On se placera en régime stationnaire ou dans l'ARQS.

Exercices d'application : Intensité, porteurs de charges, Kirchhoff, comportements générateur et récepteur, Quatre méthodes, associations de résistances, récepteur véritable

Culture en sciences physiques : Mouvement des porteurs de charges, cadre de l'ARQS, Transformation triangle-étoile, diodes et montages redresseurs,

Corrigés en TD : Kirchhoff, comportements générateur et récepteur, Quatre méthodes, associations de résistances, récepteur véritable, caractéristique d'une association de dipôles

Intensité d'un courant

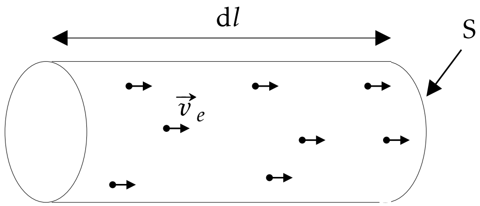
Exercice 1 : Intensité de courant d'un faisceau de particules

Le L.E.P. est un collisionneur d'électrons et de positrons situé au CERN à Genève : il s'agit d'un anneau d'une circonférence d'environ $C = 27\,\mathrm{km}$ dans lequel circulent (au total) environ $2\cdot10^{12}$ électrons et positrons qui se propagent en sens inverse, à une vitesse proche de celle de la lumière. Quelle est l'intensité I du courant constitué par ce faisceau de particules ? La répartition entre électrons et positrons a-t-elle une importance pour la détermination de l'intensité ?

Exercice 2 : Mouvement des porteurs de charge

Un fil de cuivre, de section $S = 2{,}5\,\mathrm{mm}^2$, est parcouru par un courant d'intensité $I = 10\,\mathrm{A}$.

1. Combien d'électrons traversent une section de ce fil pendant une durée $\mathrm{d}t$?
2. Dans quelle longueur $\mathrm{d}l$ de fil ces électrons mobiles étaient-ils contenus si on admet que chaque atome de cuivre fournit un électron de conduction ?



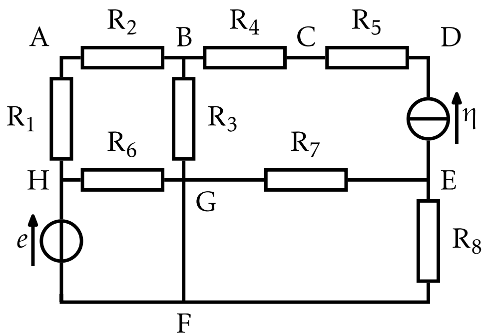
3. On désigne par v_e la *vitesse d'ensemble* des porteurs de charge. Elle est ici égale à $v_e = I/(S\rho)$, avec ρ la *densité volumique* de charge, *ie* la charge des porteurs de charge par unité de volume.
   (a) Relier l à ve et interpréter v_e.
   (b) Déterminer la valeur de v_e et la comparer à la *vitesse d'agitation thermique* des porteurs : $v_{\mathrm{th}} = 1\cdot10^6\,\mathrm{m\cdot s^{-1}}$ pour une température $T = 300\,\mathrm{K}$. Commenter.s

Données : masse molaire du cuivre $M(\mathrm{Cu}) = 63{,}5\,\mathrm{g\cdot mol^{-1}}$, masse volumique du cuivre $m_V(\mathrm{Cu}) = 8{,}8\cdot10^3\,\mathrm{kg/m^3}$.

Lois générales

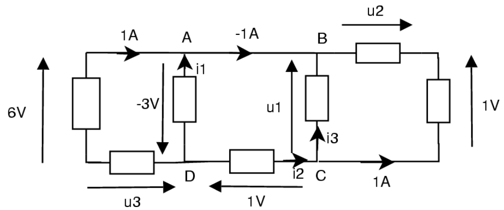
Exercice 3 : Topologie des circuits

1.
   - Déterminer tous les nœuds distincts du circuit.
   - Déterminer toutes les branches du circuit terminées par des nœuds.
   - Déterminer toutes les mailles passant par le point *A*.
2.
   - Quelles sont les résistances en série ?
   - Quelles sont les résistances en parallèle ?
   - Les résistances R_3 et R_6 sont-elles en série ?



Exercice 4 : Lois de Kirchhoff

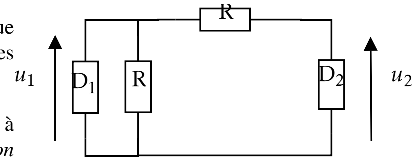
1. Déterminer les tensions u_1, u_2, u_3 du circuit représenté sur la figure ci-contre.
2. Déterminer les courants i_1, i_2, i_3.



