



*Βιομηχανική Ηλεκτρονική 5<sup>ου</sup> Εξαμήνου*

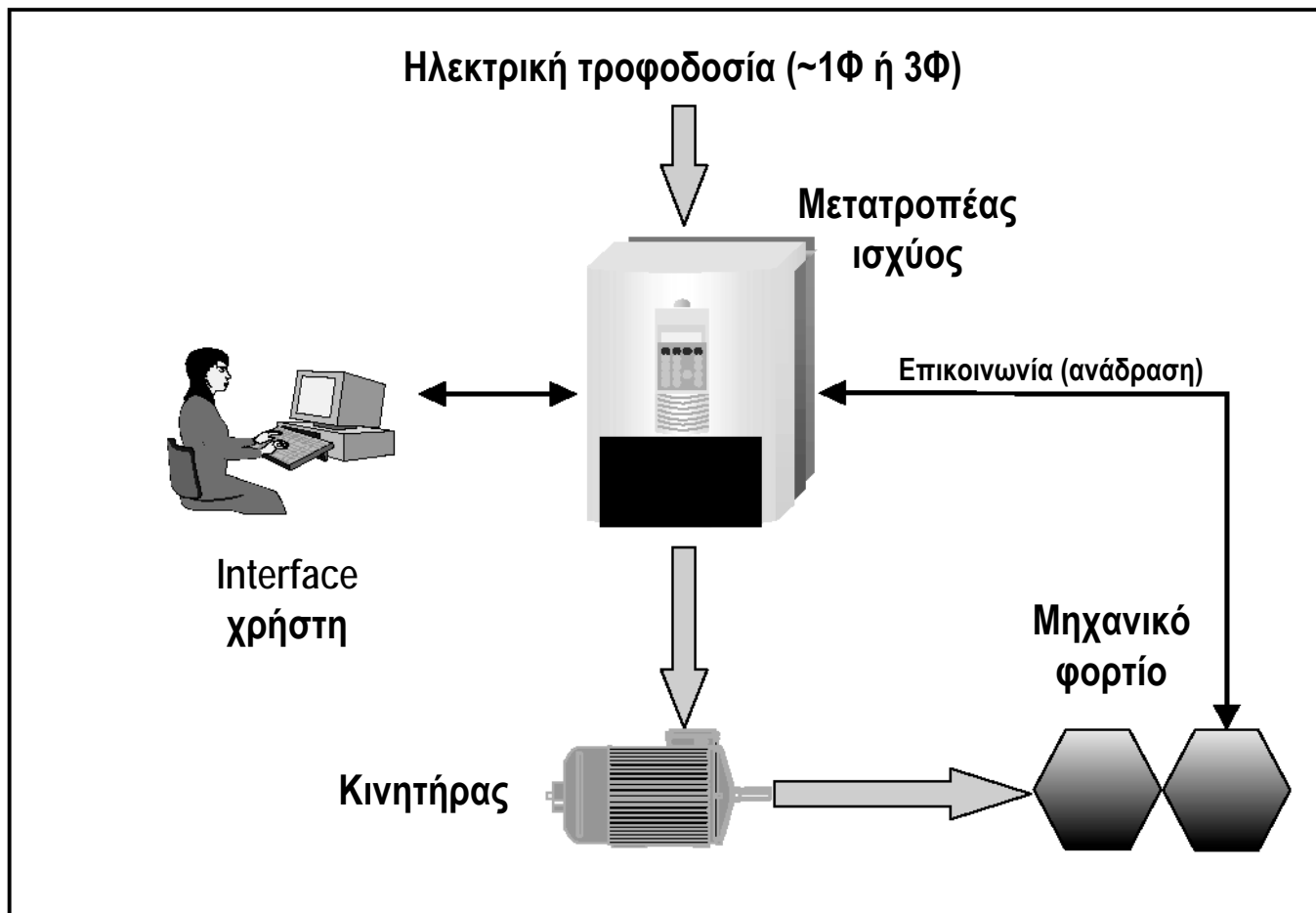
# Συστήματα Ηλεκτρικής Κίνησης ΕΡ



*Στ. Παπαθανασίου*  
*Καθ. ΕΜΠ*

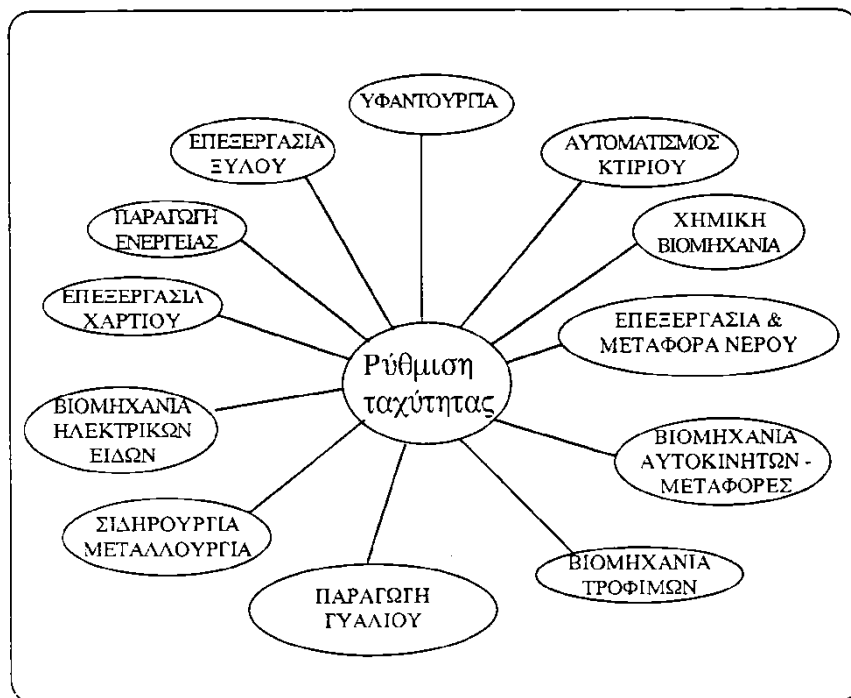


# Βασικές συνιστώσες συστήματος ηλεκτρικής κίνησης



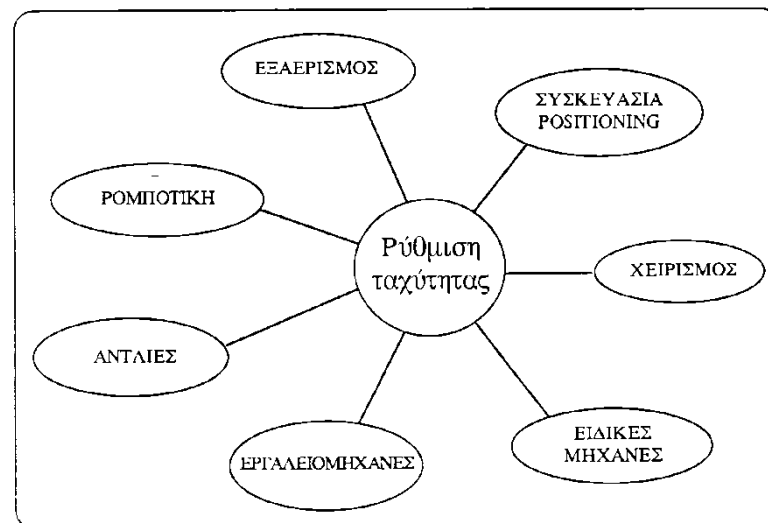


# Εφαρμογές των Συστημάτων Ηλεκτρικής Κίνησης



*Τομείς της βιομηχανίας*

*Είδη εφαρμογών*





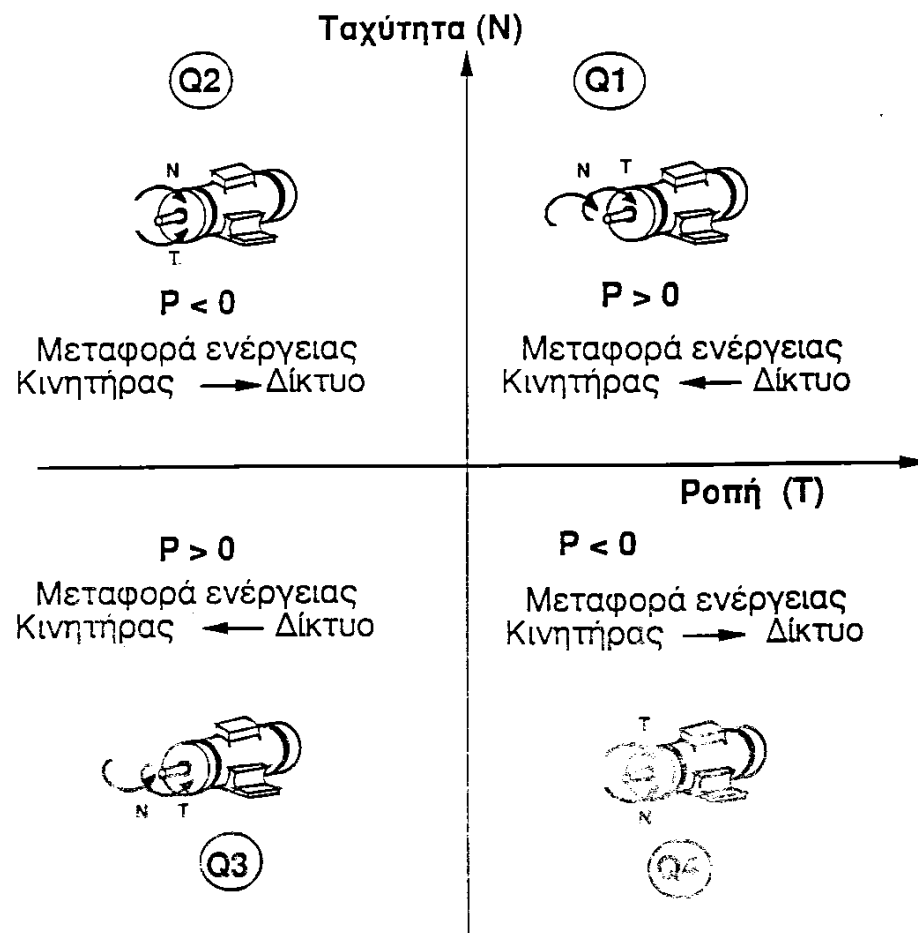
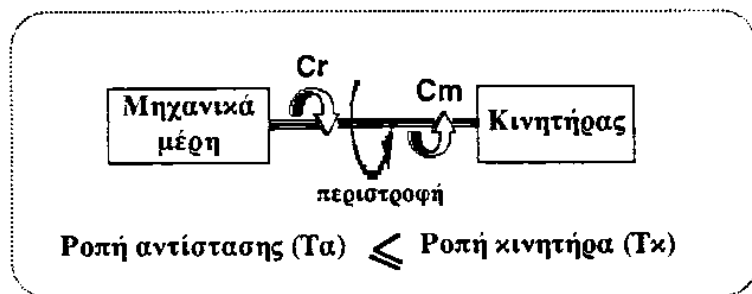
## Βασικά πλεονεκτήματα

