

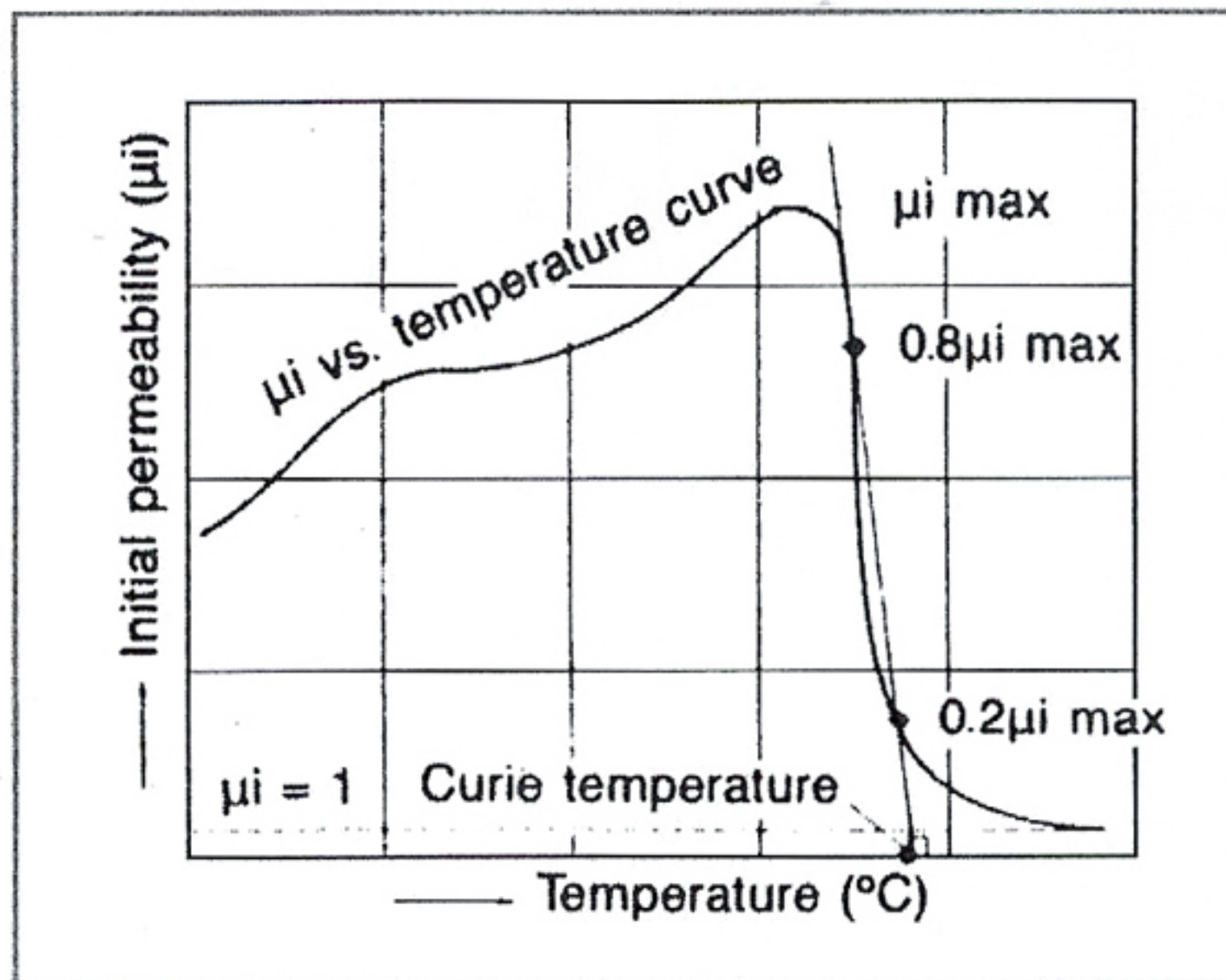
■ 6.2 Χαρακτηριστικά Φερριτών

- 1) Αρχική μαγνητική διαπερατότητα (Initial permeability) μ_i : μετράται σε κλειστό μαγνητικό κύκλωμα (τοροειδές ορθογώνιας διατομής 35x12x18mm) με πολύ μικρή ένταση μαγνητικού πεδίου. Εξαρτάται από τη θερμοκρασία και τη συχνότητα όπως στα σχ. 6.4 α,β και ισχύει:

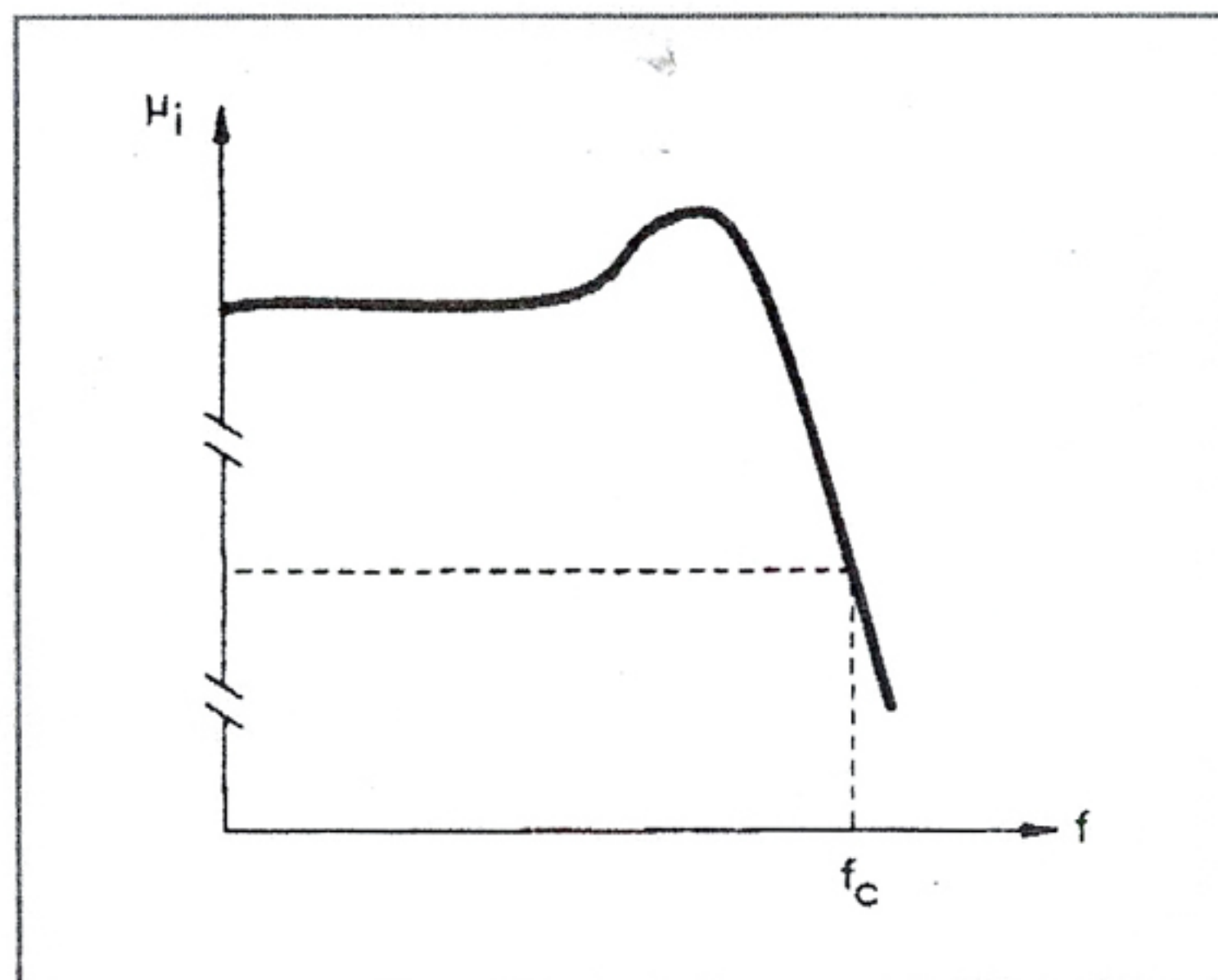
$$\mu_i = \frac{1}{\mu_0} \frac{\Delta B}{\Delta H} \Big|_{\Delta H \cong 0} \quad 6.1$$

Η συχνότητα αποκοπής f_c είναι αυτή κατά την οποία η μ_i μειώνεται στο μισό της, από την τιμή της στους (1~10) KHz.

Σχήμα 6.4α



Σχήμα 6.4β



- 2) Εύρος μαγνητικής διαπερατότητας (Amplitude permeability) μ_a : η σχέση μεταξύ μέγιστου B και H χωρίς την παρουσία πεδίου πόλωσης D.C. δίνεται από τη σχέση:

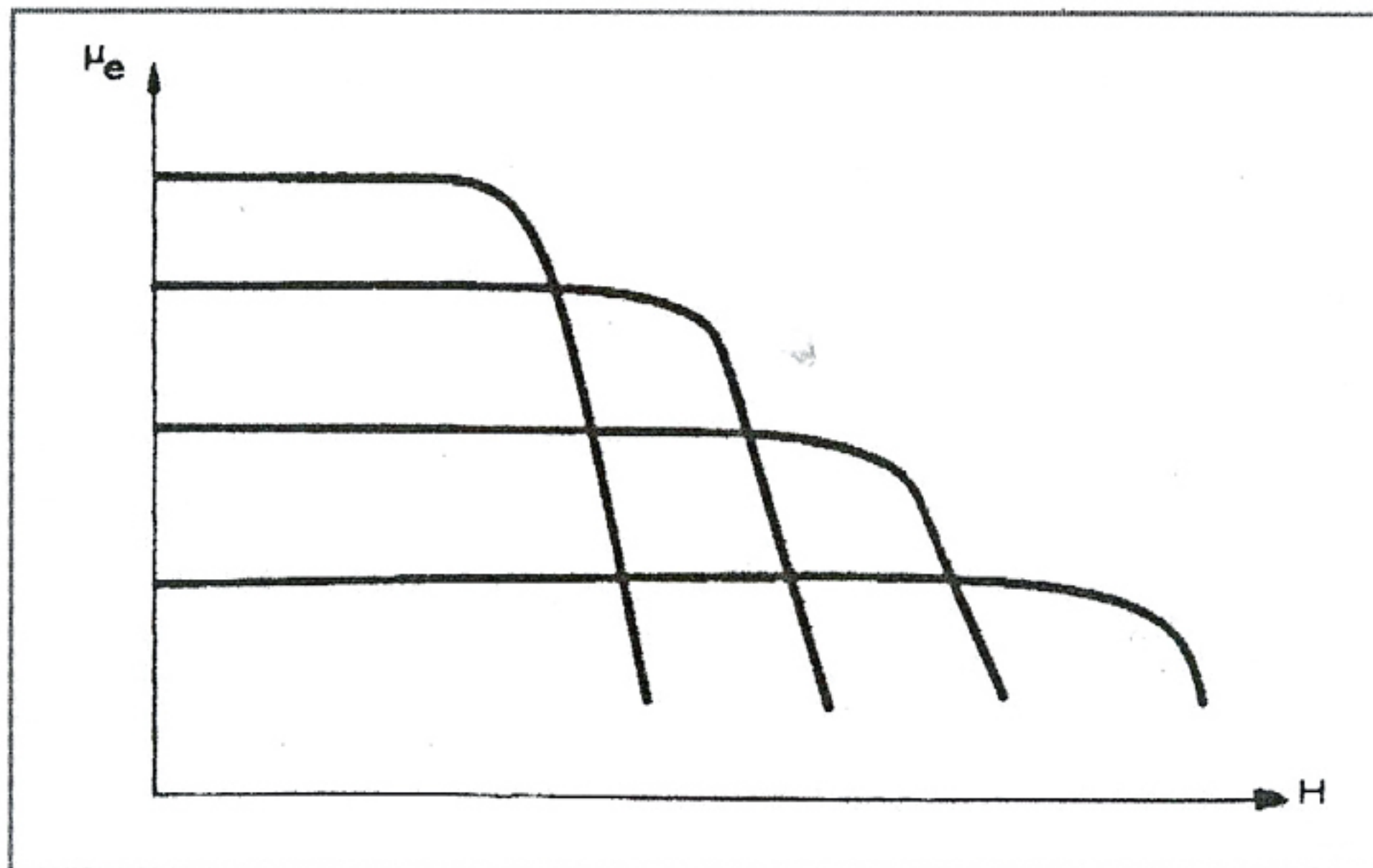
$$\mu_a = \frac{1}{\mu_0} \frac{B}{H} \quad 6.2$$

- 3) Ενεργός μαγνητική διαπερατότητα (Effective permeability) μ_e : όταν σ' ένα κλειστό μαγνητικό κύκλωμα υπάρχει διάκενο αέρα, τότε μειώνεται η μαγνητική επαγωγή και η μ_e είναι:

$$\mu_e = \frac{\mu_i}{1 + \frac{G}{l_e \cdot \mu_i}} \quad 6.3$$

όπου G =μήκος διακένου ($G < 0.5\%$ του l_e τουλάχιστον) και l_e = ενεργό μήκος μαγνητικού κυκλώματος. Στο σχ. 6.5 φαίνεται η μεταβολή της μ_e σε συνάρτηση με το H .