Exercice 5 : Comportements générateur et récepteur

On étudie le circuit représenté sur la figure ci-contre.

- D_1 est un accumulateur qui impose une tension u_1 positive entre ses bornes.
- D_2 est un autre accumulateur qui impose une tension u_2 que l'expérimentateur peut ajuster, en grandeur et en signe, entre ses bornes.
- Les autres dipôles sont des résistors de résistance R : la tension à leurs bornes et le courant qui les traversent vérifient, *en convention récepteur* $U = RI$.



1. En fonction des valeurs de u_2 déterminer le comportement, générateur ou récepteur de chacun des dipôles.
2. Est-il possible que D_1 et D_2 aient simultanément un comportement récepteur ?
3. Calculer la somme des puissances reçues par chaque dipôle. Commenter.

Exercice 6 : Cadre de l'ARQS

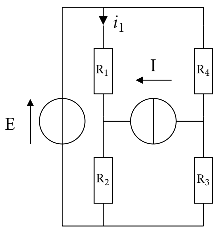
On vérifie la validité de l'approximation des états quasi-stationnaires dans quelques exemples :

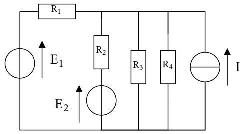
1. Peut-on appliquer l'ARQS pour étudier le courant dans une antenne de télévision ? On indique que la télévision terrestre propage des signaux de fréquences de l'ordre de 500 MHz.
2. Donner un ordre de grandeur de la taille maximale des circuits électroniques de ce même téléviseur, pour qu'ils fonctionnent dans l'ARQS.

Utilisation des théorèmes

Exercice 7 : Circuits quelconques

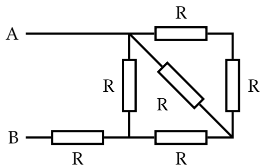
1. Peut-on identifier des associations série ou parallèle de résistances ?
2. Déterminer l'intensité i_1 du courant circulant dans le résistor R_1 du montage ci-contre, dans lequel les sources sont idéales :
   - en utilisant directement les lois de Kirchhoff,
   - en utilisant le théorème de superposition.
3. Déterminer l'intensité du courant circulant dans la résistance R_4 en utilisant l'équivalence entre la représentation de Norton et de Thévenin d'une source de tension ou de courant.

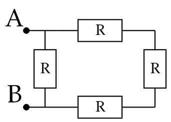


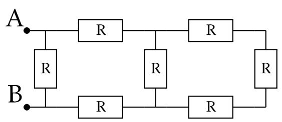


Exercice 8 : Associations de résistances

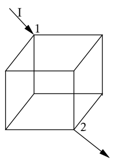
1.
   - Préciser sans calcul dans les associations de résistances représentées ci-dessous si la résistance équivalente entre les points A et B est inférieure ou supérieure à R
   - Déterminer la résistance équivalente R_{eq} entre les points A et B.







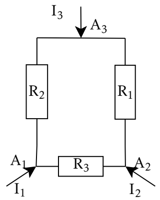
2. À l'aide d'un fil homogène de section constante, on réalise les arêtes d'un cube. Le courant d'intensité I arrive en 1 et ressort par le sommet opposé 2. Calculer les intensités dans chaque branche[a] et en déduire la résistance quand on fait circuler entre deux points diamétralement opposés du cube si la résistance d'une arête seule est notée R.

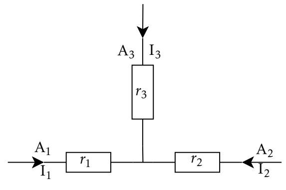


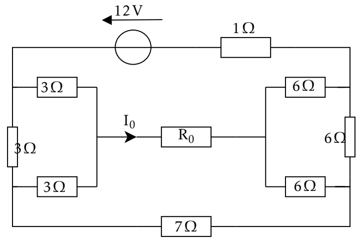
[a] Par symétrie, l'intensité du courant est la même dans certaines branches.

Exercice 9 : Transformation triangle-étoile

1. Exprimer les résistances r_1, r_2 et r_3 du « circuit étoile » (partie de droite de la figure de gauche) en fonction des résistances R_1, R_2 et R_3 du « circuit triangle » (partie de gauche de la figure de gauche) pour que les deux circuits soient équivalents, *ie* tels que par exemple la tension aux bornes de A_1A_2 dans les deux systèmes soit la même quels que soient I_1 et I_2. On pourra commencer par traiter le cas $I_3 = 0$, puis conclure en utilisant le théorème de superposition.
2. Calculer l'intensité du courant I_0 dans la résistance $R_0 = 3\,\Omega$ de la figure de droite.







