

Chapitre 3 - Les résistances et les condensateurs

Généralités sur les composants électroniques

La figure 3.1 montre un composant électronique ; ne cherchez pas son symbole, il est inventé de toute pièce pour rappeler que ce composant peut être n'importe quoi.

Ice est le courant qui parcourt le composant électronique. Pour que ceci soit possible, une différence de potentiel existe entre les bornes du composant ; nous appellerons cette tension Uce (tension aux bornes du composant électronique). Pour un montage qui comporterait plusieurs composants électroniques, nous pouvons rajouter un indice n et par exemple, Uce3 serait la tension aux bornes du composant électronique N°3 (etc.).

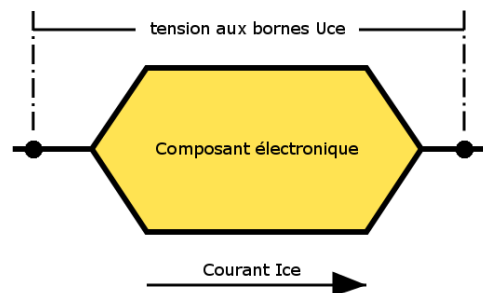


Figure 3. 1

Voici maintenant deux petites lois très simples.

Loi des nœuds

La somme des courants qui arrivent à un nœud est égale à la somme des courants qui en partent (ou si vous préférez, on ne perd pas d'électrons). La figure 3.2 résume cette loi.

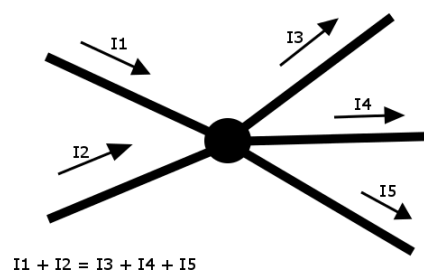


Figure 3. 2

Loi des mailles

Si l'on suit le circuit fermé d'une maille d'un bout à l'autre et si l'on additionne toutes les tensions rencontrées, la somme de toutes ces tensions est nulle. *Attention, les tensions sont algébriques (même pour du courant continu) sinon on additionnerait que des valeurs positives, ce qui ne peut donner 0 (sauf si tout est nul !). Il faut donc considérer comme positive une tension orientée dans le sens du cheminement du courant et négative si elle est orientée en sens inverse.*

Montage en série

Les composants sont à la suite les uns des autres. La figure 3.3 montre un montage en série de 3 composants (mais on aurait pu en mettre plus). Le courant qui traverse les composants est le même $I_{ce} = I_{ce1} = I_{ce2} = I_{ce3}$. Si on alimente l'ensemble avec une tension U_{ce} , celle-ci est égale à la somme des tensions aux broches de chaque composant $U_{ce} = U_{ce1} + U_{ce2} + U_{ce3}$.

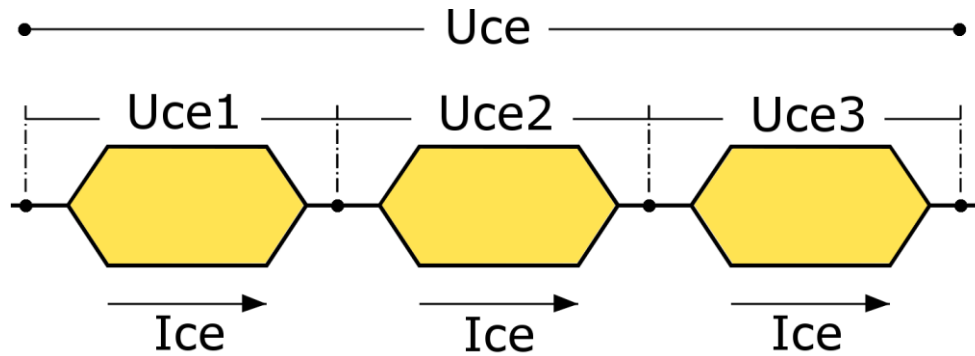


Figure 3. 3

Montage en parallèle

La figure 3.4 montre un montage en parallèle ; cette fois, la tension est la même aux broches de chaque composant mais les courants qui traversent chaque composant sont différents. Pourtant si l'ensemble consomme un courant I_{ce} , nous avons $I_{ce} = I_{ce1} + I_{ce2} + I_{ce3}$ (loi des nœuds).

