

Ιδιοκατασκευές πηνίων και μετασχηματιστών υψηλών συχνοτήτων

Στο χώρο των ιδιοκατασκευών, απαντώντα συνήθως πηνία, ή μετασχηματιστικές υψηλών συχνοτήτων που πρέπει να τυλιχτούν σε τροειδείς πυρήνες. Ο τροειδής πυρήνας έχει τη μορφή που φαίνεται στο σχήμα 1, δηλαδή ενός πεπλατυσμένου κυλίνδρου με κεντρική οπή. (Σ.τ.μ.: Η λέξη τροειδής προέρχεται από τη λέξη "τόρος" που είναι το ελληνικό όνομα για το στερεό που έχουμε συνηθίσει να ονομάζουμε "σαμπρέλλα"). Η τροειδής μορφή πυρήνα, είναι κατάλληλη για το τύλιγμα πηνίων, διότι η συγκεκριμένη γεωμετρία παρέχει ένα είδος "αυτοθωράκισης". Πάνω σ' αυτή τη μορφή αναπτύχθηκαν μαγνητικά υλικά με μεγάλη μαγνητική διαπερατότητα (μ) μέσω των οποίων επιτυγχάνεται μεγάλη αυτεπαγωγή με μικρό μήκος σύρματος. Η πρώτη ιδιότητα, της "αυτοθωράκισης" καθιστά το τροειδές πηνίο, ένα απλό στη χρήση του εξάρτημα σε εφαρμογές υψηλών συχνοτήτων.

Πράγματι, τα συνήθη σωληνοειδή (κυλινδρικά) πηνία, παράγουν ένα μαγνητικό πεδίο το οποίο εκτείνεται αρκετά πέρα από την περιοχή των τυλιγμάτων και συνεπώς μπορεί να αλληλεπιδράσει με τα μαγνητικά πεδία άλλων πηνίων ή γραμμών που μεταφέρουν ρεύμα. Αυτή η ανεπιθυμητή επαγωγική ζεύξη είναι δυνατόν να προκαλέσει πληθώρα προβλημάτων, ειδικά στις υψηλές συχνότητες και για το λόγο αυτό πρέπει να αποφεύγεται όπου είναι δυνατόν. Η χρήση τροειδών πηνίων, χάρη στο περιορισμένο εξωτερικό μαγνητικό πεδίο, καθιστά δυνατή τη συναρμολόγηση πυκνών κυκλωμάτων, χωρίς ιδιαίτερα προβλήματα παρεμβολών και αλληλεπιδράσεων.

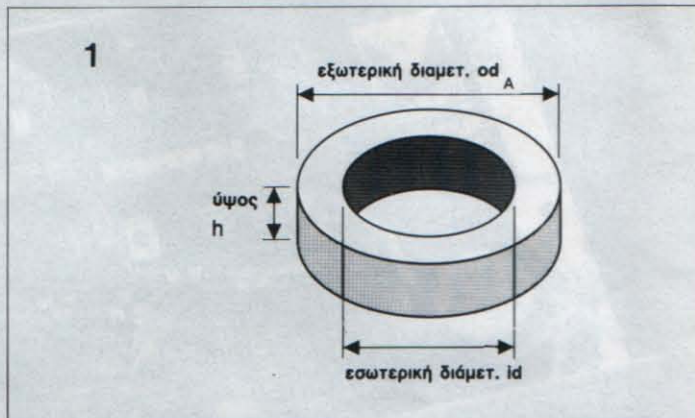
Υλικά τροειδών πυρήνων

Οι τροειδείς πυρήνες κατασκευάζονται από πληθώρα μαγνητικών υλικών, τα οποία γενικά κατατάσσονται σε δύο κύριες κατηγορίες: Σκόνη σιδήρου και φερρίτες. Καθεμιά από τις κατηγορίες αυτές υποδιαιρείται ως εξής:

Υλικά από σιδηρόσκονη

Τα υλικά αυτά διακρίνονται σε δύο βασικούς τύπους: Σκόνη καρβονυλικού σιδήρου και σκόνη υδρογονωμένου σιδήρου. Ο καρβονυλικός σίδηρος παρουσιάζει εξαιρετική θερμική σταθερότητα, ενώ ταυτόχρονα διαθέτει τιμές σχετικής μαγνητικής διαπερατότητας (μ_r) που εκτείνονται από 1 έως 35. Πυρήνες κατασκευασμένοι με αυτά τα υλικά προσφέρουν υψηλό συντελεστή ποιότητας (Q) στο πηνίο, σε συχνότητες μέχρι 200 MHz. Χρησιμοποιούνται συνήθως σε εφαρμογές υψηλής ισχύος, σε ταλαντωτές μεταβλητής συχνότητας και γενικά, όπου απαιτείται ευστάθεια σε μεγάλες περιοχές θερμοκρασιών. Πρέπει εδώ να τονιστεί ότι κανένα μαγνητικό υλικό, δεν είναι εντελώς απαλλαγμένο από μεταβολές των ιδιοτήτων του με τη θερμοκρασία, και για το λόγο αυτό, η χρήση τους σε πηνία ταλαντωτών, πρέπει να γίνεται σε συνδυασμό με τις απαραίτητες θερμικές αντισταθμίσεις.

Ο υδρογονωμένος σίδηρος παρουσιάζει υψηλότερες τιμές σχετικής μαγνητικής διαπερατότητας (μ_r) μέχρι 90, αλλά προσφέρει χαμηλότερο "Q" στα πηνία, σχετικά με τον καρβονυλικό σίδηρο. Η χρήση του υλικού αυτού περιορίζεται σε πηνία για φίλτρα ηλεκτρομαγνητικών παρεμβολών (EMI). Μια συγκεντρωτική παρουσίαση των υλικών σκόνης σιδήρου και των διαβαθμίσεών τους δίνεται στον Πίνακα 1.



Σχήμα 1: Το σχήμα ενός τροειδούς πυρήνα

Φερριτικά υλικά:

Η λέξη "φερρίτης" παραπέμπει σε υλικά με βάση το σίδηρο αλλά στην πράξη δε συμβαίνει κάτι τέτοιο. Αντίθετα, τα φερριτικά μαγνητικά υλικά, διακρίνονται σε δύο κύριες κατηγορίες, τη μια με βάση τα μέταλλα νικέλιο και ψευδάργυρο (Ni-Zn) και την άλλη με μαγγάνιο - ψευδάργυρο (Mn-Zn).

Τα υλικά νικελίου - ψευδα-

ργύρου, παρουσιάζουν υψηλή χωρική αντίσταση και προσφέρουν υψηλές τιμές "Q" στις περιοχές συχνοτήτων από 500 KHz έως 100 MHz, ενώ η θερμική τους σταθερότητα είναι μέτρια. Η σχετική μαγνητική διαπερατότητα των υλικών αυτών εκτείνεται από 125 έως 850.

Τα υλικά μαγγανίου - ψευδαργύρου, παρουσιάζουν ακόμη υψηλότερες τιμές σχετικής μαγνητικής διαπερατότητας, από αυτές των υλικών Ni-Zn (από 850 έως 5.000) ενώ προσφέρουν επίσης υψηλές τιμές "Q" σε συχνότητες από 1KHz μέχρι 1MHz. Παρουσιάζουν χαμηλή χωρική αντίσταση και μέτρια πυκνότητα μαγνητικής ροής κορεσμού. Χρησιμοποιούνται ευρύτατα σε διακοπτικά τροφοδοτικά, για συχνό-

Πίνακας 1: Υλικά από σιδηρόσκονη

Υλικό	μ_r	Ιδιότητες - χρήση
0	1	Χρήση μέχρι 200 MHz. Η αυτεπαγωγή εξαρτάται από τον τρόπο περιέλιξης.
1	20	Υλικό: Carbonyl - C. Παρόμοιο με το μείγμα No.3, αλλά περισσότερο σταθερό και με υψηλότερη αντίσταση.
2	10	Υλικό: Carbonyl-E Υψηλό "Q" και ικανοποιητική ειδική αντίσταση στην περιοχή 1MHz έως 30MHz.
3	35	Υλικό Carbonyl-HP. Εξαιρετική σταθερότητα και υψηλό "Q" στην περιοχή 50KHz έως 500KHz
6	8	Υλικό: Carbonyl-SF. Παρόμοιο με το μίγμα No. 2 αλλά με υψηλότερο "Q" στην περιοχή 20MHz έως 50MHz.
10	6	Σκόνη σιδήρου τύπου W. Καλό "Q" και υψηλή σταθερότητα στην περιοχή 40MHz έως 100MHz.
12	3	Συνθετικό οξειδίο. Καλό "Q" αλλά μέτρια σταθερότητα στην περιοχή 50MHz έως 100MHz.
15	25	Υλικό: Carbonyl GS6. Εξαιρετική σταθερότητα και καλό "Q" στην περιοχή 100KHz έως 2MHz. Συνιστάται για την περιοχή των AM BCB και VLF
17	3	Καρβονυλικό παρόμοιο με το μίγμα No.12 με καλύτερη σταθερότητα αλλά μικρότερο "Q".
26	75	Υδρογονωμένος σίδηρος. Υψηλή διαπερατότητα. Χρήση σε φίλτρα EMI και πηνία χαμηλών συχνοτήτων.
41	75	Παρόμοιο με το 26 αλλά με μεγαλύτερο εύρος συχνοτήτων

τητες από 20 KHz έως 100 KHz καθώς και σε φίλτρα (EMI) στην περιοχή 20 MHz έως 400 MHz. Πρόσθετες πληροφορίες για διάφορους τύπους φερριτικών υλικών δίνονται στον Πίνακα 2.

Χαρακτηρισμός τοροειδών πυρήνων

Για τον προσδιορισμό των διαφρών τύπων τοροειδών πυρήνων, ισχύουν πολλές τυποποιήσεις, αλλά εδώ θα παρουσιαστεί ο τρόπος χαρακτηρισμού που χρησιμοποιεί η Amidon Associates (2216 East Cladwick, Dominguez Hills, CA, 90220, USA) ως ο πλέον συχνά απαιτούμενος σε δημοσιεύσεις που αφορούν το χώρο των ιδιοκατασκευαστών. Οι μονάδες μετρήσεως είναι του "Αγγλικού" συστήματος που χρησιμοποιείται στις ΗΠΑ, τον Καναδά και παλαιότερα στη Μ. Βρετανία, και όχι του διεθνούς συστήματος SI, αλλά προτείνεται ως πιο διαδεδομένες όσον αφορά τους τοροειδείς πυρήνες.

Ο κωδικός αριθμός οποιουδήποτε πυρήνα αποτελείται από τρία διψήφια μέρη (μορφή xx-yy-zz). Το τμήμα "xx" περιλαμβάνει έναν ή δύο αλφαθητικούς χαρακτήρες που προσδιορίζουν τη γενική κατηγορία του υλικού ως εξής "xx=T" για υλικά σκόνης σιδήρου και "xx=TF" για φερριτικά υλικά. Το τμήμα "yy" είναι μια στρογγυλεμένη προσέγγιση της εξωτερικής διαμέτρου (σχήμα 1) του πυρήνα σε ίντσες. Για παράδειγμα, "yy=37" σημαίνει εξωτερική διάμετρο 0.375 ίντσών (9.53 mm) ενώ "yy=50" σημαίνει εξωτερική διάμετρο 0.5 ίντσών (12.7mm). Τέλος το τμήμα "zz" χαρακτηρίζει τον τύπο (μίγμα) του υλικού. Ένα μίγμα No.2 σκόνης σιδήρου με πυρήνα εξωτερικής διαμέτρου 0.5 ίντσών θα συμβολιζόταν σαν πυρήνας T-50-2.

