ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

---

# ΠΡΩΤΗ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΗ ΑΝΑΦΟΡΑ
# ΠΡΟΧΩΡΗΜΕΝΕΣ ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΑΥΤΟΜΑΤΟΥ ΕΛΕΓΧΟΥ

---

Αναστασία Χριστίνα Λίβα
03119029

# Περιεχόμενα

# Ερώτηση 1

Στην ισορροπία, το κύκλωμα πρέπει να είναι σε σταθερή κατάσταση, όπου η ενέργεια που αποθηκεύεται στα στοιχεία του κυκλώματος, δηλαδή το πηνίο και ο πυκνωτής, παραμένει σταθερή.

Η τάση στον πυκνωτή σε σημείο ισορροπίας, την οποία ορίζουμε ως $V_{C,eq}$, εξαρτάται από την τάση εισόδου $V_{in}$ και το duty cycle $D$. Η εξίσωση που περιγράφει αυτή τη σχέση είναι:

$$V_{C,eq} = \frac{V_{in}}{1-D}$$

Αυτή η εξίσωση δείχνει ότι όσο αυξάνεται το $D$, τόσο αυξάνεται και η τάση εξόδου, γεγονός που επιτρέπει στον Boost Converter να παρέχει μεγαλύτερη τάση στην έξοδο.

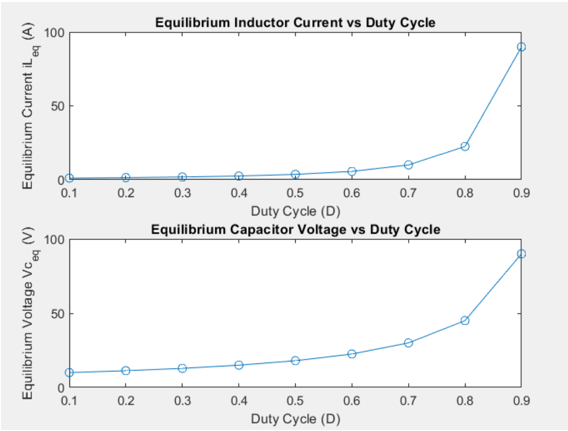
Παράλληλα, το ρεύμα στο πηνίο, το οποίο σημειώνουμε ως $i_{L,eq}$, εξαρτάται επίσης από την τάση στον πυκνωτή και την αντίσταση φορτίου $R$. Η εξίσωση που δίνει το ρεύμα ισορροπίας στο πηνίο είναι:

$$i_{L,eq} = \frac{V_{C,eq}}{R \cdot (1-D)}$$

Απαλοίφοντας το Duty Cycle προκύπτει η ακόλουθη εξίσωση που εκφράζει την ισχύ εισόδου (για σταθερή κατάσταση), σύμφωνα με την αρχή διατήρησης της ενέργειας (Τα σημεία ισορροπίας διατηρούν την ενέργεια):

$$V_{in} \cdot i_{L,eq} = \frac{V_{C,eq}^2}{R}$$

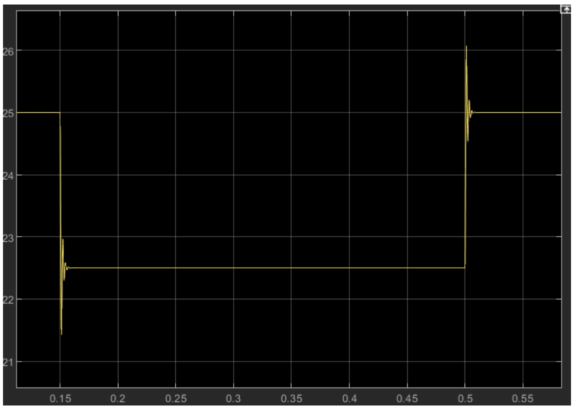
Στη συνέχεια, επιλέγουμε μια σειρά από τιμές του duty cycle, π.χ., από 0.1 έως 0.9, ώστε να εξετάσουμε πώς επηρεάζουν τα σημεία ισορροπίας. Για κάθε τιμή του $D$, χρησιμοποιούμε τις παραπάνω εξισώσεις για να υπολογίσουμε την τάση και το ρεύμα ισορροπίας, δηλαδή τις τιμές $V_{C,eq}$ και $i_{L,eq}$.




Τα σημεία ισορροπίας είναι αυτά που ικανοποιούν τις παραπάνω εξισώσεις για συγκεκριμένες τιμές του duty cycle $D$ οι οποίες εκφράζουν τη συνθήκη που απαιτείται για να διατηρηθεί η σταθερή κατάσταση στο Boost Converter, όπου η τάση και το ρεύμα παραμένουν αμετάβλητα.

