

ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΑ ΙΣΧΥΟΣ

3η Εργαστηριακή Άσκηση

- Εισαγωγή στη Μοντελοποίηση – Προσομοίωση Ελεγχόμενων Μετατροπέων Συνεχούς Ρεύματος.
- Εισαγωγή στην Προσομοίωση ελέγχου κινητήρων Συνεχούς Ρεύματος.

Περιεχόμενα

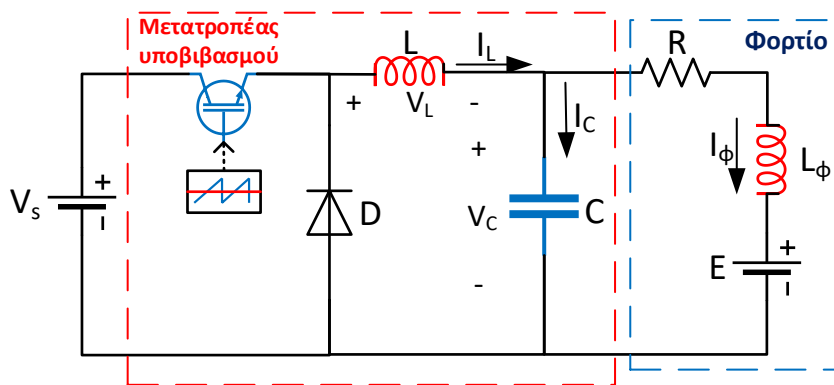
Σκοπός της Άσκησης- Περιγραφή Συστήματος	3
Διάταξη μετατροπέα υποβιβασμού Σ.Ρ. που τροφοδοτεί R-L φορτίο με εσωτερική τάση	3
Διάταξη μετατροπέα υποβιβασμού Σ.Ρ. για τον έλεγχο των στροφών κινητήρα Σ.Ρ. μόνιμων μαγνητών.....	5
Εκτέλεση άσκησης, Παραδοτέα	6
Παράρτημα.....	7
Εξιιώσεις του μετατροπέα στον χώρο κατάστασης.....	7

Σκοπός της Άσκησης- Περιγραφή Συστήματος

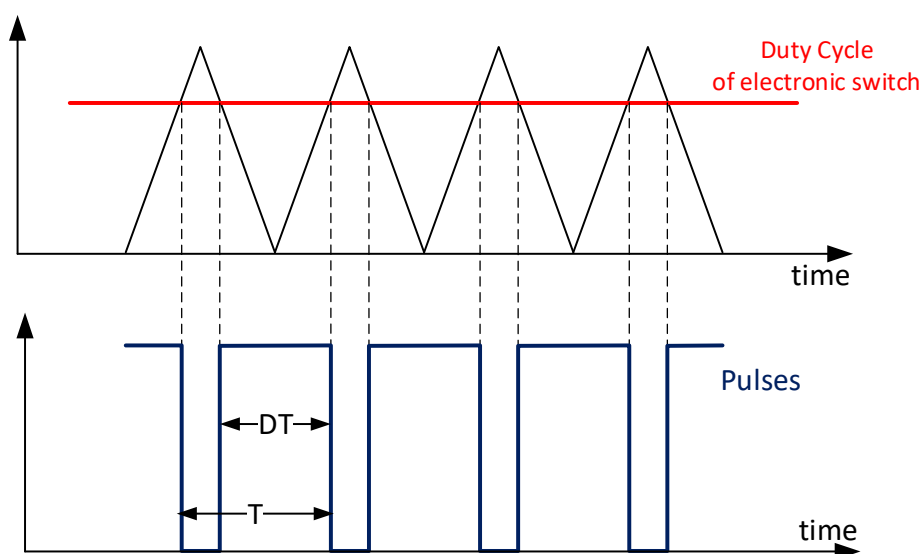
Σκοπός της άσκησης είναι η εισαγωγή στη μοντελοποίηση μετατροπέων Σ.Ρ. και διατάξεων ελέγχου κινητήρων Σ.Ρ. καθώς και η ανάπτυξη κώδικα Matlab για την προσομοίωσή τους.

