



Ελληνικό Μεσογειακό Πανεπιστήμιο
Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχ. & Μηχ. Η/Υ

Ηλεκτρονικά Ισχύος

Μάθημα 5^ο

Δίοδοι – Thyristor

Μετατροπέας 1^{ος} παλμού

Γιώργος Ορφανουδάκης

Περιεχόμενα

1. Κατηγοριοποίηση ημιαγωγικών στοιχείων ισχύος
2. Δίοδοι – Thyristor – Triac
3. Μετατροπέας 1^{ος} παλμού

Έλεγχος ημιαγωγικών στοιχείων ισχύος

- Η χρήση των ηλεκτρονικών ισχύος αποσκοπεί στη μετατροπή και τον έλεγχο της ηλεκτρικής ισχύος
- Το είδος της μετατροπής (π.χ. AC σε DC) καθορίζεται πρωτίστως από τη δομή (το κύκλωμα) του μετατροπέα
- Ο έλεγχος της ισχύος επιτελείται με σήματα (τάσεις – ρεύματα) χαμηλής ισχύος, τυπικά της τάξης των 10 – 15 V και μερικών 10^{ωv} mA
- Η βασική μορφή των σημάτων ελέγχου είναι μία παλμοσειρά η οποία παράγεται από ένα αναλογικό κύκλωμα ή σήμερα συχνότερα από έναν μικροελεγκτή (MCU) ή FPGA
- Συνήθως απαιτείται ένα ηλεκτρονικό (όχι ισχύος) κύκλωμα για ενίσχυση του σήματος ελέγχου, π.χ. από τα 3.3 στα 15 V, το οποίο ενσωματώνει και επιπλέον λειτουργίες – προστασίες
- Το κύκλωμα αυτό λέγεται «κύκλωμα οδήγησης» (driver) του στοιχείου ισχύος



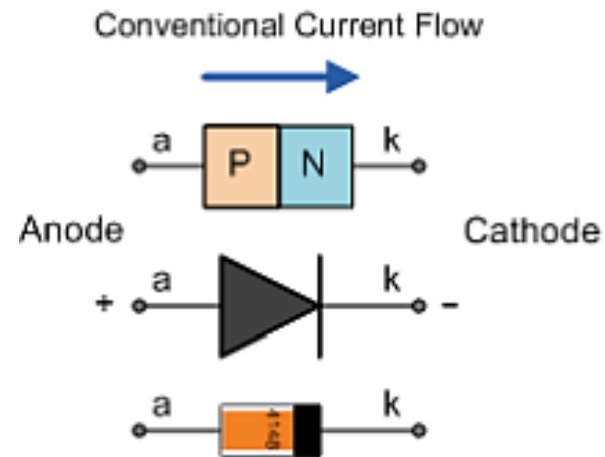
Κατηγοριοποίηση ημιαγωγικών στοιχείων ισχύος με βάση τον βαθμό ελεγχιμότητάς τους

- **Μη ελεγχόμενα:** Η κατάστασή τους καθορίζεται από το υπόλοιπο κύκλωμα
 - Δίοδοι
- **Ημι-ελεγχόμενα:** Η έναυσή τους καθορίζεται από το κύκλωμα οδήγησης και η σβέση τους από το υπόλοιπο κύκλωμα
 - Thyristor
 - Triac
- **Πλήρως ελεγχόμενα:** Η έναυση και η σβέση τους καθορίζεται από το κύκλωμα οδήγησης
 - BJT
 - MOSFET
 - IGBT
 - GTO
 - ...