Σχήμα 6.5



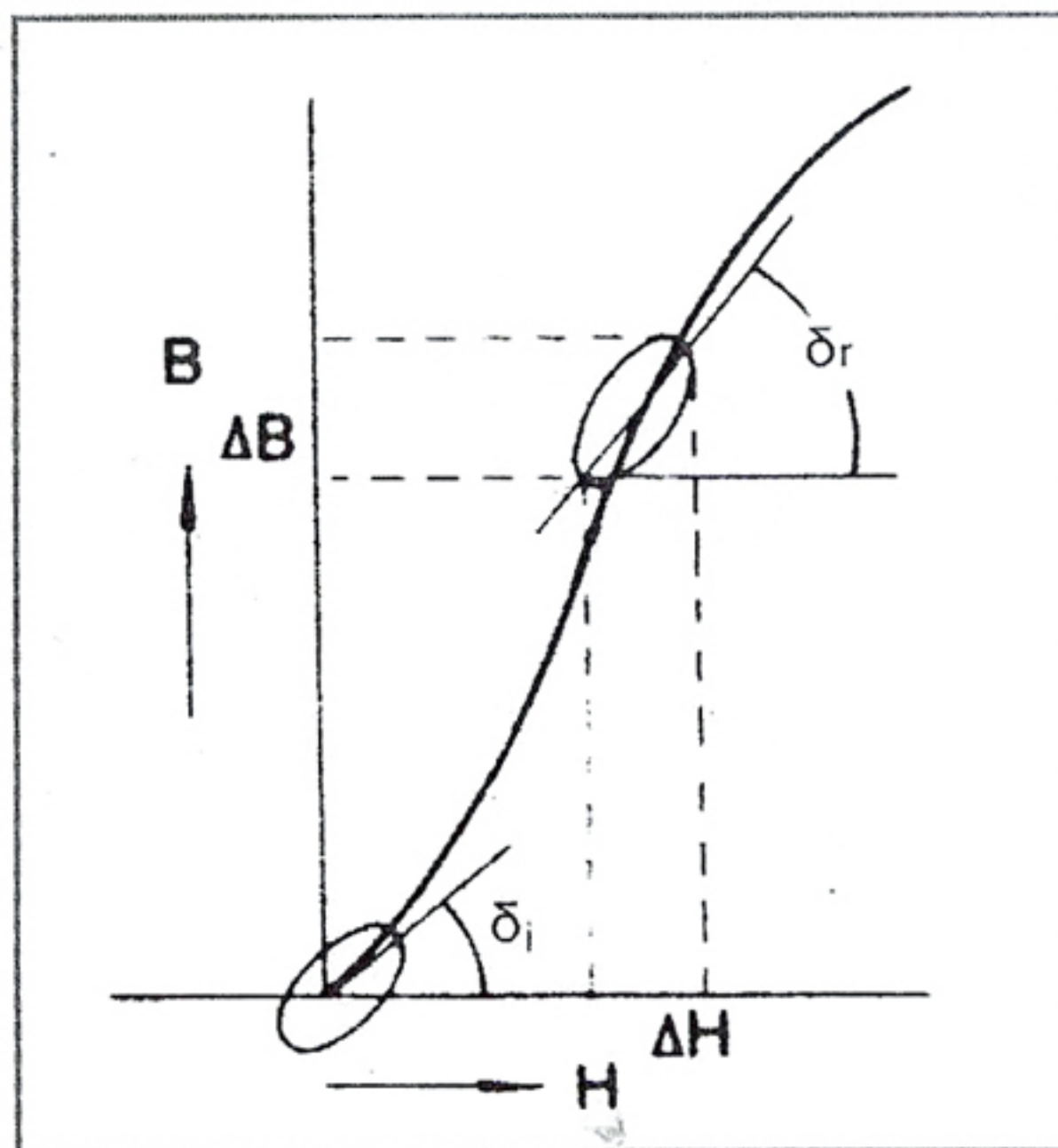
- 4) Αυξημένη μαγνητική διαπερατότητα (Incremental permeability) μ_Δ : αυτή παρατηρείται, όταν ένα εναλλασσόμενο μαγνητικό πεδίο υπερτίθεται σ' ένα πεδίο στατικής πόλωσης H_{DC} . Όταν το εναλλασσόμενο μαγνητικό πεδίο είναι αμελητέο, τότε η μαγνητική διαπερατότητα καλείται αναστρέψιμη (Reversible permeability) μ_{rev} . Έτσι έχουμε:

$$\mu_{\Delta} = \frac{1}{\mu_0} \cdot \frac{\Delta B}{\Delta H} \cdot H_{DC} \quad 6.4$$

$$\mu_{rev} = \frac{1}{\mu_0} \lim_{\Delta H \rightarrow 0} \frac{\Delta B}{\Delta H} \Big|_{H_-} \quad 6.5$$

Στο σχ. 6.6 ισχύει $\tan \delta_r = \mu_{rev}$ και $\tan \delta_i = \mu_i$

Σχήμα 6.6



5) Σύνθετη μαγνητική διαπερατότητα (Complex permeability) $\bar{\mu}$: ένα πηνίο με πυρήνα μαλακού φερρίτη ισοδυναμεί με μια ιδανική αυτεπαγωγή με φάση $+90^\circ$ σε σειρά με μια ομική αντίσταση. Ισχύει δε:

$$\bar{Z} = j\omega L_s + R_s \quad 6.6$$

και

$$\bar{\mu} = \mu'_s - j\mu''_s \quad 6.7$$

τότε

$$\tan \delta_m = \frac{R_s}{\omega L_s} = \frac{\mu''_s}{\mu'_s} \quad 6.8$$

Για το ισοδύναμο κύκλωμα παράλληλου L_p και R_p ισχύουν:

$$\bar{\mu} = \frac{\mu''_p \cdot \mu'_p}{\mu''_p - \mu'_p} \quad 6.9$$

και $\tan \delta_m = \frac{\omega L_p}{R_p} = \frac{\mu'_p}{\mu''_p} \quad 6.10$

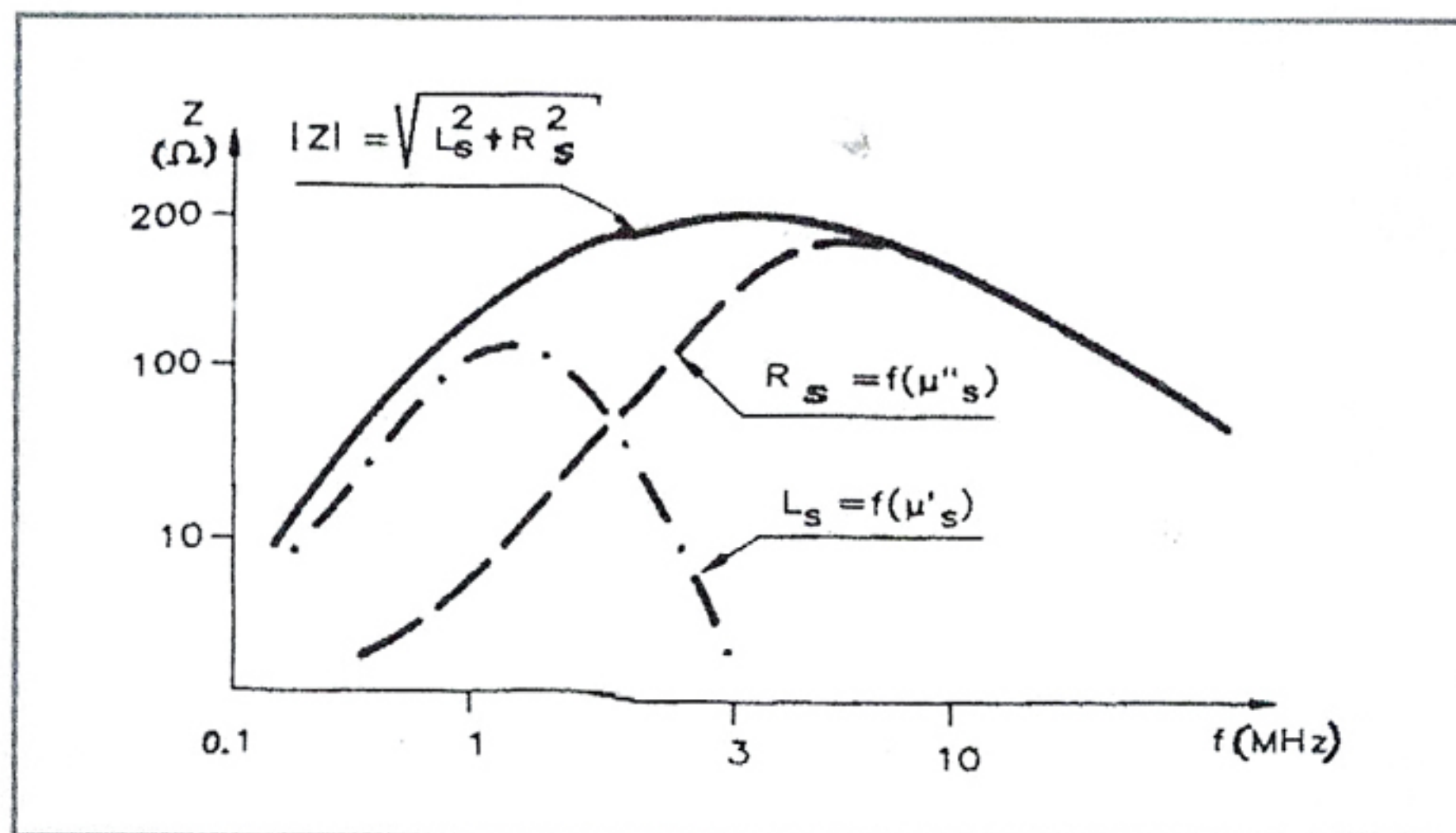
με $\bar{Z} = \frac{1}{\frac{1}{j\omega L_p} + \frac{1}{R_p}} \quad 6.11$

ισχύει δε: $\mu'_p = \mu'_s(1 + \tan^2 \delta) \quad 6.12$

και $\mu''_p = \mu''_s(1 + \frac{1}{\tan^2 \delta}) \quad 6.13$

Η μεταβολή των $R_s = f(\mu''_s)$, $L_s = f(\mu'_s)$ και $|Z| = \sqrt{L_s^2 + R_s^2}$ σε συνάρτηση με τη συχνότητα δίνεται στο σχ. 6.7.

