**ΜΙΚΡΟΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΗ – ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ**

**Εαρινό Εξάμηνο 2018-2019**

**ΕΝΟΤΗΤΑ 2η**

**5η Εργαστηριακή Άσκηση – Μελέτη Διπολικού Τρανζίστορ Επαφής**

**Bipolar Junction Transistor (BJT)**

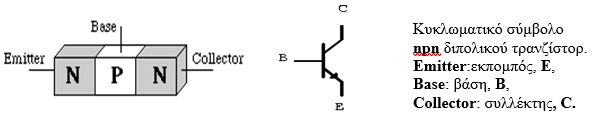
**Σκοπός της Άσκησης:** Είναι η εξοικείωση με τις βασικές ιδιότητες του διπολικού τρανζίστορ επαφής (BJT), μέσα από την υλοποίηση ενός απλού κυκλώματος για την εμπέδωση της χρήσης του ως ηλεκτρονικός διακόπτης.

**ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΘΕΩΡΙΑΣ**

**5.1 Εισαγωγή - Βασικές ιδιότητες διπολικών τρανζίστορ**

Το διπολικό τρανζίστορ ήταν το πρώτο τρανζίστορ που κατασκευάσθηκε (1947). Είναι ένα ηλεκτρονικό στοιχείο με τρεις ακροδέκτες, μη συμμετρικό, όπου η τάση μεταξύ δύο ακροδεκτών ελέγχει το ρεύμα που ρέει στο τρίτο ακροδέκτη. Η ονομασία transistor προέρχεται από τις λέξεις transfer – resistor, ενώ στα ελληνικά αποδόθηκε αρχικά με τον όρο «κρυσταλλοτρίοδος», στη συνέχεια όμως επικράτησε ο όρος «τρανζίστορ».

Το διπολικό τρανζίστορ είναι δύο δίοδοι pn πλάτη με πλάτη. Έτσι, το διπολικό τρανζίστορ μπορεί να είναι τύπου **npn** ή **pnp**. Τόσο στην εργαστηριακή άσκηση, όσο και σε όσα αναφέρονται πιο κάτω έχουν να κάνουν με το npn διπολικό τρανζίστορ. Αυτός ο τύπος τρανζίστορ χρησιμοποιείται πιο συχνά, ενώ δίνουν μεγαλύτερο κέρδος και λειτουργούν με μεγαλύτερες ταχύτητες.



Οι τρεις ακροδέκτες του npn διπολικού τρανζίστορ είναι:

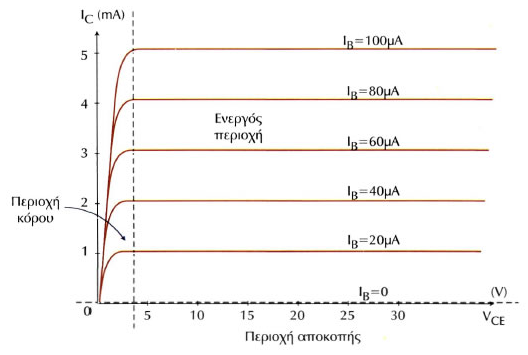
* Ο Εκπομπός (n-τύπου, Emitter, E),
* Η Βάση (p-τύπου, Base, B) και
* O Συλλέκτης (n-τύπου, Collector, C).

Το διπολικό τρανζίστορ μπορεί να λειτουργήσει είτε σαν **ενισχυτής** είτε σαν **διακόπτης,** ανάλογα με τη πόλωση των επαφών Βάσης-Εκπομπού (BE) και Βάσης-Συλλέκτη (BC), οι οποίες καθορίζουν και τη περιοχή λειτουργίας του.

Οι περιοχές λειτουργίας, οι πολώσεις των επαφών καθώς και οι χρήσεις του διπολικού τρανζίστορ επαφής παρατίθενται στον ακόλουθο πίνακα (1):

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **Περιοχή λειτουργίας** | **Πόλωση επαφής BE** | **Πόλωση επαφής BC** | **Χρήση** |
| Ενεργός | Ορθή | Ανάστροφη | Ενισχυτής |
| Αποκοπής | Ανάστροφη | Ανάστροφη | Διακόπτης |
| Κορεσμού (Κόρου) | Ορθή | Ορθή | Διακόπτης |

**Πίνακας 1: Περιοχές λειτουργίας διπολικού τρανζίστορ επαφής (BJT) τύπου npn**



Τα παραπάνω διάγραμμα, απεικονίζει τις χαρακτηριστικές καμπύλες εξόδου του τρανζίστορ npn, όπου και διακρίνονται οι τρεις περιοχές λειτουργίας **(ενεργός, κόρου και αποκοπής).**