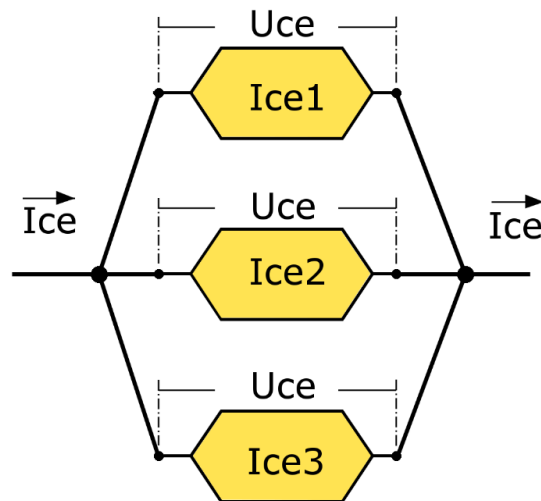


Figure 3. 4

Nous sommes maintenant armés pour commencer la description des composants et ... pour composer avec !

À retenir sur les composants électroniques :

- La loi des nœuds.
- Montage des composants en série.
- Montage des composants en parallèle.

La résistance

La résistance est sans doute le composant le plus simple et le meilleur marché qu'on puisse trouver. La première question qui se pose est : à quoi sert une résistance ? **À limiter l'intensité d'un courant électrique !** On utilise donc une résistance chaque fois qu'on doit limiter l'intensité d'un courant électrique dans un composant ; en effet, certains composants ne doivent pas être traversés par des courants trop forts sinon ils sont détruits (par exemple une diode électroluminescente, comme nous le verrons par la suite). Pour éviter cela, on limite le courant par une résistance.

Les résistances sont des composants non polarisés : on peut donc les monter dans un sens ou dans l'autre.

La loi d'Ohm

Cette loi exprime la relation entre la tension U aux bornes d'une résistance R et le courant I qui la traverse :

$$U = R \times I \quad \text{ou encore} \quad I = U / R \quad \text{ou encore} \quad R = U / I.$$

U est en volt, R est en Ohm et I en ampères. Le symbole de l'Ohm est Ω .

Retenez bien cette loi car les calculs servant à déterminer les caractéristiques des composants pour effectuer un montage font appel à cette loi. Ne pas la connaître serait impardonnable !

Voyons un exemple : on réunit les deux pôles d'une pile de 9 V par une résistance de 1000 Ohm (soit un kilo-ohm ou encore 1 k Ω), quelle est l'intensité du courant qui parcourt la résistance ? La tension U aux bornes de la résistance est la tension de la pile puisqu'il n'y a pas d'autres composants. La loi d'Ohm nous permet d'écrire :

$$I = U / R$$

$$\text{Donc } I = 9 / 1000 = 0,009 \text{ A} = 9 \text{ mA}$$

Facile non ? La loi d'Ohm nous permet d'écrire aussi $R = U / I$, ce qui nous permet de calculer la valeur du composant en fonction de la tension et de l'intensité de courant à obtenir.

Est-ce suffisant pour choisir notre résistance ? Et bien non ! En effet, **la résistance doit supporter la puissance qu'elle dissipe**. Cette puissance P (en Watt) est donnée par :

$$P = U \times I$$

Dans notre exemple précédent, la résistance va dissiper une puissance égale à :

$$P = 9 \times 0,009 = 0,081 \text{ W soit } 81 \text{ mW. Ce n'est pas beaucoup et si on choisit une résistance « quart de Watt » (qui peut dissiper jusqu'à un quart de Watt), il n'y aura aucun problème.}$$

Par contre, toujours sous 9 V, si notre résistance doit laisser passer 100 mA, la puissance dissipée sera $9 \times 0,1 = 0,9 \text{ W}$ et on voit qu'une résistance « quart de Watt » ne résistera pas !