Σχήμα 6.7



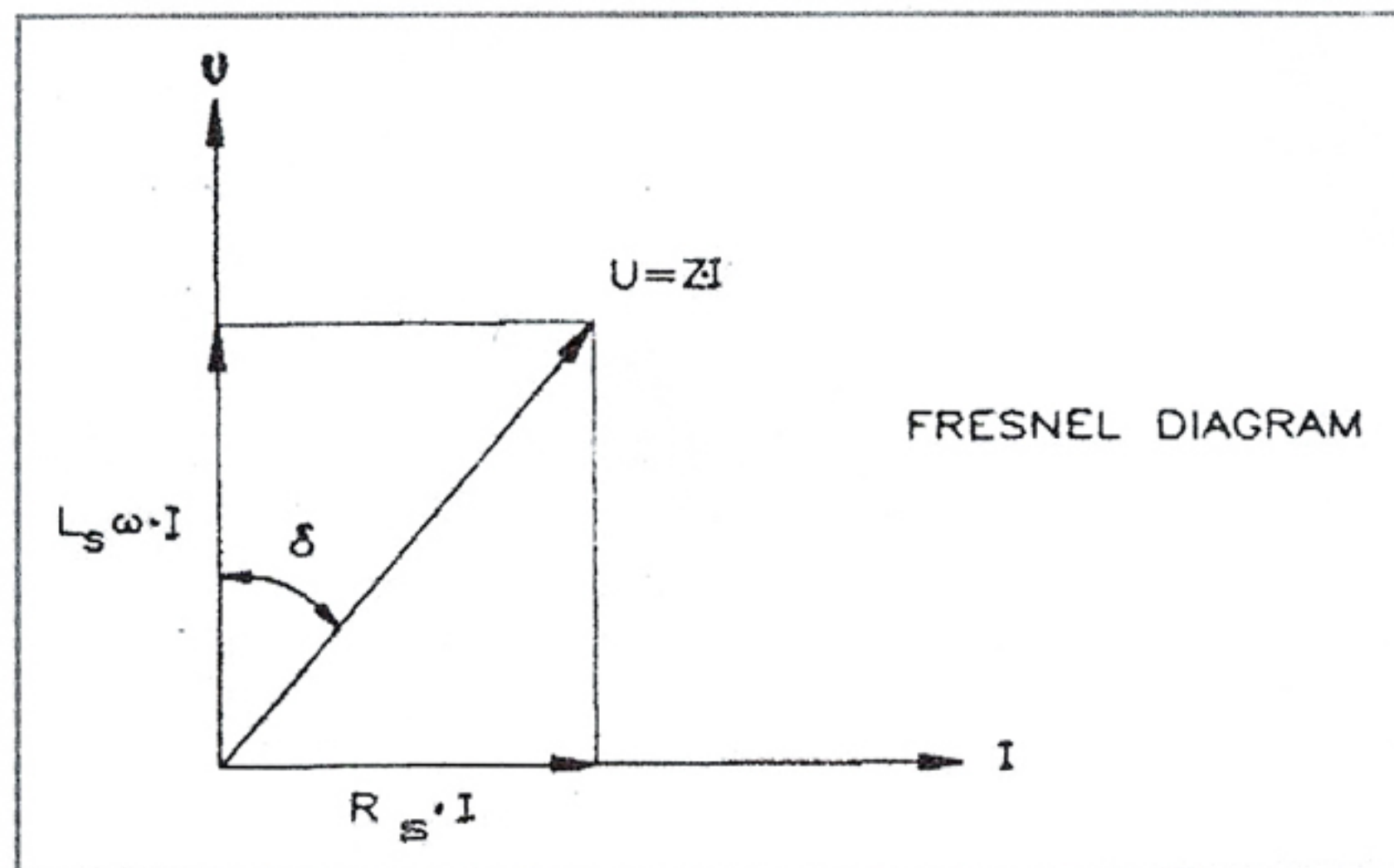
Η μ'_s εκφράζει την πραγματική μαγνητική διαπερατότητα μ_i ή μ_e και η μ''_s τη φανταστική, που οφείλεται στις απώλειες της αντίστασης.

- 6) Συντελεστής απωλειών (Loss factor) $\tan \delta / \mu_i$: οι μαγνητικές απώλειες που οφείλονται στη διαφορά φάσης δ σχ. 6.8, αποτελούνται από τις απώλειες:

- α) υστέρησης,
- β) ρευμάτων Foucault και
- γ) εναπομείναντος μαγνητισμού, είναι δε:

$$\tan\delta_m = \tan\delta_h + \tan\delta_f + \tan\delta_r \quad 6.14$$

Σχήμα 6.8



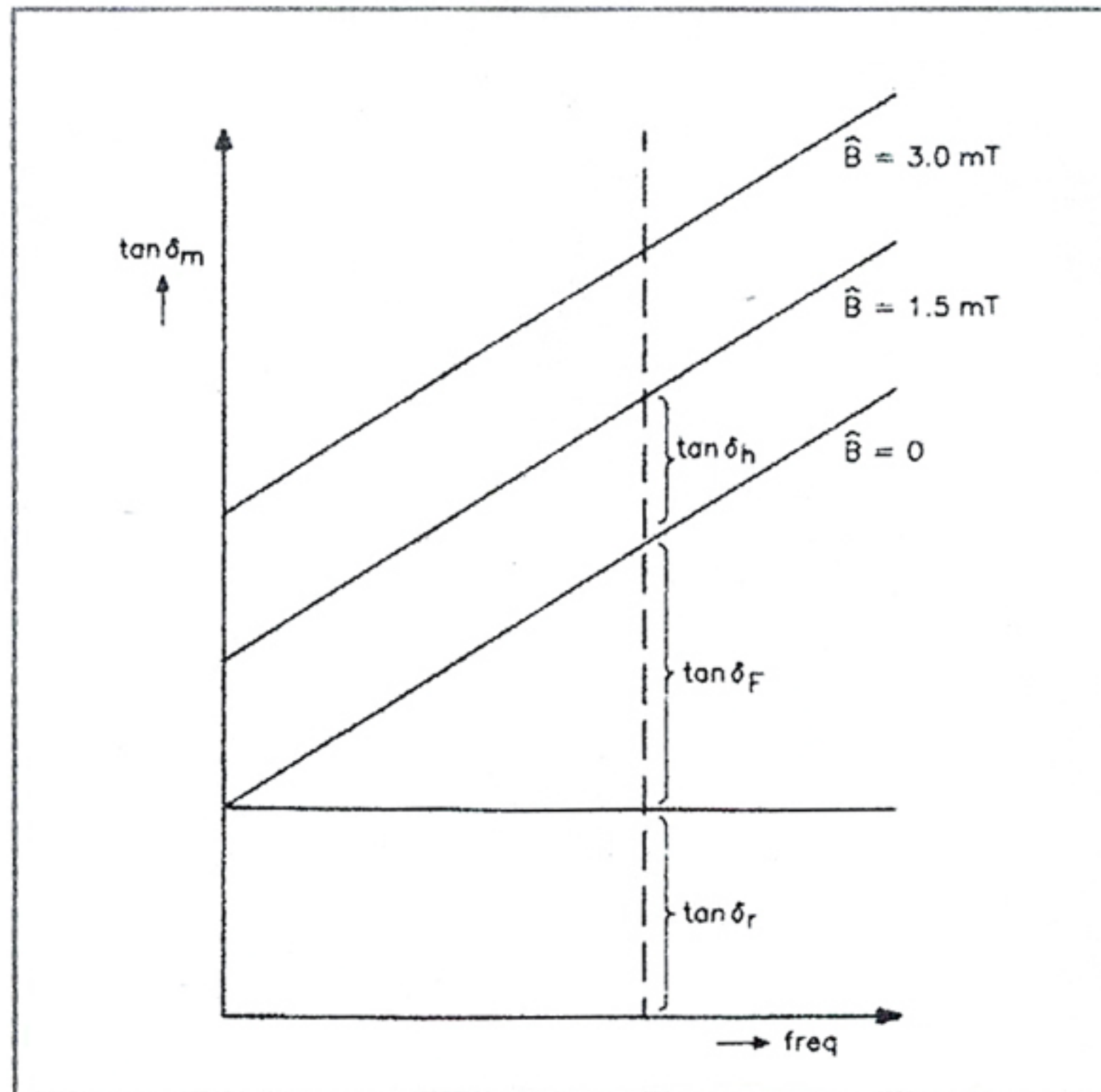
Ως $\tan\delta/\mu_i$ χαρακτηρίζονται οι μαγνητικές απώλειες εκτός από αυτές της υστέρησης. Η $\tan\delta_h$ μεταβάλλεται για πολύ μικρή ένταση μαγνητικού πεδίου και η $\tan\delta_f$ αυξάνεται με τη συχνότητα (αμελητέα στις πολύ χαμηλές συχνότητες).

Για υλικό με διάκενο (gap) γενικά ισχύει:

$$\tan\delta_{(gap)} = \frac{\tan\delta}{\mu_i} \cdot \mu_e \quad 6.15$$

Στο σχ. 6.9 δίνεται η μεταβολή των μαγνητικών απωλειών σε συνάρτηση με τη συχνότητα.

Σχήμα 6.9



- 7) Σταθερά υστέρησης υλικού (Hysteresis material constant) n_B : όταν η μαγνητική επαγωγή σ' ένα μαγνητικό πυρήνα αυξηθεί, οι απώλειες από υστέρηση αυξάνονται και βρίσκονται ύστερα από δύο μετρήσεις, συνήθως στα επίπεδα επαγωγής 1,5 και 3 mT ($\Delta B = 1,5 \text{ mT}$) στα 10KHz και είναι:

$$n_B = \frac{\Delta R_h}{\omega \cdot L \cdot \mu_e \cdot \Delta B} = \frac{\Delta \tan \delta_n}{\mu_e \cdot \Delta B} (\text{T}^{-1}) \quad 6.16$$

όπου ΔR_h η διαφορά της αντίστασης απωλειών από υστέρηση.

Ο συντελεστής απωλειών από υστέρηση υπολογίζεται από τη σχέση (πρόταση της IEC):

$$\tan \delta_h = n_B \cdot \Delta B \cdot \mu_e = \frac{\Delta R_h}{\omega L} \quad 6.17$$

- 8) Παράγοντας κόρου (Core factor) $\sum \frac{\ell}{S}$ ή C1: στους υπολογισμούς ενός ανομοιόμορφου μαλακού μαγνητικού πυρήνα χρησιμοποιούμε

για διευκόλυνση τις ονομαζόμενες ενεργές διαστάσεις, επιφάνειας S_e , μήκους l_e και όγκου V_e , οι οποίες καθορίζουν έναν υποθετικό πυρήνα δακτυλίου, που έχει ίδιες μαγνητικές ιδιότητες με τον ανομοιομορφο πυρήνα. Για τον ιδανικό πυρήνα δακτυλίου

$$\text{ισχύει } X_L = \frac{l_e}{\mu \cdot S_e}, \text{ ενώ για τον ανομοιομορφο } X_L = \frac{1}{\mu_e} \sum \frac{l}{S}.$$

Έτσι, η αυτεπαγωγή ενός πυρήνα είναι:

$$L = \frac{1.257 \cdot 10^{-9} \cdot N^2}{\frac{1}{\mu_e} \sum \frac{l}{S}} \text{ (H)} \quad 6.18$$

όπου N ο αριθμός των στροφών και $\sum \frac{l}{S}$ σε mm^{-1} ή cm^{-1} .

9) Παράγοντας αυτεπαγωγής (Inductance factor) A_L : η αυτεπαγωγή ενός πυρήνα φερρίτη είναι:

$$L = N^2 \cdot A_L \text{ (nH)} \quad 6.19$$

ορίζεται ως παράγοντας αυτεπαγωγής:

$$A_L = \frac{1.257 \cdot \mu_e}{\sum \frac{l}{S}} \text{ (nH/N}^2\text{)} \quad 6.20$$

και εκφράζει την αυτεπαγωγή – σε nH ανά σπείρα².

