Influence Of The Design Aspect Of Lead-Acid Battery Grids On Operational Life And Actual Performance Under Home Operating Conditions

Dr. Samir Nmr Kafa*
Dr. Hadi Moalaa**
Alaa Rihawi ***

(Received 28 / 7 / 2024. Accepted 29 / 9 / 2024)

□ ABSTRACT □

"There is a lot of talk about the short lifespan of batteries purchased from the market, despite their high prices, in addition to their many malfunctions, which sometimes lead to a catastrophic battery explosion."

There are many factors affecting this, such as the concentration ratio of the electrolyte and the materials that make up the grids...etc. Lead acid batteries are very inexpensive compared to other industrial technologies. Their economic cost has made them very attractive in various industries. Although high current is not an issue, lead acid batteries are a good candidate for electrical storage. For example, in UPS, in industrial electric vehicles such as lift trucks, in small, inexpensive electric vehicles, and any other industry where cost is more important than battery weight. The design aspect is the most important part of the lead-acid battery in terms of the stability of the charging and discharging processes, through which the current condenses around the loop area at the top of the lug and leads to It wears out and then the end of the operational life of the battery. There are different designs that companies consider in order to develop the actual performance of the batteries in terms of stabilizing the electrical voltage and increasing the lifespan. Diversifying these designs to select the optimal design may increase the lifespan by about 50% in home operating conditions and deep cycle.

Keywords: lead-acid batteries, design and analysis of lead-acid battery grids, life span and operation, actual performance and deep cycle, finite elements.

Copyright **:**Tishreen University journal-Syria, The authors retain the copyright under a CC BY-NC-SA 04

* **Professor - Department of Design and Production Engineering - Faculty of Mechanical and Electrical Engineering - Tishreen University- Latakia- Syria.**

** **Assistant Professor - Department of Design and Production Engineering - Faculty of Mechanical and Electrical Engineering - Tishreen University- Latakia- Syria.**

*** **Postgraduate student (PhD) - Department of Design and Production Engineering - Faculty of Mechanical and Electrical Engineering - Tishreen University- Latakia- Syria. Alaarihawi95@gmail.com**

تأثير الجانب التصميمي لخلايا بطاريات الرصاص الحمضية على العمر التشغيلي والأداء الفعلي في ظل ظروف التشغيل المنزلي بسورية

د. سمير نمر كفا*

د. هادي معلا**

علاء ريحاوي***

(تاريخ الإيداع 28 / 7 / 2024. قُبِل للنشر في 29/ 9 / 2024)

□ ملخّص □

يكثر الحديث عن قصر أعمار البطاريات التي تُشترى من الأسواق على الرّغم من ارتفاع أسعارها، إضافة إلى أعطالها الكثيرة التي تصل أحياناً لكارثة انفجار البطارية". حيث يتوافر العديد من العوامل المؤثرة على ذلك كنسب تركيز الالكتروليت والمواد المكونة للشبكات...الخ،

تعتبر بطاريات الرصاص الحمضية غير مكلفة للغاية بالمقارنة مع التقنيات الصناعية الأخرى. تكلفتها الاقتصادية جعلتها جذابة للغاية في مختلف الصناعات. على الرغم من أن ارتفاع التيار ليس بالأمر المهم، إلا أن بطاريات الرصاص الحمضية هي مرشح جيد للتخزين الكهربائي. على سبيل المثال، في UPS، في السيارات الكهربائية الصناعية مثل شاحنات الرفع، في السيارات الكهربائية الرخيصة الصغيرة، وأي صناعة أخرى تكون التكلفة فيها أكثر أهمية من وزن البطارية.

إن الجانب التصميمي هو الجزء الأكثر أهمية في بطارية الرصاص الحمضية من حيث استقرار عمليتي الشحن والتفريغ والتي من خلالها يتكاثف التيار حول منطقة العروة في أعلى الشريحة مما يؤدي إلى اهتراءها بسرعة وانتهاء العمر التشغيلي للبطارية، جدير بالذكر بأن هناك تصاميم مختلفة تتناولها الشركات بغية تطوير الأداء الفعلي للبطاريات من حيث استقرار الجهد الكهربائي وزيادة العمر الافتراضي، ان تنوع هذه التصاميم هدفه انتقاء التصميم الأمثل الذي يزيد العمر الافتراضي للبطارية حوالي 50% وذلك في ظروف التشغيل المنزلية والتفريغ العميق.

