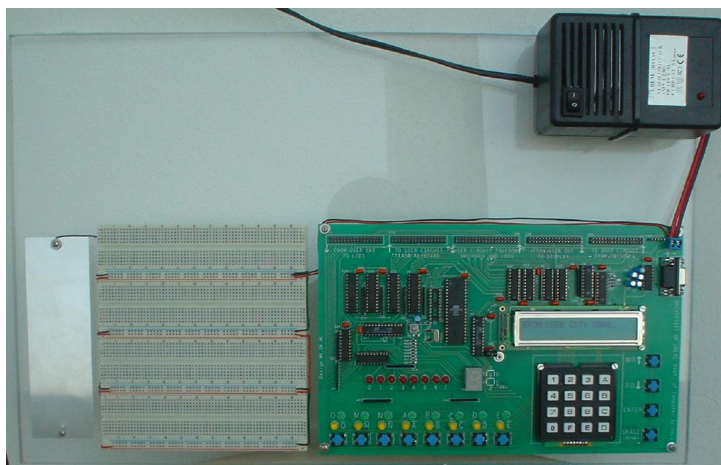


## Εργαστήριο 0: Γνωριμία με την Πλακέτα Συνδέσεων, LED, και Διακόπτες

Πέμπτη 25 - Παρασκευή 26 Σεπτεμβρίου 2008 (βδομάδα 1)

### 0.1 Η Βάση Πειραμάτων

Οι περισσότερες εργαστηριακές ασκήσεις του μαθήματος θα γίνουν πάνω στη βάση πειραμάτων που φαίνεται στη φωτογραφία δεξιά. Αυτή περιλαμβάνει, ξεκινώντας από εμπρός (κάτω) αριστερά, μιά αλουμινένια **γειωμένη πλακέτα**. Όπως θα πούμε αργότερα, θα πρέπει να ακουμπάτε το χέρι σας σ' αυτήν για να **εκφορτίζετε το στατικό ηλεκτρισμό** του σώματός σας πριν ακουμπήσετε ολοκληρωμένα κυκλώματα (chips) τύπου CMOS που είναι ευαίσθητα στον στατικό ηλεκτρισμό. Αμέσως δεξιά από τη γειωμένη πλακέτα υπάρχει η **πλακέτα γενικών συνδέσεων ("breadboard")**, μία άσπρη τρυπητή πλαστική βάση, την οποία θα χρησιμοποιήσετε σήμερα και την οποία περιγράφουμε παρακάτω στην § 0.2.



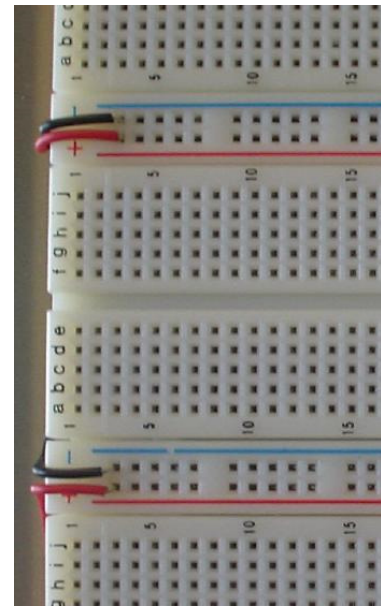
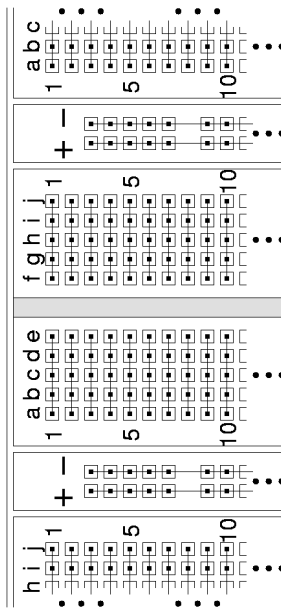
Εμπρός (κάτω) δεξιά υπάρχει η **πλακέτα εισόδων/εξόδων**: μιά πράσινη πλακέτα τυπωμένων κυκλωμάτων (PCB - printed circuit board) που έχει επάνω ολοκληρωμένα κυκλώματα (chips), κουμπιά (διακόπτες), ένα μικρό πληκτρολόγιο, ενδεικτικές λυχνίες LED, μία μικρή οθόνη υγρών κρυστάλλων (LCD - liquid crystal display), και ακροδέκτες συνδέσεων. Την πλακέτα αυτή θα την χρησιμοποιείτε σε επόμενες σειρές εργαστηριακών ασκήσεων για να δίνετε εισόδους στο κύκλωμά σας και για να παρακολουθείτε τις εξόδους του. Στο σημερινό εργαστήριο **δεν** θα την χρησιμοποιήσουμε: μην την ακουμπάτε, και κυρίως **μην ακουμπάτε σύρματα** πάνω της --κίνδυνος βραχυκυκλώματος!