- Έλεγχος και δυνατότητα μεταβολής της ταχύτητας του φορτίου
- Δυνατότητα ελέγχου της θέσης του φορτίου
- Άμεσος έλεγχος της ροπής του κινητήρα (προστασία φορτίου, προσαρμογή σε ιδιαίτερες απαιτήσεις λειτουργίας)
- Δυνατότητα ομαλής εκκίνησης (μικρό ρεύμα εκκίνησης, χαμηλή καταπόνηση του φορτίου)
- Εξοικονόμηση ενέργειας
- Δυνατότητα αυτοματοποίησης (έλεγχος από απόσταση, ρύθμιση παραμέτρων λειτουργίας)
- Περιορισμός/κατάργηση μηχανικών συστημάτων ελέγχου και ρύθμισης



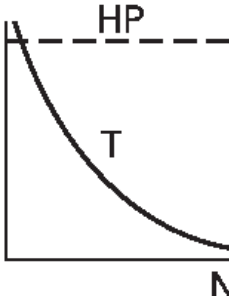
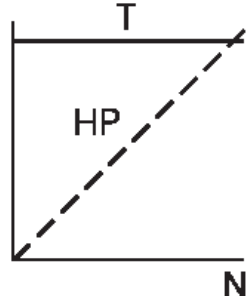
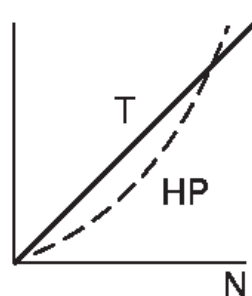
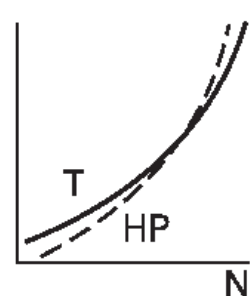
## Τα 4 τεταρτημόρια στο επίπεδο T-ω

### Βασική κατάσταση λειτουργίας





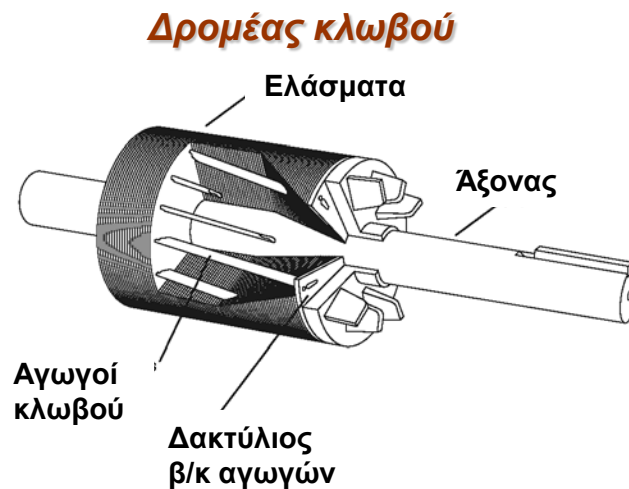
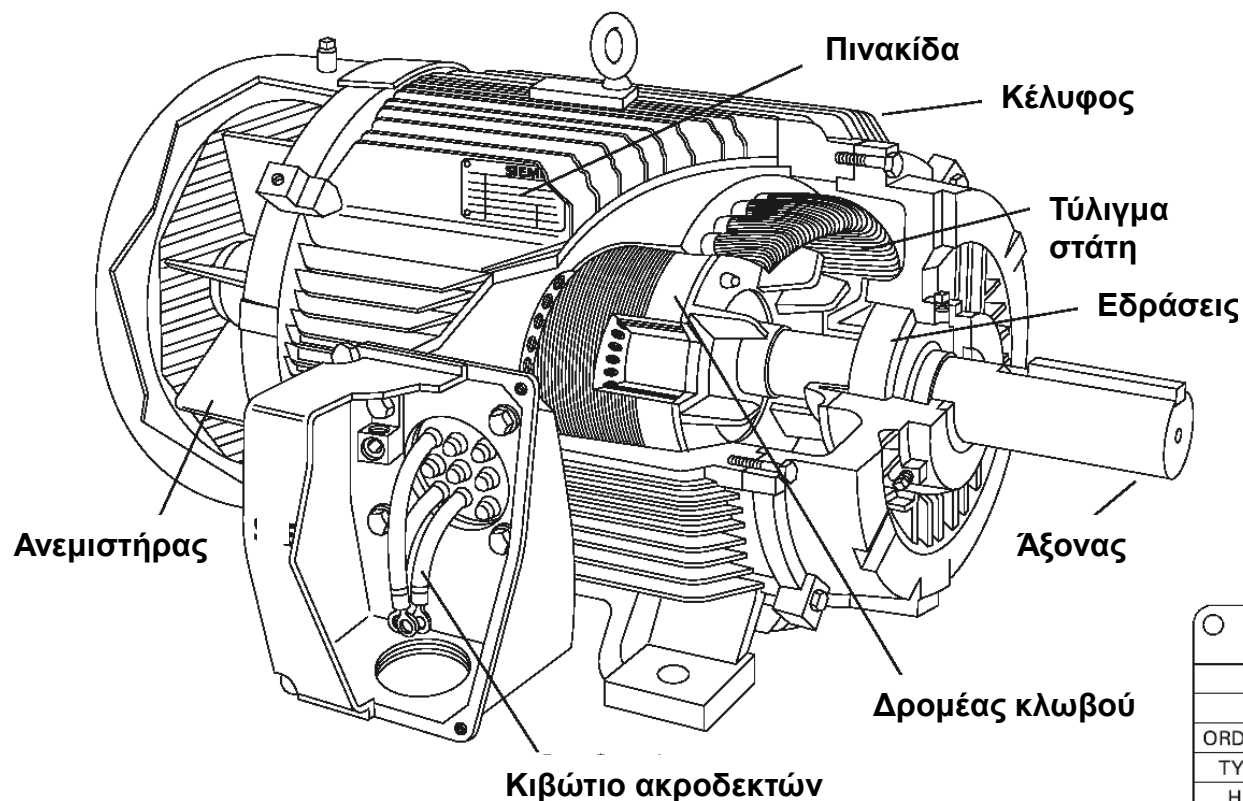
## Χαρακτηριστικές ροπές και ισχύος του φορτίου

$T \approx \frac{1}{N}$	$T = \text{Σταθερή}$	$T \approx N$	$T \approx N^2$
HP = Σταθερή	HP $\approx N$	HP $\approx N^2$	HP $\approx N^3$
			
<ul style="list-style-type: none"><li>•Περιελκτικές μηχανές</li><li>•Τόρνοι</li><li>•Κοπτικά εργαλεία</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>•Ανυψωτικά</li><li>•Μεταφορικές ταινίες</li><li>•Εργαλειομηχανές</li><li>•Κυλιόμενοι μύλοι</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>•Πρέσες (ορισμένοι τύποι)</li><li>•Πέδες διανορρευσμάτων</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>•Αντλίες</li><li>•Ανεμιστήρες</li><li>•Φυγοκεντριστές</li></ul>

$$T[Nm] = 9550 \times \frac{P[kW]}{n[1/min]}$$



# Ο κινητήρας επαγωγής

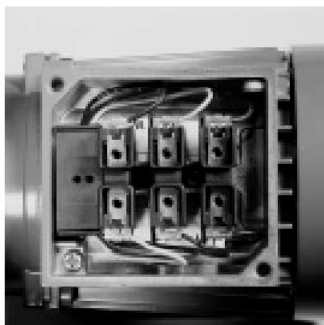


## Πινακίδα κινητήρα επαγωγής

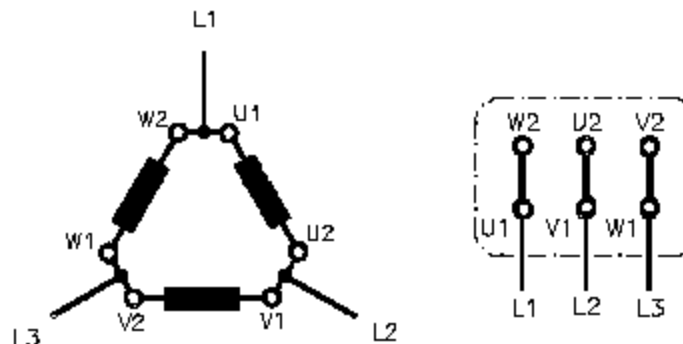
ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΗΣ									
PE●21 PLUSTM					PREMIUM EFFICIENCY				
MILL AND CHEMICAL DUTY QUALITY INDUCTION MOTOR									
ORD.NO.	51-502-033				DATE CODE	017			
TYPE	RG Z ESD				FRAME	284T			
H.P.	25				SERVICE FACTOR	1.15			
AMPS.	56.8/28.4				VOLTS	230/460			
R.P.M.	1750				HERTZ	60			
DUTY	CONT.				40° C AMB.			3 PH	
CLASS	F	NEMA Design	B	K.V.A. CODE	G	NEMA INOM/EFF	93.0		
SH. END BRG.	50BC03JPP3				OPP. END BRG.	458C02JPP3			
Siemens Energy & Automation, Inc. Little Rock, AR							MADE IN USA		

