



2023

## 15. Πυκνωτές

R2: SCRAPY Guide

Αρ. έργου: **2021-1-FR01-KA220-SCH-000031617**



 **Co-funded by  
the European Union**

The European Commission's support for the production of this publication does not constitute an endorsement of the contents, which reflect the views only of the authors, and the Commission cannot be held responsible for any use which may be made of the information contained therein.

ECAM EPMI  
30/04/2023

## Πίνακας περιεχομένων

1 Εισαγωγή .....	2
2 Σύμβολα και μονάδες .....	2
2.1 Σύμβολα κυκλώματος .....	2
2.2 Μονάδες χωρητικότητας .....	3
3 Θεωρία Πυκνωτών .....	4
3.1 Πώς κατασκευάζεται ένας πυκνωτής.....	4
3.2 Πώς λειτουργεί ένας πυκνωτής .....	4
3.3 Φόρτιση και εκφόρτιση.....	5
3.4 Υπολογισμός φόρτισης, τάσης και ρεύματος.....	6
3.5 Υπολογισμός ρεύματος.....	6
4. Τύποι πυκνωτών .....	7
4.1 Κεραμικοί πυκνωτές.....	8
4.2 Ηλεκτρολυτικό αλουμίνιο και ταντάλιο .....	8
4.3 Υπερπυκνωτές.....	9
4.4 Άλλα .....	10
5. Πυκνωτές σε σειρά/παράλληλα .....	10
5.1 Πυκνωτές παράλληλα .....	10
5.2 Πυκνωτές σε σειρά.....	10
6. Παραδείγματα Εφαρμογών.....	11
6.1 Πυκνωτές αποσύνδεσης (Bypass). .....	11
6.2 Φιλτράρισμα τροφοδοτικού .....	13
6.3 Αποθήκευση και Προμήθεια Ενέργειας .....	14
6.4 Φιλτράρισμα σήματος .....	15
7 Συμπέρασμα .....	16

## 1 Εισαγωγή

Ο πυκνωτής είναι ένα ηλεκτρικό εξάρτημα δύο ακροδεκτών. Μαζί με τις αντιστάσεις και τους επαγωγείς, είναι ένα από τα πιο θεμελιώδη παθητικά εξαρτήματα που χρησιμοποιούμε. Θα πρέπει να ψάξετε πολύ σκληρά για να βρείτε ένα κύκλωμα που να μην έχει πυκνωτή.



### Ένας πυκνωτής

Αυτό που κάνει τους πυκνωτές ξεχωριστούς είναι η ικανότητά τους να αποθηκεύουν ενέργεια, είναι σαν μια πλήρως φορτισμένη ηλεκτρική μπαταρία. Τα καπάκια, όπως συνήθως τα αναφέρουμε, έχουν κάθε είδους κρίσιμες εφαρμογές σε κυκλώματα. Οι κοινές εφαρμογές περιλαμβάνουν τοπική αποθήκευση ενέργειας, καταστολή αιχμής τάσης και πολύπλοκο φιλτράρισμα σήματος.

Καλύπτεται σε αυτό το Μάθημα

Σε αυτό το μάθημα, θα εξετάσουμε όλα τα είδη των θεμάτων που σχετίζονται με τους πυκνωτές, όπως:

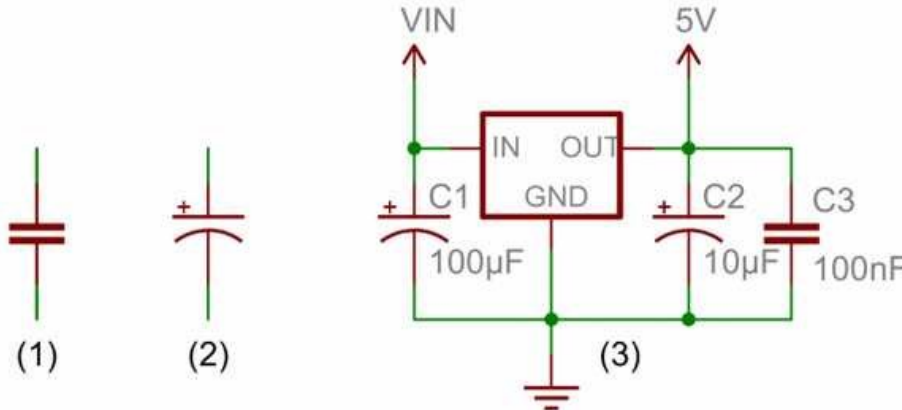
- Πώς κατασκευάζεται ένας πυκνωτής
- Πώς λειτουργεί ένας πυκνωτής
- Μονάδες χωρητικότητας
- Τύποι πυκνωτών
- Τρόπος αναγνώρισης πυκνωτών
- Πώς συνδυάζεται η χωρητικότητα σε σειρά και παράλληλα
- Κοινές εφαρμογές πυκνωτών

## 2 Σύμβολα και μονάδες

### 2.1 Σύμβολα κυκλώματος

Υπάρχουν δύο συνήθεις τρόποι για να σχεδιάσετε έναν πυκνωτή σε ένα σχηματικό. Έχουν πάντα δύο ακροδέκτες, οι οποίοι συνεχίζουν να συνδέονται με το υπόλοιπο κύκλωμα. Το σύμβολο των πυκνωτών αποτελείται από δύο παράλληλες γραμμές, οι οποίες είναι είτε επίπεδες είτε καμπύλες. Και οι δύο γραμμές πρέπει να είναι παράλληλες μεταξύ τους, κοντά, αλλά όχι εφάπτουσες (αυτό είναι αντιπροσωπευτικό του τρόπου κατασκευής του

πυκνωτή. Δύσκολο να το περιγράψω, πιο εύκολο να το δείξω:



Τα (1) και (2) είναι τυπικά σύμβολα κυκλώματος πυκνωτών. Το (3) είναι ένα παράδειγμα συμβόλων πυκνωτών σε δράση σε ένα κύκλωμα ρυθμιστή τάσης.

Το σύμβολο με την καμπύλη γραμμή (#2 στην παραπάνω φωτογραφία) υποδεικνύει ότι ο πυκνωτής είναι πολωμένος, που σημαίνει ότι είναι ηλεκτρολυτικός πυκνωτής. Περισσότερα για αυτό στην ενότητα τύπους πυκνωτών αυτού του σεμιναρίου.

Κάθε πυκνωτής πρέπει να συνοδεύεται από ένα όνομα -- C1, C2, κ.λπ. -- και μια τιμή. Η τιμή πρέπει να υποδεικνύει την χωρητικότητα του πυκνωτή, πόσα φεράντ έχει. Μιλώντας για φεράντ...

