



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ  
ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

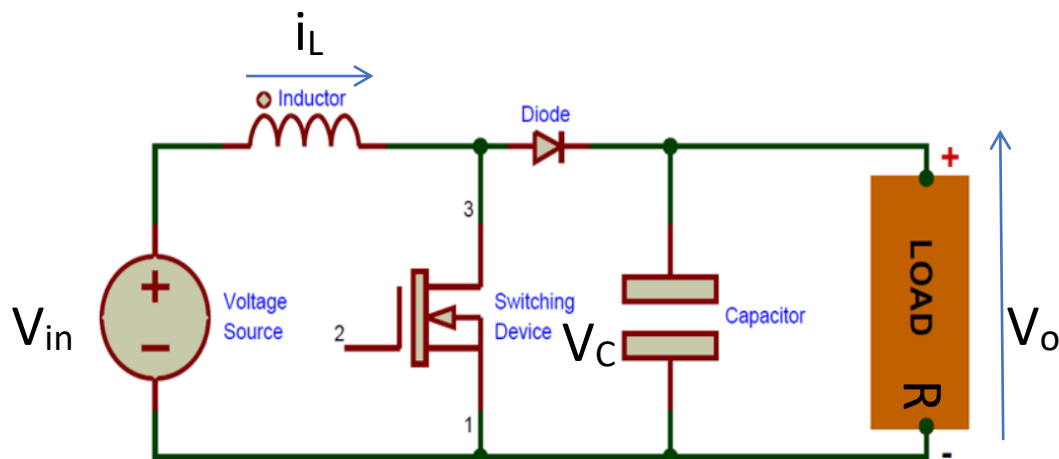
ΤΟΜΕΑΣ ΣΗΜΑΤΩΝ ΕΛΕΓΧΟΥ ΚΑΙ ΡΟΜΠΟΤΙΚΗΣ

# Προχωρημένες Τεχνικές Συστημάτων Αυτομάτου Ελέγχου

Άσκηση: Έλεγχος Μετατροπέα Ανύψωσης στο Χώρο  
Κατάστασης

## 1. Εισαγωγή

Στην άσκηση αυτή θα σχεδιάσουμε έναν ελεγκτή για έναν ηλεκτρονικό μετατροπέα ανύψωσης τάσης (Boost Converter). Το κύκλωμα του μετατροπέα φαίνεται στο παρακάτω σχήμα.



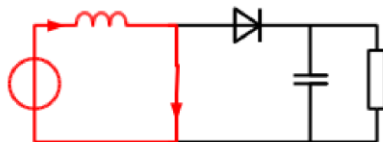
Ο μετατροπέας ανύψωσης τροφοδοτείται από μια πηγή τάσης  $V_{in}$  και δίνει στην έξοδό μια μεγαλύτερη τάση  $V_o$ . Ο ηλεκτρονικός διακόπτης ανοιγοκλείνει με μεγάλη συχνότητα  $f_s$ , και duty cycle  $0 < D < 1$ . Δηλαδή σε κάθε κύκλο διάρκειας  $T_s = 1/f_s$ , ο ηλεκτρονικός διακόπτης άγει για  $D/f_s$  και δεν άγει για  $(1-D)/f_s$ .

Η αρχή λειτουργίας του μετατροπέα είναι το γεγονός ότι η αυτεπαγωγή τείνει να διατηρεί το ρεύμα που τη διαρρέει. Όταν ο διακόπτης άγει το ρεύμα της αυξάνει, ενώ το φορτίο τροφοδοτείται μέσω του πυκνωτή. Όταν ο διακόπτης δεν άγει το ρεύμα της αυτεπαγωγής περνάει από μεγαλύτερη αντίσταση (δίοδο και φορτίο) και άρα τείνει να μειωθεί. Έτσι το πηνίο «αντιστεκόμενο» στη μείωση στο ρεύμα του, παρουσιάζει μια τάση στα άκρα του. Αυτή η τάση αθροιζόμενη με τάση εισόδου είναι η τάση εξόδου.