Διάταξη μετατροπέα υποβιβασμού Σ.Ρ. που τροφοδοτεί R-L φορτίο με εσωτερική τάση

Το υπό μελέτη σύστημα δίνεται στο Σχήμα 1. Ο μετατροπέας του Σχήματος 1 είναι μετατροπέας υποβιβασμού Σ.Ρ. και τροφοδοτεί ένα R-L φορτίο με εσωτερική τάση E και τροφοδοτείται από σταθερή τάση V_s . Ο τρόπος παραγωγής των παλμών ελέγχου του ηλεκτρονικού διακόπτη δίνεται στο Σχήμα 2 όπου η επιθυμητή τιμή του duty cycle του ηλεκτρονικού διακόπτη συγκρίνεται με μια τριγωνική κυματομορφή μοναδιαίου πλάτους. Εάν η επιθυμητή τιμή του duty cycle του ηλεκτρονικού διακόπτη είναι μεγαλύτερη της τριγωνικής κυματομορφής δίνουμε παλμό έναυσης στον ηλεκτρονικό διακόπτη, διαφορετικά ο παλμός διακόπτεται.



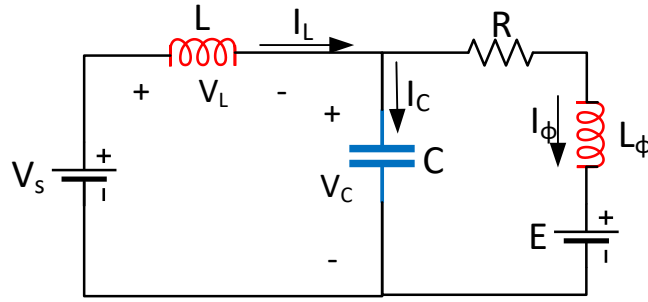
Σχήμα 1 Διάταξη R-L φορτίου με εσωτερική τάση E τροφοδοτούμενου από μετατροπέα υποβιβασμού Σ.Ρ.



Σχήμα 2 Μέθοδος παραγωγής των παλμών ελέγχου του ηλεκτρονικού διακόπτη.

Οι εξισώσεις που μοντελοποιούν τις δυο φάσεις λειτουργίας (Φ1 και Φ2 ανάλογα με την κατάσταση του διακόπτη) του συστήματος του Σχήματος 1 δίνονται στη συνέχεια.

Φ1 : Διακόπτης κλειστός $0 \leq t < DT$



Σχήμα 3 Διάταξη R-L φορτίου με εσωτερική τάση E τροφοδοτούμενου από μετατροπέα υποβιβασμού Σ.Ρ. (φάση λειτουργίας Φ1).

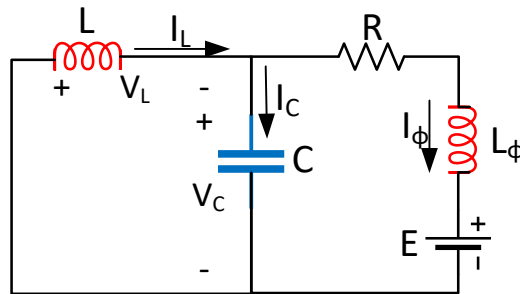
$$V_L(t) = V_s - V_c(t) = L \cdot \frac{dI_L(t)}{dt} \quad (1)$$

$$V_c(t) = R \cdot I_\phi(t) + L_\phi \cdot \frac{dI_\phi(t)}{dt} + E \quad (2)$$

$$I_c(t) = C \cdot \frac{dV_c(t)}{dt} \quad (3)$$

$$I_L(t) = I_c(t) + I_\phi(t) \quad (4)$$

Φ2 : Διακόπτης ανοικτός $DT \leq t < T$



Σχήμα 4 Διάταξη R-L φορτίου με εσωτερική τάση E τροφοδοτούμενου από μετατροπέα υποβιβασμού Σ.Ρ. (φάση λειτουργίας Φ2)

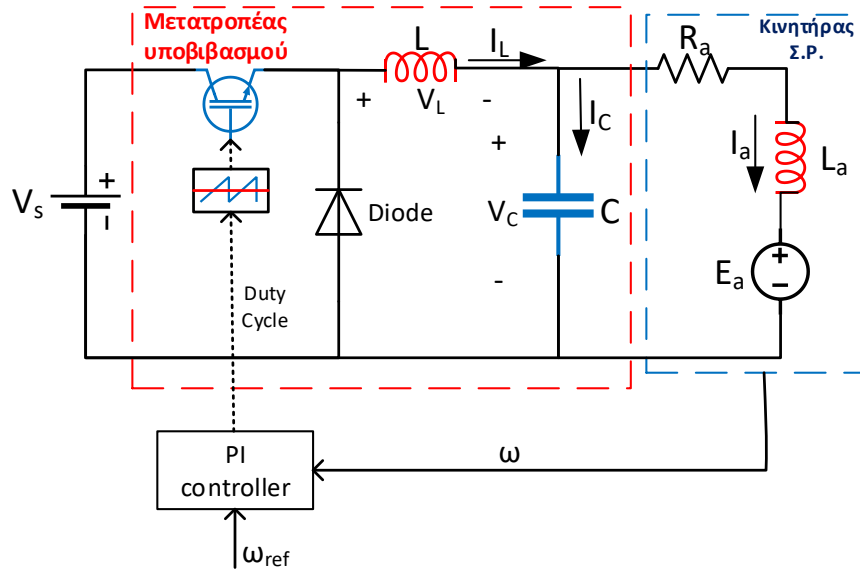
$$-V_c(t) = L \cdot \frac{dI_L(t)}{dt} \quad (5)$$

