

التحكم الذاتي لفرن الميكروويف بناءً على قياس قدرة الموجات الدقيقة

فرح عامر ثامر* هيثم بهنام الوكيل** تغريد محمد رضا*

*الجامعة التكنولوجية/ قسم هندسة السيطرة والنظم

**وزارة العلوم والتكنولوجيا/ دائرة البحث والتطوير الصناعي

بغداد – العراق

الخلاصة

لا تحتوي افران الميكروويف المنزلية على ميزات للكشف عن حالة المواد الموجودة داخل الفرن. حيث ان تغير حالة او نضوب المواد داخل الفرن يتطلب إيقاف تشغيل فرن الميكروويف ذاتيا لتجاوز التسخين المفرط وتلف فرن الميكروويف. وبهذا فان هذا البحث يهدف الى تقديم مفهوم جديد للسيطرة الذاتية لفرن الميكروويف بناءً على قياس قدرة الموجات الدقيقة المتسربة الى خارج الفرن. في هذا البحث ربط فرن الميكروويف بمحلل الطيف والحاسوب الالكتروني عن طريق مجموعة من الاجهزة المادية وبرامج حاسوبية. حيث طورت دائرة فرن الميكروويف لتلائم مع نظام التحكم الذاتي الجديد. واعد برنامج حاسوبي لقراءة الطاقة المقاسة وإيقاف عمل فرن الميكروويف ذاتيا. كما كررت التجارب لتأكيد صحة النتائج وكانت نسبة الخطأ بحدود (5.7%). وبذلك بينت النتائج صحة المفهوم الجديد الذي أكد امكانية التحكم الذاتي في فرن الميكروويف بناءً على قياس قدرة تسرب الموجات الدقيقة التي تتغير وفق حالة المادة داخل فرن الميكروويف.

الكلمات المفتاحية: فرن الميكروويف وقياس القدرة وتحكم ذاتي.

Autonomous Control of Microwave Oven Based on Microwaves Power Measurement

*Farah Amer Thamer

**Haitham Behnam Al-Wakeel

*Taghreed Mohammad Ridha

* University of Technology/ Control and Systems Engineering Department

** Ministry of Science and Technology/ Directorate of Industrial Research & Development

Baghdad-Iraq

E_mail: 60865@student.uotechnology.edu.iq**Abstract**

Domestic microwave ovens do not contain features for detecting material state inside the oven. the state change or lack in material required automatic switch off the microwave oven to overtake the overheating and oven damage. Hence, this research aims to provide a new concept for automatic control the microwave oven based on measurement of microwave power leaked to outside of oven. In this research the microwave oven was linked to a spectrum analyzer and computer via physical media and computer programs. The microwave oven circuit was developed to accommodate the new automatic control system. Computer code was prepared to read the measured energy and automatically switch off the microwave oven. The experiments repetition confirmed the results with a percentage of error of about (5.7%). The results showed the success of the new concept that confirmed the possibility of automatic control of the microwave oven based on leakage measurement of the microwave power that changes according to the material state inside the microwave oven.

Keywords: Microwave Oven, Power Measurement and Automatic Control.

المقدمة

المفاهيم هي قياس درجة الحرارة عن بعد للمواد التي تسخن داخل أفران الميكروويف (Tyler و Conway 1981). مفهوم اخر هو بأثناء وحدة تحكم يمكنها تحديد المستوى المناسب للطاقة ووقت التسخين تلقائياً وفقاً لحساب الوزن (Abd Alrazaaq، 2016). مفهوم اخر اشار الى استخدام نظام كاشف الميكروويف الذي هو عبارة عن هوائي ومقوم يتم وضعه داخل تجويف فرن الميكروويف المحمل بمواد عازلة لغرض تحويل الطاقة غير الممتصة بتردد 2.45 GHz إلى تيار جهد مستمر (Rosa و Carvalho 2018). من جهة اخرى فحص معدل تسرب المجالات الكهرومغناطيسية من أفران الميكروويف (Lopez-iturri و اخرون 2015) واختبر وضع مرشح لتقليل تسرب اشعاع الميكروويف من فرن ميكروويف محلي (Salim و اخرون 2017). ووضحت مقارنة تجريبية لقياس قيم انبعاثات المجال الكهرومغناطيسي لثلاثة أفران ميكروويف عن وجود تسرب للموجات الدقيقة (Panait و اخرون 2019).

هدف هذا البحث هو دراسة امكانية التحكم بتشغيل فرن الميكروويف ذاتيا بناءً على قياس قدرة الموجات الدقيقة المتسربة منه كاستجابة لحالة المواد داخله.

المواد وطرائق العمل

المواد المستخدمة في التجارب

- محلل الطيف (Spectrum Analyzer) نوع (Aaronia) طراز (HF-XFR)، نطاق التردد (1 MHz إلى 9.4 GHz)، نظام التشغيل (Windows 7)، دقة القياس (1 db +/-).

- فرن الميكروويف نوع (Swan)، ذات مواصفات (W Microwave Power, 20 Liters, 850 Internal Dimensions h 17.5 w 25.7 d 26 cm, Weight 10.83 kg).

