

commutateur alimenté par pile bouton, basé sur un ESP32-C2

évaluation de la conception et des performances

Li Junru and Zhang Wei, Espressif

Ce commutateur à pile bouton, basé sur un ESP32-C2 est une solution domotique. Il offre une communication directe, stable et bidirectionnelle, avec les dispositifs équipés de microcontrôleurs ESP auxquels il transmet les commandes de contrôle. De taille compacte, l'autonomie de sa pile peut atteindre cinq ans. Cet article traite de sa réalisation matérielle et logicielle, soulignant ses bénéfices pour les solutions de domotique et les applications de l'Internet des Objets.



Figure 1. Le commutateur à pile bouton basé sur l'ESP32-C2 dans son boîtier.

En raison du développement rapide du marché de la domotique, la demande de commutateurs à faible consommation énergétique mais de grande efficacité, se fait croissante. Cet article présente une solution de pointe, un commutateur alimenté par une pile bouton, réalisé autour d'un ESP32-C2 (**figure 1**), dont l'objectif est de répondre aux impératifs de rapidité de réaction et à la nécessité de passerelles supplémentaires, que l'on rencontre souvent avec les autres solutions sans-fil, basées sur des technologies telles que Bluetooth LE (Low Energy ou à faible consommation) et ZigBee.

Le commutateur à pile bouton basé sur l'ESP32-C2, peut se targuer d'offrir plusieurs avantages, par rapport aux autres commutateurs :

- Communication directe avec les luminaires intelligents ou les interrupteurs muraux équipés de circuits intégrés ESP, éliminant ainsi la nécessité d'une passerelle supplémentaire.
- Communication bidirectionnelle et stable, garantissant un taux de réussite des transmissions Wifi par paquets.
- Alimenté par une pile bouton, la taille du dispositif est minimisée, permettant une adaptation aux formats des autres produits tels que les interrupteurs auto-adhésifs, les interrupteurs à commandes multiples, les interrupteurs sensitifs et les commutateurs rotatifs.
- L'ESP32-C2 est maintenu non alimenté lorsqu'il est inutilisé, permettant ainsi à une seule pile bouton CR2032 d'atteindre

une durée de vie de 5 années (en considérant 10 manœuvres par jour).

Dans cet article, nous étudierons en détail la réalisation du commutateur à pile bouton utilisant une puce ESP, démontrant sa capacité à répondre aux exigences de la technologie domotique moderne.

Les piles bouton, comme par exemple la pile CR2032 largement répandue, sont souvent utilisées comme source d'énergie des dispositifs de l'Internet des objets (IdO). Réputées pour leur taille réduite et leur légèreté, les piles bouton conviennent parfaitement aux dispositifs électroniques miniaturisés sans les alourdir. Leur densité énergétique importante leur permet de stocker davantage d'énergie dans un volume restreint, apportant en consé-

