



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

ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΑ ΙΣΧΥΟΣ II

ΜΕΤΑΤΡΟΠΕΙΣ ΣΥΝΕΧΟΥΣ ΤΑΣΗΣ ΣΕ ΣΥΝΕΧΗ ΤΑΣΗ (DC-DC Converters)

Ο ΜΕΤΑΤΡΟΠΕΑΣ ΣΤ-ΣΤ ΥΠΟΒΙΒΑΣΜΟΥ ΤΑΣΗΣ (Buck DC-DC Converter)

Μέρος 1^ο



- ❑ Στο κεφάλαιο αυτό αναλύονται οι **τρεις βασικές τοπολογίες** Μετατροπών Συνεχούς Τάσης σε Συνεχή Τάση, οι οποίοι ελέγχονται με την τεχνική της διαμόρφωσης του εύρους των παλμών (P.W.M. DC-DC Converters).
- ❑ Με την ονομασία Μετατροπείς Συνεχούς Τάσης σε Συνεχή Τάση, εννοούμε τις διατάξεις οι οποίες περιέχουν ένα τουλάχιστον ελεγχόμενο ημιαγωγικό διακόπτη και μετατρέπουν την συνεχή τάση εισόδου σε συνεχή τάση διαφορετικής τιμής στην έξοδό τους.
- ❑ Αυτοί οι μετατροπείς αποκαλούνται και παλμοτροφοδοτικά, αφού η συνήθης εφαρμογή τους είναι η τροφοδοσία αναλογικών και ψηφιακών συστημάτων.
- ❑ Οι τρεις βασικές τοπολογίες (Buck, Boost και Buck-Boost) περιέχουν τρία στοιχεία (ελεγχόμενο ημιαγωγικό διακόπτη, δίοδο, πηνίο), των οποίων η θέση εναλλάσσεται.



ΘΕΩΡΗΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΗΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΤΩΝ ΜΕΤΑΤΡΟΠΕΩΝ ΣΤ-ΣΤ

- ❑ Ανάλυση της λειτουργίας με κλασσικές μεθόδους ανάλυσης κυκλωμάτων. Όμως:
 - ❖ Ενδιαφερόμαστε για τη χαρακτηριστική εξόδου
=> **Ανάλυση στη μόνιμη κατάσταση (τι σημαίνει;)**
- ❑ Η θεωρητική ανάλυση της λειτουργίας των παραπάνω μετατροπών πραγματοποιείται στη μόνιμη κατάσταση λειτουργίας και στηρίζεται στην υπόθεση ότι όλα τα στοιχεία του κυκλώματος είναι ιδανικά. Δηλαδή:
 - ❖ Οι ημιαγωγοί 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 ΤΗΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΤΩΝ ΜΕΤΑΤΡΟΠΕΩΝ ΣΤ-ΣΤ

ΕΜΦΑΝΙΖΟΝΤΑΙ ΔΥΟ ΠΕΡΙΟΧΕΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ

- ❑ Οι μετατροπείς ΣΤ-ΣΤ, που ελέγχονται με την τεχνική της P.W.M., μπορεί να λειτουργούν 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