Il faut donc toujours calculer la puissance à dissiper pour choisir la bonne résistance, en plus d'avoir calculé sa valeur !

La figure 3.5 donne le symbole d'une résistance (européen et américain).

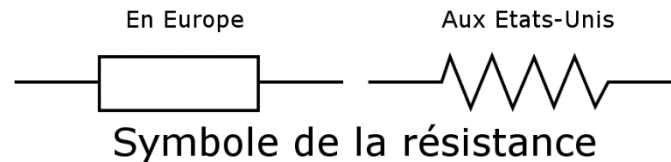


Figure 3. 5

Il existe plusieurs modèles de résistances, au carbone, à fil résistif enroulé, etc. Il existe aussi des résistances ajustables et des **potentiomètres** : un curseur balaie toute la longueur de la résistance et en fonction du point où il se trouve, la résistance varie entre l'entrée A et le point milieu C (ou entre C et B) comme le montre la figure 3.6.

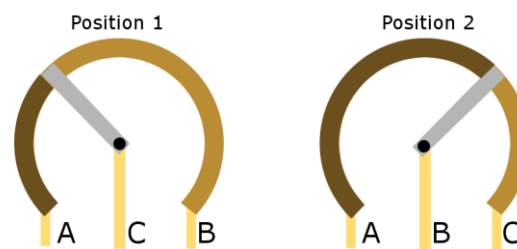


Figure 3. 6

La valeur en Ohm de la résistance est inscrite avec des anneaux colorés, chaque anneau représentant un chiffre grâce à un code de couleurs (voir sur internet). En général, il y a quatre anneaux et le dernier est argenté ou doré. Cet anneau donne la précision de fabrication (argent 10%, or 5%). Le premier anneau est donc celui situé à l'opposé de l'anneau de précision et il donne le premier chiffre, le deuxième anneau donne le deuxième chiffre et le troisième anneau donne **le nombre de zéros à rajouter**, en se basant sur le code de couleurs. Par exemple, une résistance jaune, violet, orange, argent a une précision de 10 % (en plus ou en moins) et sa valeur est 4 (jaune) 7 (violet) 000 (orange = 3 zéros à rajouter) = 47000 Ohm soit 47 kΩ.

Parfois, la résistance dispose de 5 ou 6 anneaux. Cela complique un peu mais voici un site sur internet qui réfléchit à notre place (pour 4, 5 ou 6 anneaux) :

<http://www.digikey.fr/fr/resources/conversion-calculators/conversion-calculator-resistor-color-code-5-band>

Montage en série

La résistance équivalente est la **somme de chaque résistance** :

$$R = R1 + R2 + R3 + \dots + Rn$$

Montage en parallèle

L'**inverse** de la résistance équivalente est égal à la **somme des inverses des résistances** :

$$1/R = 1/R1 + 1/R2 + 1/R3 + \dots + 1/Rn$$

De là on déduit R.

Se rappeler que si on met en parallèle deux résistances identiques de valeur R, la résistance équivalente est égale à la moitié de R.

À retenir sur la résistance :

- À quoi sert une résistance.
- La loi d'Ohm.
- La puissance dissipée par une résistance.
- Le code de couleurs.

Le condensateur

Le condensateur est un composant électronique constitué de deux plaques métalliques se faisant face, séparées par un isolant qu'on appelle aussi **diélectrique**. Souvent, les plaques métalliques sont enroulées pour tenir moins de place, ce qui explique la forme cylindrique de certains condensateurs.

La figure 3.7 montre le symbole du condensateur.



Figure 3. 7

À quoi sert un condensateur ? Dans le cadre de notre hobby, **un condensateur sert de réserve de courant électrique**, mais nous verrons qu'il sert aussi à d'autres choses.

