

Προσομοίωση ηλεκτρονικού διαφορικού ηλεκτρικού οχήματος

Παναγιώτης Σαρίκας

Τομέας: Τομέας Μηχανολογικών Κατασκευών & Αυτομάτου Ελέγχου

Επιβλέπων: Δημήτριος Κουλοχέρης, Αν. Καθηγητής ΕΜΠ



Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο

Αθήνα 2023

Περιεχόμενα

- ▶ Σκοπός Δ.Ε.
- ▶ Διαφορικό
- ▶ Σύγκριση διαφορικών συστημάτων
- ▶ Μοντέλο τροχιάς οδήγησης του Ackermann-Jeantaud
- ▶ Δυναμική οχήματος
- ▶ Μοντέλο 1 - Κινητήρας
- ▶ Μοντέλο 1 - Κιβώτιο ταχυτήτων
- ▶ Μοντέλο 1 - Μπαταρίες
- ▶ Μοντέλο 1 - Σύστημα Ελέγχου
- ▶ Μοντέλο 2 - Κινητήρας
- ▶ Μοντέλο 2 - Μπαταρίες
- ▶ Μοντέλο 2 - Σύστημα Ελέγχου - FOC
- ▶ Μοντέλο 2 - Σύστημα Ελέγχου - Μετατροπέας
- ▶ Μοντέλο 2 - Σύστημα Ελέγχου - SVPWM
- ▶ Περιγραφή Προσομοιώσεων
- ▶ Αποτελέσματα Μοντέλου 1
- ▶ Αποτελέσματα Μοντέλου 2
- ▶ Σύγκριση Μοντέλων
- ▶ Συμπεράσματα

Σκοπός Διπλωματικής Εργασίας

Μοντελοποίηση ηλεκτρικού διαφορικού,
σε αμιγώς ηλεκτρικό όχημα, που φέρει
δύο ηλεκτροκινητήρες

Μοντέλο 1

- Απλότητα συστήματος ελέγχου
- Βασικές λειτουργίες ενός ηλεκτρονικού διαφορικού
- Κινητήρας συνεχούς ρεύματος τυλιγμένου πεδίου ξένης διέγερσης (DC)



Μοντέλο 2

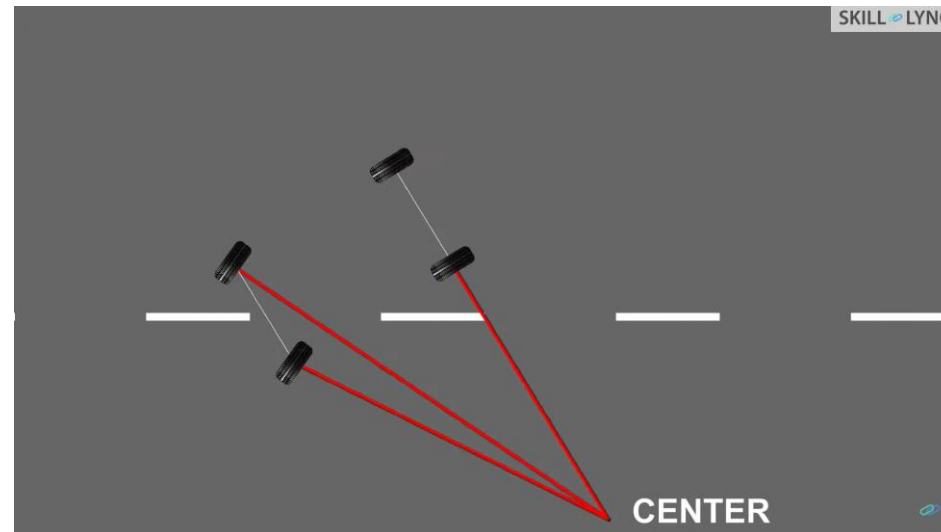
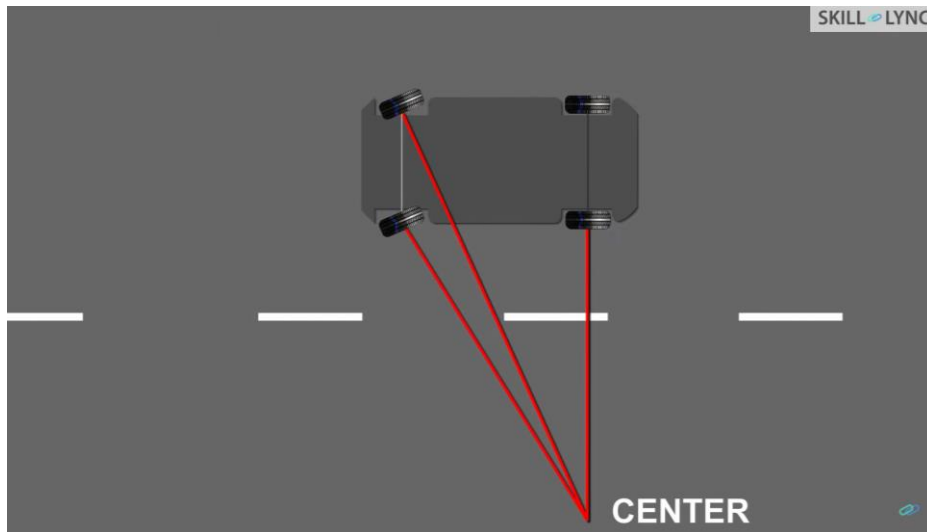
- Σύστημα διανυσματικού ελέγχου με FOC και μέθοδο SVPWM
- Ρεαλιστικές λειτουργίες ενός ηλεκτρονικού διαφορικού
- Σύγχρονους κινητήρες μόνιμου μαγνήτη (AC)

Διαφορικό

Σύστημα Διαφορικού

➤ Επιτρέπει στους κινητήριους τροχούς να περιστρέφονται με διαφορετικές γωνιακές ταχύτητες

➤ Κατανέμει τη ροπή, σε αυτούς, ανάλογα με τον συντελεστή πρόσφυσης



Σχήμα: Αναπαράσταση τροχών σε στροφή

Σύγκριση διαφορικών

Μηχανικό Διαφορικό

- Πολλά και βαριά μηχανικά μέρη
- Μη αποδοτικά μηχανικά μέρη

Ηλεκτρονικό Διαφορικό

- Οι κινητήρες των τροχών μπορούν να ελέγχονται ξεχωριστά
- Μεγαλύτερη ασφάλεια του οδηγού
- Μεγαλύτερη ευελιξία
- Πιο γρήγορη και ακριβή απόκριση στη δημιουργία της απαιτούμενης ροπής
- Αύξηση ενεργειακής απόδοσης
- Μείωση της μάζας

Μοντέλο τροχιάς οδήγησης του Ackermann-Jeantaud

Πρόβλεψη της διαφοράς της ταχύτητας

$$\Delta\omega_w = -\frac{1}{2} \frac{d \tan \delta}{L} (\omega_{w,1} + \omega_{w,2})$$

➤ δ , η γωνία διεύθυνσης

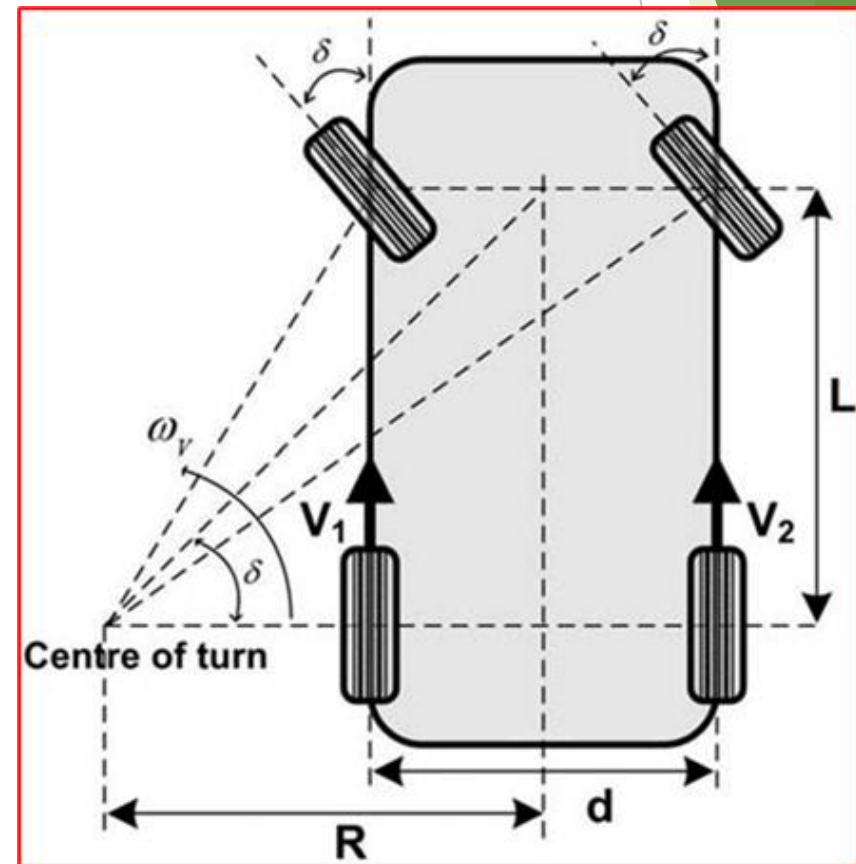
➤ R , η ακτίνα της καμπύλης-στροφής

➤ d , το μετατρόχιο

➤ L , το μεταξόνιο

➤ $\omega_{w,1}$ γωνιακή ταχύτητα αριστερού κινητήριου τροχού

➤ $\omega_{w,2}$ γωνιακή ταχύτητα δεξιού κινητήριου τροχού



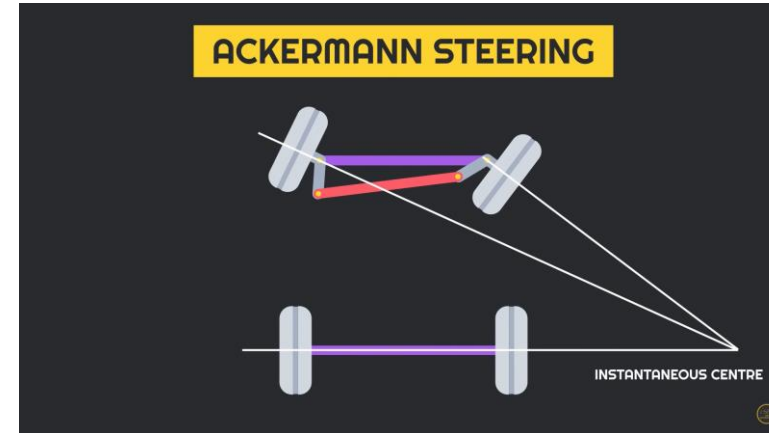
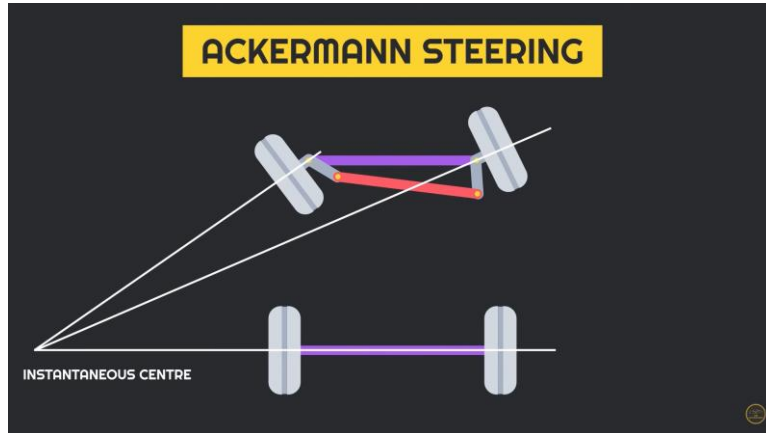
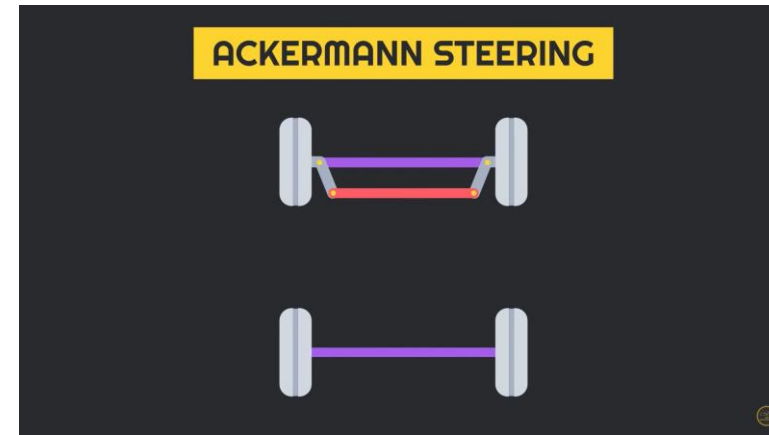
Σχήμα: Μοντέλο τροχιάς οδήγησης

