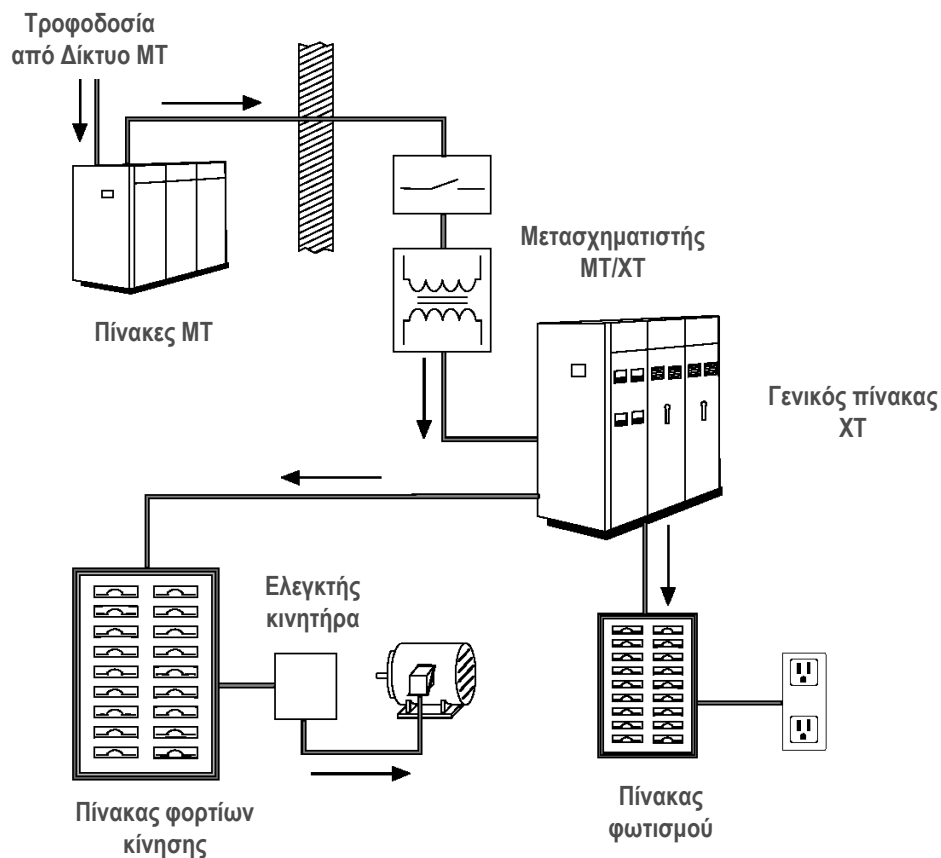




Βιομηχανική Διανομή Ηλεκτρικής Ενέργειας

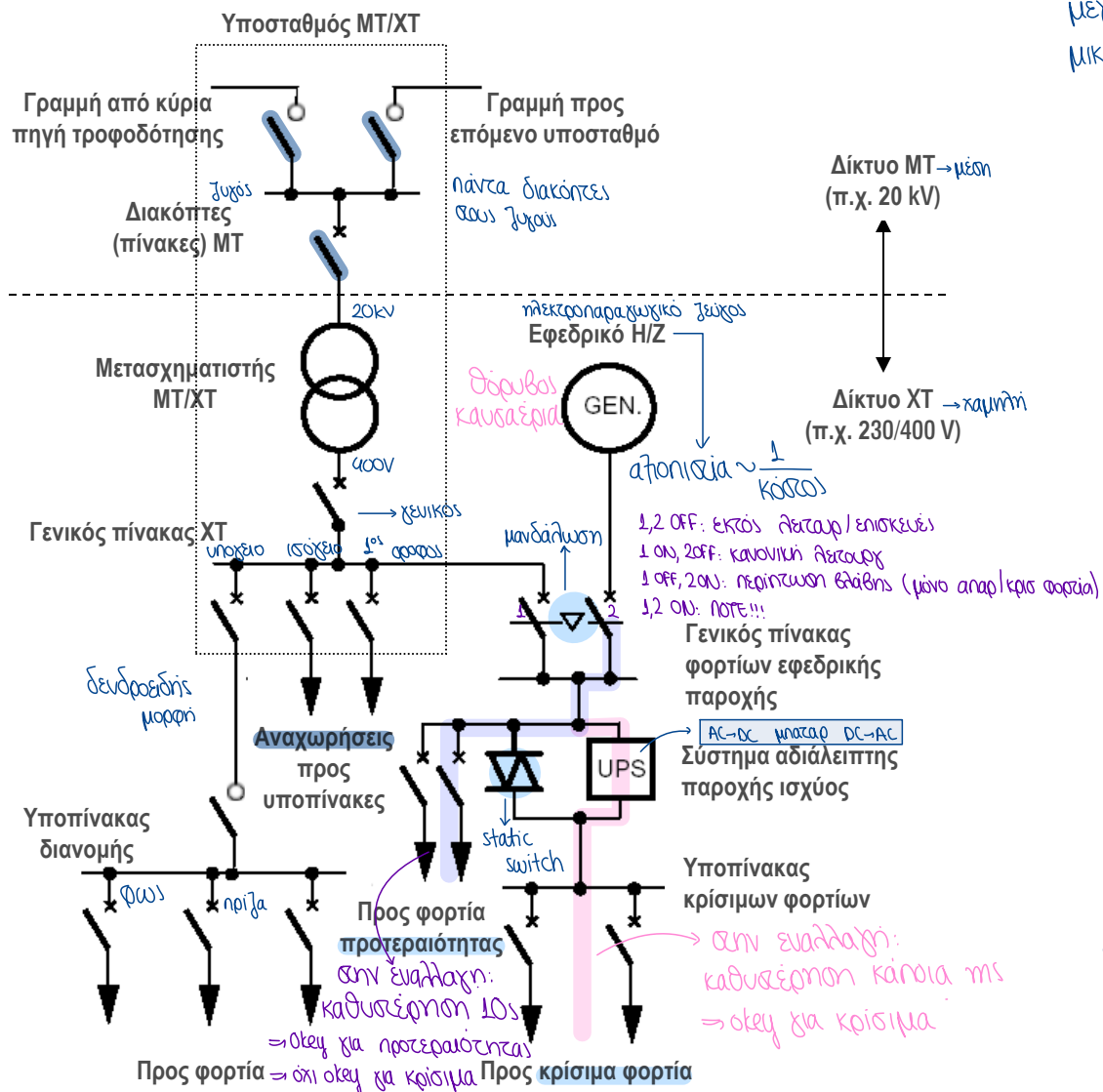
Βιομηχανική Ηλεκτρονική - Ελένη Νασοπούλου



Στ. Παπαθανασίου
Καθ. ΕΜΠ



Τυπική δομή βιομηχανικού δικτύου



Βασικές συνιστώσες

- Κύριες και εφεδρικές πηγές
- Γραμμές MT και XT
- Μετασχηματιστές
- Κύριοι πίνακες και υποπίνακες διανομής
- Διακόπτες
 - απομόνωση (για επισκευή)
 - κλείσιμο (πχ ανοίγω/κλείνω φως)
 - ασφαλεία (πχ προστασία σε βραχυκύκλωμα)
- Μέσα προστασίας
- Τελικοί καταναλωτές

H/Z: καθύστει μόνο προτεραιότητας + κρίσιμα φορτία

Εξοικονόμηση χρημάτων + χώρου

μετάσχηματικό Η/Ζ: αντιστροφή, σταθεροποίηση, υποδοχές

μετάσχηματικό Η/Ζ: αντιστροφή, σταθεροποίηση, υποδοχές

μετάσχηματικό Η/Ζ: αντιστροφή, σταθεροποίηση, υποδοχές

μετάσχηματικό Η/Ζ: αντιστροφή, σταθεροποίηση, υποδοχές



Κύριοι τύποι διακοπών

1. Αποζεύκτης (disconnector)

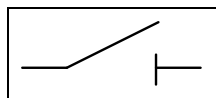
$$I=0$$

- Απομόνωση κυκλώματος/στοιχείου
- Δεν διαθέτει δυνατότητα διακοπής ρεύματος
- Χρησιμοποιείται για εξασφάλιση της απομόνωσης (π.χ. εκτέλεση εργασιών)

Οι γραμμές είναι ημια:

απότομη διακοπή ρεύμα

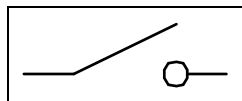
⇒ άμεση τάση στα άκρα ημια ⇒ υπερθέρμανση



2. Διακόπτης φορτίου (load switch)

$$I < +\infty$$

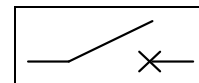
- Διαθέτει ικανότητα διακοπής ρεύματος φορτίου
- Δεν διακόπτει ένταση βραχυκύκλωσης
- Χρησιμοποιείται για χειρισμούς του κυκλώματος/φορτίου υπό κανονικές συνθήκες



3. Διακόπτης ισχύος (circuit breaker)

$$I \rightarrow \infty$$

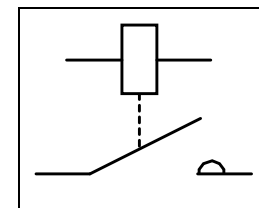
- Διαθέτει ικανότητα διακοπής της έντασης βραχυκύκλωσης
- Βασικό μέσο προστασίας υπερέντασης



2α. Επαφίας (contactor) *ρελέ ισχύος*

αντέχει και $I_{ek} \gg I_{kan}$ + μεγάλη συχνότητα χειρισμών

- Διαθέτει ικανότητα διακοπής πολλαπλάσια της έντασης φορτίου
- Δεν διακόπτει ένταση βραχυκύκλωσης
- Χρησιμοποιείται για έλεγχο κινητήρων



2β. Διακόπτες ελέγχου («ρελέ»)

$$I = I_{kan}$$

- Δυνατότητα ελέγχου της κατάστασής τους μέσω βοηθητικής τάσης και επαφών
- Ευρύτατη χρήση σε αυτοματισμούς



Τύποι ασφαλειών

Diazed (D)



Κυλινδρικές



Neozed (DO)



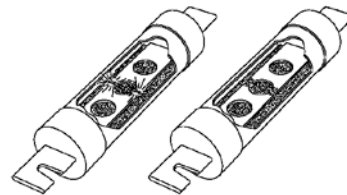
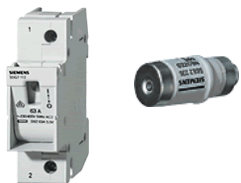
Ασφαλειοδιακόπτης φορτίου



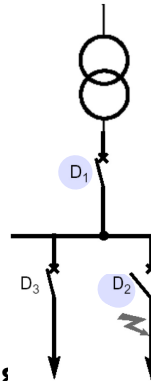
Μαχαίρωτές (NH)



Minized



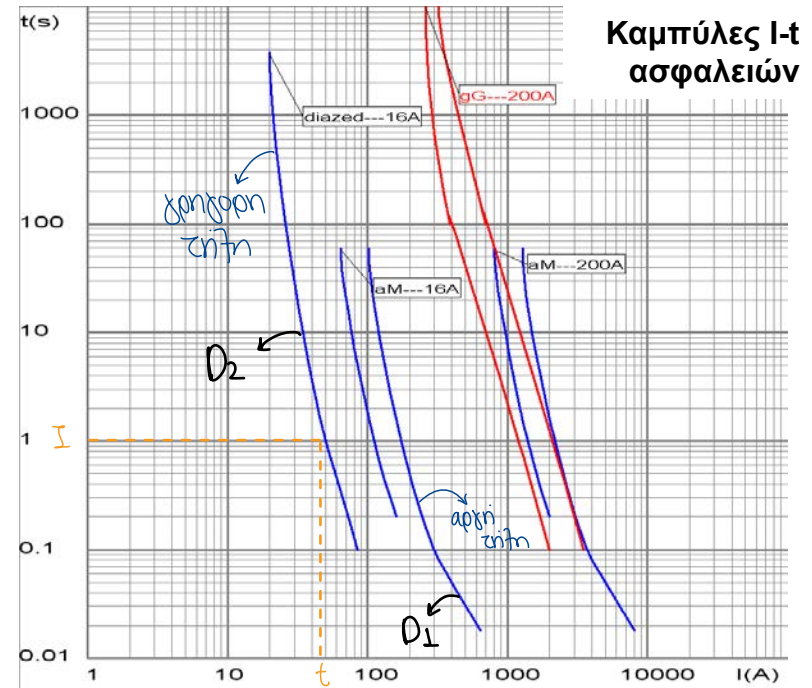
Τήξη, ασφάλειας



Βασικά χαρακτηριστικά

- Ονομαστική τάση (π.χ. 230/400 V)
- Ονομαστικό ρεύμα (από 6 έως 1250 A)
- Μέγιστο ρεύμα διακοπής (50 kA, 25 kA, 100 kA για D, DO και NH)
- Μικρό ρεύμα δοκιμής (δεν τήκει την ασφάλεια για χρόνο ≥ 1 h)
- Μεγάλο ρεύμα δοκιμής (τήκει την ασφάλεια σε χρόνο ≤ 1 h)
- Τύπος χαρακτηριστικής I-t (aM, gL, aR κλπ.)

αν περνάει ρεύμα I θα χρειαστούν t sec





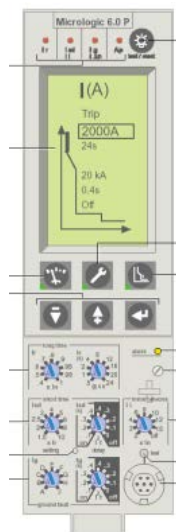
Διακόπτες Ισχύος

Κύρια χαρακτηριστικά

- Αριθμός πόλων (1 έως 4)
- Ονομαστική τάση (π.χ. 230/400 V)
- Ονομαστικό ρεύμα (από 1 έως 6300 A)
- Μέγιστο ρεύμα διακοπής (3 kA έως 150 kA)
- Ρεύμα ζεύξης (2-3 x ένταση διακοπής)
- Ελάχιστος χρόνος διακοπής (10-20 ms)
- Τύπος καμπύλης I-t και ρυθμίσεις
- Βοηθητικές επαφές, μηχανισμός κλπ.



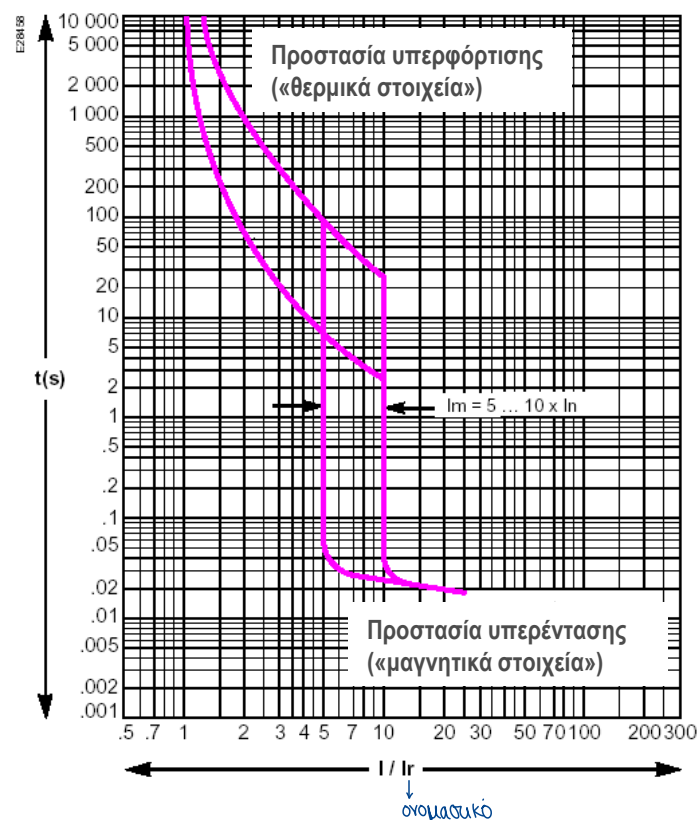
Ρυθμιζόμενες
καμπύλες I-t
διακόπτη ισχύος



ηλεκτρονικός προστασίας
(μικρο δακτύλιος)

Καμπύλες προστασίας I-t

- Χρονικής καθυστέρησης (υπερφόρτισης)
- Στιγμιαίας λειτουργίας (υπερέντασης)

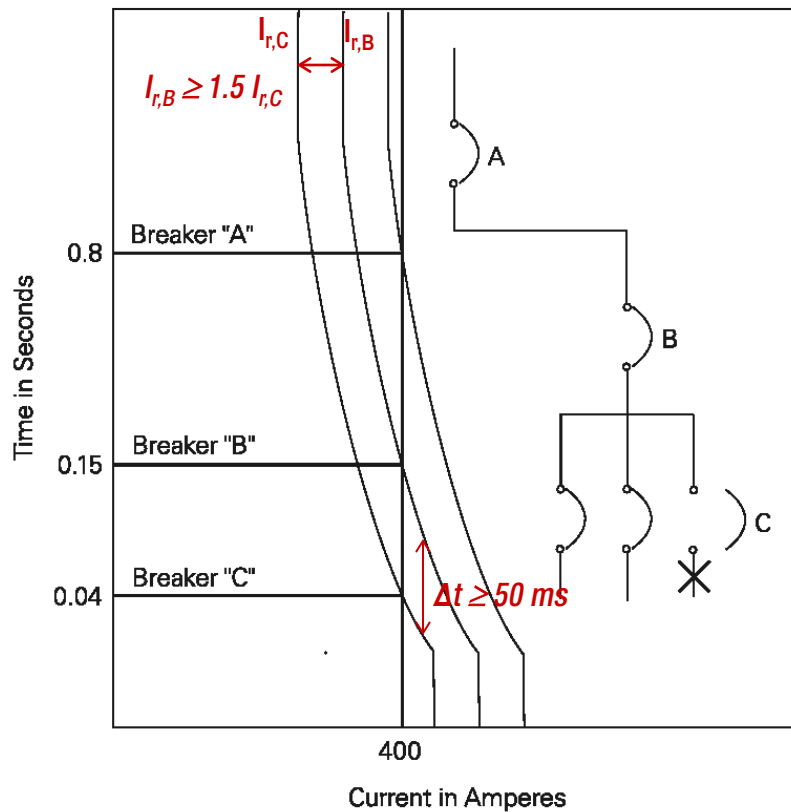




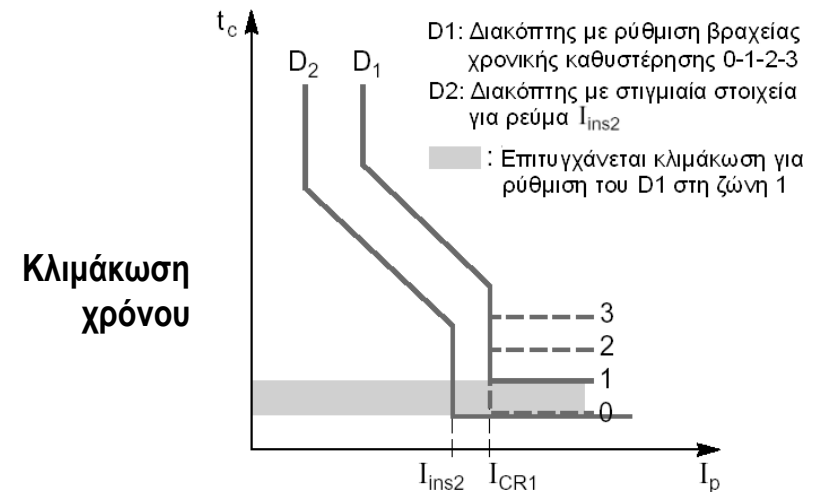
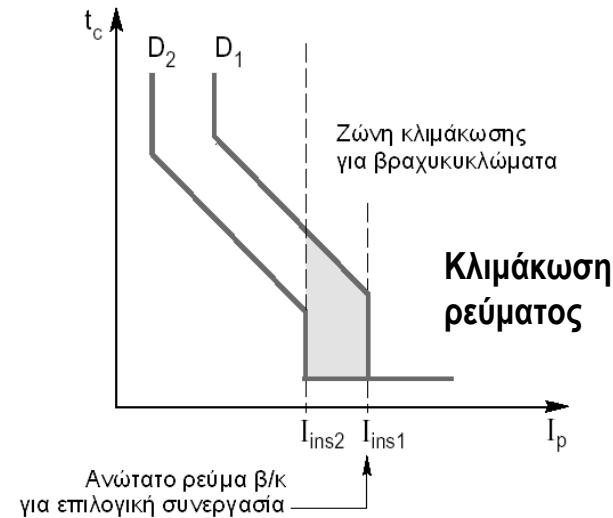
Επιλογική συνεργασία μέσω προστασίας υπέρ έντασης

Αρχή επιλογικής συνεργασίας διαδοχικών μέσων προστασίας

ΣΤΟΧΟΣ: Ενεργοποίηση του πλησιέστερου στο σφάλμα μέσου προστασίας και μόνο αυτού

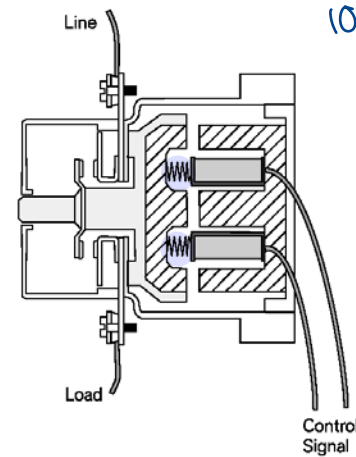
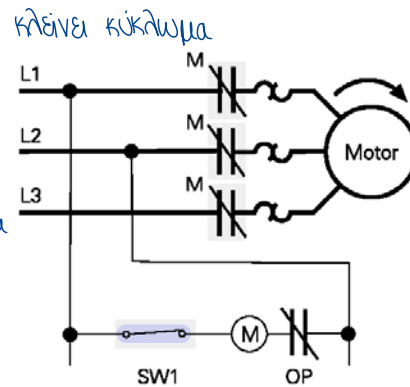
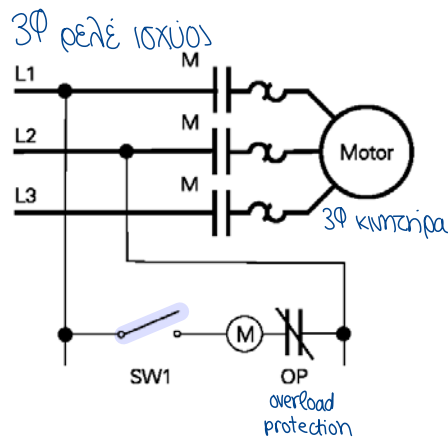
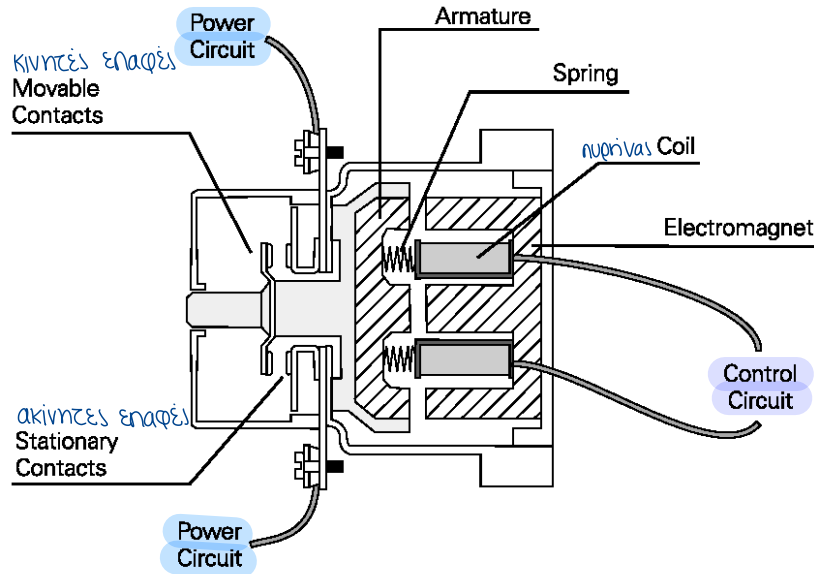


