'Kp' parameter. A blue arrow points from the text 'Ки = 0 ÷ 100%' to the 'Ki' parameter. A green arrow points from the text 'Параметри за двигателя' to the 'Motor Control Tuning' section. Three dialog boxes are open: 'Max Speed' (Min. Value: 100), 'SlipGain' (Actual Value: 5.20), and 'FW Base Speed' (Actual Value: 2960 rpm, Min. Value: 200, Max. Value: 6000). The status bar at the bottom indicates '20.11.2013 | Interface: ENHANCED SERIAL | Mode: CONNECTED | User Group: OEM | Database: 1314 DB'.

2. Структура на съвременно регулируемо задвижване с честотно управление

**СЕНЗОРИ НА СКОРОСТ – инкрементални сензори (енкодер)
/фото-растерен преобразувател – ФРП - до около 12000 min⁻¹/**

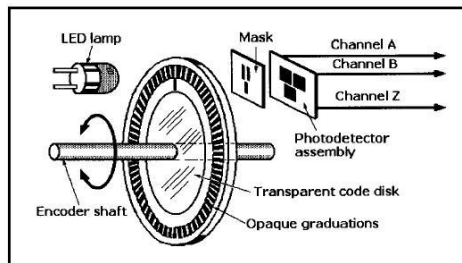
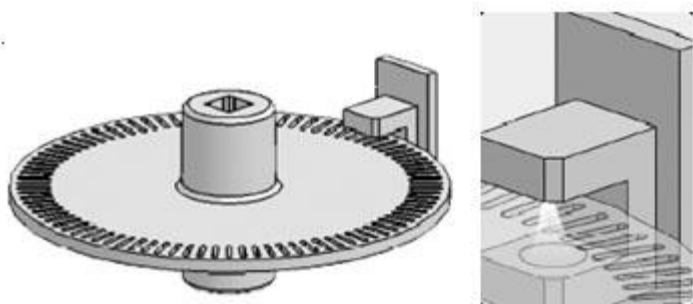
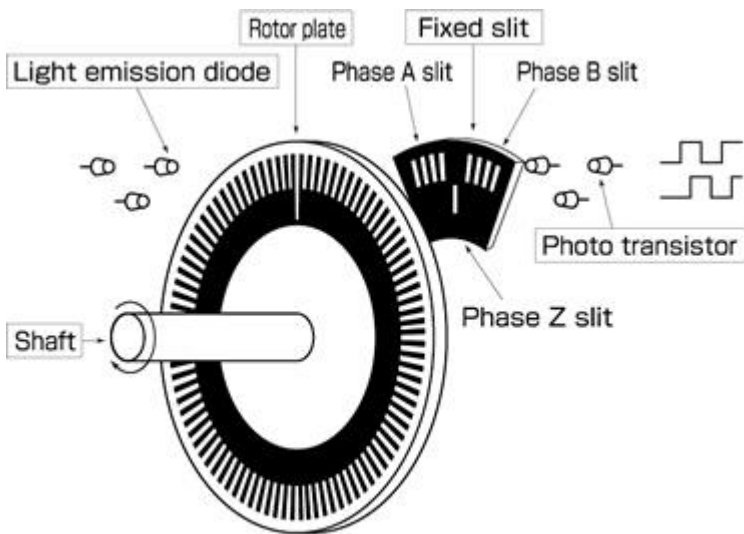


Fig. 1 Basic elements of an incremental optical rotary encoder.



Incremental Encoder Simplified Structure

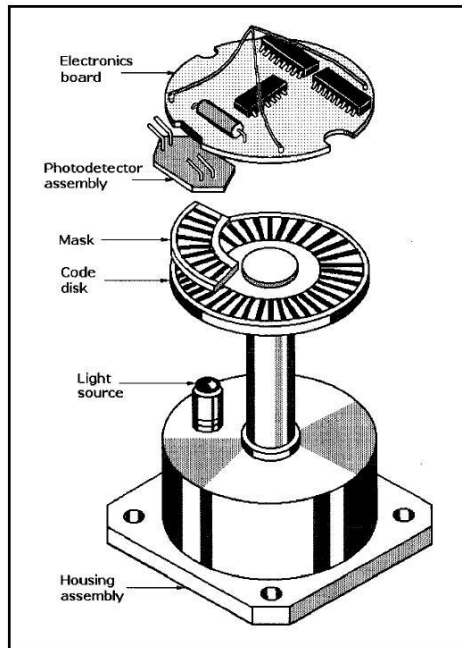
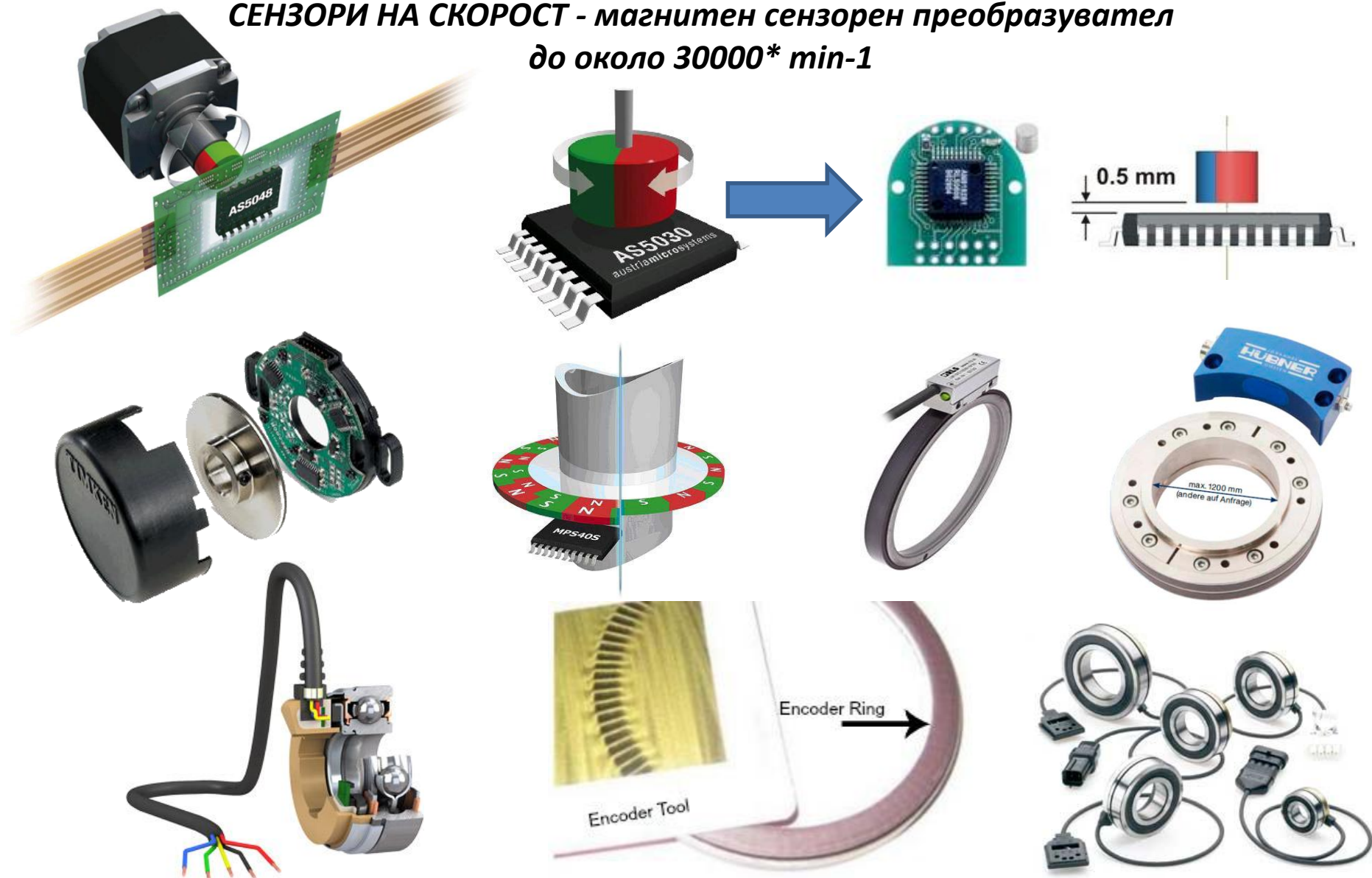


Fig. 2 Exploded view of an incremental optical rotary encoder showing the stationary mask between the code wheel and the photodetector assembly.



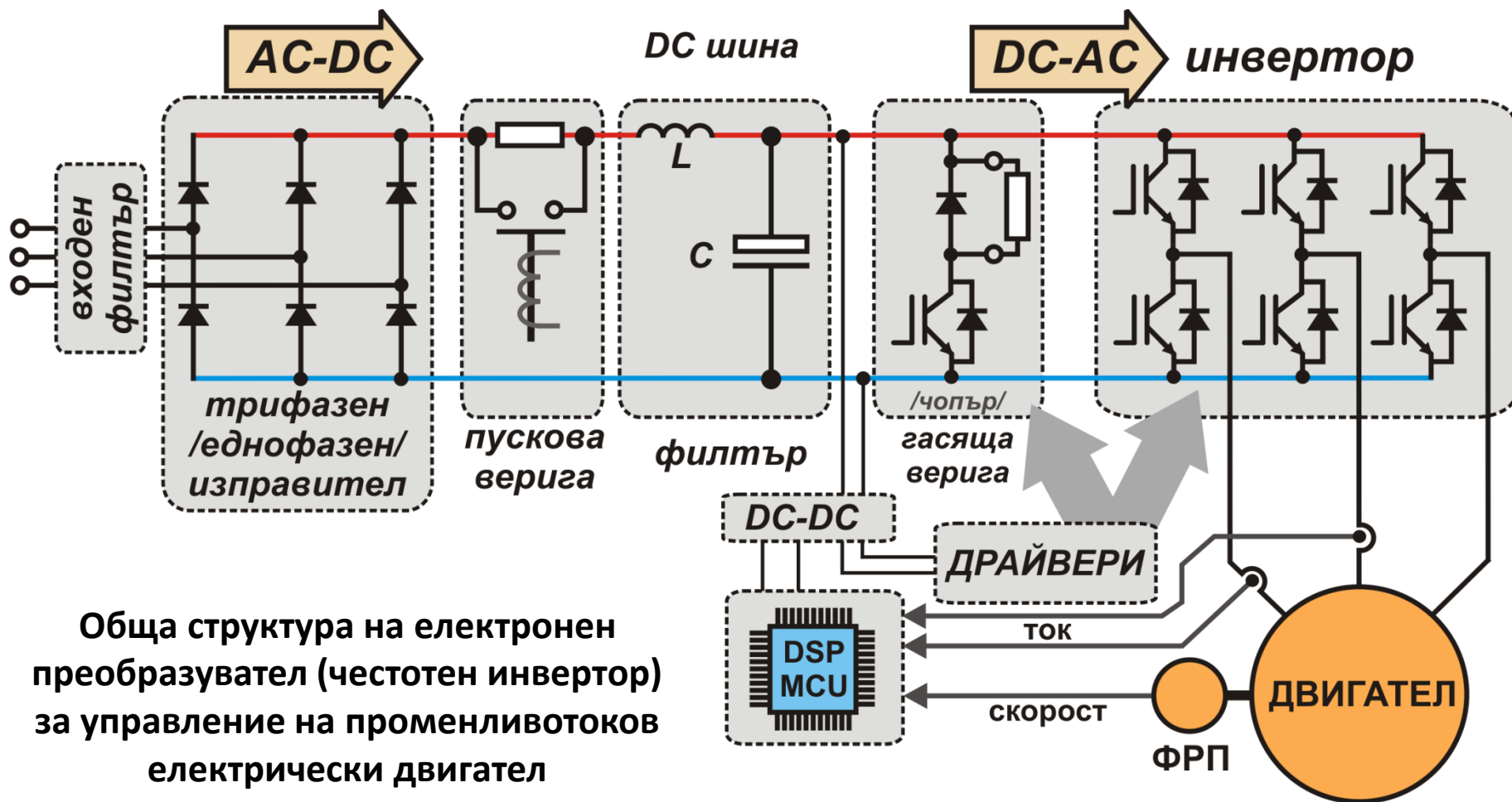
2. Структура на съвременно регулируемо задвижване с честотно управление

СЕНЗОРИ НА СКОРОСТ - магнитен сензорен преобразувател до около 30000* min-1



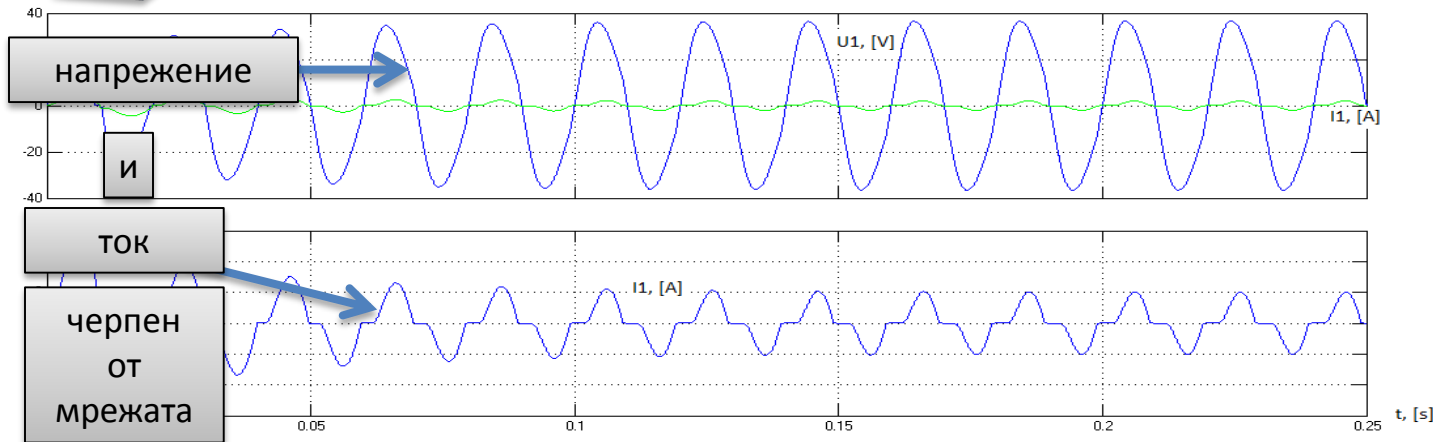
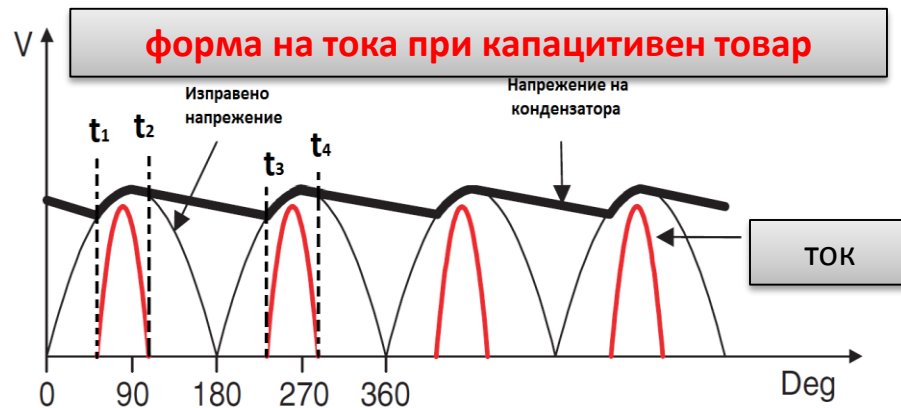
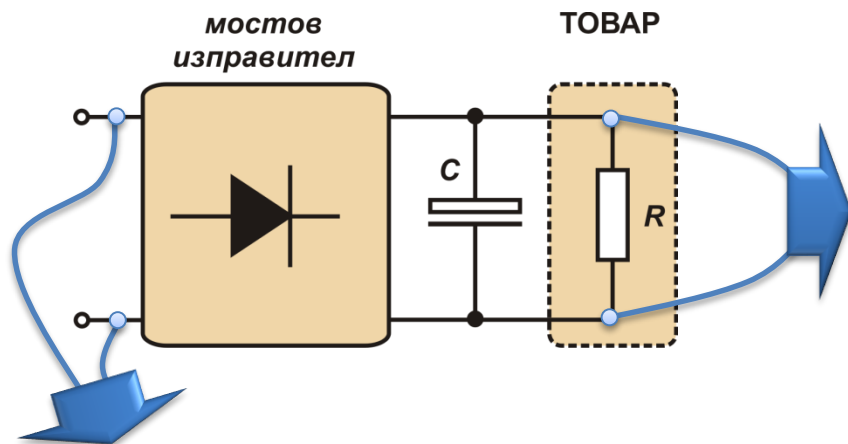
3. Структура на съвременно регулируемо задвижване с честотно управление

Комплексен силов електронен преобразувател (AC-DC-AC)



3. Структура на съвременно регулируемо задвижване с честотно управление

Неуправляем Изправител

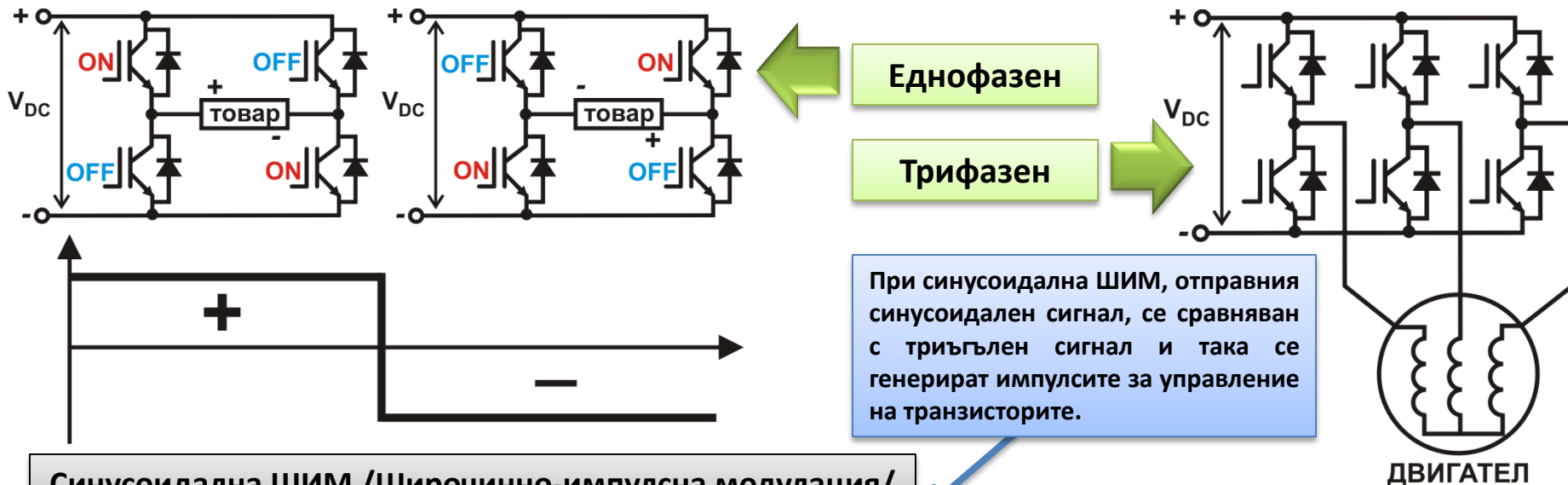


Неуправляем изправител:
 + просто и евтино решение
 - влошена форма на тока от мрежата
 - променливи пулсации, нестабилно напрежение

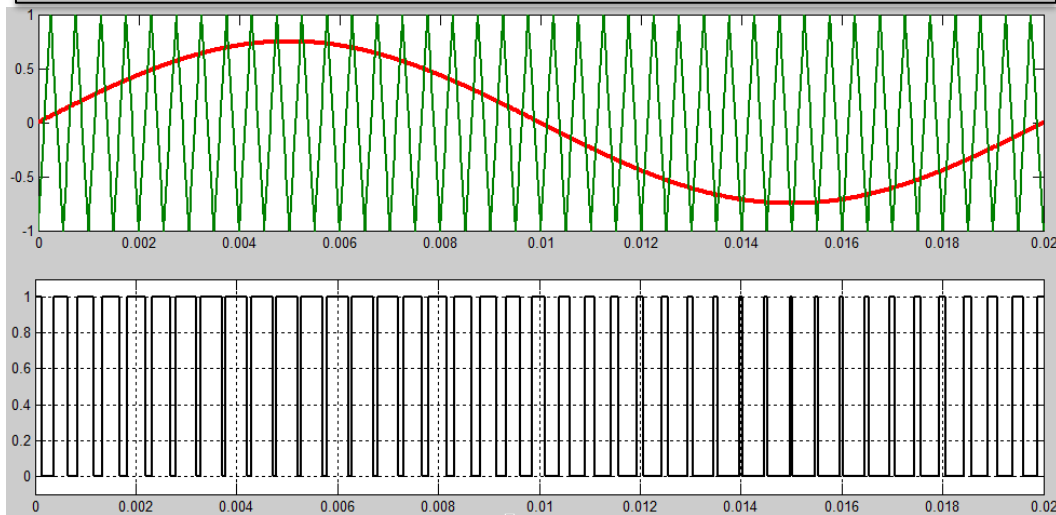
При неуправляем изправител с филтриращ кондензатор формата на тока от, който се черпи от мрежата не е синусоидален. От мрежата се черпи ток в тесен диапазон, по време на заряда на кондензатора, което влошава формата.

3. Структура на съвременно регулируемо задвижване с честотно управление

Двупотенциален инвертор – ШИМ, синусодална ШИМ

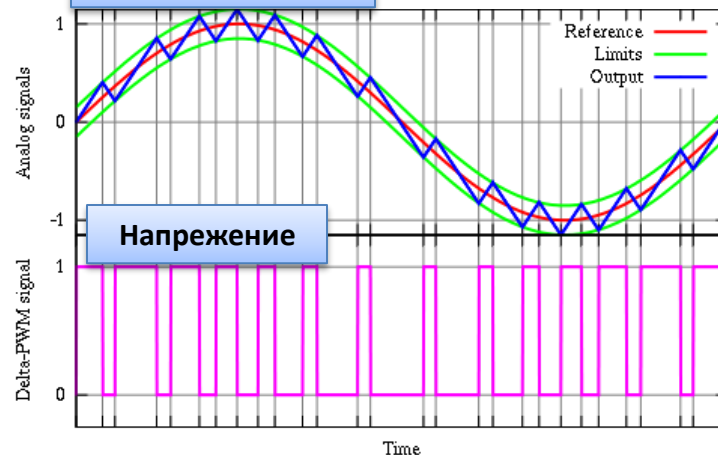


Синусодална ШИМ /Широчинно-импулсна модулация/



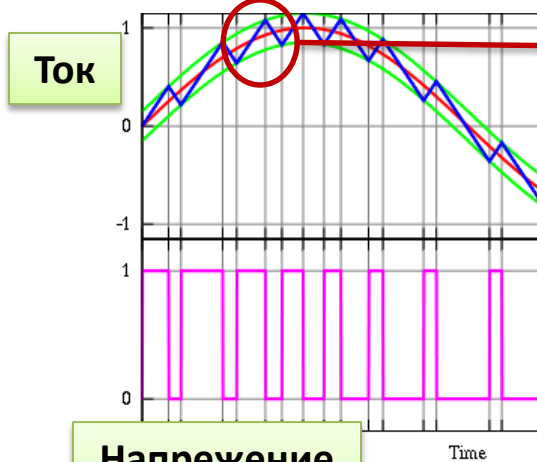
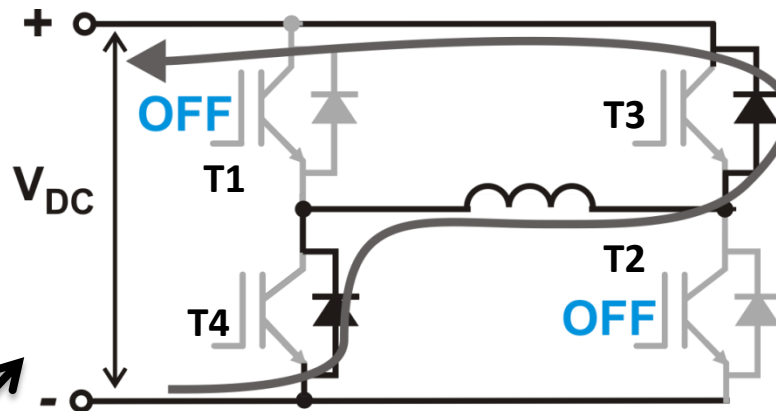
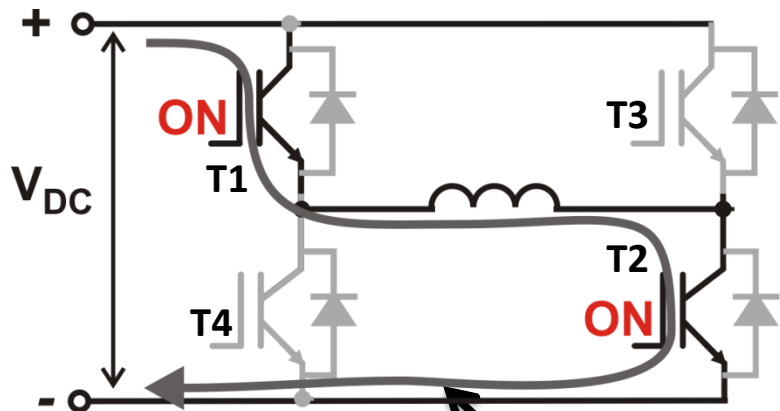
Ток на двигателя

Напрежение



3. Структура на съвременно регулируемо задвижване с честотно управление

Двупотенциален инвертор – ШИМ, синусоидална ШИМ



Ток
през товара

През положителния полупериод, когато провеждат T1 и T2, токът тече орез тях. Когато са изключени индуктивността на намотките на двигателя се стреми да поддържа ток в същата посока.