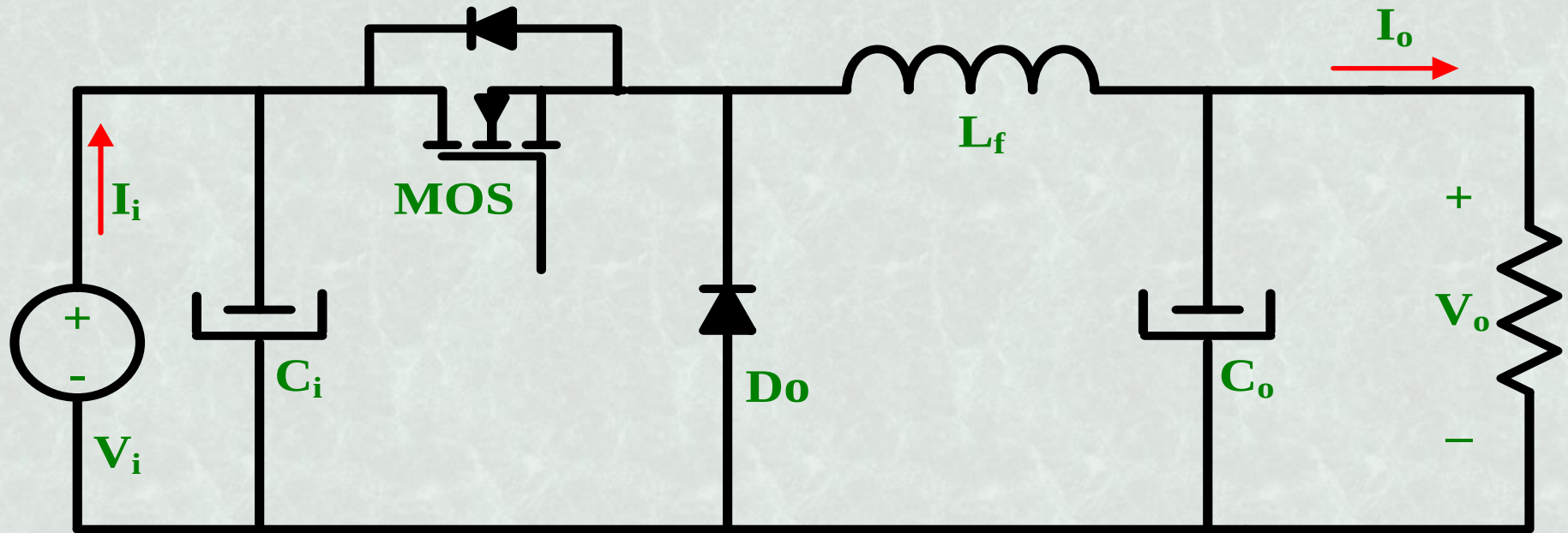
I_i : μέση τιμή ρεύματος εισόδου

I_o : μέση τιμή ρεύματος εξόδου

L_f : το πηνίο εξομάλυνσης του μετατροπέα



ΜΕΤΑΤΡΟΠΕΑΣ Σ.Τ.-Σ.Τ. ΤΥΠΟΥ BUCK

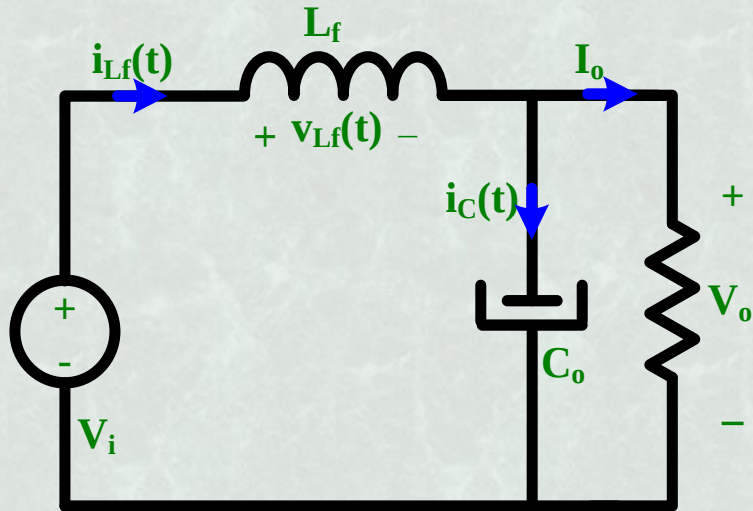


Κυκλωματικό διάγραμμα

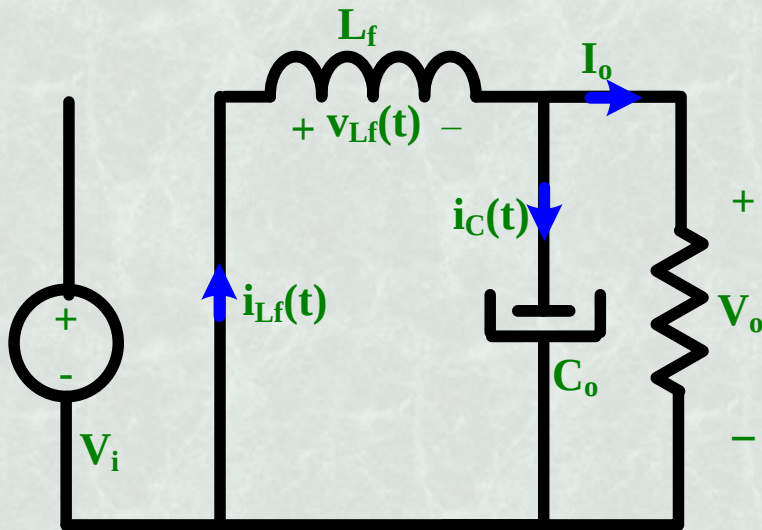
Όπως δηλώνει και το όνομά του, είναι ένας μετατροπέας Σ.Τ. σε Σ.Τ. υποβιβασμού τάσης (step-down ή buck converter) και παράγει μια συνεχή τάση εξόδου χαμηλότερη από τη συνεχή τάση εισόδου.



ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΗΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΤΟΥ BUCK



