



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΠΑΤΡΩΝ
UNIVERSITY OF PATRAS

ΑΝΟΙΚΤΑ ακαδημαϊκά
μαθήματα ΠΠ

Προηγμένος έλεγχος ηλεκτρικών μηχανών

Ενότητα 3: Βαθμωτός Έλεγχος Ασύγχρονων Μηχανών

Επαμεινώνδας Μητρονίκας - Αντώνιος Αλεξανδρίδης

Πολυτεχνική Σχολή

Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών & Τεχνολογίας Υπολογιστών

Σημείωμα Αδειοδότησης

Το παρόν υλικό διατίθεται με τους όρους της άδειας χρήσης Creative Commons Αναφορά, Μη Εμπορική Χρήση Παρόμοια Διανομή 4.0 [1] ή μεταγενέστερη, Διεθνής Έκδοση. Εξαιρούνται τα αυτοτελή έργα τρίτων π.χ. φωτογραφίες, διαγράμματα κ.λ.π., τα οποία εμπεριέχονται σε αυτό και τα οποία αναφέρονται μαζί με τους όρους χρήσης τους στο «Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων».



[1] <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

Ως **Μη Εμπορική** ορίζεται η χρήση:

- που δεν περιλαμβάνει άμεσο ή έμμεσο οικονομικό όφελος από την χρήση του έργου, για το διανομέα του έργου και αδειοδόχο
- που δεν περιλαμβάνει οικονομική συναλλαγή ως προϋπόθεση για τη χρήση ή πρόσβαση στο έργο
- που δεν προσπορίζει στο διανομέα του έργου και αδειοδόχο έμμεσο οικονομικό όφελος (π.χ. διαφημίσεις) από την προβολή του έργου σε διαδικτυακό τόπο

Ο δικαιούχος μπορεί να παρέχει στον αδειοδόχο ξεχωριστή άδεια να χρησιμοποιεί το έργο για εμπορική χρήση, εφόσον αυτό του ζητηθεί.

Διατήρηση Σημειωμάτων

Οποιαδήποτε αναπαραγωγή ή διασκευή του υλικού θα πρέπει να συμπεριλαμβάνει:

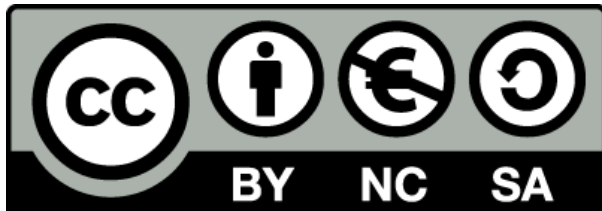
- το Σημείωμα Αναφοράς
- το Σημείωμα Αδειοδότησης
- τη δήλωση Διατήρησης Σημειωμάτων
- το Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων (εφόσον υπάρχει)

μαζί με τους συνοδευόμενους υπερσυνδέσμους.



Άδειες χρήσης

- Το παρόν εκπαιδευτικό υλικό υπόκειται σε άδειες χρήσης Creative Commons.
- Για εκπαιδευτικό υλικό, όπως εικόνες, που υπόκειται σε άλλου τύπου άδειας χρήσης, η άδεια χρήσης αναφέρεται ρητώς.



Ευρωπαϊκή Ένωση
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο



ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ & ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ, ΠΟΛΙΤΙΣΜΟΥ & ΑΘΛΗΤΙΣΜΟΥ
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ

Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης



Περιεχόμενα

1. Έλεγχος Μηχανών Συνεχούς Ρεύματος με ξένη διέγερση
2. Έλεγχος Μηχανών Συνεχούς Ρεύματος με διέγερση σε σειρά
- 3. Βαθμωτός Έλεγχος Ασύγχρονων Μηχανών**
4. Βασικές αρχές διανυσματικού ελέγχου
5. Διπολικό μοντέλο ασύγχρονης μηχανής
6. Εκτίμηση συνιστωσών μαγνητικής ροής με χρήση του μοντέλου τάσης
7. Εκτίμηση συνιστωσών μαγνητικής ροής με χρήση του μοντέλου ρεύματος
8. Έμμεσος Διανυσματικός Έλεγχος Ασύγχρονου Κινητήρα
9. Άμεσος Διανυσματικός Έλεγχος Ασύγχρονων Μηχανών με προσανατολισμό στην μαγνητική ροή του στάτη
10. Άμεσος Διανυσματικός Έλεγχος Ασύγχρονων Μηχανών με προσανατολισμό στην μαγνητική ροή του δρομέα
11. Άμεσος Έλεγχος Ροής και Ροπής
12. Διανυσματικός έλεγχος Σύγχρονων Μηχανών



