

Design and Implementation of a Low-Cost Smart System for Controlling Home Appliances via Telephone Using GSM and DTMF

Fathallah Ibrahim Suleiman^{1*}, Ziad Abdulkarim Hamad²

^{1,2}Department of Electrical and Electronic Engineering, Faculty of Engineering Technologies, Al-Qubba, Libya

تصميم وتنفيذ نظام ذكي منخفض التكلفة للتحكم في الأجهزة المنزلية عبر الاتصال الهاتفي باستخدام GSM وDTMF

فتح الله إبراهيم سليمان^{1*}، زياد عبد الكريم حمد²
^{1,2}قسم الهندسة الكهربائية والإلكترونية، كلية التقنيات الهندسية، القبة، ليبيا

*Corresponding author: Fathall.i.adam1986@gmail.com

Received: December 29, 2025

Accepted: February 05, 2026

Published: February 12, 2026

Copyright: © 2026 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

Abstract:

This study aims to design and implement a low-cost intelligent system for remote control of household appliances based on cellular communication technology and Dual-Tone Multi-Frequency (DTMF) signaling, thereby providing a practical and reliable solution for home automation applications. The proposed system is built around the Arduino Uno, which functions as the main processing unit. It receives user commands transmitted via a phone call through the SIM800L cellular communication module. The DTMF signals generated by pressing mobile phone keypad buttons are decoded and converted into digital control commands to switch electrical loads on and off through electromechanical relays, ensuring safe electrical isolation between the control circuitry and the power loads. The system incorporates a state-retention mechanism using the embedded EEPROM memory of the microcontroller, enabling automatic restoration of the last operating status of connected devices after power interruptions, thus enhancing operational stability and reliability. Additionally, user feedback is provided through the DFPlayer Mini module, which delivers voice prompts confirming command reception and execution, thereby improving user interaction and minimizing operational errors. Experimental results demonstrate fast response time and high accuracy in command execution, with reliable performance in managing multiple electrical loads. The proposed design is characterized by simplicity, cost-effectiveness, and scalability, making it suitable for deployment in resource-limited environments and providing a foundation for future integration into Internet of Things (IoT) systems.

Keywords: GSM, Arduino Uno, DTMF Signals, Embedded System, s Home Automation.

المخلص:

يهدف هذا البحث إلى تصميم وتنفيذ نظام ذكي منخفض التكلفة للتحكم في الأجهزة المنزلية عن بُعد بالاعتماد على تقنية الاتصالات الخلوية وإشارات النغمات مزدوجة التردد (DTMF)، بما يحقق حلاً عملياً وموثوقاً لتطبيقات الأتمتة المنزلية. يركز النظام على لوحة Arduino Uno كوحدة معالجة رئيسية، حيث تتولى استقبال أوامر المستخدم المُرسلة عبر مكالمات هاتفية من خلال وحدة الاتصال الخلوي SIM800L. يتم تحليل إشارات DTMF الناتجة عن ضغط أزرار الهاتف المحمول وتحويلها إلى أوامر رقمية تتحكم في تشغيل وإيقاف الأحمال الكهربائية المتصلة عبر مرحلات كهروميكانيكية،

بما يضمن عزلاً كهربائياً آمناً بين دائرة التحكم والأحمال. يتضمن النظام آلية لحفظ حالات التشغيل باستخدام ذاكرة EEPROM المدمجة في المتحكم، الأمر الذي يسمح باستعادة آخر حالة تشغيل للأجهزة تلقائياً بعد انقطاع التيار الكهربائي، مما يعزز استقرارية الأداء وموثوقية التشغيل. كما يوفر تغذية راجعة صوتية للمستخدم عبر وحدة DFPlayer Mini، حيث يتم إصدار رسائل صوتية تؤكد استلام الأوامر وتنفيذها، وهو ما يساهم في تحسين تجربة الاستخدام وتقليل احتمالات الخطأ. أظهرت نتائج الاختبارات العملية استجابة سريعة ودقة عالية في تنفيذ أوامر التحكم، مع قدرة النظام على إدارة عدة أحمال بكفاءة وثبات تشغيلي. يتميز التصميم بالبساطة، وانخفاض التكلفة، وسهولة التوسع المستقبلي، مما يجعله مناسباً للتطبيق في البيئات ذات الإمكانيات المحدودة، ويشكل أساساً لتطوير حلول أكثر تقدماً قابلة للدمج ضمن منظومات إنترنت الأشياء.

الكلمات المفتاحية: GSM Arduino Uno إشارات DTMF الأنظمة المدمجة، الأتمتة المنزلية.

