Αξιοποίηση της Τεχνολογίας των Μεταϋλικών για Αποδοτικότερη Ασύρματη Μεταφορά Ενέργειας

Αντώνιος Λάλας[1, 2], Νικόλαος Κανταρτζής[2], Δημήτριος Τζοβάρας[1] και Θεόδωρος Τσιμπούκης[2]

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

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

Περιεχόμενα

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

Κίνητρα και σκοπός

Κίνητρα:

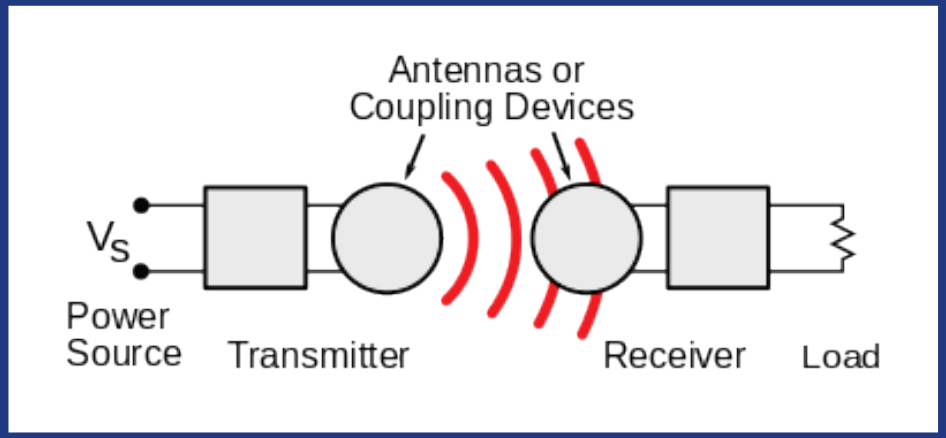
- Η Ασύρματη Μεταφορά Ενέργειας (ΑΜΕ) σηματοδοτεί μια ταχέως αναδυόμενη σε παγκόσμιο επίπεδο τεχνολογία με πολλές ενδιαφέρουσες εφαρμογές.
- Σύνθετα υλικά, όπως τα μεταϋλικά, εμφανίζουν εξαιρετικά χαρακτηριστικά, τα οποία δεν είναι διαθέσιμα στη φύση.
- Τα συστήματα ΑΜΕ εμπλέκουν συζευγμένους μαγνητικούς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

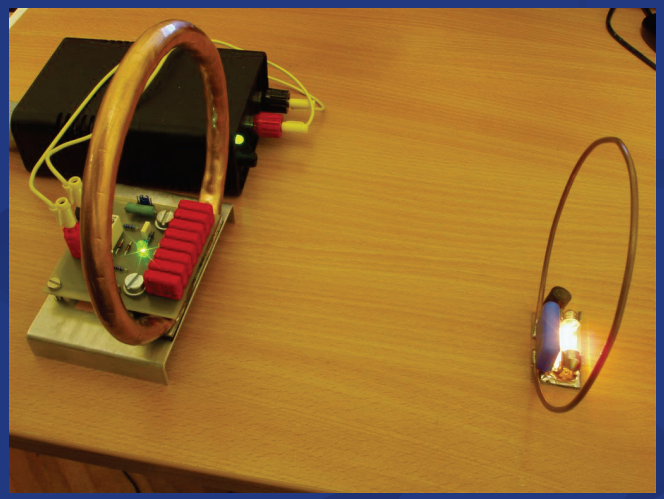
Σκοπός:

Αξιοποίηση ενός συντονιστή διακεκομμένου δακτυλίου συζευγμένης αιχμής (EC-SRR), καθώς και αντίστοιχων μεταεπιφανειών, ως θεμελιώδη στοιχεία σε ένα προηγμένο σύστημα ΑΜΕ, 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.





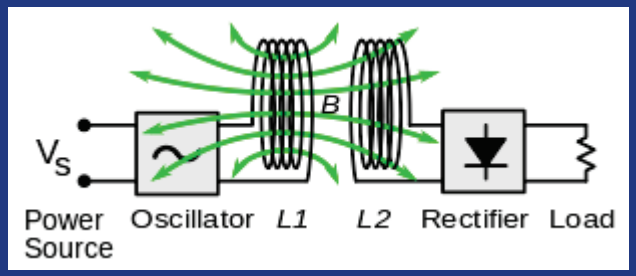
Οι συμβατικές διατάξεις καταλαμβάνουν σημαντικό όγκο δυσχεραίνοντας την ανάπτυξη φορητών συσκευών.

Ασύρματη μεταφορά ενέργειας

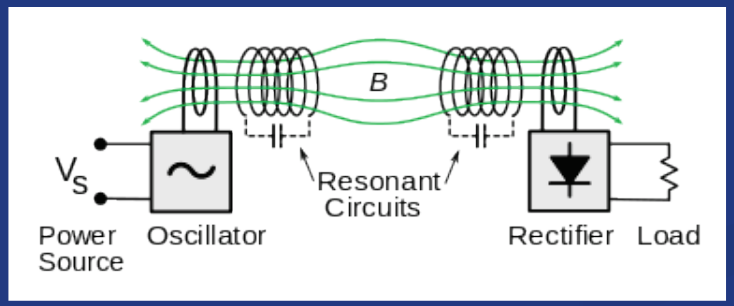
Κατηγορίες ΑΜΕ

Χωρίς Ακτινοβολία (Κοντινού Πεδίου)

- Επαγωγική σύζευξη (Inductive coupling)

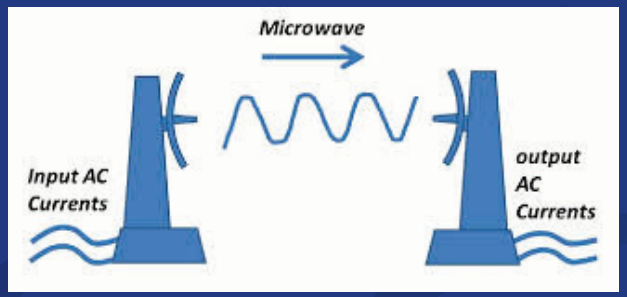


- Ισχυρά συζευγμένος μαγνητικός συντονισμός (Strongly coupled magnetic resonance)

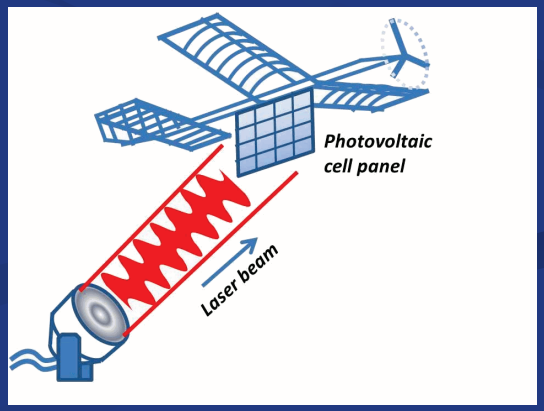


Με Ακτινοβολία (Μακρινού Πεδίου)

- Μικροκύμματα (Microwaves)

