



# ივანე ჯავახიშვილის სახელობის თბილისის სახელმწიფო უნივერსიტეტი

ზუსტ და საბუნებისმეტყველო მეცნიერებათა ფაკულტეტი  
ელექტრული და ელექტრონული ინჟინერიის დეპარტამენტი

პირველი სტუდენტური კონფერენცია

მიმოხილვითი მოხსენება:

**WITRICITY**

**ელექტროობა სადენების გარეშე**

მომხსენებლები: მე-2 კურსის სტუდენტები- გურამ  
ჩაგანავა,თორნიკე ჭიკაძე

2013 წელი

## შინაარსი

- შესავალი
- რა არის WiTricity ?
- მუშაობის პრინციპი
  - ✓ რა არის რეზონანსი?
  - ✓ შეწყვილებული რხევითი სისტემები
  - ✓ HR-WPT სისტემის აღწერა
- ზემოქმედება ადამიანზე
  - ✓ ორგანული ქსოვილების გათბობა
  - ✓ ნერვებისა და კუნთების სტიმულირება
  - ✓ ადამიანის სხეულის მოდელები
- გამოყენების სფეროები
  - ✓ სამომხმარებლო ელექტრონიკა
  - ✓ სამედიცინო მოწყობილობები
  - ✓ ელექტრული სატრანსპორტო საშუალებები
  - ✓ LED განათება
  - ✓ თავდაცვის სისტემები
- სარგებლიანობა
- გამოყენებული ლიტერატურა

# შესავალი

მოგესხენებათ, დღეისდღეობით ტექნოლოგიის განვითარება არნახული ტემპებით მიმდინარეობს. 21-ე საუკუნეში ტექნიკამ წარმოუდგენელ სიმაღლეებს მიაღწია. კერძოდ, რაც წინა საუკუნეში მცხოვრები ადამიანისთვის სასწაულსა და ფანტაზიის ნაყოფს წარმოადგენდა, დღეს თანამედროვე ადამიანისთვის ჩვეულებრივი, ყოველდღიური გამოყენების საყოფაცხოვრებო ნივთია.

მას შემდეგ რაც მე-20 საუკუნეში მეცნიერების თითოეულმა სფერომ ნახტომისებურად განიცადა გარღვევა, ზოგიერთმა ჩვენთაგანმა შეიძლება იფიქროს, რომ თითქოს ისეთი ადარაფერი დარჩა აღმოსაჩენი ან გამოსაგონებელი, რაც მსოფლიოს კიდევ ერთხელ გააოცებს. თუმცა, როგორც თანამედროვე მეცნიერები აცხადებენ, ჯერ კიდევ უამრავი ისეთი საკითხი და პრობლემაა, რომელთაც გადაწყვეტა ესაჭიროება. მეტიც, მათი თქმით ყოველი ის მიღწევა, რაც ასე გვაოცებს მხოლოდ დასაწყისია და გვპირდებიან, რომ 21-ე საუკუნე ტექნოლოგიური სასწაულებით იქნება სავსე.

შეიძლება ითქვას, რომ ერთ-ერთი ასეთი სასწაული უკვე მოხდა. საქმე ეხება იმ ინოვაციურ იდეას, რომელმაც ახლახანს გაიჟღერა მსოფლიო სამეცნიერო მასშტაბით. ეს იდეა მართლაც რომ გრანდიოზულია, ვინაიდან გულისხმობს ელექტრული ენერჯის უსაღებოდ გადაცემას. როგორც ვიცით, არცერთ “ტექნოლოგიურ სასწაულს”, დაწყებული ვარვარნათურით სუპერკომპიუტერებით დამთავრებული, ელექტრული დენის გარეშე მუშაობა არ შეუძლია. გამოდის რომ მთელი საყოფაცხოვრებო თუ საწარმოო ყოფა ელექტრული დენის არსებობას ეფუძნება. დენის არსებობა კი სადენების გარეშე მართლაც რომ წარმოუდგენელია. სწორედ ამიტომ დავინტერესდით ამ საოცარი იდეით, რომლის ხსენებაც ალბათ არც ერთ ადამიანს არ დატოვებს გულგრილად.

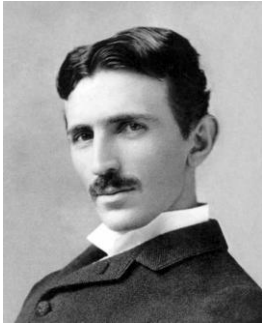
# რა არის WiTricity ?



WiTricity – **Wireless Electricity** (უსადენო ელექტრობა) - ელექტრული ენერჯის გარკვეულ მანძილებზე უსადენოდ გადაცემის ტექნოლოგია.

WiTricity კორპორაცია დაფუძნდა 2007 წელს. მისი მიზანი იყო იმ ახალი ტექნოლოგიის კომერციალიზაცია, რომელიც ორი წლით ადრე შეიმუშავეს მასაჩუსეტსის ტექნოლოგიურ ინსტიტუტში (MIT). ფიზიკოსების ჯგუფმა, რომელსაც პროფესორი მარინ სოლჯაკიჩი ხელმძღვანელობდა, განავითარა თეორიული საფუძვლები უსადენო ელექტრობის შესახებ 2005 წელს. თეორიის სიზუსტე ექსპერიმენტით დამტკიცდა 2007 წელს.

ჰაერში ენერჯის გადაცემის იდეა ჯერ კიდევ საუკუნის წინ წარმოიშვა სერბი-ამერიკელი ინჟინერ-გამომგონებლის ნიკოლა ტესლას მიერ. მისი აზრით შორ მანძილებზე ენერჯის გადაცემა უნდა მომხდარიყო დედამიწის იონოსფეროს გამოყენებით. ენერჯის უსადენოდ გადაცემის იდეასთან ყველაზე მიახლოებული მეთოდი იყენებს ელექტრომაგნიტურ ტალღებს. ეს არის მაღალსიხშირული სისტემა, რომელიც დიდ მანძილზე ლაზერით გადასცემს ელექტრომაგნიტურ სხივს. მიმღები კი ფოტო ენერჯის გარდაქმნის ელექტრულ ენერჯიად. თუმცა უნდა აღინიშნოს, რომ ხსენებული მეთოდი იყენებს რადიაციულ ველს, რაც საფრთხეს წარმოადგენს ცოცხალი ორგანიზმისთვის. დიდ სირთულეს ქმნის გადამცემის ან მიმღების მოძრაობა. ასევე მათ შორის რაიმე სხეულის ჩამოფარება წყვეტს ენერჯის გადაცემას.



ნიკოლა ტესლას ვარდენკლიფის კოშკი ლონგ აილენდში, აშენდა 1904 წელს. ის ტესლას იმ მიზნის განსახორციელებლად იყო გამიზნული, რომელიც ენერჯისა და ინფორმაციის გადაცემას გულისხმობდა მსიფლიოს მასშტაბით. კოშკი 1917 წელს განადგურდა.



თუმცა *WiTricity* ტექნოლოგია განსხვავდება იმ ტექნოლოგიისაგან, რომელიც ტესლას ჰქონდა ჩაფიქრებული, მაგრამ მან გასაკუთრებული წვილილი შეიტანა ელექტროობისა და ელექტრული სისტემების შესწავლის საქმეში. მისი შრომები განხილულია *WiTricity* -ის დამაარსებელი ტექნიკური გუნდის მიერ გამოქვეყნებულ ნაშრომებში.