المقدمة:

شهدت السنوات الأخيرة تطوراً متسارعاً في تقنيات الأنظمة المدمجة والاتصالات اللاسلكية، مما أدى إلى ظهور حلول ذكية تهدف إلى تحسين أساليب التحكم في الأجهزة المنزلية وزيادة كفاءة استخدامها. تُعد أنظمة التحكم المنزلي الذكي من المجالات المهمة التي تجمع بين الإلكترونيات والاتصالات والبرمجة، حيث تساهم في توفير الراحة، وتقليل استهلاك الطاقة، وتعزيز السلامة التشغيلية داخل المنازل. ومن بين التقنيات المتاحة، تبرز تقنية الاتصالات الخلوية (GSM) كوسيلة فعالة للتحكم عن بُعد نظراً لانتشار شبكات الهاتف المحمول وسهولة الوصول إليها دون الحاجة إلى بنية تحتية معقدة. يعتمد مفهوم التحكم عبر الإشارات النغمية مزدوجة التردد (DTMF) على استخدام نغمات تصدر عند الضغط على أزرار الهاتف، حيث يمكن تفسير هذه الإشارات وتحويلها إلى أوامر تحكم رقمية [1-3]. يتيح هذا الأسلوب للمستخدم إدارة الأجهزة المنزلية من أي موقع عبر مكالمة هاتفية بسيطة، مما يجعله حلاً عملياً وموثوقاً، خاصة في البيئات التي تفتقر إلى اتصال إنترنت مستقر.

في هذا السياق، تقدم هذه الدراسة تصميم وتنفيذ نظام ذكي للتحكم في الأجهزة المنزلية باستخدام لوحة التحكم Arduino Uno كوحدة معالجة مركزية، بالتكامل مع وحدة الاتصال الخلوي SIM800L لاستقبال الأوامر، بالإضافة إلى وحدة صوتية DFPlayer Mini لتوفير تغذية راجعة للمستخدم. يهدف النظام إلى تحقيق تحكم موثوق ومنخفض التكلفة مع إمكانية حفظ حالات التشغيل واستعادتها بعد انقطاع الطاقة [4-10].

تكتسب هذه الدراسة أهميتها من كونها تقدم نموذجاً عملياً قابلاً للتطوير في مجال الأتمتة المنزلية، كما تمثل خطوة نحو دمج تقنيات الاتصالات التقليدية مع الأنظمة الذكية الحديثة بما يدعم التوجه نحو منازل أكثر ذكاءً وكفاءة واستدامة.

مشكلة البحث:

تواجه أنظمة التحكم في الأجهزة المنزلية في العديد من البيئات تحديات تتعلق بتعقيد البنية التحتية، وارتفاع التكلفة، والاعتماد على اتصال إنترنت مستقر، وهو ما قد لا يتوفر دائماً في بعض المناطق. كما أن الطرق التقليدية للتحكم بالأجهزة تتطلب التواجد الفيزيائي للمستخدم، مما يقلل من المرونة وسهولة الإدارة عن بُعد. لذلك تظهر الحاجة إلى نظام تحكم منزلي ذكي يعتمد على وسائل اتصال موثوقة ومنخفضة التكلفة يمكن استخدامها في أي وقت ومن أي مكان. تنطلق مشكلة هذا البحث من غياب حلول عملية تجمع بين البساطة والاعتمادية وسهولة التنفيذ، بحيث تتيح التحكم في الأجهزة المنزلية باستخدام شبكات الهاتف المحمول المتاحة على نطاق واسع. وعليه، يسعى هذا البحث إلى تصميم وتنفيذ نظام يعتمد على الاتصال الهاتفي وتقنية الإشارات النغمية (DTMF) لتوفير وسيلة تحكم فعالة وآمنة، مع ضمان استمرارية التشغيل وسهولة الاستخدام، بما يلبي احتياجات المستخدمين في البيئات ذات الموارد المحدودة.

أهداف البحث:

1. تصميم نظام ذكي منخفض التكلفة للتحكم في الأجهزة المنزلية باستخدام الاتصال الهاتفي والإشارات النغمية (DTMF).
2. تنفيذ نظام عملي يعتمد على متحكم دقيق ووحدة اتصال GSM للتحكم في عدة أحمال كهربائية عن بُعد.
3. تحقيق وسيلة تحكم موثوقة لا تعتمد على الإنترنت، مناسبة للبيئات ذات البنية التحتية المحدودة.
4. توفير تغذية راجعة صوتية للمستخدم لتأكيد تنفيذ الأوامر وتحسين تجربة الاستخدام.
5. ضمان استمرارية التشغيل عبر حفظ حالات الأجهزة واسترجاعها بعد انقطاع التيار الكهربائي.
6. تقييم أداء النظام من حيث الاستجابة والاستقرار أثناء التشغيل الفعلي.
7. إتاحة نموذج قابل للتطوير والدمج مستقبلاً مع أنظمة الأتمتة المنزلية وإنترنت الأشياء.

