

Ασκήσεις και Εργαστήριο 4: Παλμογεννήτρια, Παλμογράφος, και Κύκλωμα RC

8, και 9 έως 11 Μαρτίου 2010 (βδομάδα 5)

- Διαβάστε το πρώτο μέρος του κεφαλαίου 4 του βιβλίου, δηλαδή τις ενότητες 4.1-4.4 (σελ. 263-311) σχετικά με τη μεταβατική απόκριση κυκλωμάτων πρώτης τάξης, δηλαδή που περιέχουν μόνο ένα στοιχείο αποθήκευσης ενέργειας (πυκνωτή ή πηνίο), και συγκεκριμένα:
 - §4.1: Μικρή, εισαγωγική.
 - §4.2: Εισαγωγική, χωρίς βαθιές ιδέες: χρήση των γνωστών κανόνων ρευμάτων/τάσεων Kirchhoff για τη διατύπωση --αλλά όχι ακόμα για τη λύση-- των διαφορικών εξισώσεων.
 - §4.3: Αρχικές και τελικές συνθήκες: σημαντικό και εύκολο.
 - §4.4: Η "καρδιά" του θέματος: η μεταβατική συμπεριφορά των κυκλωμάτων πρώτης τάξης - η λύση των διαφορικών εξισώσεων, και παραδείγματα χρήσης - κυρίως οι σελίδες 282-308.
- Λύστε τις εξής **Ασκήσεις** από το βιβλίο (σελίδες 347-349), και παραδώστε τις λύσεις σας τη **Δευτέρα 8 Μαρτίου στο μάθημα: 4.22, 4.23, 4.25** (πάνω στο θέμα των αρχικών/τελικών συνθηκών) και **4.34, 4.35** (πάνω στη μεταβατική συμπεριφορά κυκλωμάτων πρώτης τάξης).

4.1 Η Παλμογεννήτρια

Οι παλμογεννήτριες είναι πηγές τάσης μεταβαλλόμενης περιοδικά με το χρόνο. Οι παλμογεννήτριες του εργαστηρίου είναι της εταιρείας *GW Instek*, μοντέλο *GFG-8020H*, με δυνατότητα γέννησης ημιτονοειδούς σήματος, ή τριγωνικών ή τετραγωνικών παλμών, και για συχνότητες από 0.2 Hz μέχρι 2 MHz για ημιτονοειδή και τριγωνικά σήματα, και μέχρι 100 kHz για τετραγωνικούς παλμούς. Μελετήστε την όψη, τις προδιαγραφές, και τις οδηγίες λειτουργίας τους στο <http://www.gwinstek.com.tw/en/product/productdetail.aspx?pid=5&mid=73&id=105> (τοπικό αντίγραφο: [PDF](#)) --ιδιαίτερα τις σελίδες 5-12 του εγχειριδίου χρήσης.

Πέρα από την επιλογή του σχήματος της κυματομορφής και τη ρύθμιση της συχνότητας (δηλ. της περιόδου) της, παρέχεται η δυνατότητα να ρυθμίζει ο χρήστης και το πλάτος (την τάση) της εξόδου, καθώς και μία σταθερή τάση ("DC offset") που προστίθεται στην κυματομορφή εξόδου. Επιπλέον, για τον τετραγωνικό παλμό, υπάρχει η δυνατότητα να αλλάξει ο χρήστης τη διάρκεια της μίας από τις δύο υποπεριόδους, ενώ η άλλη παραμένει σταθερή, αλλάζοντας έτσι το ποσοστό του χρόνου που η έξοδος είναι υψηλή έναντι εκείνου που είναι χαμηλή ("duty cycle").

4.2 Ο Παλμογράφος

Οι παλμογράφοι (oscilloscopes) είναι όργανα μέτρησης μέσω γραφικής απεικόνισης τάσεων περιοδικά μεταβαλλόμενων με το χρόνο. Η βασική αρχή λειτουργίας τους είναι ως εξής. Ας θεωρήσουμε πρώτα το ένα από τα --συνήθως πολλαπλά-- κανάλια του οργάνου. Μία λεπτή δέσμη ηλεκτρονίων χτυπά μία φωσφορίζουσα οθόνη, προκαλώντας μία φωτεινή κυλίδα στο σημείο πρόσκρουσης, όπως συνέβαινε και με τις παλαιές τηλεοράσεις (CRT - cathode ray tube). Μία τάση "οριζόντιας σάρωσης", γραμμικά μεταβαλλόμενη με το χρόνο, κινεί την κυλίδα οριζόντια, με σταθερή ταχύτητα κίνησης· η "σάρωση" αυτή επαναλαμβάνεται πολλές φορές το δευτερόλεπτο, ούτως ώστε το ανθρώπινο μάτι τελικά να βλέπει μία γραμμή (ή έναν αριθμό από γραμμές) που αποτελεί το σύνολο των σημείων από τα οποία πέρασε η δέσμη. Η ταχύτητα της οριζόντιας κίνησης (σάρωσης) είναι ρυθμιζόμενη, και καθορίζει την οριζόντια κλίμακα της γραφικής αναπαράστασης· π.χ. κλίμακα 1 μs/div (μικροδευτερόλεπτο ανά division -