Περιεχόμενα

1. Έλεγχος Μηχανών Συνεχούς Ρεύματος με ξένη διέγερση
2. Έλεγχος Μηχανών Συνεχούς Ρεύματος με διέγερση σε σειρά
- 3. Βαθμωτός Έλεγχος Ασύγχρονων Μηχανών**
4. Διπολικό μοντέλο ασύγχρονης μηχανής
5. Εκτίμηση συνιστωσών μαγνητικής ροής με χρήση του μοντέλου τάσης
6. Εκτίμηση συνιστωσών μαγνητικής ροής με χρήση του μοντέλου ρεύματος
7. Έμμεσος Διανυσματικός Έλεγχος Ασύγχρονου Κινητήρα
8. Άμεσος Διανυσματικός Έλεγχος Ασύγχρονων Μηχανών με προσανατολισμό στην μαγνητική ροή του στάτη
9. Άμεσος Διανυσματικός Έλεγχος Ασύγχρονων Μηχανών με προσανατολισμό στην μαγνητική ροή του δρομέα
10. Άμεσος Έλεγχος Ροής και Ροπής



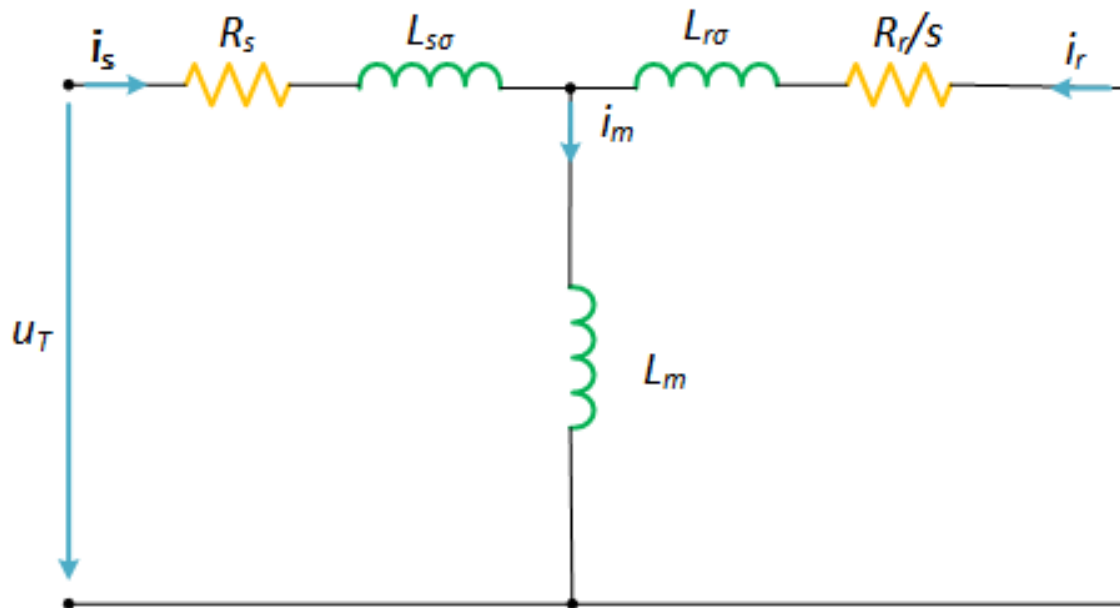
Σκοποί ενότητας

- ❑ Μοντελοποίηση Ασύγχρονης Μηχανής
- ❑ Αρχές βαθμωτού ελέγχου Ασύγχρονης Μηχανής



Μοντελοποίηση Ασύγχρονης Μηχανής

Ισοδύναμο κύκλωμα Ασύγχρονης Μηχανής



- Αποτελεί το πιο διαδεδομένο ισοδύναμο κύκλωμα.
- Περιγράφει τη συμπεριφορά της μηχανής σε μόνιμες καταστάσεις λειτουργίας.