منهجية البحث:

هذا البحث يتبع المنهج التطبيقي (Applied Research Methodology)، وهو منهجية تُركز على حل مشكلات عملية وتطوير أنظمة عملية قابلة للتنفيذ. وفي سياق هذا البحث، تُستخدم هذه المنهجية لتطوير نظام مبتكر يربط بين تقنيات الاتصالات والتحكم الإلكتروني.

1. **المنهج الوصفي التحليلي (Descriptive and Analytical Approach):** يتم استخدام هذا المنهج لتحليل متطلبات النظام وتوصيف الأجهزة والبرمجيات المستخدمة. وتحليل كيفية عمل تقنيات الاتصال مثل وحدة SIM800L وDTMF وآلية دمجها مع أنظمة التحكم.

2. **المنهج التجريبي (Experimental Approach):** يُطبق هذا المنهج خلال تصميم واختبار النظام. حيث يتم إنشاء نموذج عملي وتجربة تشغيل الأجهزة عبر المكالمات الصوتية لاختبار الكفاءة والفعالية. دور تكنولوجيا GSM وDTMF في تحسين التحكم في الأجهزة المنزلية:

يرتكز هذا البحث على مجموعة من المفاهيم والتقنيات الأساسية في مجال الأنظمة المدمجة والاتصالات، والتي تشكل الأساس العلمي لتصميم نظام التحكم المنزلي المقترح وكيفية تكامل مكوناته لتحقيق التحكم عن بُعد بطريقة موثوقة وفعالة. تُعد تقنية الاتصالات الخلوية (GSM) من أهم وسائل الاتصال اللاسلكي واسعة الانتشار، حيث تسمح بإرسال واستقبال المكالمات والبيانات عبر شبكات الهاتف المحمول [11]. تعتمد فكرة النظام على استغلال المكالمات الهاتفية كوسيلة لنقل أوامر التحكم، مما يوفر بديلاً عملياً للأنظمة المعتمدة على الإنترنت، ويضمن إمكانية التشغيل في المناطق ذات البنية التحتية المحدودة. وتتميز هذه التقنية بالاعتمادية وسهولة الاستخدام وانخفاض التكلفة التشغيلية.

أما الإشارات النغمية مزدوجة التردد (DTMF)، فهي تقنية تستخدم نغمات صوتية محددة يتم توليدها عند الضغط على أزرار الهاتف. تحتوي كل نغمة على زوج من الترددات يتم التعرف عليه إلكترونياً وتحويله إلى قيمة رقمية. يتيح ذلك استخدام أزرار الهاتف كواجهة تحكم لإرسال أوامر مختلفة، مثل تشغيل أو إيقاف الأحمال الكهربائية. وتُعد هذه الطريقة وسيلة بسيطة وفعالة للتحكم عن بُعد دون الحاجة إلى واجهات معقدة. يعتمد النظام على مفهوم الأنظمة المدمجة، حيث يعمل المتحكم الدقيق كوحدة معالجة مركزية تستقبل الإشارات، وتفسر الأوامر، وتتحكم في دوائر القيادة. كما تُستخدم ذاكرة غير متطايرة لحفظ حالات التشغيل لضمان الاستمرارية بعد انقطاع الطاقة. ويُضاف إلى ذلك نظام تغذية راجعة صوتية لتحسين التفاعل بين المستخدم والنظام [12]. إن التكامل بين هذه التقنيات يوفر نموذجاً تطبيقياً يجمع بين الاتصالات والتحكم الإلكتروني، ويمثل أساساً علمياً لتطوير أنظمة أتمتة منزلية ذكية قابلة للتوسع والتحسين مستقبلاً.

مقارنة تحليلية بين أنظمة التحكم المنزلية التقليدية المعتمدة على الإنترنت والنظام المقترح:

تختلف أنظمة التحكم المنزلية من حيث آلية التشغيل، مستوى الاعتمادية، ومتطلبات البنية التحتية التقنية، مما يؤثر بشكل مباشر على كفاءة الاستخدام وإمكانية التطبيق في البيئات ذات الموارد المحدودة [13-14]. ويهدف النظام المقترح إلى معالجة القيود المرتبطة بالأنظمة التقليدية والأنظمة المعتمدة على الإنترنت من خلال توفير حل منخفض التكلفة وعالي الاعتمادية. كما يحقق توازناً بين سهولة التشغيل والاستجابة الفورية دون الاعتماد على اتصال دائم بالشبكة. وتُبرز المقارنة التالية الخصائص التشغيلية والفنية لكل نظام، كما هو موضح بالجدول (1).

