



نقل الطاقة اللاسلكية بكفاءة عالية لشحن بطاريات السيارات الكهربائية

* عبدالحفيظ امحمد ابوغرارة¹، احمد بوسيف عبدالرحمن²، حامد عبد الحق سعيد²

¹كلية العلوم، جامعة سبها، ليبيا

²كلية الهندسة، جامعة سبها، ليبيا

الملخص:

تمثل أنظمة الشحن اللاسلكي الحثي واحدة من أبرز التقنيات المستخدمة لشحن بطاريات السيارات الكهربائية بدون تلامس، في هذه الورقة يتم تقديم نظام شحن لاسلكي فعال يعتمد على تقنية الحث الكهرومغناطيسي لشحن بطاريات السيارات الكهربائية، يتكون النظام المقترح من ثلاثة أجزاء مصدر طاقة عالي التردد، وملفي إرسال واستقبال، ويستخدم مكثفات متسلسلة مع كل من جهة الإرسال وجهة الاستقبال، ودائرة خرج مكونة من مقومات ثنائية تعطي موجة كاملة. يتضمن هذا البحث دراسة وتحليل كيفية تحسين كفاءة نقل الطاقة من خلال التحكم في ثلاثة متغيرات رئيسية: التردد، السعة، ومقاومة الحمل. أظهرت المحاكاة التي أجريت على أنظمة شحن بطاقة 8 كيلوواط كفاءة تصل إلى 98% في الحالات المثلى؛ مما يمثل تحسناً كبيراً مقارنة بأنظمة الشحن التقليدية. استُخدمت محاكاة النماذج الرياضية للتحقق من الكفاءة عند فجوة هوائية تبلغ 4 سم وكذلك عند 8 سم بإضافة مادة الفريت لملفي الإرسال والاستقبال.

الكلمات المفتاحية: الشحن اللاسلكي، السيارات الكهربائية، الفريت، المكثفات المتسلسلة، نقل الطاقة.

High Efficiency Wireless Power Transfer For Charging Electric Vehicle Batteries

*Abdalhafith Amhmid Abughrarah¹ and Ahmed Boussif Abdelrahman², and Hamed Abdelhaq Saeed²

¹ Faculty of Science, University of Sabha, Libya

²Faculty of Engineering, Sebha University, Libya

Abstract:

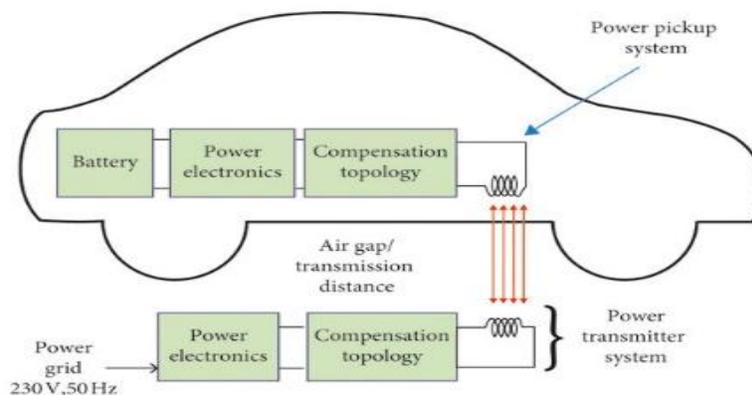
Inductive wireless charging systems are one of the most prominent technologies used for contactless charging of electric vehicle batteries. In this paper, an efficient wireless charging system based on electromagnetic induction technology is presented for charging electric vehicle batteries. The proposed system consists of three parts: a high-frequency power source, two transmitting and receiving coils, and uses series capacitors with both the transmitting and receiving sides, and an output circuit consisting of dual rectifiers that give a full wave. This research includes studying and analyzing how to improve the energy transfer efficiency by controlling three main variables: frequency, capacitance, and load resistance. The simulations conducted on 8 kW charging systems showed an efficiency of up to 98% in optimal cases, which represents a significant improvement compared to conventional charging systems. Mathematical model

simulations were used to verify the efficiency at an air gap of 4 cm and at 8 cm by adding ferrite material to the transmitting and receiving coils.

Keywords: Electric vehicles, Ferrite, Series capacitors, Wireless Charging, Power Transmission

1. المقدمة:

تمثل أنظمة الشحن التقليدية باستخدام الكابلات طريقة فعالة، لكنها تواجه مشكلات مثل تعقيد الكابلات، تأثرها بالظروف الجوية، ومخاطر السلامة. توفر أنظمة الشحن اللاسلكي بديلاً أفضل وأكثر أماناً عبر التخلص من الكابلات، مع تحديات رئيسية؛ مثل: تحسين الكفاءة، وتقليل الفقد في الطاقة أثناء الشحن. وتعد السيارات الكهربائية إحدى أهم الحلول المستدامة للتقليل، حيث تساهم في تقليل انبعاثات الكربون، والتخفيف من التلوث البيئي. واحدة من التحديات الرئيسية التي تواجه هذه السيارات هي عملية شحن البطاريات [1][2]. وفي محاولة للتغلب على هذه المشكلات، أصبح الشحن اللاسلكي أحد الحلول الحديثة التي تحظى باهتمام كبير، ويتيح هذا النظام نقل الطاقة بدون الحاجة لاستخدام الكابلات، مما يساهم في توفير راحة أكبر للمستخدمين من خلال تجنب الحاجة إلى التوصيل والفصل المتكرر للكابلات. بالإضافة إلى ذلك، يمكن تثبيت الأجهزة الأساسية في النظام تحت الأرض، مما يجعلها غير قابلة للتأثر بالظروف الجوية [3][4]، في الشكل (1) يوضح نظام نقل الطاقة بدون تلامس للشحن بطاريات السيارات الكهربائية.