$$V_c(t) = R \cdot I_\phi(t) + L_\phi \cdot \frac{dI_\phi(t)}{dt} + E \quad (6)$$

$$I_c(t) = C \cdot \frac{dV_c(t)}{dt} \quad (7)$$

$$I_L(t) = I_c(t) + I_\phi(t) \quad (8)$$

Διάταξη μετατροπέα υποβιβασμού Σ.Ρ. για τον έλεγχο των στροφών κινητήρα Σ.Ρ. μόνιμων μαγνητών



Σχήμα 5 Διάταξη κινητήρα Σ.Ρ. μόνιμων μαγνητών τροφοδοτούμενου από μετατροπέα υποβιβασμού Σ.Ρ. για τον έλεγχο των στροφών του.

Το υπό μελέτη σύστημα δίνεται στο Σχήμα 5. Ο κινητήρας Σ.Ρ. μόνιμων μαγνητών τροφοδοτείται από μετατροπέα υποβιβασμού Σ.Ρ. Οι στροφές του κινητήρα, ω , μετρούνται και συγκρίνονται με την τιμή αναφοράς τους ω_{ref} . Το προκύπτον σφάλμα μετατρέπεται μέσω ενός PI ελεγκτή στην κατάλληλη τιμή του duty cycle του ηλεκτρονικού διακόπτη ώστε να διατηρούνται οι στροφές κατά το δυνατόν σταθερές. Για την μοντελοποίηση του συστήματος του Σχήματος 5, επιπλέον των αντίστοιχων εξισώσεων της προηγούμενης παραγράφου, θεωρείστε τις επόμενες εξισώσεις για τον κινητήρα Σ.Ρ.

$$J \frac{d\omega(t)}{dt} = T_e(t) - T_L(t) \quad (9)$$

$$E_a(t) = k_e \cdot \omega(t) \quad (10)$$

$$T_e(t) = k_T \cdot I_a(t) \quad (11)$$

$$D(t) = K \cdot (\omega_{ref}(t) - \omega(t)) + K_I \cdot \int (\omega_{ref}(t) - \omega(t)) \cdot dt \quad (12)$$

Όπου, ω οι στροφές του κινητήρα, T_e η ηλεκτρική ροπή του κινητήρα, T_L η ροπή του φορτίου, E_a η αντιηλεκτρεγερτική δύναμη στο τυλίγμα του δρομέα, R_a η αντίσταση του τυλίγματος οπλισμού, L_a η αυτεπαγωγή του τυλίγματος οπλισμού, J σταθερά αδράνειας, k_T η σταθερά ροπής του κινητήρα, k_e η σταθερά τάσης του κινητήρα, D το duty cycle του διακόπτη.

Οι τιμές των παραμέτρων του μοντέλου του κινητήρα δίνονται στον Πίνακα 1.

Πίνακας 1 Παράμετροι κινητήρα Σ.Ρ.

Παράμετρος	Σύμβολο	Τιμή
Αντίσταση τυλίγματος οπλισμού	R_a	3Ω
Αυτεπαγωγή τυλίγματος οπλισμού	L_a	$0.5 \cdot 10^{-3} \text{ H}$
Σταθερά αδράνειας	J	$5 \cdot 10^{-3} \text{ kgm}^2$
Σταθερά Ροπής Κινητήρα	k_T	0.3 Nm/A
Ηλεκτρική Σταθερά Κινητήρα	k_e	0.3 V/rad/s

Εκτέλεση άσκησης, Παραδοτέα

Για τους σκοπούς της προσομοίωσης να θεωρηθεί σταθερό χρονικό βήμα $\Delta t=10^{-6}s$.