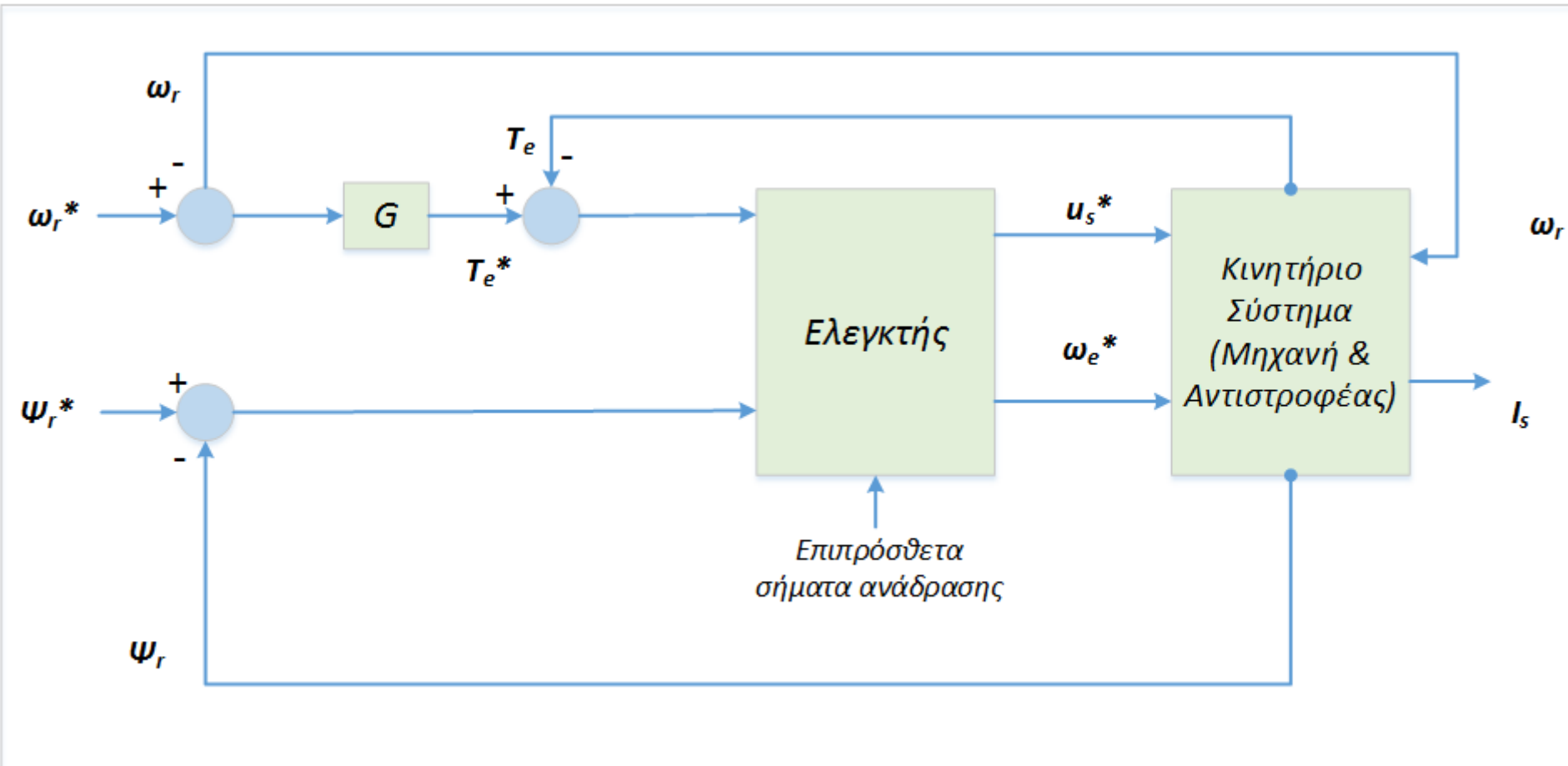
Αρχές βαθμωτού ελέγχου Ασύγχρονης Μηχανής