Μοντελοποίηση ηλεκτρονικού διαφορικού

Το ηλεκτρικό όχημα που μοντελοποιείται
είναι τεσσάρων τροχών

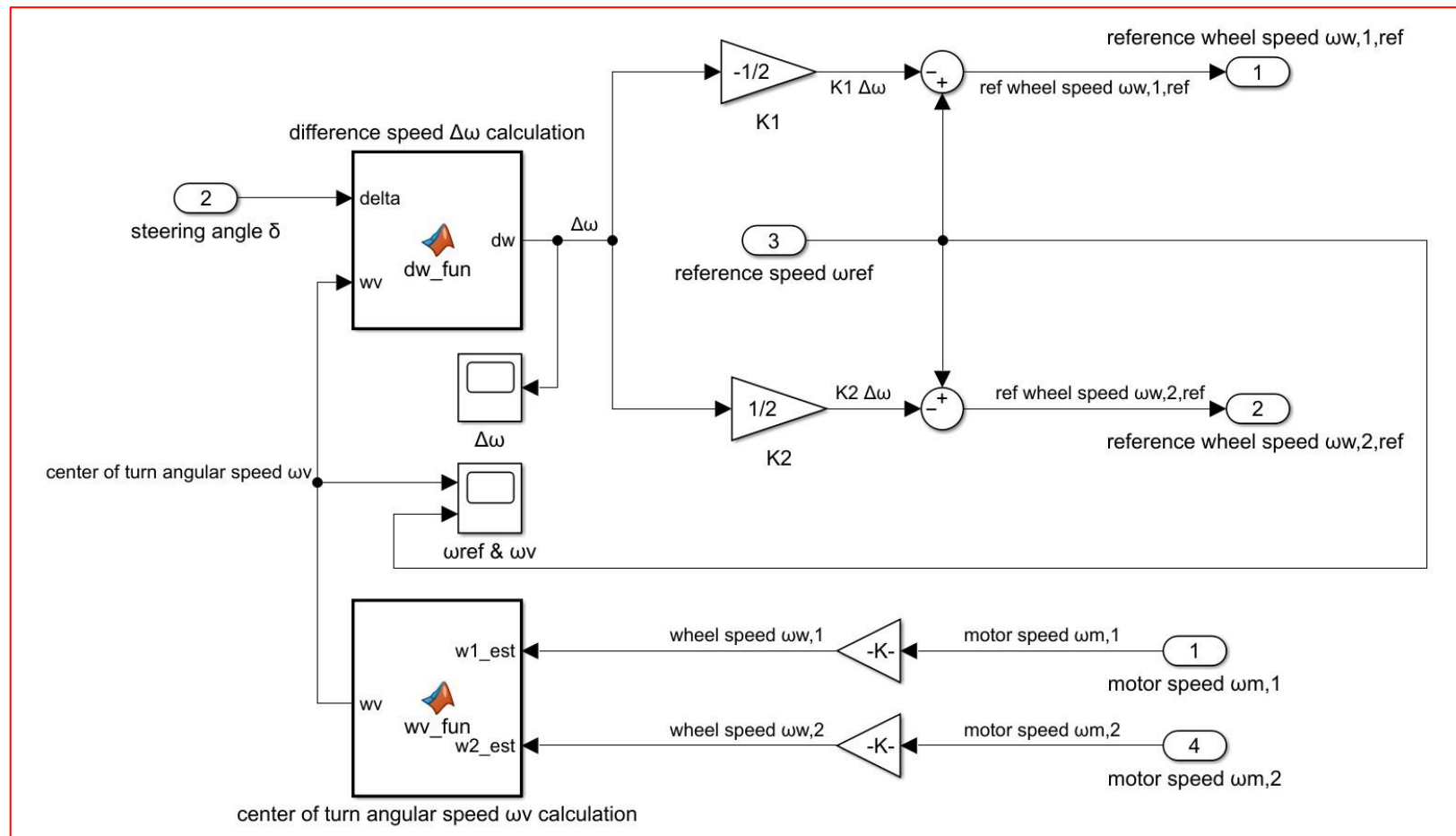
➤ 2 οπίσθιοι ανεξάρτητοι
τροχοί επανδρωμένοι
με ηλεκτροκινητήρες

➤ 2 εμπρόσθιοι τροχοί
που συμμετάσχουν στο
σύστημα διεύθυνσης



Σχήμα: Μοντέλο διεύθυνσης κατά Ackermann

Μοντελοποίηση EDS στο περιβάλλον Simulink

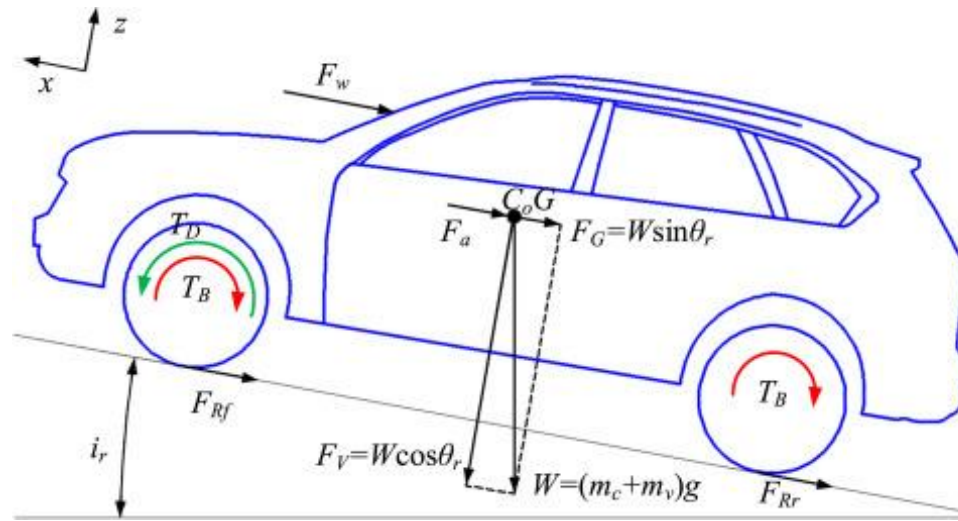


Σχήμα: Ηλεκτρονικό διαφορικό στο περιβάλλον Simulink

Δυναμική οχήματος

Αντίσταση
αναρρίχησης:
 $F_g = mg \sin(\alpha)$

Αδρανειακές
αντιστάσεις:
 $F_i = m j_u$



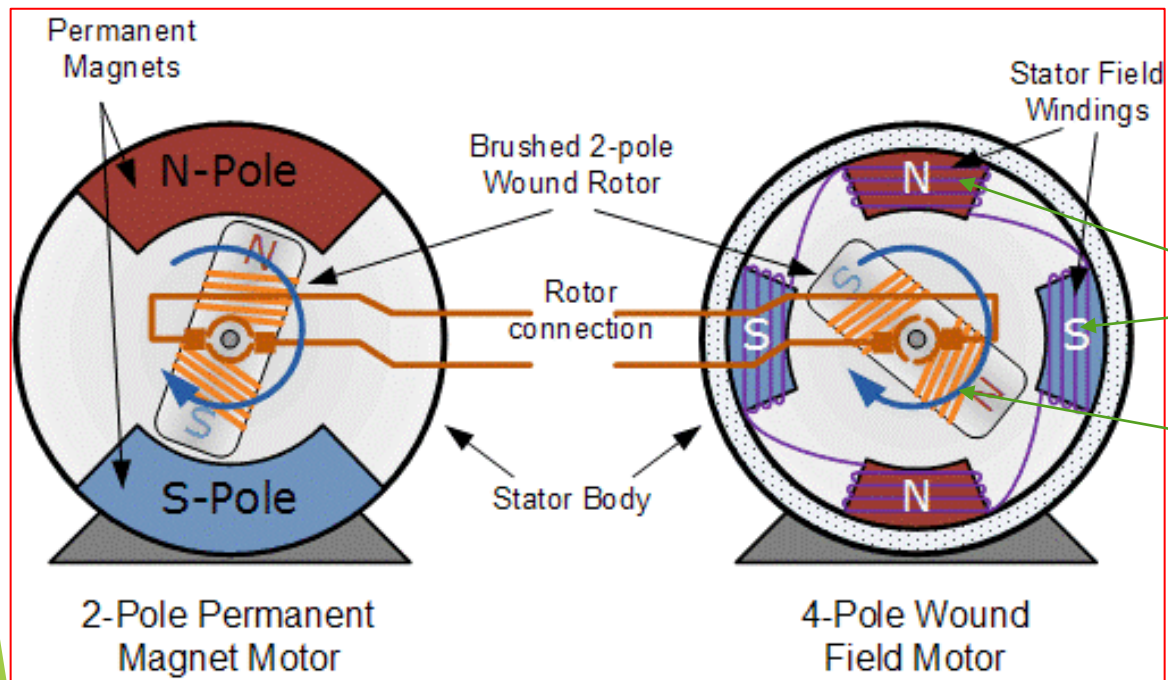
Σχήμα: Δυναμική Οχήματος

Αντίσταση κύλισης:
 $F_r = f_r mg \cos(\alpha)$

Αεροδυναμική
αντίσταση:
 $F_a = \frac{1}{2} \rho S C_x R_w^2 \omega_w^2$

Συνολική αντίσταση:
 $F_{total} = F_g + F_r + F_a + F_i$

Μοντέλο 1 - Κινητήρας



Σχήμα: α) κινητήρας συνεχούς ρεύματος με ψήκτρες και μόνιμους μαγνήτες
β) κινητήρας συνεχούς ρεύματος με ψήκτρες και τυλίγματα πεδίου

Χρήση κινητήρα συνεχούς ρεύματος τυλιγμένου πεδίου και συγκεκριμένα ξένης διέγερσης

1) Στάτης, ακίνητο μέρος, φέρει τα τυλίγματα του πεδίου

2) Δρομέας, περιστρεφόμενο μέρος, φέρει τα τυλίγματα του τυμπάνου

3) Συλλέκτης και 4) Ψήκτρες

- Τροφοδοσία με DC
- Έλεγχος με ρύθμιση τάσης

Μοντέλο 1 - Κιβώτιο ταχυτήτων



Σχήμα: Κιβώτιο ταχυτήτων

Χρήση κιβωτίου ταχυτήτων

- Σταθερή σχέση μετάδοσης $i = 7.2$
- Βαθμός απόδοσης 98%

Μοντέλο 1 - Μπαταρίες

Πηγή ενέργειας → πηγή τάσης

➤ 2 σύστημα μπαταριών ιόντων λιθίου, τάσης 400V για τροφοδοσία τυλιγμάτων τυμπάνου

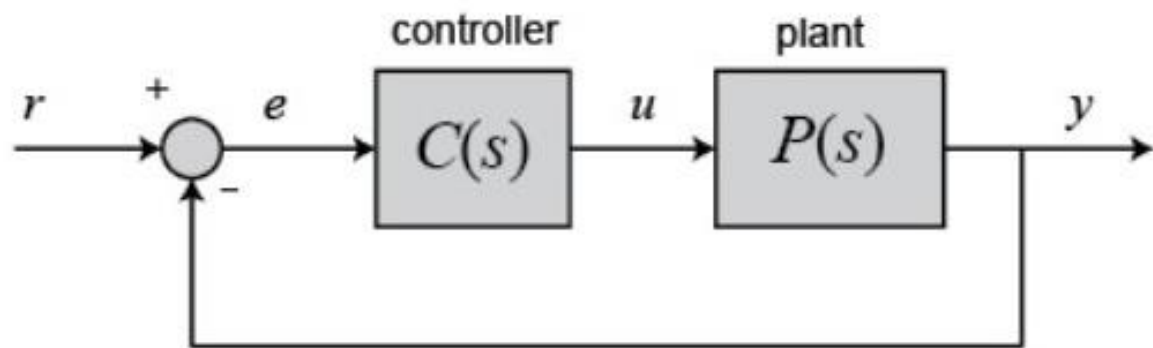
➤ 2 σύστημα μπαταριών ιόντων λιθίου, τάσης 120V για τροφοδοσία τυλιγμάτων πεδίου