როგორც ვიცით, შესაძლებელია ენერჯის გადაცემა არარადიაციული ველის გამოყენებითაც. მაგალითისთვის შეიძლება მოვიყვანოთ ტრანსფორმატორი, რომელიც ელექტრომაგნიტური ინდუქციის მეშვეობით პირველადი კოჭადან გადასცემს ენერჯიას მეორეულ კოჭას. ამ ორ კოჭას შორის კი არ გვაქვს პირდაპირი ელექტრული კავშირი. მაგრამ რა ხდება როცა ზემოხსენებულ კოჭებს შორის მანძილი იზრდება? სწორედ ეს კითხვა გაუჩნდა მასაჩუსეტსის ტექნოლოგიურ უნივერსიტეტში მომუშავე ჯგუფს.

მათ ჩაატარეს მრავალი ცდა იმისათვის, რომ გადაეცათ ენერჯია საშუალო მანძილებზე და მივიდნენ ერთ-ერთ მეთოდამდე, რომელიც არარადიაციულია და იყენებს რეზონანსს ენერჯის გადაცემის ეფექტურობის გასაზრდელად. ისინი მიხვდნენ, რომ რეზონატორების მეშვეობით უფრო შორ მანძილებზე იქნებოდა შესაძლებელი ენერჯის გაგზავნა მეტი თავისუფლების ხარისხით. ეს მეთოდი ცნობილია როგორც „მაღალ-რეზონანსული უსადენო ენერჯის გადაცემა“ ( “highly resonant” wireless power transfer (HR-WPT) ).

მასაჩუსეტსის ტექნოლოგიური ინსტიტუტის გუნდმა ჩაატარა მაღალ-რეზონანსული ტექნიკის დემონსტრირება მაგნიტური ველის მეშვეობით საშუალო მანძილზე - დაახლოებით 2 მეტრის დისტანციით. შედეგი მიღწეულ იქნა-ახალი ინდუსტრია დაიბადა. მეთოდი კი გაიგივდა „მაგნიტური რეზონანსის“ სახელთან.

# მუშაობის პრინციპი

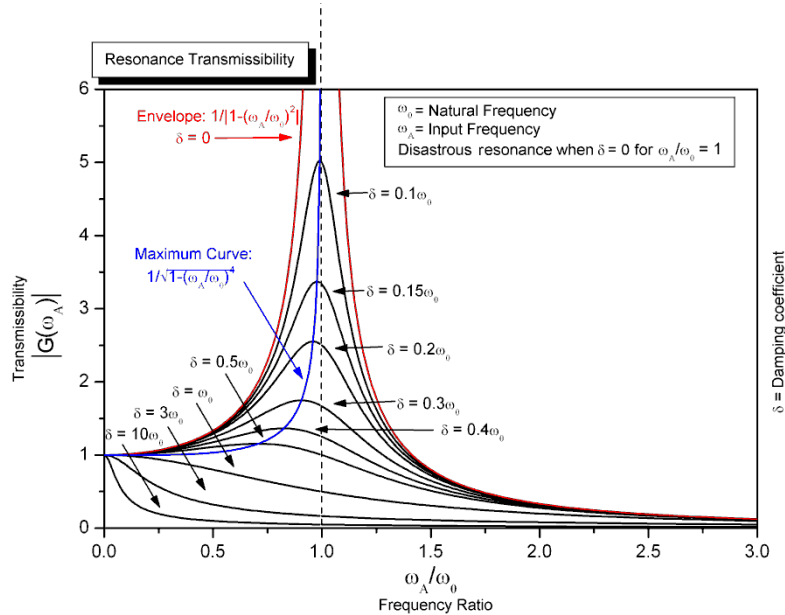
## რა არის რეზონანსი?

რეზონანსი წარმოადგენს თვისებას, რომელიც ახასიათებს უამრავ ფიზიკურ სისტემას. წარმოვიდგინოთ რაიმე რხევითი სისტემა, მაშინ რეზონანსს განვმარტავთ როგორც მოვლენას, როდესაც სხვა ნებისმიერი სისტემა დიდი ეფექტურობით გადასცემს ენერჯიას მოცემულ მერხვე სისტემას. ეს კი მხოლოდ მაშინ ხდება

როცა სისტემათა რხევის სიხშირეები და ფაზები ერთმანეთს ემთხვევა. რხევა გრძელდება და ძლიერდება, თუ სისტემაზე გადაცემული ენერგია მეტია, ვიდრე ამ რხევითი სისტემის ენერგიის დანაკარგები.

რეზონანსის მაგალითია საქანელა. მასზე მოქანავე ბავშვის გადახრა წონასწორობის მდებარეობიდან მაქსიმალური იქნება, თუ მას იმავე სიხშირით ვუბიძგებთ ხელს რა სიხშირითაც ის ირხევა.

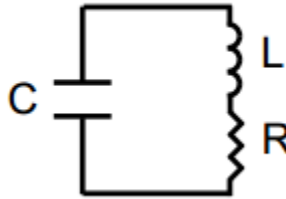
რეზონანსის კიდევ ერთ კარგ მაგალითს წარმოადგენს შუშის ჭიქის რხევითი სისტემა. ცნობილია, რომ მაღალი ტემპრითა და სუფთა ტონით მომღერალ ადამიანს საკუთარი ხმით შეუძლია ჭიქის დამტვრევა. ამ შემთხვევაში ბგერითი ენერგია გარდაიქმნება ჭიქის მექანიკურ რხევებში. როცა ბგერითი სიხშირე უტოლდება ჭიქის საკუთარი რხევის სიხშირეს ჭიქის დეფორმაცია მაქსიმუმს აღწევს, რამაც მისი დამსხვრევა შეიძლება გამოიწვიოს. რხევის რეზონანსული (საკუთარი) სიხშირე დამოკიდებულია ჭიქის ზომაზე, ფორმაზე, სისქესა და იმ ნივთიერების რაოდენობაზე რომელიც ჭიქაში ასხია.



განვიხილოთ ელექტრომაგნიტური რეზონატორი. ასეთი იზოლირებული რხევითი სისტემის მოქმედება შეიძლება აღიწეროს ორი ფუნდამენტური პარამეტრით: მისი საკუთარი რეზონანსული სიხშირით- $\omega_0$  და მისი შიდა დანაკარგი, ანუ მილევის კოეფიციენტი  $\Gamma$ . ამ ორი პარამეტრის ფარდობა გვამღწევს რეზონატორის ხარისხის ფაქტორს ანუ ვარგისიანობას ( $Q = \omega_0 / 2\Gamma$ ), რაც გვიჩვენებს თუ რამდენად კარგად ინახავს კონტური ენერგიას.



მოცემულ სქემაზე ნაჩვენებია უმარტივესი სახის ელექტრომაგნიტური რეზონატორი, რომელიც შედგება რეზისტორისაგან, კონდენსატორისაგან და ინდუქტივობისაგან.



