



ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑ
Εθνικό και Καποδιστριακό
Πανεπιστήμιο Αθηνών

HELLENIC REPUBLIC
National and Kapodistrian
University of Athens

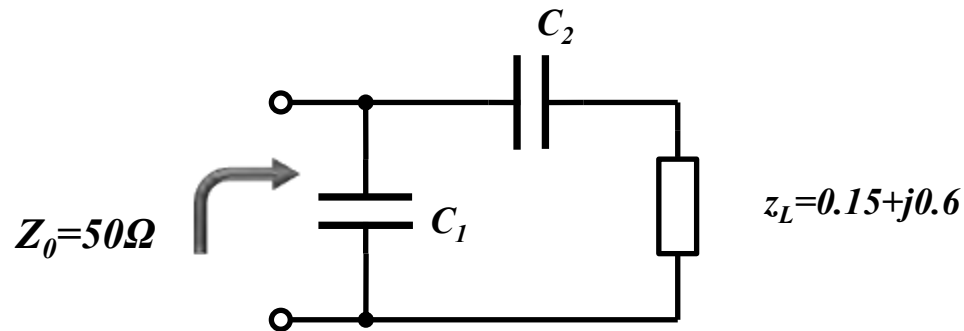


Εισαγωγή στη Σχεδίαση Κυκλωμάτων RF

*Παραδείγματα προσαρμογής με χάρτη
Smith & CMOS πηνία*

Χάρτης Smith

Προσαρμογή χρησιμοποιώντας το παρακάτω κύκλωμα:



Προσαρμογή με χάρτη Smith

Να βρεθεί το κατάλληλο δικτύωμα προσαρμογής αν $f=4\text{GHz}$

$$z_L = 0.15 + j0.60$$

1. Τοποθετούμε το z_L στο διάγραμμα στο σημείο H .

2. Κινούμαστε στον κύκλο σταθερού r . Τα σημεία τομής με τον $y=1$ είναι τα Θ και K . Επιλέγουμε το Θ .

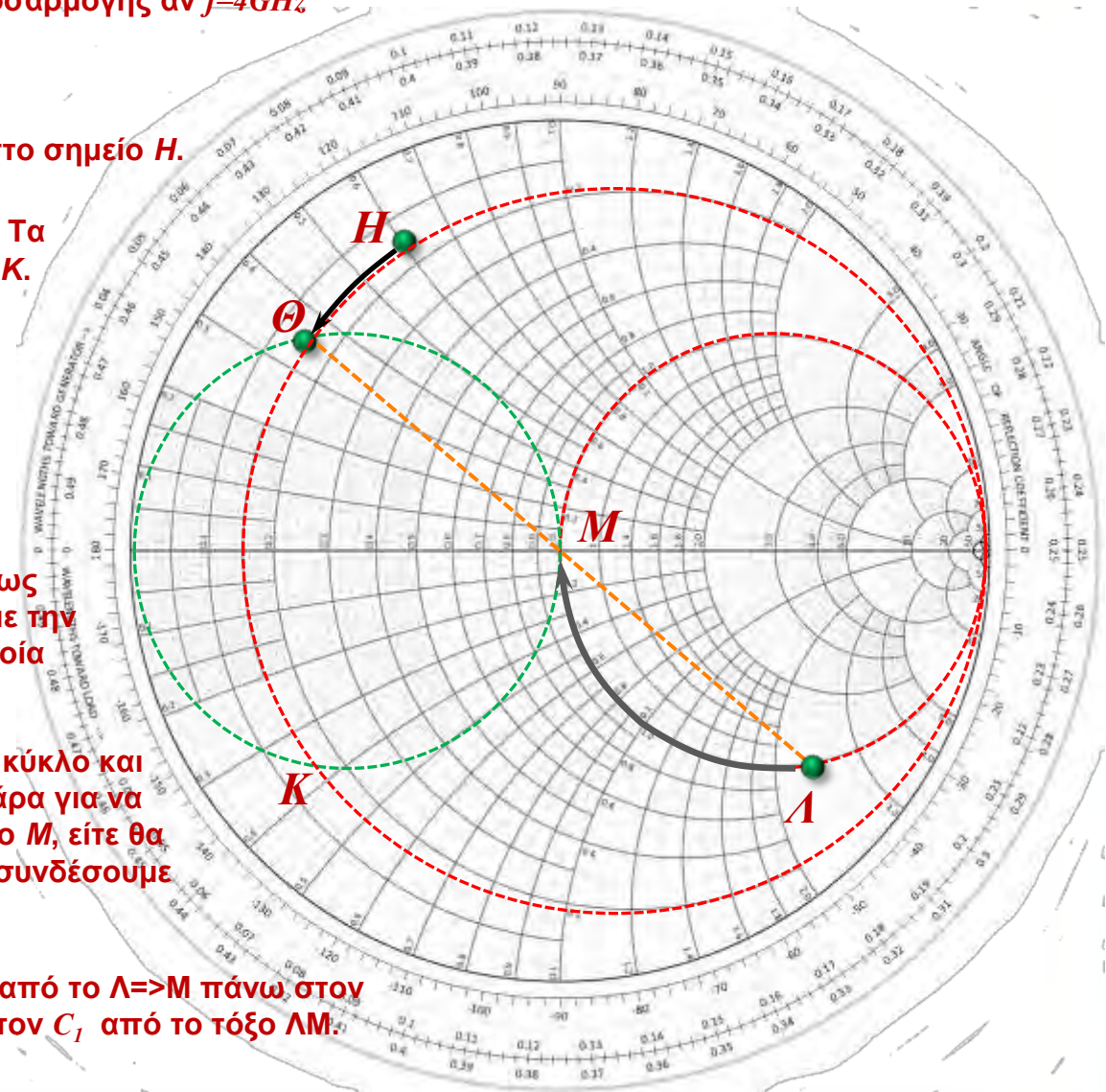
3. Υπολογίζουμε τον C_2 από το τόξο:

$$H\hat{\Theta} = \frac{X_{C2}}{Z_0} = \frac{1}{\omega C_2}$$

4. Βρίσκουμε το συμμετρικό σημείο Λ ως προς το κέντρο M , για να υπολογίσουμε την αγωγιμότητα του κλάδου ($C_2 + Z_L$), η οποία είναι όσο το y_A .

5. Βρισκόμαστε πάνω στον μοναδιαίο κύκλο και έχουμε αγωγιμότητα (όχι αντίσταση) άρα για να κινηθούμε προς το 1, δηλαδή το σημείο M , είτε θα προσθέσουμε σε σειρά πηνίο, είτε θα συνδέσουμε παράλληλα ένα πυκνωτή.

6. Προσθέτουμε το $(1/C_1)$ πηγαίνοντας από το $\Lambda \Rightarrow M$ πάνω στον μοναδιαίο κύκλο και υπολογίζουμε τον C_1 από το τόξο ΛM .



Προσαρμογή με χάρτη Smith

Να βρεθεί το κατάλληλο δικτύωμα προσαρμογής αν $f=5\text{GHz}$

$$z_L = 1.5 - j0.80$$

1. Τοποθετούμε το z_L στο διάγραμμα στο σημείο A.