Μοντέλο 1 - Σύστημα Ελέγχου

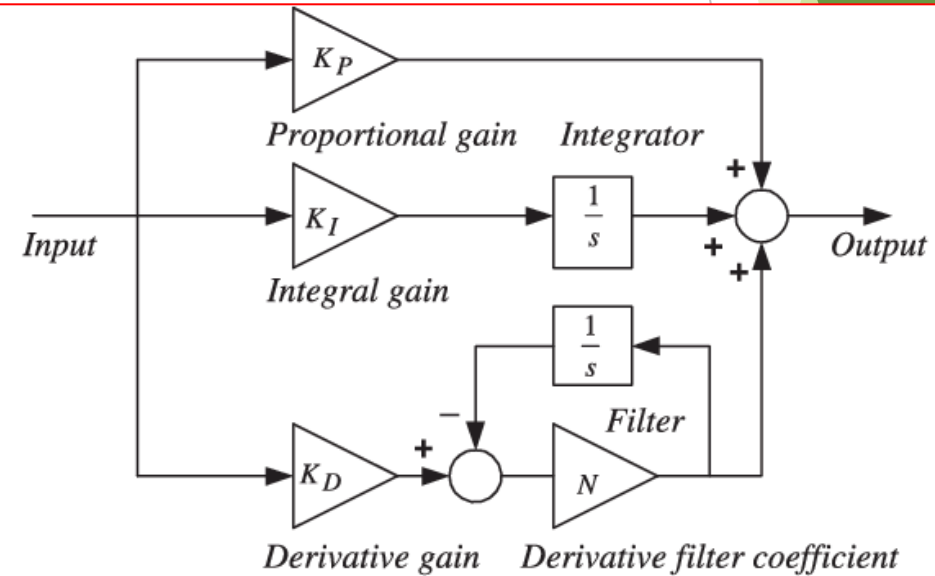
Χρήση συστήματος ελέγχου κλειστού βρόχου, με χρήση ελεγκτή PID, για κάθε κινητήριο τροχό

- Ισχυρή απόδοση σε ένα ευρύ φάσμα συνθηκών λειτουργίας
- Λειτουργική απλότητα

$$K_p + K_i \frac{1}{s} + K_d \frac{N}{1 + N \frac{1}{s}}$$

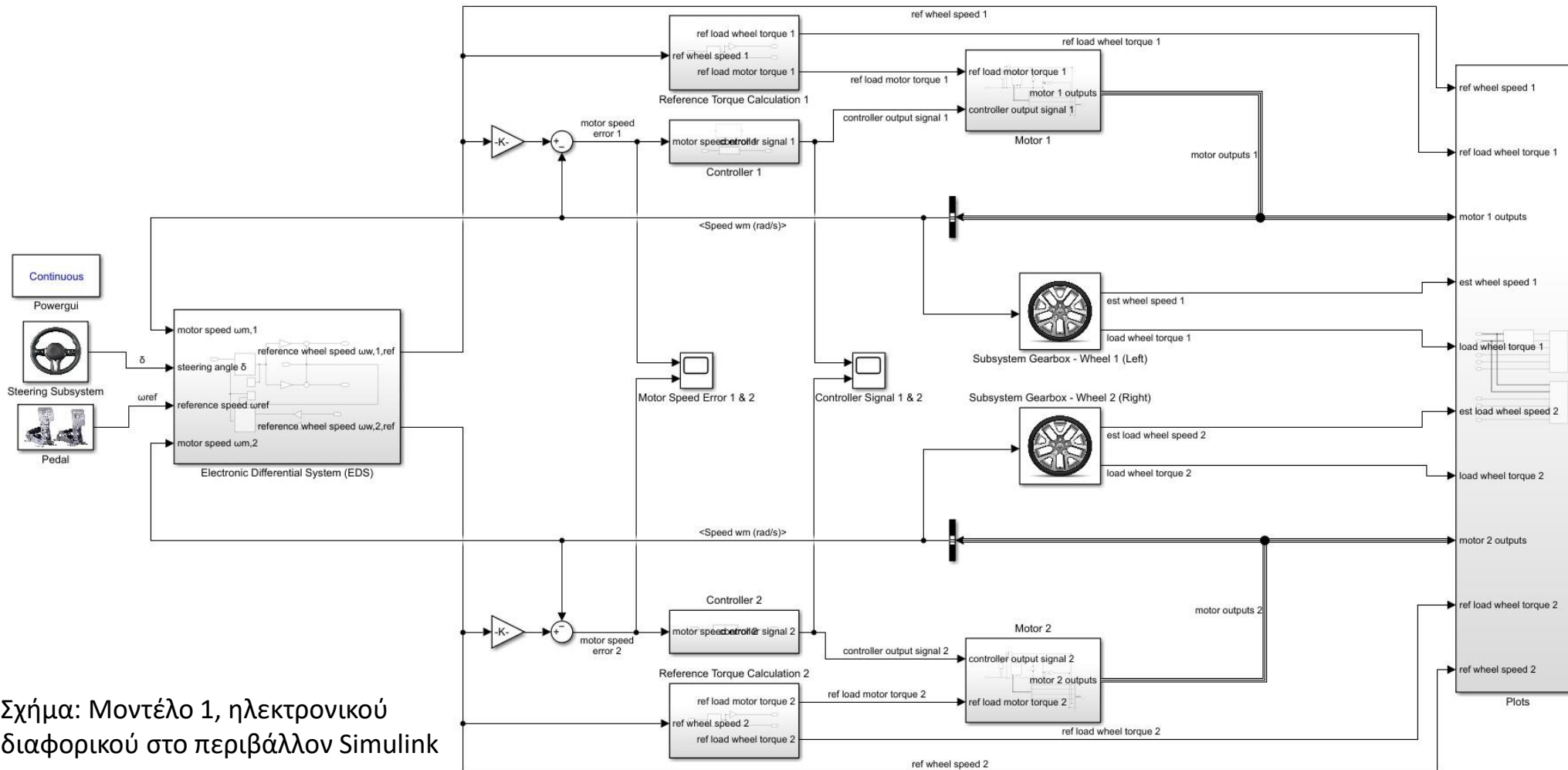


Σχήμα: Δομικό διάγραμμα του συστήματος ελέγχου κλειστού βρόχου



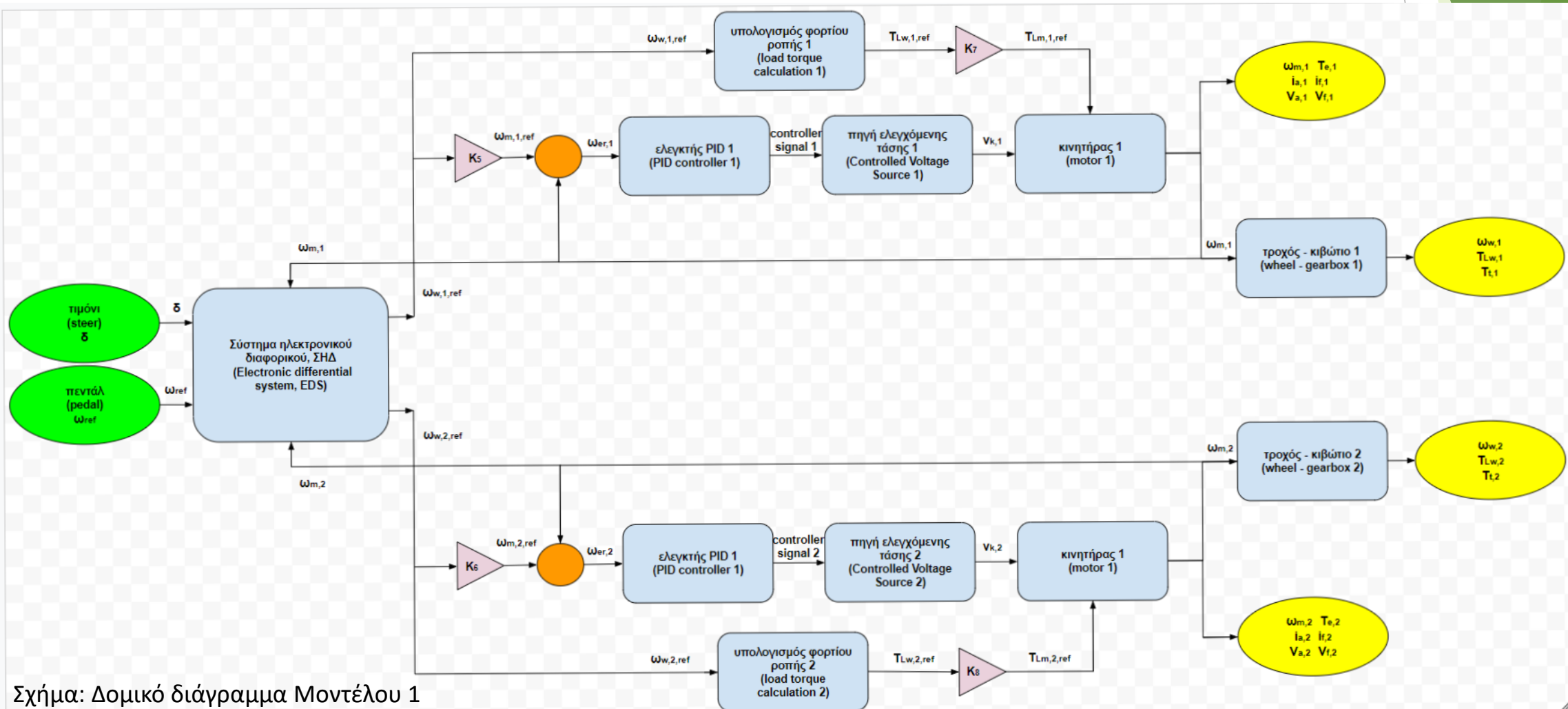
Σχήμα: Δομικό διάγραμμα του κατευθυντή PID με χρήση διαφορικού φίλτρου