რხევითი სისტემის მაგალითი

მოცემულ წრედში წარმოებს კონტურის საკუთარი სიხშირის ელექტრომაგნიტური რხევები C ტევადობისა (ინახავს ენერგიას ელექტრულ ველში) და L ინდუქტივობის (ინახავს ენერგიას მაგნიტურ ველში) გავლით, ხოლო ენერგიის კარგვა ხდება R რეზისტორის გამო. მოცემული რხევითი სისტემის საკუთარი რხევის სიხშირე ტოლია:

$$\omega = \frac{1}{\sqrt{LC}} \quad (1)$$

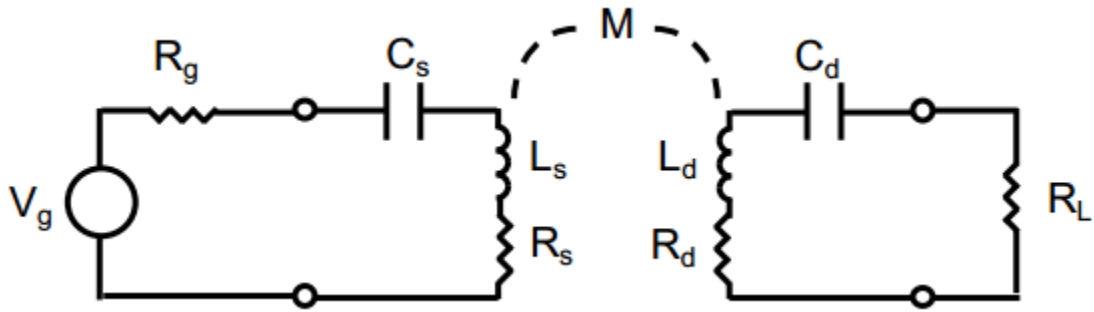
ხოლო ვარგისიანობა:

$$Q = \frac{\omega}{2\Gamma} = \sqrt{\frac{L}{C}} \frac{1}{R} = \frac{\omega L}{R} \quad (2)$$

აქედან ჩანს, რომ თუ შევამცირებთ დანაკარგებს, ანუ კონტურის წინაღობას, გაიზრდება სისტემის ვარგისიანობა. მაღალ რეზონანსულ ენერგიის გადამცემ სისტემებში (HR-WPT) Q უნდა იყოს რაც შეიძლება დიდი, რათა ენერგია მაქსიმალური ეფექტურობით გაიგზავნოს. მაღალი ვარგისიანობის მქონე ელექტრომაგნიტური რეზონატორები მზადდება გამტარებისაგან და იმ მასალებისაგან, რომელთაც აქვთ დაბალი ომური და რადიაციული დანაკარგები და გამოირჩევიან შედარებით ვიწრო რეზონანსული სიხშირის სიგანით. ასევე, რეზონატორები შეიძლება დაპროექტებულ იქნეს ისე რომ შემცირდეს ურთიერთქმედება გარეშე სხეულებთან.

## შეწყვილებული რხევითი სისტემები:

თუ ორ რეზონატორს მოვათავსებთ ერთმანეთთან საკმარისად ახლოს, შესაძლებელი გახდება მათ შორის ენერგიის გაცვლა. ამ გადაცემის ეფექტურობა დამოკიდებულია თითოეული რეზონატორის ფიზიკურ მახასიათებლებზე და მათ შორის დაწყვილების  $\kappa$  კოეფიციენტზე.



დაწვევილებული რეზონატორების სისტემის ექვივალენტური სქემა

$V_g$  -  $\omega$  სიხშირის სინუსოიდალური ძაბვის წყაროს ამპლიტუდა

$R_g$  - გენერატორის შიგა წინაღობა

$L_s$  - გადამცემი კოჭას ინდუქტივობა

$L_d$  - მიმღები კოჭას ინდუქტივობა

$C_s$  - გადამცემი რეზონატორის ტევადობა

$C_d$  - მიმღები რეზონატორის ტევადობა

$R_s$  და  $R_d$  - პარაზიტული წინაღობები, იგულისხმება როგორც ომური ასევე რადიაციული დანაკარგები

$M$  - ურთიერთინდუქციის კოეფიციენტი, გადამცემი და მიმღები რეზონატორების საერთო ინდუქტივობა (დამოკიდებულია კონტურების ფორმაზე, სიდიდეზე, ურთიერთმდებარეობასა და იმ გარემოზე, რომელშიც ეს კონტურებია მთავსებული)

$$M = k \sqrt{L_s L_d} \quad (3)$$

$R_L$  - ექვივალენტური წინაღობა, დატვირთვა

მოცემული წრედის ანალიზი გვაძლევს, რომ დატვირთვაზე მიღწეული ენერგიის ფარდობა ენერგიის იმ მაქსიმუმთან, რომელიც წყაროს შეუძლია მოგვცეს, რეზონანსის დროს ტოლია:

$$\frac{P_l}{P_{g,max}} = \frac{U^2 * \frac{R_g * R_l}{R_s * R_d}}{\left( \left( 1 + \frac{R_g}{R_s} \right) * \left( 1 + \frac{R_l}{R_d} \right) + U^2 \right)} \quad (4)$$

სადაც,

$$U = \frac{\omega * M}{\sqrt{R_s * R_d}} = \frac{k}{\sqrt{\Gamma_s * \Gamma_d}} = k * \sqrt{Q_s * Q_d} \quad (5)$$

წარმოადგენს სისტემის ხარისხის მაჩვენებელს.

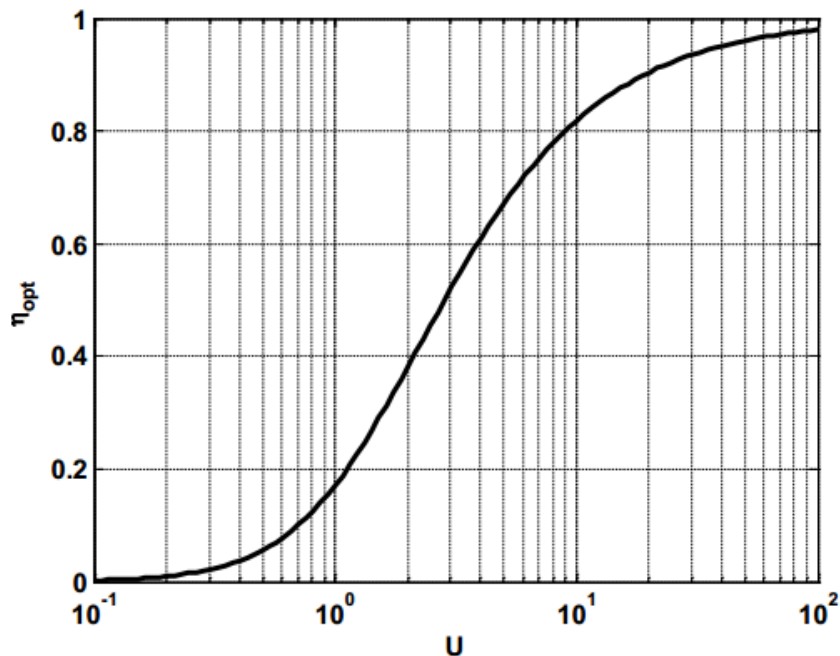


ჩვენ შეგვიძლია ისე შევარჩიოთ გენერატორისა და დატვირთვის წინაღობები, რომ მივიღოთ სისტემის სამუშაო სუკეთესო, ოპტიმალური რეჟიმი. თუ წინაღობები აკმაყოფილებენ შემდეგ ტოლობას:

$$\frac{R_g}{R_s} = \frac{R_l}{R_d} = \sqrt{1 + U^2} \quad (6)$$

მაშინ ენერჯის გადაცემის ეფექტურობა (მარგი ქმედების კოეფიციენტი) მაქსიმუმს აღწევს და მოიცემა ფორმულით:

$$\eta_{opt} = \frac{U^2}{(1 + \sqrt{1 + U^2})^2} \quad (7)$$



ენერჯის გადაცემა ეფექტურობის (მარგი ქმედების კოეფიციენტის) დამოკიდებულება სისტემის ხარისხის მაჩვენებელზე.