## Ερώτηση 2

Βλέπουμε πως η τάση εξόδου μεταβάλλεται ως εξής:




## Ερώτηση 3

Για τη γραμμικοποίηση:

$$\begin{aligned}\dot{x}_1 &= \frac{1}{L}\left[V_{in}^{SS} + d - ((1-D^{SS})V_C^{SS} - uV_C^{SS} + (1-D^{SS})x_2 - x_1 u)\right] \\ &\approx -\frac{(1-D^{SS})}{L}x_2 + \frac{V_C^{SS}}{L}u + \frac{1}{L}d\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\dot{x}_2 &= \frac{1}{C}\left[(1-D^{SS}-u)(i_L^{SS}+x_1) - \frac{1}{R}\left(V_C^{SS}+x_2\right)\right] \\ &= \frac{1}{C}\left[(1-D^{SS})i_L^{SS} + (1-D^{SS})x_1 - i_L^{SS}u - x_1 u - \frac{1}{R}V_C^{SS} - \frac{1}{R}x_2\right] \\ &\approx \frac{(1-D^{SS})}{C}x_1 - \frac{1}{RC}x_2 - \frac{i_L^{SS}}{C}u\end{aligned}$$

όπου

$$\begin{aligned}x_1 &= i_L - i_L^{SS} \\ x_2 &= V_C - V_C^{SS} \\ u &= D - D^{SS} \\ d &= V_{in} - V_{in}^N\end{aligned}$$

Οι πίνακες που προκύπτουν είναι οι εξής:

$$A = 10^3 \times \begin{bmatrix} 0 & -1.3333 \\ 5.7143 & -1.4286 \end{bmatrix}$$

$$B = 10^4 \times \begin{bmatrix} 7.5000 \\ -8.0357 \end{bmatrix}$$

$$C_{\text{mat}} = \begin{bmatrix} 0 & 1 \end{bmatrix}$$

# Ερώτηση 4

Η συνάρτηση μεταφοράς που προκύπτει είναι:

$$\frac{-8.036 \times 10^4 \cdot s + 4.286 \times 10^8}{s^2 + 1429 \cdot s + 7.619 \times 10^6}$$

υπολογίζουμε τους πόλους και τους μηδενικά.

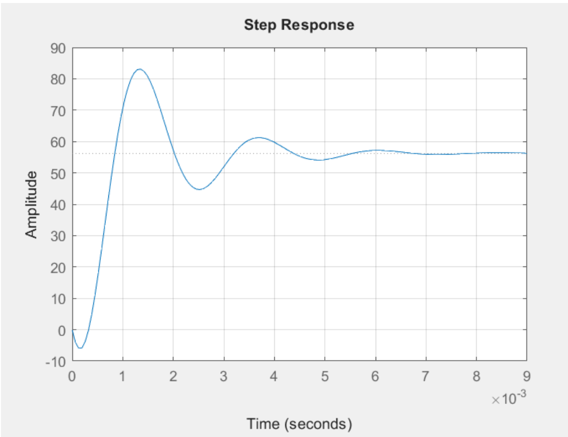
Τα μηδενικά είναι:

$$5333.5$$

Οι πόλο είναι:

$$-714.5 \pm 2666.2j$$

Παρατηρούμε ότι το μηδενικό βρίσκεται στο δεξιό ημιεπίπεδο (θετικό πραγματικό μέρος). Συνεπώς, το σύστημα δεν είναι ελάχιστης φάσης, καθώς η παρουσία μηδενικού στο δεξιό ημιεπίπεδο συνεπάγεται ότι η φάση του συστήματος δεν είναι η ελάχιστη δυνατή.




Σχήμα 1: Συνάρτηση Μεταφοράς με Βηματική

Οι εξισώσεις του συστήματος είναι:

$$\frac{d}{dt}\begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{bmatrix} = Ax + Bu$$

$$y = \begin{bmatrix} 0 & 1 \end{bmatrix} x$$

$$\dot{z} = x_2 - x_2^{\text{ref}}$$

Οι πίνακες $A_{\text{ex}}$ και $B_{\text{ex}}$ είναι:

$$A_{\text{ex}} = 10^3 \times \begin{bmatrix} 0 & -1.3333 & 0 \\ 5.7143 & -1.4286 & 0 \\ 0 & 0.0010 & 0 \end{bmatrix}$$

$$B_{\text{ex}} = 10^4 \times \begin{bmatrix} 7.5000 \\ -8.0357 \\ 0 \end{bmatrix}$$