# Βασικές συνδεσμολογίες

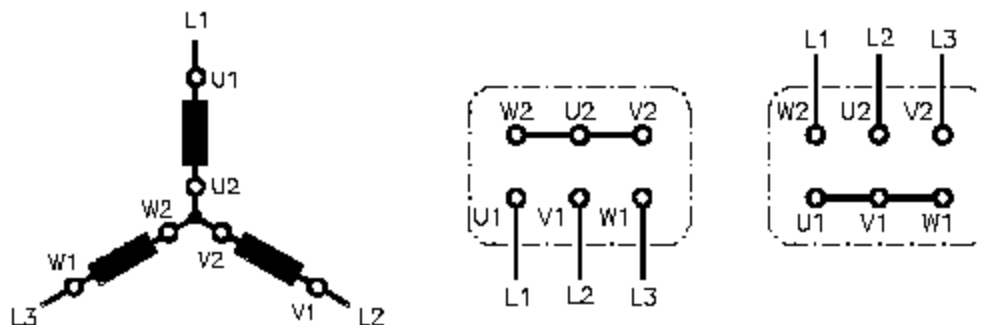
## Κιβώτιο ακροδεκτών



## Συνδεσμολογία τριγώνου



## Συνδεσμολογία αστέρα



## Βασικές σχέσεις:

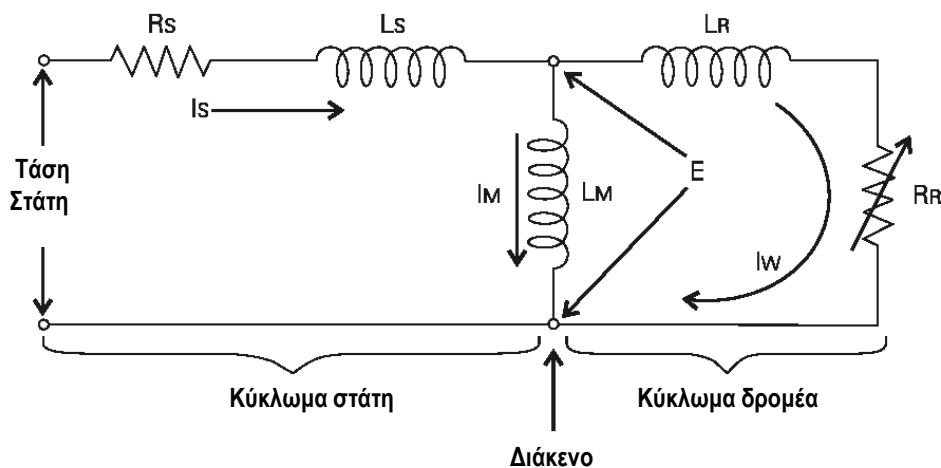
$$V_Y = \frac{V_{\Delta}}{\sqrt{3}} \quad \Phi_Y = \frac{\Phi_{\Delta}}{\sqrt{3}} \quad I_Y = \frac{I_{\Delta}}{3} \quad T_Y = \frac{T_{\Delta}}{3}$$





# Χαρακτηριστικές του κινητήρα επαγωγής

## Ισοδύναμο κύκλωμα



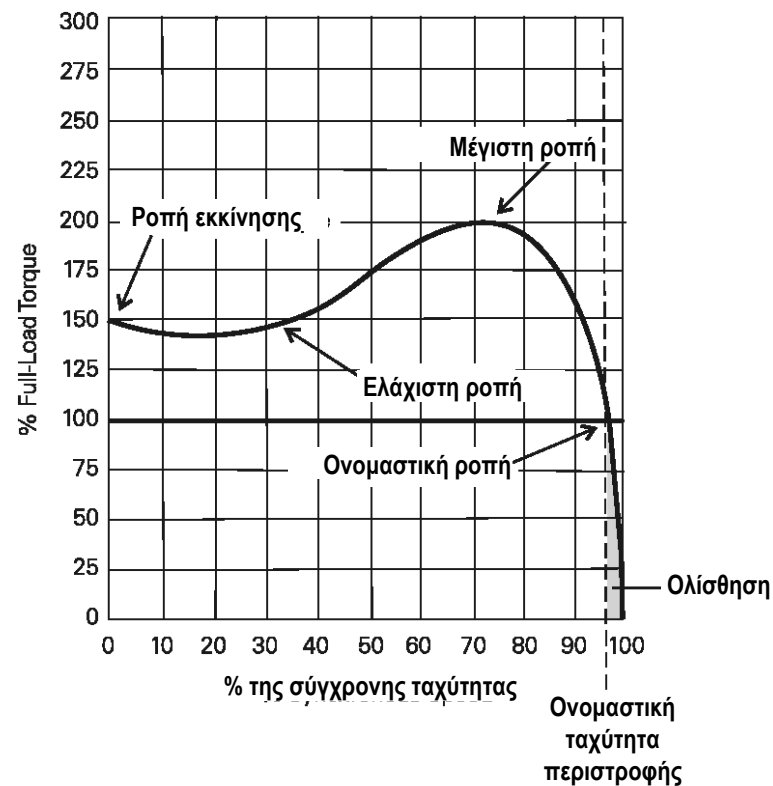
Ρεύμα στάτη:  $I_S = \sqrt{I_M^2 + I_W^2}$

Μαγνητική ροή στο διάκενο:  $\Phi \sim I_M = \frac{E}{2\pi f L_M} \Rightarrow \Phi \sim \frac{E}{f} \approx \frac{V}{f}$