Τύποι κλιμάκωσης

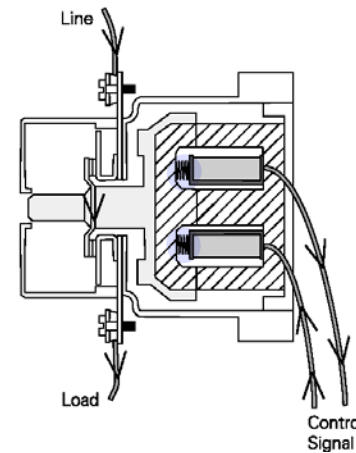




Αρχή λειτουργίας επαφών («ρελέ»)



Κατάσταση OFF



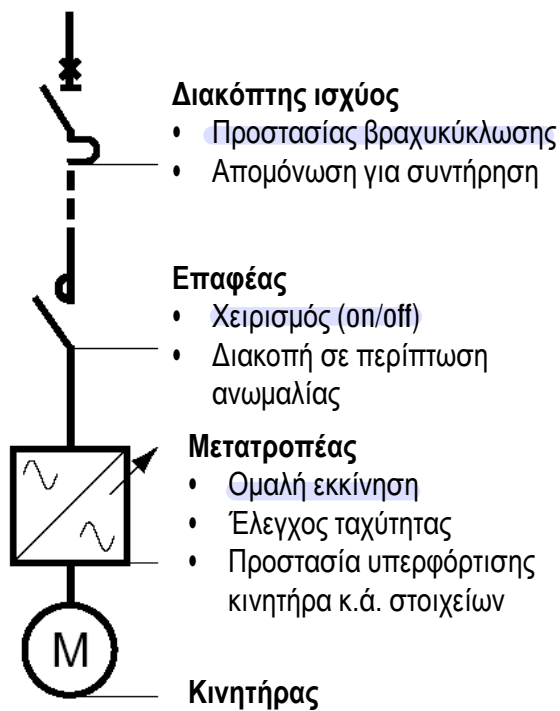
Κατάσταση ON





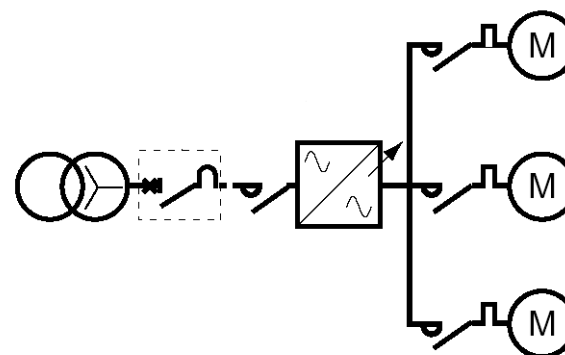
Προστασία υπερέντασης συστημάτων κίνησης

Τυπική υλοποίηση

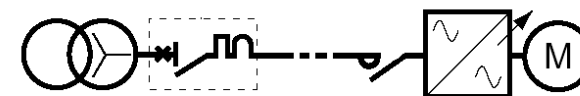


Πολλοί κινητήρες
οδηγούμενοι από
έναν μετατροπέα

Εναλλακτικές υλοποιήσεις



Προστασία
υπερφόρτισης από
εξωτερικό στοιχείο
(διακόπτη)





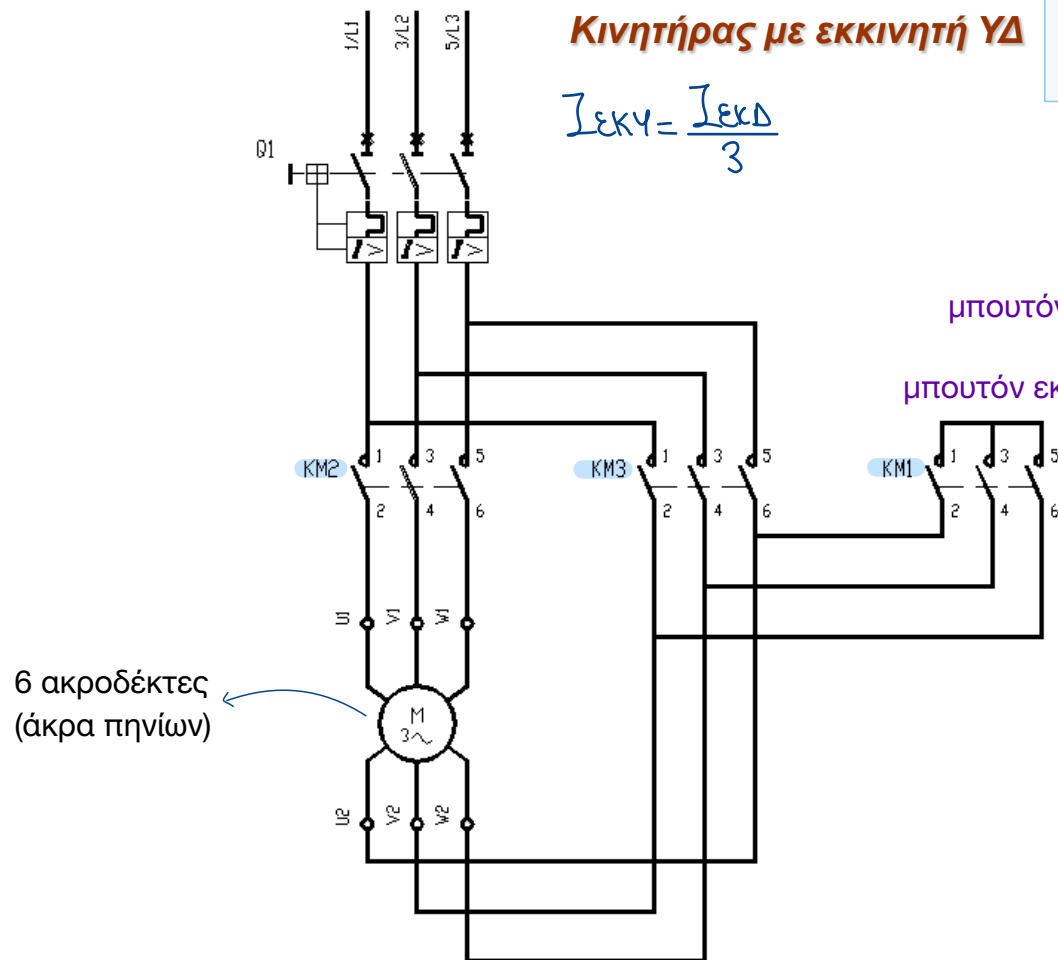
KM1, KM2 ON: Υ (συνδεσμολογία εκκίνησης)
 KM3, KM2 ON: Δ (συνδεσμολογία κανονικής λειτουργίας)
 KM1, KM3 ON: ΠΟΤΕ! βραχυκύκλωμα

ελέγχου κινητήρων

KM2 ON: απαραίτητο για λειτουργία
 KM1 ON: βραχυκύκλωμα 3 ακροδεκτών => κέντρο Υ
 KM3 ON: τέλος ενός -> αρχή του άλλου => Δ

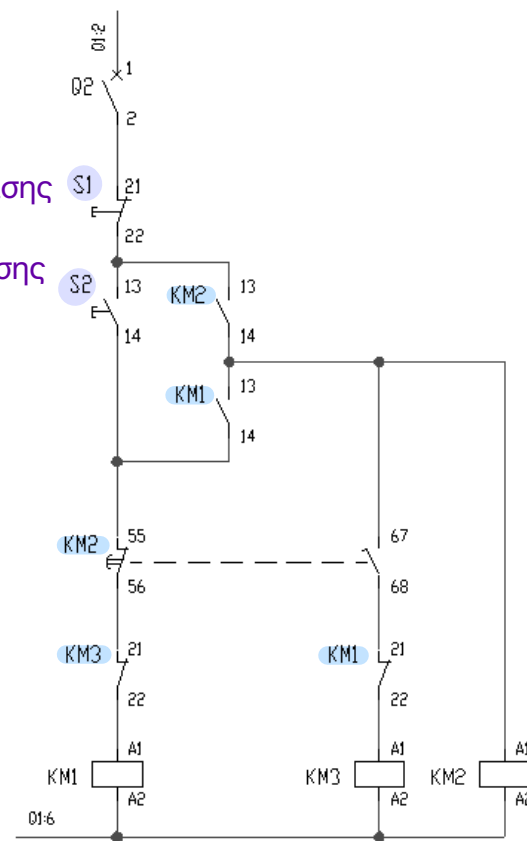
Κινητήρας με εκκινητή ΥΔ

$$I_{EKY} = \frac{I_{EK\Delta}}{3}$$



μπουτόν στάσης S1

μπουτόν εκκίνησης S2



Ισχύει ότι: ρεύμα εκκίνησης >> ρεύμα κανονικής λειτουργίας



Λειτουργίες προστασίας

Τυποποίηση ANSI

ANSI No.*	Description	ANSI No.*	Description
14	Zero speed and underspeed dev.	51GN	Stator ground-fault overcurrent
21	Distance protection, phase	51	Overcurrent with time delay
21N	Distance protection, ground	51N	Ground-fault overcurrent with time delay
24	Overfluxing	59	Overvoltage
25	Synchronism check	59N	Residual voltage ground-fault protection
27	Undervoltage	64R	Rotor ground fault
27/59/81	U/f protection	67	Directional overcurrent
32	Directional power	67N	Directional ground-fault overcurrent
32F	Forward power	67G	Stator ground-fault, directional overcurrent
32R	Reverse power	68/78	Out-of-step protection
37	Undercurrent or underpower	79	Autoreclose
40	Field failure	81	Frequency relay
46	Load unbalance, negative phase sequence overcurrent	85	Carrier interface
47	Phase sequence voltage	86	Lockout relay, start inhibit
48	Incomplete sequence, locked rotor, failure to accelerate	87G	Differential protection, generator
49	Thermal overload	87T	Differential protection, transf.
49R	Rotor thermal protection	87B	Differential protection, bus-bar
49S	Stator thermal protection	87M	Differential protection, motor
50	Instantaneous overcurrent	87L	Differential protection, line
50N	Instantaneous ground fault overcurrent	87N	Restricted earth-fault protection
51G	Ground overcurrent relay	92	Voltage and power directional rel.
		50BF	Breaker failure

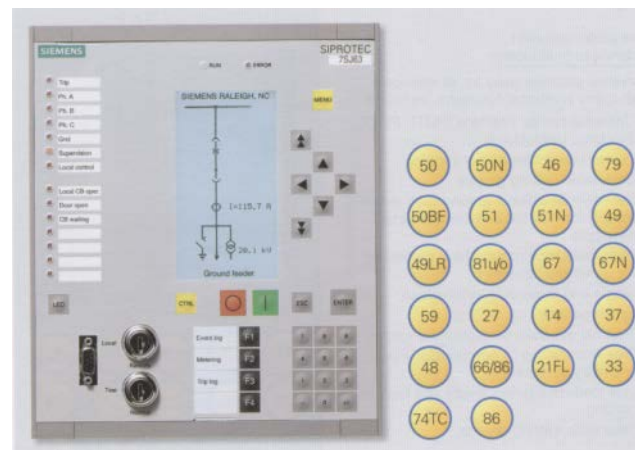
Βασικές λειτουργίες

- Υπερφόρτιση/υπερένταση (50/51 και 50N/51N)
- Υπόταση (27)
- Υπέρταση (59)
- Υποσυχνότητα και υπερσυχνότητα (81)
- Ασυμμετρία τάσεων (47) και ρευμάτων (46)
- Διαφορική (87X)

⇒ Υλοποίηση μέσω ηλεκτρονόμων προστασίας (relays)

ρελέ

Σύγχρονος ψηφιακός ηλεκτρονόμος (multifunction relay)



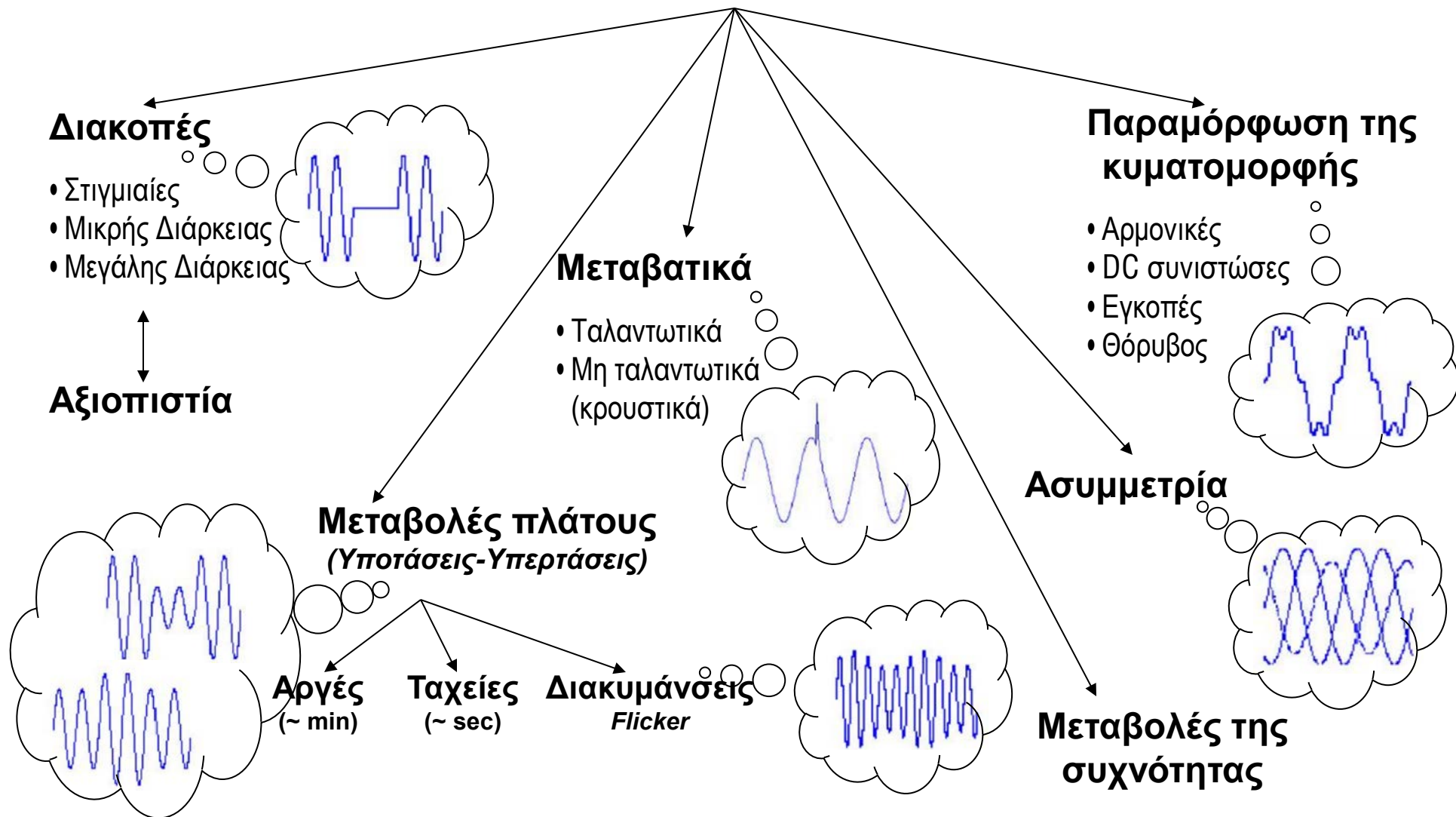


Προστασίες για συστήματα ηλεκτρικής κίνησης

Protection to be provided	Protection generally provided by the drive	External protection
Cable overload	Yes = (1)	Unnecessary if (1)
Motor overload	Yes = (2)	Unnecessary if (2)
Downstream short-circuit	Yes	
Drive overheating	Yes	
Overvoltage	Yes	
Undervoltage	Yes	
Phase break	Yes	
Upstream short-circuit		Circuit-breaker (short-circuit trip)
Internal fault		Circuit-breaker (short-circuit and overload trip)
Downstream earth fault (indirect contact)	Self-protection	RCD ≥ 300 mA
Direct contact fault		RCD ≤ 30 mA

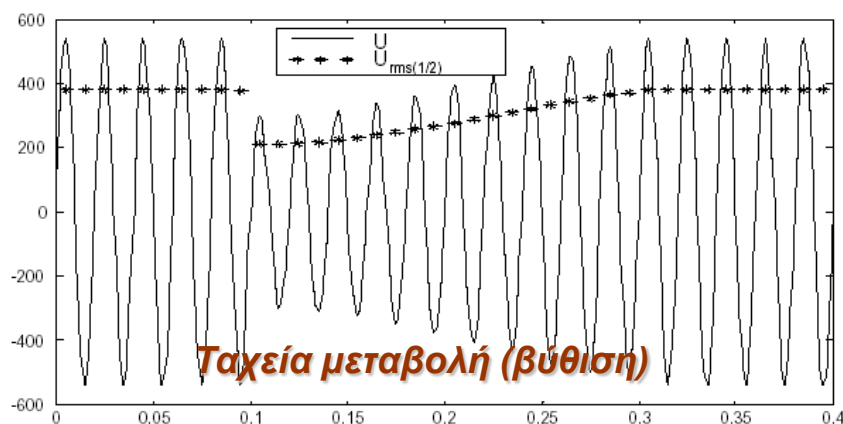
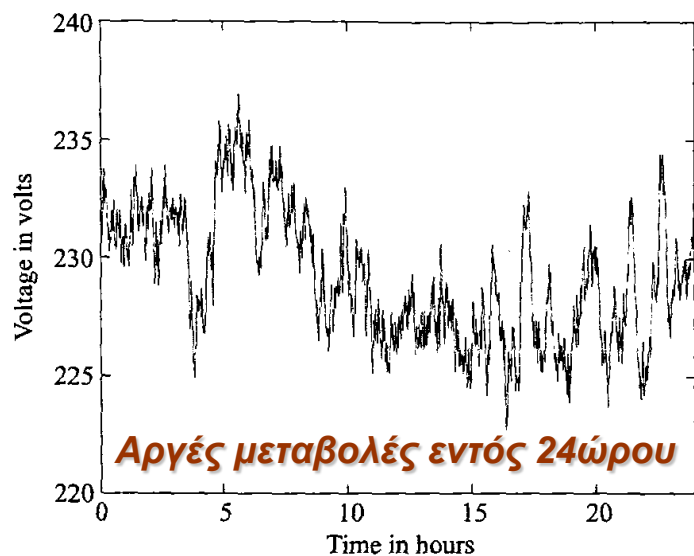


