

Ένα από τα βασικά προβλήματα των ηλεκτρονικών είναι ο διακοπτικός (υπάρχει /δεν υπάρχει ροή ρεύματος) έλεγχος ισχυρών ρευμάτων από ασθενή ρεύματα. Τα ισχυρά ρεύματα (που προκαλούνται από μεγάλες τάσεις ) χρειάζονται, για λειτουργήσουν τα «φορτία» που στη περίπτωση των αυτοματισμών ονομάζονται και «ενεργοποιητές». (Γενικά τα μεγάλα ηλεκτρικά φορτία διαρρέονται από μεγάλα ηλεκτρικά ρεύματα.)

- Το ασθενές ρεύμα του αισθητήρα πρέπει να ελέγξει το ισχυρό ρεύμα ενός σωληνοειδούς (πηνίο ηλεκτρομαγνήτη).
- Τα ασθενή ρεύματα των ψηφιακών ηλεκτρονικών πρέπει να ελέγξουν τα ισχυρά ρεύματα των λυχνιών των pixels ενός πίνακα τύπου dot matrix σ' ένα συναυλιακό χώρο.

Η έννοια των ισχυρών ρευμάτων, πάντως, είναι σχετική, ιδιαίτερα τώρα με την σμίκρυνση των ηλεκτρονικών εξαρτημάτων. Π.χ. ρεύμα της τάξεως των 100mA μπορεί να θεωρηθεί ισχυρό ρεύμα για μια πύλη NAND (SN7400) όπου το μέγιστο ρεύμα που μπορεί να **παρέχει** στην έξοδο όταν αυτή είναι σε κατάσταση LOW, είναι 16mA. Σε κατάσταση HIGH, το μέγιστο ρεύμα που μπορεί να **απορροφήσει** η έξοδος της πύλης, είναι 400mA.

**Προσοχή!!! Υπάρχουν λογικές πύλες που ούτε αυτό το ρεύμα των 16 mA δεν παρέχουν. Δηλαδή, το ρεύμα στην έξοδό τους, δεν αρκεί ούτε για να ανάψει ένα led. Χρειάζεται πάντα να ανατρέχουμε στα Datasheets των κατασκευαστών.**

Στις περισσότερες περιπτώσεις ο έλεγχος των ισχυρών ρευμάτων πρέπει να γίνει μέσω της εκτέλεσης του προγράμματος ενός μικροελεγκτή (MicroController Unit (MCU)). Εάν αυτός είναι το Arduino Uno module, τότε η Απόλυτη Μέγιστη Τιμή του ρεύματος που μπορεί να **παρέχει** ένας ακροδέκτης προγραμματισμένος σαν ψηφιακή έξοδος στη κατάσταση HIGH είναι 40mA. Στη πράξη, όμως, εάν ο ακροδέκτης παρέχει το ρεύμα συνεχώς, ευρισκόμενος σε μια σταθερή κατάσταση, η τιμή αυτή περιορίζεται στα 20mA. Ακόμα χειρότερα, δεν μπορούν όλες οι ψηφιακές έξοδοι του Arduino Uno module να **παρέχουν** 20mA ταυτόχρονα. Οι ψηφιακές έξοδοι ομαδοποιούνται σε σχέση με τη μέγιστη σωρευτική τιμή του ρεύματος που μπορούν να **παρέχουν** ταυτόχρονα. Για περισσότερες πληροφορίες δείτε το σχετικό Datasheet. Τυπικώς δεχόμαστε ότι όταν η ψηφιακή έξοδος είναι κατάσταση HIGH (5V), τότε αυτή μπορεί να **παρέχει** ρεύμα 20 mA.

## ΗΛΕΚΤΡΟΝΟΜΟΣ (RELAIS)

Ένα από τα παλαιότερα και ακόμα χρησιμοποιούμενο εξάρτημα σχετικά με τον έλεγχο ισχυρών ρευμάτων είναι ο ηλεκτρονόμος. Ακόμα και αυτός, όμως στην κλασσική μορφή χρειάζεται ισχυρό ρεύμα (μερικές δεκάδες mA) για να λειτουργήσει. Ένα άλλο μειονέκτημα που έχει ο ηλεκτρονόμος είναι ότι δεν μπορεί να ανοιγοκλείσει τις επαφές του πολλές φορές το δευτερόλεπτο. Περισσότερα για τους ηλεκτρονόμους μπορείτε να βρείτε [εδώ](#).