Ηλεκτρομαγνητική ροπή:  $T \sim \Phi I_W$

Μέγιστη ροπή:  $T_{\max} \sim \Phi^2$

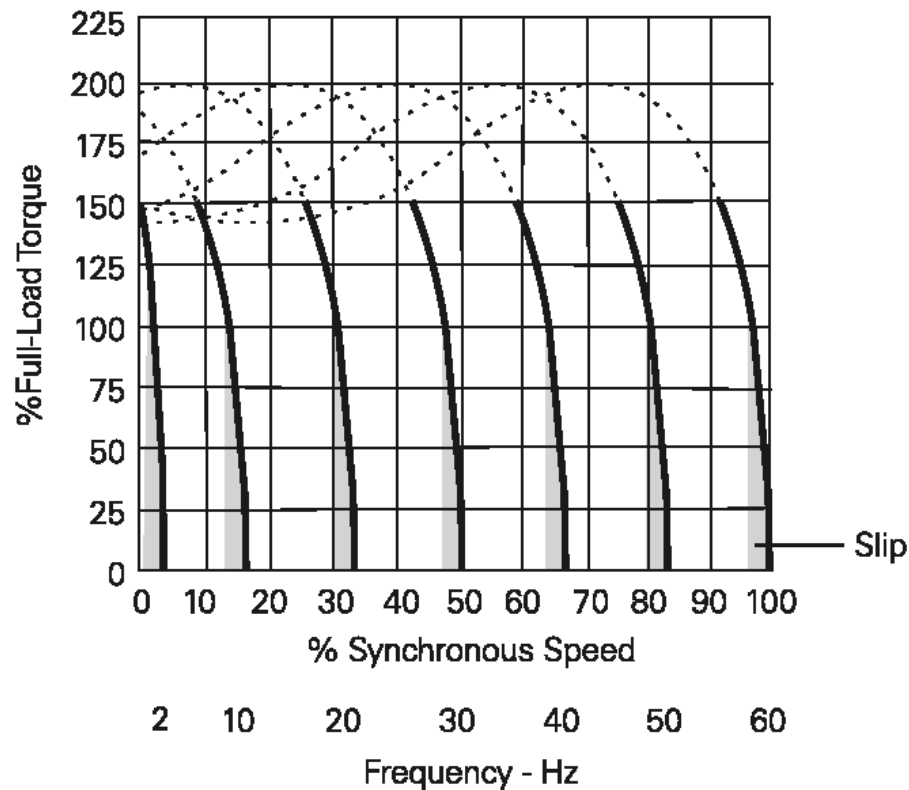
## Χαρακτηριστική ροπής-στροφών



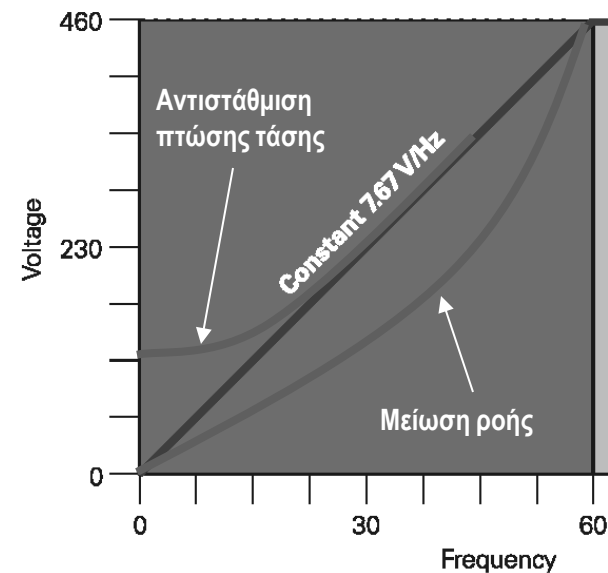


# Έλεγχος σταθερού λόγου V/f

## Χαρακτηριστικές T-ω του κινητήρα



## Χαρακτηριστική ελέγχου V-f



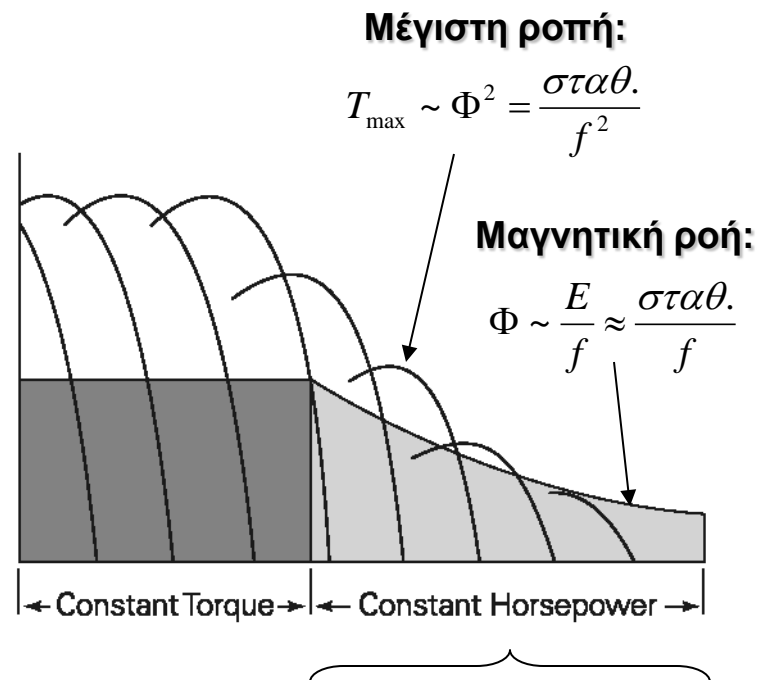
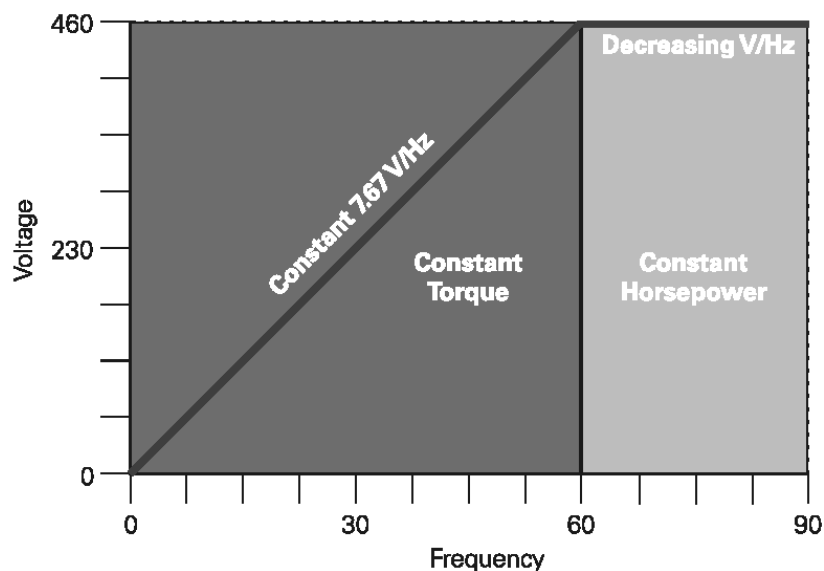
Μαγνητική ροή στο διάκενο:  $\Phi \sim \frac{E}{f} \approx \frac{V}{f} = \text{σταθ.}$

Μέγιστη ροπή:  $T_{\max} \sim \Phi^2 = \text{σταθ.}$



# Εξασθένηση πεδίου (field weakening)

**Χαρακτηριστική V-f  
σε ταχύτητες/συχνότητες > ονομαστικής**

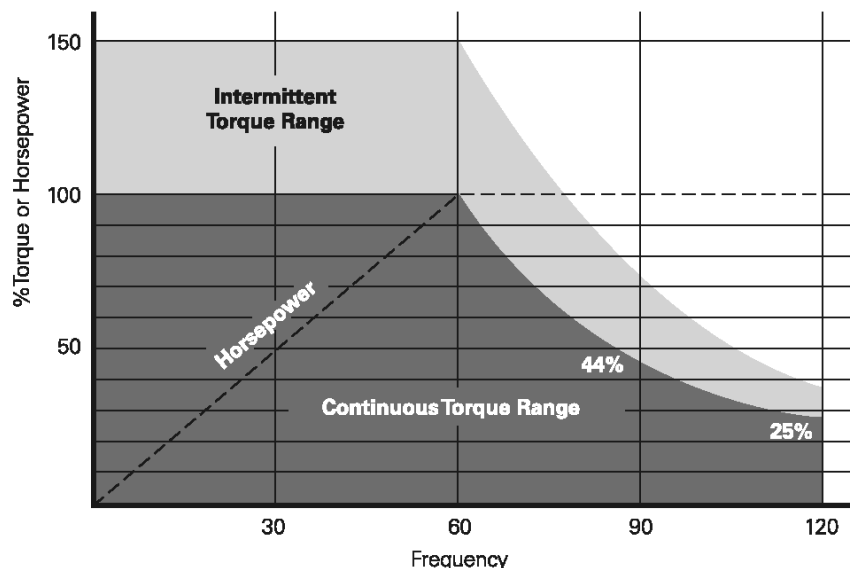


**Ροπή φορτίου ( $I_w = \sigma \theta$ ):** 
$$T \sim \Phi = \frac{\sigma \theta}{f}$$

**Ισχύς φορτίου:** 
$$P = T\omega = \sigma \theta.$$



# Επιλογή κινητήρα



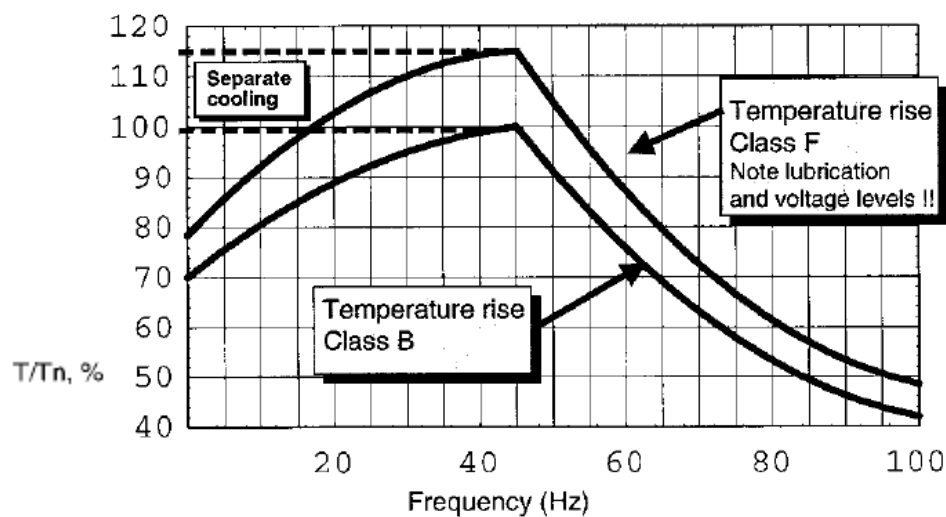
## Μέγιστη ταχύτητα

Frame size	Speed r/min
63-100	6000
112-200	4500
225-280	3600
315, 2-pole	3600
315, other pole numbers	3000
355, 400 2-pole	3600
355, 400 other pole numbers	2500

## Σημαντικοί παράγοντες

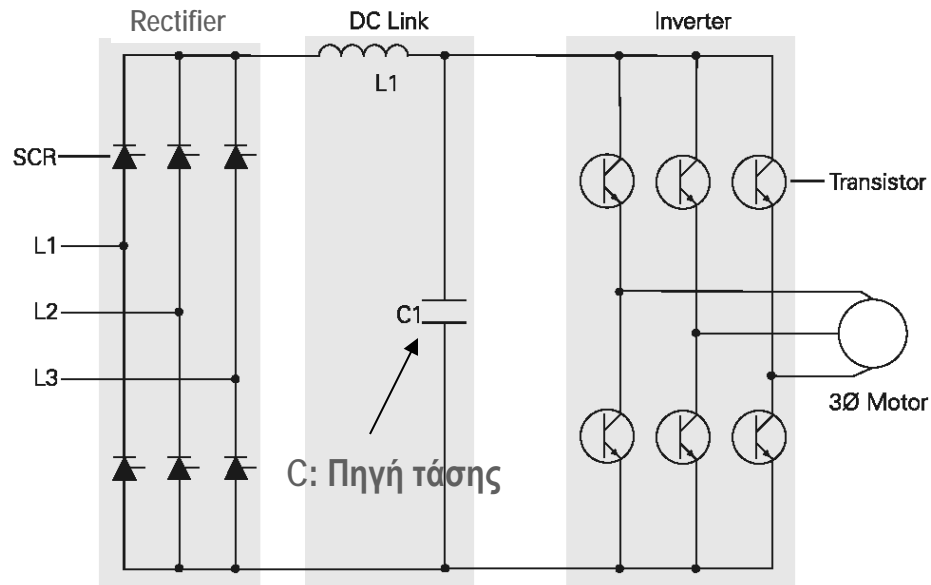
- Ψύξη στις χαμηλές ταχύτητες
- Κλάση μόνωσης τυλίγματος
- Δυνατότητα υπερτάχυνσης
- Μέγιστο ρεύμα μετατροπέα (~150%  $I_n$ )