Τέλος, πίσω (πάνω) δεξιά υπάρχει το **τροφοδοτικό (power supply)**, ένα μαύρο κουτί με ένα διακόπτη και μία κόκκινη ενδεικτική λυχνία, το οποίο αποτελεί την ηλεκτρική παροχή των κυκλωμάτων μας. Αυτό έχει μέσα του ένα μετασχηματιστή (transformer) για την αλλαγή από 220 Volt σε χαμηλή τάση, έναν ανορθωτή (rectifier) για την αλλαγή από εναλλασσόμενο ρεύμα (AC - alternating current) σε συνεχές ρεύμα (DC - direct current), και έναν ρυθμιστή τάσης (voltage regulator) που εξομαλύνει σε μεγάλο βαθμό τη στιγμιαία τάση εξόδου και την ρυθμίζει πολύ κοντά στα **πέντε (5) Volt**. Ο ρυθμιστής έχει και ενσωματωμένη προστασία υπερφόρτωσης (overload protection): όταν το ρεύμα που "τραβά" ο χρήστης (πλακέτα εισόδων/εξόδων και πλακέτα συνδέσεων) υπερβεί σημαντικά τα 3 Ampere, ο ρυθμιστής διακόπτει την παροχή, ρίχνοντας (σχεδόν) στο μηδέν την τάση τροφοδοσίας ούτως ώστε η καταναλούμενη ισχύς να μην υπερβαίνει ποτέ κατά πολύ τα 15 Watt, προκειμένου να αποφευχθούν υπερθερμάνσεις. Η τάση τροφοδοσίας μεταφέρεται με τα κόκκινα και μαύρα καλώδια στην πλακέτα εισόδων/εξόδων και στην πλακέτα συνδέσεων: το κόκκινο χρώμα συμβολίζει τον θετικό πόλο της τροφοδοσίας (+5 V), και το μαύρο χρώμα συμβολίζει τον αρνητικό πόλο (0 V, ή "γειώση" - ground).

Εάν κατά λάθος βραχυκυκλώσετε, στην πλακέτα συνδέσεων, το θετικό με τον αρνητικό πόλο της τροφοδοσίας, θα δείτε την πλακέτα εισόδων/εξόδων να σβήνει --ένδειξη ότι η προστασία υπερφόρτωσης μηδένισε την τάση τροφοδοσίας (κάτι σαν να "ρίξατε την ασφάλεια"): απομακρύνοντας το βραχυκύκλωμα, η τάση τροφοδοσίας επανέρχεται από μόνη της. Ο διακόπτης πάνω στο τροφοδοτικό χρησιμοποιείται για να σβήνετε την τάση τροφοδοσίας: όποτε κάνετε αλλαγές στο κύκλωμά σας (συνδέσεις - αποσυνδέσεις), κρατάτε την τροφοδοσία σβηστή.