الكلمات المفتاحية: بطاريات الرصاص الحمضية، تصميم وتحليل خلايا بطاريات الرصاص الحمضية، العمر الافتراضي والتشغيلي، الأداء الفعلي والتفريغ العميق، العناصر المنتهية.

حقوق النشر : مجلة جامعة تشرين- سورية، يحتفظ المؤلفون بحقوق النشر بموجب الترخيص CC BY-NC-SA 04

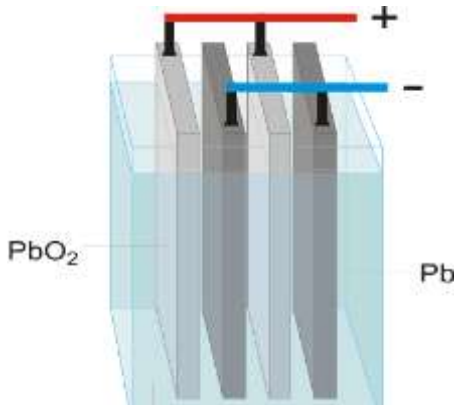
* **استاذ - قسم هندسة التصميم والإنتاج – كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية – جامعة تشرين- اللاذقية-سورية.**

** **مدرس - قسم هندسة التصميم والإنتاج – كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية – جامعة تشرين- اللاذقية-سورية.**

*** **طالب دراسات عليا (دكتوراه)- قسم هندسة التصميم والإنتاج – كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية – جامعة تشرين- اللاذقية-سورية.Alaarihawi95@gmail.com**

مقدمة:

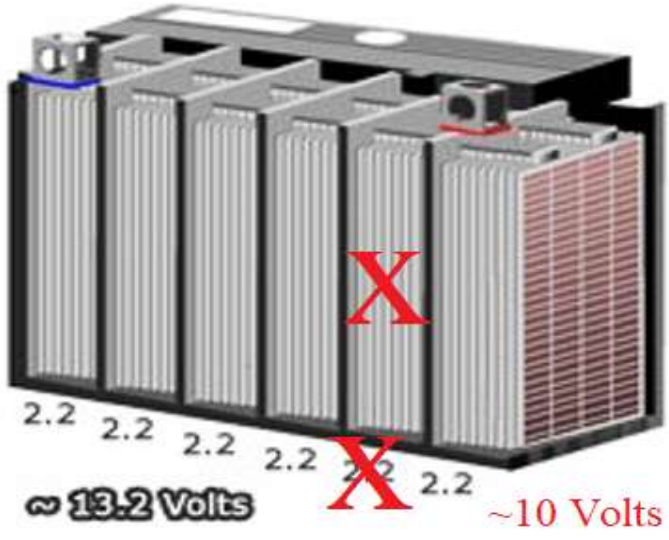
المكونات الأساسية لأي بطارية رصاص حمضية هي زوج من أقطاب الرصاص وثاني أكسيد الرصاص في حامض الكبريتيك، القطب الموجب لبطاريات الرصاص الحمضية مصنوع من PbO_2، بينما القطب السالب المضاد مصنوع من الرصاص النقي أو Pb. المحلول الكهربائي لهذا النوع من البطاريات مصنوع من حامض الكبريتيك.[1]



الشكل (1) زوجين من الرصاص واوكسيد الرصاص في حامض الكبريتيت

عرض مشكلة البحث:

تعد الشبكة المكون الأساسي لبطارية الرصاص الحمضية وتتعرض في أغلب الأحيان إلى إجهادات متفاوتة نتيجة دورات التفريغ والشحن المتتالية مما يؤدي في بعض الأحيان إلى تآكلات تؤدي إلى انفصال المادة الفعالة وتوقف عمل الخلية بالكامل وبالتالي يصبح جهد البطارية الكلي 10 فولت وتفقد فعاليتها.