Βασικά φαινόμενα Ποιότητας Ισχύος

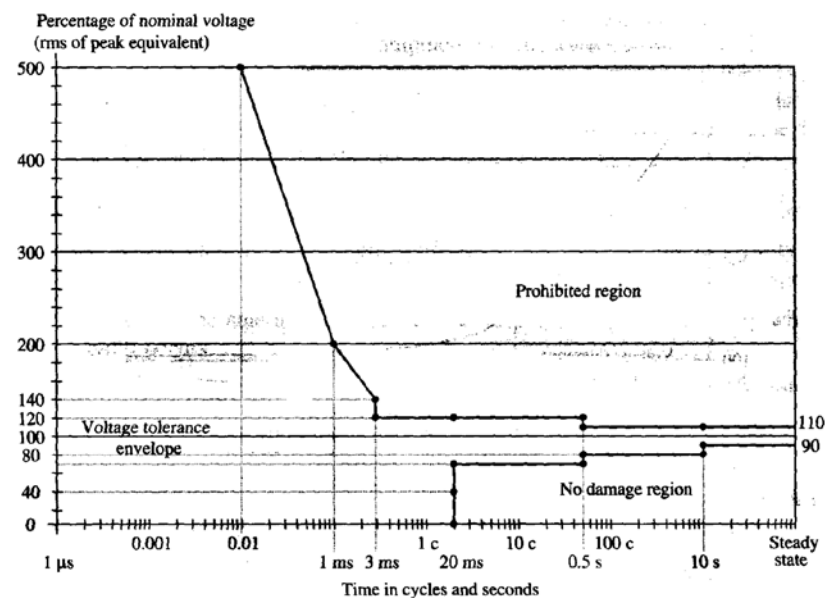




Μεταβολές του πλάτους



Καμπύλη αντοχής συσκευών IT κατά ITIC

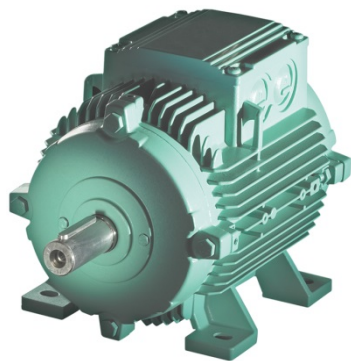




Βιομηχανική Ηλεκτρονική 5^{ου} Εξαμήνου

Συστήματα Ηλεκτρικής Κίνησης ΕΡ

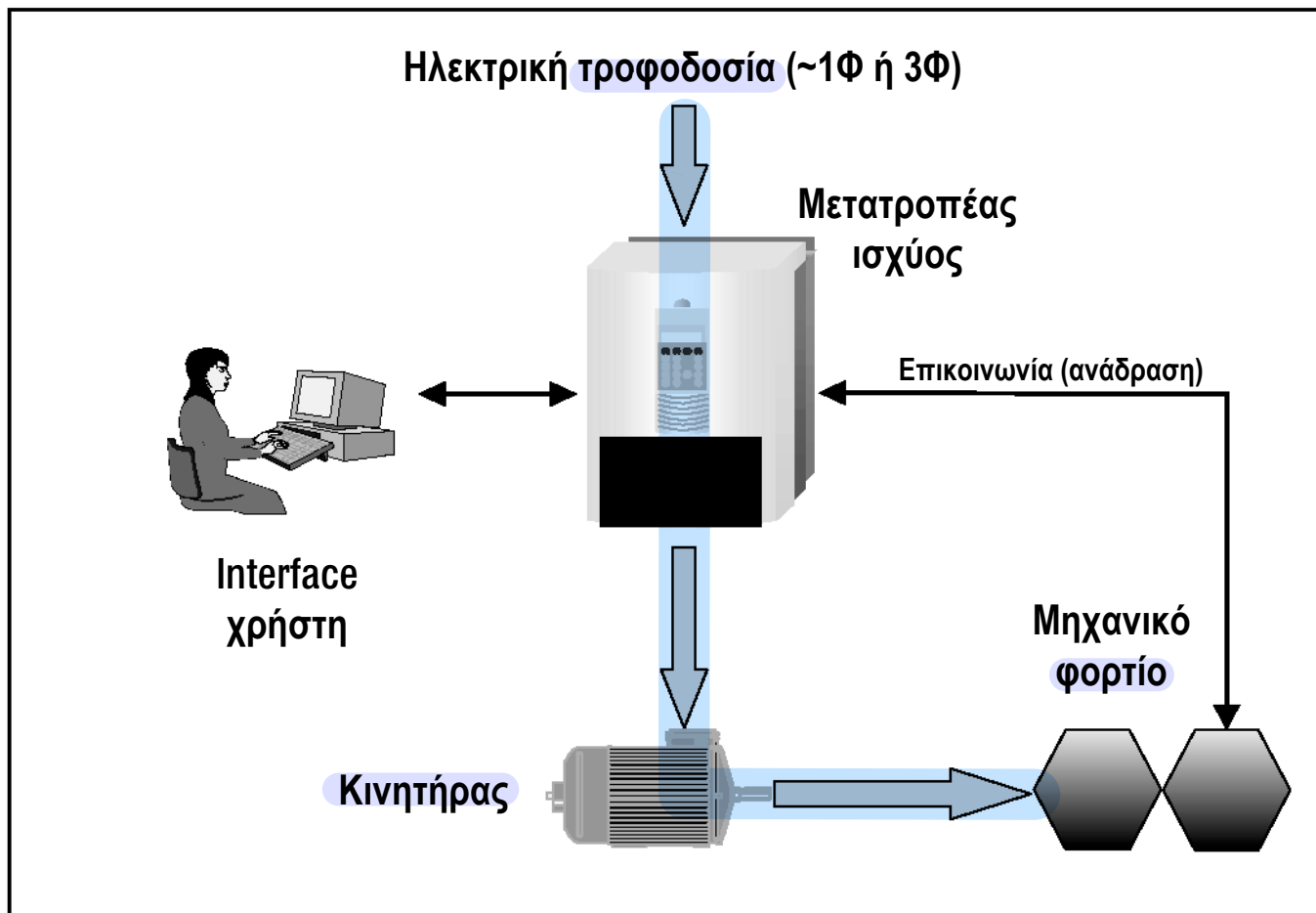
ΕΡ: εναλλασόμενου ρεύματος AC



Στ. Παπαθανασίου
Καθ. ΕΜΠ

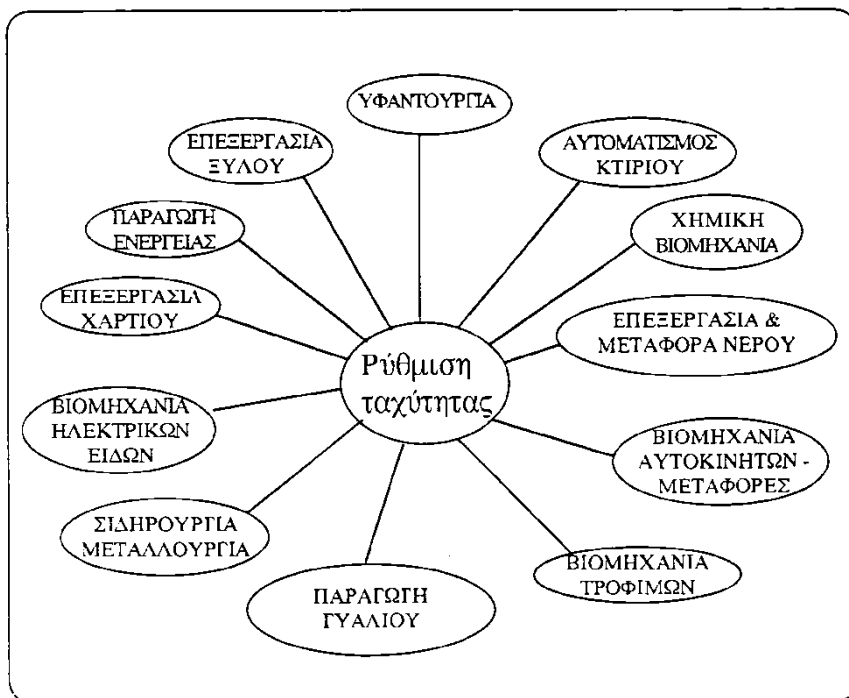


Βασικές συνιστώσες συστήματος ηλεκτρικής κίνησης



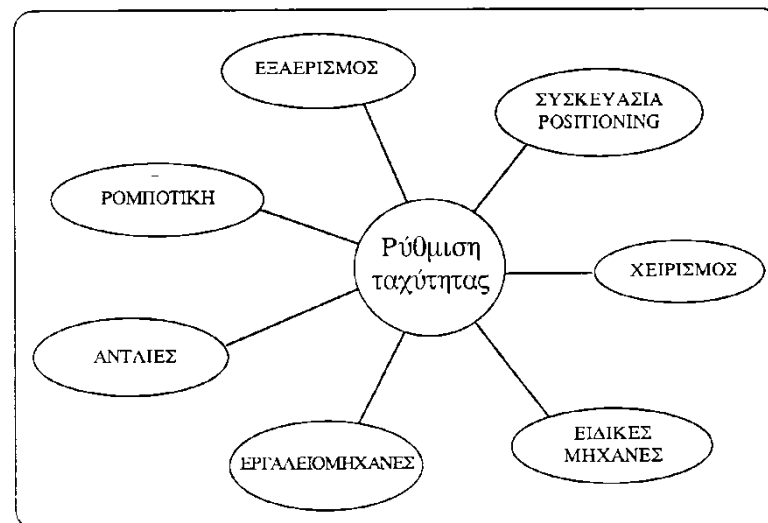


Εφαρμογές των Συστημάτων Ηλεκτρικής Κίνησης



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

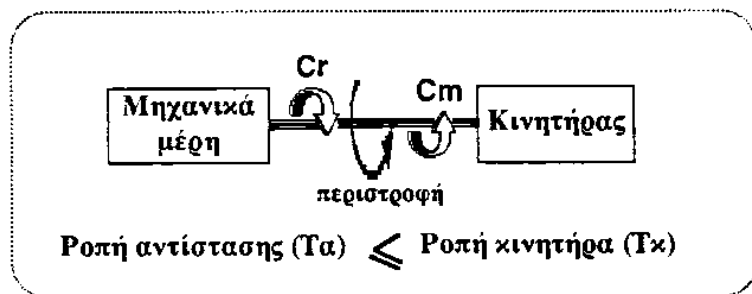


Τα 4 τεταρτημόρια στο επίπεδο T-ω

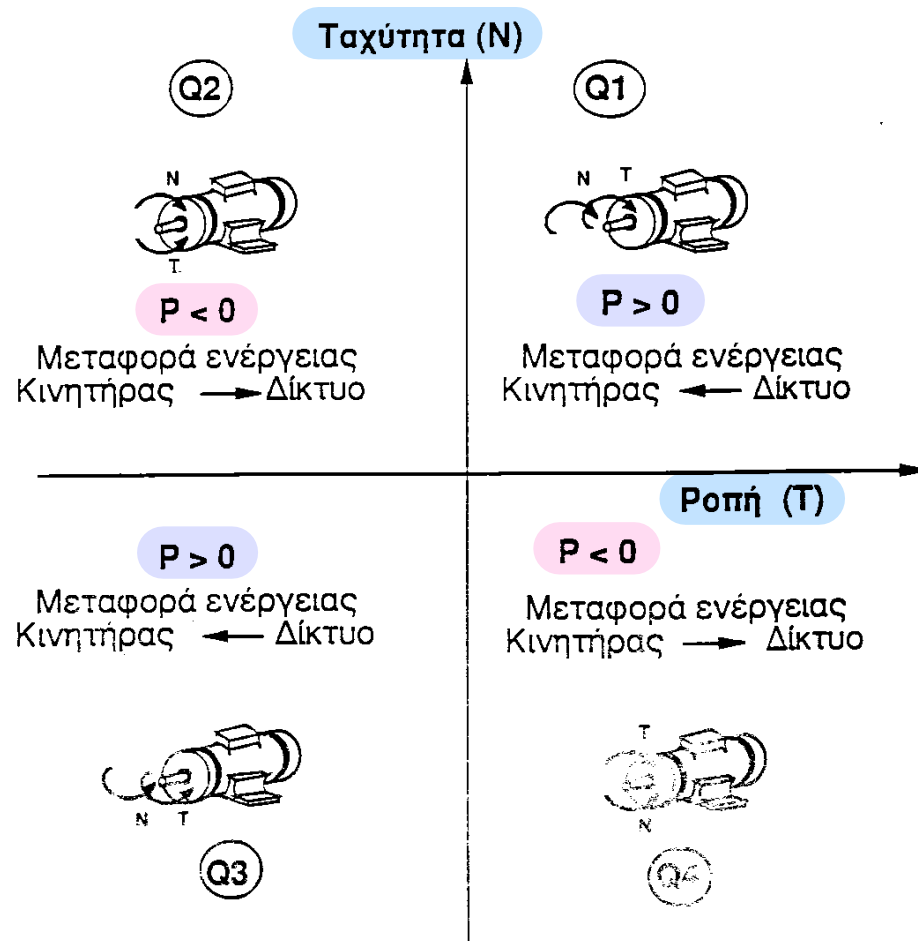
$P > 0$: προσφέρω ισχύ στο μηχανικό σύστημα
μεταφορά ενέργειας: κινητήρας $\leftarrow$ δίκτυο
λειτουργία κινητήρα

$P < 0$: αφαιρώ ισχύ από το μηχανικό σύστημα
μεταφορά ενέργειας: κινητήρας $\rightarrow$ δίκτυο
λειτουργία γεννήτριας

Βασική κατάσταση λειτουργίας



δίκτυο = ηλεκτρικό σύστημα = πηγή
κινητήρας = μηχανικό σύστημα

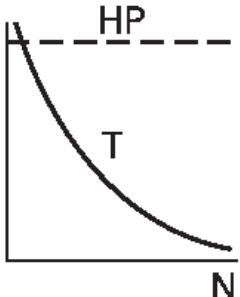
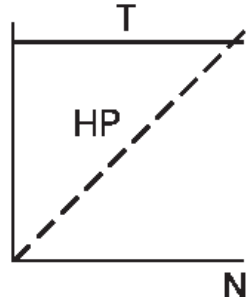
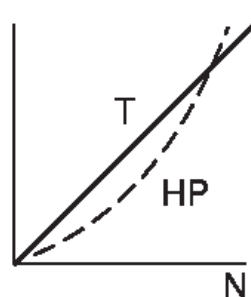
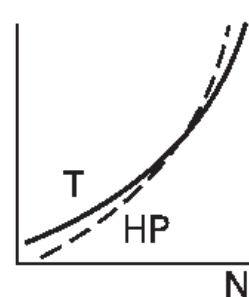




ΕΜΠ

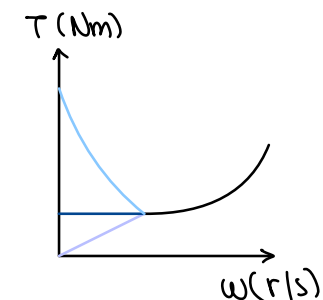
πλήρης πληροφορία για φορτίο:
χαρακτηριστική ροπής-στροφών για $0 < \omega < \omega_{\max}$

Χαρακτηριστικές ροπής 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 $\approx N^3$
			
•Περιελκτικές μηχανές •Τόρνοι •Κοπτικά εργαλεία	•Ανυψωτικά •Μεταφορικές ταινίες •Εργαλειομηχανές •Κυλιόμενοι μύλοι	•Πρέσες (ορισμένοι τύποι) •Πέδες δινορρευσμάτων	•Αντλίες •Ανεμιστήρες •Φυγοκεντριστές

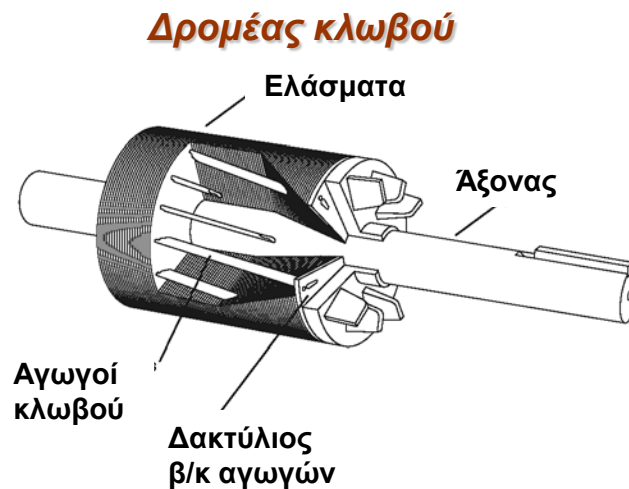
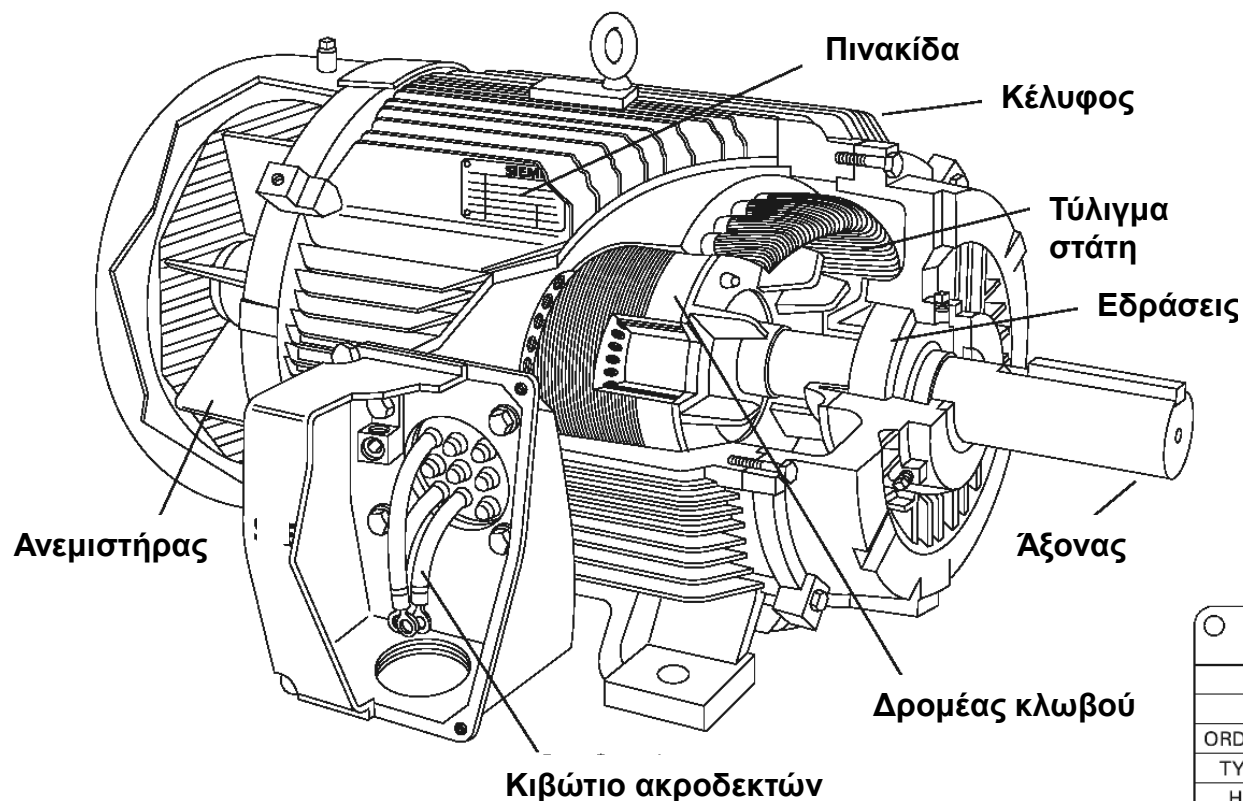
$$T[Nm] =$$

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





Ο κινητήρας επαγωγής



Πινακίδα κινητήρα επαγωγής

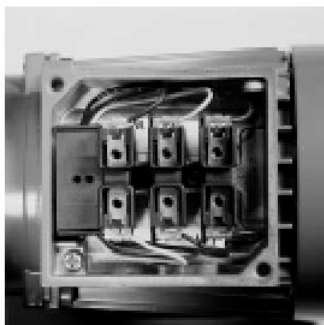
ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΗΣ									
PE●21 PLUSTM					PREMIUM EFFICIENCY				
MILL AND CHEMICAL DUTY QUALITY INDUCTION MOTOR									
ORD.NO.	51-502-033				DATE CODE	017			
TYPE	RG Z ESD				FRAME	284T			
H.P.	25				SERVICE FACTOR	1.15			
AMPS.	56.8/28.4				VOLTS	230/460			
R.P.M.	1750				HERTZ	60			
DUTY	CONT.				40° C AMB.			3 PH	
CLASS INSUL	F	NEMA Design	B	K.V.A. CODE	G	NEMA NOM.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

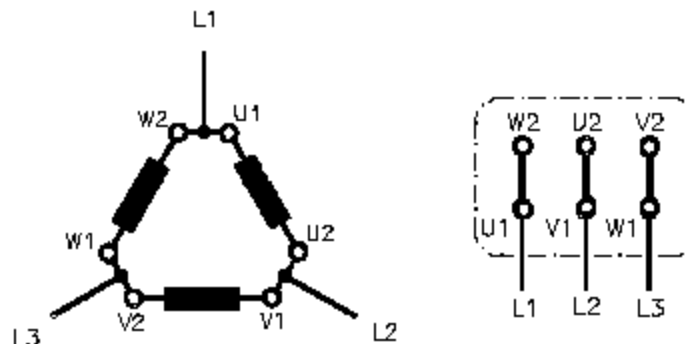


εκκίνηση: Υ
καν λειτουργία: Δ

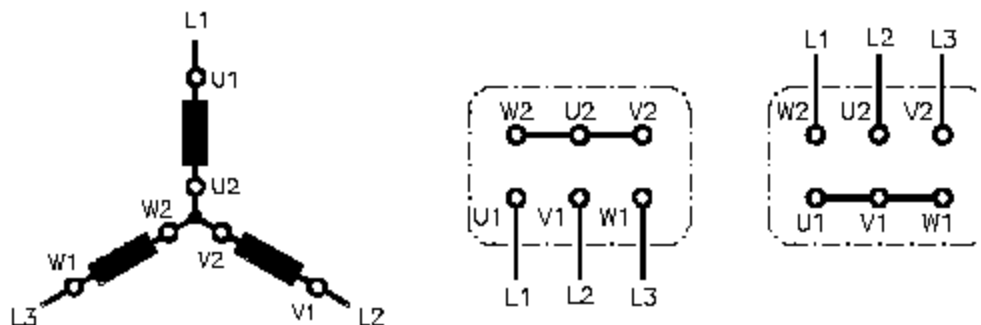


6 ακροδέκτες - 2 ανά πηνίο
=> καθορίζουμε συνδεσμολογία

Συνδεσμολογία τριγώνου



Συνδεσμολογία αστέρα



Βασικές σχέσεις:

$$V_Y = \frac{V_{\Delta}}{\sqrt{3}}$$

$$\Phi_Y = \frac{\Phi_{\Delta}}{\sqrt{3}}$$

$$I_Y = \frac{I_{\Delta}}{3}$$

$$T_Y = \frac{T_{\Delta}}{3}$$

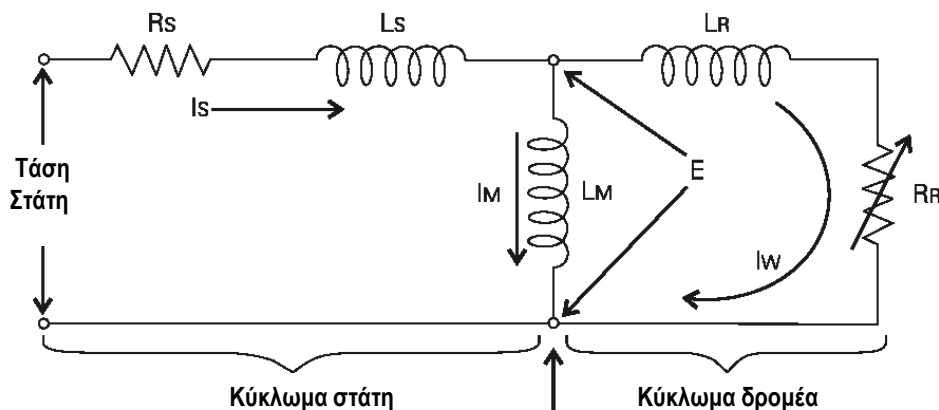
Αναφερόμαστε στο κόκκινο φορτίο στο διάγραμμα.

Έστω ότι θέλουμε να διπλασιάσουμε την ταχύτητα περιστροφής του. Παρατηρούμε ότι στην κανονική λειτουργία θα στρέφεται με 96% της σύγχρονης ταχύτητας, δηλαδή πρακτικά ίσα με την σύγχρονη ταχύτητα.

διπλασιασμός ταχύτητας στροφής φορτίου => διπλασιασμός σύγχρονης ταχύτητας $\omega_s \Rightarrow$ διπλασιασμός ηλεκτρικής συχνότητας $\omega_e \Rightarrow f' = 100\text{Hz}$

Για να διατηρήσουμε την Φονομ πρέπει να διπλασιάσουμε και την τάση $\Rightarrow V' = 2 \cdot V$

Χαρακτηριστικές του κινητήρα επαγωγής



Ισοδύναμο κύκλωμα

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

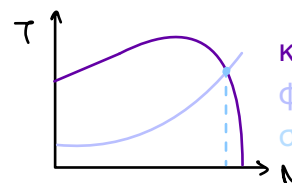
Μαγνητική ροή στο διάκενο: $\Phi \sim I_M = \frac{E}{2\pi f L_M} \Rightarrow \Phi \sim \frac{E}{f} \approx \frac{V}{f}$

Ηλεκτρομαγνητική ροπή: $T \sim \Phi I_W$

Μέγιστη ροπή: $T_{\max} \sim \Phi^2$

Θέλουμε $\Phi = \Phi_{\text{ον}} = \text{σταθερό}$:

- $\Phi > \Phi_{\text{ον}}$: πάμε σε κορεσμό ($\Rightarrow$ απώλειες ...)
- $\Phi < \Phi_{\text{ον}}$: μειώνεται ικανότητα ανάπτυξης ροπής, υπολειτουργεί, δεν μπορεί να κινεί φορτίο