## 0.2 Η Πλακέτα Συνδέσεων

Στη φωτογραφία φαίνεται ένα μέρος από την πλακέτα γενικών συνδέσεων (breadboard), από τη μέση αριστερά της. Κάθε τρυπίτσα αυτής της πλακέτας έχει μέσα δύο μεταλλικά ελάσματα, σαν μικρή πρίζα: όταν βάλουμε ένα λεπτό σύρμα μέσα στην τρύπα, τα ελάσματα κάνουν επαφή με αυτό το σύρμα. Τα ελάσματα της κάθε κατακόρυφης πεντάδας γειτονικών τρυπών είναι ενωμένα μεταξύ τους, όπως δείχνει το σχηματικό διάγραμμα, δίνοντας μας επομένως τη δυνατότητα να ενώνουμε ηλεκτρικά μεταξύ τους έως πέντε σύρματα ή ακροδέκτες συσκευών σε κάθε τέτοια στήλη. Ανάμεσα στις στήλες-πεντάδες υπάρχουν οριζόντιες γραμμές χρωματισμένες μπλέ ή κόκκινες: κάθε οριζόντια γραμμή έχει 50 τρύπες --δέκα οριζόντιες πεντάδες. Αυτές οι 50 τρύπες της κάθε γραμμής είναι επίσης ηλεκτρικά ενωμένες μεταξύ τους, απ' άκρη σ' άκρη. Στη βάση πειραμάτων μας, υπάρχουν έτοιμα, κολλημένα, μαύρα και κόκκινα σύρματα που τροφοδοτούν τις μπλέ γραμμές με γείωση (0 V - αρνητικός πόλος τροφοδοσίας) και τις κόκκινες γραμμές με 5 V (θετικός πόλος τροφοδοσίας).

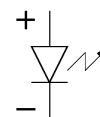


**Προσοχή - Θερμή Παράκληση:** αγαπάτε και προστατεύετε την περιουσία του εργαστηρίου, κρατάτε το καθαρό και τακτικό, και προσέχετε τι βάζετε μέσα στις τρύπες και πώς το βγάζετε μετά! (Τυχόν αδιαφορία σας στα θέματα αυτά θα τιμωρείται βαθμολογικά.)

- Απαγορεύονται το κάπνισμα, τα φαγητά, και τα υγρά μέσα στο Εργαστήριο.
- Τα σύρματα ή οι ακροδέκτες να είναι εντελώς **ευθύγραμμα** στο μέρος τους που μπαίνει μέσα στην τρύπα --όχι τσακισμένα, λυγισμένα, ή στριμμένα-- και να είναι καλά ενωμένα με το υπόλοιπο μέρος που μένει έξω --**όχι μισοκομμένα**.
- Εισάγετε τα σύρματα ευθύγραμμα προς τα κάτω, και όχι υπό γωνία: σκαλώνουν στις παρειές της υποδοχής. Μην τα ζουλάτε μέσα με τόση δύναμη ώστε να στραβώνουν.
- Όταν βγάζετε ένα σύρμα, τραβάτε το απαλά και κατακόρυφα, και κυρίως προσέχετε να **μην σας κοπεί** και μείνει μέσα στην τρύπα το μισό, διότι τότε αχρηστεύεται εκείνη η τρύπα για πάντα.
- Όταν κόβετε σύρματα μην τα κόβετε πάνω από την πλακέτα: κινδυνεύουν να σας πέσουν μικρά κομμάτια καλωδίων μέσα στις τρύπες και να τις βουλώσουν.
- Μην χρησιμοποιείτε σύρματα χονδρότερα του κανονικού: φθείρετε τα ελάσματα στις υποδοχές.
- Μην πειράζετε τα έτοιμα, κολλημένα σύρματα τροφοδοσίας.
- Στο τέλος κάθε εργαστηρίου σας, και **πριν φύγετε**, αποσυνδέετε προσεκτικά το κύκλωμά σας, τοποθετείτε τα σύρματα και τα εργαλεία δίπλα στην βάση πειραμάτων --το ίδιο **τακτικά** όσο θέλετε κι εσείς να τα βρίσκετε όταν έρχεστε-- και επιστρέφετε τα εξαρτήματα που σας έδωσε ο βοηθός στον ίδιο.