- هوائي (Sunhans و 2.45 GHz و 6 db).

الإشعاع الكهرومغناطيسي ظاهرة تأخذ شكل موجة يمكن أن تنتشر في المواد والفراغ. تشمل الموجات الكهرومغناطيسية موجات الراديو، والميكروويف، والأشعة تحت الحمراء، والضوء، والأشعة فوق البنفسجية، والأشعة السينية، وأشعة جاما. تعد الموجات الدقيقة جزءاً من الطيف الكهرومغناطيسي الذي له نطاق من الترددات من 0.3 GHz إلى 300 GHz (Heggannavar و اخرون 2015). ان الطاقة الكهرومغناطيسية ضمن أفران الميكروويف يتم امتصاصها وتحولها الى حرارة بواسطة المواد العازلة الموجودة داخل الفرن ويسمى ذلك بالتسخين الحجمي السريع، وهو عكس التسخين التقليدي الذي يسخن الأسطح اولا. عادةً تعمل أفران الميكروويف المحلية بتردد 2.45 GHz (Santos و اخرون 2011). اشارت العديد من الأبحاث بنجاح تسخين الميكروويف واستخدام فرن الميكروويف للتطبيقات المنزلية والصناعية. ومع ذلك، هناك مشاكل تتعلق بقياسات حالة المواد الموجودة داخل فرن الميكروويف. على سبيل المثال، مشكلة تجفيف الفواكه والخضروات (Korkua و اخرون 2016) وكذلك تجفيف البذور (Li و اخرون 2010) بواسطة تسخين الميكروويف، حيث يجفف الميكروويف المواد من الداخل لكن المستشعر يقيس درجة حرارة السطح الخارجي. اضافة ال وجود مشكلة في تجديد او تنظيف مرشح السخام باستخدام تسخين الميكروويف (Al-Wakeel و اخرون 2015) وذلك لان التسخين المفرط غير مسيطر عليه يؤدي الى تلف المرشح وجهاز التسخين بالموجات الدقيقة (Van der Merwe و اخرون 2017) يمكن حل هذه المشاكل من خلال توفير طريقة لقياس حالة المادة والتحكم الذاتي في فرن الميكروويف. للكشف عن حالة المادة داخل فرن الميكروويف توجد عدة مفاهيم سابقة. احدى هذه

- قياس قدرة الموجات الدقيقة المتسربة من فرن الميكروويف.
- التحكم الذاتي بفرن الميكروويف بناء على قياس قدرة الموجات الدقيقة المتسربة من الفرن.

وفي ادناه تفاصيل طرائق العمل

- فحص وجود تسرب للاشعاع الكهرومغناطيسي من افران الميكروويف، وذلك بقياس شدة المجال الكهرومغناطيسي حول ثلاث افران ميكروويف بواسطة (RF Field Strength Meter). حيث كان الفرن الاول (W 1000 Shownic) والثاني (Swan 800) والثالث (W 900 LG).

- قياس قدرة الموجات الدقيقة المتسربة من فرن الميكروويف المتغيرة مع حالة المادة داخل الفرن اثناء تسخين ماء بكمية 200 مل و 400 مل. حيث يتمثل إعداد العمل التجريبي في ربط فرن الميكروويف (Swan، طاقة ميكروويف W 800) بمحلل الطيف (Aaronia) من خلال استخدام هوائي (Sunhans) كما موضح في الشكل (1). وضع فرن الميكروويف في غرفة عديمة الصدى للموجات الراديوية وكررت التجارب ثلاث مرات لتأكيد النتائج.

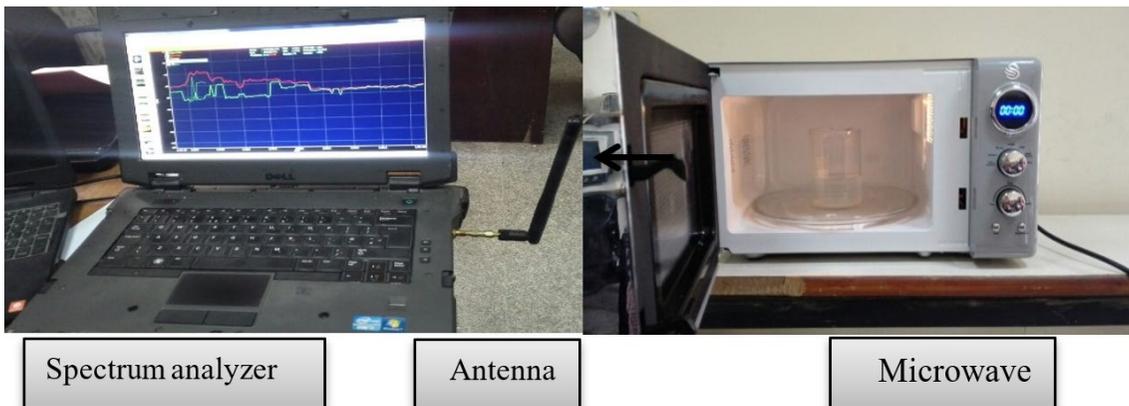
- محلل طيف (Spectrum Analyzer) نوع (ROHDE & SCHWARZ) ذات طراز (R&S-FSP)، نطاق التردد (9 KHz الى 30 GHz)، نظام التشغيل (Windows XP)، دقة القياس (0.2 db +/-).