υποδιαίρεση) σημαίνει ότι ένα φαινόμενο που απεικονίζεται με οριζόντιο μήκος τριών υποδιαίρεσεων διαρκεί 3 μ s.

Ταυτόχρονα με την οριζόντια κίνηση της κυλίδας, μία τάση "κατακόρυφης απόκλισης" κινεί την κυλίδα κατακόρυφα, κατά απόσταση ανάλογη προς μάν εξωτερική τάση εισόδου. Η συνδυασμένη οριζόντια και κατακόρυφη κίνηση της κυλίδας γεννά στην οθόνη μάν αναπαράσταση της τάσης εισόδου για κάθε χρονική στιγμή. Η κλίμακα κατακόρυφης απόκλισης είναι ρυθμιζόμενη π.χ. με κλίμακα 1 V/div, κυματομορφή πλάτους 2 υποδιαίρεσεων αντιστοιχεί σε τάση που ποικίλει κατά 2 Volts. Πολλοί από τους ακροδέκτες που χρησιμοποιούνται με τους παλμογράφους **υποδεκαπλασιάζουν** την τάση εισόδου τους (γιά να έχουν μεγάλη αντίσταση εισόδου με καλή απόκριση συχνοτήτων), οπότε αυτό επηρεάζει την κατακόρυφη κλίμακα που τελικά βλέπουμε στην οθόνη.

Εάν η τάση εισόδου δεν είναι επαναλαμβανόμενη στο χρόνο (εάν δεν είναι περιοδική), τότε η κυλίδα κινείται μία φορά σε μία τροχιά A, και τις επόμενες φορές σε άλλη ή άλλες τροχιές B· τότε όμως, επειδή η κίνηση A ήταν πολύ μικρής διάρκειας, το ανθρώπινο μάτι δεν προλαβαίνει να την δει, κι έτσι αυτή "χάνεται". Γιά να μπορούμε λοιπόν να δούμε σταθερά μία γραφική απεικόνιση, πρέπει η κυματομορφή εισόδου να επαναλαμβάνεται περιοδικά στο χρόνο, και πρέπει και η οριζόντια σάρωση να ξεκινά πάντα από *αντίστοιχο "σταθερό"* σημείο αυτής της κυματομορφής. Αυτό το τελευταίο επιτυγχάνεται με κατάλληλο **"σκανδαλισμό" (triggering)** της οριζόντιας σάρωσης: η οριζόντια σάρωση, γιά να ξεκινήσει, περιμένει έως ότου μία επιλεγμένη τάση εισόδου φτάσει σε ορισμένη τιμή (και με ορισμένη κατεύθυνση -- ανερχόμενη ή κατερχόμενη). Έτσι, π.χ., αν παρακολουθούμε ένα σήμα που ποικίλει από 0 έως 2 V και ρυθμίσουμε την τάση σκανδαλισμού στο 1 V ανερχόμενης ακμής, η αναπαράστασή μας θα αρχίζει, στην αριστερή άκρη της οθόνης, πάντα τη στιγμή που η επιλεγείσα τάση ξαναπερνά ανερχόμενη από το 1 V.