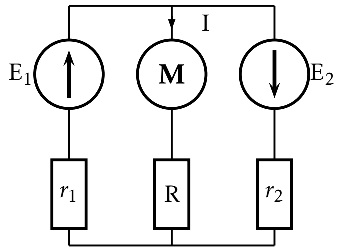
Utilisation des caractéristiques

Exercice 10 : Récepteur véritable

Le moteur M de la figure ci-contre est un dipôle symétrique tel que :

- quand $i \neq 0$ la tension à ses bornes vaut toujours, *en valeur absolue* e, nommée *force contre électromotrice*,
- son comportement est toujours récepteur.

1. Déterminer sa caractéristique (on montrera qu'elle se compose de deux demi-droites verticales).

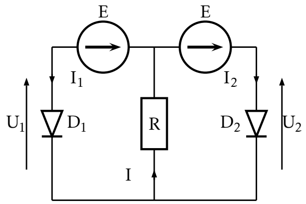


2. (a) Déterminer le point de fonctionnement du circuit ci-contre en considérant la caractéristique du dipôle branché aux bornes de l'association série du moteur et du résistor R.

   (b) Retrouver ce résultat par un raisonnement conditionnel. On supposera par exemple $I > 0$, on en déduira la tension aux bornes du moteur puis la valeur de I dont on vérifiera si elle est ou non positive. On aura également intérêt à envisager des transformations de Thévenin et Norton. On calcule : $E_1 = 2{,}0\,\text{V}$, $E_2 = 4{,}0\,\text{V}$, $e = 1{,}5\,\text{V}$, $r_1 = 2{,}0\,\Omega$, $r_2 = 1{,}0\,\Omega$ et $R = 3{,}0\,\Omega$.
3. Effectuer un bilan énergétique, vérifier la conservation de l'énergie et le comportement récepteur du moteur.

Exercice 11 : Caractéristique d'une association de dipôles

On considère le réseau ci-contre dans lequel les deux diodes sont identiques, de caractéristiques : $\begin{cases} i = 0 & \text{pour} \quad u < 0 \\ i = \frac{u}{r} & \text{pour} \quad u \geqslant 0 \end{cases}$.



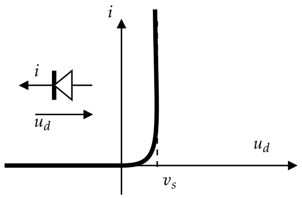
1. Déterminer l'expression, en fonction de E, R et r, de l'intensité I du courant traversant le résistor en déterminant la caractéristique équivalent du dipôle branché en parallèle sur le résistor.

2. En déduire l'expression de la tension U_1.

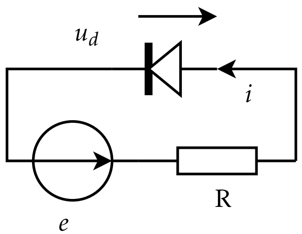
3. Retrouver l'expression de I en employant le même raisonnement conditionnel qu'à la question 2a de l'exercice 12.

Exercice 12 : Diodes et montages redresseurs

1. La caractéristique statique d'une diode est donnée sur la figure ci-contre.



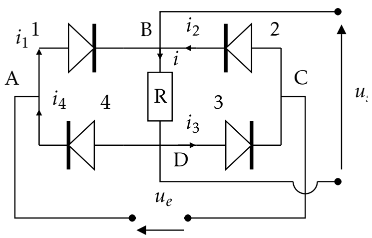
   (a) Le modèle de la diode idéale correspond à une caractéristique affine par morceaux, v_s étant nommée la *tension de seuil*. Simplifier la caractéristique ci-contre et distinguer un comportement «bloquant» et un comportement «passant». Justifier que «la diode ne laisse passer le courant que dans un sens».



   (b) On considère le montage de la figure ci-contre dans lequel le générateur de tension est idéal. Dans un premier temps, sa force électromotrice est stationnaire : $e(t) = e_0$ de signe quelconque. Déterminer, à l'aide de la caractéristique statique du générateur de Thévenin et de celle de la diode idéale le courant dans la maille en fonction de la tension e_0 et de v_s et en déduire la tension u_R aux bornes du résistor.

   (c) La force électromotrice est maintenant variable, sinusoïdale $e(t) = e_0 \cos \omega t$. Déterminer la tension $u_R(t)$. Justifier le nom de *redressement simple alternance* donner à ce montage.

2. ↯ On considère le montage ci-contre dans lequel les quatre diodes sont idéales ($v_s = 0$).



Montage redresseur double alternance.

   (a) Montrer que si les diodes 1 et 3 sont passantes, les diodes 2 et 4 sont bloquantes. On utilisera un raisonnement du type : <u>si</u> *D_i est passante (resp. bloquante),* <u>*alors*</u> $u = 0$ *(resp.* $i = 0$*),* <u>*tant que*</u> $i > 0$ *(resp.* $u < v_s = 0$ *ici).*

   (b) Que vaut alors u_S ? À quelle condition sur u_E est-on dans ce régime ?