Διακόπτης σε αγωγή

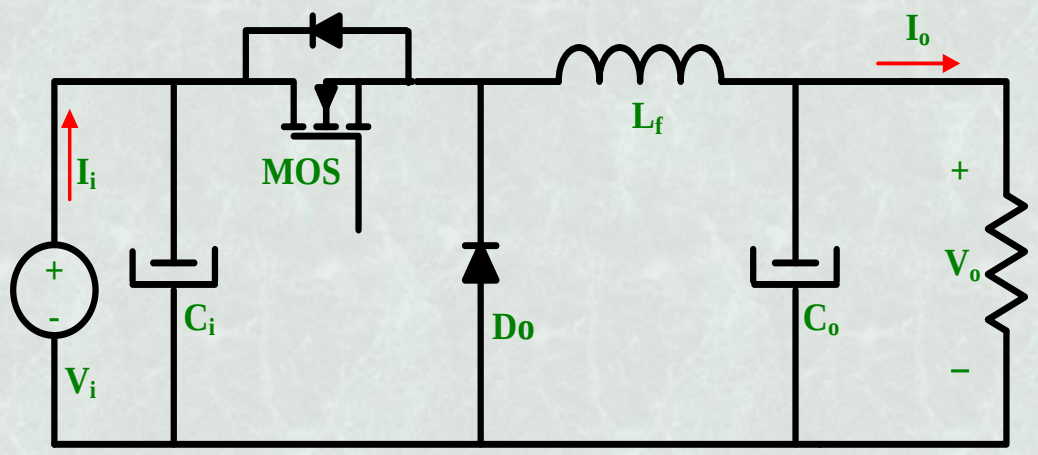
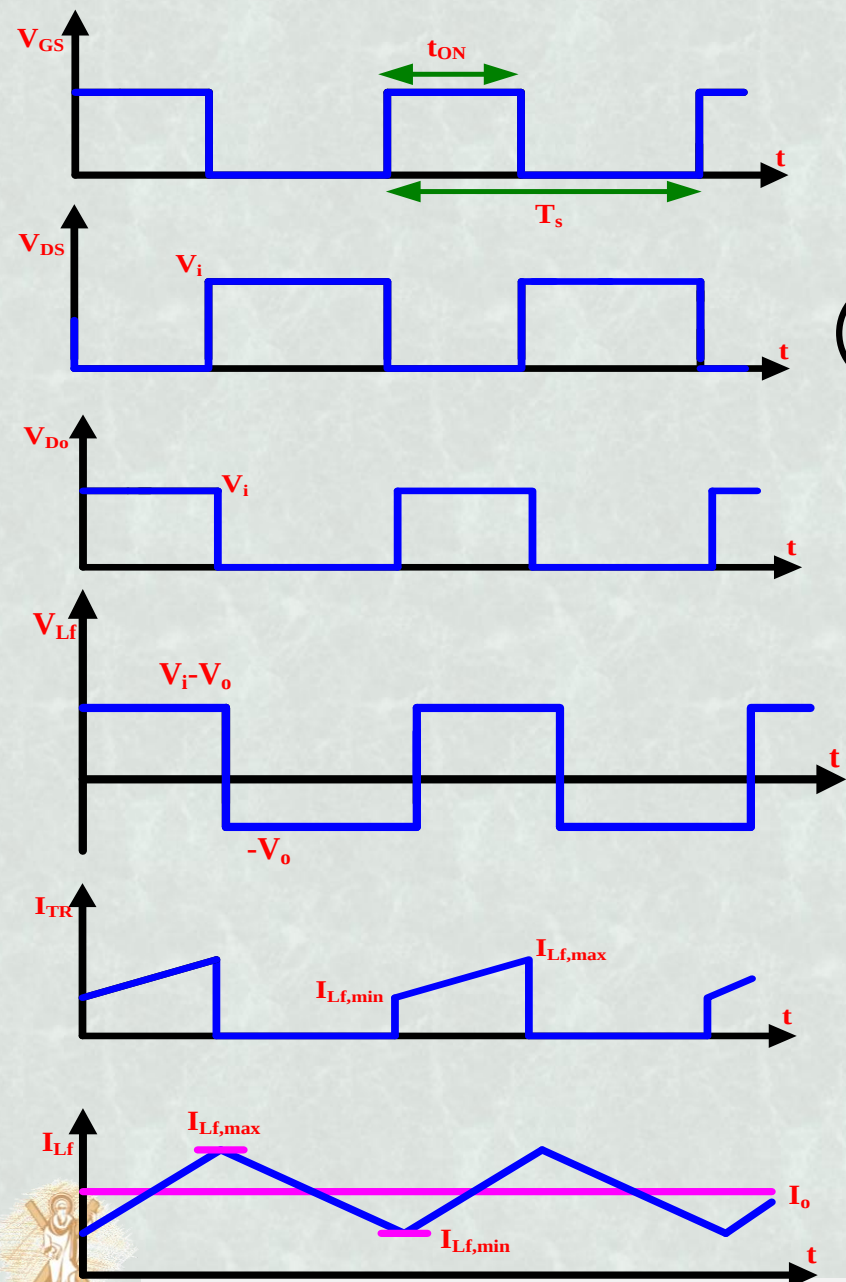


Διακόπτης σε αποκοπή

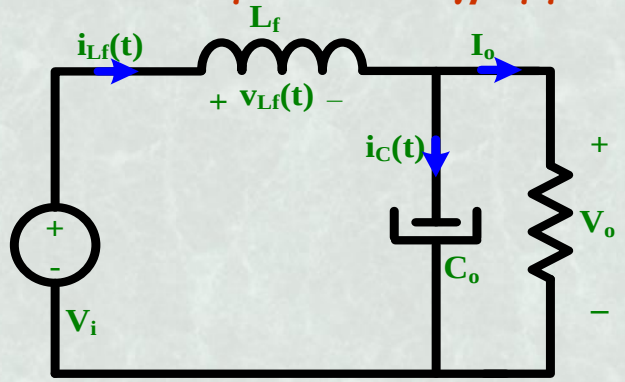
- Όταν το **τρανζίστορ άγει**, η ενέργεια μεταφέρεται απ' ευθείας από την είσοδο στην έξοδο και συγχρόνως ένα τμήμα της αποθηκεύεται στο πηνίο εξομάλυνσης.
- Η δίοδος ελεύθερης διέλευσης πολώνεται ανάστροφα και δεν άγει.
- Όταν το **τρανζίστορ δεν άγει**, η επαγωγή τείνει να διατηρήσει το ρεύμα στην ίδια κατεύθυνση (ενεργώντας ως πηγή ρεύματος).
- Επομένως, η διαφορά δυναμικού στα άκρα της επαγωγής αυτής αναστρέφεται και η δίοδος άγει.
- **Τρίτο στάδιο:** ενέργεια πηνίου μηδενίζεται, δίοδος παύει να άγει.



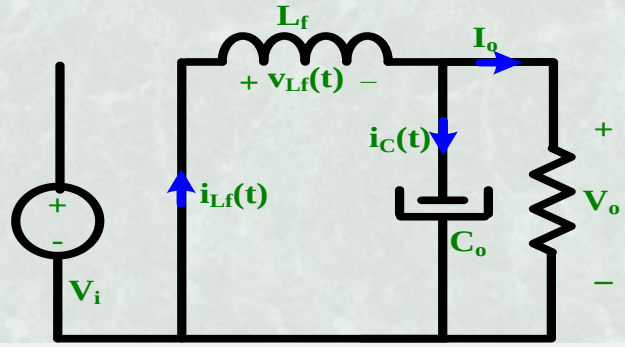
Buck: Κυματομορφές τάσεων και ρευμάτων, συνεχής αγωγή