Αυτεπαγωγή τοροειδών πηνίων

Η αυτεπαγωγή L, πηνίων με τοροειδή πυρήνα, είναι συνάρτηση της σχετικής μαγνητικής διαπερατότητας του υλικού του πυρήνα, του αριθμού των σπειρών, της εσωτερικής και εξωτερικής διαμέτρου (id και od αντίστοιχα) καθώς και του ύψους

Πίνακας 2

Υλικό	μr	Ιδιότητες - χρήση
33	850 Mn-Zn.	Χρήση στην περιοχή 1KHz-1MHz για ράβδους κεραίων. Χαμηλή χωρική αντίσταση.
43	850	Ni-Zn. Χρήση σε πηνία μεσαίων κυμάτων και μετασχηματιστές ευρείας ζώνης μέχρι 50MHz. Υψηλή εξασθένιση στην περιοχή 30MHz έως 400MHz Μεγάλη χωρική αντίσταση.
61	125	Ni-Zn. Υψηλό "Q" στην περιοχή 200KHz έως 15MHz. Μέτρια θερμοκρασιακή σταθερότητα χρήση σε μετασχηματιστές ευρείας ζώνης μέχρι 200 MHz.
63	40	Υψηλό "Q" στην περιοχή 15MHz έως 200MHz. Χαμηλή μαγνητική διαπερατότητα. Υψηλή χωρική αντίσταση.
67	40	Ni-Zn. Υψηλό "Q" στην περιοχή 10MHz έως 80MHz Υψηλό σημείο κορεσμού και καλή θερμική σταθερότητα. Παρόμοιο με τον τύπο 63 αλλά με χαμηλότερη χωρική αντίσταση. Χρήση σε μετασχηματιστή ευρείας ζώνης έως 200MHz.
68	20	Ni-Zn. Εξαιρετική θερμική σταθερότητα και υψηλό "Q" στην περιοχή 80MHz έως 180 MHz. Υψηλή χωρική αντίσταση.
72	2000	Υψηλό "Q" έως 500 KHz. Χαμηλή χωρική αντίσταση, χρήση σε φίλτρα EMI από 500 KHz έως 50 MHz.
J/75	5000	Χρήση σε παλμικούς μετασχηματιστές και μετασχηματιστές ευρείας ζώνης στην περιοχή 1KHz έως 1MHz και σε φίλτρα EMI από 500KHz έως 20MHz. Χαμηλή χωρική αντίσταση και μικρές απώλειες.
77	2000	Χρήση σε μετασχηματιστές ευρείας ζώνης και διακοπτικά τροφοδοτικά από 1KHz έως 1MHz.
F	3000	Παρόμοιο με τον τύπο 77 αλλά με υψηλότερη χωρική αντίσταση, υψηλότερη αρχική μαγνητική διαπερατότητα και υψηλότερο σημείο κορεσμού. Χρήση σε διακοπτικά τροφοδοτικά και φίλτρα EMI από 500 KHz έως 50MHz

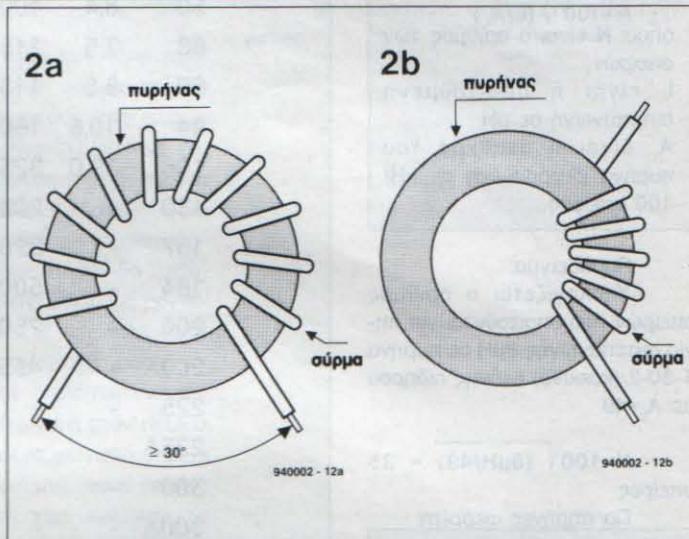
(h) του πυρήνα, και μπορεί να προσεγγιστεί από τη σχέση:

$$L=0.011684 \cdot h \cdot N^2 \cdot \mu, \log (o.d./i.d) \text{ σε Henrys}$$

Η εξίσωση αυτή σπανίως χρησιμοποιείται κατ' ευθείαν, γιατί οι κατασκευαστές τοροειδών πυρήνων, παρέχουν για διευκόλυνση μια παράμετρο που ονομάζεται AL και εκφράζει την αυτεπαγωγή του πυρήνα για κάθε 100 ή 1000 σπείρες. Στους πίνακες 3 και 4 φαίνονται οι τιμές AL για τους πιο συνηθισμένους τύπους τοροειδών πυρήνων φερριτική και σκόνης σιδήρου. Στον πίνακα 5 φαίνονται μερικές από τις άλλες ιδιότητες των πυρήνων σκόνης σιδήρου.

Περιέλιξη τοροειδών πηνίων

Υπάρχουν δύο βασικοί τρόποι για να τυλίξει κανείς ένα πηνίο σε τοροειδή πυρήνα: Με πυκνό τυλίγμα ή με κατανεμημένο τυλίγμα. Στην περίπτωση του κατανεμημένου τυλίγματος οι σπείρες τοποθετούνται σε ίσες αποστάσεις μεταξύ τους κατά τρόπο ώστε να καταλάβουν σχεδόν όλη



Σχήμα 2: Μέθοδοι τυλίγματος α) Κατανεμημένο τυλίγμα β) πυκνό τυλίγμα

την περίμετρο του πυρήνα εκτός από ένα μικρό τόξο (άνω των 30 μοιρών όπως φαίνεται και στο σχήμα 2α). Το μικρό αυτό κενό τόξο μεταξύ των δύο άκρων του πηνίου εξασφαλίζει μικρή τιμή παρασιτικής χωρητικότητας. Στην περίπτωση πυκνού τυλίγματος (Σχήμα 2b) οι σπείρες τυλιγνόνται έτσι ώστε να αγγίζουν η μια την άλλη. Είναι βέβαιο ότι με αυτό τον τρόπο, η παρασιτική χωρητι-

κότητα του πηνίου αυξάνει πράγματι που έχει επίδραση και στη συχνότητα συντονισμού, αλλά μπορεί κανείς να το ανεχθεί, ιδιαίτερα σε περιπτώσεις όπου τα παρασιτικά φαινόμενα βρίσκονται αρκετά έξω από την περιοχή ενδιαφέροντος. Γενικά η μέθοδος της πυκνής περιέλιξης χρησιμοποιείται για πηνία συντονισμένων κυκλωμάτων στενής ζώνης ενώ η μέθοδος της κατανεμημένης

περιέλιξης σε πηνία για εφαρμογές ευρείας ζώνης, όπως συνήθεις μετασχηματιστές ραδιοσυχνότητας, ή μετασχηματιστές BALUN.

Η μέθοδος της περιέλιξης έχει μια μικρή επίδραση και στην αυτεπαγωγή του πηνίου. Φυσικά, το γεγονός αυτό καθιστά τον ακριβή υπολογισμό της αυτεπαγωγής, αδύνατο, εφ' όσον όμως ο υπολογισμός μπορεί να δώσει μια προσεγγιστική τιμή, τότε το πύκνωμα ή αραίωμα της περιέλιξης είναι μια καλή μέθοδος για λεπτή ρύθμιση της αυτεπαγωγής πάνω στο συναρμολογημένο κύκλωμα.

Υπολογισμός του απαιτούμενου αριθμού σπειρών

Σε όλα τα πηνία, ο αριθμός των σπειρών, καθορίζει την αυτεπαγωγή. Στους τοροειδείς πυρήνες, μπορεί να χρησιμοποιηθεί με μεγάλη αξιοπιστία η παράμετρος AL για τον υπολογισμό του απαιτούμενου αριθμού σπειρών:

Για πυρήνες σκόνης σιδήρου:

$$N=100 \sqrt{(L/A_L)}$$

όπου: N είναι ο αριθμός των σπειρών,
L είναι η απαιτούμενη αυτεπαγωγή σε μΗ
A_L είναι η σταθερά του πυρήνα εκφρασμένη σε μΗ/100 σπείρες

Παράδειγμα:
Υπολογίζεται ο αριθμός σπειρών που απαιτούνται για πηνίο αυτεπαγωγής 6μΗ σε πυρήνα T-50-2 (κόκκινο) σκόνης σιδήρου με A_L=49

$$N=100 \sqrt{(6\mu\text{H}/49)} = 35 \text{ σπείρες}$$

Για πηνίες φερριτή:

$$N=1000 \sqrt{(L/A_L)}$$

όπου:
L είναι η απαιτούμενη αυτεπαγωγή σε μΗ
A_L είναι η σταθερά του πυρήνα εκφρασμένη σε μΗ/1000 σπείρες

Παράδειγμα:
Υπολογίζεται ο αριθμός σπειρών που απαιτούνται για πηνίο αυτεπαγωγής 200 μΗ σε πηνία FT-50A-43 με A_L=570

Πίνακας 3: Φερριτικά υλικά

Κωδικοί αριθμοί πυρήνων FT-yy-zz

Μέγεθος πυρήνα	43	61	63	72	75	77
23	188	24.8	7.9	396	990	356
37	420	55.5	17.7	884	2210	796
50	523	68	22	1100	2750	990
50A	570	75	24	1200	2990	1080
50B	1140	150	48	2400	-	2160
82	557	73.3	22.8	1170	3020	1060
114	603	79.3	25.4	1270	3170	1140
114 A	-	146	-	2340	-	-
140	952	140	-	2240	-	3130
240	1249	173	53	3130	6845	3130

Πίνακας 4. Τιμές A_L για δακτυλιοειδείς πυρήνες τής σειράς T

Μέγεθος	Υλικό πυρήνα								
	0	1	2	3	6	10	12	15	26
12	3	43	20	60	17	12	7,5	50	-
16	3	44	22	61	19	13	8,0	55	-
20	3,5	52	27	90	22	16	10,0	65	-
25	4,5	70	34	100	27	19	12,0	85	-
30	6,0	85	43	140	36	25	16,0	93	325
37	4,9	80	40	120	30	25	15,0	90	275
44	6,5	105	52	180	42	33	18,5	160	360
50	6,4	100	49	175	40	31	18,0	135	320
68	7,5	115	57	195	47	32	21,0	180	420
80	8,5	115	55	180	45	33	22,0	170	450
94	10,6	160	84	248	70	58	32,0	200	590
106	19,0	325	135	450	116	-	-	345	900
130	15	200	110	350	96	-	-	250	785
157	-	320	140	420	115	-	-	360	970
184	-	500	240	720	195	-	-	-	1640
200	-	250	120	425	100	-	-	-	895
200A	-	455	218	460	180	-	-	-	1525
225	-	-	120	425	100	-	-	-	950
225A	-	-	215	-	-	-	-	-	1600
300	-	-	114	-	-	-	-	-	800
300A	-	-	228	-	-	-	-	-	1600
400	-	-	180	-	-	-	-	-	1300
400A	-	-	360	-	-	-	-	-	2600

mH/1000 σπείρες.
(Σημείωση: 200 μΗ=0.2mH)
 $N=1000 \sqrt{(0.2/570)} = 18,7$
σπείρες

Ο αριθμός των σπειρών που υπολογίζεται με τους πιο πάνω τύπους, περιέχει σχεδόν πάντα, δεκαδικά ψηφία. Είναι προτιμότερο να στρογγυλοποιηθεί ή να στρογγυλωθεί.

φανές ότι πρέπει να γίνει στρογγύλευση του αριθμού αυτού προς τον πλησιέστερο ακέραιο. Σε μερικές περιπτώσεις η στρογγύλευση μπορεί να γίνει προς το πλησιέστερο πολλαπλάσιο του 0.5 αλλά κάτι τέτοιο είναι δύσκολο να εφαρμοσθεί στη πράξη.