الشكل(2) بطارية رصاص حمضية في حالة انتهاء عمر تشغيلي

تتلخص مشكلة البحث بشكل رئيسي بالنقاط التالية:

- دراسة وتحليل تصميم الشبكة للحصول على أفضل توزع للجهد والتيار من خلال قضبان الشبكة أثناء عمليات التفريغ والشحن.
- في بعض الحالات قد تتم عملية استبدال الخلية وهي مكلفة جداً ويمكن أن تنتقل المشكلة إلى خلية أخرى وبالتالي تفشل البطارية بالكامل.
- موقع العروة الذي يملك دوراً كبيراً في أداء الأقطاب الموجبة والسالبة، ويبقى تحقيق تموضع العروة المثالي في المنتصف يشكل مشكلةً أثناء تجميع البطارية.
- دراسة تغير زوايا الأسلاك قد يزيد من كفاءة الشبكة ولكنه يشكل أيضاً بعض المشاكل في عملية التصنيع.

أهمية البحث وأهدافه:

يهدف هذا البحث إلى:

- ✓ دراسة تأثير تصميم الشبكة وموقع العروة على توزع الجهد والتيار.
- ✓ اجراء عملية المحاكاة الأولية ببرامج *Autodesk Inventor* و*COMSOL* و*ANSYS* من أجل سيناريوهات توزع التيار والجهد.
- ✓ إيجاد التصميم الأمثل الذي يحقق أطول عمر افتراضي لبطارية الرصاص الحمضية.

طرائق البحث ومواده:

- ✓ دراسة مبدأ عمل بطارية الرصاص الحمضية.
- ✓ تصميم الأجزاء ضمن برامج *CAD*.
- ✓ تنفيذ محاكاة لانتشار الجهد والتيار ضمن برنامجي *COMSOL* و*ANSYS*.
- ✓ دراسة التصميمات وتحليلها للوصول إلى التصميم الأمثل الذي يحقق أطول عمر، أفضل أداء وأقل تكلفة.

المتطلبات الرئيسية لمسألة التصميم قيد الدراسة:

1. تصميم مسارات قضبان الشبكة،
2. زوايا قضبان الشبكة،
3. موقع العروة،
4. المقطع العرضي لقضبان الشبكة،
5. كتلة الرصاص المستخدمة،
6. احتواء المادة الفعّالة،
7. توزع الجهد والتيار،
8. عمر البطارية.

تأثير تغيّر التصميم على كثافة التيار والجهد حول عروة الشبكة:

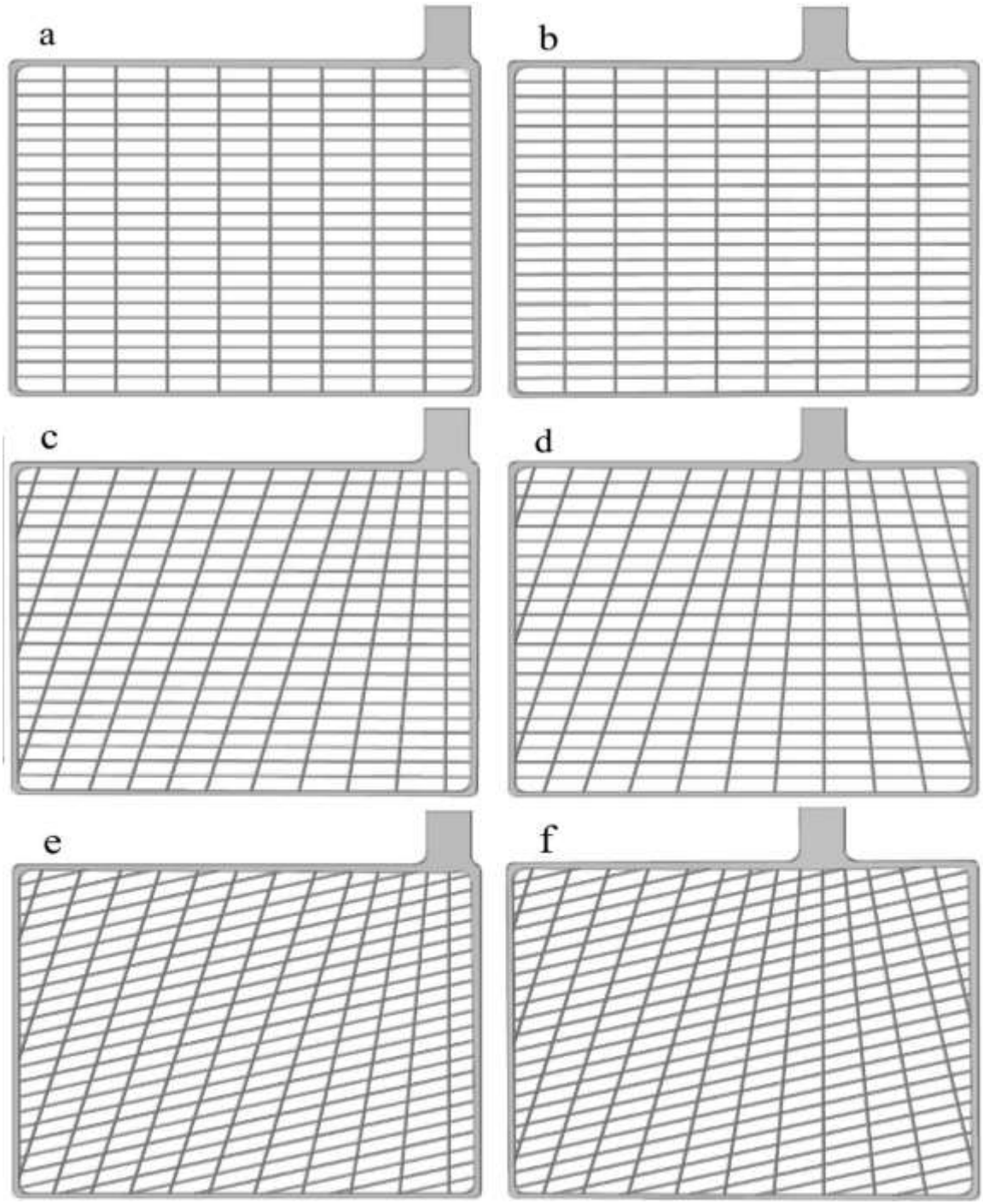
ان استخدام الطرق العددية لاستقصاء تأثير تصميم الشبكة، وموضع العروة وزوايا الأسلاك المائلة والأسلاك المفرغة باتجاه عروة اللوحة يؤثر على أداء القطب الموجب لبطاريات الرصاص الحمضية عن طريق نمذجة توزع التيار والجهد من خلال أسلاك الشبكة، المادة الفعالة والإلكتروليت المجاور لسطح كل شبكة. تم تصميم 18 تصميمًا شبكيًا متميزًا

بنفس الأوزان لتحقيق هذه المهمة. تشير النتائج إلى أن الاتصال مزدوج القطر يوفر زيادة في انتظام توزيع التيار بنسبة تصل إلى 43٪.