الشكل (1): هيكل نظام الشحن اللاسلكي للمركبات الكهربائية.

ومع تقدم التكنولوجيا، تحسن أداء الأنظمة اللاسلكية مع زيادة ترددات التبديل في مفاتيح أشباه الموصلات، مما ساعد على تحسين الكفاءة وتقليل التكلفة. في الأنظمة الحديثة، يتم استخدام ترانزستورات IGBT، التي تتيح العمل بترددات أعلى ولكنها تواجه تحديات تتعلق بخسائر التبديل التي تؤثر في الكفاءة الإجمالية للنظام [5][6].

وعلى الرغم من التحسينات الكبيرة في تقنية الشحن اللاسلكي، فإن الكفاءة لا تزال أقل من الأنظمة التقليدية، حيث تتمكن

الشواحن التقليدية من تحقيق كفاءة تصل إلى 97%، بينما لا يتجاوز معظم أنظمة الشحن اللاسلكي كفاءتها 90% بسبب خسائر الطاقة الناتجة عن التفاعل مع الحث المتسرب [7][8].
لحل هذه المشكلة، تم تطوير شبكات التعويض باستخدام المكثفات للحصول على الرنين الذي من خلاله يتم تحسين كفاءة النظام عن طريق تقليل الخسائر في الطاقة وتحسين الأداء العام للأنظمة اللاسلكية [9][10].
حيث قام (Yadav 2023) وآخرون بتطوير نظام لاسلكي بإضافة مادة الفريت بسمك يتراوح من (5mm-50mm) وتحصلوا على كفاءة 98.5% [15]، و قام (Jaafari 2024) وآخرون بدراسة تأثير مادة الفريت على أنظمة الشحن اللاسلكي بأشكال وأحجام مختلفة، وقد أدت إلي تحسين الكفاءة الي 95% [16]، و قام (Suarez 2019) وآخرون بدراسة إمكانية تغذية وشحن البطاريات سلكيا، وقد حصلوا على نتائج ومميزات الشحن عند جهود عالية تصل إلى 800 فولت لتحقيق شحن سريع عند قدرات عالية [17].

2. المواد وطرق العمل:

تمت دراسة تصميم نظام شحن لاسلكي عالي الكفاءة للسيارات الكهربائية بتحليل الدوائر الكهربائية ثم باستخدام برنامج ماتلاب لحل المعادلات والحصول على النتائج، تشمل الدراسة المكونات الأساسية للنظام، كيفية تصميم الدائرة الكهربائية، وطرق تقييم الكفاءة من خلال تجارب محاكاة النظام.

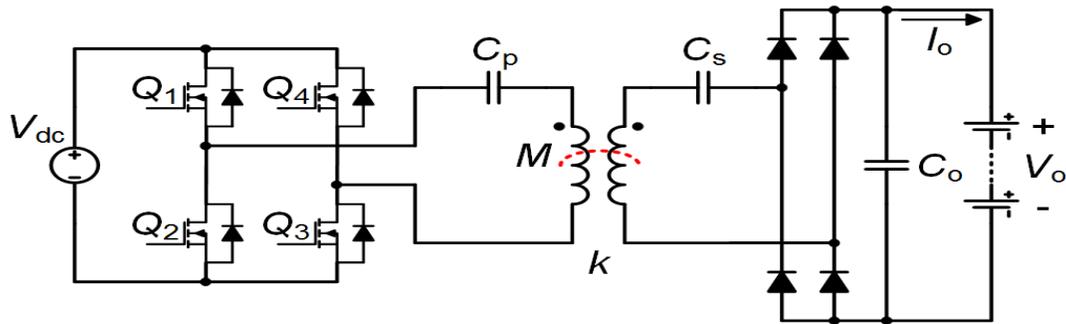
1.2 المكونات الأساسية للنظام اللاسلكي:

الهدف من البحث هو تحسين كفاءة نقل الطاقة بين ملف الإرسال وملف الاستقبال عبر نقل طاقة لاسلكي. يتضمن النظام ثلاثة مكونات رئيسية:

1. عاكس (Inverter):

يتم استخدام العاكس لتحويل الطاقة المستمرة (DC) إلى طاقة متناوبة (AC) باستخدام المفاتيح الإلكترونية مثل MOSFETs أو IGBTs. يعمل العاكس بتردد عالٍ لتحقيق الكفاءة في نقل الطاقة [11].

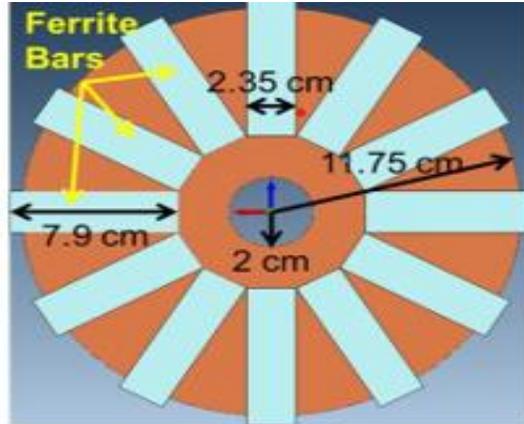
في هذه الدراسة، يتم استخدام تقنية تعديل التردد لضبط الجهد والتيار لتناسب مع متطلبات الشحن الخاصة بالبطارية، الشكل (2) يوضح مخطط الدائرة لنظام الشحن بدون تلامس المقترح



الشكل (2). طوبولوجيا الدائرة الرئيسية للشحن بدون تلامس.

