



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΠΑΤΡΩΝ
UNIVERSITY OF PATRAS

ΑΝΟΙΚΤΑ ακαδημαϊκά
μαθήματα ΠΠ

Ηλεκτρονικά Ισχύος II

Ενότητα 1: Μετατροπείς Συνεχούς Τάσης σε Συνεχή
(DC-DC Converters)

Δρ.-Μηχ. Εμμανουήλ Τατάκης, Καθηγητής
Πολυτεχνική Σχολή

Τμ. Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Τεχνολογίας
Υπολογιστών

Μετατροπείς Συνεχούς Τάσης σε Συνεχή



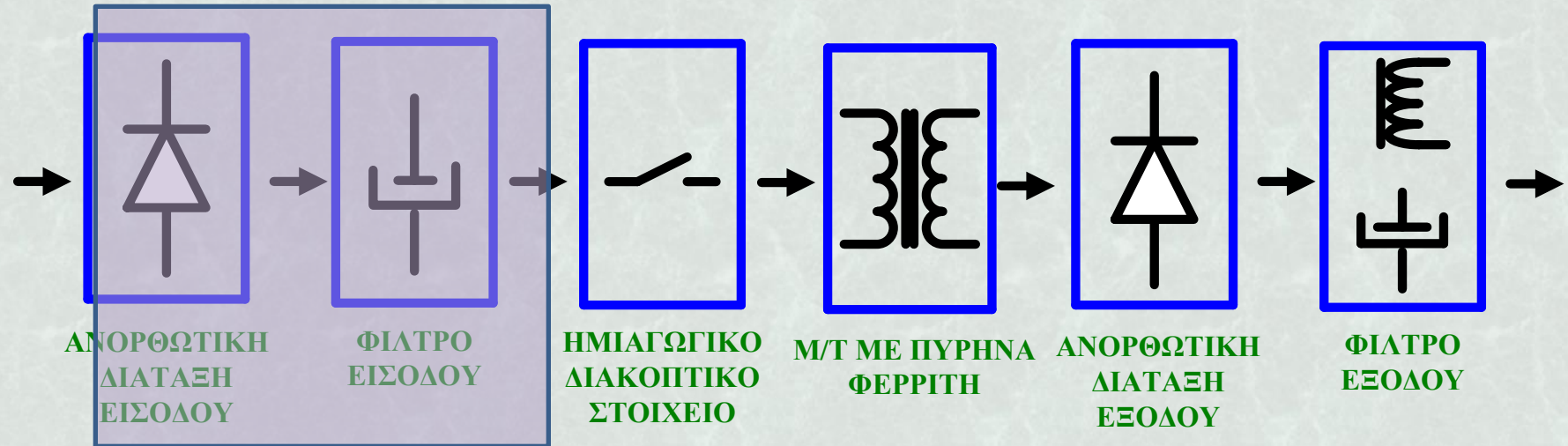
Μετατροπείς Συνεχούς Τάσης σε Συνεχή Τάση

(Μετατροπείς ΣΤ-ΣΤ, DC-DC Converters, DC Regulators)

- Στις διατάξεις αυτές χρησιμοποιείται **ένα τουλάχιστον** ελεγχόμενο ημιαγωγικό στοιχείο (θυρίστορ, τρανσίστορ), το οποίο θα είναι πάντα είτε σε **κατάσταση αγωγής** είτε σε **κατάσταση αποκοπής**.
- Αυτό έχει ως αποτέλεσμα, είτε το ημιαγωγικό στοιχείο να διαρρέεται από υψηλά ρεύματα έχοντας όμως μία χαμηλή πτώση τάσης στα άκρα του (την τάση αγωγής), είτε να αποκόπτει μία υψηλή τάση χωρίς όμως να διαρρέεται από ρεύμα.
- Συνεπώς, οι απώλειες αγωγής είναι χαμηλές με αποτέλεσμα ο συντελεστής απόδοσης να είναι αρκετά υψηλός και να κυμαίνεται, συνήθως, μεταξύ 75% και 95%, ανάλογα με την τοπολογία και τις συνθήκες λειτουργίας.