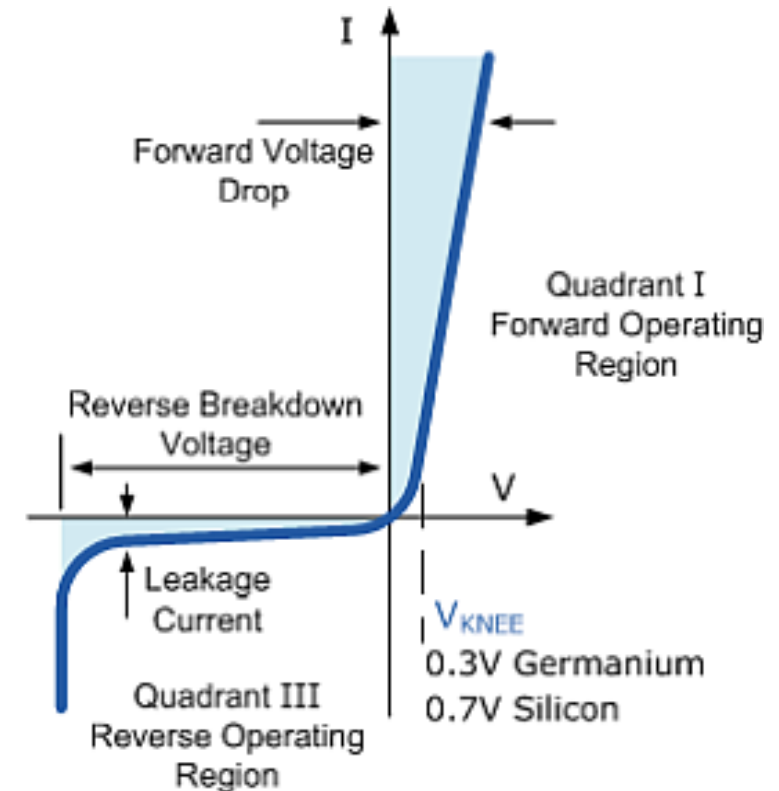
Δίοδοι ισχύος

- Δύο ακροδέκτες (ισχύος)
 - Άνοδος (Anode), A
 - Κάθοδος (Cathode), K
- Αρχίζει να άγει όταν πολωθεί ορθά και πρακτικά αφού η τάση ορθής πόλωσης υπερβεί την τάση κατωφλίου ($V_F = 0.3 - 0.7V$)
- Η πτώση τάσης κατά την αγωγή προσεγγίζεται σαν