10) Ορίζεται ως θερμοκρασιακός συντελεστής (Temperature coefficient) α :

$$\alpha = \frac{\mu_{i2} - \mu_{i1}}{\mu_{i1}} \cdot \frac{1}{T_2 - T_1} \text{ (ppm/}^\circ\text{C)} \quad 6.21$$

και ως σχετικός θερμοκρασιακός συντελεστής (Relative) α_f ή παράγοντας θερμοκρασίας (Temperature factor):

$$\alpha_f = \frac{\alpha}{\mu_i} \text{ (ppm/}^\circ\text{C)} \quad 6.22$$

και για υλικό με διάκενο ισχύει:

$$\alpha_e = \alpha_f \cdot \mu_e \text{ (ppm/}^\circ\text{C)} \quad 6.23$$

ο ενεργός θερμοκρασιακός συντελεστής (Effective), όπου μ_{i1} η αρχική μαγνητική διαπερατότητα στους 20°C (T_1) και μ_{i2} η αντίστοιχη στη θερμοκρασία (T_2).

- 11) Όταν ένας μαλακός φερρίτης δεχτεί μια μαγνητική, θερμική ή μηχανική διαταραχή, τότε η μαγνητική διαπερατότητα ξαφνικά αυξάνεται και μετά ελαττώνεται αργά με το χρόνο. Ορίζεται ως συντελεστής απορρύθμισης (Disaccommodation coefficient) d :

$$d = \frac{\mu_{i1} - \mu_{i2}}{\mu_{i1} \log \frac{t_2}{t_1}} \quad 6.24$$

και ως παράγων απορρύθμισης (Disaccommodation factor) D_F :

$$D_F = \frac{d}{\mu_{i1}} = \frac{\mu_{i1} - \mu_{i2}}{\mu_{i1}^2 \cdot \log \frac{t_2}{t_1}} \quad 6.25$$

που μετράται συνήθως μεταξύ 1 και 10 min μετά την απομαγνήτιση, όπου μ_{i1} η μ_i τη χρονική στιγμή t_1 και μ_{i2} η μ_i τη χρονική στιγμή t_2 ($t_2 > t_1$). Η μεταβολή αυτεπαγωγής με την πάροδο του χρόνου σ' ένα πηνίο δίνεται από τη σχέση:

$$\frac{\Delta L}{L} = \frac{L_1 - L_2}{L_1} = \mu_e \cdot D_F \cdot \log \frac{t_2}{t_1} \quad \text{εφόσον } t_2 > t_1 \quad 6.26$$

- 12) Η σχετική διηλεκτρική διαπερατότητα (Permittivity) ϵ_r : στους φερρίτες ελαττώνεται με την αύξηση της συχνότητας. Είναι περίπου 10^5 για τους φερρίτες MnZn και 25 για τους NiZn στο 1MHz.
- 13) Ειδική αντίσταση (Resistivity) ρ : οι φερρίτες είναι ημιαγώγιμοι με D.C. ειδική αντίσταση των κρυστάλλων $10^{-3} \Omega \cdot \text{m}$ για τους MnZn και περίπου $30 \Omega \cdot \text{m}$ για τους NiZn. Το μονωτικό στρώμα μεταξύ των κρυστάλλων αυξάνει την ολική ειδική αντίσταση σε $(0.1 \sim 10) \Omega \cdot \text{m}$ για τους MnZn και $(10^4 \sim 10^6) \Omega \cdot \text{m}$ για τους NiZn και LiZn. Η ειδική αντίσταση ελαττώνεται με την αύξηση της θερμοκρασίας ή της συχνότητας.
- 14) Απώλειες ισχύος (Power losses) P_v δίνονται από τη σχέση:

$$P_v = K \cdot F^m \cdot B^n \quad (\text{W}) \quad 6.27$$

όπου K ο παράγοντας υλικού που εξαρτάται από τη θερμοκρασία και:

$$1.3 < m < 1.6$$
$$2 < n < 2.6$$

- 15) Συντελεστής παραμόρφωσης τρίτης αρμονικής (Third harmonic distortion factor): όταν σ' ένα πηνίο εφαρμοστεί ένα ημιτονικό σήμα, τότε λόγω της μη γραμμικότητας (μαγνητικός κόρος και υστέρηση) θα παραχθούν αρμονικές. Η σχέση:

$$K.F = 20 \log \frac{u_3}{u_1} \text{ (dB)} \quad 6.28$$

ονομάζεται Klirrfactor, όπου u_1 και u_3 οι τάσεις θεμελιώδους και τρίτης αρμονικής, αντίστοιχα. Κύκλωμα με σύνθετη αντίσταση εισόδου 600Ω ως θεμελιώδη συχνότητα χρησιμοποιεί 1kHz ή 10kHz , ενώ κύκλωμα με σύνθετη αντίσταση 75Ω χρησιμοποιεί 100kHz .

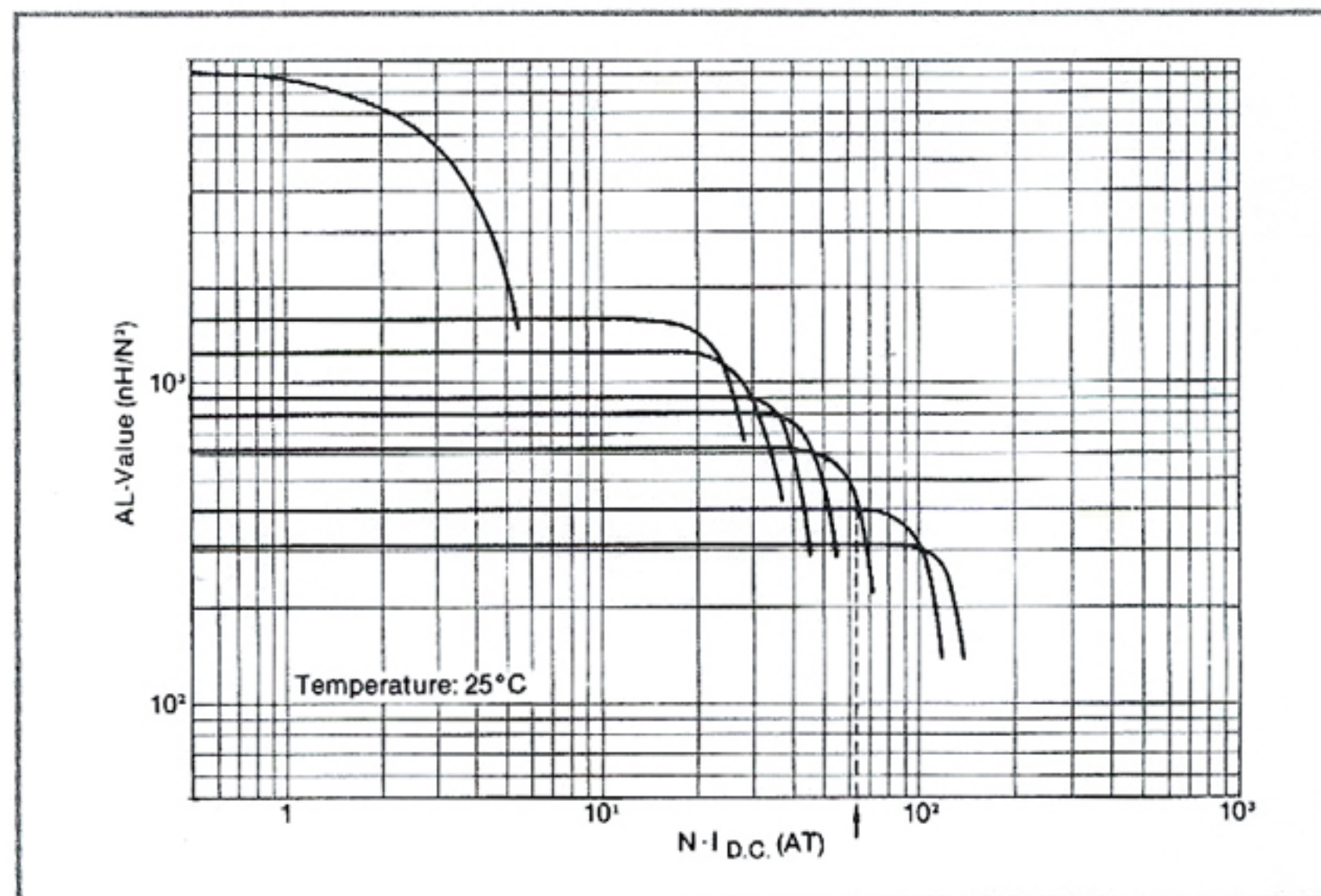
- 16) Χαρακτηριστικά D.C. προμαγνήτισης (D.C. premagnetization characteristics): όπως φαίνεται από το σχ. 6.10 η τιμή A_L μεταβάλλεται σε συνάρτηση με το D.C. μαγνητικό πεδίο. Κατά τη σχεδίαση M/Σ χρησιμοποιώντας πυρήνες ΕΕ ή rot core, υπάρχει D.C. συνιστώσα στο μαγνητικό κύκλωμα, η οποία πρέπει να ληφθεί υπόψη. Στο σχήμα για rot core P30/19 από υλικό H5A με $A_L = 400 \text{ nH/N}^2$, το όριο που η διαπερατότητα δεν ελαττώνεται λόγω του D.C. μαγνητικού πεδίου είναι $65\text{A} \cdot \text{στρ}$. Αυτό σημαίνει ότι μια απλή σπείρα του M/Σ μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως 65 A . Ομοίως 5 σπείρες μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως 13 A .

- 17) Παράγοντας a (factor) ή συντελεστής τυλίγματος (Winding coefficient) c για μια δοσμένη μορφή πυρήνα φερρίτη, είναι ο αριθμός των στροφών του πηνίου για αυτεπαγωγή 1mH . Ισχύει δε:

$$a = \frac{N}{\sqrt{L}} \quad 6.29$$

όπου L σε mH . Έτσι, για άλλες τιμές αυτεπαγωγής θα έχουμε $N = a\sqrt{L}$ (στρ.) και L σε mH .

Σχήμα 6.10



18) Μαγνητοστένωση (Magnetostriction) λ : είναι το φαινόμενο της ελαστικής παραμόρφωσης, που συνοδεύει το μαγνητισμό. Η αρνητική μαγνητοστένωση – διότι υπάρχει και η θετική ή Joule – συμβαίνει σε υλικά των οποίων το μήκος μικραίνει με την αύξηση της επαγωγής (πυκνότητας μαγνητικής ροής). Όταν ένα ρεύμα A.C. υπερτεθεί σ' ένα D.C., στο πηνίο που τυλίγει το φερρίτη, και η συχνότητα του ρεύματος A.C. συμπίπτει με τη φυσική συχνότητα του φερρίτη, τότε οι μηχανικές δονήσεις του μεγιστοποιούνται. Αυτό το φαινόμενο χρησιμοποιείται για την παραγωγή ακουστικών κυμάτων – από τις ακουστικές συχνότητες ως τους υπέρηχους – των οποίων οι συχνότητες εξαρτώνται από τις διαστάσεις και τον τρόπο δόνησης του φερρίτη. Έχουμε επίσης τα φαινόμενα: α) της γραμμικής μαγνητοστένωσης, η οποία καθορίζεται από τη σχετική μεταβολή του μήκους και β) της λογαριθμικής μαγνητοστένωσης, η οποία μετράται στη διεύθυνση μαγνητισμού και ισχύει:

$$\lambda = \frac{\Delta \ell}{\ell} \quad 6.30$$

όπου λ ο συντελεστής μαγνητοστένωσης, ένας αρνητικός αριθμός (για αρνητική μαγνητοστένωση). Η απόλυτη τιμή του αυξάνεται, όταν αυξάνεται η επαγωγή και φτάνει στη μέγιστη τιμή (κόρος) λ_s , η οποία κυμαίνεται από 0 ως $-21 \cdot 10^{-6}$ για τους μαλακούς φερρίτες.

Οι φερρίτες που έχουν πολύ μεγάλο λ_s και χρησιμοποιούνται για αυτή τους ακριβώς την ιδιότητα, λέγονται φερρίτες μαγνητοδιαταραχής (magnetostrictive).