## Ψύξη και κλάση μόνωσης τυλίγματος



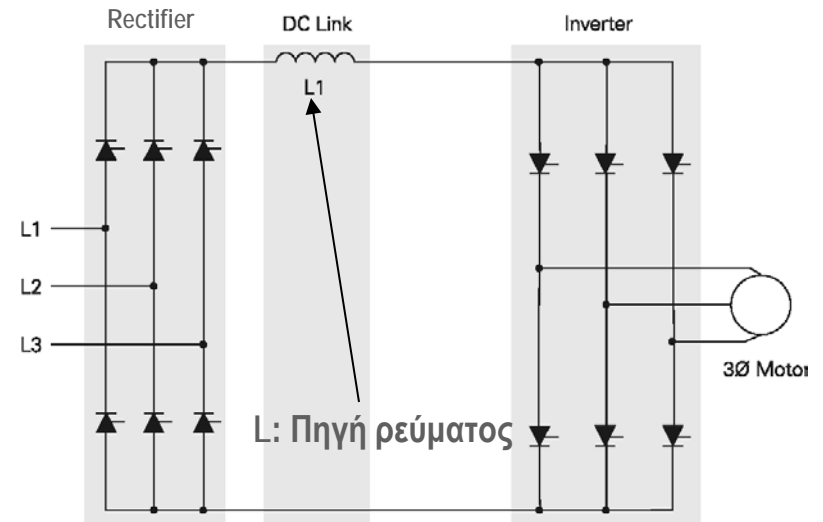


# Μετατροπείς ισχύος συστημάτων κίνησης ΕΡ



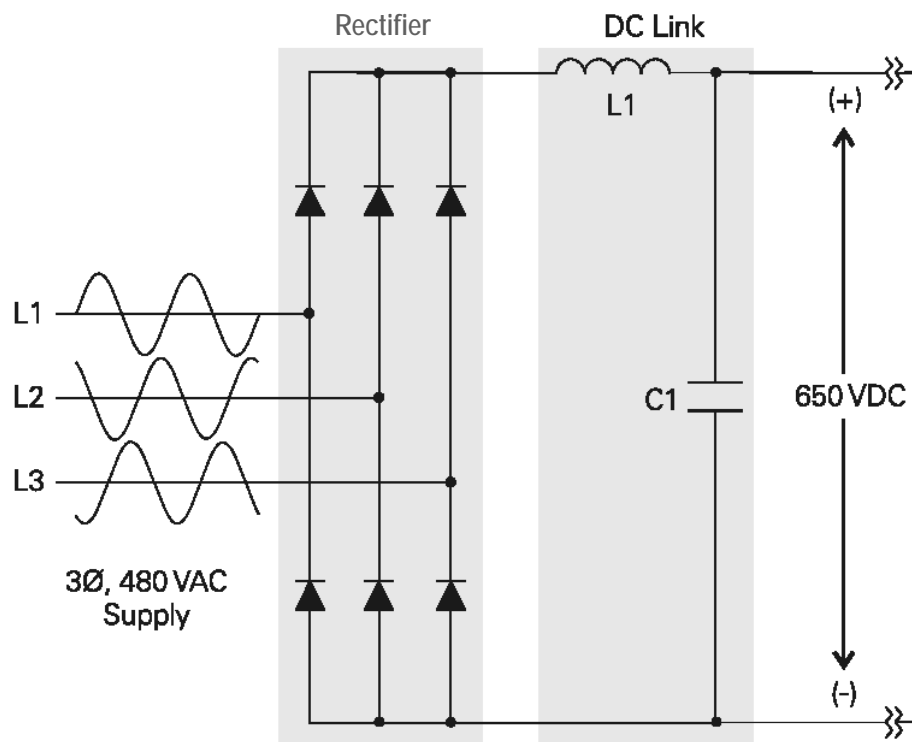
**Αντιστροφέας Πηγής Τάσης**  
(κύρια τεχνολογία των σύγχρονων συστημάτων)

**Αντιστροφέας Πηγής Ρεύματος**  
(δεν χρησιμοποιείται πλέον σε νέα συστήματα)



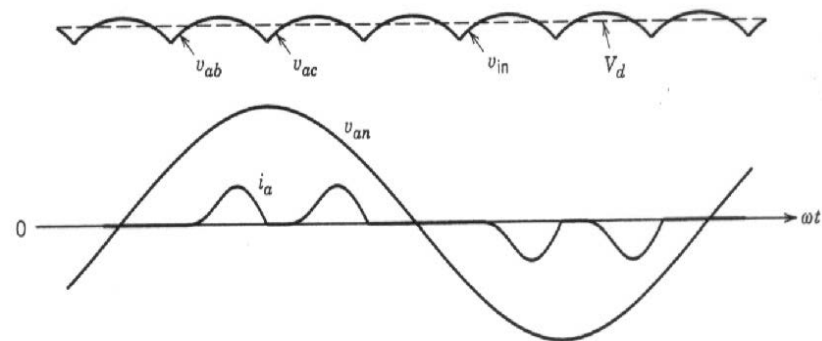


# Βαθμίδα ανόρθωσης ΕΡ/ΣΡ



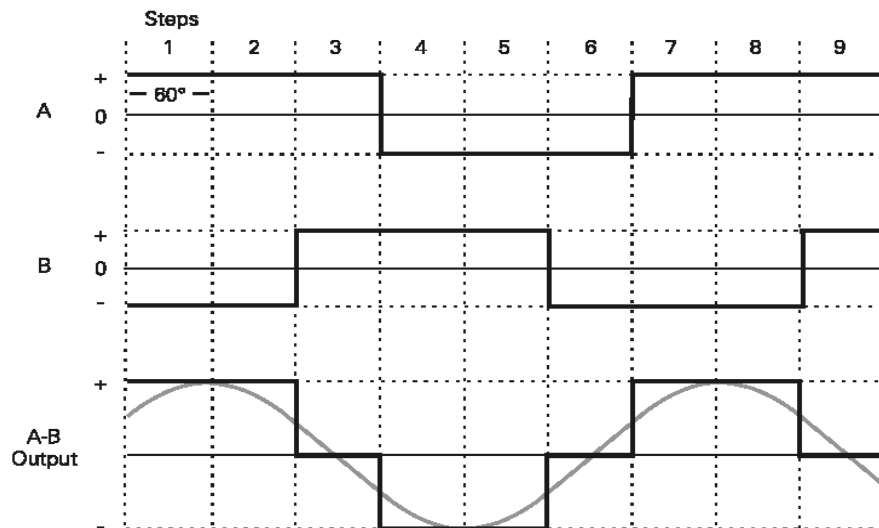
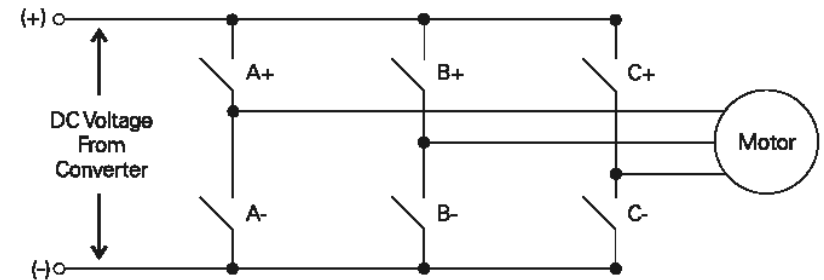
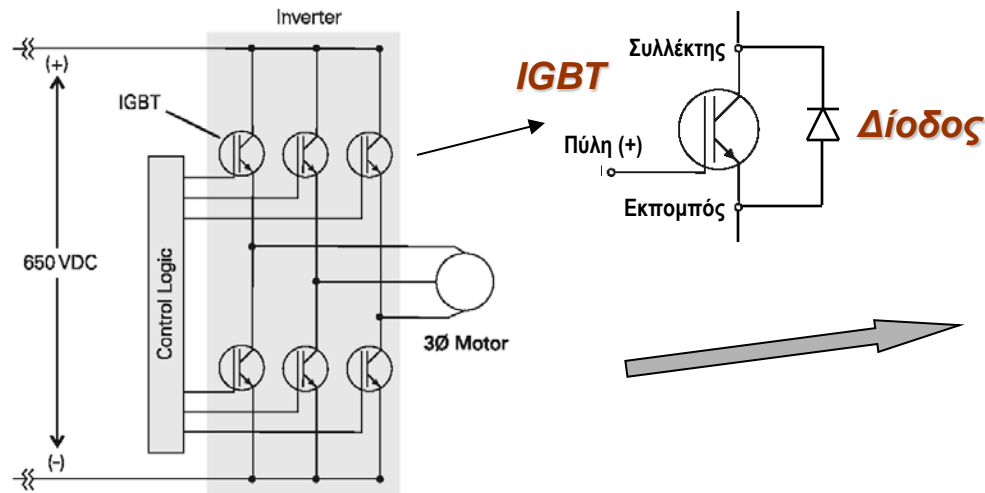
$$V_d \cong \frac{3\sqrt{2}}{\pi} V_{LL}^{rms} = 1.35 V_{LL}^{rms}$$