الجدول رقم (1): يبين مقارنة تقنية وتشغيلية بين أنظمة التحكم التقليدية والمعتمدة على الإنترنت والنظام المقترح

معيار المقارنة	التحكم التقليدي	التحكم عبر الإنترنت IOT	النظام المقترح GSM+DTMF
آلية التحكم	يدوي ومباشر	تطبيقات سحابية	مكالمات هاتفية وإشارات
متطلبات البنية التحتية	بسيطة	اتصال إنترنت ومستقر	شبكة اتصال خلوية فقط
الاعتمادية التشغيلية	محدودة بموقع المستخدم	تعتمد على استقرار الإنترنت	عالية في مختلف البيئات
التكلفة	منخفضة	مرتفعة نسبياً	منخفضة
زمن الاستجابة	فوري محلياً	يعتمد على الشبكة	شبه فوري
سهولة الاستخدام	عالية	تتطلب اعدادات تقنية	سهلة وبديهية
مستوى الامان	اساسي	يعتمد على بروتوكول الشبكة	تحقق قائم على هوية المتصل
قابلية التوسع	محدودة	عالية	قابلة للتطوير

الوصف العام للنظام:

يمثل النظام المقترح نموذجاً متكاملًا لنظام تحكم منزلي ذكي يعتمد على الاتصال الخلوي وتحليل الإشارات النغمية متعددة التردد (DTMF) لتمكين التحكم عن بُعد في الأحمال الكهربائية المنزلية. يركز التصميم على بنية معمارية مترابطة تجمع بين وحدات المعالجة، الاتصال، التخزين، والتنفيذ، بحيث تعمل هذه الوحدات بشكل متناسق لتحقيق استجابة آنية وموثوقة لأوامر المستخدم.

تتمحور البنية التشغيلية للنظام حول المتحكم الدقيق Arduino Uno باعتباره وحدة المعالجة المركزية، حيث يتولى استقبال البيانات الواردة من وحدة الاتصال الخلوي، وتحليل إشاراتDTMF، ومن ثم ترجمتها إلى أوامر تحكم فعلية لتشغيل أو إيقاف الأحمال الكهربائية. يهدف هذا التكامل إلى توفير نظام تحكم منخفض التكلفة، عالي الاعتمادية، وقابل للتوسع، مع ضمان استمرارية التشغيل حتى في ظروف انقطاع التيار الكهربائي.

يعتمد النظام على مبدأ الفصل الوظيفي بين طبقات الاتصال والمعالجة والتنفيذ، مما يعزز من استقرار الأداء ويقلل من احتمالات الخطأ، ويوفر مرونة في تطوير النظام مستقبلاً، سواء بإضافة وظائف جديدة أو زيادة عدد الأحمال المتحكم بها.

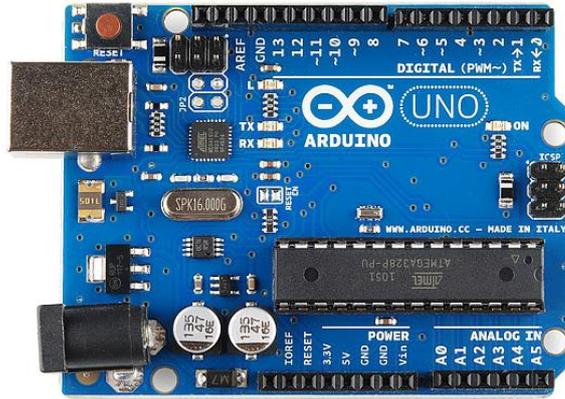
المكونات الأساسية للنظام:

1. وحدة الاتصال الخلوي: تعتمد منظومة الاتصال على وحدة SIM800L ، والتي تمثل واجهة الربط بين المستخدم والنظام. تستقبل هذه الوحدة المكالمات الهاتفية، وتقوم بالتقاط الإشارات النغمية الناتجة عن ضغط أزرار الهاتف (DTMF)، ثم تمريرها إلى وحدة المعالجة. يتيح هذا الأسلوب التحكم عن بُعد دون الحاجة إلى اتصال بالإنترنت، مما يزيد من موثوقية النظام في البيئات ذات البنية التحتية المحدودة.



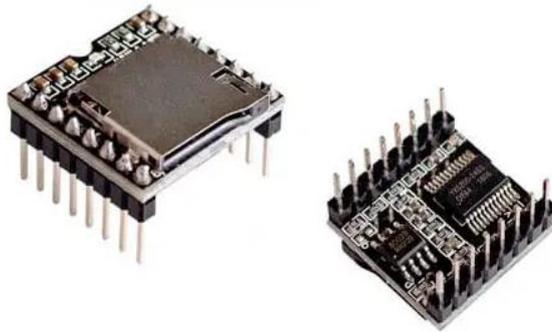
الشكل رقم (1): يبين وحدة الاتصال الخلوي GSM SIM800L

2. وحدة المعالجة والتحكم: يقوم المتحكم الدقيق Arduino Uno بتحليل إشارات DTMF الواردة، وتفسيرها وفق خوارزمية تحكم محددة مسبقًا. بناءً على هذه المعالجة، يتم إصدار أوامر تشغيل أو إيقاف للأحمال. كما يدير المتحكم عمليات الاتصال مع وحدات التخزين والتغذية الراجعة الصوتية، ما يجعله محور التنسيق المركزي لجميع وظائف النظام.