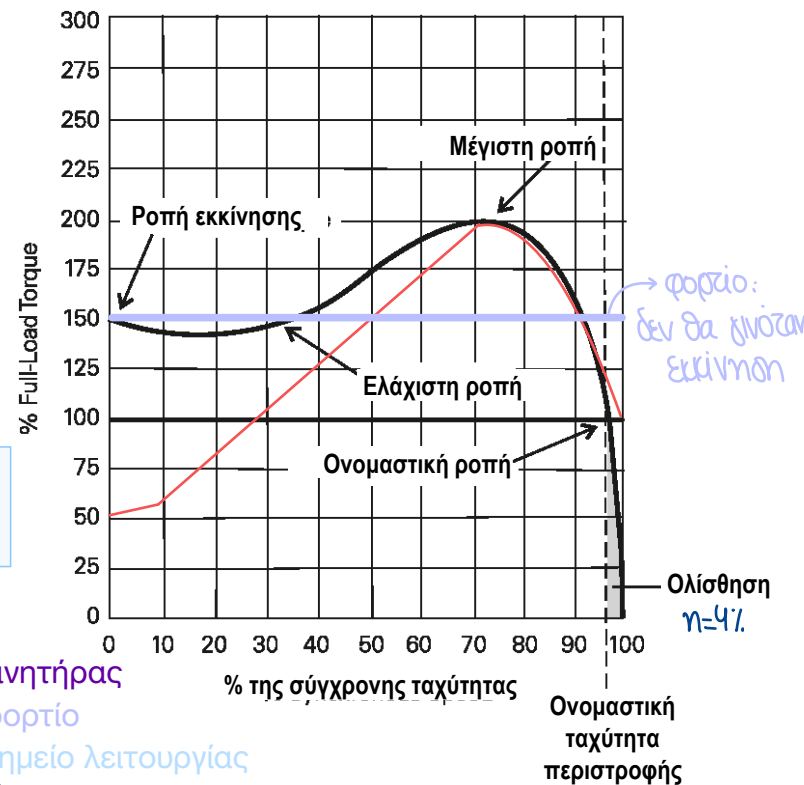


σύγχρονη ταχύτητα: $N_s = 120f / (p/2)$

σύγχρονη γωνιακή ταχύτητα: $\omega_s = \omega_e / 2\pi f$

ήλ. ταχύτητα στάτη: $\omega_e = 2\pi f$

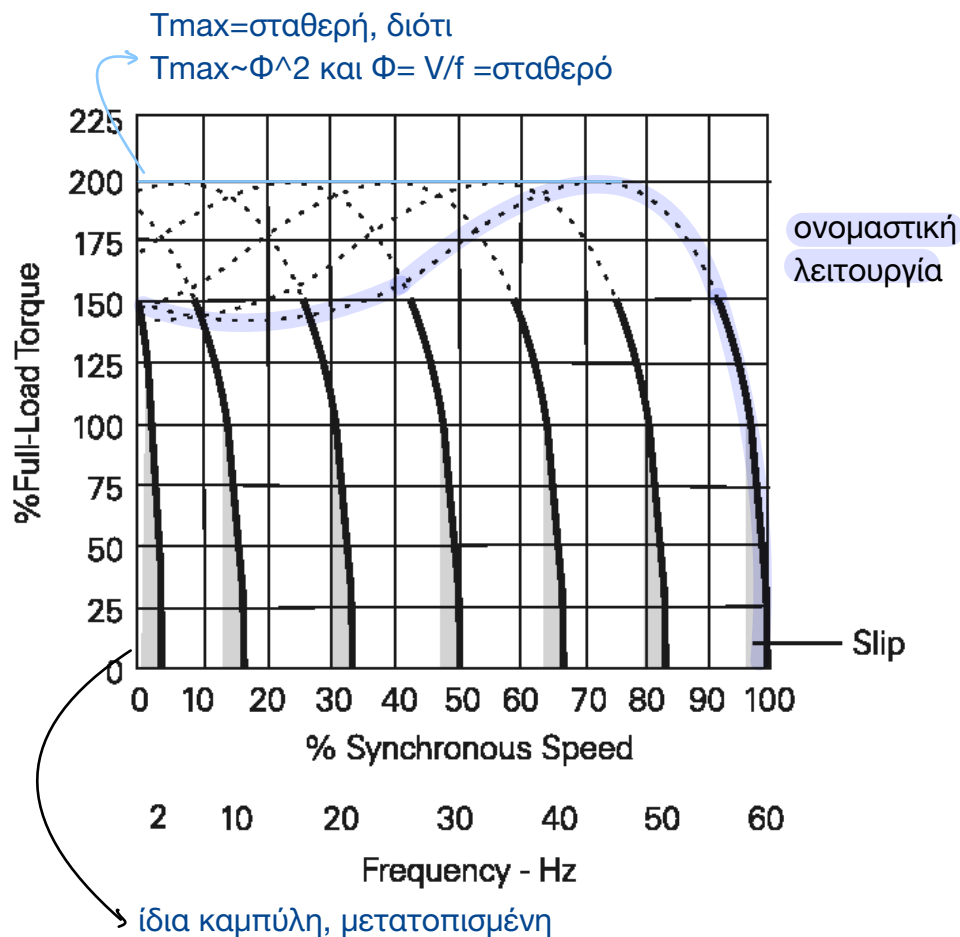
Χαρακτηριστική ροπής-στροφών



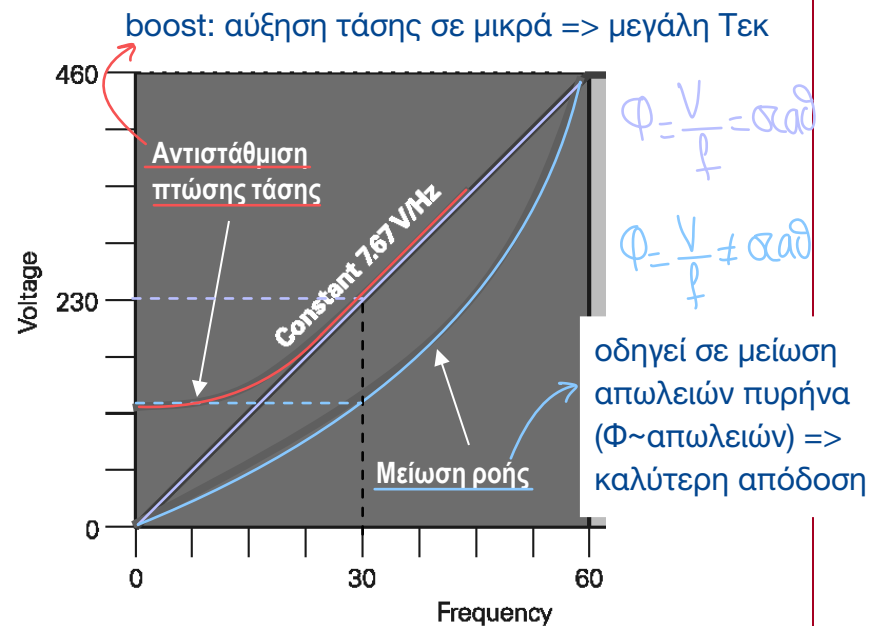


Έλεγχος σταθερού λόγου V/f

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:

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

μεγάλο $\Phi \Rightarrow$ μεγάλη ροπή
 $\Rightarrow$ μεγάλες απώλειες



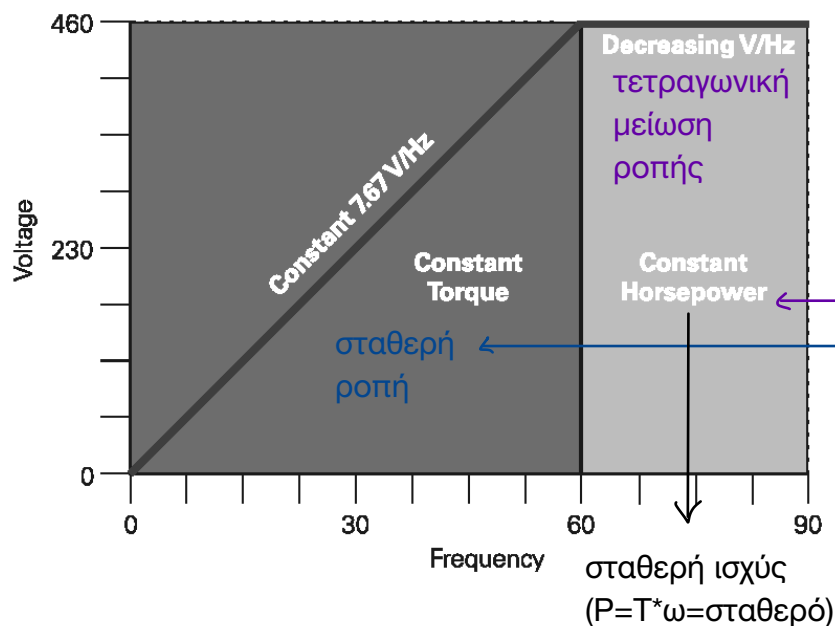
Εξασθένηση πεδίου (field weakening)

Έχουμε 3Φ-2Ρ ΕΡ κινητήρα, $f=50\text{Hz} \Rightarrow \eta_s=120f/p=3.000\text{ΣΑΛ}$ και θέλουμε $\eta_s'=4.500\text{ΣΑΛ}$.

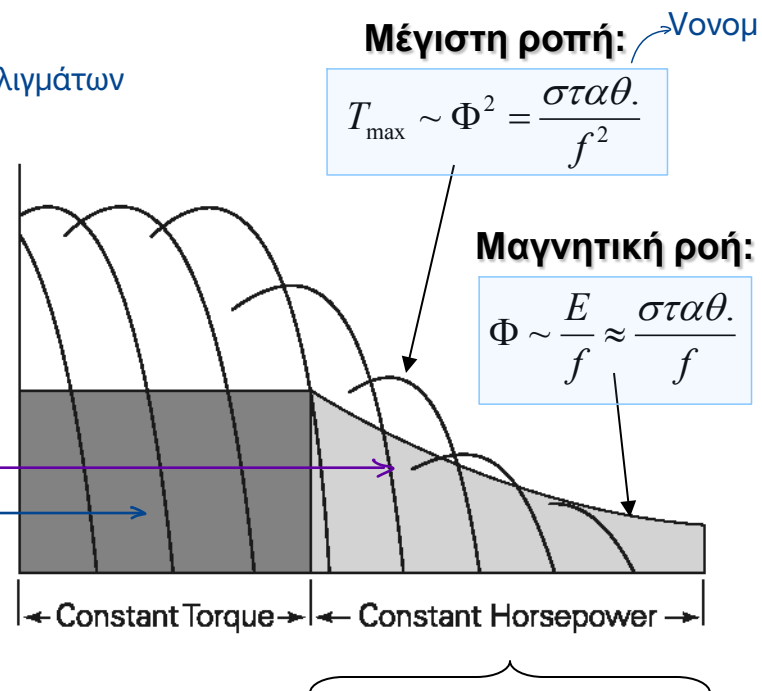
Επίσης από το διάγραμμα συμπεραίνουμε ότι $V_{\text{νομ}}=400\text{V}$.

$\eta_s'=1.5*\eta_s \Rightarrow$ πρέπει $f'=1.5*f=75\text{Hz}$ και κατά συνέπεια $V'=1.5*V=600\text{V}$

!! Κάτι τέτοιο δεν γίνεται διότι $V' \gg V_{\text{νομ}} \Rightarrow$ καταπόνηση μονώσεων τυλιγμάτων
η τάση μπορεί να φτάσει μέχρι 460V



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



Μέγιστη ροπή: $\rightarrow$ $V_{\text{νομ}}$

$$T_{\text{max}} \sim \Phi^2 = \frac{\text{σταθ.}}{f^2}$$

Μαγνητική ροή:

$$\Phi \sim \frac{E}{f} \approx \frac{\text{σταθ.}}{f}$$

Ροπή φορτίου ($I_w=\text{σταθ.}$):

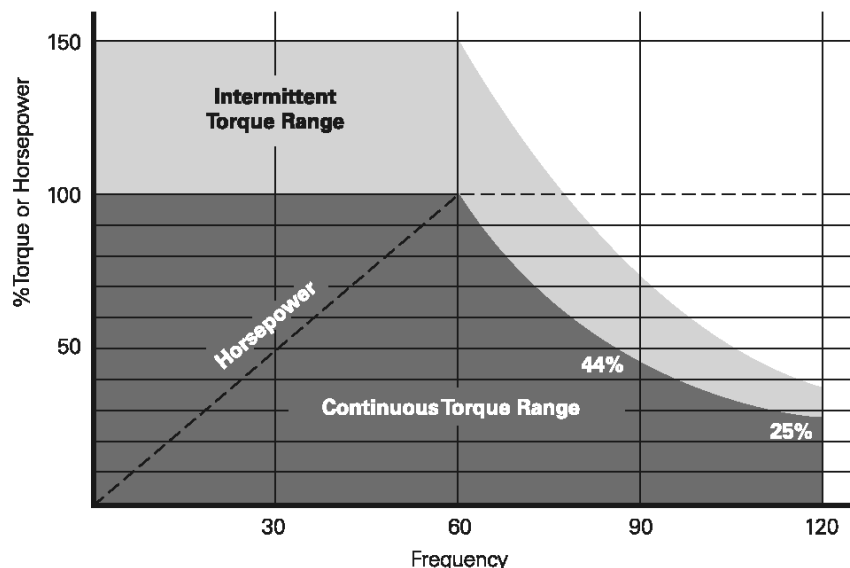
$$T \sim \Phi = \frac{\text{σταθ.}}{f}$$

Ισχύς φορτίου:

$$P = T\omega = \text{σταθ.}$$

Σε όλη την περιοχή σταθερής, μέγιστης ροπής έχουμε μέγιστο ρεύμα και θερμαίνεται αρκετά ο κινητήρας. Η ψύξη του πραγματοποιείται με εσωτερικό ανεμιστήρα που κινείται με ω του φορτίου. Συνεπώς, όταν είμαστε σε χαμηλά ω , ο ανεμιστήρας δεν κινείται τόσο γρήγορα και υπάρχει κίνδυνος υπερθέρμανσης.

Επιλογή κινητήρα



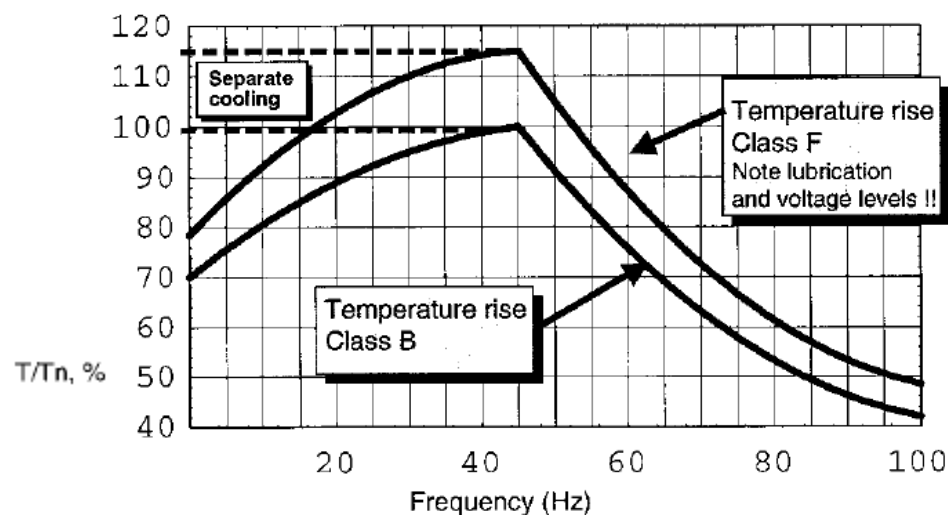
Μέγιστη ταχύτητα

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

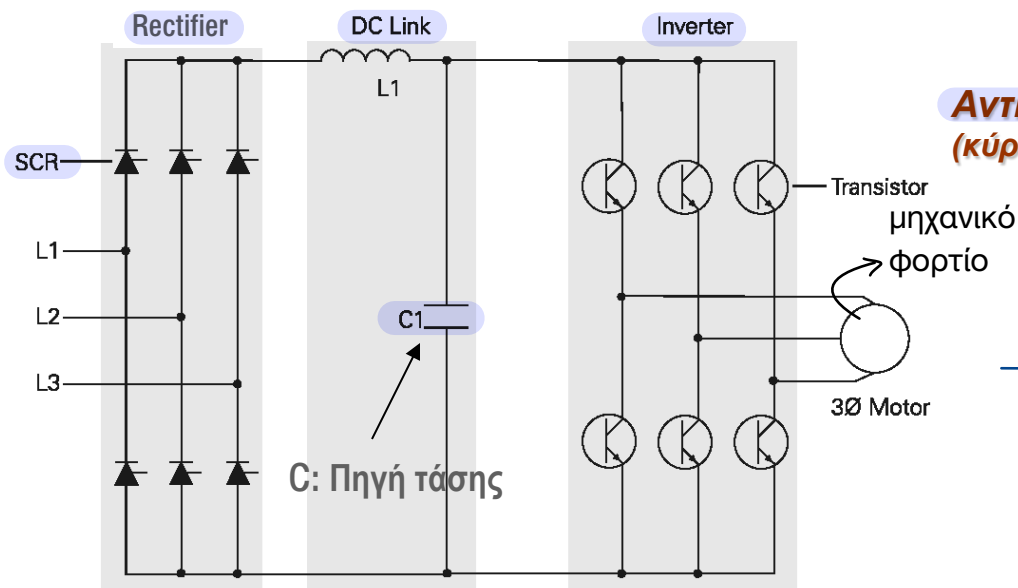
- Ψύξη στις χαμηλές ταχύτητες
- Κλάση μόνωσης τυλίγματος
- Δυνατότητα υπερτάχυνσης
- Μέγιστο ρεύμα μετατροπέα (~150% I_n)

Ψύξη και κλάση μόνωσης τυλίγματος



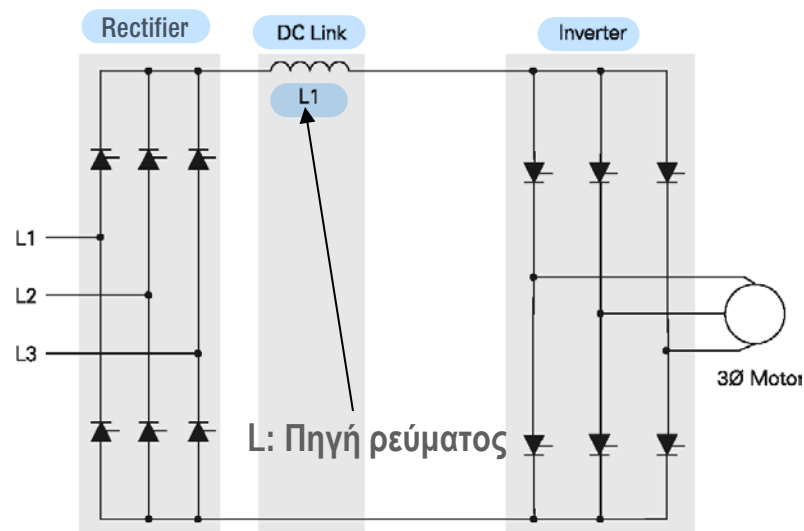


Μετατροπείς ισχύος συστημάτων κίνησης ΕΡ



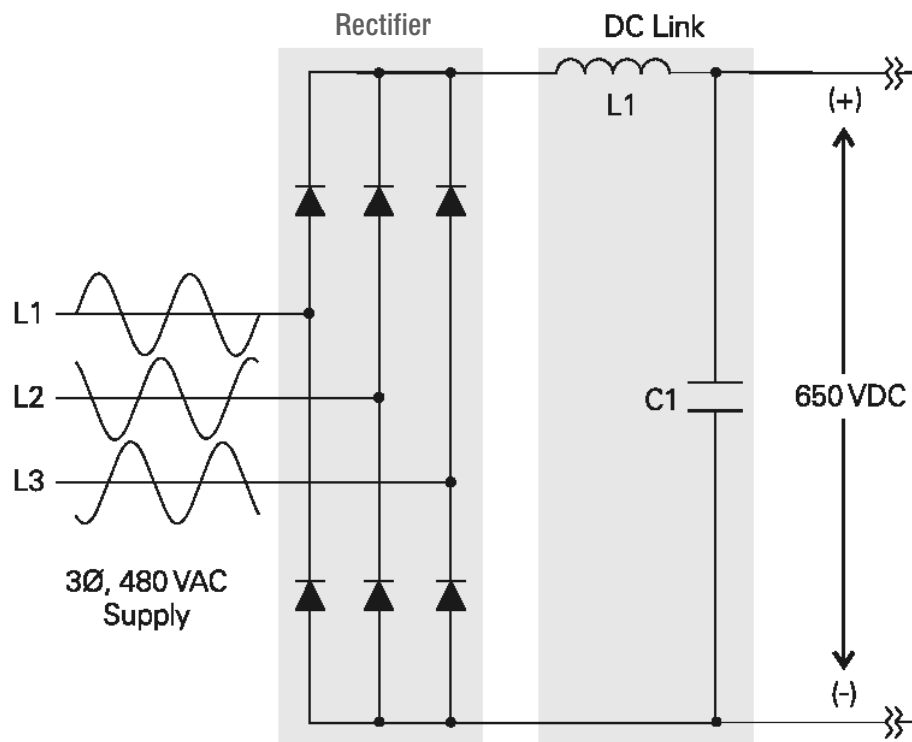
Αντιστροφέας Πηγής Ρεύματος
(δεν χρησιμοποιείται πλέον σε νέα συστήματα)

Αντιστροφέας Πηγής Τάσης
(κύρια τεχνολογία των σύγχρονων συστημάτων)





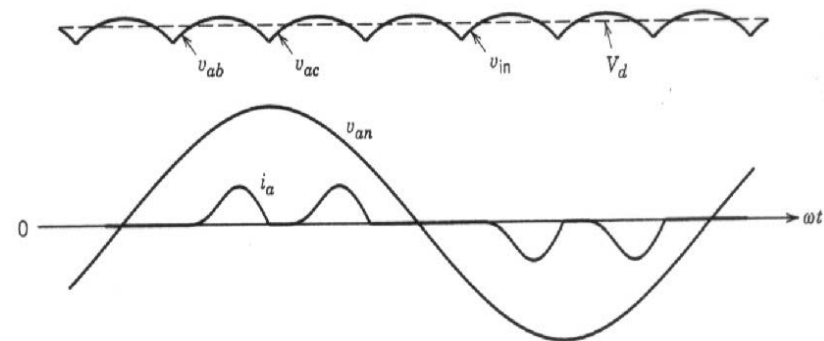
Βαθμίδα ανόρθωσης ΕΡ/ΣΡ



τιμή V_{dc} :

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

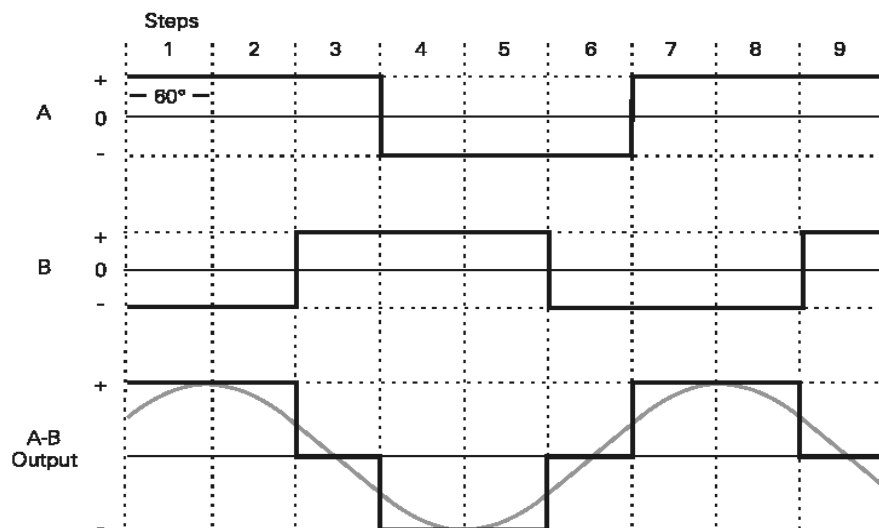
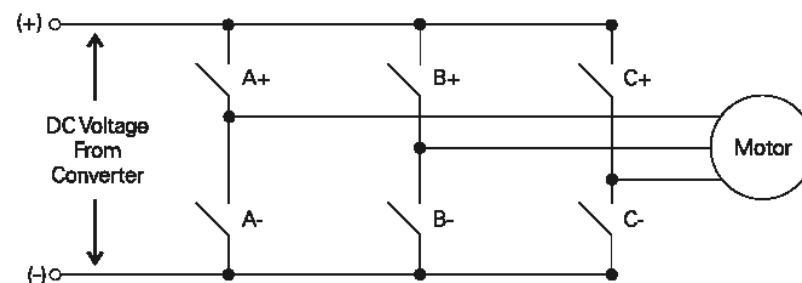
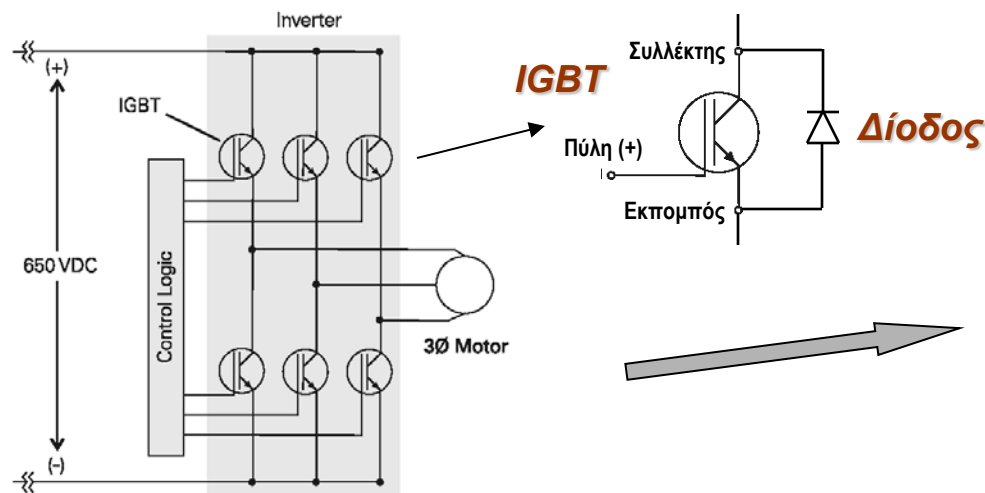
Ενδεικτικές κυματομορφές