Μετατροπείς Συνεχούς Τάσης σε Συνεχή Τάση



Γενικό δομικό διάγραμμα ενός μετατροπέα ΣΤ-ΣΤ

- Σε περίπτωση εναλλασσόμενης τάσης εισόδου αυτή ανορθώνεται, με τη βοήθεια μιας ανορθωτικής διάταξης σε μία μη σταθεροποιημένη συνεχή τάση και στη συνέχεια εξομαλύνεται μέσω του φίλτρου εισόδου (συνήθως απλός ηλεκτρολυτικός πυκνωτής).
- Η τάση μπορεί να προέρχεται και από πηγή συνεχούς τάσης (συσσωρευτές, φωτοβολταϊκά στοιχεία, κύτταρα καυσίμου κλπ.)



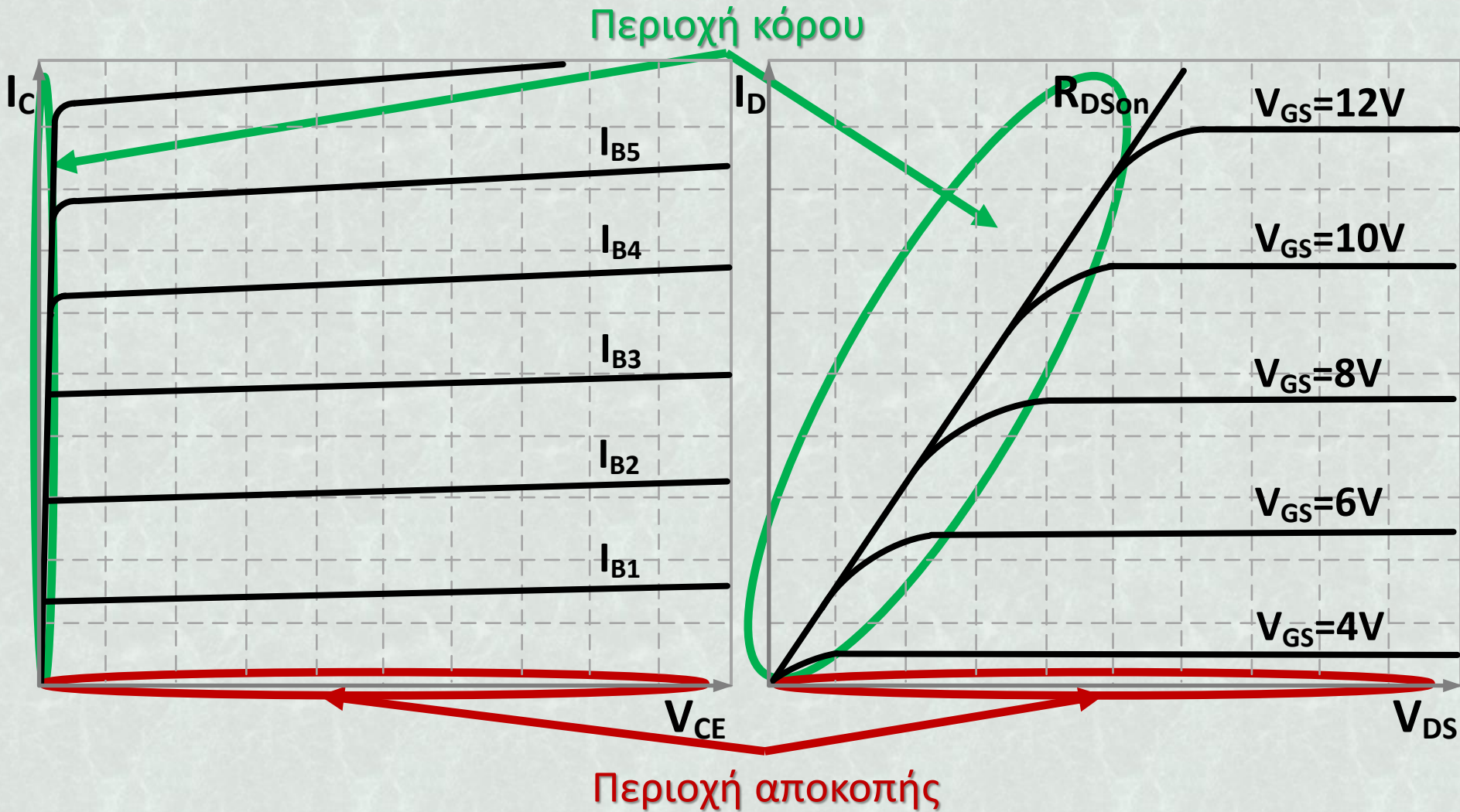
Μετατροπείς Συνεχούς Τάσης σε Συνεχή Τάση