Γενικά :

* Για τη λειτουργία ενός τρανζίστορ npn στην Ενεργό περιοχή ισχύει VC>VB>VE
* Για τη λειτουργία στην περιοχή Αποκοπής, ισχύει: VC>VB<VE
* τέλος, για τη λειτουργία στην περιοχή Κορεσμού, ισχύει: VC<VB>VE

Όταν το διπολικό τρανζίστορ λειτουργεί στην **ενεργό περιοχή** τότε ισχύουν:

IE = IC + IB, IC = ISexp(VBE/VT), IC = αIE, IC = βΙΒ, α = β/(β+1)  1, β = α/(1-α),όπου:

* IE, IC και IB είναι το ρεύμα της βάσης, του συλλέκτη και του εκπομπού αντίστοιχα
* IS: το ρεύμα κορεσμού, ανάλογο του εμβαδού της επαφής Εκπομπού-Βάσης,
* VBE: η τάση ορθής πόλωσης της επαφής Βάσης-Εκπομπού,
* VT=kT/q η θερμική τάση (25.2mV σε θερμοκρασία δωματίου),
* α, β σταθερές (για το συγκεκριμένο τρανζίστορ, α~0.96-0.99 και 100<β<200) (συντελεστής ενίσχυσης ρεύματος).

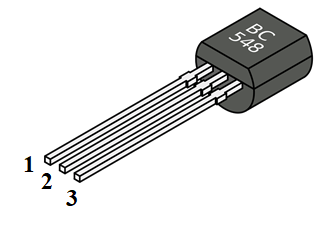
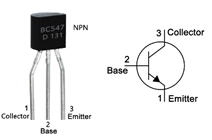
Υπάρχουν τρεις βασικές **συνδεσμολογίες ενισχυτή** ενός σταδίου με διπολικά τρανζίστορ:

1. **Ενισχυτής Κοινού Εκπομπού,** όπου ο εκπομπός είναι ο κοινός ακροδέκτης μεταξύ σήματος εισόδου-εξόδου, η είσοδος είναι μεταξύ Β-Ε, και η έξοδος μεταξύ C-E.
2. **Ενισχυτής Κοινής Βάσης**, όπου η βάση είναι γειωμένη, η πηγή σήματος εισόδου είναι στον εκπομπό, και η έξοδος (φορτίο) στο συλλέκτη.
3. **Ενισχυτής Κοινού Συλλέκτη**, όπου ο εκπομπός είναι γειωμένος, το σήμα εισόδου είναι στη βάση, και το φορτίο (έξοδος) είναι στον εκπομπό.

## **5.2 Περιγραφή και αναγνώριση διπολικών τρανζίστορ της εργαστηριακής άσκησης**

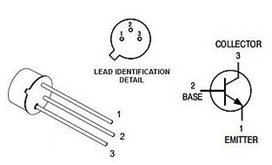
Για την εκτέλεση των ασκήσεων θα χρησιμοποιηθούν δύο διαφορετικά npn διπολικά τρανζίστορ πυριτίου: το BC547 ή το 2N2222.

Το BC547 διπολικό τρανζίστορ αποτελείται από το μαύρο περίβλημα (ΤΟ-92) και τους τρεις ακροδέκτες να βγαίνουν από τη μία του πλευρά. Το BC547 αναγράφεται στην επίπεδη πλευρά (που έχει χρώμα άσπρο ή ασημένιο). Κοιτώντας το BC547 από τη πλευρά που ‘βγαίνουν’ οι τρεις ακροδέκτες και με την επίπεδη πλευρά (άσπρη ή ασημένια) προς τα κάτω, τότε ο αριστερός ακροδέκτης είναι Εκπομπός (Ε), ο μεσαίος είναι η Βάση (Β) και ο δεξιός είναι ο Συλλέκτης (C).



**Διπολικό τρανζίστορ BC547 σε συσκευασία ΤΟ-92**

Το 2N2222 διπολικό τρανζίστορ βρίσκεται σε ένα ασημένιο ή αλουμινένιο περίβλημα (ΤΟ-18). Η ονομασία του τρανζίστορ αναγράφεται στην επιφάνεια του περιβλήματος. Ο ακροδέκτης του Εκπομπού (Ε) βρίσκεται εκεί όπου υπάρχει το ειδικό εξόγκωμα στο περίβλημα στη πλευρά που βγάνουν οι ακροδέκτες.