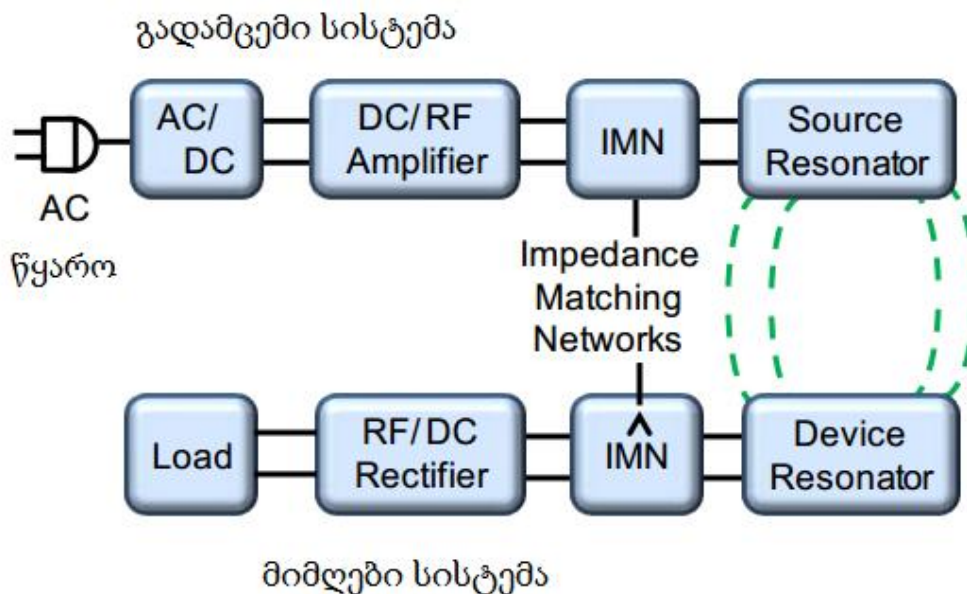
შევნიშნოთ, რომ გადაცემის ეფექტურობა დამოკიდებულია მხოლოდ სისტემის ხარისხის მაჩვენებელზე, რომელიც თავის მხრივ მაგნიტური შეწყვილების კოეფიციენტზე,  $k$ -ზეა დამოკიდებული და ასევე რეზონატორების ვარგისის ნობაზე  $Q_s$ -ზე და  $Q_d$ -ზე. მაგნიტური დაწყვილების კოეფიციენტი უგანზომილები სიდიდეა და წარმოადგენს წილადს, რომელიც გვიჩვენებს თუ რამდენადაა მაგნიტური ნაკადი დაწყვილებული ორ რეზონატორს შორის. ის მნიშვნელობებს იღებს 0-დან (შეწყვილება არ ხდება) 1-მდე (მთელი ნაკადი შეწყვილებულია).

ტრადიციულ ელექტრომაგნიტურ ინდუქციაზე დაფუძნებული სისტემები დაწყვილების მაღალ კოეფიციენტებზე მუშაობენ და მოითხოვენ გადამცემისა და მიმღების ზუსტად განსაზღვრულ, ახლო

მანძილებზე მოთავსებას. (5) და (7) განტოლებები გვიჩვენებს, რომ მაღალხარისხიანი რეზონატორების გამოყენება ტრადიციულ მეთოდს უფრო ეფექტურს ხდის, და რაც მთავარია, არ მოითხოვს რხევითი სიტემების მკაცრად განსაზღვრულ ურთიერთგანლაგებას, არამედ იძლევა თავისუფლების მეტ ხარისხს.

## HR-WPT სისტემის აღწერა

მოცემული მეთოდი, რომლის მეშვეობითაც ხდება ვატების თუ კილოვატების უსადენოდ გადაცემა, ზოგადად შეიძლება აღიწეროს შემდეგი ბლოკ-სქემით:



### უსადენოდ ენერჯის გადაცემის სისტემის ბლოკ-დიაგრამა

სისტემაში შემავალი ენერჯის წყაროს წარმოადგენს ცვლადი დენის გენერატორი (საყოფაცხოვრებო ქსელი) ან მუდმივი დენის ბატარეა, ან სხვა რაიმე წყარო. შემავალი დენი გარდაიქმნება მუდმივ დენში გამმართველი ბლოკის (AC/DC rectifier block) დახმარებით. მაღალი ეფექტურობის მქონე გამამლიერებელი (DC/ RF Amplifier) მუდმივ ძაბვას გარდაქმნის რადიო სიხშირის მქონე ძაბვაში, რომელიც მართავს გადამცემ მერხვე სისტემას. ზოგჯერ გამოიყენება „წინალობათა შედარების ქსელი“ (impedance matching network (IMN)) გამამლიერებლის გამოსავალისა და გადამცემი რეზონატორის მუშაობის შასათანხმებლად, ასევე გადართვის რეჟიმში გამლიერების ოპერაციის ხელშესაწყობად. ასეთი გამლიერებისთვის გამოიყენება Class D ან Class E გადამრთველი გამამლიერებლები. გამლიერების მაღალი ეფექტურობის მისაღწევად ის მოითხოვს ინდუქტიურ წინალობას. IMN გადამცემი რეზონატორის სრულ წინალობას ანუ იმპედანსს გარდაქმნის გადამცემი გამამლიერებლის ტოლ იმპედანსად. გადამცემის მიერ შექმნილი მაგნიტური ველი მიმდებ რეზონატორში აღძრავს ელექტრომაგნიტურ რხევებს, რაც გამოიწვევს ენერჯის დინებას ერთიდან მეორე მერხვე სისტემაში. მეორე IMN შეიძლება გამოიყენებულ იქნეს, რათა მაქსიმალური სიზუსტით გადაეცეს ენერჯია რეზონატორიდან დატვირთვას. ისეთი დანადგარებისთვის, რომელიც მუდმივ დენს მოითხოვს ცვლადი დენის გამმართველი (RF/ DC rectifier) მიღებულ სიგნალს კვლავ მუდმივ დენში გარდაქმნის.

ხშირად დასმული კითხვა ზემოხსენებული ტექნოლოგიის შესახებ: რამდენად ეფექტურია უსადენოდ ენერჯის გადაცემა? მძლავრ სისტემებში, როგორცაა ჰიბრიდული ავტომობილები, 90% -ზე მეტი ეფექტურობა ცდებით იქნა მიღწეული. ასეთი სიზუსტე მოითხოვს, რომ აღნიშნული სისტემის შემადგენელი თითოეული ბლოკის მუშაობის ეფექტურობა უნდა იყოს 97-98% ან მეტი. დანაკარგების შესამცირებლად და საუკეთესო შედეგის მისაღებად საჭიროა ბლოკების ფრთხილი ანალიზი და მოდელირება.