1. Να δώσετε την αναλυτική περιγραφή λειτουργίας του συστήματος του Σχήματος 1 και τις εξισώσεις διακριτού χρόνου που το διέπουν σε κατάλληλη μορφή για την επίλυσή τους.
2. Να δώσετε την αναλυτική περιγραφή λειτουργίας του συστήματος του Σχήματος 5 και τις εξισώσεις διακριτού χρόνου που το διέπουν σε κατάλληλη μορφή για την επίλυσή τους.
3. Θεωρώντας για το κύκλωμα του Σχήματος 1 $V_s=300V$, $C=10^{-5}F$, $R=3\Omega$, $L_\phi=0.0005H$, $E=90V$, διακοπτική συχνότητα $f=10kHz$ να δώσετε τις κυματομορφές των τάσεων και των ρευμάτων του κυκλώματος για:
 - Duty Cycle = 0.5, $L=10^{-3}H$,
 - Duty Cycle = 0.5, $L=10^{-2}H$,
 - Duty Cycle = 0.8, $L=10^{-3}H$,

Σχολιάστε τα αποτελέσματα.

4. Θεωρώντας για το κύκλωμα του Σχήματος 5 $V_s=300V$, $L=10^{-3}H$, $C=10^{-5}F$, διακοπτική συχνότητα $f=10kHz$, τις τιμές παραμέτρων κινητήρα του Πίνακα 1 και $\omega_{ref}=80rad/s$ να δώσετε τις κυματομορφές των τάσεων και των ρευμάτων του κυκλώματος, των στροφών και της ηλεκτρικής ροπής του κινητήρα για:
 - $T_L=15Nm$, αρχικές στροφές κινητήρα $\omega=0 rad/s$
 - $T_L=20Nm$, αρχικές στροφές κινητήρα $\omega=0 rad/s$
 - Ροπή φορτίου $T_L=20Nm$ από $t=0s$ έως $t=1s$ και για $t>1s$ βηματική αύξηση της ροπής του φορτίου σε $T_L=25Nm$. Αρχικές στροφές κινητήρα $\omega=0 rad/s$.

Σχολιάστε τα αποτελέσματα.

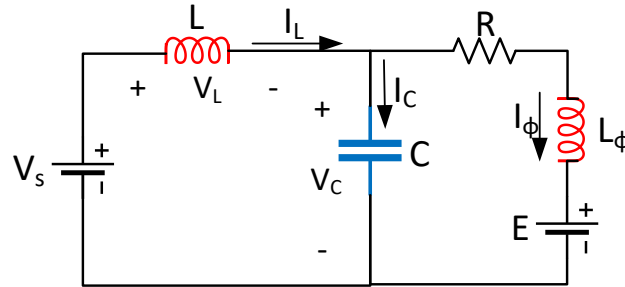
5. Να παραθέσετε μαζί με κατάλληλα σχόλια τον κώδικα Matlab που αναπτύξατε και το διάγραμμα ροής του αλγορίθμου προσομοίωσης των αναπτυχθέντων μοντέλων.

Παράρτημα

Εξισώσεις του μετατροπέα στον χώρο κατάστασης

Δίνονται στη συνέχεια οι εξισώσεις στο χώρο κατάστασης για τις φάσεις λειτουργίας Φ1, Φ2 του συστήματος του Σχήματος 1.

Φ1



Οι εξισώσεις (1)-(4) γράφονται όπως στη συνέχεια.

$$\frac{dI_L(t)}{dt} = \frac{V_s - V_c(t)}{L} \quad (13)$$

$$\frac{dI_\phi(t)}{dt} = \frac{-R \cdot I_\phi(t) + V_c(t) - E}{L_\phi} \quad (14)$$

$$\frac{dV_c(t)}{dt} = \frac{I_L(t) - I_\phi(t)}{C} \quad (15)$$

Και τελικά διαμορφώνονται :

$$\frac{d}{dt} \begin{bmatrix} I_L(t) \\ I_\phi(t) \\ V_c(t) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & -\frac{1}{L} \\ 0 & -\frac{R}{L_\phi} & \frac{1}{L_\phi} \\ \frac{1}{C} & -\frac{1}{C} & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_L(t) \\ I_\phi(t) \\ V_c(t) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \frac{1}{L} & 0 \\ 0 & -\frac{1}{L_\phi} \\ 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_s \\ E \end{bmatrix} \quad (16)$$

Εάν θεωρήσουμε ως εξόδους το σύστημα π.χ. τα I_L , I_ϕ και V_c τότε,

$$\begin{bmatrix} I_L(t) \\ I_\phi(t) \\ V_c(t) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_L(t) \\ I_\phi(t) \\ V_c(t) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_s \\ E \end{bmatrix} \quad (16)$$