Βαθμωτός έλεγχος ασύγχρονης μηχανής

- ❑ Βασίζεται στο ισοδύναμο κύκλωμα μόνιμης κατάστασης. Συνίσταται στον έλεγχο της συχνότητας και της ενεργού τιμής της τάσης της μηχανής και όχι των στιγμιαίων τιμών των ηλεκτρικών μεγεθών της μηχανής.
- ❑ Λειτουργεί ικανοποιητικά για συστήματα στα οποία δεν υπάρχουν ιδιαίτερες απαιτήσεις όσον αφορά τη δυναμική συμπεριφορά της μηχανής.
- ❑ Οι αλγόριθμοι που αναπτύσσονται για τις σύγχρονες τεχνικές ελέγχου υλοποιούνται αξιοποιώντας τις δυνατότητες των ψηφιακών ελεγκτών ή ψηφιακών επεξεργαστών σήματος (dsp).
- ❑ Η υλοποίηση του βαθμωτού ελέγχου είναι σχετικά απλή και δεν απαιτεί ιδιαίτερη υπολογιστική ισχύ.



Βασική δομή ελεγχόμενου συστήματος



Παρατηρήσεις

- ❑ Στο βρόχο της ταχύτητας υπάρχει εσωτερικός βρόχος ελέγχου της ροπής. Ο βρόχος αυτός:
 - Βελτιώνει τη δυναμική συμπεριφορά του συστήματος.
 - Εξασφαλίζει τον περιορισμό του ρεύματος της μηχανής.
 - Δίνει τη δυνατότητα γραμμικοποίησης.
- ❑ Η μαγνητική ροή στα περισσότερα συστήματα δεν είναι δυνατό να μετρηθεί. Για το λόγο αυτό, όταν απαιτείται η τιμή αυτής, γίνεται υπολογισμός της με κατάλληλους αλγορίθμους.
- ❑ Η ελεγχόμενη μαγνητική ροή είναι δυνατό να είναι η ροή του στάτη (λ_s), του δρομένα (λ_R) ή του διακένου (λ_m).
 - Συνήθως η τιμή της ροής αναφοράς διατηρείται σταθερή.
 - Σε βελτιωμένες τεχνικές ελέγχου που αποσκοπούν και στη βελτίωση του βαθμού απόδοσης, η ροή αναφοράς είναι συνάρτηση του φορτίου



Έλεγχος ασύγχρονης μηχανής με σταθερό λόγο τάσης προς συχνότητα (1/4)

- Με βάση το ισοδύναμο κύκλωμα της μηχανής, αν αμελήσουμε την ωμική αντίσταση του στάτη η ροή προκύπτει ανάλογη του λόγου τάσης προς ταχύτητα. (παραπάνω θέλει καλύτερη εξήγηση του μεγέθους της ροής – να το προσθέσω)

$$\lambda_s = \frac{V_s}{\omega_s} = \frac{1}{2\pi} \cdot \frac{V_s}{f}$$

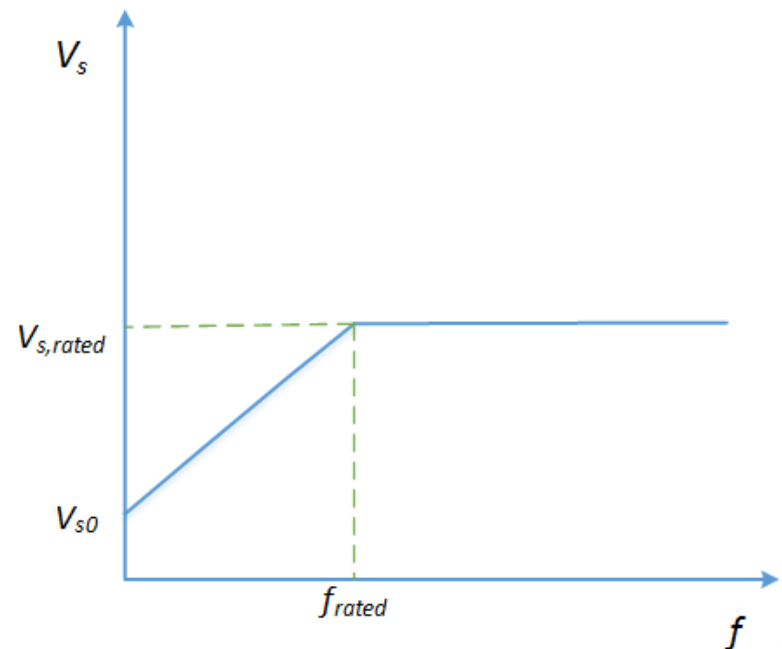
- Το συμπέρασμα που προκύπτει είναι ότι αν ο έλεγχος πραγματοποιηθεί διατηρώντας σταθερό τον παραπάνω λόγο, η ροή του στάτη της μηχανής θα διατηρείται σταθερή.
- Για την εφαρμογή της μεθόδου θεωρητικά δεν είναι απαραίτητη η μέτρηση των ρευμάτων του στάτη. Στην πράξη όμως το ρεύμα του στάτη πάντα λαμβάνεται υπόψη και εφαρμόζονται τεχνικές για τον περιορισμό του.