## 2. Μοντελοποίηση Συστήματος

Το τρανζίστορ μπορεί να είναι είτε στην κατάσταση αγωγής (On) ή στην κατάσταση μη αγωγής (Off). Το κύκλωμα στην κάθε περίπτωση είναι

On-State



Off-State



Οι διαφορικές εξισώσεις του συστήματος όταν ο διακόπτης άγει είναι :

$$\frac{di_L}{dt} = \frac{1}{L} V_{in}$$
$$\frac{dV_C}{dt} = -\frac{1}{CR} V_C$$

Όταν ο διακόπτης δεν άγει (Off state) οι διαφορικές εξισώσεις είναι:

$$\frac{di_L}{dt} = \frac{1}{L}(V_{in} - V_C)$$
$$\frac{dV_C}{dt} = \frac{1}{C}\left(i_L - \frac{V_C}{R}\right)$$

Λόγω του ότι η συχνότητα λειτουργίας  $f_s$  είναι μεγάλη, μπορούμε να θεωρήσουμε το «μέσο» μοντέλο:

$$\frac{di_L}{dt} = \frac{1}{L}V_{in} - (1-D)\frac{1}{L}V_C$$
$$\frac{dV_C}{dt} = \frac{1}{C}(1-D)i_L - \frac{V_C}{RC}$$

όπου  $D$  είναι το duty cycle.

Σημεία ισορροπίας.

**Ερώτηση 1:** Για τις διάφορες τιμές του duty cycle  $D$ , υπολογίστε τα αντίστοιχα σημεία ισορροπίας. Ποια σημεία μπορούν να γίνουν σημεία ισορροπίας. Τι εκφράζει η σχέση που πρέπει να ικανοποιούν;

### 3. Έλεγχος Ανοικτού Βρόχου

Αν γνωρίζουμε με ακρίβεια την τάση εισόδου, μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε τις σχέσεις που εξάγαμε στο ερώτημα 1 για να ελέγξουμε το σύστημα.

Θεωρήστε τις τιμές  $V_{in} = 9 \text{ V}$ ,  $L = 300 \text{ μH}$ ,  $C = 70 \text{ μF}$ ,  $R = 10 \text{ Ω}$ , και επιθυμητή τάση εξόδου  $V_C = 22.5 \text{ V}$ .

**Ερώτηση 2:** Προσομοιώστε το σύστημα ανοικτού βρόχου, όταν το duty cycle υπολογίζεται offline. Πώς μεταβάλλεται η τάση εξόδου όταν η τάση εισόδου αλλάζει;

Μπορείτε να χρησιμοποιήσετε τα αρχεία *Boost\_Simplified\_Model.slx* και *Parameters.m*

### 4. Γραμμικοποίηση του Συστήματος

Γραμμικοποιήστε το σύστημα γύρω από το σημείο λειτουργίας του. Για ένα σημείο λειτουργίας  $i_L^{ss}, V_C^{ss}, D^{ss}$  ένα γραμμικοποιημένο μοντέλο θα παριστάνεται με τις διαφορικές εξισώσεις

$$\begin{bmatrix} \dot{x}_1 \\ \dot{x}_2 \end{bmatrix} = A \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{bmatrix} + Bu$$

όπου  $x_1 = i_L - i_L^{ss}$ ,  $x_2 = V_C - V_C^{ss}$ ,  $u = D - D^{ss}$ .

**Ερώτηση 3:** Υπολογίστε τους πίνακες του γραμμικοποιημένου συστήματος.

**Ερώτηση 4:** Υπολογίστε τη συνάρτηση μεταφοράς. Είναι το σύστημα ελάχιστης φάσης;

## 5. Έλεγχος Κλειστού Βρόχου

**Ερώτηση 5:** Σχεδιάστε έναν ολοκληρωτικό ελεγκτή για το γραμμικοποιημένο σύστημα, με τοποθέτηση πόλων.

**Ερώτηση 6:** Επαναλάβετε το προηγούμενο ερώτημα χρησιμοποιώντας γραμμικό τετραγωνικό έλεγχο.

Για το LQ έλεγχο η συνάρτηση που δίνει το κέρδος είναι η `icare`

`>> [X,K,~] = icare(A,B,Q,R)`

όπου  $X$  είναι η λύση της εξίσωσης Riccati και  $K$  ο πίνακας ανάδρασης εισόδου ώστε ο βέλτιστος ελεγκτής να είναι  $u = -Kx$ .

**Ερώτηση 7:** Εφαρμόστε τον ελεγκτή που σχεδιάσατε στο αρχικό σύστημα. Υποθέστε ότι η τάση εισόδου μπορεί να είναι από 7 μέχρι 12 V.

**Ερώτηση 8:** Ποια είναι η απόκριση αν εφαρμόσουμε μια βηματική συνάρτηση στην αναφορά;

## Βιβλιογραφία

1. [https://en.wikipedia.org/wiki/Boost\\_converter](https://en.wikipedia.org/wiki/Boost_converter)

2. [https://www.ti.com/lit/an/slva372d/slva372d.pdf?ts=1728411298720&ref\\_url=https%253A%252F%252Fwww.google.com%252F](https://www.ti.com/lit/an/slva372d/slva372d.pdf?ts=1728411298720&ref_url=https%253A%252F%252Fwww.google.com%252F)