**Διπολικό τρανζίστορ 2Ν2222 σε συσκευασία ΤΟ-18**

Η αναγνώριση του διπολικού τρανζίστορ έγκειται στο να ελέγξουμε το τύπο του τρανζίστορ (εάν είναι **npn** ή **pnp)**, δηλαδή ποιος ακροδέκτης είναι E, B και C, αλλά και να δούμε κατά πόσο το τρανζίστορ που μας έχει δοθεί είναι σε καλή λειτουργική κατάσταση.

Επειδή το διπολικό τρανζίστορ **είναι δύο δίοδοι pn πλάτη-με-πλάτη**, η αναγνώριση του μπορεί να γίνει με τον ίδιο τρόπο με τον οποίο έγινε η αναγνώριση της διόδου στην αντίστοιχη εργαστηριακή άσκηση. Με τη χρήση του πολυμέτρου σαν ωμόμετρο και πατώντας το κουμπί (soft key) #3# που έχει την ένδειξη του συμβόλου της διόδου, μπορούμε να αναγνωρίσουμε πότε η επαφή, και κατ’ επέκταση η δίοδος, pn άγει και πότε όχι και έτσι να αποφανθούμε εάν το τρανζίστορ είναι npn ή pnp. Ο λόγος είναι ότι στη θέση #3# το ωμόμετρο κάνει χρήση της εσωτερικής πηγής τάσης που έχει και η οποία είναι μεγαλύτερη των ~0.6V. Η τάση 0.6V είναι η τάση αγωγής της διόδου pn ή των ακροδεκτών ΒΕ ενός npn διπολικού τρανζίστορ πυριτίου. Ετσι, όταν το κόκκινο καλώδιο του ωμομέτρου συνδεθεί με έναν ακροδέκτη, π.χ. ακροδέκτης ‘1’, του τρανζίστορ και το μαύρο καλώδιο του ωμομέτρου συνδεθεί με άλλο ακροδέκτη, π.χ. ακροδέκτης ‘2’, του τρανζίστορ και διαβάσουμε στην οθόνη του πολυμέτρου την ένδειξη ‘0.678V’ τότε σημαίνει ότι οι ακροδέκτες ‘1-2’ αντιστοιχούν σε μία ορθά πολωμένη επαφή διόδου p-n (‘1’=p και ‘2’=n). Όταν αντιστρέψουμε τη πολικότητα των καλωδίων του ωμομέτρου, τότε θα διαβάσουμε στην οθόνη ‘OL.’ (OverLoad) που σημαίνει δίοδο ανάστροφα πολωμένη και οι ακροδέκτες ‘1-2’ του τρανζίστορ αντιστοιχούν σε n-p επαφή διόδου (‘1’=n και ‘2’=p). Εάν και στις δύο περιπτώσεις η ένδειξη του πολυμέτρου είναι η ίδια (π.χ. ‘OL.’) τότε υπάρχει πρόβλημα με το τρανζίστορ και πρέπει να αντικατασταθεί.

Ανάλογη αναγνώριση του διπολικού τρανζίστορ μπορεί να γίνει με το ωμόμετρο στην ένδειξη ‘Ω’, αφού δίοδος ορθά πολωμένη παρουσιάζει χαμηλή αντίσταση (≈300-700Ω), ενώ δίοδος ανάστροφα πολωμένη έχει υψηλή αντίσταση (≈10-60kΩ). Ο λόγος της αντίστασης ορθής πόλωσης προς την αντίσταση ανάστροφης πόλωσης πρέπει να είναι μεγαλύτερος του 30:1. Οποιαδήποτε απόκλιση από τις πιο πάνω ενδεικτικές τιμές σημαίνει ότι το τρανζίστορ είτε έχει ρεύματα διαρροών είτε έχει σοβαρή βλάβη και θέλει αντικατάσταση.

**ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ**

## **5.3 ΕΞΟΙΚΕΙΩΣΗ ΜΕ ΤΟ ΔΙΠΟΛΙΚΟ ΤΡΑΝΖΙΣΤΟΡ ΕΠΑΦΗΣ (BJT)**

1. **Εργασία στο board**



1. **Σχ. 1:** Απλό κύκλωμα με npn τρανζίστορ
2. Στην άσκηση αυτή θα χρησιμοποιήσετε npn τρανζίστορ πυριτίου σε συσκευασία ΤΟ-18. Αναγνωρίστε τους ακροδέκτες του μέσω του πολυμέτρου.
3. Υλοποιήστε το κύκλωμα του Σχ. 1 στο board, χρησιμοποιώντας τα 12V από το τροφοδοτικό του εργαστηρίου (board) και μετρείστε τις πραγματικές τιμές των αντιστάσεων που θα χρησιμοποιήσετε.
4. Για VBB=0V, μετρείστε με το πολύμετρο τις τάσεις στα σημεία Βάσης (VΒ), Ε εκπομπού (VE) και Συλέκτη (VC) του κυκλώματος. Είναι το τρανζίστορ στην ενεργό περιοχή ή όχι και γιατί;
5. Μετρήστε τα ρεύματα IB, IC και IE. Συμφωνούν οι τιμές αυτές με τις αναμενόμενες από τη θεωρία;

***Υπενθύμιση****: Για την μέτρηση του ρεύματος γίνεται διακοπή του κυκλώματος και διαρροή του ρεύματος μέσα από το όργανο.*

1. Συμπληρώστε τον Πίνακα 2 καταγράφοντας όλα τα μεγέθη που μετρήσατε.
2. Επαναλάβατε τη διαδικασία και τις μετρήσεις για VBB=5V.

**ΠΙΝΑΚΑΣ 2**

|  |  |
| --- | --- |
| ΡΕΥΜΑΤΑ | ΤΑΣΕΙΣ |
| IC = | VC = |
| IB = | VB = |
| IE = | VE = |

1. Υλοποιήστε το κύκλωμα του Σχ. 2 στο board και επαναλάβατε τη διαδικασία μετρήσεων για VBB=0V και VBB=5V.
2. Αντικαταστήστε την τάση VBB με σήμα από τη γεννήτρια πλάτους 5V.Τι παρατηρείτε?



**Σχ. 2:** Απλό κύκλωμα με npn τρανζίστορ

**Α. Εργασία στο Multisim για το σπίτι (αναφορά 3)**

1. Πραγματοποιήστε το κύκλωμα του Σχ. 1 στο Multisim. Με την χρήση πολυμέτρων μετρήστε τις τάσεις VC,VB και VE , καθώς και τα ρεύματα IC, IB και IE και καταχωρήσετε αυτά στον Πίνακα 2. Ποια η περιοχή λειτουργίας του τρανζίστορ για VBB=0V και VBB=5V?
2. Επαναλάβετε τη διαδικασία μετρήσεων για το κύκλωμα του Σχ. 2.
3. Υλοποιήστε το ακόλουθο κύκλωμα (Σχήμα 3) στο multisim και επαναλάβετε τα παραπάνω βήματα. Σε ποια περιοχή λειτουργίας βρίσκεται το τρανζίστορ?
4. Από τα ρεύματα IB, IC και IE υπολογίστε τις τιμές : **α** και **β** του τρανζίστορ. Συμφωνούν οι τιμές αυτές με τις αναμενόμενες από τη θεωρία;



**Σχήμα 3**

1. Αναλύστε το παραπάνω κύκλωμα θεωρητικά, υπολογίζοντας τις τάσεις και τα ρεύματα στους ακροδέκτες του τρανζίστορ όπως κάναμε στη θεωρία. Επιβεβαιώνονται μέσω της θεωρίας οι πειραματικές μετρήσεις?
2. Εφαρμόστε στη βάση του τρανζίστορ εναλλασσόμενο σήμα πλάτους 1V και συχνότητας 100 Ηz. Παρατηρήστε τι σήμα θα λάβετε στην έξοδο του τρανζίστορ (συλλέκτης). Σχολιάστε.

###### ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

* 1. A. Sedra & K. Smith, “Microelectronic Circuits”, Vol. A, Saunders College Publishing (1991), μεταφρασμένο στα Ελληνικά από τις Εκδόσεις Παπασωτηρίου (1993).
  2. A.P. Malvino, “Electronics”, μεταφρασμένο στα Ελληνικά από τις Εκδόσεις Τζιόλας.
  3. R.C. Jaeger, “Microelectronics Circuit Design”, Vol. A, McGraw-Hill Companies, Inc., (1997), μεταφρασμένο στα Ελληνικά από τις Εκδόσεις Τζιόλας (1999).
  4. J. Millman, A. Grabel, “Microelectronics“, Vol. A, McGraw-Hill (1987), μεταφρασμένο στα Ελληνικά από τις Εκδόσεις Τζιόλας (1991).