- Η συνεχής τάση μέσω της διακοπτικής λειτουργίας ενός ή περισσοτέρων ελεγχόμενων ημιαγωγικών στοιχείων, **κατατέμνεται** και μετατρέπεται σε εναλλασσόμενη παλμική τάση υψηλής διακοπτικής συχνότητας (μερικές δεκάδες ή εκατοντάδες kHz).
- Έτσι είναι πλέον εύκολος ο υποβιβασμός ή η ανύψωση της με τη βοήθεια μετασχηματιστών υψηλής συχνότητας, μικρού όγκου και βάρους.
- Στη βαθμίδα εξόδου η εναλλασσόμενη υψίσυχνη τάση ανορθώνεται και φιλτράρεται, ώστε να προκύψει η επιθυμητή συνεχής τάση στην έξοδο του τροφοδοτικού.



Μετατροπείς Συνεχούς Τάσης σε Συνεχή Τάση

ΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ ΑΓΩΓΗΣ ΚΑΙ ΑΠΟΚΟΠΗΣ



Χαρακτηριστικές V-I ενός BJT

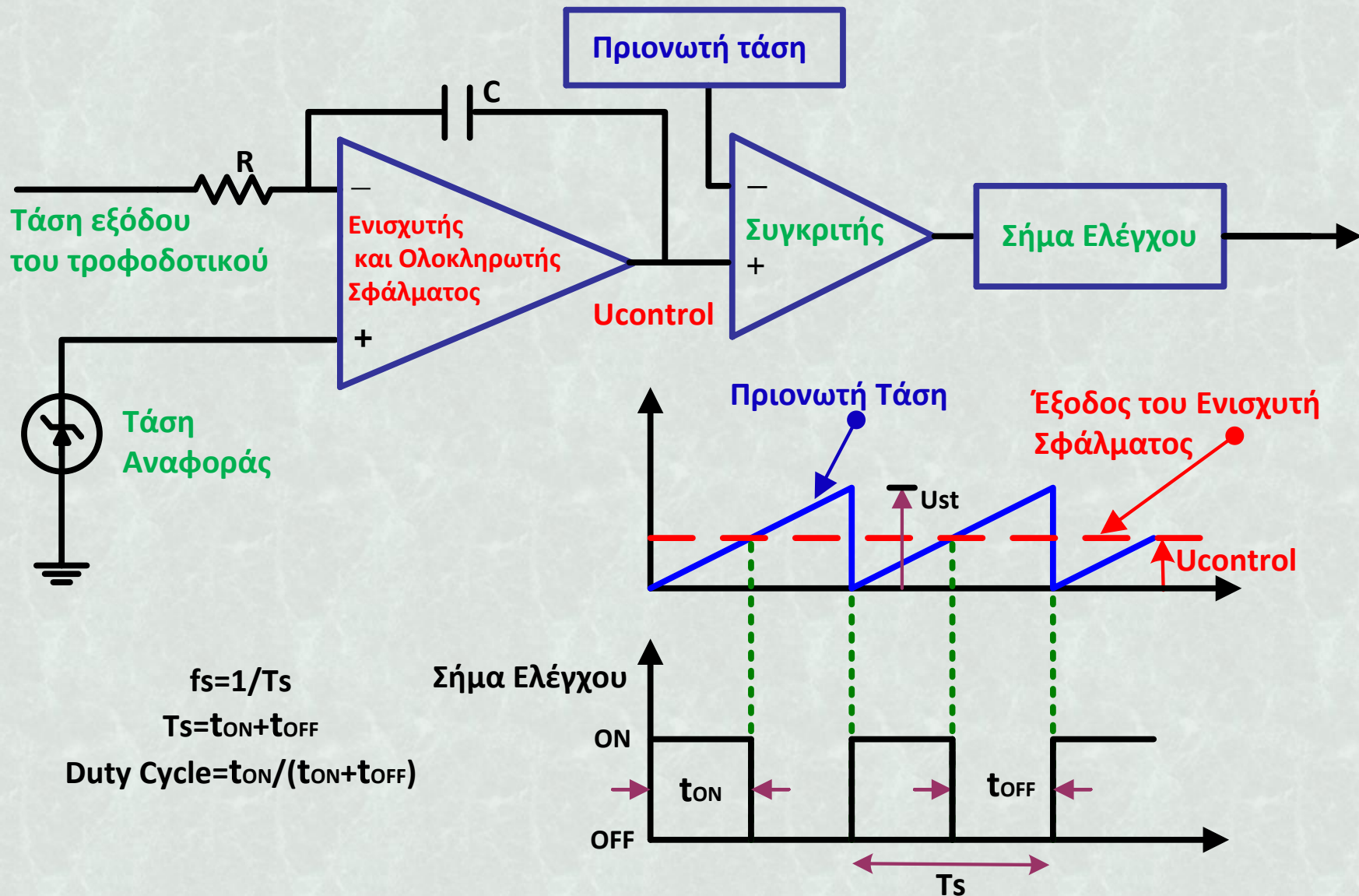
Χαρακτηριστικές V-I ενός MOSFET

ΜΕΤΑΤΡΟΠΕΙΣ ΤΕΤΡΑΓΩΝΙΚΗΣ ΚΥΜΑΤΟΜΟΡΦΗΣ

- Η συνεχής τάση εισόδου κατατέμνεται με μία υψηλή συχνότητα, με άμεσο αποτέλεσμα να δημιουργούνται **παλμοί τετραγωνικής μορφής**.
- Η τεχνική ελέγχου της **Διαμόρφωσης του εύρους των παλμών (Pulse Width Modulation, P.W.M.)**, που χρησιμοποιείται στην περίπτωση αυτή, συνίσταται στο να **διατηρείται σταθερή η συχνότητα έναυσης και σβέσης των ημιαγωγικών στοιχείων** (συχνότητα λειτουργίας του μετατροπέα) και να μεταβάλλεται ο χρόνος αγωγής (άρα και ο χρόνος αποκοπής) των ημιαγωγικών στοιχείων.
