

COURS DE TECHNOLOGIE ÉLECTRONIQUE.

1. Introduction

1.1. Concept d'élément idéal

2

Dans le cas des circuits électriques, les composants sont généralement si proches de l'idéal qu'une corruption de langage désigne souvent de même nom l'élément physique (composant réel), l'élément idéal (composant théorique), et la caractéristique physique principale (R, L, C, ...).

1.2. Imperfections en petits signaux

2

Il est impossible d'éliminer complètement tous les phénomènes indésirables d'un élément physique. Ces phénomènes limitent le domaine de fréquence dans lequel l'identification des éléments physiques et idéaux est permise.

1.3. Limitation en amplitude

2

Un élément qui est presque parfait pour de faibles signaux cessera toujours de l'être pour des signaux plus forts (souvent dû à la température). On distingue pour un signal :

- Sa valeur crête :
 - Répétitive : ex : se reproduisant à chaque alternance du réseau 50 Hz.
 - Non répétitive : ex : ne se produisant qu'à la mise sous tension.
- Sa valeur efficace : moyenne quadratique (ou RMS)
- Sa valeur moyenne : si elle n'est pas nulle (cas des signaux symétriques par rapport à l'axe du temps).

1.4. Définitions générales

3

- **Valeur nominale**

Valeur indiquée par le constructeur.

- **Tolérance**

Pourcentage en plus ou en moins de la valeur nominale que le fournisseur s'engage à respecter pour toutes pièces neuves avant usage.

- **Stabilité**

On dit qu'un élément est stable lorsque, après un long usage, sa valeur reste proche de celle qu'il avait à l'origine. La stabilité est parfois indiquée par le fabricant et dépend de la technologie de fabrication.

- **Précision**

Lorsqu'il s'agit d'un élément dont la tolérance est plus stricte, on utilise le terme précision plutôt que tolérance, mais il s'agit du même concept.

- **Fiabilité**

Cette notion est liée à la durée de vie des éléments. Elle dépend de la stabilité puisqu'un élément est hors service lorsque sa valeur s'est trop écartée de sa valeur initiale. Un élément garanti à 10% sera plus fiable qu'un autre garanti à 1% puisque la variation peut être plus grande sans déclasser l'élément.

- **Coefficient de température**

Il exprime la variation de la valeur de l'élément par degré d'élévation de température. Mesurée en $10^{-6} / ^\circ\text{C}$ ou en ppm/ $^\circ\text{C}$ (parties pour million).

Ex pour une résistance :

$$R_T = R_0(1 + \alpha \cdot \Delta T)$$

1.5. Marquages des éléments standards

4

Les valeurs offertes ne sont pas quelconques. Des séries de valeurs normalisées ont été établies. Les valeurs à l'intérieur de chaque série diffèrent entre elles d'une constante multiplicative et le résultat est arrondi à 2 ou 3 signes significatifs selon la précision des éléments. Ces valeurs ont été établies pour qu'il y ait adjacence entre la valeur minimale d'une résistance et la valeur maximale de celle qui la précède.

Ex : série E12.

Tolérance 10% ; Grandeur du pas 20% ; Pas multiplicatif : $\sqrt[12]{10} = 1.21$

→ 10, 12, 15, 18, 22, 27, 33, 39, 47, 56, 68, 82

1.6. Quelques notions d'ordre général

7

Qu'est-ce que la lumière

La lumière est un rayonnement électromagnétique dont la nature est à la fois ondulatoire et corpusculaire (→ elle possède les propriétés des particules et des ondes). Ces particules sont des photons que l'on peut assimiler à des paquets d'énergie. $E = h \cdot f$ [J] où E = énergie d'un photon ; h = la constante de Planck = $6,626 \cdot 10^{-34}$; f = fréquence de rayonnement. La lumière blanche n'est que la partie visible du spectre électromagnétique.

Remarque : le tableau complet se trouve à la page 7 du syllabus.

Fréquence	Longueur d'onde λ	Classification
30 à 300 kHz	Kilométrique	Basses fréquences
3 à 30 MHz	Décamétrique	Hautes fréquences

$$\lambda = \frac{c}{f} \text{ où } c = \text{vitesse de la lumière } (3 \cdot 10^8 \text{ m/s})$$

2. Résistances et potentiomètres

8

2.1. Principe et propriétés

8

Une résistance est un dipôle tel que la tension U à ses bornes est proportionnelle au courant I qui le traverse : $U = R.I$

Le coefficient R chiffre la plus ou moins grande difficulté que rencontre le courant pour traverser le dipôle sous une tension donnée. La résistance dépend à la fois des dimensions du

conducteur et de sa nature : $R = \rho \frac{l}{S}$ [$\Omega.m$] où ρ = résistivité est caractéristique d'un matériau donné.

