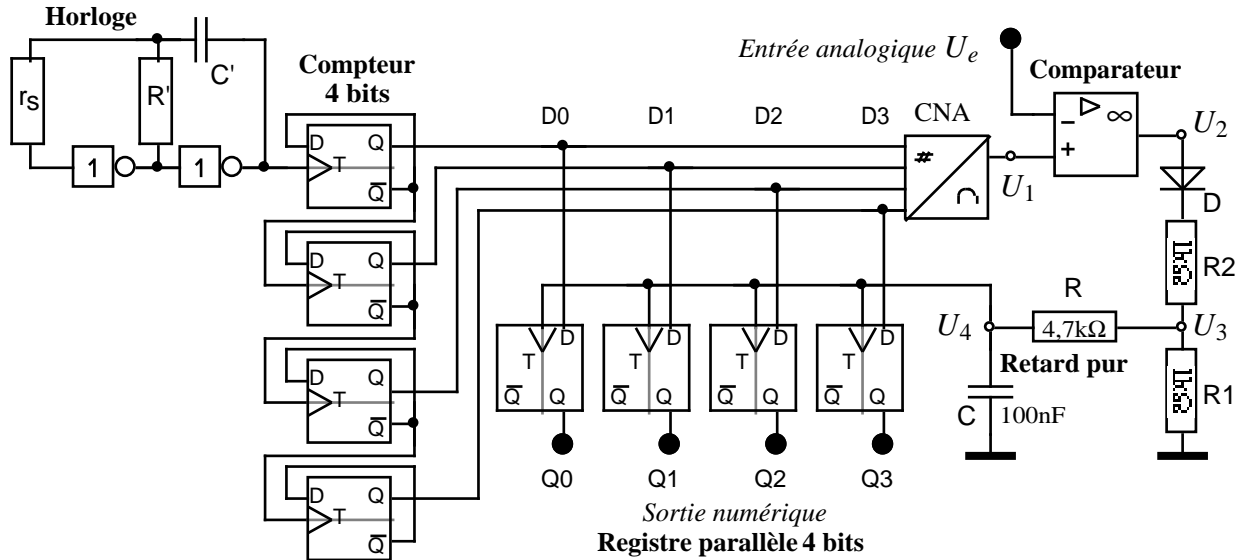


B13-1 : CAN "simple rampe"

On donne ci-dessous le schéma d'un convertisseur numérique analogique (CAN) 4 bits.



Données techniques :

- CNA unipolaire 4 bits : sortie analogique 0-10V
- A.Op.: tension sortie max. = ±11V; *slewrate* = 1V/μs.
- Diode D : tension de déchet $V_D = 0,7V$
- Circuits logiques CMOS alimentés sous 5V. Seuil de basculement $V_b = 2,5V$.
- Bascules D déclenchées sur un front montant :

| | |
|---|----|
| D | Q |
| T | Q |
| Q | Q̄ |

| | | |
|---|---|-----------|
| T | D | Q_{n+1} |
| X | X | Q_n |
| ┌ | 0 | 0 |
| └ | 1 | 1 |
- Horloge : fréquence 10kHz (schéma voir A25-TD3 ; $F = \frac{1}{2R'C' \ln 3}$)
- U_e : tension analogique d'entrée comprise entre 0 et 10V. Ici, on prendra $U_e = 3,25 V$.
- A l'instant $t = 0^-$, on suppose que $Q_0 = Q_1 = Q_2 = Q_3 = 0$; le condensateur C est déchargé.