2. $z_L \parallel C$ πάμε στην αγωγιμότητα στο B

$$y_{zL} = y_B = 0.525 + j0.28$$

3. Προσθέτουμε $\parallel$ τον C και υπολογίζουμε τον C από το τόξο BF

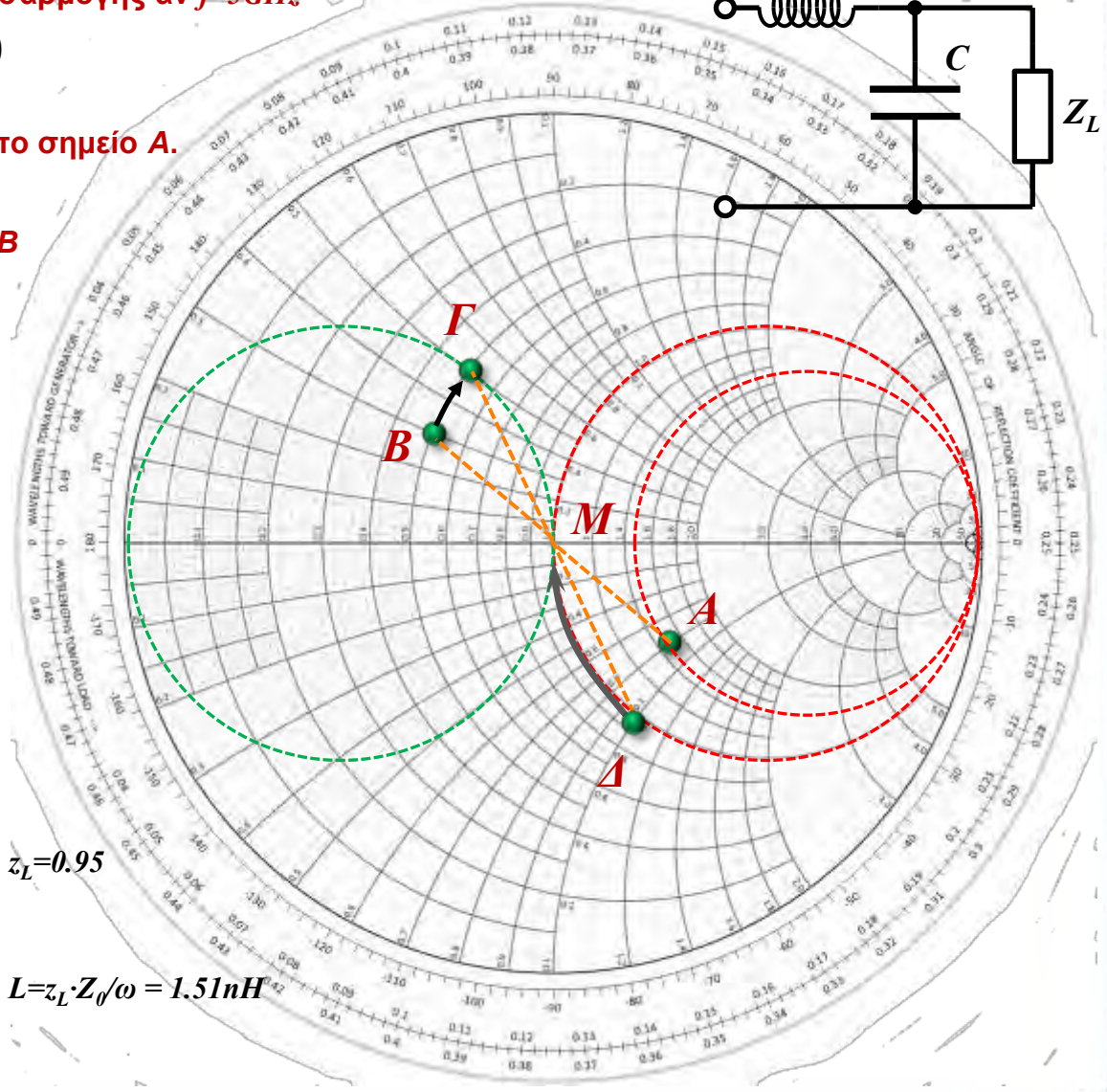
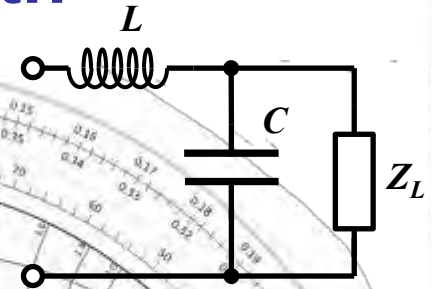
4. Βρίσκουμε $y_I = 0.525 + j0.51$

5. Βρίσκουμε $y_C = 0.23$ $z_C = 1/y_C = 4.3$
 $C = 0.146\text{pF}$

6. Πάμε από το Γ στο Δ και $z_D = 1 - j0.95$

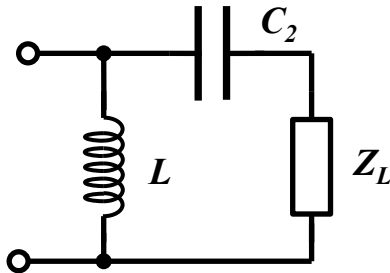
7. Από το τόξο ΔM βρίσκουμε το πηνίο $z_L = 0.95$

8. Από το τόξο ΔM βρίσκουμε το πηνίο $L = z_L \cdot Z_0 / \omega = 1.51\text{nH}$



Προσαρμογή με χάρτη Smith

Να γίνει προσαρμογή με το δικτύωμα:

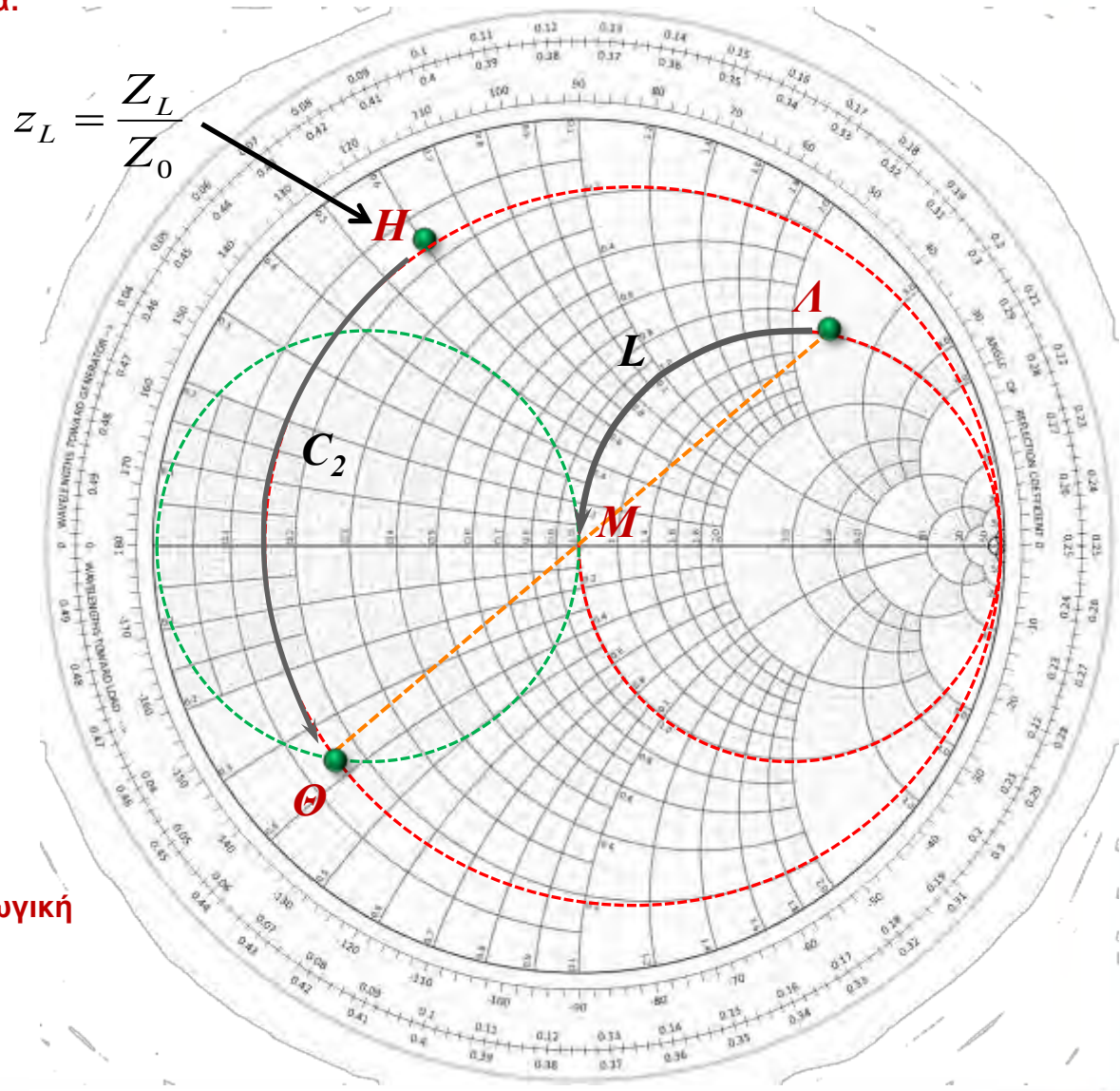


**υπολογίζουμε την C_2
από το τόξο $H\Theta$.**

**υπολογίζουμε το L από
το τόξο $ΛΜ$.**

Πάμε από το Λ στο Μ, διότι η επαγωγική αγωγιμότητα είναι αρνητική

$$y_4 = 2.35$$



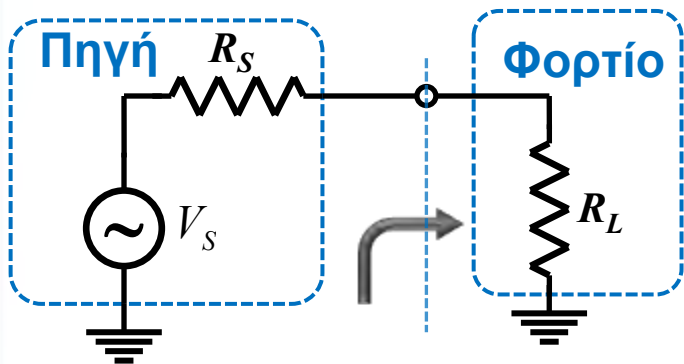
Πηνία σε τεχνολογία CMOS

Πηνία και μετασχηματιστές σε ολοκληρωμένα κυκλώματα



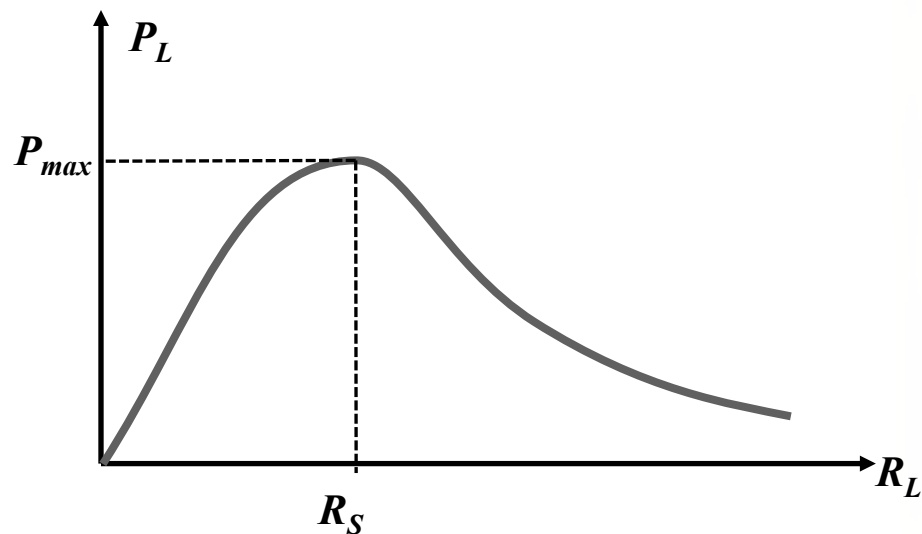
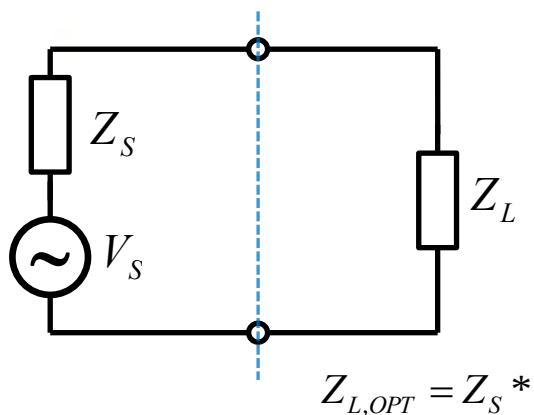
Προσαρμογή Ισχύος

Θεώρημα προσαρμογής ισχύος: Μέγιστη μεταφορά ισχύος στο φόρτο.



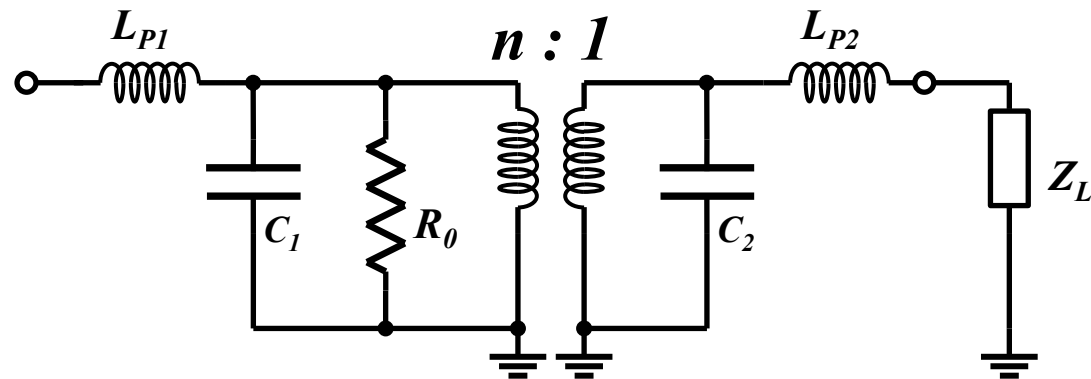
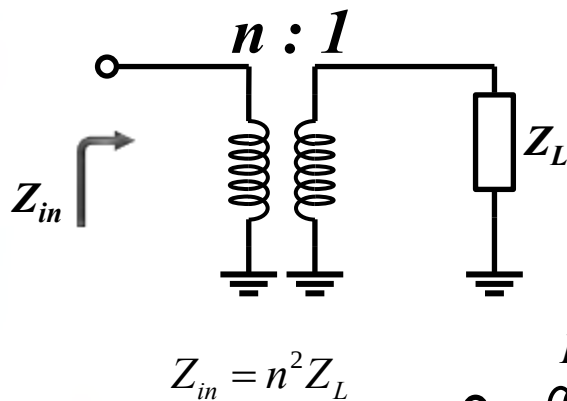
$$P_L = \frac{(V_L)^2}{R_L} = \frac{(V_S)^2 R_L}{(R_L + R_S)^2}$$

$$P_L = \max, \quad \Rightarrow \frac{\partial P_L}{\partial R_L} = 0 \quad \Rightarrow R_{L,OPT} = R_S$$