Κυκλωματικό Διάγραμμα του Buck



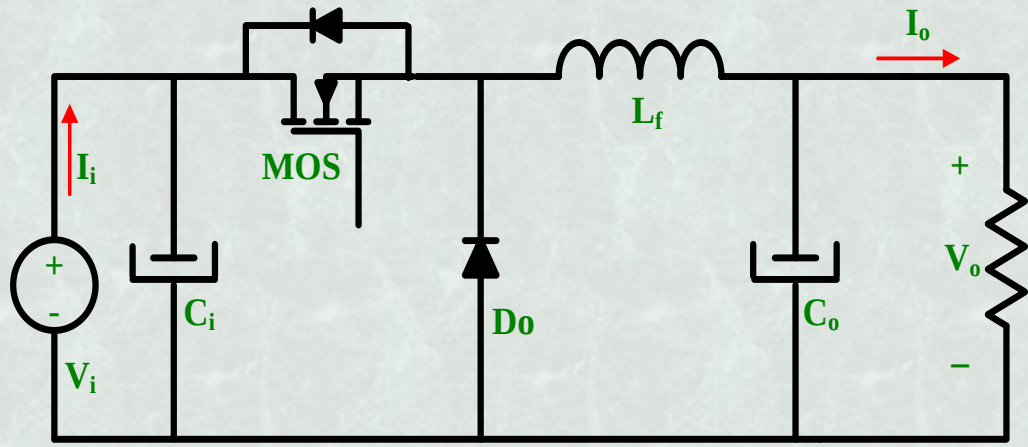
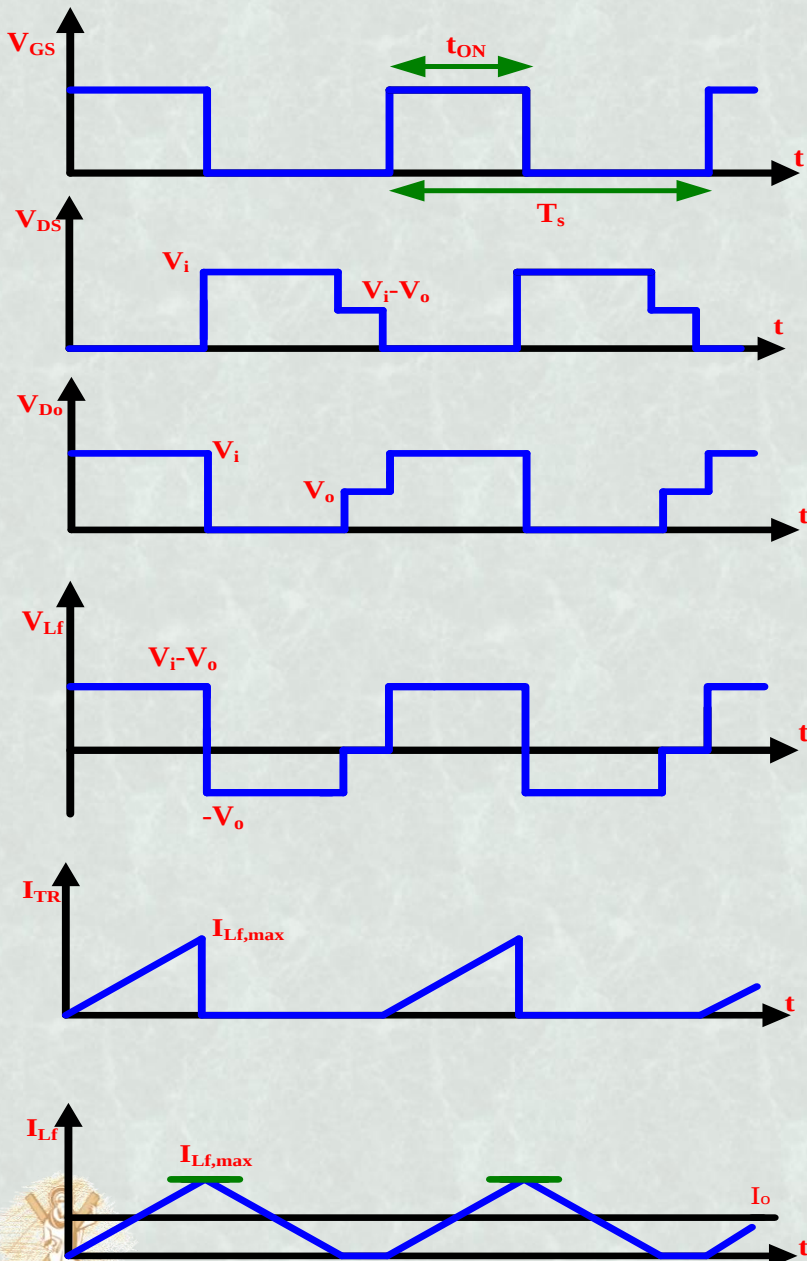
Διακόπτης σε αγωγή