Charge du condensateur

Réalisons le montage de la figure 3.8 (extraite du livre « L'électronique pour les nuls »). Lorsque la pile est reliée au circuit, des électrons partent de la borne - de la pile et vont s'accumuler sur la plaque du condensateur reliée à cette borne. Dans le même temps, des électrons quittent la plaque du condensateur opposée pour rejoindre la borne + de la pile. Les atomes constituant cette plaque perdent donc des électrons et deviennent chargés positivement. Une des plaques du condensateur est donc chargée négativement et l'autre plaque chargée positivement ; entre les deux plaques, un champ électrique s'établit mais pour l'instant, aucune charge ne passe d'une plaque à l'autre car le diélectrique est un isolant.

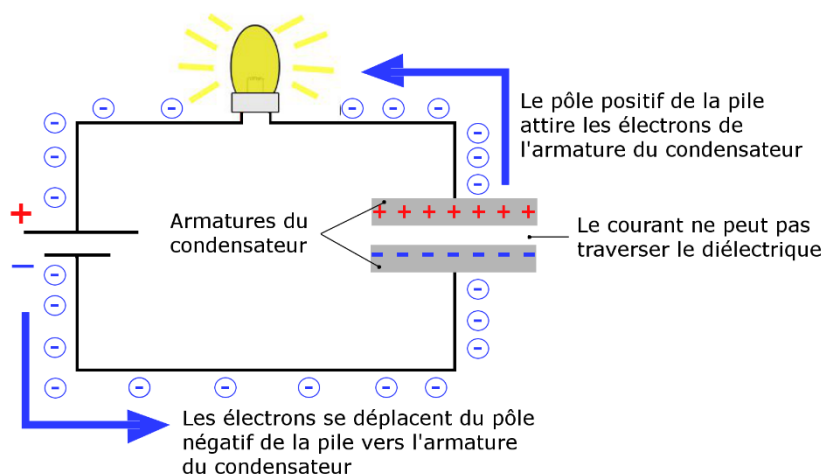


Figure 3. 8

Au bout d'un moment, ce phénomène de transfert de charges s'arrête **car le condensateur est chargé**.
Si on fait une analogie avec l'eau, quand un réservoir est plein, il est plein !

Pendant le temps où le condensateur se charge, un courant I circule dans le circuit, mais ce courant finit par disparaître. Dans le même temps, la tension aux bornes du condensateur augmente jusqu'à atteindre la tension de la pile.

Une fois chargé, notre condensateur **dispose de charges électriques** qui peuvent être utilisées pour créer un courant, comme nous le verrons. *Par analogie avec l'eau, le condensateur peut être vu comme une chasse d'eau : tant qu'elle se remplit, un courant d'eau circule, quand elle est pleine, le courant d'eau s'arrête. L'eau contenue dans la cuve peut alors être utilisée.*

Le condensateur est caractérisé par sa **capacité** à emmagasiner l'électricité : on la note C . *Par analogie, le volume du réservoir d'eau.* C est exprimé en Farad (du nom du physicien Faraday), mais cette unité est trop grande et on utilise des sous-multiples :

| Unité | Sous-multiple du farad | Notation |
|-------------|------------------------|---|
| Micro-Farad | 10^{-6} | μF (ou parfois uF) |
| Nano-Farad | 10^{-9} | nF |
| Pico-Farad | 10^{-12} | pF |

En jargon électronique, on parle parfois de capa (ou capacité) pour désigner un condensateur.

Généralement, les condensateurs sont des composants non polarisés : on peut donc les monter dans un sens ou dans l'autre. Néanmoins, **pour les fortes capacités** (quelques dizaines de micro-Farad et plus), on fait appel à des **condensateurs électrochimiques qui sont polarisés** ; il est **extrêmement important de les monter en respectant cette polarité** (la broche - est repérée) sinon il y a risque de destruction, voire d'explosion, du composant. La figure 3.9 montre le symbole d'un condensateur polarisé.



