مقاله

انتقال انرژی بی‌سیم با تکیه بر استفاده از امواج فراصوتی

سجاد احسان بخش
دانشجوی کارشناسی ارشد
دانشگاه صنعتی اصفهان
s.ehsanbakhsh@me.iut.ac.ir

رضا تیکنی
استادیار دانشکده مهندسی مکانیک
دانشگاه صنعتی اصفهان
r_tikani@cc.iut.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۰۲/۳۰ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۰۷/۱۹

چکیده

انتقال انرژی آکوستیک روشی از انتقال انرژی بدون تماس است که در آن از امواج فراصوتی برای انتقال انرژی بی‌سیم استفاده می‌شود. از مزایای این روش نسبت به روش‌های مبتنی بر امواج الکترومغناطیسی به‌خصوص روش القاء مغناطیسی می‌توان به سه مورد اشاره کرد: برای زمانی که فاصله‌ی بین گیرنده و فرستنده نسبت به ابعاد آنها بزرگ‌تر باشد مناسب است، محدوده‌ی فرکانسی استفاده شده پایین‌تر است و تلفات انتقال کمتر می‌باشد. تحقیقات انجام شده در این حوزه در دو بخش انتقال توان بالا و انتقال توان پایین تقسیم‌بندی شده است. در حوزه‌ی انتقال توان بالا، بخش عمده‌ی پژوهش‌ها به استفاده از محیط فلزی برای انتقال انرژی با توان بالا و انتقال داده با نرخ بالا متمرکز است. در حوزه‌ی انتقال توان پایین، بخش عمده‌ی پژوهش‌ها مربوط به تأمین توان مورد نیاز کاشتینه‌های[1] پزشکی است که داخل بدن موجودات زنده قرار می‌گیرد. در این مقاله به تحقیقات انجام شده در مورد سیستم‌های انتقال انرژی بی‌سیم مبتنی بر امواج آکوستیک با محوریت سیستم‌های انتقال توان پایین، کاربرد و روند تکمیل و توسعه‌ی آنها پرداخته شده است.

واژگان کلیدی: انتقال انرژی آکوستیک، انتقال انرژی الکترومغناطیسی، انتقال انرژی بی‌سیم، کاشتینه‌های پزشکی، سیستم‌های انتقال توان پایین

۱. مقدمه

انتقال انرژی بی‌سیم[2] فرآیندی است که در آن انرژی الکتریکی از یک منبع برق به یک مصرف‌کننده منتقل می‌شود بدون آنکه هیچ اتصالی از نوع سیم در کار باشد. انتقال بی‌سیم در مواردی استفاده می‌شود که انتقال انرژی به‌طور لحظه‌ای یا پیوسته مورد نیاز است اما اتصال از طریق سیم خطرناک یا غیرممکن است. ایده‌ی انتقال انرژی الکتریکی به‌صورت بی‌سیم تقریبا به اندازه‌ی تولید برق قدمت دارد. در اوایل قرن بیستم فیزیک‌دان و مهندس الکترونیک مشهور نیکلا تسلا اختراعی را ثبت کرد که در آن به توصیف دستگاهی پرداخته بود که قادر بود انرژی الکتریکی را از طریق یک رسانا و بدون نیاز به سیم منتقل کند. تسلا تحقیقات زیادی در این زمینه انجام داد و در نهایت به یک روش عملی برای انتقال انرژی بی‌سیم دست یافت. تسلا پیشنهاد کرد که از سیم‌پیچ‌های بزرگ برای انتقال برق

از طریق لایه‌ی تروپوسفر جو به خانه‌ها استفاده شود. در ادامه تسلا اقدام به ساخت برجی در نیویورک کرد. این برج یک برج مخابراتی بسیار بزرگ بود که تسلا با استفاده از آن می‌توانست ایده‌ی انتقال بی‌سیم جریان برق را به‌صورت عملی آزمایش کند، اما به خاطر این‌که حامیان مالی دست از حمایت او برداشتند موفق به ادامه‌ی کار نشد [۱]. پس از تسلا، در دهه‌ی ۱۹۶۰ ایده‌ی دیگری برای انتقال انرژی الکتریکی به‌صورت بی‌سیم مطرح شد. تعدادی از محققان ایده‌ی استفاده از یک بالگرد مینیاتوری را مطرح کردند که انرژی مورد نیاز خود را از امواج ماکروویوی دریافت می‌کرد که از زمین برای آن ارسال می‌شد. این ایده به دو دلیل مورد استفاده قرار نگرفت؛ دلیل اول این بود که اجرای این طرح نیاز به زیرساخت‌های گران‌قیمتی داشت و دلیل دوم نگرانی در مورد استفاده از امواج پرقدرت ماکروویو بود که می‌تواند برای انسان مضر باشد. نظریه‌ی انتقال انرژی الکتریکی به‌وسیله‌ی امواج رادیویی پس از نظریه‌ی تسلا مهم‌ترین نظریه‌ای بود که در مورد انتقال انرژی الکتریکی به‌صورت بی‌سیم مطرح شد.

استفاده از امواج صوتی برای انتقال انرژی بی‌سیم در سال ۱۹۵۸ توسط راسن[3] و همکارانش ارائه شد [۲]. اساس کار این روش به این صورت است که انرژی الکتریکی توسط مبدل فراصوتی به امواج صوتی تبدیل شده و این امواج در یک محیط رسانای صوت منتقل شده و در نهایت توسط یک مبدل دیگر دریافت و به انرژی الکتریکی تبدیل می‌شود.

۲. انواع سیستم‌های انتقال انرژی بی‌سیم

سیستم‌های انتقال انرژی بی‌سیم از نقطه نظر تبدیل انرژی الکتریکی به امواج قابل انتقال بدون استفاده از سیم، به دو دسته تقسیم می‌شوند: سیستم‌های مبتنی بر امواج الکترومغناطیسی و سیستم‌های مبتنی بر امواج آکوستیک. سیستم‌های مبتنی بر امواج الکترومغناطیس براساس فاصله‌ای که انتقال انرژی در آن صورت می‌گیرد به دو دسته‌ی دور میدان و نزدیک میدان تقسیم می‌شوند.

۲-۱.سیستم‌های مبتنی بر امواج الکترومغناطیسی دور میدان

انتقال بی‌سیم انرژی برای فواصل دور به دو صورت استفاده از امواج ماکروویو و لیزر امکان‌پذیر است. این دو روش تفاوت بنیادی با هم ندارند، در هر دو حالت توان منبع به میدان‌های الکترومغناطیسی تشعشعی تبدیل می‌شود و این میدان‌ها در گیرنده دریافت و دوباره به جریان الکتریکی تبدیل می‌شود. تفاوت این دو روش در طول موج امواج مورد استفاده است.