Un phénomène important dans une résistance est l'effet Joule. Une résistance parcourue par un courant consomme une énergie électrique et la transforme intégralement en chaleur. La

puissance correspondante s'exprime par $P = U.I = RI^2 = \frac{U^2}{R}$. L'effet Joule est problème

important en électronique pour deux raisons :

- C'est une puissance perdue pour le circuit électronique qui lui est quand même fournie.
- Problème de l'évacuation de chaleur qui s'accroît avec la miniaturisation des circuits.

2.1.1. Associations de résistances

9

1. ASSOCIATION EN SÉRIE

Le courant est le même dans tous les éléments qui sont en série par contre, les tensions à leurs bornes s'ajoutent.

$$R_{eq} = R_1 + R_2 + R_n$$

2. ASSOCIATION EN PARALLÈLE

La tension est la même pour tous les éléments en parallèle par contre, les courants qui les traversent s'ajoutent.

$$R_{eq} = \frac{1}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_n}}$$

3. CAS PARTICULIER

Deux résistances identiques en série donnent une résistance de valeur double.

Deux résistances identiques en parallèles donnent une résistance de valeur moitié.

2.2. Caractéristiques technologiques (résistances fixes à couches de carbones) 10

2.2.1. Précision 10

Du fait des tolérances de fabrication, la valeur réelle de la résistance est un peu différente de la valeur nominale. Les constructeurs donnent une fourchette dans laquelle se trouve la valeur de l'élément.

2.2.2. Valeurs normalisées 10

Grâce à la tolérance, il est inutile de disposer d'un trop grand nombre de composants. Des valeurs de résistances peuvent très bien rentrer dans la tolérance d'une résistance dite « normalisée ». Ainsi, on ne fabrique que certaines valeurs de résistances appartenant à des séries normalisées, conçues de telle façon qu'il y ait tout juste recouvrement des intervalles possibles. À chaque tolérance correspond une série normalisée. Les séries sont désignées par E12, E24, ... On indique le nombre de valeurs dans une décade (pour avoir les valeurs de la décade supérieure, ajoutez un 0). Les valeurs courantes de résistances ne vont pas en dessous de quelques ohms et ne s'étalent pas au dessus de quelques mégohms.

2.2.3. Marquage 10

Les résistances sont en général identifiées par différents anneaux de couleurs. Ce code des couleurs indique la valeur nominale. Les éléments ordinaires ont 4 anneaux, ceux de précision 5 (voire 6, le sixième étant le coefficient de température). Le dernier anneau est un peu séparé des autres pour donner le sens de lecture. Truc mémo technique :

Ne	Manger	Rien	Ou	Jeûner	Voilà	Bien	Votre	Grande	Bêtise
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9

Remarque : chaque première lettre représente une couleur, pour ceux qui comme moi sont daltoniens !

2.2.4. Incertitude sur les résistances 12

Voir 1.5. Marquages des éléments standard

2.2.5. Marquage des résistances 12

Voir 2.2.3. Marquage

2.2.6. Puissance maximale 13

Une résistance dissipe une certaine puissance sous forme thermique (voir 2.1. Principes et propriétés). Il existe une limite technologique de dissipation pour un élément donné. Si on dépasse cette puissance maximale autorisée, l'élément risque de se dégrader. Sa résistance est modifiée sans forcément changer l'aspect du composant. Si cette limite est fortement dépassée, le composant peut même se détruire. Les résistances ordinaires ont une puissance maximale de 1/4W, lorsque nécessaire, il existe aussi des résistances dissipant 1/2W, 1W, 2W, 5W, ... Le volume (plus précisément la surface d'échange calorifique) d'une résistance

est proportionnel à la puissance qu'elle peut dissiper sans être détériorée. (dimensions d'une résistance au carbone dissipant 1/4W : L = 8,5mm ; d = 2,5mm).