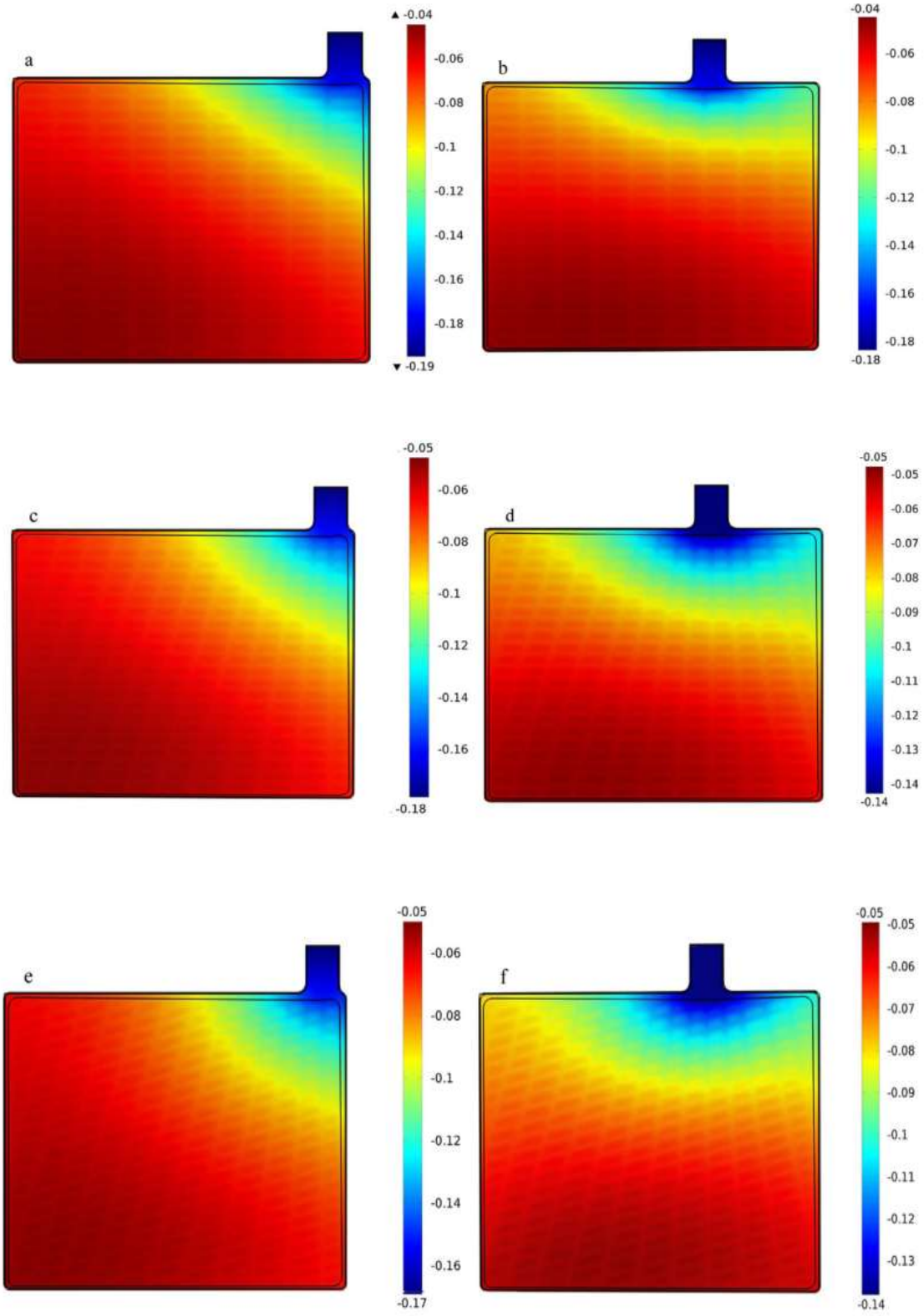
يتضح أيضًا أن تحديد موقع العروة بالقرب من نقطة منتصف الإطار، وزيادة درجة الأسلاك القطرية المتوازية وتقارب الأسلاك باتجاه العروة يزيد من انتظام توزيع التيار حتى 14٪ و1.6٪ و5.6٪ على التوالي.[2]

جدول(1) مواصفات النموذج

Design Code	Models	Lug Position	Skewed Wires Angles	Tapering point/degree
1.a	Conventional Side-lug	61.5	10	None
1.b	Conventional Middle-lug	25	10	None
1.c	Diagonal Side-lug	61.5	10	None
1.d	Diagonal Middle-lug	25	10	None
1.e	Double-diagonal Side-lug	61.5	10	None
1.f	Double-diagonal Middle-lug	25	10	None
2.a	Double-diagonal Middle-lug	22.5	10	None
2.b	Double-diagonal Middle-lug	25	10	None
2.c	Double-diagonal Middle-lug	27.5	10	None
2.d	Double-diagonal Middle-lug	30	10	None
3.a	Double-diagonal Middle-lug	25	8	None
3.b	Double-diagonal Middle-lug	25	10	None
3.c	Double-diagonal Middle-lug	25	12	None
3.d	Double-diagonal Middle-lug	25	14	None
4.a	Double-diagonal Middle-lug	25	10	Midpoint/1.2
4.b	Double-diagonal Middle-lug	25	10	Midpoint/1.4
4.c	Double-diagonal Middle-lug	25	10	Bottom/1.2
4.d	Double-diagonal Middle-lug	25	10	Bottom/1.4



الشكل (3) ستة نماذج مصممة للتحقق من تأثير بنية الشبكة الكلية ، a) مقبض جانبي تقليدي ، b) مقبض متوسط تقليدي ، c) مقبض جانبي قطري ، d) مقبض متوسط قطري ، e) مقبض جانبي مزدوج القطر ،f) مقبض متوسط مزدوج القطر.