- Ο λόγος κατάτμησης (**δ , Duty Cycle**), που ισούται με το λόγο του χρόνου αγωγής προς την περίοδο λειτουργίας του μετατροπέα, καθορίζει την τιμή της τάσης εξόδου, με την προϋπόθεση η τάση εισόδου να είναι σταθερή.
- Ο λόγος κατάτμησης μπορεί να μεταβάλλεται, μέσω μιας διάταξης ελέγχου, ώστε να διατηρείται σταθερή η τάση εξόδου, ανεξάρτητα από της μεταβολές της τάσης εισόδου ή/και του φορτίου.



ΈΛΕΓΧΟΣ ΜΕΤΑΤΡΟΠΕΩΝ ΣΤ-ΣΤ



Απλοποιημένο λειτουργικό διάγραμμα της τεχνικής P.W.M. καθώς και τα σήματα στην είσοδο και στην έξοδο του συγκριτή.

ΤΟΠΟΛΟΓΙΕΣ ΜΕΤΑΤΡΟΠΕΩΝ ΣΤ-ΣΤ

Με τον όρο “**τοπολογία**” ενός μετατροπέα ΣΤ-ΣΤ, ή αλλιώς “**κύκλωμα ισχύος**”, αναφερόμαστε στην κυκλωματική διάταξη των ημιαγωγικών στοιχείων ισχύος (τρανσίστορ και διόδων), των μαγνητικών στοιχείων (μετασχηματιστών ή/και επαγωγών), καθώς και των πυκνωτών, που καθορίζει τον τρόπο με τον οποίο η ισχύς μεταφέρεται από την είσοδο στην έξοδο:

- ❖ Η ισχύς μεταφέρεται απευθείας από την είσοδο στην έξοδο.
- ❖ Η ισχύς αποθηκεύεται σε ένα μαγνητικό ή χωρητικό στοιχείο και σε δεύτερο χρόνο μεταφέρεται στην έξοδο.