- هوائي (Flat Antenna).
- مقياس (RF Field Strength Meter).
- مرحلات (Relays) عدد (3).
- مسيطر نوع (Arduino Uno).
- حاسوب.
- برمجيات حاسوب.
- اناء زجاجي.
- ماء.

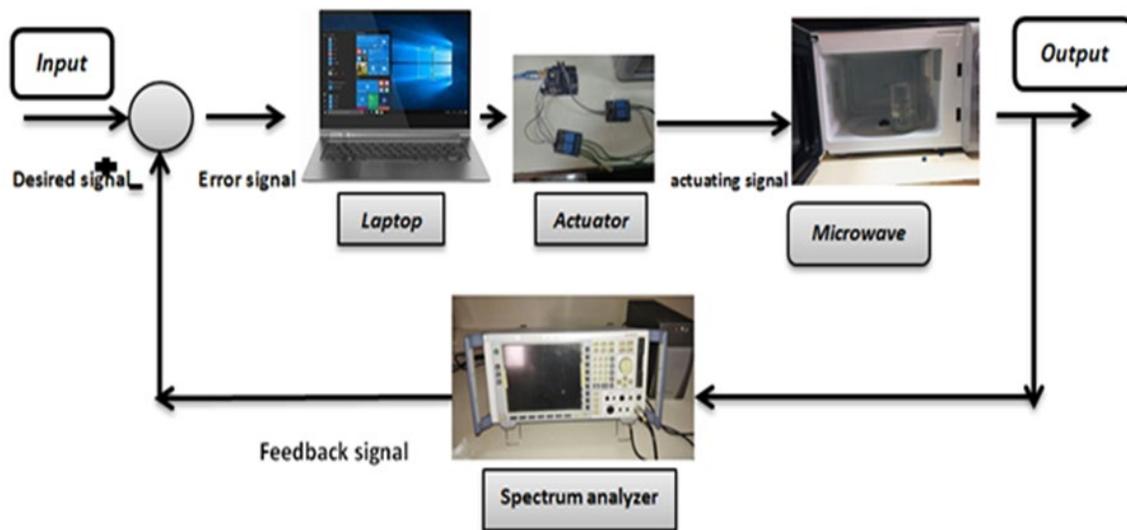
- نفذت الدراسة بوضع فرن الميكروويف في غرفة عديمة الانعكاسات او معزولة من صدى الترددات الراديوية (RF Anechoic Chamber) وذلك لعدم حصول تداخل بين الموجات المتسربة من فرن الميكروويف المطلوب قياسها والموجات الموجودة في البيئة المحيطة (Ehiagwina واخرون 2019).

طرائق العمل المستخدمة في التجارب

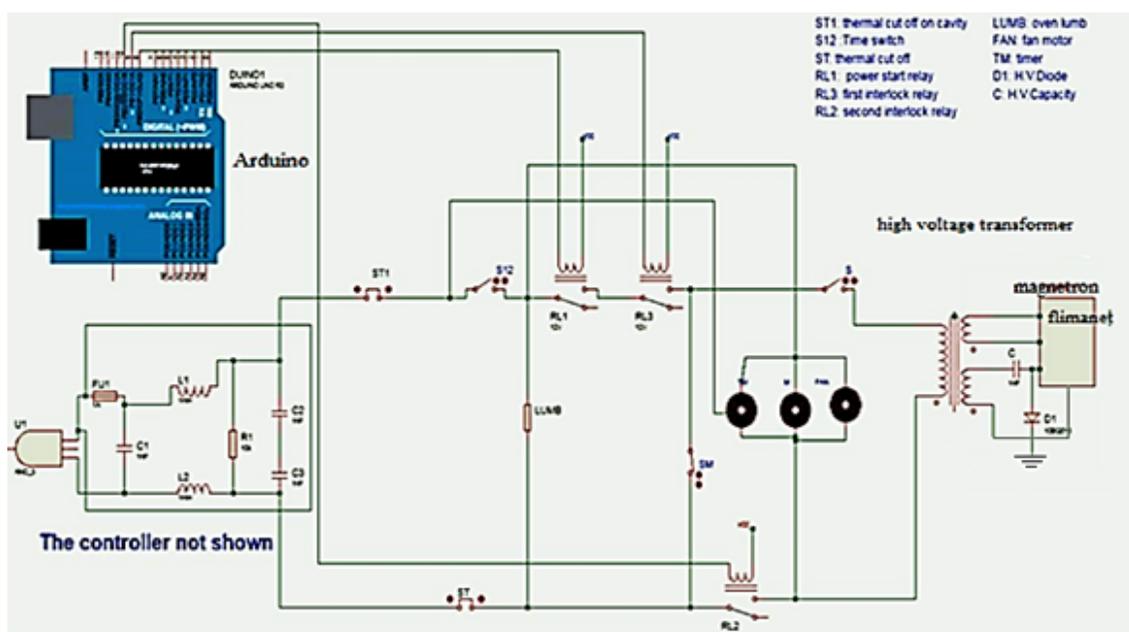
- فحص وجود تسرب الطاقه الكهرومغناطيسية من فرن الميكروويف.