Κατασκευή του τοροειδούς πηνίου

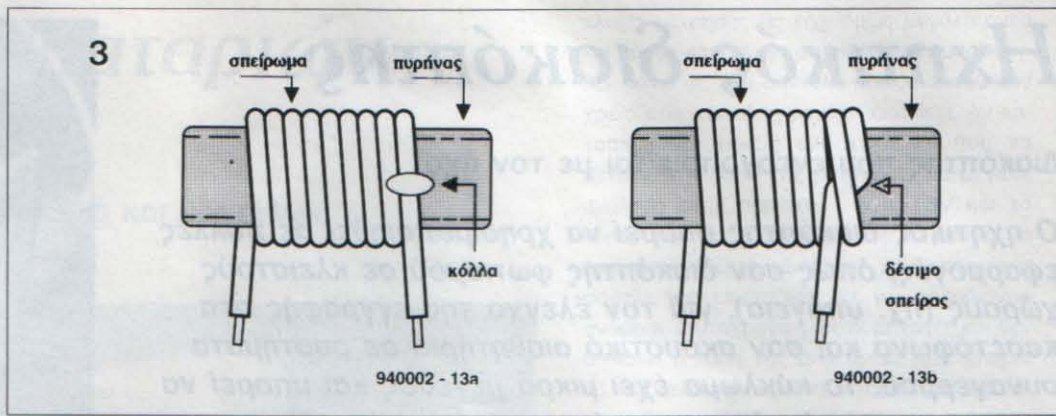
Το τύλιγμα ενός τοροειδούς πηνίου ή μετασχηματιστή γίνεται συνήθως με εμαγιέ σύρμα (το γνωστό πηνιάσσυρμα) ή ειδικό μονωμένο σύρμα formvar (χάλκινο σύρμα με λεπτή πλαστι-

κή μόνωση).

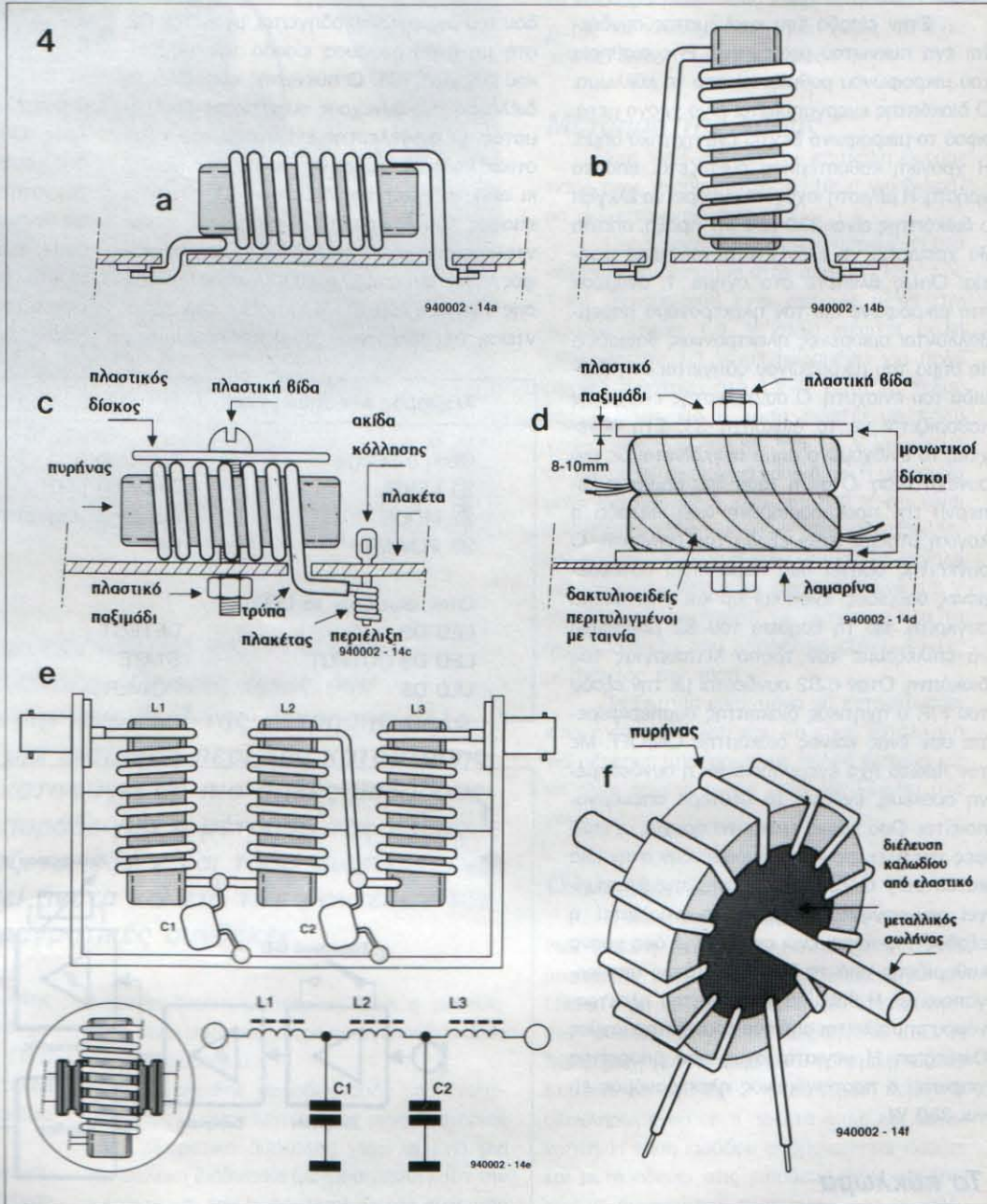
Για εφαρμογές χαμηλής ισχύος (δέκτες, ταλαντωτές μεταβλητής συχνότητας) η διατομή του σύρματος μπορεί να είναι από 0,15 χιλ. έως 0,75 χιλ. Για εφαρμογές υψηλής ισχύος όπως, πομποί ή ενισχυτές υψηλής συχνότητας απαιτείται η χρήση σύρματος μεγαλύτερης διατομής. Στις συνήθειες εφαρμογές ισχύος που αντιμετωπίζει ένας ερασιτέχνης δεν απαιτείται ποτέ διατομή μεγαλύτερη από 1 έως 2 χιλ., ενώ σε μερικές βιομηχανικές κατασκευές μπορεί να βρεθεί ακόμη και σύρμα 5 χιλ. Ακόμη και στις τόσο υψηλές διατομές, το σύρμα είναι εμαγιέ.

Στην περίπτωση χρήσης του πηνίου σε εφαρμογές υψηλής ισχύος είναι δυνατόν να εμφανίζονται στα άκρα του μεγάλες τάσεις. Για παράδειγμα σε ενισχυτές υψηλής συχνότητας - μεγάλης ισχύος, όπως αυτοί που χρησιμοποιούνται από ραδιοερασιτέχνες σε πολλές χώρες, τα δυναμικά που εμφανίζονται στις γραμμές των 50Ω μπορούν να φθάσουν τις μερικές εκατοντάδες Volt. Σε παρόμοιες περιπτώσεις οι τοροειδείς πυρήνες πρέπει να καλύπτονται πριν από το τύλιγμα με ταινία που να έχει καλές μονωτικές ιδιότητες καθώς και αντοχή σε υψηλές θερμοκρασίες. Παρόμοιες ταινίες κατασκευάζονται συνήθως με βάση το γυαλί, όπως για παράδειγμα ο τύπος Scotch 27.

Στις εφαρμογές μεγάλης ισχύος, απαιτείται επίσης μεγάλο μέγεθος τοροειδών πυρήνων σε σχέση με αυτό που χρησιμοποιείται συνήθως στις εφαρμογές χαμηλού σήματος. Γενικά χρησιμοποιούνται μεγέθη από FT-150-zz έως FT-240-zz ή από T-130-zz έως T-500-zz. Αν ακόμη και αυτά τα μεγέθη αποδειχθούν ανεπαρκή (για εφαρμογές πολύ μεγάλης ισχύος) τότε χρησιμοποιείται η τεχνική της παράλληλης τοποθέτησης πολλών όμοιων πυρήνων. Στην τεχνική αυτή, οι πυρήνες τοποθετούνται ο ένας πάνω στον άλλο, σχηματίζοντας ένα σωλήνα, μέχρι να επιτευχθεί το επιθυμητό μέγεθος, κατόπιν στερεώνονται μεταξύ τους με ταινία και στη συνέχεια γίνεται το τύλιγμα. Η τεχνική αυτή χρησιμοποιείται συνήθως σε ενισχυτές ισχύος υψηλών συχνοτήτων και σε μονάδες συντονισμού κεραίας εκπομπής.



Σχήμα 3: Μέθοδοι στερέωσης του σύρματος α) με σταγόνα κόλλας β) Με πρόδωση της πρώτης σπείρας.



Σχήμα 4: α) Οριζόντια τοποθέτηση, β) Κατακόρυφη τοποθέτηση, γ) Πρόδωση με πλαστική βίδα, δ) Πρόδωση πηνίων υψηλής τάσεως ή υψηλής ισχύος, ε) Ανάρτηση τοροειδών πηνίων σε άξονα, ς) Μέθοδος στήριξης για μετασχηματιστές ρεύματος με πρωτεύον μιας σπείρας για χρήση σε μετρητές ισχύος υψηλών συχνοτήτων ή μετρητές στάσιμων κυμάτων (VSWR).

Ιδιοκατασκευές τοροειδών πηνίων και μετασχηματιστών υψηλών συχνοτήτων (μέρος 2^ο) Στερέωση του σύρματος

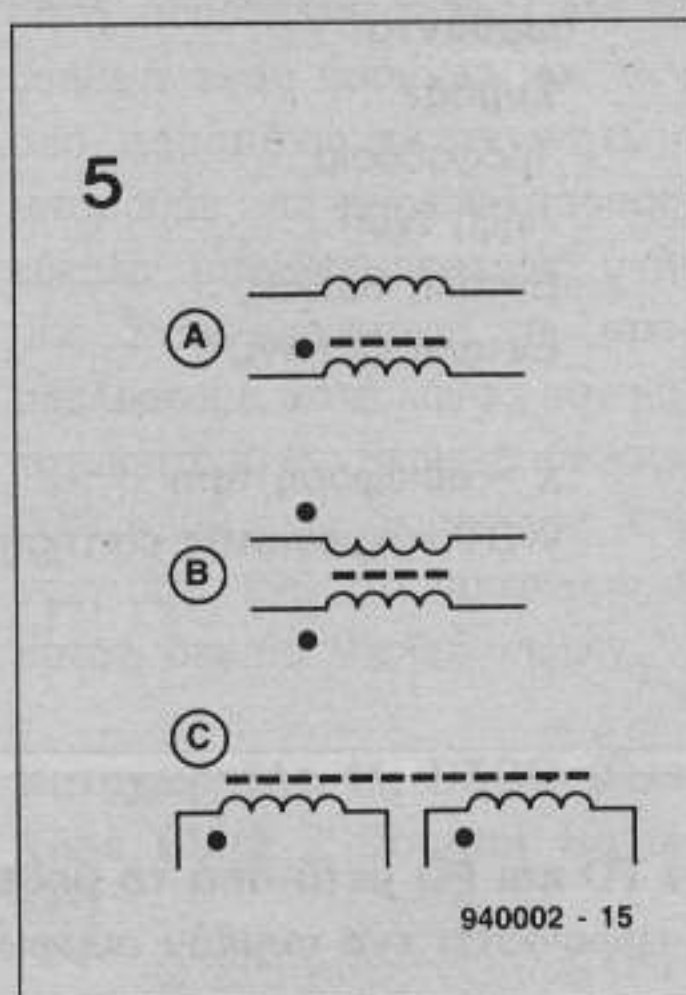
Σε μερικές περιπτώσεις είναι δύσκολο το τύλιγμα του πηνίου (ή μετασχηματιστή) να χαλαρώσει. Για το λόγο αυτό προτιμάται από μερικούς κατασκευαστές η στερέωσή του στον πυρήνα με κάποια από τις μεθόδους που φαίνονται στο σχήμα 3 (προηγούμενο τεύχος)

Στην πρώτη μέθοδο, (Σχήμα 3α) η αρχή και το τέλος του τυλίγματος συγκολλούνται στον πυρήνα με μια σταγόνα κόλλας, ή του υλικού σφραγίσεως Glyptol (που χρησιμοποιείται συνήθως στα κυκλώματα υψηλής τάσης τηλεοπτικών δεκτών). Μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί και αυτοκόλλητη ταινία σιλικόνης.