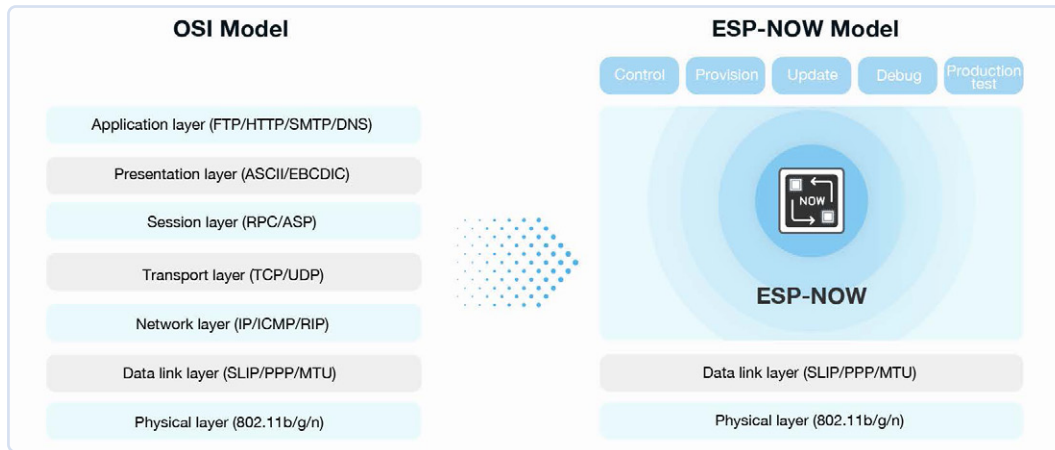


Figure 2. Le modèle ESP-NOW réduit à une couche les cinq couches supérieures du modèle OSI.

quence une plus grande autonomie d'utilisation. De plus, les piles boutons bénéficient de caractéristiques d'autodécharge faibles, leur permettant de conserver leur capacité durant de longues périodes de non-utilisation. Conservant une tension relativement stable durant leur décharge, les piles bouton ont un rôle vital, assurant un fonctionnement correct des dispositifs. Toutefois, en raison de leur conception, elles procurent une intensité de sortie moins élevée, les rendant inutilisables pour les dispositifs exigeant une puissance importante.

Dans les divers domaines de leurs applications, les appareils IdO ont vu leur utilisation augmenter, grâce à la couverture étendue des réseaux Wifi. Grâce à l'élimination des liaisons filaires traditionnelles entre les appareils, la technologie Wifi permet un déploiement convenable, plus souple, des dispositifs de l'Internet des Objets. De plus, la technologie supporte les connexions simultanées entre plusieurs dispositifs, les rendant particulièrement intéressants pour les scénarios de l'IdO impliquant de nombreux appareils interconnectés. Le marché offre une pléthore de composants et dispositifs supportant le Wifi, réduisant significativement les coûts de développement et de production des équipements de l'Internet des Objets. Il est néanmoins important de considérer que la consommation des dispositifs Wifi est relativement élevée, en comparaison avec les autres technologies sans fil à faible puissance. En conséquence, la technologie Wifi convient moins bien à certains dispositifs IdO devant être alimentés par des piles. À titre d'exemple, l'ESP32-C2 exige un courant maximum de 370 mA durant la transmission, et 65 mA durant une opération de réception.

Les caractéristiques de consommation énergétique des dispositifs Wifi imposent un double challenge dans leur utilisation dans les domaines d'application à faible puissance.

D'une part, l'intensité en réception rend difficile le maintien permanent du fonctionnement de ces circuits en mode réception. D'autre part, le courant instantané important nécessaire durant la transmission par paquets pourrait impacter la stabilité de la tension d'alimentation du chip, conduisant à une possible réinitialisation accidentelle du composant. Dans cet article, nous présentons un commutateur alimenté par une pile bouton, basé sur l'utilisation de l'ESP32-C2, qui fait face à ces difficultés par la combinaison optimisée de logiciel et matériel aboutissant à une impressionnante durée de vie de la pile.

L'article est divisé en trois sections principales. En premier, nous analysons en détail le logiciel développé, apportant une vue détaillée de la stratégie de programmation et ses bénéfices. En second, nous étudions la réalisation matérielle correspondante, en particulier un guide pour la sélection des composants. Pour terminer, dans la partie expérimentale, nous évaluons les performances énergétiques obtenues ainsi que le temps de latence du dispositif, afin de fournir au lecteur une évaluation objective et complète de cette solution.

Conception du logiciel

Choix de la couche protocole : la première décision cruciale concernait le choix du protocole approprié. De façon conventionnelle, le Wifi fonctionne en mode connecté, c'est-à-dire que l'équipement maintient une connexion permanente au réseau sauf en cas de déconnexion manuelle intentionnelle ou en cas de situation hors de portée. Cette connexion permanente permet au dispositif de rester en permanence prêt à communiquer, sans avoir besoin de se reconnecter à chaque utilisation. Cependant, le maintien de la connexion consomme une quantité d'énergie significative.