Σχεδίαση Κυκλωμάτων Προσαρμογής

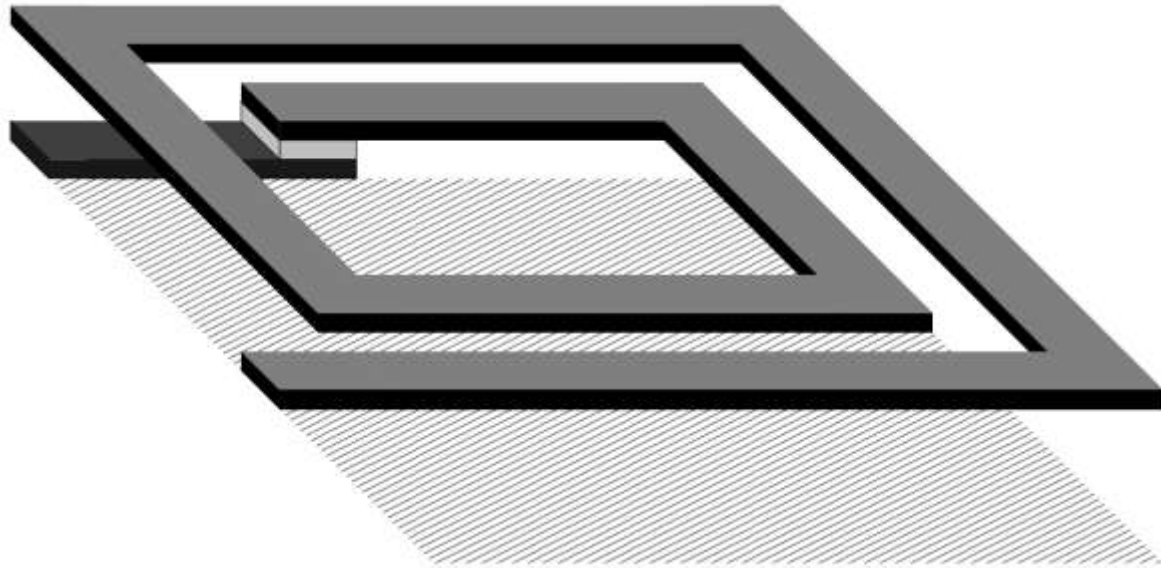
Μετασχηματιστές RF :



Στην πράξη τα παρασιτικά φαινόμενα και οι απώλειες κάνουν δύσκολη τη σχεδίαση ενός μετασχηματιστή RF.

Κατασκευή πηνίων σε τεχνολογία CMOS

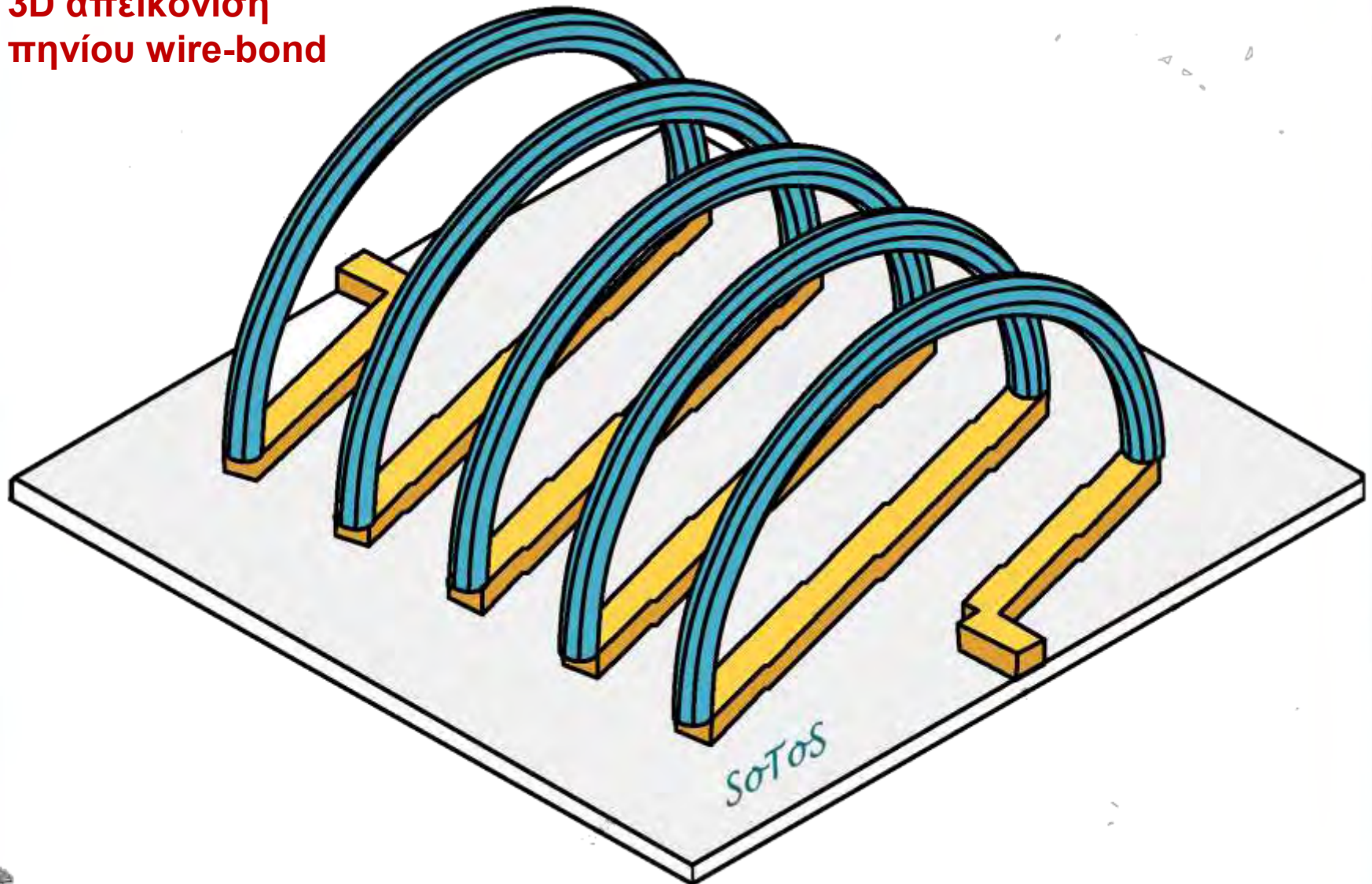
Μετασχηματιστές RF :