Άλλοι κατασκευαστές προτιμούν τη μέθοδο στερέωσης του σχήματος 3b. Σε αυτή τη μέθοδο, η αρχή του σύρματος συσφιγγεται κάτω από την πρώτη σπείρα, ενώ από τη δεύτερη σπείρα και μετά το τύλιγμα συνεχίζεται κανονικά. Με τη μέθοδο αυτή, γίνεται αποτελεσματική στερέωση του σύρματος αλλά μερικοί υποστηρίζουν ότι δημιουργεί μια τοπική ανωμαλία στο μαγνητικό πεδίο η οποία μπορεί να προκαλέσει αλληλεπιδράσεις με γειτονικά εξαρτήματα. Η εμπειρία πάντως έχει αποδείξει ότι οι αναπόφευκτες αλληλεπιδράσεις δεν είναι τόσο τραγικές και η μέθοδος χρησιμοποιείται χωρίς μέχρι τώρα να έχει παρουσιάσει προβλήματα.

Όταν το τύλιγμα ολοκληρωθεί και έχουν ρυθμιστεί τόσο ο αριθμός σπειρών όσο και η μεταξύ τους απόσταση ώστε να επιτευχθεί η απαιτούμενη αυτεπαγωγή, το τύλιγμα πρέπει να στερεωθεί πριν το πηνίο καταλάβει τη θέση του στο κύκλωμα.

Μια καλή μέθοδος τελικής στερέωσης είναι η κάλυψη του πηνίου με ένα λεπτό στρώμα σκληρού βερνικιού μετασχηματιστών ή του υλικού "Q-dope" το



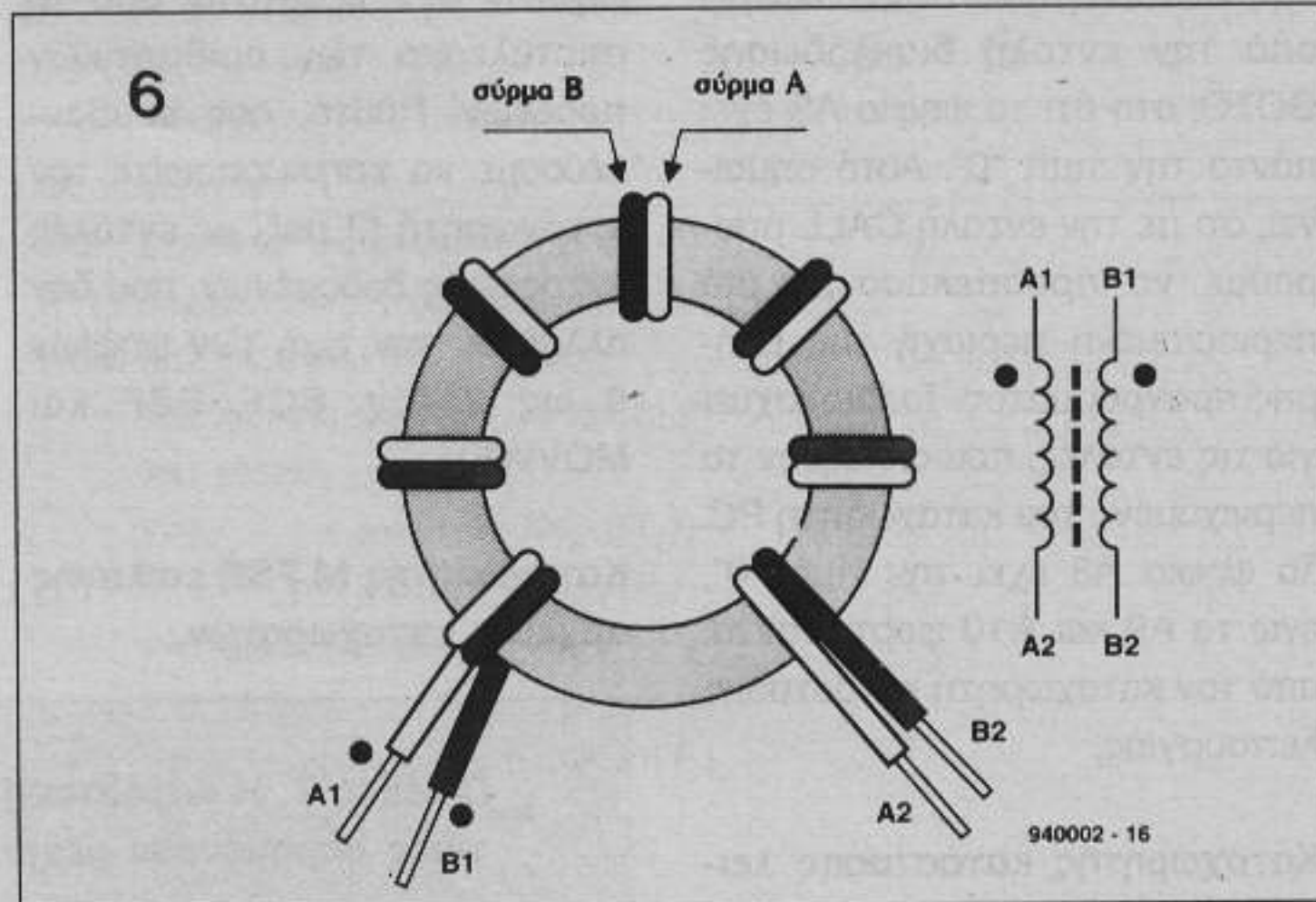
Σχήμα 5: Σχηματικά σύμβολα μετασχηματιστών

οποίο χαρακτηρίζεται από τον κατασκευαστή του ως μέσο σφράγισης πηνίων.

Στερέωση του πηνίου

Τα τοροειδή εξαρτήματα είναι πιο δύσκολα στη στερέωση τους σε σύγκριση με τα σωληνοειδή, αλλά οι κανόνες στερέωσης που πρέπει να ακολουθηθεί κανείς δεν είναι αυστηροί, διότι όπως προαναφέρθηκε, ένα καλά κατασκευασμένο τοροειδές πηνίο, είναι αυτοθωρακισμένο και έτσι δεν απαιτείται μεγάλη προσοχή στη γειτνίαση με άλλα εξαρτήματα. (Αυτό βέβαια δεν σημαίνει ότι επιτρέπεται η απροσεξία).

Για παράδειγμα, στα σωληνοειδή πηνία, πρέπει κατά την τοποθέτηση να δοθεί μεγάλη προσοχή στη μεταξύ τους απόσταση και το σχετικό τους προσανατολισμό. Γειτονικά πηνία πρέπει να τοποθετούνται έτσι ώστε οι άξονές τους να σχηματίζουν ορθή γωνία ώστε να ελαχιστοποιείται ο συντελεστής αμοιβαίας επαγωγής. Αντίθετα, τα τοροειδή πηνία μπορούν να τοποθετούνται κοντά το ένα στο άλλο, σε παράλληλα επίπεδα ή στο ίδιο επίπεδο. Φυσικά κατά τη σχεδίαση πρέπει να προβλέπεται κάποια ευρυχωρία κυρίως διότι η κατασκευή των τοροειδών εξαρτημάτων εμφανίζει πάντα ατέλειες στις διαστάσεις, αλλά η απαιτούμενη μεταξύ τους απόσταση είναι κατά κανόνα μικρότερη από αυτή που απαιτείται μεταξύ σωληνοειδών πηνίων, εκτός αν τα τελευταία είναι πολύ καλά θωρα-



Σχήμα 6: Δίμητη περιέλιξη

κισμένα.

Η καλή μηχανική στερέωση είναι απαραίτητη σε κάθε πηνίο όπως και σε κάθε εξάρτημα. Στην πιο ευνοϊκή περίπτωση το τοροειδές εξάρτημα μπορεί να στερεωθεί κατ' ευθείαν πάνω στη πλακέτα με τους τρόπους που φαίνονται στα σχήματα 4α και 4b. Στο σχήμα 4α, το τοροειδές εξάρτημα τοποθετείται οριζόντια πάνω στην πλακέτα και τα άκρα του τυλίγματος του συγκολλούνται σε κατάλληλες γι' αυτό το σκοπό τρύπες, όπως όλα τα άλλα εξαρτήματα. Στο σχήμα 4b, το πηνίο τοποθετείται κάθετα πάνω στην πλακέτα και για τη στήριξη του χρησιμοποιούνται τα άκρα του τυλίγματος του. Είναι καλό, και στους δύο πιο πάνω τρόπους να χρησιμοποιείται μια μικρή ποσότητα εποξικής κόλλας για την καλύτερη στερέωση των πηνίων στην πλακέτα.

Όταν το περιβάλλον της κατασκευής δεν είναι αρκετά στερεό όσον αφορά τις δονήσεις, μπορεί να εφαρμοσθεί η μέθοδος του σχήματος 4c. Εδώ, το τοροειδές πηνίο στερεώνεται στην πλακέτα με τη βοήθεια πλαστικών εξαρτημάτων (βίδα -παξιμαδι και ροδέλα). Σε συστήματα συντονισμού κεραίας υψηλής ισχύος είναι συνήθης και η μέθοδος στήριξης που φαίνεται στο σχήμα 4b. Σ' αυτή την μέθοδο, πολλά πηνία, περιτυλίσσονται πρώτα ξεχωριστά και μετά όλα μαζί με υαλοταινία. Το σύνολο εφοδιάζεται στις δύο πλευρές του με κυκλικές μονωτικές ροδέλες από

πλαστικό ή κεραμικό υλικό ή ακόμα και κομμάτι πλακέτας και όλα μαζί στερεώνονται με πλαστική βίδα και παξιμάδι σε κάποιο μέρος της (συνήθως μεταλλικής) κατασκευής.

Στο σχήμα 4e φαίνεται μια μέθοδος ανάρτησης τοροειδών πηνίων σε περίβλημα θωράκισης. Τα πηνία διαπερνώνται από κοινό άξονα, κατασκευασμένο από μονωτικό υλικό (ξύλο πλαστικό, πλεξιγκλάς ή οποιοδήποτε συνθετικό). Αν ο άξονας έχει τις κατάλληλες διαστάσεις, τότε η στήριξη των πηνίων γίνεται σφηνωτά και δεν απαιτείται άλλη στερέωση. Σε αντίθετη περίπτωση θα χρειαστεί μια μικρή ποσότητα κόλλας για τη στερέωση των πηνίων στον άξονα. Ιδιαίτερη προσοχή απαιτείται κατά την τοποθέτηση του άξονα, όταν αυτός εφαρμόζει πολύ σφικτά, για να αποφευχθεί σπάσιμό των πυρήνων.

Σε μερικές περιπτώσεις μπορούν να τοποθετηθούν πάνω στον άξονα και εκατέρωθεν του κάθε πηνίου λαστιχένιες ροδέλες (λαστιχάκια βρύσης ή λάστιχα προστασίας καλωδίων) με σφικτή εφαρμογή στον άξονα. Αν τα λαστιχάκια πιεστούν προς το πηνίο, αποτελούν μια πολύ ασφαλή στερέωση. Λίγες σταγόνες κόλλας δίνουν ακόμη μεγαλύτερη αντοχή και αξιοπιστία στο σύστημα.

Μια παρόμοια τεχνική, χρησιμοποιείται και για την ιδιοκατασκευή μετασχηματιστών ρεύμα-

τος σε ερασιτεχνικούς μετρητές ισχύος υψηλών συχνοτήτων (Σχήμα 4f). Στην περίπτωση αυτή, μια λαστιχένια ροδέλα εφαρμόζεται στο κεντρικό άνοιγμα ενός ήδη τυλιγμένου τοροειδούς πηνίου, και το κέντρο της ροδέλας κλείνεται με μια λεπτή ράβδο από χαλκό ή ορείχαλκο.