2.2.7. Limitations du fonctionnement statique

13

En courant continu (fonctionnement statique), pour que l'état électrique puisse être maintenu sans risque de détérioration, certaines conditions doivent être respectées et le constructeur indique au moins l'une des caractéristiques suivantes :

- La tension maximale U_m qui peut être appliquée au dipôle
- L'intensité maximale I_m du courant admissible dans le dipôle
- La puissance P_m que le dipôle récepteur peut absorber ou que le dipôle générateur peut fournir

2.2.8. Technologies (!! tuyau !!)

14

De nombreuses technologies existent pour la fabrication de résistances mais seules quelques-unes apparaissent fréquemment.

	R à couche de carbone	R à couche métallique	R bobinées
Usage	Les plus répandues	Applications professionnelles	Basses fréquence car inductives en HF
Prix	Très faible	Faible	Elevé
Tolérance	Moyenne (5, 10%)	Bonne (5, 2, 1%)	Moyenne (5, 10%)
Dissipation	Jusque 2W	Jusque 2W	Quelques W ou dizaines de W ou +
Marquage	Code des couleurs (!)	Code des couleurs ou en clair	En clair
Stabilité	Moyenne	Très bonne (leur valeur ne se modifie pas beaucoup au cours du temps)	Assez bonne

2.3. Résistances variables

14

2.3.1. Potentiomètres de réglage

14

Ils sont utilisés quand on veut régler manuellement un paramètre électrique de façon régulière. On trouve différents types de potentiomètre :

- Potentiomètres à piste de carbone

Constitués d'un curseur se déplaçant sur une piste de carbone souvent circulaire. On en trouve couramment dans la série E3 (1 ; 2,2 ; 4,7) avec une tolérance de 20%. Leur puissance est en général 1/4W mais peut aller jusque 1W. La loi de variation est le plus souvent linéaire c-à-d que la valeur de la résistance varie de façon proportionnelle au diamètre de rotation de l'axe. On en trouve aussi avec une loi de variation logarithmique pour des applications de radio-fréquences.

- Potentiomètres à glissière
Ici, la piste de carbone est rectiligne et le curseur se déplace le long d'une glissière. Utilisés en application audio.
- Potentiomètres bobinés
Utilisés pour dissiper des puissances plus élevées : quelques W ou dizaines de W, même plus. Leurs valeurs sont en général dans la série E3.
- Potentiomètres multi tours
Utilisés pour une plus grande précision. L'axe commande une vis à faible pas (parfois avec un compte-tours. Leur prix est plus élevé et leurs applications limitées.

2.3.2. Résistances ajustables

14

Ces composants sont ajustés à la fabrication ou lors de réglages occasionnels (pas d'usage régulier). Ils sont formés d'un curseur qui frotte sur une piste de carbone mais n'ont pas d'axe (on change la valeur avec un tournevis). Ils sont de faible encombrement. Disponibles en deux versions :

- À câbler horizontalement : moins fragile
- À câbler verticalement : moins encombrant

La dissipation maximale est de 1/10W pour les plus petits et 1/4W pour les plus grands.

1. LES RESISTANCES FIXES

- 1.1. Carbon film resistor (**syllabus page 15**)
- 1.2. Wirewound Power resistor (**syllabus page 15**)

La valeur est indiquée en clair sur la résistance ainsi que la tolérance et souvent la dissipation maximale.

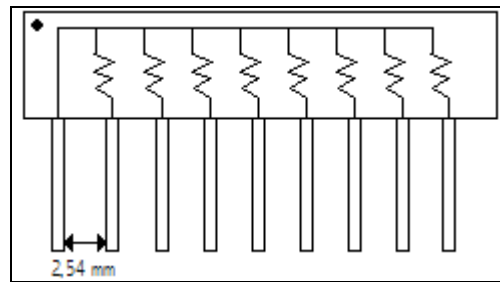
- Nombre suivi de la lettre « R » ou « E » : valeur en ohms.
- Nombre suivi de la lettre « K » suivi d'un nombre : valeur en kilo ohms, la décimale étant le nombre après le « K ».
- Exemple : 2K2 10% 5W → 2,2kΩ, tolérance 10%, pouvant dissiper 5W au maximum.

1.3. Metal film resistor (**syllabus page 16.1**)

Même forme extérieure que les résistances à film de carbone mais leur résistance varie moins en fonction de la température.

1.4. SIL resistor network (**syllabus page 16.1, 16.2**)

Sécables en cas de besoin. Pour une SIL (Single In Line) à 8 résistances et un commun, il y a 9 pattes (! résistances et une commune). La distance entre les pattes est de 2,54 mm qui est le pas standard en électronique.