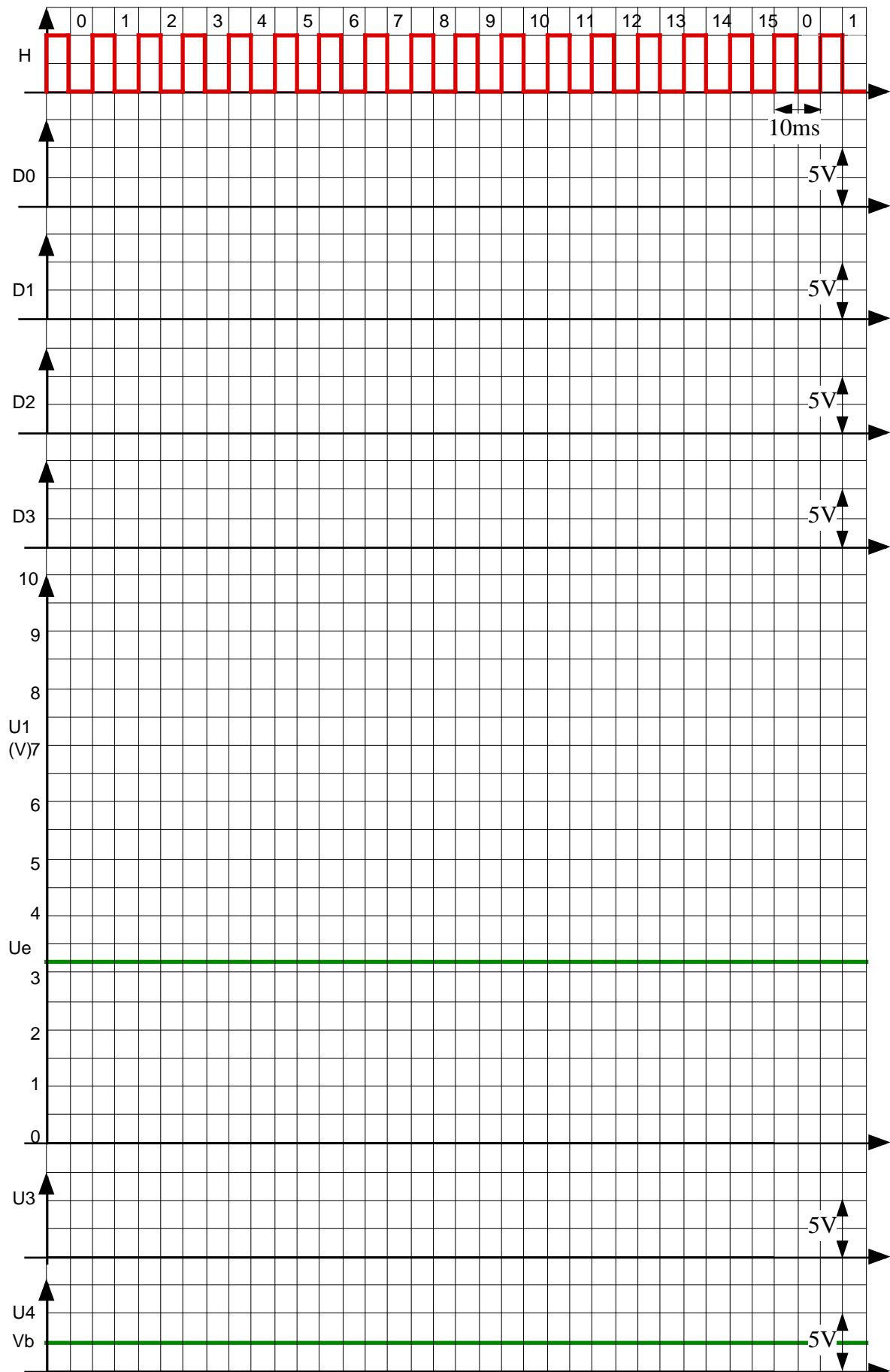
Travail demandé

Pour $0 \leq t \leq 1ms$, représenter successivement et avec précision les signaux H, $D_0, D_1, D_2, D_3, U_1, U_2, U_3, U_4, Q_0, Q_1, Q_2, Q_3$.

NB : on établira puis on résoudra l'équation différentielle liant $U_3(t)$ (assimilée à un échelon de tension) et $U_4(t)$, afin de tracer correctement $U_4(t)$.

Échelles :

- abscisses : 1cm ↔ 50μs
- ordonnées : H, $D_0, D_1, D_2, D_3, U_2, Q_0, Q_1, Q_2, Q_3$: 1cm ↔ 5V
- U_1, U_3, U_4 : 1cm ↔ 1V



Fonctionnement du CAN :

Le CAN comprend une horloge (astable à portes NON) suivi d'un compteur binaire asynchrone constitué de quatre bascules D connectées en bascule T (= diviseur de fréquence par 2).

- 1) Sur un front montant de l'horloge, la première bascule change d'état (D_0).
- 2) Lorsque la sortie Q d'une bascule passe de 1 au 0 logique (front descendant), sa sortie \bar{Q} passe de 0 au 1 logique (front montant), ce qui entraîne le changement d'état de la bascule suivante.

La sortie du compteur est reliée à un CNA 4 bits qui génère une rampe de tension U_1 composée d'incrément de valeur $q = \frac{PE}{2^n - 1} = \frac{10}{2^4 - 1} \approx 0,67$ V. Cette rampe est comparée (schéma A.Op d'un comparateur simple TOR) à la tension analogique d'entrée U_e que l'on veut convertir.

- 3) Tant que $U_1 < U_e$, l'A.Op est saturé à $U_2 = -V_{sat}$. Dès que $U_1 > U_e$, la sortie de l'A.Op vaut $U_2 = +V_{sat}$. La tension U_2 possède donc un front montant lors de cette transition.

Les niveaux de tension de sortie de l'A.Op sont ramenés aux niveaux logiques 0-5V à l'aide de la diode D suivie d'un diviseur de tension par deux (résistances R_1, R_2). On a donc :

$$U_3 = 0 \text{ si } U_2 = -11 \text{ V (D bloquée)}$$

- 4) $U_3 = \frac{11 - 0,7}{2} \approx 5 \text{ V si } U_2 = +11 \text{ V (D passante)}$

Pour éviter tout aléa, un retard pur est introduit par le circuit RC pour produire U_4 .

- 5) Sur un front montant de U_3 , U_4 vaut : $U_4 = 5(1 - e^{-t/\tau})$ avec $\tau = RC = 0,47$ ms. La tension U_4 atteint la tension de basculement logique V_b au bout d'un retard θ qui vaut :

$$U_4 = V_b = 2,5 = 5(1 - e^{-\theta/\tau}) \Rightarrow \theta = \tau \ln 2 \approx 0,3 \text{ ms}$$

Le registre de sortie est un registre à chargement parallèle et sortie parallèle composé de quatre bascules D. Lorsque ces bascules reçoivent un front montant de U_4 sur leurs entrées d'horloge, leurs sorties Q_0, Q_1, Q_2, Q_3 recopient l'état à cet instant précis des entrées D_0, D_1, D_2, D_3 .

- 6) Pour $U_e = 3,25$ V, le basculement du comparateur se produit quand :

$$U_1 > 3,25 \text{ V} \Leftrightarrow \left\lfloor \frac{U_e}{q} \right\rfloor = \left\lfloor \frac{3,25}{0,67} \right\rfloor = \lceil 4,85 \rceil = 5, \text{ soit } Q_3 Q_2 Q_1 Q_0 = 0101 \text{ en binaire.}$$

($\lfloor x \rfloor = x$ arrondi à l'entier supérieur)



Il s'agit ici d'un schéma simplifié. En particulier, l'état $Q_3 Q_2 Q_1 Q_0 = 0000$ ne serait atteint en toute rigueur que si $U_e < 0$ V.