Η ράβδος αυτή παίζει το ρόλο πρωτεύοντος τυλίγματος μιας σπείρας. Ένα τμήμα του ρεύματος υψηλής συχνότητας που διαρέει τη ράβδο επάγεται μαγνητικά στο δευτερεύον τυλίγμα που είναι ήδη τυλιγμένο στον

τοροειδή πυρήνα, και κατόπιν οδηγείται είτε σε ένα παλμογράφο είτε σε ένα σύστημα ανόρθωσης και εξομάλυνσης ώστε να οδηγήσει ένα μικρό αμπερόμετρο συνεχούς τάσης βαθμονομημένο σε Watt ή σε μονάδες VSWR.

Τοροειδείς μετασχηματιστές υψηλών συχνοτήτων

Τόσο οι συντονισμένοι μετασχηματιστές υψηλών συχνοτήτων (στενής ζώνης) όσο και οι μετασχηματιστές ευρείας ζώνης μπορούν να κατασκευαστούν σε τοροειδείς πυρήνες σκόνης σιδήρου ή φερριτικού υλικού. Τα σχηματικά σύμβολα που χρησιμοποιούνται για μετασχηματιστές φαίνονται στο σχήμα 5. Και τα τρία σύμβολα του σχήματος παριστούν τον ίδιο τύπο εξαρτήματος και η διαφοροποίησή τους γίνεται μόνο για διευκόλυνση της σχεδιαστικής τοπολογίας. Το μόνο σημείο που πρέπει να αντιμετωπιστεί με ιδιαίτερη προσοχή στα πιο πάνω σύμβολα, είναι η σωστή τοποθέτηση της κουκκίδας που συνοδεύει κάθε τυλίγμα. Οι κουκκίδες αυτές σημειοδοτούν την "πολικότητα" του τυλίγματος ή με άλλες λέξεις τη φορά περιέλιξης

του κάθε τυλίγματος.

Έτσι, κατά την κατασκευή του μετασχηματιστή, όλα τα τυλίγματα έχουν την ίδια φορά και ξεκινούν πάντοτε από τον ακροδέκτη που είναι σημειωμένος με κουκκίδα. Ένας άλλος τρόπος για την κατανόηση της σημασίας της ορθής περιέλιξης είναι ο εξής: Υποθέτουμε ότι ένα τρίτο τυλίγμα χρησιμοποιείται για τη δημιουργία μαγνητικού πεδίου στον πυρήνα, μέσω μιας γεννήτριας. Τότε, τα σήματα που μετρώνται στους ακροδέκτες με κουκκίδα είναι συμφασικά. Τα σήματα που μετρώνται στους ακροδέκτες χωρίς κουκκίδα είναι επίσης συμφασικά αλλά αντίστροφα των προηγούμενων.

Τα τυλίγματα ενός τοροειδούς μετασχηματιστή, μπορούν να τοποθετηθούν σε οποιοδήποτε σημείο της περιφέρειάς του πυρήνα όταν πρόκειται για συντονισμένο μετασχηματιστή, αλλά στην περίπτωση μετασχηματιστή ευρείας ζώνης είναι απαραίτητο να εφαρμοστεί "δίμιτη περιέλιξη" όπως φαίνεται στο σχήμα 6.

Στη μέθοδο της δίμιτης περιέλιξης, τα δύο σύρματα (πρωτεύοντος και δευτερεύοντος τυλίγματος) τυλίγονται ταυτόχρο-

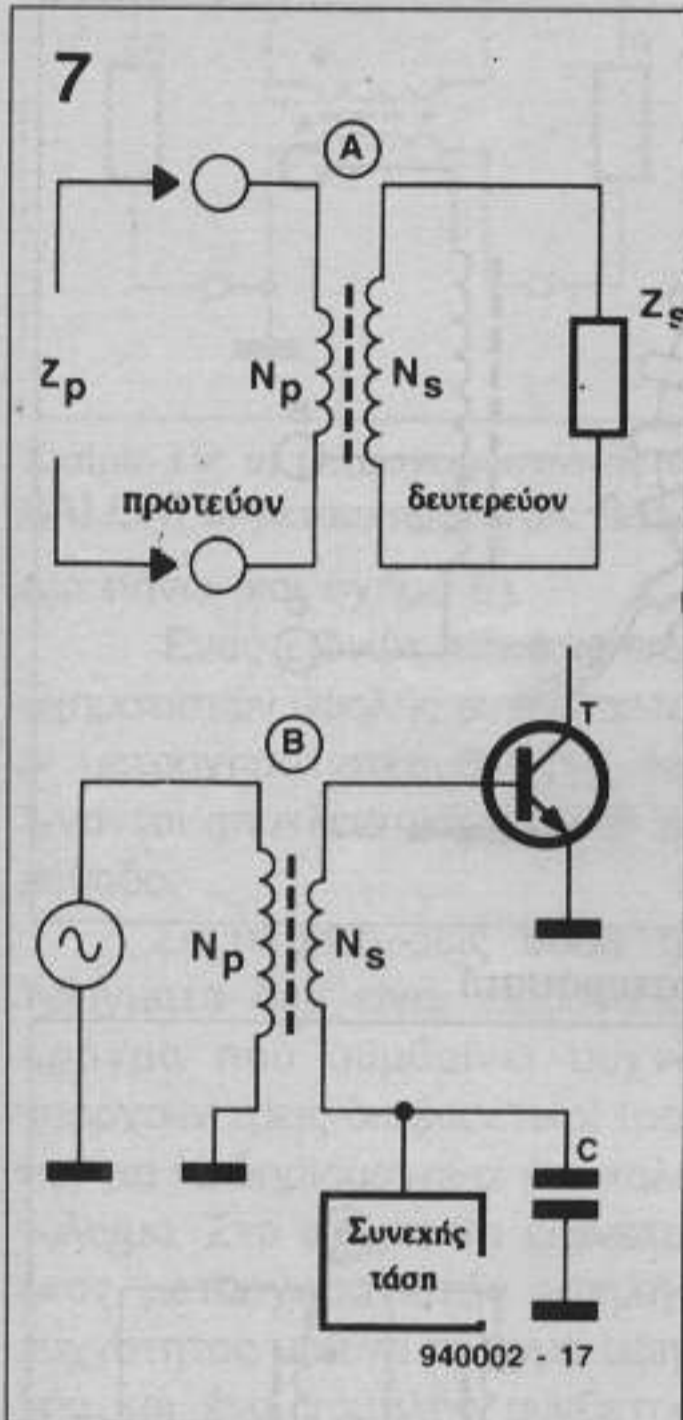
να και συγκρατούνται παράλληλα σε όλο τους το μήκος σαν να ήταν διπολικό καλώδιο. Στο τέλος της περιέλιξης, το ένα άκρο του τυλίγματος περιέχει την αρχή πρωτεύοντος και δευτερεύοντος ενώ το άλλο άκρο, το τέλος.

Κοινοί μετασχηματιστές

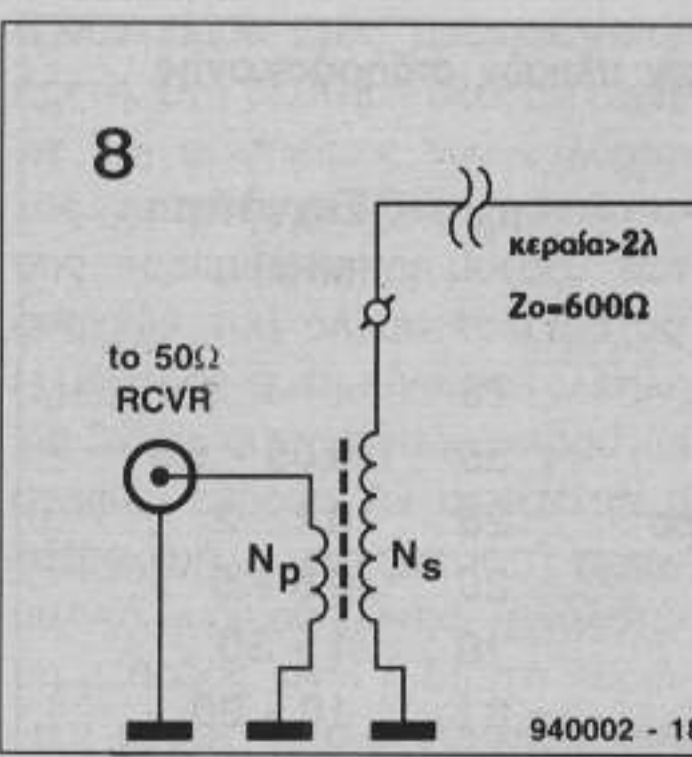
Μια από τις κύριες εφαρμογές των μετασχηματιστών σε κυκλώματα υψηλών συχνοτήτων, είναι ο μετασχηματισμός συνθέτων αντιστάσεων. Όταν το δευτερεύον τυλίγμα ενός μετασχηματιστή είναι συνδεδεμένο σε μια αντίσταση φορτίου, τότε η σύνθετη αντίσταση που "φαίνεται" στο πρωτεύον, είναι συνάρτηση της αντίστασης φορτίου και του λόγου σπειρών του μετασχηματιστή. Η σχέση που συνδέει τα μεγέθη αυτά, όπως φαίνονται στο σχήμα 7α είναι:

$$N_p/N_s = \sqrt{(Z_p/Z_s)}$$

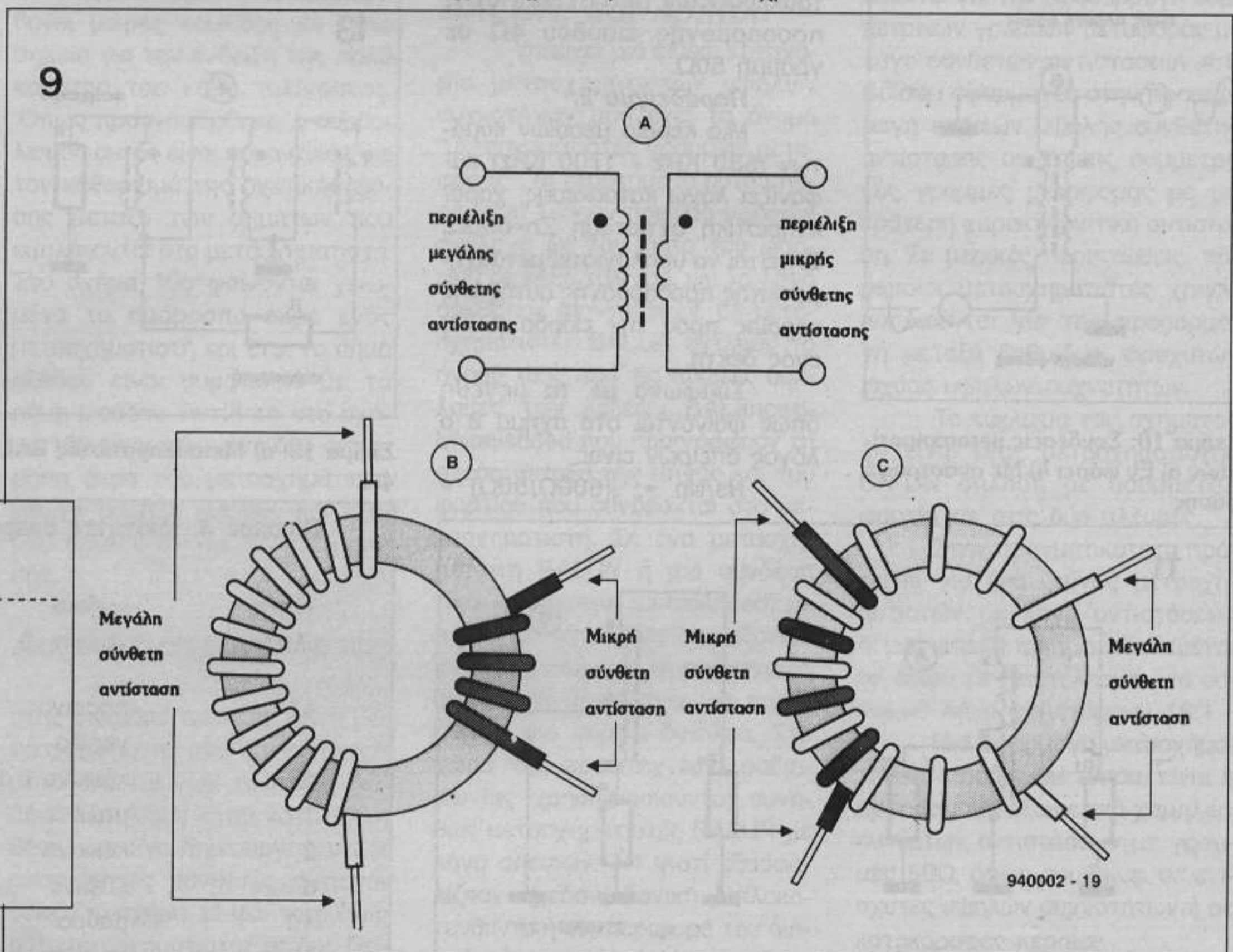
Με κατάλληλη χρήση της πιο πάνω εξίσωσης είναι δυνατόν να κατασκευαστούν μετασχηματιστές προσαρμογής σύνθετων αντιστάσεων πηγής και φορτίου σε κυκλώματα υψηλών συχνοτή-