## 2.2 Μονάδες χωρητικότητας

Δεν δημιουργούνται όλοι οι πυκνωτές ίσοι. Κάθε πυκνωτής είναι κατασκευασμένος για να έχει μια συγκεκριμένη ποσότητα χωρητικότητας. Η χωρητικότητα ενός πυκνωτή σας λέει πόση φόρτιση μπορεί να αποθηκεύσει, περισσότερη χωρητικότητα σημαίνει μεγαλύτερη χωρητικότητα αποθήκευσης φορτίου. Η τυπική μονάδα χωρητικότητας ονομάζεται φεράντ, η οποία είναι συντομογραφία F.

Αποδεικνύεται ότι ένα farad έχει πολλές χωρητικότητες, ακόμη και 0,001F (1 millifarad -- 1mF) είναι ένας μεγάλος πυκνωτής. Συνήθως, θα δείτε πυκνωτές που βαθμολογούνται στην περιοχή pico- (10<sup>-12</sup>) έως microfarad (10<sup>-6</sup>).

Όνομα προθέματος	Συντομογραφία	Κιλά	Ισοδύναμα Farads
Picofarad	pF	10 <sup>-12</sup>	0.000000000001 F
Nanofarad	nF	10 <sup>-9</sup>	0.000000001 F
Microfarad	μF	10 <sup>-6</sup>	0.000001 F
Millifarad	mF	10 <sup>-3</sup>	0.001 F
Kilofarad	kF	10 <sup>3</sup>	1000 F

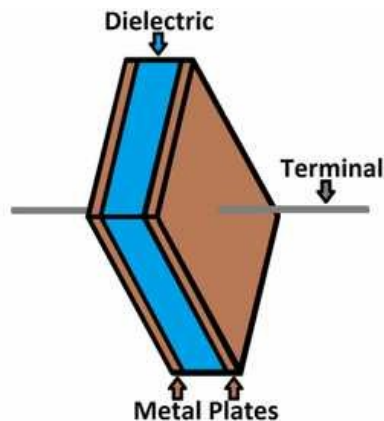
Όταν φτάσετε στο εύρος χωρητικότητας από farad έως kilofarad, αρχίζετε να μιλάτε για ειδικά καπάκια που ονομάζονται super ή ultra-capacitors.

### 3 Θεωρία Πυκνωτών

Σημείωση: Τα πράγματα σε αυτήν τη σελίδα δεν είναι απολύτως κρίσιμα για αρχάριους ηλεκτρονικούς να τα κατανοήσουν...και γίνεται λίγο περίπλοκο προς το τέλος. Συνιστούμε να διαβάσετε την ενότητα Πώς κατασκευάζεται ένας πυκνωτής, τα άλλα θα μπορούσαν να παραβλεφθούν εάν σας προκαλούν πονοκέφαλο.

#### 3.1 Πώς κατασκευάζεται ένας πυκνωτής

Το σχηματικό σύμβολο για έναν πυκνωτή μοιάζει πολύ με τον τρόπο κατασκευής του. Ένας πυκνωτής δημιουργείται από δύο μεταλλικές πλάκες και ένα μονωτικό υλικό που ονομάζεται διηλεκτρικό. Οι μεταλλικές πλάκες είναι τοποθετημένες πολύ κοντά η μία στην άλλη, παράλληλα, αλλά το διηλεκτρικό κάθεται ανάμεσά τους για να βεβαιωθεί ότι δεν ακουμπούν.



**Το τυπικό σας σάντουιτς πυκνωτή:** δύο μεταλλικές πλάκες που χωρίζονται από ένα μονωτικό διηλεκτρικό.

Το διηλεκτρικό μπορεί να κατασκευαστεί από όλα τα είδη μονωτικών υλικών: χαρτί, γυαλί, καουτσούκ, κεραμικό, πλαστικό ή οτιδήποτε εμποδίζει τη ροή του ρεύματος.

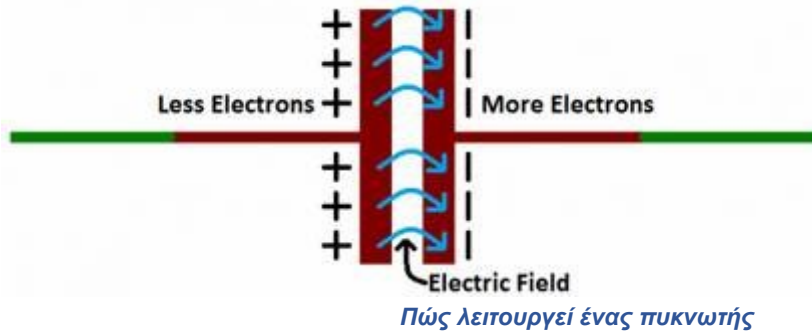
Οι πλάκες είναι κατασκευασμένες από αγωγίμο υλικό: αλουμίνιο, ταντάλιο, ασήμι ή άλλα μέταλλα. Είναι συνδεδεμένο το καθένα με ένα καλώδιο ακροδεκτών, το οποίο τελικά συνδέεται με το υπόλοιπο κύκλωμα.

Η χωρητικότητα ενός πυκνωτή -- πόσα farads έχει -- εξαρτάται από τον τρόπο κατασκευής του. Περισσότερες χωρητικότητες απαιτούν μεγαλύτερο πυκνωτή. Πλάκες με μεγαλύτερη επικαλυπτόμενη επιφάνεια παρέχουν μεγαλύτερη χωρητικότητα, ενώ μεγαλύτερη απόσταση μεταξύ των πλακών σημαίνει μικρότερη χωρητικότητα. Το υλικό του διηλεκτρικού επηρεάζει ακόμη και πόσα farads έχει ένα καπάκι.

#### 3.2 Πώς λειτουργεί ένας πυκνωτής

Το ηλεκτρικό ρεύμα είναι η ροή του ηλεκτρικού φορτίου, το οποίο αξιοποιούν τα ηλεκτρικά εξαρτήματα για να ανάψουν, να περιστρέψουν ή να κάνουν ό,τι κάνουν. Όταν το ρεύμα

ρέει σε έναν πυκνωτή, τα φορτία «κολλάνε» στις πλάκες επειδή δεν μπορούν να ξεπεράσουν το μονωτικό διηλεκτρικό. Τα ηλεκτρόνια -- αρνητικά φορτισμένα σωματίδια - - αναρροφούνται σε μία από τις πλάκες και αυτή γίνεται συνολικά αρνητικά φορτισμένη. Η μεγάλη μάζα αρνητικών φορτίων στη μία πλάκα απομακρύνεται όπως τα φορτία στην άλλη πλάκα, καθιστώντας την θετικά φορτισμένη.



