

## TD2 : Circuits électriques dans l'ARQS – Corrigé

### Exercice 1 : L'ARQS

- On peut appliquer l'ARQS lorsque le temps de variation des signaux est très supérieur à leur temps de propagation dans le circuit :  $d \ll c/f$  ( $d$  : Dimension du circuit,  $f$  : Fréquence du circuit)
- Dans ce cas, on a  $c/f \simeq 10$  cm qui est du même ordre de grandeur que la taille du circuit. On ne peut donc pas appliquer l'ARQS.
- Le tracé apparemment étrange des pistes de la carte mère a pour objectif d'égaliser les temps de parcours des différents signaux afin qu'ils arrivent au même moment. Lorsqu'on ne peut pas appliquer l'ARQS il faut prendre en compte le temps de trajet des signaux.

### Exercice 2 : VITESSE DES ÉLECTRONS

L'intensité électrique est le débit d'électrons à travers la section  $S$  du fil :  $i = Svnq$  donc  $v = i/(Snq) \simeq 6 \times 10^{-5} \text{ m s}^{-1}$  : Les électrons avancent en moyenne extrêmement lentement !

### Exercice 3 : LOI DES NOEUDS

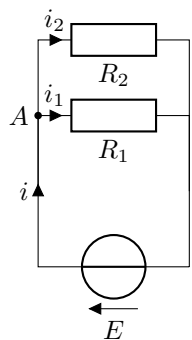
- Au noeud  $A$  :  $i_1 + i_4 - i_2 = 0 \Rightarrow i_4 = -1 \text{ A}$ .
- Au noeud  $B$  :  $i_1 - i_3 + i_4 - i_2 = 0 \Rightarrow i_4 = 4 \text{ A}$ .
- Au noeud  $C$  :  $i_4 - i_1 - i_2 - i_3 = 0 \Rightarrow i_4 = 0 \text{ A}$ .
- Au noeud  $D$  :  $i_1 + i_3 + i_4 + i_2 = 0 \Rightarrow i_4 = -4 \text{ A}$ .
- Au noeud  $E$  :  $i + i_1 + i_3 - i_2 = 0$  et en  $F$  :  $i_4 + i_0 - i = 0$  donc  $i_4 = -i_0 - i_1 - i_3 + i_2 = 3,5 \text{ A}$ .

### Exercice 4 : LOI DES MAILLES

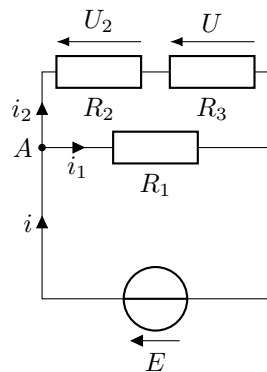
- $U_4 + U_1 + U_2 = 0 \Rightarrow U_4 = -4 \text{ V}$  ;
- $U_4 - U_3 + U_1 - U_2 = 0 \Rightarrow U_4 = 4 \text{ V}$  ;
- $U_4 + U_1 - U_2 = 0 \Rightarrow U_4 = 2 \text{ V}$ , on peut vérifier que le résultat est cohérent avec la seconde maille :  $U_4 + U_3 - U_5 = 0 \Rightarrow U_4 = 2 \text{ V}$  c'est cohérent.

### Exercice 5 : ÉTUDE DE QUELQUES CIRCUITS

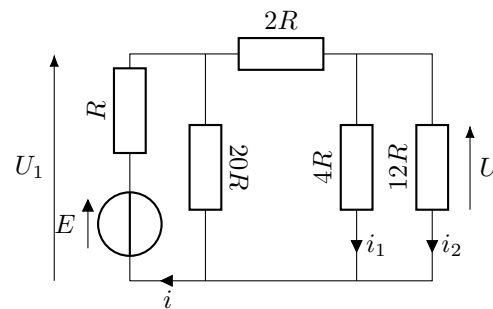
Circuit 1 :



Circuit 2 :



Circuit 3 :



- Circuit 1 : Loi des noeuds en  $A$  :  $i = i_1 + i_2 = \frac{E}{R_1} + \frac{E}{R_2} = E \left( \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right)$
- Circuit 2 : Loi des noeuds en  $A$  :  $i = i_1 + i_2 = \frac{E}{R_1} + i_2$ . On trouve  $i_2$  en remplaçant  $R_2$  et  $R_3$  par  $R_{eq} = R_2 + R_3$ , soit  $i_2 = \frac{E}{R_{eq}} = \frac{E}{R_2 + R_3}$ . Et finalement

$$i = \frac{E}{R_1} + \frac{E}{R_2 + R_3} = E \left( \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2 + R_3} \right) \text{ et } U = R_3 i_2 = E \frac{R_3}{R_2 + R_3}$$