Τοποθετώ τις ιδιοτιμές μέσω της συνάρτησης `place(A_ex, B_ex, [-1500, -1800, -200])` είναι:

Ο πίνακας κέρδους $K$, ο οποίος προέκυψε από τη συνάρτηση `place` και την τοποθέτηση των πόλων στις θέσεις $-1500$, $-1800$, και $-200$, είναι:

$$K = \begin{bmatrix} 0.0112 & -0.0153 & 1.2600 \end{bmatrix}$$

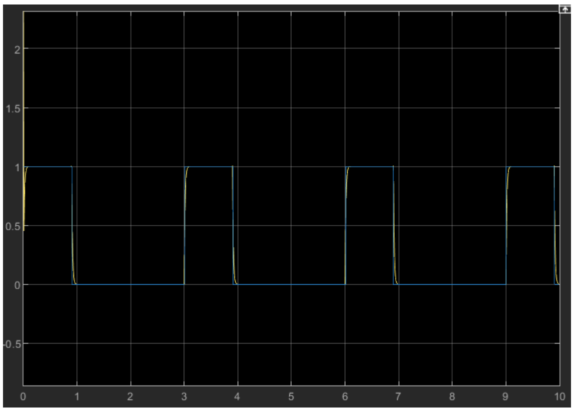
Αυτός ο πίνακας $K$ εξασφαλίζει ότι οι ιδιοτιμές του κλειστού συστήματος θα βρίσκονται στις επιθυμητές θέσεις, παρέχοντας την επιθυμητή δυναμική απόκριση.

Ο συνολικός ελεγκτής που προκύπτει έχει τη μορφή:

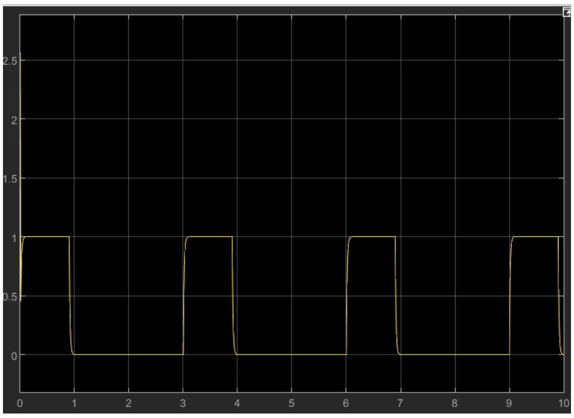
$$u = -K \begin{bmatrix} x \\ z \end{bmatrix}$$

όπου $z$ είναι το ολοκλήρωμα της διαφοράς μεταξύ της εξόδου και της επιθυμητής τιμής $x_2^{\text{ref}}$.

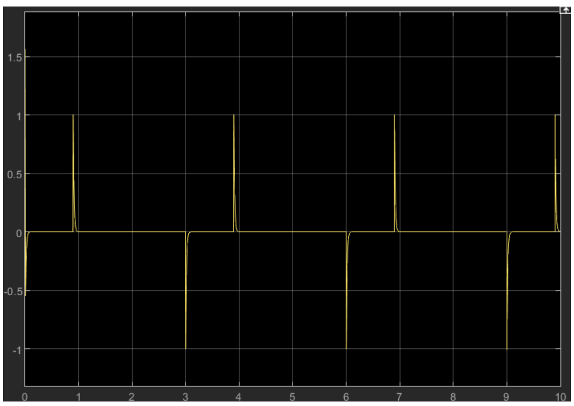
Αρα:



Σχήμα 2

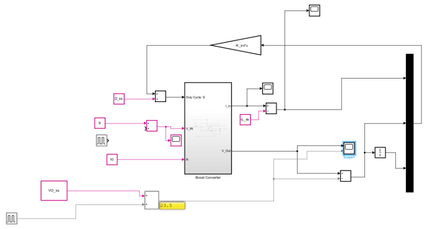


Σχήμα 3: Enter Caption



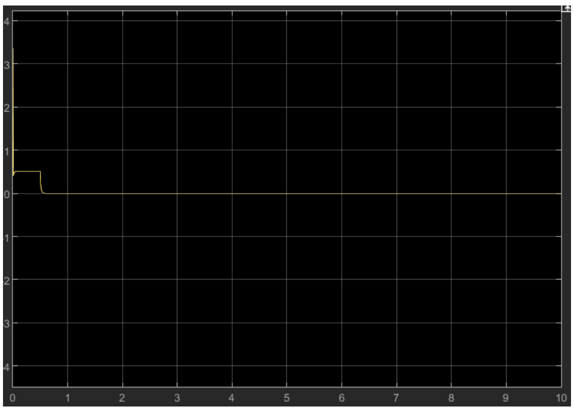
Σχήμα 4: Έξοδος

# Ερώτηση 5

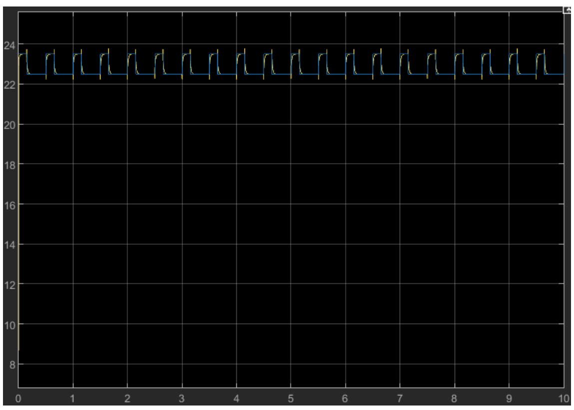


Σχήμα 5: Ελεγκτής

Επαναλαμβάνοντας την ίδια διαδικασία προκύπτει το τελικό όπου έχω:



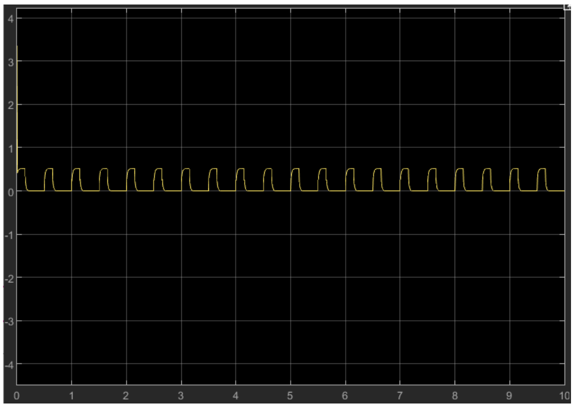
Σχήμα 6: Ρεύμα



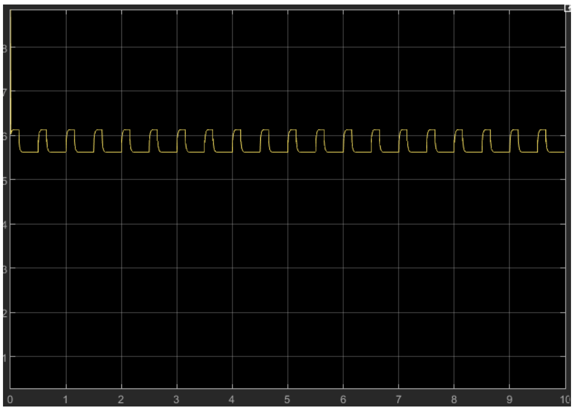
Σχήμα 7: Τάση Εισόδου vs Εξόζου

# Ερώτηση 6

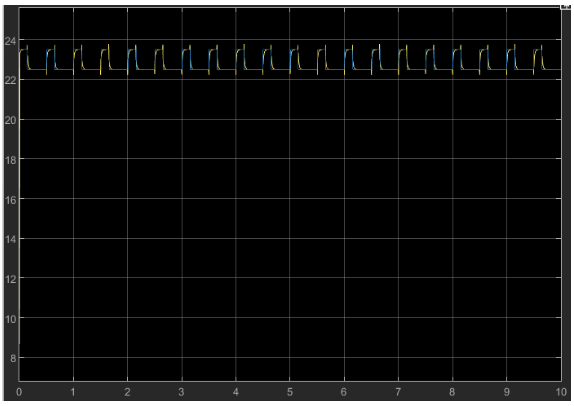
Τρέχουμε το script er6.m και προκύπτει:



Σχήμα 8: Έξοδος

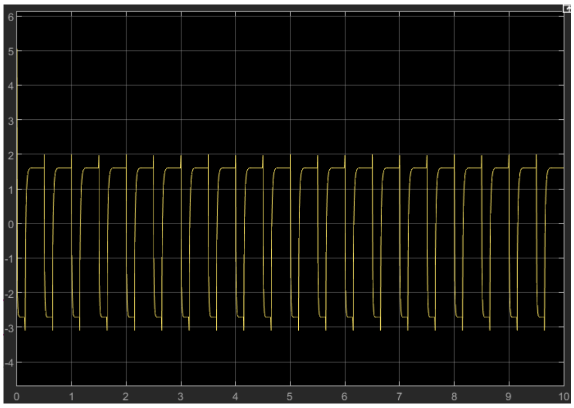


Σχήμα 9: Ρεύμα

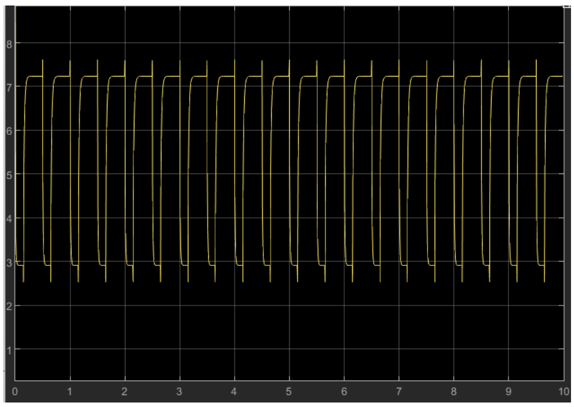


Σχήμα 10: Τάση

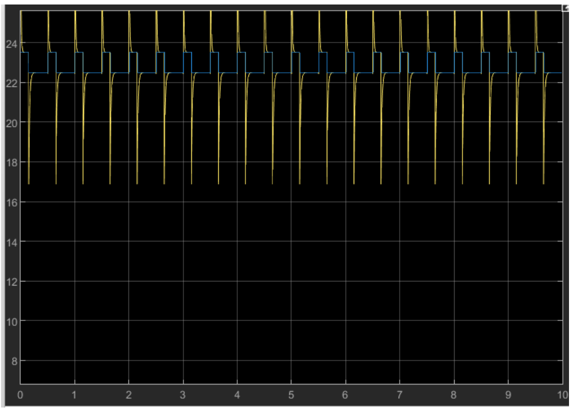
## Ερώτηση 7



Σχήμα 11: Έξοδος συστήματος

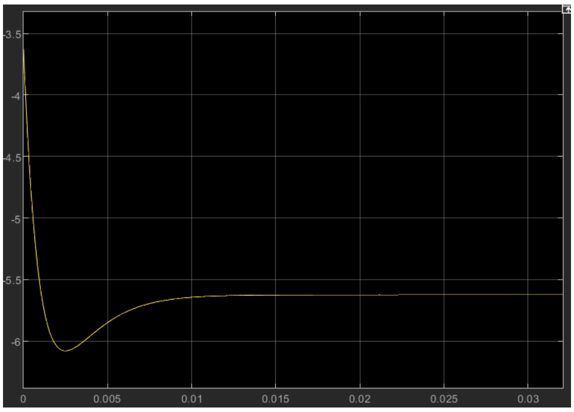


Σχήμα 12: Ρεύμα

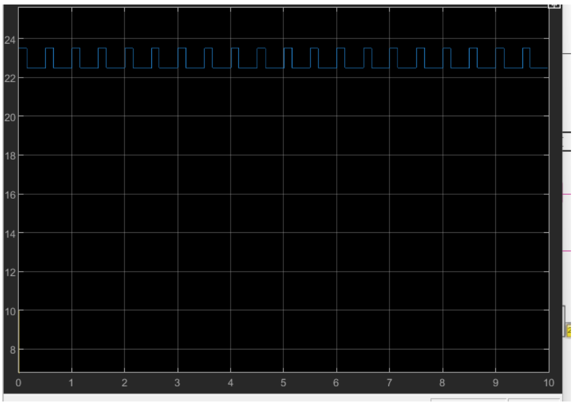



Σχήμα 13: Τάση

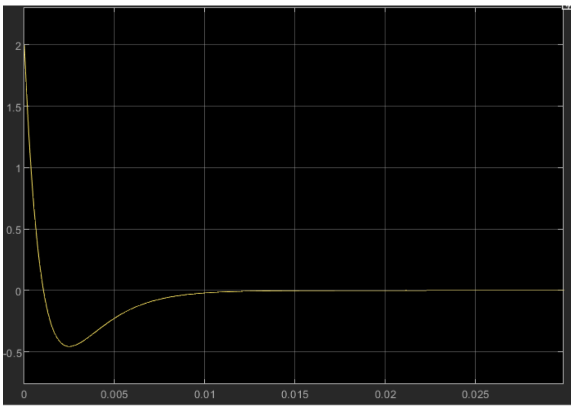
# Ερώτηση 8




Σχήμα 14: Εξοδος Βηματικής




Σχήμα 15: Τάση Βηματικής




Σχήμα 16: Ρεύμα Βηματικής