۲-۱-۱. انتقال انرژی بی‌سیم از طریق امواج ماکروویو

طول موج ماکروویو در محدوده‌ی ۳۰-۰/۳ سانتی‌متر بوده و قادر است از مه، برف، باران و ابر عبور کند. در این روش جریان الکتریکی DC توسط مگنترون به امواج ماکروویو تبدیل می‌شود و توسط یک آنتن ارسال می‌گردد، در سمت گیرنده یک رکتانا[4] (آنتن و یکسوکننده‌ی مجتمع) امواج ماکروویو را دریافت و دوباره به جریان DC تبدیل می‌کند. به این ترتیب انرژی الکتریکی بدون استفاده از سیم منتقل می‌شود. برای فواصل کوتاه (کمتر از ۴۰ کیلومتر) که آنتن فرستنده و گیرنده در دید مستقیم هم قرار دارند، می‌توان انرژی را بدون واسطه از فرستنده به گیرنده ارسال کرد، ولی در فواصل دورتر برای جبران انحنای زمین باید از یک منعکس کننده بین فرستنده و گیرنده استفاده کرد به‌گونه‌ای که توسط هر دو قابل رؤیت باشد [۳]. لازم به‌ذکر است که در طول موج امواج ماکروویو، امواج الکترومغناطیسی در همه‌ی فضا پخش می‌شود و بخش زیادی از توان ارسالی در فضا تلف می‌شود. مشکلات این سیستم اولا ساختی تولید میکرو موج و ثانیا محدوده‌ی فرکانسی مورد استفاده است. اندازه‌ی فرستنده و گیرنده باید از مرتبه‌ی طول موج باشد،

در نتیجه زمانی‌که ابعاد سیستم در محدوده‌ی سانتی‌متر باشد فرکانس مورد نیاز باید در محدوده‌ی ۱۰ گیگا هرتز باشد [۴-۵].

۲-۱-۲. انتقال انرژی بی‌سیم از طریق لیزر

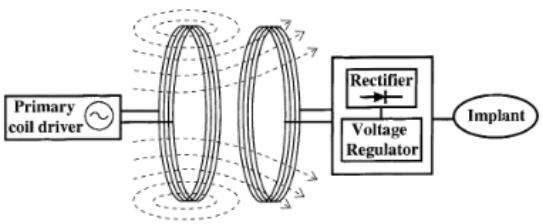
سیستم‌های انتقال انرژی مبتنی بر لیزر[5] اولین بار برای تکنولوژی ماهواره‌ای انرژی خورشیدی مطرح شد. مزیت عمده‌ی این سیستم‌ها این است که در ابعاد کوچک‌تر نسبت به سیستم‌های مبتنی بر امواج ماکروویو قابل اجرا هستند. درحالی‌که آنتن‌های فرستنده و گیرنده در سیستم‌های مبتنی بر ماکروویو در ابعاد کیلومتر است، سیستم‌های مبتنی بر لیزر در ابعاد متر ساخته می‌شوند [۶]. مانع بزرگ بر سر راه این سیستم‌ها تلفات فضای آزاد است که در صورت بارندگی قابل توجه خواهد بود. مزیت استفاده از پرتو لیزر این است که چون در طول موج نور مرئی عمل می‌کند به خاطر پراش رخ داده از ذرات هوا می‌توان آن را با چشم مشاهده کرد. اما امواج ماکروویو نامرئی بوده و تنها با اثرات گرمایی می‌توان آن را حس کرد [۵].

۲-۲.سیستم‌های مبتنی بر امواج الکترومغناطیسی نزدیک میدان

القاء مغناطیسی و تشدید مغناطیسی روش‌هایی هستند که می‌توانند انرژی را در فواصل کوتاه منتقل کنند. از آن‌جا که اغلب برهم‌کنش ضعیفی با سایر میدان‌ها دارند انتقال انرژی با این روش اثر مخرب بر محیط اطراف نخواهد داشت و این یکی از مزیت‌های این روش نسبت به روش‌های تشعشعی است. مزیت دیگر این روش آن است که به خاطر غیر تشعشعی بودن میدان ایجاد شده بازدهی بالاتر است، چراکه مقداری از انرژی که توسط گیرنده دریافت نمی‌شود در محدوده‌ی اطراف فرستنده باقی می‌ماند.

۲-۲-۱. انتقال انرژی بی‌سیم به روش القاء مغناطیسی[6]

در این روش میدان مغناطیسی حاصل از جریان الکتریکی موجود در یک سیم‌پیچ می‌تواند جریانی را در سیم‌پیچ دیگری که توسط میدان احاطه شده است القاءکند. از این روش می‌توان برای شارژ کردن دستگاه‌های مختلف مانند مسواک برقی که اغلب با آب در تماس بوده و انتقال انرژی از طریق سیم خطرناک است، استفاده کرد. مشکلات عمده‌ی این روش اولا فاصله‌ی بین فرستنده و گیرنده است که برای بازده قابل قبول بایستی از مرتبه‌ی ابعاد فرستنده و گیرنده یا کوچک‌تر باشد [۴]، و ثانیا این سیستم معمولا در فرکانس‌هایی در محدوده‌ی مگاهرتز کار می‌کند که موجب تلفات زیاد توان الکتریکی می‌شود. برای بهبود بازده از روش تشدید مغناطیسی[7] استفاده می‌شود [۵] و[۷]. شکل ۱ نشان‌دهنده‌ی انتقال انرژی به روش القاء مغناطیسی است.

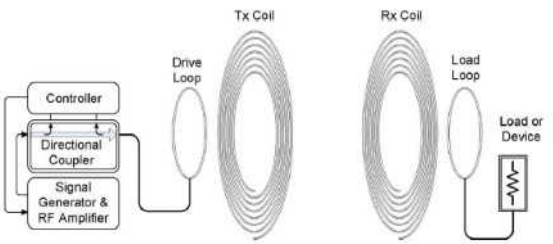


شکل ۱. سیستم انتقال به روش القاء مغناطیسی [۸].

