



ΕΚΕΤΑ

ΕΘΝΙΚΟ ΚΕΝΤΡΟ
ΕΡΕΥΝΑΣ & ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΗΣ
ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ



Αριστοτέλειο
Πανεπιστήμιο
Θεσσαλονίκης

1st Energy Tech Forum

Ανοικτή Συζήτηση για την Ενεργειακή Τεχνολογία
και την Καινοτομία

Ασύρματη Μεταφορά Ενέργειας Αξιοποιώντας την Τεχνολογία των Μεταϋλικών

Αντώνιος Λάλας^{1, 2}, Νικόλαος Κανταρτζής²,
Δημήτριος Τζοβάρας¹ και Θεόδωρος Τσιμπούκης²

*¹Εθνικό Κέντρο Έρευνας και Τεχνολογικής Ανάπτυξης,
Ινστιτούτο Τεχνολογιών Πληροφορικής και Επικοινωνιών,
6ο χλμ Χαριλάου – Θέρμης, 57001, Θεσσαλονίκη*

*²Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης,
Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και
Μηχανικών Υπολογιστών, 54124, Θεσσαλονίκη*

Περιεχόμενα

- Κίνητρα και σκοπός
- *Ασύρματη μεταφορά ενέργειας*
- *Τεχνολογία μεταλλικών*
- *Σχεδίαση συστήματος ΑΜΕ με χρήση μεταλλικών*
- Συμπεράσματα - Μελλοντικές προεκτάσεις

Κίνητρα και σκοπός

Κίνητρα:

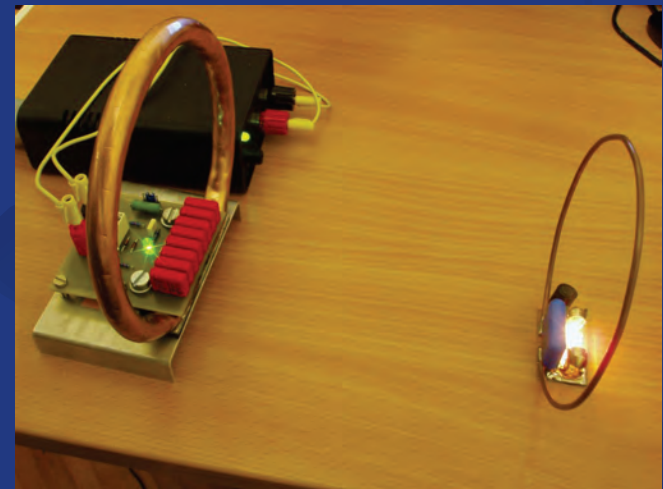
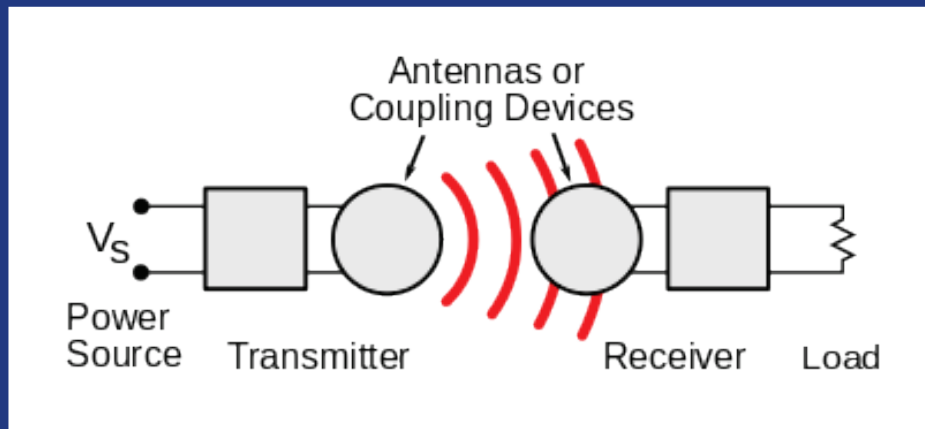
- Η **Ασύρματη Μεταφορά Ενέργειας (AME)** σηματοδοτεί μια ταχέως αναδύομενη σε παγκόσμιο επίπεδο τεχνολογία με πολλές ενδιαφέρουσες εφαρμογές.
- Σύνθετα υλικά, όπως τα **μεταϋλικά**, εμφανίζουν εξαιρετικά χαρακτηριστικά, τα οποία δεν είναι διαθέσιμα στη φύση.
- Τα **συστήματα AME** εμπλέκουν **συζευγμένους μαγνητικούς συντονισμούς** όμοιους με αυτούς που παρατηρούνται στα μεταϋλικά.

Σκοπός:

Αξιοποίηση ενός **συντονιστή διακεκομμένου δακτυλίου συζευγμένης αιχμής (EC-SRR)** ως θεμελιώδες στοιχείο σε ένα προηγμένο σύστημα AME, ώστε να επιτευχθούν ενισχυμένα επίπεδα στην **απόδοση της μεταφοράς ενέργειας**.

Ασύρματη μεταφορά ενέργειας

Μεταφορά ενέργειας ασύρματα μεταξύ μιας πηγής ισχύος και μια συσκευής κατανάλωσης ενέργειας **χωρίς φυσική σύνδεση** των στερεών μέσων ή αγωγών.



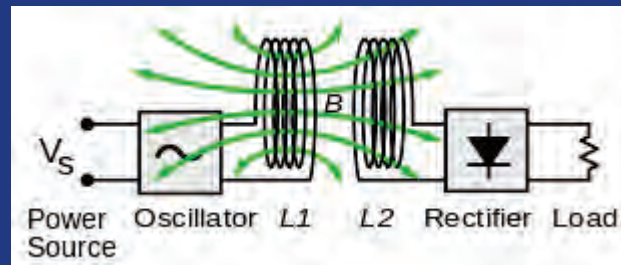
Οι συμβατικές διατάξεις καταλαμβάνουν σημαντικό όγκο δυσχεραίνοντας την ανάπτυξη φορητών συσκευών.

Ασύρματη μεταφορά ενέργειας

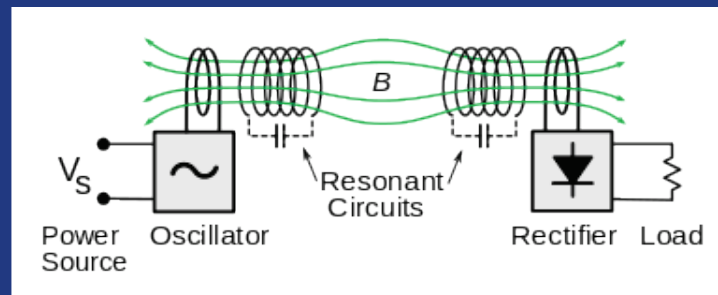
Κατηγορίες ΑΜΕ

Χωρίς Ακτινοβολία (Κοντινού Πεδίου)

- Επαγωγική σύζευξη
(Inductive coupling)

