

### ΑΣΚΗΣΗ 8<sup>η</sup>

#### ΜΕΤΑΤΡΟΠΕΑΣ Σ.Ρ./Σ.Ρ (ΚΕΡΜΑΤΙΣΤΗΣ ή CHOPPER)

##### **1. ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ**

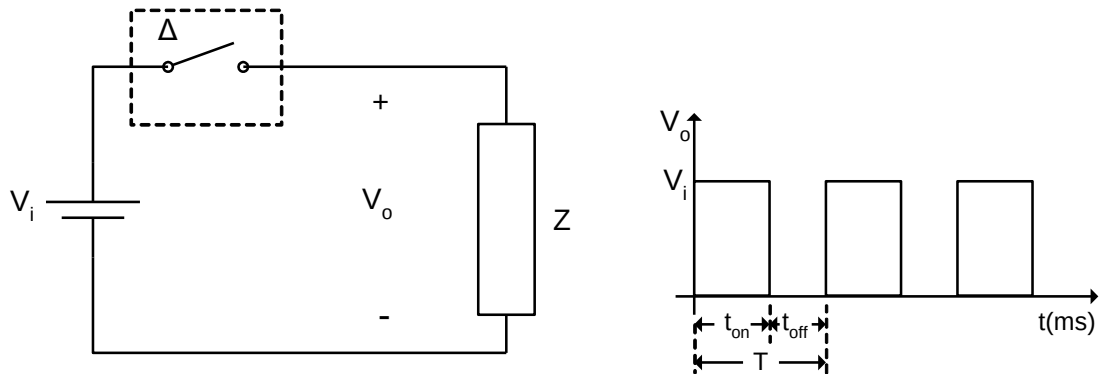
Σε πολλές βιομηχανικές εφαρμογές, είναι απαραίτητη η μετατροπή μιας συνεχούς τάσης σταθερής τιμής, σε μια αντίστοιχη μεταβαλλόμενη τιμή. Για παράδειγμα τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα τροφοδοτούνται με σταθερή συνεχή τάση, κατά κανόνα από μια συστοιχία συσσωρευτών. Ο έλεγχος όμως της ταχύτητάς τους προϋποθέτει τον έλεγχο των στροφών του κινητήρα, ο οποίος στην περίπτωση που είναι συνεχούς ρεύματος, γίνεται με ρύθμιση της συνεχούς τάσης που εφαρμόζεται στο τύλιγμα του επαγωγικού τυμπάνου.

Υπάρχουν διάφοροι τρόποι με τους οποίους μπορεί να επιτευχθεί η μετατροπή μιας συνεχούς τάσης, οι συνηθέστεροι των οποίων είναι οι εξής:

- **Ελεγχόμενη ωμική αντίσταση**, κατά την οποία παρεμβάλλουμε μια αντίσταση μεταξύ πηγής και φορτίου, γνωστή και σαν διαιρέτης τάσης, που χρησιμοποιείται σπάνια λόγω χαμηλής απόδοσης, συνήθως σε ηλεκτρονικές εφαρμογές πολύ χαμηλής ισχύος.
- **Ζεύγος κινητήρα – γεννήτριας Σ.Ρ.**, κατά την οποία η μεταβολή της τάσης εξόδου επιτυγχάνεται με τον έλεγχο του πεδίου διέγερσης της γεννήτριας. Εύρισκε εφαρμογές πριν την εισαγωγή των ηλεκτρονικών ισχύος.
- **Αντιστροφέας – Ανορθωτής**. Σε αυτή τη διάταξη η συνεχής τάση εισόδου μετατρέπεται σε εναλλασσόμενη, μετασχηματίζεται στην κατάλληλη τιμή μέσω μετασχηματιστών και στη συνέχεια ανορθώνεται και μετατρέπεται σε συνεχή τάση.
- **Μετατροπέας Σ.Ρ./Σ.Ρ.** Με τη χρήση της συγκεκριμένης διάταξης, με την οποία θα ασχοληθούμε σε αυτή την άσκηση, η μετατροπή της τάσεως επιτυγχάνεται μόνο με μετατροπέα μιας βαθμίδας. Ο μετατροπέας αυτός αντιστοιχεί με το μετασχηματιστή στο Ε.Ρ., με διαρκώς μεταβαλλόμενο λόγο μετασχηματισμού. Η διάταξη αυτή χρησιμοποιείται ευρύτατα στην ηλεκτρική έλξη και κίνηση, έχει σχετικά χαμηλό κόστος και χαρακτηρίζεται από υψηλή απόδοση και γρήγορη δυναμική απόκριση.