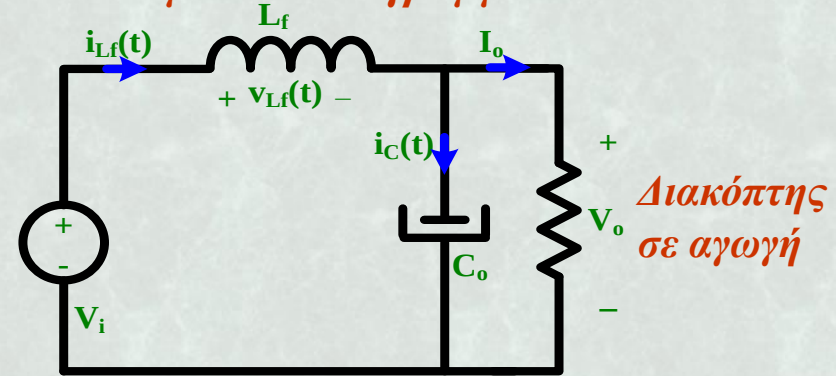
Διακόπτης σε αποκοπή



Buck: Κυματομορφές τάσεων και ρευμάτων, ασυνεχής αγωγή

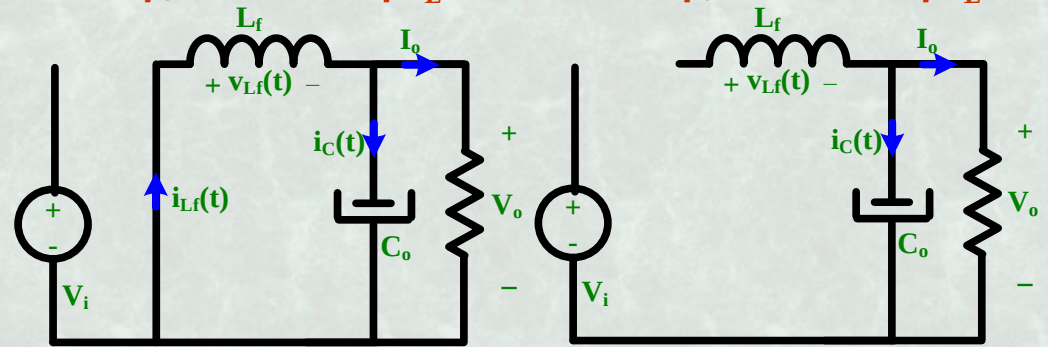


Κυκλωματικό Διάγραμμα του Buck



Διακόπτης σε αγωγή

Διακόπτης σε αποκοπή $I_L \neq 0$ Διακόπτης σε αποκοπή $I_L = 0$



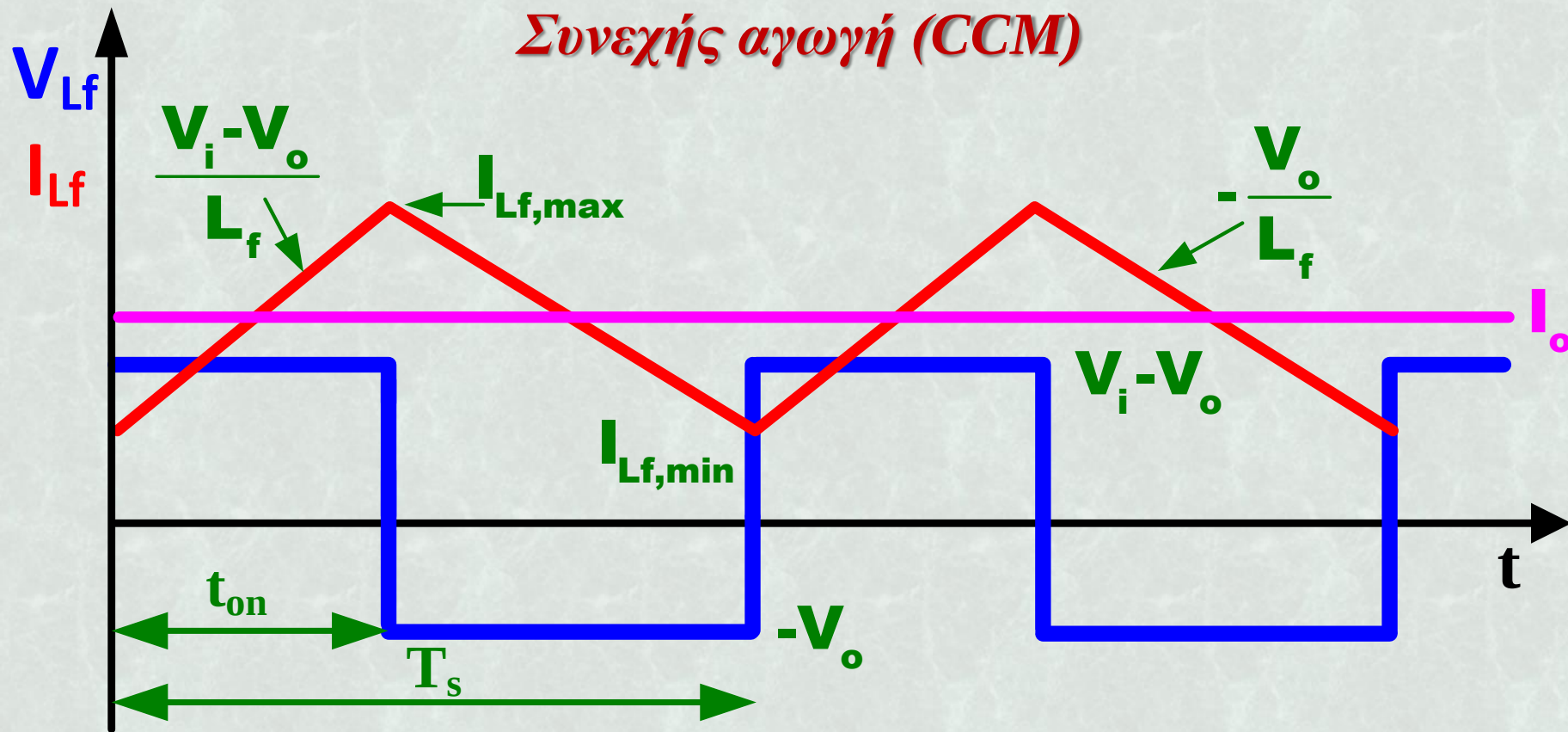
Εξαγωγή σχέσεων που περιγράφουν τη λειτουργία του μετατροπέα τύπου BUCK

- ❑ Βασίζεται στη λογική του ότι θεωρούμε μόνιμη κατάσταση λειτουργίας (σε οποιαδήποτε περιοχή λειτουργίας και αν είμαστε):
 - => μέση τιμή της τάσης στο πηνίο εξομάλυνσης L_f είναι μηδέν.
- ❑ Τι θα σήμαινε ότι η μέση τιμή της τάσης στο πηνίο είναι διαφορετική του μηδενός;
 - Θετική;
 - Αρνητική;
- ❑ Τι σημαίνει, γεωμετρικά, μέση τιμή;
- ❑ Εξαγωγή σχέσεων που εκφράζουν τη χαρακτηριστική εξόδου του μετατροπέα μέσω των εμβαδών (**Volt·sec equation**)