   (c) Traiter de la même manière le cas où 2 et 4 sont passantes.

   (d) En déduire u_S si $u_E = u_0 \cos \omega t$. Justifier le nom de *redressement double alternance* de ce montage. Quel est l'intérêt par rapport à un redressement simple alternance ?

Correction de l'exercice 1

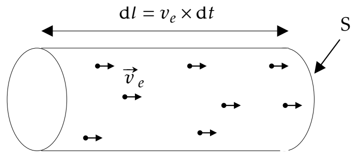
La charge traversant une section quelconque de l'anneau de collision est $Q = ne$, pendant la durée d'une révolution $T = C/c$. Le courant est donc $Q/T = nec/C \simeq 3{,}5\,\mathrm{mA}$. Il n'est pas nécessaire de distinguer les électrons des positrons bien que leur charges soient opposées puisqu'ils circulent en sens inverse (pour réaliser une collision) : ils contribuent tous au courant de la même manière.

Correction de l'exercice 2

1. Par définition de l'intensité du courant, une charge $\delta q = I\mathrm{d}t$ traverse une section du fil pendant $\mathrm{d}t$, soit un nombre $\delta N = \delta q/e = I \times \mathrm{d}t/e$, *ie* $\frac{\delta N}{\mathrm{d}t} = 6{,}25 \cdot 10^{19}$ électrons/seconde.

2. La conservation de la neutralité du conducteur dans l'*A.R.Q.S.* assure que la densité volumique d'électrons de conduction est la même en présence et en absence de courant. Si chaque atome de cuivre fournit un électron de conduction, la densité volumique molaire de ces derniers (nombre de moles par unité de volume) est égale à celle des atomes de cuivre dans le solide, qui vaut : $m_V(\mathrm{Cu})/M(\mathrm{Cu}) = 140\,\mathrm{mol/m^3}$. La longueur $\mathrm{d}l$ correspondante est alors : $\mathrm{d}l = \frac{I\mathrm{d}t M(\mathrm{Cu})}{m_V(\mathrm{Cu}) e \mathcal{N}_\mathrm{A} S}$, soit $\frac{\mathrm{d}l}{\mathrm{d}t} = 0{,}3\,\mathrm{mm \cdot s^{-1}}$.

3. (a) La densité volumique de charge ρ vaut ici $\rho = \frac{e m_v(\mathrm{Cu})\mathcal{N}_\mathrm{A}}{M(\mathrm{Cu})}$. On a donc $\mathrm{d}l = v_e \mathrm{d}t$. En considérant le schéma ci-contre, on peut interpréter v_e de la manière suivante. C'est la vitesse qu'auraient les électrons de conduction dans un modèle où ils se déplaceraient tous à la même vitesse, dans le même sens. En effet, dans ce modèle tous les électrons qui se trouvent à une distance inférieure à $v_e \mathrm{d}t$ de la surface S à un instant t auront traversé S à l'instant $t + \mathrm{d}t$.



   (b) La vitesse v_e vaut donc $v_e = 0{,}3\,\mathrm{mm \cdot s^{-1}}$. Elle est très faible devant la vitesse d'agitation thermique des électrons de conduction. Ce modèle ne décrit donc absolument pas la réalité du mouvement de chaque électron mais il relie la vitesse du déplacement global de charges dans le conducteur à l'intensité du courant.

Correction de l'exercice 3

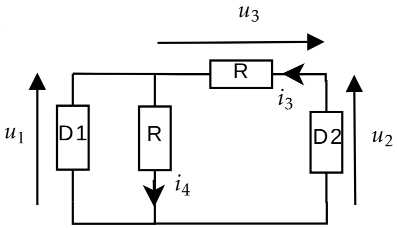
1.
   - Les points G et F désignent le même nœud. Tous les autres points désignent des nœuds différents.
   - Les branches sont : HAB, HG, BG $BCDE$, GE (par R_7), FE (par R_8) et HF.
   - Ces mailles sont $ABGHA$, $ABGFHA$, $ABCDEGHA$, $ABCDEGFHA$ $ABCDEFHA$, $ABCDEFGHA$.
2. Les associations série sont $R_1 - R_2$, $R_4 - R_5$.
3. La seule association parallèle est $R_7 // R_8$.
4. Non.

Correction de l'exercice 4

1. maille $BADC$: $u_1 = 4$ V, DA : $u_3 = 3$ V, BC : $u_2 = -3$ V.
2. nœud A : $i_1 = -2$ A, B : $i_3 = 0$ A, C : $i_2 = 1$ A.