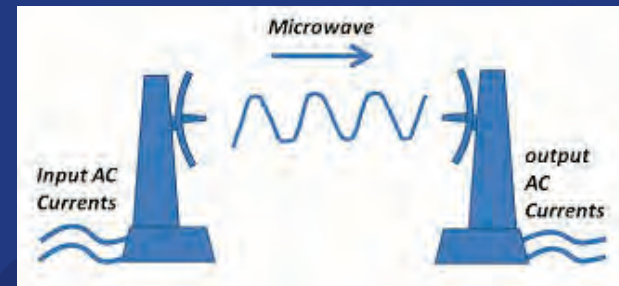


- Ισχυρά συζευγμένος μαγνητικός συντονισμός
(Strongly coupled magnetic resonance)

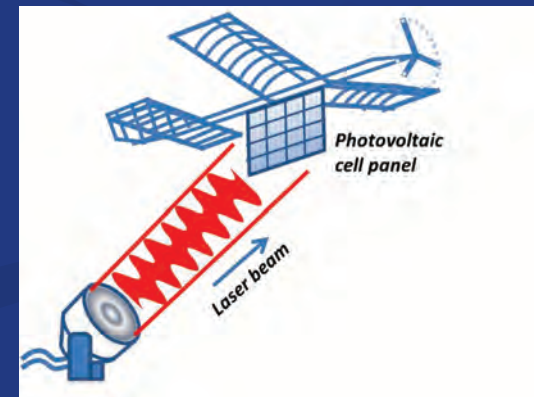


Με Ακτινοβολία (Μακρινού Πεδίου)

- Μικροκύματα
(Microwaves)

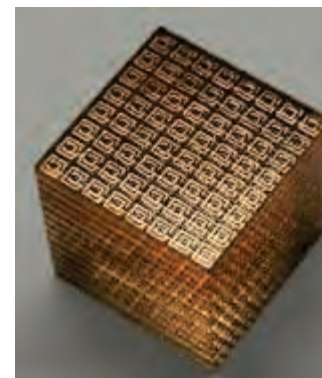
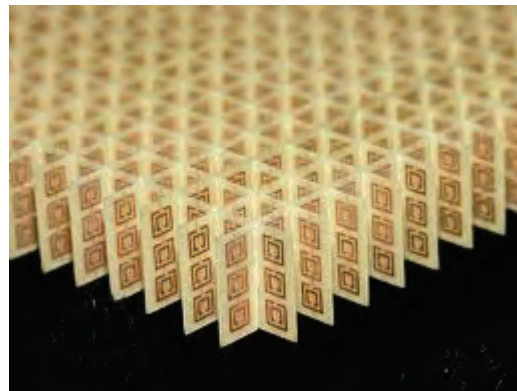
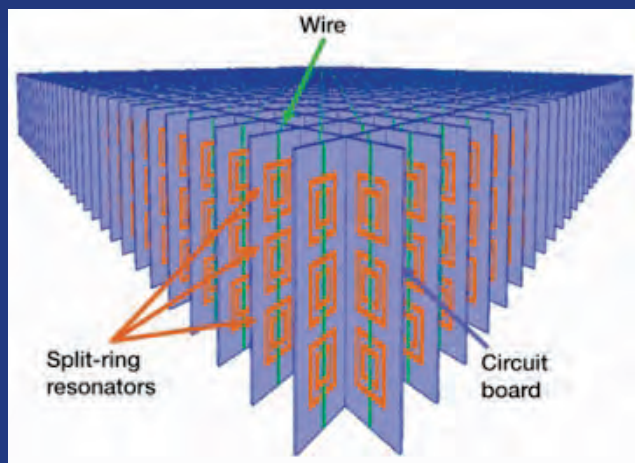


- Δέσμες Laser



Τεχνολογία Μεταϋλικών

Τα μεταϋλικά είναι **τεχνητά κατασκευασμένα σύνθετα υλικά**, που εμφανίζουν εξαιρετικές ιδιότητες, οι οποίες δεν υπάρχουν στη φύση.



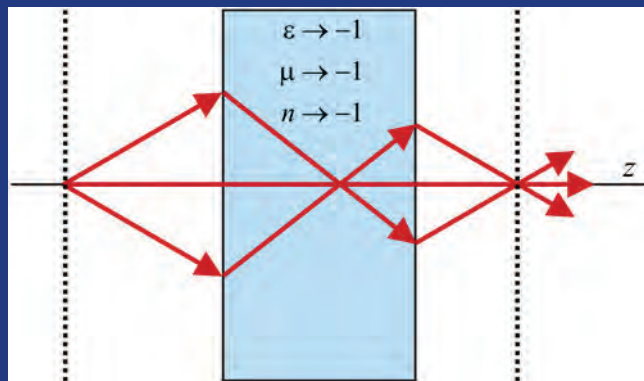
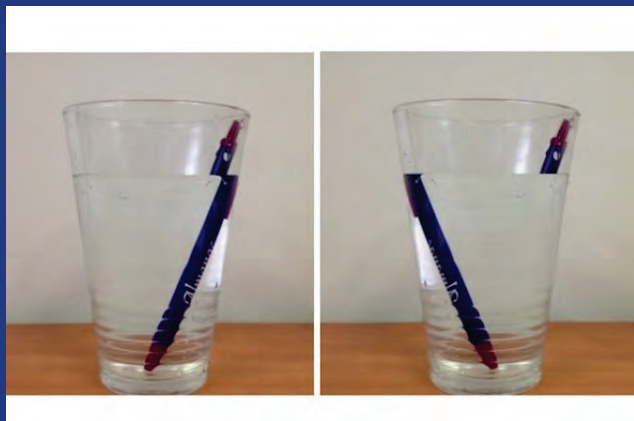
Συνδυασμός αγωγίων και διηλεκτρικών υλικών

Οι ιδιότητες των μεταϋλικών οφείλονται στην **περιοδικότητα της κατασκευής** τους, αλλά και στα **υλικά** από τα οποία αποτελούνται.