Προκειμένου να ελέγξουμε τον ηλεκτρονόμο (για να ελέγξουμε ένα ακόμη μεγαλύτερο φορτίο, μέσω αυτού) πρέπει να βρούμε το ρεύμα που τον διαρρέει στη σταθερή κατάσταση της ενεργοποίησης. Διευκρινίζεται ότι καθώς το τύλιγμα του ηλεκτρονόμου έχει επαγωγικό χαρακτήρα στην αρχική φάση της ενεργοποίησης παίρνει στιγμιαία μια μεγάλη τιμή που αρκετά γρήγορα σταθεροποιείται σε μια πολύ χαμηλότερη τιμή και είναι αυτή που μας ενδιαφέρει.

### Ευρεση του ρεύματος στη σταθερή κατάσταση της ενεργοποίησης αυτού:

α. Από το datasheet του κατασκευαστή βρίσκουμε την αντίσταση του τυλίγματος  $R_{COIL}$  και την τάση τροφοδοσίας του ηλεκτρονόμου  $V_{COIL}$ . Εφαρμόζουμε τον νόμο του Ωμ:

$$I_{COIL} = V_{COIL} / R_{COIL}$$

β. Μ' ένα Ωμμόμετρο μετράμε την αντίσταση του τυλίγματος του ηλεκτρονόμου  $R_{COIL}$  και γνωρίζοντας την τάση τροφοδοσίας αυτού  $V_{COIL}$  εφαρμόζουμε τον νόμο του Ωμ:

$$I_{COIL} = V_{COIL} / R_{COIL}$$

γ. Τροφοδοτούμε τον ηλεκτρονόμο με την ενδεδειγμένη τάση τροφοδοσίας και μετράμε με Αμπερόμετρο το ρεύμα που διαρρέει το τύλιγμα αυτού.

Υπενθυμίζεται η σύνδεση, παράλληλα με το τύλιγμα του ηλεκτρονόμου, διόδου με την κάθοδο αυτής συνδεδεμένη στον ακροδέκτη του τυλίγματος με το θετικότερο δυναμικό.

## ΗΛΕΚΤΡΟΝΟΜΟΣ (REED RELAY)

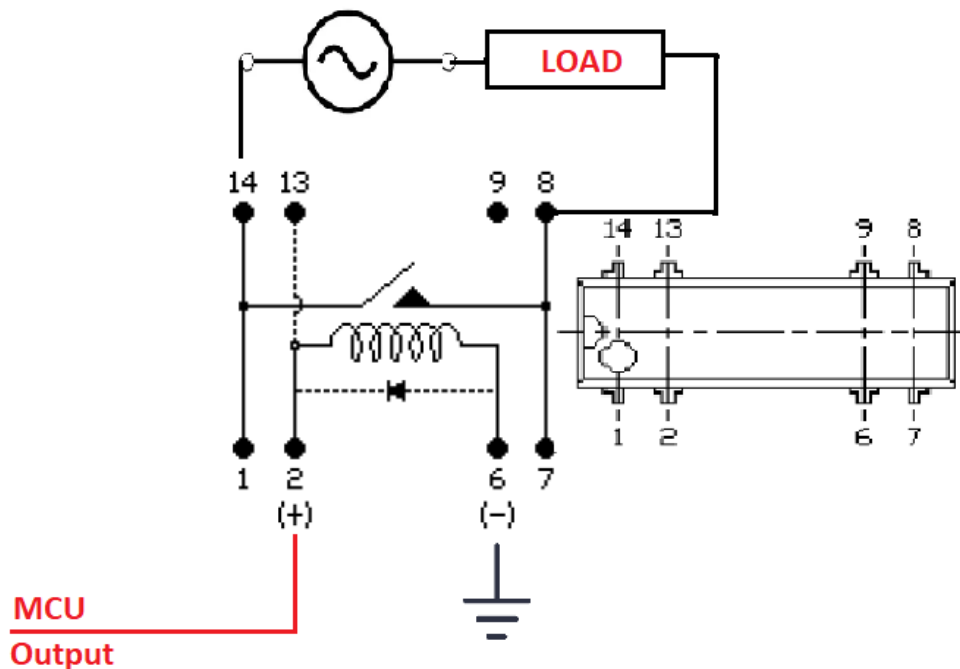
Ειδική περίπτωση ηλεκτρονόμων είναι αυτοί που αναφέρονται στις σελίδες 13 – 14 της προηγούμενης [πηγής πληροφοριών](#) οι οποίοι μπορούν να ενεργοποιηθούν και από στάθμες T.T.L..