Τα θετικά και αρνητικά φορτία σε καθεμία από αυτές τις πλάκες ελκύουν το ένα το άλλο γιατί αυτό κάνουν τα αντίθετα φορτία. Αλλά, με το διηλεκτρικό να κάθεται ανάμεσά τους, όσο κι αν θέλουν να συνέλθουν, οι χρεώσεις θα μείνουν για πάντα στο πιάτο (μέχρι να έχουν κάπου αλλού να πάνε). Τα σταθερά φορτία σε αυτές τις πλάκες δημιουργούν ένα ηλεκτρικό πεδίο, το οποίο επηρεάζει την ηλεκτρική δυναμική ενέργεια και τάση. Όταν ομαδοποιούνται φορτίσεις σε έναν πυκνωτή όπως αυτός, το καπάκι αποθηκεύει ηλεκτρική ενέργεια όπως ακριβώς μια μπαταρία μπορεί να αποθηκεύσει χημική ενέργεια.

### 3.3 Φόρτιση και εκφόρτιση

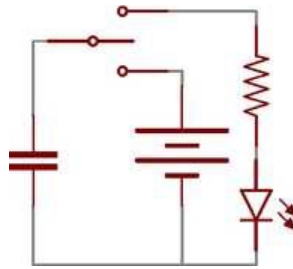
Όταν τα θετικά και τα αρνητικά φορτία συνενώνονται στις πλάκες του πυκνωτή, ο πυκνωτής φορτίζεται. Ένας πυκνωτής μπορεί να διατηρήσει το ηλεκτρικό του πεδίο -- να συγκρατήσει το φορτίο του -- επειδή τα θετικά και αρνητικά φορτία σε κάθε μία από τις πλάκες έλκονται μεταξύ τους αλλά ποτέ δεν φτάνουν το ένα στο άλλο.

Κάποια στιγμή, οι πλάκες πυκνωτών θα είναι τόσο γεμάτες φορτίσεις που απλά δεν μπορούν να δεχτούν άλλα. Υπάρχουν αρκετά αρνητικά φορτία σε ένα πιάτο που μπορούν να απωθήσουν οποιαδήποτε άλλα προσπαθούν να ενώσουν. Εδώ παίζει ρόλο η χωρητικότητα (farads) ενός πυκνωτή, η οποία σας λέει τη μέγιστη ποσότητα φόρτισης που μπορεί να αποθηκεύσει το καπάκι.

Εάν δημιουργηθεί μια διαδρομή στο κύκλωμα, η οποία επιτρέπει στα φορτία να βρουν άλλη διαδρομή μεταξύ τους, θα φύγουν από τον πυκνωτή και θα εκφορτιστεί.

Για παράδειγμα, στο παρακάτω κύκλωμα, μια μπαταρία μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να προκαλέσει ηλεκτρικό δυναμικό κατά μήκος του πυκνωτή. Αυτό θα προκαλέσει τη δημιουργία ίσων αλλά αντίθετων φορτίων σε καθεμία από τις πλάκες έως ότου γεμίσουν τόσο ώστε να απωθούν οποιοδήποτε άλλο ρεύμα από τη ροή. Ένα LED τοποθετημένο σε σειρά με το καπάκι θα μπορούσε να παρέχει μια διαδρομή για το ρεύμα και η ενέργεια που είναι αποθηκευμένη στον πυκνωτή θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί για να ανάψει για λίγο το LED.





Φόρτιση και εκφόρτιση

### 3.4 Υπολογισμός φόρτισης, τάσης και ρεύματος

Η χωρητικότητα ενός πυκνωτή -- πόσα farads έχει -- σας λέει πόση φόρτιση μπορεί να αποθηκεύσει. Το πόσο φορτίο αποθηκεύει σήμερα ένας πυκνωτής εξαρτάται από τη διαφορά δυναμικού (τάση) μεταξύ των πλακών του. Αυτή η σχέση μεταξύ φορτίου, χωρητικότητας και τάσης μπορεί να μοντελοποιηθεί με αυτήν την εξίσωση:

$$Q = CV$$

*Το φορτίο (Q) που αποθηκεύεται σε έναν πυκνωτή είναι το γινόμενο της χωρητικότητάς του (C) και της τάσης (V) που εφαρμόζεται σε αυτόν.*

Η χωρητικότητα ενός πυκνωτή πρέπει να είναι πάντα μια σταθερή, γνωστή τιμή. Έτσι, μπορούμε να ρυθμίσουμε την τάση για να αυξήσουμε ή να μειώσουμε τη φόρτιση του καπακιού. Περισσότερη τάση σημαίνει περισσότερη φόρτιση, λιγότερη τάση...λιγότερη φόρτιση.

Αυτή η εξίσωση μας δίνει επίσης έναν καλό τρόπο να ορίσουμε την τιμή ενός φαράντ. Ένα φαράντ (F) είναι η ικανότητα αποθήκευσης μιας μονάδας ενέργειας (κουλόμπ) ανά κάθε βολτ.

### 3.5 Υπολογισμός ρεύματος

Μπορούμε να πάμε την εξίσωση φόρτισης/τάσης/χωρητικότητας ένα βήμα παραπέρα για να μάθουμε πώς η χωρητικότητα και η τάση επηρεάζουν το ρεύμα επειδή το ρεύμα είναι ο ρυθμός ροής του φορτίου. Η ουσία της σχέσης ενός πυκνωτή με την τάση και το ρεύμα είναι η εξής: η ποσότητα του ρεύματος μέσω ενός πυκνωτή εξαρτάται τόσο από την χωρητικότητα όσο και από το πόσο γρήγορα αυξάνεται ή πέφτει η τάση. Εάν η τάση σε έναν πυκνωτή αυξάνεται γρήγορα, ένα μεγάλο θετικό ρεύμα θα προκληθεί μέσω του πυκνωτή. Μια πιο αργή άνοδος της τάσης σε έναν πυκνωτή ισοδυναμεί με ένα μικρότερο ρεύμα μέσω αυτού. Εάν η τάση σε έναν πυκνωτή είναι σταθερή και αμετάβλητη, δεν θα περάσει ρεύμα.