(En exercice : retrouver ces résultats en transformant les résistances en résistances équivalentes et en utilisant la formule d'un pont diviseur de tension)

- On remplace successivement les associations de résistances par des résistances équivalentes :  $4R$  et  $12R$  en parallèle  $\Rightarrow 3R$  ;  $3R$  et  $2R$  en série  $\Rightarrow 5R$  ;  $5R$  et  $20R$  en parallèle  $\Rightarrow 4R$  ;  $4R$  et  $R$  en série  $\Rightarrow 5R$ . Donc

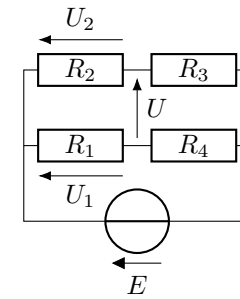
$$i = \frac{E}{5R}$$

$U$  est donnée par le diviseur de tension formé par  $2R$  et  $R_{eq} = 3R$  appliqué à  $U_1 = E - Ri = \frac{4}{5}E$  donc

$$U = \frac{4}{5}E \times \frac{3R}{5R} = \frac{12}{25}E$$

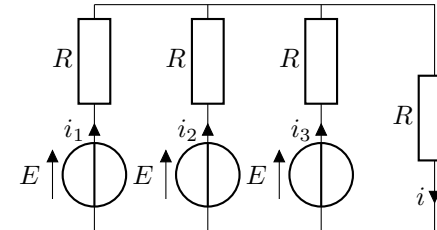
$$i_2 = \frac{U}{12R} = \frac{E}{25R} \text{ et } i_1 = \frac{U}{4R} = \frac{3E}{25R}.$$

### Exercice 6 : PONT DE WHEATSTONE



Le pont de Wheatstone correspond à deux diviseurs de tension :  $U_1 = E \times R_1/(R_1 + R_4)$  et  $U_2 = E \times R_2/(R_2 + R_3)$ . En appliquant la loi des mailles on obtient :  $U_2 - U_1 + U = 0$  donc  $U = U_1 - U_2 = E \times \left( \frac{R_1}{R_1 + R_4} - \frac{R_2}{R_2 + R_3} \right)$   
Le pont est équilibré lorsque  $U = 0$  soit  $R_1 R_3 - R_2 R_4 = 0$ .

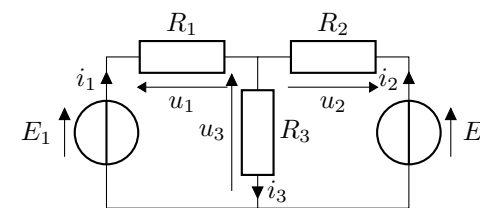
### Exercice 7 : DÉTERMINATION D'UNE INTENSITÉ



Pour une raison de symétrie, on a forcément  $i_1 = i_2 = i_3$  et la loi des noeuds donne  $i = 3i_1$ . En appliquant la loi des mailles (maille de droite), on obtient

$$E - Ri_1 = Ri \Leftrightarrow i = \frac{3E}{4R} \quad (1)$$

### Exercice 8 : LOIS DE KIRCHHOFF



- Voir schéma
- On obtient les relations suivantes

$$i_1 + i_2 = i_3, \quad E_1 = U_1 + U_3, \quad E_2 = U_2 + U_3, \quad U_k = R_k i_k, \quad (1)$$

d'où

$$i_3 = \frac{R_1 E_2 + R_2 E_1}{R_1 R_2 + R_2 R_3 + R_1 R_3} \quad (2)$$

- $U_3 = R_3 i_3$ .