До изчерпване на натрупаната енергия или до повторно включване на T1 и T2 провеждат обратните диоди на T3 и T4.

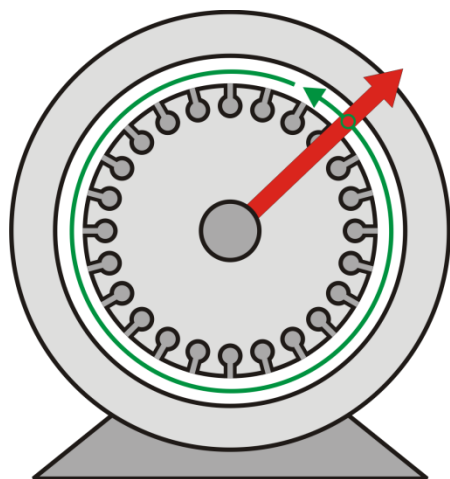
Напрежение
върху товара

При по-ниски честоти на ШИМ, както и при по-ниска стойност на индуктивността на намотката, пулсациите в тока са по-големи.

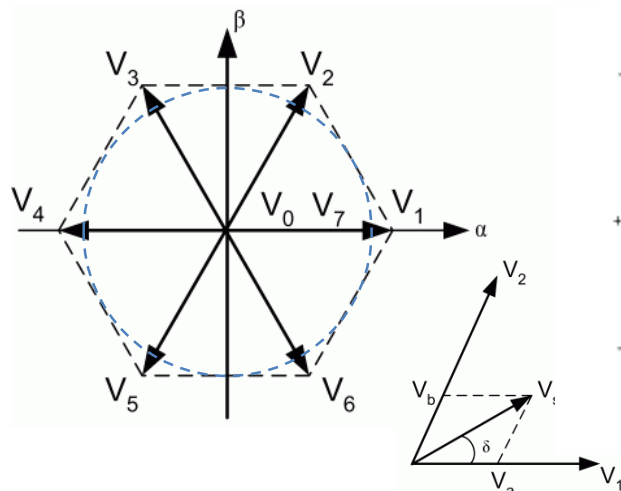
3. Структура на съвременно регулируемо задвижване с честотно управление

Двупотенциален инвертор – пространствено-векторна ШИМ

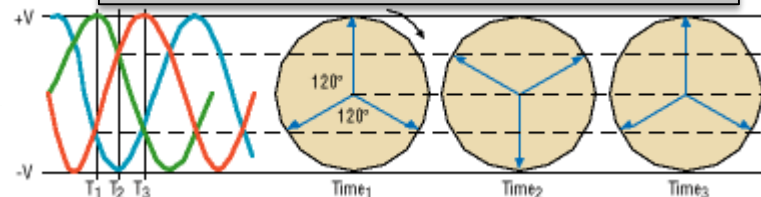
Пространствен вектор



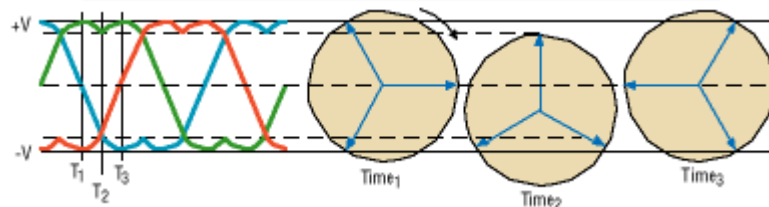
Пространствено-векторна модулация



Синусоидална модулация



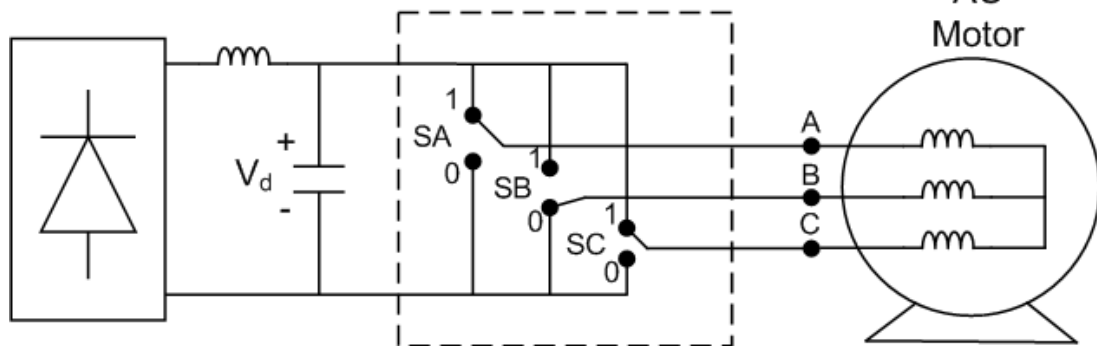
Пространствено-векторна модулация



Състояния на инвертора

№	SA	SB	SC	Състояние	Вектор
0	1	1	1	Пасивно	V0
1	1	0	0	Активно	V1
2	1	1	0	Активно	V2
3	0	1	0	Активно	V3
4	0	1	1	Активно	V4
5	0	0	1	Активно	V5
6	1	0	1	Активно	V6
7	0	0	0	Пасивно	V7

PWM Inverter



AC Motor

3. Структура на съвременно регулируемо задвижване с честотно управление

Двупотенциален инвертор – пространствено-векторна ШИМ

Генериране на пространствено-векторна ШИМ

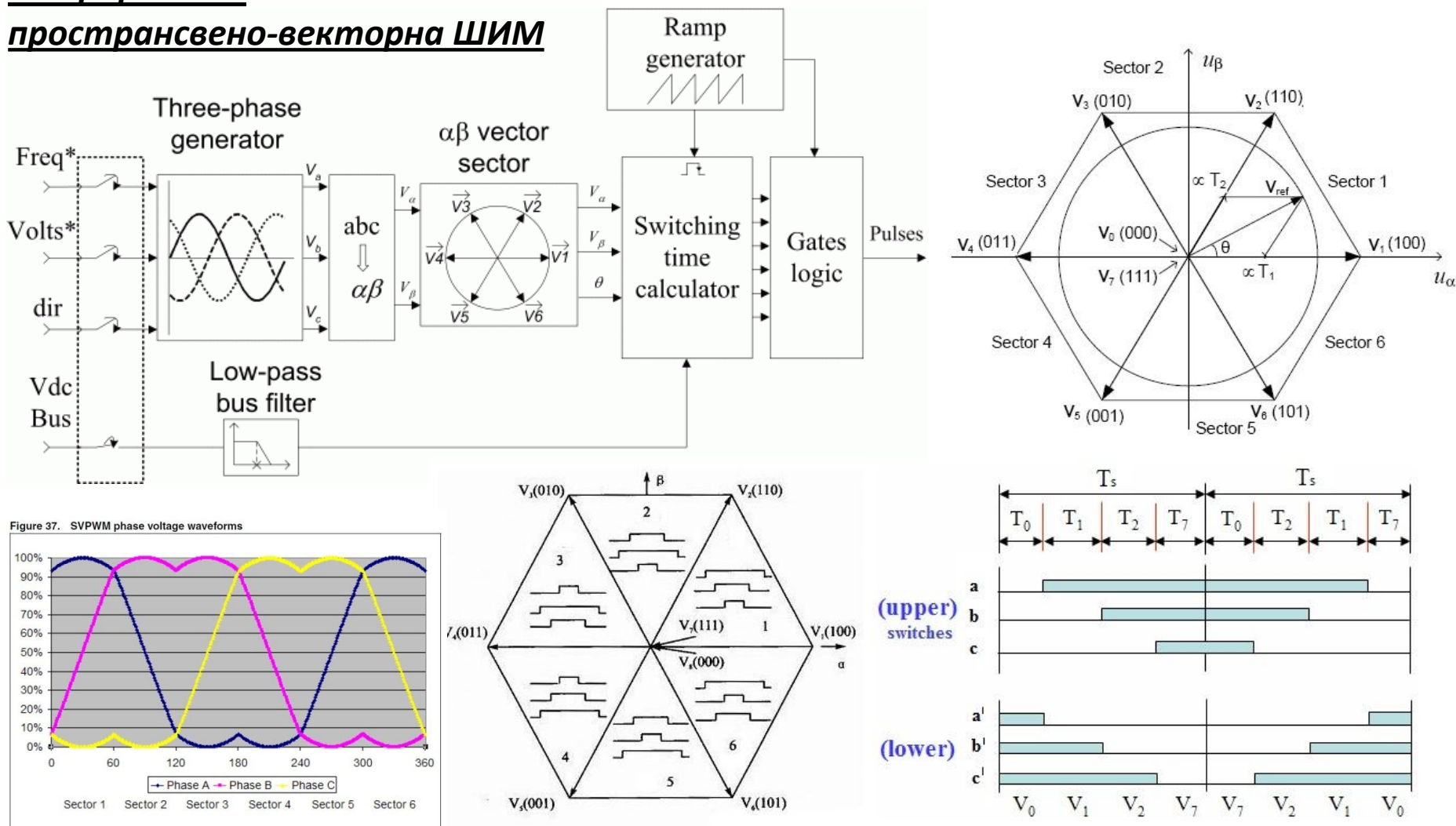
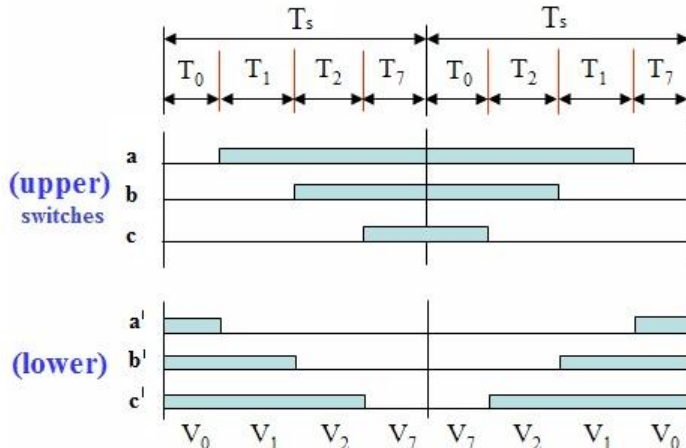
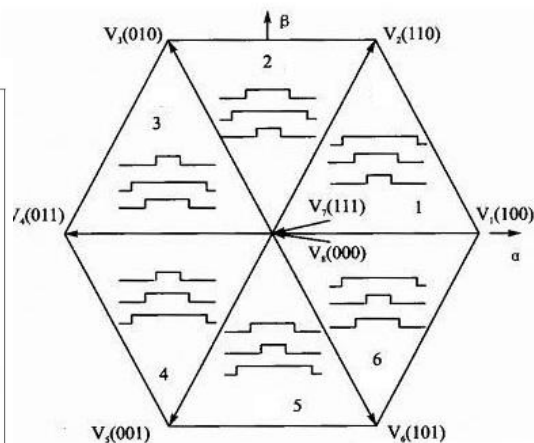
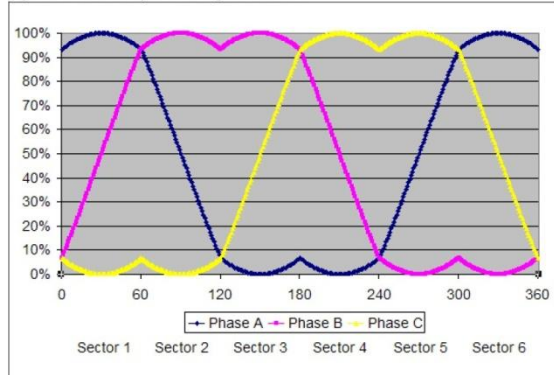


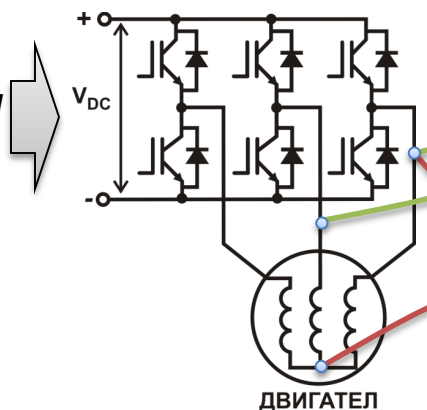
Figure 37. SVPWM phase voltage waveforms



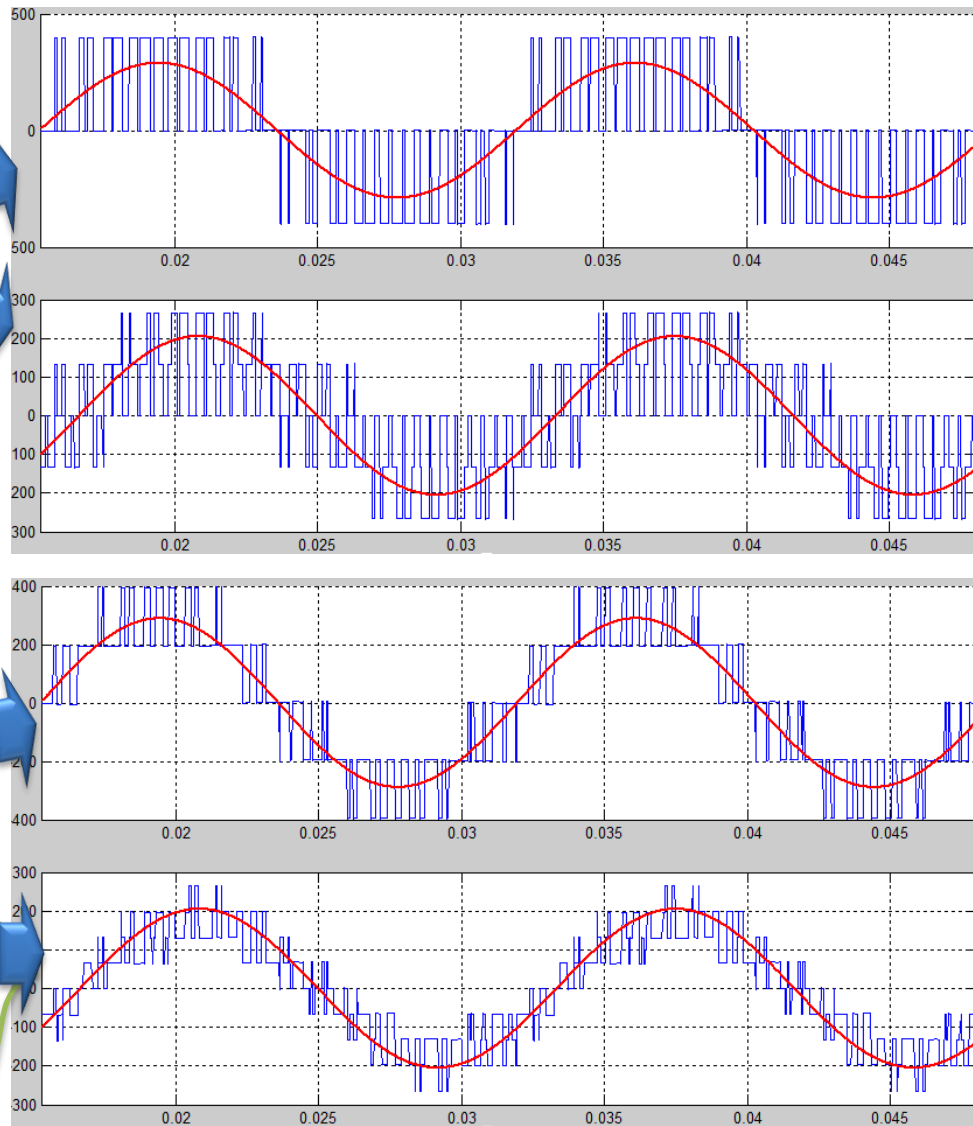
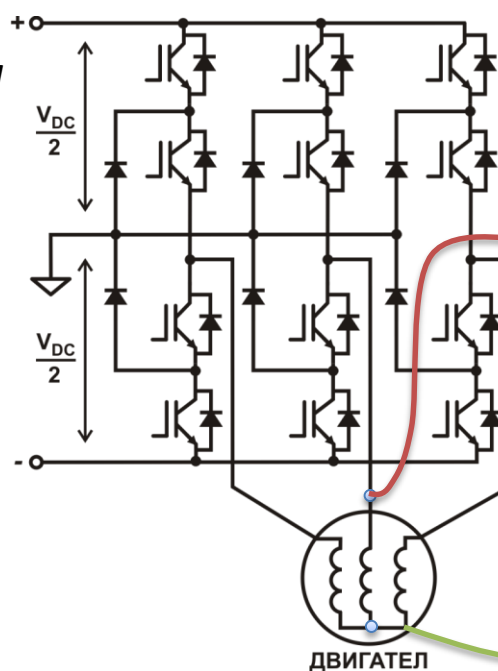
3. Структура на съвременно регулируемо задвижване с честотно управление

Двупотенциален и Трипотенциален инвертор

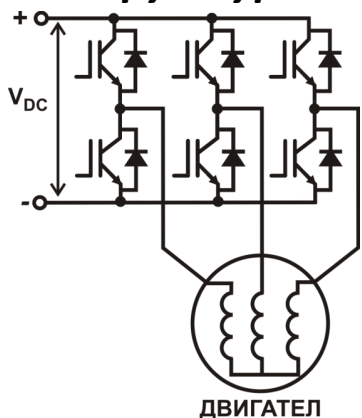
Дву-
потенциален
инвертор



Три-
потенциален
инвертор



3. Структура на съвременно регулируемо задвижване с честотно управление

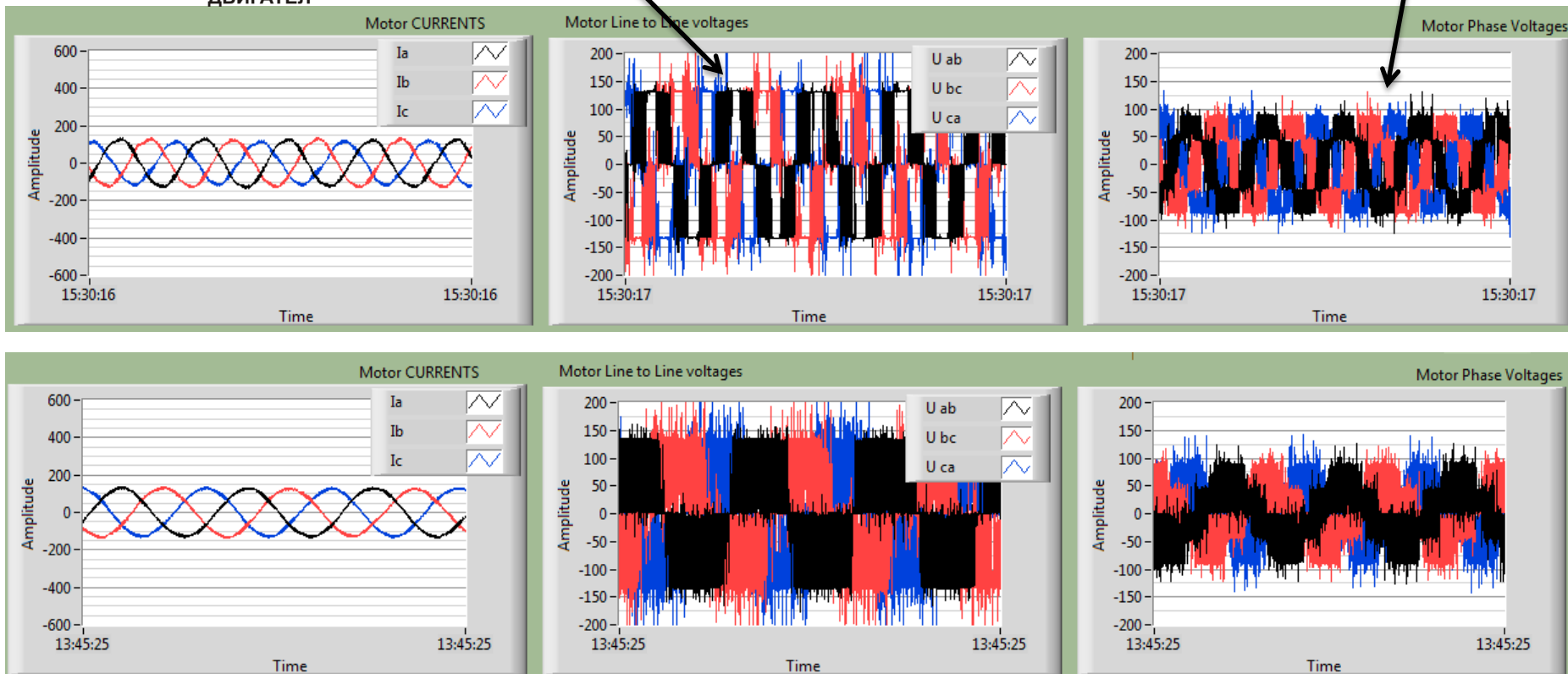


Двупотенциален инвертор

Осцилограми на тока при двупотенциален инвертор:

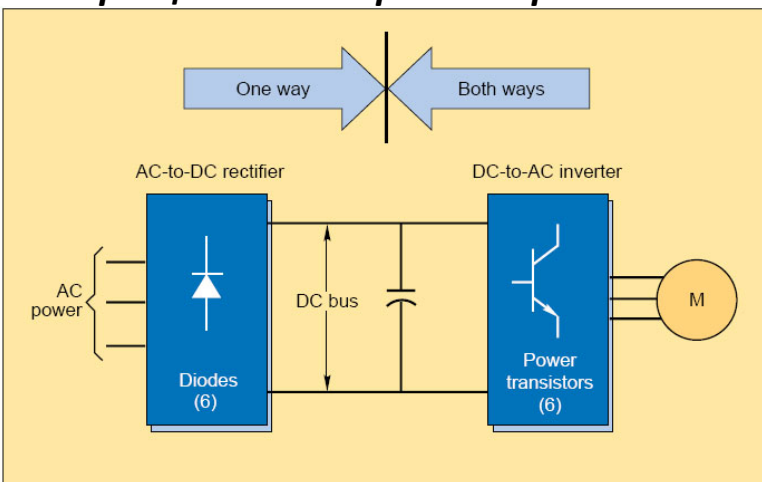
Понякога може да се получи впечатление за работа с трипотенциален инвертор, при измерванена фазното напрежение върху двиталея

Ефекта се наблюдава при достигане на ограничението в напрежение:



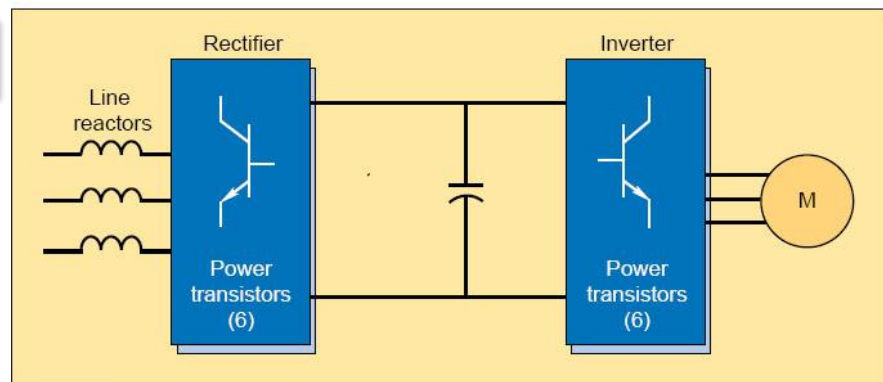
3. Структура на съвременно регулируемо задвижване с честотно управление Двигателен – Генераторен режим

Класическо задвижване без връщане на енергия в мрежата:

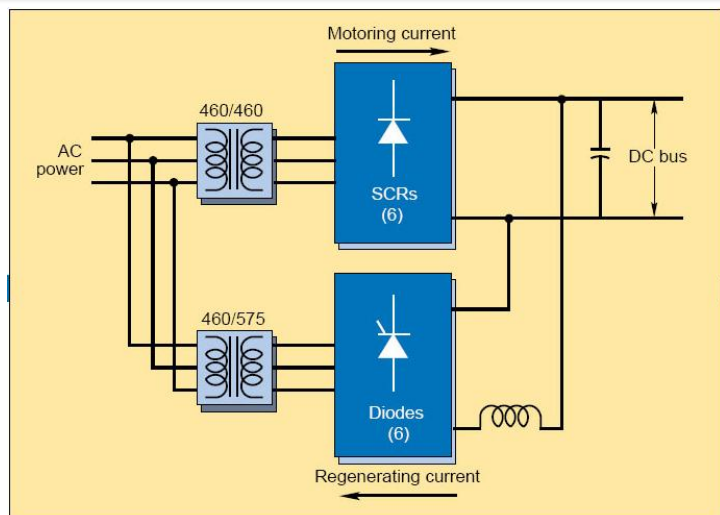


Обмен на енергия с променливотоковата мрежа

1

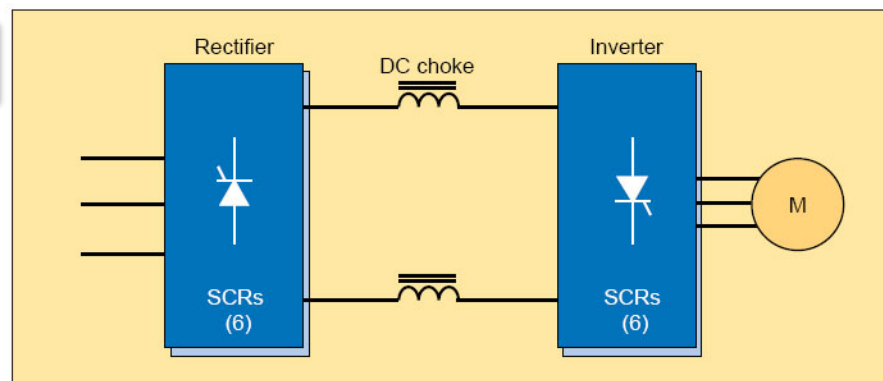


Synchronous rectifier PWM inverter.