Έλεγχος ασύγχρονης μηχανής με σταθερό λόγο τάσης προς συχνότητα (2/4)

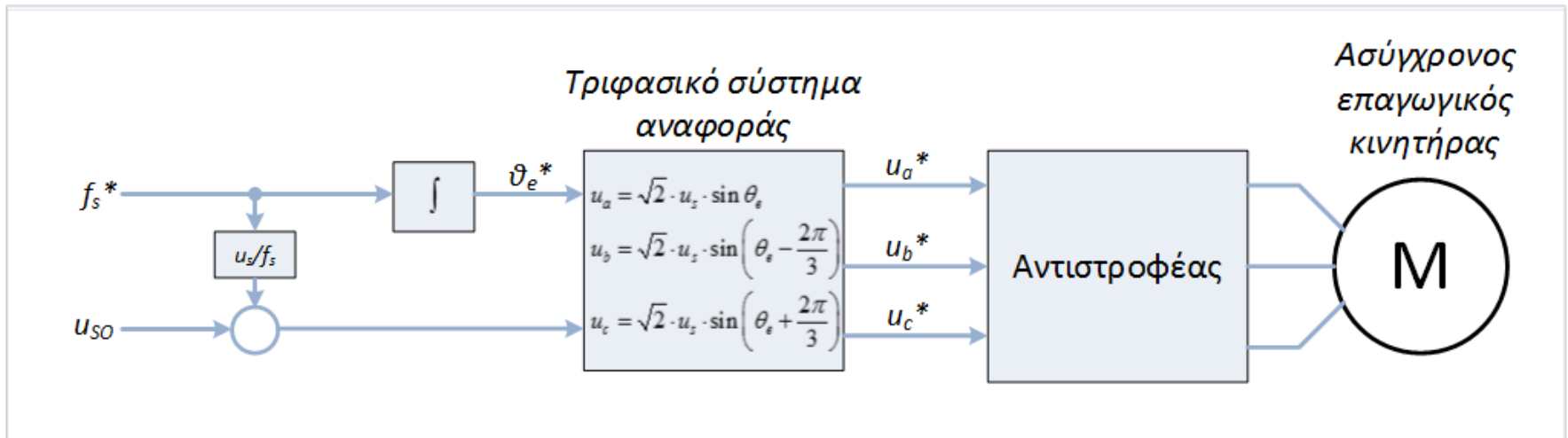
- Η παραδοχή μηδενικής αντίστασης του στάτη έχει ως συνέπεια τη μη διατήρηση της ροής στα επιθυμητά επίπεδα όταν η μηχανή λειτουργεί σε χαμηλές ταχύτητες.
 - Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι στις χαμηλές ταχύτητες λειτουργίας η πτώση τάσης πάνω στην αντίσταση R_s είναι συγκρίσιμη με την τάση εισόδου, συνεπώς το σφάλμα που προκύπτει από την παραδοχή είναι μεγάλο.
- Το πρόβλημα λύνεται εμπειρικά αυξάνοντας την τάση τροφοδοσίας στις χαμηλές ταχύτητες λειτουργίας.

$$V_s = \begin{cases} (V_{SN} - V_{s0}) \cdot \frac{f_s}{f_N} + V_{s0}, & f_s \leq f_N \\ V_{SN}, & f_s \geq f_N \end{cases}$$



Έλεγχος ασύγχρονης μηχανής με σταθερό λόγο τάσης προς συχνότητα (3/4)

□ Ενδεικτικό χονδρικό διάγραμμα ελέγχου



Έλεγχος ασύγχρονης μηχανής με σταθερό λόγο τάσης προς συχνότητα (4/4)

□ Περιοχή λειτουργίας

Σχημα

- Ο λόγος V/f διατηρείται σταθερός έως την ονομαστική ταχύτητα, ενώ ε μεγαλύτερες ταχύτητες η τάση διατηρείται σταθερή και ίση με την ονομαστική.
- Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι η τάση εισόδου είναι πεπερασμένη και δε αρκεί για να διατηρηθεί η ονομαστική ροή σε συχνότητες μεγαλύτερες της ονομαστικής.