الشكل رقم (2): يبين المتحكم Arduino Uno المستخدم في النظام

3. وحدة التغذية الراجعة الصوتية: تُستخدم وحدة DF Player Mini لتوفير استجابة صوتية فورية للمستخدم، مثل تأكيد تنفيذ الأوامر أو عرض حالة الأجهزة. يسهم هذا العنصر في تحسين التفاعل بين المستخدم والنظام، ويزيد من وضوح العمليات، خصوصًا في سيناريوهات التحكم عن بُعد التي تتطلب تأكيدًا مباشرًا.



الشكل رقم (3): وحدة التغذية الراجعة الصوتية DF Player Mini

4. وحدات التنفيذ (مرحلات القدرة): تعمل دوائر المرحلات على عزل دائرة التحكم منخفضة الجهد عن الأحمال الكهربائية الفعلية، وتنفيذ أوامر التشغيل أو الإيقاف الصادرة من المتحكم. يضمن هذا العزل سلامة النظام وحماية المكونات الإلكترونية، مع إمكانية التحكم في أجهزة منزلية متنوعة بقدرات مختلفة.

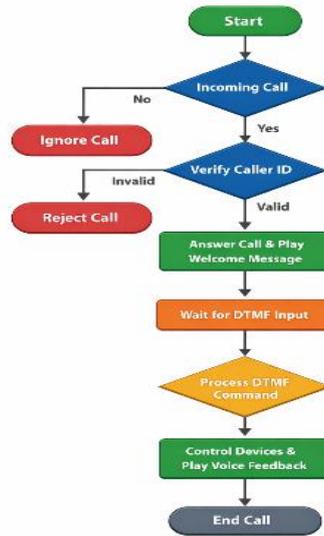


الشكل رقم (4): يبين المرحل المستخدم في النظام

5. وحدة التخزين غير المتطاير: تُستخدم ذاكرة EEPROM لتخزين حالة الأحمال الكهربائية بشكل دائم، مما يسمح للنظام باستعادة آخر حالة تشغيل بعد انقطاع التيار الكهربائي. تعزز هذه الخاصية من موثوقية النظام وتضمن استمرارية الخدمة دون الحاجة إلى إعادة ضبط يدوية.

المخطط الانسيابي للنظام (Flowchart):

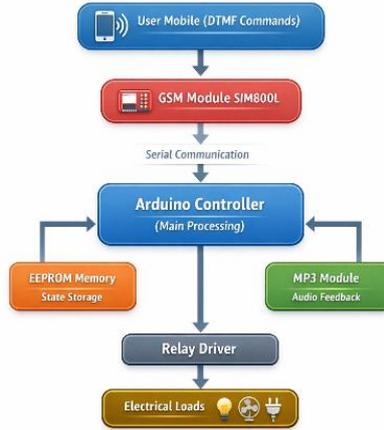
يوضح المخطط الانسيابي تسلسل العمليات التشغيلية لنظام التحكم المنزلي الذكي بدءًا من استقبال المكالمات الهاتفية، مرورًا بآليات التحقق ومعالجة أوامر المستخدم، وصولًا إلى تنفيذ التحكم في الأحمال وتوفير التغذية الراجعة الصوتية. يعكس هذا التسلسل الترابط الوظيفي بين وحدات النظام لضمان استجابة دقيقة وأمنة للأوامر كما هو موضح بالشكل رقم (5).



الشكل رقم (5): يبين المخطط الانسيابي للنظام

البنية الهيكلية للنظام:

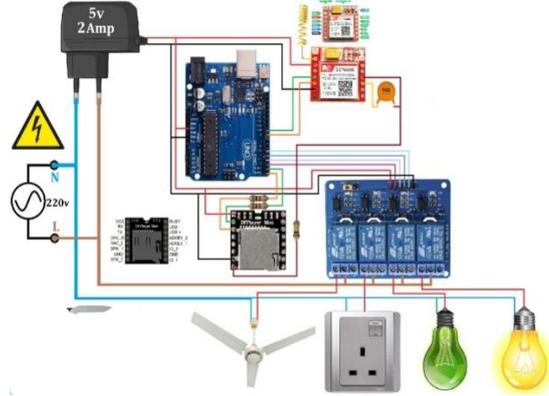
يمثل مخطط البلوك البنية العامة للنظام المقترح ويوضح الترابط الوظيفي بين وحدات الاتصال والمعالجة والتنفيذ داخل منظومة التحكم المنزلي الذكي. يبدأ تدفق الإشارة من واجهة المستخدم عبر شبكة الاتصال الخلوية، ثم تنتقل البيانات إلى وحدة المعالجة المركزية التي تقوم بتحليل الأوامر وإدارتها. كما يبين المخطط تكامل وحدات التخزين والتغذية الراجعة الصوتية لضمان استمرارية التشغيل وتحسين تفاعل المستخدم مع النظام. ويعكس هذا التنظيم الهيكلي آلية عمل النظام بشكل مترابط يحقق كفاءة الأداء والاعتمادية التشغيلية، كما هو موضح بالشكل رقم (6).