ΒΑΣΙΚΕΣ ΤΟΠΟΛΟΓΙΕΣ ΜΕΤΑΤΡΟΠΕΩΝ ΣΤ-ΣΤ

Τοπολογίες διακοπτικών μετατροπέων Σ.Τ.-Σ.Τ. χωρίς γαλβανική απομόνωση (*Single Ended DC-DC Converters*):

- ❑ Μετατροπέας ΣΤ-ΣΤ υποβιβασμού της τάσης εξόδου σε σχέση με την τάση εισόδου (**BUCK DC-DC Converter**).
- ❑ Μετατροπέας ΣΤ-ΣΤ ανύψωσης της τάσης εξόδου σε σχέση με την τάση εισόδου (**BOOST DC-DC Converter**).
- ❑ Μετατροπέας ΣΤ-ΣΤ υποβιβασμού-ανύψωσης της τάσης εξόδου σε σχέση με την τάση εισόδου (**BUCK-BOOST DC-DC Converter**).
- ❑ Μετατροπέας ΣΤ-ΣΤ ανύψωσης-υποβιβασμού της τάσης εξόδου σε σχέση με την τάση εισόδου (**CUK or BOOST - BUCK DC-DC Converter**).

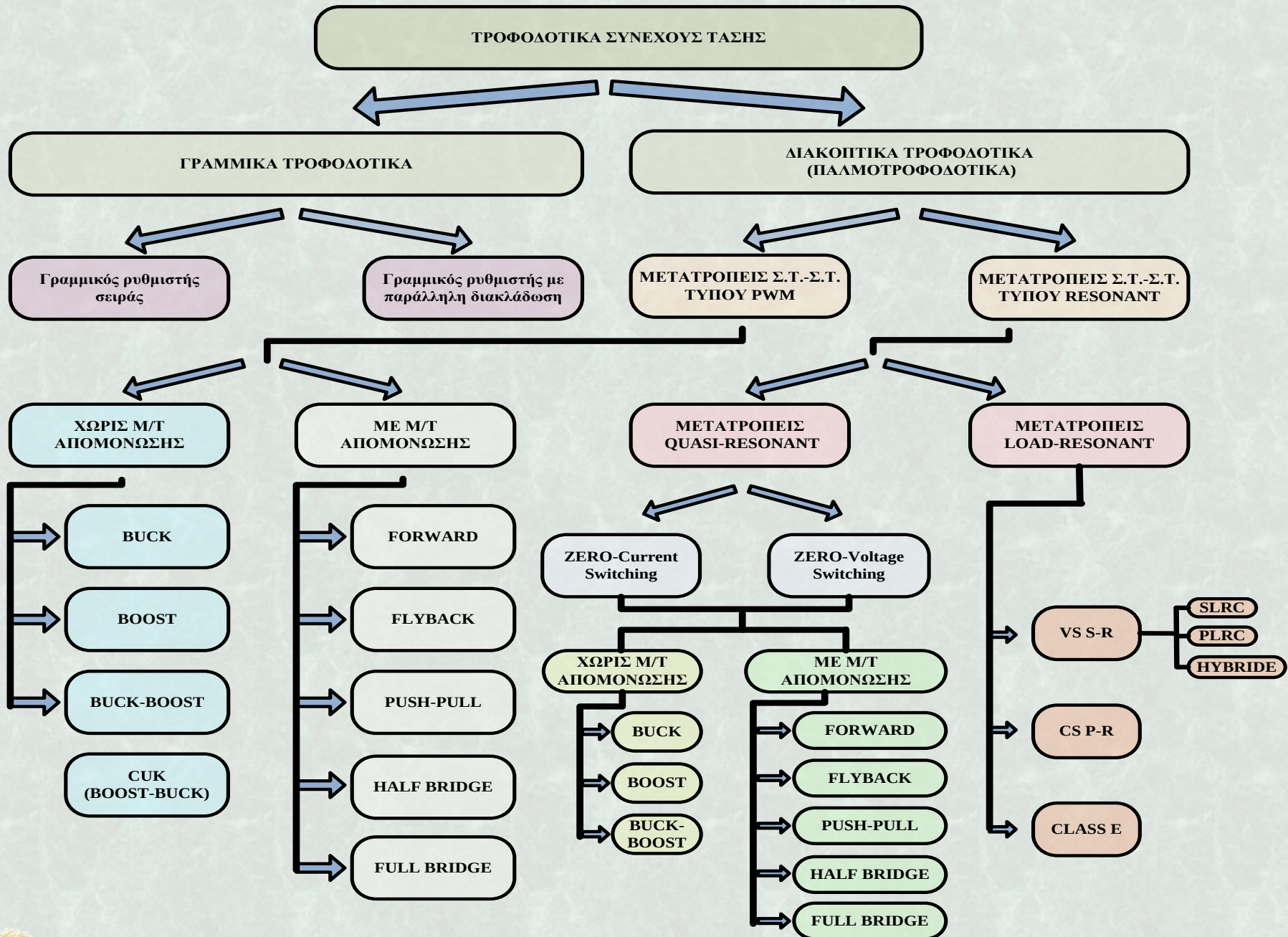


ΒΑΣΙΚΕΣ ΤΟΠΟΛΟΓΙΕΣ ΜΕΤΑΤΡΟΠΕΩΝ ΣΤ-ΣΤ

Τοπολογίες διακοπτικών μετατροπέων Σ.Τ.-Σ.Τ. με γαλβανική απομόνωση:

- ❑ Μετατροπέας ΣΤ-ΣΤ υποβιβασμού της τάσης εξόδου σε σχέση με την ανηγμένη τάση εισόδου (**FORWARD DC-DC Converter**)
- ❑ Μετατροπέας ΣΤ-ΣΤ υποβιβασμού-ανύψωσης της τάσης εξόδου σε σχέση με την ανηγμένη τάση εισόδου (**FLYBACK DC-DC Converter**).
- ❑ Μετατροπέας ΣΤ-ΣΤ συμμετρικός (**PUSH-PULL DC-DC Converter**).
- ❑ Μετατροπέας ΣΤ-ΣΤ ημιγέφυρας (**HALF BRIDGE DC-DC Converter**)
- ❑ Μετατροπέας ΣΤ-ΣΤ πλήρους γέφυρας (**FULL BRIDGE DC-DC Converter**)





Κατηγοριοποίηση των κυριότερων Τροφοδοτικών Συνεχούς Τάσης

ΘΕΩΡΗΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΤΩΝ ΜΕΤΑΤΡΟΠΕΩΝ ΣΤ-ΣΤ

□ Η θεωρητική ανάλυση της λειτουργίας των παραπάνω μετατροπών πραγματοποιείται στη μόνιμη κατάσταση λειτουργίας (κατάσταση ισορροπίας) και στηρίζεται στην υπόθεση ότι όλα τα στοιχεία του κυκλώματος είναι ιδανικά. Δηλαδή:

- ❖ Οι ημιαγωγικοί διακόπτες παρουσιάζουν:
 - μηδενικούς χρόνους έναυσης και σβέσης
 - μηδενικές απώλειες αγωγής
 - μηδενική πτώση τάσης
- ❖ Ο πυκνωτής εξόδου είναι πολύ μεγάλος (ώστε η τάση εξόδου να μπορεί να θεωρηθεί σχεδόν σταθερή)



ΘΕΩΡΗΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΤΩΝ ΜΕΤΑΤΡΟΠΕΩΝ ΣΤ-ΣΤ

ΕΜΦΑΝΙΖΟΝΤΑΙ ΔΥΟ ΠΕΡΟΧΕΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ

□ Η λειτουργία των μετατροπέων που ελέγχονται με την τεχνική της P.W.M. μπορεί να είναι είτε στην περιοχή συνεχούς αγωγής ρεύματος, είτε στην περιοχή ασυνεχούς αγωγής ρεύματος.

- Ως **συνεχής αγωγή** (*Continuous Conduction Mode, CCM*) ορίζεται η κατάσταση λειτουργίας στην οποία το ρεύμα που διαρρέει το **πηνίο εξομάλυνσης** είναι πάντα μεγαλύτερο του μηδενός
- Ως **ασυνεχής αγωγή** (*Discontinuous Conduction Mode, DCM*) ορίζεται η κατάσταση λειτουργίας στην οποία το ρεύμα που διαρρέει το **πηνίο εξομάλυνσης** παρουσιάζει διαστήματα όπου μηδενίζεται.