**Ενδεικτικές κυματομορφές**





# Βαθμίδα αντιστροφής ΣΡ/ΕΡ



## Λειτουργία τετραγωνικού παλμού

$$V_{LL}^{rms} = \frac{\sqrt{6}}{\pi} V_d \approx 0.78 V_d$$

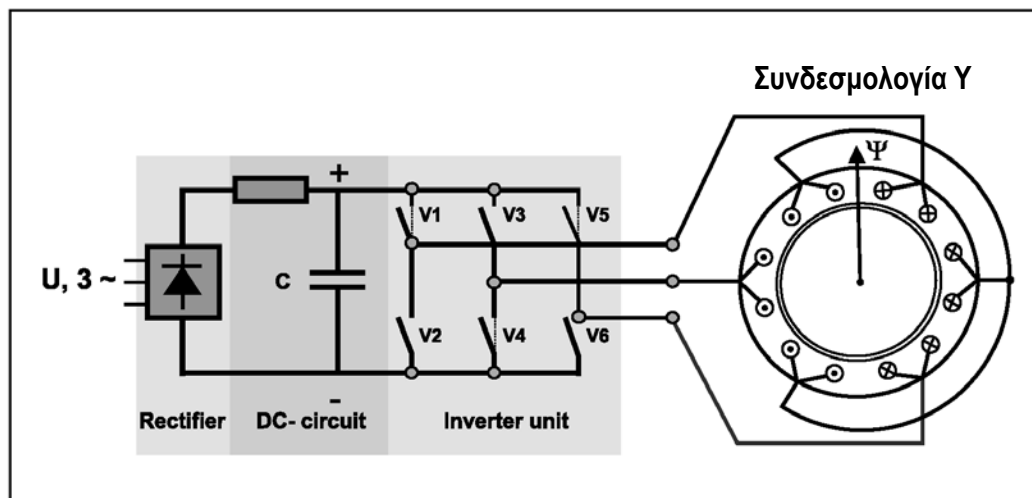
Ρεύμα γραμμής κινητήρα



Μεγάλη αρμονική παραμόρφωση σε χαμηλές συχνότητες (κυρίως 5ης, 7ης, 11ης και 13ης τάξης)

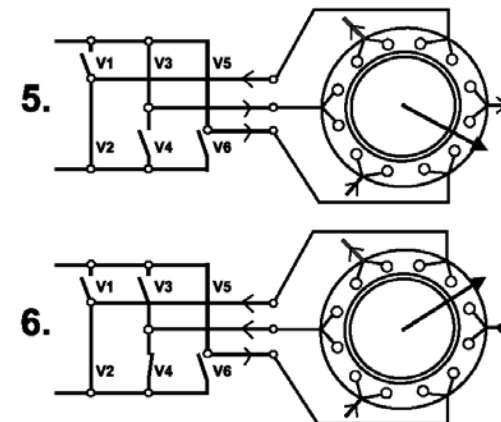
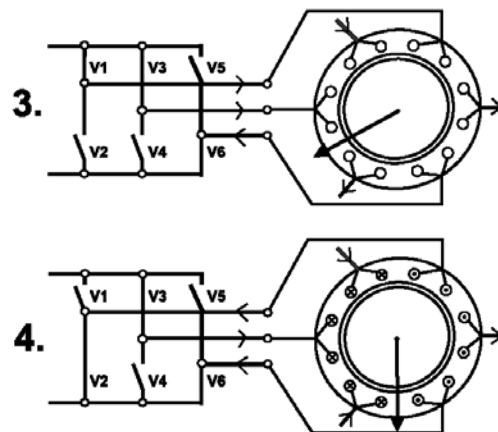
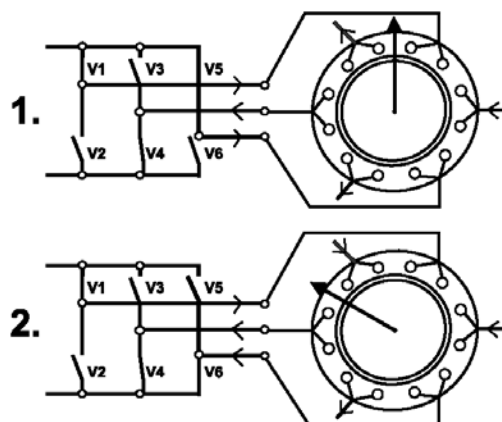


# Οδήγηση του κινητήρα επαγωγής



## Διακοπτικές καταστάσεις

- 6 βασικοί συνδυασμοί κατάστασης των διακοπών
- Αντιστοιχούν σε διαδοχικές θέσεις του στρεφόμενου μαγνητικού πεδίου
- Διαδοχική εμφάνισή τους σε κάθε κύκλο της τάσης τροφοδοσίας



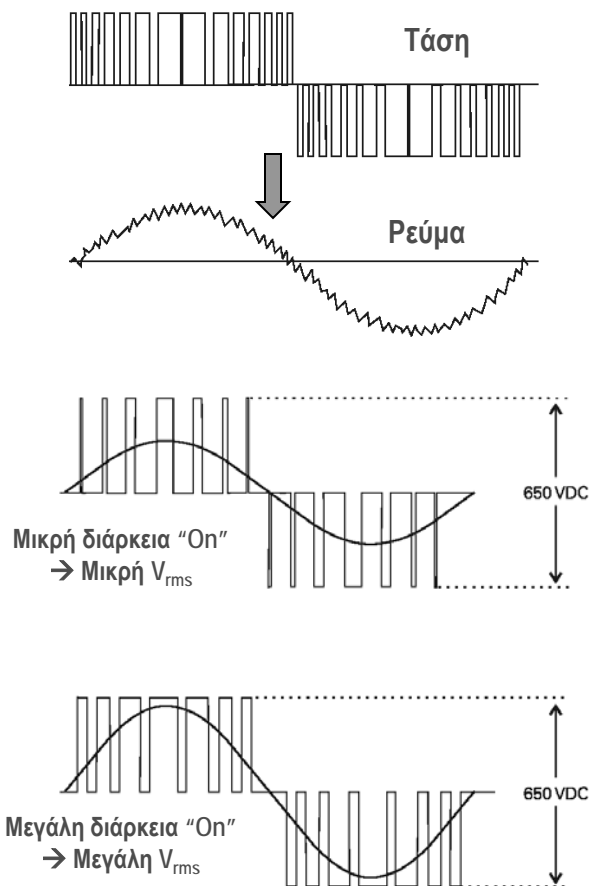




# Διαμόρφωση Εύρους Παλμών

## Pulse Width Modulation (PWM)

### Τυπικές κυματομορφές και αρχή ελέγχου



$$m_f = \frac{f_r}{f_c} \quad m_a = \frac{\hat{V}_r}{\hat{V}_c}$$

Γραμμική περιοχή ( $0 \leq m_a \leq 1$ ):

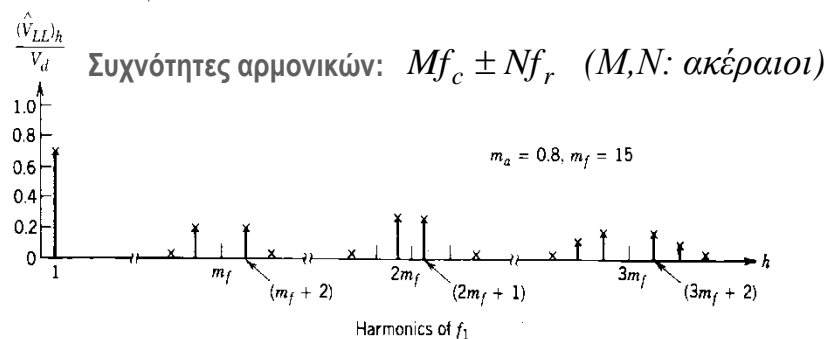
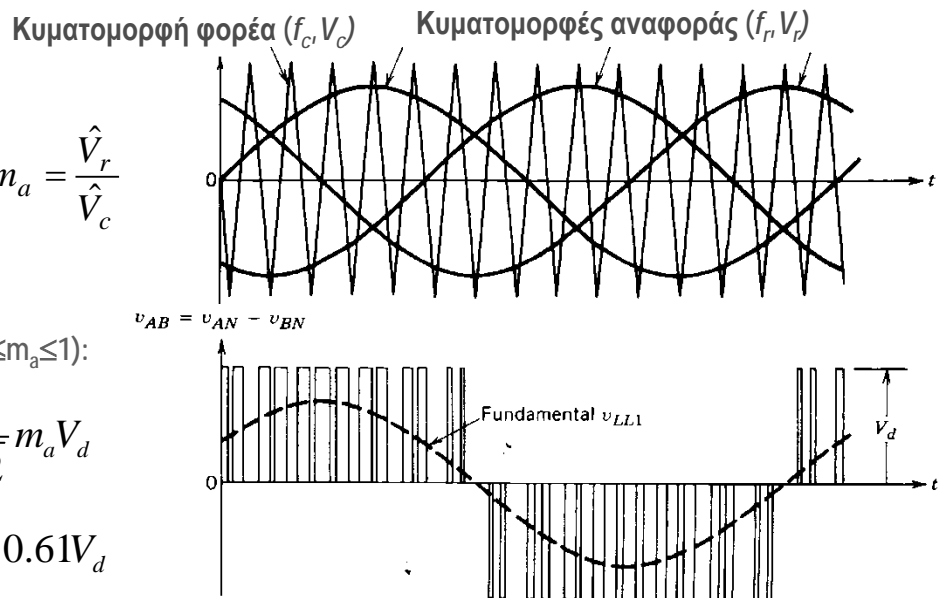
$$V_{LL}^{rms} = \frac{\sqrt{3}}{2\sqrt{2}} m_a V_d$$