الشكل رقم (6): يبين البنية الهيكلية للنظام

الدائرة الالكترونية للنظام المقترح:

تمثل هذه الدائرة البنية المادية لنظام تحكم منزلي ذكي يعتمد على متحكم Arduino كوحدة معالجة رئيسية لاستقبال أوامر المستخدم عبر شبكة GSM. تقوم وحدة الاتصال بتحويل إشارات الهاتف النغمية (DTMF) إلى بيانات رقمية يتم تحليلها للتحكم في تشغيل وإيقاف الأحمال الكهربائية من خلال وحدة المرحلات. كما يتضمن النظام وحدة تشغيل صوتي لتوفير تغذية راجعة للمستخدم حول حالة الأحمال. يضمن تصميم الدائرة العزل الكهربائي بين دائرة التحكم منخفضة الجهد والأحمال ذات الجهد العالي لتحقيق مستوى مناسب من الأمان والاستقرار التشغيلي. يوضح هذا الترتيب تكامل المكونات الإلكترونية لتحقيق التحكم عن بعد بكفاءة واعتمادية، كما موضح بالشكل رقم (7).



الشكل رقم (7): يبين الدائرة الالكترونية للنظام المقترح

آلية عمل النظام والتعامل معه:

- نظام التحكم المنزلي الذكي المبني على Arduino و GSM و DTMF مصمم للتحكم عن بعد في الأحمال الكهربائية المنزلية (مثل المصابيح والمراوح والأجهزة الأخرى) بطريقة سهلة وأمنة. ويمكن تلخيص آلية عمله كالتالي:
1. استقبال المكالمات: يقوم المستخدم بالاتصال برقم الهاتف الموصول بوحدة GSM (SIM800L) المتصلة بالـ Arduino وحدة GSM تستقبل المكالمات وتتحقق من رقم المتصل للتأكد من أنه رقم مصرح له بالتحكم.
 2. الرد على المكالمات: بعد التحقق من رقم المتصل، يقوم النظام بالرد تلقائياً على المكالمات. في هذه المرحلة يبدأ المستخدم بإرسال أوامر التحكم باستخدام إشارات DTMF من الهاتف (الأزرار الرقمية).
 3. معالجة الأوامر: وحدة Arduino تلتقط إشارات DTMF المحولة من وحدة GSM عبر دائرة DTMF MT8870 Decoder. كل رقم على لوحة الهاتف يمثل أمرًا محددًا، مثل: الرقم 1 → تشغيل/إيقاف الحمل الأول الرقم 2 → تشغيل/إيقاف الحمل الثاني الرقم 3 → تشغيل/إيقاف الحمل الثالث الرقم 4 → تشغيل/إيقاف الحمل الرابع الرقم 0 → تشغيل جميع الأحمال الرقم 8 → إيقاف جميع الأحمال الرقم 9 → الاستعلام عن حالة الأحمال (مع قراءة صوتية) يتم تخزين حالة كل حمل في EEPROM لضمان استرجاع الحالة بعد أي انقطاع للكهرباء.
 4. التحكم بالأحمال: بناءً على الأمر المستلم، يقوم الـ Arduino بتنفيذ أو إيقاف المرحلات Relays المتصلة بالأجهزة الكهربائية. يتم تنفيذ الأمر فوراً ويستمر النظام في الاستماع للأوامر حتى انتهاء المكالمات أو انتهاء فترة محددة (مثلاً 30 ثانية بعد آخر أمر).

5. **التغذية الصوتية:** بعد تنفيذ كل أمر، يتم تشغيل رسالة صوتية قصيرة باستخدام وحدة MP3 (DF Player Mini) لإعلام المستخدم بالحالة الحالية للأحمال. مثال: رسالة تقول "Load 1 is ON" أو "All loads are OFF"، مما يوفر تغذية راجعة فورية ويقلل احتمال الخطأ.

6. **إنهاء المكالمات:** بعد انتهاء المستخدم من إرسال الأوامر، يقوم النظام بقطع المكالمات تلقائيًا باستخدام أمر AT+CHUP من وحدة GSM.