الشكل (4) انتشار الجهد (فولت) عبر الشبكة لمختلف الحالات (a–f)

تأثير موقع العروة *Lug Position*

إن موقع العروة له أهمية قصوى في تصميم الشبكة وأداء البطارية. فإن وضع العروة بالقرب من نقطة منتصف الشبكة يمكن أن يحسن قدرة التجميع الحالية من خلال تقصير المسار المستمر لمعظم أجزاء الشبكة. ومع ذلك، فإن تقريب عروات الألواح الموجبة والسالبة لبعضها البعض له بعض القيود العملية في صناعة البطاريات ولن يكون من الممكن وضع عروات اللوحة الموجبة والسالبة تمامًا في منتصف الإطار العلوي. لذلك فإن المسافة بين العروات هي بارامتر حاسم في تصميم الشبكة. يُحدد موقع العروة على أنه المسافة التي تفصلها عن منتصف الشبكة. للعثور على موقع مثالي وعملي للعروة، تم تحديد أربعة مواقع مختلفة وسيتم فحص تأثيرها من خلال إضافتها إلى أفضل تصميم. لذلك، بعد اختيار أفضل هيكل للشبكة، سيتم اختبار المواضع الأربعة المختلفة التالية للعثور على النقطة المثلى. المواقع المحددة هي 22.5 مم و25 مم و27.5 مم و30 مم بعيدًا عن نقطة المنتصف للشبكة. من المفترض أن أبعاد وسمك العروات متشابهة في جميع الحالات. سيتم توفير مزيد من الوصف لهذه النماذج بعد الحصول على النتائج.

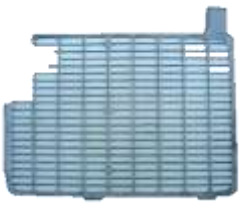
بارامترات التصميم المهمة *Crucial design parameters*

عند تصميم الصفائح الموجبة، هناك بعض المعايير التي يجب أخذها في الاعتبار. الأول هو النسبة (α) بين وزن الشبكة (W_{grid}) ووزن المادة الفعّالة (W_{PAM}) وتعطى بالعلاقة:

$$\alpha = W_{grid}/(W_{PAM} + W_{grid})$$

من الواضح أن القيمة ستزداد مع زيادة وزن الشبكة ولكن مع زيادة كتلة المادة الفعالة (AM) ستنخفض. علاوة على ذلك، يتم تحديد سعة البطارية بواسطة AM، والتي تنتج الطاقة بتحويل PbO_2-$PbSO_4$. نظرًا لأنه من الأكثر فعالية من حيث التكلفة إنتاج كمية محددة من الطاقة عن طريق استهلاك أقل كمية ممكنة من الرصاص، وبالتالي أقل تكلفة، α يجب تصغيرها. ومع ذلك، يجب مراعاة أداء البطارية وعمرها من أجل هذا التحسين.

اختلاف البنية الشبكية ومسارات الخلايا:

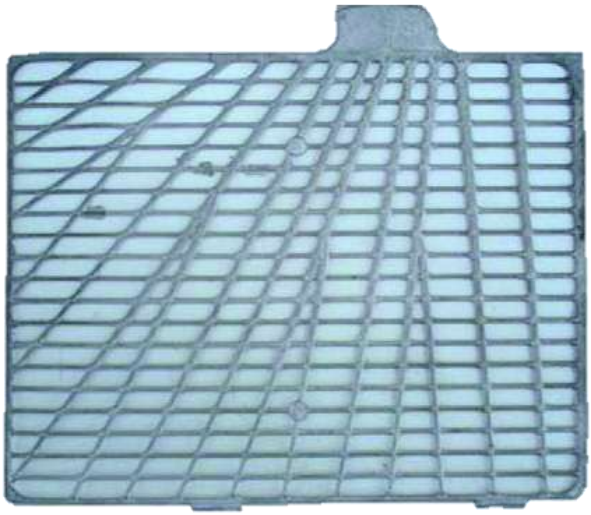


الشكل (5) شبكة سبائك الأنتيمون

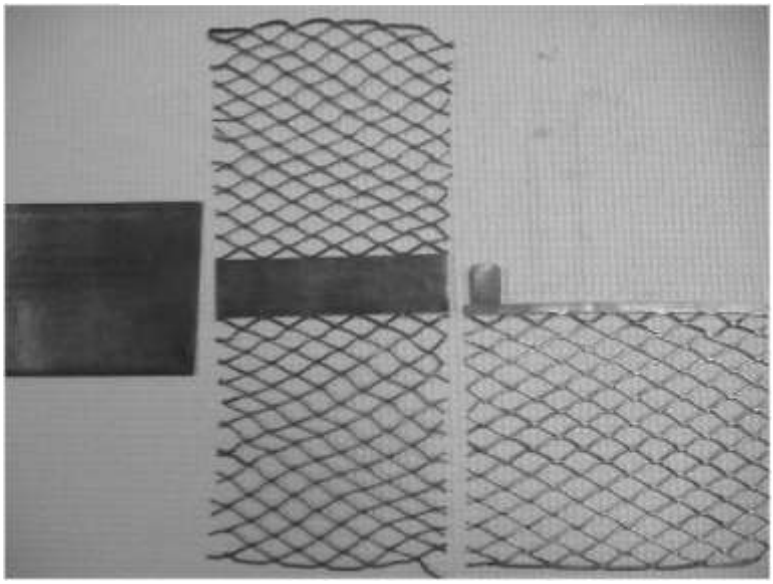
الشكل (6) مجمعات التيار القطرية عالية الكثافة

الشكل (7) شبكة مزدوجة مصبوبة بأسلاك موجهة إلى جامع التيار.

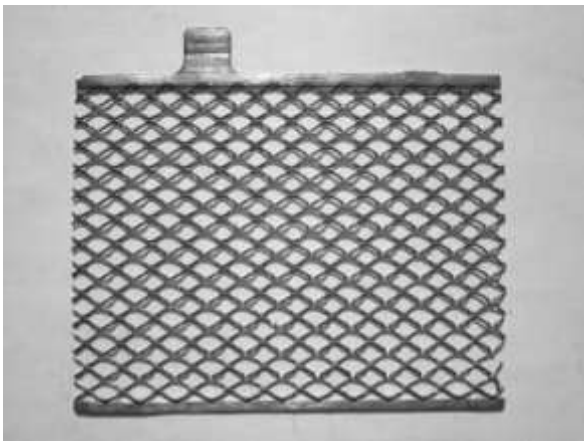
الشكل (8) شبكة أساسية مع أسلاك تجميع تيار قطرية مصبوبة



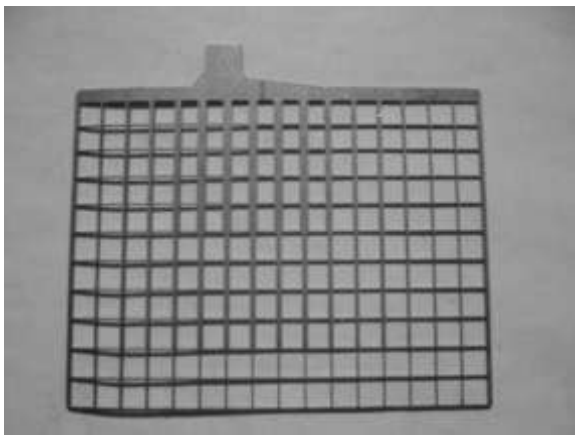
الشكل (9) تصميم محسّن لمجمع التيار القطري



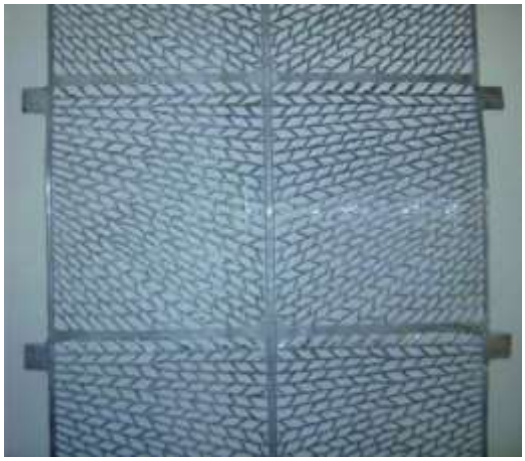
الشكل (10) إنتاج شبكات معدنية موسعة من شريط مدرفل.