Τεχνολογία Μεταϋλικών

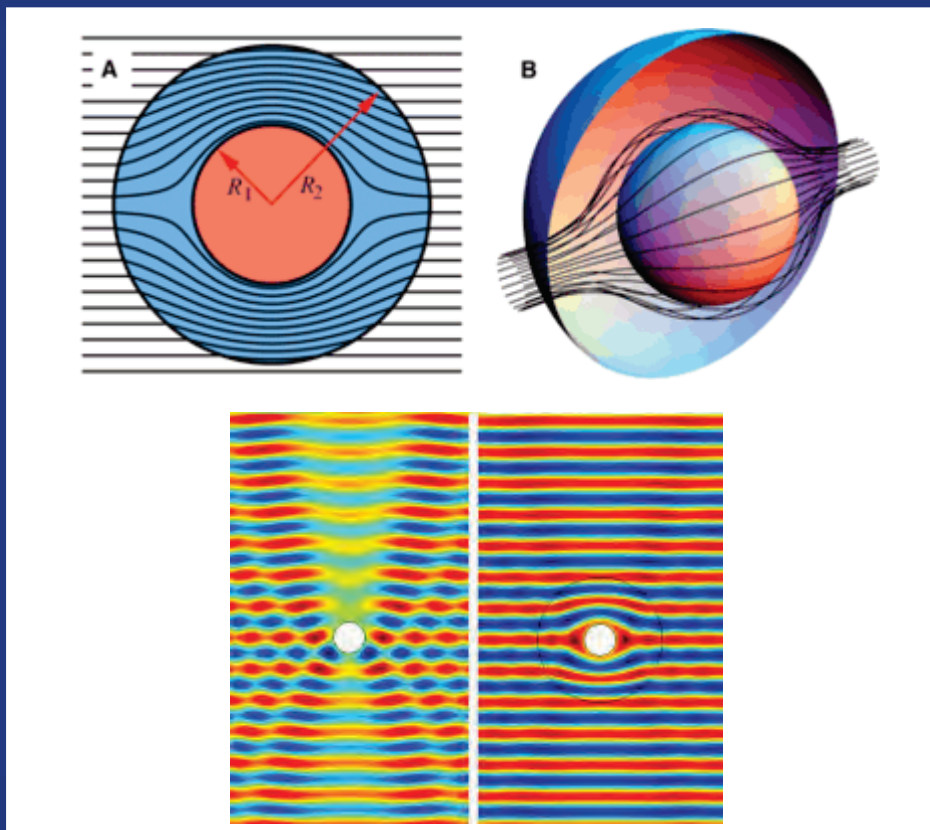
Ιδιότητες

- Αρνητικός δείκτης διάθλασης
- Αντίθετη διεύθυνση διάδοσης της ενέργειας



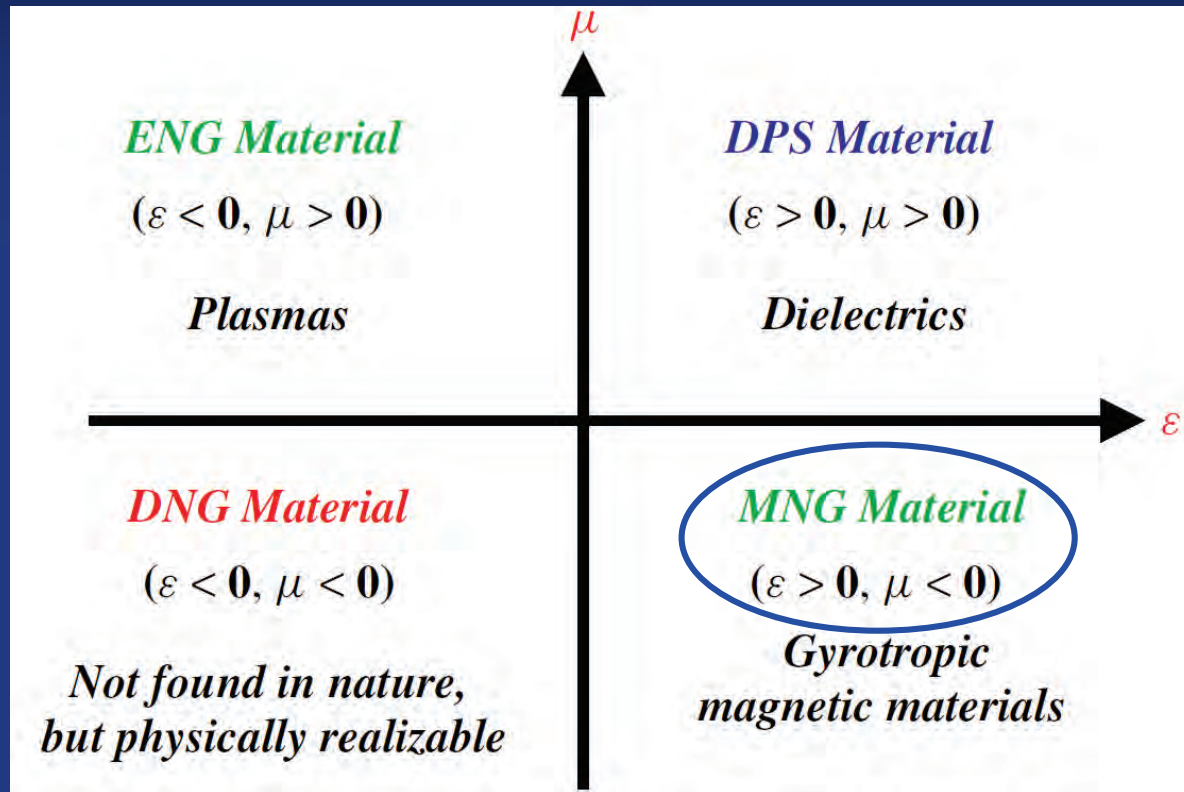
Εφαρμογές

- Τέλειος φακός
- Βελτίωση και σμίκρυνση κεραιών
- Μανδύας αορατότητας



Τεχνολογία Μεταϋλικών

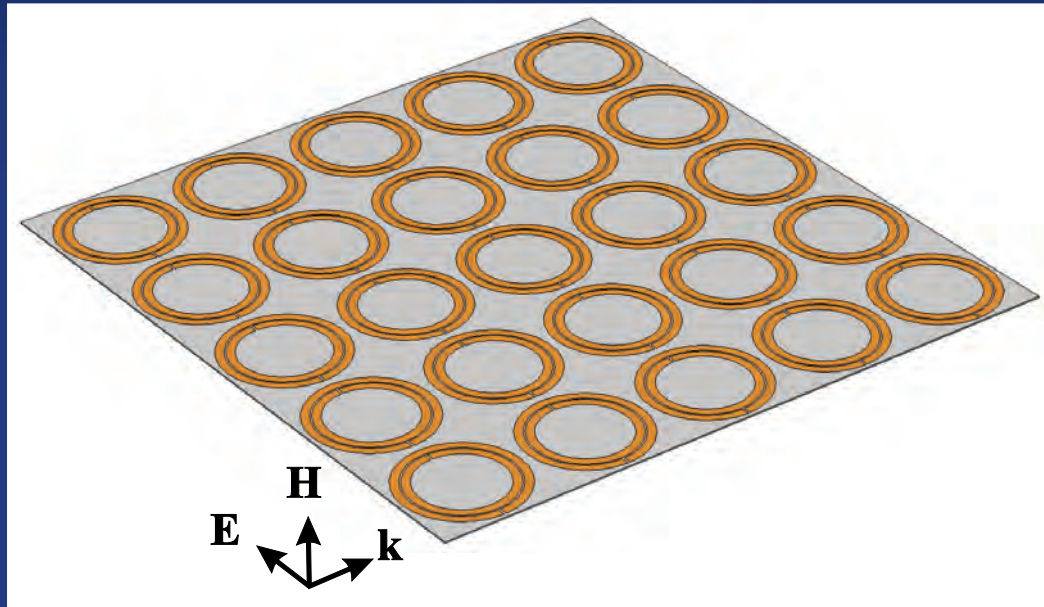
Χαρακτηρισμός Μεταϋλικών



Τα υλικά αρνητικής μαγνητικής διαπερατότητας μ επιτρέπουν τη δημιουργία μαγνητικών συντονισμών που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για ασύρματη μεταφορά ενέργειας.