2. ملفات الإرسال والاستقبال (Sending and receiving files):

يتكون من ملف الإرسال والاستقبال مع وجود فجوة هوائية متغيرة، بإضافة المكتفات على التوالي للحصول على الرنين مع إضافة قطع الفريت لملفي الإرسال والاستقبال، والشكل (3) يبين قطع الفريت المضافة للملف [12].



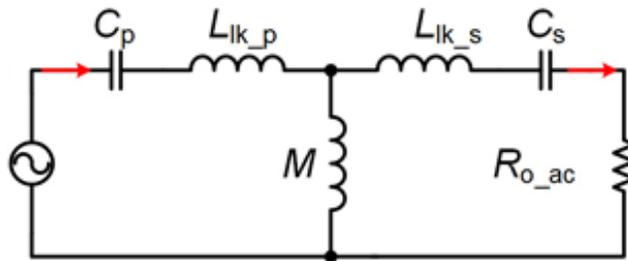
الشكل (3) قطع الفريت المضافة للملف

3. مقوم جسر كامل (Full-Bridge Rectifier):

يقوم المقوم بتحويل الطاقة المتناوبة (AC) إلى طاقة مستمرة (DC) مناسبة لشحن البطارية. يعتمد المقوم على الثنائيات لتوجيه التيار في الاتجاه الصحيح وضمان شحن البطارية بكفاءة [13].

2.2 النموذج المكافئ للدائرة الكهربائية:

حيث يستخدم هذا النموذج لتحليل أداء النظام عند التشغيل التوافقي الأساسي، ويوضح الشكل (4) نموذج المكافئ التوافقي المبسط للدائرة. يتم التركيز على الحسابات الخاصة بالجهد والتيار عند التردد الأساسي، مما يساعد في فهم السلوك الديناميكي للدائرة وتحسين الكفاءة.



الشكل (4): نموذج المكافئ التوافقي المبسط للدائرة



$$v_{in}(t) = V_m \cdot \sin(2\pi f \cdot t + \theta) \quad (1)$$

حيث $v_{in}(t)$ الجهد المتناوب عند لحظة زمنية و V_m الجهد الأقصى للعكس و f تردد التشغيل (بالهرتز) و t الزمن (بالثواني) و θ إزاحة الطور

$$i_{in}(t) = I_m \cdot \sin(2\pi f \cdot t + \theta) \quad (2)$$

حيث $i_{in}(t)$ تعبر عن التيار المتناوب عند لحظة زمنية معينة و I_m تعتبر القيمة العظمى للتيار الإرسال و f تردد التشغيل (بالهرتز) و t الزمن (بالثواني) و θ إزاحة الطور

$$V_m = \frac{4}{\pi} V_{dc} \quad (3)$$

$$v_{o-ac}(t) = V_{om} \cdot \sin(2\pi f \cdot t) \quad (4)$$

حيث $v_{o-ac}(t)$ الجهد المتناوب الخارج عند فترة زمنية معينة و V_{om} القيمة القصوى للجهد الخارج

$$i_{o-ac}(t) = I_{om} \cdot \sin(2\pi f \cdot t) \quad (5)$$

حيث $i_{o-ac}(t)$ التيار المتناوب عند الاستقبال و I_{om} القيمة العظمى للتيار الخارج

$$C_p = \frac{1}{(2\pi f)^2 L_p} \quad (6)$$

$$C_s = \frac{1}{(2\pi f)^2 L_s} \quad (7)$$

$$V_{om} = \frac{4}{\pi} V_o \quad (8)$$

$$I_{om} = \frac{\pi}{2} I_o \quad (9)$$

$$R_{ac} = \frac{8}{\pi^2} R_L \quad (10)$$

وتوضح المعادلة (10) العلاقة بين المقاومة المكافئة R_L و المقاومة الفعلية للحمل R_{ac}

$$K = \frac{M}{\sqrt{L_p L_s}} \quad (11)$$



تصف المعادلة (11) معامل الاقتران K ، حيث M يعبر عن الحث المتبادل و L_p الحث الذاتي للملف للإرسال و L_s و الحث الذاتي للملف الاستقبال، وسيتم حساب المعاوقة الكلية بناء على المقاومة والحث الذاتي والحث المتبادل بين الملفين الأولي والثانوي من المعادلة (10)

$$Z_r = r_p + j\omega L_p - j \frac{1}{\omega C_p} + \frac{\omega^2 M^2}{R_{ac} + r_s + j\omega L_s - j \frac{1}{\omega C_s}} \quad (12)$$

حيث Z_r المعاوقة الكلية للنظام (بوحدة اوم) و r_p هي المقاومة في الدائرة الأولى (بوحدة اوم) و ω هي التردد الزاوي (rad/s)، و الحث الذاتي للملف الاستقبال (هنري)، و L_p الحث الذاتي للملف للإرسال، و C_p تعتبر سعة المكثف للملف للإرسال (فاراد) و C_s سعة المكثف للملف الاستقبال (فاراد).

$$i_p = v_{in}/Z_r \quad (13)$$

$$i_s = \frac{i_p(j\omega M)}{R_{ac} + j\omega L_s - 1/j\omega C_s} \quad (14)$$

$$P_{in} = |i_p|^2 \text{Real}(Z_r) \quad (15)$$

$$P_{out} = |i_s|^2 R_{o-ac} \quad (16)$$

$$\eta_r = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100 \quad (17)$$

حيث ان P_{in} القدرة المسحوبة من العاكس، و P_{out} القدرة الخارجة، η_r كفاءة المنظومة [14].