شكل (1) محلل الطيف المتصل بالفرن الميكروويف من خلال الهوائي



شكل (2) مخطط منظومة التحكم الذاتي بالفرن



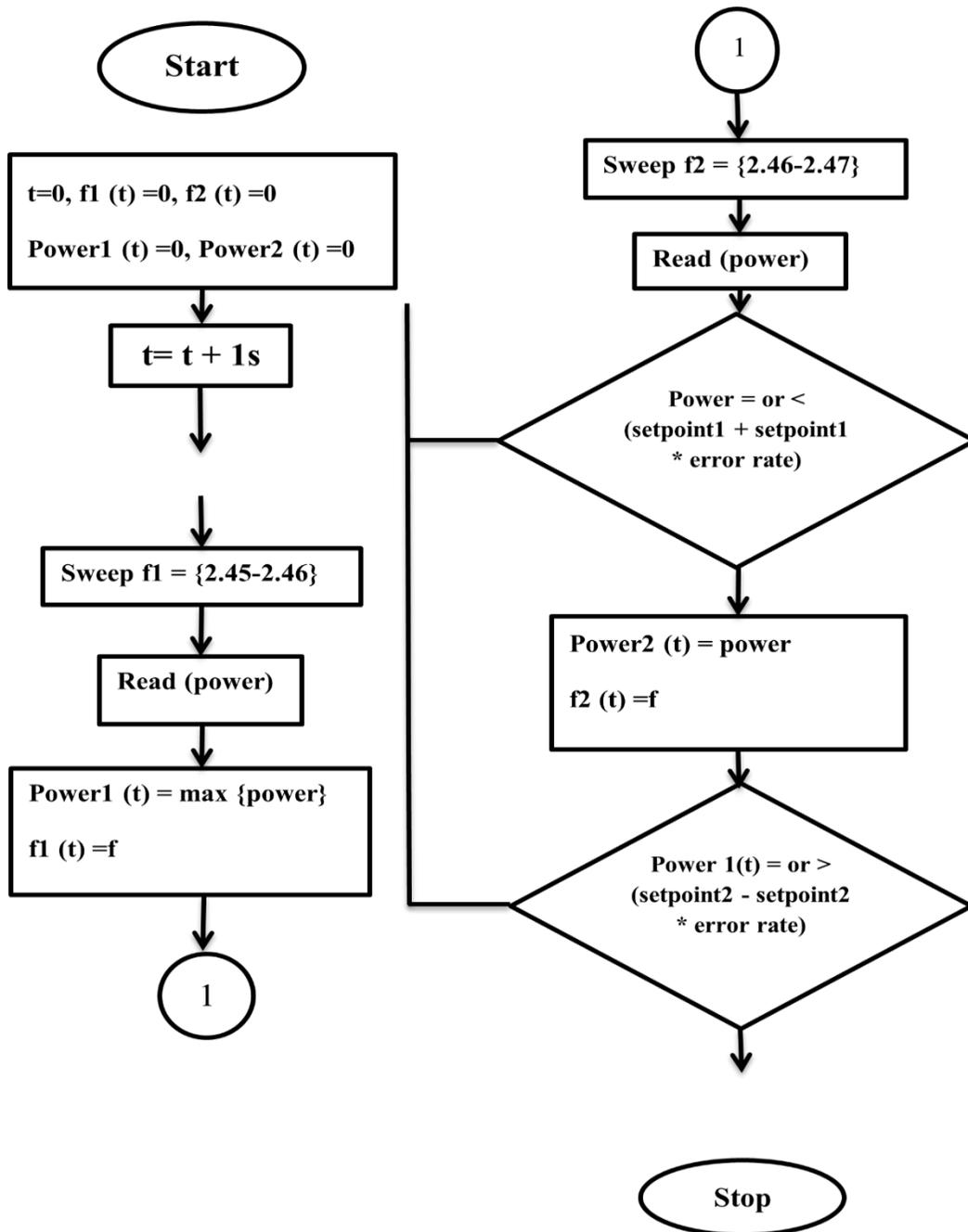
شكل (3) التصميم المطور للدائرة الكهربائية للتحكم الذاتي على فرن الميكروويف

بواسطة مسيطر نوع (Arduino Uno SDM with The Controller Atmega 328) وثلاث مراحل (Relays) والتي يتم عن طريقها تشغيل وإطفاء فرن المايكرويف وكما موضح في الشكل (2). حيث ان الدائرة الكهربائية لفرن الميكروويف طورت لتتضمن المسيطر والمرحلات كما موضح في الشكل (3). اما الربط بالوسائط البرمجية فتم بتحميل الحاسبة ببرنامج

- التحكم الذاتي بفرن الميكروويف بناءً على قياس قدرة الموجات الدقيقة المتسربة من الفرن، حيث تمثلت طريقة العمل بربط وسائط برمجية ومادية. فالربط المادي تمثل بربط فرن الميكروويف (Swan) ذو طاقة ميكروويف (800 W) مع جهاز محلل الطيف (FSP-R&S Spectrum Analyzer) من خلال هوائي (Flat Antenna)، وربط الفرن مع الحاسبة

وهو إيجاد القدرة المقاسة العليا في نفس وقت الشرط الأول ضمن الترددات (2.45-2.46) GHz. عندما يحقق البرنامج الحاسوبي الشرطين والتي تمثل وصول الماء عند حالة الغليان، يرسل ايعاز الى المسيطر الذي يرسل اشارة الى المرحلات الثلاثة لايقاف تشغيل الفرن. مخطط عمل البرنامج موضح في الشكل (4).