6.4 Κώδικες Μορφών και Υλικών των Φερριτικών Πυρήνων

A. Οι πυρήνες φερριτών κατά την κατασκευή τους λαμβάνουν διάφορες μορφές, ανάλογα με τις χρήσεις για τις οποίες προορίζονται, σύμφωνα με το σύστημα ποιότητας ISO 9000. Οι μορφές τους είναι κωδικοποιημένες κατά IEC, DIN, EIA, JIS ή άλλο πρότυπο. Στον πίνακα 6.1 δίνονται οι κώδικες των μορφών των πυρήνων μαλακών φερριτών και οι προτεινόμενες χρήσεις τους. Υπόψη ότι καμία κατασκευαστική εταιρία δεν παράγει όλες τις μορφές πυρήνων· γι' αυτό καλό είναι για οποιοδήποτε πρόβλημα να ανατρέχουμε στο αντίστοιχο manual.

Πίνακας 6.1

Μορφή πυρήνα	Προτεινόμενες χρήσεις	Μορφή πυρήνα	Προτεινόμενες χρήσεις
- P	- Αυτεπαγωγές	- DR	- Υψηλών ρευμάτων - Φίλτρα, πηνία, ταλαντωτές
- RM	- Φίλτρα	- RING CORES (RC, RCC, RCL)	- Γενικών εφαρμογών
- X	- Μ/Σ	- ΚΥΛΙΝΔΡΙΚΗ (R)	
- Q	- Chokes	- WIDE-BAND CHOKES (WBC)	- Chokes ευρείας ζώνης
- H	- Μ/Σ ευρείας ζώνης	- RODS	- EMI/RFI φίλτρα
- PH	- Αυτεπαγωγές	- TUBES	- Συντονιστές
- EP		- CUP & MUSHROOM CORE	- Φίλτρα, πηνία, ταλαντωτές, συντονιστές I.F
- E	- Μ/Σ και chokes	- BOBBIN CORES (BC)	
- EC, EE, EF, EI, ER	- παλμοτροφοδοτικών	- YOKE RINGS (YR)	- Πηνία αποκλίσεων οθονών TV (CRT)
- EFD, ETD, EER, EIR	- Μ/Σ inverters	- BLOCKS (BLK)	- Μικροκύματα, επιταχυντές σωματιδίων
- I	- Μ/Σ τηλεπικοινωνιών	- PLATES (PLT)	- Μικροκύματα, EMC
- LP		- DISKS (DSK)	- Μικροκύματα
- PM, PQ		- RHH, R4H, RID	- Μ/Σ BALUN και διάφοροι Μ/Σ και πηνία
- PCH		- ΣΩΛΗΝΩΤΟ (RI)	- Tuners, ραδιόφωνα αυτοκινήτου
- U		- ΚΥΛΙΝΔΡΙΚΗ ΜΕ ΒΙΔΩΤΟ ΤΜΗΜΑ (RB, RS)	- AM/FM
- UI, UU		- AP, AR	- Κεραίες LW/MW, MW/ SW
- UR	- Μ/Σ επιστροφής		
- URI			
- EPC	- Μ/Σ τροφοδοτικών H.F		
- MULTI-HOLE CORES (MHC)	- EMI/RFI φίλτρα		
- SU, RU			
- ΚΥΛΙΝΔΡΙΚΗ (BB, RH)			
- FERRITE BEAD CORES (BTL, BHW, BHY, BHZ, BWA, BWB) & chip (ABC)			
- EMI-SUPPRES- SION BEADS & BEAD ON WIRE			
- SMD EMI/RFI (CBD)			

Φερρίτες (Ferrites)

Μορφή πυρήνα	Προτεινόμενες χρήσεις	Μορφή πυρήνα	Προτεινόμενες χρήσεις
- SMD (EE12, ER11, T2, EE5, ER9.5, ER14.5)	- Μ/Σ ευρείας ζώνης - Μ/Σ μετατροπών DC-DC	- IMPEDER CORES - IMPEDER CORES (ZR, ZRH, ZRS)	- Συγκολλήσεις στις υψηλές συχνότητες (100~500) KHz
- LARGE TOROIDAL, DT - SP	- Γενικών εφαρμογών - Επιταχυντές σωματιδίων	- ELECTRODES (RH, SP, IR, R)	- Προστασία από ηλεκτρόλυση - Προστασία επιφανειών - Καθαρισμός υδάτων
- TOROIDAL (T)	- Μ/Σ παλμών/ BALUN - Φίλτρα, chokes - Αισθητήρες ρεύματος - EMI/RFI φίλτρα	- ΒΙΔΩΤΟ ΓΙΑ TRIMERS THP (standard, PS2, PS4, PS5) - ΒΙΔΩΤΟ ΓΙΑ TRIMERS TH (standard, S4, S8, S14, S17)	- Μαζί με τον πυρήνα DR για φίλτρα, πηνία, ταλαντωτές, συντονιστές I.F - Για μεταβλητούς πυρήνες

Στη συνέχεια δίνονται οι κώδικες των μορφών των σκληρών φερριτών σύμφωνα με τις προδιαγραφές JIS και EIA. Κυλινδρικοί (R, RH), δακτυλιοειδείς (Ri, DH, μεγαφώνων – επίπεδων κινητήρων και magnetrons), δισκοειδείς (D), plates (W), plates με οπή (WH), τύπου C και CF.

Τέλος, πρέπει να αναφέρουμε ότι οι κώδικες των πυρήνων δηλώνουν κάτι από το σχήμα τους ή είναι αρκτικόλεξα της περιγραφής τους, π.χ. P (Pot), RM (Rectangular Modular), PM (Pot core Module), X (σχήματος X), E (σχήματος E), PLT (PLATES), WBC (Wide-Band Chokes) ή είναι κώδικες που δε δηλώνουν τίποτα και πρέπει να ανατρέξουμε στα manuals των εταιριών.

Στα σχ. 6.11 παρουσιάζονται μερικοί πυρήνες από το ένα ή το άλλο πρότυπο.

B. Η κωδικοποίηση των υλικών των φερριτών είναι διαφορετική για κάθε πρότυπο και εταιρία.

Για τη PHILIPS π.χ. το υλικό 3C85 δηλώνει φερρίτη βασισμένο στο MnZn με σύνθεση 71% Fe₂O₃-20% MnO-9%ZnO ή το 4A11 που βασίζεται στο NiZn με σύνθεση 50% Fe₂O₃-24% NiO-26%ZnO.

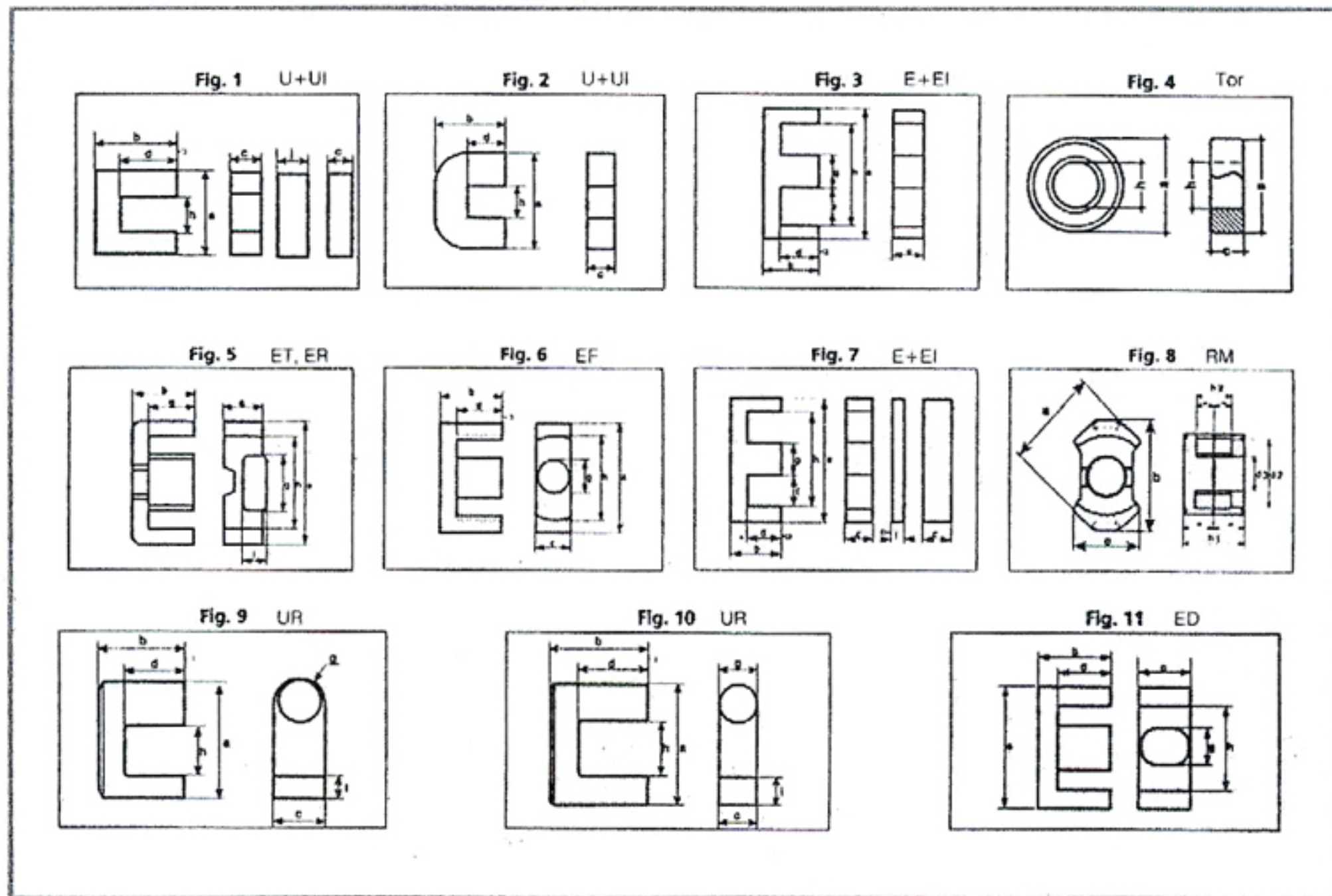
Η SIEMENS MATSUSHITA χρησιμοποιεί τους κώδικες K1, N26, T35, U17 κ.λπ.

Η TDK και άλλες εταιρίες της Άπω Ανατολής χρησιμοποιούν τους κώδικες 4HM, DA2, H5B2, PC30, V3N, K5 κ.λπ.