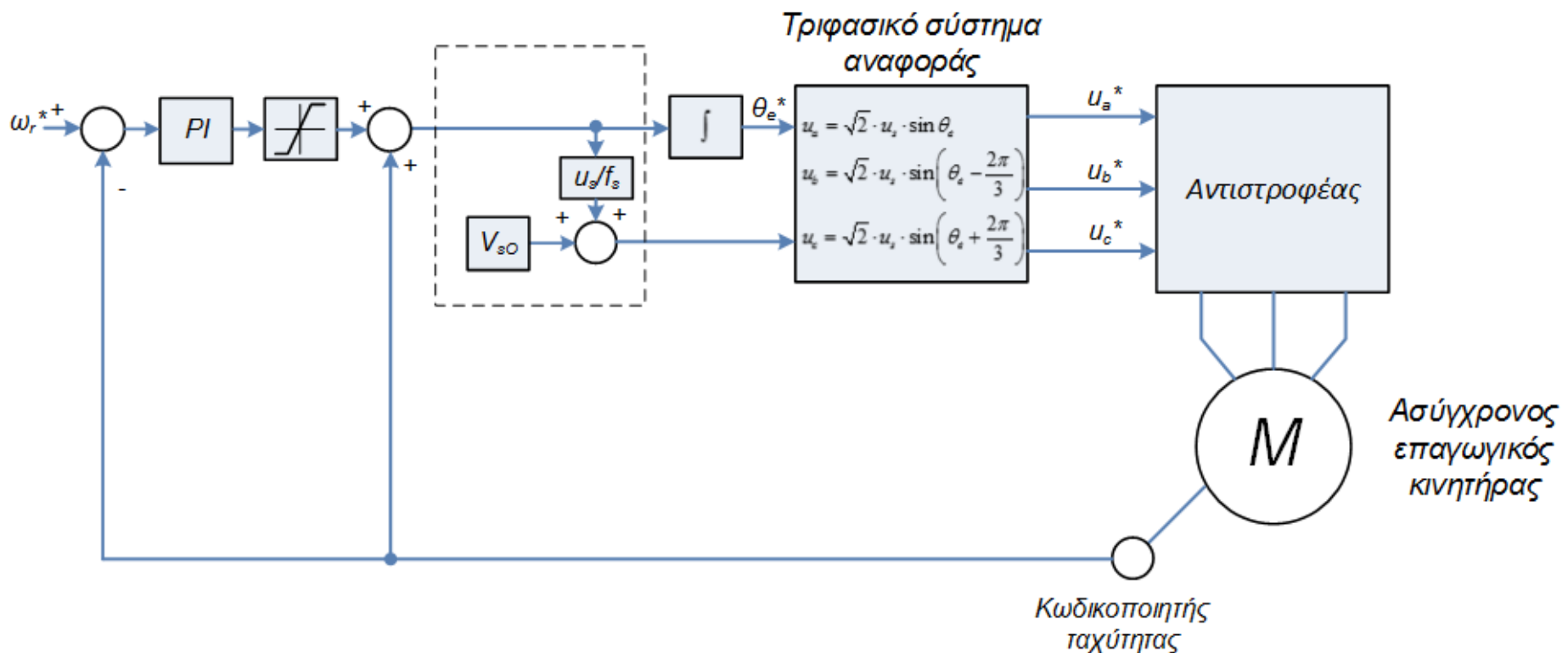
Βαθμωτός έλεγχος ασύγχρονης μηχανής με ανατροφοδότηση ταχύτητας (1/5)