Βαθμίδα αντιστροφής ΣΡ/ΕΡ

DC/AC



Λειτουργία τετραγωνικού παλμού

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

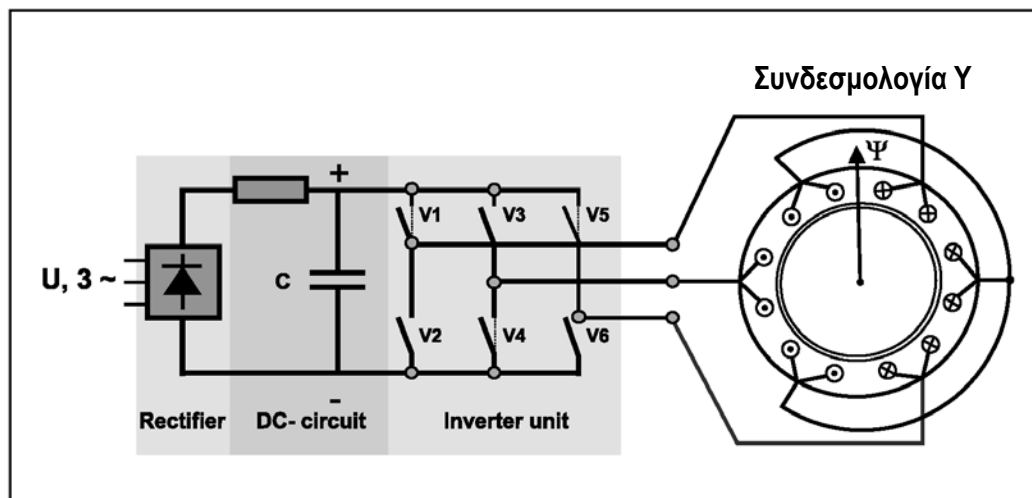
Ρεύμα γραμμής κινητήρα



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

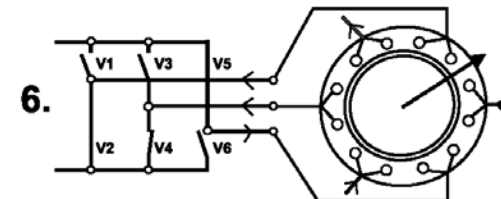
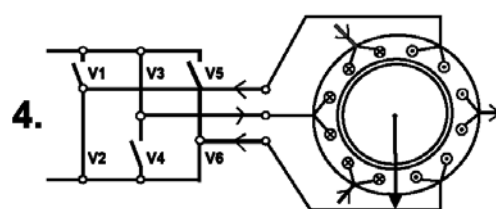
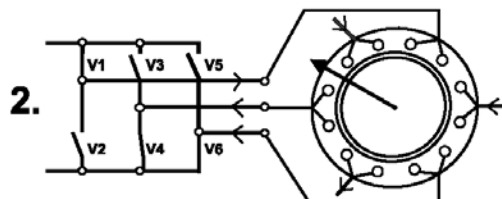
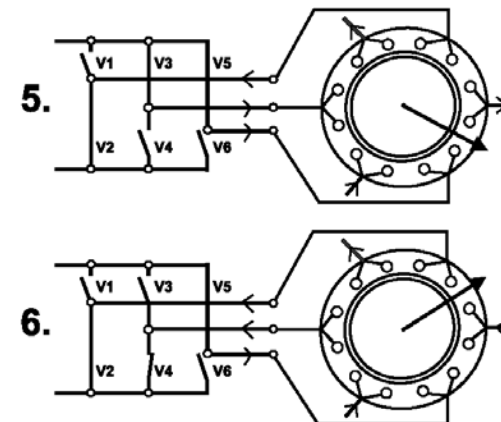
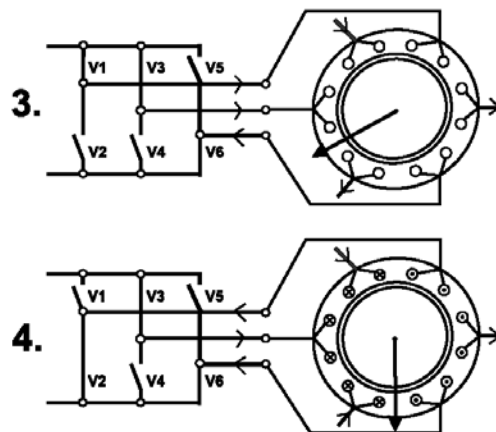
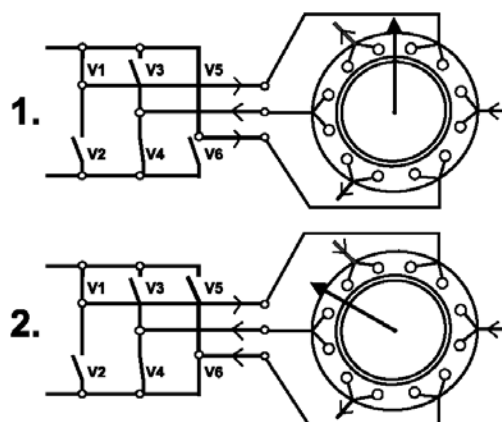


Οδήγηση του κινητήρα επαγωγής



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



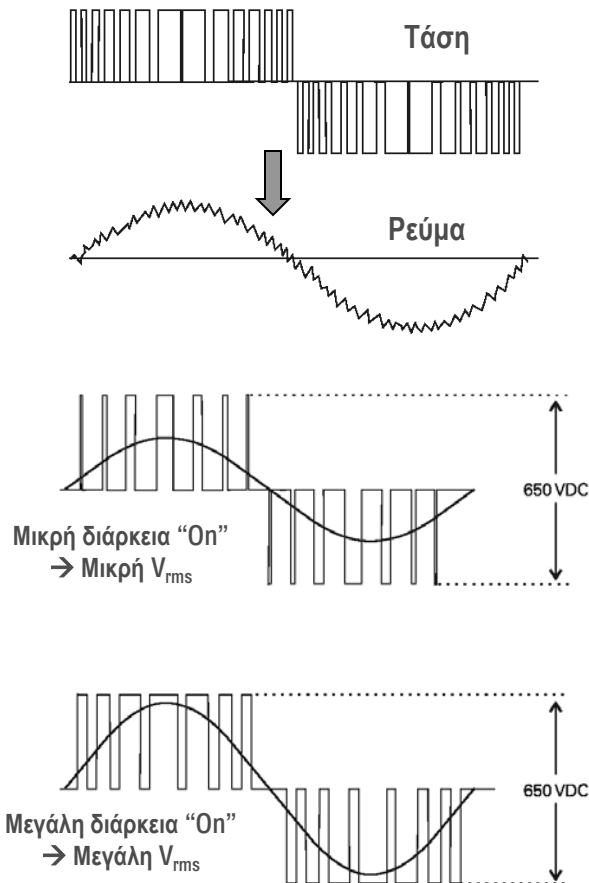
ΕΡ κινητήρας: 400V, 50hz και επιθυμούμε μισή ταχύτητα => $f' = 25\text{hz}$ και $V' = 200\text{V}$

Πως το πετυχαίνω αυτό? αλλάζω κυματομορφή αναφοράς -> $f_r' = f_r/2$ και $V_r' = V_r/2$

Διαμόρφωση Εύρους Παλμών

Pulse Width Modulation (PWM)

Τυπικές κυματομορφές και αρχή ελέγχου



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

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

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

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

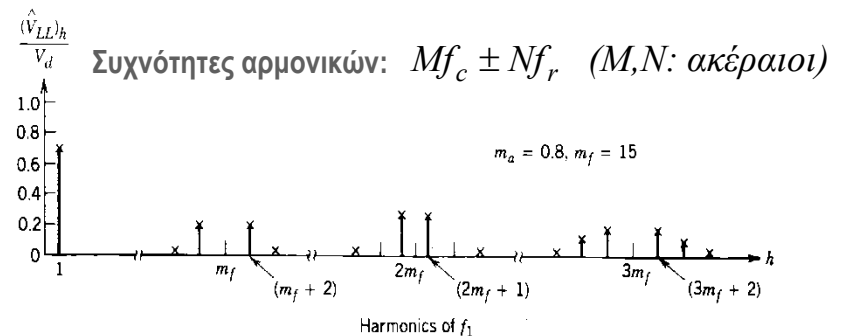
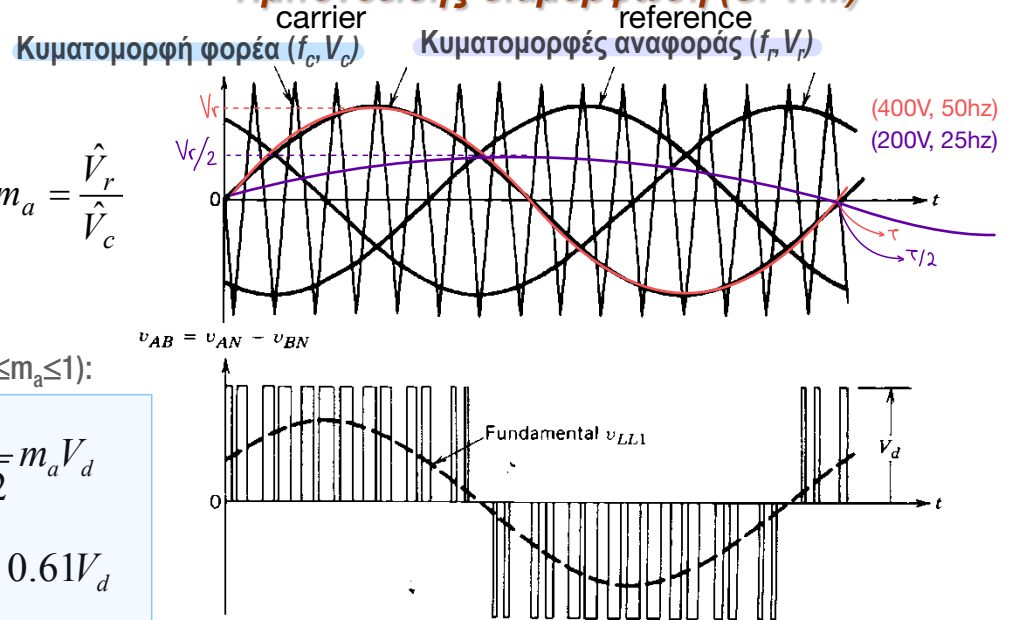
Υπερδιαμόρφωση ($m_a > 1$):

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

αντιστροφέας

$$V_d \rightarrow \begin{array}{|c|} \hline - \\ \hline \sim \\ \hline \end{array} \rightarrow \begin{array}{l} V_s = \frac{m_a V_d}{2} \\ V_{LL} = \sqrt{3} \cdot V_s \end{array}$$

Ημιτονοειδής διαμόρφωση (SPWM)



Ο κινητήρας γίνεται γεννήτρια και μετατρέπει την μηχανική ενέργεια του φορτίου σε ηλεκτρική

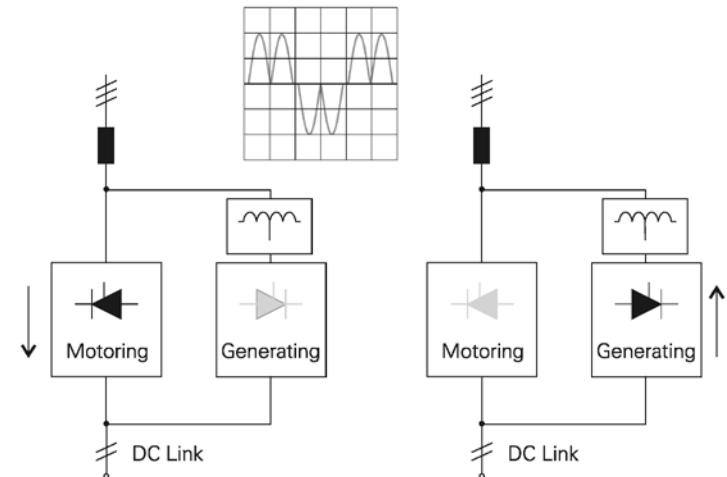
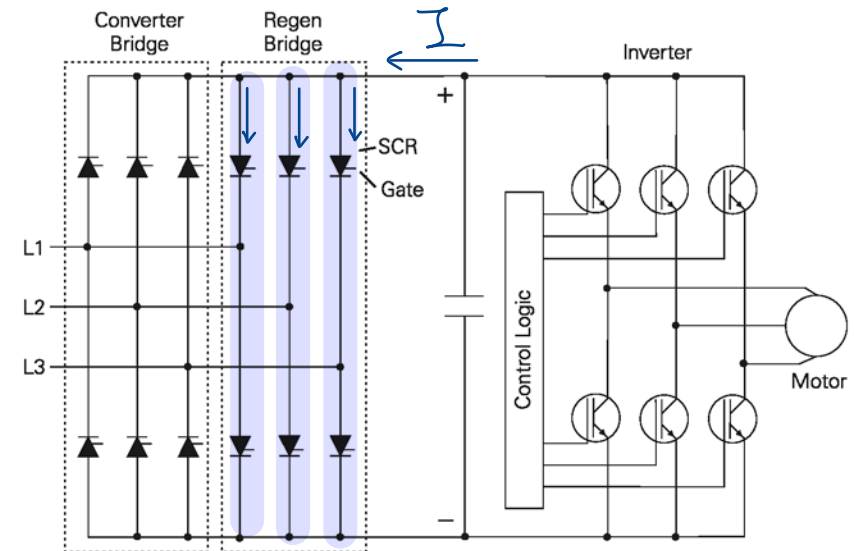
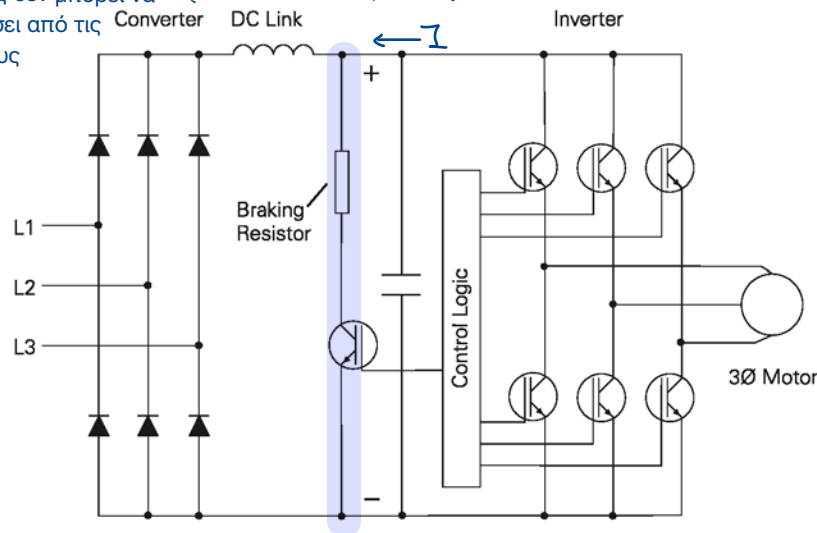
Πέδηση στα συστήματα κίνησης ΕΡ

Βασικές μέθοδοι

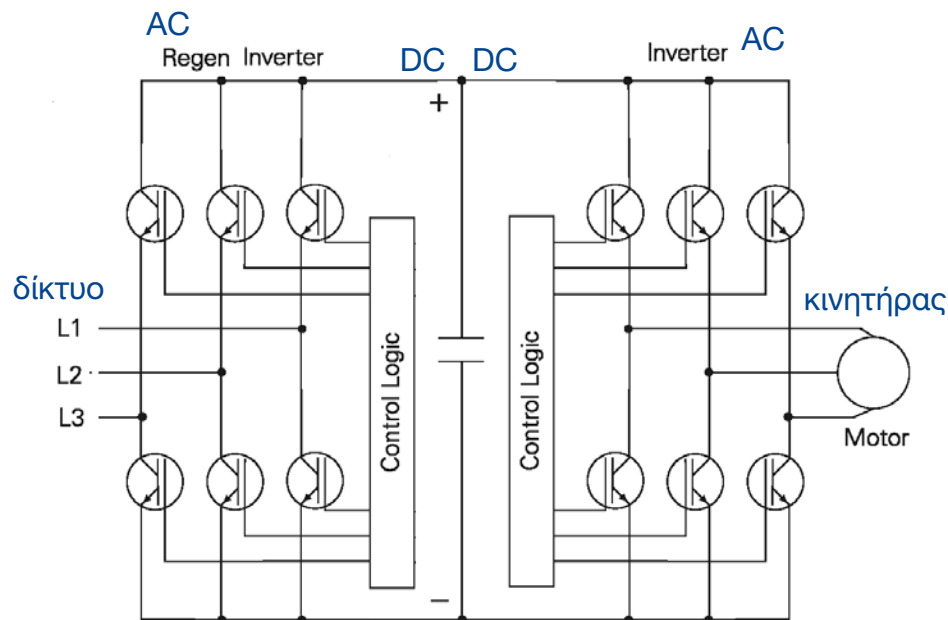
- Φυσική πέδηση (ροπή φορτίου, τριβές)
- Μείωση συχνότητας κινητήρα
- Έγχυση ΣΡ
- Αναγεννητική πέδηση