Attribute	Bond wire	Planar Spiral
Inductance	0.5 – 4nH	0.2 – 100nH
Q	30 – 60	< 10
Parasitics	C_{Bondpad}	$R_s, C_{\text{ox}}, C_{\text{si}}, R_{\text{si}}$
Fluctuations	Large	Small

Bond Wire Inductor

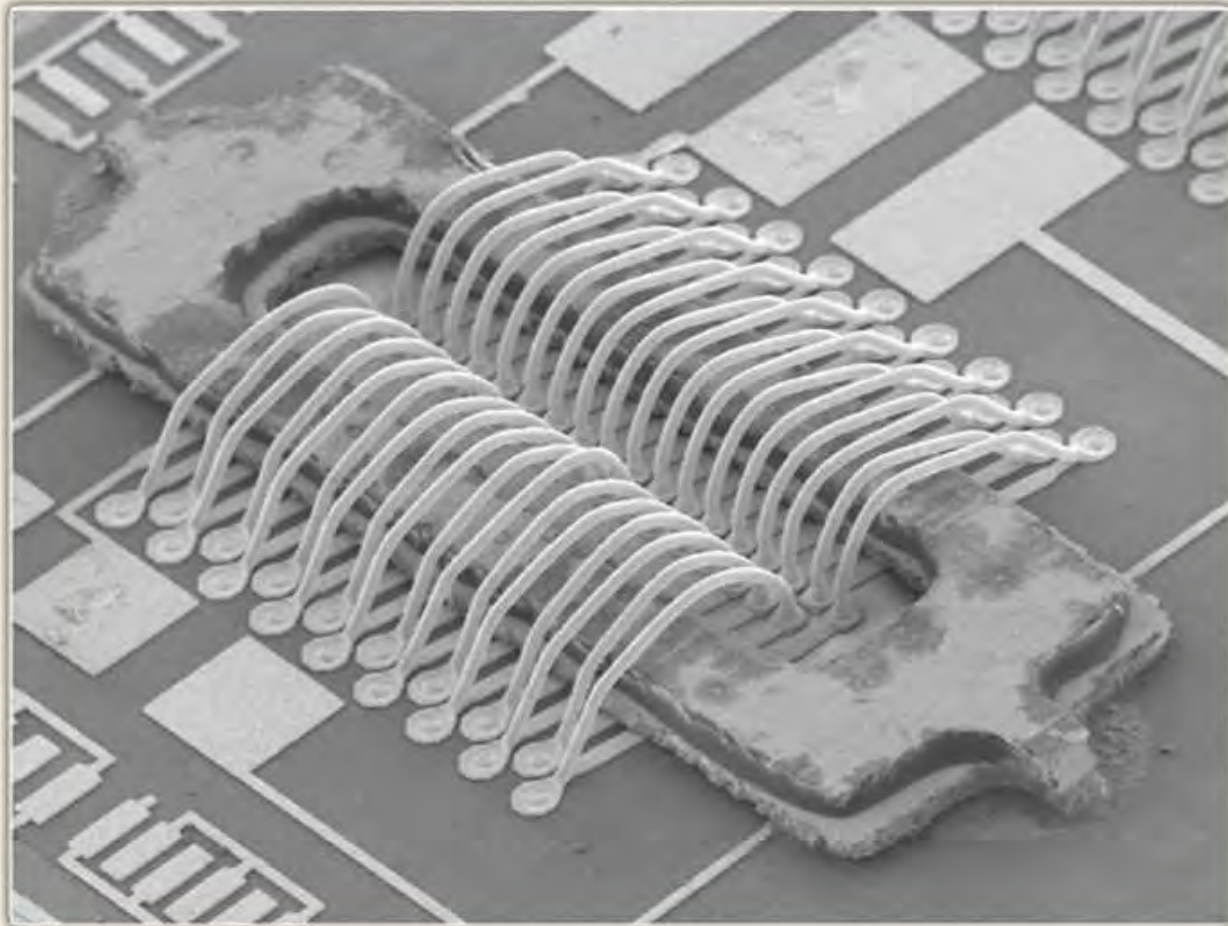
3D απεικόνιση
πηνίου wire-bond



Bond Wire Inductor

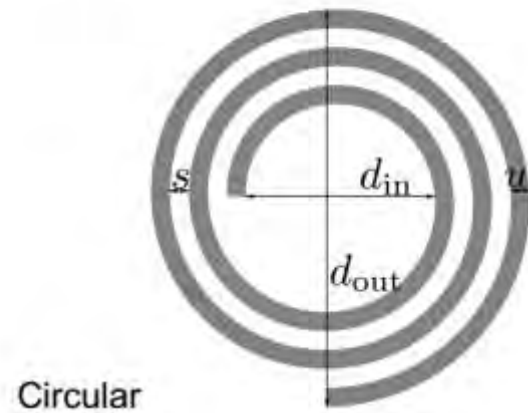
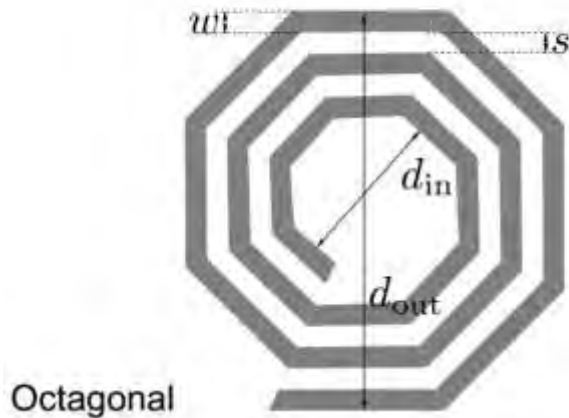
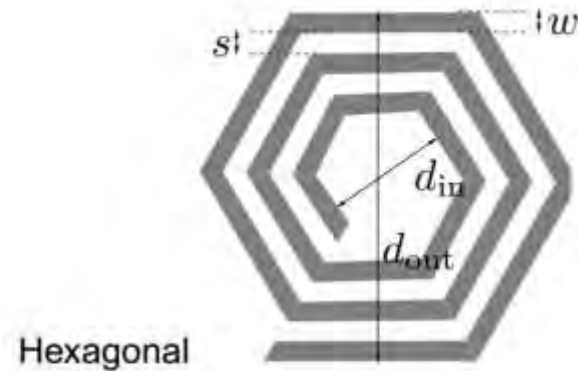
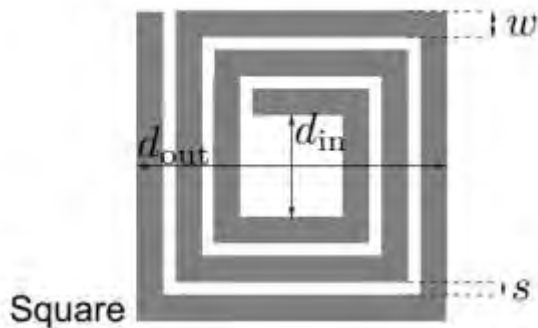
Χρησιμοποιώντας πολύ λεπτά σύρματα χρυσού είναι δυνατή η κατασκευή πηνίων με υψηλό Q απευθείας πάνω στην επιφάνεια του IC. Το συγκεκριμένο πηνίο έχει διαστάσεις 1mmX2mm και πυρήνα πάχους 250 μ m.