## 1.1 ΑΡΧΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ

Ο συγκεκριμένος μετατροπέας που θα εξετάσουμε ονομάζεται step-down dc/dc converter, Σχ.2, διότι η μέγιστη τιμή της τάσεως εξόδου δεν μπορεί να είναι μεγαλύτερη από την τάση εισόδου, σε αντίθεση με τους step-up μετατροπείς με τους οποίους μπορούμε να πετύχουμε και μεγαλύτερες τάσεις.



Σχ.1 : Ισοδύναμο κύκλωμα μετατροπέα Σ.Ρ./Σ.Ρ.

Ο ηλεκτρονικός «διακόπτης» που παρεμβάλλεται μεταξύ πηγής και φορτίου, συνήθως είναι Thyristor, MOSFET ή G.T.O. (Gate Turn-Off thyristor). Η χρήση του G.T.O., προσφέρεται περισσότερο διότι αποφεύγονται τα κυκλώματα εξαναγκασμένης μεταγωγής που απαιτεί η χρήση των Thyristors.

Με τη συντονισμένη λειτουργία του ηλεκτρονικού διακόπτη ισχύος, η συνεχής τάση εισόδου μετατρέπεται στην έξοδο σε ένα «τρένο» παλμών (Σχ.1), δηλαδή σε μια περιοδικά μεταβαλλόμενη τάση με θετική μέση τιμή. Κατά τη διάρκεια αγωγής  $t_{on}$ , ο διακόπτης είναι κλειστός και η τάση εισόδου συνδέεται απ' ευθείας στο φορτίο. Κατά το διάστημα  $t_{off}$ , ο διακόπτης είναι ανοικτός και η τάση στο φορτίο είναι μηδενική. Στην περίπτωση που το φορτίο έχει και επαγωγική συνιστώσα συνδέεται και μια διάοδος ελευθέρως ροής.

Η μέση τιμή της τάσεως εξόδου είναι:

$$V_{o,AV} = \frac{1}{T} \int_0^T V_o(t) dt = \frac{1}{T} \left[ \int_0^{t_{on}} V_i dt + \int_{t_{on}}^T 0 dt \right] = \frac{t_{on}}{T} V_i = \alpha V_i \quad (1.1)$$

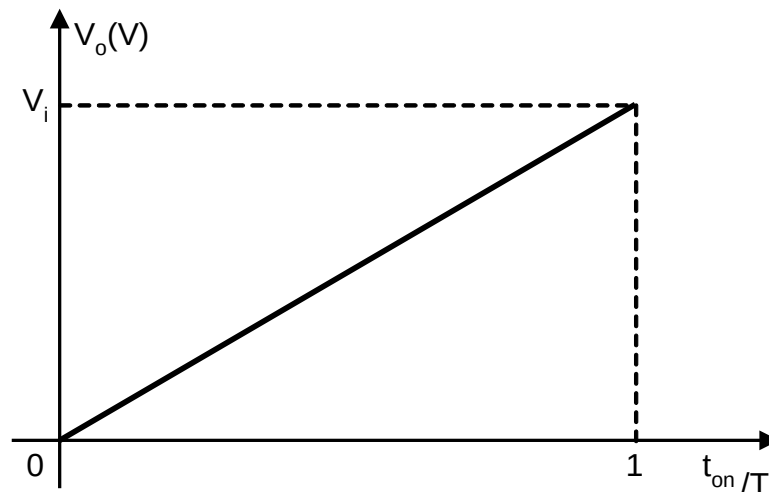
όπου :  $\alpha = \frac{t_{on}}{T}$  είναι ο κύκλος λειτουργίας, γνωστός και σαν “duty-cycle” του μετατροπέα.