## ზემოქმედება ადამიანზე

მთავარი საკითხი ენერჯის უსადენოდ გადაცემის HR-WPT ტექნოლოგიის შესახებ: არის თუ არა ეს მეთოდი ადამიანისათვის უსაფრთხო? რადგანაც მოცემულ ტექნოლოგიას გარკვეულ მანძილებზე შეუძლია ენერჯის გადაცემა დიდი ეფექტურობით, შეიძლება ვიფიქროთ, რომ ეს ხდება მძლავრი და საშიში ელექტრომაგნიტური ველების მეშვეობით. რა თქმა უნდა ეს არ შეეფერება რეალობას. WiTricity ენერჯის გადაცემისთვის იყენებს მერხვე მაგნეტურ ველს. სწორად შერჩეული დიზაინის დამსახურებით წარმოქმნილი ელექტრული და მაგნიტური ველების მოქცევა შეიძლება კარგად დამკვიდრებულ და ცნობილ, ადამიანის უსაფრთხოების იმ საზღვრებში, რომელიც არეგულირებს ყველა სამომხმარებლო ტექნიკას, მათ შორის - მობილურ ტელეფონებს, უკაბელო მარშრუტიზატორებს (wireless routers), რადიო გადამცემებს და სხვ. ხარისხის მაღალი მაჩვენებლის მქონე რეზონატორები, რომლებიც WiTricity სისტემებში გამოიყენება ხასიათდება დაბალი დანაკარგებით, აქვთ უნარი დიდი ეფექტურობით შეინახონ და გადასცენ ენერჯია მაშინაც კი როცა მაგნიტური ველის ამპლიტუდა საკმარისად დაბალია.

ადამიანის დამოკიდებულება ელექტრომაგნიტურ ველებზე განისაზღვრება იმ მეცნიერული შრომების მიხედვით, რომელიც ეფუძნება მეცნიერულად დასაბუთებულ ფაქტებს ელექტრომაგნიტური ველის ადამიანზე გავლენის შესახებ. მსოფლიო ჯანდაცვის ორგანიზაცია (World Health Organization (WHO)) რეკომენდაციას უწევს ადამიანის ჯანმრთელობის შესახებ გამოცემულ სახელმძღვანელოებს „ელექტრული და ელექტრონული ინჟინერიის ინსტიტუტისა“ (Institute of Electrical and Electronic Engineers (IEEE)) და „არამაიონიზებელი რადიაციისაგან დაცვის საერთაშორისო კომისიის“ (International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection (ICNIRP)) მიერ.

IEEE -სა და ICNIRP -ის ნაშრომების მიზნები იდენტურია:

*„ამ გამოცემის დაარსების მთავარი მიზანია განისაზღვროს ადამიანის ჯანმრთელობის მდგომარეობის გაუარესების დამოკიდებულება რადიო სიხშირის RF (radio frequency) ელექტრულ, მაგნიტურ და ელექტრომაგნიტურ ველებზე 3 kHz - 300 GHz სიხშირულ დიაპაზონში.“ [IEEE]*

ყველაზე ახალ ნაშრომებში IEEE -მ და ICNIRP -მა დაასკვნეს, რომ არ არსებობს დადასტურებული მტკიცება იმის შესახებ, რომ რადიო სიხშირის ელექტრომაგნიტური ველი ადამიანში იწვევს ონკოლოგიურ დაავადებებს. თუმცა დადასტურდა ის ფაქტი, რომ მოცემულმა ველმა შეიძლება გაზარდოს ადამიანის სხეულის ტემპერატურა ან გაათბოს ორგანული ქსოვილები და გამოიწვიოს ნერვული და კუნთოვანი ქსოვილების სტიმულირება. ICNIRP ჯგუფმა ასევე აღმოაჩინა, რომ ბადურას ფოსფენების (ბადურაში შემავალი სინათლის დროებითი ფენომენი, ინდუცირდება მექანიკური სტიმულირების, რხევითი ელექტრული და მაგნიტური ველების მიერ) წარმოქმნა შეიძლება განხილულ

იქნეს ადამიანზე მოქმედი ფაქტორების განსაზღვრის საქმეში.ორივე ჯგუფის რეკომენდაციით საჭიროა იმ ფაქტორების აღმოჩენა და შემცირება,რომლებიც ადამიანში იწვევენ ზემოაღწერილ მოვლენებს.კერძოდ,ქსოვილების გათბობის შესამცირებლად საჭიროა „სპეციფიკური შთანთქმის მაჩვენებლის“, “ სშმ“ (the specific absorption rate ან SAR, ადამიანის სხეულის მიერ შთანთქმული და სითბოში გარდაქმნილი ელექტრომაგნიტური ენერჯის რაოდენობა,ერთეული - ვატი/კილოგრამი(W/kg)) შეზღუდვა.სხვა შემთხვევებისთვის კი ხსენებული კომპანიები შიდა ელექტრული ველის შემცირების რეკომენდაციას იძლევიან.

## ორგანული ქსოვილების გათბობა

IEEE -სა და ICNIRP -ს მიერ განსაზღვრულ იქნა,რომ ადამიანის ყველაზე მგრძობიარე ქსოვილებიც კი არ პასუხობენ უარყოფითად ისეთ პირობებს,როცა სხეულის საშუალო სშმ ( SAR ) არის 4 ვტ/კგ - ზე ნაკლები.ასეთ დროს,ნორმალურ გარემო პირობებში სხეულის ტემპერატურა შეიძლება გაიზარდოს 1 °C - ით.თუმცა არცერთი კომპანია არ გვირჩევს სშმ-დ 4 ვტ/კგ აღებას. მათი აზრით სხეულის საშუალო სშმ -ს საზღვარი იმ პირებისთვის,რომლებიც კონტროლირებად გარემოში იმყოფებიან,უნდა იყოს 0.4 ვტ/კგ, ხოლო მოსახლეობისთვის 0.08 ვტ/კგ. შესაძლებელია სხეულის ცენტრალური ადგილების ტემპერატურა გაიზარდოს 1 °C -ზე მეტით,თუმცა საშუალო ველი არ აჭარბებდეს მთლიანი სხეულის სშმ საზღვარს.რომ გაანალიზდეს ეს სიტუაციაც საჭირო ხდება ლოკალური ველის საზღვრების დადგენა.ზოგადად,ეს საზღვრები უფრო მაღალია ვიდრე სრული სხეულის. ლოკალური ელექტრომაგნიტური ველის მიერ ინდუცირებული ტემპერატურა შეიძლება გაიზარდოს სითბოგამტარობით სხეულის შედარებით გრილი რაიონებისკენ და სისხლის დინებასთან დაკავშირებული გამაგრილებელი სისტემით.ლოკალური ზოგადი სშმ საზღვარი კიდურებისთვის - 4 ვტ/კგ, თავისა და ტანისთვის - 2 ვტ/კგ 10 გ ქსოვილში.