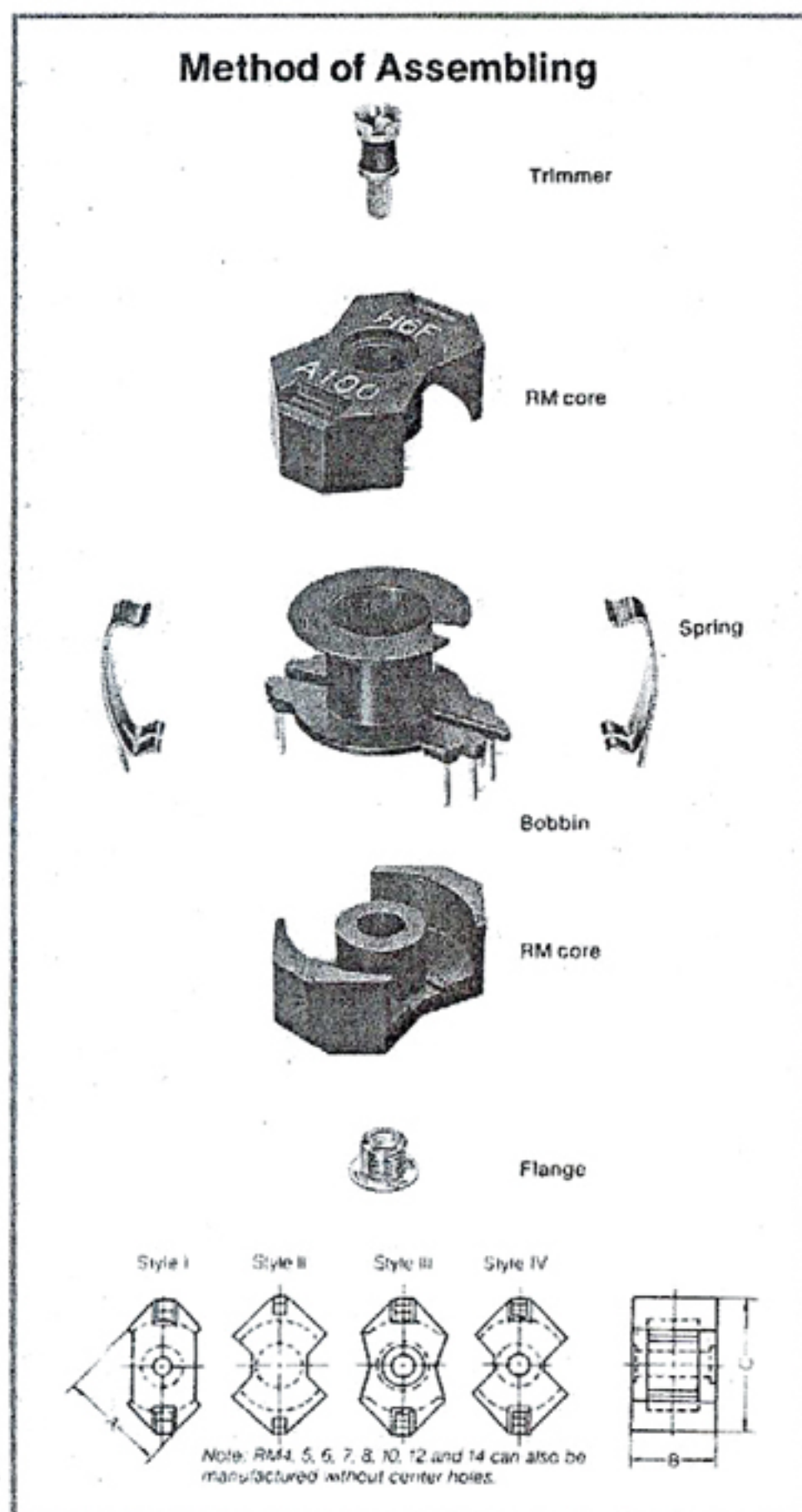
Η MURATA έχει κώδικες όπως MH, RT, PB κ.ά.

Η THOMSON -CSF, η LCC και άλλες έχουν κώδικες όπως A2, A3, B1, B2, F1, F2 κ.λπ.

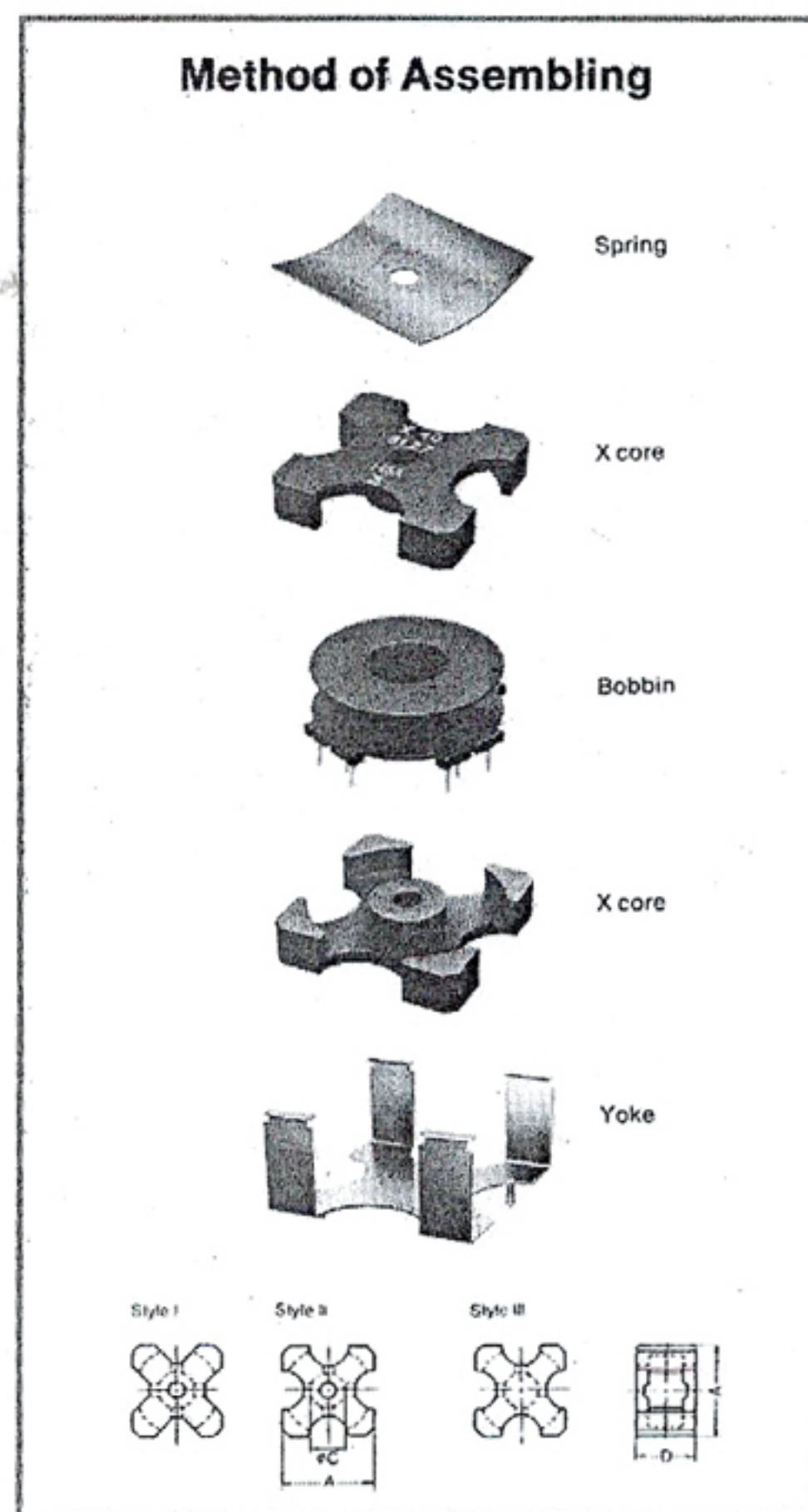
Σχήμα 6.11α



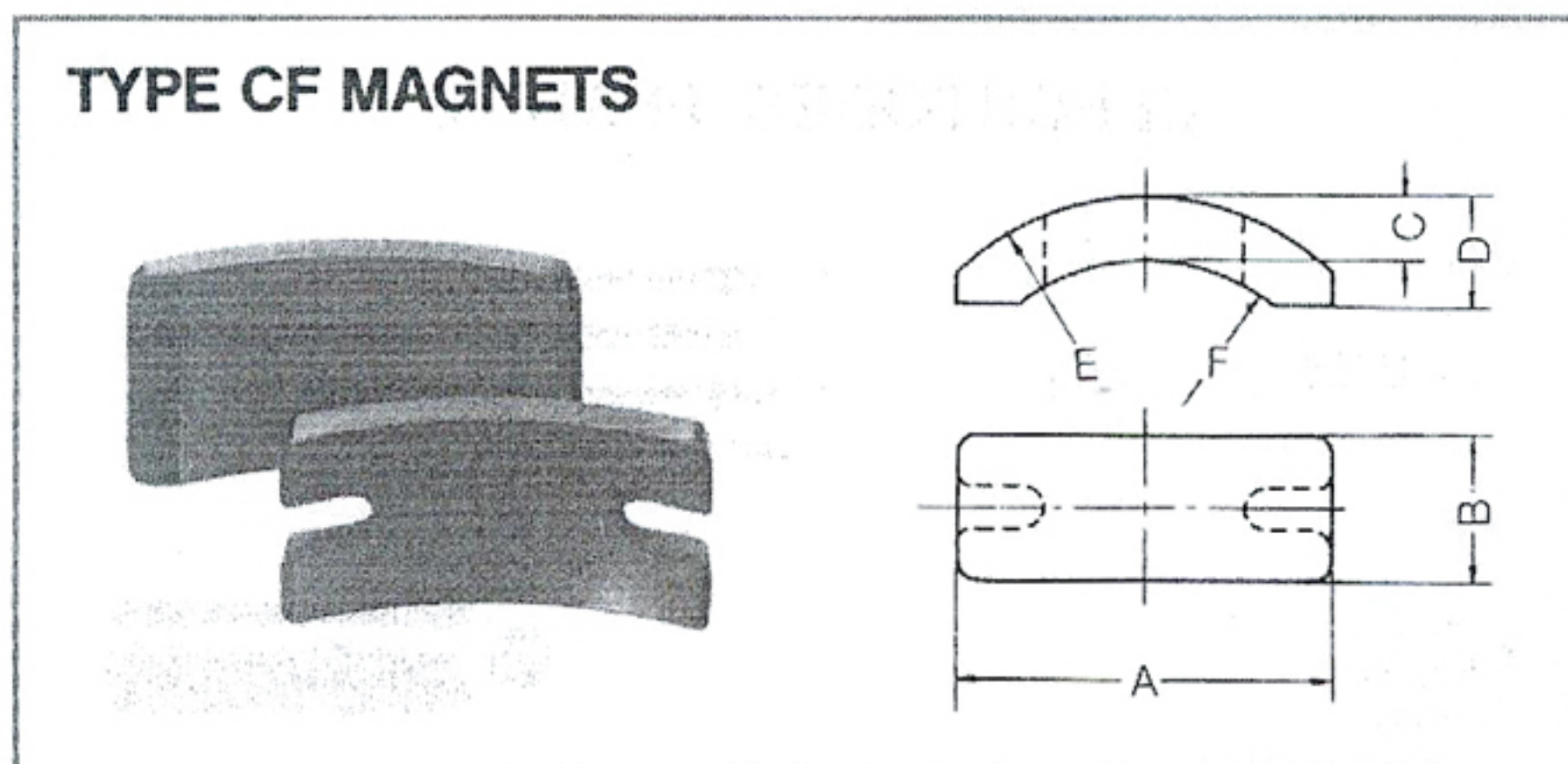
Σχήμα 6.11β



Σχήμα 6.11γ



Σχήμα 6.11κ



Η Magnetics Inc. χρησιμοποιεί γράμματα όπως A, G, S, V, W κ.λπ., η Indiana General τα Q1, Q2, H, TG3, O5, G (διαφορετικό από το G της προηγούμενης εταιρίας), η Fair-Rite τα 63, 68, 77, 31 κ.λπ. ή τέλος η Amidon τα FT-63, FT-68, FT-77, FT-31 κατ' αντιστοιχία με την Fair-Rite, όπου FT (Ferrite Toroides).

Παρατηρούμε ότι η αντιστοιχία των υλικών μεταξύ των κατασκευαστών είναι σχεδόν ανύπαρκτη. Υπάρχουν βέβαια αντιστοιχίες όπως A13=Q3=N28, A16=3C8, 3C5=F=O5P, 4C4=Q1 κ.λπ. Υπόψη ότι οι εταιρίες κατά καιρούς καταργούν διάφορα υλικά, όπως η PHILIPS τα 3C8, 3C5, 4C4 τα οποία παράγονταν πριν δύο δεκαετίες. Γι' αυτό η μόνη ασφαλής και σίγουρη λύση είναι η αναδρομή στα τεχνικά φυλλάδια της εταιρίας, υλικό της οποίας διαθέτουμε.

Στον πίνακα 6.2 δίνονται, δειγματοληπτικά, στοιχεία από υλικά διάφορων εταιριών για εξοικείωση του αναγνώστη.