Αντίστοιχα, για την ενεργό τιμή έχουμε:

$$V_{o,rms} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T V_o^2(t) dt} = V_{o,AV} \sqrt{\frac{T}{t_{on}}} \quad (1.2)$$

$$\text{Επομένως } \frac{V_{o,rms}}{V_{o,AV}} = \sqrt{\frac{T}{t_{on}}} \quad (1.3)$$

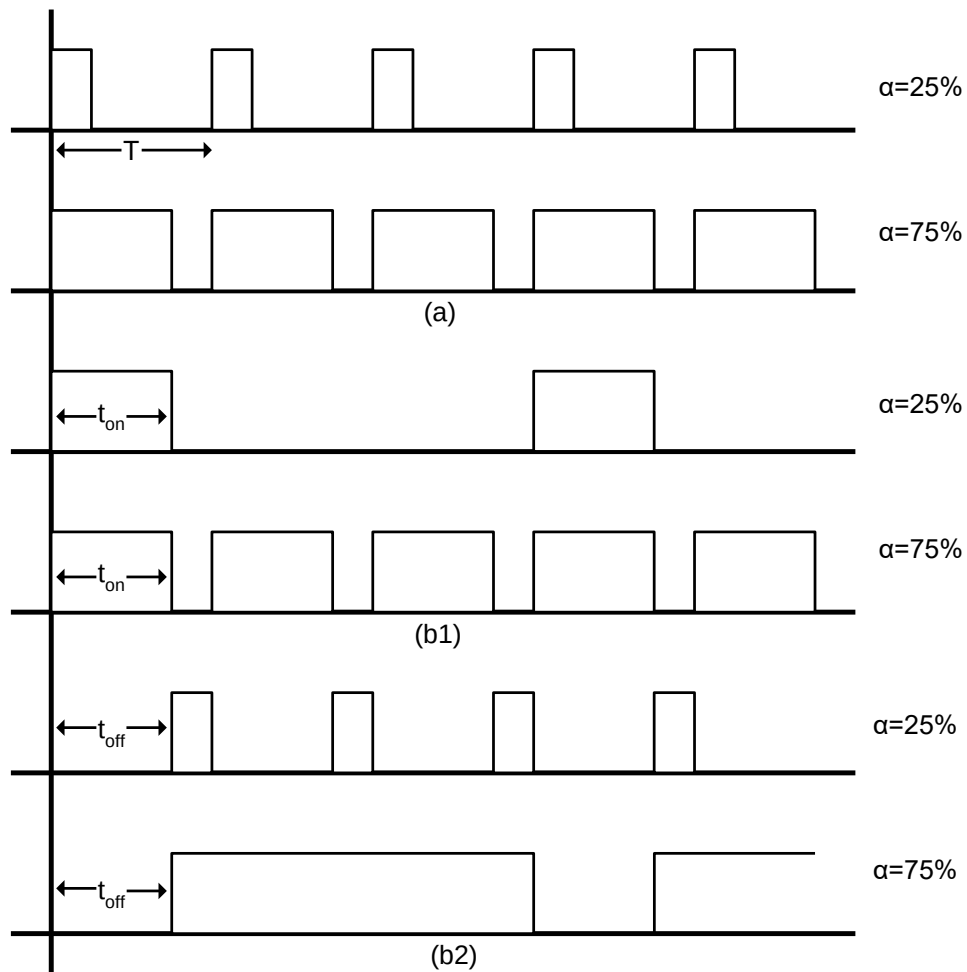
Μεταβάλλοντας λοιπόν τον κύκλο λειτουργίας (duty cycle), σύμφωνα με τη σχέση (1.1), επιτυγχάνουμε γραμμική μεταβολή της τάσης εξόδου, από το μηδέν ως και την τιμή  $V_i$ , Σχ.3.



Σχ.2 : Μεταβολή της μέσης τιμής της τάσης εξόδου.

Η μεταβολή αυτή του κύκλου λειτουργίας, μπορεί να επιτευχθεί με δύο μεθόδους, (Σχ.3):

1. Διατηρώντας σταθερή συχνότητα: δηλαδή  $f=1/T=t_{on}+t_{off}=\text{σταθερό}$ , και μεταβάλλοντας το  $t_{on}$ , δηλαδή διαμορφώνοντας το εύρος του παλμού και η τεχνική αυτή είναι γνωστή σαν τεχνική διαμόρφωσης εύρους παλμών, (**P**ulse **W**idth **M**odulation, **PWM**).
2. Διατηρώντας το  $t_{on}$  ή το  $t_{off}$  σταθερό, και μεταβάλλοντας την περίοδο  $T$ α του παλμού (**F**requency **M**odulation, **FM**).



Σχ.3 : Τρόποι μεταβολής του κύκλου λειτουργίας (duty cycle).