Από το Datasheet (που φαίνεται παρακάτω) του EDR201A0500 βρίσκουμε ότι η τάση τροφοδοσίας είναι 5V και η αντίσταση του τυλίγματος είναι 500Ω.

### ● COIL RATING

Contact form	Nominal Voltage (VDC)	Max. Operate Voltage (VDC)	Pull-in Voltage (VDC)	Dropout Voltage (VDC)	※Coil Resistance(Ω)	Nominal input power(mW)
<b>1A</b>	5	16	3.75	0.8	500±10%	50
	12	20	9.00	1.0	1000±10%	144
	24	32	18.00	2.0	2150±10%	268

Από τον γνωστό μας τύπο:  $I_{COIL} = V_{COIL} / R_{COIL}$ , αντικαθιστώντας και κάνοντας τις πράξεις βρίσκουμε ότι το ρεύμα που τραβάει το τύλιγμα έχει τιμή 10 mA. Αρα μπορεί να οδηγηθεί από ένα μικροελεγκτή, όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα:



Τυπική διασύνδεση reed relay.

Η «ξηρή επαφή» (ποδαράκια: 8 και 14) μπορεί να υποστηρίξει μέγιστο ρεύμα 1A και μέγιστη τάση 100V.

Επειδή ο συγκεκριμένος ηλεκτρονόμος δεν διαθέτει ενσωματωμένη δίοδο πρέπει να συνδεθεί εξωτερική δίοδος με την κάθοδο αυτής συνδεδεμένη στον ακροδέκτη του τυλίγματος με το θετικότερο δυναμικό (ποδαράκι 2).