(Visual Basic) ليقوم بقراءة و تخزين البيانات من محلل الطيف والتحكم بتشغيل وايقاف فرن المايكرويف عن طريق شرطين. الشرط الأول هو إيجاد القدرة المتسربة مع الوقت حتى تصل القدرة المقاسة إلى القيمة الدنيا للترددات بين (2.46-2.47) GHz. عند استيفاء الشرط الأول، ينتقل البرنامج إلى الشرط الثاني



شكل (4) مخطط عمل البرنامج للتحكم الذاتي على اطفاء الفرن

جدول (1) نتائج قياس شدة تسرب الاشعاع الكهرومغناطيسي من ثلاث افران

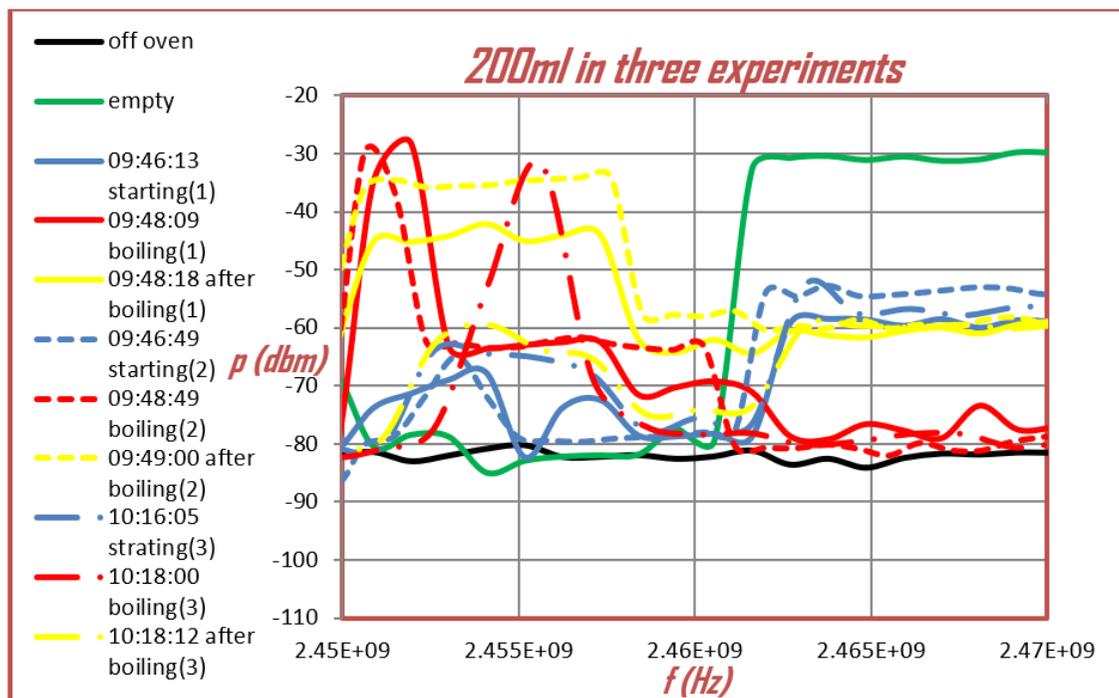
Oven	Type	Leakage
First	Swan, 800 W	130 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$
Second	Shownic, 1000 W	36 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$
Third	LG, 900 W	170 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$
Allowed (Standard)	Ref. (Curulli, 2016)	5m W/ cm^2

اما نتائج قياس قدرة الموجات الدقيقة المتسربة من فرن الميكروويف اثناء تسخين 200 مل و 400 مل ماء موضحة في الشكلين (5 و 6) على التوالي. حيث قيست القدرة الكهرومغناطيسية المتسربة لمدى الترددات (2.45-2.47 GHz) خلال خمس حالات لكل من 200 مل و 400 مل ماء. الحالة الأولى (المنحني الاسود) عندما كان فرن الميكروويف غير شغال.