Τοπολογίες αναγεννητικής πέδησης

το ρεύμα αρνητικής φοράς δεν μπορεί να περάσει από τις διόδους

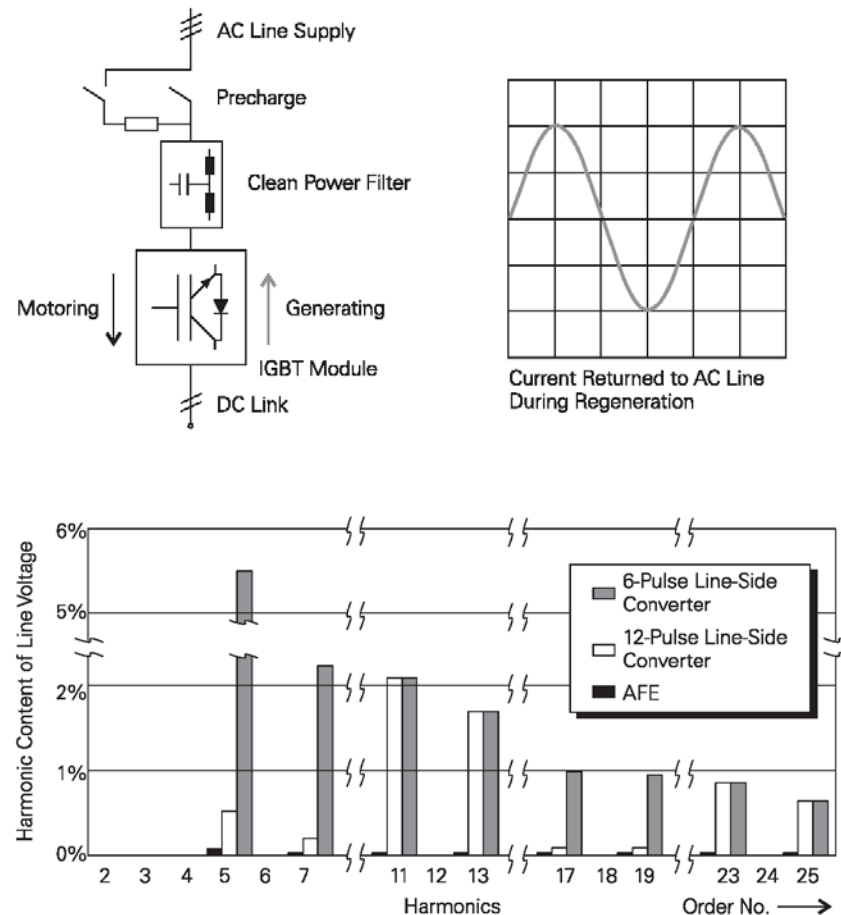


Συστήματα διπλών μετατροπών πηγής τάσης



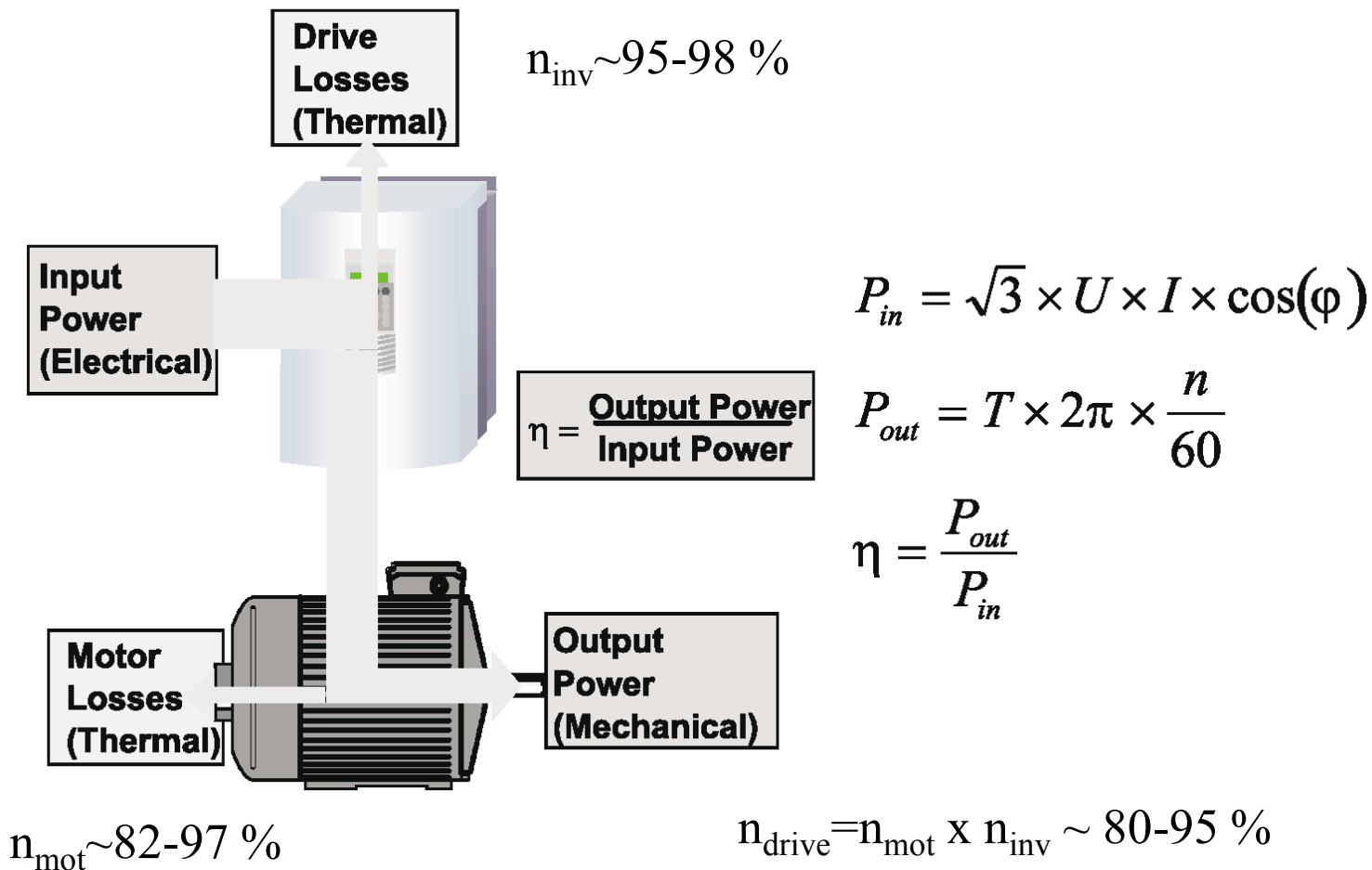
Βασικά πλεονεκτήματα

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





Βαθμός απόδοσης



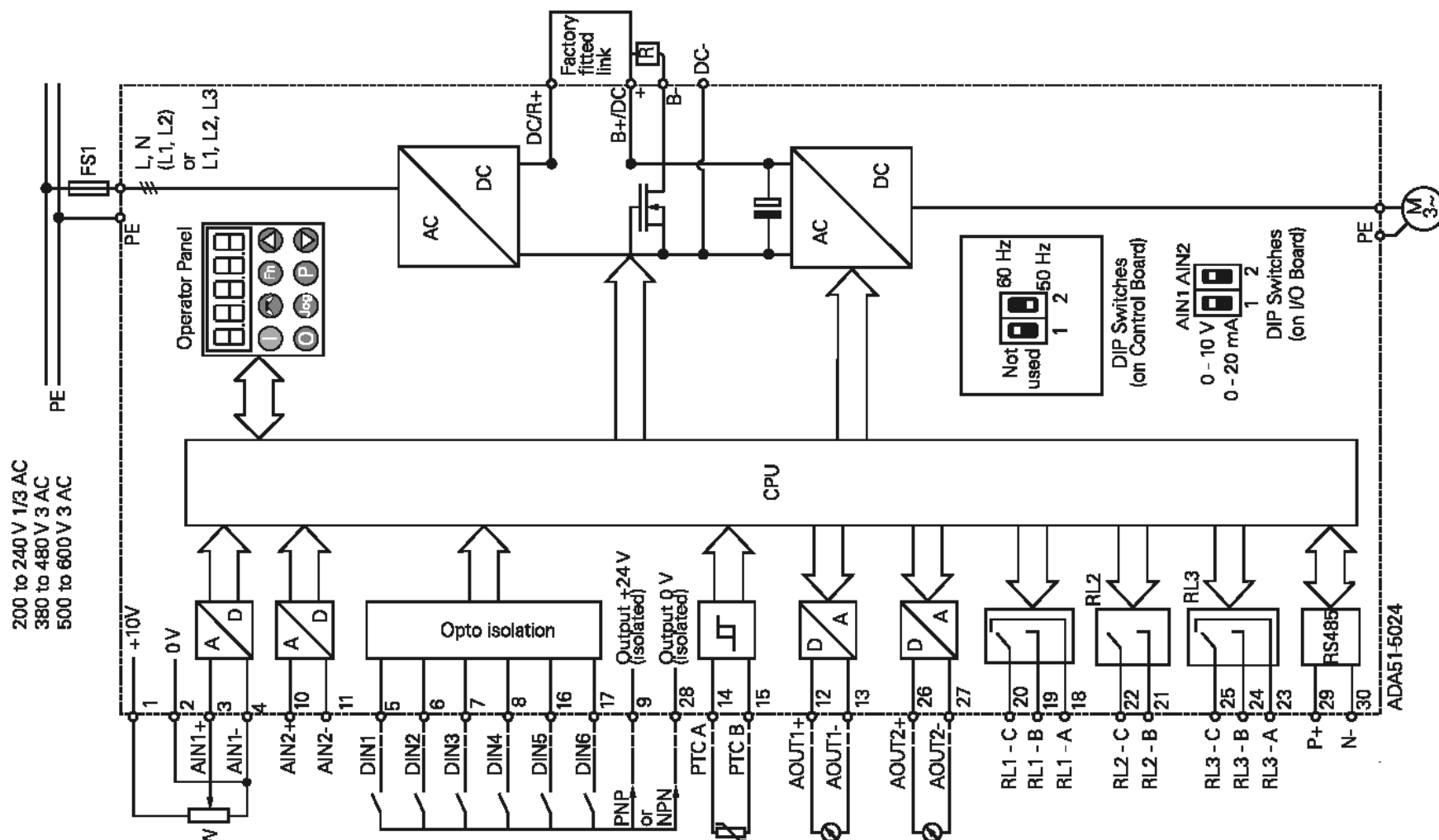


Ενδεικτικοί πίνακες τεχνικών χαρακτηριστικών

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

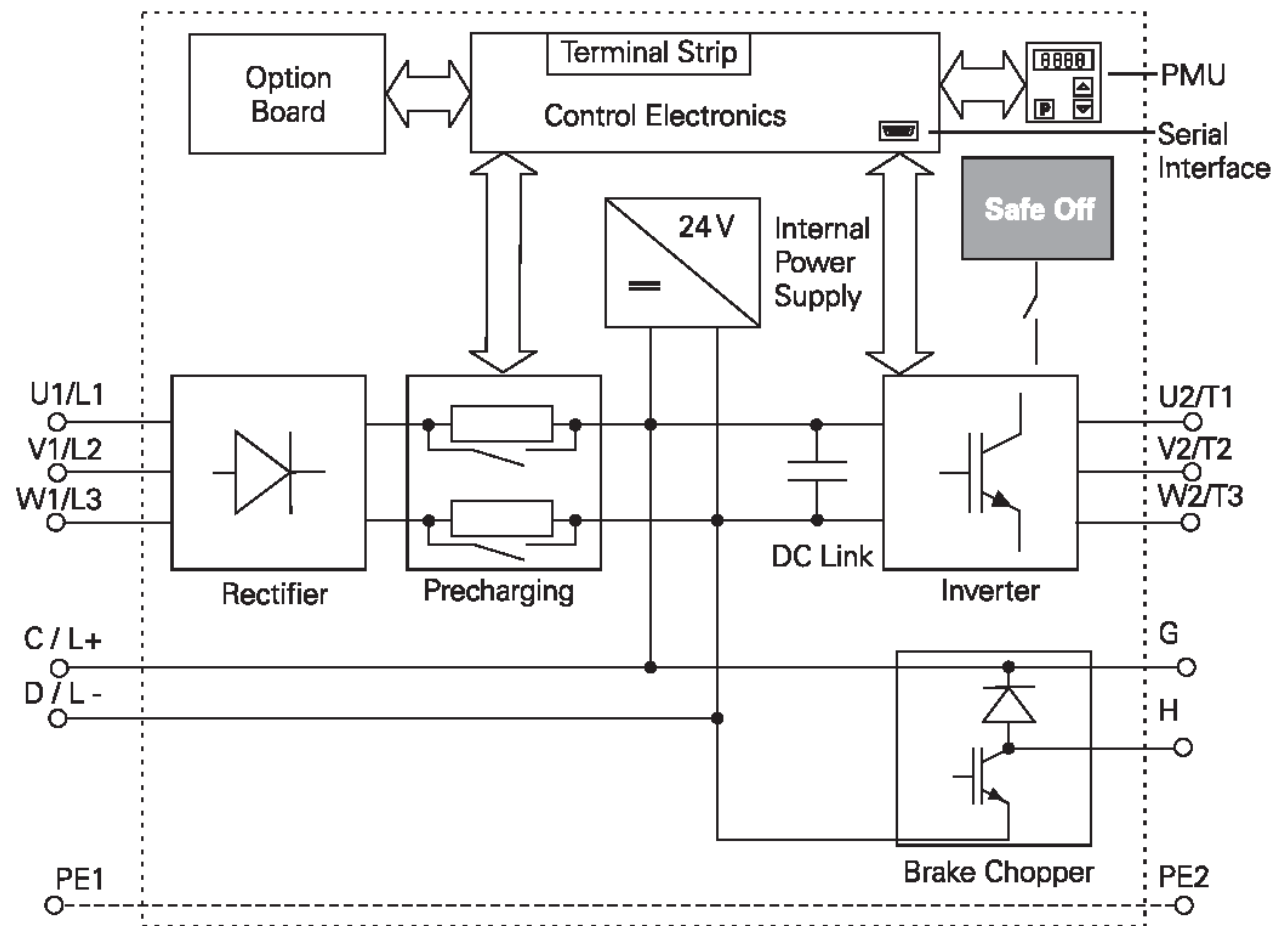


Διάγραμμα ακροδεκτών βιομηχανικού αντιστροφέα





Ενδεικτική δομή βιομηχανικού αντιστροφέα





Συστήματα Ηλεκτρικής Κίνησης ΣΡ

ΣΡ: συνεχούς ρεύματος DC

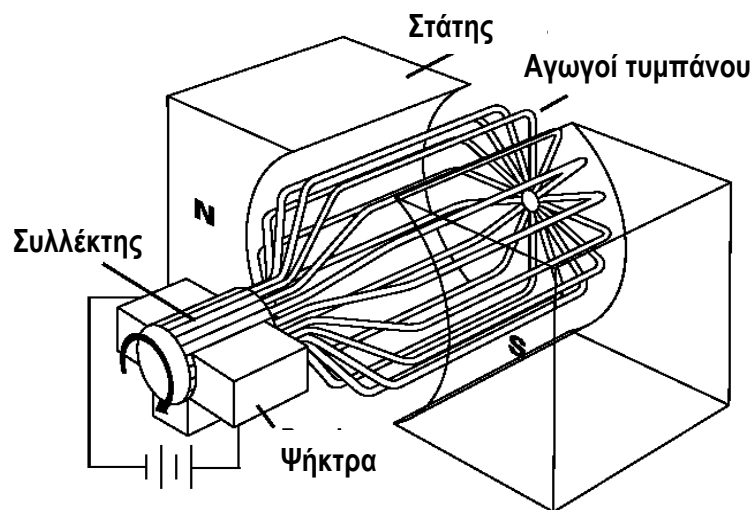


Στ. Παπαθανασίου
Καθ. ΕΜΠ



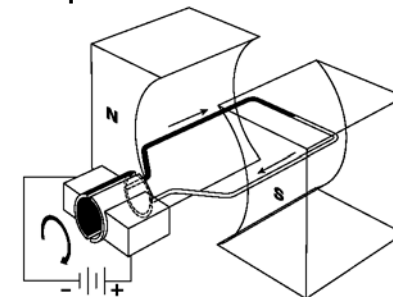
Μηχανή συνεχούς ρεύματος

Σχηματική απεικόνιση

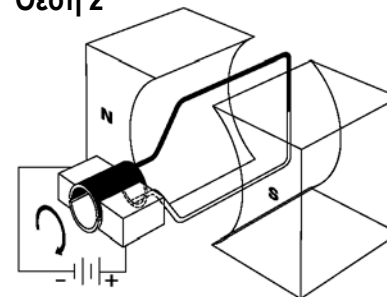


Λειτουργία στοιχειώδους συλλέκτη

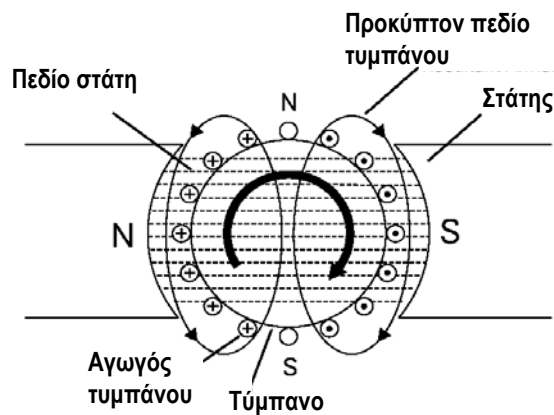
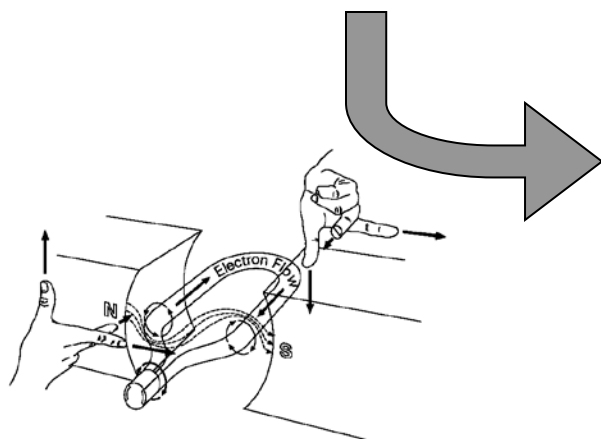
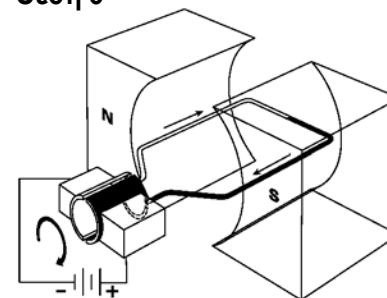
Θέση 1



Θέση 2



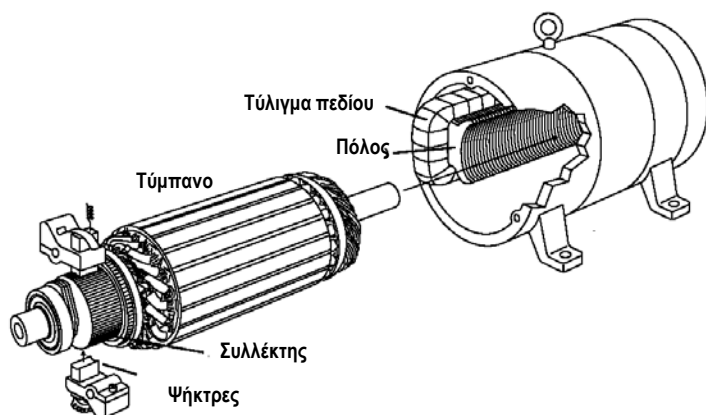
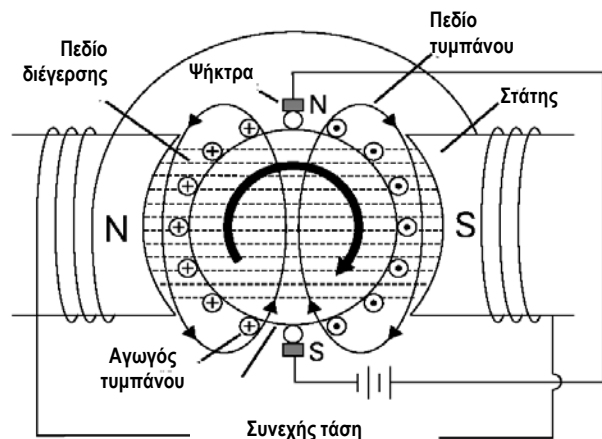
Θέση 3



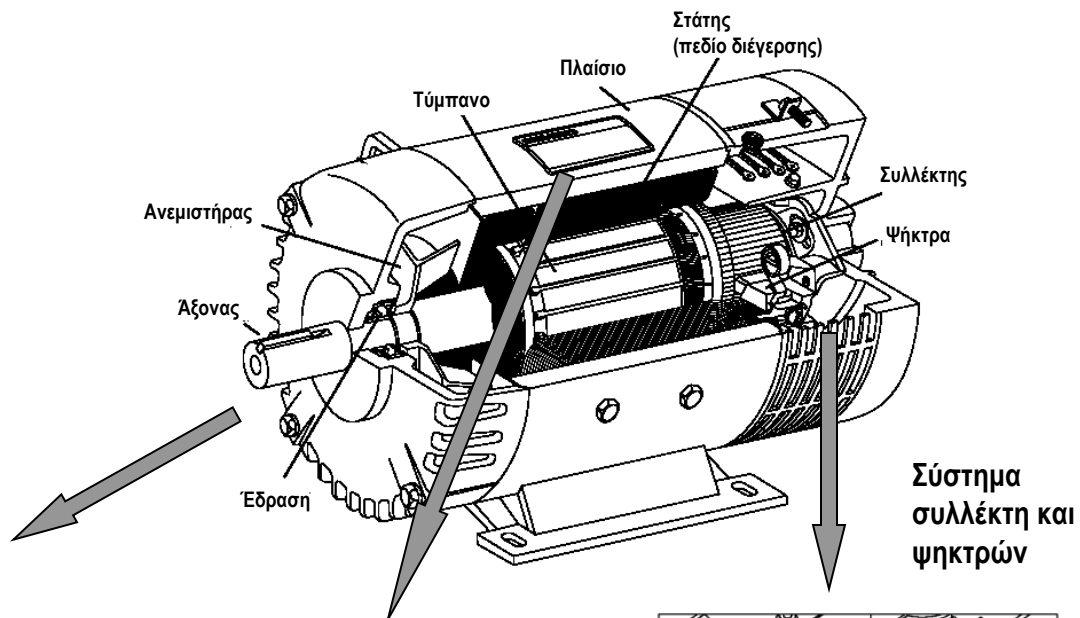


Μηχανή συνεχούς ρεύματος

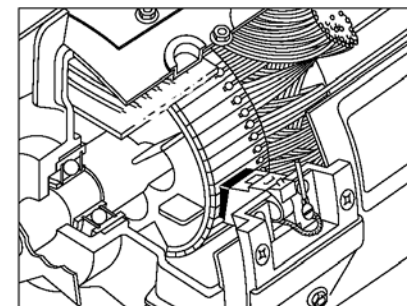
Τυλίγματα πεδίου και τυμπάνου



Κατασκευαστική διαμόρφωση



ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΗΣ					
HP	10	RPM	1180	VOLTS	500
ARM AMPS	17.0	WOUND	SHUNT		
FLD AMPS	1.4/2.8	FLD OHMS	25C	156	
INSUL CLASS	F	DUTY	CONT	MAX AMBIENT	40° C
PWR SUP CODE	C	FLD VOLTS	300/150		
TYPE	E	ENCL	DP	INSTR	
MOD		SER			
NP36A2483AP				DIRECT CURRENT MOTOR MADE IN U.S.A.	



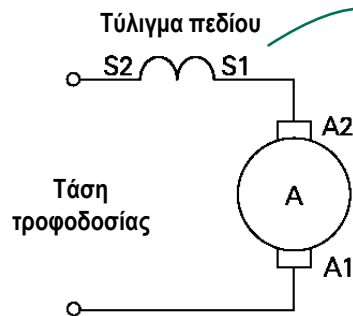
- διεγείρουμε τύλιγμα πεδίου F για να εγκατασταθεί σταθερό μαγνητικό πεδίο στάτη
- τροφοδοτούμε τύλιγμα τυμπάνου A με αναγκαία ηλεκτρική ισχύ που θα μετατραπεί σε μηχανική ισχύ στον άξονα μηχανής

Συνδεσμολογίες διέγερσης των κινητήρων ΣΡ

τύλιγμα τυμπάνου/ δρομέα A με δύο ακροδέκτες A1, A2

τύλιγμα πεδίου/διέγερσης/στάτη F με δύο ακροδέκτες F1, F2

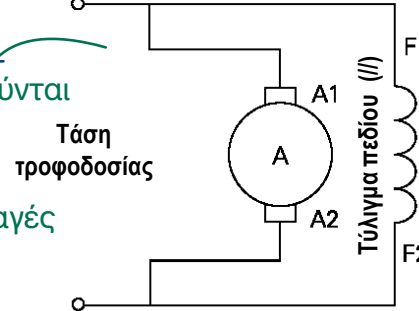
Διέγερση σειράς



δεν
χρησιμοποιούνται
τόσο, διότι
δεν είναι οι
εφικτές αλλαγές

Παράλληλη διέγερση

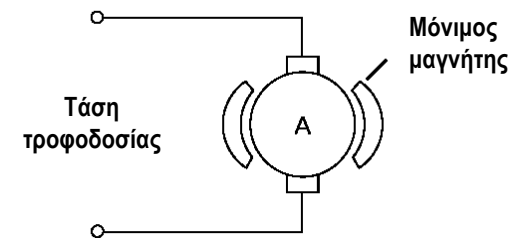
απλούστερη (δεν προσφέρει
έλεγχο ταχύτητας)



F1, F2: συνδέουμε DC πηγή που τροφοδοτεί
τύλιγμα πεδίου, με την οποία ρυθμίζουμε την
ένταση διεγέρσεως της μηχανής

A1, A2: συνδέουμε DC πηγή που τροφοδοτεί
τύλιγμα τυμπάνου του δρομέα που θα δώσει κύρια
ισχύ στη μηχανή

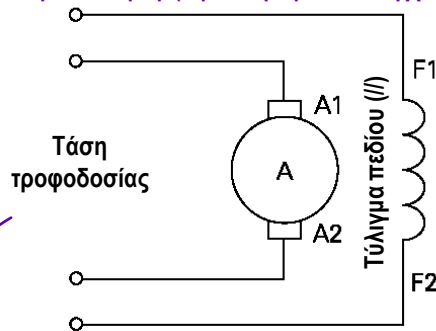
Διέγερση μόνιμων μαγνητών



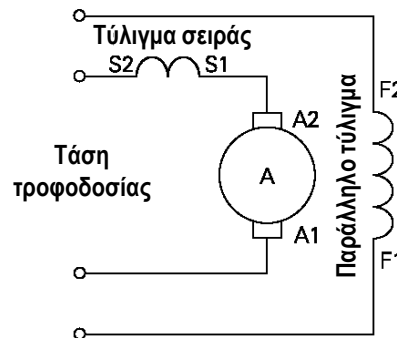
αρνητικά:
απομαγνήτιση => όχι μακροζωία
προκαθορισμένο ρεύμα διέγερσης =>
περιορισμένη ευελιξία

Ξένη διέγερση

συνηθέστερη (προσφέρει έλεγχο ταχύτητας)



Σύνθετη διέγερση



ανεξαρτητοποιεί τον έλεγχο του τυλίγματος πεδίου/διέγερσης από τον
έλεγχο του τυλίγματος τυμπάνου => ανεξάρτητη ρύθμιση μαγνητικού
πεδίου από ηλεκτρικά χαρακτηριστικά τυλίγματος τυμπάνου

Ra: ωμική αντίσταση τυμπάνου
 Va: τάση ακροδεκτών στις ψύκτρες
 Ia: ρεύμα τυμπάνου/δρομέα

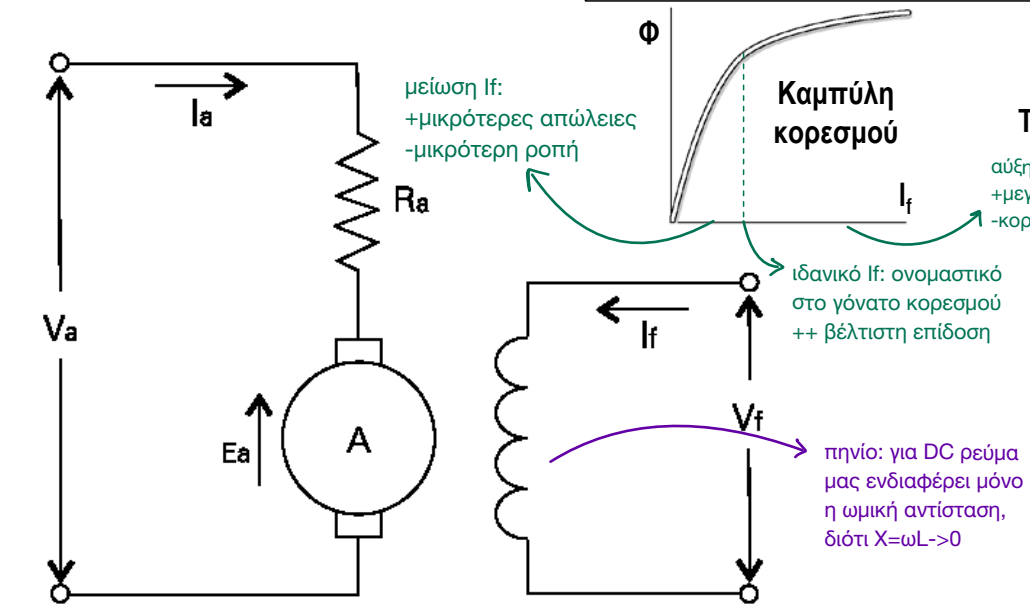
If: ρεύμα διέγερσης
 Vf: τάση διέγερσης

Ea: ΗΕΔ που δείχνει την τάση που επάγεται στο τύλιγμα τυμπάνου από το μαγν πεδίο του στάτη

ηριστικές της μηχανής ΣΡ

=> κάνουμε αλλαγές στην ταχύτητα μεταβάλλοντας τάση τυμπάνου Ea και κρατώντας ρεύμα διέγερσης If σε ονομαστική τιμή ώστε να έχω μέγιστη δυνατότητα ανάπτυξης ροπής **Χαρακτηριστικές ροπής-στροφών**