Pour résoudre cette difficulté, nous avons adopté une solution de communication plus simple. En ce qui concerne le logiciel, nous y sommes parvenus en transmettant des messages au niveau de la couche « data link », permettant à l'équipement récepteur de retrouver facilement l'information pour la retransmettre. De plus, nous avons défini un temps de réception prédéterminé, afin de minimiser autant que possible la consommation énergétique. Pour ce faire, le protocole

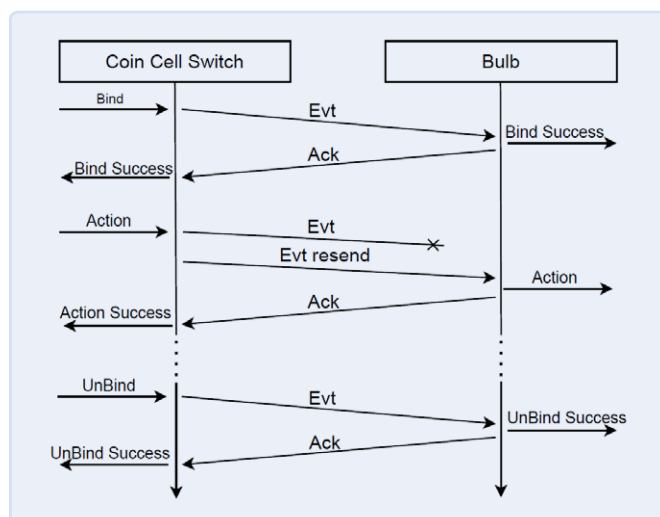


Figure 3. Mécanisme d'accusé-réception implémenté dans la couche application.

Tableau 1. Consommation d'énergie avant la mise en œuvre de l'optimisation.

Opération	Durée (ms)	Puissance Moyenne (mW)	Consommation d'énergie (mJ)
Chargement initial	364,7	58	21,16
Initialisation Wifi	115,2	69,8	8,03
Démarrage Wifi	56,6	303,9	17,2

ESP-NOW, développé par Espressif Systems s'est révélé être un choix idéal. ESP-NOW est un protocole de communication sans fil basé sur la couche « data link ». il réduit les cinq couches supérieures du modèle OSI en une seule couche (**figure 2**).

L'identification du dispositif est déterminée par son adresse MAC unique, éliminant la nécessité d'un passage successif des données, au travers de couches complexes comme la couche réseau, la couche transport, la couche session, la couche présentation et la couche application. Cela élimine également le besoin d'ajouter, puis retirer des en-têtes à chaque couche, allégeant les temps d'attente résultants de la congestion du réseau et les délais dus aux pertes de paquets, aboutissant à un temps de réponse élevé. De plus, ESP-NOW peut coexister avec le Wifi, Bluetooth LE (faible énergie) et il supporte de multiples séries de composants SoC (System on Chip ou Système sur une puce) intégrant des fonctionnalités Wifi.

Méthodologie : afin de garantir une communication fiable ; nous avons créé un mécanisme d'accusé de réception au niveau de la couche application (**figure 3**). Le processus de communication débute lors de l'initialisation de celle-ci par le commutateur à pile bouton. Après avoir reçu un message, le dispositif récepteur répond par un ACK (*acknowledgement* ou accusé de réception), indiquant la réussite de la réception du message, la communication est alors terminée. Si l'accusé de réception n'est pas reçu dans un temps spécifié, le commutateur tente une retransmission du message de façon répétitive. Afin de maintenir la simplification du protocole, tous les paquets sont diffusés en utilisant le protocole ESP-NOW au niveau de la couche « data link ».

L'engagement (*binding*) et le désengagement (*unbinding*) du dispositif sont accomplis par la vérification de l'adresse MAC, garantissant la sécurité et la simplicité du protocole ainsi défini.