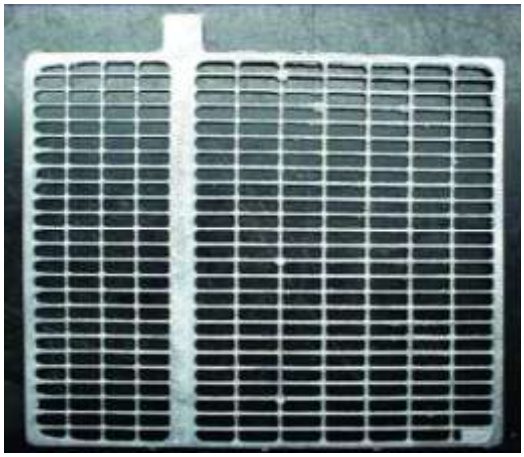
الشكل (11) شبكة معدنية موسعة تنتج من خط الصب.



الشكل (12) الشبكة منتجة عن طريق التشكيل من الشريط المصبوب أو الملفوف.



الشكل (13) شبكات مصبوبة مدرفلة موجهة



الشكل (14) شبكة تفريغ وشحن عالية القدرة

أحدث تصميمات الشبكة التي تم إنتاجها عن طريق التشكيل تضع عروات تجميع التيار في المواقع المثلى[3]. لقد مكنت سبائك الرصاص الجديدة الشبكات من أن تكون أكثر مقاومة للتآكل، وأكثر موصليةً، وأفضل ارتباطًا بالمواد الفعّالة.

الاستنتاجات والتوصيات:

الاستنتاجات

إن التصميم التقليدي لا يلبي الغرض في متطلبات التفريغ العميق والاستخدام المنزلي

1. موقع العروة يلعب دوراً كبيراً في زيادة عمر البطارية عن طريق خفض قيمة كثافة التيار في أماكن نقل الطاقة الكهربائية وبالتالي كلما اتجهنا نحو الوسط كانت الحالة التصميمة مثلى ولكن ضمن حدود تصنيعية.

2. اختلاف التصاميم يلبي متطلبات عديدة مثل رفع القدرة العالية أو التفريغ العميق والحصول على عمر تشغيلي أكبر.

3. طريقة التصنيع هي العائق الكمي الأكبر والتحدي الأصعب لمعامل تصنيع البطاريات وذلك لعدم إمكانية وضع العروة في المنتصف اثناء التجميع لتجنب التماس الكهربائي.

التوصيات:

1. دراسة التصاميم الأخرى للوصول إلى تصميم أمثل يلبي متطلبات التفريغ العميق.

2. دراسة طريقة تصنيع تضمن لنا تموضع العروة في المنتصف دون حدوث مشاكل في عملية التجميع.

3. دراسة تأثير نسبة الأنتيمون في سبيكة الرصاص من حيث النسبة الأمثل لتحقيق أفضل عمر تشغيلي وتحقيق التكلفة الأقل.

References:

[1] P. Kurzweil. (2010). Gaston Planté and his invention of the lead–acid battery—The genesis of the first practical rechargeable battery. *Journal of Power Sources 195* .pages 4424–4434

[2] Ali Alaghebanda, Mohammad Yousef Azimib, Hadi Hashemic, Mohammad Kalanid, Davood Nakhaie. (2017). Optimization of grid configuration by investigating its effect on positive plate of lead-acid batteries via numerical modeling. *Journal of Energy Storage* 12. pages 202–214

[3] RD Prengaman. (2009). Secondary Batteries – Lead– Acid System | Grid Production. *Encyclopedia of Electrochemical Power Sources*, pages 655-661

[4] T. İşler, M. Mazman . Mutlu Akü ve Malz. San. A. Ş. , (2019) New Design and Analysis of Lead Acid Battery Grid *the Scientific and Technological Research Council of Turkey (TÜBİTAK),* Grant No: 3160706.

[5] G.J. May, N. Maleschitz, H. Diermaier, T. Haeupl (2010). The optimization of grid designs for valve-regulated lead/acid batteries for hybrid electric vehicle applications *Journal of Power Sources 195* 4520–4524

[6] Wang Erdong, Shi Pengfei, and Gao Jun. (2006). Research on thin grid materials of lead-acid batteries. *RARE METALS* Vol. 25, Spec. Issue, p .43