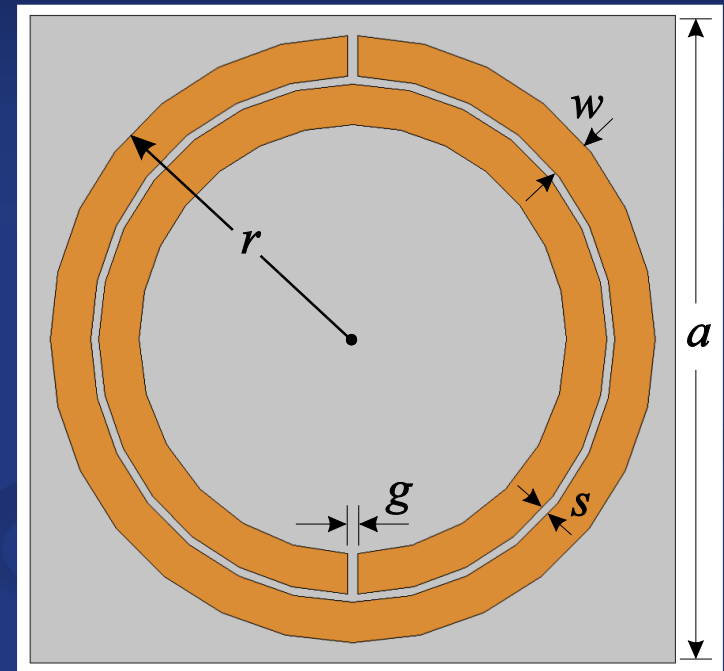
Μεταεπιφάνεια με EC-SRR

Τοπολογία του σύνθετου μέσου



Δημιουργείται μια **χωρητικότητα** μεταξύ των γειτονικών βρόχων λόγω της γεωμετρίας αυτού του συντονιστή.

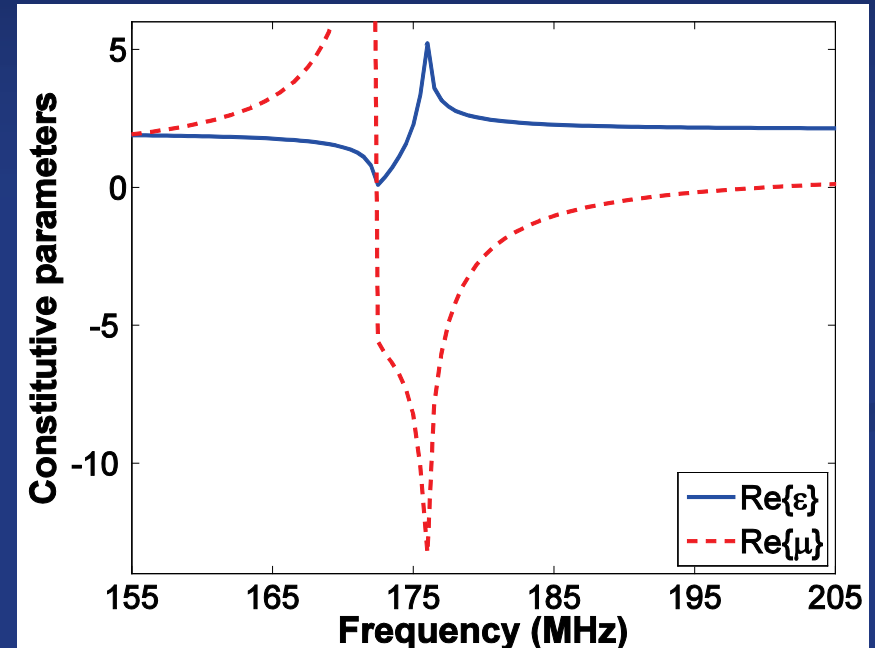
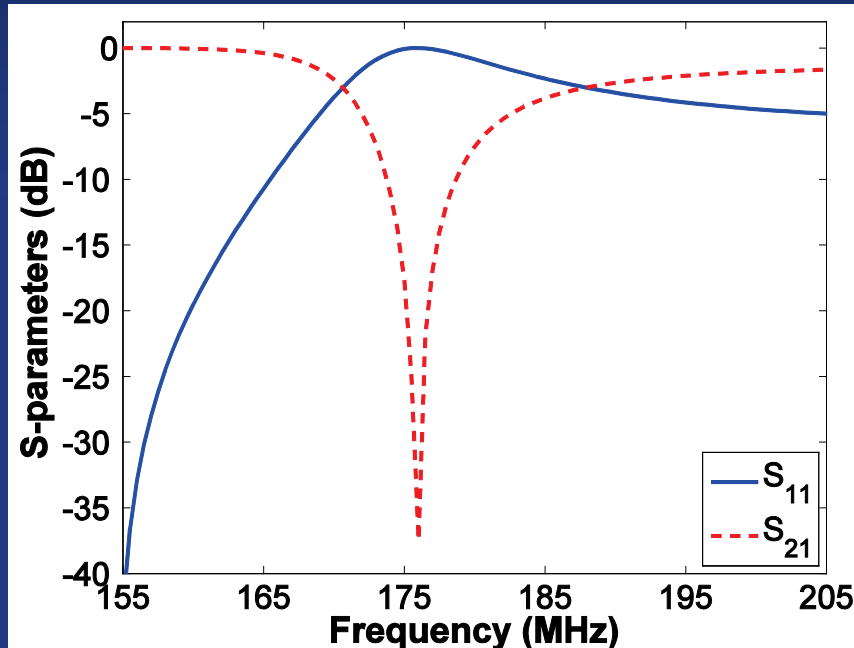
Μοναδιαίο κελί



Υλικά κατασκευής:
Μεταλλικά τμήματα: Χαλκός
Διηλεκτρικό υλικό:
Υπόστρωμα FR-4

Μεταεπιφάνεια με EC-SRR

Υπολογισμός απόκρισης με τη μέθοδο των Πεπερασμένων Στοιχείων



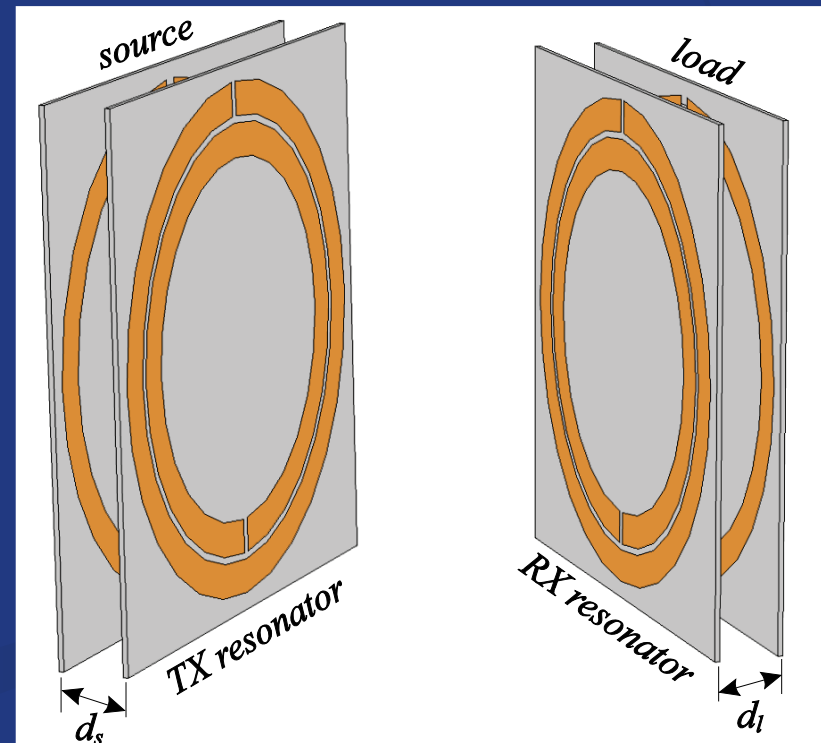
Παρατηρείται ένας υποσχόμενος **μαγνητικός συντονισμός** στην περιοχή των 172,5 MHz - 193,5 MHz για πιθανή χρήση στην ασύρματη μεταφορά ενέργειας.