۲-۲-۲. انتقال انرژی بی‌سیم به روش تشدید مغناطیسی

اساس کار این روش استفاده از سیم‌پیچ متصل به خازن است. انرژی در مدار به سرعت بین یک میدان الکتریکی در خازن و یک میدان مغناطیسی در سیم‌پیچ نوسان می‌کند. فرکانس این نوسان توسط توانایی خازن برای ذخیره‌ی بار و قابلیت سیم‌پیچ برای تولید یک میدان مغناطیسی کنترل می‌شود، اگر فرکانس در مدار فرستنده با گیرنده متفاوت باشد تشدید اتفاق نمی‌افتد و نتیجه این خواهد بود که انرژی ارسالی از

سوی فرستنده هم‌فاز با انرژی موجود در گیرنده نخواهد بود و این دو یکدیگر را خنثی می‌کنند. اما اگر فرستنده و گیرنده در حالت تشدید باشند، میدان‌ها در دو سیم‌پیچ هم‌فاز خواهند بود که این به معنی تداخل سازنده‌ی آنها است و مقدار انرژی منتقل شده افزایش می‌یابد [۵] و[۷]. فاصله‌ی بین فرستنده و گیرنده در روش تشدید مغناطیسی نسبت به روش القاء مغناطیسی می‌تواند بیشتر باشد بدون این‌که بازده انتقال کاهش یابد. شکل ۲ نشان‌دهنده‌ی سیستم انتقال به روش تشدید مغناطیسی است. همان‌طورکه در شکل ۱ و ۲ مشاهده می‌شود فاصله‌ی بین فرستنده و گیرنده در روش تشدید مغناطیسی نسبت به روش القاء مغناطیسی می‌تواند بیشتر باشد بدون این‌که بازده کاهش یابد.



شکل ۲. سیستم انتقال به روش تشدید مغناطیسی [۹].

۲-۳. سیستم‌های مبتنی بر امواج آکوستیک

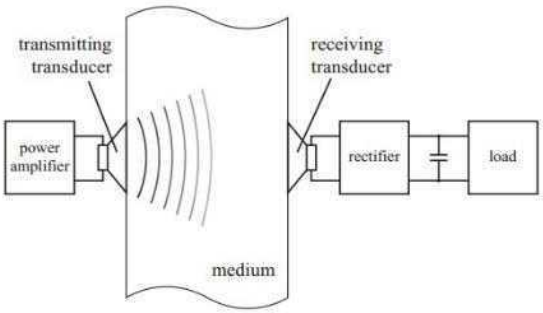
انتقال انرژی از طریق امواج آکوستیک[۸] (AET) در مقایسه با روش‌های مبتنی بر یک میدان الکترومغناطیسی، یک روش به نسبت جدید برای انتقال انرژی بی‌سیم است که از امواج صوتی و فراصوتی استفاده می‌کند. از آن‌جا که در این سیستم از امواج صوتی استفاده می‌شود جایگزین مناسبی برای سیستم‌های انتقال انرژی بی‌سیم مبتنی بر امواج الکترومغناطیسی است و می‌تواند مشکلات موجود در این روش‌ها را حل کند. با این حال هنوز سیستم AET در مراحل اولیه‌ی تکامل خود بوده و در مقایسه با سایر روش‌های انتقال انرژی بی‌سیم توسعه‌ی کمتری پیدا کرده است.

۲-۳-۱. نحوه‌ی کارکرد یک سیستم AET

سیستم AET بر پایه‌ی امواج صوتی و ارتعاش مبدل‌های فراصوتی کار می‌کند. اجزاء اصلی یک سیستم AET عموما عبارتند از: فرستنده، گیرنده و یکسوساز.

فرستنده و گیرنده در این سیستم، مبدل‌های فراصوتی[۹] بوده که با استفاده از خواص مواد پیزوالکتریک تعبیه شده در داخل آنها انرژی الکتریکی را به امواج صوتی و بالعکس تبدیل می‌کند. لازم به ذکر است در مواردی که هدف استفاده از این سیستم‌ها، ذخیره‌ی انرژی الکتریکی است، باتری‌های قابل شارژ نیز در این سیستم‌ها استفاده می‌شود.

از سیستم AET در هر محیطی که رسانای امواج صوتی باشد می‌توان استفاده کرد، ولی بیشتر در محیط‌هایی مانند آب، هوا، بافت جانوری و دیواره‌ی فلزی استفاده می‌شود [۱۰]. شکل ۳ حالت کلی یک سیستم AET را نشان می‌دهد.



شکل ۳. نمای کلی از سیستم AET [۱۰].

روند انتقال انرژی در این سیستم به صورت زیر است:

با اعمال ولتاژ به فرستنده، امواج آکوستیک تولید می‌شود. امواج تولید شده در یک محیط رسانای صوت انتشار یافته و به گیرنده برخورد می‌کند، این برخورد باعث ایجاد کرنش در گیرنده می‌شود. کرنش باعث ایجاد اختلاف پتانسیل در ماده پیزوالکتریک و در نهایت تولید جریان الکتریکی می‌شود. جریان تولید شده توسط یکسوساز به جریان مستقیم تبدیل شده و باعث شارژ شدن باتری می‌شود.

۲-۳-۲. مزایای سیستم AET

با وجود این‌که روش‌های انتقال انرژی بی‌سیم مبتنی بر امواج الکترومغناطیس نسبت به روش AET قدیمی‌تر می‌باشند ولی روش AET مزیت‌هایی نسبت به این روش‌ها دارد که در ادامه به مهم‌ترین آنها اشاره می‌شود. در روش‌های مبتنی بر امواج الکترومغناطیس اگر محیط انتقال رسانای الکتریسیته باشد (مانند محیط فلزی) در اثر میدان مغناطیسی متغیر جریان گردابی یا فوکو[۱۰] ایجاد می‌شود. جریان گردابی یک میدان مغناطیسی القائی ایجاد می‌کند که طبق قانون لنز با تغییر میدان مغناطیسی اولیه مقابله کرده و باعث اتلاف انرژی به‌صورت گرما می‌شود. لذا به‌خاطر وجود جریان گردابی انتقال انرژی بی‌سیم در یک محیط فلزی به روش امواج الکترومغناطیس امکان‌پذیر نیست. بهترین روش برای انتقال انرژی در محیط فلزی استفاده از سیستم AET می‌باشد چراکه در این روش جریان گردابی تشکیل نمی‌شود [۱۱-۱۲].