Πίνακας 6.2

α/α	ΥΛΙΚΟ ΦΕΡΡΙΤΗ	μ , στους 25°C	$\approx B_{sat}$ (mT) στοις 25°C	$\geq T_c$ (°C) (curie)	$\approx \rho$ ($\Omega \cdot m$) στοις 25°C	ΤΥΠΟΣ ΦΕΡΡΙΤΗ	ΚΥΡΙΑ ΠΕΡΙΟΧΗ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ	ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΗ ΜΟΡΦΗ ΠΥΡΗΝΑ
PHILIPS ($\varnothing 25 \times 15 \times 10$) mm								
1	1P04	4	–	130	–	IRON POWDER	Συντονιστές	RODS, PINS
2	2P40	40	950	140	–	IRON POWDER	EMI/RFI φίλτρα	U, RINGS
3	2A2	350	250	135	10^6	MgZn	Πηνία απόκλίσεων	YOKES
4	3H1	2300	400	130	1	MnZn	Φίλτρα, Μ/Σ	P, X, RM, EP, RINGS
5	4C6	100	380	350	10^5	NiZn	Φίλτρα, Μ/Σ	P, X, RM, EP, RINGS

Φερρίτες (Ferrites)

6	5G1	-	145	240	10^4	GARNET	Μικροκύματα	PLATES, BLOCKS, DISCS
7	6B1	250	350	250	10^5	LiZn	EMI/RFI, συντονιστές	RINGS, RODS, TUBES
8	8E1	3200	400	180	5	MnZn	Eraser heads	-
9	8C11	1200	300	125	10^5	NiZn	Επιταχυντές σωματιδίων	RING, BLOCKS
SIEMENS MATSUSHITA (∅10∅6x4) mm								
1	K1	80±20%	360	400	10^5	NiZn	Φίλτρα, πηνία,...	P, RM, TUBES, TOROIDES
2	M33	750±20%	450	200	5	MnZn	Φίλτρα, πηνία,...	P, RM, TUBES, TOROIDES
3	N22	1900±25%	390	145	1	MnZn	Φίλτρα, πηνία, Χ.Σ	CORE HALVES, BEADS
4	T35	6000±20%	380	130	0.2	MnZn	Φίλτρα, πηνία, Μ.Σ	P, RM, EP, TOROIDES
5	U17	10±20%	-	550	10^5	NiZn	EMI/RFI φίλτρα	R, DOUBLE APPERTURE
MURATA (∅30∅20x6) mm 3 TURNS								
1	MH	5000	360	130	0.02	MnZn	EMI/RFI φίλτρα	P, U, EI, EE, ER, RODS
2	RL	900	240	80	10^5	NiZn	EMI/RFI φίλτρα	BEADS, RINGS
3	PB	150	220	200	10^4	NiZn	EMI/RFI φίλτρα	DRUMS, MULTI-HOLES
THOMSON-CSF/LCC (∅21∅14x10) mm ή (∅21∅10x10) mm								
1	A2	10000±30%	330	120	0.3	MnZn	EMI/RFI φίλτρα	TOROIDES
2	B1	2500	450	200	1	MnZn	Μ/Σ, πηνία ισχύος	E, U, LARGE TOROIDES
3	C1	650	420	220	10	MnZn	EMI/RFI, συντονιστές	RODS, TUBES
4	F1	2300±25%	450	230	6	MnZn	Μ/Σ ισχύος	E
5	H1	700±20%	300	140	10^3	NiZn	Μ/Σ, πηνία,...	TOROIDES
6	K3	80±20%	350	400	10^5	NiZn	Μ/Σ, πηνία, φίλτρα	ΔΙΑΦΟΡΑ
7	S1	2200±20%	400	160	200	MnZn	Μ/Σ, πηνία, φίλτρα	R, RM, POT, FP
8	T4	6000±25%	350	130	50	MnZn	Μ/Σ, πηνία, φίλτρα	R, RM, POT, FP
TDK								
1	D1B	200	310	180	10^6	NiZn	Φίλτρα, πηνία,...	DR
2	DA2	1900±25%	500	200	0.3	MnZn	Πηνία αποκλίσεων	YOKES
3	F3T	18	310	300	10^7	NiZn	AM/FM	RB, RS

4	FA1	1800	440	200	30	MnZn	Φίλτρα, πηγία...	DR
5	H5B	5000±40%	420	130	1	MnZn	Διάφορα	RM, Q, X, POT, TOR...
6	H5B2	7500±25%	420	130	0.1	MnZn	M/Σ, BALUN, CHOKES	TOROIDES
7	HF30	45	320	300	10 ⁵	NiZn	EMI/RFI φίλτρα	FERRITE BEADS
8	K5	290±20%	330	280	2x10 ⁶	NiZn	M/Σ, πηγία, CHOKES	Q, POT, TOROIDES
9	L4	400	330	150	10 ⁷	NiZn	Φίλτρα, πηγία...	DR, R
10	L4N	300	260	150	10 ⁷	NiZn	Φίλτρα, πηγία...	DR
11	M5E	17	300	300	10 ⁷	NiZn	RF, OSC, IFT, πηγία	TH, TOROIDES, R
12	M5M	12	240	300	10 ⁷	NiZn	RF, OSC, IFT, πηγία	TH, POT
13	PE22	1800	510	200	3	MnZn	M/Σ, πηγία ισχύος	URI, LARGE TOROIDES
14	Q1C	250	290	125	10 ⁷	NiZn	RF, OSC, IFT, πηγία	THP, TH, R, TOROIDES
15	V1F	17	270	300	10 ⁷	NiZn	RF, OSC, IFT, πηγία	TH

Από τον πίνακα 6.2 παρατηρούμε ότι κάθε εταιρία δίνει τα χαρακτηριστικά των υλικών της για διαφορετικές διαστάσεις δακτυλίου φερρίτη. Επιπλέον, ανάλογα με το υλικό οι κατασκευαστές δίνουν και στοιχεία για άλλα χαρακτηριστικά, όπως συντελεστή απωλειών ($\tan\delta/\mu_i$) ppm, ενεργό ένταση καταστολής (H_{CMS}) A/m, πυκνότητα υλικού (d) gr/cm³, σταθερά μαγνητοστένωσης (λ_s), παράγοντα απορρύθμισης (D_f), θερμοκρασιακό συντελεστή σχετικής μαγνητικής διαπερατότητας ($\alpha_{\mu r}$) ppm/°C κ.λπ.

Τέλος, μερικές εταιρίες δίνουν πληροφορίες προτείνοντας υλικά για ιδιαίτερες χρήσεις, έτσι ώστε να επιτυγχάνεται το καλύτερο αποτέλεσμα. Για παράδειγμα η PHILIPS προτείνει για:

- φιλτράρισμα: 4C6, 3D3, 3H1-3H3,
- καταστολή, απόζευξη, φραγμό: 3E25, 3C11, 3C85, 3F3, 4A11, 4A15, 4C65, 3S1, 3S2,
- εξομάλυνση, αποθήκευση ενέργειας: 3C85, 3C80, 3F3, 2P...,
- M/Σ παλμών ή γενικών εφαρμογών: 3B8, 3H1, 3C11, 3E1, 3E4, 3E25, 3E5, 3E6
- M/Σ ισχύος: 3C80, 3C10, 3C85, 3F3, 3F4, 4F1 και
- συντονιστές: 3D3, 4A11, 6B1, 4C65, 4D1, 4E1, 1P...

IV) Για την TDK ισχύει ο χρωματικός κώδικας των υλικών: H5A=άσπρο και κόκκινο, H5B=άσπρο και κίτρινο, H5B2=κίτρινο και κίτρινο, H5C2=πορτοκαλί και πορτοκαλί, H6A= άσπρο και πορτοκαλί, H6A3= πράσινο και πράσινο, H6B= άσπρο και μπλε, H7A= άσπρο και πράσινο, K5=άσπρο και ανοικτό καφέ, K6A= κυανό και κυανό.

6.7 Υπολογισμός Αυτεπαγωγής με Πυρήνα Φερρίτη

Για τον υπολογισμό της αυτεπαγωγής με κάποιο πυρήνα φερρίτη οι κατασκευαστές προτείνουν διάφορες λύσεις, μερικές από τις οποίες θα εξετάσουμε:

- 1) Οι ραβδοειδείς (rods) και οι σωληνοειδείς (tubes) φερρίτες γενικά χρησιμοποιούνται για την αύξηση της αυτεπαγωγής του πηνίου. Το μαγνητικό τους κύκλωμα είναι πολύ ανοικτό, επομένως οι διαστάσεις του φερρίτη επηρεάζουν την αυτεπαγωγή του πηνίου διαμέσου της αρχικής διαπερατότητας (μ_i), εκτός αν οι φερρίτες είναι πολύ λεπτοί. Αυτό φαίνεται καλύτερα από το σχ. 6.14 που προτείνει η PHILIPS· ισχύει δε η σχέση:

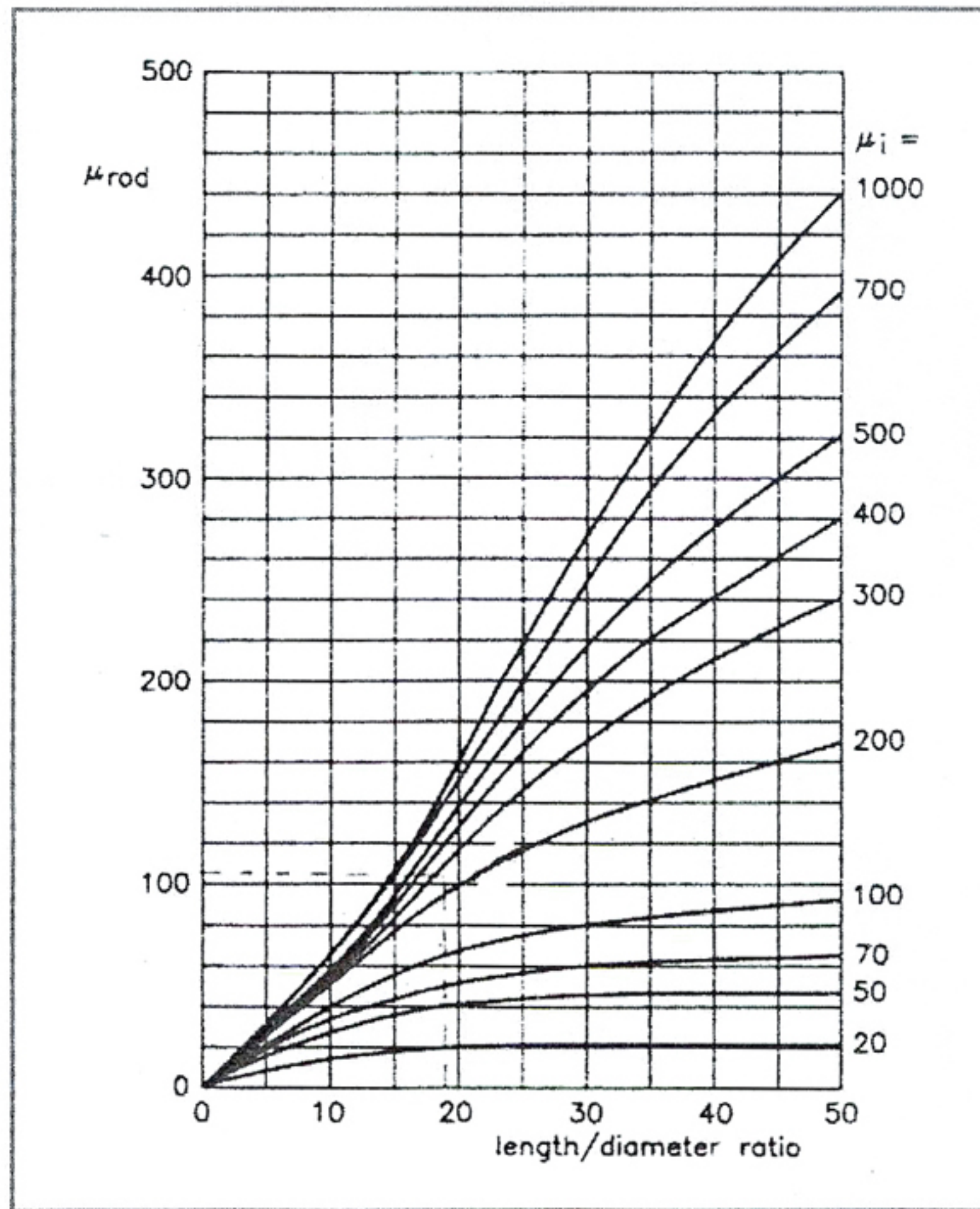
$$L = \mu_0 \cdot \mu_{rod} \frac{N^2 \cdot S}{\ell} \quad (H) \quad 6.31$$

Έστω ότι θέλουμε να κατασκευάσουμε πηνίο φερρίτη για να εργαστεί ως κεραία AM στα μεσαία κύματα. Ας υποθέσουμε ότι η ζητούμενη αυτεπαγωγή είναι $L=370\mu H$ (δες σελ. 203 τόμος Α). Από το manual επιλέγουμε ραβδοειδή φερρίτη μήκους $\ell=150mm$, διαμέτρου $d=8mm$ και υλικού 4B1 με $\mu_i=250$. Έχουμε $\ell/d \cong 19$ και $\mu_{rod} \cong 105$, από το σχ. 6.13. Αφού $S = \pi \frac{d^2}{4} = 50,265mm^2$ και από την 6.31:

$$N = \sqrt{\frac{\ell \cdot L}{\mu_0 \cdot \mu_{rod} \cdot S}} \quad (\text{στρ.})$$

τότε $N \cong 92$ στροφές. Για φερρίτη από υλικό 4D2 με $\mu_i=60$ και $\mu_{rod} \cong 45$ για την ίδια αυτεπαγωγή έχουμε $N \cong 140$ στροφές.

