

---

# Ηλεκτρονικά Ισχύος

3η Άσκηση

---

Δούνης Λουκάς  
Ζαφειράκης Κωνσταντίνος  
Σταυρόπουλος Αλέξανδρος Ανδρέας 2019030109

Διδάσκων:  
Φώτιος Κανέλλος

Υπεύθυνος εργαστηρίου:  
Δήμητρα Κυριακού



ΗΜΜΥ

Πολυτεχνείο Κρήτης  
Εαρινό εξάμηνο 2022-2023

# Πίνακας Περιεχομένων

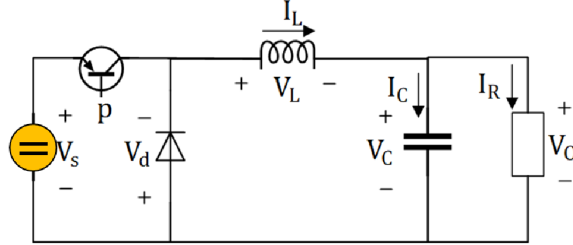
|  |          |
|--|----------|
| Εισαγωγή . . . . .   | 1        |
| <b>1 Περιγραφή Λειτουργίας Μετατροπéας Υποβιβασμού . . . . .</b> | <b>2</b> |
| 1.1 Μετατροπéας υποβιβασμού . . . . .                            | 2        |
| 1.1.1 Κλειστός Διακόπτης (Φ1) . . . . .                          | 2        |
| 1.1.2 Ανοιχτός Διακόπτης (Φ2) . . . . .                          | 3        |
| 1.2 Ελεγχόμενος μετατροπéας υποβιβασμού . . . . .                | 4        |
| <b>2 Μετατροπéας Υποβιβασμού . . . . .</b>                       | <b>5</b> |
| 2.1 Duty Cycle = 0.5 - L = 0.001H . . . . .                      | 5        |
| 2.1.1 Ρεύμα πηνίου . . . . .                                     | 5        |
| 2.1.2 Ρεύμα πυκνωτή . . . . .                                    | 6        |
| 2.1.3 Τάση πυκνωτή . . . . .                                     | 7        |
| 2.2 Duty Cycle = 0.5 - L = 0.01H . . . . .                       | 7        |
| 2.2.1 Ρεύμα πηνίου . . . . .                                     | 7        |
| 2.2.2 Ρεύμα πυκνωτή . . . . .                                    | 7        |
| 2.2.3 Τάση πυκνωτή . . . . .                                     | 7        |
| 2.3 Duty Cycle = 0.8 - L = 0.001H . . . . .                      | 7        |
| 2.3.1 Ρεύμα πηνίου . . . . .                                     | 7        |
| 2.3.2 Ρεύμα πυκνωτή . . . . .                                    | 7        |
| 2.3.3 Τάση πυκνωτή . . . . .                                     | 7        |
| 2.4 Σύγκριση επίδρασης παραμέτρων . . . . .                      | 7        |



# 1 Περιγραφή Λειτουργίας Μετατροπέας Υποβιβασμού

## 1.1 Μετατροπέας υποβιβασμού

Ο Μετασχηματιστής Υποβιβασμού είναι μία συσκευή η οποία δέχεται στην είσοδο της μία Dc τάση και ένα Dc ρεύμα και δίνει στην έξοδό της μία Dc τάση και ένα Dc ρεύμα χαμηλότερου επιπέδου. Για την κατασκευή του χρησιμοποιείται ένας ελεγχόμενος ηλεκτρικός διακόπτης, μία δίοδος ισχύος, ένα πηνίο και έναν πυκνωτή στην εξής συνδεσμολογία:



Ο διακόπτης παραμένει κλειστός για χρόνο ίσο με  $D \cdot T$  και για το διάστημα αυτό, η τάση εξόδου ισούται με την τάση εισόδου, ενώ για το υπόλοιπο διάστημα παραμένει ανοιχτός και η τάση εξόδου ισούται με 0. Επίσης, δεδομένης της πολύ μεγάλης διακοπτικής συχνότητας, το φορτίο αντιλαμβάνεται την μέση τιμή της  $V_o$  η οποία υπολογίζεται ως εξής:

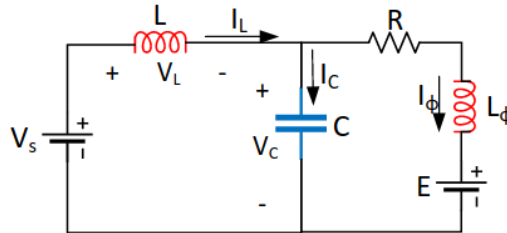
$$\bar{V}_o = \frac{1}{T} \int_0^T V_o(t) dt = \frac{1}{T} \int_0^{D \cdot T} V_s dt = V_s \cdot D \quad (1)$$

δηλαδή ορίζοντας την τιμή του Duty Cycle κατάλληλα, μπορεί να ελεγχθεί το επίπεδο της τάσης εξόδου.

Όσον αφορά τα υπόλοιπα στοιχεία του κυκλώματος, η δίοδος είναι εκεί διότι, το πηνίο χρησιμοποιείται για την σταθεροποίηση του ρεύματος και ο πυκνωτής για την σταθεροποίηση της τάσης.

### 1.1.1 Κλειστός Διακόπτης (Φ1)

Κατά την φάση Φ1, εφαρμόζοντας κατάλληλη τιμή τάσης στον διακόπτη οπότε κλειστός (βραχυκύκλωμα). Ως αποτέλεσμα, η δίοδος ανακυκλώνεται καθώς είναι ανάστροφα πολωμένη εφόσον στην άνοδό της πηγής συνδέεται το αρνητικό άκρο της πηγής και στην κάθοδο το θετικό.



Για την επίλυση του συστήματος είναι απαραίτητο να οριστούν οι μεταβλητές εισόδου και εξόδου. Ως μεταβλητές εισόδου ορίζονται η τάση εισόδου ( $V_s$ ) και η τάση ( $E$ ) ενώ ως μεταβλητές εισόδου ορίζονται τα ρεύματα των πηνίων ( $I_L$ ,  $I_\Phi$ ) και η τάση του πυκνωτή ( $V_C$ ). Επιπλέον, είναι απαραίτητο να βρεθούν οι πίνακες A, B, C και D:

$$\dot{X} = A \cdot X + B \cdot U \quad (2)$$

$$Y = C \cdot X + D \cdot U \quad (3)$$

Οι πίνακες προκύπτουν εφαρμόζοντας νόμο τάσεων του Kirchhoff:

$$V_L = L \cdot \frac{dI_L(t)}{dt} = V_s - V_C \Rightarrow \frac{dI_L(t)}{dt} = -\frac{1}{L} \cdot V_C + \frac{1}{L} \cdot V_s \quad (4)$$

$$V_C - I_\Phi \cdot R - \frac{dI_\Phi}{dt} \cdot L_\Phi - E = 0 \Rightarrow \frac{dI_\Phi}{dt} = -\frac{R}{L_\Phi} \cdot I_\Phi + \frac{1}{L_\Phi} \cdot V_C - \frac{1}{L_\Phi} \cdot E \quad (5)$$

και εφαρμόζοντας νόμο ρευμάτων του Kirchhoff:

$$I_L = I_c + I_\Phi \Rightarrow \frac{dV_c}{dt} \cdot C = I_L - I_\Phi \Rightarrow \frac{dV_c}{dt} = \frac{1}{C} \cdot I_L - \frac{1}{C} \cdot I_\Phi \quad (6)$$