(Αυτό είναι άσχημο και μπαίνει στον λογισμό. Δεν είναι ιδιαίτερος απαραίτητο έως ότου μπειτε στην ανάλυση του τομέα του χρόνου, στο σχεδιασμό φίλτρου και σε άλλα επικίνδυνα πράγματα, οπότε προχωρήστε στην επόμενη σελίδα εάν δεν αισθάνεστε άνετα

με αυτήν την εξίσωση.) Η εξίσωση για τον υπολογισμό του ρεύματος μέσω ενός πυκνωτή

$$i = C \frac{dv}{dt}$$

είναι:

Το τμήμα  $DV/dt$  αυτής της εξίσωσης είναι μια παράγωγη (ένας φανταχτερός τρόπος να πούμε στιγμιαία ταχύτητα) της τάσης με την πάροδο του χρόνου, είναι ισοδύναμο με το να πούμε, "Πόσο γρήγορα ανεβαίνει ή κατεβαίνει η τάση αυτή τη στιγμή". Το μεγάλο πλεονέκτημα από αυτή την εξίσωση είναι ότι εάν η τάση είναι σταθερή, η παράγωγος είναι μηδέν, πράγμα που σημαίνει ότι το ρεύμα είναι επίσης μηδέν. Αυτός είναι ο λόγος που το ρεύμα δεν μπορεί να ρέει μέσω ενός πυκνωτή που διατηρεί σταθερή τάση DC.

#### 4. Τύποι πυκνωτών

Υπάρχουν όλα τα είδη των τύπων πυκνωτών εκεί έξω, ο καθένας με ορισμένα χαρακτηριστικά και μειονεκτήματα που τον καθιστούν καλύτερο για ορισμένες εφαρμογές από άλλες.

Όταν αποφασίζετε για τους τύπους πυκνωτών, πρέπει να λάβετε υπόψη μια χούφτα παραγόντων:

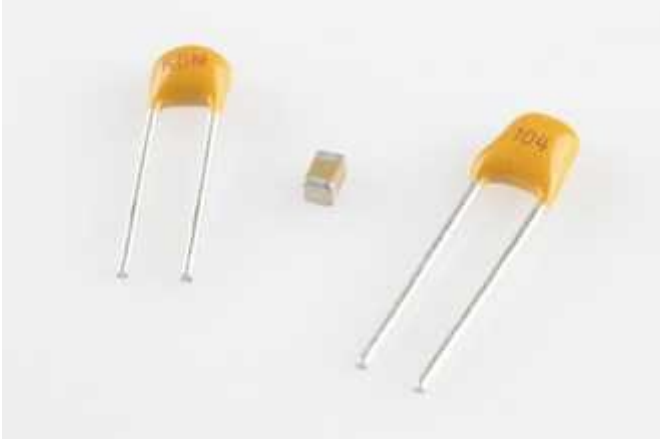
- **Μέγεθος** - Μέγεθος τόσο από άποψη φυσικού όγκου όσο και χωρητικότητας. Είναι σύνηθες φαινόμενο ένας πυκνωτής να είναι το μεγαλύτερο εξάρτημα σε ένα κύκλωμα. Μπορούν επίσης να είναι πολύ μικροσκοπικά. Οι περισσότερες χωρητικότητες απαιτούν συνήθως μεγαλύτερο πυκνωτή.
- **Μέγιστη τάση** - Κάθε πυκνωτής είναι βαθμολογημένος για μια μέγιστη τάση που μπορεί να πέσει σε αυτόν. Ορισμένοι πυκνωτές μπορεί να είναι ονομαστικοί για 1,5 V, άλλοι μπορεί να ονομάζονται για 100 V. Η υπέρβαση της μέγιστης τάσης συνήθως έχει ως αποτέλεσμα την καταστροφή του πυκνωτή.
- **Ρεύμα διαρροής** - Οι πυκνωτές δεν είναι τέλει. Κάθε καπάκι είναι επιρρεπές σε διαρροή μικροσκοπικής ποσότητας ρεύματος μέσω του διηλεκτρικού, από τον έναν ακροδέκτη στον άλλο. Αυτή η μικροσκοπική απώλεια ρεύματος (συνήθως νανοαμπέρ ή μικρότερη) ονομάζεται διαρροή. Η διαρροή προκαλεί αργή, αλλά σίγουρα αποστράγγιση της ενέργειας που αποθηκεύεται στον πυκνωτή.
- **Ισοδύναμη αντίσταση σειράς (ESR)** - Οι ακροδέκτες ενός πυκνωτή δεν είναι 100% αγωγιμοί, θα έχουν πάντα μια μικρή αντίσταση (συνήθως μικρότερη από 0,01Ω). Αυτή η αντίσταση γίνεται πρόβλημα όταν πολύ ρεύμα περνάει μέσα από το καπάκι, παράγοντας απώλεια θερμότητας και ισχύος.
- **Ανοχή** - Οι πυκνωτές επίσης δεν μπορούν να κατασκευαστούν ώστε να έχουν ακριβή, χωρητικότητα. Κάθε καπάκι θα βαθμολογηθεί για την ονομαστική του χωρητικότητα, αλλά, ανάλογα με τον τύπο, η ακριβής τιμή μπορεί να ποικίλλει από  $\pm 1\%$  έως  $\pm 20\%$  της επιθυμητής τιμής.



#### 4.1 Κεραμικοί πυκνωτές

Ο πιο συχνά χρησιμοποιούμενος και παραγόμενος πυκνωτής εκεί έξω είναι ο κεραμικός πυκνωτής. Το όνομα προέρχεται από το υλικό από το οποίο κατασκευάζεται το διηλεκτρικό τους.

Οι κεραμικοί πυκνωτές είναι συνήθως μικροί τόσο από φυσική άποψη όσο και από πλευράς χωρητικότητας. Είναι δύσκολο να βρείτε έναν κεραμικό πυκνωτή πολύ μεγαλύτερο από 10  $\mu\text{F}$ . Ένα κεραμικό καπάκι επιφανειακής τοποθέτησης βρίσκεται συνήθως σε μικροσκοπικές συσκευασίες 0402 (0,4 mm x 0,2 mm), 0603 (0,6 mm x 0,3 mm) ή 0805. Τα κεραμικά καλύμματα διαμπερούς οπής συνήθως μοιάζουν με μικρούς (κοινώς κίτρινους ή κόκκινους) λαμπτήρες, με δύο προεξέχοντες ακροδέκτες.



*Δύο καπάκια σε μια διαμπερή, ακτινωτή συσκευασία. ένα καπάκι 22pF στα αριστερά και ένα 0,1 $\mu\text{F}$  στα δεξιά. Στη μέση, ένα μικροσκοπικό κάλυμμα επιφανείας 0,1  $\mu\text{F}$  0603.*

Σε σύγκριση με τα εξίσου δημοφιλή ηλεκτρολυτικά καπάκια, τα κεραμικά είναι ένας πιο ιδανικός πυκνωτής (πολύ χαμηλότερο ESR και ρεύματα διαρροής), αλλά η μικρή τους χωρητικότητα μπορεί να είναι περιοριστική. Είναι συνήθως η φθηνότερη επιλογή επίσης. Αυτά τα καπάκια είναι κατάλληλα για εφαρμογές ζεύξης και αποσύνδεσης υψηλής συχνότητας.