Βασικότερες εξισώσεις λειτουργίας Buck

Συνεχής αγωγή (CCM)



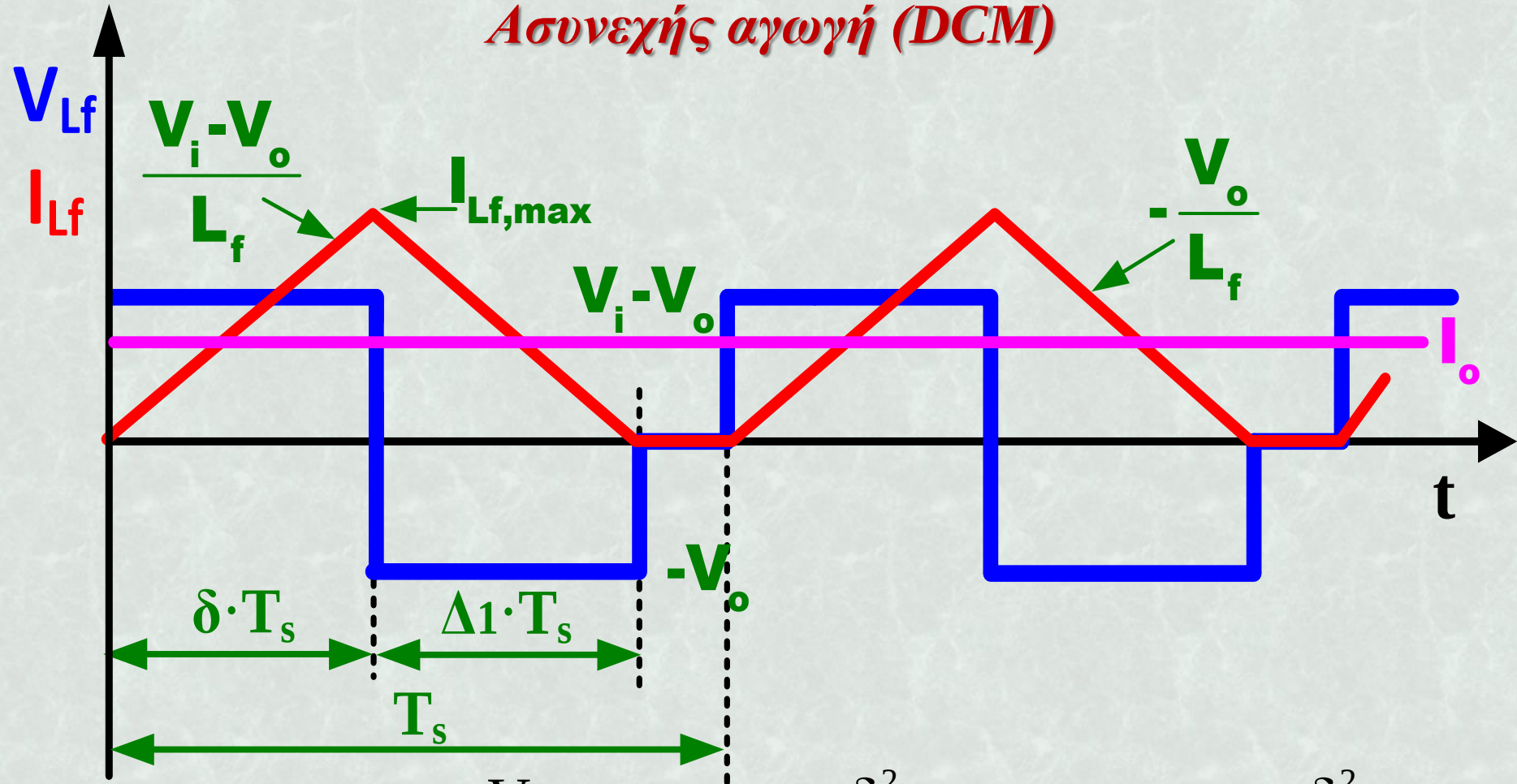
$$\frac{V_o}{V_i} = \delta, \quad I_o = \frac{(I_{Lf,max} + I_{Lf,min})}{2}, \quad I_i = \frac{(I_{Lf,max} + I_{Lf,min})}{2} \cdot \delta$$

$$I_{Lf,max} - I_{Lf,min} = \frac{V_i - V_o}{L_f} \cdot \delta \cdot T_s = \frac{V_i}{L_f} \cdot \delta \cdot (1 - \delta) \cdot T_s = \frac{V_o}{L_f} \cdot (1 - \delta) \cdot T_s$$



Βασικότερες εξισώσεις λειτουργίας Buck

Ασυνεχής αγωγή (DCM)