تشغيل النظام واختباره وتحليل الأداء العملي:

تم إجراء مرحلة تشغيل واختبار شاملة للنظام المقترح للتحكم المنزلي الذكي المبني على متحكم Arduino Uno ووحدة الاتصال الخلوية SIM800L، مع دمج وحدة التغذية الصوتية DFPlayer Mini، وذلك تحت ظروف تشغيل تحاكي الاستخدام الفعلي. هدفت هذه المرحلة إلى تقييم كفاءة النظام في استقبال أوامر التحكم عبر إشارات DTMF وتنفيذها بدقة، إضافة إلى التحقق من موثوقية الأداء واستقراره أثناء التشغيل المستمر. أظهرت نتائج الاختبارات أن النظام قادر على تفسير جميع الأوامر المرسله عبر الهاتف بشكل صحيح دون أخطاء ملحوظة، حيث تم تنفيذ عمليات تشغيل وإيقاف الأحمال الفردية والجماعية بكفاءة عالية، مع توفير استجابة فورية للمستخدم.

كما أثبت النظام قدرته على العمل عن بُعد عبر شبكة GSM دون الاعتماد على اتصال بالإنترنت، مما يعزز من مرونته وإمكانية استخدامه في البيئات المختلفة. وتم اختبار سلوك النظام عند انقطاع التغذية الكهربائية، حيث تمكن من استرجاع حالة الأحمال المخزنة في الذاكرة غير المتطايرة EEPROM بدقة، وهو ما يؤكد موثوقية آلية التخزين والاستعادة. إضافة إلى ذلك، وفرت وحدة التغذية الصوتية رسائل واضحة تعكس حالة التشغيل، مما ساهم في تحسين تفاعل المستخدم وتقليل احتمالية الخطأ.

من الناحية الزمنية، أظهرت القياسات أن معالجة الأوامر وتنفيذها تتم خلال فترة قصيرة لا تتجاوز ثانيتين تقريبًا، وهي مدة مناسبة للتطبيقات المنزلية. كما بينت الاختبارات المتكررة على مدى فترات تشغيل طويلة استقرار النظام وعدم حدوث أعطال أو فقدان في الاتصال، مما يدل على اعتمادية التصميم وقدرته على العمل بكفاءة في الظروف العملية. وبناءً على هذه النتائج، يمكن اعتبار النظام المقترح حلاً فعالاً وموثوقاً للتحكم المنزلي عن بُعد.

النتائج:

1. **دقة تنفيذ أوامر التحكم:** أظهرت الاختبارات العملية أن النظام يتمتع بدرجة عالية من الدقة في تفسير وتنفيذ إشارات DTMF، حيث استجاب بشكل صحيح لجميع أوامر التشغيل والإيقاف الفردية والجماعية دون تسجيل أخطاء تشغيلية. ويعكس ذلك كفاءة الخوارزمية البرمجية واستقرار الاتصال بين وحدة GSM والمتحكم، مما يضمن موثوقية التحكم في التطبيقات المنزلية.

2. **فعالية التحكم عن بُعد عبر شبكة GSM:** برهن النظام على قدرته في تنفيذ أوامر التحكم من أي موقع ضمن نطاق الشبكة الخلوية، دون الاعتماد على اتصال بالإنترنت. هذه الميزة تعزز مرونة النظام وإمكانية استخدامه في المناطق التي تعاني من ضعف البنية التحتية للشبكات، مما يجعله حلاً عملياً واسع النطاق.

3. **استمرارية التشغيل بعد انقطاع التغذية الكهربائية:** أكدت الاختبارات قدرة النظام على استرجاع حالة الأحمال بدقة بعد إعادة التشغيل، وذلك بفضل تخزين البيانات في ذاكرة EEPROM. وتعد هذه الخاصية عنصراً مهماً لضمان استقرار التشغيل وتقليل الحاجة لإعادة الضبط اليدوي.

4. **كفاءة التغذية الراجعة الصوتية:** وفرت وحدة التشغيل الصوتي استجابة واضحة ومباشرة للمستخدم بعد تنفيذ الأوامر، مما ساهم في تحسين تجربة الاستخدام وتقليل احتمالات الخطأ البشري، إضافة إلى تعزيز التفاعل بين المستخدم والنظام.

5. **زمن الاستجابة التشغيلي:** أظهرت القياسات أن زمن معالجة وتنفيذ الأوامر لا يتجاوز ثانيتين تقريبًا، وهو زمن مناسب لتطبيقات التحكم المنزلي، حيث يوفر استجابة شبه فورية دون تأخير ملحوظ.

6. **اعتمادية النظام واستقراره:** أثبت النظام استقراراً عالياً أثناء التشغيل المتواصل والاختبارات المتكررة، دون حدوث أعطال أو فقدان في الاتصال، مما يدل على متانة التصميم وكفاءة التكامل بين المكونات المادية والبرمجية.

التوصيات:

1. **توسيع نطاق التحكم بالأحمال:** يوصى بتطوير النظام ليدعم عددًا أكبر من الأحمال الكهربائية، مما يسمح باستخدامه في البيئات المنزلية أو الصناعية الصغيرة ذات المتطلبات التشغيلية المتعددة.