روش AET بر خلاف روش القاء مغناطیسی برای زمانی مناسب است که فاصله‌ی گیرنده و فرستنده نسبت به ابعاد آنها خیلی بزرگ باشد. از آن‌جا که سرعت انتشار صوت در هوا و بافت موجودات زنده نسبت به سرعت انتشار میدان الکترومغناطیسی خیلی کمتر است، بنابراین امواج صوتی در یک فرکانس معلوم طول موج کمتری خواهند داشت، پس ابعاد فرستنده و گیرنده می‌تواند در این روش کوچک‌تر باشد [۱۰].

۳. کاربردهای انتقال انرژی بی‌سیم

از تکنولوژی انتقال بی‌سیم انرژی الکتریکی می‌توان در کاربردهای گوناگون استفاده کرد. به‌طورکلی این تکنولوژی به دو صورت به‌کار گرفته می‌شود:

استفاده‌ی مستقیم از انرژی الکتریکی: انرژی الکتریکی به‌صورت مستقیم برای تأمین برق دستگاه استفاده می‌شود. به این ترتیب تمام انرژی الکتریکی مورد نیاز دستگاه به‌صورت بی‌سیم به خود دستگاه منتقل می‌شود. در این حالت باتری وجود ندارد و برای دستگاه‌هایی که به‌صورت مداوم و ثابت از آنها استفاده می‌شود کاربرد دارد.

انتقال بی‌سیم انرژی الکتریکی به‌صورت خودکار: این روش برای دستگاه‌های مجهز به باتری قابل شارژ کاربرد دارد. در این حالت با استفاده از انرژی الکتریکی به‌صورت بی‌سیم می‌توان دستگاه‌های الکتریکی را شارژ کرد.

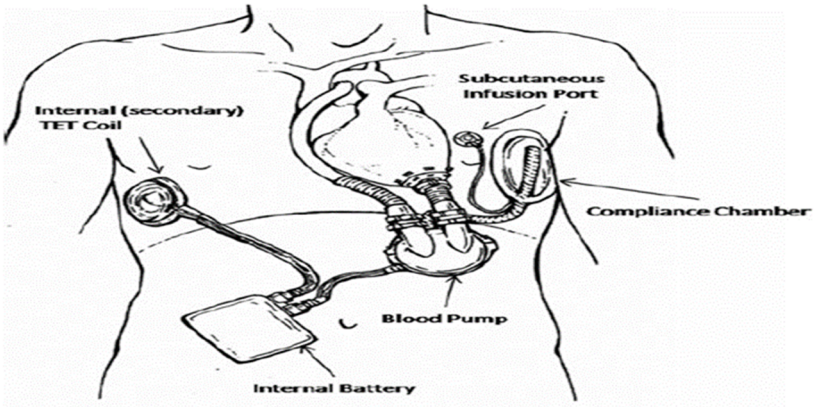
به‌طور خاص، انتقال انرژی بی‌سیم در موارد زیر به‌کار برده می‌شود:

- شارژ وسایل الکترونیکی سیار و متحرک مانند: تلفن همراه، خودرو الکتریکی و...
- تأمین انرژی بی‌سیم به‌صورت مستقیم برای دستگاه‌های ثابت مانند: تلویزیون و..
- استفاده از انتقال بی‌سیم انرژی الکتریکی به‌صورت مستقیم در محیط‌های پرخطر مانند حفاری و مته‌کاری زیر آب [۱۳].
- شارژ بی‌سیم سیستم‌های پیشرفته‌ی نظامی
- باتری‌ها بزرگ‌ترین بخش از ابعاد کاشتینه‌های پزشکی را تشکیل می‌دهند. در کاشتینه‌های اولیه از یک باتری با طول عمر ثابت به عنوان منبع تأمین توان مور نیاز خود، استفاده می‌کردند که باعث ایجاد مشکلاتی برای بیمار می‌شد. سیستم‌های انتقال انرژی بی‌سیم امکان استفاده از باتری‌های قابل شارژ را برای تأمین توان کاشتینه‌های پزشکی فراهم می‌کنند و موجب کاهش ابعاد باتری و کاشتینه‌ها می‌شوند [۱۶-۱۴].

شکل ۴ سیستم قلب مصنوعی را نشان می‌دهد که انرژی مورد نیاز آن توسط سیستم انتقال انرژی از طریق پوست که یکی از روش‌های انتقال انرژی بی‌سیم است به‌صورت زیر تأمین می‌شود:

سیستم انتقال شامل دو سیم‌پیچ داخلی و خارجی است. انرژی به‌وسیله‌ی نیروی مغناطیسی از یک باتری خارجی به آن سمت پوست بدون هیچ آسیب سطحی انتقال داده می‌شود.

سیم‌پیچ داخلی انرژی انتقالی را دریافت کرده و آن را به باتری داخلی و سیستم کنترل می‌فرستد.



شکل ۴. شارژ بی‌سیم قلب مصنوعی [۱۷]

٤. بررسی پژوهش‌های انجام شده در حوزه AET

از آن‌جاکه در روش AET از میدان الکترومغناطیسی استفاده نمی‌شود در پزشکی با استقبال خوبی مواجه شده و بیشتر مطالب منتشر شده در مورد انتقال انرژی آکوستیک مربوط به کاربردهای زیست پزشکی می‌باشند. که برای شارژ کاشتینه‌ها به‌کار می‌روند [۱۵] و [۱۸]. این یک مفهوم جدید نمی‌باشد چراکه اولین استفاده از این روش برای کاربردهای زیست پزشکی به سال ۱۹۸۵ برمی‌گردد، جایی‌که کوچران[11] و همکارانش [۱۴] از آن برای تحریک استخوان‌سازی استفاده کردند.