3. مناقشة النتائج:

تم تنفيذ الدراسة النظرية والعلمية لجميع المعادلات والمنحنيات الواردة في الورقة باستخدام برنامج ماتلاب، تم توظيف البرنامج لمحاكاة سلوك النظام وتحليل الأداء بناء على العلاقات الرياضية المشتقة في الورقة مع الأخذ في الاعتبار تأثير العوامل المختلفة مثل التردد وزاوية الطور والكفاءة والقدرة المنقولة.



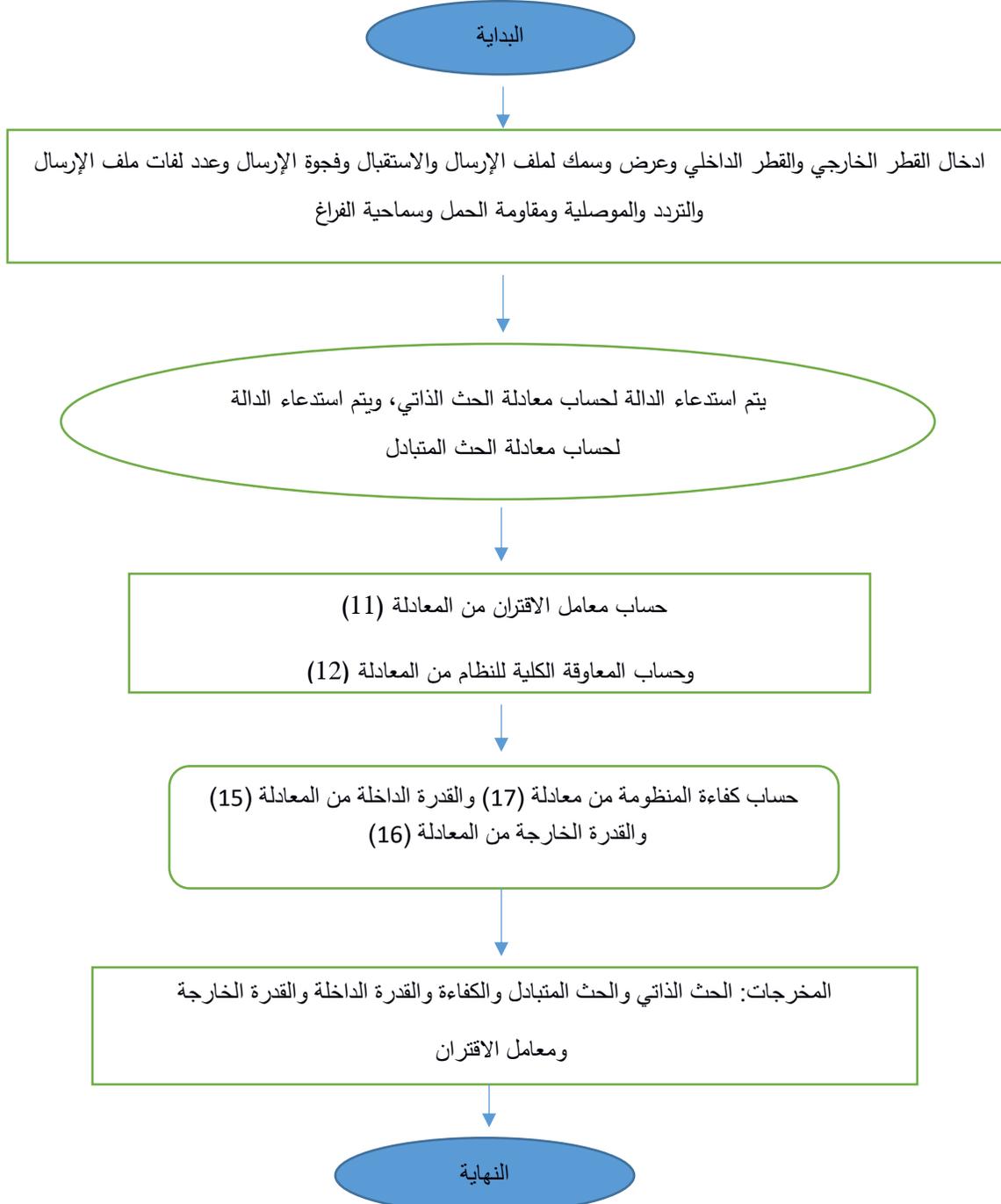
مجلة جامعة فزان العلمية
Fezzan University scientific Journal