- ❑ Ο έλεγχος ασύγχρονων μηχανών με σταθερό λόγο V/f είναι μια αρκετά διαδεδομένη μέθοδος ελέγχου.
- ❑ Όταν δεν υπάρχει ανατροφοδότηση ταχύτητας, μεταβολές στο μηχανικό φορτίο ή/και στην τάση τροφοδοσίας οδηγούν σε σφάλμα ταχύτητας, συνεπώς η μέθοδος δε μπορεί να χρησιμοποιηθεί όπου απαιτείται ακριβής έλεγχος της ταχύτητας.
- ❑ Μια βελτίωση της παραπάνω τεχνικής είναι να προστεθεί βρόχος ανατροφοδότησης ταχύτητας, εξασφαλίζοντας ακριβέστερο έλεγχο ταχύτητας.



Βαθμωτός έλεγχος ασύγχρονης μηχανής με ανατροφοδότηση ταχύτητας (2/5)

Μέθοδος 1



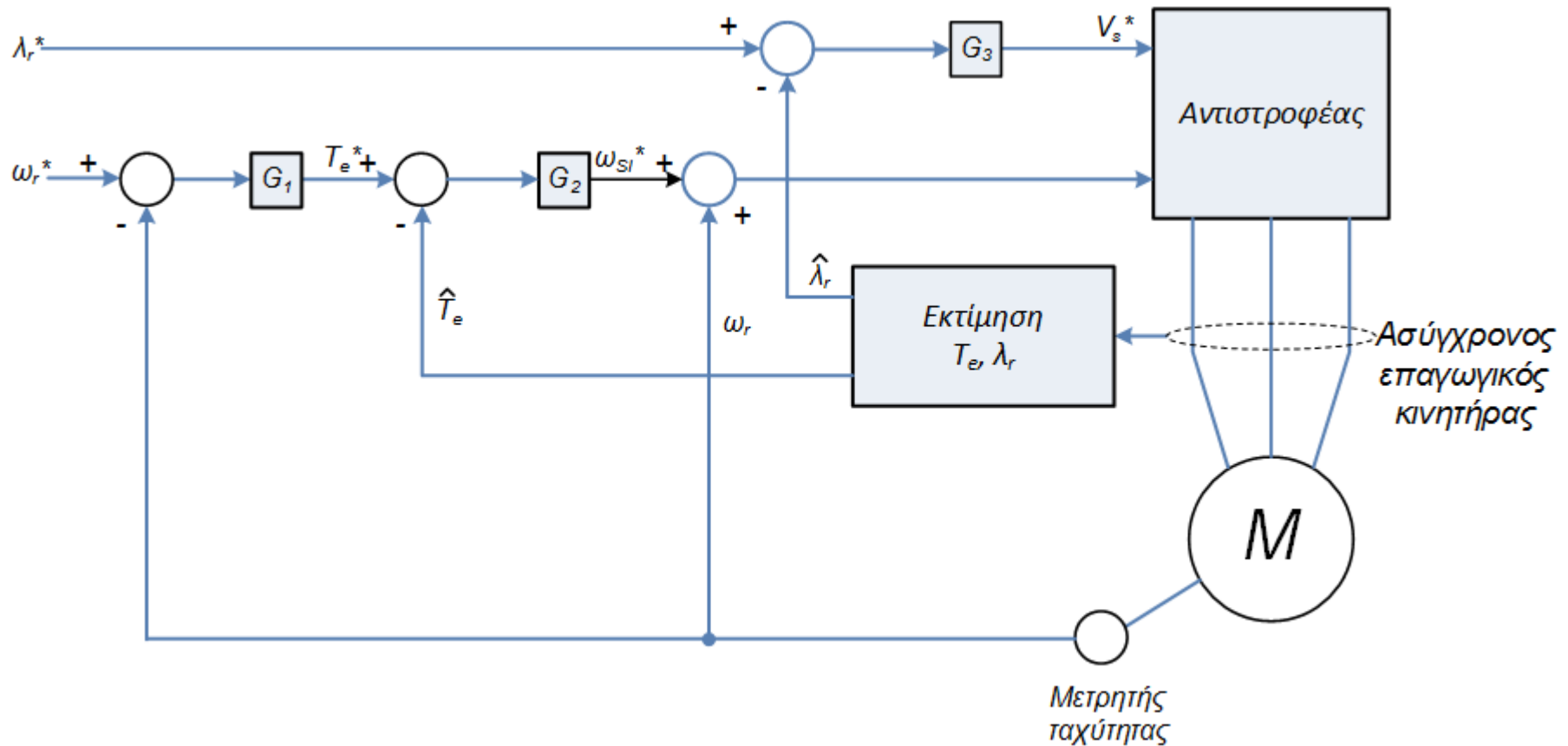
Βαθμωτός έλεγχος ασύγχρονης μηχανής με ανατροφοδότηση ταχύτητας (3/5)