Επιλύοντας τις σχέσεις σε μορφή πινάκων σύμφωνα με τις σχέσεις (2) και (3) προκύπτουν τα εξής συστήματα:

$$\begin{aligned} \underbrace{\frac{d}{dt} \begin{bmatrix} I_L \\ I_\Phi \\ V_c \end{bmatrix}}_{\dot{X}} &= \underbrace{\begin{bmatrix} 0 & 0 & -\frac{1}{L} \\ 0 & -\frac{R}{L_\Phi} & \frac{1}{L_\Phi} \\ \frac{1}{C} & -\frac{1}{C} & 0 \end{bmatrix}}_A \cdot \underbrace{\begin{bmatrix} I_L \\ I_\Phi \\ V_c \end{bmatrix}}_X + \underbrace{\begin{bmatrix} \frac{1}{L} & 0 \\ 0 & -\frac{1}{L_\Phi} \\ 0 & 0 \end{bmatrix}}_B \cdot \underbrace{\begin{bmatrix} V_s \\ E \end{bmatrix}}_U \\ \underbrace{\begin{bmatrix} I_L \\ I_\Phi \\ V_c \end{bmatrix}}_Y &= \underbrace{\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}}_C \cdot \underbrace{\begin{bmatrix} I_L \\ I_\Phi \\ V_c \end{bmatrix}}_X + \underbrace{\begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix}}_D \cdot \underbrace{\begin{bmatrix} V_s \\ E \end{bmatrix}}_U \end{aligned}$$

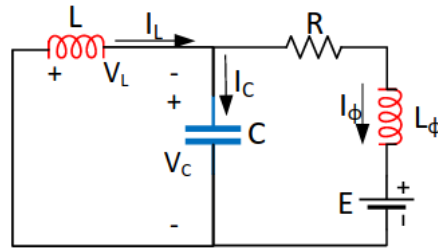
Τέλος όσον αφορά το ρεύμα πηνίου καθώς και την διακύμανσή του, σύμφωνα με την θεωρία προκύπτουν ίσα με:

$$I_L = \frac{V_s - V_o}{L} t \quad (7)$$

$$\Delta I_L = \frac{V_s - V_o}{L} DT \quad (8)$$

### 1.1.2 Ανοιχτός Διακόπτης (Φ2)

Κατά την φάση Φ2, δεν εφαρμόζεται τάση στον διακόπτη οπότε παραμένει ανοικτός (ανοιχτοκύκλωμα). Ακόμα, στο τέλος της Φ1 το ρεύμα του πηνίου ήταν θετικό και λόγω της φύσης του πηνίου, δεν μπορεί να μηδενιστεί ακαριαία γι αυτό, το πηνίο επιβάλλει κατάλληλη τάση στα άκρα της διόδου ώστε πολωθεί ορθά και να μπορεί να ρέει το ρεύμα του.



Για την επίλυση του συστήματος και πάλι χρησιμοποιούνται οι ίδιες μεταβλητές εισόδου και εξόδου με την Φ1 καθώς και οι ίδιες σχέσεις συστήματος (σχέσεις (2), (3)). Αντίστοιχα οι πίνακες A, B, C και D προκύπτουν εφαρμόζοντας νόμο τάσεων του Kirchhoff:

$$\left. \begin{aligned} V_L &= L \cdot \frac{dI_L(t)}{dt} = -V_o \\ V_c &= V_o \end{aligned} \right\} V_L = -V_c \Rightarrow \frac{dI_L(t)}{dt} = -\frac{1}{L} \cdot V_c \quad (9)$$

$$V_c - I_\Phi \cdot R - \frac{dI_\Phi}{dt} \cdot L_\Phi - E = 0 \Rightarrow \frac{dI_\Phi}{dt} = -\frac{R}{L_\Phi} \cdot I_\Phi + \frac{1}{L_\Phi} \cdot V_c - \frac{1}{L_\Phi} \cdot E \quad (10)$$