On peut retrouver les SIL ou les DIL (Dual In Line) en réseaux :

- Réseaux SIL
 - Dissipation : 1/8W
 - Tolérance : +/- 2%
 - Coefficient de T° : 200ppm/°C
 - Tension de service : 200V max
- Réseaux DIL
 - Dissipation : 1/8W
 - Tolérance : +/- 2%
 - Coefficient de T° : 100ppm/°C
 - Tension de service : 100V max
 - Non sécable

2. LES RESISTORS POTENTIOMETRIQUES A CONTACT MOBILE

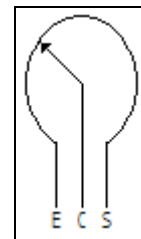
2.1. Potentiomètre de commande

2.1.1. Potentiomètre rotatif

Ils présentent l'avantage d'être moins encombrant que les potentiomètres à glissière. C'est pour cela qu'on les retrouve dans les amplificateurs basses fréquences.

2.1.1.1. Potentiomètre linéaire

Lorsque le curseur est à fond vers la gauche, la résistance est maximale entre C et S. Lorsqu'il est à fond vers la droite, la résistance est maximale entre E et C. On dit qu'il est linéaire car, pour un même angle de variation correspond une même variation de la valeur de résistance. Ils sont utilisés surtout dans les montages nécessitant une variation continue de la tension : voltmètre, thermostat électronique, ...



2.1.1.2. Potentiomètre logarithmique

Généralement, il s'agit de potentiomètres au carbone dont la couche résistive n'est pas constante. Leur représentation est identique à des potentiomètres linéaires. Ils supportent en général une puissance maximale de 0,125W. Ils sont utilisés pour le contrôle du volume des amplis audio car les niveaux d'intensité sonore sont exprimés en échelle logarithmique (décibels).

2.2. Potentiomètre d'ajustage ou trimmer ou preset

2.2.1. Potentiomètre d'ajustage au carbone

C'est le plus couramment utilisé dans les équipements où la stabilité à long terme ne joue pas un rôle important. On déplace le curseur avec un tournevis. On en trouve des verticaux ou des horizontaux. Suivant les modèles, on a une loi de variation linéaire ou logarithmique. Les puissances admissibles sont de 1/10W (10mm de diamètre) à 1/4W (18mm). L'angle de rotation est de $200^\circ \pm 10^\circ$.

2.2.2. Potentiomètre d'ajustage métal-verre (CERMET)

Dans certains cas où les équipements doivent fonctionner dans des conditions difficiles, on utilise des potentiomètres métal-verre car ils offrent des avantages :

- Stabilité à long terme
- Faible usure de la couche
- Coefficient de température réduit

Ces potentiomètres possèdent une couche conductrice formée d'un support de verre (ou de céramique) dans lequel sont noyées des particules métalliques. Le verre ne subit pratiquement pas d'usure et la résistance de la couche peut être déterminée de façon précise par le contrôle de la concentration des particules métalliques. La couche de verre est déposée sur une plaque de céramique isolante et peu influencée par les écarts de température. La puissance maximale est de 0,5W. L'angle de rotation est de $220^\circ \pm 5^\circ$.

2.2.3. Potentiomètre d'ajustage bobiné

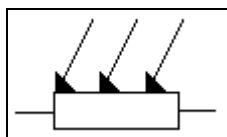
Ces potentiomètres sont prévus pour les cas où une dissipation plus élevée existe. Ils sont formés d'un bobinage de fil résistif. La puissance maximale est de 3W. L'angle de rotation est généralement de $240^\circ \pm 10^\circ$.

3. PHOTORESISTANCE

29

C'est un composant dont la résistance varie avec l'intensité lumineuse et la longueur d'onde de la lumière qui l'éclaire. Aussi appelé LDR (Light Dependant Resistor)

3.1. Représentation



3.2. Identification

La photorésistance est caractérisée par une face présentant une série de lignes en circonvolutions. En général, il s'agit de bande de sulfure de cadmium déposé sur un isolant. L'intensité du courant dans une photorésistance ne peut dépasser 130 mA quand elle est fortement éclairée. Sa dissipation maximale est comprise entre 100 et 200 mW.

3.3. Caractéristiques

Dans l'obscurité, une photorésistance a une résistance très élevée. Si de la lumière l'éclaire, la résistance diminue. Le sens de passage du courant dans une photorésistance n'a pas d'importance.