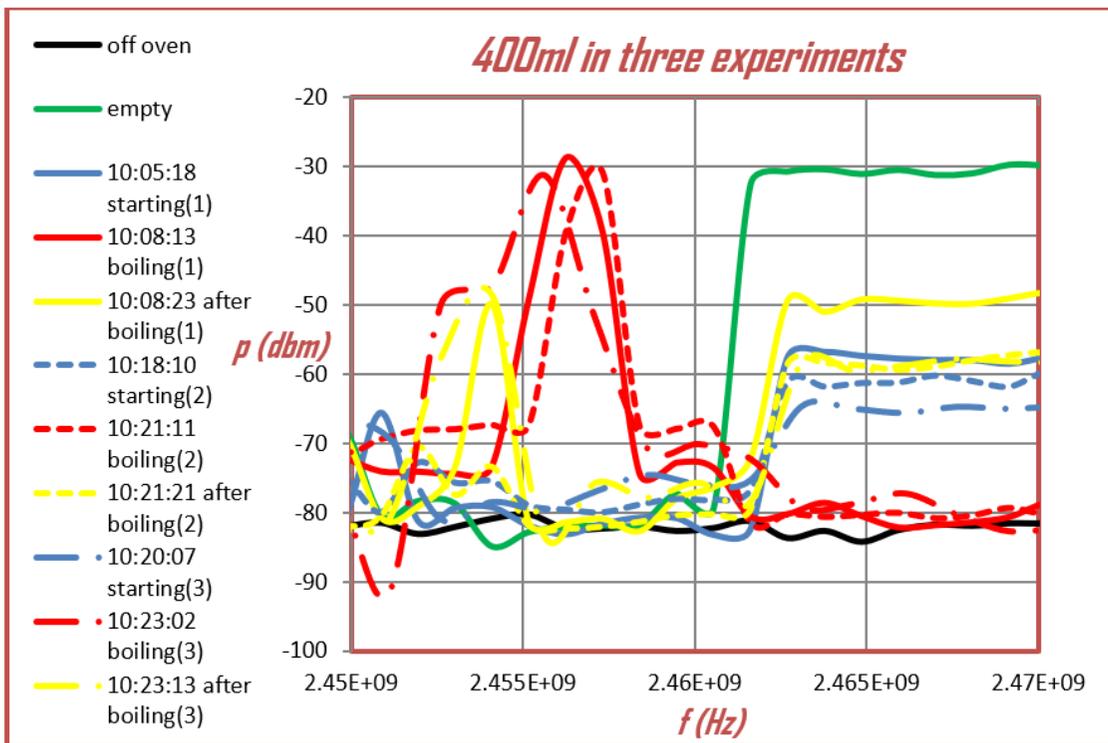
الحالة الثانية (المنحني الاخضر) عند تشغيل فرن الميكروويف بدون مادة بداخله. في الحالة الثالثة (المنحني الازرق) اضيف الماء داخل فرن الميكروويف عند التشغيل، اما الحالة الرابعة (المنحني الاحمر) فكانت عند حالة غليانه داخل فرن الميكروويف. والحالة الخامسة (المنحني الاصفر) كانت لحالة الماء المتبخر بعد غليان داخل فرن الميكروويف. وادناه مناقشة سلوك المنحنيات ذات الخط المتصل للحالات الخمسة. بين المنحني الاسود ان قيمة القدرة المقاسة عندما كان فرن الميكروويف غير شغال هي بحدود (-80) dbm.

النتائج والمناقشة

أظهرت نتائج تجربة فحص تسرب الطاقة الكهرومغناطيسية اثبات وجود تسرب للطاقة الكهرومغناطيسية لثلاثة أفران وضعت في غرفة عديمة الصدى للموجات الراديوية كما مبين في الجدول (1) ولكن هذه القيمة لا تؤثر على الإنسان وفقاً للمعيار 5



شكل (5) قياس قدرة الموجات الدقيقة المتسربة خارج فرن المايكرويف مقابل التردد للمكمية 200 مل ماء



شكل (6) قياس قدرة الموجات الدقيقة المتسربة خارج فرن المايكرويف مقابل التردد للكمية 400 مل ماء

داخل الماء كطاقة حرارية وتزيد درجة حرارة الماء. يمثل المنحنى المتصل الأحمر بنفس الشكلين اعلاه سلوك 200 مل و 400 مل ماء بعد حوالي 2 و 3 دقيقة على التوالي من تسخين المايكرويف للوصول إلى حالة الغليان. حيث يمكن ملاحظة رجوع قيمة القدرة المقاسة للترددات التي تراوحت (2.46-2.47) GHz إلى (-80) dbm. هذه الظاهرة تعني أن الماء بسبب الحركة المتذبذبة العشوائية له في حالة الغليان يمتص كل الطاقة الكهرومغناطيسية. الاختلاف في زمن الغليان لكل من 200 مل و 400 مل من الماء يعود إلى الاختلاف في كمية الماء. المنحنى المتصل الأصفر بنفس الشكلين اعلاه فيوضح الاتجاه بعد الغليان، والذي أظهر أن القدرة المقاسة زادت إلى حوالي (-60) dbm (-50) dbm للترددات التي تراوحت (2.46 - 2.47) GHz لكل من كميات الماء ذات الحجمين 200 مل و 400 مل ماء على التوالي. نقص حجم الماء يسبب زيادة الطاقة حيث تبخر الماء يؤدي إلى نقص الطاقة الكهرومغناطيسية