Figure 3. 9

Décharge du condensateur

Réalisons le montage de la figure 3.10 avec un interrupteur à deux positions temporaires (ou un simple morceau de fil électrique). Dans la position A, le circuit permet la charge du condensateur. Dans la position B, ce condensateur peut se décharger à travers une résistance et une diode électroluminescente (LED, voir le chapitre 4) et allumer la LED. On utilise sa réserve de courant pour allumer la LED jusqu'à ce que le condensateur soit à nouveau déchargé.

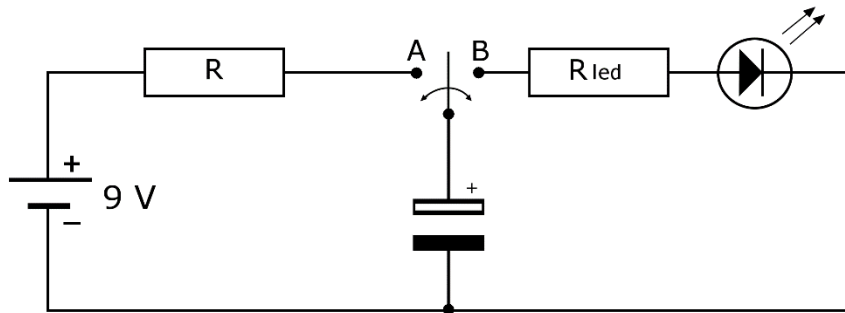


Figure 3. 10

Attention :

- 1- On ne décharge jamais un condensateur en faisant court-circuit entre ces deux bornes ; on utilise toujours une résistance adaptée.
- 2- Certains condensateurs de très grosse capacité peuvent, une fois chargés, contenir une quantité de courant **qui peut se révéler dangereuse** si on touche les bornes du composant, même avec l'alimentation coupée (cas par exemple d'alimentation à plus ou moins haute tension).

Les condensateurs utilisés en modélisme ferroviaire sont sans danger.

Charge et décharge

Le temps que met un réservoir d'eau à se remplir dépend :

- de son volume
- de l'intensité du courant d'eau qu'il alimente.

Pour un condensateur, le temps qu'il met à se charger complètement dépend :

- de sa capacité C
- de l'intensité I du courant de charge

Or cette intensité dépend de la résistance qui calibre le courant (figure 3.10). Plus R est grand, plus I est petit, et plus le condensateur sera long à se charger complètement. Le temps de charge dépend de C et dépend de R. Le produit $R \times C$ est appelé **constante de temps** ; au bout d'une constante de temps (soit $R \times C$ en secondes), le condensateur est chargé à 63% de la tension appliquée pour sa charge, au bout d'un temps égal à $5 \times R \times C$ (en secondes), le condensateur est chargé à 99%. Le temps de charge complète d'un condensateur est donc considéré égal à $5 \times R \times C$.

De la même façon, la décharge du condensateur dépend de la façon d'utiliser sa réserve de courant. Si on augmente la résistance Rled associée à la LED, on diminue le courant qui alimente la LED et la réserve de courant dure plus longtemps.

La figure 3.11 (extraite du livre « L'électronique pour les nuls ») montre le cycle de charge et décharge du condensateur :