#### 4.2 Ηλεκτρολυτικό αλουμίνιο και ταντάλιο

Οι ηλεκτρολύτες είναι υπέροχοι επειδή μπορούν να συσκευάσουν πολλές χωρητικότητες σε μικρό όγκο. Εάν χρειάζεστε έναν πυκνωτή στην περιοχή 1 $\mu\text{F}$ -1mF, είναι πολύ πιθανό να τον βρείτε σε ηλεκτρολυτική μορφή. Είναι ιδιαίτερα κατάλληλοι για εφαρμογές υψηλής τάσης λόγω των υψηλών μέγιστων χαρακτηριστικών τάσης τους.

Οι ηλεκτρολυτικοί πυκνωτές αλουμινίου, οι πιο δημοφιλείς της οικογένειας των ηλεκτρολυτικών, συνήθως μοιάζουν με μικρές κονσέρβες, με τα δύο καλώδια να εκτείνονται από το κάτω μέρος.



*Μια ποικιλία ηλεκτρολυτικών πυκνωτών διαμπερούς και επιφανειακής τοποθέτησης. Σημειώστε ότι το καθένα έχει κάποια μέθοδο για τη σήμανση της καθόδου (αρνητικό καλώδιο).*

Δυστυχώς, τα ηλεκτρολυτικά καλύμματα είναι συνήθως πολωμένα. Έχουν μια θετική ακίδα -- την άνοδο -- και μια αρνητική ακίδα που ονομάζεται κάθοδος. Όταν εφαρμόζεται τάση σε ένα ηλεκτρολυτικό πώμα, η άνοδος πρέπει να είναι σε υψηλότερη τάση από την κάθοδο. Η κάθοδος ενός ηλεκτρολυτικού πυκνωτή συνήθως προσδιορίζεται με ένα σημάδι «-» και μια έγχρωμη λωρίδα στο περίβλημα. Το σκέλος της ανόδου μπορεί επίσης να είναι ελαφρώς μακρύτερο ως άλλη ένδειξη. Εάν εφαρμοστεί τάση αντίστροφα σε ένα ηλεκτρολυτικό καπάκι, θα αποτύχουν θεαματικά (κάνοντας σκάσιμο) και μόνιμα. Μετά το σκάσιμο, ένα ηλεκτρολυτικό θα συμπεριφέρεται σαν βραχυκύκλωμα.

Αυτά τα καλύμματα είναι επίσης διαβόητα για διαρροή -- επιτρέποντας σε μικρές ποσότητες ρεύματος (της τάξης του nA) να διατρέχουν το διηλεκτρικό από το ένα τερματικό στο άλλο. Αυτό καθιστά τα ηλεκτρολυτικά καπάκια λιγότερο από ιδανικά για αποθήκευση ενέργειας, κάτι που είναι ατυχές δεδομένης της υψηλής χωρητικότητας και της ονομαστικής τάσης τους.

### 4.3 Υπερπυκνωτές

Αν ψάχνετε για έναν πυκνωτή κατασκευασμένο για αποθήκευση ενέργειας, μην κοιτάξετε πέρα από τους υπερπυκνωτές. Αυτά τα καπάκια είναι μοναδικά σχεδιασμένα για να έχουν πολύ υψηλές χωρητικότητες, στην περιοχή φαραντ.

Ενώ μπορούν να αποθηκεύσουν ένα τεράστιο ποσό φόρτισης, τα υπεραυτοκίνητα δεν μπορούν να αντιμετωπίσουν πολύ υψηλές τάσεις. Αυτό το supercap 10F έχει βαθμολογηθεί μόνο για 2,5V max. Οτιδήποτε περισσότερο από αυτό θα το καταστρέψει. Τα σούπερ καλύμματα τοποθετούνται συνήθως σε σειρά για να επιτευχθεί υψηλότερη ονομαστική τάση (μειώνοντας ταυτόχρονα τη συνολική χωρητικότητα). Η κύρια εφαρμογή των υπερπυκνωτών είναι η αποθήκευση και η απελευθέρωση ενέργειας, όπως οι μπαταρίες, που αποτελούν τον κύριο ανταγωνισμό τους. Ενώ τα supercaps δεν μπορούν να χωρέσουν τόση ενέργεια όσο μια μπαταρία ίδιου μεγέθους, μπορούν να την απελευθερώσουν πολύ πιο γρήγορα και συνήθως έχουν πολύ μεγαλύτερη διάρκεια ζωής.

#### 4.4 Άλλα

Τα ηλεκτρολυτικά και κεραμικά καπάκια καλύπτουν περίπου το 80% των τύπων πυκνωτών εκεί έξω (και τα supercaps μόνο περίπου το 2%, αλλά είναι σούπερ!). Ένας άλλος κοινός τύπος πυκνωτή είναι ο πυκνωτής φιλμ, ο οποίος διαθέτει πολύ χαμηλές παρασιτικές απώλειες (ESR), καθιστώντας τους ιδανικούς για την αντιμετώπιση πολύ υψηλών ρευμάτων.

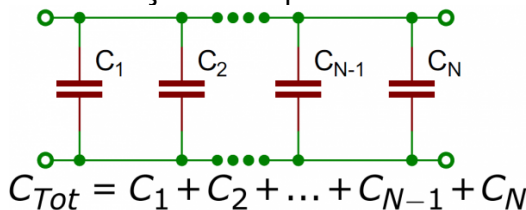
Υπάρχουν πολλοί άλλοι λιγότερο συνηθισμένοι πυκνωτές. Οι μεταβλητοί πυκνωτές μπορούν να παράγουν μια σειρά από χωρητικότητες, γεγονός που τους καθιστά μια καλή εναλλακτική λύση στις μεταβλητές αντιστάσεις σε κυκλώματα συντονισμού. Τα στριμμένα καλώδια ή τα PCB μπορούν να δημιουργήσουν χωρητικότητα (μερικές φορές ανεπιθύμητη) επειδή το καθένα αποτελείται από δύο αγωγούς που χωρίζονται από έναν μονωτή. Τα βάζα Leyden -- ένα γυάλινο βάζο γεμάτο και περιτριγυρισμένο από αγωγούς -- είναι το O.G. της οικογένειας των πυκνωτών. Τέλος, φυσικά, οι πυκνωτές ροής (ένας περίεργος συνδυασμός πηγών και πυκνωτών) είναι κρίσιμοι εάν σκοπεύετε ποτέ να ταξιδέψετε πίσω στις μέρες της δόξας.