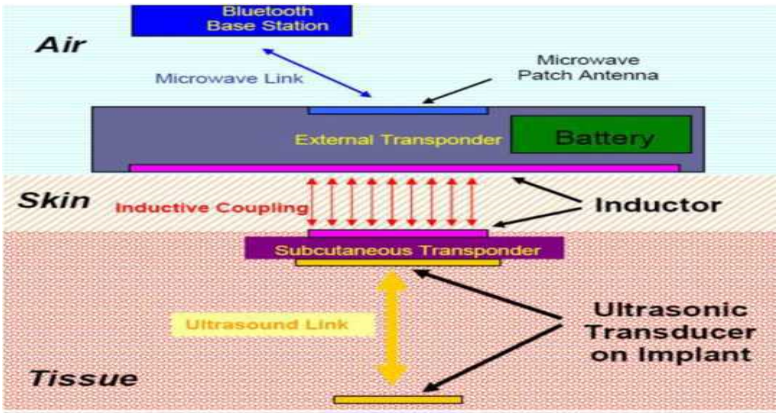
فرکانس‌های به‌کار رفته در اکثر پژوهش‌ها در محدوده‌ی ۲/۲۵– ۰/۵ مگاهرتز می‌باشد. ازری[12] و همکاران بیان می‌کنند که انتخاب فرکانس برای یک سیستم انتقال انرژی آکوستیک زیست پزشکی، مصالحه‌ای بین اتلافات میرایی، اتلافات انکسار و ضخامت مبدل می‌باشد [۱۹]. ماکزیمم بازده تجربی به‌دست آمده در پژوهش‌ها ۳۹/۱ درصد می‌باشد [۲۰]. سطوح توان ایجاد شده معمولا پایین است (محدوده‌ی توان الکتریکی خروجی ۱۰۰ میکرو وات تا ۱۰۰ میلی وات)، ولی با این حال برای تأمین توان یک حسگر ساده کافی می‌باشد.

یتمن[13] و الکسی دسینف[14] [۱۵] به مقایسه‌ی بازده انتقال انرژی قابل حصول یک سیستم انتقال انرژی آکوستیک زیست پزشکی و سیستم القاء مغناطیسی پرداختند. نتایج نشان می‌دهد که برای حالتی که فواصل نسبت به اندازه‌ی کاشتینه بزرگ‌تر باشد، انتقال انرژی آکوستیک نسبت به القاء مغناطیسی دارای عملکرد بهتری می‌باشد.

آررا[15] و همکاران [۲۱] توانستند توان ۸۰ میلی وات را با بازده ماکزیمم ٪۲۵ در فاصله‌ی ۱۰۰ میلی‌متر انتقال دهند. آنها از دریافت کننده‌ی PZT با فرکانس تشدید ۸۴۰ کیلوهرتز استفاده نمودند. آزمایش‌ها نشان داد که تأثیرات بازتاب بین دو مبدل باعث می‌شود تا راندمان به عنوان تابعی از فاصله‌ی بین دو مبدل مطرح شود.

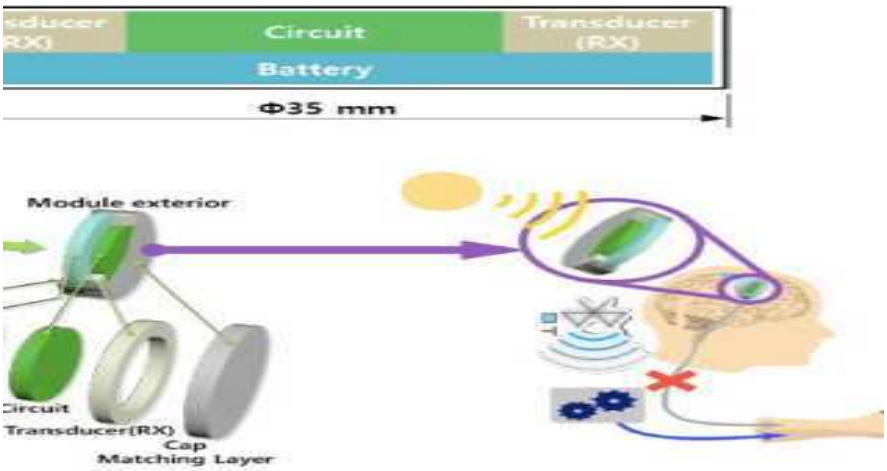
سانی[16] و همکاران [۲۲] از یک رویکرد دو ردیفه برای زمانی‌که فاصله‌ی بین فرستنده و گیرنده زیاد بوده و گیرنده در لایه‌های بافتی عمیق قرار گرفته باشد استفاده کردند،

توان ابتدا توسط القاء مغناطیسی به یک زیرسیستم قرار گرفته زیر پوست منتقل می‌گردد و در ادامه با استفاده از انتقال انرژی آکوستیک توان لازم به دستگاه تعبیه شده در لایه‌های بافتی عمیق‌تر را فراهم می‌کند (شکل ۵).



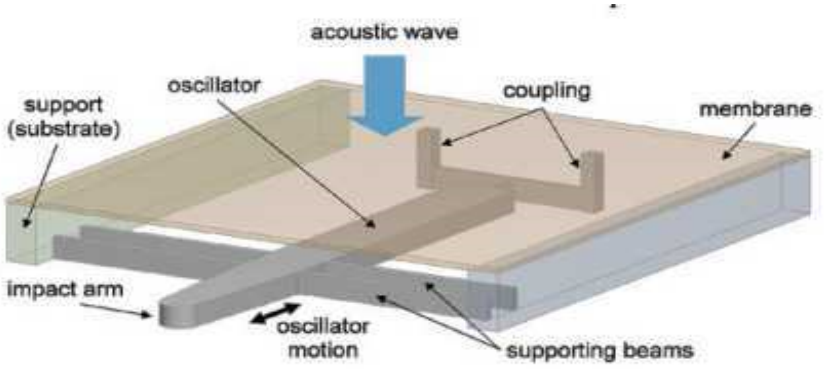
شکل ۵. سیستم دو مرحله‌ای انتقال انرژی [۲۲].

زیرسیستم انتقال انرژی آکوستیک قادر به انتقال ۲۹ میکرو وات در فاصله‌ی ۷۰ میلی‌متر می‌باشد. سانگ[۱۷] و همکارانش [۲۲] یک سیستم AET ارائه کردند که به عنوان بخشی از سیستم ماشین‌های رابط مغز[۱۸] برای تأمین توان الکتریکی مورد نیاز سیستم، قابل استفاده است (شکل ۶).