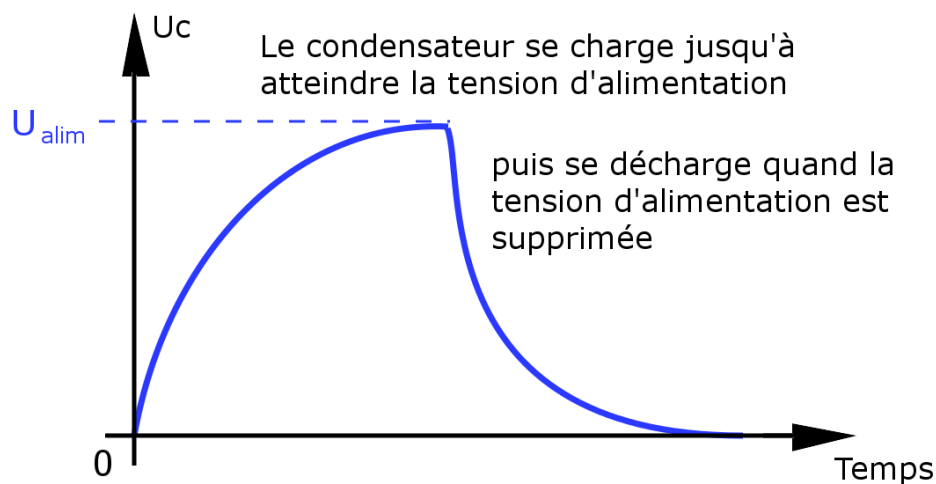


Figure 3. 11

Le condensateur est-il assimilable à une pile rechargeable ? Non, pas tout à fait quand même :

- Il se charge très rapidement, contrairement à une pile.
- Une pile fait intervenir des réactions chimiques pour produire du courant. Le condensateur n'est qu'une réserve de courant, bien petite réserve par rapport à une pile.

Choix du condensateur

Deux paramètres sont importants pour choisir un condensateur :

- Sa capacité C (plus C est important, plus la réserve de courant est importante).
- Sa tension de service qui est la tension maximum d'utilisation car au-delà, des charges arrivent à passer d'une plaque à l'autre à travers le diélectrique isolant, en détruisant irrémédiablement ce dernier (on parle de **claquage du condensateur**).

Doit-on pour autant choisir systématiquement des condensateurs de fortes capacités, selon le principe qui peut le plus peut le moins ? Bien sûr que non ! Les capacités doivent être choisies selon les courants qui les chargent (auriez-vous l'idée de remplir une baignoire avec un goutte-à-goutte?)

Le marquage des capacités des condensateurs sur le composant constitue une jungle : parfois c'est écrit dessus (cas des condensateurs électrochimiques, car il y a la place), parfois c'est écrit dessus mais avec un certain codage pas très compliqué (on parle alors en pF) : par exemple le nombre 221 pour 220 pF, le **dernier chiffre étant le nombre de zéros à rajouter au deux premiers pour avoir la capacité en pF** (autre exemple 223 pour 22000 pF soit 22 nF soit 0,022 μ F). Parfois on fait appel à un code de couleurs comme pour les résistances, la première bande étant à l'opposé des bornes du condensateur. Mais il y a toujours un moyen de s'en tirer (Google est votre ami).

Condensateurs en série

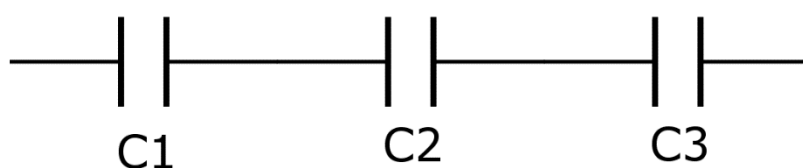


Figure 3. 12

Dans un montage en série (figure 3.12), le condensateur équivalent a pour capacité C , telle que :

$$1/C = 1/C1 + 1/C2 + 1/C3$$

De là, on déduit C . La formule reste valable quel que soit le nombre de condensateurs.

Si on met deux condensateurs identiques en série de valeur C , le condensateur équivalent est égal à la moitié de C .

Condensateurs en parallèle

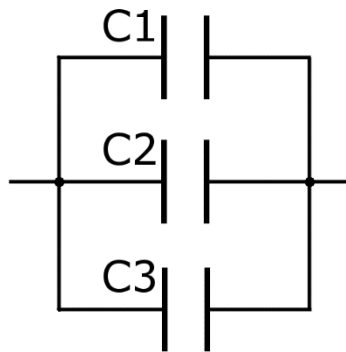


Figure 3. 13

Dans un montage en parallèle (figure 3.13), le condensateur équivalent a pour capacité C , telle que :

$$C = C1 + C2 + C3.$$

La formule reste valable quel que soit le nombre de condensateurs.