Journal homepage: www.https://fezzanu.edu.ly/

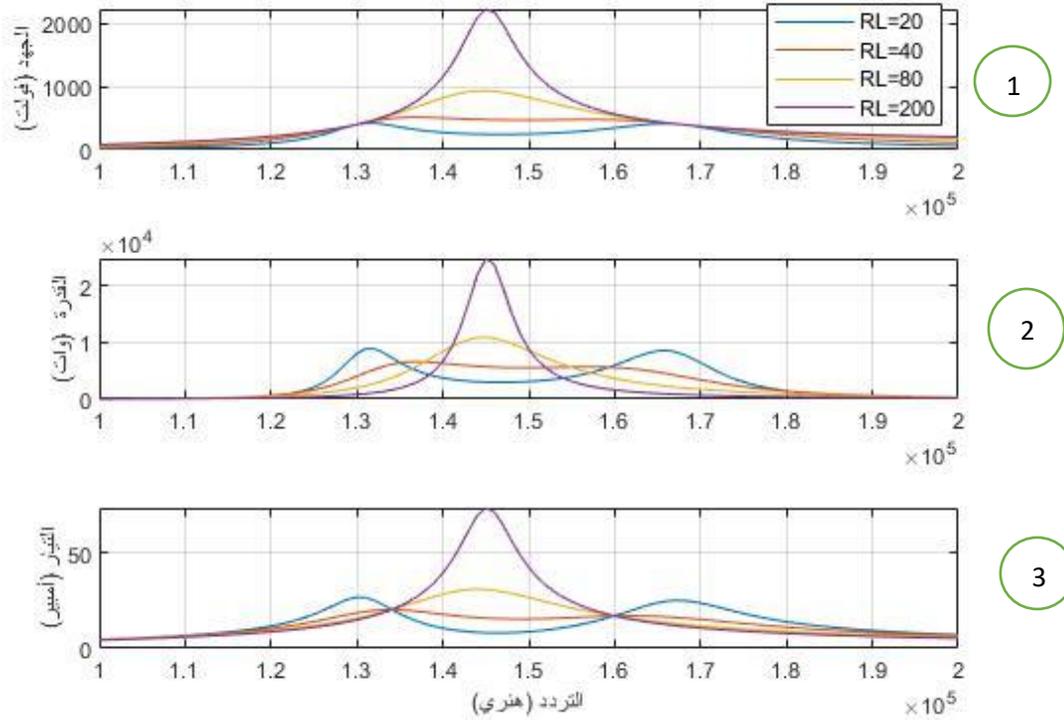


جدول 1 : قيم معاملات شبكة التعويض

القيمة	الرمز	الحدود
800- 40	RL	مقاومة الحمل المكافئة Ω
120	Lp	المحاثة الذاتية الأولية (μH)
120	Ls	المحاثة الذاتية الثانوية (μH)
60-15	M	المحاثة المتبادلة (μH)
50-10	Cp	السعة الأولية (nF)
50-10	Cs	السعة الثانوية (nF)
300-10	fs	تردد التشغيل (kHz)
0.3	rp	مقاومة اللف الأولية (Ω)
0.3	rs	مقاومة اللف الثانوية (Ω)
235	dout	القطر الخارجي للملف (mm)
40	dint	القطر الداخلي للملف (mm)



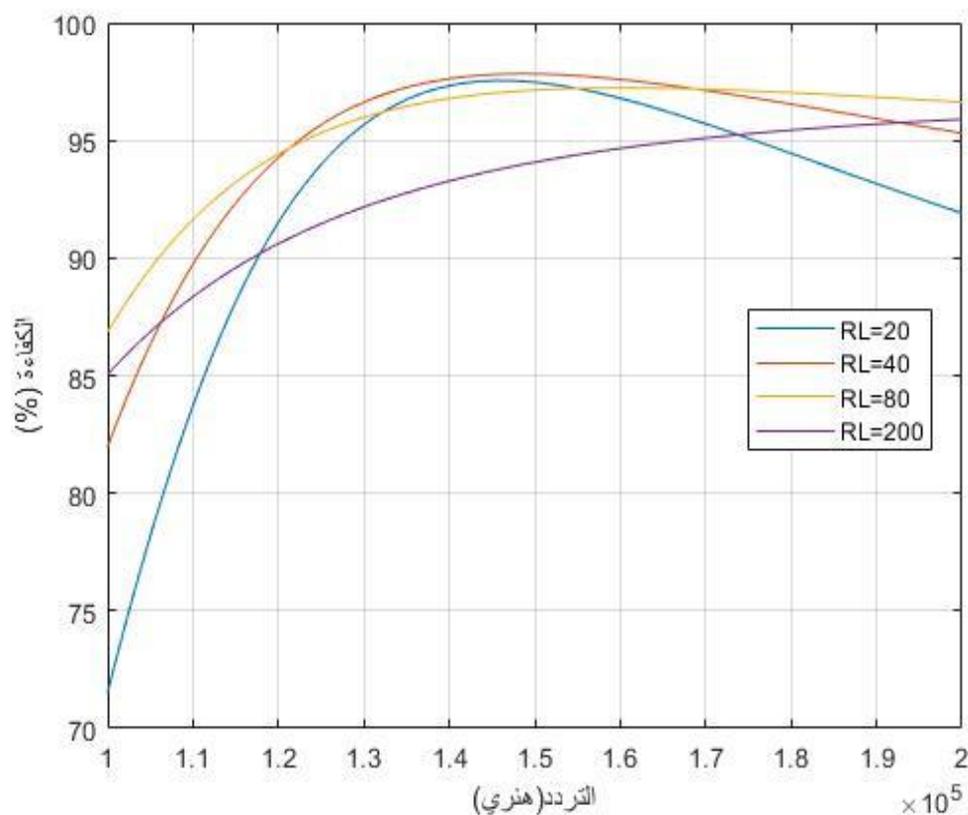
مخطط انسيابي لمحاكاة منظومة نقل الطاقة لاسلكيا لشحن بطاريات السيارات الكهربائية



الشكل (5): الجهد والقدرة والتيار كدالة لتردد التشغيل لمقاومات الحمل المختلفة.