Stratégie de changement de canal : les canaux de transmission et réception de ESP-NOW correspondent au canal utilisé par le point d'accès auquel le dispositif est relié. Le

commutateur à pile bouton ne peut communiquer avec le dispositif contrôlé que s'ils utilisent le même canal. Lorsque le dispositif contrôlé est déjà connecté au point d'accès Wifi, le canal qu'il utilise suit les changements de canal du point d'accès. Le commutateur à pile bouton doit déterminer le canal en cours d'utilisation par l'équipement contrôlé. Dans un environnement réseau relativement stable, le canal du point d'accès ne change pas fréquemment.

Ainsi, le dispositif transmet d'abord sur le canal utilisé lors de la dernière transmission réussie. Si de multiples tentatives d'envoi échouent et qu'il est établi que l'élément récepteur a changé de canal, il répètera la transmission en utilisant chacun de canaux Wifi existants.

Modulation utilisée pour la transmission des paquets : durant la transmission des paquets Wifi, le courant instantané peut atteindre 300 mA, bien au-delà de ce qu'une pile bouton peut fournir. Pour résoudre ce problème, nous avons implémenté une stratégie de transmission intermittente des paquets. Après la transmission de chaque paquet, un délai est introduit, durant lequel le chip est mis à l'état de veille économique en énergie. Dans cet état, le courant consommé par le chip n'est que de quelques μA et la pile bouton est principalement utilisée pour recharger les condensateurs, avant de procéder à la transmission du paquet suivant.

Si l'on considère que le courant moyen consommé durant la transmission est I_0 , pendant une durée t_0 , et que le courant moyen correspondant à l'état de veille est I_1 pendant



Le commutateur alimenté par pile bouton, basé sur un ESP32-C2 apporte une solution convenante et souple au contrôle des dispositifs domotique.

Tableau 2. Consommation d'énergie après la mise en œuvre de l'optimisation.

Opération	Durée (ms)	Puissance Moyenne (mW)	Consommation d'énergie (mJ)
Chargement initial	37,52	53,14	2,0
Initialisation Wifi	6,55	72,62	0,48
Démarrage Wifi	19,12	164,0	3,13

une durée t_1 , l'intensité moyenne globale peut se calculer ainsi :

$$I = \frac{I_0 t_0 + I_1 t_1}{t_0 + t_1}$$

En faisant varier correctement la durée de I_0 et I_1 , on peut faire en sorte que le courant moyen absorbé se situe en deçà de l'intensité de fonctionnement normale de la pile bouton. Cette stratégie contribue à l'obtention d'un fonctionnement plus efficace et moins énergivore du commutateur à pile bouton.

Optimisation du processus d'initialisation

: le processus d'initialisation d'un dispositif Wifi nécessite plusieurs étapes depuis la mise sous tension jusqu'à l'établissement de la transmission. Nous avons réalisé une analyse profonde de chacune de ces étapes et de la durée de leur accomplissement. Par défaut, le démarrage du chip comprend l'amorçage (boot), l'initialisation du Wifi et le démarrage du Wifi. Le chargement initial est le processus le plus long, et le démarrage du Wifi celui qui consomme le plus d'énergie. Afin de réduire l'énergie consommée, nous avons effectué les optimisations suivantes :

- Désactivation de tous les enregistrements des événements non essentiels durant le chargement initial (boot).
- Vérification flash : nous avons désactivé la vérification de la mémoire flash celle-ci n'étant pas essentielle pour cette application.
- Informations de calibration Wifi : afin d'éviter de trop fréquentes calibration Wifi, nous avons sauvegardé les informations de calibration dans la mémoire non volatile (NVS).

Observez les résultats sur les **tableaux 1** et **2**. Ayant implémenté ces optimisations, nous avons pu réduire la consommation moyenne durant le processus d'initialisation (chargement + Wifi init + démarrage Wifi) de 46,39 mJ à 5,61 mJ. Par ailleurs, le temps d'initialisation a diminué, passant de 536,5 ms à 63,19 ms. Pour plus d'information détaillée sur la configuration, merci de vous référer à la démonstration du commutateur à pile bouton [1].