	SAR [W/kg] (Whole Body Average) <small>მთლიანი სხეულის საშუალო</small>	SAR [W/kg] (Head/Trunk) <small>თავი ტანი</small>	SAR [W/kg] (Limbs) <small>კიდურები</small>	Induced E [V/m] (All Tissue)	Induced J [mA/m <sup>2</sup> ] (Central Nervous System)
FCC	0.08	1.6 (1 g)	4 (10 g)	--	--
ICNIRP 2010	0.08	2.0 (10 g)	4 (10 g)	$1.35 \times 10^{-4} f$ (f in Hz)	--
ICNIRP 1998	0.08	2.0 (10 g)	4 (10 g)	--	$f/500$ (f in Hz)

რეკომენდებული „სპეციფიკური შთანთქმის მაჩვენებელი“ - სშმ ( SAR),ინდუცირებული ელექტრული ველი (ელექტრული ველის დაძაბულობა -E(ერთეული -ვოლტი/მეტრი)),ცენტრალურ ნერვულ სისტემაში ინდუცირებული დენი (დენის სიმკვრივე J (ერთეული -მილიამპერი/მეტრი<sup>2</sup>)), ICNIRP -სა და FCC( Federal Communications Commission (შეერთებული შტატების ფედერალური კომუნიკაციების კომისია)) -ს მიერ დადგენილი მონაცემები

## ნერვებისა და კუნთების სტიმულირება

რაც შეეხება კუნთებისა და ნერვების სტიმულირებას,ორივე კომპანიამ, IEEE -მ და ICNIRP -მა აღმოაჩინეს ველის ის საზღვრები,რომლებიც იწვევს მცირე და ხანმოკლე აქტივობებს ცენტრალურ ნერვულ სისტემაში. ICNIRP -ის მიერ რეკომენდებული შიდა(სხეულში აღძრული) E -ელექტრული ველის ზღვრული მნიშვნელობაა -  $1.35 \times 10^{-4} \text{ *f}$  ვ/მ,სადაც f ელექტრომაგნიტური ველის სიხშირეა ჰერცებში. IEEE -ს მიერ დადგენილი საზღვარი აღნიშნულის მსგავსია მცირეოდენი განსხვავებით და მერყეობს  $2.1 \times 10^{-4} \text{ *f}$  ვ/მ-დან  $6.3 \times 10^{-4} \text{ *f}$  ვ/მ -მდე,იმისდა მიხედვით თუ სხეულის რომელი ნაწილი განიხილება.

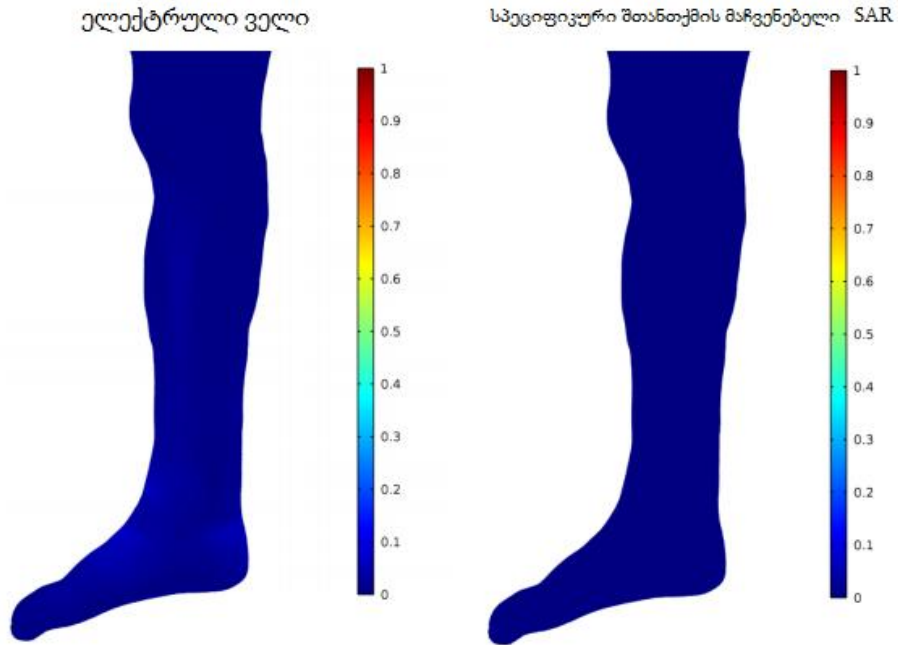
## ადამიანის სხეულის მოდელები

WiTricity კორპორაციამ შექმნა ადამიანის სხეულის ზუსტი ბადისებრი,სამგანზომილებიანი მოდელი.

ერთ-ერთ მაგალითი ადამიანის სხეულის მოდელების სიმულაციისა წარმოადგენს სიტუაციას,როცა ადამიანი დგას ავტომობილთან ახლოს,რომელიც სადენის გარეშე იტენება.სიმულაცია ჩატარდა სისტემაზე,რომელიც მუშაობდა 145 კილოჰერცზე და გადასცემდა 3,3 კილოვატს. ამ შემთხვევაში ადამიანის ფეხი მოექცევა ავტომობილთან ყველაზე ახლოს(დაახლოებით 65 სმ უსადენო დამტენი სისტემიდან) და აღმოჩნდება უდიდესი მაგნიტუდის მქონე ველის ქვეშ.ამიტომ სიმულაციისთვის ადამიანის სხეულიდან სწორედ ფეხი იქნება დაკვირვების ობიექტი. ელექტრომობილი მოდელირებულია, როგორც ალუმინის ბლოკი.დათვლილია როგორც სხეულში შედგენილი ელექტრული ველი,ისე სშმ (SAR).ორივე მათგანი მოცემულია ყველაზე მკაცრ სტანდარტებთან შედარებით( ICNIRP ელექტრული ველისთვის და FCC სშმ-სთვის). გაზომვების შედეგად დაფიქსირებული უდიდესი ელექტრული ველი არის -19 დეციბელი (dB), ხოლო სშმ - -36.თუმცა ავტომობილის დამტენი მაღალ რეზონანსული სისტემა უსაფრთხოა,ვინაიდან ავტომობილთან მდგარი ადამიანებისთვის შიდა E-ველი და სშმ ზემოაღწერილ ნორმებზე დაბალია.



ელექტრომობილის აკუმულატორის უსადენოდ დატენვა



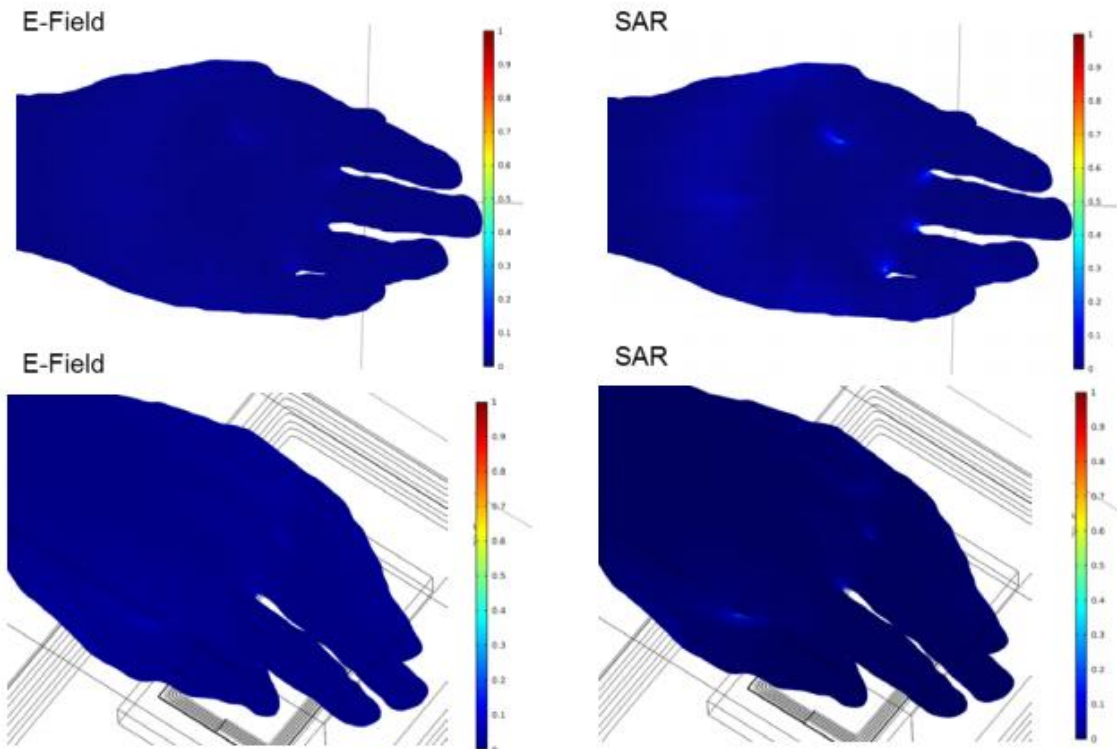
დათვლილი ელექტრული ველი და სპეციფიკური შთანთქმის კოეფიციენტი ადამიანის ფეხისთვის, რომელიც იმყოფება ელექტრომობილის სიახლოვეს დატენვის პროცესში. ავტომობილი იტენება 3,3 კილოვატი სიმძლავრით. მონაცემები დაანგარიშებულია ყველაზე მკაცრად განსაზღვრული სტანდარტების გათვალისწინებით (ICNIRP ელექტრული ველისთვის და FCC სშმ-სთვის)