Σχήμα 7: α) Γενική μορφή μετασχηματιστή με φορτίο. Η φαινόμενη αντίσταση πρωτεύοντος είναι συνάρτηση του φορτίου και του λόγου σπειρών, β) Μετασχηματιστής υποβιβασμού σύνθεσης αντίστασης, που προσαρμόζει γραμμή 50Ω σε είσοδο τρανζίστορ.



Σχήμα 8: Προσαρμογή κεραίας μεγάλου μήκους 600Ω σε είσοδο δέκτη 50Ω.



Σχήμα 9: α) Μετασχηματιστής με δύο τυλίγματα, β) Χωριστή περιέλιξη, γ) Διαπλεγμένη ή δίμιτη περιέλιξη.

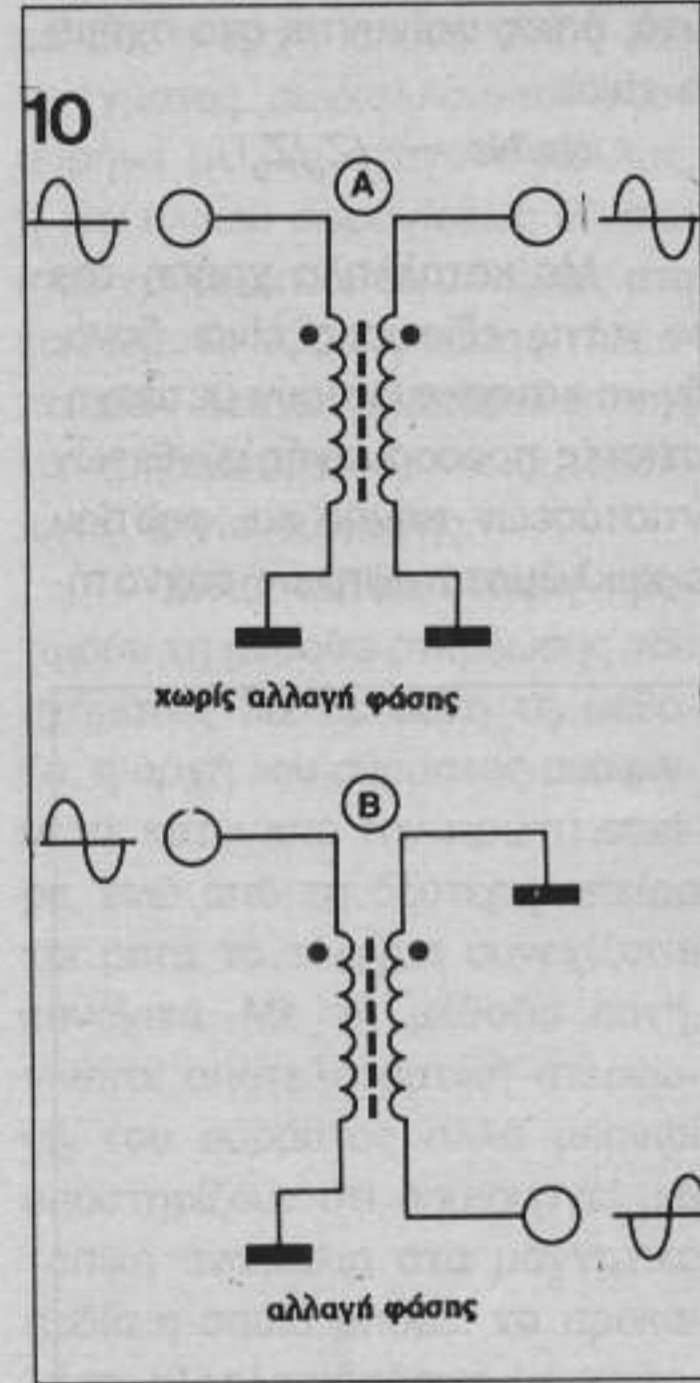
των.

Παράδειγμα 1:

Η είσοδος ενός ενισχυτή ευρείας ζώνης (3 έως 30 MHz) παρουσιάζει σύνθετη αντίσταση 4Ω (Zs) και πρέπει να προσαρμοσθεί σε γραμμή οδήγησης με σύνθετη αντίσταση 50Ω (Zp) όπως φαίνεται στο σχήμα 7b. Ο απαιτούμενος λόγος σπειρών του μετασχηματιστή προσαρμογής υπολογίζεται ως εξής:

$$Np/Ns = \sqrt{(50 / 4)} = 3,53 : 1$$

Ένας γενικός κανόνας για την τιμή της αυτεπαγωγής που πρέπει να έχουν οι μετασχηματιστές είναι ότι, η επαγωγική αντίδραση (ωL) στη χαμηλότερη συχνότητα της ωφέλιμης ζώνης πρέπει να είναι τετραπλάσια της σύνθετης αντίστασης που συνδέεται στο αντίστοιχο τύλιγμα. Στην περίπτωση του πρωτεύοντος τυ-



Σχήμα 10: Συνδέσεις μετασχηματιστών α) Εν φάσει β) Με αναστροφή φάσης

λίγματος, στο πιο πάνω παράδειγμα, η επαγωγική αντίδραση πρέπει να είναι $4 \times 50\Omega = 200 \Omega$ επομένως η αυτεπαγωγή πρέπει να είναι

$$L = 200\Omega / 2\pi f$$

συνεπώς

$$L = 200\Omega / 2\pi \cdot 3.000.000 = 10,6 \mu H$$

Γνωρίζοντας την απαιτούμενη αυτεπαγωγή, μπορεί να επιλεγεί ένας κατάλληλος τοροειδής πυρήνας και με βάση τα στοιχεία του να υπολογιστεί ο αριθμός των σπειρών που χρειάζονται. Από τους πίνακες, επιλέγεται ο πυρήνας T-50-2 ο οποίος μπορεί να λειτουργήσει ικανοποιητικά στις συχνότητες του παραδείγματος και έχει κατάλληλο μέγεθος για τις περισσότερες περιπτώσεις. Ο πυρήνας έχει τιμή της παραμέτρου $Al=49$ επομένως ο αριθμός των σπειρών είναι:

$$N = 100 \sqrt{(10,6\mu H / 49)} = 47$$

Ο αριθμός των σπειρών του δευτερεύοντος πρέπει να είναι τέτοιος ώστε να ικανοποιείται ο λόγος σπειρών που υπολογίστηκε προηγουμένως

$$Np/Ns = 3,53 \text{ συνεπώς}$$

$$Ns = 47 / 3,53 = 13,3 \text{ σπείρες}$$

Με πρωτεύον 47 σπειρών και δευτερεύον 13 σπειρών κατασκευάζεται μετασχηματιστής προσαρμογής εισόδου 4Ω σε γραμμή 50Ω.

Παράδειγμα 2:

Μια κεραία μεσαίων κυμάτων (530 KHz - 1700 KHz) εμφανίζει λόγω κατασκευής, χαρακτηριστική αντίσταση $Zo=600\Omega$. Ζητείται να υπολογιστεί μετασχηματιστής προσαρμογής αυτής της κεραίας προς την είσοδο (50Ω) ενός δέκτη.

Σύμφωνα με τα μεγέθη όπως φαίνονται στο σχήμα 8 ο λόγος σπειρών είναι:

$$Ns/Np = \sqrt{(600\Omega / 50\Omega)} =$$

3,46:1

Το δευτερεύον πρέπει να έχει επαγωγική αντίδραση $4 \times 600\Omega = 2400\Omega$.

Για να επιτευχθεί αυτή η επαγωγική αντίδραση στη χαμηλότερη συχνότητα της ζώνης, απαιτείται αυτεπαγωγή:

$$L = 2400\Omega / 2\pi \cdot 530.000 = 721 \mu H$$

Σύμφωνα με τον πίνακα ιδιοτήτων των τοροειδών πυρήνων σκόνης σιδήρου, το μίγμα 15 μπορεί να λειτουργήσει ικανοποιητικά στην περιοχή 100 KHz έως 2MHz. Επιλέγοντας ένα μικρό μέγεθος πυρήνα T-106-15 λαμ-

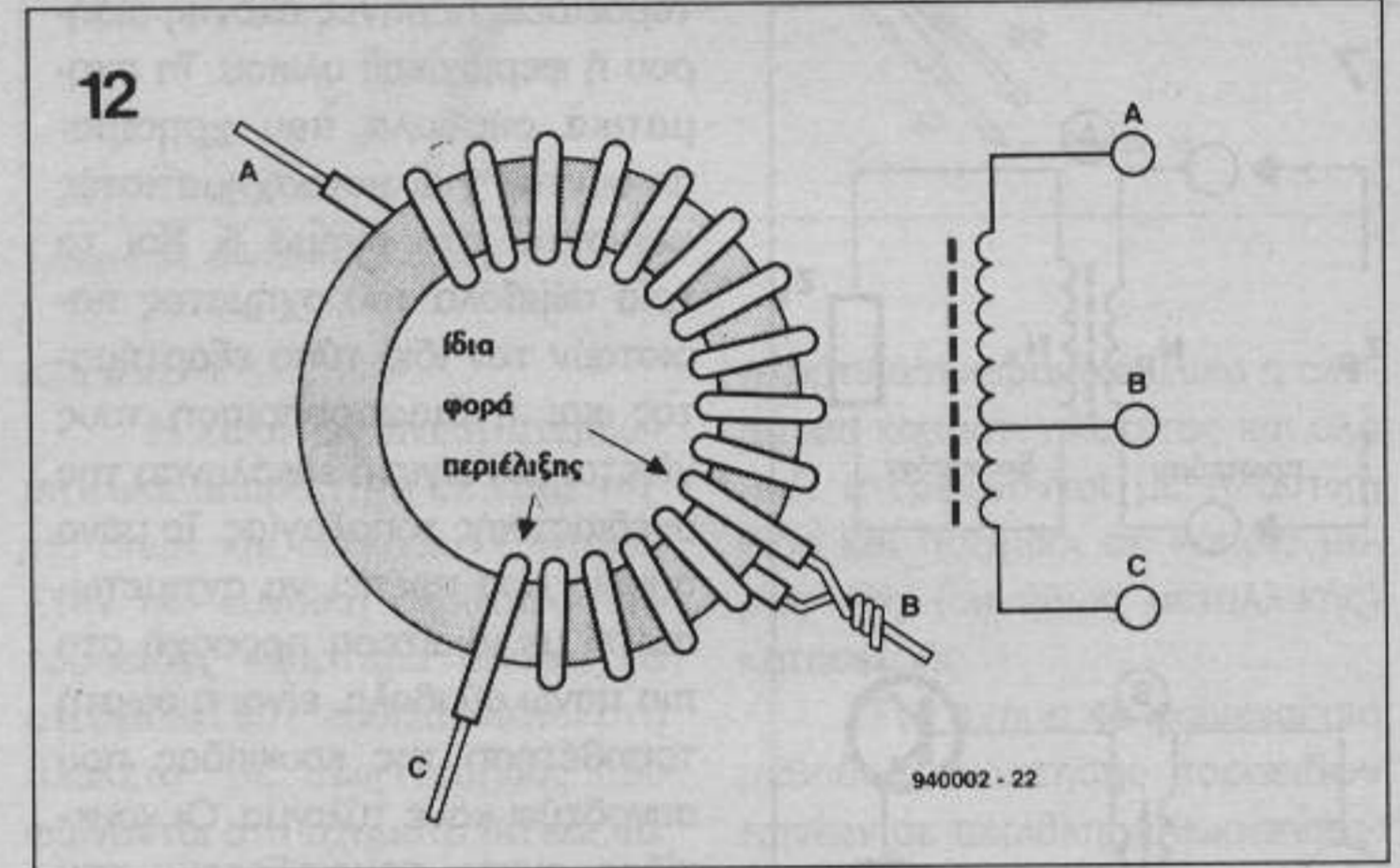
βάνεται $Al=345$. Ο αριθμός σπειρών για αυτεπαγωγή 721 μH είναι:

$$N = 100 \sqrt{(721 / 345)} = 145 \text{ σπείρες}$$

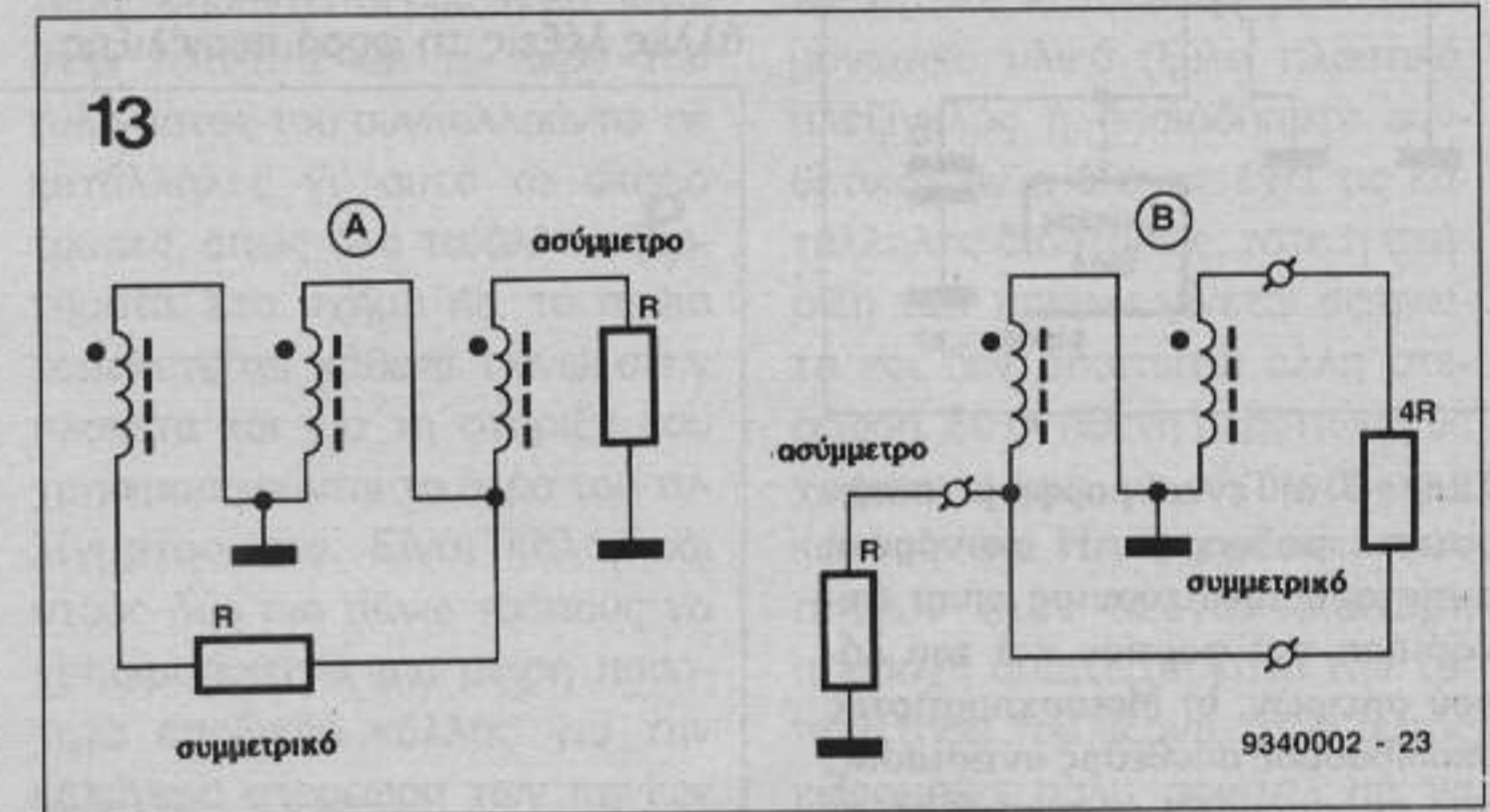
Επομένως το πρωτεύον πρέπει να έχει αριθμό σπειρών $Np = 145 / 3,46 = 42$

Περιέληξη κοινού μετασχηματιστή

Όταν τα τυλίγματα ενός κοινού μετασχηματιστή είναι ισοδύναμα, δηλαδή ο λόγος σπειρών είναι: 1:1, υπάρχει μια γενική πρακτική για την περιέλιξη. Πρόκειται για τη μέθοδο της δίμιτης περιέλιξης όπως περιγράφηκε

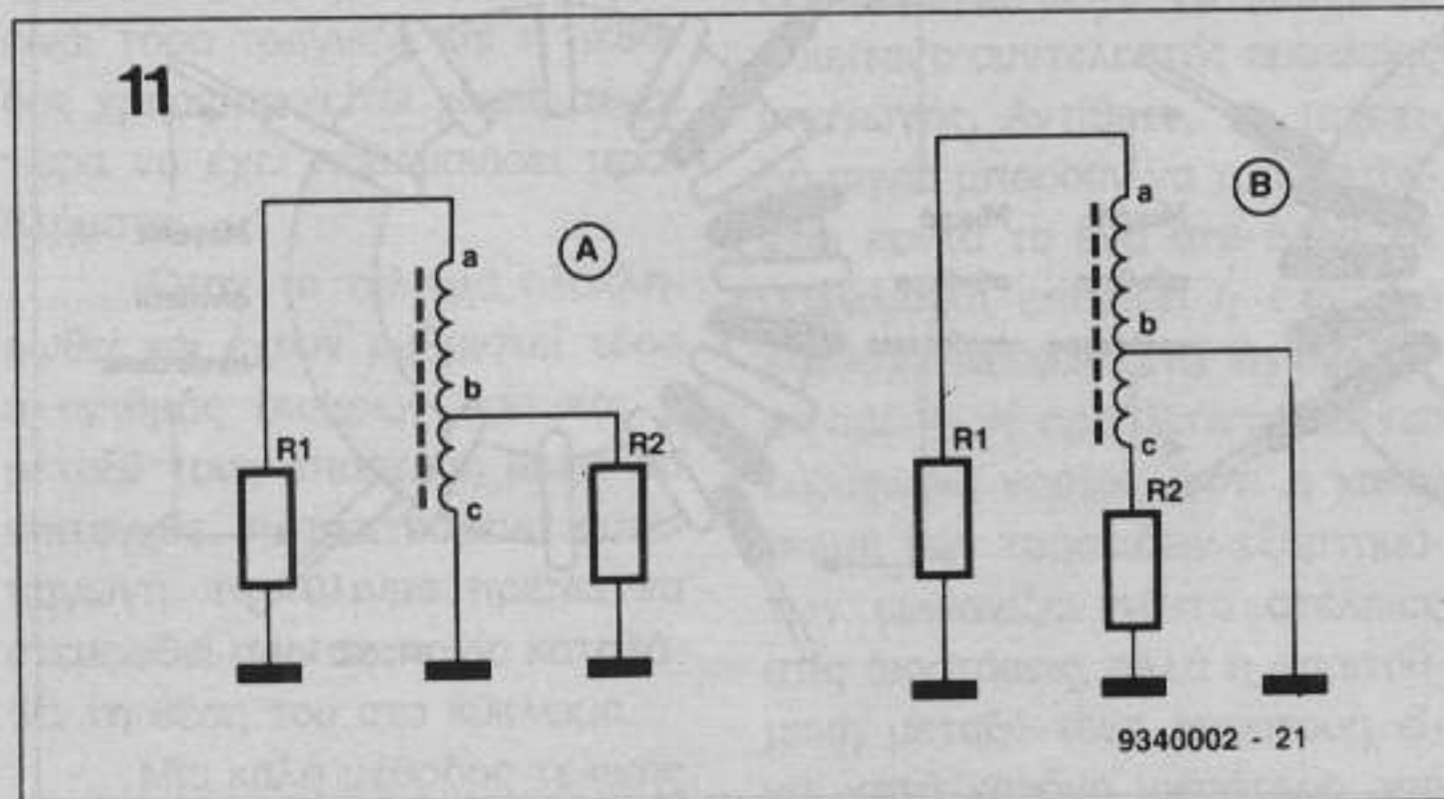


Σχήμα 12: Μέθοδοι περιέλιξης αυτομετασχηματιστή



Σχήμα 13: α) Μετασχηματιστής BALUN 1:1 β) Μετασχηματιστής BALUN 4:1

11

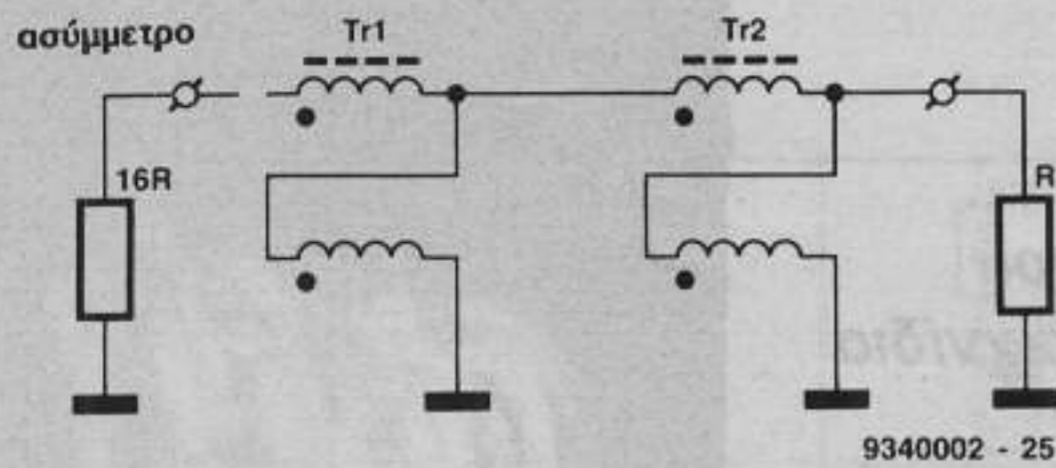


Σχήμα 11: Συνδέσεις αυτομετασχηματιστών α) Εν φάσει β) Με αναστροφή φάσης.