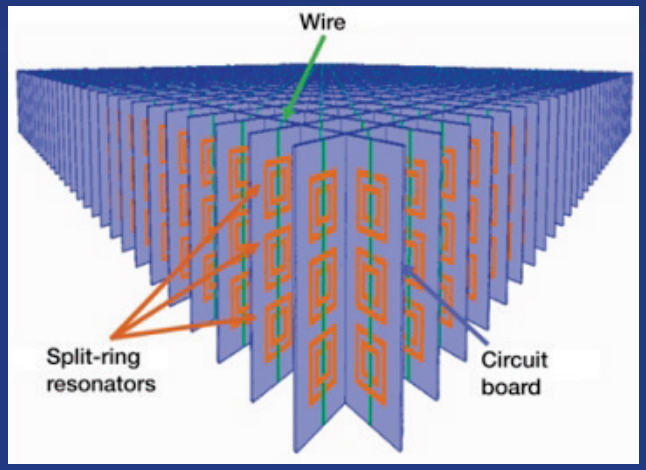


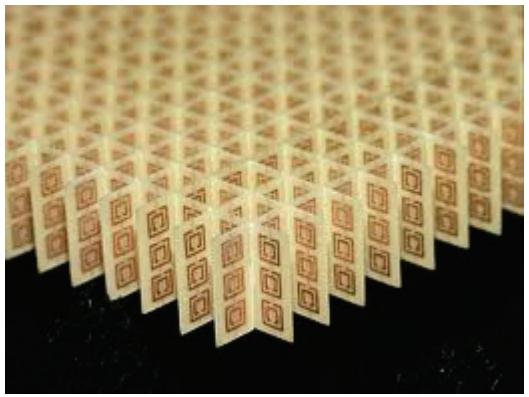
- Δέσμες Laser

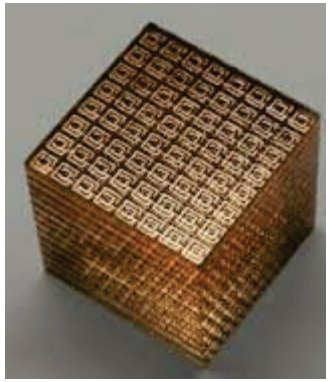


Τεχνολογία Μεταϋλικών

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







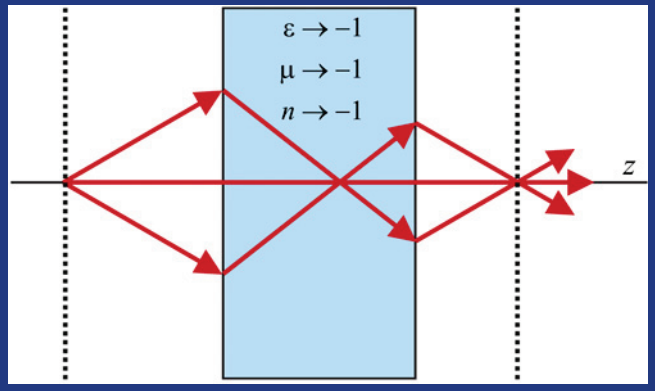
Συνδυασμός αγώγιμων και διηλεκτρικών υλικών