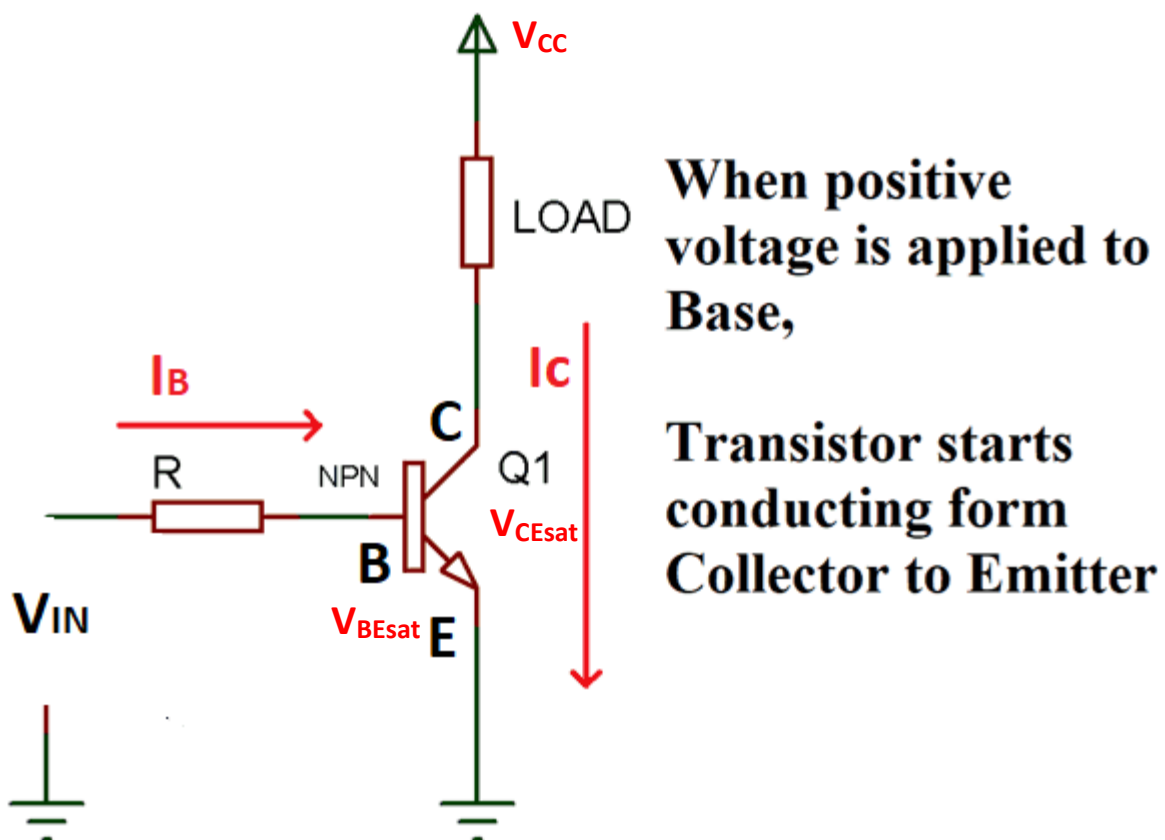
## ΔΙΠΟΛΙΚΟ TRANSISTOR

Μια άλλη επιλογή για τον ίδιο σκοπό είναι το transistor. Η βασική αρχή λειτουργίας αυτού, είναι ακριβώς αυτή:

με ένα πολύ μικρό ρεύμα που διαρρέει την επαφή Βάση – Εκπομπού, ελέγχουμε το πολύ μεγαλύτερο ρεύμα που διαρρέει τη διπλή επαφή Συλλέκτη – Βάση – Εκπομπό.

Αυτή ακριβώς είναι και η πραγματική σημασία της Ενίσχυσης:

- Δεν ενισχύω το ασθενές σήμα σ' ένα ισχυρότερο.
- Απλώς, το ασθενές σήμα **ελέγχει** μία αρκετά μεγαλύτερη τάση στο ρυθμό μεταβολής, αυτού, του ασθενούς σήματος. Αυτή η μεταβολή της μεγάλης τάσης αποτελεί το ενισχυμένο σήμα.



Τυπικό κύκλωμα συνδεσμολογίας transistor ως διακόπτης.

Στη παρούσα διερεύνηση δεν θα μελετήσουμε το transistor ως ενισχυτή που λειτουργεί στη **Γραμμική** περιοχή των Χαρακτηριστικών καμπυλών Εισόδου-Εξόδου. Οι δύο άλλες περιοχές λειτουργίας του transistor, για τις ίδιες Χαρακτηριστικές, είναι περιοχή **Αποκοπής** όπου δεν περνά κανένα ρεύμα από το transistor και η περιοχή **Κόρου** όπου το ρεύμα Συλλέκτη – Εκπομπού είναι μέγιστο και δεν μεταβάλλεται από την μεταβολή του ρεύματος Βάσης – Εκπομπού. Αυτές τις δύο περιοχές (**Αποκοπής** και **Κόρου**) λειτουργίας του transistor αξιοποιούμε για να λειτουργήσει αυτό ως διακόπτης.

(Για να είμαστε τυπικοί, η παραπάνω διατύπωση ισχύει για τα διπολικά transistors (bipolar) όταν αυτά έχουν συνδεσμοποιηθεί ως Ενισχυτές Κοινού Εκπομπού. Η συνδεσμολογία Ενισχυτού Κοινού Εκπομπού είναι η κλασική συνδεσμολογία για την περίπτωση που το transistor πρόκειται να χρησιμοποιηθεί ως διακόπτης.)

Οι παράμετροι, του transistor, που μας ενδιαφέρουν για να υπολογίσουμε τις τιμές των παραμέτρων των άλλων εξαρτημάτων του κυκλώματος διακόπτη που θέλουμε υλοποιήσουμε είναι:

- Το μέγιστο ρεύμα Συλλέκτη,  
 $I_{Cmax},$
- Η τάση Βάσης – Εκπομπού,  
 $V_{BE} \approx 0.6V - 0.7V$  (για transistor πυριτίου),
- Η τάση Συλλέκτη – Εκπομπού κατά τη λειτουργία του transistor στη περιοχή **Κόρου**,  
 $V_{CE(sat.)} \approx 0.2V - 0.5V,$
- Το κέρδος ρεύματος  $\beta$  ή  $h_{FE}$  σε σταθερή κατάσταση λειτουργίας του transistor (DC) για το οποίο ισχύει:

$$\beta \approx I_C / I_B,$$

όπου  $I_C$  και  $I_B$  τα ρεύματα Συλλέκτη και Βάσης, αντίστοιχα.