Έχουμε τελικά ένα σύστημα της μορφής,

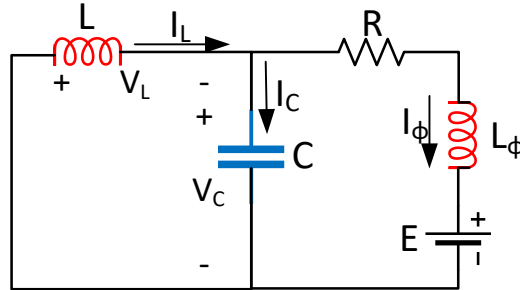
$$\begin{aligned} \frac{d}{dt} \mathbf{x} &= \mathbf{A}_1 \mathbf{x} + \mathbf{B}_1 \mathbf{u} \\ \mathbf{y} &= \mathbf{C}_1 \mathbf{x} + \mathbf{D}_1 \mathbf{u} \end{aligned} \quad (17)$$

Με τη συνάρτηση **ss** του Matlab ορίσετε το μοντέλο του συστήματος στη μορφή της (17) και χρησιμοποιώντας τη συνάρτηση **c2d** να μετατραπεί το εν λόγω σύστημα σε σύστημα διακριτού χρόνου, με $T_s = 10^{-6} \text{s}$.

Θα πάρετε δηλαδή ένα μοντέλο της μορφής,

$$\begin{aligned} \mathbf{x}(k+1) &= \mathbf{A}_{1,d} \mathbf{x}(k) + \mathbf{B}_{1,d} \mathbf{u}(k) \\ y(k) &= \mathbf{C}_{1,d} \mathbf{x}(k) + \mathbf{D}_{1,d} \mathbf{u}(k) \end{aligned} \quad (18)$$

Φ2



Οι εξισώσεις (5)-(8) γράφονται όπως στη συνέχεια.

$$\frac{dI_L(t)}{dt} = \frac{-V_c(t)}{L} \quad (19)$$

$$\frac{dI_\phi(t)}{dt} = \frac{-R \cdot I_\phi(t) + V_c(t) - E}{L_\phi} \quad (20)$$

$$\frac{dV_c(t)}{dt} = \frac{I_L(t) - I_\phi(t)}{C} \quad (21)$$

Και τελικά διαμορφώνονται:

$$\frac{d}{dt} \begin{bmatrix} I_L(t) \\ I_\phi(t) \\ V_c(t) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & -\frac{1}{L} \\ 0 & -\frac{R}{L_\phi} & \frac{1}{L_\phi} \\ \frac{1}{C} & -\frac{1}{C} & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_L(t) \\ I_\phi(t) \\ V_c(t) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & -\frac{1}{L_\phi} \\ 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_s \\ E \end{bmatrix} \quad (22)$$

Εάν θεωρήσουμε ως εξόδους το σύστηματος π.χ. τα I_L , I_ϕ και V_c τότε,

$$\begin{bmatrix} I_L(t) \\ I_\phi(t) \\ V_c(t) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_L(t) \\ I_\phi(t) \\ V_c(t) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_s \\ E \end{bmatrix} \quad (23)$$

Έχουμε τελικά ένα σύστημα της μορφής,

$$\begin{aligned} \frac{d}{dt} \mathbf{x} &= \mathbf{A}_2 \mathbf{x} + \mathbf{B}_2 \mathbf{u} \\ y &= \mathbf{C}_2 \mathbf{x} + \mathbf{D}_2 \mathbf{u} \end{aligned} \quad (24)$$

Με τη συνάρτηση **ss** του Matlab ορίσετε το μοντέλο του συστήματος στη μορφή της (24) και χρησιμοποιώντας τη συνάρτηση **c2d** να μετατραπεί το εν λόγω σύστημα σε σύστημα διακριτού χρόνου, με $T_s=10^{-6}s$.

Θα πάρετε δηλαδή ένα μοντέλο της μορφής,

$$\begin{aligned}x(k+1) &= A_{2,d}x(k) + B_{2,d}u(k) \\ y(k) &= C_{2,d}x(k) + D_{2,d}u(k)\end{aligned}\tag{25}$$

Επαναλάβετε την ίδια διαδικασία για τις δυο φάσεις λειτουργίας του συστήματος του Σχήματος 5 ώστε να προσομοιωθεί στη συνέχεια η λειτουργία του.