Οι περισσότεροι παλμογράφοι έχουν δύο ή περισσότερα **κανάλια** εισόδου: κάθε κανάλι αντιστοιχεί σε διαφορετική τάση εισόδου, και η οριζόντια σάρωση επαναλαμβάνεται άλλοτε γιά το ένα κι άλλοτε γιά το άλλο κανάλι εισόδου, σε διαφορετική (και ρυθμιζόμενη) κατακόρυφη θέση το καθένα, αλλά με κοινή χρονική αφετηρία και γιά τα δύο --αυτήν που ορίζει ο *κοινός και γιά τα δύο σκανδαλισμός*. Έτσι, μπορούμε και βλέπουμε στην οθόνη, γιά κάθε χρονική στιγμή, δύο ή περισσότερες τάσεις του κυκλώματός μας (τόσες όσα και τα κανάλια) και τη συσχέτιση που αυτές πιθανόν έχουν μεταξύ τους. Όταν θέλουμε να βλέπουμε και τα δύο κανάλια συγχρόνως επιλέγουμε "DUAL" mode, αλλιώς επιλέγουμε "CH1" or "CH2" mode γιά να βλέπουμε το κανάλι 1 ή το κανάλι 2 μόνον. Παρέχεται επίσης η δυνατότητα να βλέπει ο χρήστης μία μόνο καμπύλη η οποία να είναι το *άθροισμα* ή η *διαφορά* των τάσεων των δύο καναλιών εισόδου, σε κάθε χρονική στιγμή, επιλέγοντας "ADD" mode, με αναστροφή ή μη της τάσης του δεύτερου καναλιού. Η τάση οριζόντιου σκανδαλισμού μπορούμε να επιλέξουμε να είναι είτε η είσοδος του καναλιού 1 είτε αυτή του καναλιού 2. Κάθε τάση θεωρείται ότι είναι το άθροισμα μίας σταθερής συνιστώσας (DC - συνεχές) και μίας εναλλασσόμενης συνιστώσας (AC - εναλλασόμενο). Μπορούμε να επιλέξουμε να τις βλέπουμε και τις δύο, δηλαδή αυτούσια την τάση εισόδου, μέσω "DC coupling", ή να βλέπουμε μόνο την εναλλασσόμενη συνιστώσα, μέσω "AC coupling": το δεύτερο είναι χρήσιμο π.χ. αν υπάρχει μία μικρή διακύμανση AC πάνω σε μία μεγάλη σταθερή τάση DC, και θέλουμε να δούμε σε μεγέθυνση τη διακύμανση AC. Η επιλογή "GND" απλά αποσυνδέει τον κατακόρυφο άξονα από την τάση εισόδου, δείχνοντάς μας στην οθόνη μία τάση μηδέν ("γειωμένη"), το οποίο χρησιμεύει γιά να βαθμονομήσουμε την οθόνη μας (να δούμε που βρίσκεται η αρχή των αξόνων ή να την κινήσουμε). Ομοίως μπορούμε να επιλέξουμε ο σκανδαλισμός να γίνεται είτε βάσει ολόκληρης της επιλεγείσας τάσης εισόδου (DC coupling) είτε βάσει μόνο της εναλλασσόμενης συνιστώσας της (AC coupling), και η επιλογή αυτή είναι ανεξάρτητη της επιλογής κατακόρυφης απεικόνισης.

Αρκετοί από τους παλμογράφους του εργαστηρίου είναι της εταιρείας *GW Instek*, μοντέλο *GOS-622G*: πρόκειται γιά αναλογικούς παλμογράφους (ευκολότεροι γιά αρχάριους χρήστες από τους ψηφιακούς παλμογράφους), δι-κάναλους, γιά συχνότητες έως 20 MHz, με υψηλή ευαισθησία κατακόρυφου άξονα (1 mV ανά υποδιαίρεση). Μελετήστε την όψη, τις προδιαγραφές, και τις οδηγίες λειτουργίας τους στο <http://www.gwinstek.com.tw/en/product/productdetail.aspx?pid=3&mid=6&id=73> (τοπικό αντίγραφο: [PDF](#)) --ιδιαίτερα τις σελίδες 17-29 του εγχειριδίου χρήσης.

4.3 Εξοικείωση με τη Χρήση των Οργάνων

Συνδέστε την έξοδο της παλμογεννήτριας στο κανάλι 1 του παλμογράφου. Επιλέξτε ημιτονοειδείς κυματομορφές των λίγων ή πολλών kHz, και επιλέξτε οριζόντια σάρωση 100 $\mu\text{s}/\text{DIV}$, κατακόρυφη κλίμακα 2 V/DIV, trigger source = CH1, και trigger level LOCK.