Éclairement (Lx) = lux	Résistance (Ω)
10^4	12
10^3	110
100	900
10	$9 \cdot 10^6$
0	10^7

3.4. Usages

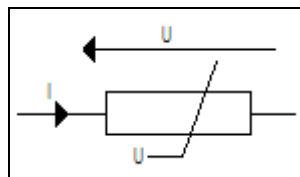
- Luxmètre
À titre indicatif : Atelier [100 ... 300 Lx]
Bureaux [500 ... 750 Lx]
- Éclairage urbain
- Détecteur de brouillard
- Cellule présence de flamme dans les chaudières au mazout.
- ...

4. VARISTANCE

31

C'est un composant dont la résistance diminue quand la tension qui est appliquée à ses bornes augmente. Aussi appelé VDR (Voltage Dependant Resistor)

4.1. Représentation



4.2. Identification et caractéristiques

Elle se présente généralement sous la forme d'un disque avec une connexion sur chaque face. Certaines sont doubles, d'autres ont des connexions axiales.

4.3. Usages

La varistance est surtout utilisée pour stabiliser les tensions, pour protéger certains moteurs (machine à laver ou industrielles, ...), certains composants électroniques (thyristors, ...).

5. THERMISTANCE

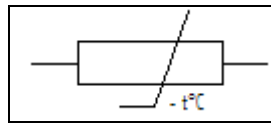
33

C'est un composant dont la résistance varie en fonction de la température. On retrouve des CTN (Coefficient de Température Négatif) et des CTP (Coefficient de Température Positif). Ce coefficient de température c'est α .

5.1. Thermistor C.T.N. $\rightarrow \alpha < 0 \rightarrow T \uparrow = R \downarrow$

La résistance diminue si la température s'élève et vice-versa.

5.1.1. Représentation



5.1.2. Identification

Il existe différentes présentations pour les CTN, soit sous la forme d'un cylindre noir avec deux fils (axiaux ou latéraux) ou sous la forme d'un disque. Pour les disques, il y a un code des couleurs (!). La résistance est donnée à une température de 25°C.

Tuyau : relevés des caractéristiques de la CTN

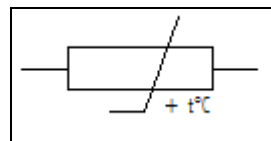
5.1.3. Usages

- Stabilisation du courant dans les montages électroniques
- Stabilisation de la température dans les installations de chauffage central

5.2. Thermistor C.T.P. $\rightarrow \alpha > 0 \rightarrow T^\circ \nearrow = R \nearrow \nearrow$

La résistance augmente si la température s'élève et vice-versa.

5.2.1. Représentation



5.2.2. Identification

Ils existent aussi sous différentes représentations, notamment les disques.

5.2.3. Usages

- Limitation du courant (ex : désaimantation du tube images couleurs)
- Protection des petits moteurs contre la surchauffe (protection des petits moteurs triphasés)
- Stabilisation du courant pour compenser les variations de résistances des lignes téléphoniques

2.4. Domaine d'utilisation

37

On retrouve des résistances et des potentiomètres dans à peu près tous les montages électroniques, il est donc très difficile d'en faire une liste exhaustive. Voici quelques applications courantes :

2.4.1. Conversion d'une tension en courant et vice-versa

37

Cette conversion se fait le plus simplement possible grâce à la loi d'Ohm.

Exemple du convertisseur numérique analogique (page 37). **Tuyau**

2.4.2. Polarisation de composants semi-conducteurs

37

On associe des résistances à des semi-conducteurs (diodes, transistors, ...) pour fixer la position de leur point de repos (tension et courant). L'exemple le plus simple est celui de la diode. $U_D = U - U_{seuil}$

2.4.3. Utilisation avec des tensions et des courants variables

38

Dans ce cas, la loi d'Ohm s'applique à chaque instant. La loi d'Ohm est toujours d'application en valeurs instantanées, efficaces, maximales, complexes, ...