### Exercice 9 : RÉSISTANCES ÉQUIVALENTES

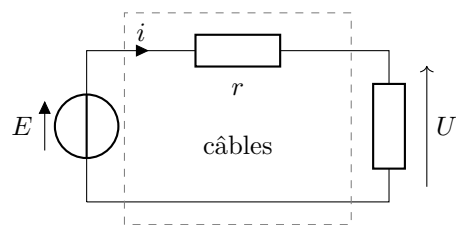
- $\frac{1}{R_{eq}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}$
- $R_{eq} = R_1 + R_2 + \frac{R_5(R_3 + R_4)}{R_5 + R_3 + R_4}$
- $R_{eq} = \frac{R_4 R_3 (R_1 + R_2)}{R_3 R_4 + (R_3 + R_4)(R_1 + R_2)}$

### Exercice 10 : BILAN DE PUISSANCE

- $i = E/(R + r)$
- $P_R = Ri^2 = RE^2/(R + r)^2$
- $P_G = E \times i = E^2/(R + r)$
- Le rendement est  $\gamma = P_R/P_G = R/(R + r)$
- $U = R \times i = E \times R/(R + r)$
- Plus la résistance interne est faible, meilleur est le rendement et la tension appliquée au dipôle est indépendante de la valeur de sa résistance. Lorsque la résistance interne est nulle, on dit que le générateur est idéal.

**Exercice 11 : TRANSPORT D'ÉLECTRICITÉ**

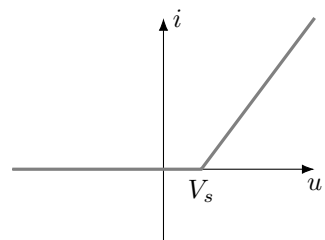
1. Schéma :



- La loi des mailles et la loi d'Ohm donnent  $U = E - ri$  soit  $E = U + ri$
- La puissance électrique dissipée dans les câbles est  $P_c = ri^2$  c'est l'effet Joule, l'énergie électrique est transformée en chaleur.
- La puissance totale fournie par le générateur est  $P_g = E \times i$
- Le rendement du système est  $\gamma = \frac{P}{P_g} = \frac{P}{Ei} = \frac{P}{(U + ri)i} = \frac{P}{P + ri^2}$ . En utilisant  $i = P/U$  on obtient finalement :

$$\gamma = \frac{P}{P + r(P/U)^2} = \frac{1}{1 + rP/U^2} \quad (1)$$

- On utilise une haute tension pour transporter le courant électrique car le rendement augmente avec  $U$ . Cela permet de diminuer les pertes lors du transport.
- On ne peut pas utiliser des tensions trop élevées car les plus hautes tensions nécessitent des infrastructures plus coûteuses (il faut plus espacer les câbles, il faut qu'ils soient plus hauts). Le gain d'argent fait en utilisant une tension supérieure à 400 kV serait probablement inférieur au surcoût des infrastructures.

**Exercice 12 : CARACTÉRISTIQUES D'UNE DIODE**

- Pour  $U_D < V_{\text{seuil}}$  la diode se comporte comme un interrupteur ouvert ( $i = 0$ ) et pour  $U_D > V_{\text{seuil}}$  elle se comporte comme un générateur de tension de f.e.m  $E = V_s$  et de résistance interne  $\gamma$  (en Ohm)
- voir ci-contre.
- $i = \frac{E - V_s}{R + r + \gamma}$ ,  $U_D = V_s + \gamma i = V_s + \gamma \frac{E - V_s}{R + r + \gamma}$  et  $U_G = E - ri = E - r \frac{E - V_s}{R + r + \gamma}$
- La diode est bloquante lorsque  $U_D \leq V_s$  donc  $E_{\min} = V_s$ . Dans ce cas on a  $U_G = U_D = E$

**Exercice 13 : CONVERTISSEUR NUMÉRIQUE-ANALOGIQUE**

- D'après l'énoncé, on a  $\varepsilon = 0$ , et comme  $v_+ = 0$  (potentiel de la borne + de l'amplificateur) on a  $v_- = 0$  et le potentiel du commutateur  $K_j$  sera nul quelque soit sa position. Dans ces conditions, les intensités qui circulent dans le réseau de résistances ne dépendent pas de la position des  $K_j$ .
- En construisant des circuits équivalents successifs, on remarque que les résistances situées à droite et en dessous du nœud  $A_j$  sont équivalentes à une résistance  $R$  reliée à la masse. Donc toutes les résistances  $R$  et  $2R$  sont équivalentes à une seule résistance  $2R$  reliée à la masse. On a alors immédiatement

$$I = \frac{E}{2R} \quad (1)$$

- Toutes les résistances situées à droite du nœud  $A_{n-1}$  sont équivalentes à une résistance  $2R$ . L'intensité  $I$  se divise alors en deux intensités égales au niveau de  $A_{n-1}$  et on trouve que  $I_{n-1} = \frac{I}{2}$ . De manière analogue, on montre que  $I_{n-2} = \frac{I_{n-1}}{2} = \frac{I}{2^2}$ . Un raisonnement par récurrence montre que l'on a finalement

$$I_j = \frac{I}{2^{n-j}} = \frac{E}{2R} \frac{1}{2^{n-j}} = \frac{E}{2^{n+1}R} \times 2^j \quad (2)$$