### 5. Πυκνωτές σε σειρά/παράλληλα

Όπως και οι αντιστάσεις, πολλοί πυκνωτές μπορούν να συνδυαστούν σε σειρά ή παράλληλα για να δημιουργήσουν μια συνδυασμένη ισοδύναμη χωρητικότητα. Οι πυκνωτές, ωστόσο, αθροίζονται με τρόπο που είναι εντελώς αντίθετος από τους αντιστάτες.

#### 5.1 Πυκνωτές παράλληλα

Όταν οι πυκνωτές τοποθετούνται παράλληλα μεταξύ τους, η συνολική χωρητικότητα είναι απλώς το άθροισμα όλων των χωρητικότητων. Αυτό είναι ανάλογο με τον τρόπο που οι αντιστάσεις προσθέτουν όταν βρίσκονται σε σειρά.

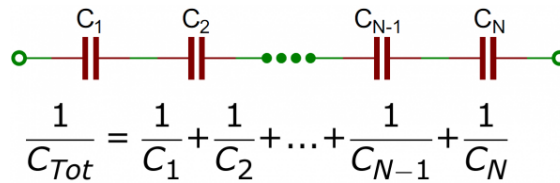


#### Πυκνωτές παράλληλα

Έτσι, για παράδειγμα, εάν είχατε τρεις πυκνωτές με τιμές 10μF, 1μF και 0,1μF παράλληλα, η συνολική χωρητικότητα θα ήταν 11,1μF (10+1+0,1).

#### 5.2 Πυκνωτές σε σειρά

Όπως οι αντιστάσεις είναι δύσκολο να προστεθούν παράλληλα, έτσι και οι πυκνωτές γίνονται τρομακτικοί όταν τοποθετούνται σε σειρά. Η συνολική χωρητικότητα των N πυκνωτών σε σειρά είναι το αντίστροφο του αθροίσματος όλων των αντίστροφων χωρητικότητων.



#### Πυκνωτές σε σειρά

Εάν έχετε μόνο δύο πυκνωτές σε σειρά, μπορείτε να χρησιμοποιήσετε τη μέθοδο "προϊόν πάνω από άθροισμα" για να υπολογίσετε τη συνολική χωρητικότητα:

$$C_{Tot} = \frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2}$$

#### Προϊόν-άθροισμα

Πηγαίνοντας αυτήν την εξίσωση ακόμη παραπέρα, εάν έχετε δύο ίσης αξίας πυκνωτές σε σειρά, η συνολική χωρητικότητα είναι το ήμισυ της τιμής τους. Για παράδειγμα, δύο υπερπυκνωτές 10F σε σειρά θα παράγουν συνολική χωρητικότητα 5F (θα έχει επίσης το πλεονέκτημα του διπλασιασμού της ονομαστικής τάσης του συνολικού πυκνωτή, από 2,5V σε 5V).

## 6. Παραδείγματα Εφαρμογών

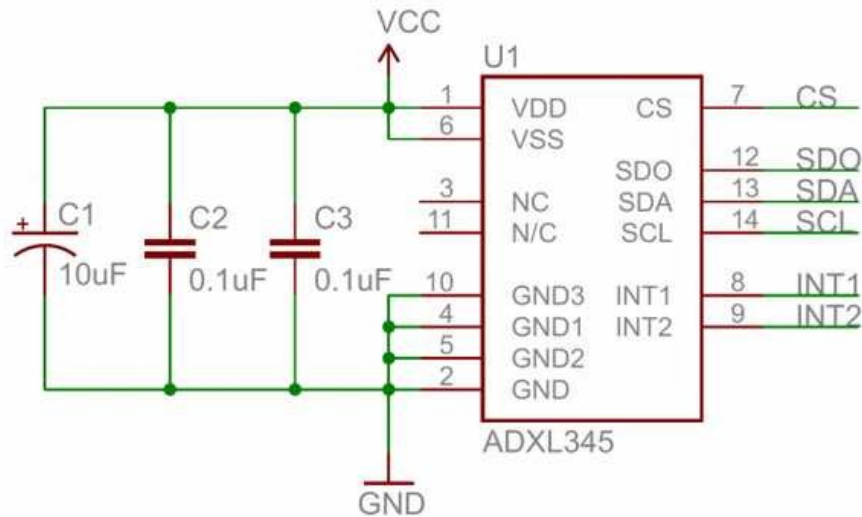
Υπάρχουν τόνοι εφαρμογών για αυτό το υπέροχο μικρό (στην πραγματικότητα είναι συνήθως αρκετά μεγάλο) παθητικό στοιχείο. Για να σας δώσουμε μια ιδέα για το ευρύ φάσμα των χρήσεών τους, ακολουθούν μερικά παραδείγματα:

### 6.1 Πυκνωτές αποσύνδεσης (Bypass).

Πολλοί από τους πυκνωτές που βλέπτε στα κυκλώματα, ειδικά εκείνοι που διαθέτουν ολοκληρωμένο κύκλωμα, αποσυνδέονται. Η δουλειά ενός πυκνωτή αποσύνδεσης είναι να καταστέλλει τον θόρυβο υψηλής συχνότητας στα σήματα τροφοδοσίας. Αφαιρούν μικροσκοπικούς κυματισμούς τάσης, οι οποίοι διαφορετικά θα μπορούσαν να είναι επιβλαβείς για τα ευαίσθητα IC, εκτός τροφοδοσίας τάσης.

Κατά κάποιο τρόπο, οι πυκνωτές αποσύνδεσης λειτουργούν ως ένα πολύ μικρό, τοπικό τροφοδοτικό για τα IC (όπως μια αδιάλειπτη παροχή ρεύματος στους υπολογιστές). Εάν το τροφοδοτικό πέσει πολύ προσωρινά την τάση του (κάτι που είναι αρκετά συνηθισμένο, ειδικά όταν το κύκλωμα τροφοδοτείται αλλάζει συνεχώς τις απαιτήσεις φορτίου του), ένας πυκνωτής αποσύνδεσης μπορεί για λίγο να παρέχει ισχύ στη σωστή τάση. Αυτός είναι ο λόγος για τον οποίο αυτοί οι πυκνωτές ονομάζονται επίσης καπάκια παράκαμψης, μπορούν προσωρινά να λειτουργήσουν ως πηγή ενέργειας, παρακάμπτοντας το τροφοδοτικό.