ΣΥΜΒΟΛΙΣΜΟΙ

δ : Λόγος κατάτμησης (duty cycle): Η σχετική διάρκεια αγωγής $\delta = \frac{t_{on}}{T_s}$

t_{on} : το χρονικό διάστημα στο οποίο το διακοπτικό στοιχείο άγει

t_{off} : το χρονικό διάστημα στο οποίο το διακοπτικό στοιχείο δεν άγει

T_s : η διακοπτική περίοδος λειτουργίας $T_s = t_{on} + t_{off}$

f_s : η διακοπτική συχνότητα λειτουργίας $f_s = \frac{1}{T_s}$

V_i : μέση τιμή τάσης εισόδου

V_o : μέση τιμή τάσης εξόδου

I_i : μέση τιμή ρεύματος εισόδου

I_o : μέση τιμή ρεύματος εξόδου

L_f : το πηνίο εξομάλυνσης του μετατροπέα



Τέλος Διάλεξης



Χρηματοδότηση

- Το παρόν εκπαιδευτικό υλικό έχει αναπτυχθεί στο πλαίσιο του εκπαιδευτικού έργου του διδάσκοντα.
- Το έργο «**Ανοικτά Ακαδημαϊκά Μαθήματα στο Πανεπιστήμιο Αθηνών**» έχει χρηματοδοτήσει μόνο την αναδιαμόρφωση του εκπαιδευτικού υλικού.
- Το έργο υλοποιείται στο πλαίσιο του Επιχειρησιακού Προγράμματος «Εκπαίδευση και Δια Βίου Μάθηση» και συγχρηματοδοτείται από την Ευρωπαϊκή Ένωση (Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο) και από εθνικούς πόρους.



Σημειώματα



Σημείωμα Αναφοράς

Copyright Πανεπιστήμιο Πατρών, Εμμανουήλ Τατάκης 2014. Εμμανουήλ Τατάκης. «Ηλεκτρονικά Ισχύος II. Μετατροπείς Συνεχούς Τάσης σε Συνεχή». Έκδοση: 1.0. Πάτρα 2015. Διαθέσιμο από τη δικτυακή διεύθυνση: <http://eclass.upatras.gr/courses/EE898/>.



Σημείωμα Αδειοδότησης

Το παρόν υλικό διατίθεται με τους όρους της άδειας χρήσης Creative Commons Αναφορά, Μη Εμπορική Χρήση Παρόμοια Διανομή 4.0 [1] ή μεταγενέστερη, Διεθνής Έκδοση. Εξαιρούνται τα αυτοτελή έργα τρίτων π.χ. φωτογραφίες, διαγράμματα κ.λ.π., τα οποία εμπεριέχονται σε αυτό και τα οποία αναφέρονται μαζί με τους όρους χρήσης τους στο «Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων».



[1] <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

Ως **Μη Εμπορική** ορίζεται η χρήση:

- που δεν περιλαμβάνει άμεσο ή έμμεσο οικονομικό όφελος από την χρήση του έργου, για το διανομέα του έργου και αδειοδόχο
- που δεν περιλαμβάνει οικονομική συναλλαγή ως προϋπόθεση για τη χρήση ή πρόσβαση στο έργο
- που δεν προσπορίζει στο διανομέα του έργου και αδειοδόχο έμμεσο οικονομικό όφελος (π.χ. διαφημίσεις) από την προβολή του έργου σε διαδικτυακό τόπο

Ο δικαιούχος μπορεί να παρέχει στον αδειοδόχο ξεχωριστή άδεια να χρησιμοποιεί το έργο για εμπορική χρήση, εφόσον αυτό του ζητηθεί.



Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων

Οι εικόνες των διαλέξεων δημιουργήθηκαν από τους κ. Τατάκη Εμμανουήλ, Συρίγο Στυλιανό στα πλαίσια του έργου «Ανοικτά ακαδημαϊκά μαθήματα Πανεπιστημίου Πατρών» εκτός κι αν αναφέρεται διαφορετικά παρακάτω:



Διατήρηση Σημειωμάτων

Οποιαδήποτε αναπαραγωγή ή διασκευή του υλικού θα πρέπει να συμπεριλαμβάνει:

- το Σημείωμα Αναφοράς
- το Σημείωμα Αδειοδότησης
- τη δήλωση Διατήρησης Σημειωμάτων
- το Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων (εφόσον υπάρχει)

μαζί με τους συνοδευόμενους υπερσυνδέσμους.