## 0.3 Οι Φωτοεκπομποί Δίοδοι (LED)

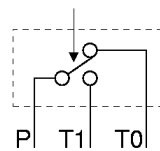
Η συχνότερη μορφή ενδεικτικής λυχνίας στις σύγχρονες ηλεκτρονικές συσκευές είναι η *φωτοεκπομπός δίοδος* (*LED - light-emitting diode*). Η πλακέτα εισόδων/εξόδων στη βάση πειραμάτων (§0.1) έχει κάμποσες τέτοιες στην κάτω αριστερή περιοχή της. Δεξιά φαίνεται μία LED σε φωτογραφία, και δίπλα το ηλεκτρονικό της σύμβολο. Σε αντίθεση με τις πηγές φωτός οικιακής χρήσης, οι LED λειτουργούν με χαμηλή τάση τροφοδοσίας και σε θερμοκρασία περιβάλλοντος (αντίθετα από τις λυχνίες πυρακτώσεως), και εκπέμπουν το φως μέσα από στερεό υλικό (αντίθετα από το αέριο των λυχνιών φθορισμού). Στο εργαστήριό μας θα χρησιμοποιείτε LED's σαν ενδείκτες της τάσης εξόδου των διαφόρων συσκευών, δηλαδή για να βλέπετε τότε το κύκλωμά σας βγάζει ψηλή τάση και τότε χαμηλή.



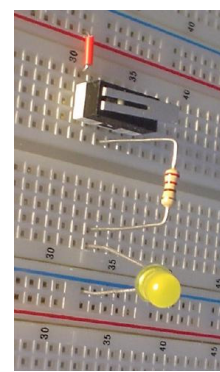
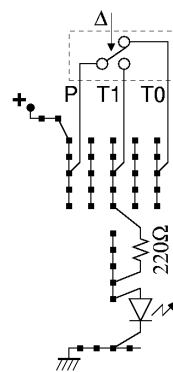


### Πείραμα 0.5: LED υπό τον Έλεγχο Διακόπτη

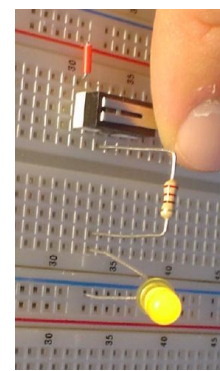
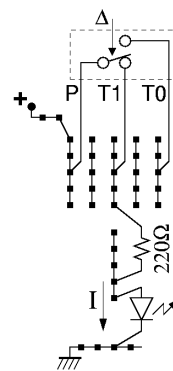
Τα ψηφιακά συστήματα, όπως θα πούμε την επόμενη βδομάδα, κατασκευάζονται με κυκλώματα που λειτουργούν σαν διακόπτες. Στα υπόλοιπα σημερινά πειράματα θα χρησιμοποιήσετε διακόπτες σαν αυτόν της φωτογραφίας δεξιά. Πρόκειται για διακόπτη τύπου **κουμπιού** (μπουτόν - button): όταν τον πατάμε αλλάζει κατάσταση, αλλά μόλις τον αφήσουμε ένα ελατήριο τον επαναφέρει στην αρχική του κατάσταση --δηλαδή δεν έχει "μνήμη". Επίσης, πρόκειται για διακόπτη με τρεις ακροδέκτες, τύπου **SPDT** - Single Pole - Double Throw (απλός πόλος - διπλή επαφή): το ηλεκτρικό σύμβολό του και η λειτουργία του φαίνονται στο σχήμα: όταν πιέζουμε, ο διακόπτης περιστρέφεται γύρω από έναν πόλο, αποκολλάται από μιάν επαφή, και ακουμπάει σε μιάν άλλη. Ο αριστερός ακροδέκτης, P, είναι ο "κοινός" πόλος, και αυτός κάνει συνήθως επαφή με τον ακροδέκτη T0 (δεξιά στη φωτογραφία), ενώ **δεν** κάνει επαφή με τον T1· όταν όμως πατιέται ο διακόπτης, τότε ο κοινός πόλος P διακόπτεται με τον T0 και κάνει επαφή με τον τρίτο ακροδέκτη, T1, στη μέση.