$$V_{AK} = V_F + R_{on} \times i$$



Silicon Diode and its V-I Characteristics



Τύποι διόδων ισχύος

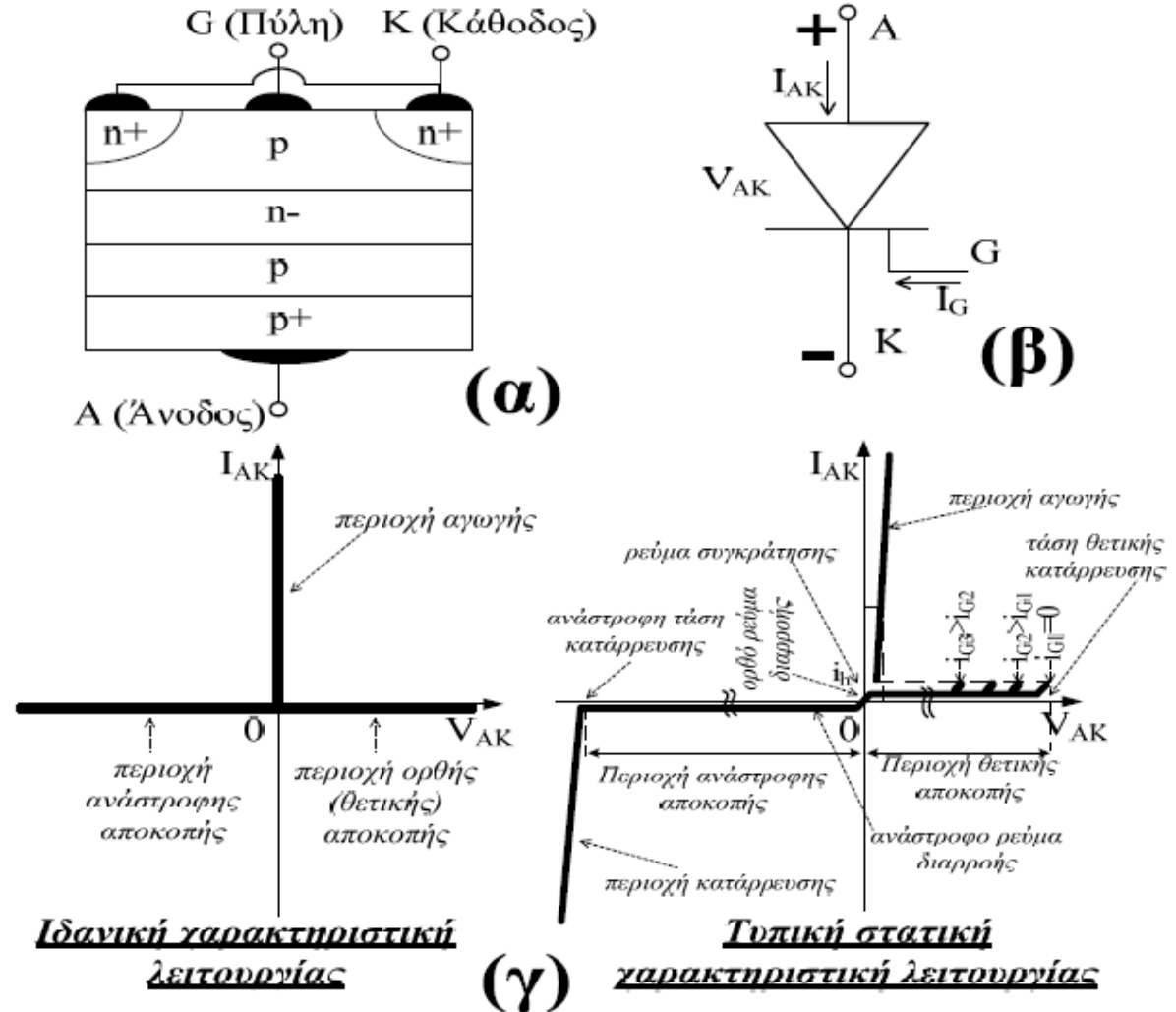
- Ανορθωτικές διόδοι (rectifier / line-frequency diodes):
 - υψηλές τιμές ονομαστικού ρεύματος διέλευσης και τάσεις διάσπασης (μερικές εκατοντάδες kA και kV)
 - χαμηλή πτώσης τάσης κατά την αγωγή (για να έχουν χαμηλές απώλειες αγωγής)
 - δεν μπορούν να λειτουργήσουν σε υψηλές διακοπτικές συχνότητες
- Δίοδοι ταχείας ή υπερταχείας ανάκτησης (fast / ultra-fast recovery diodes):
 - ονομαστικό ρεύμα διέλευσης και η τάσης διάσπασης της τάξης των μερικών δεκάδων ή εκατοντάδων A και V
 - χρησιμοποιούνται σε κυκλώματα που λειτουργούν σε υψηλές διακοπτικές συχνότητες
- Δίοδοι Schottky:
 - κατασκευάζονται με την επαφή ενός μετάλλου με έναν ημιαγωγό
 - έχουν πολύ χαμηλή πτώση τάσης κατά την αγωγή, τυπικά 0.3V
 - οι χρόνοι έναυσης και σβέσης τους είναι πολύ χαμηλότεροι από αυτούς των αντίστοιχων διόδων επαφής P-N
 - έχουν περιορισμένη τάση διάσπασης, έως 600V

Εμπορικά πακέτα διόδων ισχύος



Thyristor

- Ελεγχόμενος ανορθωτής πυριτίου (Silicon Controlled Rectifier, SCR) ή Thyristor
- Τρεις ακροδέκτες – δύο ισχύος / έναν ελέγχου
 - Άνοδος (Anode), A
 - Κάθοδος (Cathode), K
 - Πύλη (Gate), G
- Μεταξύ ανόδου και καθόδου διέρχεται το κύριο ρεύμα του στοιχείου, με φορά από την άνοδο προς την κάθοδο (όπως σε μία δίοδο)
- Ο έλεγχος (έναυση) πραγματοποιείται από την πύλη, με χρήση παλμών ρεύματος



Thyristor: Έναυση – Σβέση

- Όταν το Thyristor είναι αρνητικά πολωμένο βρίσκεται στην περιοχή ανάστροφης αποκοπής, και συμπεριφέρεται παρόμοια με μία δίοδο σε κατάστασης αποκοπής
- Όταν το Thyristor είναι θετικά πολωμένο βρίσκεται στην περιοχή θετικής αποκοπής, στην οποία «αναμένει» να λάβει εντολή για έναυση
- Για να πραγματοποιηθεί **έναυση** του στοιχείου, πρέπει
 - Να είναι ορθά πολωμένο, και
 - Να δοθεί στην πύλη παλμός ρεύματος (παλμός έναυσης)
 - Το ρεύμα της ανόδου του να υπερβεί μία ελάχιστη τιμή, που λέγεται ρεύμα μανδάλωσης (latching current)
 - Προσοχή: Το Thyristor δεν σβήνει όταν αφαιρεθεί/τελειώσει ο παλμός έναυσης
- Για να πραγματοποιηθεί **σβέση** του στοιχείου, πρέπει
 - Το ρεύμα της ανόδου, το οποίο καθορίζεται από το υπόλοιπο κύκλωμα, να μειωθεί κάτω από μία ορισμένη τιμή, που λέγεται ρεύμα συγκράτησης (holding current) ή κρίσιμο ρεύμα διέλευσης