S-6R thyristor regenerative converter.

2



Current source inverter that features inherent regeneration.

3

3. Структура на съвременно регулируемо задвижване с честотно управление

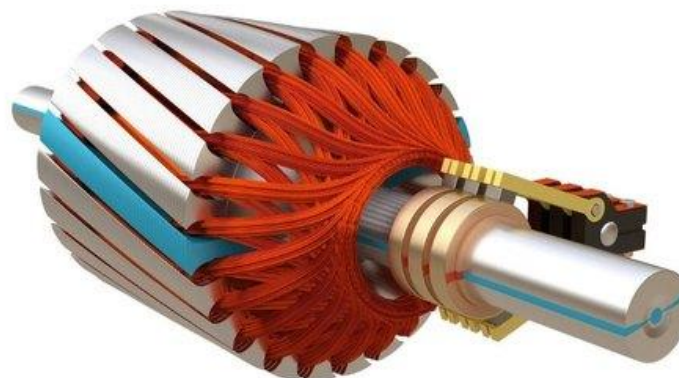
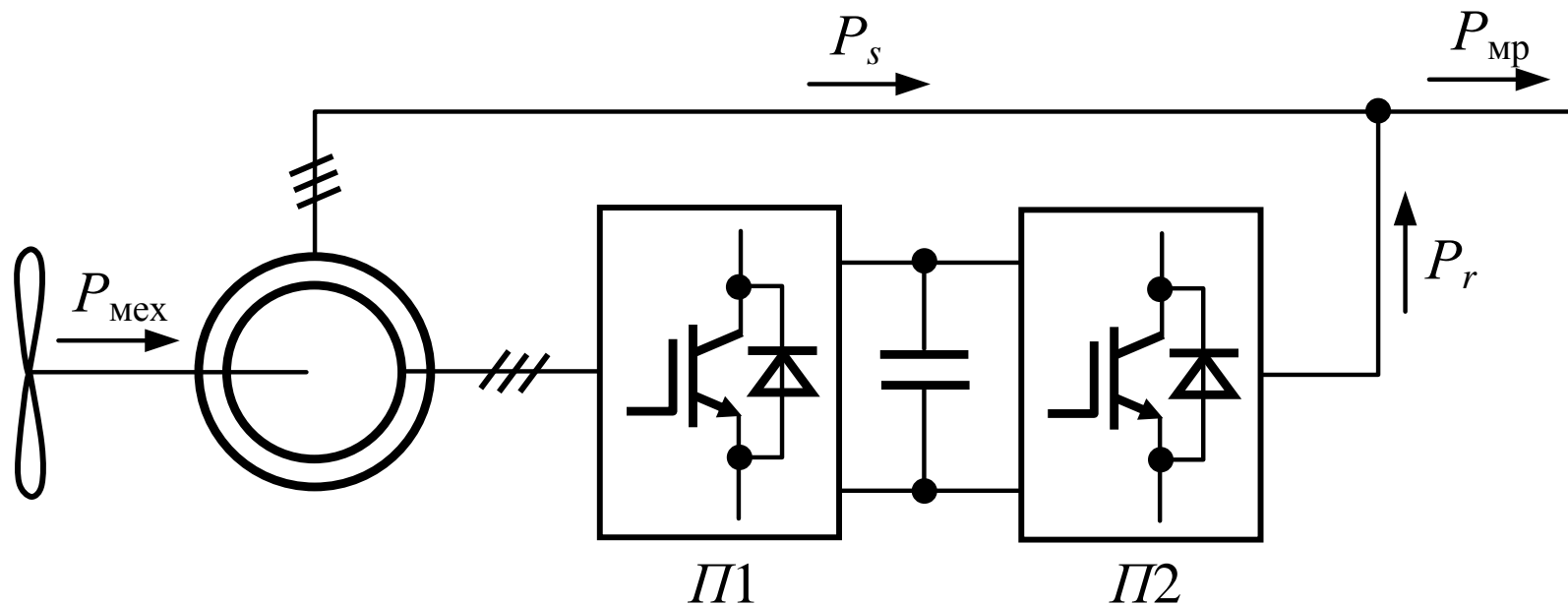
Двигателен – Генераторен режим

Връщане на енергия в мрежата за променлив ток:

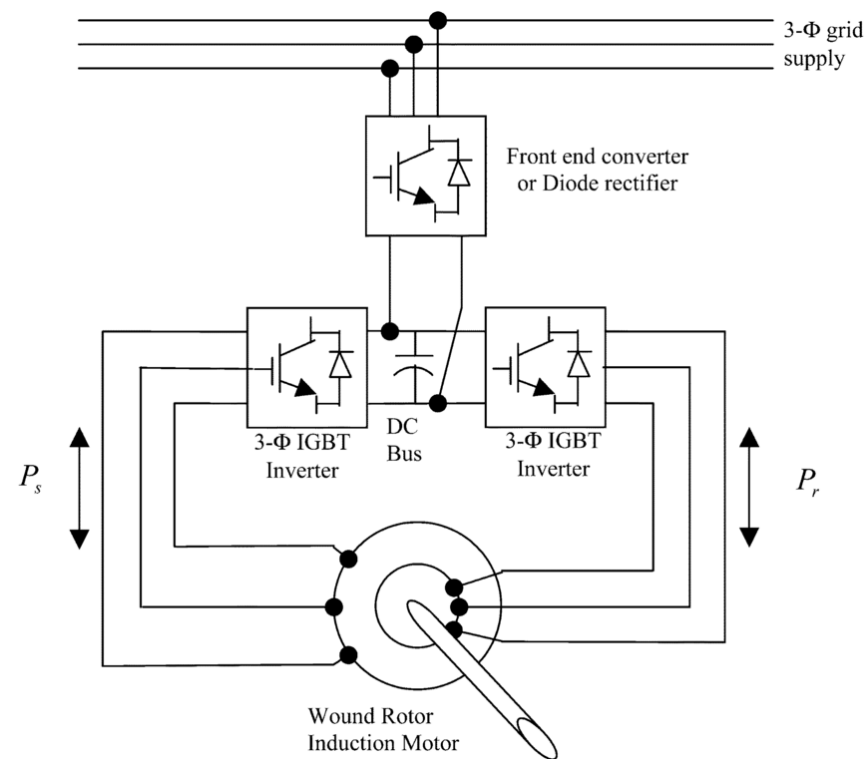
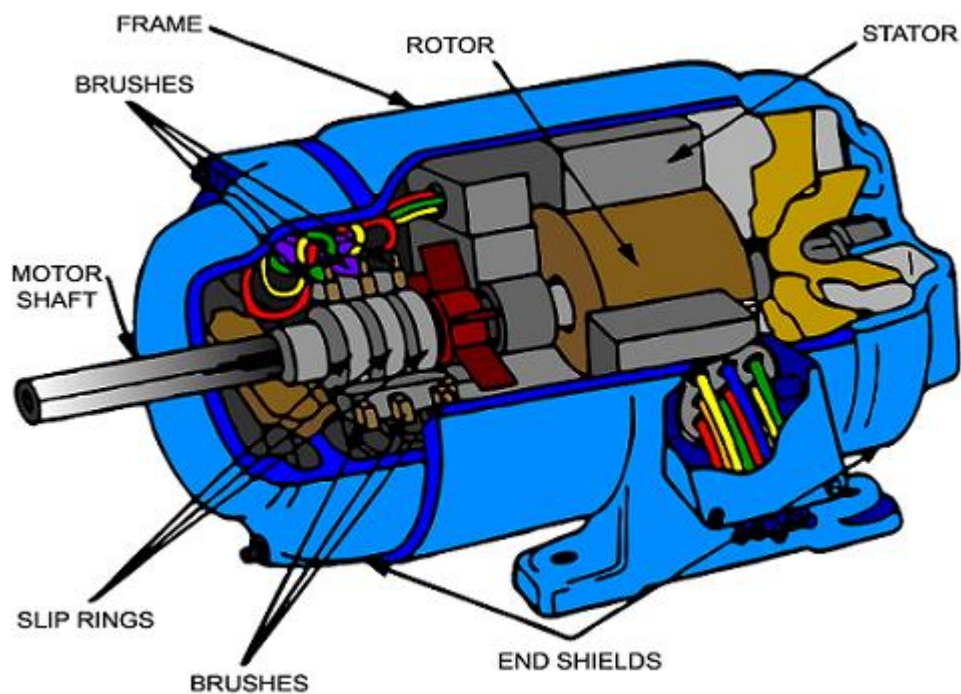
/сравнение на различните топове управляеми изправители/

Comparison of regenerative drive types					
	Synchronous rectifier	Bi-directional transistor rectifier	Current source inverter	Six-pulse regen. SCR rectifier	
Power semiconductor control method	IGBT, PWM	IGBT, peak control	SCR, phase-angle control	SCR, phase-angle control	Вида на изправителя – с IGBT транзистори или с тиристори
Adaptable to common bus (multiple drives)	Yes	Yes	No	Yes	Вида на управление на токоизправителя
Relative cost: Single Multiple (4 sections) (\$ = least, \$\$\$\$=most)	\$\$\$\$ \$\$\$	\$\$ \$	\$ N.A.	\$\$\$ \$\$	Цена
Input power factor	Near unity, controllable	Near unity	Variable, lagging speed & load dependent	Variable, lagging, speed & load dependent	Фактор на мощност
Harmonic distortion	Lowest	High in odd, non-triplen (5th, 7th, 11th, 13th,...)	High in odd, non-triplen (5th, 7th, 11th, 13th,...)	High in odd, non-triplen (5th, 7th, 11th, 13th,...)	Хармоници
Line-dip, ride-through capability	Excellent	Good	Fair	Good	Динамика
Dynamic response	Excellent	Good	Slow	Good	Мощностен диапазон
Available ratings	>50 hp, systems	<100 hp	>100 hp	>100 hp, systems	
Strengths	Can produce more output voltage than input	Simple control, low cost	Inherent regen.	Simple phase-angle SCR control	+
Weaknesses	Complex PWM switching	Minor power-line voltage distortion	Requires motor inductance matching	Requires transformer for regen. rectifier to avoid inverting faults	-

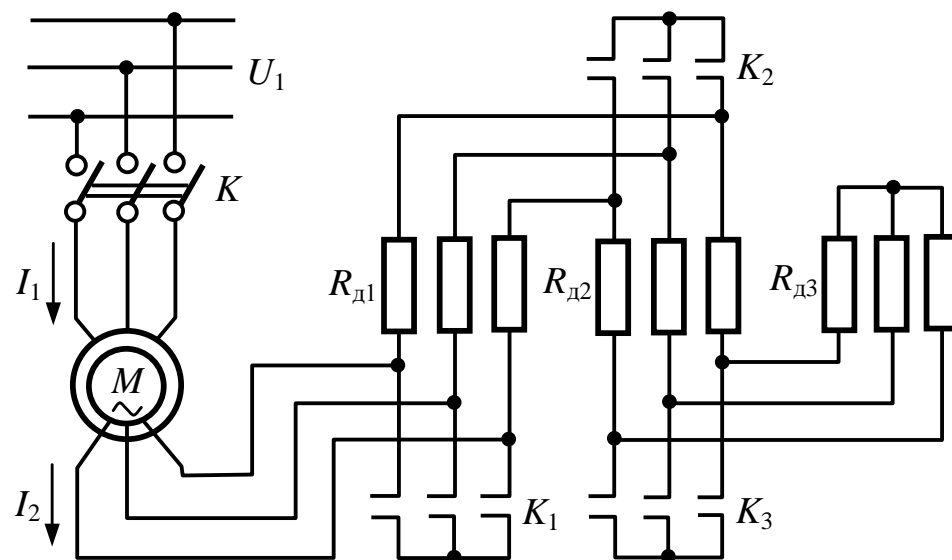
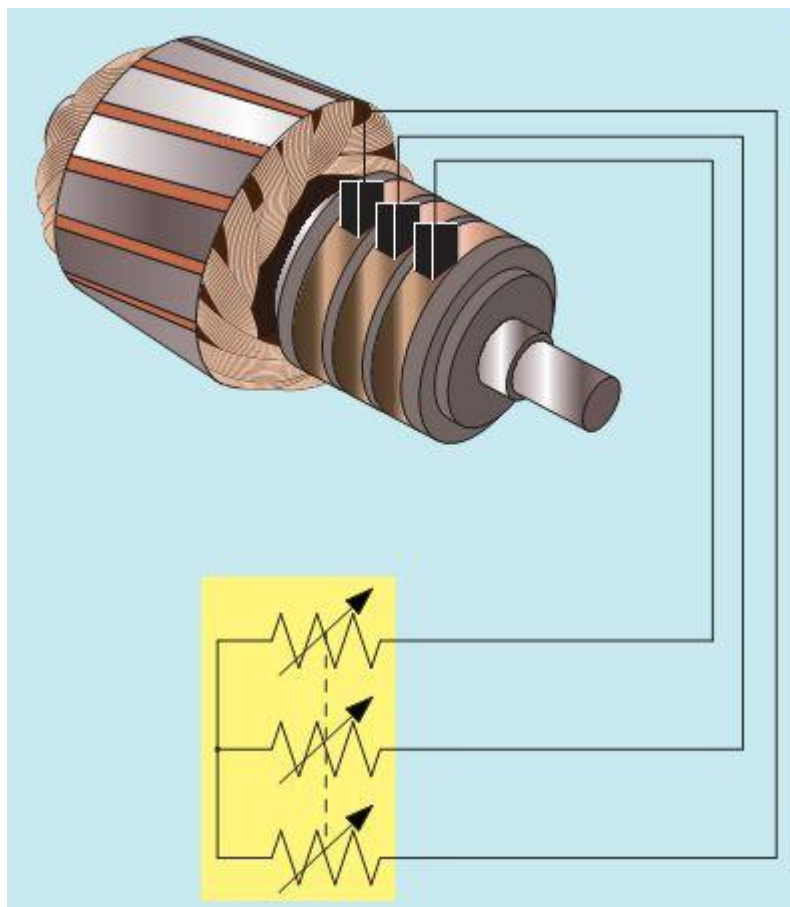
3. Структура на съвременно регулируемо задвижване с честотно управление Двигателен – Генераторен режим



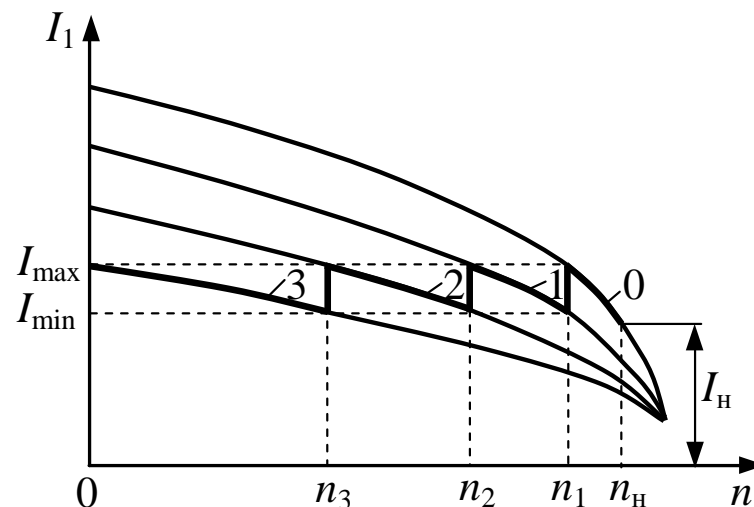
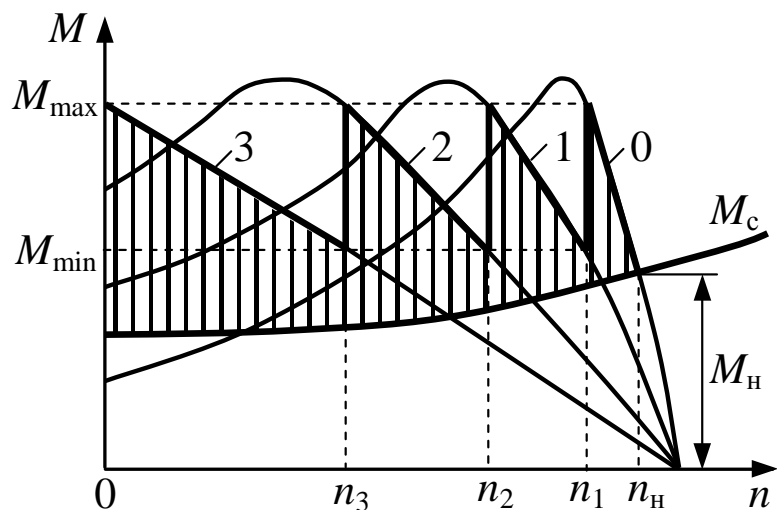
3. Структура на съвременно регулируемо задвижване с честотно управление Асинхронен генераторен с навит ротор



3. Структура на съвременно регулируемо задвижване с честотно управление Асинхронен генераторен с навит ротор



3. Структура на съвременно регулируемо задвижване с честотно управление Асинхронен генераторен с навит ротор

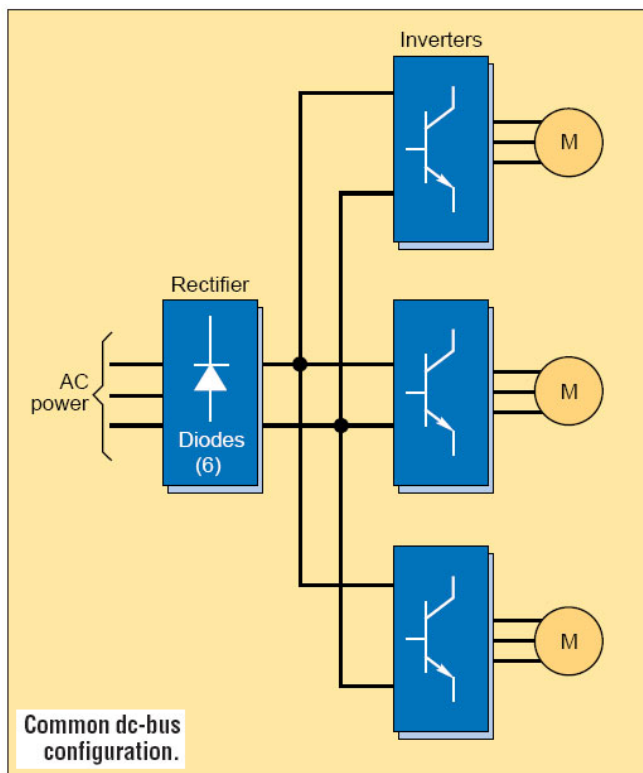


Характеристики на електромагнитния момент (а) и на тока в статорната намотка (б) при пускане на асинхронен двигател с навит ротор

3. Структура на съвременно регулируемо задвижване с честотно управление

Обмен на енергия на DC шина

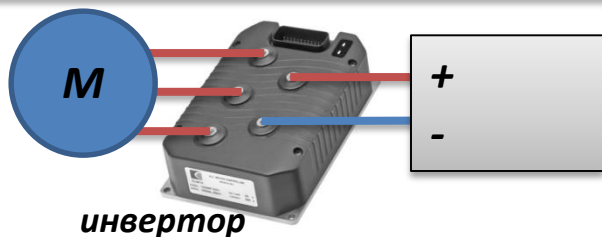
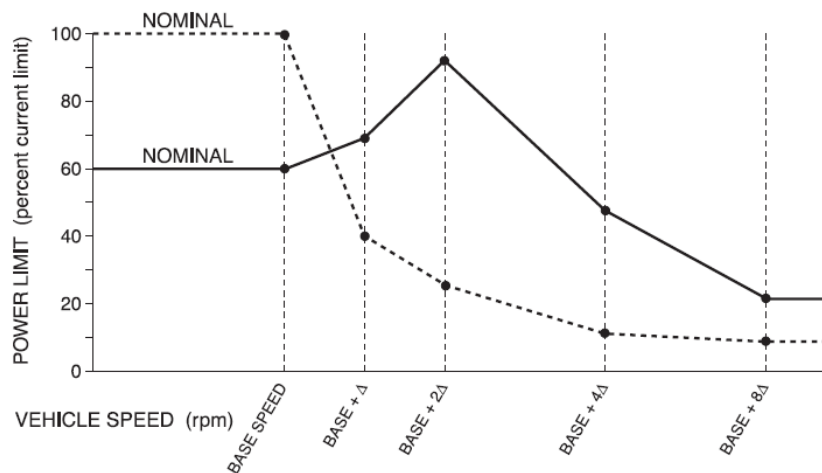
При AC захранване



3

При DC захранване

Parametername	Value	Min	Max
Current Limits			
Drive Current Limit	100 %	5	100
Regen Current Limit	100 %	5	100
Brake Current Limit	100 %	5	100
EMR Current Limit	100 %	5	100
Interlock Brake Current Limit	100 %	5	100
Power Limiting Map			
Base Speed	1500 rpm	100	4000
Delta Speed	500 rpm	50	1000
Drive Limiting Map			
Nominal	100 %	0	100
Base Plus Delta	100 %	0	100
Base Plus 2xDelta	100 %	0	100
Base Plus 4xDelta	100 %	0	100
Base Plus 8xDelta	100 %	0	100
Regen Limiting Map			
Nominal	100 %	0	100
Base Plus Delta	100 %	0	100
Base Plus 2xDelta	100 %	0	100
Base Plus 4xDelta	100 %	0	100
Base Plus 8xDelta	100 %	0	100



3. Структура на съвременно регулируемо задвижване с честотно управление

Микропроцесорно управление на честотния инвертор

Функциите на сигналните процесори зависят от конкретното приложение на отделните серии, предлагани на пазара:

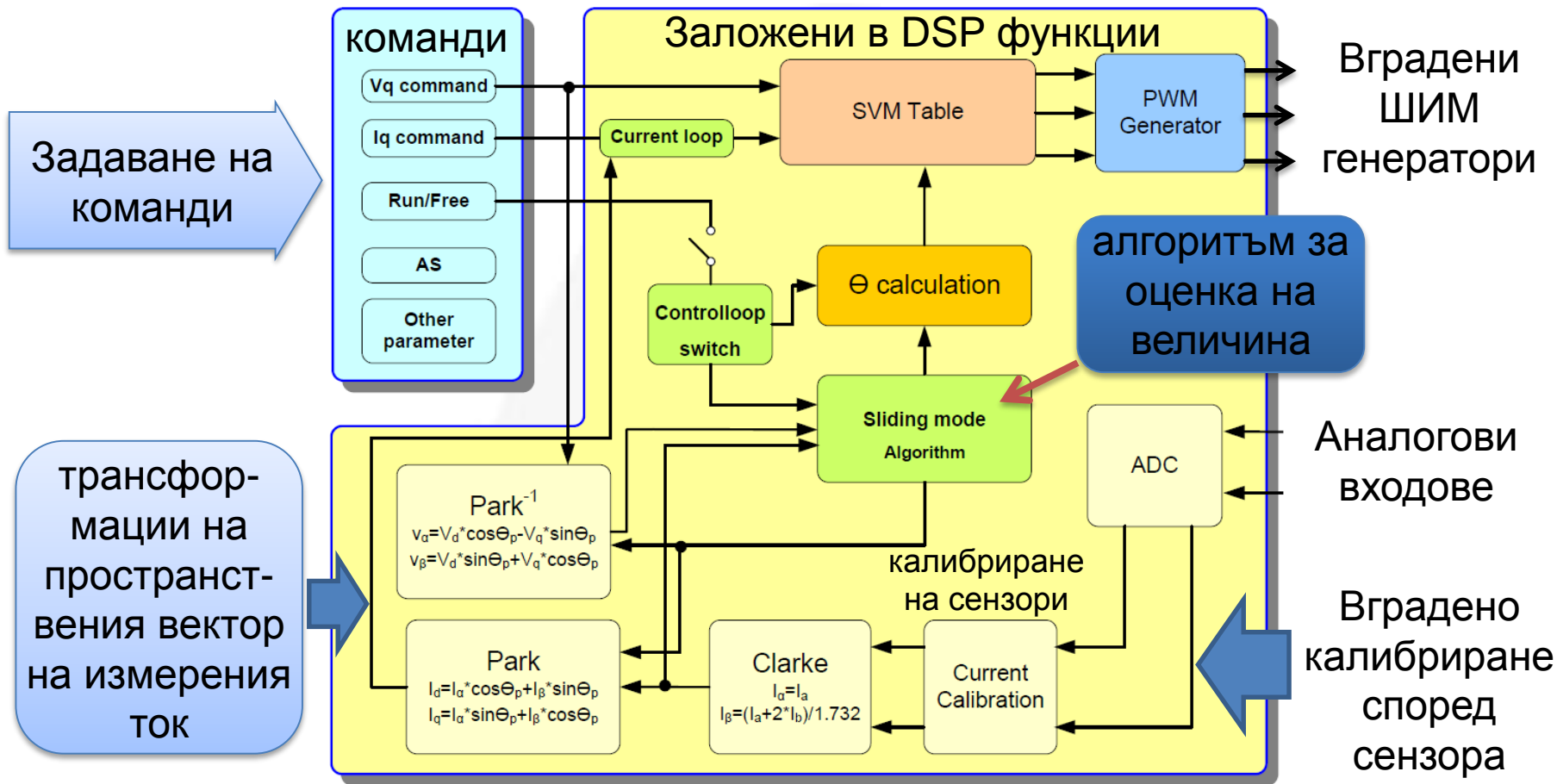
16-bit Ultra Low Power MCU	32-bit Real-Time MCUs	32-bit ARM® MCU	32-bit ARM® Processors for Performance Applications	Application Processors	Singlecore DSP	Multicore DSP
<ul style="list-style-type: none"> ▶ MSP430™ 	<ul style="list-style-type: none"> ▶ C2000™ 	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Tiva™ C Series Cortex™-M4 ▶ TMS570 Cortex™-R4 ▶ RM4 Cortex™-R4F 	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Sitara Cortex®-A8, Cortex®-A9 and ARM9® ▶ KeyStone Cortex®-A15 and Cortex®-A15 + DSP 	<ul style="list-style-type: none"> ▶ OMAP™ Processors with Cortex™-A8, A9 and A15 	<ul style="list-style-type: none"> ▶ C6000™ Power Optimized ▶ C5000™ Ultra Low Power 	<ul style="list-style-type: none"> ▶ KeyStone Multicore ▶ KeyStone Multicore DSP+ARM ▶ C6000™ Multicore
приложение	приложение	приложение	приложение	приложение	приложение	приложение
Общо предназначение, измерване	Индустриално предназначение, автоматика, умни мрежи,	Управление на електродвигатели, индустриално и автомобилно приложение, сигурност	Индустриално предназначение, автоматизация, домашно оборудване и сгради умни мрежи, роботика	Автомобилно приложение, индустриално приложение, мобилно приложение	Преносими аудио/видео у-ва, мобилна медицинска апаратура видео наблюдение, измервателна апаратура	Машинно зрение, видео, медицина, базови станции

Серии микропроцесори на фирма **Texas Instruments**, към 2014 г.