SEM Photograph: 35 turns Gold Inductor with permalloy magnetic core achieves micro-Henry inductance



Διάφορες Γεωμετρίες ολοκληρωμένων πηνίων CMOS

Lateral Parameters (πλευρικές παράμετροι):



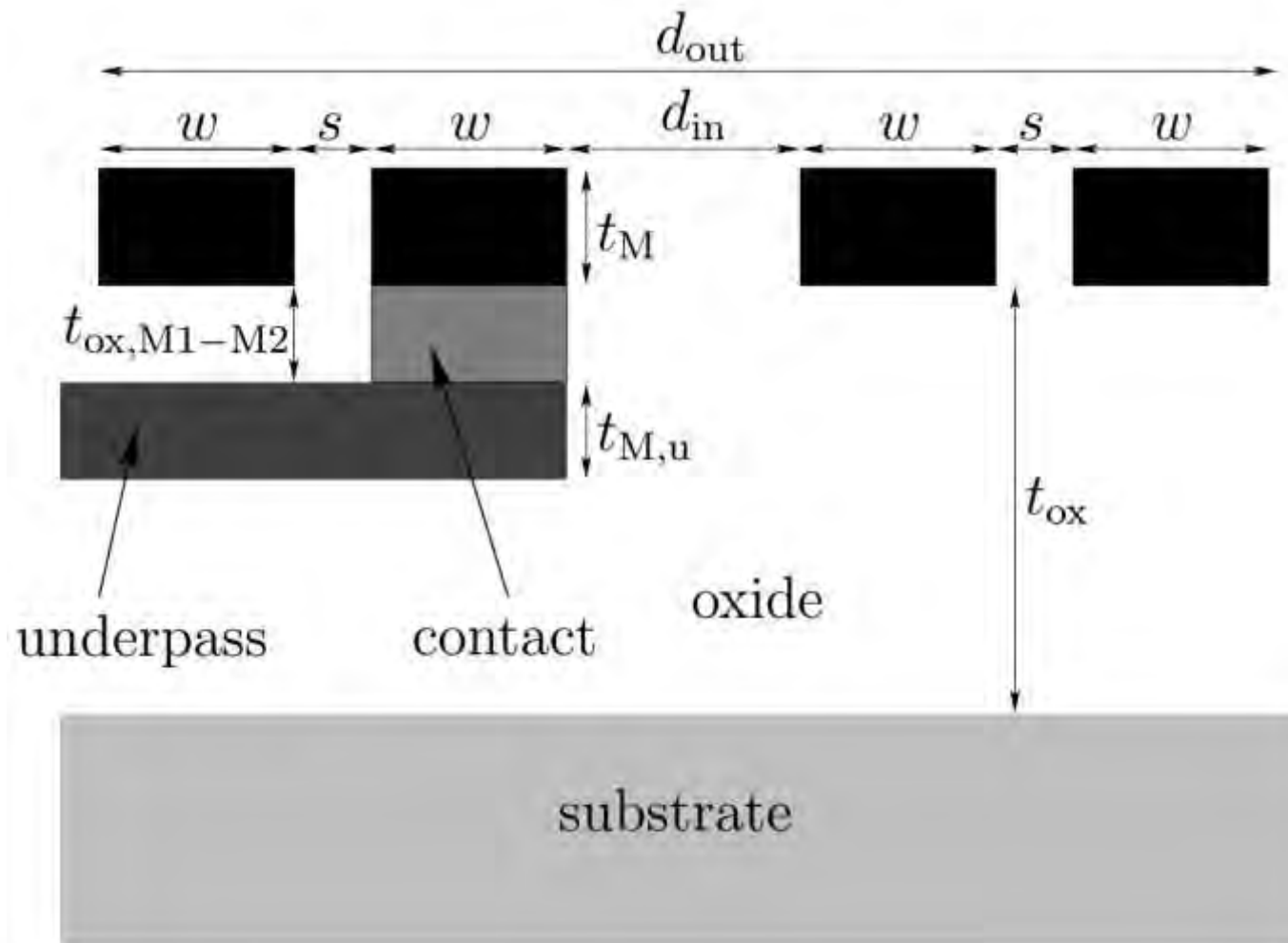
Κατασκευή πηνίων σε τεχνολογία CMOS

Lateral Parameters (πλευρικές παράμετροι):

1. Shape: square, hexagonal, octagonal, . . .
2. Number of turns, n
3. Conductor width, w
4. Conductor spacing, s
5. $d_{\text{out}}, d_{\text{in}}, d_{\text{avg}} = 0.5(d_{\text{out}} + d_{\text{in}})$, or $\rho = \frac{d_{\text{out}} - d_{\text{in}}}{d_{\text{out}} + d_{\text{in}}}$

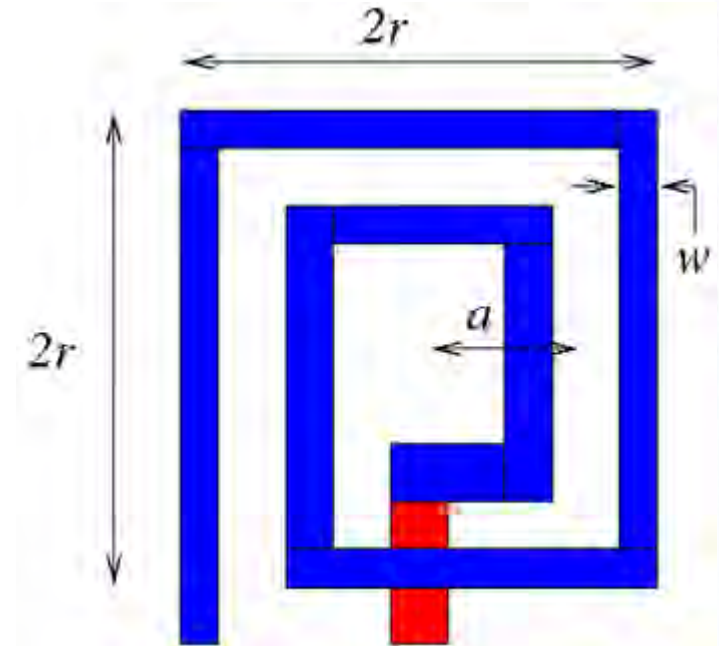
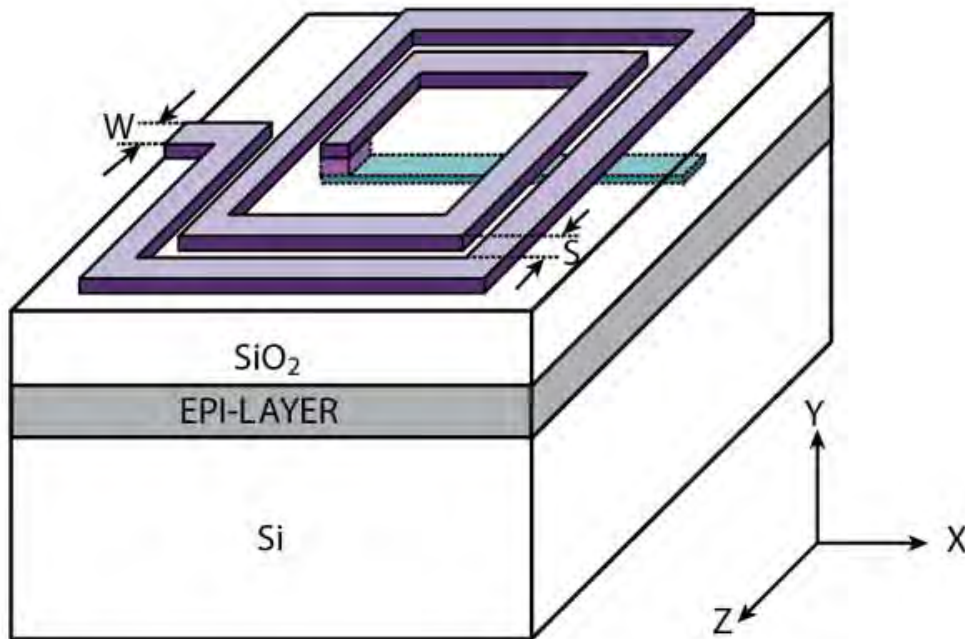
Διάφορες Γεωμετρίες ολοκληρωμένων πηνίων CMOS