Conception du circuit

L'ESP32-C2 nécessite une tension de fonctionnement de 3,3 V, plus élevée que la tension délivrée par la pile bouton. De ce fait, un circuit élévateur de tension doit être conçu pour augmenter la tension. La stabilité de la tension d'alimentation impacte directement les performances de transmission des paquets et la stabilité générale de l'appareil. Un régulateur de tension bien conçu permet d'améliorer les performances de la transmission par radiofréquences et la durée de vie de la pile. Il est impératif de prendre en considération les coûts de production et les performances requises lors de la conception d'un tel circuit. Le circuit élévateur de tension doit être étudié avec soin afin de permettre une conversion de tension efficace avec un minimum de pertes de puissance. De plus, il doit fournir une alimentation fiable et stable au circuit ESP32-C2, lui permettant un fonctionnement optimal durant les phases actives et la veille. Par ailleurs, la conception du circuit doit prendre en compte l'intensité consommée, la dissipation de chaleur et l'efficacité permettant d'atteindre un compromis correct entre performances et consommation énergétique. L'objectif ultime de la conception du circuit est l'obtention d'une solution robuste et économique respectant les besoins en alimentation de l'ESP32-C2 tout en optimisant les performances du dispositif et la durée de vie de la pile. La collaboration entre des ingénieurs experts en conception matérielle, l'utilisation des composants et techniques adaptés ont conduit à la conception réussie d'un circuit qui répond aux besoins spécifiques d'un commutateur Wifi alimenté par une pile bouton.

Conception globale du circuit

Choix du convertisseur de puissance : la pile bouton peut être considérée comme étant une source d'alimentation dont la résistance interne augmente avec sa décharge. Initialement, sa résistance interne est d'environ 10 Ω , mais elle peut atteindre une centaine d'Ohms à l'approche de la fin de son cycle de décharge. L'ESP32-C2, en tant que dispositif de sortie, nécessite une source d'alimentation pouvant fournir un courant de 500 mA, voire davantage. L'ondulation (bruit) de la tension d'alimentation peut impacter de façon importante les performances des transmissions par radiofréquences (RF). Lors de l'évaluation des ondulations parasites de l'alimentation, il est essentiel de les mesurer dans les conditions normales de transmission des paquets.