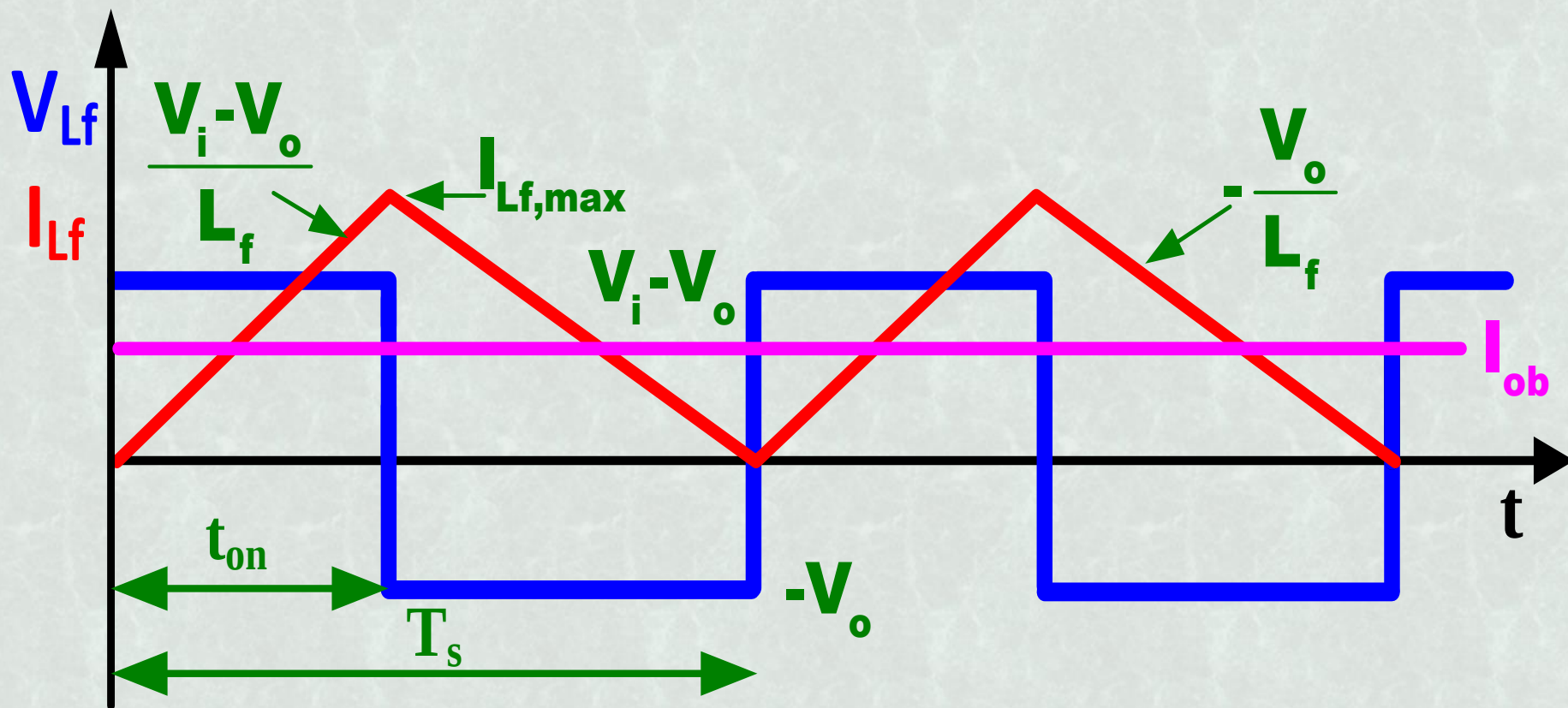


$$\frac{V_o}{V_i} = \frac{\delta^2}{\delta^2 + 2 \cdot \left(\frac{I_o}{\left[(V_i \cdot T_s) / L_f \right]} \right)} = \frac{\delta^2}{\delta^2 + 2 \cdot I_{No,i}}$$



Βασικότερες εξισώσεις λειτουργίας Buck

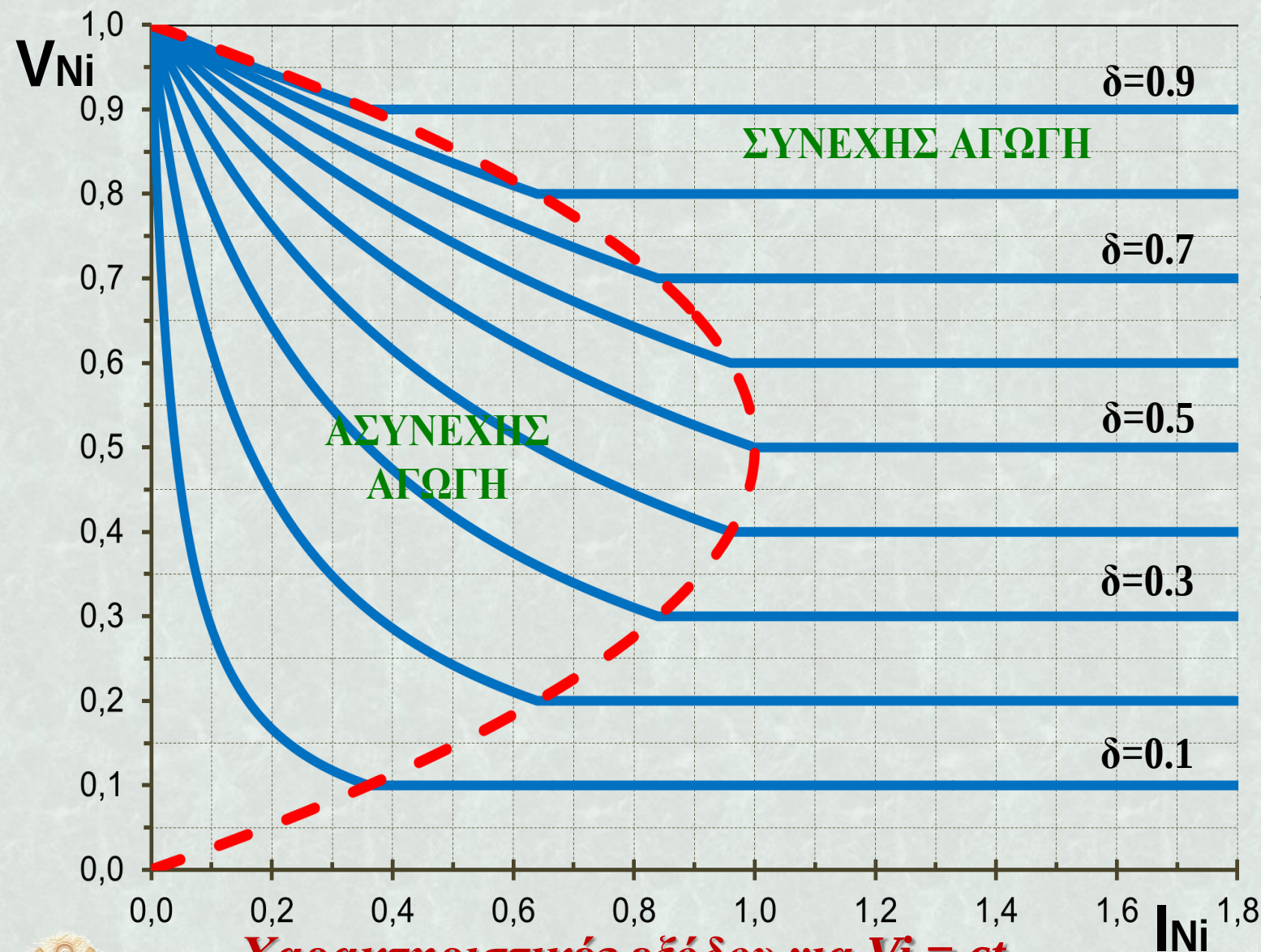
Όριο μεταξύ συνεχούς και ασυνεχούς αγωγής