Επιφανειακές και εγκάρσιες παράμετροι ολοκληρωμένων πηνίων.
Vertical Parameters:



Διάφορες Γεωμετρίες ολοκληρωμένων πηνίων CMOS

Planar square



$$L \approx \frac{37.5\mu_0 n^2 a^2}{22r - 14a}$$

Διάφορες Γεωμετρίες ολοκληρωμένων πηνίων CMOS

Planar hexagon & square



Geometry

Outer radius: 200 μm

Inner radius: 97 μm

Metal width: 13 μm

Metal spacing: 5 μm

Number of turns: 6

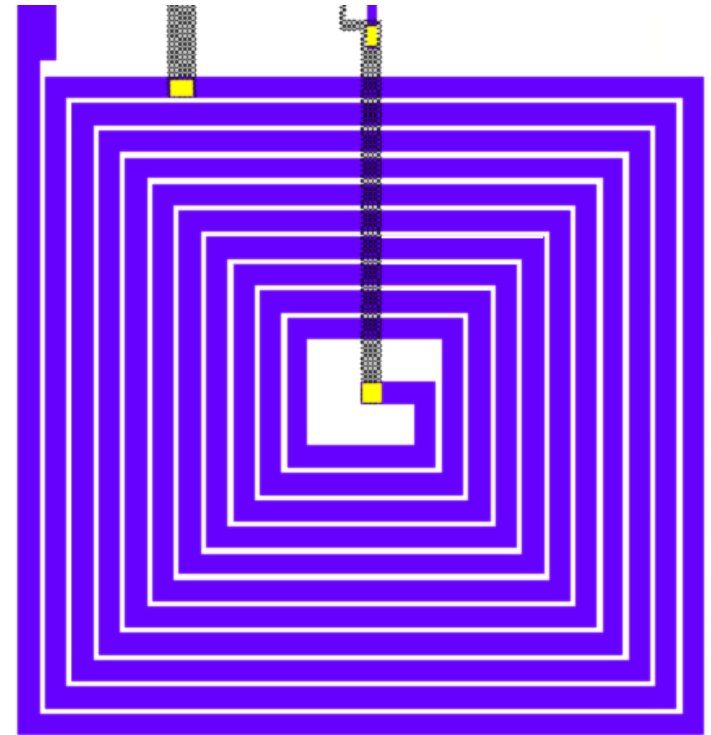
Electrical properties

Inductance: 12 nH

Differential Q factor at 900 MHz: 9

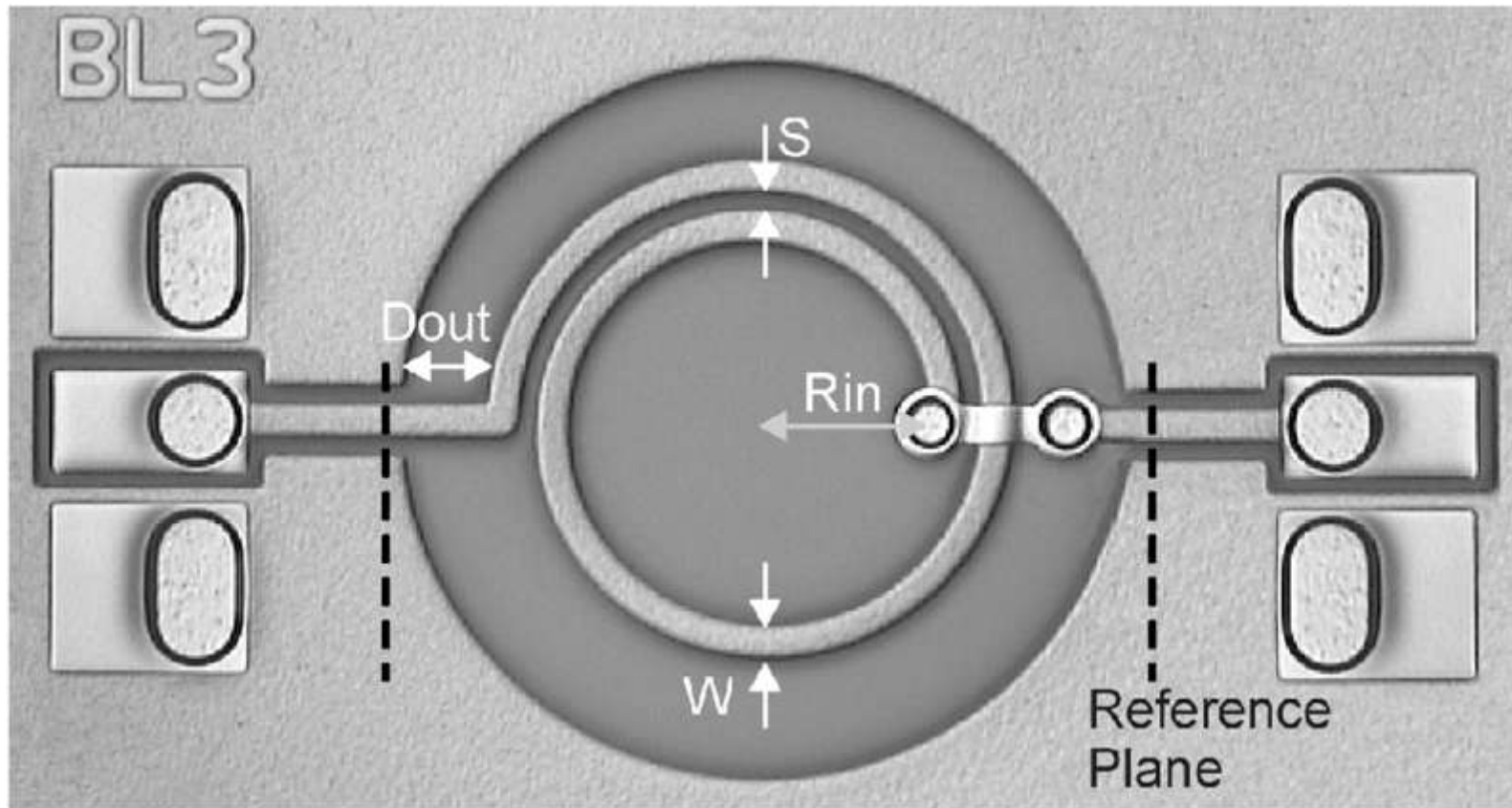
Self-resonant frequency: 3.8 GHz

2. These are the simulation values and layout used in modeling the spiral inductor used for the LC-VCO.



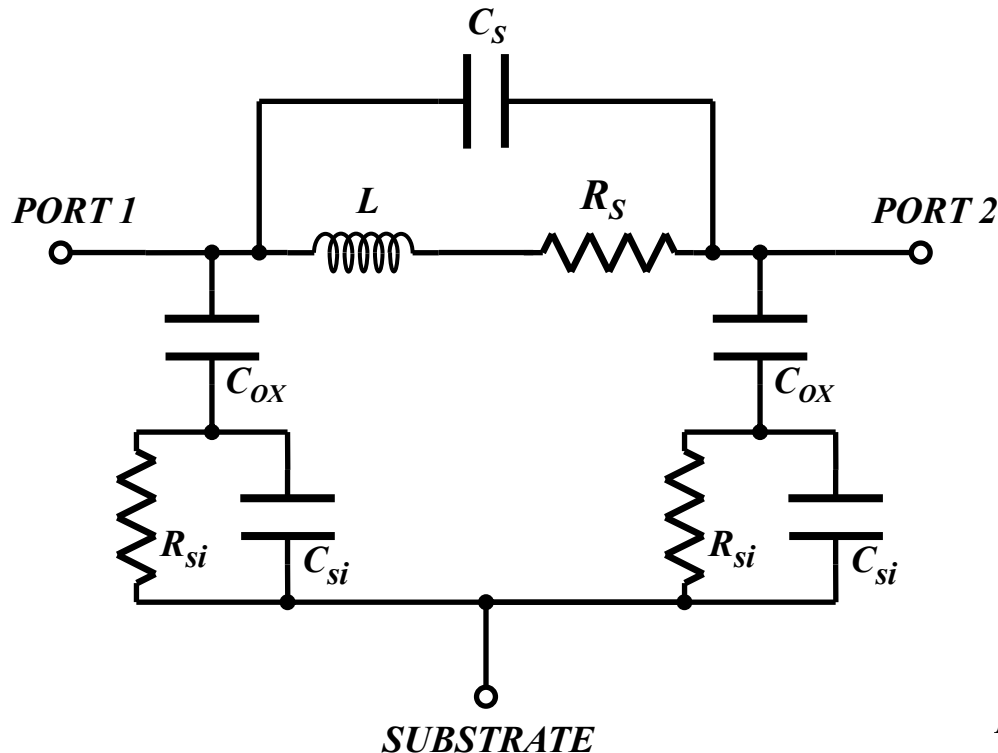
Διάφορες Γεωμετρίες ολοκληρωμένων πηνίων CMOS

Planar circular



Διάφορες Γεωμετρίες ολοκληρωμένων πηνίων CMOS