$$V_{LL}^{rms} \max, lin \cong 0.61 V_d$$

Υπερδιαμόρφωση ( $m_a > 1$ ):

$$V_{LL}^{rms} \max \cong 0.78 V_d$$

### Ημιτονοειδής διαμόρφωση (SPWM)



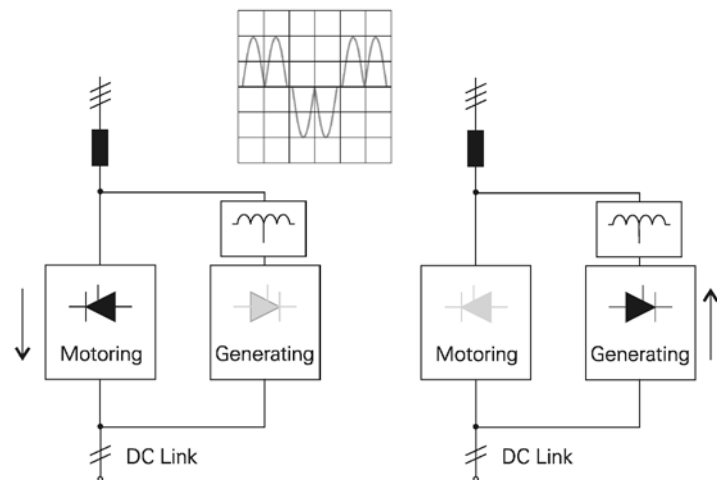
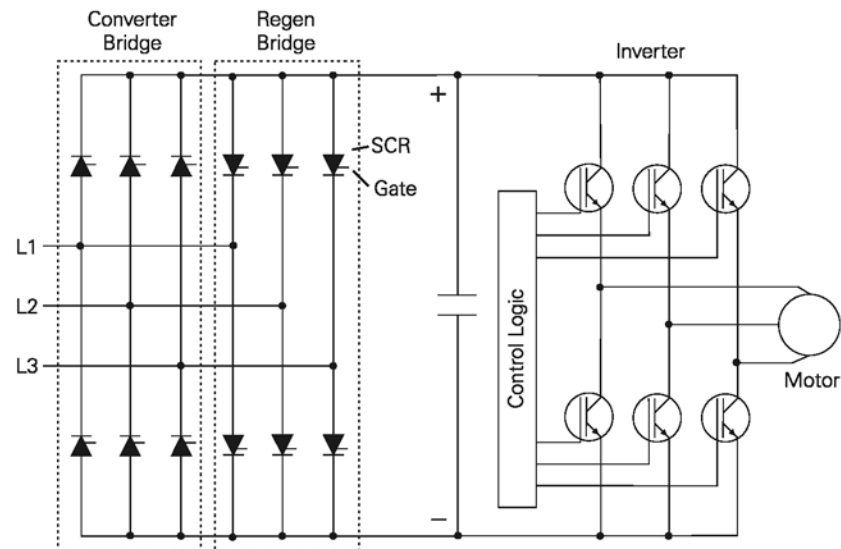
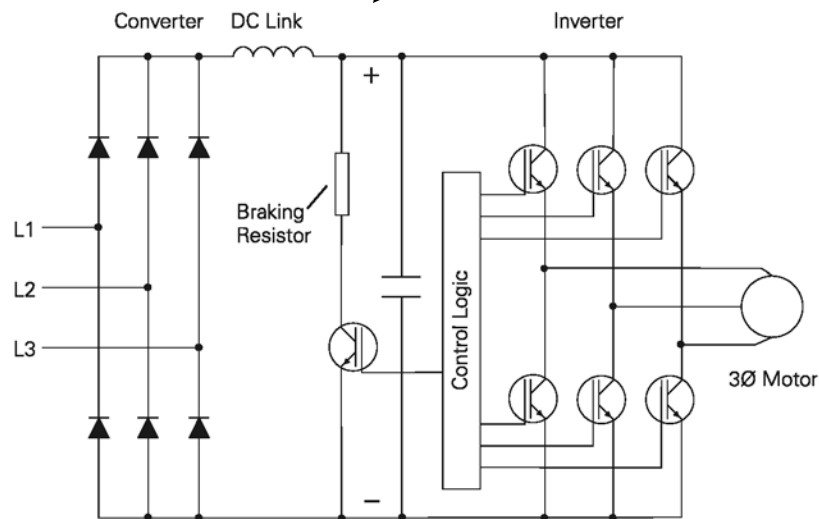


# Πέδηση στα συστήματα κίνησης ΕΡ

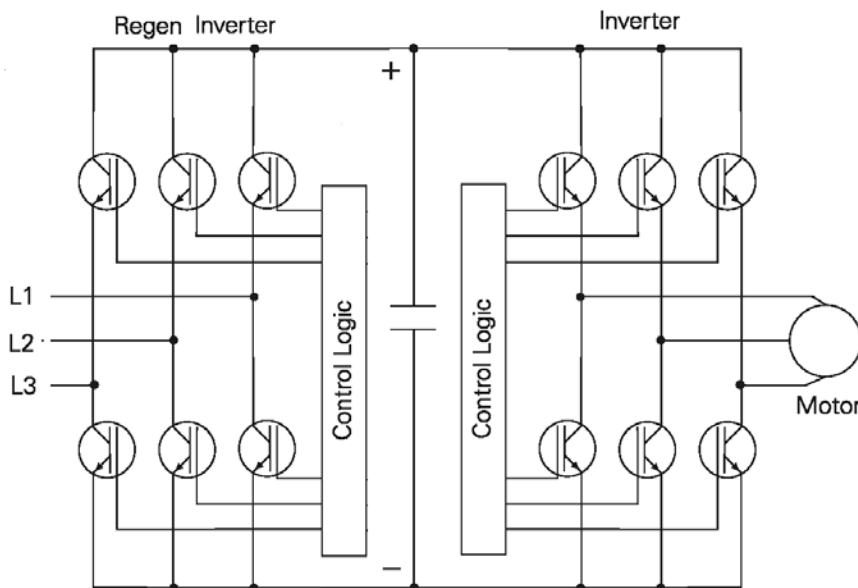
## Βασικές μέθοδοι

- Φυσική πέδηση (ροπή φορτίου, τριβές)
- Μείωση συχνότητας κινητήρα
- Έγχυση ΣΡ
- Αναγεννητική πέδηση

## Τοπολογίες αναγεννητικής πέδησης

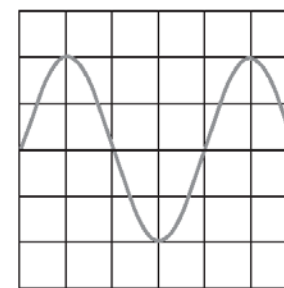
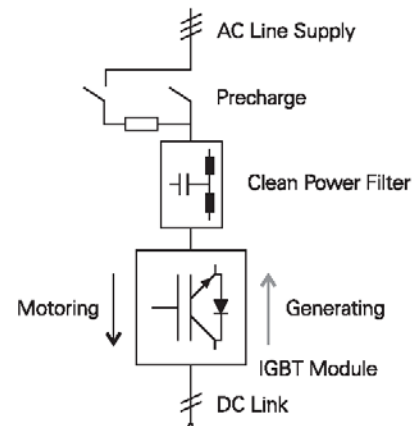


# Συστήματα διπλών μετατροπών πηγής τάσης

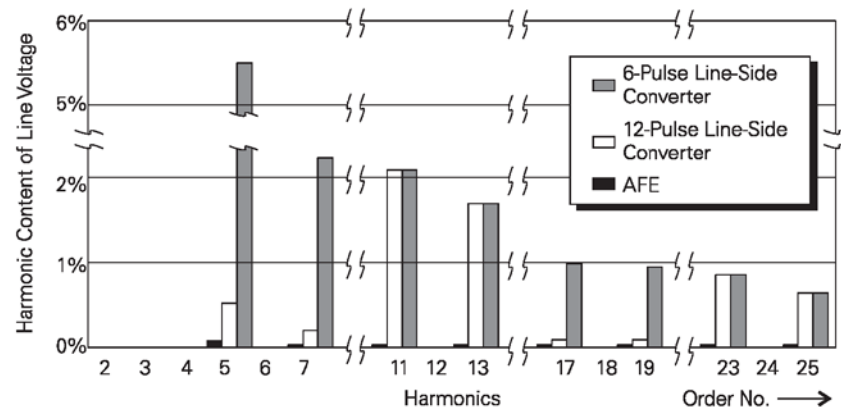


## Βασικά πλεονεκτήματα

- Λειτουργία ανορθωτή-αντιστροφέα (αναγεννητική πέδηση)
- Έλεγχος συντελεστή ισχύος εισόδου (επαγωγικές και χωρητικές τιμές)
- Βελτιωμένη ποιότητα ισχύος (αρμονικές)