Μοντέλο 1 - Ολικό μοντέλο ηλεκτρονικού διαφορικού στο περιβάλλον Simulink

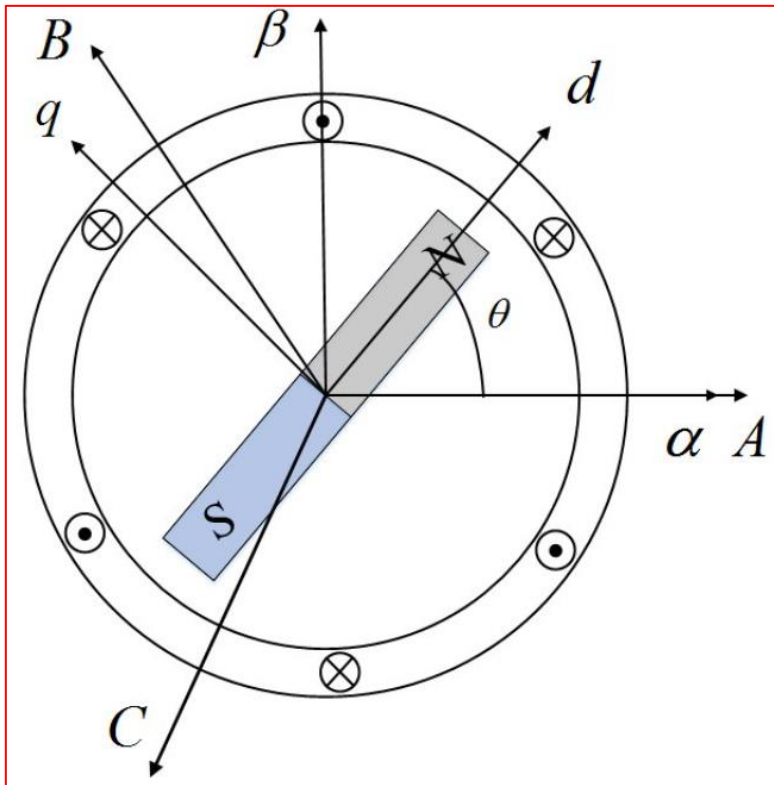


Σχήμα: Μοντέλο 1, ηλεκτρονικού διαφορικού στο περιβάλλον Simulink

Μοντέλο 1 - Δομικό διάγραμμα του ολικού μοντέλου ηλεκτρονικού διαφορικού



Μοντέλο 2 - Κινητήρας

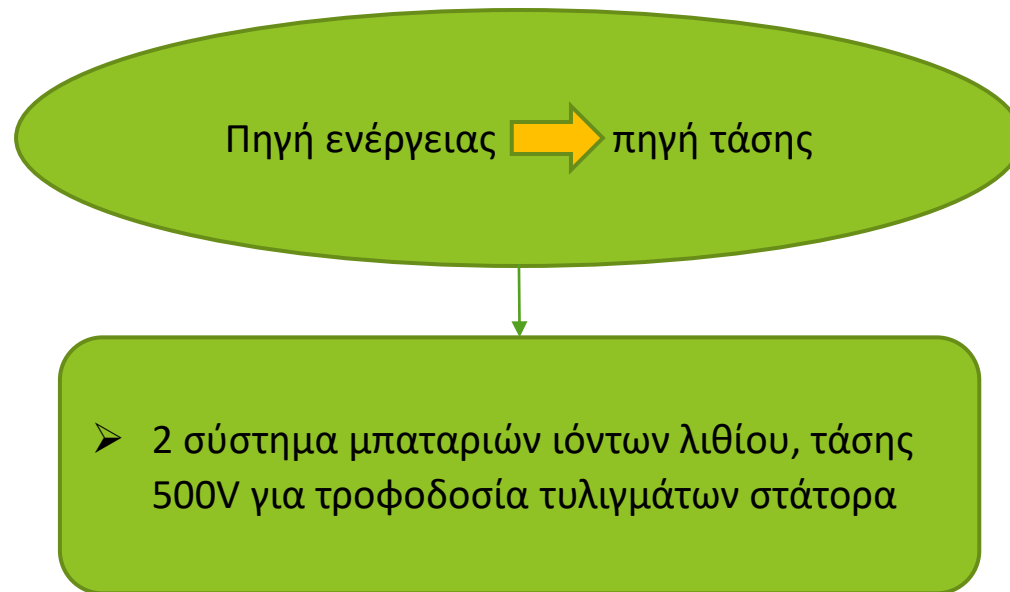


Τριφασικός, δύο πόλων, PMSM

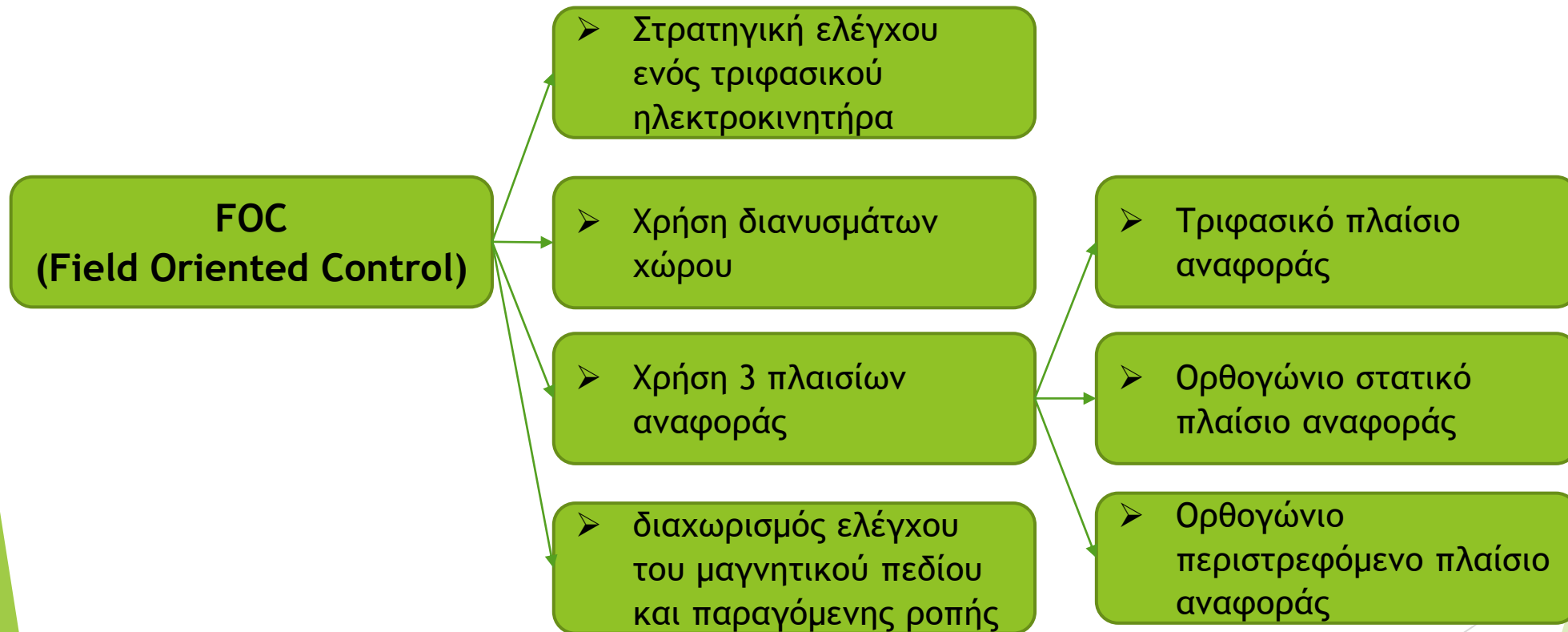
Χρήση σύγχρονου κινητήρα μόνιμου μαγνήτη

- 1) Στάτης, ακίνητο μέρος, φέρει τα τυλίγματα του πεδίου
 - 2) Δρομέας, περιστρεφόμενο μέρος, φέρει τα τυλίγματα του τυμπάνου
- Τροφοδοσία με AC
 - Έλεγχος στροφών με FOC