Φτιάξτε στο εργαστήριο το κύκλωμα που φαίνεται στη φωτογραφία δεξιά: πριν αρχίσετε, **σβήστε** την τροφοδοσία. Παρατηρήστε ότι ο διακόπτης Δ είναι τοποθετημένος "οριζόντια" στην πλακέτα συνδέσεων, ούτως ώστε οι ακροδέκτες του να μπαίνουν σε τρύπες διαφορετικών πεντάδων καθένα: αν τον βάζαμε "κατακόρυφα", οι ακροδέκτες του θα έμπαιναν στην ίδια πεντάδα και οι τρεις, με αποτέλεσμα να βραχυκυκλώνονται μεταξύ τους. Οι αποστάσεις των ακροδεκτών του διακόπτη είναι τέτοιες ώστε αυτοί να μπαίνουν "τρύπα-παρα-τρύπα" στην πλακέτα. Ο πόλος P του Δ, στην αριστερή πεντάδα τρυπών, συνδέεται (με ένα μικρό κόκκινο σύρμα) με την θετική τάση τροφοδοσίας: κατά συνέπεια, ανάλογα με την κατάσταση του διακόπτη, η θετική αυτή τάση τροφοδοσίας θα φτάνει άλλοτε στον ακροδέκτη T0 του διακόπτη και άλλοτε στον T1. Σε αυτό εδώ το πείραμα, το υπόλοιπο κύκλωμα συνδέεται στον T1 και μόνο, στην δεύτερη πεντάδα δεξιά από τον πόλο P: πρόκειται απλώς για το κύκλωμα του παραπάνω πειράματος 0.4 για το άναμα της LED. Όταν τελειώστε την κατασκευή, ανάψτε την τροφοδοσία και βεβαιωθείτε αμέσως ότι η LED δεν ανάβει υπερβολικά ώστε να καεί.



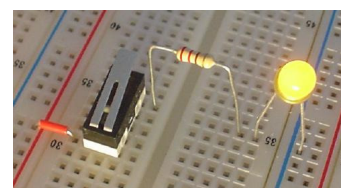
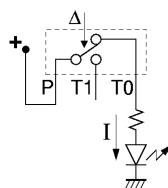
Στο παραπάνω κύκλωμα, αφήνοντας το διακόπτη Δ ελεύθερο (όχι πατημένο), η λυχνία **δεν** ανάβει, διότι ο πόλος P που έχει την θετική τροφοδοσία δεν κάνει επαφή με τον ακροδέκτη T1 που τροφοδοτεί τη λυχνία (ο P κάνει επαφή με τον T0, αλλά αυτός δεν τροφοδοτεί τίποτα). Αν όμως πατηθεί ο διακόπτης, όπως στη νέα φωτογραφία δεξιά, τότε ανάβει η λυχνία, διότι οι ηλεκτρικές επαφές αλλάζουν όπως φαίνεται στο νέο σχήμα: ο πόλος P τώρα κάνει επαφή με τον ακροδέκτη T1, και μέσω αυτού και της αντίστασης τροφοδοτεί με ρεύμα I την LED· η ένταση I ρυθμίζεται από την αντίσταση των 220 Ω, όπως και παραπάνω (§0.4), αφού ο διακόπτης Δ που μπαίνει εν σειρά με αυτήν έχει μηδαμινή αντίσταση σε σχέση με τα 220 Ω. Συνολικά λοιπόν, σε αυτό το κύκλωμα, βλέπουμε ότι η ενδεικτική λυχνία LED ανάβει όποτε πατιέται ο διακόπτης Δ· επομένως, οι φράσεις "LED ανάβει" και "Δ πατημένος" είναι ισοδύναμες, δηλαδή είναι πάντα ή και οι δύο αληθείς ή και οι δύο ψευδείς --ας το συμβολίσουμε απλά ως εξής:



$$(LED \text{ ανάβει}) = (\Delta \text{ πατημένος})$$

### Πείραμα 0.6: Ο Ακροδέκτης T0 - το Λογικό ΟΧΙ

Αφού πρώτα σβήστε την τροφοδοσία, αλλάξτε το προηγούμενο κύκλωμα της §0.5 ούτως ώστε η LED να τροφοδοτείται (πάντα μέσω της γνωστής αντίστασης) από τον ακροδέκτη T0 του διακόπτη αντί από τον T1 όπως πριν. Όπως φαίνεται στη φωτογραφία δεξιά, για να το κάνετε αυτό αρκεί να μετακινήσετε τον επάνω ακροδέκτη της αντίστασης δύο τρυπίτσες δεξιά.