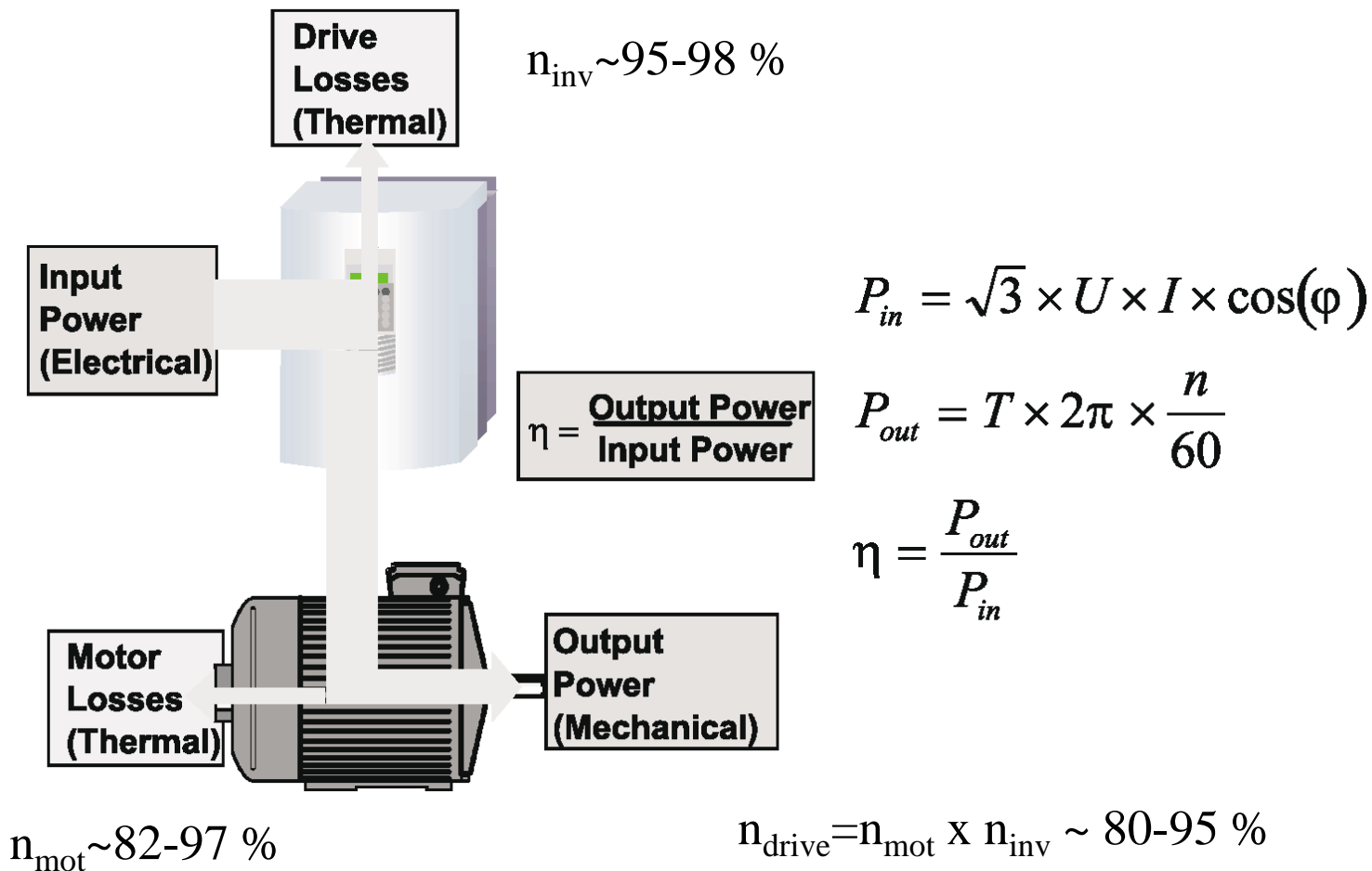


Current Returned to AC Line During Regeneration





# Βαθμός απόδοσης



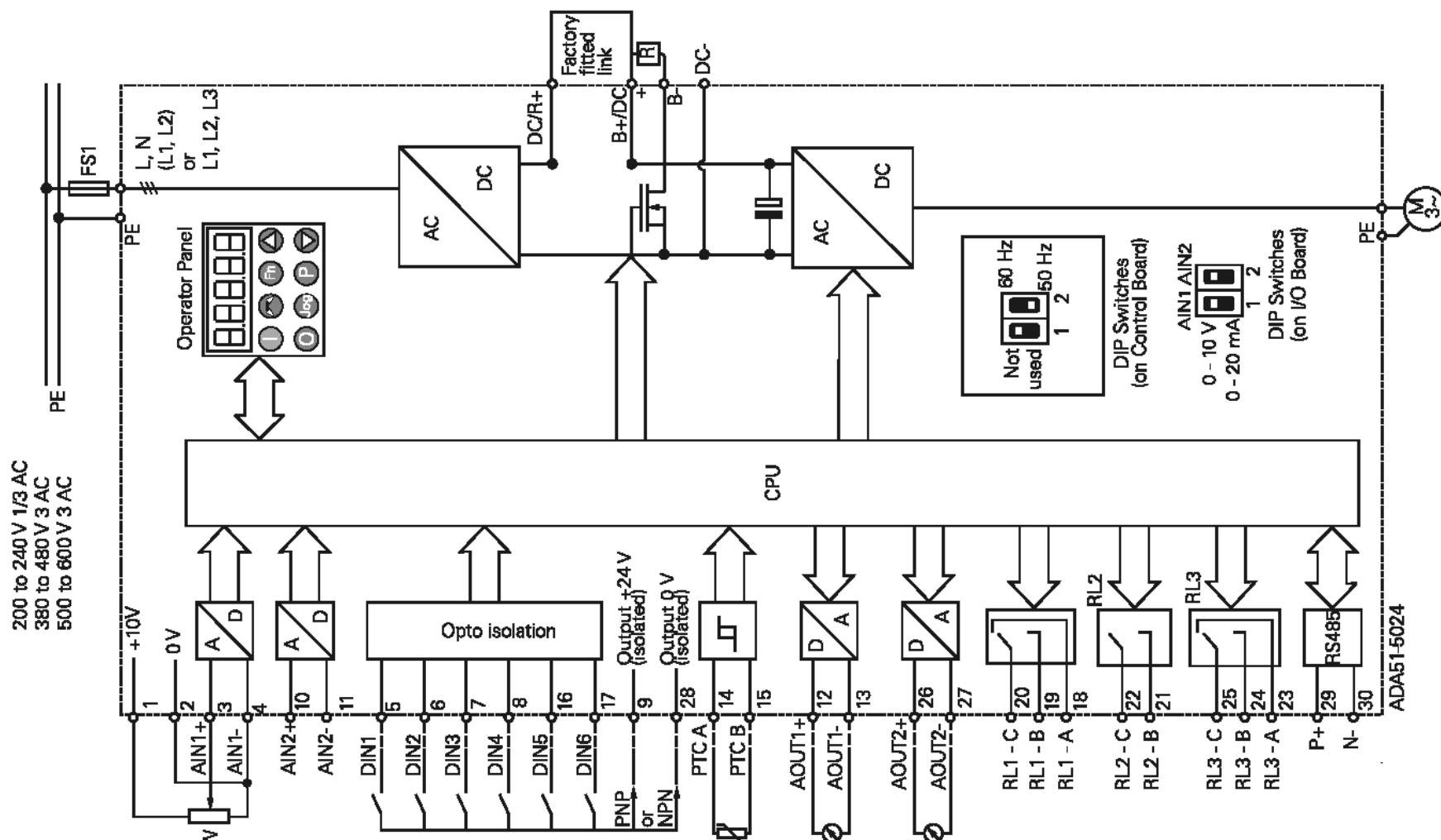


## Ενδεικτικοί πίνακες τεχνικών χαρακτηριστικών

Feature	MICROMASTER		
	410	420	440
Input Voltage	1Ø AC 100V to 120V $\pm 10\%$ 1Ø AC 200 to 240 VAC $\pm 10\%$	1Ø AC 200V to 240V $\pm 10\%$ 3Ø AC 200V to 240V $\pm 10\%$ 3Ø AC 380V to 480V $\pm 10\%$	1Ø AC 200V to 240V $\pm 10\%$ 3Ø AC 200V to 240V $\pm 10\%$ 3Ø AC 380V to 480V $\pm 10\%$ 3Ø AC 500V to 600V $\pm 10\%$
Output Voltage	0 to Approximate Input Value	0 to Approximate Input Value	0 to Approximate Input Value
Input Frequency	47 to 63 Hz	47 to 63 Hz	47 to 63 Hz
Output Frequency	0 Hz to 650 Hz	0 Hz to 650 Hz	0 Hz to 650 Hz
Power Range	1/6 to 1 HP	1/6 to 15 HP	1/6 to 100 HP
Overload Capacity	Up to 150% of rated output current for 60 s, followed by 85 for 240 s, cycle time 300 s	150 s of rated load current for a period of 60 s within 300 s	150% of rated load current for a period of 60 s within 300 s or 200% of rated load current for a period of 3 s within 60 s.
Control	V/f	V/f, FCC	V/f, FCC, Vector (sensorless and optional closed loop), torque
Inputs	3 digital, 1 analog	3 digital, 1 analog	6 digital, 2 analog, 1 PTC
Outputs	1 relay	1 analog, 1 relay	2 analog, 3 relay
Serial Interface	RS-485 for use with USS protocol	RS-485 for use with USS protocol, optional RS232	RS-485 for use with USS protocol, optional RS232
Braking	DC braking, compound braking	DC Braking, compound braking	DC Braking, compound braking, fully-rated integral brake chopper



# Διάγραμμα ακροδεκτών βιομηχανικού αντιστροφέα





## Ενδεικτική δομή βιομηχανικού αντιστροφέα