$$I_{o,b} = I_{Lf,b} = \frac{V_i - V_o}{L_f} \cdot \frac{\delta \cdot T_s}{2} = \frac{V_i \cdot T_s}{L_f} \cdot \frac{\delta \cdot (1 - \delta)}{2} = \frac{V_o \cdot T_s}{L_f} \cdot \frac{(1 - \delta)}{2}$$



Buck: Χαρακτηριστικές εξόδου (V_i σταθερή)

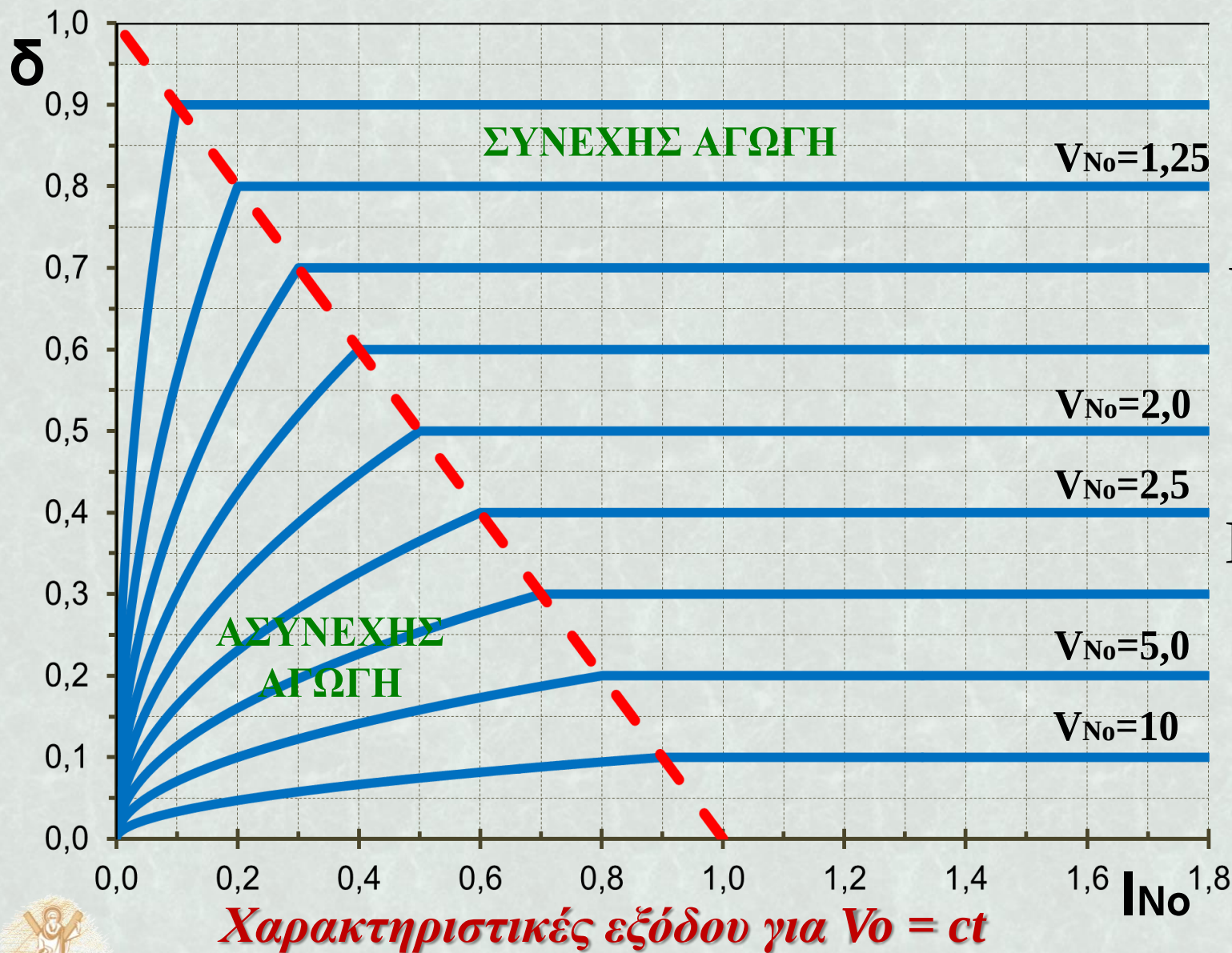


$$V_{Ni} = \frac{V_o}{V_i}$$

$$I_{Ni} = \frac{I_o}{\frac{V_i \cdot T_s}{8 \cdot L_f}}$$

Χαρακτηριστικές εξόδου για $V_i = c t$

Buck: Χαρακτηριστικές εξόδου (Vo σταθερή)



$$V_{No} = \frac{V_i}{V_o}$$

$$I_{No} = \frac{I_o}{\frac{V_o \cdot T_s}{2 \cdot L_f}}$$



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.