3. Структура на съвременно регулируемо задвижване с честотно управление

Микропроцесорно управление на честотния инвертор

Контролни функции на сигналния процесор



4. Енергийна ефективност на честотните електрозадвижвания

ЕНЕРГИЙНА ЕФЕКТИВНОСТ ~~≠~~ КОЕФИЦИЕНТ НА ПОЛЕЗНО ДЕЙСТВИЕ

Коефициента на полезно действие (КПД, η) е само един от параметрите, даващи информация за енергийната ефективност на задвижването:



Коефициента на полезно действие:

$$КПД = \eta = \frac{P_2}{P_1} 100, [\%]$$

Фактор на мощност:

$$K_p = \cos(\varphi) = \frac{P_1}{S_1}$$

Коефициент на енергийна ефективност:

$$K_e = \cos(\varphi) \times КПД$$

Механичната мощност на вала:

$$P_2 = P_{MECH} = Mn \frac{2\pi}{60}$$

Коефициент на форма на тока:

$$K_f = \frac{I_{1ef}}{I_{1cp}}; K_f = 1.11$$

/при синусоидален ток/

$$K_f \uparrow \Rightarrow \cos(\varphi) \downarrow$$

$$P_2 = P_{MECH} \equiv Mn$$

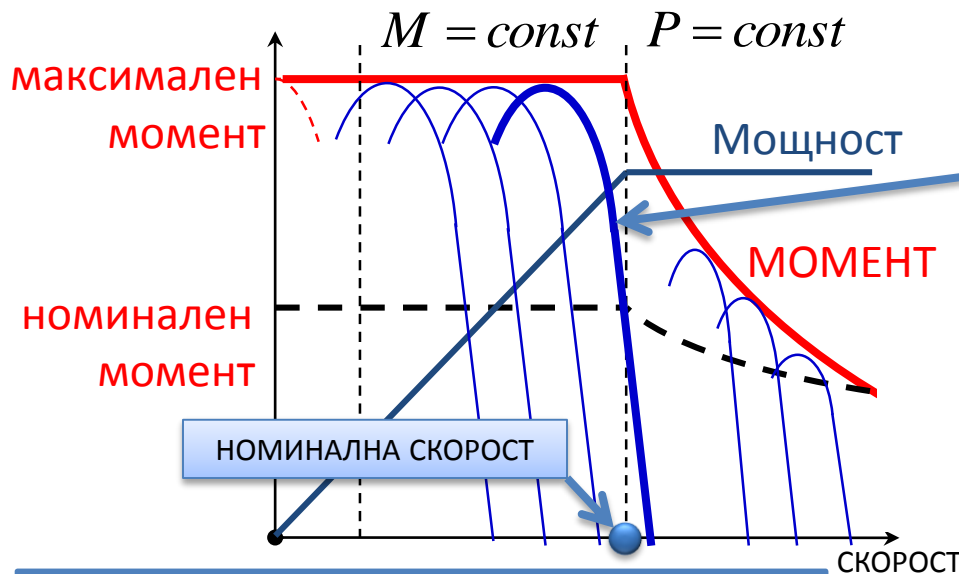
$$\text{при } n = 0$$

$$P_2 = 0 \Rightarrow КПД = 0$$

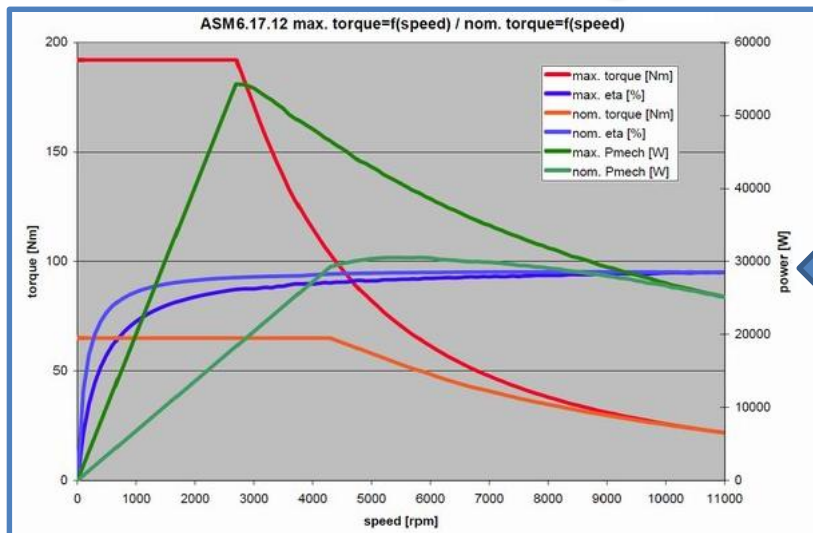
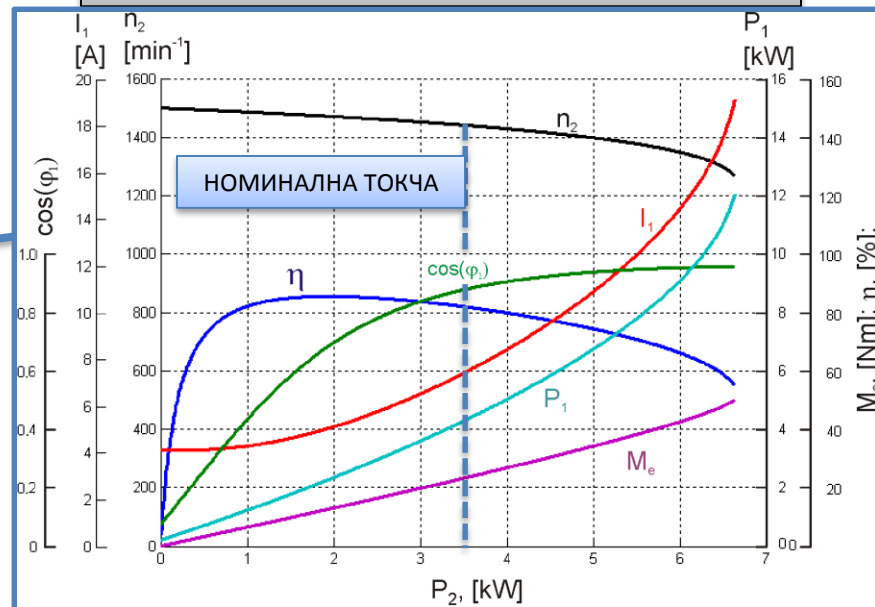
$$K_e = 0 !$$

4. Енергийна ефективност на честотните електрозадвижвания

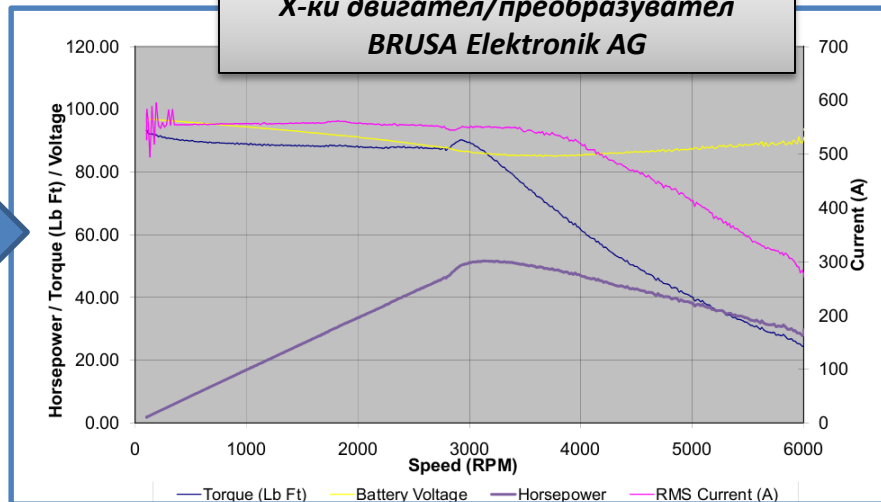
P-ни x-ки на асинхронен двигател + инвертор
При 0 до 100 Hz и +



P-ни x-ки на асинхронен двигател при 50/60 Hz



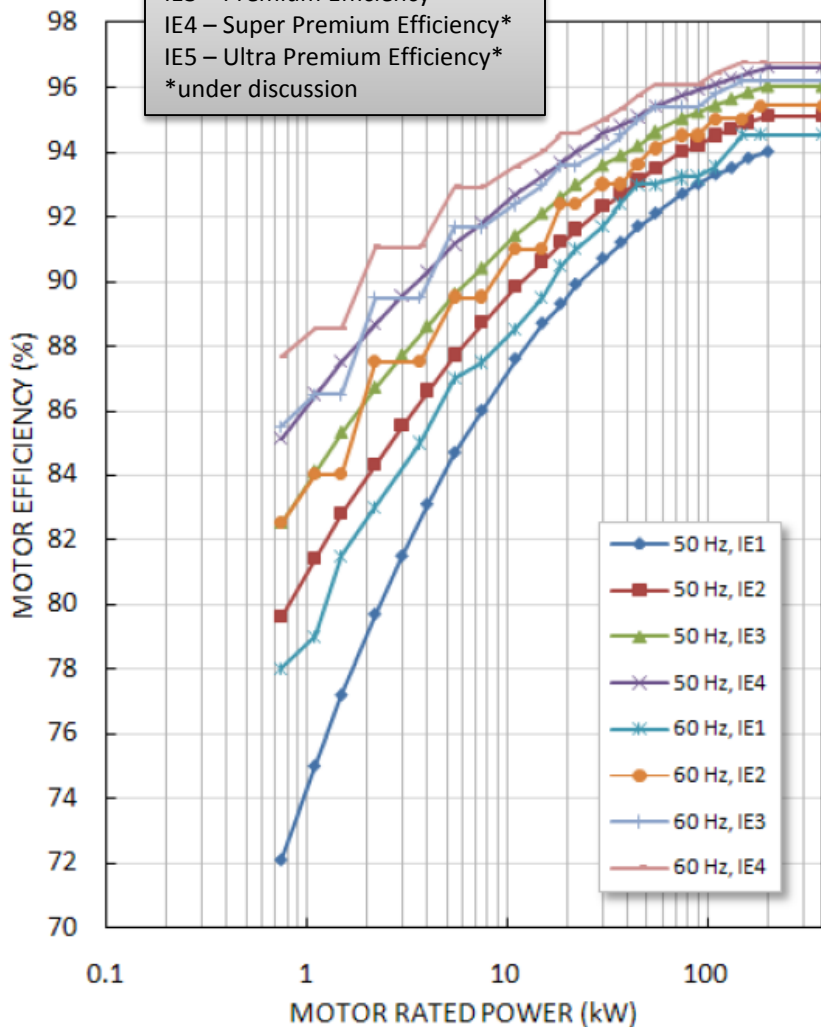
X-ки двигател/преобразувател
BRUSA Elektronik AG



4. Енергийна ефективност на честотните електрозадвижвания

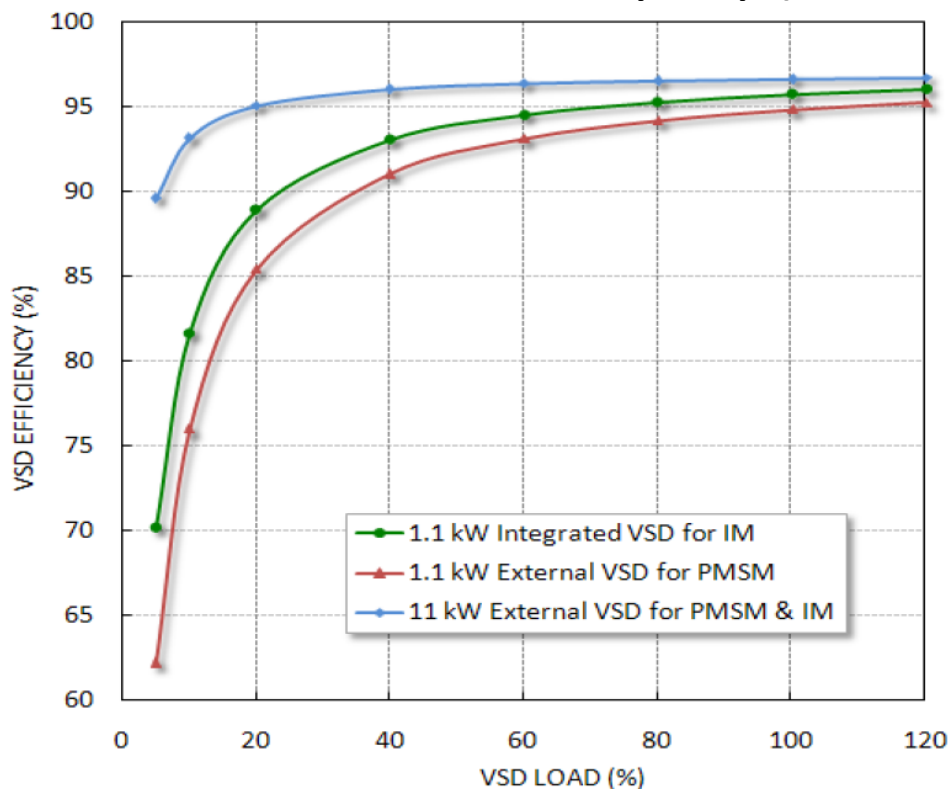
Енергийна ефективност ДВИГАТЕЛ

- IE1 – Standard Efficiency
- IE2 – High Efficiency
- IE3 – Premium Efficiency
- IE4 – Super Premium Efficiency*
- IE5 – Ultra Premium Efficiency*
- *under discussion



Енергийна ефективност ЕЛЕКТРОНИКА

Ефективност на инвертор (VSD) (интегриран /integrated/ и външен /external/) в зависимост от натоварването в % (IM – асинхронен двигател; PMSM – синхронен двигател с постоянни магнети в ротора)



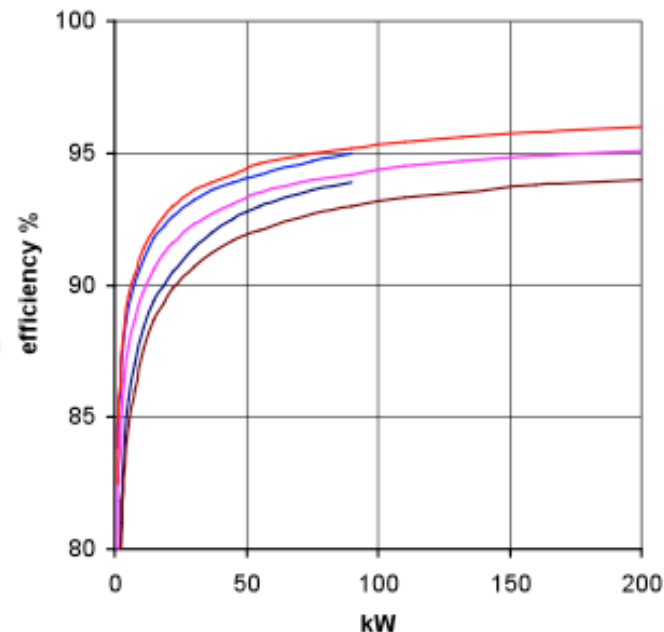
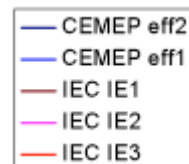
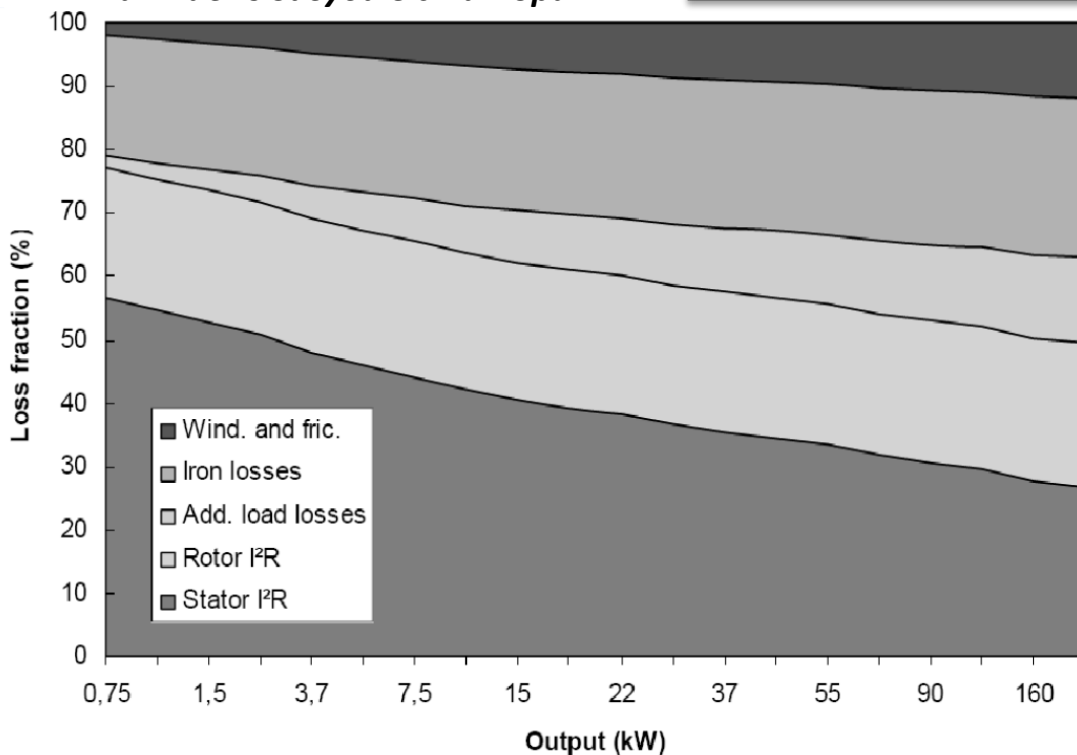
4. Енергийна ефективност на честотните електрозадвижвания

Енергийна ефективност за АСИНХРОННИТЕ ДВИГАТЕЛИ

Разпределение на загубите в двигателя, в зависимост от мощността:

- Загуби от вентилация и триене
- загуби в стотаната
- допълнителни загуби
- активно загуби в ротора
- активно загуби в статора

Ефективност на асинхронните двигатели според стандарта IEC 60034-30



Ефективност, [%] според IEC

kW	2 pole 50 HZ / 60 HZ	4 pole 50 HZ / 60 HZ	6 pole 50 HZ / 60 HZ
0.75	80.7 / 87.0	82.5 / 85.5	78.9 / 82.5
1.1	82.7 / 84.0	84.1 / 86.5	81.0 / 87.5
1.5	84.2 / 85.5	85.3 / 86.5	82.5 / 88.5
2.2	85.9 / 86.5	86.7 / 89.5	84.3 / 89.5
3	87.1 / -	87.7 / -	85.6 / -
3.7	- / 88.5	- / 89.5	- / 89.5
4	88.1 / -	88.6 / -	86.8 / -
5.5	89.2 / 89.5	89.6 / 91.7	88.0 / 91.0
7.5	90.1 / 90.2	90.4 / 91.7	89.1 / 91.0
11	91.2 / 90.0	91.4 / 92.4	90.3 / 91.7

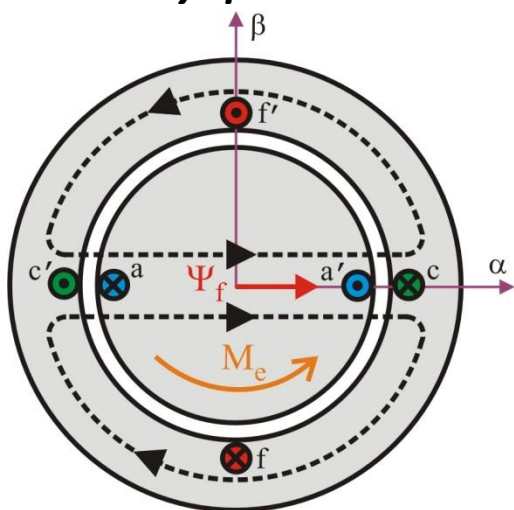
...