Σύστημα ΑΜΕ με μεταϋλικά

Η τεχνική του **ισχυρά συζευγμένου μαγνητικού συντονισμού** παρέχει χρήσιμη απόδοση μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας σε **μέσες αποστάσεις** μέσω της αξιοποίησης των **αποσβεννύμενων κυμάτων**.

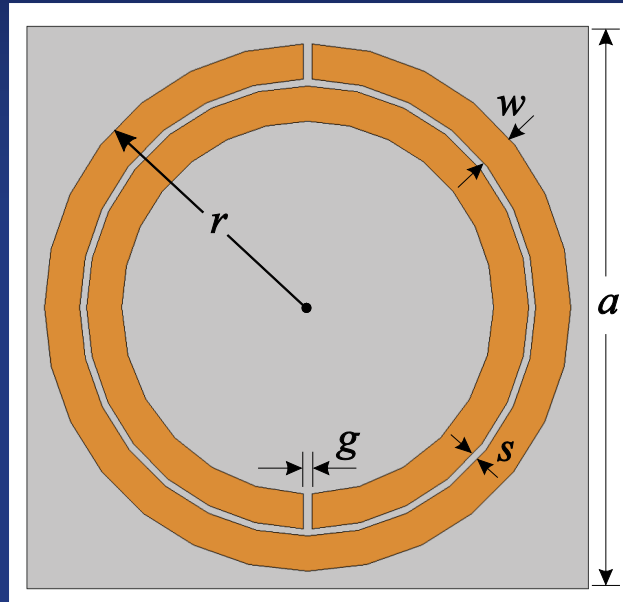
Βασικά στοιχεία ενός συστήματος ΑΜΕ:

- Βρόχος τροφοδοσίας.
- Συντονιστής εκπομπής (Tx).
- Συντονιστής λήψης (Rx).
- Βρόχος φορτίου.

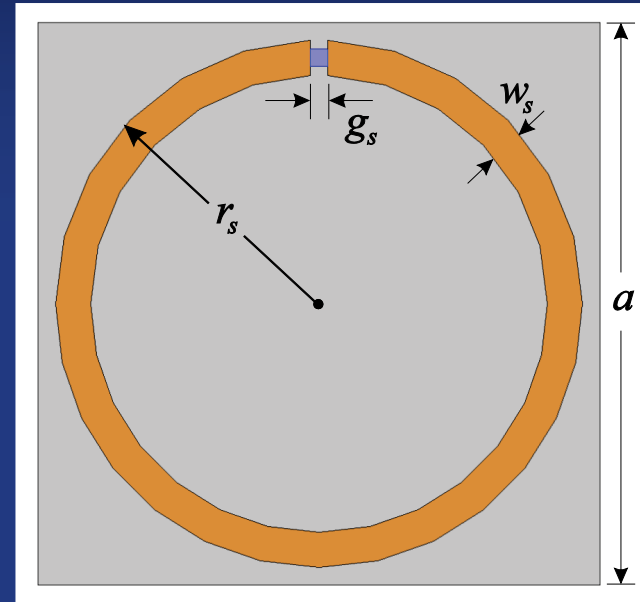


Σύστημα ΑΜΕ με μεταϋλικά

Συντονιστής EC-SRR



Βρόχος τροφοδοσίας και φορτίου

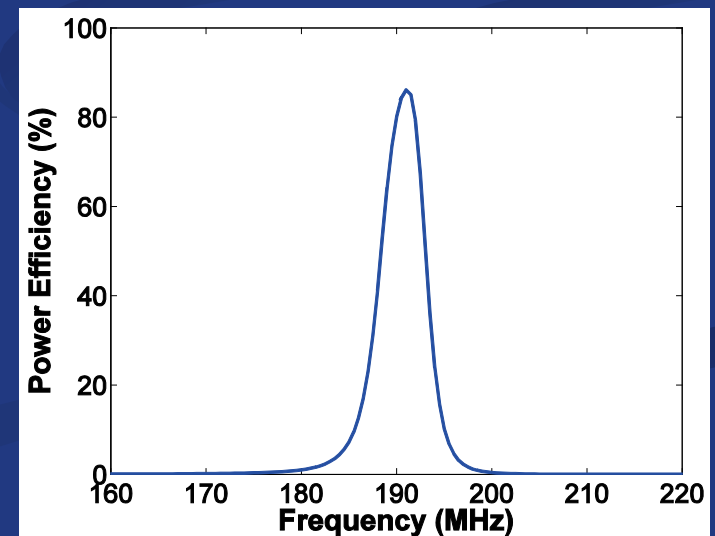
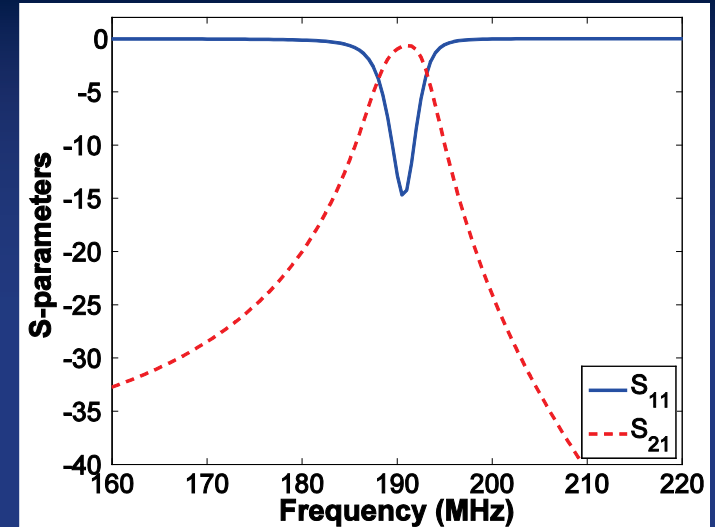
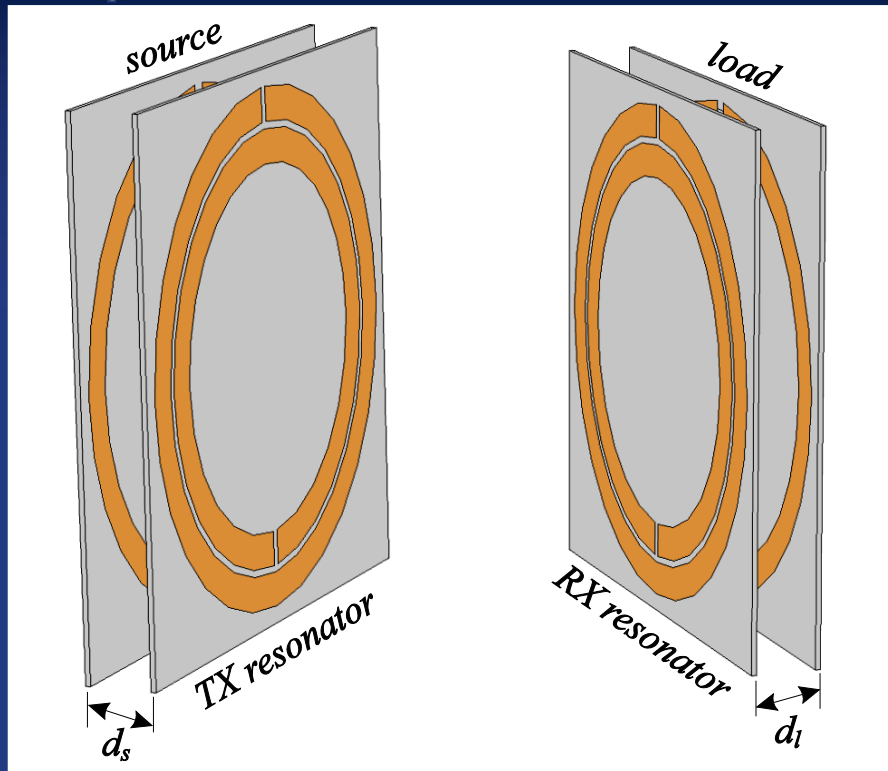