Ανάψτε την τροφοδοσία: τώρα η LED ανάβει με ελεύθερο (όχι πατημένο) το διακόπτη Δ, διότι η τάση

τροφοδοσίας, από τον πόλο P, περνά στον ακροδέκτη T0, και από εκεί μέσω της αντίστασης προκαλεί ρεύμα I που διαρρέει και ανάβει την LED.

Αν τώρα πατηθεί ο διακόπτης Δ, όπως στην επόμενη φωτογραφία, τότε η λυχνία σβήνει, διότι, όπως δείχνει το νέο σχήμα, ο πόλος P αποσυνδέεται από το T0 (και συνδέεται στο T1), κι έτσι δεν υπάρχει ρεύμα προς την LED. Συνολικά λοιπόν, σε αυτό το κύκλωμα, βλέπουμε ότι, *αντίστροφα από το προηγούμενο*, η ενδεικτική λυχνία LED ανάβει όποτε **δεν** πατιέται ο διακόπτης Δ. Αυτή είναι η υλοποίηση της πρώτης από τις τρεις βασικές λογικές πράξεις της ψηφιακής σχεδίασης: του *Λογικού ΟΧΙ*. Τώρα, οι φράσεις "LED ανάβει" και "ο Δ δεν είναι πατημένος" είναι ισοδύναμες, δηλαδή είναι πάντα ή και οι δύο αληθείς ή και οι δύο ψευδείς· μπορούμε να το συμβολίσουμε ως εξής:

$$(LED \text{ ανάβει}) = \text{ΟΧΙ} (\Delta \text{ πατημένος})$$

### Πείραμα 0.7: Διακόπτες εν Σειρά - το Λογικό ΚΑΙ

Κατασκευάστε το διπλανό κύκλωμα (σβήνοντας πρώτα την τροφοδοσία): επαναφέρετε την αντίσταση στον ακροδέκτη T1 του διακόπτη (έστω ότι είναι ο διακόπτης B στο κύκλωμα), και προσθέστε έναν άλλο διακόπτη, A, *εν σειρά* με τον B --δηλαδή για να περάσει ρεύμα μέσα από το συνδυασμό των δύο διακοπών πρέπει να περάσει *στη σειρά* και από τον A και από τον B. Μεταφέρετε την θετική τροφοδοσία (κόκκινο συρματάκι) στον πόλο P του διακόπτη A, και συνδέστε (κίτρινο σύρμα στη φωτογραφία) τον ακροδέκτη T1 του διακόπτη A στον πόλο P του διακόπτη B. Ανάψτε την τροφοδοσία και ελέξτε τη λειτουργία του κυκλώματος.

Όταν οι δύο διακόπτες είναι ελεύθεροι (όχι πατημένοι), όπως στην παραπάνω φωτογραφία, η λυχνία δεν ανάβει, διότι δεν μπορεί να περάσει ρεύμα και να την τροφοδοτήσει, ούτε προς τον ακροδέκτη T1 του διακόπτη A, ούτε αντίστοιχα και στον B. Στη συνέχεια, πατήστε έναν από τους δύο διακόπτες --μόνο τον A, ή, όπως στη δεύτερη φωτογραφία, δεξιά, μόνο τον B· η LED συνεχίζει να μην ανάβει, διότι ναι μεν τώρα μπορεί να περάσει ρεύμα από τον έναν διακόπτη, όμως δεν μπορεί να περάσει από τον άλλον, όπως δείχνει το σχήμα.

Γιά να περάσει ρεύμα μέσα από την LED και αυτή να ανάβει, υπάρχει ένας και μοναδικός δρόμος, ο οποίος περνάει μέσα από τις επαφές T1 και των δύο διακοπών, επομένως μπορεί να αποκατασταθεί μόνον όταν πατηθούν και οι δύο διακόπτες, A και B, όπως δείχνει η τρίτη φωτογραφία και το αντίστοιχο σχήμα.