και νόμο ρευμάτων του Kirchhoff:

$$I_L = I_c + I_\Phi \Rightarrow \frac{dV_c}{dt} \cdot C = I_L - I_\Phi \Rightarrow \frac{dV_c}{dt} = \frac{1}{C} \cdot I_L - \frac{1}{C} \cdot I_\Phi \quad (11)$$

Επιλύοντας τις σχέσεις σε μορφή πινάκων σύμφωνα με τις σχέσεις (2) και (3) προκύπτουν τα εξής συστήματα:

$$\begin{aligned} \overbrace{\frac{d}{dt} \begin{bmatrix} I_L \\ I_\Phi \\ V_c \end{bmatrix}}^{\dot{X}} &= \overbrace{\begin{bmatrix} 0 & 0 & -\frac{1}{L} \\ 0 & -\frac{R}{L_\Phi} & \frac{1}{L_\Phi} \\ \frac{1}{C} & -\frac{1}{C} & 0 \end{bmatrix}}^A \cdot \overbrace{\begin{bmatrix} I_L \\ I_\Phi \\ V_c \end{bmatrix}}^X + \overbrace{\begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & -\frac{1}{L_\Phi} \\ 0 & 0 \end{bmatrix}}^B \cdot \overbrace{\begin{bmatrix} V_s \\ E \end{bmatrix}}^U \\ \underbrace{\begin{bmatrix} I_L \\ I_\Phi \\ V_c \end{bmatrix}}_Y &= \underbrace{\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}}_C \cdot \underbrace{\begin{bmatrix} I_L \\ I_\Phi \\ V_c \end{bmatrix}}_X + \underbrace{\begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix}}_D \cdot \underbrace{\begin{bmatrix} V_s \\ E \end{bmatrix}}_U \end{aligned}$$

Τέλος όσον αφορά το ρεύμα πηνίου καθώς και την διακύμανσή του, σύμφωνα με την θεωρία προκύπτουν ίσα με:

$$I_L = \frac{-V_o}{L} t \quad (12)$$

$$\Delta I_L = \frac{-V_o}{L} \cdot (1 - D) \cdot T \quad (13)$$

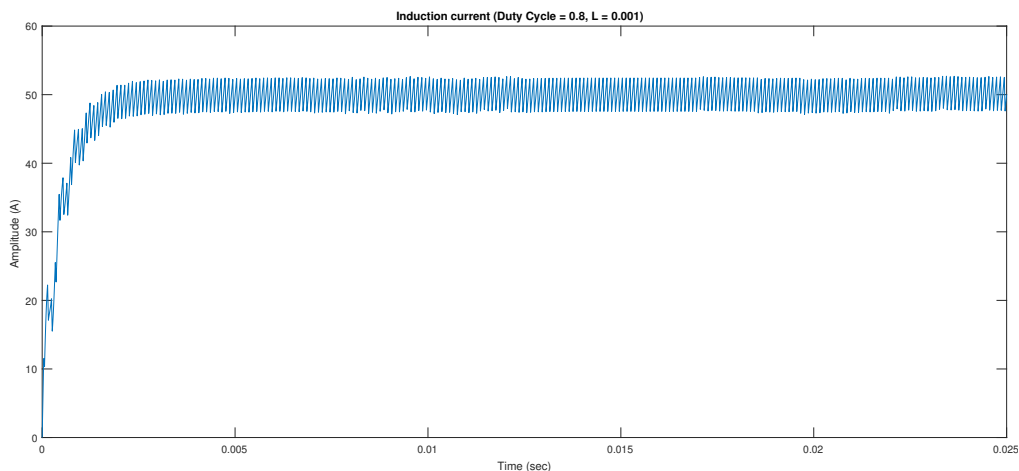
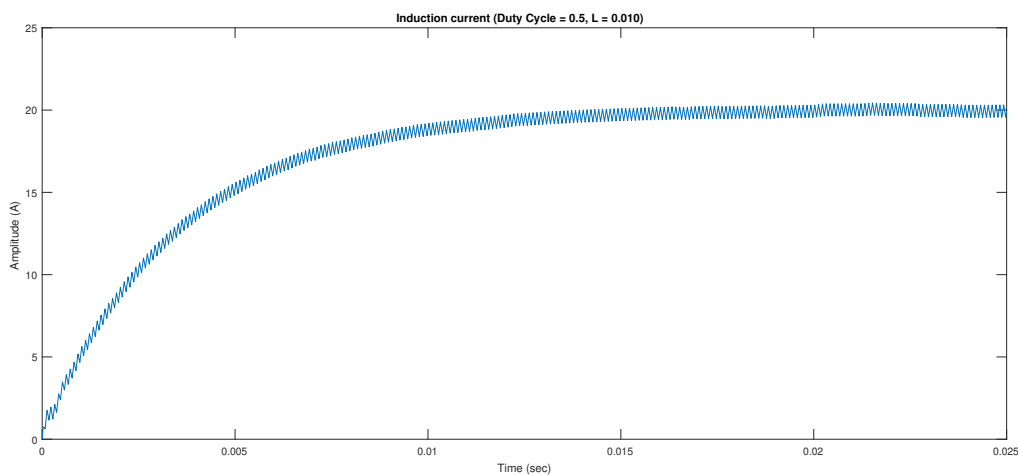
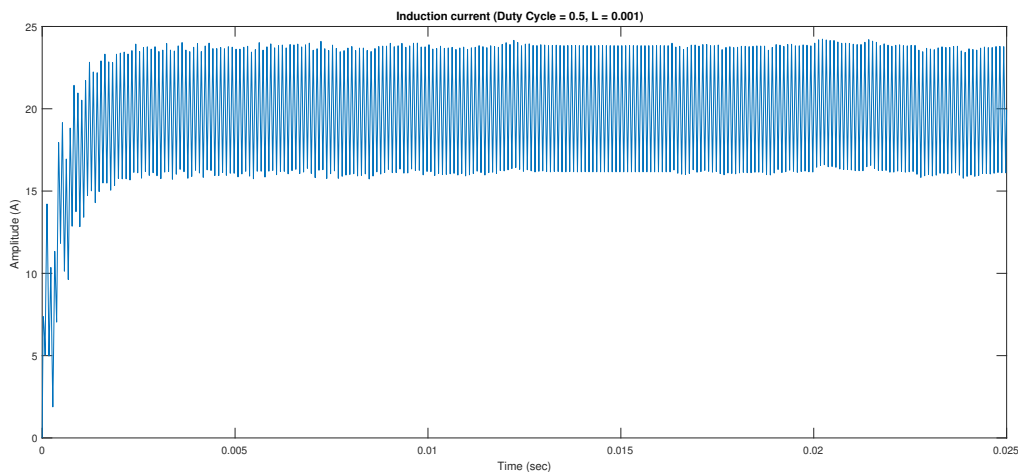
## 1.2 Ελεγχόμενος μετατροπέας υποβιβασμού

## 2 Μετατροπείας Υποβιβασμού

Μοντελοποιήθηκε ένας μετατροπείας υποβιβασμού σύμφωνα με τις σχέσεις που αναφέρθηκαν στις υποενότητες 1.1.1 και 1.1.2 και στην συνέχεια κατασκευάστηκαν οι γραφικές ρεύματος πηνίου  $I_L$ , ρεύματος πυκνωτή  $I_C$  και τάσης πυκνωτή  $V_C$  για διαφορετικές τιμές του Duty Cycle και της αυτεπαγωγής  $L$ .