Correction de l'exercice 5

Le dipôle 4 est soumis à la tension u_1, il est donc parcouru par le courant $i_4 = u_1/R$ en convention récepteur. Le dipôle D_3 est soumis à la tension $u_3 = u_2 - u_1$, il est parcouru par le courant $i_3 = (u_2 - u_1)/R$. Les dipôles 3 et 4 étant des résistors, leur comportement est toujours récepteur (la puissance qu'ils reçoivent est $u^2/R = Ri^2$ toujours positive). Le courant i_1 (en convention récepteur) parcourant le dipôle D_1 est $i_1 = i_3 - i_4$ il reçoit donc la puissance $P_1 = u_1(u_2 - 2u_1)/R$. Le dipôle 2 reçoit la puissance $P_2 = -u_2 i_3 = u_2(u_1 - u_2)/R$.



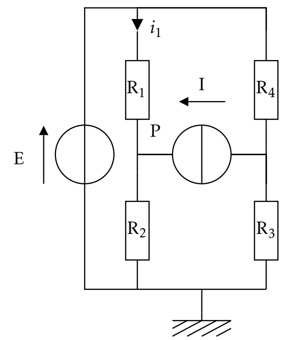
- Le dipôle 1 se comporte donc en récepteur pour $u_2 \geqslant 2u_1$ et en générateur sinon.
- Le dipôle 2 se comporte quant à lui en récepteur pour $0 \leqslant u_2 \leqslant u_1$ et en générateur sinon.

Correction de l'exercice 6

1. Une antenne de télévision (le râteau ou antenne *Yagi-Uda*) a des dimensions typiques de l'ordre du mètre. La longeur d'onde des émissions étant du même ordre, $\lambda = c/f \simeq 0{,}6\,\mathrm{m}$, une antenne ne fonctionne pas dans le régime de l'ARQS.
2. Les circuits électroniques doivent fonctionner dans l'ARQS. Leur dimension caractéristique doit être négligeable devant cette même longueur d'onde.

Correction de l'exercice 7

1.
   - Il n'y a aucune association série ou parallèle de résistances.
   - Le résistor R_2 est parcouru par un courant d'intensité $i_1 + I$ (loi des nœuds). La loi des mailles s'écrit donc : $E = R_1 i_1 + R_2(I + i_1)$, soit $i_1 = \frac{E - R_2 I}{R_1 + R_2}$.
   - On «éteint» le générateur de courant : R_1 est parcourue par $i_E = E/(R_1 + R_2)$. On «éteint» le générateur de tension : $u_1 + u_2 = 0$ et la loi des nœuds assure alors $i_I = \frac{-R_2 I}{R_1 + R_2}$. On peut également déterminer i_1 à l'aide d'un pont diviseur de courant : $i_1 = -R_2 I/(R_1 + R_2)$. Finalement : $i = i_E + i_I = \frac{E - R_2 I}{R_1 + R_2}$.



2. Tous les éléments du circuit sont en parallèle : on utilise donc l'équivalence Thévenin-Norton pour aboutir à trois générateurs de courant E_1/R_1, E_2/R_2 et I_0, en parallèle avec R_1, R_2, R_3 et R_4. On reconnaît un diviseur de courant : soit $I_4 = \frac{G_4(I_0 + E_1/R_1 + E_2/R_2)}{G_1 + G_2 + G_3 + G_4} = \frac{R_1 R_2 R_3 (I_0 + E_1/R_1 + E_2/R_2)}{R_1 R_2 R_3 + R_1 R_2 R_4 + R_1 R_3 R_4 + R_2 R_3 R_4}$.

Correction de l'exercice 8

1.
   - L'association série de plusieurs résistances a toujours une résistance supérieure à chacune des résistances car $R_1 + R_2 > R_1$ et $> R_2$.

     De même, l'association parallèle de plusieurs résistances a toujours une résistance inférieure à chacune des résistances car $\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} > \frac{1}{R_1}$ et $> \frac{1}{R_2}$.

     On en déduit que dans le premier schéma la résistance est supérieure à R puisque la résistance partant de B est en série avec d'autres résistances.

     Dans les deux autres schémas en revanche, on a une résistance entre A et B en parallèle avec d'autres : la résistance totale est donc inférieure à R.
   - Dans la première configuration, on regroupe l'association des $2R$ en parallèle avec R pour obtenir $2R/3$. Cette résistance est en série avec R ce qui donne $5R/3$. Celle-ci est en parallèle avec R, ce qui donne $5R/8$. Cette dernière est enfin en série avec R, ce qui donne $13R/8$.