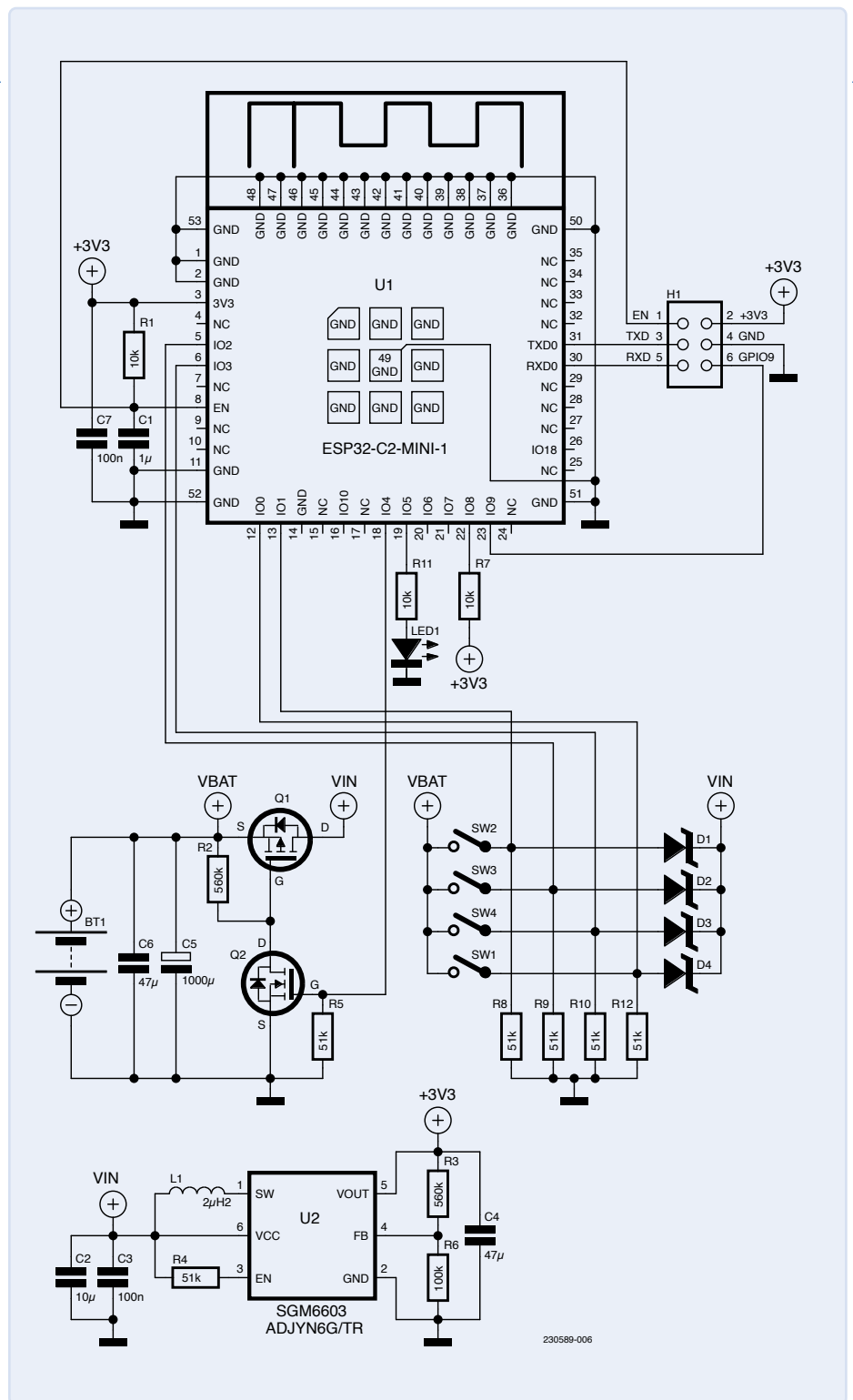


Figure 4. Schéma du dispositif commutateur à pile bouton.

Le bruit de l'alimentation peut varier selon les changements de puissance fournie. Une transmission importante de paquets peut conduire à la présence d'un bruit plus important. Pour atténuer l'impact de la résistance interne élevée de la pile bouton, la tension minimale requise par le convertisseur de tension doit être la plus basse possible, tout en maintenant une efficacité élevée. Vous trouverez le schéma général de cette réalisation sur la **figure 4**, le circuit élévateur

de tension SGM6603 a été choisi. Il accepte une tension minimale d'entrée de 0,9 V, et délivre un courant de commutation de 1,1 A, ce qui lui permet de convenir pour la réalisation de la conversion de tension de la pile bouton en respectant les besoins d'alimentation de l'ESP32-C2.

Choix des condensateurs : il y a deux séries de condensateurs en relation avec l'alimentation : les condensateurs situés avant le



Figure 5. Oscillogrammes de la tension et du courant absorbé durant la transmission d'un paquet de données standard.

convertisseur de tension et les condensateurs situés à sa sortie. Les condensateurs placés en aval du convertisseur de tension sont reliés en parallèle avec l'alimentation du module Wifi, assurant la stabilisation de la tension de sortie et réduisant sa chute durant la transmission des paquets. L'utilisation de condensateurs de fortes valeurs assure une variation lente de la tension d'alimentation du chip. Par ailleurs, la tension aux bornes de ces condensateurs correspond à la tension d'alimentation du circuit intégré. Lorsque le chip Wifi est alimenté, les condensateurs sont chargés, lorsque le chip n'est plus alimenté, les condensateurs sont totalement déchargés. Toutefois, l'utilisation de condensateurs de valeur trop élevée, peut diminuer l'efficacité globale du circuit. Il est essentiel de rechercher un compromis entre la valeur des condensateurs et l'efficacité du système.