- a. Σταθερή συχνότητα.
- b. Μεταβαλλόμενη συχνότητα.
- b1. σταθερό  $t_{on}$ , b2. σταθερό  $t_{off}$ .

Η δεύτερη μέθοδος παρουσιάζει τα εξής μειονεκτήματα:

- Για τη μεταβολή της τάσης, η συχνότητα πρέπει να μεταβάλλεται σε αρκετά μεγάλη κλίμακα, πράγμα που δυσκολεύει τη σχεδίαση των απαιτούμενων φίλτρων εξομάλυνσης, όπου αυτά απαιτούνται, ενώ επίσης στις υψηλές συχνότητες έχουμε έντονη ηλεκτρομαγνητική παρενόχληση.
- Τα μεγάλα διαστήματα μη αγωγής,  $t_{off}$ , στις χαμηλές τάσεις, δημιουργούν στις περιπτώσεις τροφοδοσίας κινητήρων ασυνέχεια του ρεύματος του επαγωγικού τυμπάνου, πράγμα το οποίο είναι ανεπιθύμητο.

## 2. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

### 2.1 ΠΟΡΕΙΑ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

1. Εφαρμόστε τάση εισόδου 90V (DC, μέση τιμή) και συνδέστε ωμικό φορτίο ( $R=47\Omega$ ). στο μετατροπέα Σ.Ρ./Σ.Ρ.
2. Για 10 τιμές του κύκλου λειτουργίας «  $\alpha$  » (duty-cycle), και διατηρώντας σταθερό το φορτίο, καταγράψτε τις μέσες τιμές της τάσης και του ρεύματος στο φορτίο.
3. Αποτυπώστε την κυματομορφή της τάσης στο φορτίο για  $\alpha=0,5$ .
4. Υπολογίστε τις πειραματικές τιμές της μέσης ισχύος του φορτίου, καθώς και τις αντίστοιχες θεωρητικές τιμές της μέσης τάσης και ισχύος, για τις ίδιες τιμές του κύκλου λειτουργίας «  $\alpha$  ».
5. Σχεδιάστε τα γραφήματα  $V_{o,\mu}=f(\alpha)$  και  $P_{o,\mu}=f(\alpha)$ . Επιλέξτε κοινούς άξονες για τις θεωρητικές και πειραματικές τιμές τάσης και ισχύος.
6. Συνδέστε στην έξοδο του μετατροπέα μία δίοδο ελεύθερης ροής αντιπαράλληλα, τον κινητήρα Σ.Ρ.. και εφαρμόστε ονομαστική τάση στα άκρα του. Μειώστε το κύκλο λειτουργίας «  $\alpha$  » από το 1 έως το 0 σε πέντε βήματα και καταγράψτε τις αντίστοιχες τιμές της ταχύτητας « $n$ » του κινητήρα.
7. Σχεδιάστε το γράφημα  $n=f(\alpha)$ .

## ΑΣΚΗΣΗ 8<sup>η</sup>

### ΜΕΤΑΤΡΟΠΕΑΣ Σ.Ρ/Σ.Ρ (ΚΕΡΜΑΤΙΣΤΗΣ ή CHOPPER

Όνομ/μο:

Ομάδα:

Ημερομηνία παράδοσης:

#### 2.2 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

| ΠΙΝΑΚΑΣ  |                |                |                |                     |                     |                   |  |
|----------|----------------|----------------|----------------|---------------------|---------------------|-------------------|--|
| $\alpha$ | $V_{o,\mu}(V)$ | $I_{o,\mu}(A)$ | $P_{o,\mu}(W)$ | $V_{o,\mu,θεωρ}(V)$ | $P_{o,\mu,θεωρ}(W)$ | $n \text{ (rpm)}$ |  |
|          |                |                |                |                     |                     |                   |  |
|          |                |                |                |                     |                     |                   |  |
|          |                |                |                |                     |                     |                   |  |
|          |                |                |                |                     |                     |                   |  |
|          |                |                |                |                     |                     |                   |  |
|          |                |                |                |                     |                     |                   |  |
|          |                |                |                |                     |                     |                   |  |
|          |                |                |                |                     |                     |                   |  |
|          |                |                |                |                     |                     |                   |  |
|          |                |                |                |                     |                     |                   |  |
|          |                |                |                |                     |                     |                   |  |
|          |                |                |                |                     |                     |                   |  |