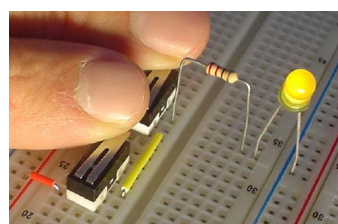
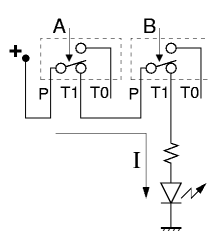
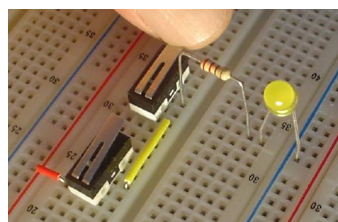
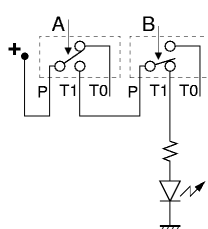
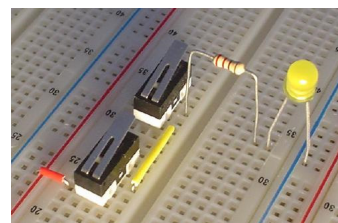
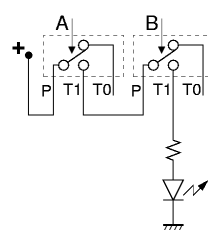
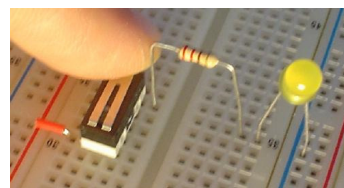
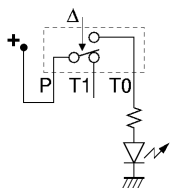
Επομένως, βλέπουμε ότι το κύκλωμα αυτό υλοποιεί τη δεύτερη από τις τρεις βασικές λογικές πράξεις της ψηφιακής σχεδίασης --το *Λογικό ΚΑΙ*:

$$(LED \text{ ανάβει}) = (A \text{ πατημένος}) \text{ ΚΑΙ } (B \text{ πατημένος})$$

#### **Πότε σβήνει η LED;**

Παρατηρήστε ότι στο κύκλωμα αυτό **δεν** ανάβει η LED όποτε υπάρχει τουλάχιστον ένας διακόπτης που δεν είναι πατημένος, δηλαδή όποτε ή ο A ή ο B (ή και οι δύο) είναι "όχι πατημένος(οι)":

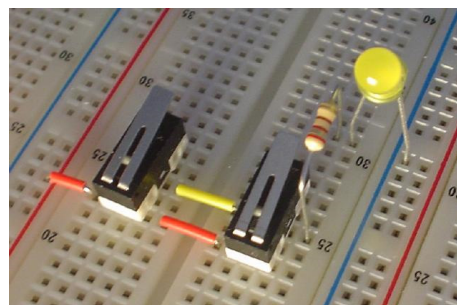
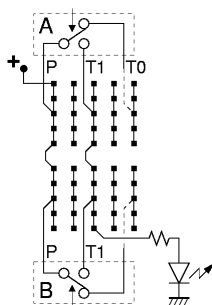
$$\text{ΟΧΙ } (LED \text{ ανάβει}) = \text{ΟΧΙ} [(A \text{ πατημένος}) \text{ ΚΑΙ } (B \text{ πατημένος})] = [\text{ΟΧΙ} (A \text{ πατημένος})] \text{ Ή } [\text{ΟΧΙ} (B \text{ πατημένος})]$$



Την ιδιότητα αυτή θα την ξαναδούμε αργότερα στο μάθημα με τα ονόματα "Θεώρημα DeMorgan" και "Αρχή του Δυϊσμού". Η λογική πράξη  $\neg$  είναι η μορφή της διάζευξης "ή" που σημαίνει "ή ο ένας ή ο άλλος ή και οι δύο", και θα την δούμε στο αμέσως επόμενο πείραμα.