Les condensateurs en amont du convertisseur de tension sont reliés en parallèle avec la pile. Ils ont pour rôle principal la réduction des pics de courant fourni par la pile. Durant les périodes où l'intensité est élevée, les condensateurs deviennent la source principale d'alimentation, alors que durant les périodes de faible consommation, la pile devient la source principale, assurant la charge des condensateurs. Lorsque le convertisseur de tension n'est pas opérationnel, la faible consommation résiduelle du circuit est due au courant de fuite de ces condensateurs. Si l'on considère le volume et le courant de fuite, les condensateurs électrolytiques solides ou à l'aluminium sont un excellent choix. Par exemple, un condensateur électrolytique solide de 1 000 μF présente un courant de fuite typique d'environ 1 μA sous une tension de 3 V.

Conception de la commande d'alimentation : pour les applications dans lesquelles la durée de vie opérationnelle des dispositifs se mesure en années, le courant de veille (courant de fuite) lorsqu'ils ne fonctionnent pas devient un facteur prépondérant affectant l'autonomie globale de l'appareil. Pour répondre à cette préoccupation, le circuit comprend un interrupteur d'alimentation contrôlé, constitué de deux transistors MOSFET Q1 et Q2 sur le schéma de la figure 4. Ce circuit permet au chip d'assurer ou rompre la connexion de la pile, en déconnectant effectivement l'alimentation du module de transmission RF lorsque le dispositif n'est pas utilisé. Lorsque le dispositif doit être alimenté, un bouton poussoir est appuyé, assurant le passage du courant vers le chip à alimenter. Simultanément, le chip utilise la détection de la tension par le convertisseur CAN (Convertisseur analogique Numérique ou ADC) pour identifier le bouton qui a été pressé.

L'utilisation de ce circuit de commande de l'alimentation permet d'obtenir un contrôle énergétique efficace, réduisant toute consommation inutile durant les périodes d'inactivité, prolongeant ainsi la durée de vie de la pile de l'appareil. En déconnectant totalement l'alimentation du module radiofréquence, en dehors des périodes d'utilisation, le courant de veille du dispositif est minimisé, optimisant sa longévité dans diverses applications. En plus des composants cités, le circuit comprend également l'ESP32-C2 et les voyants à LED.

Estimation de la durée de vie de la pile

Toutes les optimisations étant effectuées, une transmission par paquets a été analysée, les

tensions d'entrée et le courant du convertisseur élévateur de tension ont été enregistrées (figure 5). Selon les données obtenues, la transmission d'un paquet complet dure 240 ms et l'intensité absorbée durant l'opération est de 25,8 mA.

Afin d'estimer correctement la durée de vie de la pile, considérant que le rendement du convertisseur de tension durant la charge est incertain, une évaluation pratique a été menée. Dans cette étude, les transmissions de paquets ont été évaluées dans le mode spécifié. Chaque cycle a été mesuré, depuis l'instant où le dispositif est déclenché (appui du poussoir), jusqu'à la transmission réussie du signal et la réception de l'accusé réception, prenant ainsi en compte la durée totale de l'opération.

Ce test a permis de déterminer qu'une pile bouton CR2032 pouvait supporter environ 65 000 cycles de transmission par paquet. De plus, l'intensité en veille mesurée, ne dépassait pas 1 μA . En considérant que le dispositif transmette des paquets 10 fois par jour, la durée de vie effective de la pile CR2032 serait d'environ 5 ans.