     Dans la deuxième configuration, on a R en parallèle avec $3R$, soit $R_{eq} = 3R/4$. Dans la dernière configuration, on commence par regrouper les quatre dernière résistances pour obtenir une résistance équivalente R_{eq} qui vaut, comme dans la deuxième configuration $R_{\text{eq}} = 3R/4$. On a alors $R//(2R+3R/4)$, soit $R//(11R/4)$ et donc finalement : $R'_{eq} = 11R/15$.
2. Par symétrie, chacune des trois arêtes issues du point 1 est parcourue par le même courant. La loi des nœuds assure que ce courant vaut alors $I/3$. De la même manière, les trois arêtes aboutissant en 2 sont parcourues par $I/3$. L'application de la loi des nœuds en l'un quelconque des sommets du cube assure alors que les six arêtes restantes sont parcourues par un courant $I/6$.

   L'application de la loi des mailles entre deux nœuds diamétralement opposés donne alors, en utilisant un chemin quelconque à trois arêtes :
   $$U = RI/3 + RI/6 + RI/3 = 5RI/6 \rightarrow R_{\text{eq}} = 5R/6.$$

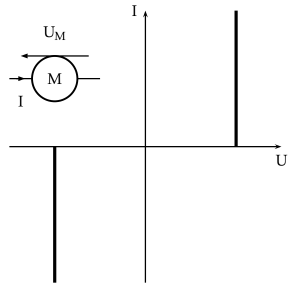
Correction de l'exercice 9

1. Considérons le cas particulier où $I_3 = 0$: on a alors $I_1 = -I_2$. La résistance équivalente du système triangle vaut $R_{eq} = \frac{R_3(R_1+R_2)}{R_1+R_2+R_3}$ et donc $U_{A_1A_2} = R_{eq}I_1 = (r_1 + r_2)I_1$, soit finalement : $r_1 + r_2 = \frac{R_3(R_1+R_2)}{R_1+R_2+R_3}$. On obtient de manière similaire $r_1 + r_3 = \frac{R_2(R_1+R_3)}{R_1+R_2+R_3}$ et $r_2 + r_3 = \frac{R_1(R_2+R_3)}{R_1+R_2+R_3}$.

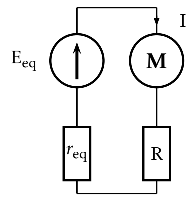
   En écrivant par exemple $r_1 - r_3 = r_1 + r_2 - (r_3 + r_2)$ et $2r_1 = (r_1 - r_3) + (r_1 + r_3)$, on obtient $\begin{cases} r_1 &= R_2R_3/(R_1 + R_2 + R_3) \\ r_2 &= R_1R_3/(R_1 + R_2 + R_3) \\ r_3 &= R_1R_2/(R_1 + R_2 + R_3) \end{cases}$. On obtient les mêmes expressions dans les cas $I_2 = 0$ ou $I_1 = 0$.

   Le cas général (I_1, I_2, I_3) s'obtient par superposition : on peut en effet le décrire comme la la superposition de $(I_1, 0, -I_1)$ et $(0, I_2, -I_2)$ car la loi des nœuds impose $I_1 + I_2 + I_3 = 0$. Les expressions précédentes étant les mêmes pour le cas $(I_1, 0, -I_1)$ et $(0, I_2, -I_2)$, elles restent valables dans le cas général. Plus précisément le premier cas donne par exemple : $U_{A_1A_2} = r_1I_1$, $U_{A_1A_3} = (r_1 + r_3)I_1$, $U_{A_2A_3} = r_3I_1$ avec les expressions précédentes pour r_1, r_2 et r_3. Le deuxième cas donne quant à lui : $U_{A_1A_2} = -r_2I_2$, $U_{A_1A_3} = r_3I_2$ et $U_{A_2A_3} = (r_2 + r_3)I_2$. Par superposition, on obtient : $U_{A_1A_2} = r_1I_1 - r_2I_2$, $U_{A_2A_3} = r_3(I_1 + I_2) + r_2I_2 = r_2I_2 - r_3I_3$ et $U_{A_1A_3} = r_1I_1 + r_3(I_1 + I_2) = r_1I_1 - r_3I_3$. On a bien établi les relations d'équivalence pour tout I_1, I_2, I_3.
2. On effectue la transformation triangle-étoile dans chacun des triangles. Chacune des résistances des étoiles vaut alors 1/3 de celles des triangles soit $1\,\Omega$ et $2\,\Omega$. Après calculs (association série de résistances, transformation en Norton et diviseur de courant), on trouve que l'intensité du courant vaut 968 mA.

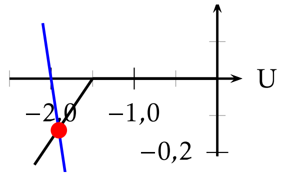
Correction de l'exercice 10



1. On doit avoir $|U| = E$, avec $UI \geqslant 0$ en convention récepteur, la caractéristique en convention récepteur est donc celle représentée ci-contre.
2. Il est utile, avant toute chose, de remplacer les générateurs de Thévenin par leurs équivalents de Norton, de courants électromoteurs E_1/r_1 et E_2/r_2 et de résistances internes r_1 et r_2.