- Αλλάξτε τη συχνότητα της γεννήτριας και παρατηρήστε την εικόνα.
- Αλλάξτε την τάση (πλάτος - amplitude) της γεννήτριας και παρατηρήστε.
- Αλλάξτε το "DC offset" της γεννήτριας και παρατηρήστε· σε αυτό το πείραμα, δοκιμάστε εναλλαξ DC coupling και AC coupling για το CH1 (κατακόρυφο).
- Κρατήστε σταθερή την τάση (πλάτος) της γεννήτριας, αλλάξτε την κατακόρυφη κλίμακα του παλμογράφου (CH1), και παρατηρήστε.
- Κρατήστε σταθερή τη συχνότητα της γεννήτριας, αλλάξτε την οριζόντια κλίμακα του παλμογράφου, και παρατηρήστε.
- Στο trigger level, απελευθερώστε το LOCK, αλλάξτε το επίπεδο (level) και την κλίση (slope) σκανδαλισμού, και παρατηρήστε.
- Με DC coupling στο σκανδαλισμό, αλλάξτε το DC offset της γεννήτριας, και παρατηρήστε.
- Αλλάξτε την πηγή σκανδαλισμού στο CH2 (που δεν έχει σήμα), και παρατηρήστε.

4.4 Κύκλωμα RC με Διέγερση Τετραγωνικών Παλμών

Συνδέστε στην έξοδο της παλμογεννήτριας μίαν αντίσταση 220 Ω κι έναν πυκνωτή 1 μF εν σειρά· η σταθερά χρόνου RC του κυκλώματος είναι 220 μs (ή πιθανόν 270 μs , εάν υποθέσουμε ότι η παλμογεννήτρια είναι σαν να έχει εσωτερική αντίσταση 50 Ω). Συνδέστε το κανάλι 1 του παλμογράφου στην είσοδο του κυκλώματος (δηλαδή στην έξοδο της παλμογεννήτριας), και συνδέστε το κανάλι 2 στις άκρες του πυκνωτή (με τη γείωση και των δύο καναλιών να συνδέεται στη γείωση της γεννήτριας, δηλαδή στον εξωτερικό αγωγό του ομοαξωνικού της καλωδίου).

Επιλέξτε τετραγωνικό παλμό και συχνότητα 1 kHz (άρα περίοδο 1 ms = 1000 μs). Στον παλμογράφο δοκιμάστε οριζόντιες κλίμακες από 1 ms/DIV έως 100 $\mu\text{s}/\text{DIV}$. Στο κατακόρυφο, επιλέξτε DUAL mode για να βλέπετε ταυτόχρονα και τα δύο κανάλια, επιλέξτε κατακόρυφες κλίμακες για να βλέπετε άνετα τις δύο κυματομορφές (ίδια κλίμακα και στα δύο κανάλια), και παίξτε με τα κουμπιά POSITION μετακινώντας τις δύο απεικονίσεις πάνω-κάτω· μέσω των κουμπιών GND, φέρτε τους οριζόντιους άξονες των δύο καναλιών να συμπίσουν.

(α) Παρατηρήστε την εκθετική καμπύλη φόρτισης και εκφόρτισης του πυκνωτή μέσα στην κάθε ημiperίοδο του τετραγωνικού σήματος. **Μετρήστε** τη σταθερά χρόνου του κυκλώματος, δηλαδή το χρόνο μέχρις ότου η απόσταση της τάσης του πυκνωτή από την τελική της τιμή να πέσει στο 37% της αρχικής απόστασης κατά την έναρξη της ημiperόδου.

(β) Αλλάξτε τη συχνότητα των τετραγωνικών παλμών της γεννήτριας, και προς τα κάτω και προς τα πάνω, παρατηρήστε πώς αλλάζει αντίστοιχα η κυματομορφή της τάσης στον πυκνωτή, και εξηγήστε στο βοήθό σας αυτό που παρατηρείτε.

(γ) Αλλάξτε το DUTY cycle (control) της κυματομορφής, από τη γεννήτρια, ούτως ώστε οι διάρκειες της θετικής και της αρνητικής ημiperόδου να γίνουν "πολύ" άνισες μεταξύ τους· παίξτε ταυτόχρονα με τη συχνότητα, προκειμένου να πετύχετε μία "παράξενη και εντυπωσιακή" κυματομορφή εξόδου. Μέσω του διακόπτη INVERT, αλλάξτε το ποιά από τις δύο ημiperόδους είναι η κοντή και ποιά η μακριά. Στις σχετικά ψηλές συχνότητες, γιατί η κυματομορφή εξόδου πλησιάζει άλλοτε στην πάνω κι άλλοτε στην κάτω τάση εισόδου; Γιατί η κλίση των δύο σκελών, φόρτισης-εκφόρτισης, δεν είναι ίδια (κατ' απόλυτη τιμή) η μία με την άλλη;