Cette évaluation démontre l'efficacité de la gestion énergétique et le faible courant absorbé par le dispositif, lui permettant de convenir à des applications grand public. Grâce à l'optimisation de son mode d'alimentation et sa conception évoluée, la pile de ce dispositif a une durée de vie surprenante, lui permettant d'offrir un fonctionnement fiable et de longue durée aux applications de l'IdO et de Domotique.

Conclusions


Le commutateur alimenté par pile bouton muni d'un ESP32-C2 apporte une solution

de contrôle de dispositifs connectés souple et adéquate. En optimisant la flexibilité du contrôle de l'alimentation et les protocoles utilisés, cette solution Wifi alimentée par une simple pile bouton facilite la communication avec les autres dispositifs équipés de chips ESP. Dans nos projets futurs, nous avons l'intention d'intégrer cette technologie dans les standards Matter (précédemment connu comme Project CHIP), permettant un contrôle

facile de multiples appareils alimentés par des sources conventionnelles.

N'oubliez pas de consulter la plateforme de développement GitHub d'Espressif [2] où vous trouverez davantage d'informations et des démonstrations des solutions open source ESP-IoT-Solution ainsi qu'en ce qui concerne ESP-NOW.

Ce commutateur alimenté par pile bouton est une solution améliorant l'applicabilité et

l'efficacité des applications du monde de la Domotique et de l'IdO. De par sa conception optimisée et l'efficacité de son contrôle énergétique, il procure une solution domotique durable et fiable. 

VF : Jean Boyer —230589-04



À propos des auteurs

Zhang Wei est ingénieur d'application chez Espressif Systems. Ingénieur chevronné en développement logiciel ayant une expérience de plus de dix ans dans les systèmes embarqués, les réseaux sans fil et le développement IdO, il aime apporter des solutions simples et claires aux problèmes. Diplômé en ingénierie électronique et informatique, il est titulaire d'un Master en « knowledge engineering » de l'université d'état de Singapour. Il a enrichi son expérience en étant employé chez STMicroelectronics, Greenwave Systems et Domarka Digital. En dehors de ses occupations professionnelles, Zhang Wei aime le football et les voyages.



Li Junru est ingénieur d'applications chez Espressif à Shanghai. Les systèmes embarqués ont toujours été sa passion. Il a pour mission d'apporter aux passionnés l'aide nécessaire à la libération de leur créativité en utilisant l'ESP32. Le message qui guide Li Junru est le suivant : « Collaborons et nous rendrons passionnant le développement des systèmes embarqués ».

Questions ou commentaires ?

Contactez librement les auteurs (zhang.wei@espressif.com ou lijunru@espressif.com) ou l'équipe éditoriale d'Elektor (redaction@elektor.fr).



Produits

> **Espressif ESP32 range**
www.elektor.fr/espressif

> **Getting Started with ESPHome**
www.elektor.fr/19738



LIENS

[1] Demonstration : ESP Now coin_cell_demo [GitHub] : <https://tinyurl.com/espnowcoincell>

[2] Dépôt GitHub d'Espressif : <https://github.com/orgs/espressif/repositories>



ESP-ADF

Espressif Audio Development Framework

Si vous construisez un appareil qui doit enregistrer ou lire de l'audio, ESP-ADF (Audio Development Framework) est le SDK qu'il vous faut. ESP-ADF fournit non seulement un support de base pour le pipelining audio, mais aussi divers encodeurs et décodeurs audio, des analyseurs de conteneurs audio, des égaliseurs et des downmixers.

En outre, différents protocoles de haut niveau, tels que DLNA, RTSP, RTCP et Bluetooth A2DP sont pris en charge, ainsi que leurs exemples correspondants. Plusieurs kits de développement offrent une prise en

charge audio. Découvrez les cartes des séries ESP32-S3-Korvo et ESP32-Lyra qui facilitent le prototypage.

<https://github.com/espressif/esp-adf>