أظهر المنحنى المتصل الاخضر في كل من الشكلين (5 و 6) السلوك عندما كان تجويف المايكرويف فارغاً أثناء تشغيل مولد الموجات الدقيقة. تراوحت قيمة القدرة المقاسة بين (-25 و -35) dbm للترددات التي تراوحت بين (2.46-2.47) GHz. تمثل قيمة الطاقة هذه مقدار الطاقة المنبعثة من مولد الموجات الدقيقة دون وجود ممتص للطاقة. يمثل المنحنى المتصل الأزرق في الشكلين (5 و 6) السلوك عندما كان هناك 200 مل و 400 مل من الماء داخل تجويف المايكرويف عند بدء تشغيل الفرن وأن قيمة القدرة المقاسة لكل من 200 مل و 400 مل من الماء انخفضت إلى حوالي (-55) dbm للترددات التي تراوحت (2.46-2.47) GHz. يمكن ملاحظة أن الاختلاف في القدرة المقاسة بين منحنى فرن المايكرويف الفارغ ومنحنى وجود 200 ml و 400 ml من الماء أثناء تشغيل فرن المايكرويف هو قيمة الطاقة الكهرومغناطيسية التي تمتصها المادة العازلة، وهي الماء. حيث تتبدد الطاقة الكهرومغناطيسية الممتصة

تمت مناقشة التقنيات المنجزة لقياس معلمات داخل فرن المايكروويف وكما موضح في جدول (2) والمقارنة بينهم.

الملتصقة. أدى ذلك إلى زيادة الطاقة المقاسة التي تمثل تسرب طاقة المايكروويف. قياس قوة التسرب لكمية 400 مل من الماء أقل من 200 مل لأن القدرة الملتصقة لكمية 400 مل من الماء تزيد عن 200 مل. علاوة على ذلك، أظهرت المنحنيات البنية والزرقاء المتصلة بنفس الشكلين المشار إليها اعلاه بالنسبة للترددات (2.45-2.46) GHz انه لا يوجد انبعاث للطاقة من مولد الموجات الدقيقة حيث كانت قيمة الطاقة حوالي (-80) dbm. بينما أظهرت المنحنيات الحمراء والصفراء المتصلة نموًا في الطاقة بسبب الحركة المتذبذبة العشوائية للماء المتبخر الذي تنقل الإلكترونات من مدار للطاقة إلى مدار آخر، وتبدد الطاقة الحرارية كطاقة كهرومغناطيسية وهذا يتوافق مع ما ورد في (Olsen وآخرون 2005). يؤدي الاختلاف في كمية الماء إلى بعض الاختلاف في سلوك القدرة المقاسة كما هو موضح في الشكلين (5 و6). تكرار التجارب لثلاث مرات التي تم إجراؤها لقياس قدرة الموجات الدقيقة المتسربة من فرن المايكروويف أثناء تسخين 200 مل و400 مل من الماء والتي تم التمييز بينها باستخدام (المنحني المتصل، المنحني المتقطع، والمنحني المنقط) كانت متوافقة بنسبة خطأ (4%) و (5.7%) كما هو موضح في الشكلين (5 و6) على التوالي. أما نتائج تجربة التحكم الذاتي لفرن المايكروويف بناء على قياس قدرة الموجات الدقيقة المتسربة من الفرن بينت ان الوقت من بداية تشغيل فرن المايكروويف لحين الوصول إلى حالة الغليان لحجمين من الماء هما 200 مل و400 مل كان بحدود 01:55 دقيقة و 02:55 دقيقة مقارنة مع التحكم اليدوي 2 دقيقة و 02:55 دقيقة على التوالي. وبذلك تم اثبات امكانية الاطفاء الذاتي لفرن المايكروويف بالاعتماد على قياس قدرة التسرب للموجات الدقيقة الذي وضع حالة غليان الماء الموجود داخل فرن المايكروويف.

جدول (2) مقارنة للتقنيات المنجزة لقياس معلمات داخل فرن الميكروويف

التقنية	الباحثين	السنة	العمل	النتائج
قياس درجة الحرارة	Korkua	2016	التحكم التلقائي في الطور لمولد الموجات الدقيقة بناءً على كشف درجة الحرارة.	التحكم تلقائياً في خرج طاقة مولد الموجات الدقيقة وفقاً لقياس درجة حرارة المنتج داخل فرن الميكروويف.
قياس الوزن	Alrazaaq	2016	إضافة ميزان أسفل القرص الدوار في فرن الميكروويف.	دمج التقنيات الذكية مع تصميم وحدة تحكم فرن الميكروويف.
قياس القدرة الكهرومغناطيسية	Dubey وآخرون	2017	استخدام مستشعرات الطاقة لتحويل طاقة الميكروويف إلى إشارة تيار مستمر باستخدام تقنية RF MEMS.	تطوير نظام مستشعر الطاقة لتحل محل موهنان الطاقة.
	Rosa وآخرون	2018	وضع مسبار كاشف المجال وهو عبارة عن مقوم وهوائي داخل فرن الميكروويف.	يحول القدرة الكهرومغناطيسية داخل تجويف فرن الميكروويف إلى جهد تيار مستمر.
العمل الحالي			التحكم بتشغيل فرن الميكروويف ذاتياً بناءً على قياس قدرة الموجات الدقيقة المتسربة من الفرن كاستجابة لحالة المواد داخل الفرن.	لا يوجد حاجة الى وضع معدات داخل فرن الميكروويف ولا الى موهن للقدرة الكهرومغناطيسية.