   L'association parallèle de ces générateurs est équivalente à un seul générateur de Norton de courant électromoteur $\eta\text{eq} = (E_1/r_1) - E_2/r_2$ et de résistance interne $r\text{eq} = r_1r_2/(r_1 + r_2)$, qu'on transforme à nouveau en générateur de Thévenin de force électromotrice $E\text{eq} = r\text{eq}\eta\text{eq} = (r_2E_1 - r_1E_2)/(r_1 + r_2)$. Le circuit est alors, pour le dipôle M, équivalent au circuit ci-contre, avec $E\text{eq} = -2{,}0\,\text{V}$ et $r\text{eq} = 0{,}67\,\Omega$.

   (a) La caractéristique, en convention générateur, du générateur équivalent est une droite de pente $-1/r\text{eq}$ et croisant l'axe des $I = 0$ en $U = E\text{eq}$. Celle, en convention récepteur, de l'association série M R s'obtient en rajoutant une pente $1/R$ à la caractéristique du moteur.
   L'intersection est en : $I = -0{,}14\,\text{A}; U = -1{,}91\,\text{V}$.

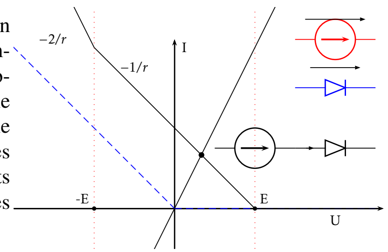
   (b) On doit faire une hypothèse sur le signe de I pour connaître la tension aux bornes du moteur.

   Si $I > 0$, on a $U_M = e$ et $I = (E\text{eq} - e)/(r\text{eq} + R) \simeq -0{,}95\,\text{A}$. Le courant ne circule donc pas dans le sens supposé, l'hypothèse de départ était fausse.

   Si $I < 0$, on a $U_M = -e$ et on obtient maintenant comme précédemment $I = (E\text{eq} + e)/(r\text{eq} + R) = -0{,}14\,\text{A}$, maintenant en accord avec l'hypothèse initiale.

Correction de l'exercice 11

On suppose $E \geqslant 0$. Le cas $E \leqslant 0$ est équivalent en permutant les deux diodes.



1. La caractéristique d'une diode, avec la polarisation indiquée et en convention générateur est représentée ci-contre en traits interrompus, tout comme celle des générateurs, en traits pointillés. On obtient la caractéristique de l'association série d'un générateur et d'une diode en sommant horizontalement (somme des tensions pour une même intensité) et celle de l'association parallèle des deux dipôles (diode-générateur) en sommant verticalement (somme des courants pour une même tension). Elle se compose de trois portions de pentes $-2/r$ pour $U_R \leqslant -E$, $-1/r$ pour $-E \leqslant U_R \leqslant E$ et 0 pour $U_R > E$.

Le point de fonctionnement est l'intersection de cette caractéristique et de celle du résistor en convention récepteur, *ie* la droite de pente $1/R$ passant par l'origine. Il se trouve bien dans le domaine où D_2 est passante et D_1 bloquante et on détermine ses coordonnées selon :

$$U_R/R = I = (E - U_R)/r \quad U_R = \frac{RE}{R+r} \to I = \frac{E}{R+r}.$$

2. La loi des mailles assure que $U_1 = -RI - E = -(2R+r)E/(R+r)$.

3. **Supposons** D_1 **passante**. Elle est donc équivalente à un résistor r et ont doit vérifier que $U_1 \geqslant 0$. **Supposons alors** D_2 **bloquante** : aucun courant ne traverse D_2 et on doit vérifier $U_2 \leqslant 0$. Tout le courant circule dans R et r, on a donc $I = -E/(R+r)$ et $U_2 = -RI + E \geqslant 0$, en contradiction avec D_2 bloquante. **Supposons finalement** D_2 **passante**. Elle est équivalente à un résistor r et on doit vérifier $U_2 \geqslant 0$. Les lois des mailles donnent, en nommant i_1 le courant dans D_1 en convention récepteur : $E = ri_1 - RI$ et $E = r(I + i_1) + RI$, soit $I = 0$ et : $i_1 = E/r$. On a alors $U_1 = rI \geqslant 0$ mais $U_2 \leqslant 0$, en contradiction avec la première hypothèse.

   Supposons donc D_1 **bloquante et** D_2 **passante**. Tout le courant I parcourant R circule également dans r, équivalent de D_2, on en déduit $I = E/(R+r) \geqslant 0$. On vérifie alors $U_2 = rI \geqslant 0$ et $U_1 = -RI - E \leqslant 0$.

