

## Le lavabo qui fonctionne

*Ceci est une fiction, toute ressemblance avec des faits réels ne serait que pure et fortuite coïncidence.*

Dans le cadre de la modernisation des installations sanitaires d'une école d'ingénieurs très lointaine, il a été décidé d'équiper les lavabos de capteurs infra-rouges capables d'actionner une électrovanne à partir d'une distance seuil. L'objectif est de limiter le gaspillage d'eau, tout en assurant un fonctionnement sans contact.

Ces systèmes sont alimentés par piles, ce qui pose un problème récurrent : les utilisateurs se retrouvent régulièrement devant un robinet inactif, incapable de fournir une goutte d'eau, même en frappant dessus comme un batteur de death metal. Certains élèves, touchés par la détresse de ces lavabos silencieux, ont même commencé à leur rendre hommage dans des poèmes ou des chansons murales, dont une inspirée étrangement des paroles d'un obscur groupe de métal comique, évoquant un évier mystérieux, éclatant dans la nuit. . . <sup>1</sup> Mais revenons à nos électrons.

Fidèles à notre tradition, nous allons tenter de résoudre ce problème par une solution maison mettant en oeuvre les notions apprises dans ce cours de conception de systèmes embarqués.

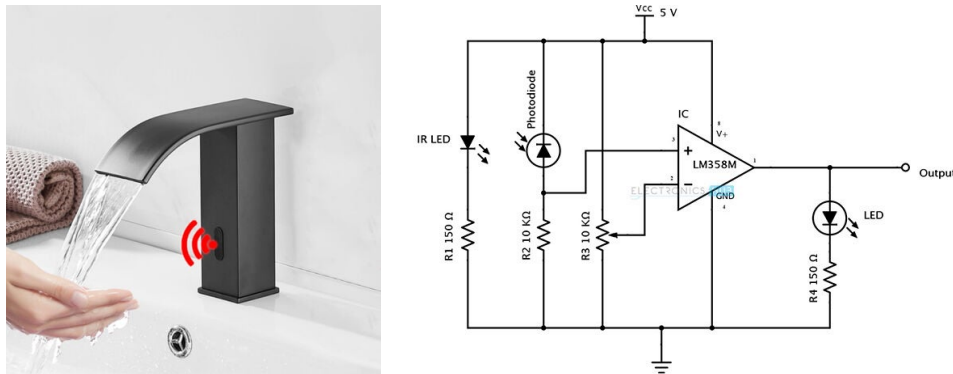


FIGURE 1 – Gauche) Lavabo connecté. Droite) Circuit

## 1 Capteur

Le principe du capteur infra-rouge est illustré dans la figure 1 gauche). La figure 1 droite) est une implémentation possible pour ce genre de système. On rappelle que le LM358 est un amplificateur opérationnel.

**Question 1.1** Expliquer très brièvement le fonctionnement de ce circuit (<5 lignes) ainsi que ces avantages et ses inconvénients.

1. Voir Évier Métal du groupe Ultra Vomit

Une autre possibilité d'implémentation serait de conditionner le signal issu de la photo-diode par une chaîne d'acquisition qui permet de le filtrer et de l'amplifier avant de le convertir. Le convertisseur analogique numérique utilisé a une pleine échelle de 4 V et une résolution de 10 bits de quantification. Le système consomme 0.1 mW pendant les phases de détection, 50 nW en phase de *sleep*. L'activation de la vanne nécessite 0.015 joule.

**Question 1.2** Au vu de l'application, pour rappel la détection de la présence d'un utilisateur devant le lavabo, quelle(s) approche(s) pourraient être adoptées afin de réduire la consommation d'énergie ?

*Afin de réaliser une bonne détection, il faut que la puissance due à tous les bruits soit inférieure à  $10^{-5} V^2$ .*

**Question 1.3** Quelle est la puissance du bruit de quantification du CAN. En déduire le budget de bruit restant pour les autres sources de bruit dans la chaîne.

## 2 Traitement numérique

*Afin d'améliorer la précision de la mesure, nous allons réaliser un moyennage sur 10 cycles. La fonction de transfert de ce filtre est donnée par :*

$$H(z) = 0.1 \sum_{i=0}^9 z^{-i}$$

**Question 2.1** En supposant que le signal utile est constant sur les 10 cycles et que le bruit a une distribution gaussienne indépendante entre les échantillons, expliquer pourquoi le moyennage permet d'améliorer la précision de la mesure. De combien de dB, ceci permet d'améliorer la précision ?