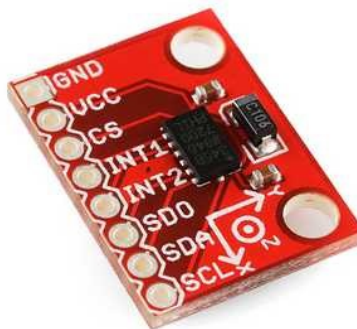
Οι πυκνωτές αποσύνδεσης συνδέουν την πηγή ρεύματος (5V, 3,3V, κ.λπ.) και τη γείωση. Είναι σύνηθες να χρησιμοποιείτε δύο ή περισσότερους πυκνωτές διαφορετικής αξίας, ακόμη και διαφορετικών τύπων για να παρακάμψετε την παροχή ρεύματος, επειδή ορισμένες τιμές πυκνωτών θα είναι καλύτερες από άλλες στο φιλτράρισμα ορισμένων συχνοτήτων θορύβου.



*Σε αυτό το σχηματικό, τρεις πυκνωτές αποσύνδεσης χρησιμοποιούνται για τη μείωση του θορύβου στην παροχή τάσης ενός επιταχυνσιόμετρου. Δύο κεραμικά 0,1μF και ένα ηλεκτρολυτικό ταντάλιο 10μF χωρίς λειτουργίες αποσύνδεσης.*

Αν και φαίνεται ότι αυτό μπορεί να δημιουργήσει βραχυκύκλωμα από την τροφοδοσία στο έδαφος, μόνο σήματα υψηλής συχνότητας μπορούν να περάσουν μέσω του πυκνωτή προς το έδαφος. Το σήμα DC θα πάει στο IC, όπως ακριβώς θέλετε. Ένας άλλος λόγος που ονομάζονται πυκνωτές παράκαμψης είναι ότι οι υψηλές συχνότητες (στην περιοχή kHz-MHz) παρακάμπτουν το IC, αντί να περνούν μέσα από τον πυκνωτή για να φτάσουν στο έδαφος.

Κατά την φυσική τοποθέτηση πυκνωτών αποσύνδεσης, θα πρέπει πάντα να βρίσκονται όσο το δυνατόν πιο κοντά σε ένα IC. Όσο πιο μακριά είναι, τόσο λιγότερο αποτελεσματικά θα είναι.



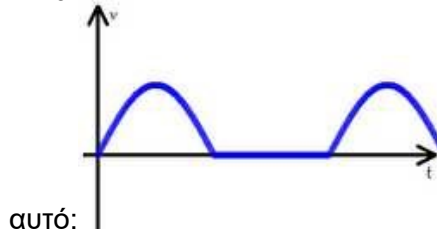
*Ακολουθεί η διάταξη του φυσικού κυκλώματος από το παραπάνω σχηματικό. Το μικροσκοπικό, μαύρο IC περιβάλλεται από δύο πυκνωτές 0,1 μF (τα καφέ καπάκια) και έναν ηλεκτρολυτικό πυκνωτή τανταλίου 10 μF (το ψηλό, μαύρο/γκρι ορθογώνιο καπάκι).*

Για να ακολουθήσετε την καλή πρακτική μηχανικής, να προσθέτετε πάντα τουλάχιστον έναν πυκνωτή αποσύνδεσης σε κάθε IC. Συνήθως, το 0,1 μF είναι μια καλή επιλογή ή

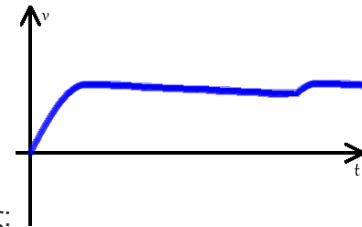
ακόμη και να προσθέσετε καπάκια 1  $\mu\text{F}$  ή 10  $\mu\text{F}$ . Είναι μια φθηνή προσθήκη και βοηθούν να βεβαιωθείτε ότι το τσιπ δεν υπόκειται σε μεγάλες βυθίσεις ή αιχμές στην τάση.

## 6.2 Φιλτράρισμα τροφοδοτικού

Οι ανορθωτές διόδου μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να μετατρέψουν την τάση AC που βγαίνει από τον τοίχο σας στην τάση συνεχούς ρεύματος που απαιτείται από τα περισσότερα ηλεκτρονικά. Όμως οι διόδους από μόνες τους δεν μπορούν να μετατρέψουν ένα σήμα AC σε καθαρό σήμα DC, χρειάζονται τη βοήθεια πυκνωτών! Με την προσθήκη ενός παράλληλου πυκνωτή σε έναν ανορθωτή γέφυρας, ένα διορθωμένο σήμα όπως



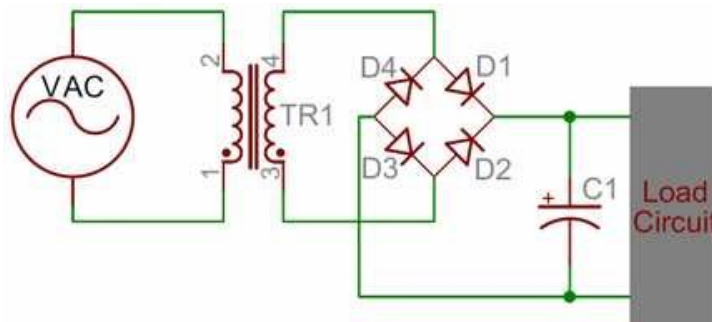
Διορθωμένο σήμα



Μπορεί να μετατραπεί σε σήμα DC σχεδόν επιπέδου ως εξής:

Σήμα DC σχεδόν επιπέδου

Οι πυκνωτές είναι επίμονα εξαρτήματα θα προσπαθούν πάντα να αντισταθούν σε ξαφνικές αλλαγές τάσης. Ο πυκνωτής του φίλτρου θα φορτίζεται καθώς αυξάνεται η ανορθωμένη τάση. Όταν η ανορθωμένη τάση που έρχεται στο καπάκι αρχίσει να μειώνεται γρήγορα, ο πυκνωτής θα έχει πρόσβαση στην αποθηκευμένη ενέργεια και θα εκφορτιστεί πολύ αργά, παρέχοντας ενέργεια στο φορτίο. Ο πυκνωτής δεν πρέπει να αποφορτιστεί πλήρως πριν αρχίσει να αυξάνεται ξανά το διορθωμένο σήμα εισόδου, επαναφορτίζοντας το καπάκι. Αυτός ο χορός παίζεται πολλές φορές το δευτερόλεπτο, ξανά και ξανά όσο το τροφοδοτικό είναι σε χρήση.