- On note  $I_S$  l'intensité qui circule dans la résistance  $R'$ . On a

$$I_S = \sum_{j=0}^{n-1} b_j I_j = \frac{E}{2^{n+1}R} \sum_{j=0}^{n-1} b_j 2^j \quad (3)$$

La loi des mailles appliquée autour de l'amplificateur opérationnel avec la loi des nœuds donne alors

$$U_S = -R' I_S = -\frac{E}{2^{n+1}} \frac{R'}{R} \sum_{j=0}^{n-1} b_j 2^j \quad (4)$$

- On change la tension de sortie d'un quantum lorsqu'on modifie la position de  $K_0$ , et donc lorsqu'on change la valeur du bit de poids faible  $b_0$ . On a donc

$$\delta U_S = \frac{E}{2^{n+1}} \frac{R'}{R} \quad (5)$$

Avec les valeurs données, on trouve

$$E = \frac{R}{R'} 2^{n+1} \delta U_S = 12,8 \text{ V} \quad (6)$$

- La tension de sortie est dans ce cas

$$U_S = -\delta U_S (2 + 16 + 128) = 146 \delta U_S = 1,46 \text{ V}. \quad (7)$$

**Exercice 14 : UN PETIT PROBLÈME**

On peut modéliser une ampoule par une résistance  $R$ . La puissance  $P$  d'une ampoule de résistance  $R$  est  $P = U \times i = \frac{U^2}{R}$ . Donc la résistance est donnée par  $R = \frac{U^2}{P}$ . Ce qui nous donne les valeurs suivantes :  $50 \text{ W} \rightarrow 3 \Omega$ ,  $20 \text{ W} \rightarrow 6 \Omega$ ,  $2 \text{ W} \rightarrow 70 \Omega$ . Pour recharger sa batterie de téléphone, il peut la brancher à sa batterie de voiture par l'intermédiaire d'une résistance appropriée pour que l'intensité ne dépasse pas deux ampères. L'intensité qui circule dans le circuit sera  $i = (V_{\text{bat}} - V_{\text{tel}})/R$ . On doit donc avoir  $R > (V_{\text{bat}} - V_{\text{tel}})/i \approx 4 \Omega$ . Il pourra donc utiliser une ampoule de  $20 \text{ W}$  en série avec la batterie de sa voiture pour recharger son téléphone.

**Exercice 15 : COMPARAISON DE RÉSISTANCES**

La résistance des fils de cuivre et d'aluminium (de longueurs  $\ell$ ) sont :

$$R_{\text{Cu}} = \frac{\rho_{\text{Cu}} \ell}{S_{\text{Cu}}} \quad \text{et} \quad R_{\text{Al}} = \frac{\rho_{\text{Al}} \ell}{S_{\text{Al}}} = \frac{2\rho_{\text{Cu}} \ell}{S_{\text{Al}}} \quad (1)$$

$\rho_{\text{Cu}}$  et  $\rho_{\text{Al}}$  sont les résistivités respectives du cuivre et de l'aluminium.  $S_{\text{Al}}$  et  $S_{\text{Cu}}$  sont les sections des fils d'aluminium et de cuivre.

L'énoncé indique que la densité de l'aluminium  $\mu_{\text{Al}}$  est le tiers de celle du cuivre  $\mu_{\text{Cu}}$ . Comme les masses linéiques des deux fils sont égales, on peut écrire

$$\lambda_{\text{Al}} = \frac{m_{\text{Al}}}{\ell} = \frac{\mu_{\text{Al}} S_{\text{Al}} \ell}{\ell} = \mu_{\text{Al}} S_{\text{Al}} = \frac{1}{3} \mu_{\text{Cu}} S_{\text{Al}} = \lambda_{\text{Cu}} = \mu_{\text{Cu}} S_{\text{Cu}} \quad \text{donc} \quad S_{\text{Al}} = 3S_{\text{Cu}} \quad (2)$$

Et on a finalement

$$R_{\text{Al}} = \frac{2\rho_{\text{Cu}} \ell}{3S_{\text{Cu}}} = \frac{2}{3} R_{\text{Cu}} \quad (3)$$