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

Τεχνολογία Μεταϋλικών

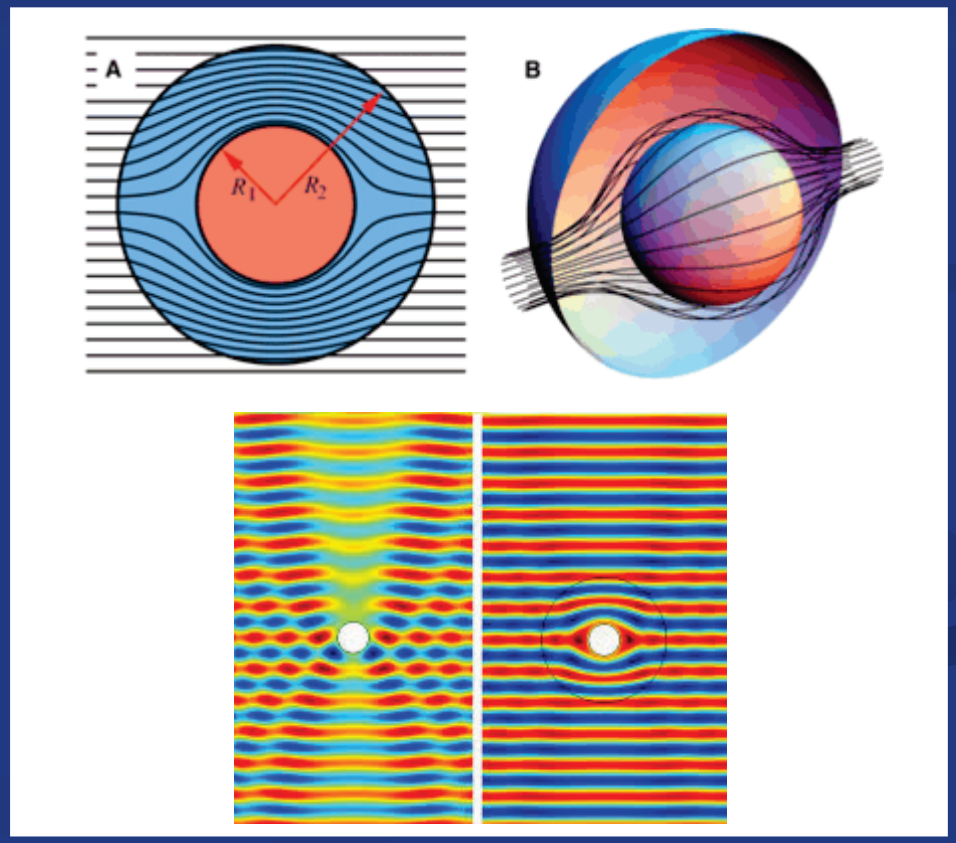
Ιδιότητες

- Αρνητικός δείκτης διάθλασης
- Αντίθετη διεύθυνση διάδοσης της ενέργειας



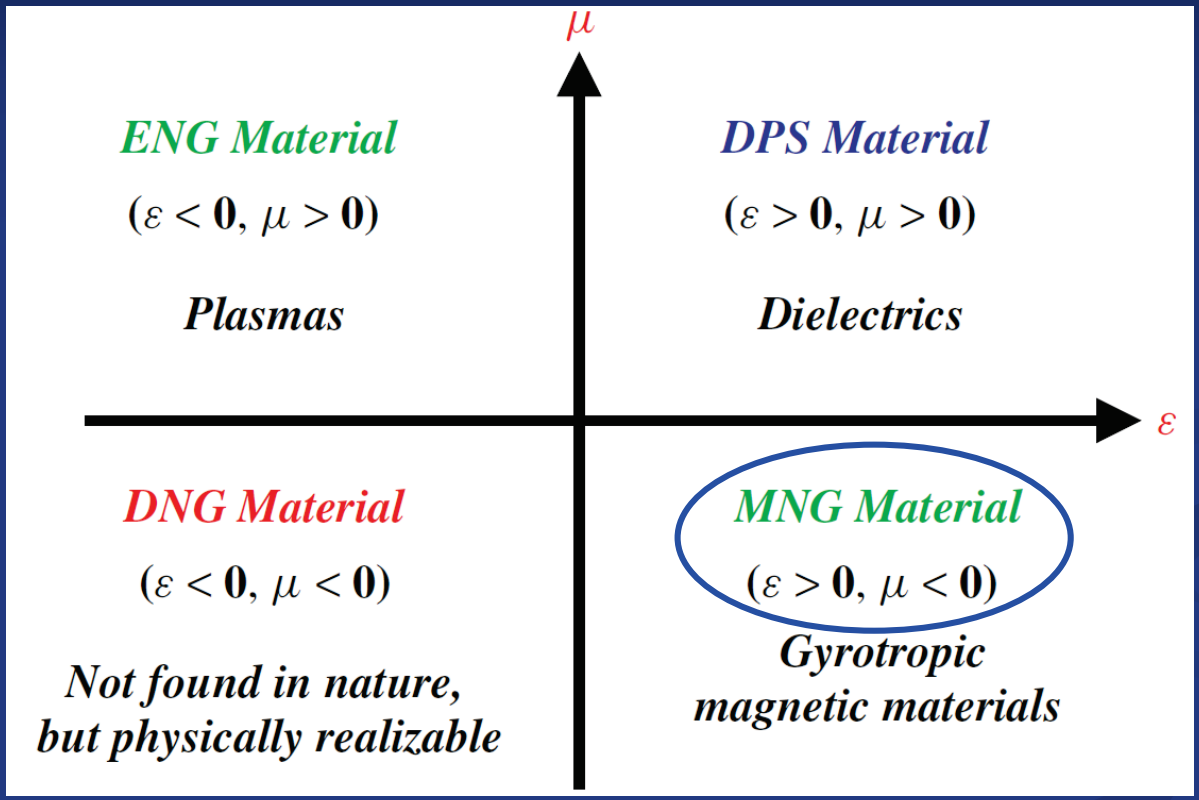
Εφαρμογές

- Τέλειος φακός
- Βελτίωση και σμίκρυνση κεραιών
- Μανδύας αορατότητας



Τεχνολογία Μεταϋλικών

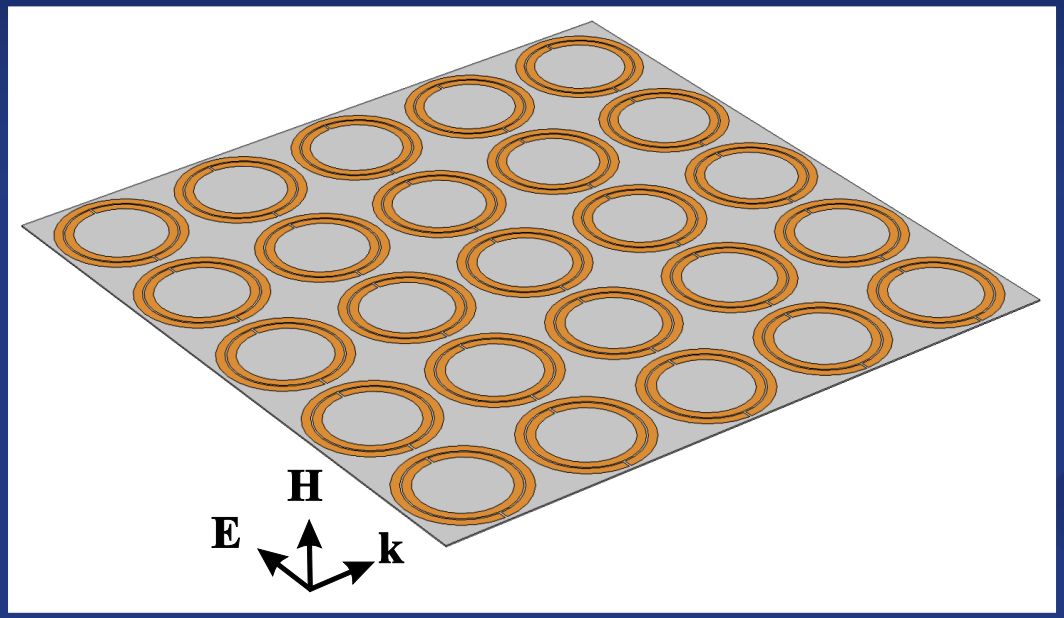
Χαρακτηρισμός Μεταϋλικών



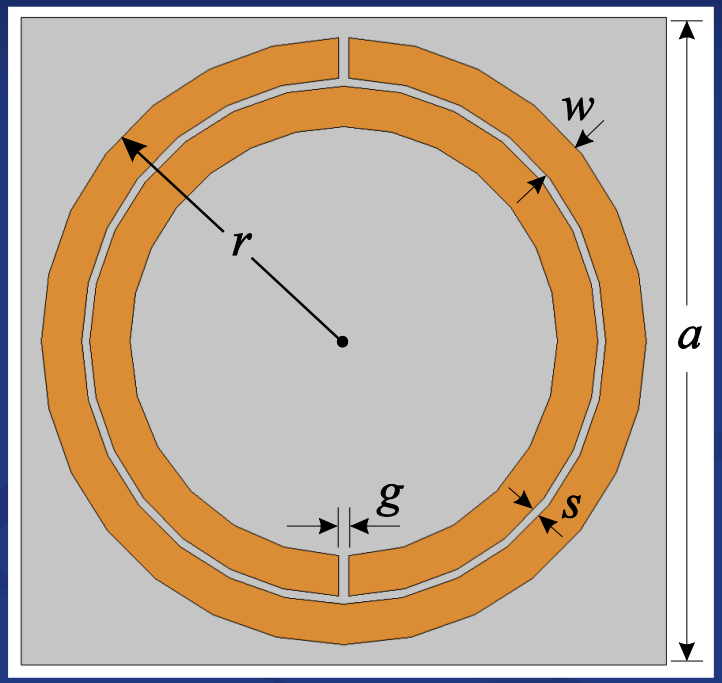
Τα υλικά αρνητικής μαγνητικής διαπερατότητας μ επιτρέπουν τη δημιουργία μαγνητικών συντονισμών που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για ασύρματη μεταφορά ενέργειας.