5. Други съвременни методи за управление на асинхронни електродвигатели

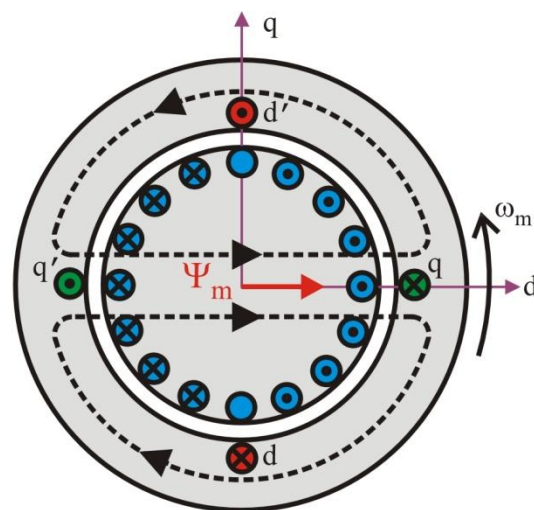
Векторно управление

Принцип на векторното управление

Аналогия при управление на
постояннотоков двигател и векторно
управяван асинхронен двигател



- постояннотоков двигател с:
- възбудителна намотка f-f'
 - котвена намотка a-a'
 - компенсационна намотка c-c'



- Асинхронен двигател с:
- Двухазна* статорна намотка
 - потокообразуваща d-d'
 - моментобразуваща q-q'
 - въртящи се с полето*

Полето

/потока, потокосцеплението/,
аналгично на възбудането на
постояннотоковата машина се създава
от намотката d-d' и съответния ток Id:

$$\Psi(\Psi_m, \Psi_s, \Psi_r) = c I_d$$

ЕЛЕКТРОМАГНИТНИЯ МОМЕНТ

почно както при постояннотокова
машина е порпорционален на полето
/потокосцеплението/
и моментобразуващия ток Iq
(аналогичен на котвения ток в
постояннотоковия двигател):

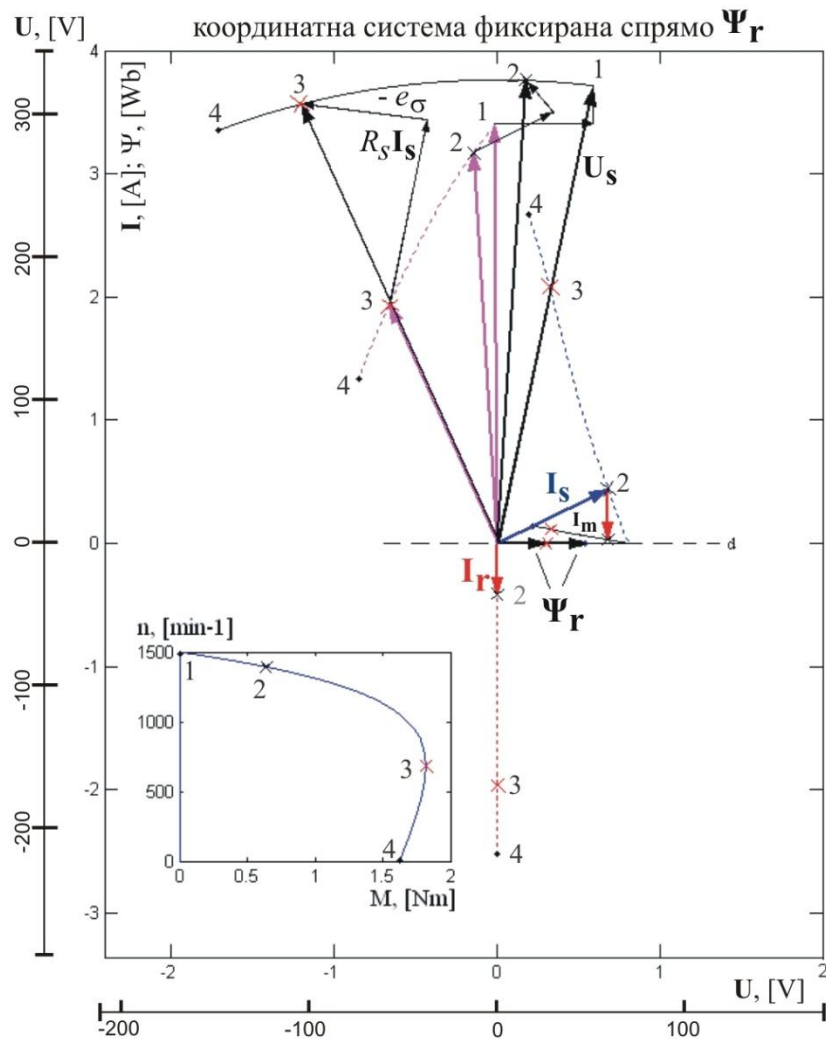
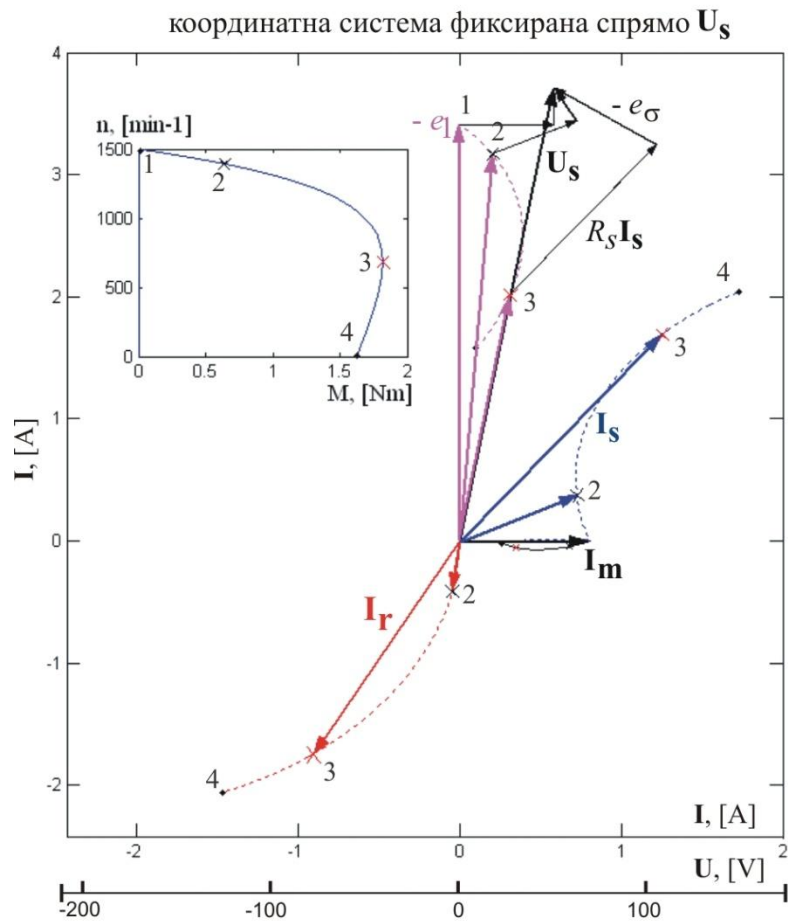
$$M_e = c \Psi_f \times I_a$$



$$M_e = c \Psi \times I_q$$

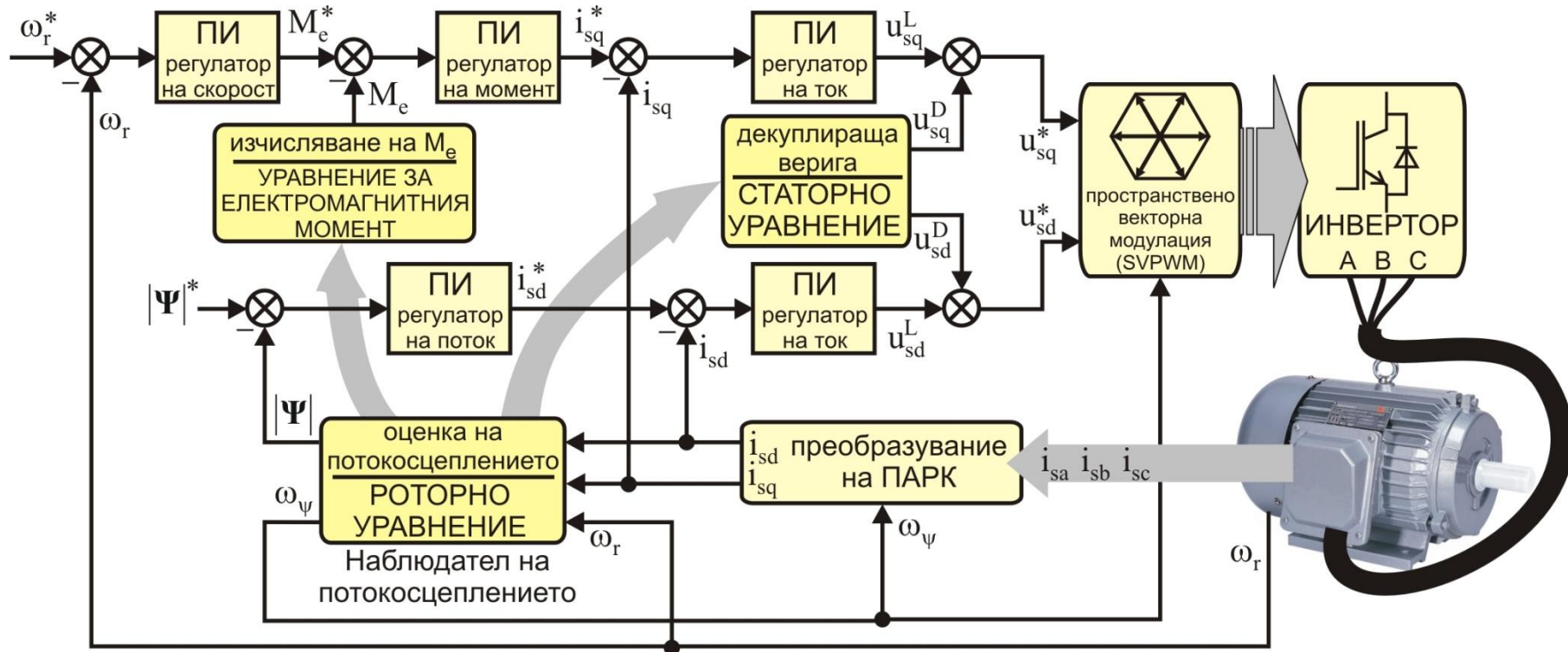
5. Други съвременни методи за управление на асинхронни електродвигатели

Векторно управление с ориентация по роторното потокосцепление



5. Други съвременни методи за управление на асинхронни електродвигатели

Обща структура при ВЕКТОРНО УПРАВЛЕНИЕ



принципна блок схема на електрозадвигване с директно векторно управление, като схемата е валидна и за трите типа ориентация на координатната система – ориентация по роторното потокосцепление, статорното потокосцепление или потокосцеплението от общия магнитен поток

5. Други съвременни методи за управление на асинхронни електродвигатели

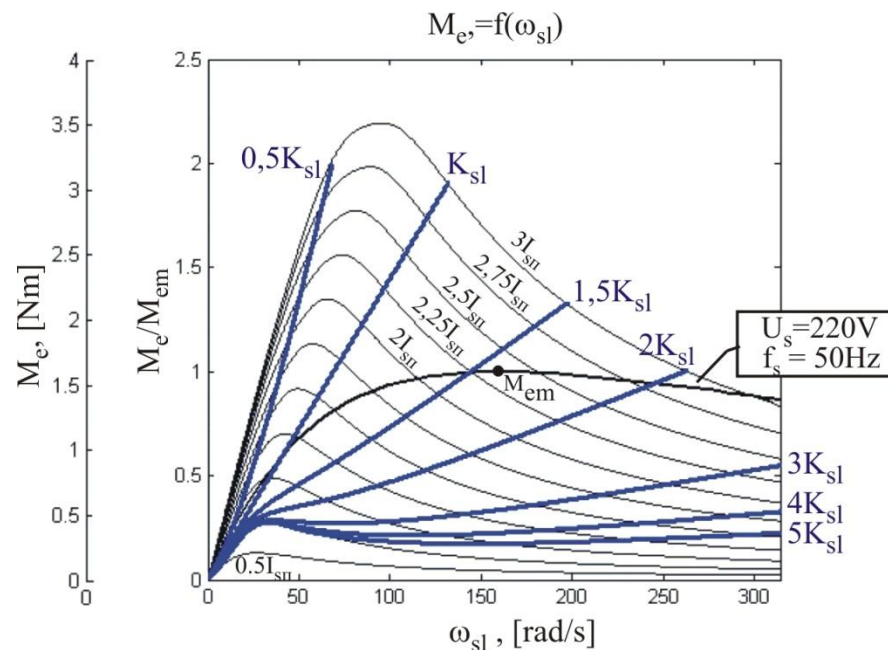
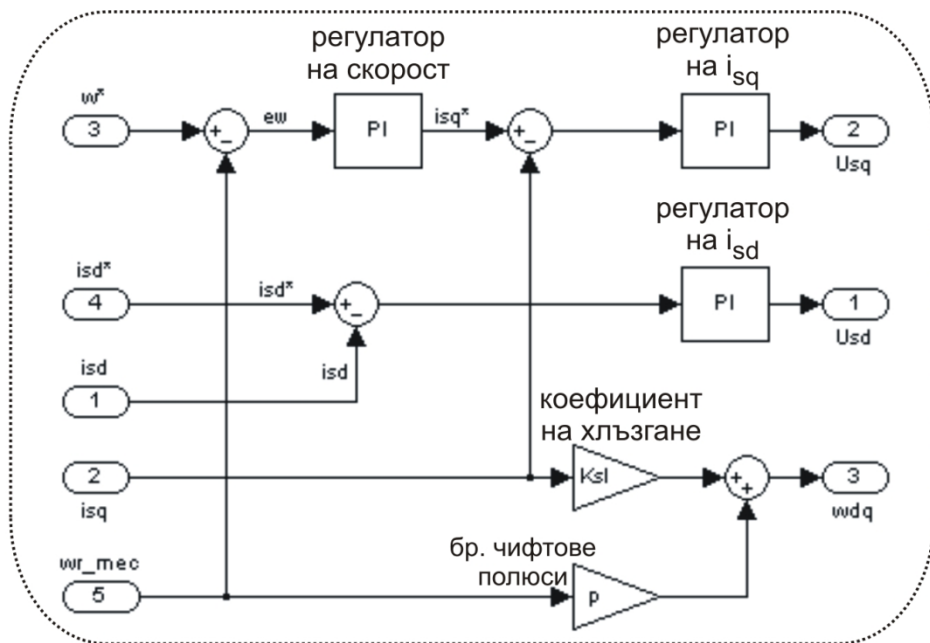
Варианти на ВЕКТОРНО УПРАВЛЕНИЕ

- Управление с ориентация по: роторното потокосцепление, статорното потокосцепление или потокосцеплението от общия магнитен поток;
- директно векторно управление или индиректно векторно управление
- с или без обратна връзка по момент, скорост ...
- с отчитане на насищането на магнитната верига или без
- с/без самодиагностика и определяне на параметрите

/Slip gain/

Базов вариант на ВЕКТОРНО УПРАВЛЕНИЕ с т.н. “коефициен на хлъзгане”

Необходимо е да се знае *коефициента на хлъзгане* и *намагнитващия* ток*:



5. Други съвременни методи за управление на асинхронни електродвигатели

Варианти на ВЕКТОРНО УПРАВЛЕНИЕ

Базов вариант на ВЕКТОРНО УПРАВЛЕНИЕ с т.н. “коэффициент на хлъзгане”

/Slip gain/

При различните разновидности на векторно управление коефициента на хлъзгане (slip gain) е:

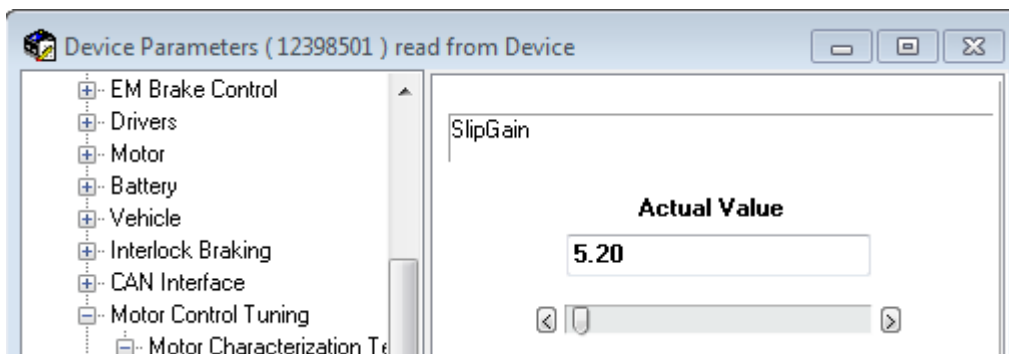
$$\text{slip gain} = \frac{1}{T_r} \quad \text{или}$$

$$\text{slip gain} = \frac{1}{T_r I_{sd}}$$

$T_r = L_r / R_r$ - роторна времеконстанта

В повечето управления има вграден алгоритъм за самодиагностика, при който се определя коефициента на хлъзгане, който след това може да се донастрои прецизно при нулева скорост.

Коефициента на хлъзгане може да се определи в номиналната тока на двигателя и чрез опит на празен ход и късо съединение на двигателя.



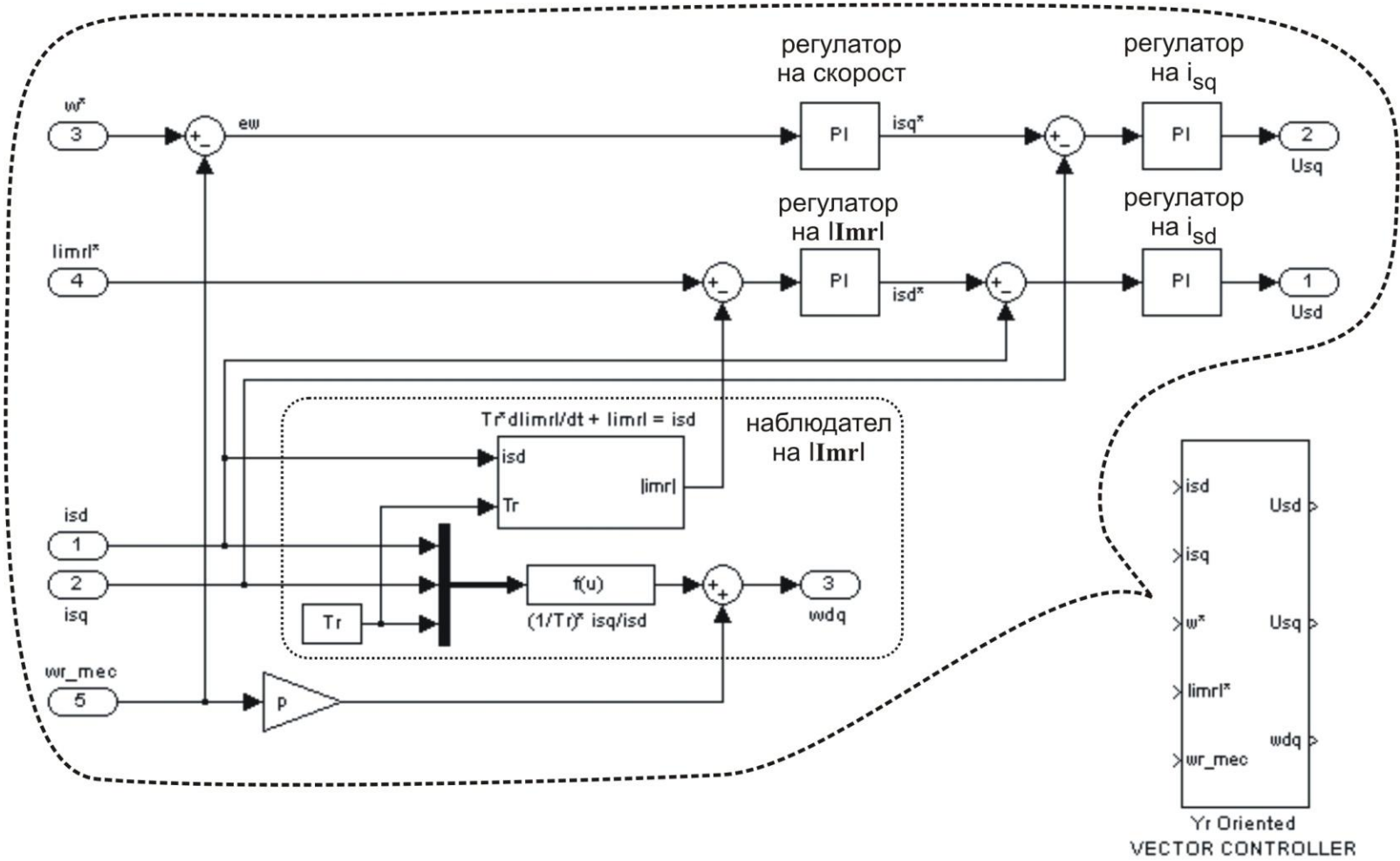
Определяне на SLIP GAIN:

- най-точно е определянето чрез измерване на двигателя и определяне на параметрите му;
- добър и също точен метод е чрез характеристиките при постояненстаторен ток, но изисква измерване на момента на вала
- лесен и интуитивен начин е настройка по минимален ток за даден товар при дадени обороти

5. Други съвременни методи за управление на асинхронни електродвигатели

Варианти на ВЕКТОРНО УПРАВЛЕНИЕ

ВЕКТОРНО УПРАВЛЕНИЕ с наблюдател на намагнитващия ток

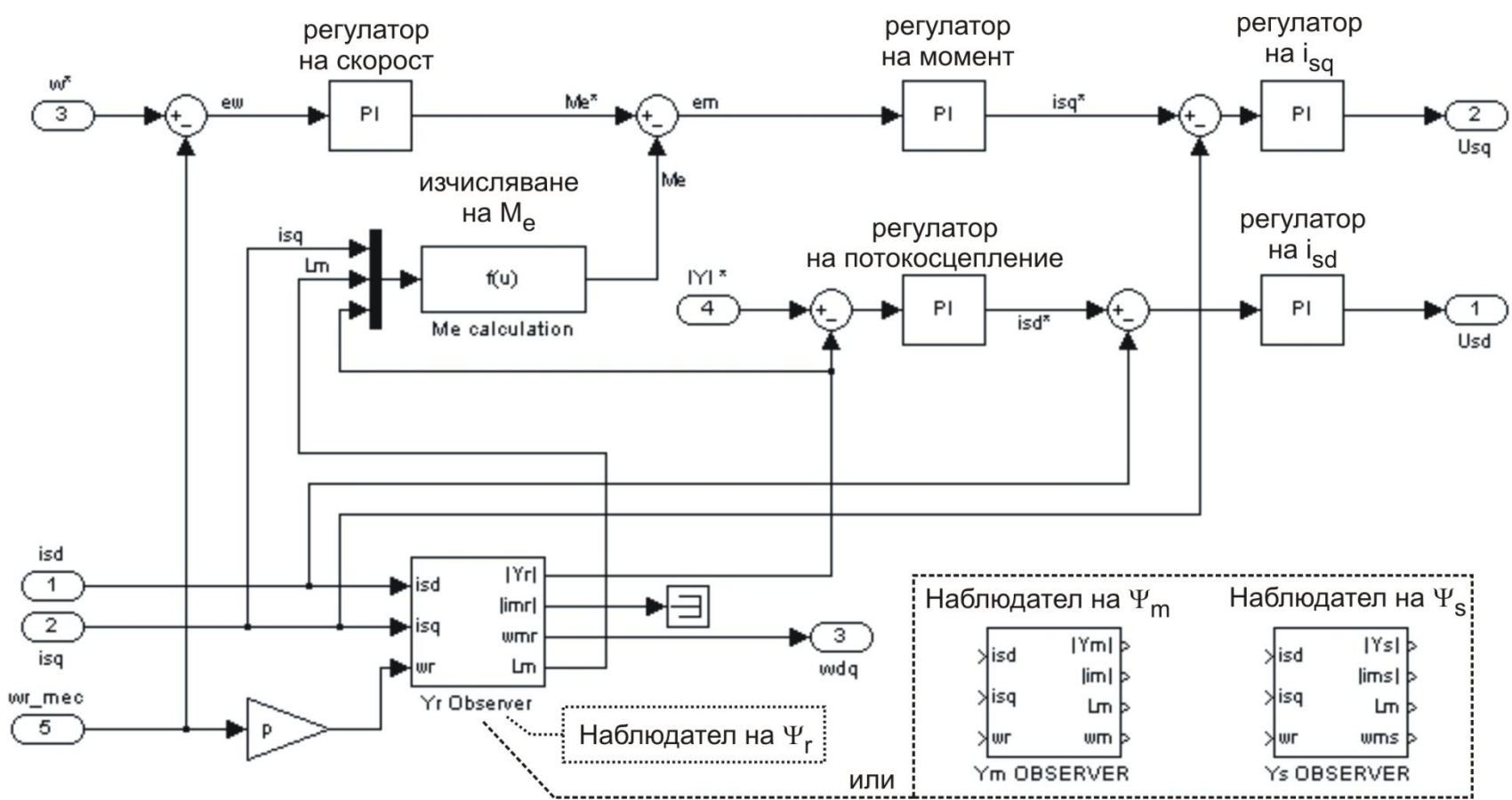


Yr Oriented VECTOR CONTROLLER

5. Други съвременни методи за управление на асинхронни електродвигатели

Варианти на ВЕКТОРНО УПРАВЛЕНИЕ

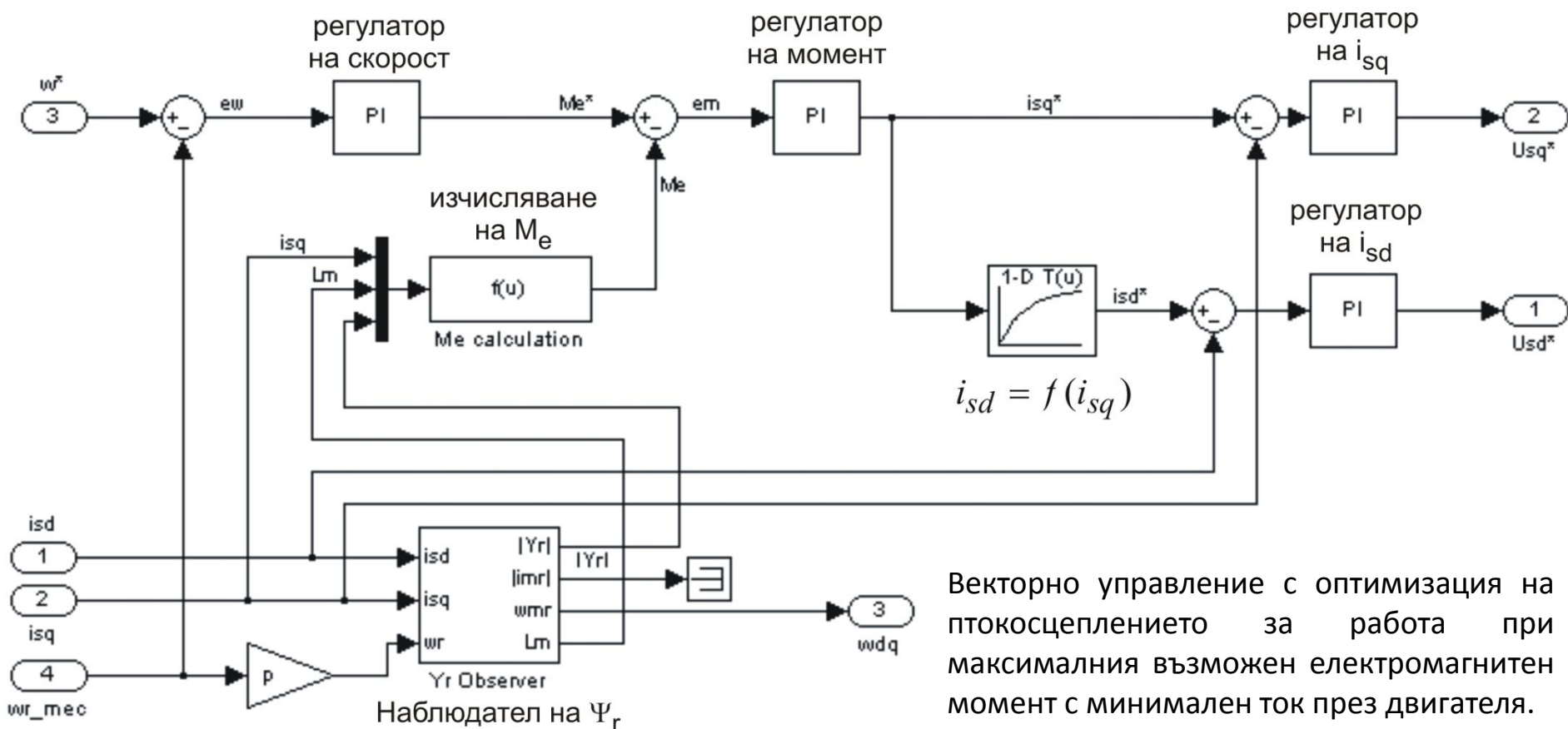
ВЕКТОРНО УПРАВЛЕНИЕ с наблюдател на потокосцеплението



5. Други съвременни методи за управление на асинхронни електродвигатели

Варианти на ВЕКТОРНО УПРАВЛЕНИЕ

ВЕКТОРНО УПРАВЛЕНИЕ с оптимизация по момент – работа при MAX Me

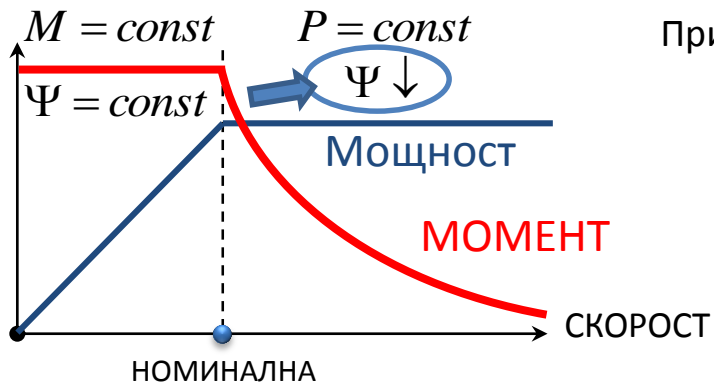


Векторно управление с оптимизация на потокосцеплението за работа при максималния възможен електромагнитен момент с минимален ток през двигателя.