Συμπληρωματικά προς τις παραπάνω παραμέτρους υπάρχουν και κάποιες άλλες παράμετροι χρόνου, που αφορούν την ταχύτητα μετάβασης του transistor από την περιοχή **Αποκοπής** στη περιοχή **Κόρου** και το αντίθετο. Αυτές οι παράμετροι δεν θα μας απασχολήσουν εδώ, αφού στις συνήθεις εφαρμογές ελέγχου ισχυρών ρευμάτων δεν είναι κρίσιμος ο χρόνος μετάβασης από τη διακοπή στην αποκατάσταση αυτών των ρευμάτων (και το αντίστροφο).

Στον παρακάτω πίνακα (από το datasheet του κατασκευαστή) για τις Απολύτως Μέγιστες Τιμές κάποιων παραμέτρων του transistor 2N2222 παρατηρούμε ότι το Απολύτως Μέγιστο ρεύμα του Συλλέκτη έχει τιμή 800mA. Εννοείται, ότι στην πράξη, το ρεύμα του Συλλέκτη πρέπει να είναι κάτω από αυτή τη τιμή.

#### ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

Symbol	Parameter	Value	Unit
$V_{CBO}$	Collector-Base Voltage ( $I_E = 0$ )	75	V
$V_{CEO}$	Collector-Emitter Voltage ( $I_B = 0$ )	40	V
$V_{EBO}$	Emitter-Base Voltage ( $I_C = 0$ )	6	V
$I_C$	Collector Current	0.8	A
$P_{tot}$	Total Dissipation at $T_{amb} \leq 25^\circ C$ for <b>2N2219A</b> for <b>2N2222A</b> at $T_{case} \leq 25^\circ C$ for <b>2N2219A</b> for <b>2N2222A</b>	0.8	W
		0.5	W
		3	W
		1.8	W
$T_{stg}$	Storage Temperature	-65 to 200	$^\circ C$
$T_j$	Max. Operating Junction Temperature	175	$^\circ C$

Στον παρακάτω πίνακα (απόσπασμα) (πάλι από το datasheet του κατασκευαστή) για τα Ηλεκτρικά χαρακτηριστικά (στους 25°C) του transistor 2N2222 παρατηρούμε ότι, δυστυχώς, η παράμετρος κέρδος ρεύματος  $\beta$  ή  $h_{FE}$  δεν είναι καθόλου σταθερή.

Γενικότερα η παράμετρος αυτή εξαρτάται από:

- Τη τιμή του ρεύματος του Συλλέκτη,
- Τη τιμή της θερμοκρασίας του transistor,
- Τη τιμή της συχνότητας του σήματος εισόδου (συχνότητα μετάβασης από την περιοχή **Αποκοπής** στη περιοχή **Κόρου** και το αντίθετο), και
- Τις κατασκευαστικές ανοχές του transistor.

#### ELECTRICAL CHARACTERISTICS ( $T_{case} = 25^\circ C$ unless otherwise specified)

Symbol	Parameter	Test Conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit
$h_{FE}^*$	DC Current Gain	$I_C = 0.1\text{ mA}$ $V_{CE} = 10\text{ V}$	35			
		$I_C = 1\text{ mA}$ $V_{CE} = 10\text{ V}$	50			
		$I_C = 10\text{ mA}$ $V_{CE} = 10\text{ V}$	75			
		$I_C = 150\text{ mA}$ $V_{CE} = 10\text{ V}$	100			300
		$I_C = 500\text{ mA}$ $V_{CE} = 10\text{ V}$	40			
		$I_C = 150\text{ mA}$ $V_{CE} = 1\text{ V}$	50			
		$I_C = 10\text{ mA}$ $V_{CE} = 10\text{ V}$				
		$T_{amb} = -55^\circ C$	35			

\* Pulsed: Pulse duration = 300  $\mu s$ , duty cycle  $\leq 1\%$

Ας δούμε τώρα πως υπολογίζουμε θεωρητικά κάποιες παραμέτρους του transistor και την αντίσταση της Βάσης αυτού.