Μεταεπιφάνεια με EC-SRR

Τοπολογία του σύνθετου μέσου



Μοναδιαίο κελί

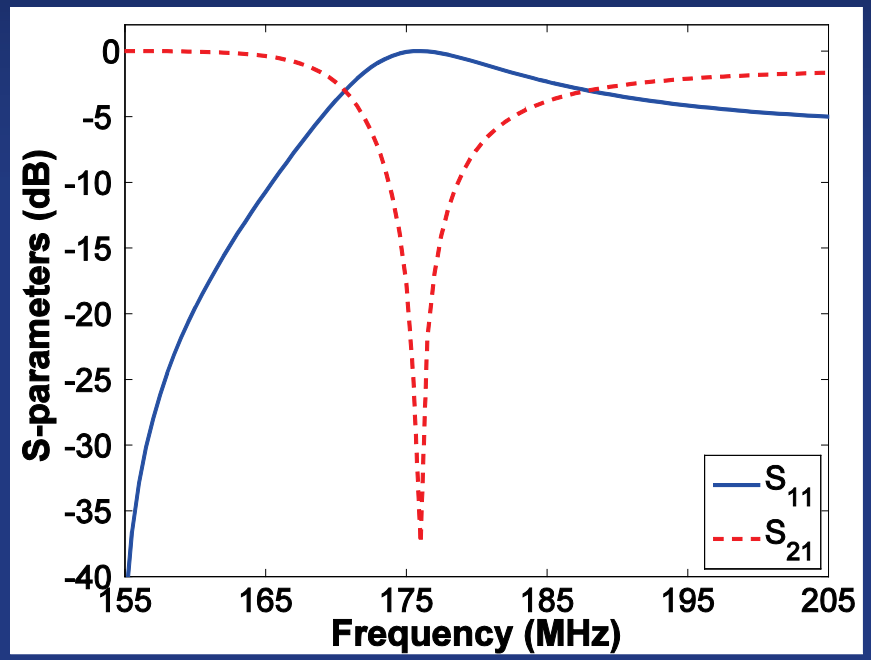


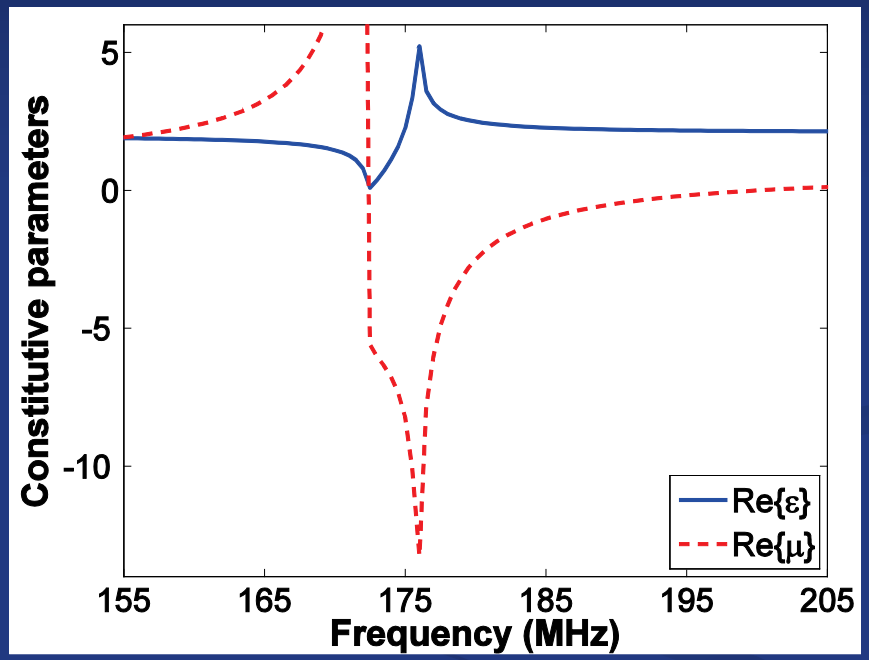
Δημιουργείται μια χωρητικότητα μεταξύ των γειτονικών βρόχων λόγω της γεωμετρίας αυτού του συντονιστή.

<u>Υλικά κατασκευής:</u>
Μεταλλικά τμήματα: Χαλκός
Διηλεκτρικό υλικό:
Υπόστρωμα FR-4

Μεταεπιφάνεια με EC-SRR

Υπολογισμός απόκρισης με τη μέθοδο των Πεπερασμένων Στοιχείων





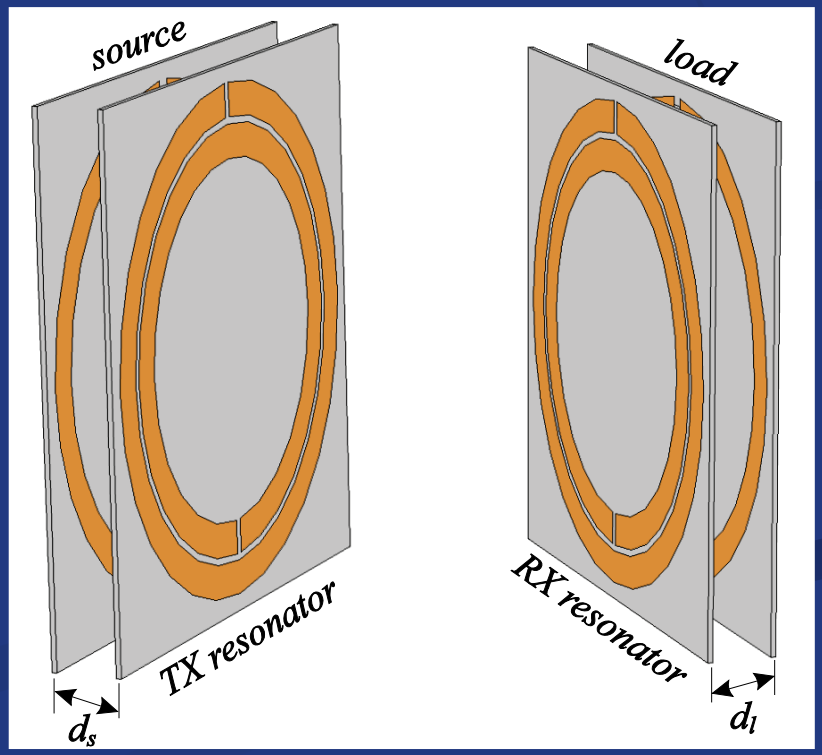
Παρατηρείται ένας υποσχόμενος μαγνητικός συντονισμός στην περιοχή των 172,5 MHz - 193,5 MHz για πιθανή χρήση στην ασύρματη μεταφορά ενέργειας.

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.

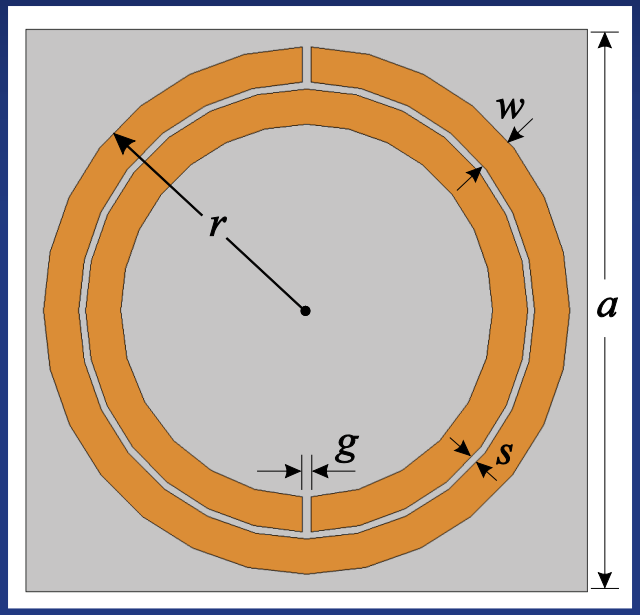
Βασικά στοιχεία ενός συστήματος ΑΜΕ:

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

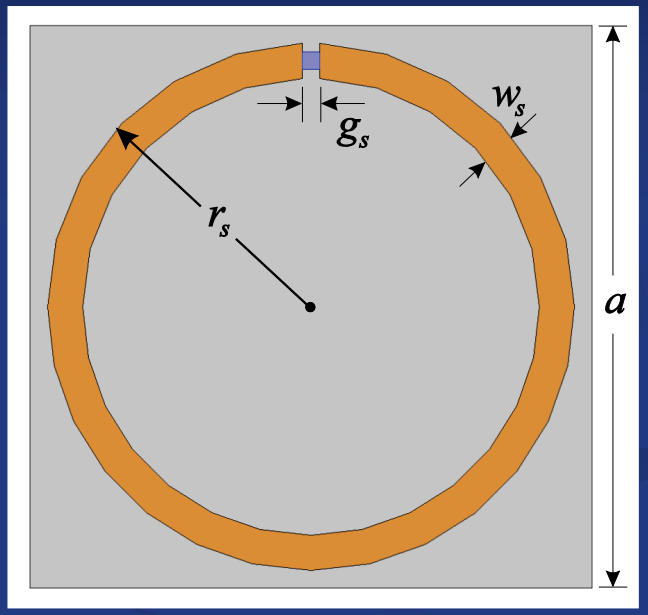


Σύστημα ΑΜΕ με μεταϋλικά

Συντονιστής EC-SRR



Βρόχος τροφοδοσίας και φορτίου

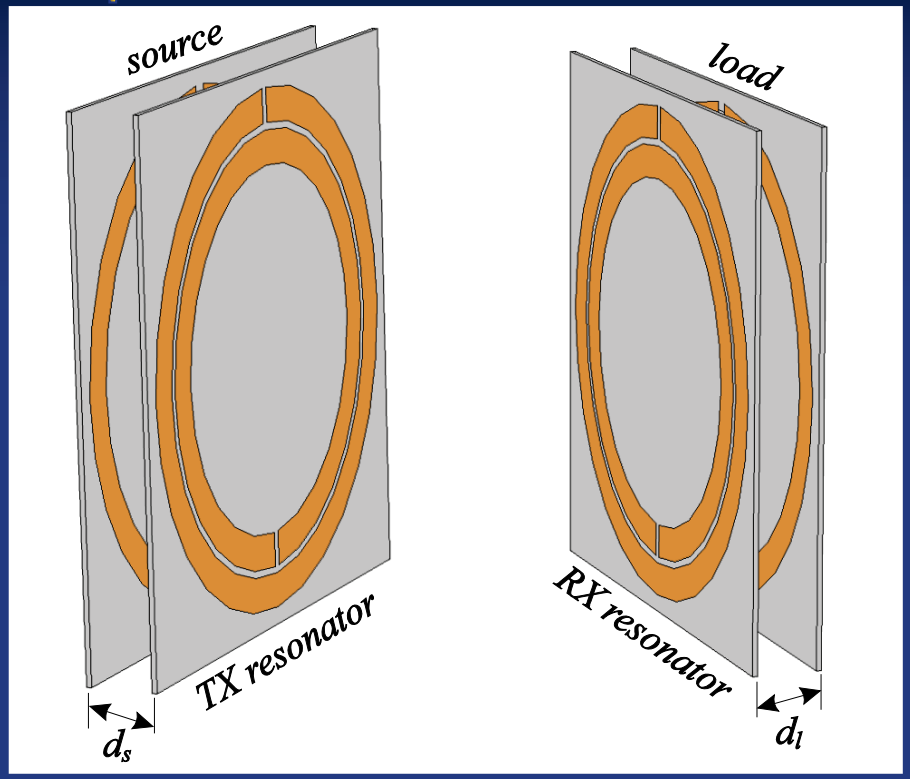


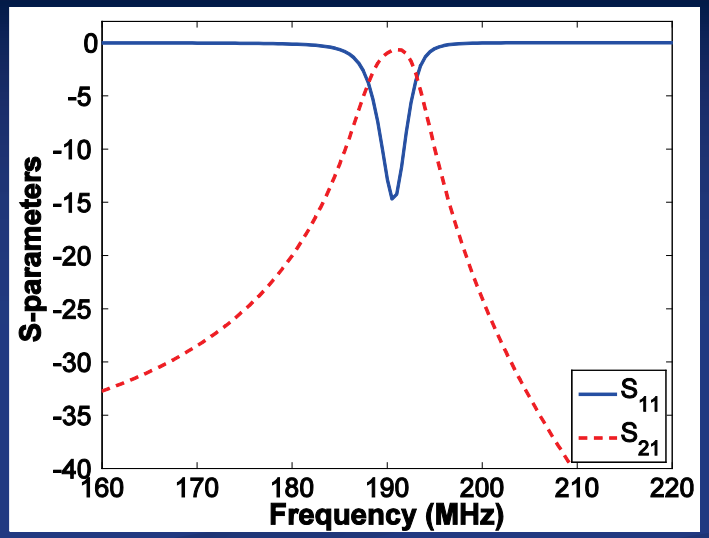
<u>Παράμετροι σχεδίασης :</u>

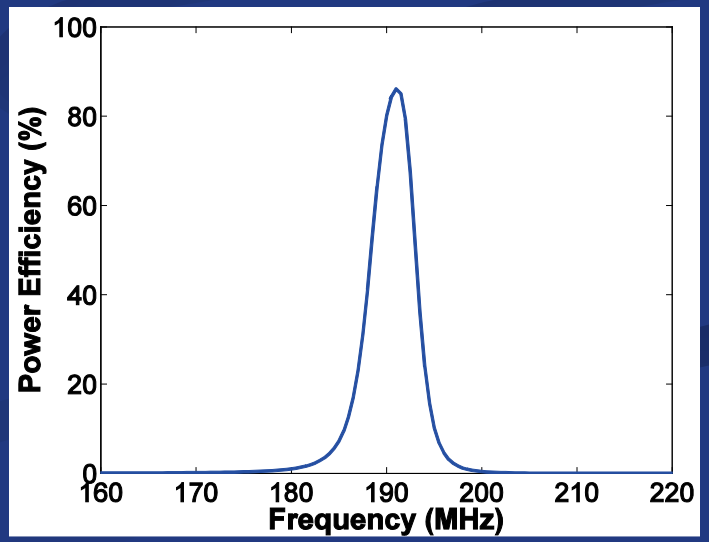
$r = 75$ mm, $w = 10$ mm, g $= 2.5$ mm, $s = 2$ mm, $a = 160$ mm