სმარტ ფონის ბატარეის უსადენოდ დატენვა (~ 5 ვატი გადაეცემა უკაბელოდ)

მეორე მაგალითს წარმოადგენს მობილური ტელეფონის უსადენოდ დატენვა. ამ კონკრეტულ შემთხვევაში სისტემა მუშაობს 6,78 მეგაჰერცზე და ტელეფონი იღებს 5 ვატს. გეომეტრიული განლაგება შემდეგია: ტელეფონი მოთავსებულია სპეციალური დამტენი სადგამის, პადის ზემოთ ადამიანის ხელში, რომელიც ტელეფონის ზემოთაა მოქცეული. ყველაზე მძლავრი ველები თავს იყრის ხელისგულის მიდამოში. მოცემულ ზედა სურათზე გამოსახულია დაანგარიშებული ელექტრული ველი და სპეციფიკური შთანთქმის კოეფიციენტი ხელისგულისათვის, ქვედა სურათზე კი ხელის მტევნის უკანა ნაწილისათვის. ზოგადად, როცა სამუშაო სიხშირე იზრდება, იმატებს სშმ-ც, ხოლო ელექტრული ველი მცირდება. ეს ნათლად ჩანს ცდებიდან, სადაც უდიდესი ელექტრული ველი დაფიქსირდა - 20 დბ, ხოლო სშმ - სტანდარტთან ახლოს. იგივე ცდა ჩატარდა 250 კჰერცისთვის, შედეგი კი საპირისპირო აღმოჩნდა. კერძოდ E-ველი სტანდარტების ფარგლებში, ხოლო სშმ ნორმაზე საკმაოდ დაბალი. შევნიშნოთ, რომ მაღალრეზონანსული მობილური ტელეფონის დამტენი სისტემა სრულიად უსაფრთხოა ადამიანებისთვის, ვინაიდან შიდა E-ველისა და სშმ დონეები დადგენილ სტანდარტებზე საკმარისად დაბალია.





დათვლილი ელექტრული ველი და სპეციფიკური შთანთქმის კოეფიციენტი ადამიანის ხელის მტევნისათვის, რომელიც დატენვის პროცესში მყოფ ტელეფონზე დაყრდნობილი. მობილური ტელეფონი უსადენოდ იტენება 5 ვატიტ. მონაცემები დაანგარიშებულია ყველაზე მკაცრად განსაზღვრული სტანდარტების გათვალისწინებით (ICNIRP ელექტრული ველისთვის და FCC სშმ-სთვის)

## გამოყენების სფეროები

მაღალ რეზონანსულ უსადენო ენერჯის გადაცემაზე ინტერესი გამოწვეულია მრავალი საბაზრო მოთხოვნილებიდან. ამ ტექნოლოგიის გამოყენების მოტივები შეიძლება ჩამოვაცალიბოთ შემდეგი სახით:

1. დანადგარები მყიდველისთვის გახდეს უფრო მოსახერხებელი და სასურველი კაბელებისა და დამტენი მოწყობილობების გაუქმების ხარჯზე.
2. ელექტრულ სისტემებში მოფენილი სადენებისა და კონტაქტების ხმარებიდან ამოღებით მოწყობილობები გახდეს უფრო სანდო.
3. ტექნიკური ნაწარმი გახდეს ეკოლოგიურად უფრო სუფთა ერთჯერადი ბატარეების შემცირების გზით.
4. ელექტრული სისტემები გახდეს უფრო უსაფრთხო გამტარების ისეთი გაერთიანებების შემცირებით, რომლებიც შეიცავენ მოკლე ჩართვებისა თუ სხვა ავარიების რისკებს. მოიხსნას



კაბელები, რომლებიც გადის სახლების სახურავებში, კედლებსა თუ სხვა ადგილებში, რაც სისტემებს გახდის უფრო წყალგაუმტარსა და ცეცხლგამძლეს.

5. შემცირდეს სისტემების ფასი მრავალი მოწყობილობის ერთი კვების რეზონატორიდან მომარაგების ხარჯზე.

WiTricity კორპორაციის პროდუქტის გამოყენება საჭირო სიმძლავრის მიხედვით იცვლება ისეთი ელექტრული სისტემებიდან, რომლებსაც ჭირდებათ 1 ვატზე ნაკლები, ისეთ მძლავრ ინდუსტრიულ სისტემებამდე და ელექტრომობილებამდე, რომლებიც 3 კილოვატზე მეტს მოითხოვენ. გარდა ამისა, WiTricity სისტემა შეიძლება გამოყენებულ იქნას შემდეგი ორი გზით:

ა) “უსადენო პირდაპირი კვება“, რომელშიც მიმღების მიერ „ჩაჭერილი“ ენერგია პირდაპირ უკავშირდება დატვირთვას (მაგალითად, შუქდიოდური ნათურები).

ბ) “უსადენო დატენვა“, სადაც მიღებული ენერგიით იტენება ბატარეა ან სუპერ კონდენსატორი.

## სამომხმარებლო ელექტრონიკა



### **ლეპტოპისა (მარცხნივ) და D-Cell ბატარეის(მარჯვნივ) უსადენოდ დატენვა**

პირველ სურათზე ნაჩვენებია ლეპტოპი, რომელიც უსადენოდ იკვებება კორპის დაფის უკან მოთავსებული რეზონატორით, რომელიც მას აწვდის 20 ვატს 40 სმ მანძილზე. ამ შემთხვევაში წყარო და მიმღები ერთმანეთის მიმართ პერპენდიკულარულად არიან მოთავსებული. ანალიტიკოსები ვარაუდობენ, რომ შორ მანძილებზე მოწყობილობების დატენვისა და სივრცეში თავისუფალი ორიენტაციის უნარის გამო უსადენო დამტენ სისტემებს 2020 წლისთვის მსოფლიო სავაჭრო ქსელების 80% გაიტანს გასაყიდად.

## სამედიცინო მოწყობილობები

უსადენო დამტენი სისტემები გამოიყენება ისეთ სამედიცინო აპარატურაში როგორცაა: მარცხენა პარკუჭოვანი დამხმარე მოწყობილობის (Left ventricular assist device (LVAD) ) გულის მასტიმულირებელი ტუმბოები, კარდიოსტიმულატორები და ინფუზიური (ჩანერგილი) ტუმბოები. HR-WPT ტექნოლოგია გამორიცხავს ადამიანი სხეულში მოთავსებული ძირითადი ბატარეის ქირურგიული გზით შეცვლას.