   Il reste pour être complet[i] à examiner le cas D_1 et D_2 bloquantes, où aucun courant ne circule. On a alors $U_2 = E > 0$, en contradiction.

Correction de l'exercice 12

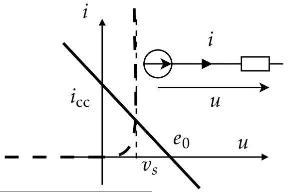
1. (a) On peut modéliser cette caractéristique par :

diode bloquante	$i = 0$	$u < v_s$
diode passante	$u = v_s$	$i > 0$

. Elle ne laisse passer le courant que dans le sens indiqué par la flèche de son symbole.

   (b) La caractéristique statique, en convention générateur, de l'association générateur idéal/ résistor est donnée sur la figure ci-contre, de force électromotrice e_0 et d'intensité de court-circuit $i_{cc} = e_0/R$, d'équation $i = i_{cc} - u/R$.
   Le point de fonctionnement statique est l'intersection

   - de la caractéristique de la diode en convention récepteur,
   - de celle du générateur linéaire de Thévenin en convention générateur.

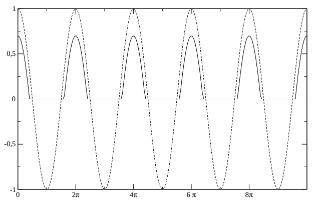


   On aura donc :

diode passante	$u = v_s$	$i = \frac{e_0 - v_s}{R}$	tant que $i > 0 \leftrightarrow e_0 > v_s$
diode bloquante	$i = 0$	$u = e_0$	tant que $u < v_s \leftrightarrow e_0 < v_s$

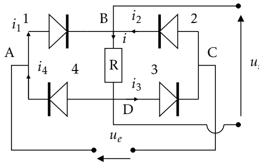
.

   (c) On a $u_R = Ri = e_0 \cos\omega t - v_s$ sur la partie de la période où $e_0 \cos\omega_t > v_s$ et $u_R = 0$ le reste du temps. On obtient donc la courbe ci-contre sur laquelle figurent $e(t)/e_0$ en traits interrompus et u_R/e_0 en traits continus, en fonction de ωt, pour $v_s = 0{,}3 \times e_0$.



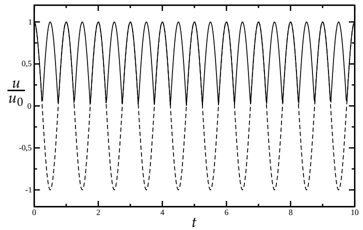
2. Les diodes 1 et 2 imposent que les intensités i_1 et i_2 soient positives ou nulles donc $i = i_1 + i_2 \geqslant 0$, et donc $u_{BD} = R_i \geqslant 0$. On peut par ailleurs fixer la masse signal en v_C : $v_C = 0$.

   (a) On **suppose** dans un premier temps 1 et 3 passantes, **alors** $v_A = v_B$ et $v_D = v_C = 0$. La tension $u_{AD} = u_{BD}$ est alors positive et $D4$ est donc bloquante, soit $i_4 = 0$. De même $u_{BC} = u_{BD} \geqslant 0$, $D2$ est donc bloquante, soit $i_2 = 0$ et donc $i_1 = i = i_3$.
   Par ailleurs $u_{BD} = u_s = u_e$, **tant que** $i_1 = i_3 = i \geqslant 0$, soit, puisque $i = u_{BD}/R$, tant que $u_e/R \geqslant 0$.



   (b) **Si** maintenant 2 et 4 sont passantes, un raisonnement similaire assure qu'**alors** $D1$ et $D3$ sont bloquantes, que $i \leqslant 0$ et $u_s = -u_e$, **tant que** $u_e = -i/R \leqslant 0$.

   (c) Pour une tension sinusoïdale centrée sur 0, la réponse u_s du signal est celle représentée sur la figure ci-contre. On a réalisé un redressement double alternance : non seulement on obtient une tension u_s toujours positive mais les alternances où $u_e \leqslant 0$ ne sont plus maintenant perdues.



Redressement double alternance : signal d'entrée u_e en traits interrompus courts et de sortie u_s en trait continu.

[i] Il n'est bien entendu pas nécessaire de traiter tous ces cas. Pour la quasi-totalité des dipôles, il n'existera qu'un seul point de fonctionnement et il *suffit* de faire la bonne hypothèse dès le départ. Ici le deuxième générateur a tendance à faire circuler un courant dans le sens passant de D_2 alors que le premier aurait tendance à le faire circuler dans le sens bloquant de D_1. L'hypothèse légitime est donc D_1 bloquante et D_2 passante.