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

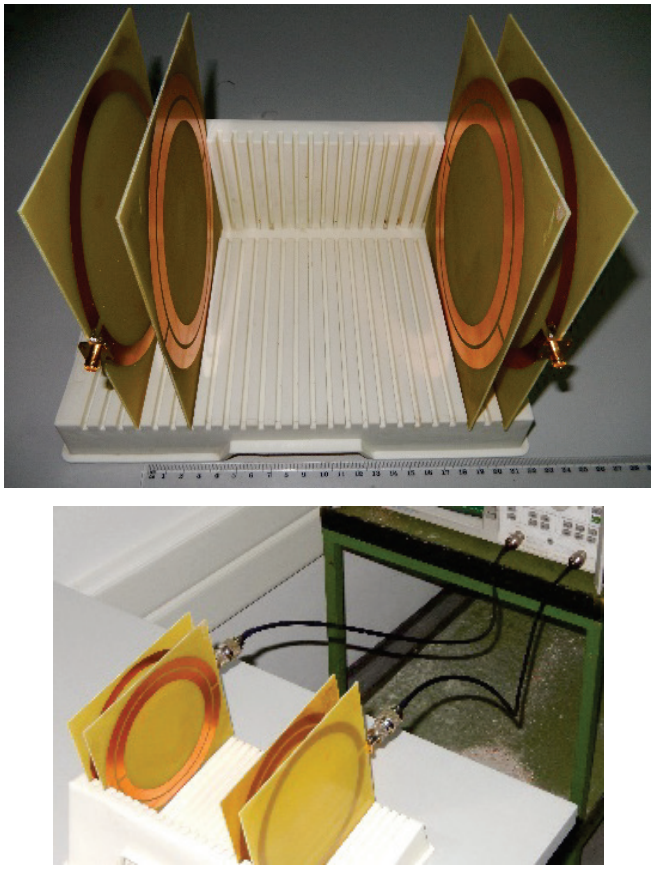


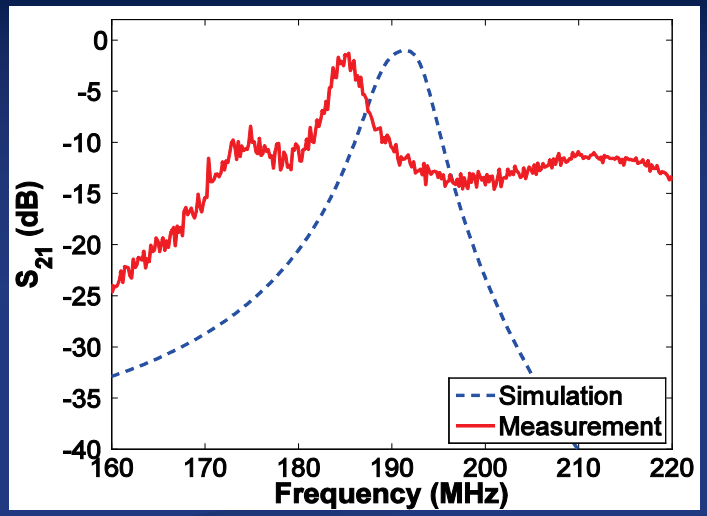


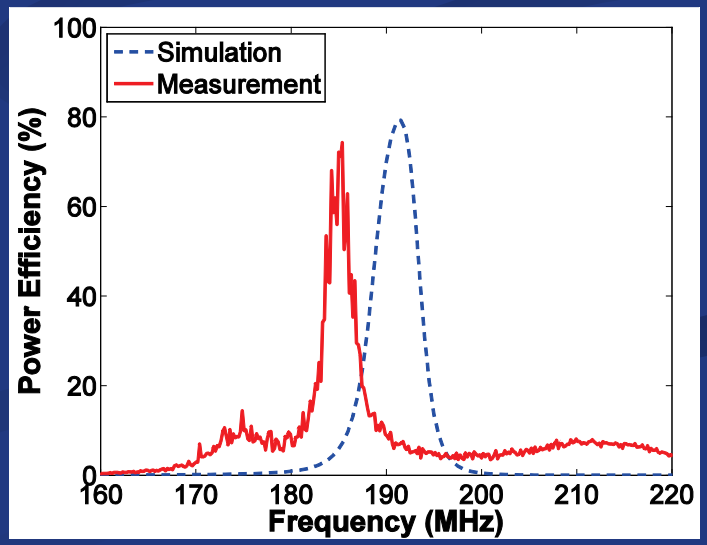


Επιτυγχάνεται
μέγιστη απόδοση μεταφοράς 86,14%
στη συχνότητα 191 MHz
για απόσταση d = 150 mm

Σύστημα ΑΜΕ με μεταϋλικά



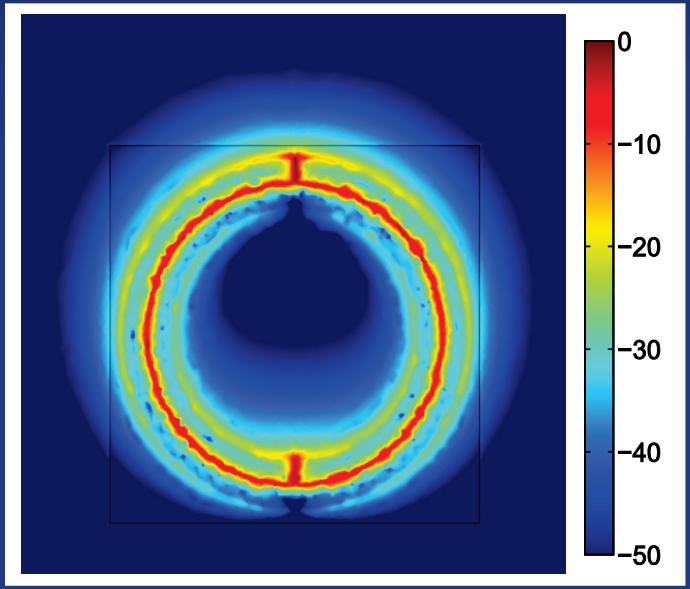




Παρατηρείται μετατόπιση της συχνότητας συντονισμού και μικρή μείωση της απόδοσης.

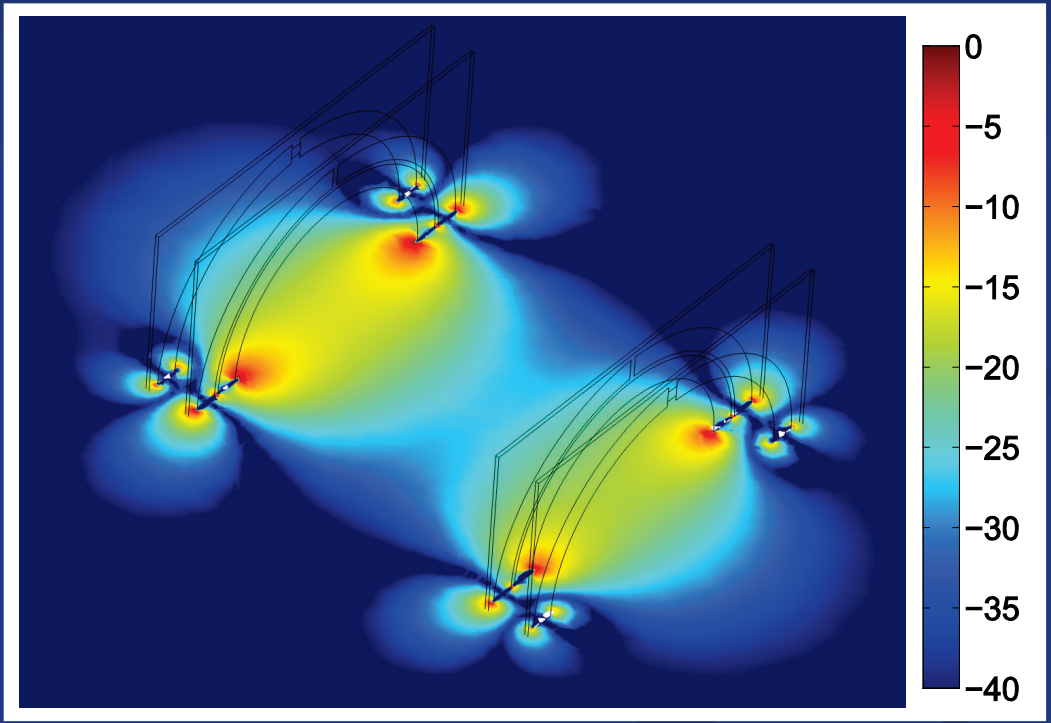
Σύστημα ΑΜΕ με μεταϋλικά

Ηλεκτρικό πεδίο στον συντονιστή EC-SRR



Οι μέγιστες τιμές περιορίζονται στην περιοχή του διακένου.