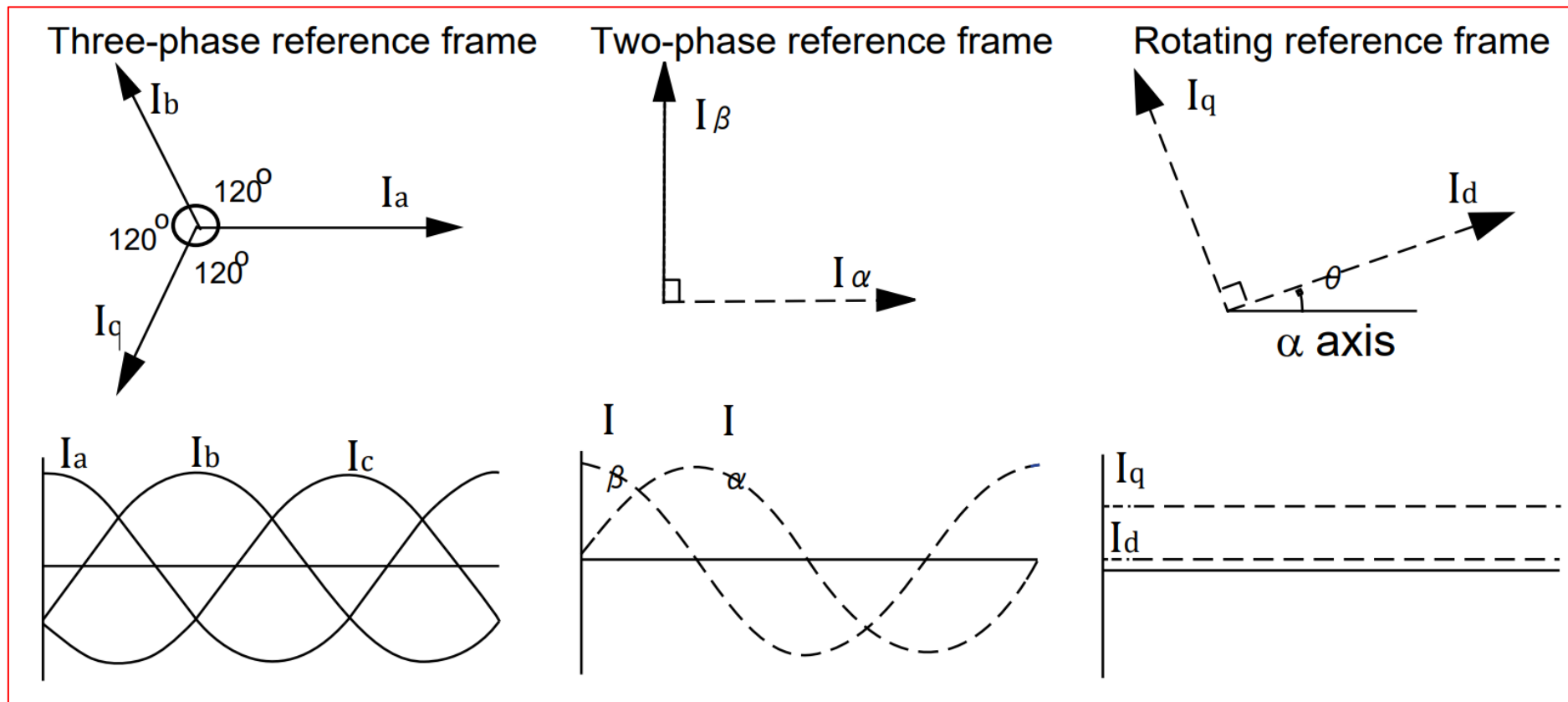
Μοντέλο 2 - Μπαταρίες



Μοντέλο 2 - Σύστημα ελέγχου - FOC

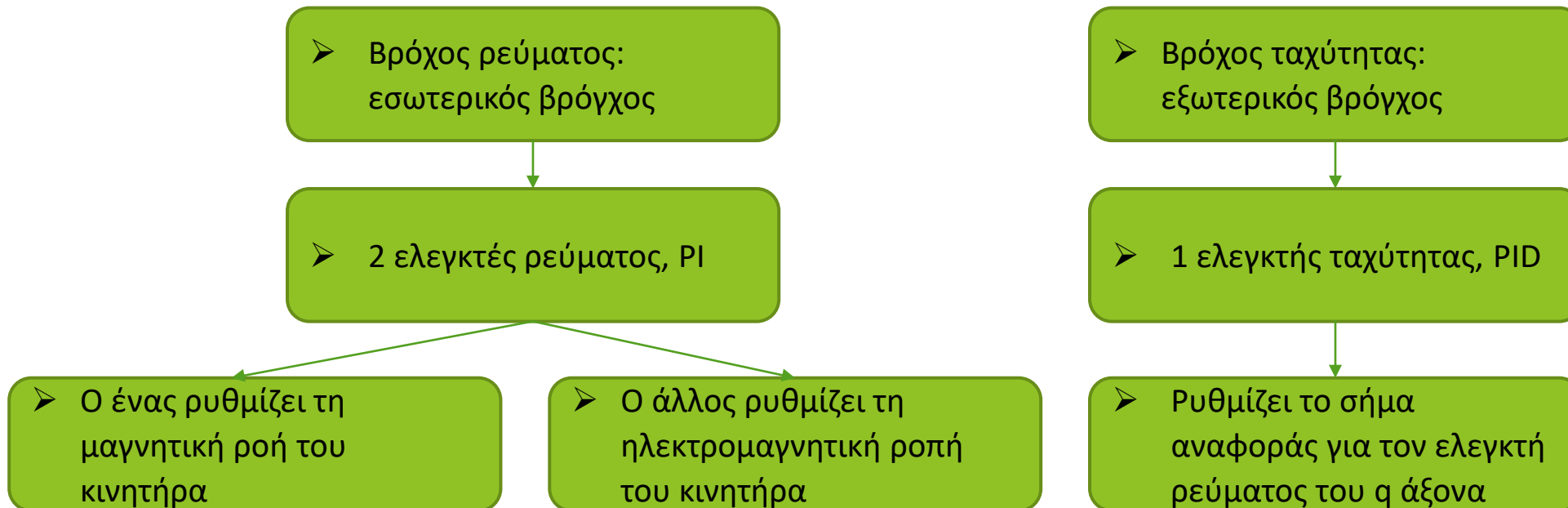


Μοντέλο 2 - Σύστημα ελέγχου FOC - Πλαίσια αναφοράς

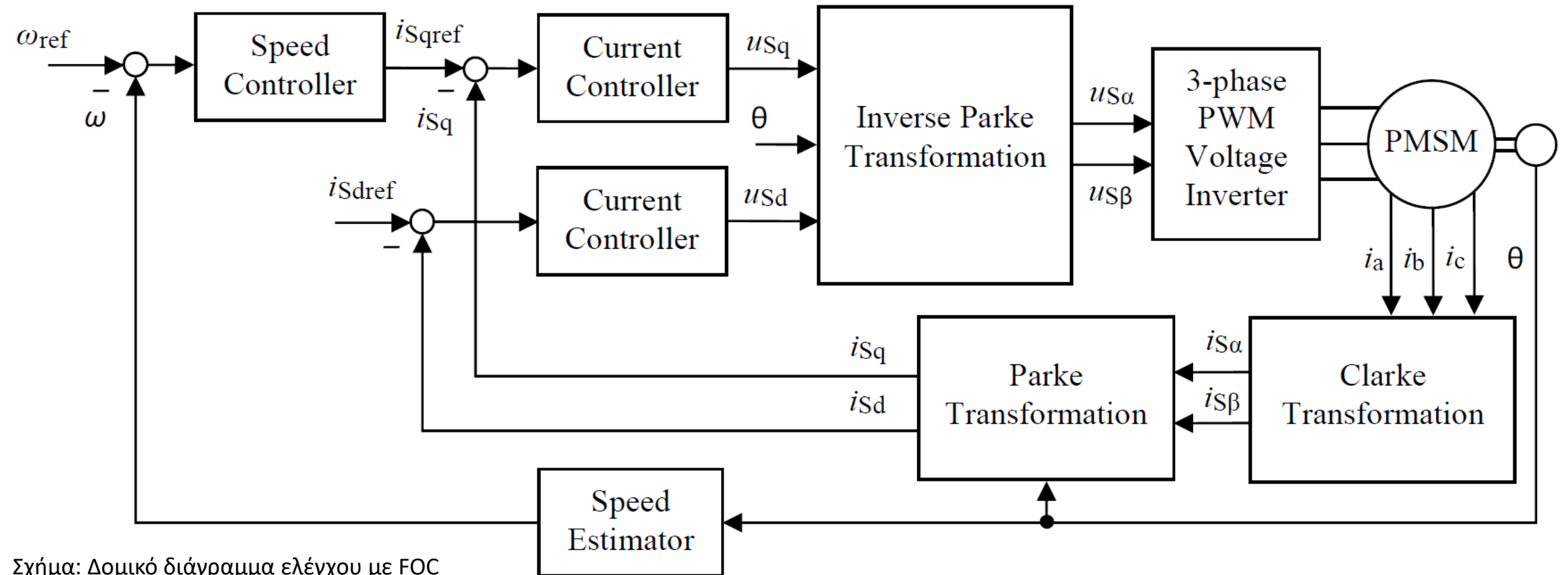


Σχήμα: Πλαίσια αναφοράς στο FOC

Μοντέλο 2 - Σύστημα ελέγχου FOC



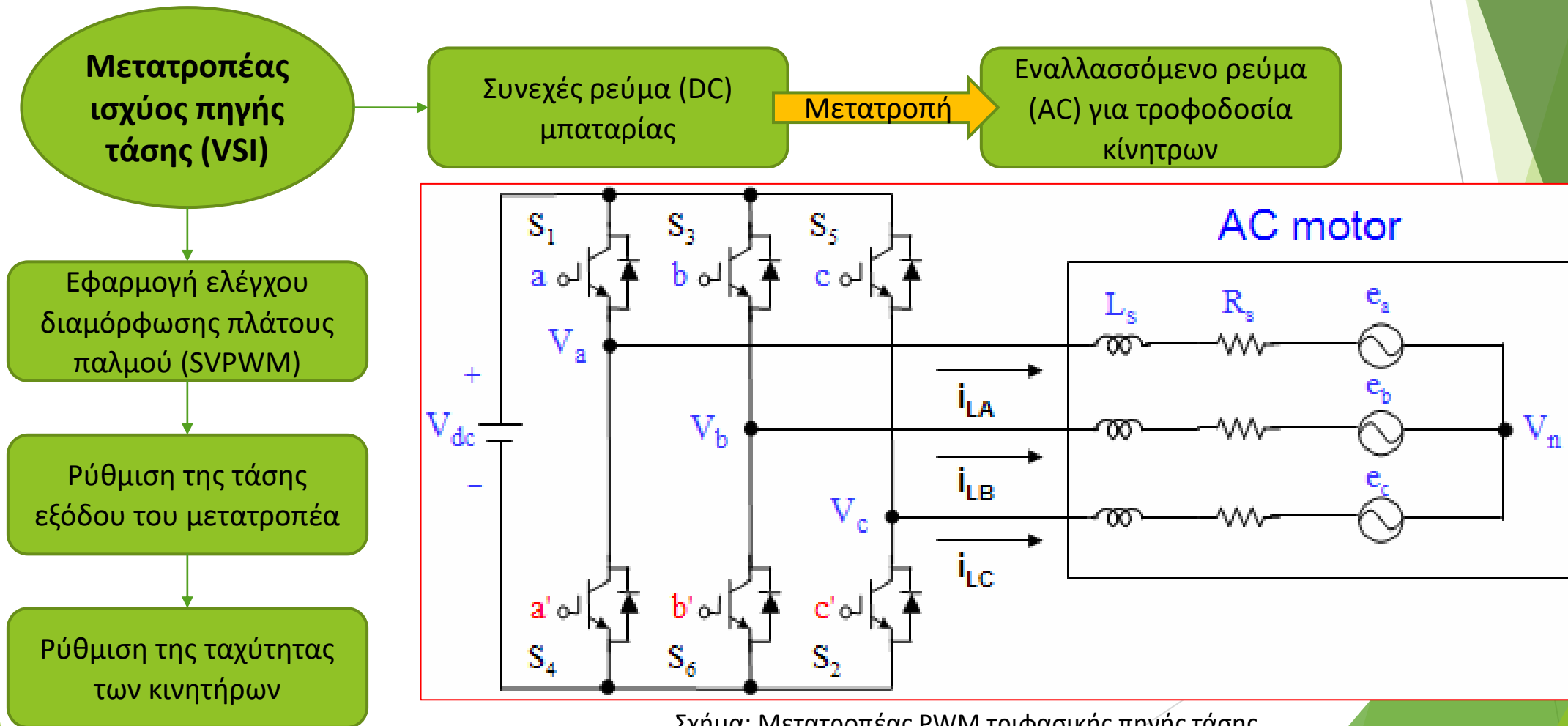
Μοντέλο 2 - Σύστημα Ελέγχου FOC - Εφαρμογή του FOC





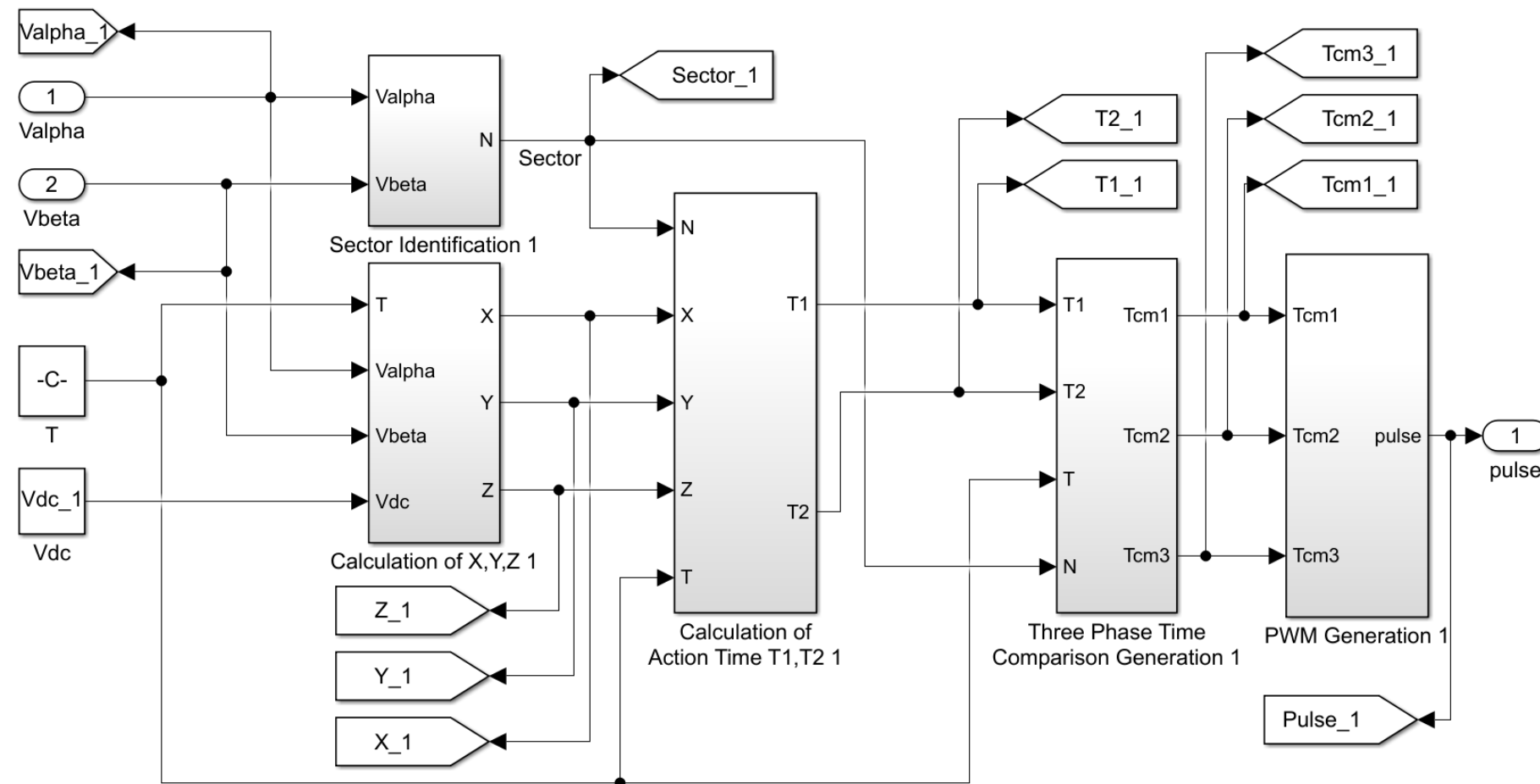
An abstract graphic design featuring overlapping geometric shapes in various shades of green and yellow. The composition is dynamic, with sharp angles and layered planes that create a sense of depth and movement. The colors range from deep forest green to bright, vibrant yellow-green. The shapes are primarily triangular and polygonal, some solid and others semi-transparent, allowing the colors to blend and create new tones where they overlap. The overall effect is modern and energetic, resembling a stylized architectural structure or a complex, crystalline form.