Condensateur en régime continu et en régime alternatif

Réalisons le montage de la figure 3.14 : attention à **ne pas** remplacer l'ampoule par une LED (ou bien vous n'observerez rien), et à **ne pas** utiliser un condensateur électrochimique.

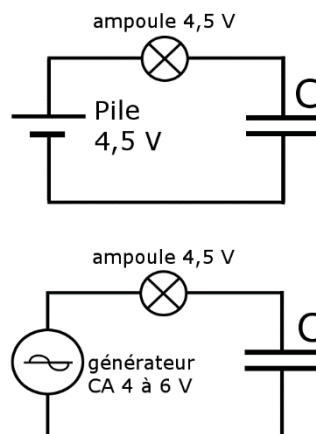


Figure 3. 14

En haut, le montage est alimenté en courant continu par une pile de 4,5 V. Lors de la charge, un courant I circule et l'ampoule s'allume pendant quelques instants. Lorsque le condensateur est chargé, le courant ne circule plus, l'ampoule est éteinte.

En bas, le montage est alimenté par un petit bloc d'alimentation délivrant du courant alternatif de 6 V (bloc récupéré sur un appareil électronique). On constate que l'ampoule reste allumée, preuve que le courant alternatif circule malgré la présence du condensateur.

Un condensateur a la **propriété de laisser passer le courant alternatif et de bloquer le courant continu**. Cette propriété est utilisée pour séparer, dans un courant quelconque, sa composante continue de sa composante alternative.

Autres propriétés des condensateurs

Les condensateurs, associés à d'autres composants comme les bobinages (selfs) ou les résistances forment également des filtres électroniques pour sélectionner des signaux de certaines fréquences et éliminer les autres signaux. Dans le cadre de notre hobby, nous ne développerons pas cette partie du cours, mais cette propriété était utilisée dans les anciens postes de radio pour sélectionner la fréquence de l'émetteur qu'on voulait écouter. En effet, de même qu'il existe des résistances variables, il existe aussi des condensateurs variables mais ils sont assez peu utilisés en modélisme ferroviaire. (Le bouton de sélection de l'émetteur dans un poste de radio actionnait un condensateur variable).

Cellules RC

Beaucoup de montages électroniques exploitent la charge et la décharge d'un condensateur : celui-ci est associé à une résistance et l'ensemble des deux constitue une **cellule RC**. Ces cellules RC sont utilisées dans des montages électroniques pour générer un signal périodique dont la fréquence dépend des valeurs de R et de C. Nous y reviendrons lorsque nous étudierons les circuits d'horloge.

Applications des condensateurs au modélisme ferroviaire

Comme je vous l'ai dit, en modélisme ferroviaire, on utilise surtout les condensateurs comme réserve de courant. Cette réserve de courant peut être utilisée pour pallier les micros coupures dues à une mauvaise captation du courant de voie par les roues. Ceci permet par exemple, en montant un condensateur en parallèle avec un système d'allumage de feux de fin de convois, d'avoir des LED qui restent allumées au lieu de flasher. La réserve de courant peut aussi être utilisée pour alimenter des moteurs (solénoïdes) d'aiguillages qui sont assez gourmands en électricité.

Dans nos montages électroniques pour modélisme ferroviaire, les condensateurs seront utilisés soit comme réserve de courant (alimentation par exemple) soit pour constituer des cellules RC venant en complément de certains circuits intégrés. Nous en reparlerons avec l'étude des circuits intégrés.

À retenir sur le condensateur :

- Un condensateur sert à avoir une réserve de courant.
- La quantité d'électricité que peut contenir un condensateur dépend de sa capacité C exprimée en Farad (ou plutôt en sous-multiples du Farad).
- Le condensateur n'est pas polarisé sauf les condensateurs électrochimiques.
- Le condensateur est caractérisé par son cycle de charge et de décharge du courant qu'il emmagasine et qu'il restitue.
- Pour choisir un condensateur, on considère sa capacité et sa tension de service.
- Les condensateurs en série.
- Les condensateurs en parallèle.