الاستنتاجات والتوصيات

مع حالة المادة الموجودة داخل فرن الميكروويف، وبذلك تم وبنجاح بناء نظام تحكم ذاتي لإطفاء فرن الميكروويف يعتمد على قياس قدرة الموجات الدقيقة بربط فرن الميكروويف بمحلل طيف وجهاز حاسوب عبر وسائط مادية وبرمجية. يمكن تطوير نظام التحكم المعروض في هذا البحث من خلال استخدام كاشف ترددات راديوية خارجي ليكون نظاماً محمولاً يستخدم على نطاق واسع.

تبلغ قياسات شدة الطاقة للموجات الدقيقة المتسربة من أفران الميكروويف الفارغة المشغلة والموجودة في غرفة عديمة الصدى للتردد اللاسلكي حوالي (130 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$)، وهذه القيمة أقل من القيمة القياسية (5 mW/cm^2) التي يسمح للإنسان أن يتعرض لها. كما أثبتت النتائج التجريبية أن الطاقة الكهرومغناطيسية للموجات الدقيقة المتسربة من فرن الميكروويف تتغير

References

- Abd Alrazaaq**, S. N. (2016). Lab VIEW Based Fuzzy Controller Designed for a Microwave Oven. *Tikrit Journal of Engineering Sciences*, 23(1), 61-68.
- Al-Wakeel**, H. B.; Karim, Z. A., & Al-Kayiem, H. H. (2015). A Technique for Localized Rapid Soot Oxidation Using Metal Aided Microwave Radiation. *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, 64(1), 37-43.
- Curulli**, F. (2016). Development of a New Blanching Technology for Vegetables. Horticulture Innovation, Simplot Australia Pty Ltd, Victoria, Australia, Project Number: VG07177.
- Dubey**, S. K.; Narang, N.; Negi, P. S., & Ojha, V. N. (2017). Lab View Based Automation Guide for Microwave Measurements. Springer.
- Ehiagwina**, F. O.; Afolabi, A. S.; Surajudeen-Bakinde, N. T., & Fakolujo, O. A. (2019). Sensitivity Degradation and Antenna Isolation Analyses for a Multi-operator Global Systems for Mobile Communication Base Transceiver Stations. *Nigerian Journal of Technology*, 38(1), 177-184.
- Heggannavar**, M., & Kulkarni, H. (2015). Design of Magnetron Power Source from Three Phase Supply. In 2015 International Conference on Energy Systems and Applications, IEEE, pp. 552-556.
- Korkua**, S. K.; Chandhaket, S.; Thinsurat, K., & Pornbandit, K. (2016). Design of Automatic Phase-controlled Converter Based on Temperature for Microwave Drying System. In 2016 2nd IEEE International Symposium on Robotics and Manufacturing Automation, IEEE, Roma, pp. 1-6.
- Li**, Z.; Raghavan, G. S. V., & Orsat, V. (2010). Temperature and Power Control in Microwave Drying. *Journal of Food Engineering*, 97(4), 478-483.
- Lopez-iturri**, P.; De Miguel-Bilbao, S.; Aguirre, E.; Azpilicueta, L.; Falcone, F., & Ramos, V. (2015). Estimation of Radiofrequency Power Leakage from Microwave Ovens for Dosimetric Assessment at Nonionizing Radiation Exposure Levels. *BioMed Research International* 2015.
- Olsen**, J. D., & McDonald, K. T. (2005). Classical Lifetime of a Bohr Atom. Joseph Henry Laboratories, Princeton University.
- Panait**, D. E.; Jufa, A. C., Floroian, L.; Pascu, A. M.; Badea, M.; Popa, M., & Bungau, S. (2019). Electromagnetic Pollution of the Environment due Leakage Radiation from Microwave Ovens. *Material Plastic*, 56(1), 82.
- Rosa**, G. D., & Carvalho, N. B. (2018). Microwave Oven Field Detector Probe. In 2018 IEEE Wireless Power Transfer Conference (WPTC), IEEE, pp. 1-4.
- Salim**, A. J.; Ali, J. K., & Ahmed, H. S. (2017). Design of Fractal-based Band Stop Filter for Microwave Radiation Leakage Reduction. *Engineering and Technology Journal*, 35(1 Part (A) Engineering), 16-23.
- Santos**, T.; Valente, M. A.; Monteiro, J.; Sousa, J., & Costa, L. C. (2011). Electromagnetic and Thermal History During Microwave Heating. *Applied Thermal Engineering*, 31(16), 3255-3261.
- Tyler**, H. J., & Conway, W. H. (1981). U.S. Patent No. 4,297,557. Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office.
- Van der Merwe**, J. P., & De Swardt, J. B. (2017). Power Control of a Domestic Microwave Oven. In 2017 IEEE African, IEEE, pp. 574-578.