الشكل (5) يحتوي على ثلاثة منحنيات رئيسية، المنحنى الأول (المنحني 1) يصف الجهد الناتج مقابل التردد، حيث أن المحور الأفقي يمثل التردد (بالكيلوهرتز)، و يتراوح من 100 إلى 200 كيلوهرتز، و يتراوح الجهد من (0 إلى 2000) فولت. ويتغير مقاومة الحمل من 20Ω إلى 200Ω ، نظراً لأن الجهد الاسمي للبطارية هو 400 فولت، فإن فترة التشغيل تكون أقل من 130 كيلوهرتز أو أكبر من 150 كيلوهرتز، ويعتمد على الكفاءة وقيم التيار، لذلك عندما تكون قيم مقاومة الحمل $20, 40, 80, 200$ اوم، وتكون قوى الخرج المقابلة 8 كيلو واط. الجهد المبدول يبدأ من قيمة منخفضة عند الترددات المنخفضة، ثم يرتفع ليصل إلى أقصى قيمة عند التردد الرنيني وهذا ناتج بسبب الزيادة الكبيرة في التيار نتيجة نقص المعاوقة، ويبدأ في الانخفاض بعدها؛ حيث يكون أقصى جهد عند التردد الرنيني، مع انخفاض سريع عند الابتعاد عن هذا التردد، ويكون الجهد أقل مقارنة بالأحمال الأصغر؛ لكنه أكثر استقراراً عند الابتعاد عن التردد الرنيني؛ فكلما زادت مقاومة الحمل يزيد الجهد. أما بالنسبة للمنحني 2 فهو يصف القدرة مقابل التردد؛ حيث يعبر المحور الأفقي علي التردد (بالكيلوهرتز)، والمحور العمودي يمثل القدرة وتتراوح قيمتها بين (0 و 8000 وات)، والقدرة تكون منخفضة عند الترددات البعيدة عن التردد الرنيني، ثم ترتفع لتصل إلى

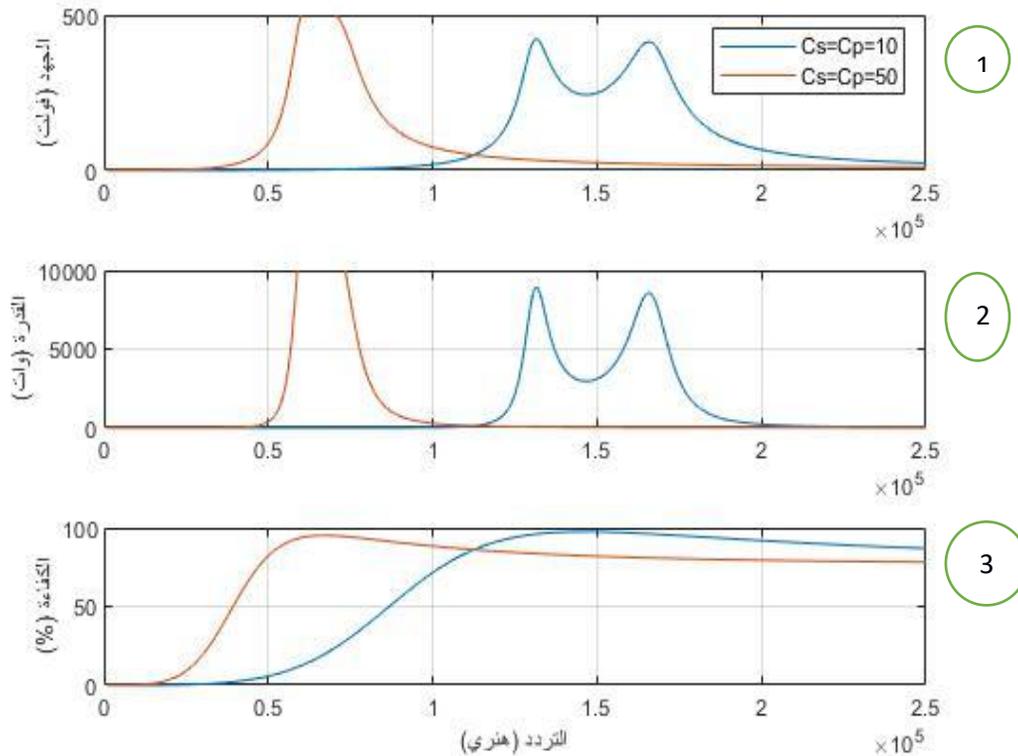
قيمتها القصوى عند التردد الرنيني (165 كيلوهرتز). بعد التردد الرنيني، تبدأ القدرة الناتجة في الانخفاض بشكل ملحوظ، تظهر أقصى قدرة عند التردد الرنيني بسبب التيار العالي؛ فكلما زادت مقاومة الحمل تقل القدرة، كلا المنحنيين يظهران بأن التردد الرنيني هو النقطة المثالية لتحقيق الأداء الأعلى، سواء من حيث الجهد أو القدرة، وعند الترددات البعيدة عن الرنين، تحدث خسائر كبيرة بسبب اختلال التوازن في الدائرة. وبالنسبة للمنحني 3 فهو يصف التردد مقابل التيار مع التغير في مقاومة الحمل حيث يصل التيار أعلى مستوي عند التردد الرنيني.