شکل ۶. سیستم انتقال بی‌سیم استفاده شده در ماشین رابط مغز [۲۳]

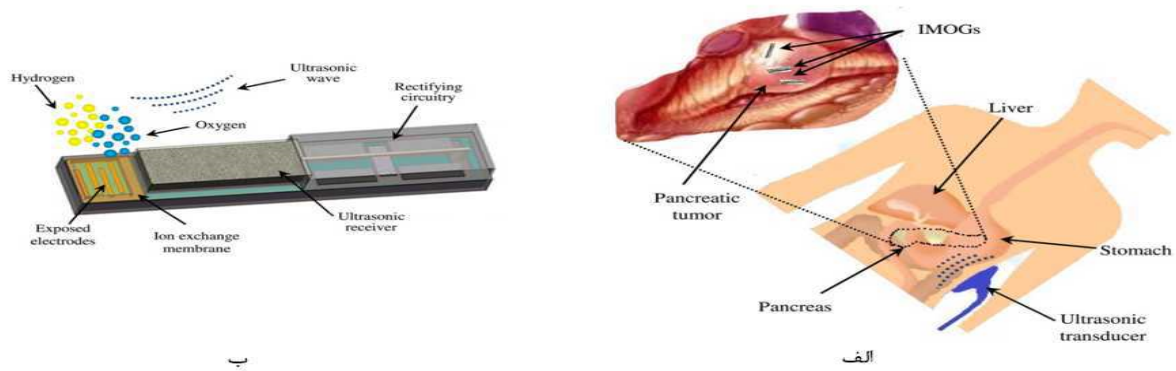
در واقع سیستم AET به عنوان منبع تأمین کننده‌ی توان یک باتری قابل شارژ در ماشین‌های رابط مغز به‌کار گرفته شده است. این سیستم شامل دو مبدل کامپوزیتی فراصوتی است که در دو طرف بافت پوست قرار می‌گیرند. نتایج نشان می‌دهد علاوه‌بر محیط انتقال امواج، فرکانس امواج و فاصله‌ی بین فرستنده و گیرنده نیز در بازده انتقال توان مؤثر هستند [۲۴]. دسینف و یتمن [۱۵] میکروسیستمی را طراحی و اجرا کردند (شکل ۷) که به‌وسیله‌ی انتقال انرژی بی‌سیم، توان مورد نیاز برای کاشتینه‌های پزشکی که در داخل بدن به‌عنوان محرک یا حسگر استفاده می‌شوند را تأمین کنند.



شکل ۷. سیستم انتقال بی‌سیم طراحی شده توسط دسینف و یتمن [۱۵]

این سیستم که کاملا مکانیکی است، یک نوسان‌گر بوده که توسط امواج فراصوتی از راه دور تحریک شده و در هر سیکل ارتعاشی، ضربه‌ای به محرک وارد می‌کند و بدین ترتیب انرژی مکانیکی را منتقل می‌کند. مکانیسم این سیستم تبدیل ارتعاش نوسان‌گر به حرکت گام به گام محرک می‌باشد. در این سیستم برخلاف سایر سیستم‌های انتقال انرژی بی‌سیم، نیازی به باتری برای ذخیره انرژی الکتریکی نیست چراکه انرژی منتقل شده به‌صورت مستقیم مورد استفاده قرار می‌گیرد. عمده‌ی کاربرد این سیستم در رهاسازی دارو و تجهیزات پروتز می‌باشد [۱۵] و [۲۵–۲۶].

ملکی و همکارانش [۱۸] یک میکروژنراتور اکسیژن[۱۹] را ارائه کردند (شکل ۸) که توان مورد نیاز آن توسط امواج فراصوتی تأمین می‌شود. این سیستم قادر به اکسیژن‌رسانی در محل تومور از طریق الکترولیز آب است. آنها از یک دریافت کننده‌ی پیزوالکتریک با فرکانس ۲/۵ مگاهرتز استفاده کرده و آزمایش‌ها را در داخل بدن موجود زنده و در آزمایشگاه انجام دادند. همان‌طورکه از شکل ۸ مشاهده می‌شود میکروژنراتور اکسیژن برای از بین بردن تومور موجود در لوزالمعده استفاده شده است.



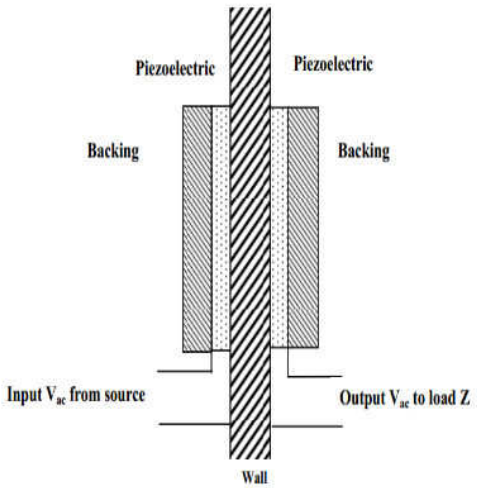
شکل ۸ الف) IMGO در لوزالمعده ب) اجزای IMGO [۱۸]

اوزری و همکارانش [۲۷–۲۸] انتقال انرژی فراصوتی جلدی[۲۰] را بر اساس فرستنده و گیرنده‌ی پیزوالکتریک پیشنهاد کردند که جایگزین مناسبی برای انتقال انرژی الکترومغناطیس جلدی است. آزمایش در بافت ماهیچه‌ی خوک انجام شد و بازده ۳۹ درصد به‌دست آمد.

یکی از معدود پژوهش‌های جامع در رابطه با انتقال انرژی آکوستیک در توان پایین توسط شهاب و ارتورک[۲۱][۱۳]، انجام شده است. در این پژوهش فرستنده یک منبع کروی امواج آکوستیک و گیرنده میله‌ی پیزوالکتریک با دو شرط مرزی متفاوت است. محیط انتقال انرژی آب و هوا می‌باشد. فرکانس تشدید در محدوده‌ی فراصوتی قرار دارد. مدل‌سازی به‌صورت تحلیلی، عددی و تجربی برای بارهای مختلف خارجی و پیزوالکتریک‌های متفاوت انجام شده و شرایط بهینه مشخص شده است [۲۹].

پژوهش‌های مطرح شده در بالا مربوط به کاربردهای زیست پزشکی سیستم AET می‌باشند که سطوح توان منتقل شده معمولاً پایین است. برای انتقال توان در محدوده‌ی بیشتر (وات و کیلو وات) از فلزات به‌عنوان محیط انتقال استفاده می‌شود [۱۲].

بائو[۲۲] و همکارانش یک سیستم AET توان بالا از طریق دیواره‌ی فلزی را طراحی و اجرا کردند (شکل ۹).



شکل ۹. نمای کلی یک سیستم انتقال توان بالا [۳۱]

کاربرد این سیستم در انتقال توان برای محرک‌ها و حسگرهای مخازن تحت فشار می‌باشد. آزمایش‌ها نشان می‌دهد برای زمانی‌که ضخامت دیواره‌ی فلزی ۳۸ میلی‌متر است، سیستم قادر به انتقال توان ۱۰۰ وات با بازده ۸۸ درصد است [۳۰-۳۱].