Πίνακας 4. ιδιότητες διαφόρων υλικών σιδηρόσκονης

Τύπος υλικού	κωδικό χρώμα	μ_r	Συχνότητα (MHz)
41	πράσινο	75	-
3	γκρίζο	35	0.05 - 0.5
15	κόκκινο / άσπρο	25	0.1 - 2
1	μπλέ	20	0.5 - 5
2	κόκκινο	10	1 - 30
6	κίτρινο	8	10 - 90
10	μαύρο	6	60 - 150
12	πράσινο / άσπρο	3	100 - 200
0	μπεζ	1	150 - 300

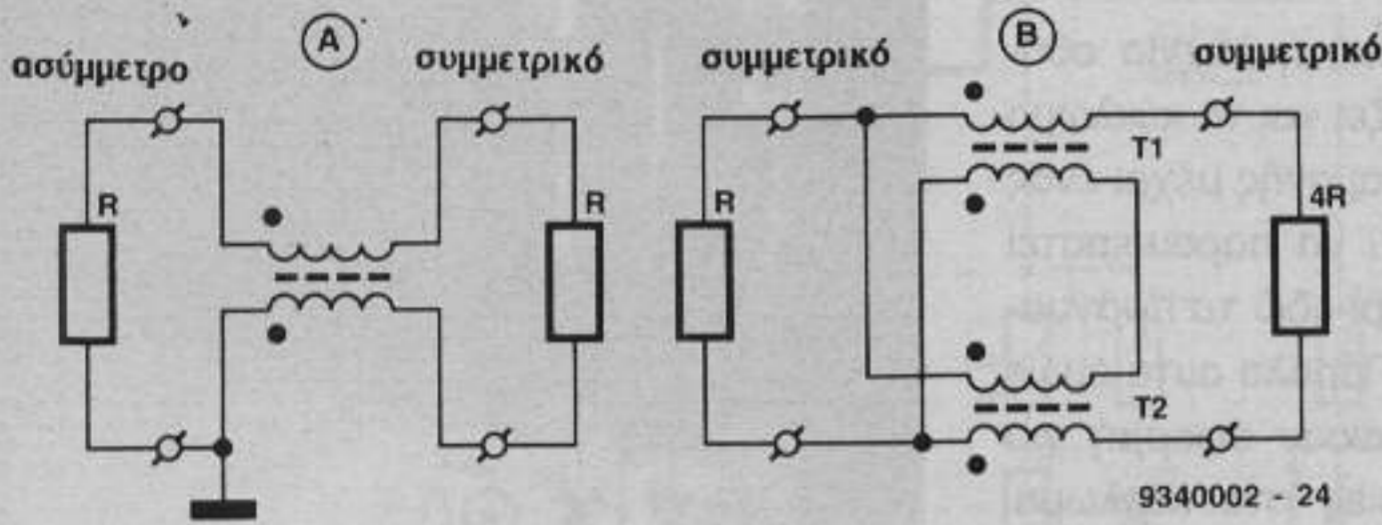
14



9340002 - 25

Σχήμα 14: Μετασχηματιστής υψηλής συχνότητας UN-UN 16:1

15



9340002 - 24

Σχήμα 15: α) μετασχηματιστής απομόνωσης υψηλής συχνότητας (ψευδο-BALUN) β) μετασχηματιστής BAL-BAL 4:1

πιο πάνω (και σχήμα 6).

Ένας ειδικός τύπος μετασχηματιστών υψηλής συχνότητας, οι μετασχηματιστές BALUN, τυλίγονται αποκλειστικά μ' αυτή τη μέθοδο.

Σε περιπτώσεις όπου τα τυλίγματα δεν είναι ισοδύναμα, πράγμα που συμβαίνει συχνά υπάρχουν τρεις διαφορετικοί τρόποι για να δημιουργηθεί ένα καλό τύλιγμα. Στο σχήμα 9α φαίνεται ένας μετασχηματιστής υψηλής συχνότητας με ένα τύλιγμα υψηλής και ένα χαμηλής σύνθετης αντίστασης. Στα σχήματα 9b και 9c φαίνονται δύο διαφορετικοί τρόποι τυλίγματος αυτού του μετασχηματιστή. Η πρώτη μέθοδος προτείνει ξεχωριστά τυλίγματα πάνω στον πυρήνα (σχήμα 9b), και είναι καλή μόνο για εφαρμογές στενής ζώνης όπως είναι για παράδειγμα τα κυκλώματα συντονισμού ενός ραδιοφωνικού δέκτη. Στη δεύτερη μέθοδο (σχήμα 9c) οι σπείρες του τυλίγματος χαμηλής σύνθετης αντίστασης παρεμβάλονται μεταξύ των σπειρών του άλλου τυλίγματος. Η μέθοδος αυτή είναι κατάλληλη για ζώνες συχνοτήτων μικρού και μεσαίου εύρους. Αν απαιτείται η κατασκευή μετασχηματιστή, πραγματικά ευρείας ζώνης, η καλύτερη μέθοδος είναι η δίμιτη περιέλιξη μέχρι τη συμπλήρωση των σπειρών του τυλίγματος χαμηλής αντίστασης, και στη συνέχεια απλή περιέλιξη των υπόλοιπων σπει-

ρών του τυλίγματος υψηλής σύνθετης αντίστασης.

Σύνδεση μετασχηματιστή στο κύκλωμα

Το σχηματικό σύμβολο ενός κοινού μετασχηματιστή, περιλαμβάνει μικρές κουκίδες κή άλλα σημεία για την ένδειξη της πολικότητας του κάθε τυλίγματος. Όπως προαναφέρθηκε, ο συμβολισμός αυτός είναι σημαντικός για τον καθορισμό της σχετικής φάσης μεταξύ των σημάτων που εμπλέκονται στο μετασχηματιστή. Στο σχήμα 10α φαίνονται γειωμένα τα ομόρροπα άκρα ενός μετασχηματιστή και έτσι το σήμα εξόδου είναι συμφασικό με το σήμα εισόδου. Αντίθετα στο σχήμα 10b είναι γειωμένα δύο αντίρροπα άκρα του μετασχηματιστή και τα σήματα εισόδου και εξόδου βρίσκονται σε αντίθετη φάση.

Αυτομετασχηματιστές

Ένας αυτομετασχηματιστής διαφέρει από ένα κοινό μετασχηματιστή, στο ότι, υπάρχει μόνο ένα τύλιγμα, το οποίο διαθέτει μια λήψη στην κατάλληλη θέση, ώστε να δημιουργούνται οι απαραίτητες σύνθετες αντιστάσεις. Στο σχήμα 11 φαίνεται ένας αυτομετασχηματιστής σε δύο διαφορετικές συνδεσμολογίες. Η συνδεσμολογία του σχή-

ματος 11a χρησιμοποιείται για συμφασικά σήματα εισόδου -εξόδου, ενώ η συνδεσμολογία του σχήματος 11b προκαλεί αναστροφή φάσης.

Η περιέλιξη του αυτομετασχηματιστή γίνεται με τον ίδιο τρόπο όπως ένα απλό πηνίο, με τη διαφορά ότι, σε κάποια θέση (αριθμό σπειρών) διακόπτεται, σχηματίζεται η μεσαία λήψη και συνεχίζεται μέχρι τέλους. Υπάρχουν δύο τρόποι για το σχηματισμό της μεσαίας λήψης. Στον πρώτο απ' αυτούς, δεν γίνεται διακοπή του τυλίγματος στο κατάλληλο σημείο αλλά μόνον συστροφή ώστε να δημιουργηθεί ένας μικρός βρόχος. Το σύρμα του βρόχου απογυμνώνεται, διαποτίζεται με κόλληση και αποτελεί τη μεσαία λήψη. Ο δεύτερος τρόπος, όπως φαίνεται και στο σχήμα 12, τοποθετεί δύο τυλίγματα εν σειρά, πάνω στον πυρήνα. Το σημείο ένωσης των δύο τυλιγμάτων αποτελεί τη μεσαία λήψη και είναι συνεστραμμένο και συγκολλημένο για καλύτερη μηχανική σταθερότητα. Είναι πολύ σημαντικό, η περιέλιξη των δύο τμημάτων του μετασχηματιστή να γίνει με την ίδια φορά.

Μετασχηματιστές BALUN, και λοιποί.

Υπάρχει μια ειδική κατηγορία μετασχηματιστών υψηλών συχνοτήτων που έχει το όνομα "μετασχηματιστές γραμμών μεταφοράς". Τα εξαρτήματα αυτά μπορούν να λάβουν ποικιλία μορφών ανάλογα με τον τύπο του φορτίου σε κάθε τύλιγμα, και το λόγο συνθέτων αντιστάσεων. Οι μετασχηματιστές BALUN αντλούν το όνομά τους από τις πρώτες συλλαβές των λέξεων BALanced-UNbalanced που περιγράφουν τη σχέση μεταξύ της πηγής και του φορτίου που συνδέονται στο μετασχηματιστή. Σε ένα μετασχηματιστή BALUN ή μια σύνδεση είναι ασύμμετρη (unbalanced) σε σχέση με τη γείωση (ομοαξονικό καλώδιο) ενώ η άλλη συμμετρική (balanced) όπως είναι για παράδειγμα μια κεραία διπόλου. Στο χώρο της ερασιτεχνικής ραδιοφωνίας χρησιμοποιούνται συνήθως μετασχηματιστές BALUN με λόγο σπειρών: 1:1 γιατί εξασφαλίζουν σχεδόν ιδανική διπλοκατευθυντική συμπεριφορά του διαγράμματος ακτινοβολίας της κεραίας. Άλλοι μετασχηματιστές με

λόγο 4:1 χρησιμοποιούνται για την προσαρμογή γραμμής μεταφοράς 50Ω σε κεραίες υψηλής σύνθετης αντίστασης όπως η G5RV, το αναδιπλωμένο δίπολο ή σε ένα απλό σύρμα κατάλληλου μήκους.

Στο σχήμα 13 φαίνονται οι δύο συνηθέστεροι τύποι μετασχηματιστών τάσεως BALUN. Η έκδοση του σχήματος 13a προσαρμόζει γραμμές ίσων συνθέτων αντιστάσεων και αποτελείται από 3 τυλίγματα με "τρίμιτη" περιέλιξη ενώ ο μετασχηματιστής BAL-UN του σχήματος 13b προσαρμόζει ασύμμετρη γραμμή σε συμμετρικό φορτίο τετραπλάσιας σύνθετης αντίστασης και αποτελείται από δύο τυλίγματα δίμιτης περιέλιξης.

Στο σχήμα 15 φαίνονται δύο ακόμη τύποι μετασχηματιστών υψηλών συχνοτήτων. Ο μετασχηματιστής του σχήματος 15a αποκαλείται συνήθως 1:1 BALUN αλλά στην πραγματικότητα πρόκειται για μετασχηματιστή απομόνωσης υψηλών συχνοτήτων ενώ ταυτόχρονα εξυπηρετεί και την προσαρμογή συμμετρικής γραμμής με ασύμμετρη ίσης σύνθετης αντίστασης. Στο σχήμα 15b φαίνεται ένας μετασχηματιστής τύπου BAL-BAL που χρησιμοποιείται για την προσαρμογή συμμετρικών γραμμών μεταφοράς με λόγο συνθέτων αντιστάσεων 4:1. Βρίσκει εφαρμογές στην προσαρμογή κεραιών υψηλής σύνθετης αντίστασης σε επίσης συμμετρικές γραμμές μεταφοράς με μικρότερη χαρακτηριστική αντίσταση. Σε μερικές περιπτώσεις, παρόμοιοι μετασχηματιστές χρησιμοποιούνται για την προσαρμογή μεταξύ βαθμίδων ενισχυτών ισχύος υψηλών συχνοτήτων.

Το κύκλωμα του σχήματος 14 είναι ένας μετασχηματιστής UN-UN δηλαδή με ασύμμετρα φορτία και στις δύο πλευρές.

Στην πραγματικότητα πρόκειται για ένα ζεύγος μετασχηματιστών με λόγο αντιστάσεων 4:1 οι οποίοι είναι συνδεδεμένοι σε σειρά με αποτέλεσμα ένα συνολικό λόγο αντιστάσεων 16:1.

Μια εφαρμογή μετασχηματιστών παρόμοιου τύπου, είναι η προσαρμογή εξαιρετικά χαμηλών συνθέτων αντιστάσεων με γραμμές 50Ω, όπως συμβαίνει σε ενισχυτές υψηλών συχνοτήτων ή σε κατακόρυφες κεραίες.