1. Η επιλογή του transistor γίνεται με κριτήριο το μέγιστο ρεύμα που διαρρέει τον Συλλέκτη  $I_{Cmax}$  (όπως αναφέρθηκε και παραπάνω) το οποίο πρέπει να είναι μεγαλύτερο από το ρεύμα του φορτίου. Δευτερεύουσες παράμετροι είναι και η μέγιστη τάση Συλλέκτη – Εκπομπού  $V_{CE}$ . Πολύ πιο σπάνια μας ενδιαφέρουν η συχνότητα μεταγωγής και οι σχετικοί παράμετροι χρονισμού που αφορούν περιπτώσεις πολύ γρήγορης ενεργοποίησης / απενεργοποίησης του φορτίου.
2. Εάν δεν γνωρίζουμε το ρεύμα του φορτίου, αλλά γνωρίζουμε την αντίσταση αυτού  $R_L$ , τότε μπορούμε να υπολογίσουμε το ρεύμα αυτό (που είναι και το ρεύμα συλλέκτη) από τον παρακάτω τύπο:

$$I_C = (V_{CC} - V_{CE(sat.)}) * R_L \text{ (Βλέπε προηγούμενο κύκλωμα)}$$

Όπου  $V_{CC}$  η τάση τροφοδοσίας του φορτίου.

3. Από τα datasheets βρίσκουμε  $V_{CE(sat.)}$  και  $V_{BE(sat.)}$  για την περιοχή ρευμάτων, τάσεων και θερμοκρασιών που μας ενδιαφέρει.

#### ELECTRICAL CHARACTERISTICS ( $T_{case} = 25^\circ C$ unless otherwise specified)

Symbol	Parameter	Test Conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit
$V_{CE(sat)}^*$	Collector-Emitter Saturation Voltage	$I_C = 150\text{ mA}$ $I_B = 15\text{ mA}$			0.3	V
		$I_C = 500\text{ mA}$ $I_B = 50\text{ mA}$			1	V
$V_{BE(sat)}^*$	Base-Emitter Saturation Voltage	$I_C = 150\text{ mA}$ $I_B = 15\text{ mA}$	0.6		1.2	V
		$I_C = 500\text{ mA}$ $I_B = 50\text{ mA}$			2	V

4. Από τον πρώτο πίνακα της προηγούμενης σελίδας βρίσκουμε την τιμή  $h_{FE}$  που ταιριάζει στη περίπτωση μας και για να βρούμε το ρεύμα Βάσεως του transistor εφαρμόζουμε τον τύπο:  $I_B = I_C / h_{FE}$ .
5. Από τον δεύτερο πίνακα της προηγούμενης σελίδας βρίσκουμε την τιμή  $V_{BE(sat.)}$  που ταιριάζει στη περίπτωση μας και για να βρούμε την αντίσταση Βάσεως του transistor εφαρμόζουμε τον τύπο:  $R_B = (V_{IN} - V_{BE(sat.)}) / I_B$ .  $V_{IN}$ , η τάση εξόδου του μικροελεγκτή.
6. Από τις διαθέσιμες αντιστάσεις του εμπορίου επιλέγουμε αυτήν με την πλησιέστερη τιμή προς την  $R_B$  (για ισχυρότερο κορεσμό του transistor μπορώ να επιλέξω και την αμέσως μικρότερη διαθέσιμη τιμή από την υπολογισθείσα).

Η παραπάνω διαδικασία, αποτελεί μια πρώτη θεωρητική προσέγγιση καθώς η τιμή της  $h_{FE}$  εξαρτάται και από άλλους παράγοντες.

Μια πιο εμπειρική προσέγγιση, για τα συνήθη transistors, είναι στο βήμα 4. να εφαρμόζουμε τον τύπο:  $I_B = I_C / 10$  ή πιο σωστά:  $I_B = (I_C / h_{FE}) * 2$  (ή και  $* 3$ ) για να επιτύχουμε ισχυρότερο κορεσμό (όπου  $h_{FE}$  η μικρότερη τιμή από το Datasheet).

7. Κατόπιν ακολουθεί μια πρώτη δοκιμαστική υλοποίησή του κυκλώματος αυτού π.χ. σ' ένα breadboard (prototyping) για να ελέγξουμε τη καλή του λειτουργία και ότι δεν υπερβαίνουμε τις μέγιστες τιμές ρευμάτων και τάσεων σε Βάση και Συλλέκτη. (Καθώς δεν χρησιμοποιούμε υψηλές συχνότητες το breadboard είναι επαρκές για τις δοκιμές μας.)
8. Αν κάποια από τις μετρήσεις υπερβαίνει κάποια από τις παραμέτρους του transistor, προχωράμε σε επαναυπολογισμό με αλλαγή του  $h_{FE}$  ή αλλάζουμε μοντέλο του διπολικού transistor.
9. Τέλος, βεβαιωνόμαστε ότι το ρεύμα Βάσης του transistor μπορεί να παρασχεθεί από την έξοδο του μικροελεγκτή.

Συνεχίζεται ...