لوری[۲۳] و همکارانش سیستمی ارائه کردند که با استفاده از عبور امواج فراصوتی از یک دیواره‌ی فلزی به‌طور هم‌زمان قادر به انتقال توان بالا و انتقال داده با نرخ بالا می‌باشد. در این سیستم گیرنده و فرستنده‌ی پیزوالکتریک در دوطرف دیواره‌ی فلزی قرار می‌گیرند [۳۲].

۵. مدل‌سازی

سه موضوع کلیدی در طراحی یک سیستم انتقال انرژی آکوستیکی وجود دارد: انتشار امواج آکوستیک در محیط، مبدل فراصوتی و بار الکتریکی که انرژی منتقل شده را از مبدل دریافت می‌کند. توجه به این موضوعات طراحی و مدل‌سازی کل سیستم را تحت تأثیر قرار می‌دهد.

۵-۱. انتشار امواج

زمانی‌که امواج آکوستیک در محیط بین فرستنده و گیرنده منتشر می‌شوند، پدیده‌های وابسته به انتشار امواج در محیط وجود دارند که می‌توانند روی بازده انتقال و ظرفیت انتقال انرژی مؤثر باشند. این پدیده‌ها عبارتند از: میرایی، انکسار و بازتاب امواج آکوستیک [۱۲]. نتایج این پدیده‌ها مکانیزم اتلاف برای سیستم AET است. برای بررسی مکانیزم‌های اتلاف لازم است با امپدانس صوتی آشنا شد. امپدانس صوتی به مقاومت یک ماده در برابر امواج صوتی گفته می‌شود که حاصل‌ضرب چگالی ماده در سرعت صوت در آن ماده است (سرعت صوت در هر ماده به‌وسیله‌ی مدول الاستیسیته و چگالی برای آن ماده تعیین می‌شود) [۱۲].

انکسار یا شکست به دلیل سرعت‌های متفاوت امواج صوتی درون دو ماده در یک سطح مشترک رخ می‌دهد و ارتباطی با امپدانس صوتی ندارد. در انکسار، قسمتی از صوت که در محیطی که دارای سرعت صوت بالاتری است، قرار دارد با سرعت بیشتری حرکت می‌کند. این موضوع باعث خم شدن

موج و در نتیجه تلفات می‌شود. امواج صوتی هنگامی‌که به مرز مشترک دو محیط مادی با امپدانس‌های صوتی متفاوت می‌رسند، درصدی از امواج عبور کرده و درصدی بازتاب پیدا می‌کند. پراکندگی و جذب امواج فراصوتی هنگام عبور از یک ماده باعث کاهش دامنه‌ی موج می‌شود که به آن میرایی یا تضعیف موج گویند.

۵-۲. مبدل فراصوتی

برای تولید ارتعاشات فراصوتی در یک ماده به‌طور معمول از یک مبدل استفاده می‌شود تا سیگنال‌های الکتریکی را به حرکات مکانیکی تبدیل کند. مبدل‌ها از خواص مواد پیزوالکتریک برای تولید امواج فراصوت استفاده می‌کنند [۱۲]. عوامل زیادی از جمله ساختار مکانیکی، الکتریکی و شرایط بار مکانیکی خارجی روی رفتار مبدل تأثیرگذار است. از آلومینیوم ۷۰۷۵ به وفور برای ساخت مبدل استفاده می‌شود. این آلومینیوم علاوه‌بر خواص مکانیکی به نسبت خوب، دارای خواص آکوستیکی مناسب مانند اتلاف انرژی کم، انتقال‌دهنده‌ی ارتعاشات خوب و سرعت صوت بالا می‌باشد.

٦. نتیجه‌گیری

در این مقاله انواع روش‌های انتقال انرژی بی‌سیم شامل روش‌های مبتنی بر امواج الکترومغناطیس و روش‌های مبتنی بر امواج آکوستیک مقایسه و درباره‌ی مزایا و معایب هر یک و همچنین کاربرد انتقال انرژی بی‌سیم بحث شد. در ادامه تحقیقات انجام شده در رابطه با روش‌های مبتنی با بر امواج آکوستیک بیان شد. با توجه به مزیت‌های ذکر شده برای روش انتقال آکوستیکی و همچنین مقالات ارائه شده می‌توان چنین نتیجه گرفت که این روش مناسب‌ترین گزینه برای تأمین توان مورد نیاز کاشتینه‌های پزشکی قرار گرفته داخل بدن است.

۷. مآخذ

[1] N. Tesla, “Apparatus for transmitting electrical energy,” Dec. 1 1914. *US Patent 1,119,732*.

[2] K. A. Fish, C. A. Rosen, and H. C. Rothenberg, “Electromechanical transducer,” Apr. 8 1958. *US Patent 2,830,274*.

[3] H. Matsuoka, “Space development, sps 2000, and economic growth: the need for macro engineering diplomacy,” *Technology in Society*, vol.23, no.4, 2001, pp.535–550,

[4] E. Waffenschmidt and T. Staring, “Limitation of inductive power transfer for consumer applications,” *13th European Conference on Power Electronics and Applications, 2009. EPE’09. IEEE,* 2009, pp.1–10.

[5] M. Roes, M. Hendrix, and J. Duarte, “Contactless energy transfer through air by means of ultrasound,” *IECON 2011-37th Annual Conference on IEEE Industrial Electronics Society*, IEEE, 2011, pp.1238–1243.

[6] R. H. Nansen, “Wireless power transmission: the key to solar power satellites,” *IEEE Aerospace and Electronic Systems Magazine,* vol.11, no.1, 1996, pp.33–39.

[7] A. Kurs, A. Karalis, R. Moffatt, J. D. Joannopoulos, P. Fisher, and M. Soljačić, “Wireless power transfer via strongly coupled magnetic resonances,” *Science*, vol.317, no.5834, 2007, pp.83–86.

[8] Vandevoorde, Glenn, and Robert Puers. "Wireless energy transfer for stand-alone systems: a comparison between low and high power applicability." *Sensors and Actuators A: Physical* vol.92, no.1, 2001, pp.305-311.