Παράμετροι σχεδίασης :

$$r = 75 \text{ mm}, w = 10 \text{ mm}, g = 2.5 \text{ mm}, s = 2 \text{ mm}, a = 160 \text{ mm}$$

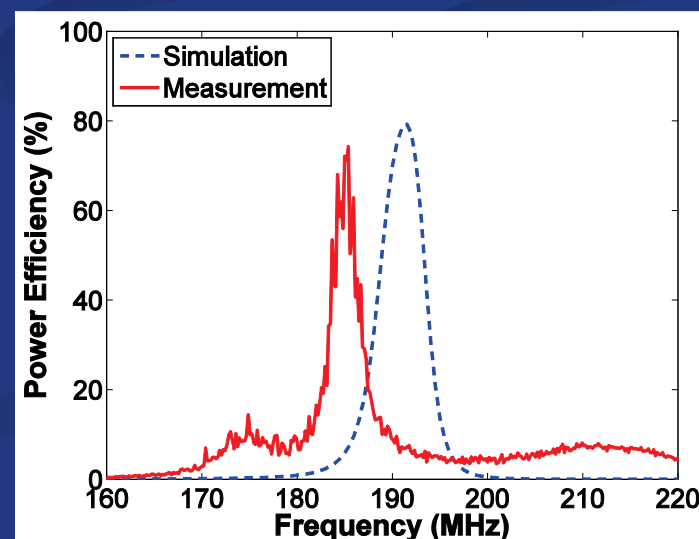
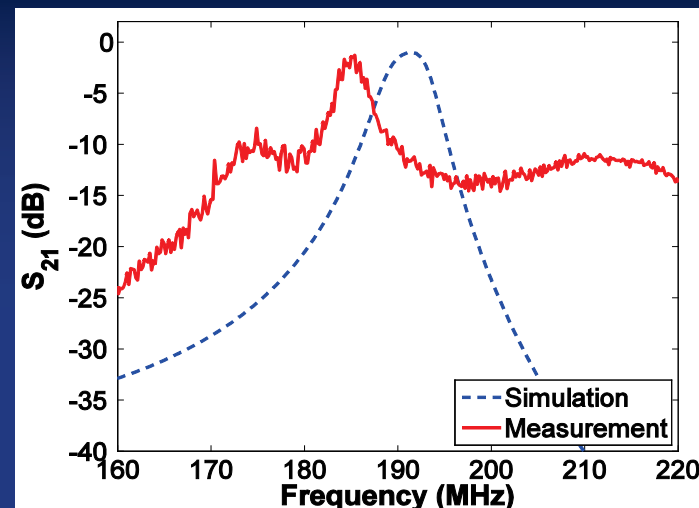
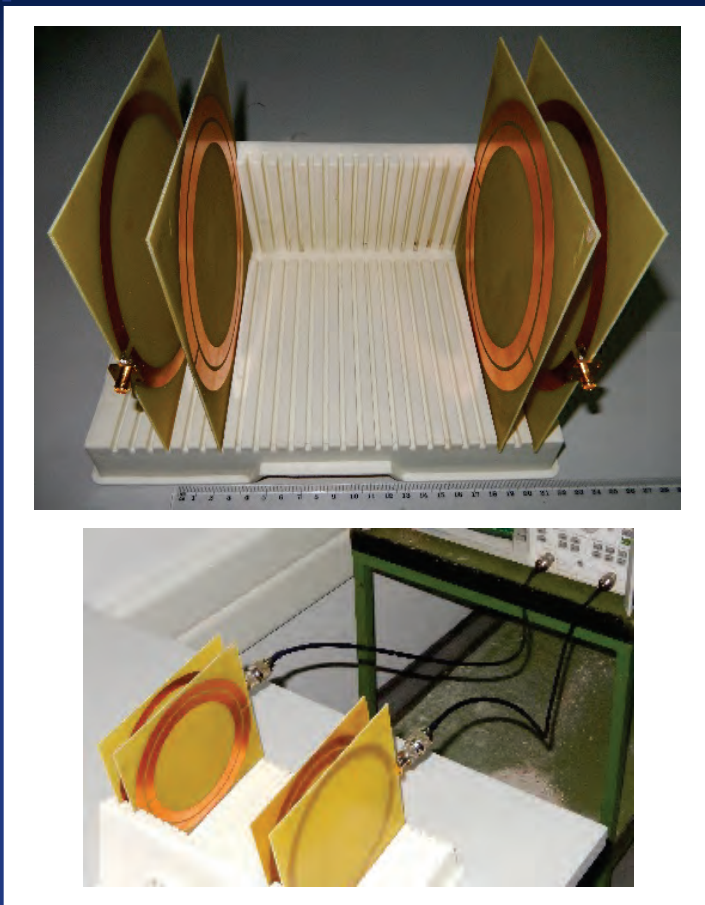
Η μεταφορά ενέργειας μεταξύ του συντονιστή Tx και του βρόχου τροφοδοσίας, καθώς και μεταξύ του συντονιστή Rx και του βρόχου φορτίου γίνεται με **επαγωγική σύζευξη**.