Σχήμα 6.14



2) Όπως έχουμε αναφέρει (τόμος Α παρ. 5.4 σελ. 233), τα EMI/RFI φίλτρα χρησιμοποιούνται για την καταστολή παρεμβολών και την Η/Μ συμβατότητα. Η αρχή λειτουργίας αυτών των κυκλωμάτων φαίνεται στα σχ. 6.15, όπου U_i = τάση πηγής παρεμβολών. Είναι δεδομένο ότι, αν $Z_s = \text{high}$ για τις συχνότητες παρεμβολών σχ. 6.15α ή $Z_p = \text{low}$ αντίστοιχα για το σχ. 6.15β, τότε το ρεύμα των παρεμβολών στο φορτίο θα είναι ελάχιστο. Τα αυτεπαγωγικά στοιχεία προτείνονται για τις περιπτώσεις του σχ. 6.15α και τα χωρητικά γι' αυτές του σχ. 6.15β. Τα πρώτα θα πρέπει να παρουσιάζουν υψηλή και τα δεύτερα χαμηλή σύνθετη αντίσταση στις συχνότητες παρεμβολών. Ως αυτεπαγωγικά στοιχεία συνήθως χρησιμοποιούνται τα beads (χάντρες), beads on wire (χάντρες με σύρμα) και wide-band chokes (τσोक ευρείας ζώνης). Χρησιμοποιούνται επίσης τα rods και tubes με πηνίο τυλιγμένο από το χρήστη.

$$B = \frac{U_p \cdot 10^7}{4 \cdot f \cdot N \cdot A_e} \text{ (mT)} \quad 6.36$$

όπου A_e = ενεργό εμβαδόν του πυρήνα σε cm^2 και I_{DC} σε A.

- 6) Για τον υπολογισμό ενός πηνίου κυκλώματος συντονισμού η SIEMENS-MATSUSHITA προτείνει την εξής μεθοδολογία:
Έστω ότι ζητούμε $L=640\mu\text{H}$, $Q_{\min}=400$ στη συχνότητα 500KHz και $a_e=100 \text{ ppm}/^\circ\text{C}$ στην περιοχή θερμοκρασιών $+(5\sim 55)^\circ\text{C}$.

Έχουμε $\tan\delta_L = \frac{1}{Q_{\min}} = 2.5 \cdot 10^{-3}$ και από τον πίνακα της εταιρίας με αυτό το δεδομένο και τη συχνότητα λειτουργίας επιλέγουμε το υλικό M33 για τη συγκεκριμένη χρήση. Από τον πίνακα των χρήσεων με γνωστά τα Q_{\min} και a_e επιλέγουμε πυρήνα με διάκενο (gapped pot core). Για το υλικό M33 ο σχετικός θερμοκρασιακός συντελεστής είναι $a_F=1.6 \text{ ppm}/^\circ\text{C}$ (μέση τιμή). Από τη σχέση $\mu_e = \frac{a_e}{a_f} = \frac{100}{1.6} = 62.5$

και για το P18×11 με $A_L=100\text{nH}/\text{N}^2$ προκύπτει ότι $\mu_e=47.9$, ενώ για το P22×13 με $A_L=100\text{nH}/\text{N}^2$ προκύπτει ότι $\mu_e=47.9$, ενώ για το P22×13 με $A_L=100\text{nH}/\text{N}^2$ τότε $\mu_e=39.8$. Από τη σχέση

$$N = \sqrt{\frac{L}{A_L}} = \sqrt{\frac{640\mu\text{H}}{100\text{nH}}} = 80 \text{ στρ. Από το νομόγραμμα N-εξωτερική}$$

διάμετρος για τα P cores, με εξ. διάμ.=0.367mm του χάλκινου μονωμένου σύρματος και για το P18×11 με δύο τμήματα, βλέπουμε ότι εύκολα κατασκευάζεται το ζητούμενο πηνίο. Επιλέγουμε σύρμα Litz 20×0.05 έτσι ώστε να εργάζεται καλά στα 500KHz. Έχει αντίσταση 0.444 Ω/m και το μήκος της φόρμας του P18×11 είναι 35.6mm, άρα χρειάζονται $80 \times 35.6 = 2848 \text{ mm}$ σύρματος συν $2 \times 10 = 20\text{cm}$ για τις συνδέσεις, δηλαδή συνολικά 3.04m. Η ολική αντίσταση R_{cu} θα είναι περίπου 1.35 Ω .

Τα υπόλοιπα pot cores απορρίπτονται για διάφορους λόγους, όπως μικρότερο Q_{\min} , μικρότερη συχνότητα λειτουργίας κ.λ.π.

- 7) Για τον υπολογισμό των chokes αποθήκευσης ενέργειας π.χ. σε ένα step-down mode παλμοτροφοδοτικό η SIEMENS-MATSUSHITA προτείνει:

α) Έστω $I=0.1\text{A}$, $L_{rev} > 10\text{mH}$ και $R_{cu} < 1\Omega$, όπου L_{rev} η αυτεπαγωγή που αναφέρεται στην αναστρέψιμη διαπερατότητα μ_{rev} .

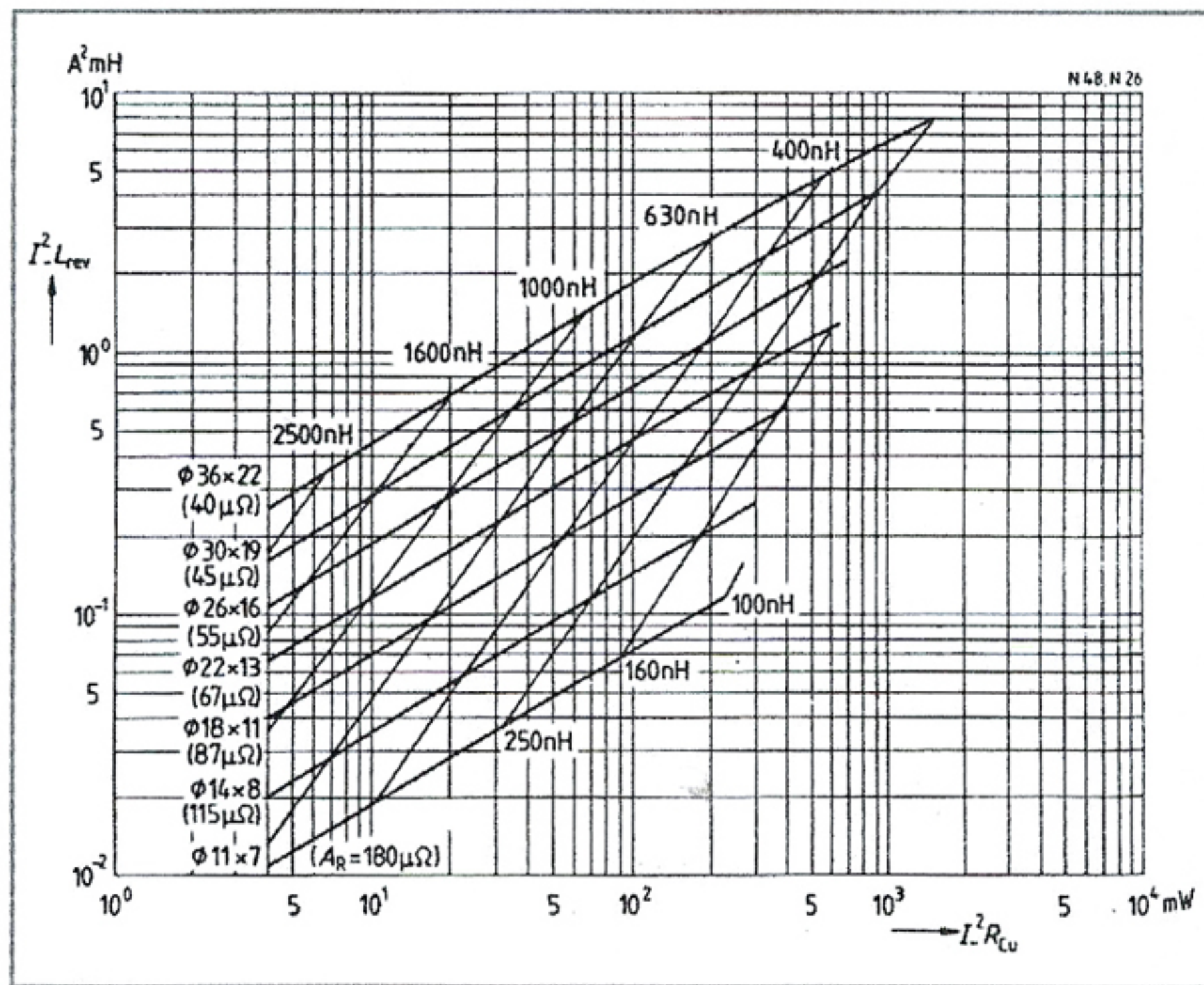
Στο γράφημα του σχ. 6.20 για πυρήνες pot cores από υλικά N26 και N48 και για $I^2 \cdot L_{rev} = 0.1^2 \cdot 10 \text{ A}^2 \cdot \text{mH} = 0.1 \text{ A}^2 \cdot \text{mH}$ και $I^2 \cdot R_{cu} = 0.1^2 \cdot 1 \text{ A}^2 \cdot \Omega = 0.01 \text{ W} = 10 \text{ mW}$ τα ζητούμενα ικανοποιούνται. Έτσι, ο πυρήνας P22×13 με $A_L=1000\text{nH}$, $R_{cu} \cong 0.86\Omega$, $L_{rev} \cong 10.6\text{mH}$ και

$$N = \sqrt{\frac{R_{cu}}{A_R}} = \sqrt{\frac{0.86\Omega}{67\mu\Omega}} \cong 114 \text{στρ. ενός τμήματος είναι ο κατά-}$$

τάλληλος για την εφαρμογή μας.

- β) Έστω $(I^2L)_{\max} = 8A^2mH$ και $\Delta T \cong 40K$ η υπερθέρμανση που οφείλεται στις απώλειες χαλκού. Στο νομόγραμμα του σχ. 6.21 για EC και E πυρήνες υλικού N27, παρατηρούμε ότι για $8A^2mH$ ο πυρήνας EC41 με $\mu_e \cong 38$ δίνει απώλειες περίπου 3W και είναι το ζητούμενο. Το I^2L δηλώνει την ικανότητα μαγνητικής πόλωσης.

Σχήμα 6.20



Σχήμα 6.21