### 2.1 Duty Cycle = 0.5 - $L = 0.001H$

#### 2.1.1 Ρεύμα πηνίου

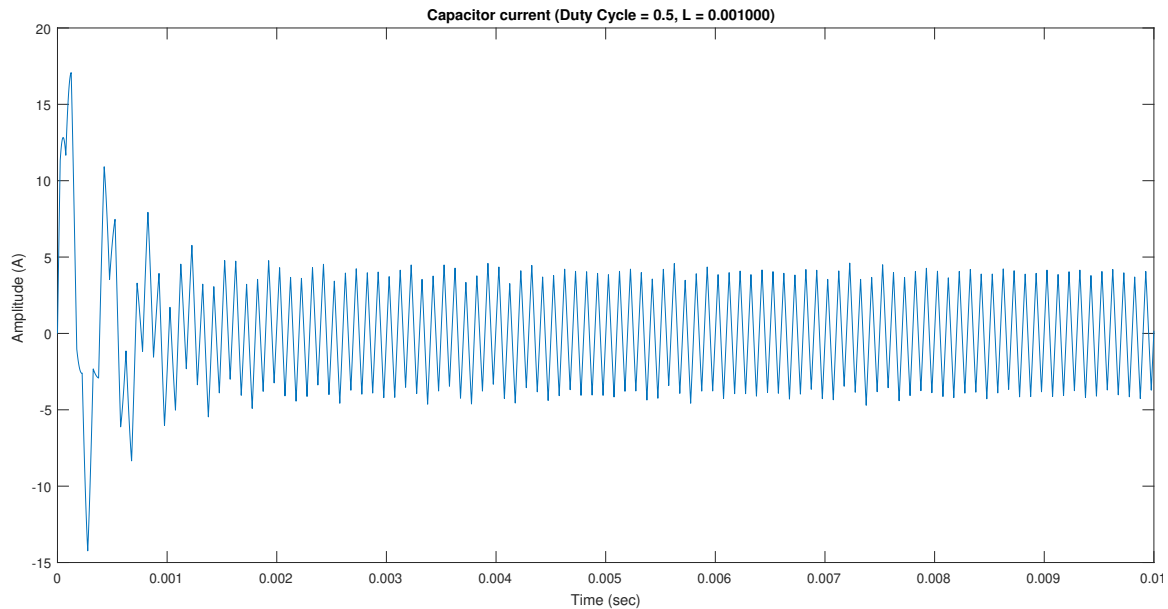


Παρατηρώντας τις κυματομορφές του ρεύματος πηνίου είναι εμφανές πως ανάλογα με την περίπτωση, αλλάζει αρκετά η μορφή της γραφικής. Όσον αφορά το Duty Cycle, η αύξηση του επιφέρει αύξηση της μέση τιμής του ρεύματος όπως

είναι εμφανές από την σύγκριση μεταξύ των πρώτων δύο γραφικών και της τρίτης, όπου η μέση τιμή διπλασιάζεται. Η συμπεριφορά αυτή ήταν αναμενόμενη σύμφωνα με τις σχέσεις (7) και (12). Να το πούμε λίγο καλύτερα αυτό.

Αντίστοιχα, αυξάνοντας την αυτεπαγωγή  $L$  μειώνεται το πλάτος διακύμανσης του ρεύματος κάνοντάς το πιο σταθερό, ωστόσο αυξάνεται ο χρόνος σταθεροποίησης. Οι επιδράσεις αυτές οφείλονται στην φύση του πηνίου το οποίο τείνει να εξομαλύνει τις μεταβολές στο ρεύμα. Το ρεύμα του πηνίου στην δεδομένη περίπτωση παρουσιάζει μεγάλη διακύμανση και μέση τιμή γύρω στα 20A.

### 2.1.2 Ρεύμα πυκνωτή





2.1.3 Τάση πυκνωτή

2.2 Duty Cycle = 0.5 -  $L = 0.01H$

2.2.1 Ρεύμα πηνίου

2.2.2 Ρεύμα πυκνωτή

2.2.3 Τάση πυκνωτή

2.3 Duty Cycle = 0.8 -  $L = 0.001H$

2.3.1 Ρεύμα πηνίου

2.3.2 Ρεύμα πυκνωτή

2.3.3 Τάση πυκνωτή

2.4 Σύγκριση επίδρασης παραμέτρων