[9] Sample, Alanson P., David T. Meyer, and Joshua R. Smith. "Analysis, experimental results, and range adaptation of magnetically coupled resonators for wireless power transfer." *IEEE Transactions on Industrial Electronics,* vol.58, no.2, 2011, pp.544-554.
[10] M. G. Roes, J. L. Duarte, M. A. Hendrix, and E. A. Lomonova, "Acoustic energy transfer: A review," *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, vol.60, no.1, 2013, pp.242–248.
[11] O. Imoru, A. Jassal, H. Polinder, E. Nieuwkoop, J. Tsado, and A. A. Jimoh, "An inductive power transfer through metal object," *1st International Confrence Future Energy Electronics Conference (IFEEC), 2013,* IEEE, 2013, pp.246–251.
[12] T. Zaid, S. Saat, Y. Yusop, and N. Jamal, "Contactless energy transfer using acoustic approacha review," *International Conference on Computer, Communications, and Control Technology (I4CT)*, IEEE, 2014, pp.376–381.
[13] S. Shahab and A. Erturk, "Contactless ultrasonic energy transfer for wireless systems: acousticpiezoelectric structure interaction modeling and performance enhancement," *Smart Materialsand Structures*, vol.23, no.12, 2014, pp.125032.
[14] G. V. Cochran, M. Johnson, M. Kadaba, F. Vosburgh, M. Ferguson-Pell, and V. Palmeiri, "Piezoelectric internal fixation devices: A new approach to electrical augmentation of osteogenesis," *Journal of Orthopedic Research,* vol.3, no.4, 1985, pp.508–513.
[15] A. Denisov and E. Yeatman, "Ultrasonic vs. inductive power delivery for miniature biomedical implants," *International Conference on Body Sensor Networks (BSN)*, IEEE, 2010, pp.84–89.
[16] A. Denisov and E. Yeatman, "Stepwise microactuators powered by ultrasonic transfer," *Procedia Engineering*, vol.25, pp.685–688.
[17] Slaughter, Mark S., and Timothy J. Myers. "Transcutaneous energy transmission for mechanical circulatory support systems: history, current status, and future prospects." *Journal of Cardiac Surgery* vol.25, no.4, 2010, pp.484-489.
[18] T. Maleki, N. Cao, S. H. Song, C. Kao, S.-C. Ko, and B. Ziaie, "An ultrasonically powered implantable micro-oxygen generator (imog)," *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, vol.58, no.11, 2011, pp.3104–3111.
[19] S. Ozeri and D. Shmilovitz, "Ultrasonic transcutaneous energy transfer for powering implanted devices," *Ultrasonics*, vol.50, no.6, 2010, pp.556–566.
[20] S. Ozeri, D. Shmilovitz, S. Singer, and C.-C. Wang, "Ultrasonic transcutaneous energy transfer using a continuous wave 650khz gaussian shaded transmitter," *Ultrasonics,* vol.50, no.7, 2010, pp.666–674.
[21] S. Arra, J. Leskinen, J. Heikkila, and J. Vanhala, "Ultrasonic power and data link for wireless implantable applications," *2nd International Symposium on Wireless Pervasive Computing*, *ISWPC'07.,* IEEE, 2007.
[22] A. Sanni, A. Vilches, and C. Toumazou, "Inductive and ultrasonic multi-tier interface for lowpower, deeply implantable medical devices," *Ieee Transactions on Biomedical Circuits and Systems*, vol.6, no.4, 2012, pp.297–308.
[23] S. Q. Lee, W. Youm, G. Hwang, K. S. Moon, and Y. Ozturk, "Resonant ultrasonic wireless power transmission for bio-implants," *International Society for Optics and Photonicsi n SPIE Smart Structures and Materials-Nondestructive Evaluation and Health Monitoring*, 2014, pp.90570J–90570J.
[24] S. Q. Lee, W. Youm, and G. Hwang, "Biocompatible wireless power transferring based on ultrasonic resonance devices," *Proceedings of Meetings on Acoustics ICA2013*, vol.19, 2013, pp.030030, ASA.

[25] A. A. Denisov and E. M. Yeatman, “Battery-less microdevices for body sensor/actuator networks,” *IEEE International Conference on Body Sensor Networks (BSN*), IEEE 2013 , pp.1–5.
[26] A. Denisov and E. M. Yeatman, “Micromechanical actuators driven by ultrasonic power transfer,” *Journal of Microelectromechanical Systems*, vol.23, no.3, 2014, pp.750–759.
[27] S. Ozeri, D. Shmilovitz, S. Singer, and C.-C. Wang, “Ultrasonic transcutaneous energy transfer using a continuous wave 650khz gaussian shaded transmitter,” *Ultrasonics*, vol.50, no.7, 2010, pp.666–674.
[28] S. Ozeri and D. Shmilovitz, “Ultrasonic transcutaneous energy transfer for powering implanted devices,” *Ultrasonics*, vol.50, no.6, 2010, pp.556–566.
[29] S. Shahab, M. Gray, and A. Erturk, “Ultrasonic power transfer from a spherical acoustic wave source to a free-free piezoelectric receiver: Modeling and experiment,” *Journal of Applied Physics*, vol.117, no.10, 2015, pp.104903.
[30] X. Bao, B. J. Doty, S. Sherrit, M. Badescu, Y. Bar-Cohen, J. Aldrich, and Z. Chang, “Wireless piezoelectric acoustic-electric power feedthru,” *The 14th International Symposium On: Smart Structures and Materials & Nondestructive Evaluation and Health Monitoring*, pp.652940– 652940, *International Society for Optics and Photonics*, 2007.
[31] S. Sherrit, X. Bao, M. Badescu, J. Aldrich, Y. Bar-Cohen, W. Biederman, and Z. Chang, “1 kw power transmission using wireless acoustic-electric feedthrough (waef),” *Earth & Space 2008: Engineering, Science, Construction, and Operations in Challenging Environments*, 2008, pp.1–10.
[32] T. Lawry, G. Saulnier, J. Ashdown, K. Wilt, H. Scarton, S. Pascarelle, and J. Pinezich, “Penetration-free system for transmission of data and power through solid metal barriers,” *Military Communications Conference*, 2011-*Milcom* 2011, IEEE, 2011, pp.389–395.

پی‌نوشت:

1. Implant
2. Contactless energy transfer
3. Rosen
4. Rectenna
5. Optical Energy Transfer
6. Inductive Energy Transfer
7. Capacitively Coupled Energy Transfer
8. Acoustic Energy Transfer
9. Ultrasonic Transducer
10. Eddy Current
11. Cochran
12. Ozeri
13. Yeatman
14. Alexey Desinov
15. Arra
16. Sanni
17. Sung
18. Brain Mechine Interface
19. Implantable Micro- Oxygen Generator
20. Ultrasonic Transutaneous Energy Transfer
21. Erturk
22. Bao
23. Lawry