Μοντέλο 2 - Σύστημα Ελέγχου - Μετατροπέας



Σχήμα: Μετατροπέας PWM τριφασικής πηγής τάσης

Μοντέλο 2 - Σύστημα Ελέγχου FOC - SVPWM



Σχήμα: Η μέθοδος SVPWM, στο περιβάλλον Simulink

Ο αλγόριθμος του SVPWM

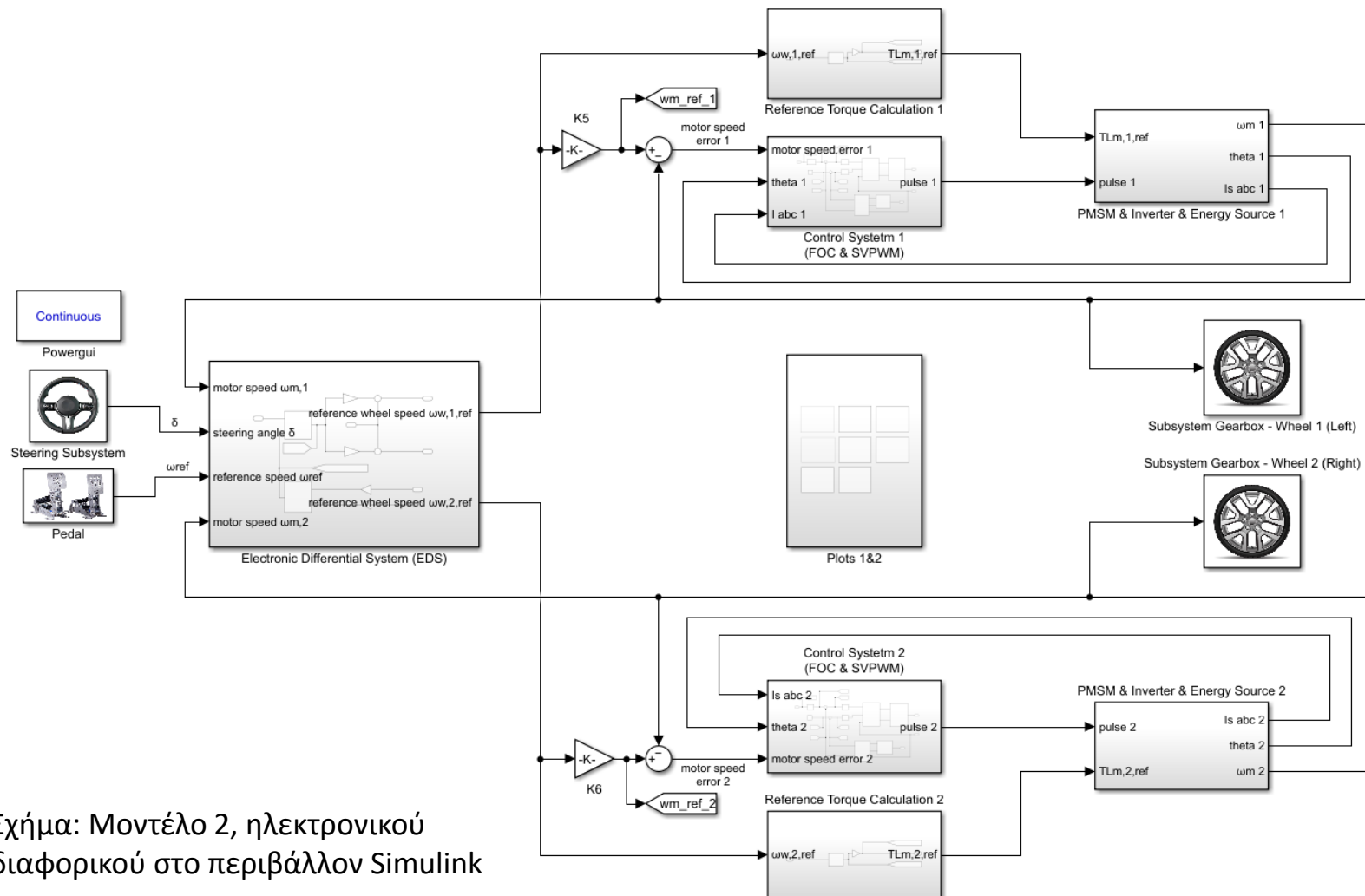
Προσδιορισμός τομέα

Προσδιορισμός χρόνου δράσης
των διανυσμάτων τάσης

Υπολογισμός χρόνου
εναλλαγής κάθε τρανζίστορ

Δημιουργία παλμών PWM

Μοντέλο 2 - Ολικό μοντέλο ηλεκτρονικού διαφορικού στο περιβάλλον Simulink

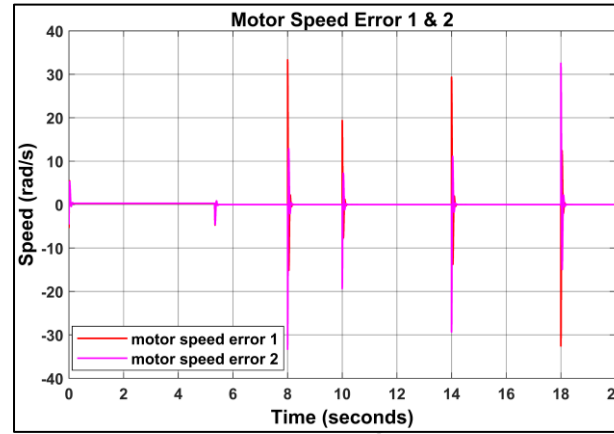
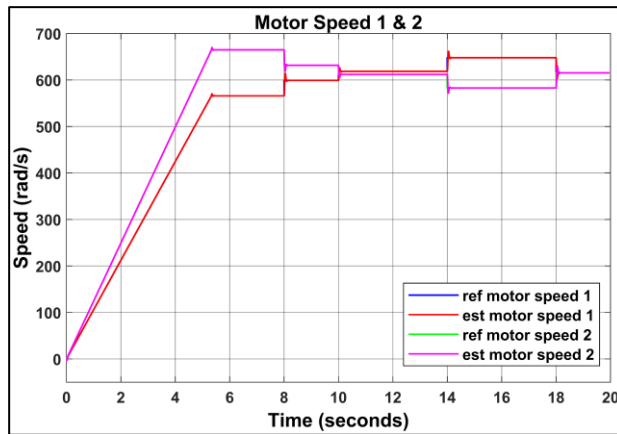
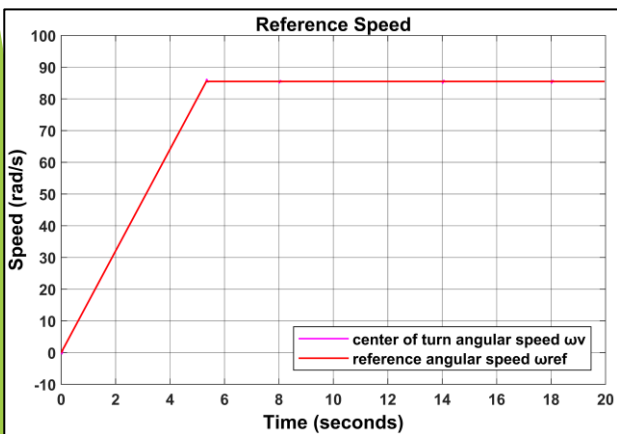
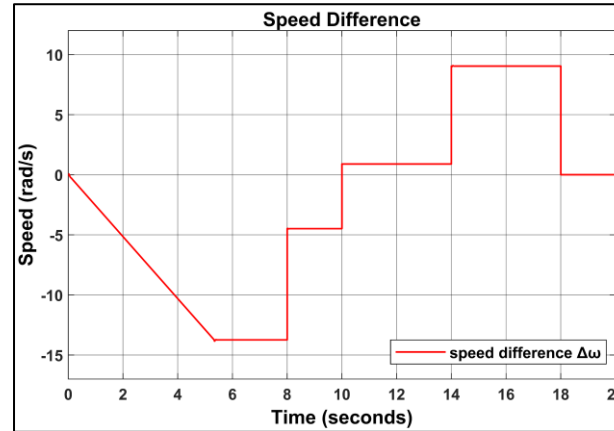
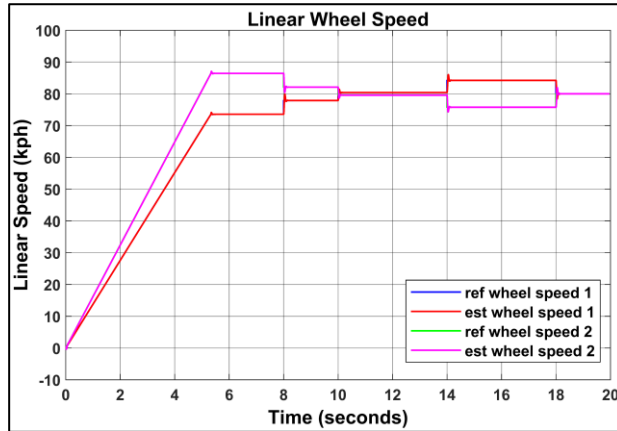
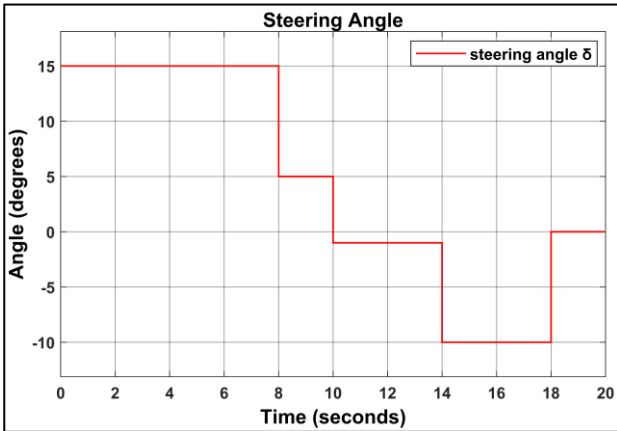


Σχήμα: Μοντέλο 2, ηλεκτρονικού διαφορικού στο περιβάλλον Simulink

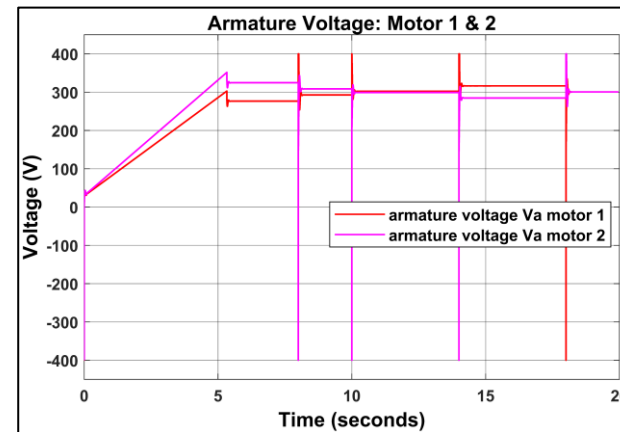
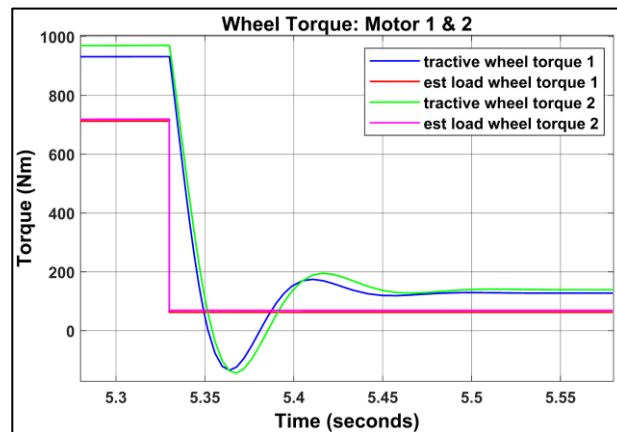
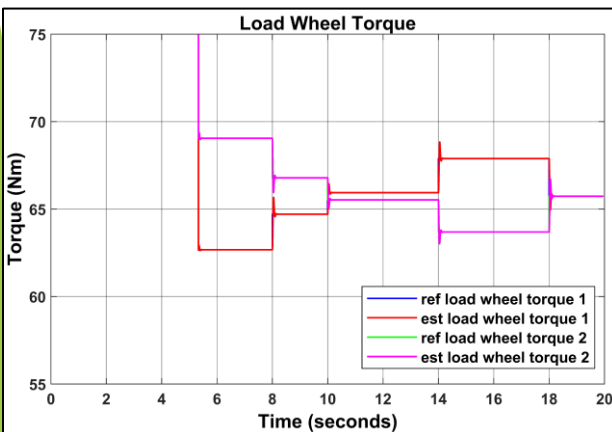
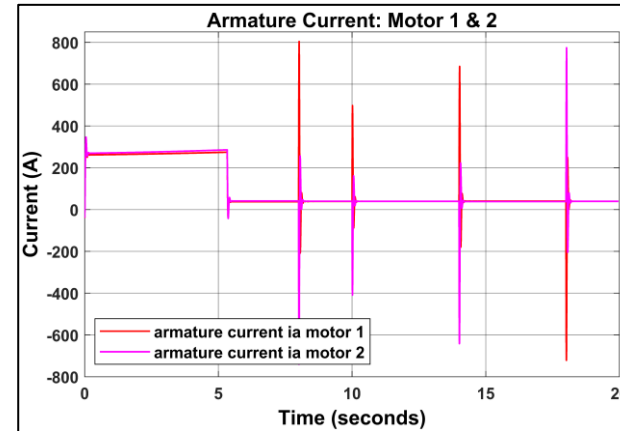
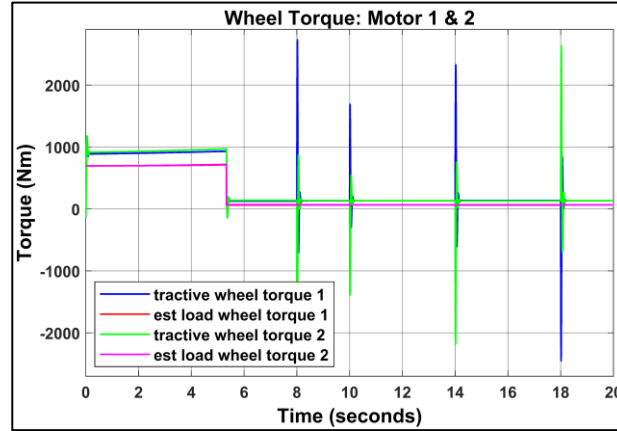
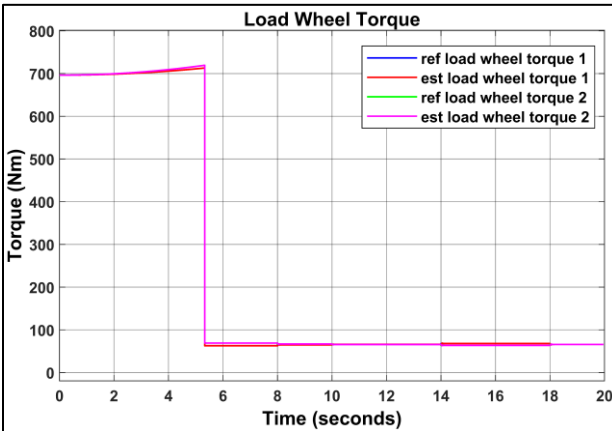
Προσωμοιώσεις