**Question 2.2** Donner la réponse impulsionnelle et indicielle du filtre sur 15 cycles.

**Question 2.3** Exprimer la fonction de transfert sous une forme récursive.

**Question 2.4** Donner l'expression des zéros du filtre.

**Question 2.5** Donner un schéma de réalisation possible pour ce filtre. Commenter la différence de complexité entre la forme récursive et la forme non récursive

## 3 Gestion de l'alimentation

*Note : les questions de cette partie doivent être traitées dans l'ordre afin de maintenir la logique de l'exercice.*

*Afin d'assurer une autonomie prolongée, le système intègre un module de récupération d'énergie basé sur la réception d'ondes Wi-Fi. La recharge se fait par réception d'un signal Wi-Fi émis depuis au moins un point d'accès situé à plusieurs mètres du système. La récupération d'énergie s'opère constamment, mais le capteur ne fonctionne qu'en mode actif pendant une courte période. Le reste du temps, il est en veille pour minimiser la consommation d'énergie. On appelle rapport cyclique (ou duty cycle) le rapport entre le temps de fonctionnement actif et le temps total de fonctionnement du système. On rappelle que le système consomme 0.1 mW pendant les phases de détection, 50 nW en phase de *sleep*. L'activation de la vanne nécessite 0.015 joule.*

**Question 3.1** Parmi les propositions suivantes, identifier la source de récupération d'énergie *a priori* la plus adaptée pour ce système. Justifier brièvement votre choix.

1. Énergie solaire (photovoltaïque)
2. Énergie éolienne (éolienne miniature)

3. Énergie mécanique (dynamo)
4. Énergie électromagnétique (récupération d'ondes radio)

Les spécificités de propagation des ondes radio sont telles qu'on ne peut pas utiliser la formule de l'atténuation en espace libre, mais une forme modifiée : la formule de Friis en présence d'obstacles :

$$P_r = P_t G_t G_r \left( \frac{\lambda}{4\pi d_0} \right)^2 \left( \frac{d_0}{d} \right)^n \quad (1)$$

avec  $n = 3$  et  $d_0$  une distance de référence (1 m dans notre cas). Le reste des paramètres sont les mêmes que pour la formule d'affaiblissement en espace libre et on considère que les gains des antennes sont de 3 dB. La puissance d'un émetteur Wi-Fi est de 20 dBm et on rappelle que la fréquence du signal Wi-Fi est de 2.4 GHz. Dans le bâtiment, on peut supposer que la distance maximale entre un émetteur Wi-Fi et le récepteur de récupération d'énergie est de 7 m.

**Question 3.2** Quelle est la puissance moyenne radio reçue au niveau du récepteur de récupération d'énergie (en considérant une seule borne d'émission Wi-Fi)? Donner le résultat en Watt et en dBm.

Dans le bâtiment, on estime qu'un capteur reçoit le signal de cinq bornes Wi-Fi différentes. On suppose que les signaux sont indépendants, que la puissance reçue par le capteur est la somme des puissances reçues de chaque borne et que la puissance reçue de chaque borne est identique pour faire simple.

**Question 3.3** On va négliger dans un premier temps la consommation à l'activation de la vanne. Existe-t-il une valeur de rapport cyclique (valide) pour que le système puisse fonctionner de manière autonome?

Considérons à présent l'énergie nécessaire pour l'activation de l'électro-vanne. Le cahier des charges fixe le nombre d'activations de l'électro-vanne par jour à 150.

**Question 3.4** En considérant en rapport cyclique de 0.1%, calculer le nombre d'activations possibles de l'électro-vanne par jour.

Afin d'améliorer les performances du système de récupération RF, nous étudions plusieurs solutions et possibilités.

**Question 3.5** Quels sont selon vous les avantages et inconvénients des solutions suivantes?

1. Augmenter la puissance de l'émetteur Wi-Fi.
2. Diminuer la distance entre émetteurs Wi-Fi et récepteurs.
3. Ajouter (ou remplacer par) un autre système de récupération d'énergie (une cellule photovoltaïque par exemple).

Justifier brièvement votre choix.

On décide d'utiliser une cellule photovoltaïque dont les caractéristiques sont les suivantes :

- Cellules solaires polycristallines
- Puissance nominale : 5 V @ 40 mA (plein soleil)
- Dimensions : 55 mm de diamètre, 3 mm d'épaisseur
- Points de soudure à l'arrière
- Poids : 8.9 g

Une photographie de la cellule est donnée en figure 2 à des fins d'illustration. On suppose que la cellule photovoltaïque est placée dans un environnement indoor, ce qui réduit son efficacité. On considère un coefficient de division par 40 pour le courant délivré dans notre contexte.

**Question 3.6** Quelle est la puissance nominale récupérée par la cellule photovoltaïque?

**Question 3.7** Quel est le rapport cyclique nécessaire pour que le système puisse fonctionner de manière autonome avec cette cellule photovoltaïque?



FIGURE 2 – Cellule photovoltaïque utilisée pour la récupération d'énergie. L'élément à gauche est un support adhésif vendu par le distributeur pour faciliter la fixation de la cellule. (Source : Adafruit)