Ηλεκτρικό ισοδύναμο κύκλωμα των ολοκληρωμένων πηνίων:



$$C_{ox} = l \cdot w \frac{\epsilon_{ox}}{t_{ox}}$$

$$C_s = n \cdot w^2 \frac{\epsilon_{ox}}{t_{ox}}$$

$$\delta = \sqrt{\frac{2}{\omega \cdot \mu_0 \cdot \sigma}}$$

$$R_s \approx \frac{1}{w \cdot \sigma \cdot \delta (1 - e^{-t/\delta})}$$

R_s wiring resistance, C_{si} substrate capacitance,

C_s shunt capacitance, R_{si} substrate resistance,

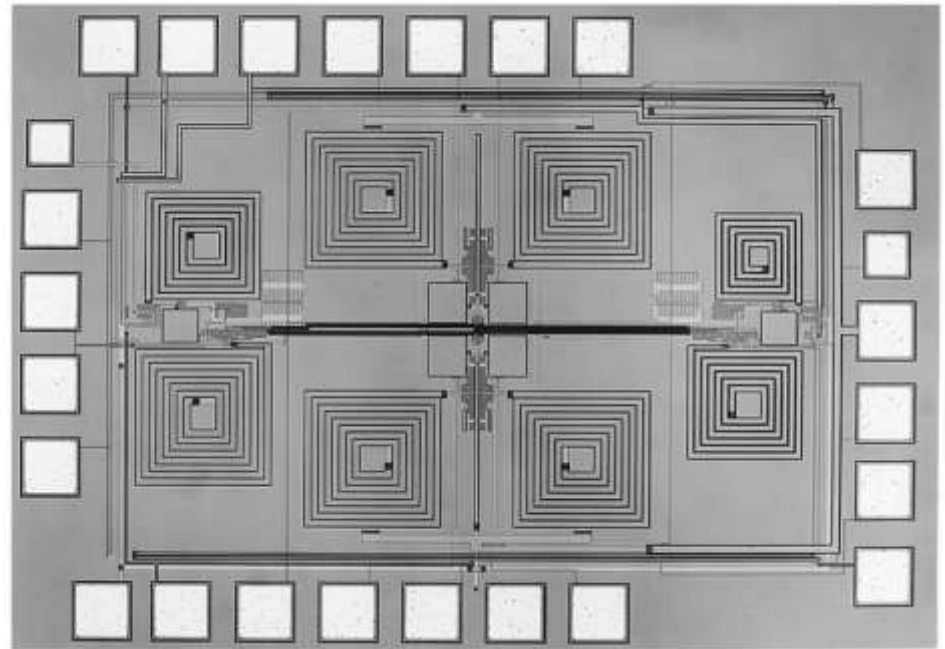
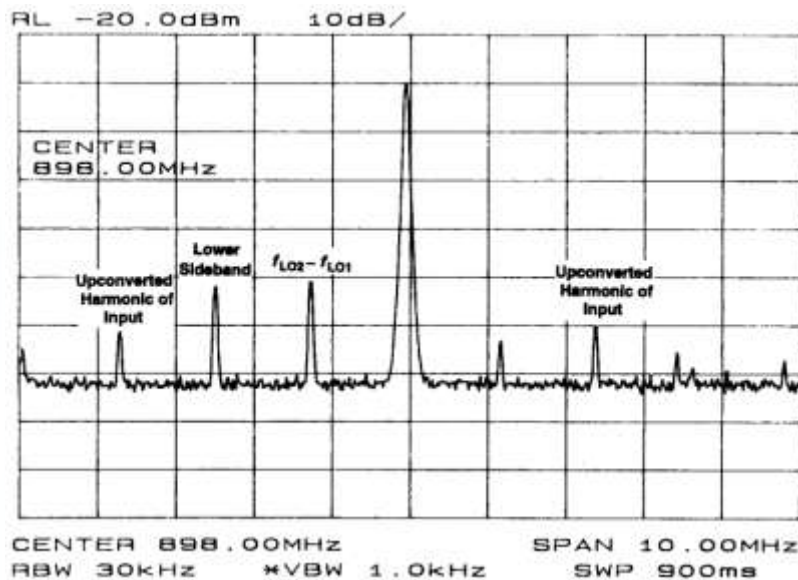
C_{ox} capacitance from wire to bulk

$$R_{si} \approx \frac{2}{l \cdot w \cdot G_{SUB}}$$

$$C_{si} \approx \frac{l \cdot w \cdot C_{SUB}}{2}$$

Ολοκληρωμένα πηνία CMOS

A 900-MHz/1.8-GHz CMOS Transmitter for Dual-Band Applications, Behzad Razavi, 1999



Δικτυώματα προσαρμογής σε κυκλώματα RF

Κύκλωμα ενισχυτή ισχύος RF