*Ένα κύκλωμα τροφοδοσίας AC-to-DC. Το καπάκι φίλτρου (C1) είναι κρίσιμο για την εξομάλυνση του σήματος DC που αποστέλλεται στο κύκλωμα φορτίου.*

Εάν σκίσετε οποιοδήποτε τροφοδοτικό AC-to-DC, είναι βέβαιο ότι θα βρείτε τουλάχιστον έναν μεγάλο πυκνωτή. Παρακάτω είναι τα κότσια ενός προσαρμογέα τοίχου 9V DC. Παρατηρείτε κάποιους πυκνωτές εκεί μέσα;



#### Αντάπτορας τοίχου 9V DC

Μπορεί να υπάρχουν περισσότεροι πυκνωτές από όσο νομίζετε! Υπάρχουν τέσσερα ηλεκτρολυτικά καπάκια με όψη κασσίτερου που κυμαίνονται από 47 $\mu$ F έως 1000 $\mu$ F. Το μεγάλο, κίτρινο ορθογώνιο στο πρώτο πλάνο είναι ένα καπάκι μεμβράνης πολυπροπυλενίου υψηλής τάσης 0,1  $\mu$ F. Το μπλε καπάκι σε σχήμα δίσκου και το μικρό πράσινο στη μέση είναι και τα δύο κεραμικά.

### 6.3 Αποθήκευση και Προμήθεια Ενέργειας

Φαίνεται προφανές ότι εάν ένας πυκνωτής αποθηκεύει ενέργεια, μία από τις πολλές εφαρμογές του θα ήταν η παροχή αυτής της ενέργειας σε ένα κύκλωμα, ακριβώς όπως μια μπαταρία. Το πρόβλημα είναι ότι οι πυκνωτές έχουν πολύ χαμηλότερη ενεργειακή πυκνότητα από τις μπαταρίες. Απλώς δεν μπορούν να συσκευάσουν τόση ενέργεια όσο μια χημική μπαταρία ίδιου μεγέθους (αλλά αυτό το χάσμα μειώνεται!).

Το πλεονέκτημα των πυκνωτών είναι ότι συνήθως έχουν μεγαλύτερη διάρκεια ζωής από τις μπαταρίες, γεγονός που τους καθιστά καλύτερη επιλογή από περιβαλλοντική άποψη. Είναι επίσης ικανά να αποδίδουν ενέργεια πολύ πιο γρήγορα από μια μπαταρία, γεγονός που τα καθιστά κατάλληλα για εφαρμογές που χρειάζονται σύντομη, αλλά υψηλή ριπή ισχύος. Ένα φλας κάμερας μπορεί να λαμβάνει την ισχύ του από έναν πυκνωτή (ο οποίος, με τη σειρά του, φορτίστηκε από μια μπαταρία).

**Μπαταρία ή πυκνωτής;**

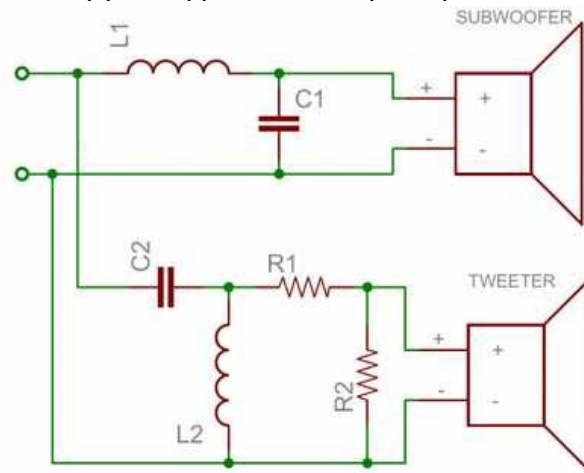
	Μπαταρία	Πυκνωτής
Χωρητικότητα	✓	
Ενεργειακή Πυκνότητα	✓	
Ποσοστό φόρτισης/εκφόρτισης		✓
Διάρκεια ζωής		✓

## 6.4 Φιλτράρισμα σήματος

Οι πυκνωτές έχουν μοναδική απόκριση σε σήματα διαφορετικών συχνοτήτων. Μπορούν να μπλοκάρουν εξαρτήματα σήματος χαμηλής συχνότητας ή συνεχούς ρεύματος, ενώ επιτρέπουν τη διέλευση υψηλότερων συχνοτήτων. Μοιάζουν με ψεύτικους σε ένα πολύ αποκλειστικό κλαμπ μόνο για υψηλές συχνότητες.

Το φιλτράρισμα των σημάτων μπορεί να είναι χρήσιμο σε όλα τα είδη των εφαρμογών επεξεργασίας σήματος. Οι ραδιοφωνικοί δέκτες ενδέχεται να χρησιμοποιούν έναν πυκνωτή (μεταξύ άλλων εξαρτημάτων) για να συντονίζουν τις ανεπιθύμητες συχνότητες.

Ένα άλλο παράδειγμα φιλτραρίσματος σήματος πυκνωτή είναι τα κυκλώματα παθητικής διασταύρωσης μέσα στα ηχεία, τα οποία διαχωρίζουν ένα μόνο ηχητικό σήμα σε πολλά. Ένας πυκνωτής σειράς θα μπλοκάρει τις χαμηλές συχνότητες, έτσι ώστε τα υπόλοιπα μέρη του σήματος υψηλής συχνότητας να μπορούν να πάνε στο tweeter του ηχείου. Στο κύκλωμα διέλευσης, υπογούφερ χαμηλής συχνότητας, οι υψηλές συχνότητες μπορούν κυρίως να μεταφερθούν στη γείωση μέσω του παράλληλου πυκνωτή.



*Αυτό είναι ένα πολύ απλό παράδειγμα κυκλώματος crossover ήχου. Ο πυκνωτής αποκλείει τις χαμηλές συχνότητες, ενώ ο επαγωγέας αποκλείει τις υψηλές συχνότητες. Κάθε ένα μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την παροχή του κατάλληλου σήματος σε συντονισμένα προγράμματα οδήγησης ήχου.*

## 7 Συμπέρασμα

Νιώθεις σαν ειδικός στους πυκνωτές;! Θέλετε να συνεχίσετε να μαθαίνετε περισσότερα για τις βασικές αρχές των ηλεκτρονικών; Εάν δεν το έχετε κάνει ήδη, εξετάστε το ενδεχόμενο να διαβάσετε σχετικά με μερικά από τα άλλα κοινά ηλεκτρονικά εξαρτήματα:

- Αντιστάσεις
- Δίοδοι
- Διακόπτες
- Ολοκληρωμένα κυκλώματα
- Τρανζίστορ

Ή κάποια από αυτά τα μαθήματα θα τραβήξουν την προσοχή σας;

- Τεχνολογίες Μπαταριών
- Πώς να τροφοδοτήσετε ένα έργο
- Ηλεκτρική ενέργεια