Σύστημα ΑΜΕ με μεταϋλικά



Επιτυγχάνεται
μέγιστη απόδοση μεταφοράς **86,14%**
στη συχνότητα **191 MHz**
για απόσταση **$d = 150$ mm**

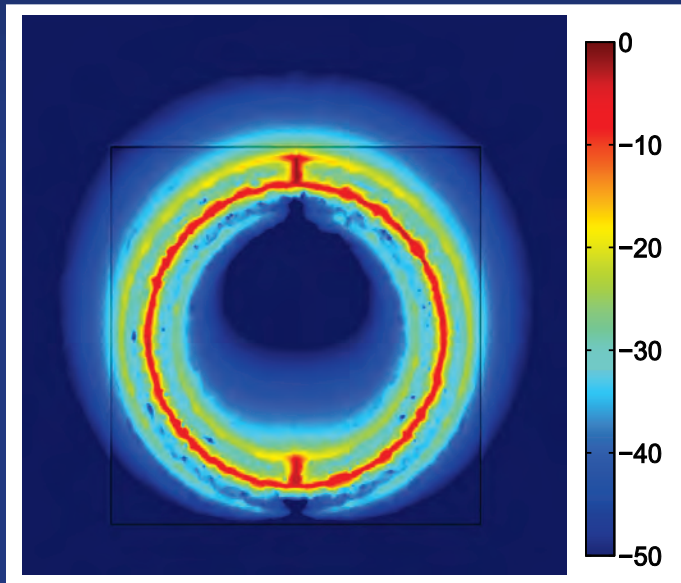
Σύστημα ΑΜΕ με μεταϋλικά



Παρατηρείται **μετατόπιση** της συχνότητας συντονισμού και **μικρή μείωση** της απόδοσης.

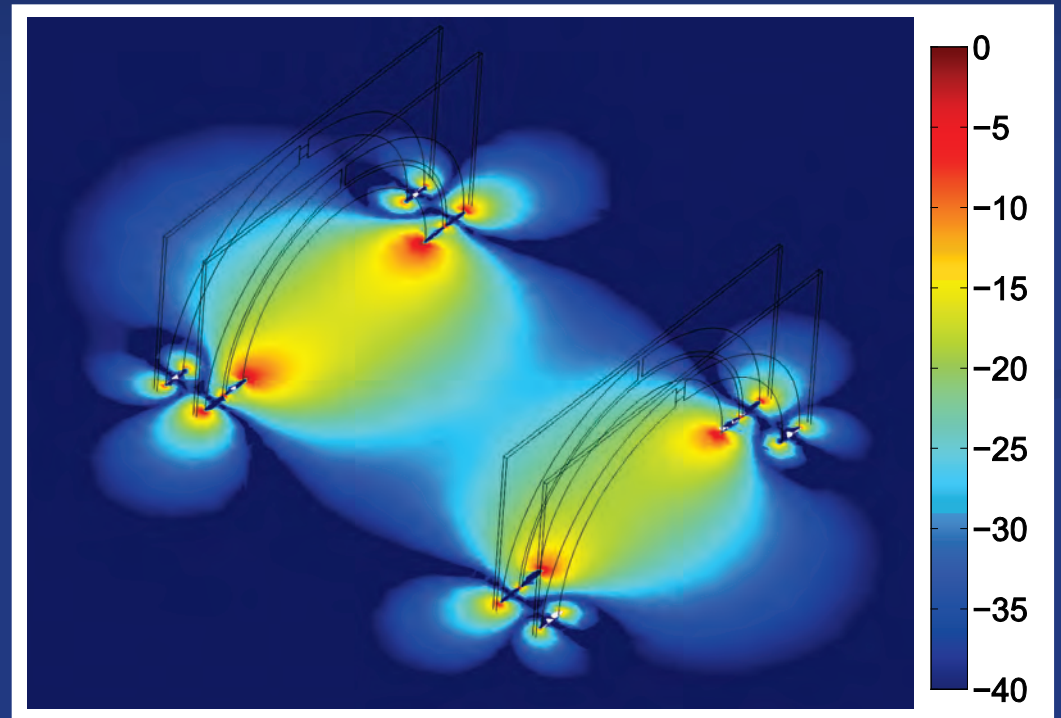
Σύστημα ΑΜΕ με μεταϋλικά

Ηλεκτρικό πεδίο στον
συντονιστή EC-SRR



Οι μέγιστες τιμές
περιορίζονται στην
περιοχή του **διακένου**.

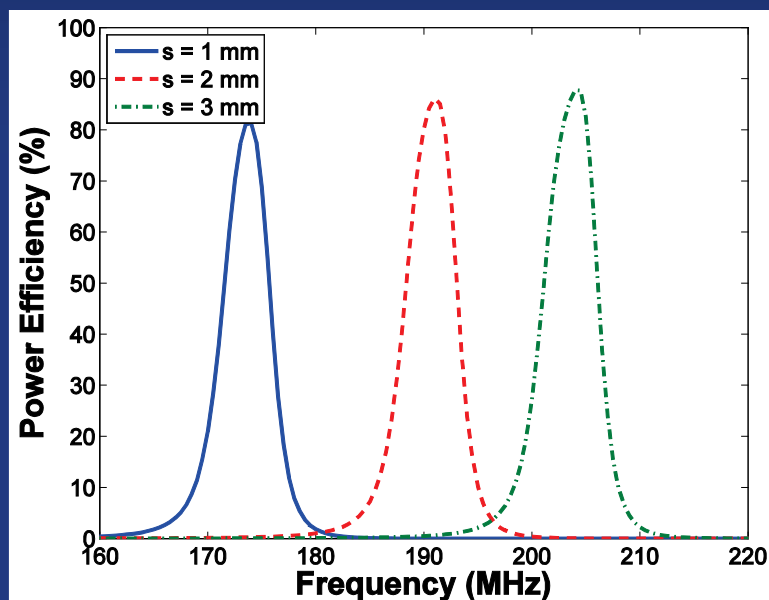
Μαγνητικό πεδίο στο
σύστημα ΑΜΕ



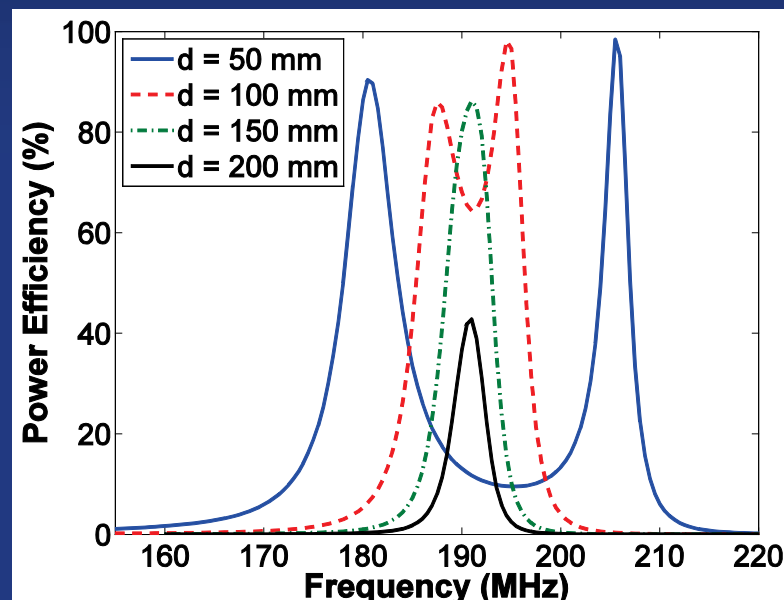
Οι μέγιστες τιμές παρατηρούνται
στις περιοχές των **συντονιστών**.