Ισοδύναμο κύκλωμα



Τύλιγμα τυμπάνου/δρομέα

Τύλιγμα διέγερσης/πεδίου/στάτη

Βασικές σχέσεις

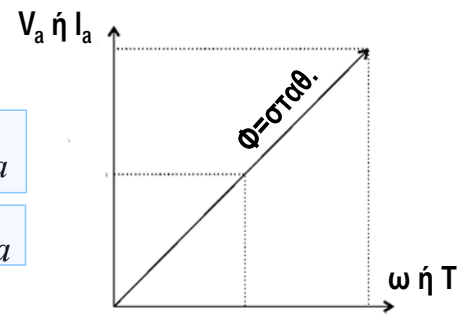
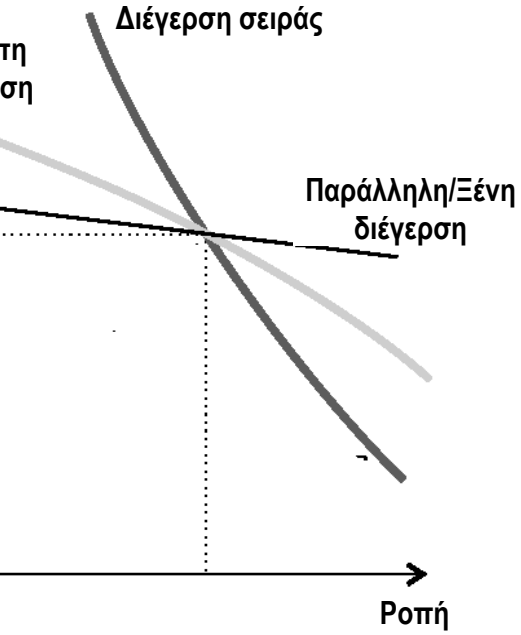
$$\left. \begin{aligned} V_a &= R_a I_a + E_a \approx E_a \\ E_a &= k \omega I_f \end{aligned} \right\} \omega &= \frac{E_a}{k I_f} \approx \frac{V_a}{k I_f}$$

$$\begin{aligned} T &= k I_a I_f \\ V_f &= R_f I_f \end{aligned}$$

Παράλληλη/Ξένη Διέγερση

$I_f = \text{σταθ.}$

$$\begin{aligned} \omega &\sim V_a \\ T &\sim I_a \end{aligned}$$



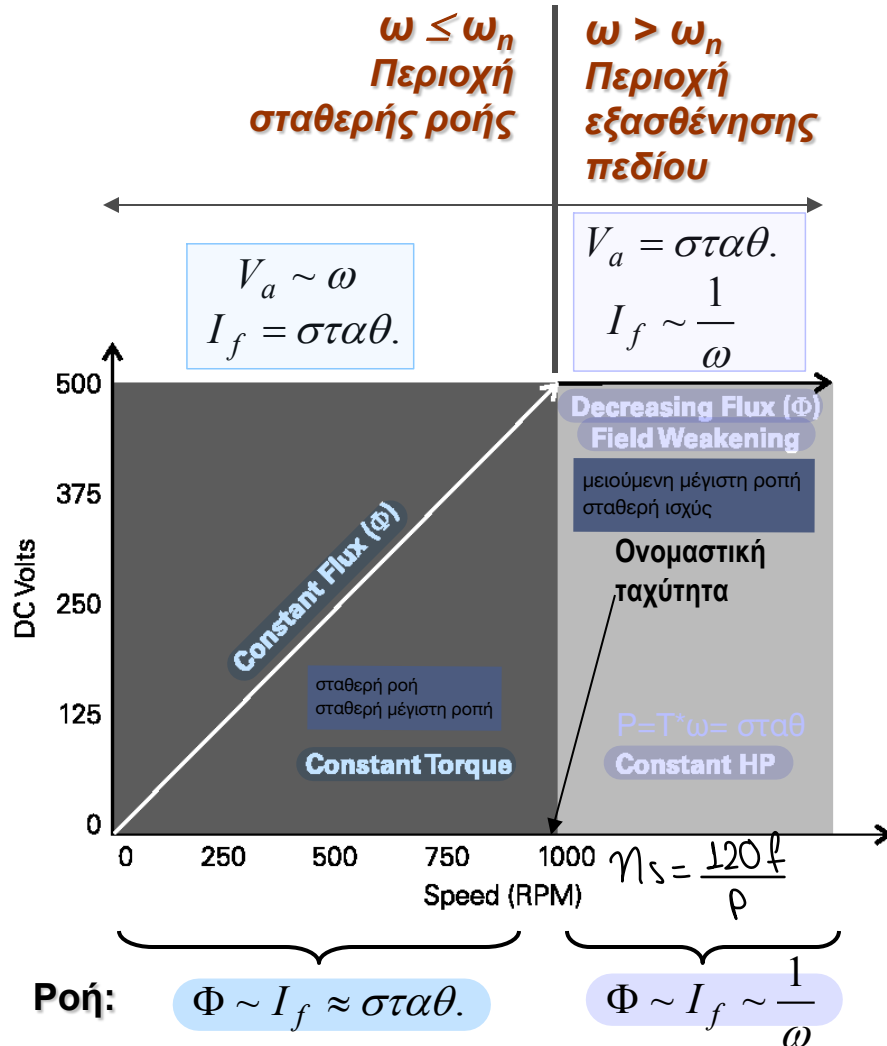
Έχουμε 3Φ-6P ΣΡ κινητήρα: 500V, 50hz => $\eta_s = 120 \cdot f / p = 1.000$ ΣΑΛ. Θέλουμε να στραφεί με 1.500 ΣΑΛ ($\eta_s' = 1.5 \cdot \eta_s$)

• $V' = 1.5 \cdot V = 750V$. => αδύνατο, δεν μπορώ να ξεπεράσω Νονομ.

• $I_f' = (1/1.5) \cdot I_f$ => τίμημα: εξασθένηση μαγν πεδίου, μείωση Tmax

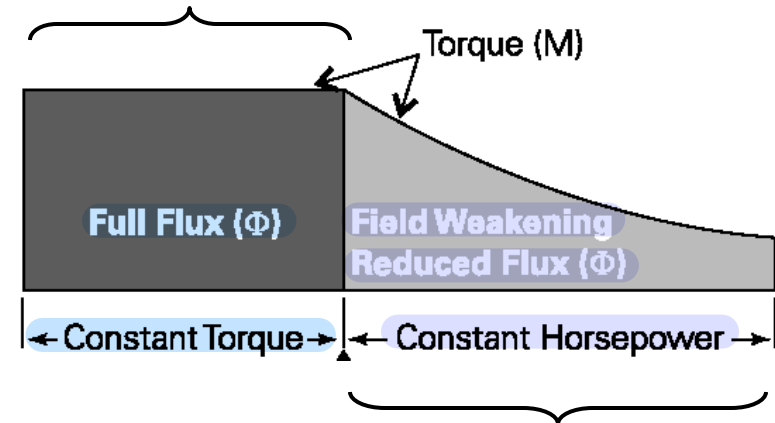
$$\omega = \frac{E_a}{kI_f} \approx \frac{V_a}{kI_f}$$

Αρχή ελέγχου ταχύτητας κινητήρα ΣΡ



Ροπή: $T_{\max} = k\Phi I_{a,\max} \xrightarrow{\Phi=\text{σταθ.}} T_{\max} = \text{σταθ.}$

Ισχύς: $P_{\max} = T_{\max} \omega \xrightarrow{T_{\max}=\text{σταθ.}} P_{\max} \sim \omega$



Ροπή: $T_{\max} = k\Phi I_{a,\max} \xrightarrow{\Phi \sim 1/\omega} T_{\max} \sim \frac{1}{\omega}$

Ισχύς: $P_{\max} = T_{\max} \omega \xrightarrow{T_{\max} \sim 1/\omega} P_{\max} = \text{σταθ.}$



Μετατροπείς ισχύος συστημάτων κίνησης ΣΡ

Μονοφασικοί μετατροπείς ΕΡ/ΣΡ

Έλεγχος της τάσης μέσω
της γωνίας έναυσης α
των θυρίστωρ

1Φ ανωρθωτές

Type	Circuit	Operation
half-wave 1 pulse		
semi-converter 2 pulse		
full converter 2 pulse		
double converter 2 pulse		



Μετατροπείς ισχύος συστημάτων κίνησης ΣΡ

3Φ ανωρθωτές

αναγεννητική πέδηση: για να φρενάρω το μηχανικό φορτίο, βάζω την μηχανή να αναπτύξει επιβραδύνουσα ροπή που αφαιρεί μηχανική ενέργεια από το μηχανικό σύστημα, την παράγει ως ηλεκτρική και μου επιτρέπει να τη στείλω πίσω στο δίκτυο για να αξιοποιηθεί από άλλα φορτία

Τριφασικοί μετατροπείς ΕΡ/ΣΡ

Έλεγχος της τάσης μέσω της γωνίας έναυσης α των θυρίστωρ

μπορούμε να διαχειριστούμε:

- εισερχόμενο ρεύμα στην μηχανή $\rightarrow$ κινητήρας
 - εξερχόμενο ρεύμα από την μηχανή $\rightarrow$ γεννήτρια
- $\Rightarrow$ επιτρέπει και τις δύο λειτουργίες
 $\Rightarrow$ επιτρέπει αναγεννητική πέδηση

Type	Circuit	Operation
half-wave 3 pulse		
semi-converter 3 pulse		
full converter 6 pulse		
double converter 6 pulse		

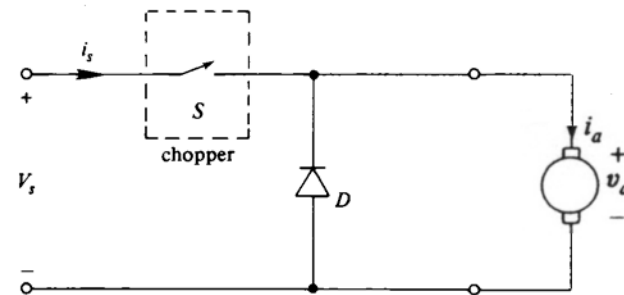


Μετατροπείς ισχύος συστημάτων κίνησης ΣΡ

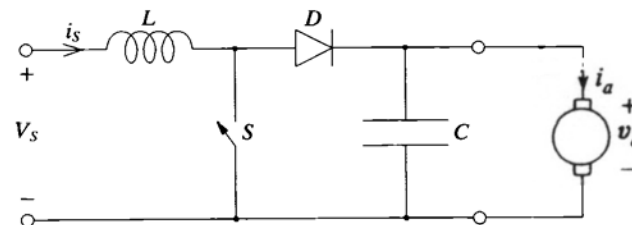
Μετατροπείς ΣΡ/ΣΡ

Έλεγχος της τάσης μέσω του duty cycle του μετατροπέα

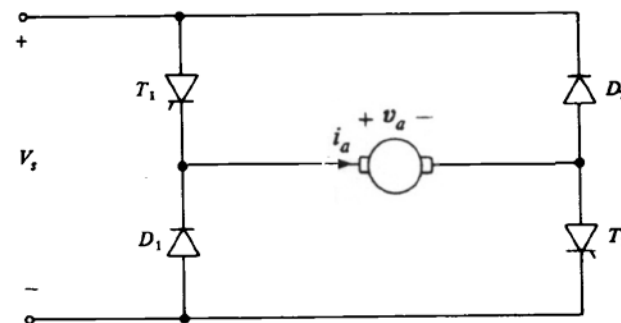
Μετατροπέας ΣΡ/ΣΡ
υποβιβασμού της τάσης



Μετατροπέας ΣΡ/ΣΡ
ανύψωσης της τάσης

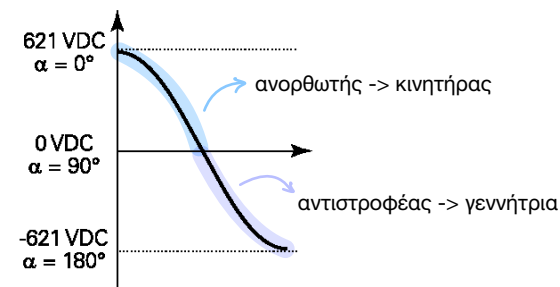
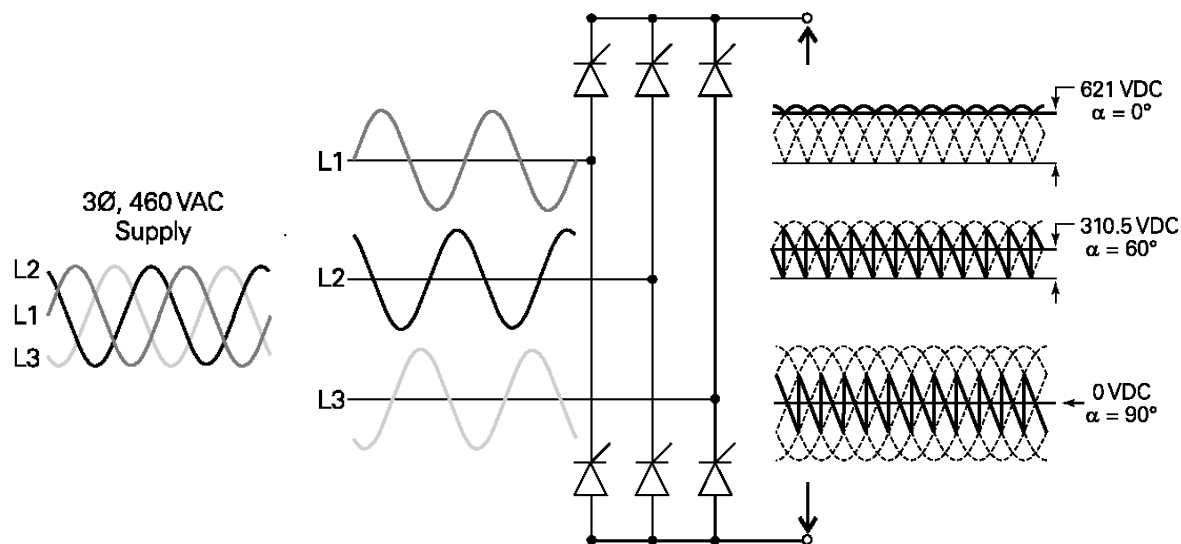


Μετατροπέας ΣΡ/ΣΡ
δύο τεταρτημορίων





3Φ ελεγχόμενη ανόρθωση πλήρους γέφυρας



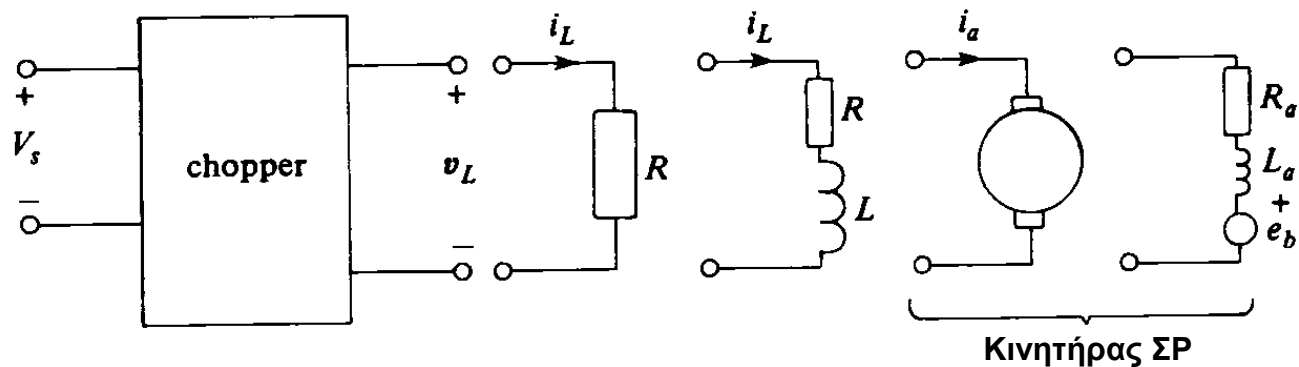
Μέση τιμή της τάσης εξόδου
συναρτήσει της γωνίας
έναυσης α

Μέση τιμή τάσης εξόδου:

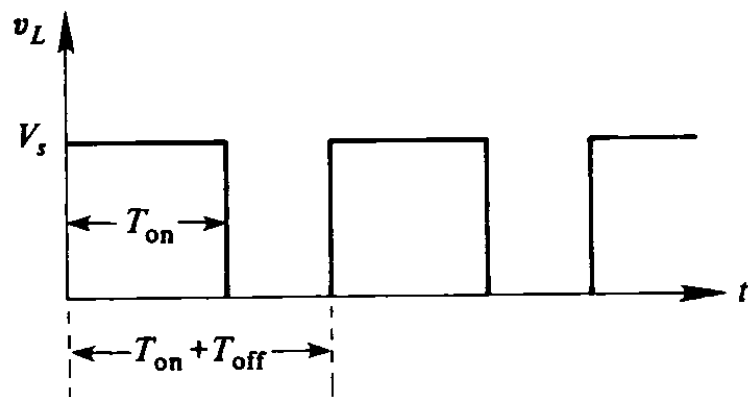
$$1\phi: V_d = 0,9 \cdot V_{\text{ολ},\text{rms}}$$

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

Μετατροπέας ΣΡ/ΣΡ (chopper)



Ενδεικτική κυματομορφή τάσης εξόδου



Σχέση εισόδου και εξόδου (μέσες τιμές)

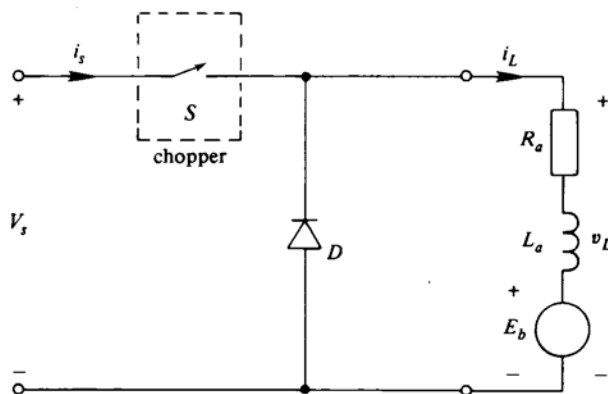
$$V_L = \frac{T_{on}}{T_{on} + T_{off}} V_s = \gamma V_s$$

$$\gamma = \frac{T_{on}}{T_{on} + T_{off}} \quad \text{duty cycle}$$



Ανάλυση της λειτουργίας

Μετατροπέας ΣΡ/ΣΡ υποβιβασμού της τάσης



Μέση τιμή
τάσης εξόδου:

$$V_L = \gamma V_s$$

για συνεχή αγωγή

$$V_L = \gamma V_s + \left(1 - \frac{X}{2\pi}\right) E_b$$

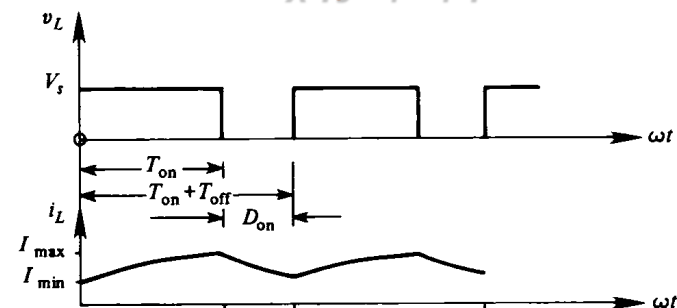
για διακοπτόμενη
αγωγή

Μέση τιμή
ρεύματος εξόδου:

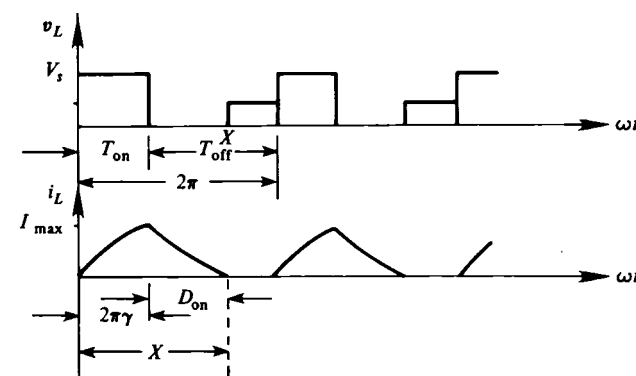
$$I_L = \frac{V_L - E_b}{R_a}$$

σε κάθε περίπτωση

Συνεχής αγωγή



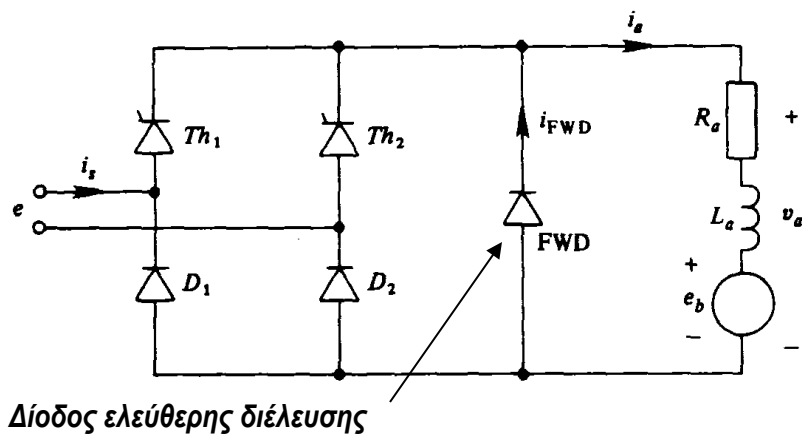
Διακοπτόμενη αγωγή





Ανάλυση της λειτουργίας

Ημι-ελεγχόμενος μονοφασικός μετατροπέας γέφυρας ΕΡ/ΣΡ

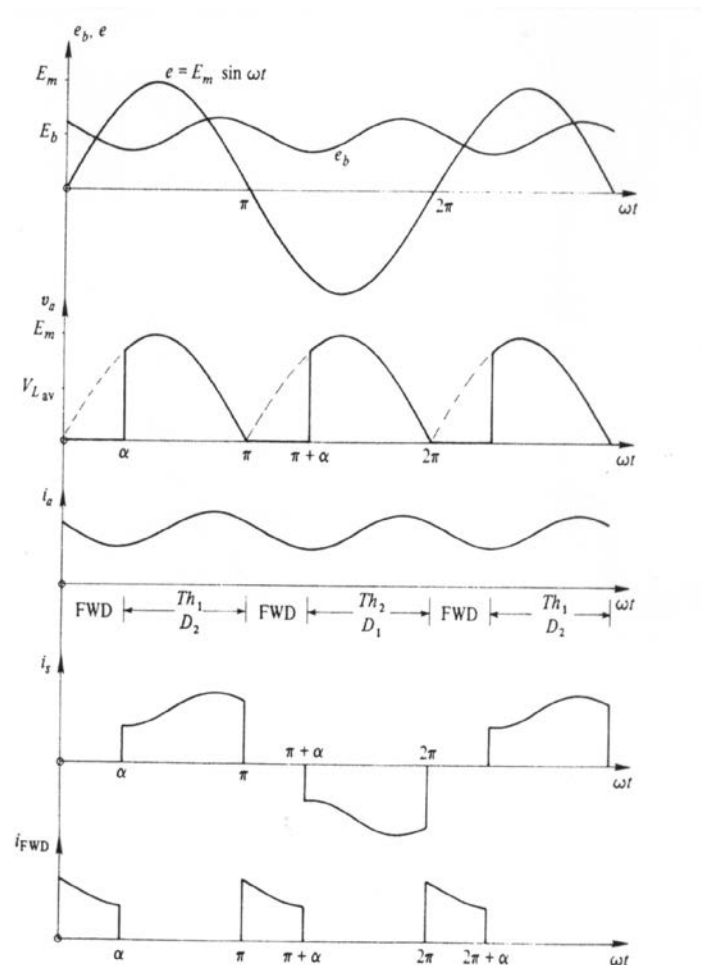


Μέση τιμή
τάσης εξόδου:

$$V_a = \frac{E_m}{\pi} (1 + \cos \alpha)$$

Μέση τιμή
ρεύματος εξόδου:

$$I_a = \frac{V_a - E_b}{R_a}$$

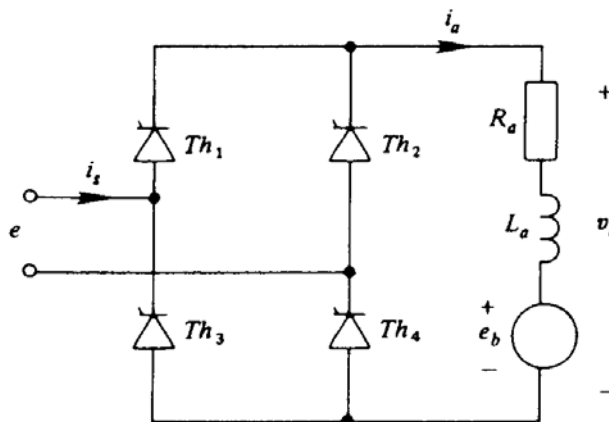
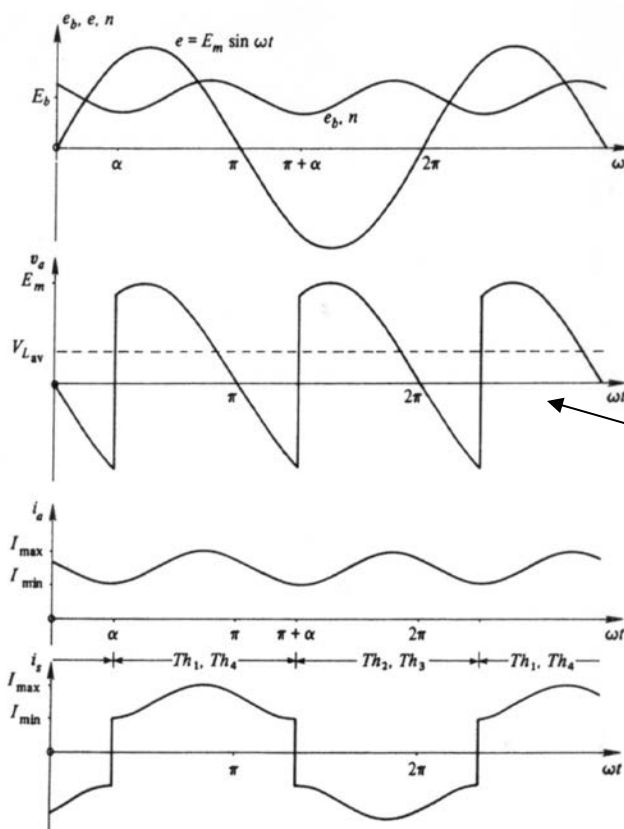