2.4.4. Diviseur résistif

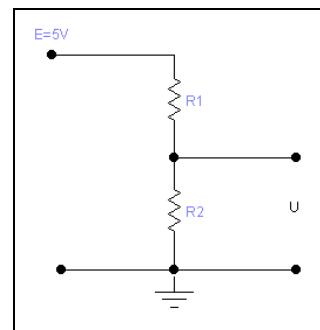
38

Ce montage permet d'obtenir une tension inférieure à la tension d'alimentation. On a :

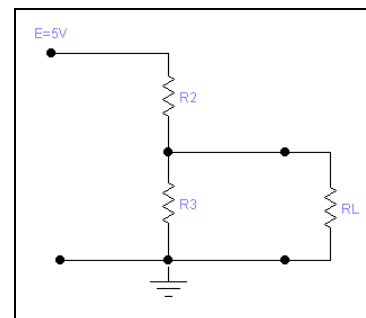
$$U = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \cdot E$$

Cette formule n'est

valable que lorsque le circuit est à vide, c-à-d que le courant débité est négligeable. Si ce n'est pas le cas, le courant dérivé dans la charge modifie le résultat.



Si on ajoute une résistance de charge, R_L est modifiée, on a maintenant $R_D // R_L$. A courant de charge faible, on peut utiliser en première approximation, la formule du pont diviseur de tension à vide. Lorsque le courant de charge devient plus élevé, il faudra utiliser la formule du pont en charge. Dans la pratique, on acceptera l'approximation tant que le courant de pont est dix fois supérieur au courant débité.



Un exemple de ce type d'application est le pont de polarisation de base d'un transistor bipolaire. On fixe la tension de base à partir de l'alimentation à l'aide d'un pont de résistance. Lorsque l'on a déterminé l'ordre de grandeur du courant de base grâce aux caractéristiques du transistor, on choisit un courant de pont égal à au moins dix fois le courant de base, ce qui fixe la somme des résistances. La valeur de la tension de base désirée imposant le rapport des deux résistances, ces deux résistances sont ainsi calculées.

On peut aussi obtenir plusieurs tensions échelonnées en utilisant un diviseur multiple. En utilisant cinq résistances identiques de $10\text{k}\Omega$ par exemple sous une tension de 5V , on obtient une tension de 1V aux bornes de chaque élément. On dispose alors de prises intermédiaires de $1, 2, 3, 4$ et V par rapport à la masse.

2.4.5. Montage rhéostatique

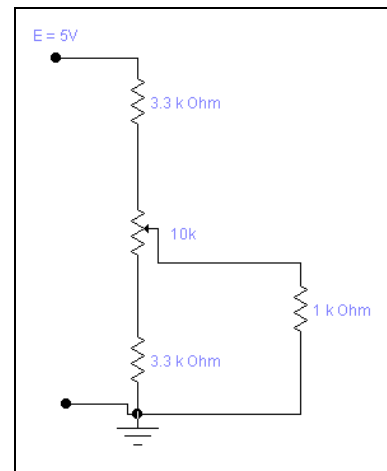
39

La résistance variable est en série avec la charge et permet ainsi de régler l'intensité du courant.

2.4.6. Montage potentiométrique

39

C'est un diviseur résistif où R_1 et R_2 sont variables, leur somme restant constante. On réalise alors un réglage de tension entre 0 et E. Pour obtenir un réglage entre d'autres limites, on associe au potentiomètre des résistances butées (ou talon). Par exemple, si l'on veut un réglage entre 1V et 4V avec une alimentation de 5V. Il faut donc une tension de 3V aux bornes du potentiomètre et 1V aux bornes de chaque résistance talon. Si l'on choisit un potentiomètre de 10k, il faut des résistances 3X plus faibles (le courant est le même dans les trois éléments), ce qui donne 3,3k Ω .



2.4.7. Compensation des écarts d'imperfection

40

Les résistances ajustables sont souvent associées à une résistance fixe en série. Lors du choix des éléments, il faut tenir compte des tolérances sur les résistances. Par exemple : une résistance R fixe de 100k Ω avec une tolérance de 5% en série avec une résistance ajustable de même valeur mais d'une tolérance de 10%. La valeur de la résistance fixe est entre 95k et 105k ; celle de l'ajustable entre 90 et 110k. Pour la limite inférieure des deux résistances, l'élément fixe est à son maximum et le potentiomètre est à 0. On a 105k. Pour la valeur maximale, l'élément fixe est à son minimum ainsi que le potentiomètre. On a alors 95+90k = 185k. La valeur réelle de l'ensemble se situe donc entre 105 et 185k Ω .

2.4.8. Réglages de certains circuits imprimés

40

Exemple : résistance de compensation de l'offset d'un ampli op 741.