5. Други съвременни методи за управление на асинхронни електродвигатели

Варианти на ВЕКТОРНО УПРАВЛЕНИЕ

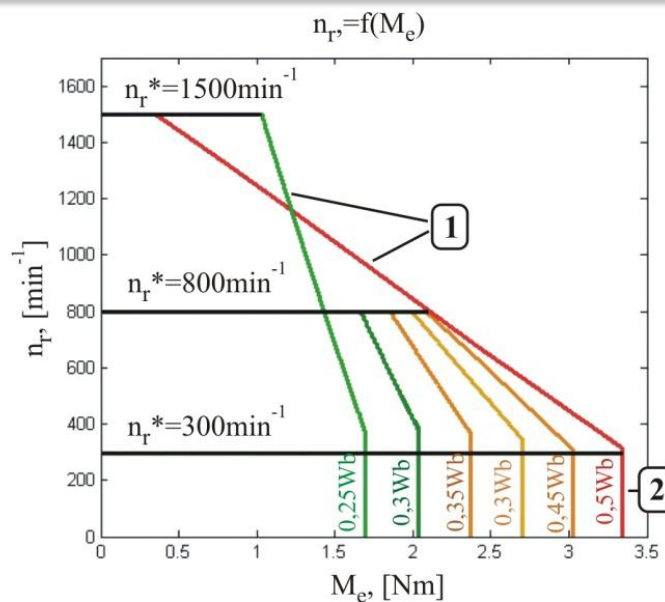
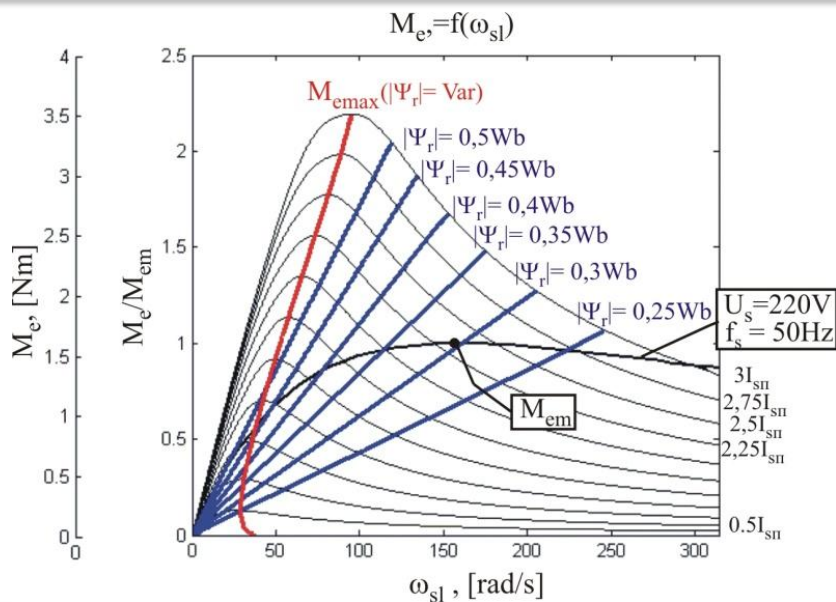
ВЕКТОРНО УПРАВЛЕНИЕ с отслабване на полето – FIELD WEAKENING



При отслабване на полето се следва зависимостта:

$$\Psi = \frac{n_{НОМ}}{n} \Psi_{НОМ} \quad \text{до определена скорост (обикновено до 2x-2.5x номинална скорост)}$$

$$\Psi = \frac{n_{НОМ}}{n^2} \Psi_{НОМ} \quad \text{при още по-високи скорости}$$

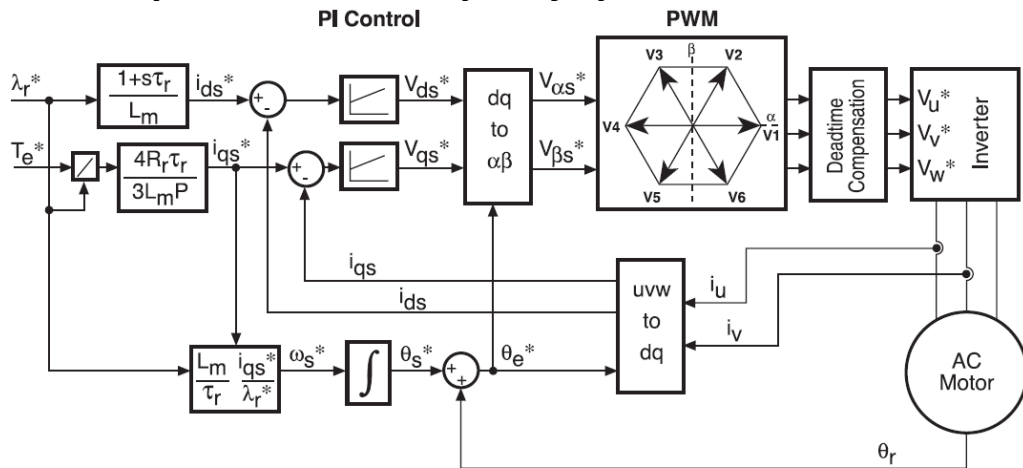


5. Други съвременни методи за управление на асинхронни електродвигатели

Варианти на ВЕКТОРНО УПРАВЛЕНИЕ

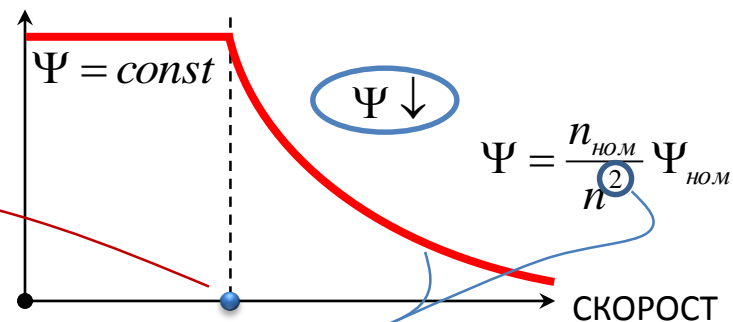
ВЕКТОРНО УПРАВЛЕНИЕ с отслабване на полето – FIELD WEAKENING

Отслабна на полето за инвертор с индиректно векторно управление:



- 1 – отслабването на полето се прави след определяне на коефициента на хлъзгане – slip gain;
- 2 – определяне на скоростта, след която започва отслабване на полето – добра отправна точка е номиналната скорост, но не винаги;
- 3 – определяне на зависимостта, по която отслабва полето – най-често е под формата на коефициент – в случая “Field Weakening” параметъра; да не се бърка с “Weakening Rate”, който в случая определя бързината на регулатора в контура за регулиране на потокосцеплението!

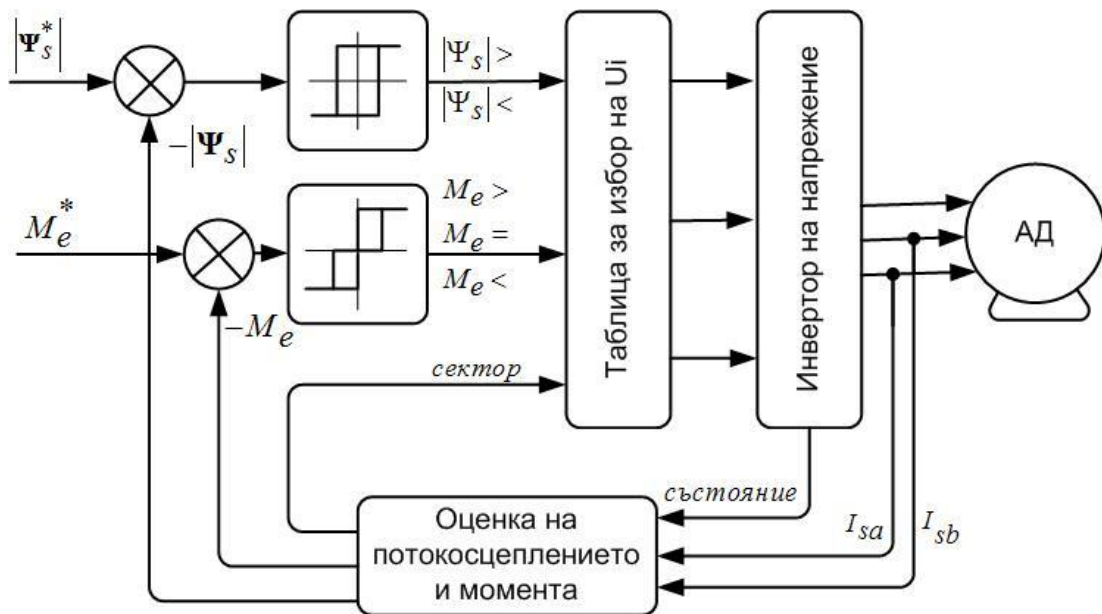
Parametername	Value	Min	Max
Motor Control Tuning			
Motor Characterization Tests			
Test Enable	0	0	1
Test Throttle	0	-1	1
Motor Poles	4	2	8
Max Test Speed	1000 rpm	500	3000
Max Test Current	70 %	40	100
SlipGain	3.3	0.0	200.0
Field Weakening Control			
Base Speed	2000 rpm	200	6000
Field Weakening	90 %	0	100
Weakening Rate	35 %	0	100
Motor Type	2	0	200



5. Други съвременни методи за управление на асинхронни електродвигатели

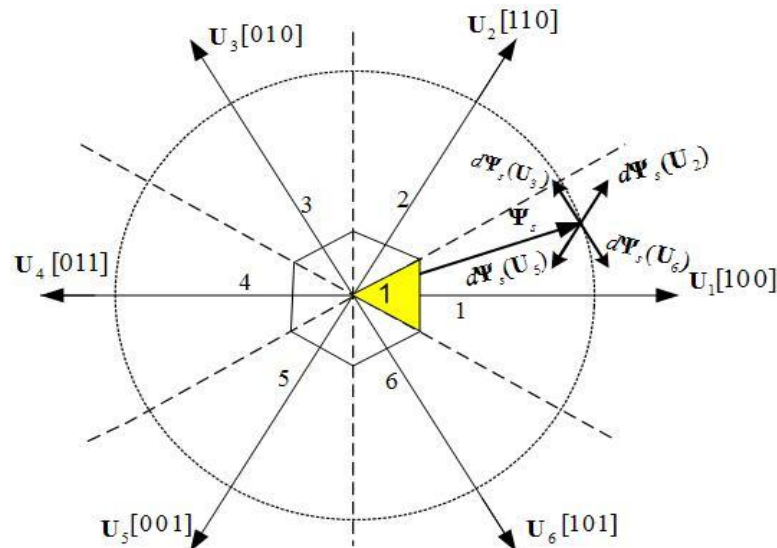
Директно управление на момента

Метод за управление, често бъркан с директно векторно управление!!!
/това е междинен метод между векторно и скалярно управление/



Ако се пренебрегне напреженовия спад, върху активното съпротивление на статорните намотки, захранващото статорно напрежение влияе директно върху статорното потокосцепление в съответствие със следните уравнения:

$$\frac{d\Psi_s}{dt} = U_s \quad \text{или} \quad \Delta\Psi_s = U_s \Delta t$$



Недостатъци спрямо векторното управление:

- Бавна реакция при стартиране или при изменение на потокосцеплението или момента.
- Не се различават големите от малките грешки в потока и в момента. С други думи се използват едни и същи вектори при стартиране и в установено състояние.

5. Други съвременни методи за управление на асинхронни електродвигатели

Сравнение ЧЕСТОТНО - ВЕКТОРНО УПРАВЛЕНИЕ

Performance Comparison Control Algorithms	Volts per Hertz Control	FOC	
		Vector Drive	Servo Drive
Velocity Loop bandwidth in Hz	1Hz	50 Hz	100 Hz
Minimum speed with full load (RPM)	90	0	0
Maximum speed with 25% load (RPM)	1.5 X Base Speed	2.5 X Base Speed	2.0 X Base Speed
Minimum acceleration time (seconds)	3	0.1	0.01
Minimum deceleration time (seconds)	3	0.1 w/DB	0.01
Maximum starting torque (%)	150%	200%	200%
Speed regulation at full load (%)	± 3% (base)	± 0.01% (set)	± 0.01% (set)

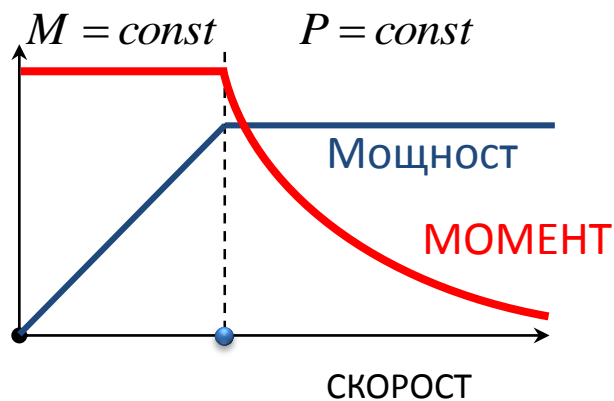
The numbers above are for comparison only. Specific system dynamics will affect exact data.

FOC

- System responds faster to changes in set point or load change
- Minimum speed at full load is now essentially zero
- Starting torque is increased
- Very little torque ripple
- Reduces Cost
 - Optimally size motor for the task at hand
 - Current controlled, so the inverter can be optimized

5. Други съвременни методи за управление на асинхронни електродвигатели

Сравнение ЧЕСТОТНО - ВЕКТОРНО УПРАВЛЕНИЕ



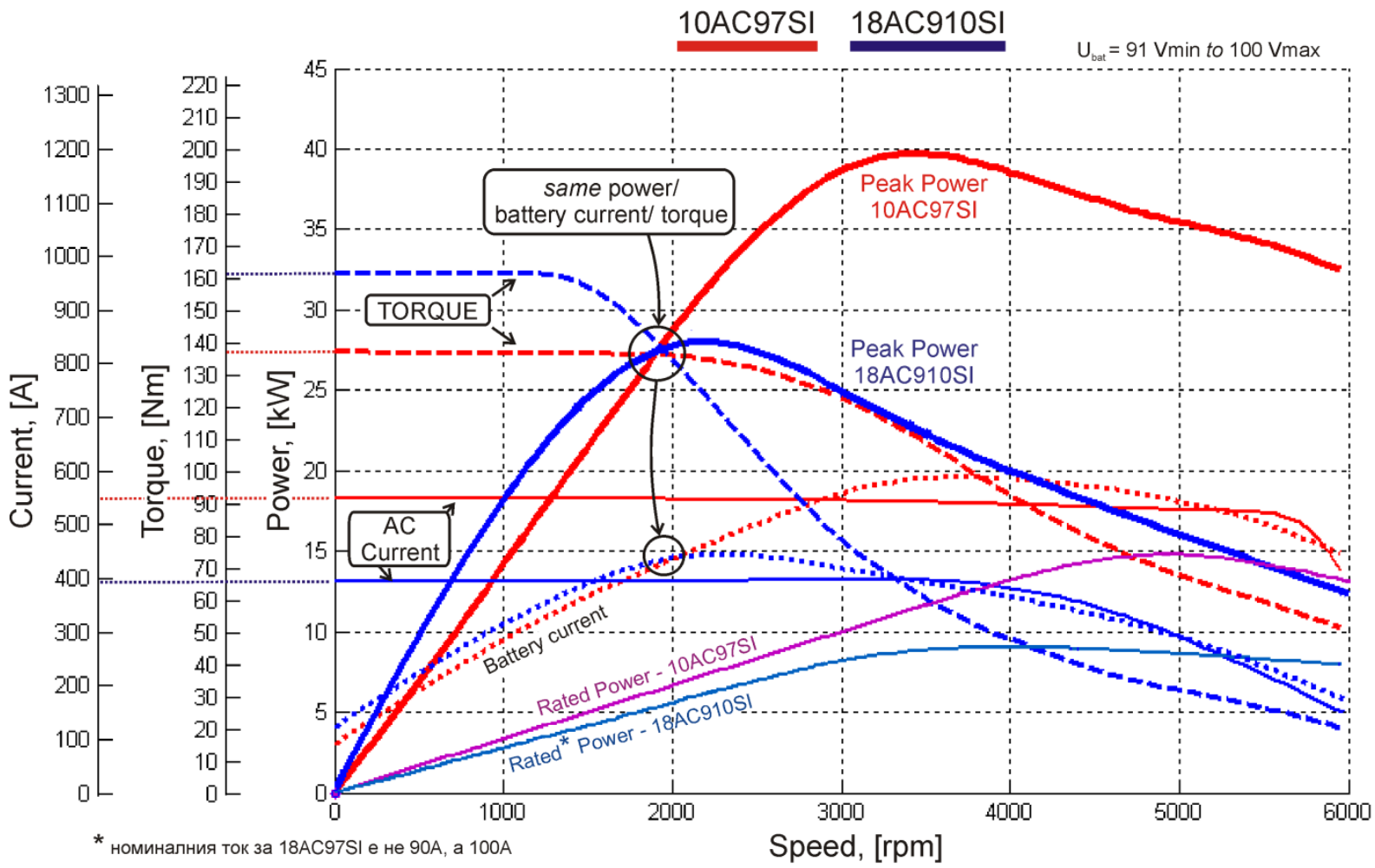
При честотно управление отслабването на полето става естествено при достигане на ограничението по напрежение и дори да е зададено $U/f = const$ с увеличаване на заданието за честота при $U = U_{max}$ естествено се постига отслабване на полето.

При векторно управление, дори при достигане на максимума на напрежението, ако не е зададено отслабване на полето, то се поддържа постоянно, което може да доведе до невъзможност за добра работа при високи скорости. Отслабването на полето се управлява по определен закон, в зависимост от конкретното задвижване, като косвено би могло да се управлява и чрез таблица за мощността или друг параметър.

	скорости под номиналната: $M = const$	скорости над номиналната: $P = const$
честотно	$M \neq const^*$ $\frac{U}{f} = const$ $\Psi \neq const$	$U = U_{max}$ $\frac{U_{max}}{f} = var$ $\frac{U}{f^2} = const$ $\frac{U}{\sqrt{f}} = const$
векторно	$M = const$ $M = max$ при $n = 0$ $\Psi = const$	$\Psi = \frac{n_{ном}}{n} \Psi_{ном}$ $\Psi = \frac{n_{ном}}{n^2} \Psi_{ном}$...

5. Други съвременни методи за управление на асинхронни електродвигатели

Сравнение при ВЕКТОРНО УПРАВЛЕНИЕ на двигател за различно напрежение в еднакъв габарит



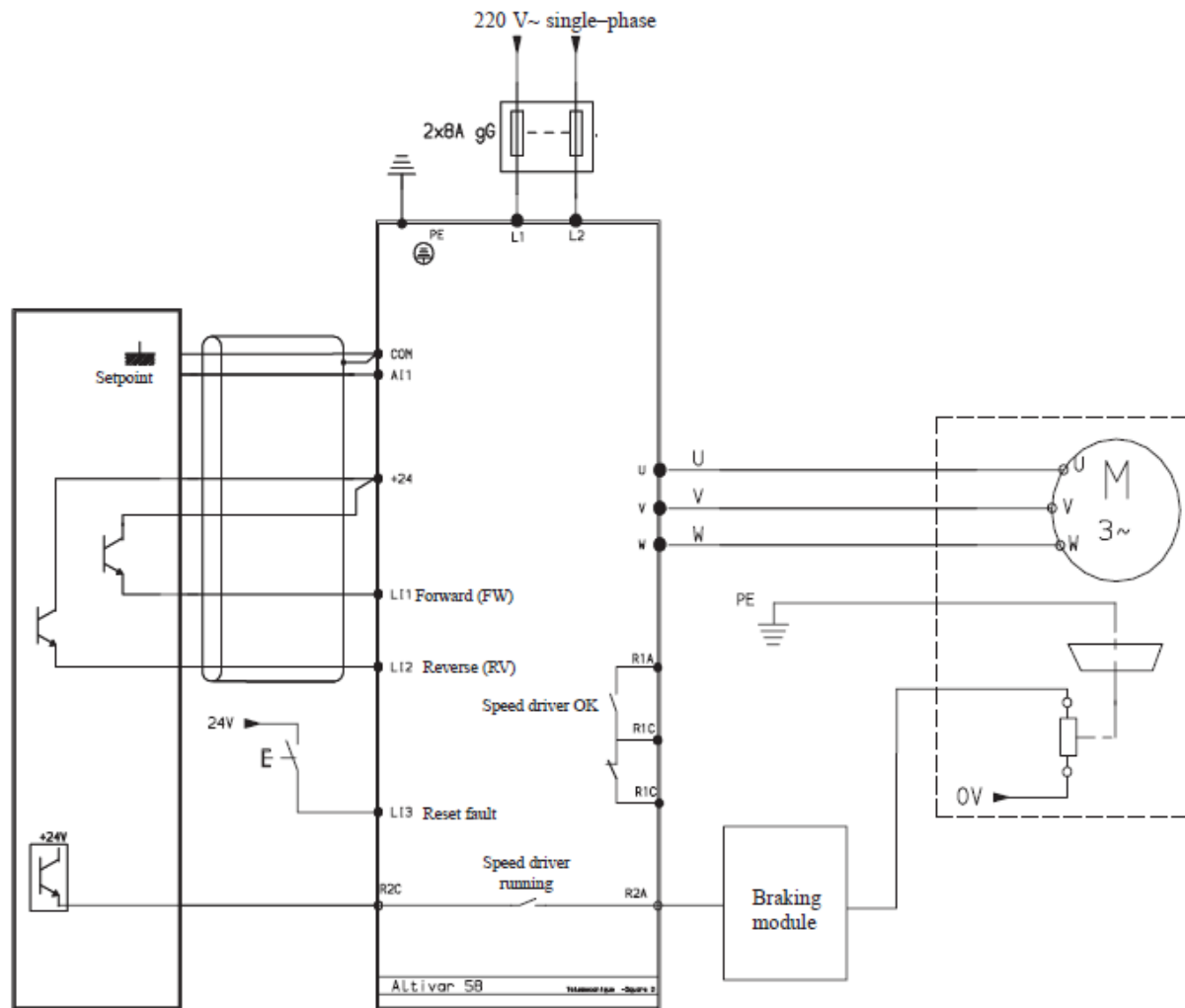
* номиналният ток за 18AC97SI е не 90А, а 100А