الشكل (6): العلاقة بين تردد التشغيل لمقاومات الحمل المختلفة والكفاءة

يمثل الشكل (6) العلاقة بين التردد والكفاءة، حيث أن النظام يعتمد على العمل عند تردد الرنين لضمان كفاءة عالية، في تردد الرنين (Resonant Frequency)، حيث تعتمد الكفاءة بشكل كبير على بقاء النظام عند التردد الرنان.

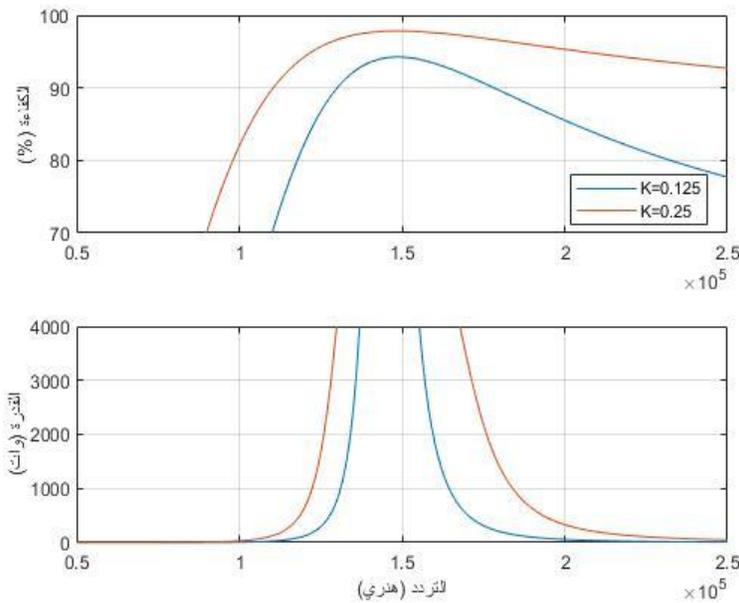
عند التردد الرنان (165 كيلو هرتز في النظام المقترح)، ويوضح الشكل أن الكفاءة تتخفف عندما يخرج النظام عن تردد الرنين، تصل الكفاءة إلى قيمتها القصوى (95%) عند تردد 165 كيلو هرتز، ويصف الشكل تأثير مقاومة الحمل على التردد والكفاءة؛ حيث أن مقاومة الحمل تمثل المقاومة المكافئة للبطارية التي تتغير أثناء عملية الشحن، وتعتمد الكفاءة بشكل كبير على قيمة مقاومة الحمل. فعندما تكون مقاومة الحمل تساوي 20Ω تكون الكفاءة أقل لأن التيار العالي يسبب خسائر في الطاقة وعند 40Ω تكون الكفاءة تتحسن؛ إذ تكون المقاومة مناسبة ويحدث استقراراً في الجهد والتيار، وعند 80Ω تكون الكفاءة تصل إلى ذروتها؛ لأن النظام يعمل بشكل أمثل عند هذه المقاومة، وعند 200Ω تكون الكفاءة تبدأ في الانخفاض بسبب ضعف التيار وانخفاض الفعالية في نقل الطاقة.



الشكل (7): الجهد والقدرة والكفاءة كدالة للتردد التشغيل

الشكل (7) يحتوي على ثلاثة منحنيات توضح العلاقة بين الجهد، والقدرة، والكفاءة مقابل أحد التردد، وذلك مع التغير في السعة ويظهر من هذه المنحنيات تأثير تغيير السعات الأولية والثانوية على أداء النظام، حيث تعكس كل منحنى من هذه

المنحنيات سلوكاً مختلفاً يعتمد على المتغيرات الأخرى. المنحنى 1 يمثل المحور الأفقي التردد (بالهرتز) بينما يمثل المحور العمودي الجهد بالفولت، فعندما تكون سعة المكثف الإرسال والاستقبال تساوي 10 (نانوفاراد) نلاحظ أن الجهد يكون أعلى عند الرنين، ومن ثم ينخفض. وفي حالة عندما تكون سعة مكثف الإرسال والاستقبال تساوي 50 (نانوفاراد) فإن الجهد في حالة الرنين يكون منخفض و المنحنى 2، ويمثل المحور العمودي القدرة (بالوات)، ويظهر تأثير السعات المختلفة على قدرة النظام؛ فعندما تكون سعة المكثف لمفلي الإرسال والاستقبال يساوي 10 (نانوفاراد) تكون القدرة في أعلى مستوي لها في منطقة الرنين وعندما تكون سعة المكثف 50(نانوفاراد)، تكون القدرة عالية بين التردد 50 كيلوهرتز الي 100 كيلوهرتز ومن ثم ينخفض. والمنحنى 3 يمثل المحور العمودي الكفاءة (كنسبة مئوية)، ويظهر بوضوح تأثير السعات المختلفة على كفاءة النظام. في حالة عندما تكون سعة المكثف تساوي 10 (نانوفاراد) حيث تصل الكفاءة إلى أعلى قيمة عندما يكون التردد 150 كيلو هرتز وفي حالة عندما تكون سعة المكثف تساوي 50(نانوفاراد)، فإن الكفاءة تصل إلى أعلى قيمة عند التردد 60 كيلوهرتز.