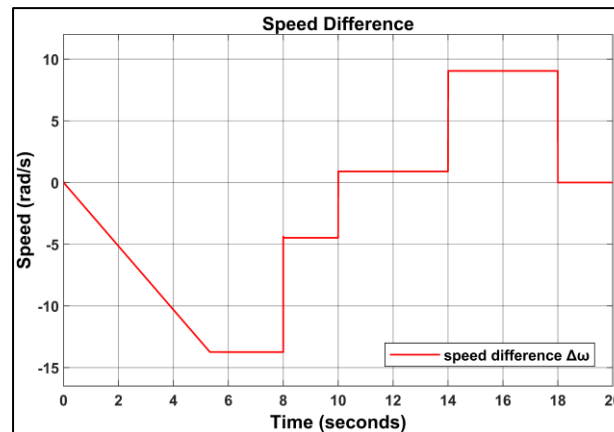
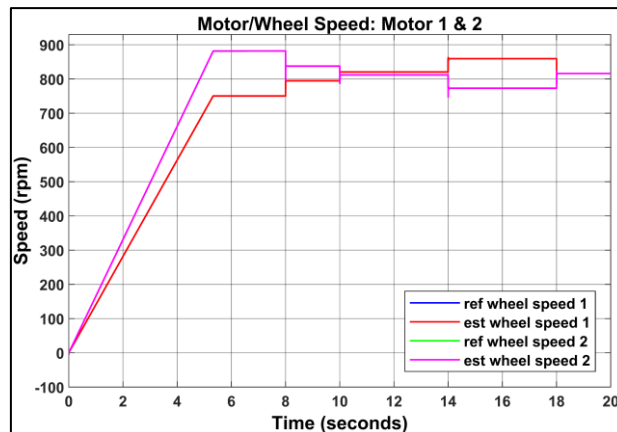
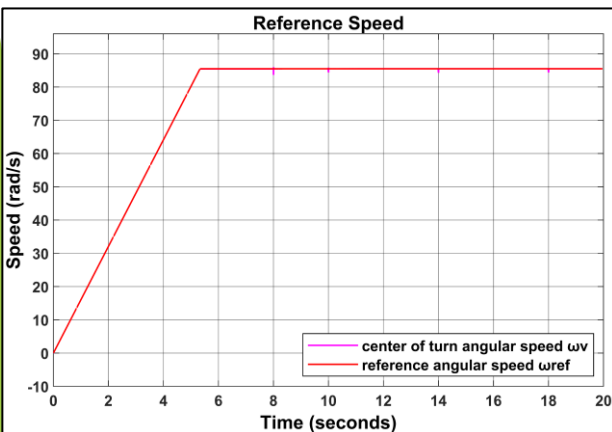
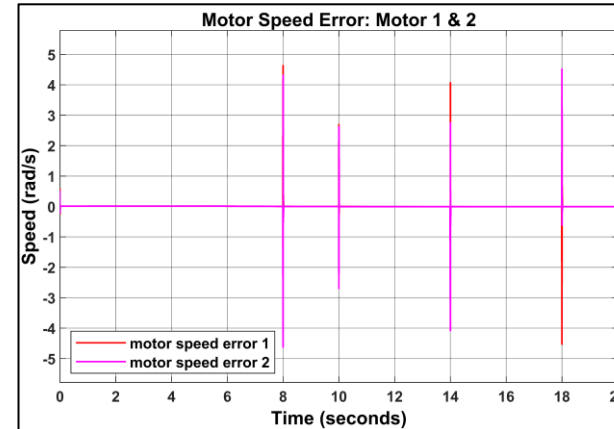
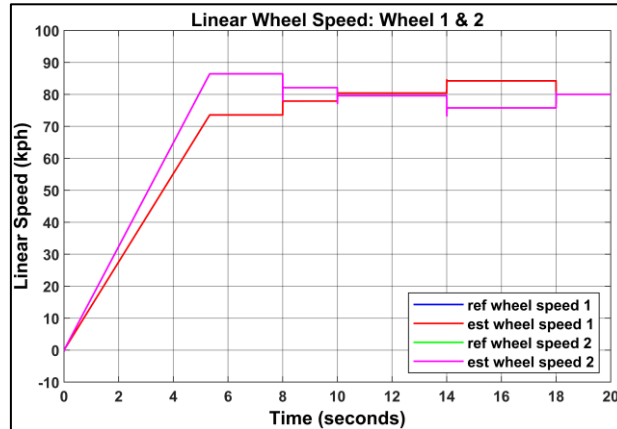
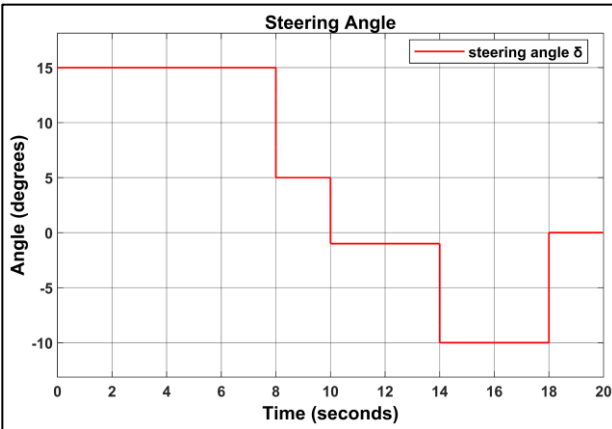
Αποτελέσματα Μοντέλου 1



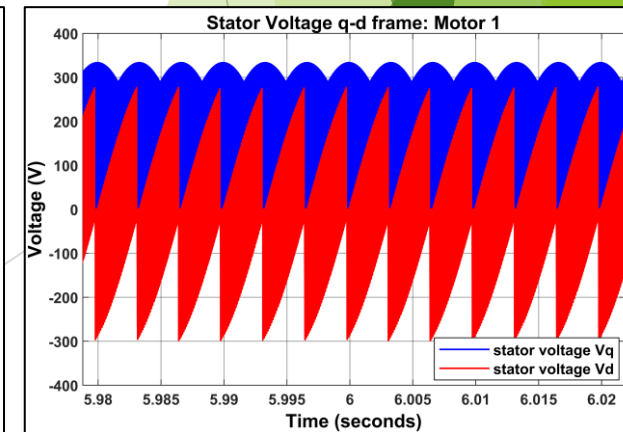
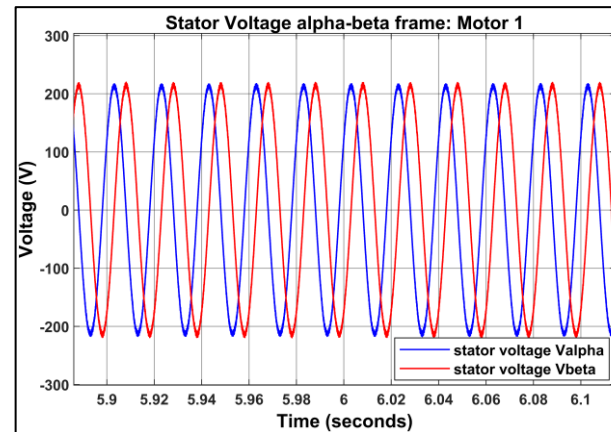
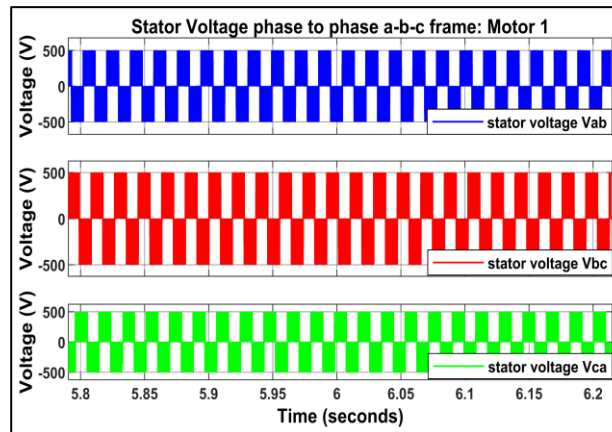
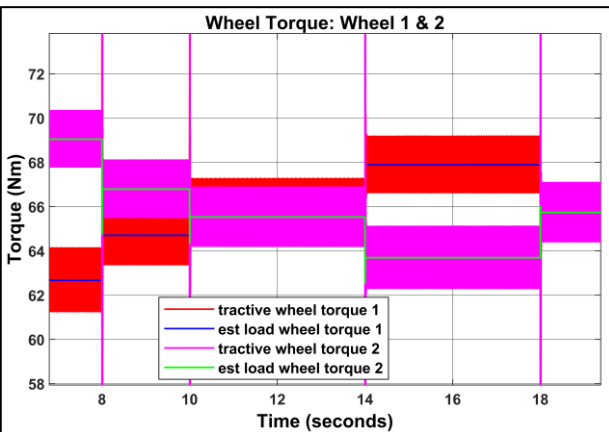
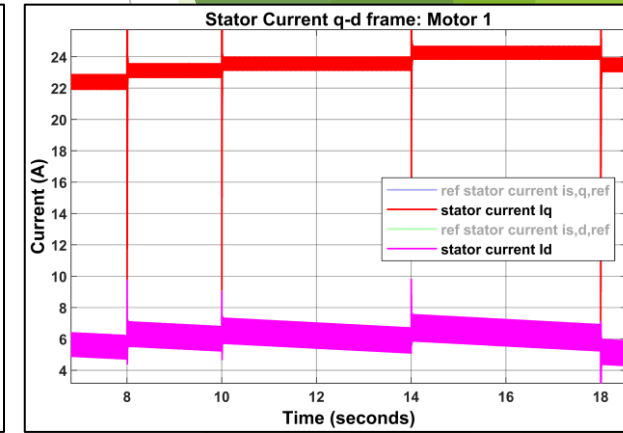
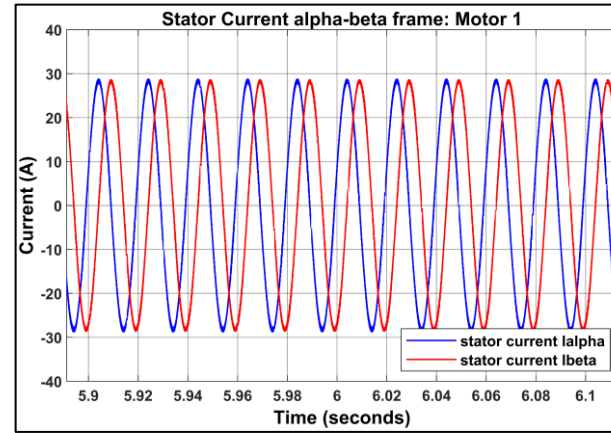
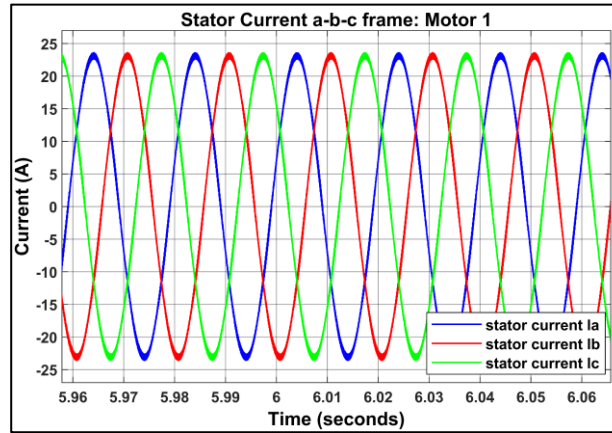
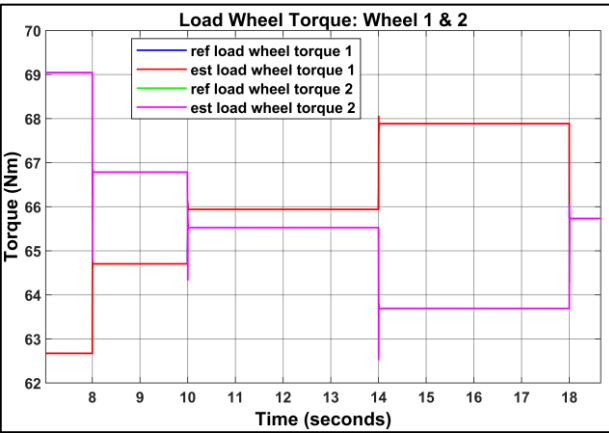
Αποτελέσματα Μοντέλου 1