От лабораторните упражнения

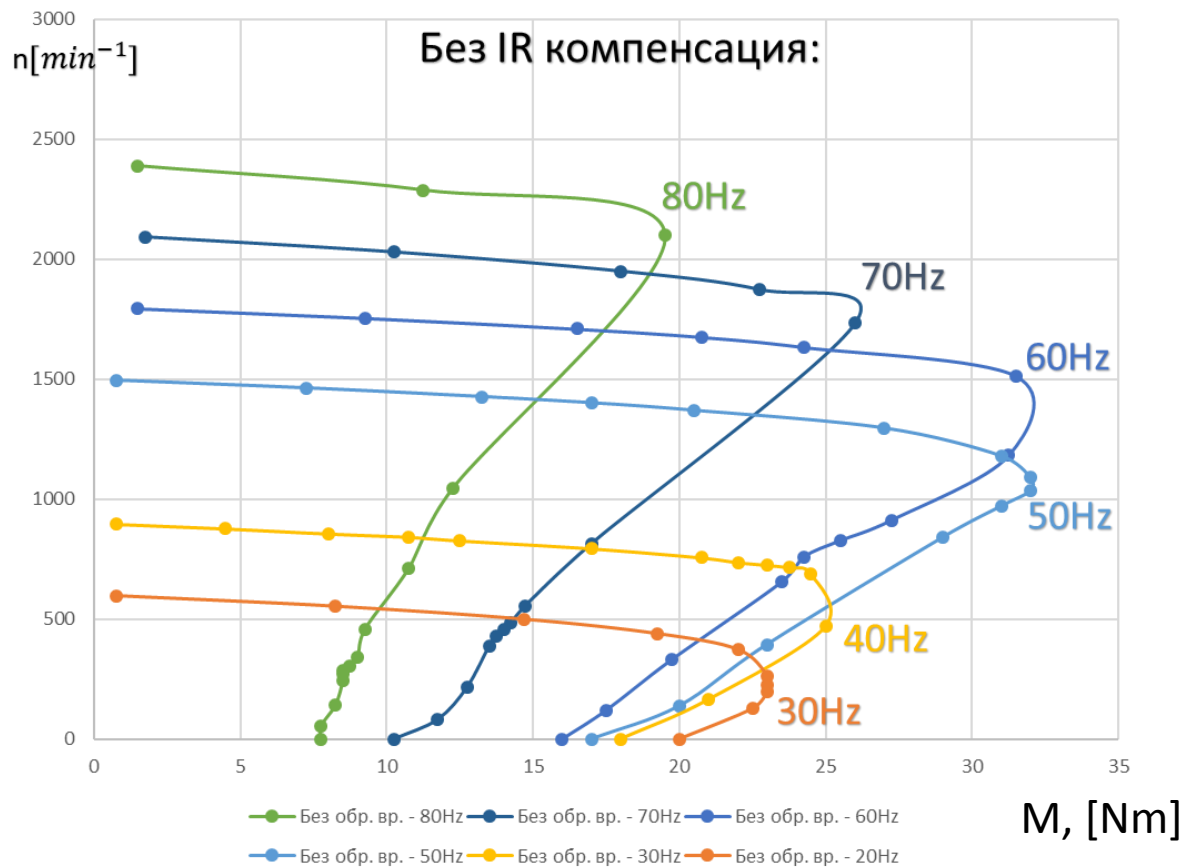
Altivar 58 telemecanique



Преобразувател на Фирма SCHNEIDER

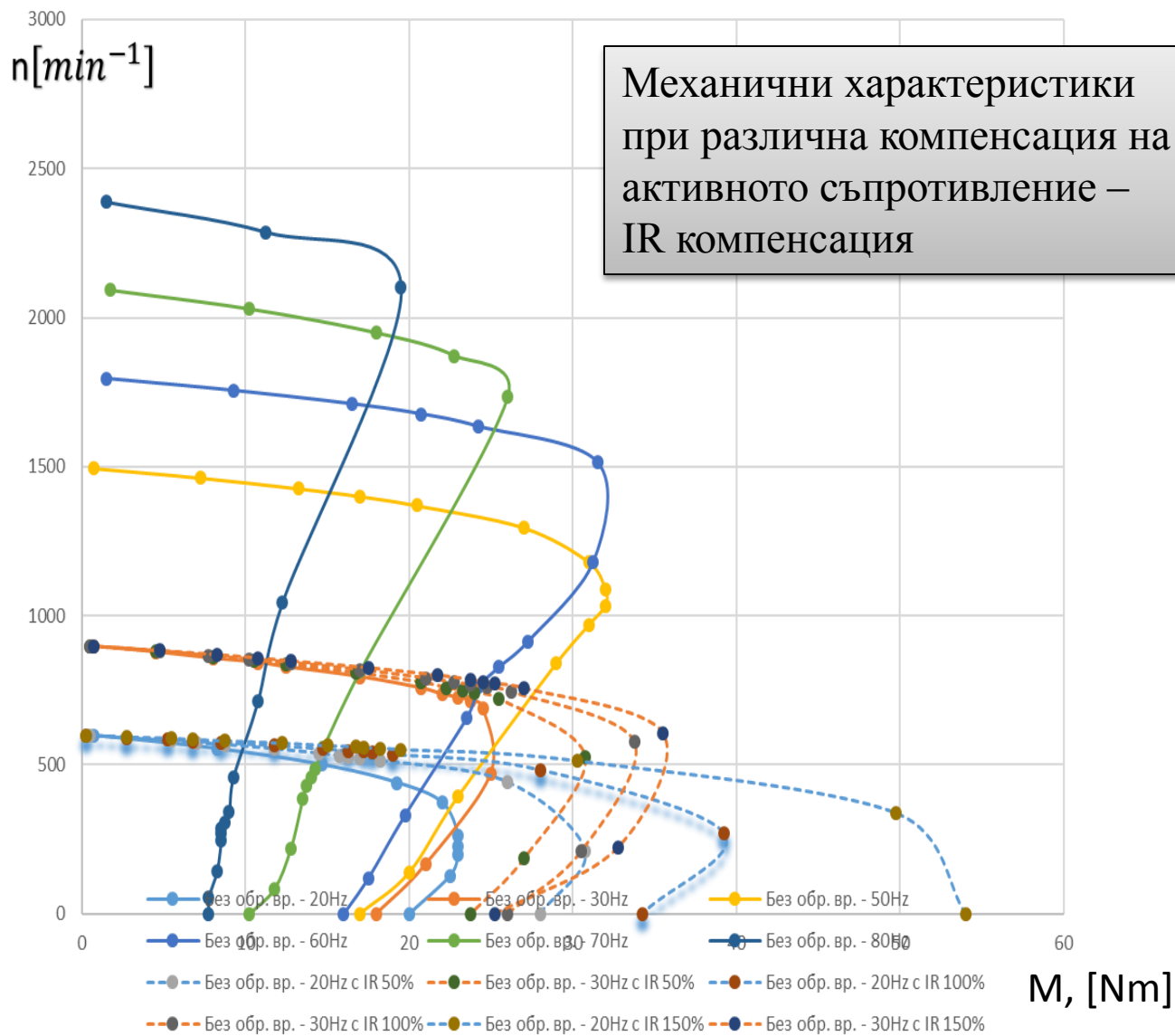


От лабораторните упражнения

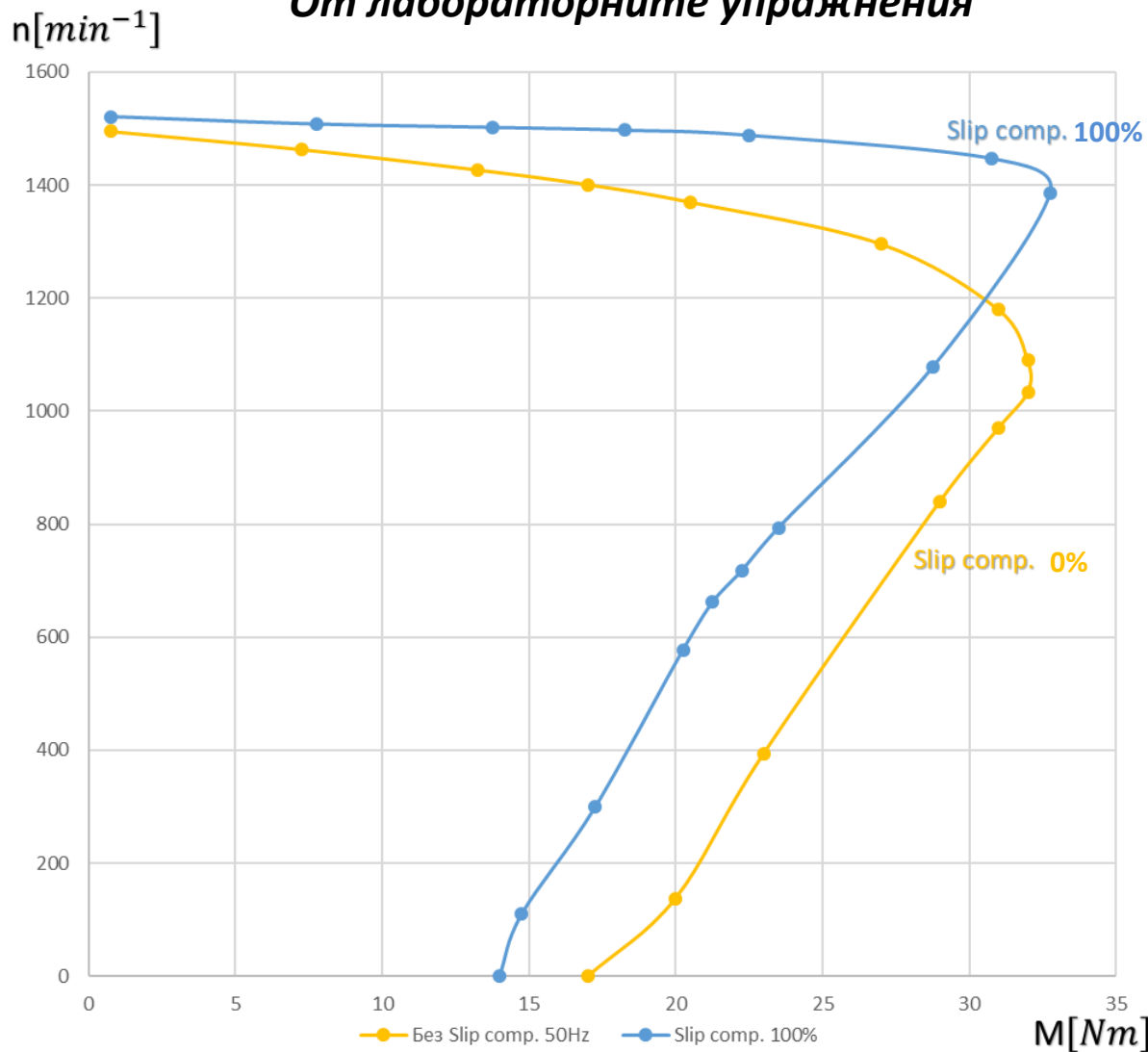


Механични характеристики на АД без обр. връзка при различни зададени честоти

От лабораторните упражнения

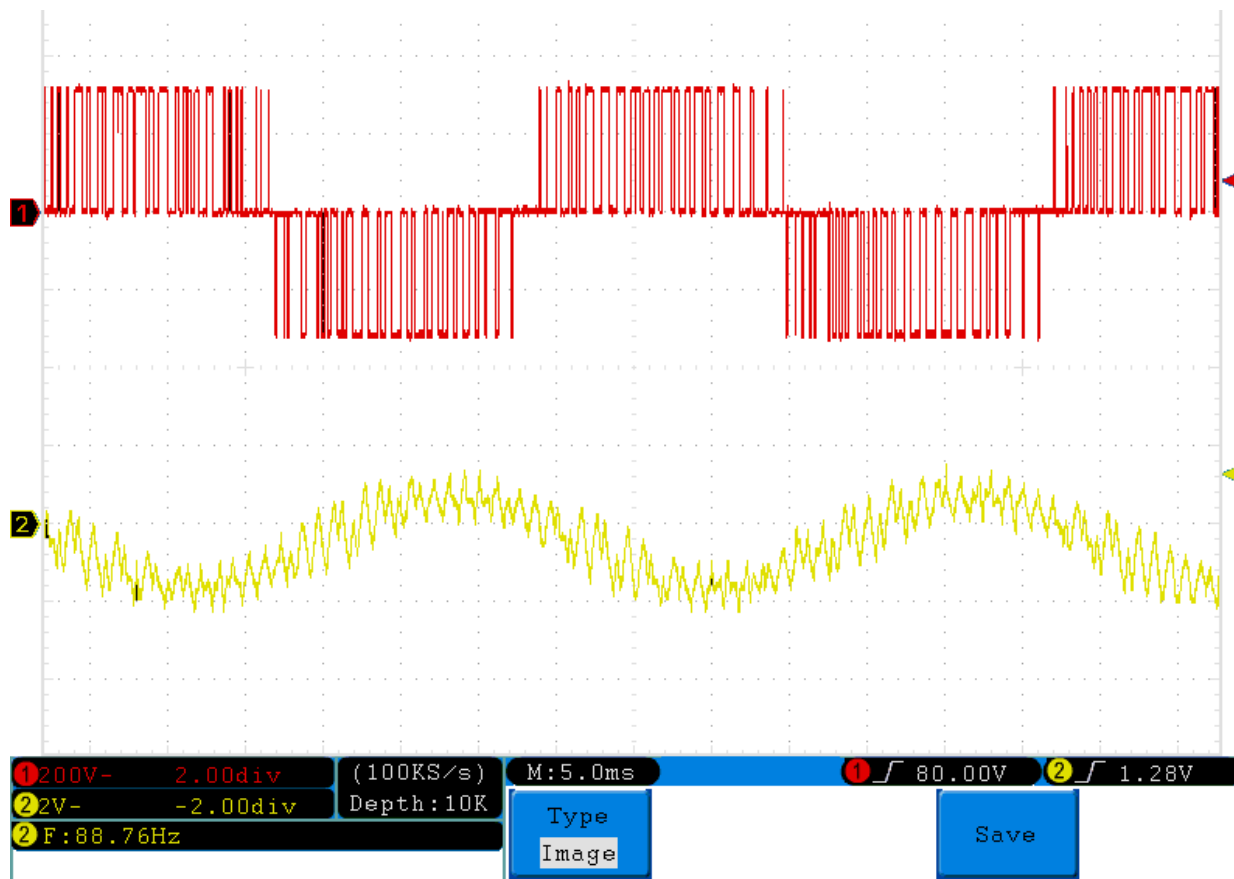


От лабораторните упражнения



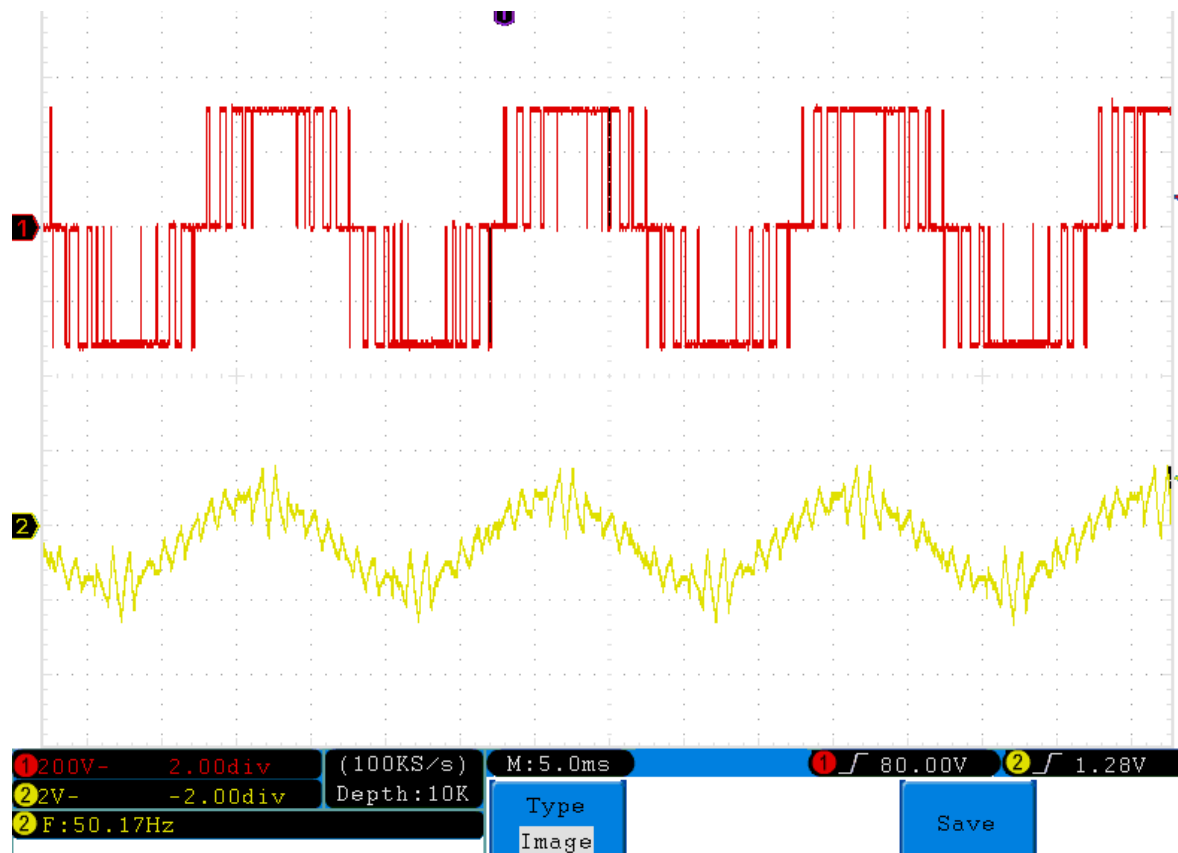
Механични характеристики при различна компенсация на хлъзгането – slip compensation

От лабораторните упражнения



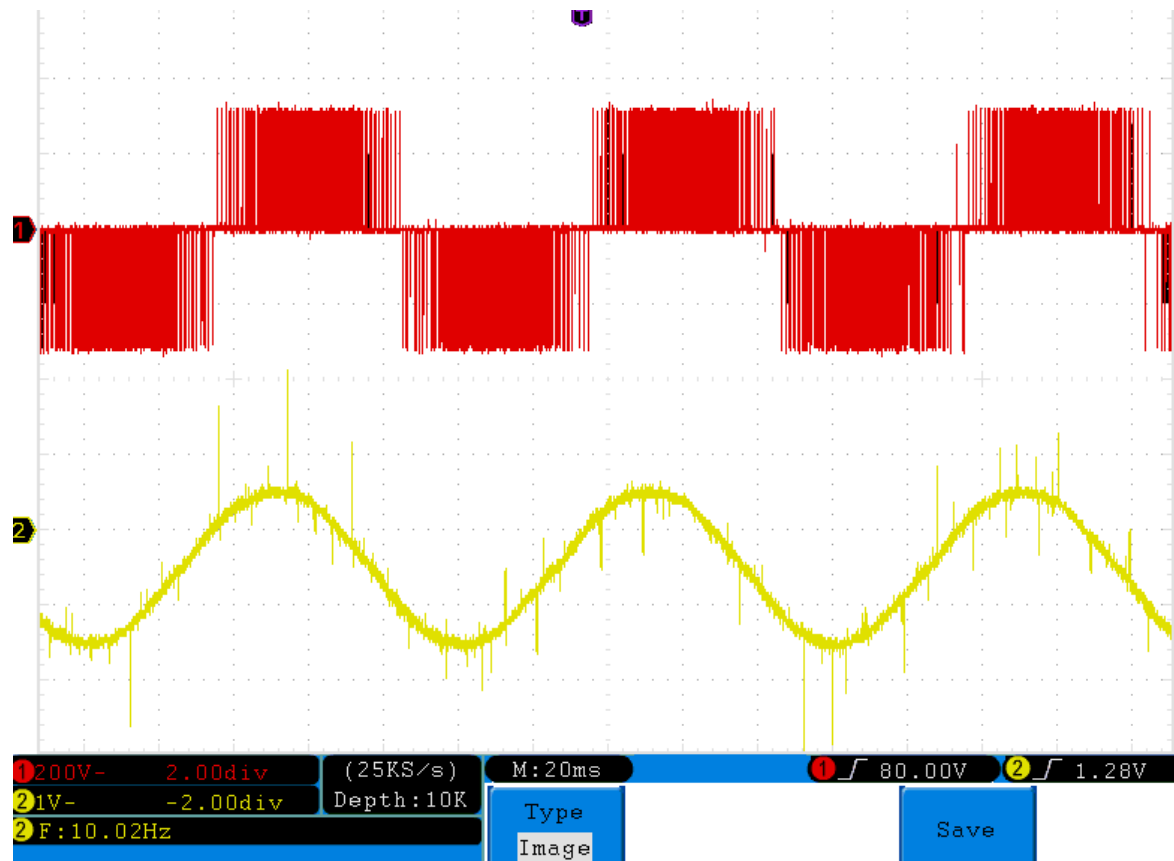
Осцилограми на линейното напрежение и ток при ШИМ 1kHz и
зададена честотат 30 Hz

От лабораторните упражнения



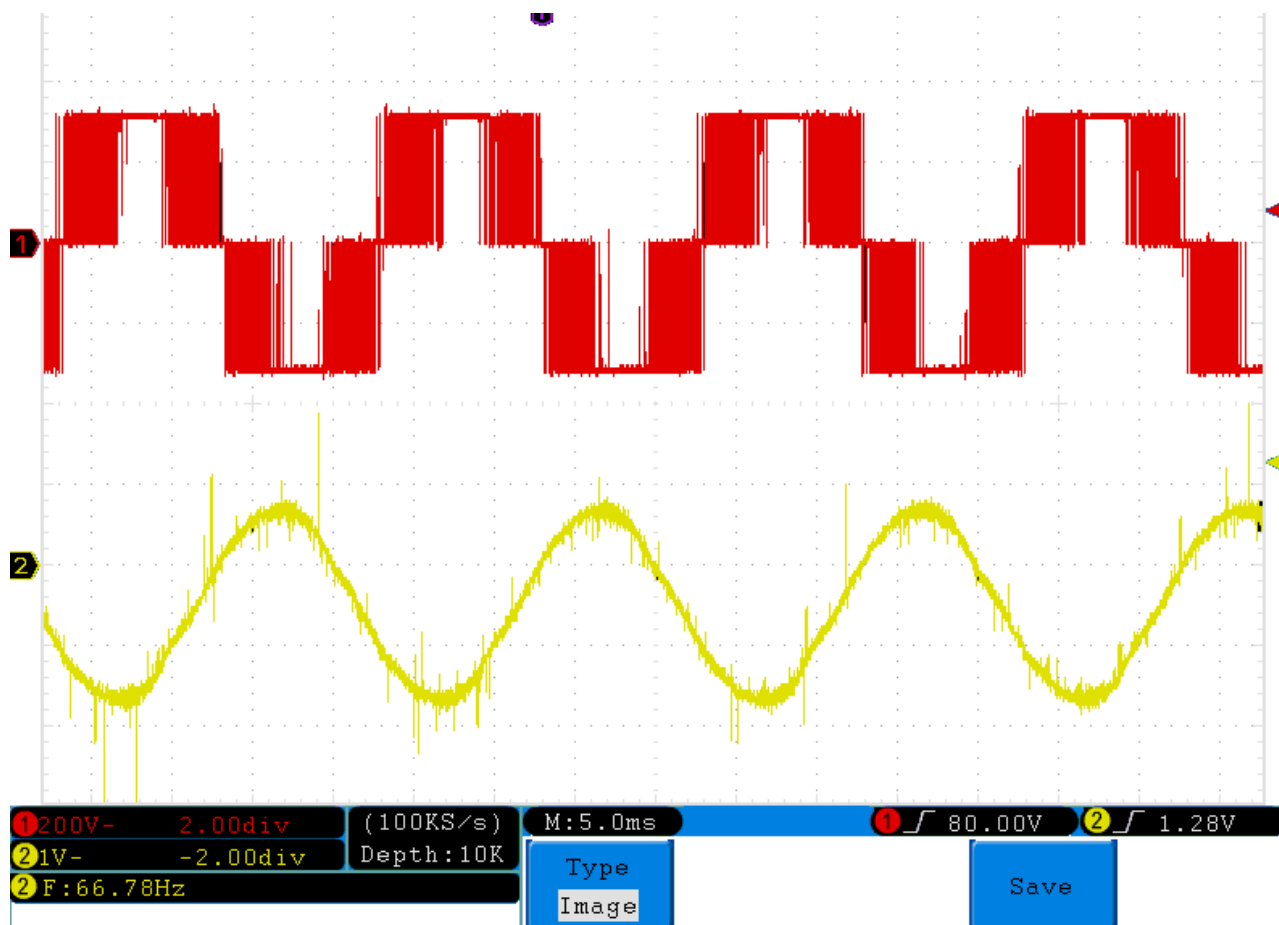
Осцилограми на линейното напрежение и ток при ШИМ 1kHz и
зададена честотат 50 Hz

От лабораторните упражнения



Осцилограми на линейното напрежение и ток при ШИМ 8kHz и
зададена честотат 10 Hz

От лабораторните упражнения



Осцилограми на линейното напрежение и ток при ШИМ 16kHz и зададена честотат 50 Hz

Регулиране чрез промяна на броя на полюсите

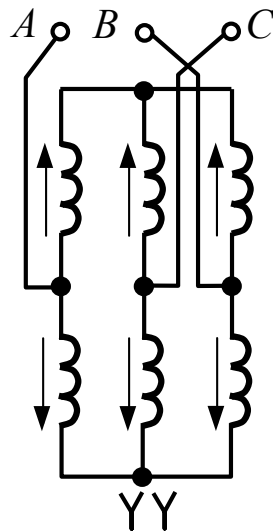
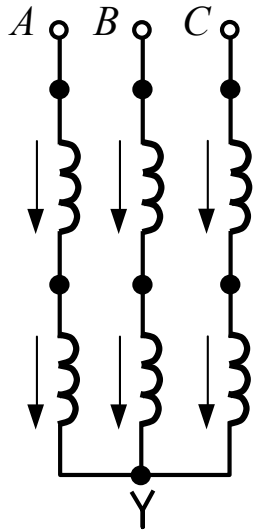


Схема за превключване и механични характеристики при регулиране с постоянен момент