Παραμετρική μελέτη

Διερεύνηση για την
επίδραση του διακένου s



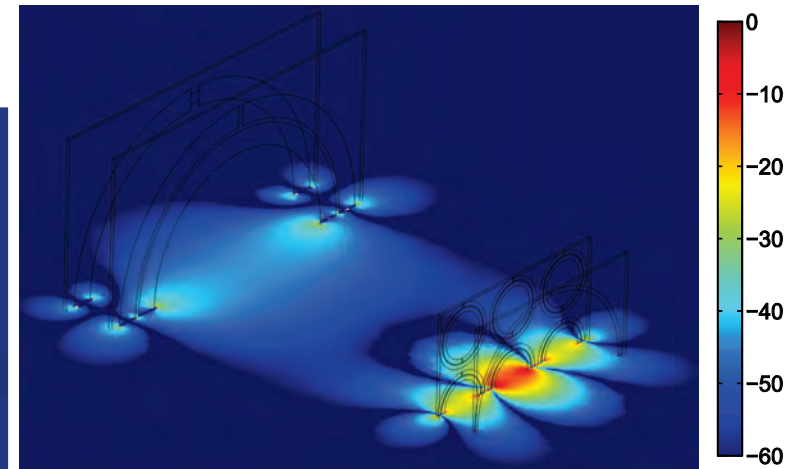
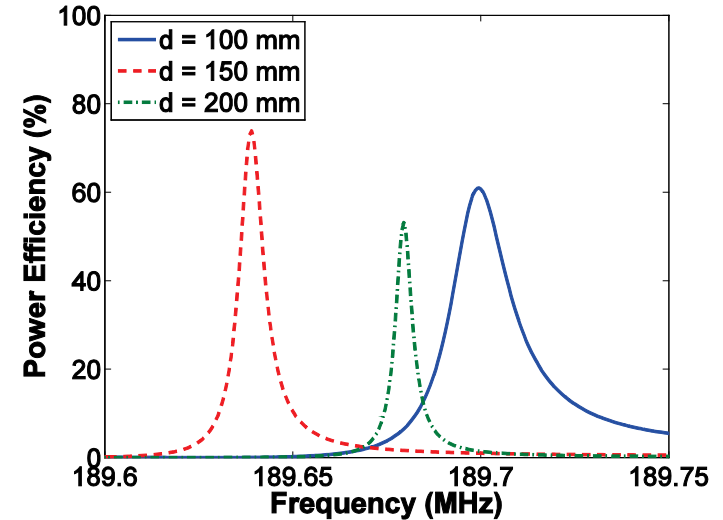
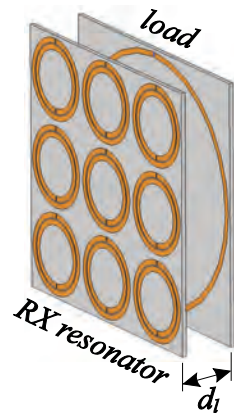
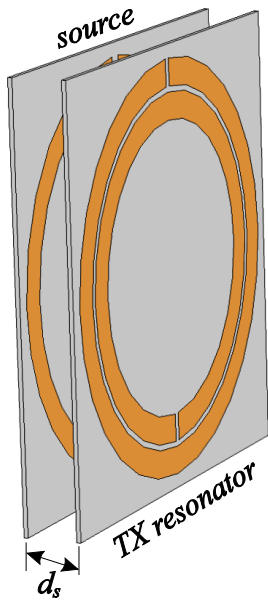
Διερεύνηση για την
επίδραση της απόστασης d



- Η τιμή του διακένου s είναι δυνατό να καθορίσει τη συχνότητα λειτουργίας της συσκευής AME.
- Η αύξηση της απόστασης d μειώνει την απόδοση μεταφοράς και επιδρά στη συχνότητα λειτουργίας.

Σύστημα ΑΜΕ με μεταϋλικά

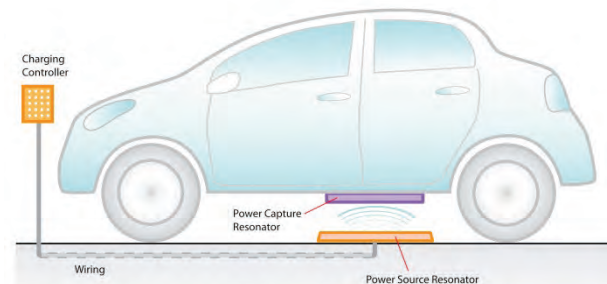
Σμίκρυνση δέκτη με χρήση μεταεπιφάνειας



- Η συχνότητα λειτουργίας μειώνεται **κατά 1,4 MHz**, ενώ η απόδοση μειώνεται **μόνο κατά 3%**.
- Επιτυγχάνεται **σμίκρυνση** του όγκου του δέκτη **κατά 64%**.

Πιθανές Εφαρμογές

- Ανάπτυξη διατάξεων ασύρματης τροφοδοσίας βιοϊατρικών εμφυτευμάτων εξαιρετικά μικρών διαστάσεων και υψηλής απόδοσης μεταφοράς ενέργειας.
- Σχεδίαση συστημάτων ασύρματης φόρτισης ηλεκτρικών αυτοκινήτων με μεγιστοποιημένη απόδοση, λόγω της ελαχιστοποίησης των απωλειών που οφείλονται στην έλλειψη ευθυγράμμισης των συσκευών.
- Ενσωμάτωση σε κινητές συσκευές (smartphone, laptop) μετά από βελτιστοποιημένη σχεδίαση.



Συμπεράσματα - Μελλοντικές προεκτάσεις

- Αξιοποιήθηκε ένας θεμελιώδης συντονιστής από την τεχνολογία των μεταλλικών σε μια νέα διάταξη ασύρματης μεταφοράς ενέργειας, η οποία επιτυγχάνει υψηλό επίπεδο μετάδοσης, εξαλείφοντας την ανάγκη χρήσης πυκνωτών.
- Ολοκληρώθηκε με επιτυχία μια λεπτομερής παραμετρική ανάλυση σχετικά με την συμπεριφορά του προτεινόμενου συστήματος AME, ενώ οι ιδιότητες που μελετήθηκαν αποτελούν την βάση για μια επιτυχημένη πρακτική σχεδίαση.
- Σχεδίαση των ηλεκτρονικών τμημάτων που απαιτούνται για την αξιοποίηση της τελικής διάταξης σε μια πραγματική εφαρμογή, όπως η φόρτιση ενός κινητού τηλεφώνου.
- Σχεδίαση πιο σύνθετων συντονιστών από μεταλλικά, προκειμένου να επιτευχθεί περαιτέρω αύξηση της απόδοσης, καθώς και σμίκρυνση των διατάξεων.