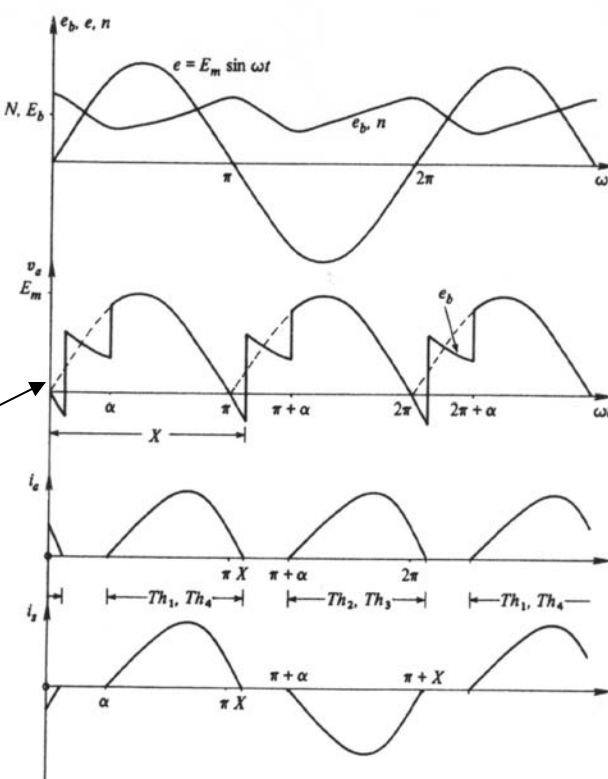
Ανάλυση της λειτουργίας

Ελεγχόμενος μονοφασικός μετατροπέας γέφυρας ΕΡ/ΣΡ

Συνεχής αγωγή



Διακοπτόμενη αγωγή



Μέση τιμή τάσης εξόδου:

$$V_a = \frac{2E_m}{\pi} \cos \alpha$$

$$V_a = \frac{E_m}{\pi} (\cos \alpha - \cos X) + \frac{E_b}{\pi} (\pi + \alpha - X)$$

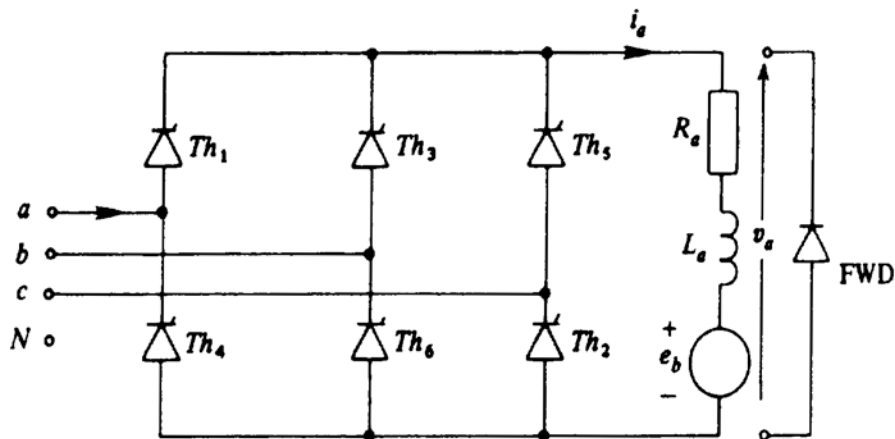
Μέση τιμή ρεύματος εξόδου:

$$I_a = \frac{V_a - E_b}{R_a}$$



Ανάλυση της λειτουργίας

Ελεγχόμενος τριφασικός μετατροπέας γέφυρας ΕΡ/ΣΡ



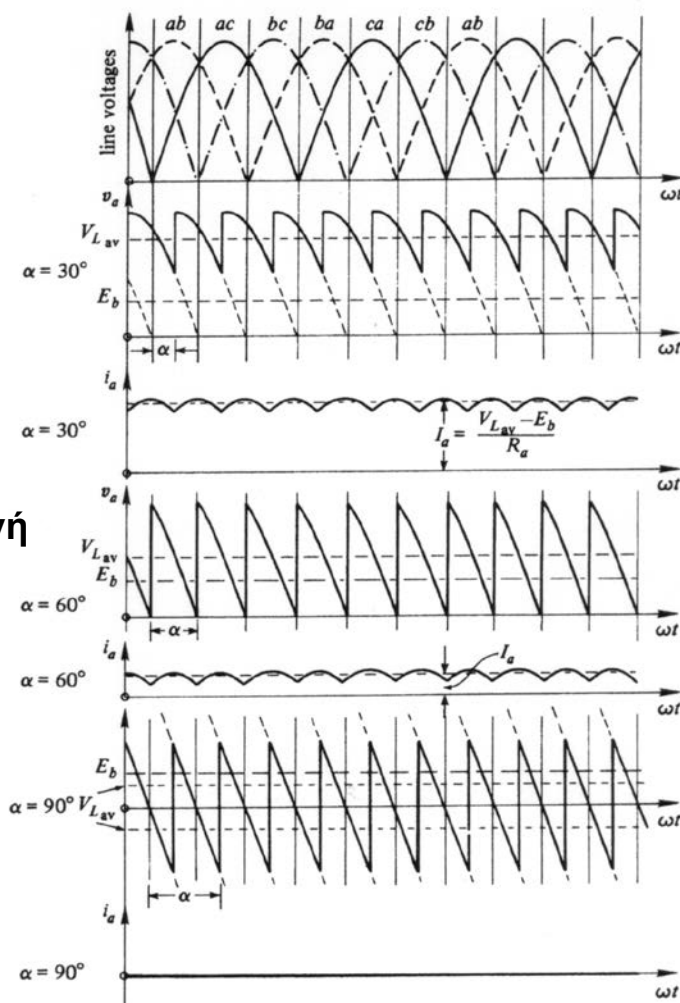
Μέση τιμή τάσης εξόδου:

$$V_a = \frac{3\sqrt{3}E_m}{\pi} \cos \alpha$$

Μέση τιμή ρεύματος εξόδου:

$$I_a = \frac{V_a - E_b}{R_a}$$

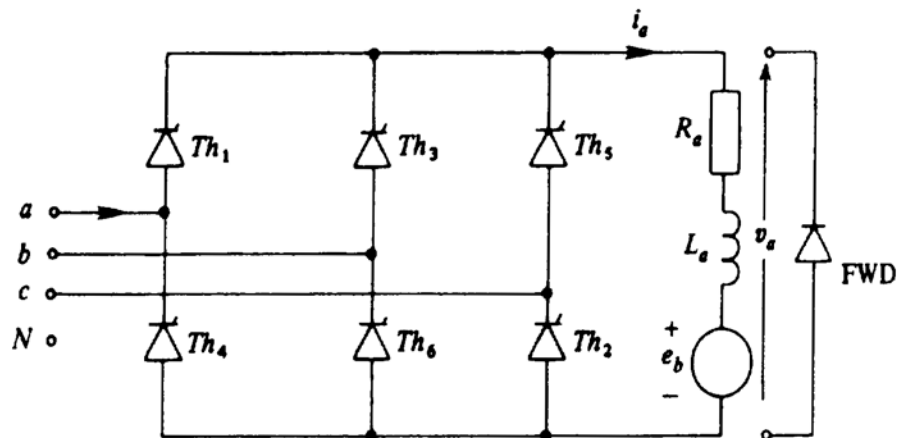
Συνεχής αγωγή



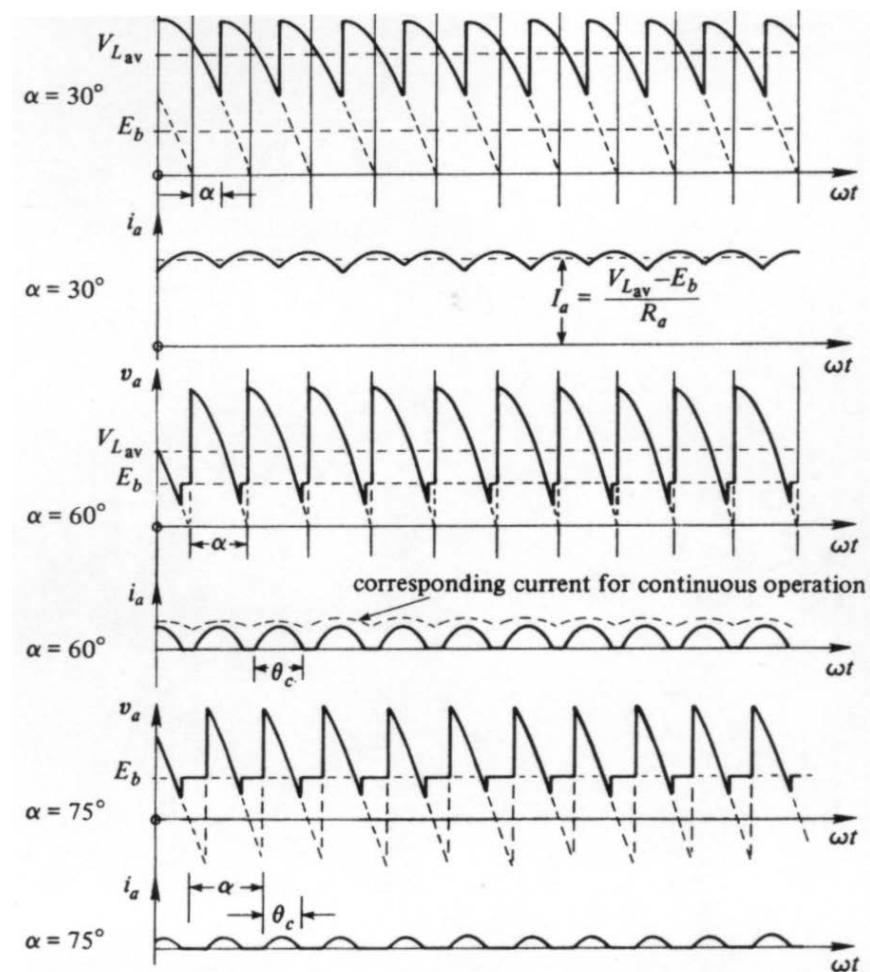


Ανάλυση της λειτουργίας

Ελεγχόμενος τριφασικός μετατροπέας γέφυρας ΕΡ/ΣΡ



Διακοπτόμενη αγωγή



(**αντιστροφή φοράς σε ΕΡ κινητήρα:** έπρεπε να κάνω εναλλαγή οποιονδήποτε δύο από τους τρεις ακροδέκτες των φάσεων => αλλαγή φοράς περιστροφής του στρεφόμενου μαγν πεδίου του στάτη της μηχανής => αλλαγή φοράς περιστροφής του δρομέα)

Αντιστροφή φοράς περιστροφής

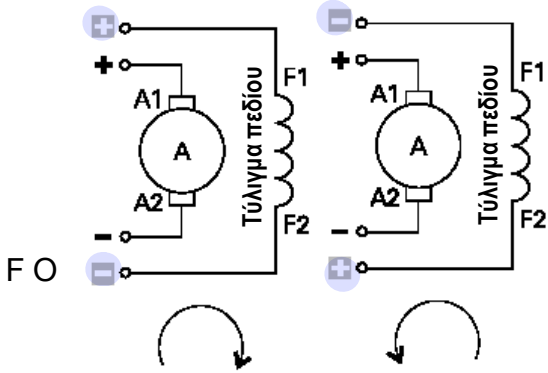
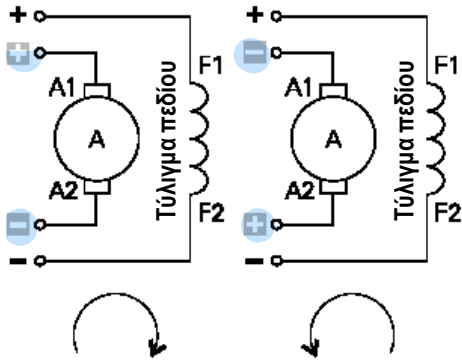
τυμπάνου/δρομέα
Αντιστροφή πολικότητας τάσης τυμπάνου

πεδίου/διέγερσης/στάτη
Αντιστροφή πολικότητας τάσης πεδίου

ή

το τύλιγμα τυμπάνου είναι το κύριο τύλιγμα και φέρει την ισχύς της μηχανής
η διαχείριση τόσο μεγάλων ρευμάτων είναι πιο δύσκολη

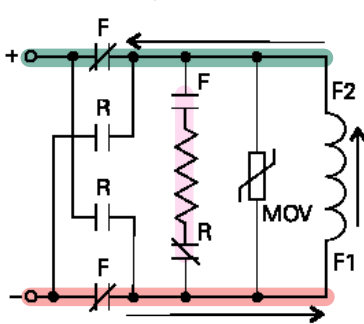
το προτιμάμε: πιο εύκολο λόγω μικρότερων εντάσεων στα ρεύματα



χρειάζομαι 4 επαφείς (2 ρελέ)
F ON: forward
R ON: reverse
F, R OFF: μετάβαση
F, R ON: βραχυκύκλωση

Υλοποίηση αντιστροφής πολικότητας της τάσης του τυλίγματος διέγερσης

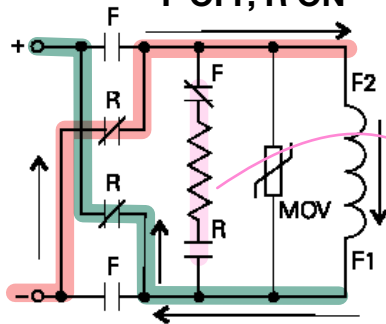
F ON, R OFF



Κανονική φορά περιστροφής

F, R OFF

F OFF, R ON



Αντίθετη φορά περιστροφής

ανοιχτός επαφείς
κλειστός επαφείς

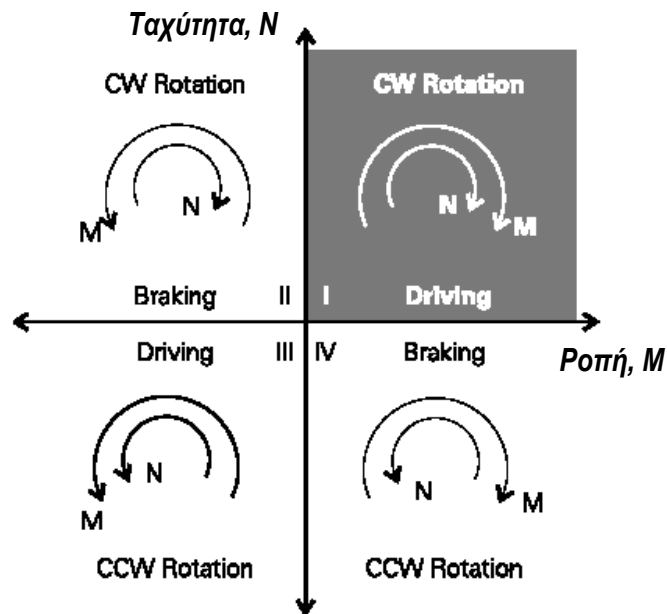
η αντίσταση είναι εκτός κυκλώματος στην κανονική λειτουργία γιατί πάντα ένα άκρο είναι ανοιχτοκυκλωμένο, χρησιμοποιείται στο μεταβατικό στάδιο και διαρρέεται από το ρεύμα διέγερσης

αντιστροφή φοράς σε ΣΡ κινητήρα: πρέπει να αλλάξω πολικότητα είτε τυλίγματος διέγερσης είτε τυλίγματος τυμπάνου => αντιστροφή φοράς ροπής => κίνηση δρομέα προς ανάποδη κατεύθυνση



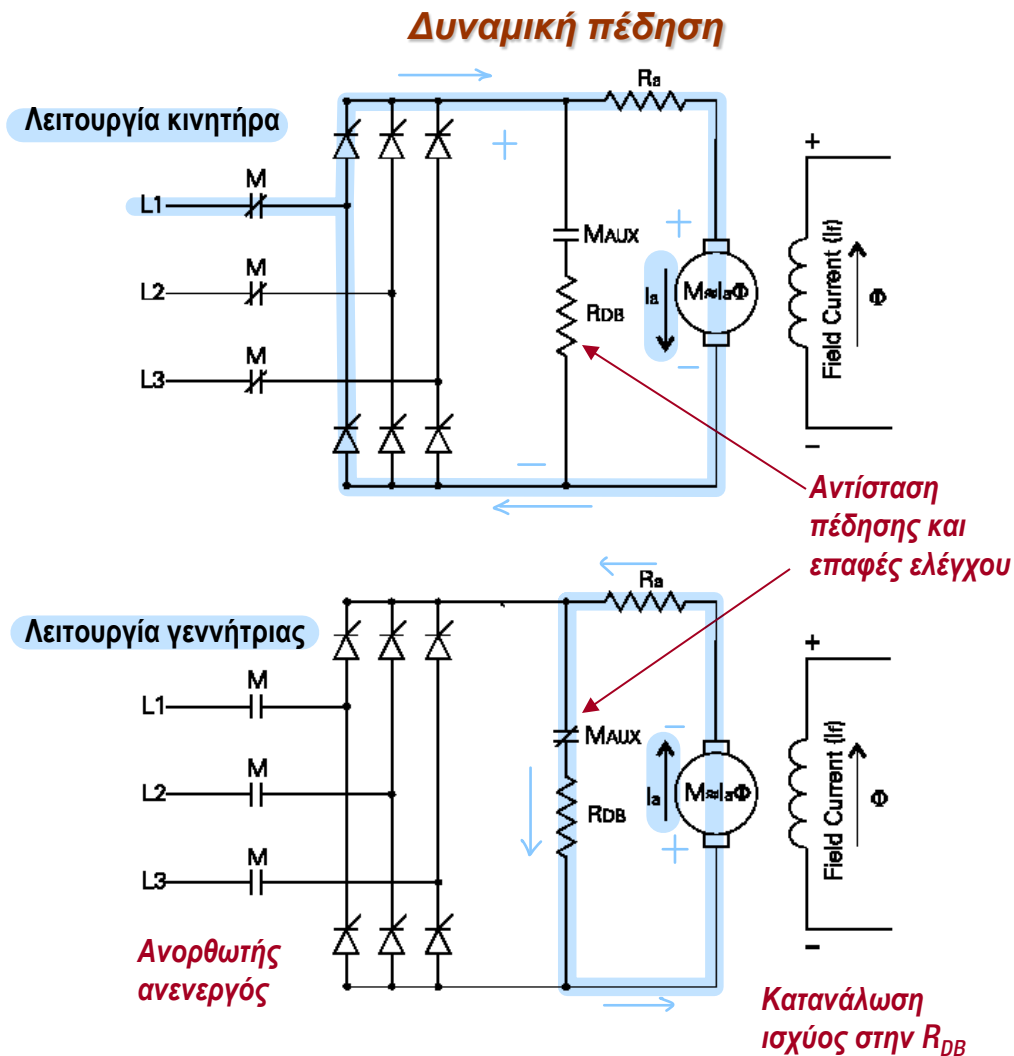
Πέδηση συστημάτων κίνησης ΣΡ

Τα 4 τεταρτημόρια της κίνησης



Βασικές μέθοδοι

- Φυσική πέδηση (ροπή φορτίου, τριβές)
- Δυναμική πέδηση
- Αναγεννητική πέδηση

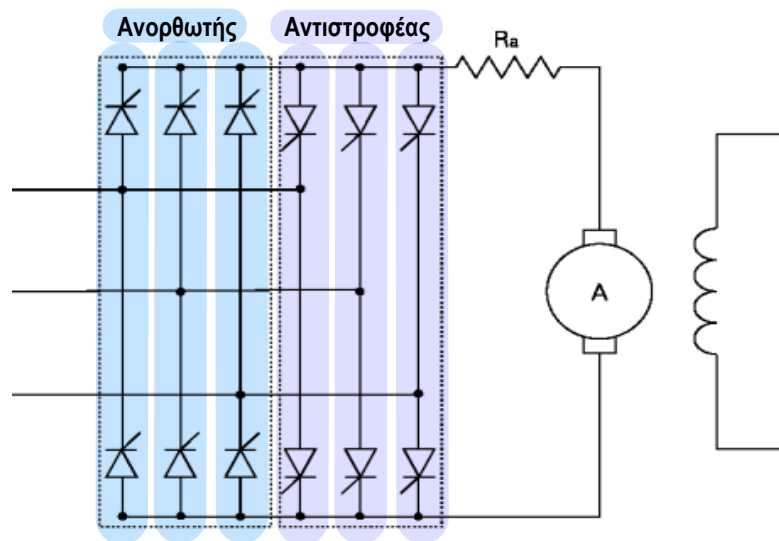




Πέδηση συστημάτων κίνησης ΣΡ

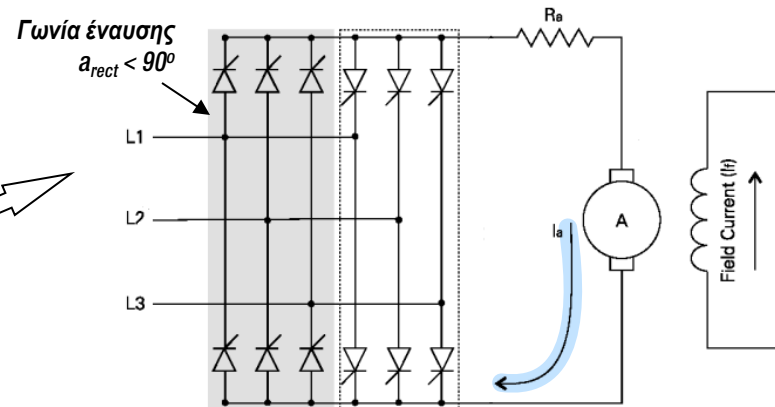
Αναγεννητική πέδηση

Μετατροπέας διπλής γέφυρας

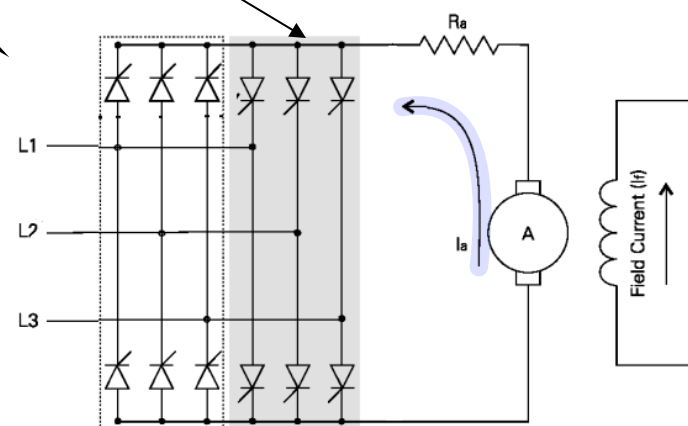


Λειτουργία
κινητήρα

Λειτουργία
γεννήτριας



Γωνία έναυσης
 $a_{inv} > 90^\circ$



Σύγκριση δυναμικής και αναγεννητικής πέδησης