2. **الدمج مع تقنيات إنترنت الأشياء (IoT):** يمكن تعزيز قدرات النظام بربطه بمنصات إنترنت الأشياء لتوفير التحكم والمراقبة عبر التطبيقات الذكية، مع الحفاظ على GSM كوسيلة تحكم احتياطية في حالات انقطاع الإنترنت.

3. **تطوير نظام التغذية الصوتية:** ينصح بإضافة رسائل صوتية أكثر تفصيلاً وتخصيصاً، بما يتيح تقديم معلومات تشغيلية دقيقة للمستخدم، مثل حالة كل جهاز أو تنبيهات الأعطال.

4. **تعزيز أمن النظام:** يوصى بإضافة طبقات حماية إضافية مثل التحقق متعدد العوامل أو رموز DTMF سرية، لضمان أن التحكم في النظام يقتصر على المستخدمين المصرح لهم فقط.

5. **إجراء اختبارات أداء طويلة المدى:** من المهم تنفيذ اختبارات تشغيل ممتدة لتقييم العمر التشغيلي للمكونات، خاصة الرحلات، ومراقبة استهلاك الطاقة واستقرار النظام على المدى الطويل.

6. تحسين كفاءة الطاقة: يمكن مستقبلاً دراسة تقنيات تقليل استهلاك الطاقة أثناء وضع الاستعداد، مما يزيد من كفاءة النظام وملاءمته للتطبيقات المستمرة.

المراجع:

- [1] I. Gaur, S. Rai, U. Tiwari, and A. K. Sagar, "IoT-Based Smart Home Automation," in *Lecture Notes in Electrical Engineering*, Singapore: Springer Nature Singapore, 2024, pp. 377–398.
- [2] R. Gayathiri, J. Arunaselvam, S. K. Kumar, V. Rehant, and Sathyanarayanan., "Dual Tone Multi Frequency for Home Automation," in *2023 Intelligent Computing and Control for Engineering and Business Systems (ICCEBS)*, 2023, pp. 1–10.
- [3] S. Nigam, V. Pandey, N. Singh, and A. Srivastava, "Designing of home automation based DTMF using GSM," in *2024 International Conference on Signal Processing and Advance Research in Computing (SPARC)*, 2024, pp. 1–6.
- [4] A. Jebrel, I. Imbayah, A. Alsharif, A. A. Ahmed, and A. M. Ali, "Design and implementation of a walking smart stick for the visually impaired and the blind," *ijees*, vol. 1, no. 4, pp. 64–74, 2023.
- [5] A. S. Mumin and A. H. Awami, "A low-cost magnetic field strength monitoring system based on arduino and magnetic sensor," *ijees*, vol. 3, no. 2, pp. 58–64, 2025.
- [6] H. A. Ali, A. B. Zargoun, A. M. Algharaybi, and I. A. Alsaket, "Design and implementation of digital leakage current circuit breaker with overcurrent protection," *NAJSP*, pp. 42–53, 2024.
- [7] A. S. Ishleebtah and N. A. A. Alhashi, "Design and construction of a self-driving wheeled vehicle using ultrasonic sensors and an arduino UNO board," *aajsr*, pp. 210–220, 2024.
- [8] M. S. M. Elkuafi, F. A. H. Elabani, and S. M. Al-Zagheed, "The correlation coefficient for different distances in the transmission and receiving process of the optical system model," *NAJSP*, pp. 240–248, 2024.
- [9] C.-H. Chan, F.-L. Wen, and S.-J. Wen, "Design and implementation of controller area network-based monitoring and control system with arduino UNO and logic analyzer," in *IEEE ICEIB 2025*, 2025, p. 44.
- [10] N. T. Tsebesebe, K. Mpofu, S. Sivarasu, and P. Mthunzi-Kufa, "Arduino-based devices in healthcare and environmental monitoring," *Discov. Internet Things*, vol. 5, no. 1, 2025.
- [11] O. Özhan, "DTMF dialer with LabVIEW," in *An Electronics Engineer's Notebook*, Cham: Springer Nature Switzerland, 2025, pp. 207–216.
- [12] B. S. Suthar, S. Ibad Ali, and K. Patel, "Hand gesture sign language recognition embedded with arduino uno," *IET Conf. Proc.*, vol. 2025, no. 7, pp. 1156–1163, 2025.
- [13] P. Sharma, "Smart healthcare: the role of AI, robotics, and NLP in advancing telemedicine and remote patient monitoring," *BMC Artif. Intell.*, vol. 1, no. 1, 2025.
- [14] O. M. Oyelami *et al.*, "Acceptability, user satisfaction measurement and comparison of speech and DTMF for supermarket-based spoken dialogue system for shopping," in *Lecture Notes in Networks and Systems*, Cham: Springer Nature Switzerland, 2025, pp. 60–76.