უსადენო დამტენი სამედიცინო მოწყობილობები: მარცხენა პარკუჭოვანი დამხმარე მოწყობილობა(LVAD) (მარცხნივ) და კარდიოსტიმულატორები (მარჯვნივ)

## ელექტრული სატრანსპორტო საშუალებები

უსადენო დამტენი მოწყობილობები ვითარდება ჰიბრიდული და ელექტრომანქანებისთვის. ამ სისტემებში უკვე გადაცემულ იქნა 3,3 კვატი მაღალი ეფექტურობით 10სმ -20სმ მანძილზე. ეს სისტემა მეტად გაამარტივებს მანქანის ბატარეის დატენვას და ძალზედ მიმზიდველს გახდის მომხმარებელთათვის. სურათზე ნაჩვენებია აუდის მიერ 2012 წლის აპრილში დემონსტრირებული ავტომობილი.



აკუმულატორის უსადენოდ დატენვა სრულად ელექტრო და ჰიბრიდულ ავტომობილებში

## LED განათება

LED (სინათლის გამომსხივებელი დიოდები) ნათურები შეიძლება პირდაპირ ვკვებით უსადენო ელექტრობის წყაროთი, რაც ამცირებს ბატარეების გამოყენებას. ასევე ხელს უწყობს არქიტექტურული

განათების დიზაინერებს შექმნან ვითომდა ჰაერში მოტივტივე პროდუქტები კაბელების გარეშე.სურათზე მარცხნივ ნაჩვენებია LED არმატურა,რომელიც იკვებება ჭერს ზემოთ დამონტაჟებული წყაროდან 10 ვატით,ასევე გამოყენებულია ორი რეზონანსული განმმეორებელი (თეთრი დაფები) ენერჯის გადაცემის ეფექტურობის გასაზრდელად.



**LED ნათურები, რომლებიც პირდაპირ იკვებებიან HR-WPT სისტემის მიერ**

## თავდაცვის სისტემები

თავდაცვის სისტემების დიზაინერები იყენებენ უსადენო დატენვას სანდოობის, ეგრონომიკის (მეცნიერება,რომლის მიზანია შექმნას ადამიანის ყოფა-ცხოვრებისთვის ოპტიმალური სისტემა) და ელექტრონული დანადგარების უსაფრთხოების გასაუმჯობესებლად. სურათზე ნაჩვენებია ტელე-მართვადი რობოტი,რომელიც აღჭურვილია უსადენო დამტენი სისტემით,ამიტომ ის შეიძლება დაიტენოს გზაში,მისი ტრანსპორტირების დროს. ჩაფხუტში დამონტაჟებული ელექტრონიკა,მაგალითად ლამის ხედვის მოწყობილობა და რადიო სისტემები შეიძლება დაიტენოს უსადენოდ ჯარისკაცის ჟილეტში ჩამონტაჟებული პაკეტიდან. ეს კი ჯარისკაცს უფრო მოქნილსა და თავისუფალს გახდის.

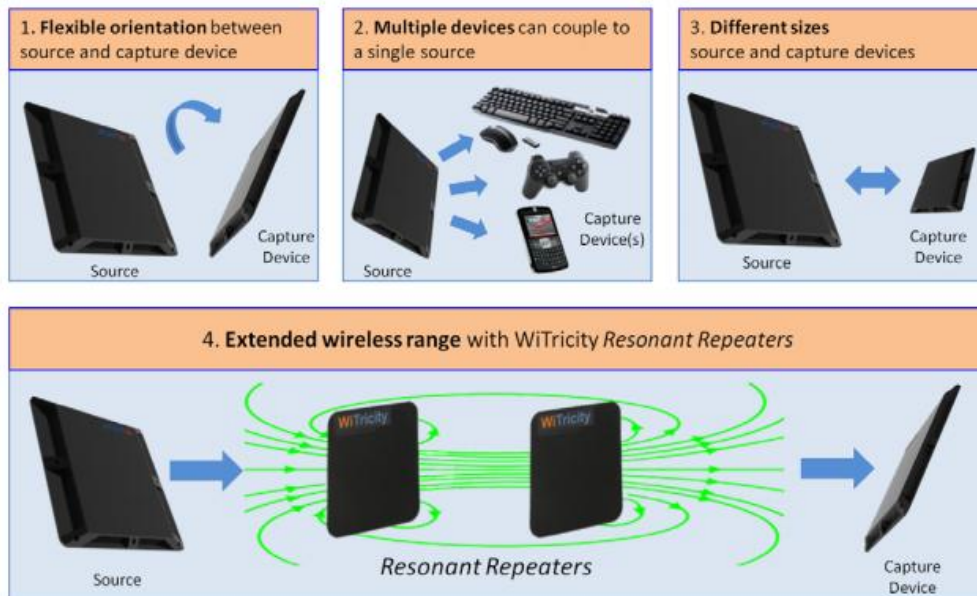


**უსადენო დამტენი სისტემის გამოყენება სამხედრო საქმეში: სამხედრო რობოტი (მარცხენა) და ჯარისკაცის აღჭურვილობა (მარჯვნივ)**

# სარგებლიანობა

HR-WPT სისტემის ოთხი მთავარი ფუნქციური სარგებელი, რომელიც შეიძლება გამოვყოთ ტრადიციულ ელექტრომაგნიტურ ინდუქციასთან შედარებით:

- 1) წყაროსა და მიმღები მოწყობილობის მოქნილი სივრცითი ორიენტაცია. ეს თვისება WiTricity -ს უფრო მოსახერხებელსა და ადვილად გამოსაყენებელს ხდის.
- 2) მხოლოდ ერთადერთი წყაროთი შეიძლება ვკვებოთ ერთზე მეტი ხელსაწყო, მაშინაც კი თუ ისინი სხვადასხვა სიმძლავრეს მოითხოვენ.
- 3) სისტემას შეუძლია მუშაობა მაშინაც, როცა მაგნიტური შეწყვეილება დაბალია, ამიტომ არაა აუცილებელი გადამცემი და მიმღები ერთმანეთის მსგავსი იყოს.
- 4) ენერჯის გადაცემის დისტანცია შეიძლება საკმაოდ გაიზარდოს რეზონანსული განმმეორებლების დახმარებით, რომლებიც ხელს უწყობენ ენერჯის ეფექტურად გადაცემას.



მაგნიტურ რეზონანსზე დაფუძნებული უსადენო ენერჯის გადაცემის ოთხი ფუნქციური სარგებელის სქემატური წარმოდგენა

## გამოყენებული ლიტერატურა

მასალა აღებულია და თარგმნილია ვებ-გვერდებიდან:

<http://witricity.com/>

- witricity კორპორაციის ოფიციალური ვებ-გვერდი

<http://witricity.com/pdfs/highly-resonant-power-transfer-kesler-witricity-2013.pdf>

- witricity კორპორაციის ვებ-გვერდზე მოთავსებული წიგნი:

დოქტორი მორის კესლერი, WiTricity კორპორაცია -

„მაღალ რეზონანსული უსადენო ენერჯის გადაცემა: უსაფრთხოება და ეფექტურობა მეტ მანძილებზე“

Dr. Morris Kesler, WiTricity Corporation –

Highly Resonant Wireless Power Transfer: Safe, Efficient, and over Distance