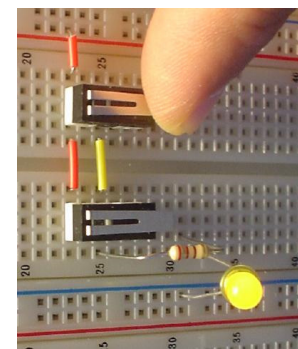
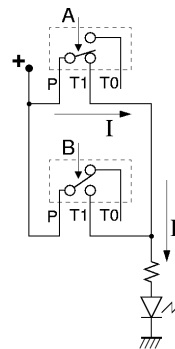
### **Πείραμα 0.8: Διακόπτες εν Παραλλήλω - το Λογικό $\neg$**

Αλλάξτε τώρα το κύκλωμα (ή φτιάξτε ένα δεύτερο) (αφού κλείσετε την τροφοδοσία) ώστε οι δύο διακόπτες, A και B, να συνδέονται **εν παραλλήλω**, όπως φαίνεται στη φωτογραφία και στο σχήμα δεξιά: το ρεύμα μπορεί να περάσει "παράλληλα" ή από τον έναν, ή από τον άλλον, ή και από τους δύο διακόπτες. Η θετική πηγή, μέσω των δύο κόκκινων καλωδίων, τροφοδοτεί τους πόλους P και των δύο διακοπτών· οι ακροδέκτες T1 των δύο διακοπτών ενώνονται μεταξύ τους με το κίτρινο σύρμα, και επίσης ενώνονται και τροφοδοτούν (ή ο ένας, ή ο άλλος, ή και οι δύο) την αντίσταση και στη συνέχεια την LED. Οι ακροδέκτες T0 είναι ασύνδετοι και δεν χρησιμοποιούνται.



Ανάψτε την τροφοδοσία και ελέξτε τη λειτουργία του κυκλώματος: με τους δύο διακόπτες ελεύθερους (όχι πατημένους), η LED δεν ανάβει --για να ανάβει θα έπρεπε να περνούσε ρεύμα προς τους ακροδέκτες T1, αλλά με ελεύθερους τους διακόπτες δεν μπορεί να περάσει, ούτε από τον A ούτε από τον B.

Εάν τώρα πατήσουμε έναν διακόπτη, π.χ. τον A όπως στη φωτογραφία και το σχήμα δίπλα, η LED ανάβει, διότι περνάει ρεύμα από τον πόλο P του A προς τον T1 του A και από εκεί προς την αντίσταση και την LED. Το ίδιο συμβαίνει και αν πατήσουμε τον B, διότι περνάει ρεύμα από τον πόλο P του B προς τον T1 του B και από εκεί πάλι προς την LED. Αρκεί να πατηθεί ένας οποιοσδήποτε από τους διακόπτες για να ανάψει η LED, επειδή αυτοί συνδέονται **εν παραλλήλω**: οιοσδήποτε από τους δύο κλείνει κύκλωμα από την θετική τροφοδοσία προς την αντίσταση και την LED. Φυσικά, αν πατηθούν και οι δύο διακόπτες, επίσης θα ανάψει η LED, διότι περνάει ρεύμα και από τους δύο διακόπτες, **εν παραλλήλω**, προς την LED.



Επομένως, βλέπουμε ότι το κύκλωμα αυτό υλοποιεί την τρίτη από τις τρεις βασικές λογικές πράξεις --το *Λογικό H*, όπου η διάζευξη "ή" σημαίνει "ή ο ένας ή ο άλλος ή και οι δύο":

$$(LED \text{ ανάβει}) = (A \text{ πατημένος}) \vee (B \text{ πατημένος})$$

#### **Πότε σβήνει η LED;**

Παρατηρήστε ότι στο κύκλωμα αυτό **δεν** ανάβει η LED μόνον όταν δεν είναι πατημένος κανένας διακόπτης, δηλαδή όταν είναι ελεύθεροι (όχι πατημένοι) και ο A και ο B:

$$\begin{aligned} \text{OXI (LED ανάβει)} = \\ \text{OXI [(A πατημένος) \vee (B πατημένος)]} = [\text{OXI (A πατημένος)}] \text{ \textbf{ΚΑΙ} } [\text{OXI (B πατημένος)}] \end{aligned}$$

Η ιδιότητα αυτή είναι το δεύτερο (δυϊκό) ήμισυ του θεωρήματος DeMorgan ή της αρχής του Δυϊσμού που λέγαμε παραπάνω και που θα δούμε αργότερα στο μάθημα.