Τύποι – Δυνατότητες Thyristor

- Τύποι
 - Θυρίστορ ελέγχου φάσης (Phase Control Thyristor)
 - Θυρίστορ για αντιστροφείς (Inverter Thyristor)
 - Θυρίστορ που σβήνουν με τη βοήθεια της πύλης (Gate-Assisted Turn-Off Thyristor, GATT)
 - Θυρίστορ που σκανδαλίζονται οπτικά (Light-Triggered Thyristor)
- Χρήση σε μετατροπείς από μερικές δεκάδες W ως μερικές εκατοντάδες MW
- Υψηλά ονομαστικά ρεύματα και τάσεις διάσπασης ($> 3500\text{ A}$ και 6000 V)
- Χαμηλές πτώσεις τάσης κατά την αγωγή
 - από $1,5\text{ V}$, για ένα θυρίστορ με τάση διάσπασης 600 V
 - έως $2,3\text{ V}$, για ένα θυρίστορ με τάση διάσπασης 3000 V
 - έως $2,6\text{ V}$, για ένα θυρίστορ με τάση διάσπασης 4000 V
- Συχνότητα λειτουργίας
 - 400 Hz για θυρίστορ που χρησιμοποιούνται για εφαρμογές δικτύου,
 - $2\text{-}3\text{ kHz}$ για γρήγορα θυρίστορ

Εμπορικά πακέτα Thyristor



Stud Base



Plastic Module



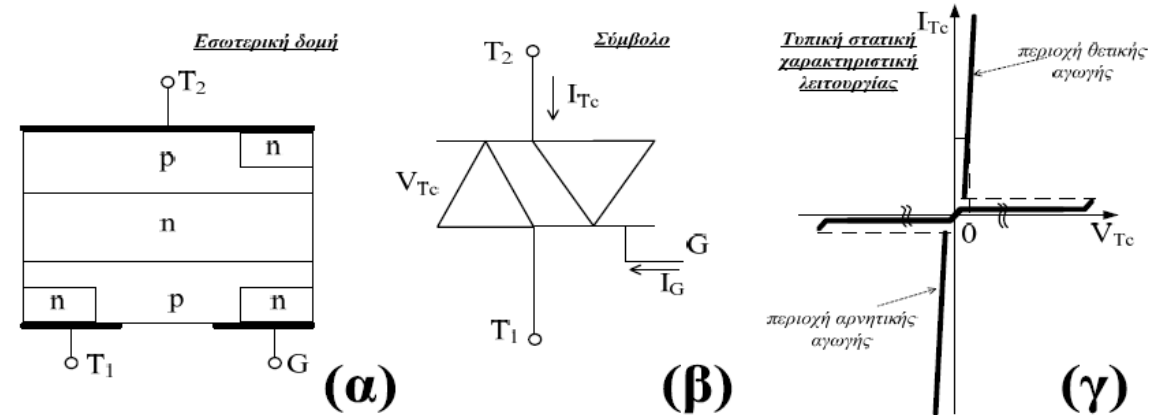
Discrete Plastic



Press Pack

Triac

- Επιτρέπει τη ροή του ρεύματος και προς τις δύο κατευθύνσεις
- Για χειρισμό εναλλασσόμενου ρεύματος
- Τρεις ακροδέκτες – δύο ισχύος / έναν ελέγχου
 - T1
 - T2
 - Πύλη (Gate), G
- Λειτουργία ισοδύναμη με δύο Thyristor συνδεδεμένα αντιπαράλληλα, με κοινή πύλη
- Χαμηλότερο κόστος από ένα ζευγάρι αντιπαράλληλων θυρίστωρ
- Ισχύς έως κάποιες δεκάδες kW



Σχετικό υλικό

- Από το βιβλίο «Ηλεκτρονικά Ισχύος», Ι. Κιοσκερίδη, εκδ. Τζιόλα, 2^η έκδοση
 - Κεφάλαιο 3, 6, 10
- Από τις «Σημειώσεις» στο eClass
 - Κεφάλαιο 4, 5