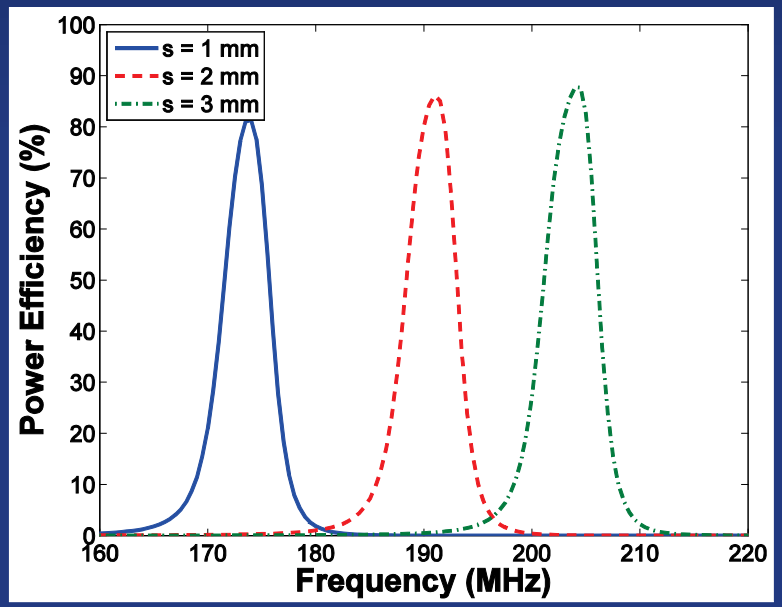
Μαγνητικό πεδίο στο σύστημα ΑΜΕ



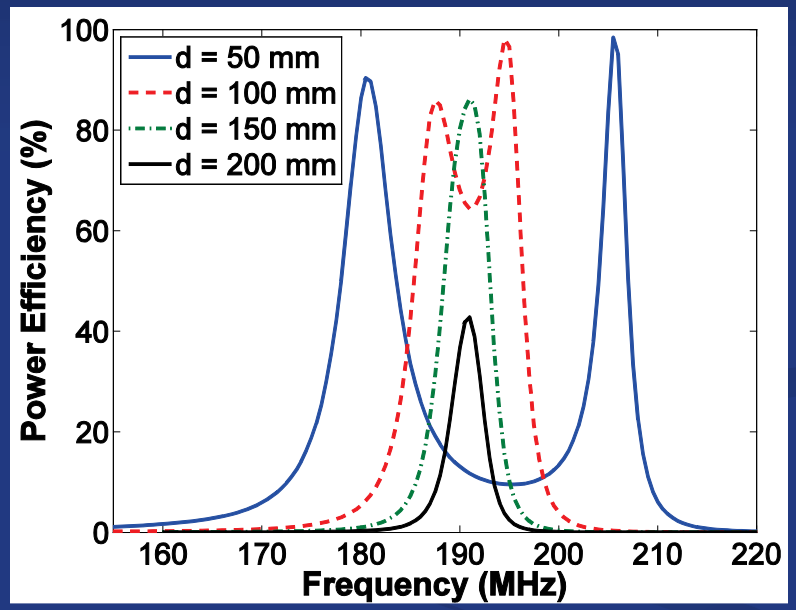
Οι μέγιστες τιμές παρατηρούνται στις περιοχές των συντονιστών.

Παραμετρική μελέτη

Διερεύνηση για την επίδραση του διακένου *s*



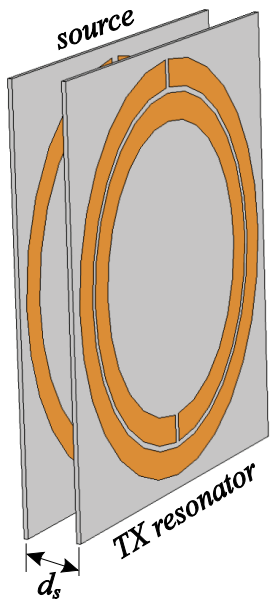
Διερεύνηση για την επίδραση της απόστασης *d*

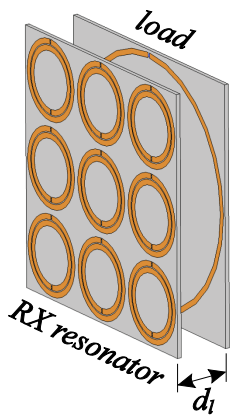


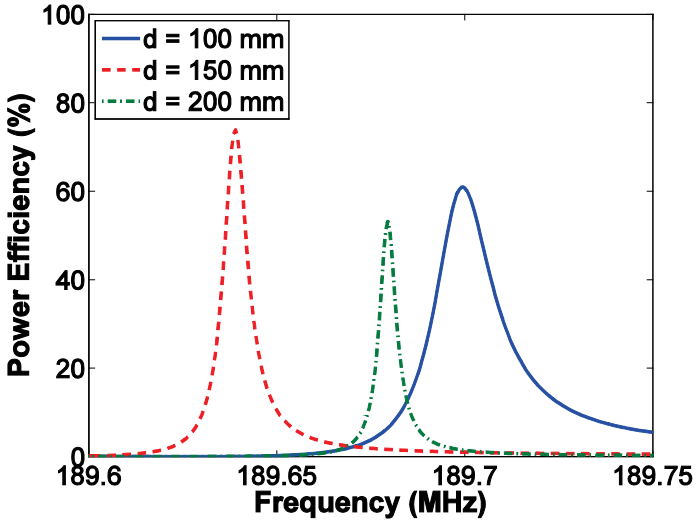
- Η τιμή του διακένου *s* είναι δυνατό να καθορίσει τη συχνότητα λειτουργίας της συσκευής ΑΜΕ.
- Η αύξηση της απόστασης *d* μειώνει την απόδοση μεταφοράς και επιδρά στη συχνότητα λειτουργίας.