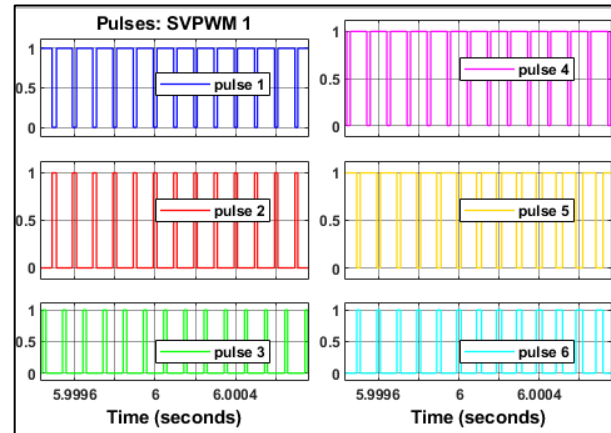
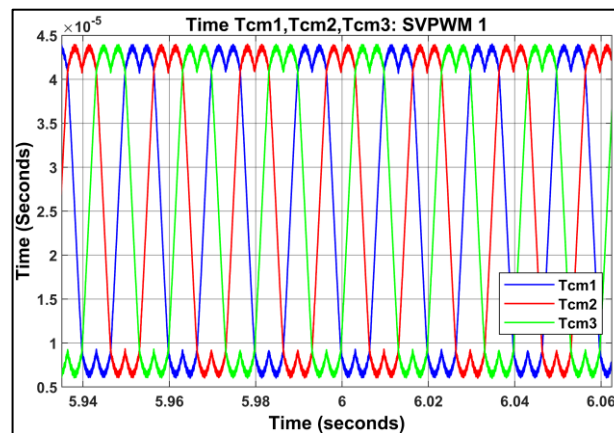
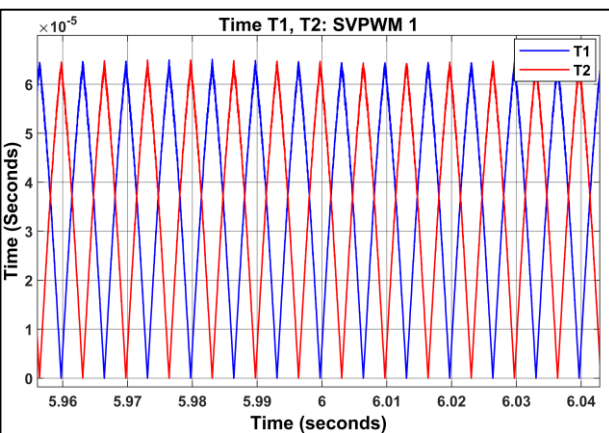
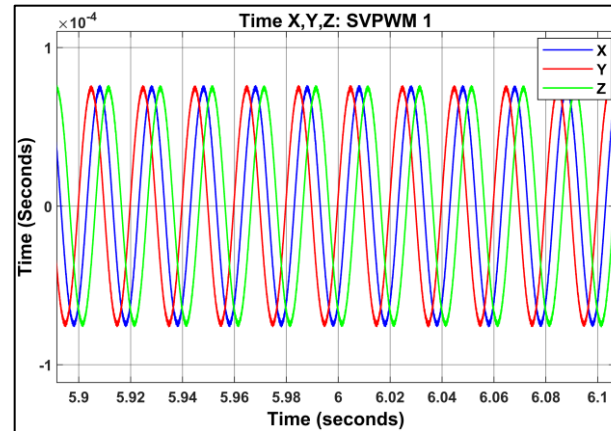
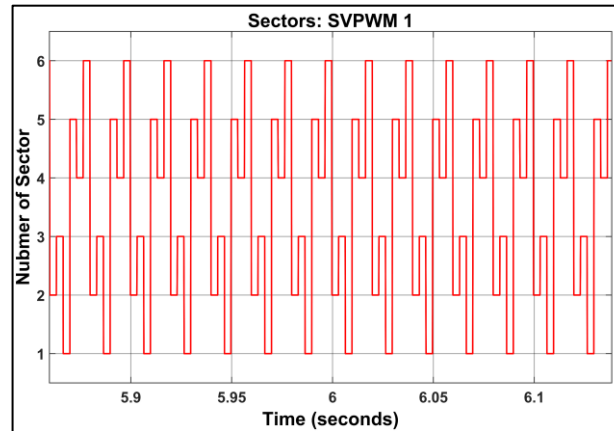
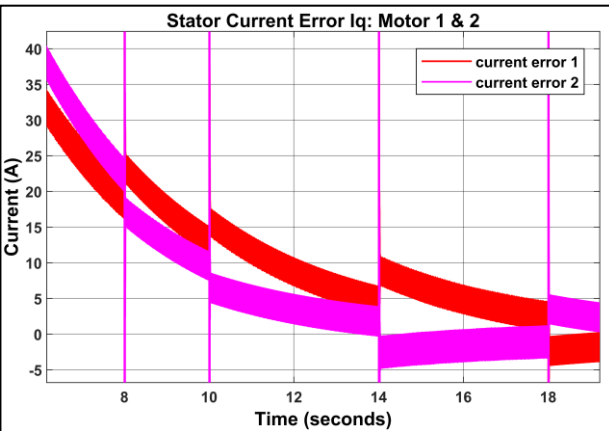
Αποτελέσματα Μοντέλου 2



Αποτελέσματα Μοντέλου 2

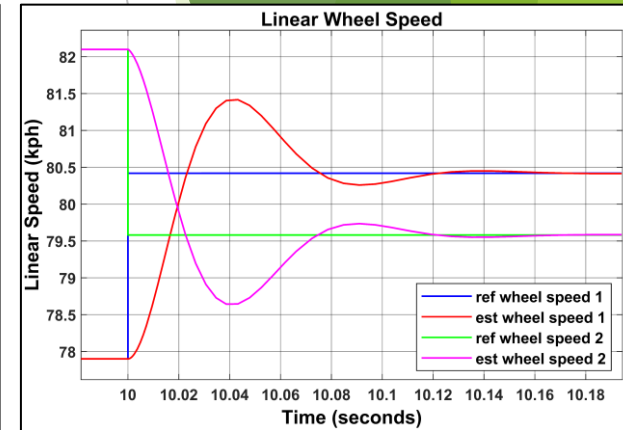
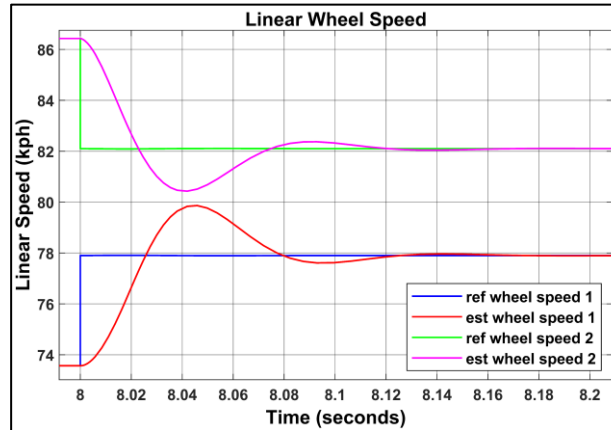
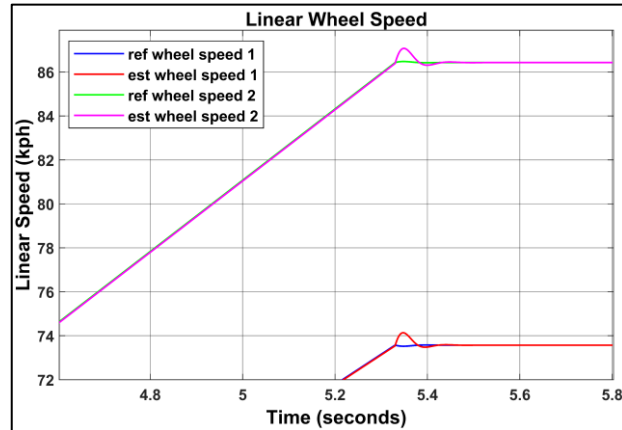
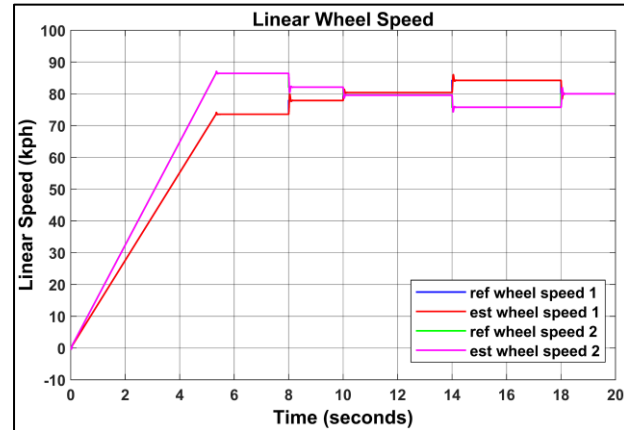


Αποτελέσματα Μοντέλου 2

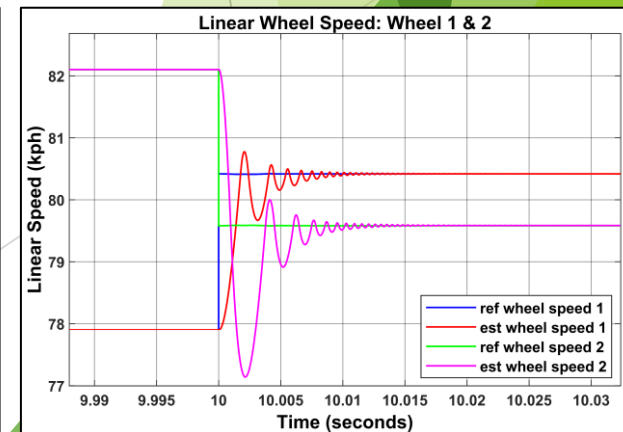
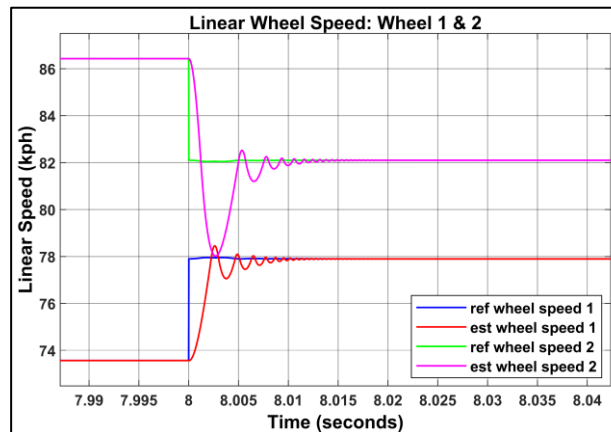
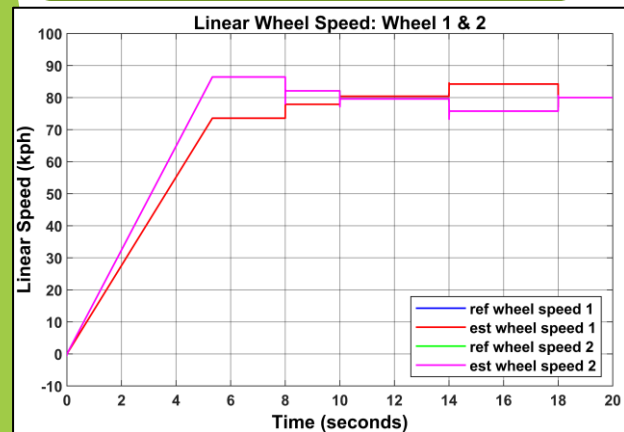


Σύγκριση Μοντέλων

Γραμμική ταχύτητα κινητήριων τροχών Μοντέλου 1



Γραμμική ταχύτητα κινητήριων τροχών Μοντέλου 2



Συμπεράσματα

Γρήγορη και ακριβή απόκριση της ταχύτητας των τροχών σε οποιαδήποτε μεταβολή του οχήματος

Γρήγορη και ακριβή απόκριση της ηλεκτρικής ροπής των κινητήρων σε οποιαδήποτε μεταβολή του οχήματος

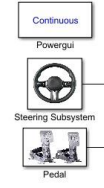
Επαλήθευση του γεωμετρικού μοντέλου διεύθυνσης Ackermann-Jeantaud για την πρόβλεψη διαφοράς ταχύτητας

Ευστάθεια σε όλες τις συνθήκες οδήγησης

Επαλήθευση σωστής λειτουργίας του Ηλεκτρικού Διαφορικού (EDS)



Σχήμα



Σχήμα: Μοντέλο 1, ηλεκτρονικού διαφορικού στο περιβάλλον Simulink