- ❑ Στην παραπάνω τεχνική ελέγχου διατηρείται η φιλοσοφία του σταθερού λόγου V/f , ως ικανή προϋπόθεση για τη διατήρηση σταθερής μαγνητικής ροής.
- ❑ Η μέθοδος δεν αναιρεί σε καμία περίπτωση την αναγκαιότητα ελέγχου του ρεύματος, το οποίο μπορεί να πάρει υψηλές τιμές σε μεταβατικές καταστάσεις.
- ❑ Το στοιχείο του κορεσμού στην έξοδο του PI είναι απαραίτητο ώστε να διατηρηθεί η ολίσθηση της μηχανής σε αποδεκτές τιμές (πολύ μεγάλες τιμές θα δημιουργούσαν μεγάλα ρεύματα και προβλήματα ευστάθειας).



Βαθμωτός έλεγχος ασύγχρονης μηχανής με ανατροφοδότηση ταχύτητας (4/5)

Μέθοδος 2: Με απευθείας έλεγχο της ροής



Βαθμωτός έλεγχος ασύγχρονης μηχανής με ανατροφοδότηση ταχύτητας (5/5)

- ❑ Για τον έλεγχο της ροής απαιτείται αλγόριθμος για τον υπολογισμό της μαγνητικής ροής και της ροπής.
- ❑ Ο αλγόριθμος συχνά είναι αρκετά πολύπλοκος, ενώ πολλές φορές παρουσιάζει σημαντικά σφάλματα εκτίμησης, η απόκρισή του είναι ιδιαίτερα ευαίσθητη σε σφάλματα εκτίμησης των παραμέτρων της μηχανής.
- ❑ Από την άλλη πλευρά, όπως όλες οι μέθοδοι βαθμωτού ελέγχου, παρουσιάζει υποβέλτιστη συμπεριφορά.
- ❑ Επιπλέον, προβλήματα εμφανίζονται όταν η ελεγχόμενη μηχανή λειτουργεί σε ταχύτητες πολύ πάνω των ονομαστικών, οπότε η ροή μειώνεται αισθητά.



Χρηματοδότηση

- Το παρόν εκπαιδευτικό υλικό έχει αναπτυχθεί στο πλαίσιο του εκπαιδευτικού έργου του διδάσκοντα.
- Το έργο «**Ανοικτά Ακαδημαϊκά Μαθήματα στο Πανεπιστήμιο Πατρών**» έχει χρηματοδοτήσει μόνο την αναδιαμόρφωση του εκπαιδευτικού υλικού.
- Το έργο υλοποιείται στο πλαίσιο του Επιχειρησιακού Προγράμματος «Εκπαίδευση και Δια Βίου Μάθηση» και συγχρηματοδοτείται από την Ευρωπαϊκή Ένωση (Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο) και από εθνικούς πόρους.



Σημείωμα Ιστορικού Εκδόσεων Έργου

Το παρόν έργο αποτελεί την έκδοση **1.00**.



Σημείωμα Αναφοράς

Copyright Πανεπιστήμιο Πατρών, Επαμεινώνδας Μητρονίκας, Αντώνιος Αλεξανδρίδης 2014. Επαμεινώνδας Μητρονίκας, Αντώνιος Αλεξανδρίδης. «Προηγμένος Έλεγχος Ηλεκτρικών Μηχανών». Έκδοση: 1.0. Πάτρα 2015.

Διαθέσιμο από τη δικτυακή διεύθυνση:

<https://eclass.upatras.gr/courses/EE800/>.



Βιβλιογραφία

- [1]. Α. Αλεξανδρίδη, Ε. Μητρονίκα: «Προηγμένος Έλεγχος Ηλεκτρικών Μηχανών», Πανεπιστημιακές Σημειώσεις.