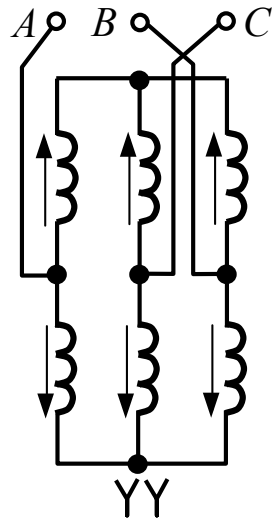
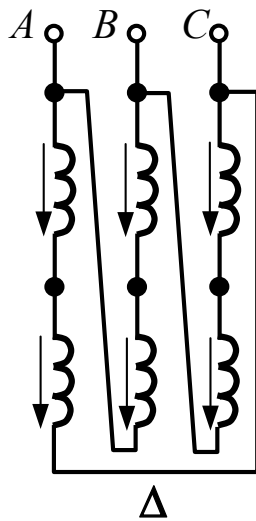
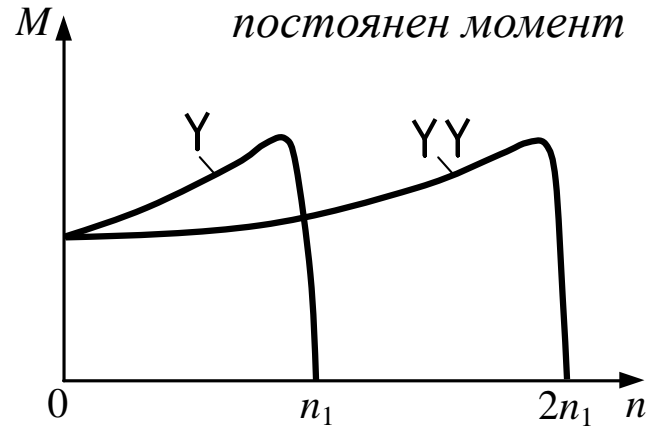
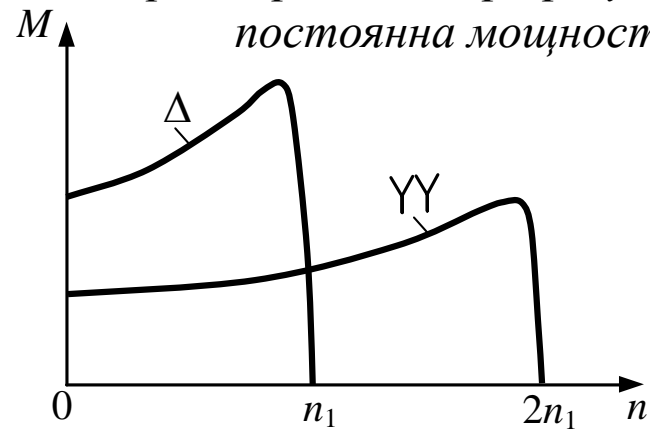
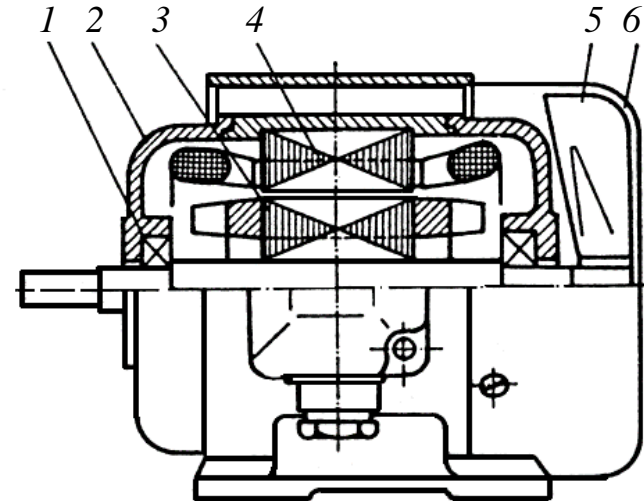
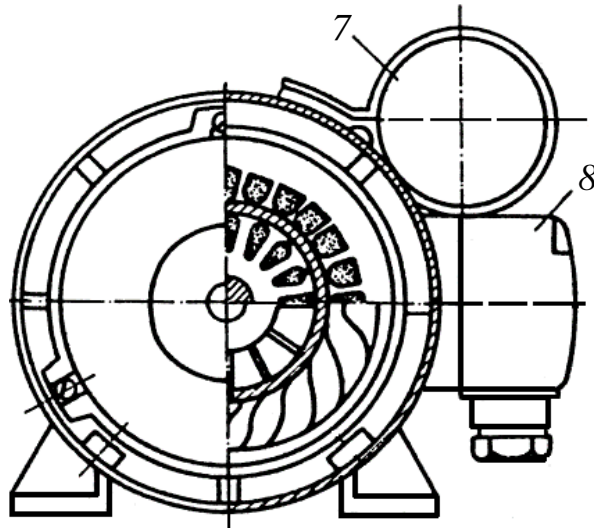


Схема за превключване и механични характеристики при регулиране с постоянна мощност



АСИНХРОННИ МИКРОМАШИНИ

Еднофазни асинхронни двигатели

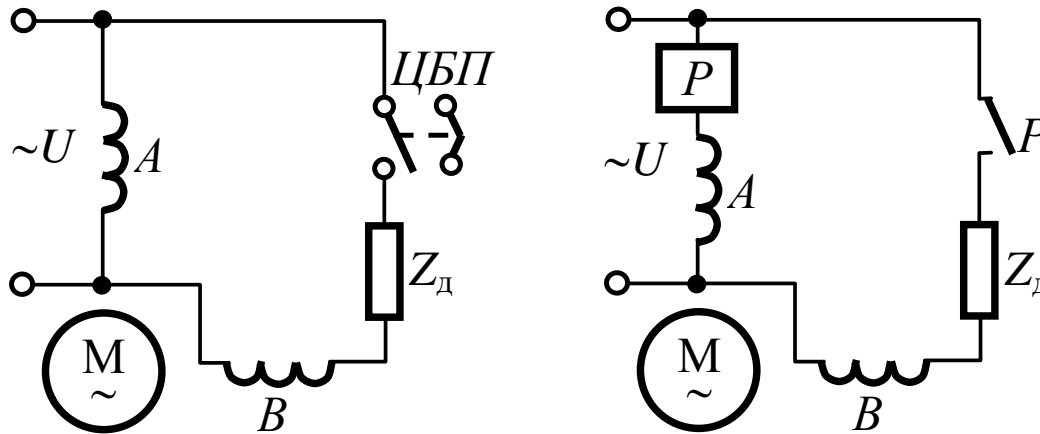


*Еднофазен асинхронен микродвигател:
1 – съчмен лагер; 2 – лагерен щит; 3 –
кафезен ротор;
4 – статор с намотки; 5 – охлаждащ
вентилатор; 6 – пред-
пазен кожух; 7 – дефазиращ кондензатор;
8 – изводна кутия*



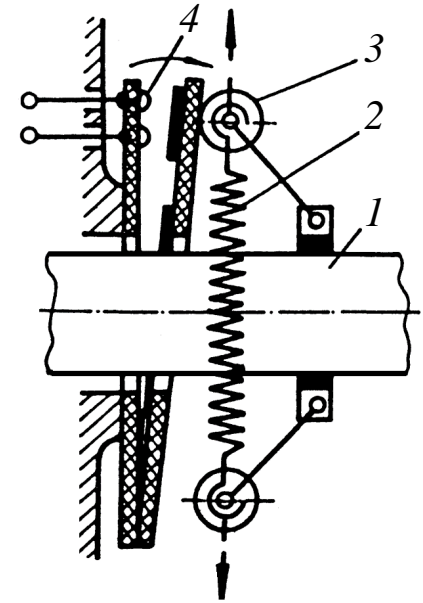
АСИНХРОННИ МИКРОМАШИНИ

Еднофазни асинхронни двигатели

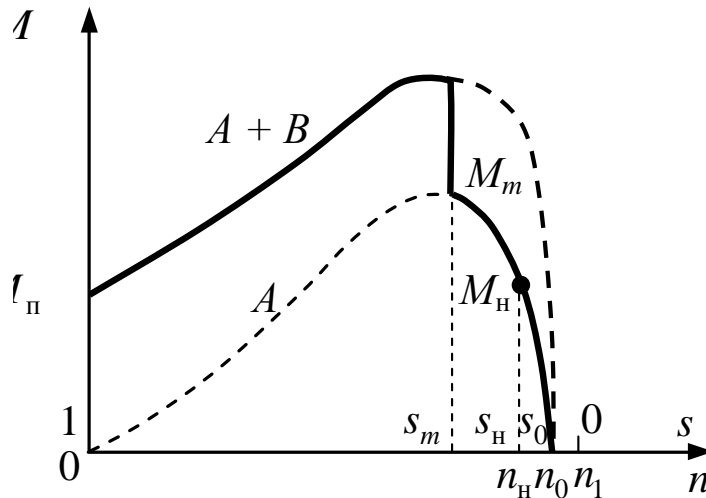


а – с центробежен прекъсвач б – с токово реле

Схеми на еднофазен двигател с изключваем дефазиращ елемент



Центробежен прекъсвач

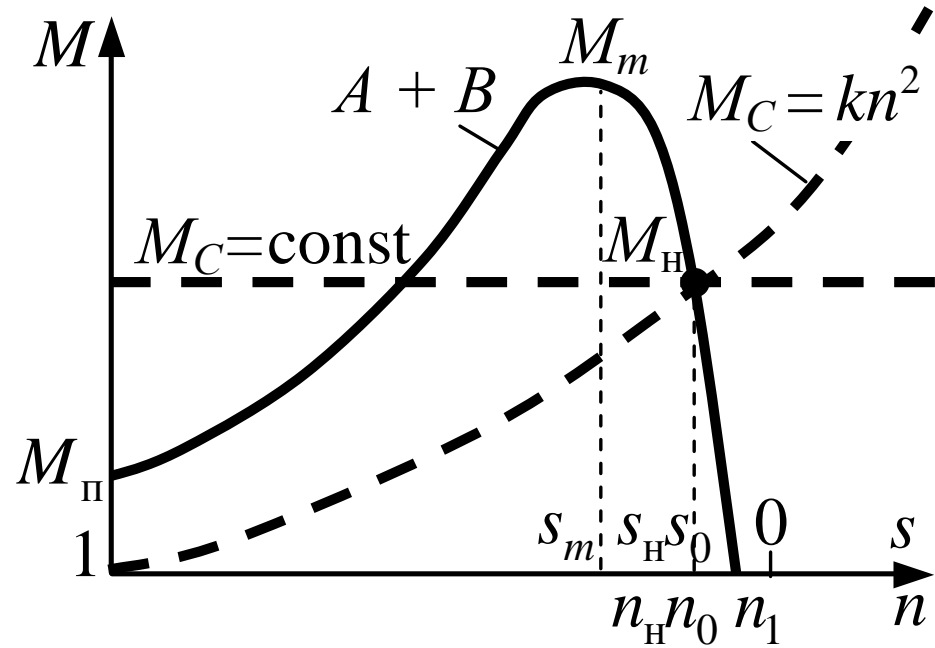
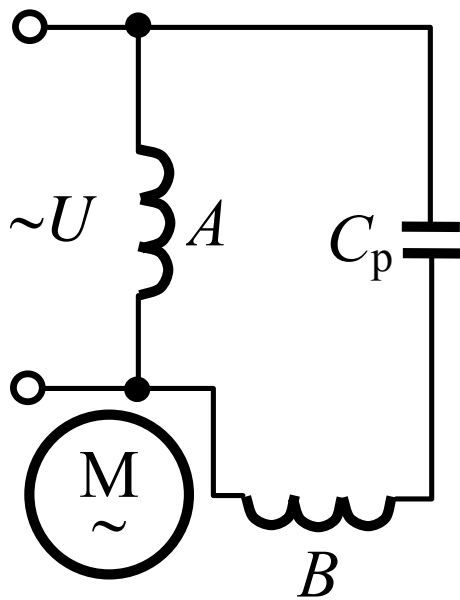


Механична характеристика на еднофазен двигател с пускова намотка

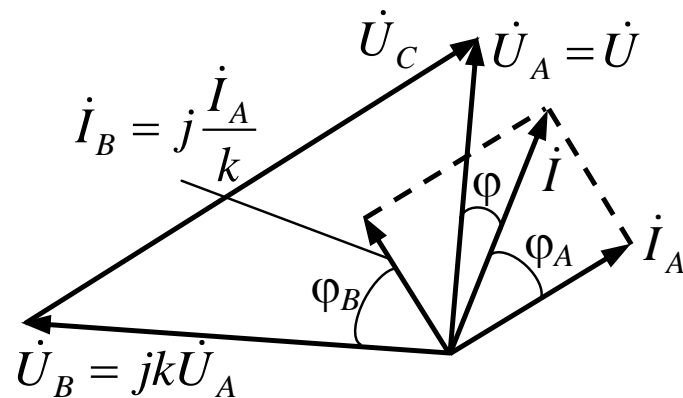
АСИНХРОННИ МИКРОМАШИНИ

Еднофазни асинхронни двигатели

Схема и механична характеристика на еднофазен двигател с работен кондензатор



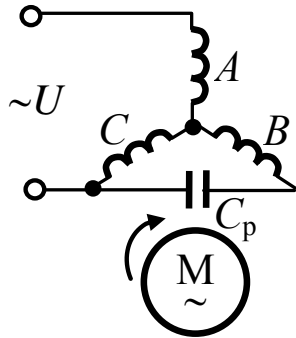
Векторна диаграма на еднофазен двигател с работен кондензатор



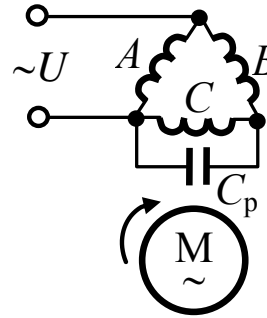
АСИНХРОННИ МИКРОМАШИНИ

Еднофазни асинхронни двигатели

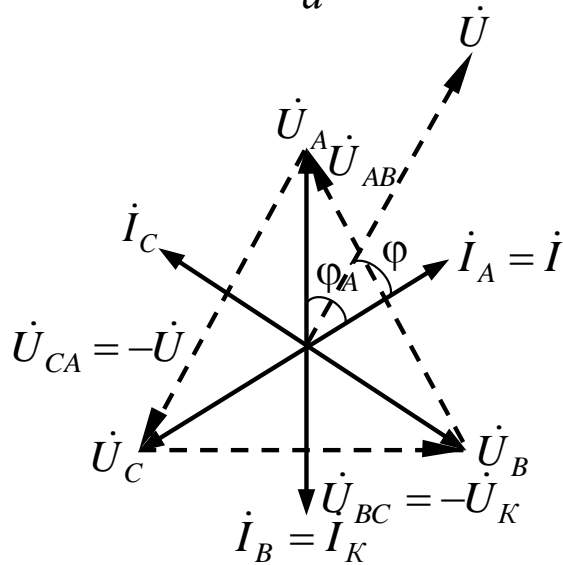
Трифазен двигател с работен кондензатор



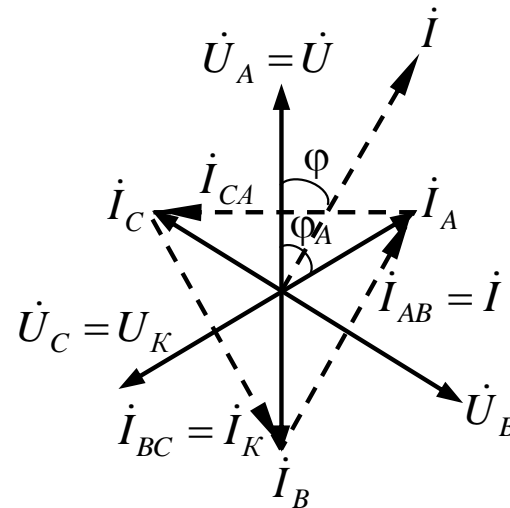
a



b



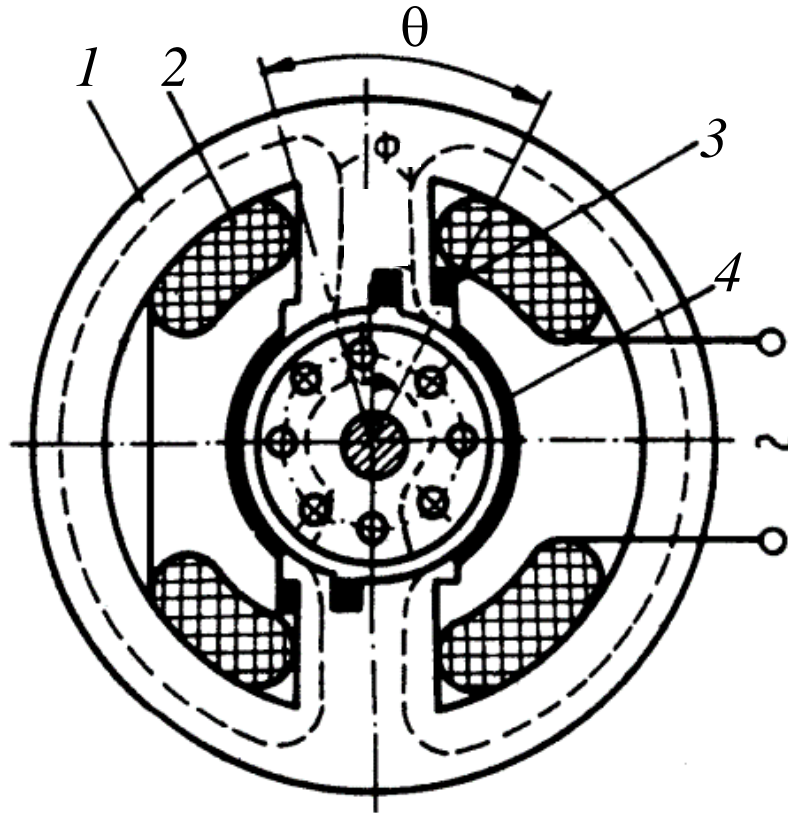
б



г

АСИНХРОННИ МИКРОМАШИНИ

Еднофазни асинхронни двигатели с екранирани полюси



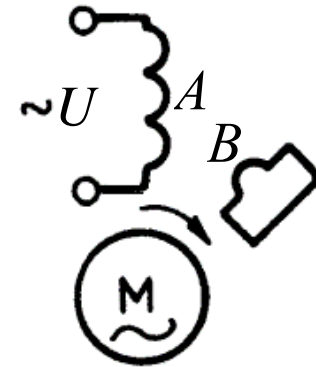
Еднофазен двигател с екранирани полюси:

1 – магнитопровод;

2 – статорна намотка;

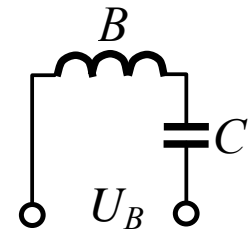
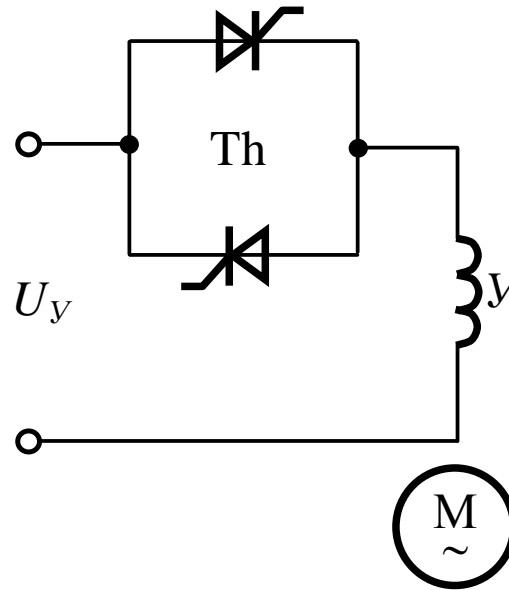
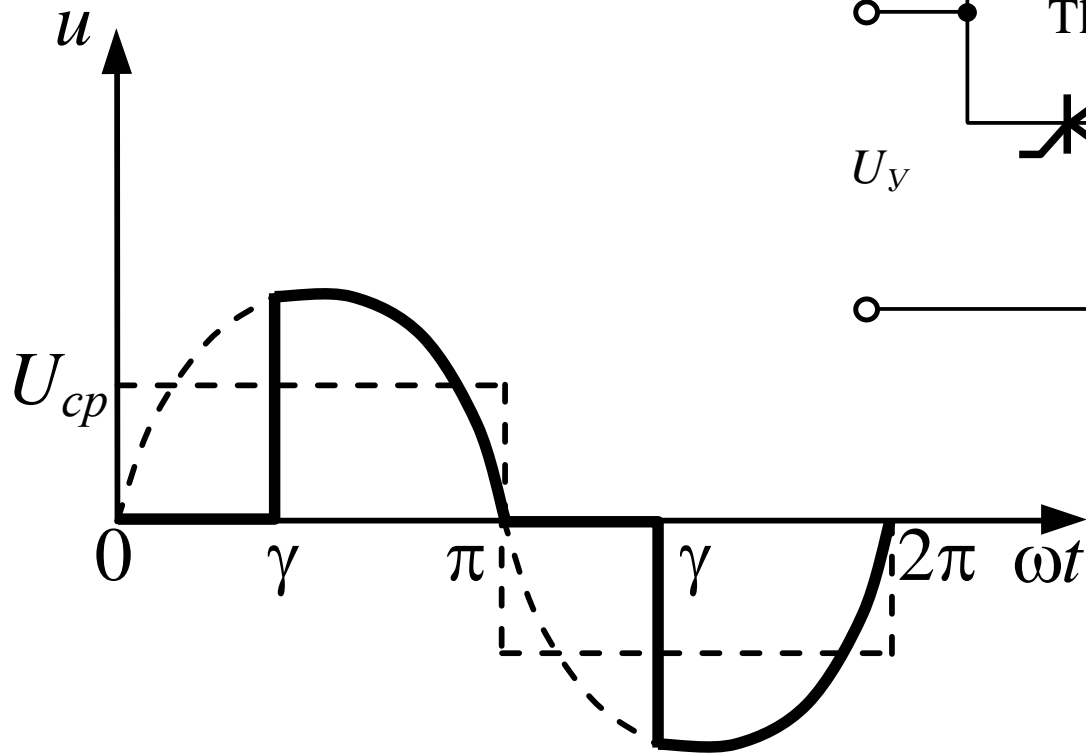
3 – екранираща намотка;

4 – магнитен шунт



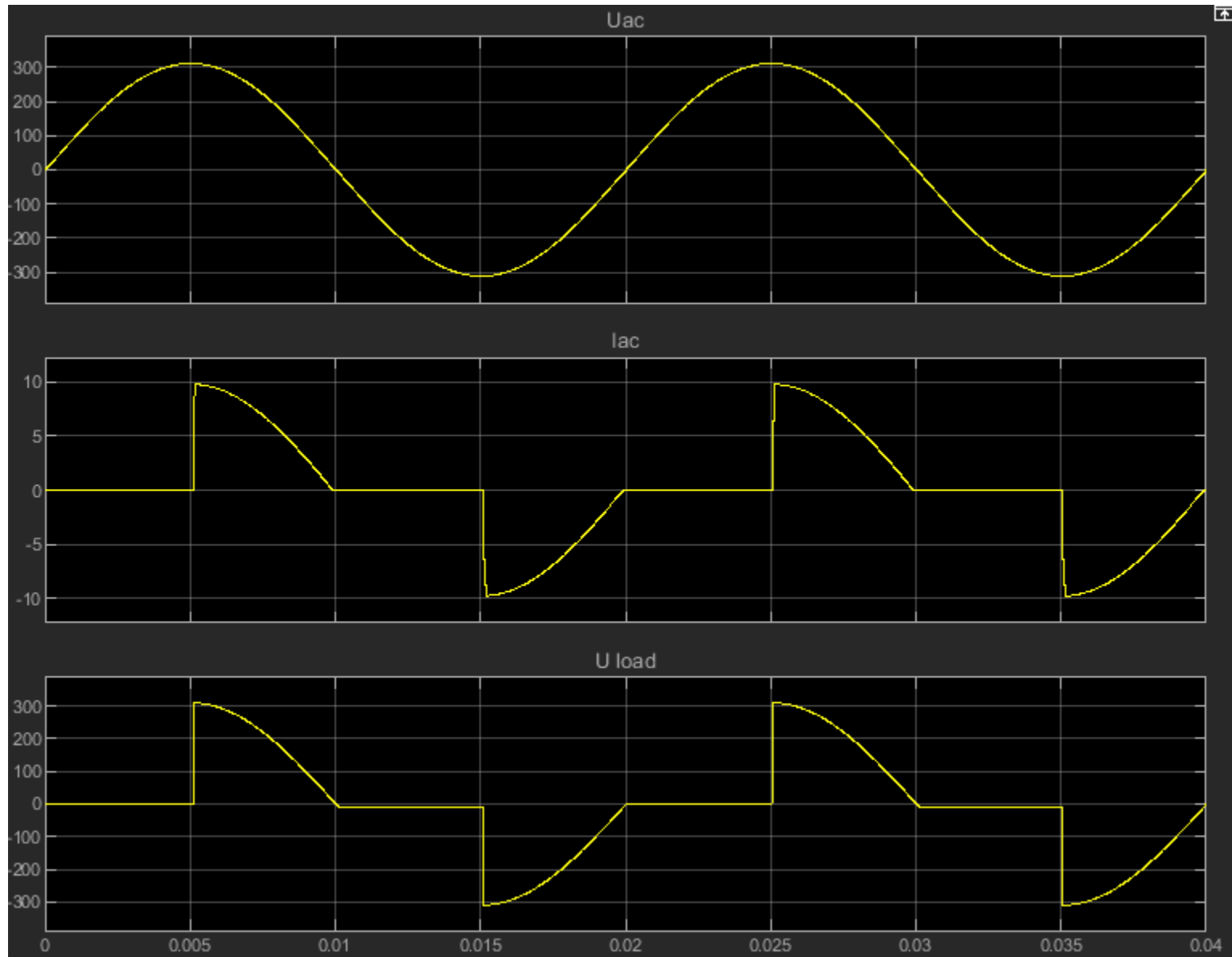
АСИНХРОННИ МИКРОМАШИНИ

Еднофазни асинхронни двигатели с тиристорно управление



АСИНХРОННИ МИКРОМАШИНИ

Еднофазни асинхронни двигатели с тиристорно управление



АСИНХРОННИ МИКРОМАШИНИ

Еднофазни асинхронни двигатели с тиристорно управление