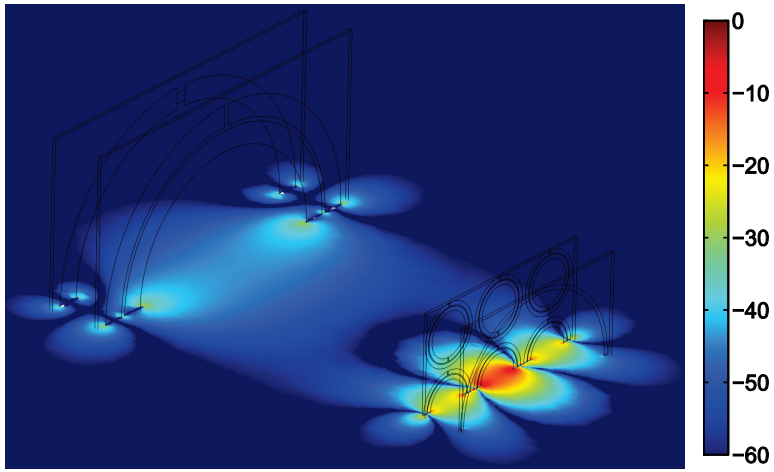
Σύστημα ΑΜΕ με μεταϋλικά

Σμίκρυνση δέκτη με χρήση μεταεπιφάνειας





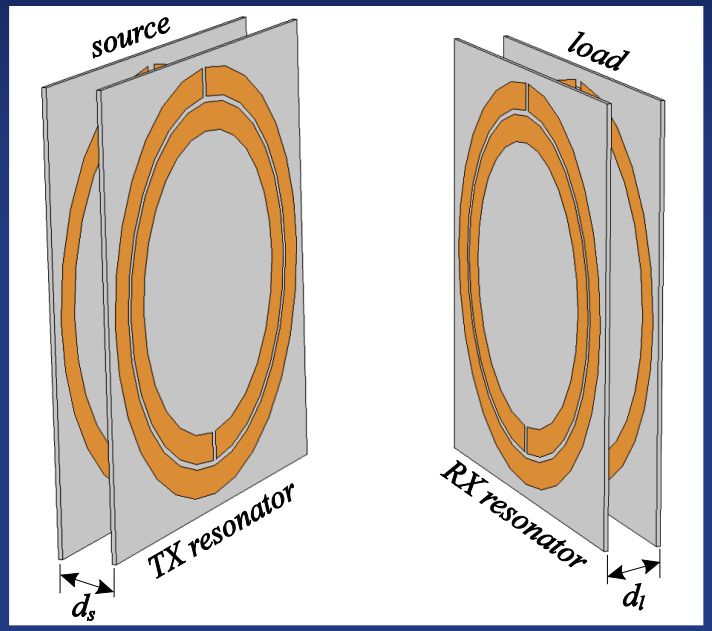


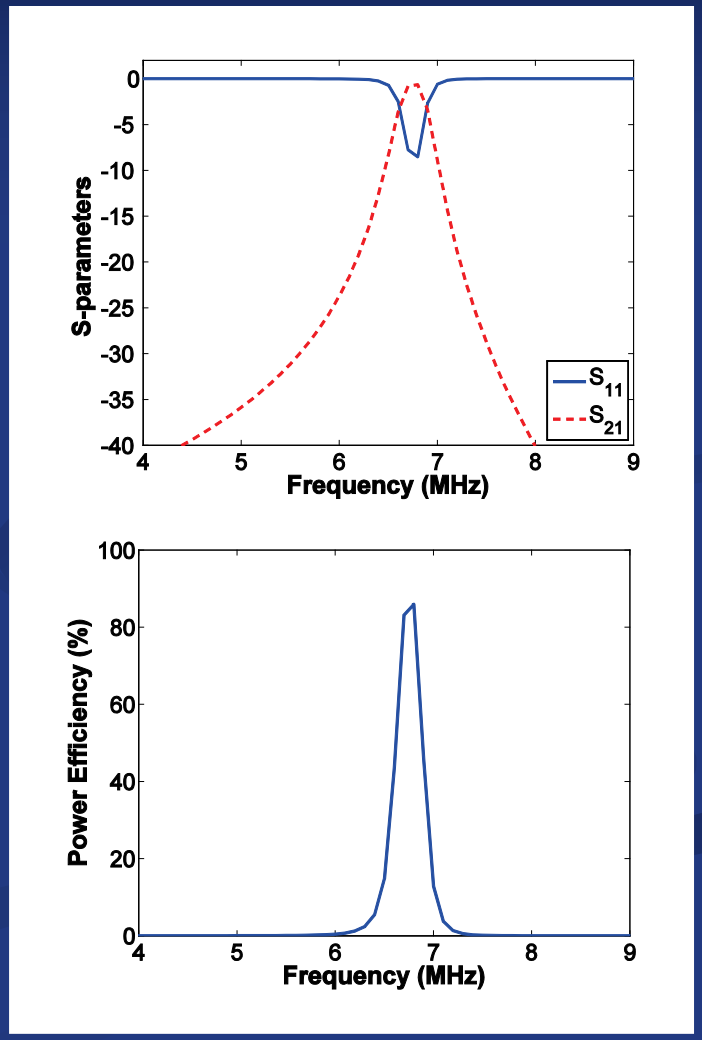


- Η συχνότητα λειτουργίας μειώνεται κατά 1,4 MHz, ενώ η απόδοση μειώνεται μόνο κατά 3%.
- Επιτυγχάνεται σμίκρυνση του όγκου του δέκτη κατά 64%.

Σύστημα ΑΜΕ με μεταϋλικά

Εναρμόνιση με το πρωτόκολλο AirFuel Alliance

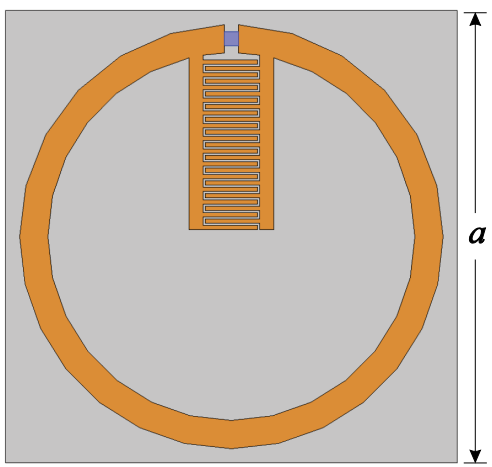


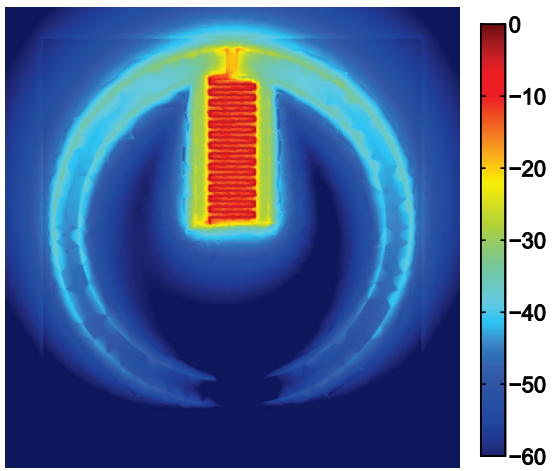


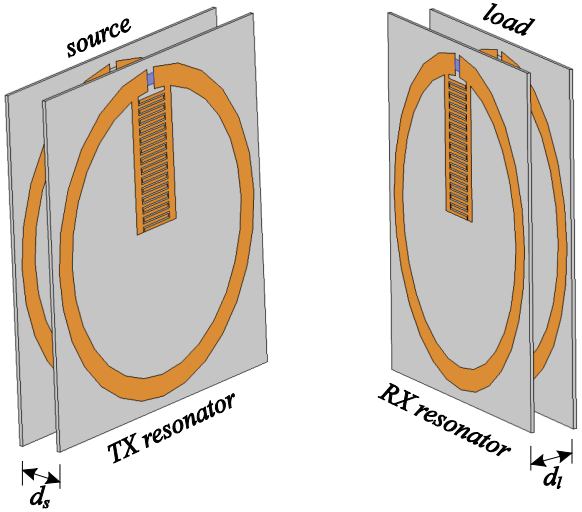
- Η μείωση της συχνότητας λειτουργίας στην επιθυμητή τιμή επιτυγχάνεται με τη χρήση πυκνωτών στα διάκενα των EC-SRRs.
- Επιτυγχάνεται μέγιστη απόδοση μεταφοράς 86 % στη συχνότητα 6,78 MHz για απόσταση d = 150 mm.

Σύστημα ΑΜΕ με μεταϋλικά

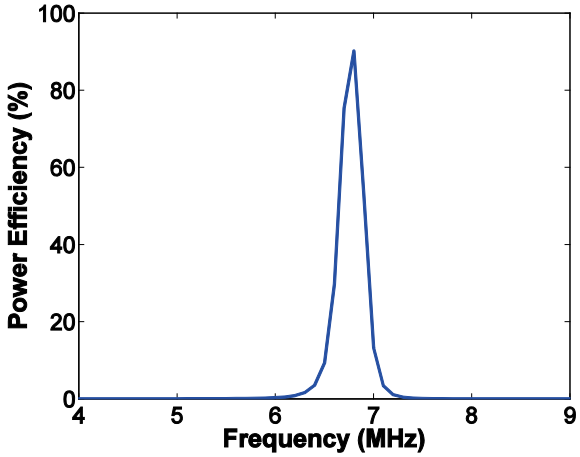
Βελτίωση απόκρισης με διαψηφιακές χωρητικότητες







- Απαιτούνται λιγότεροι πυκνωτές, ενώ το ηλεκτρικό πεδίο περιορίζεται στην περιοχή του διαψηφιακού διακένου.
- Επιτυγχάνεται μέγιστη απόδοση μεταφοράς 89 % στη συχνότητα 6,78 MHz για απόσταση d = 150 mm.

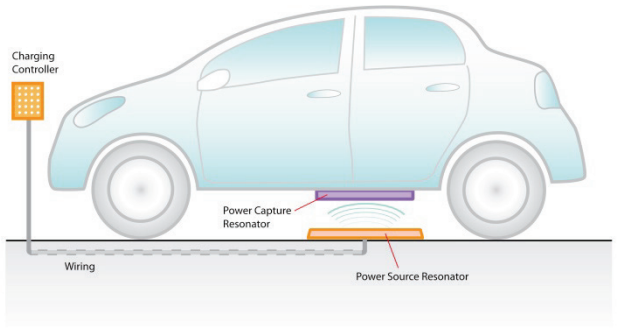


Πιθανές Εφαρμογές

- 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 μεταϋλικών σε μια νέα διάταξη ασύρματης μεταφοράς ενέργειας, η οποία επιτυγχάνει υψηλό επίπεδο μετάδοσης, ενώ ολοκληρώθηκε με επιτυχία μια λεπτομερής παραμετρική ανάλυση.

- Επιτεύχθηκε σμίκρυνση των δεκτών του προτεινόμενου συστήματος AME, μέσω της αξιοποίησης μεταεπιφανειών, καθώς και εναρμόνιση με το πρωτόκολλο AirFuel Alliance, μέσω διαψηφιακών τοπολογιών, προκειμένου να αποτελέσουν τη 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 συνθετότερων συντονιστών από μεταϋλικά, προκειμένου να επιτευχθεί περαιτέρω αύξηση της απόδοσης, καθώς και σμίκρυνση των διατάξεων.