- Le condensateur s'oppose au passage du courant continu mais laisse passer le courant alternatif.
- En associant une résistance et un condensateur, on fabrique une cellule RC utile dans de nombreux montages.

Travaux pratiques sur le condensateur

Matériel nécessaire :

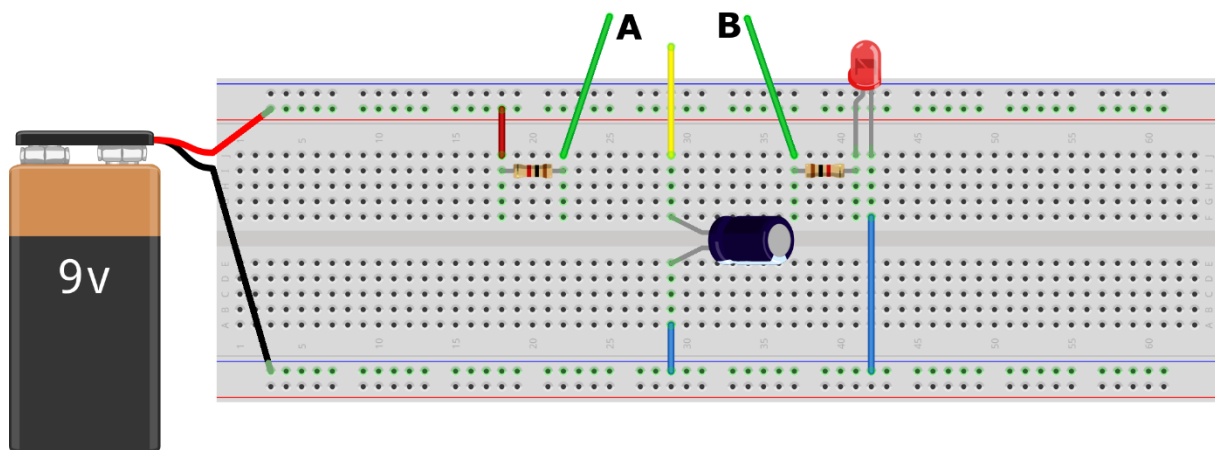
Résistances : une de 470 Ω , deux de 1000 Ω , une de 2000 Ω

Un condensateur de 1000 μF et un de 4700 μF

Une DEL (diode électroluminescente)

Montage :

Sur une plaque d'essai, monter le schéma de la figure 3.10. Vous devez obtenir quelque chose comme cela :



fritzing

La capacité du condensateur est de 1000 μF et les deux résistances sont de 1000 Ohm, mais ces valeurs n'ont pas une grande importance, prenez ce que vous avez.

Installez un voltmètre aux bornes du condensateur, sur le calibre « Tension continue de 20 V » (ou le premier calibre au-dessus de 9 V), grâce à deux grappe-fils ou deux pinces crocodiles.

En reliant le fil jaune avec le vert en A, on charge le condensateur, en le reliant au fil vert en B, on décharge le condensateur à travers la résistance et la LED.

Commencer par relier le fil jaune avec le vert en A et observez la tension aux bornes du condensateur. Attendez d'avoir une tension aussi proche que possible de 9 V ; combien de temps a-t-il fallu ?

Branchez maintenant le fil jaune au fil vert en B ; la LED va s'éclairer durant un moment et s'éteindre. En combien de temps ? Quelle tension y a-t-il aux bornes du condensateur quand elle s'éteint ? Pourquoi ?

Changer la résistance de charge pour une résistance égale à 470 Ohm. Recommencez l'opération et notez les résultats.

Changer la résistance de la LED pour une résistance de 2000 Ohm et recommencez les opérations. Que constatez-vous ?

Changez maintenant le condensateur pour un modèle de 4700 μF et refaites les mesures.

Que pouvez-vous conclure sur la charge et la décharge d'un condensateur ?

Chargez le condensateur au maximum et débrancher le fil jaune du fil vert et laissez-le en l'air ; comment évolue la tension aux bornes du condensateur sur une période courte ? Sur une période longue ? Pouvez-vous expliquer ?