الشكل (8): الكفاءة والقدرة كدالة لتردد

الشكل (8) يوضح العلاقة بين الكفاءة والتردد مقابل التردد عند قيم مختلفة لمعامل الاقتران ويعبر معامل الاقتران عن مقدار الترابط المغناطيسي بين ملفي الإرسال والاستقبال في نظام نقل الطاقة اللاسلكي (WPT). كلما زادت قيمة معامل الاقتران زادت فعالية نقل الطاقة ، ويكون تأثير التردد على الكفاءة والقدرة عند قيم مختلفة لـ k ، حيث تكون القدرة المنقولة منخفضة عندما تكون قيمة معامل الاقتران 0.125؛ لأن الترابط المغناطيسي ضعيف، مما يقلل من كمية الطاقة المنقولة من المرسل إلى المستقبل.



والنسبة للكفاءة تكون منخفضة أيضا حتى عند التردد الرنان بسبب الخسائر الناتجة عن ضعف الترابط، وبعيداً عن التردد الرنان تنخفض الكفاءة بسرعة أكبر، وتحسن القدرة عندما تكون قيمة معامل الاقتران 0.25 وتصل القدرة إلى ذروتها عند التردد الرنان (165 كيلو هرتز)، حيث يكون الترابط المغناطيسي كافياً لنقل طاقة أكبر. وبالنسبة للكفاءة تكون أقل نسبياً لأن بعض الطاقة تضيع أثناء النقل بسبب ضعف الترابط، والكفاءة تتراجع بسرعة عندما تبتعد عن التردد عند التردد الرنان.

4. الاستنتاج:

أثبتت الدراسة أن تقنية الشحن اللاسلكي الحثي تمثل حلاً فعالاً لشحن بطاريات السيارات الكهربائية، حيث أظهرت نتائج المحاكاة كفاءة عالية في نقل الطاقة وتجاوزت 98% وهذا مما يعزز الاتجاه باستخدام الشحن اللاسلكي مقارنة بالشحن السلكي. تم تحقيق تحسين ملحوظ في الأداء من خلال التحكم في المتغيرات الأساسية، مثل التردد، السعة، ومقاومة الحمل عند اختبار النظام المقترح بقدرة 8 كيلوواط، وضمن فجوة هوائية تبلغ 4 سم و 8 سم، أظهرت النتائج كفاءة تصل إلى مستويات عالية، مما يبرز فعالية استخدام مادة الفريت في تحسين أداء النظام. يُظهر هذا التقدم إمكانيات واعدة لتطوير أنظمة شحن لاسلكي أكثر كفاءة؛ مما يساهم في تعزيز الاعتماد على السيارات الكهربائية وتحقيق نقلة نوعية في تقنيات الشحن اللاسلكي.

5. المراجع

1. Zhang, L., et al. (2017). Wireless Charging for Electric Vehicles: Technologies, Standards, and Applications. Journal of Energy Storage.
2. Li, X., & Yang, Y. (2019). Inductive Power Transfer for Electric Vehicle Charging: A Review. Energy Reports.
3. Cai, Y., et al. (2015). Contactless Power Transfer: A Promising Solution for EV Charging. IEEE Transactions on Industrial Electronics.
4. Huang, Z., et al. (2016). Recent Advances in Wireless Power Transfer Technology for Electric Vehicles. Energy Conversion and Management.
5. Shao, Q., & Liu, L. (2014). Development of High-Efficiency Inductive Charging Systems for EVs. IEEE Transactions on Power Electronics.
6. Wang, W., et al. (2018). High-Efficiency Power Transfer for EV Charging: Recent Progress and Challenges. IEEE Journal of Emerging and Selected Topics in Power Electronics.
7. Zhou, Y., et al. (2020). Energy Efficiency of Wireless Charging Systems for Electric Vehicles: A Comprehensive Review. Energy.
8. Wang, Z., & Jiang, L. (2017). Performance Improvement of Contactless Charging Systems for Electric Vehicles. Journal of Power Electronics.



9. Jiang, X., et al. (2018). Resonant Capacitor Compensation for Wireless Power Transfer Systems: An Overview. *IEEE Transactions on Power Electronics*.
10. Chen, J., & Wang, L. (2019). Optimizing Efficiency in Contactless Power Transfer for Electric Vehicle Applications. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*
11. Wu, H. H., Gilchrist, A., Sealy, K. D., & Bronson, D. (2012). High Efficiency Inductive Charger for EVs Using Dual Side Control. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 59(8), 3202-3211.
12. Stielau, O., & Covic, G. (2000). Design of Loosely Coupled Inductive Power Transfer Systems. In *Proceedings of the IEEE Power Systems Technology Conference*, 1, 85-90
13. Zhang, W., Wong, S.-C., Tse, C. K., & Chen, Q. (2014). Design for Efficiency Optimization in Inductive Power Transfer Systems. *IEEE Transactions on Power Electronics*, 29(1), 191-200
14. Zheng, Cong, et al. "High-efficiency contactless power transfer system for electric vehicle battery charging application." *IEEE Journal of Emerging and Selected Topics in Power Electronics* 3.1 (2014): 65-74.
15. Yadav, Ankur, and Tushar Kanti Bera. "Ferrite shielding thickness and its effect on electromagnetic parameters in wireless power transfer for electric vehicles (EVs)." *Journal of Engineering and Applied Science* 70.1 (2023): 132.
16. Jaafari, Soukaina, et al. "Optimization of Circular Coils with Ferrite Boxes for Enhanced Efficiency in Wireless Power Transfer for Electric Vehicles." *Green Energy and Intelligent Transportation* (2024): 100195.
17. Suarez, Camilo, and Wilmar Martinez. "Fast and ultra-fast charging for battery electric vehicles—a review." *2019 IEEE Energy Conversion Congress and Exposition (ECCE)*. IEEE, 2019.