

AIDE-MÉMOIRE
**Composants
électroniques**

Tout le catalogue sur
www.dunod.com



Pierre **Mayé**

**L'USINE
NOUVELLE**

Aide-mémoire

Composants électroniques

5^e édition

DUNOD

Photo de couverture : © Dimitrios - fotolia.com

<p>Le pictogramme qui figure ci-contre mérite une explication. Son objet est d'alerter le lecteur sur la menace que représente pour l'avenir de l'écrit, particulièrement dans le domaine de l'édition technique et universitaire, le développement massif du photocopillage.</p> <p>Le Code de la propriété intellectuelle du 1^{er} juillet 1992 interdit en effet expressément la photocopie à usage collectif sans autorisation des ayants droit. Or, cette pratique s'est généralisée dans les établissements</p>	<p>d'enseignement supérieur, provoquant une baisse brutale des achats de livres et de revues, au point que la possibilité même pour les auteurs de créer des œuvres nouvelles et de les faire éditer correctement est aujourd'hui menacée. Nous rappelons donc que toute reproduction, partielle ou totale, de la présente publication est interdite sans autorisation de l'auteur, de son éditeur ou du Centre français d'exploitation du droit de copie (CFC, 20, rue des Grands-Augustins, 75006 Paris).</p>
	

© Dunod, Paris, 2000, 2005, 2010, 2015

© Fréquences, Paris, 1989 pour la première édition
978-2-10-072143-6

5 rue Larmiguière, 75005 Paris

www.dunod.com

Le Code de la propriété intellectuelle n'autorisant, aux termes de l'article L. 122-5, 2° et 3° a), d'une part, que les « copies ou reproductions strictement réservées à l'usage privé du copiste et non destinées à une utilisation collective » et, d'autre part, que les analyses et les courtes citations dans un but d'exemple et d'illustration, « toute représentation ou reproduction intégrale ou partielle faite sans le consentement de l'auteur ou de ses ayants droit ou ayants cause est illicite » (art. L. 122-4).

Cette représentation ou reproduction, par quelque procédé que ce soit, constituerait donc une contrefaçon sanctionnée par les articles L. 335-2 et suivants du Code de la propriété intellectuelle.

Table des matières

1 . Résistances et potentiomètres	1
1.1 Principe et propriété	1
1.2 Caractéristiques technologiques des résistances fixes	9
1.3 Caractéristiques technologiques des résistances variables	18
1.4 Domaines d'utilisation des résistances fixes	21
1.5 Domaines d'utilisation des résistances variables	26
2 . Condensateurs	29
2.1 Principe et propriétés	29
2.2 Caractéristiques technologiques	41
2.3 Domaines d'utilisation	50
3 . Bobines	59
3.1 Principe et propriétés	59
3.2 Caractéristiques technologiques	67
3.3 Domaines d'utilisation	70
4 . Transformateurs	75
4.1 Principe et propriétés	75
4.2 Caractéristiques technologiques	80
4.3 Domaines d'utilisation	83

5 . Quartz et résonateurs en céramique	87
5.1 Principe et propriétés	87
5.2 Caractéristiques technologiques	94
5.3 Domaines d'utilisation	100
6 . Varistances	107
6.1 Principe et propriétés	107
6.2 Caractéristiques technologiques	110
6.3 Domaines d'utilisation	116
7 . Thermistances	121
7.1 Principe et propriétés	121
7.2 Caractéristiques technologiques	124
7.3 Domaines d'application	125
8 . Diodes	131
8.1 Principe et propriétés	131
8.2 Caractéristiques technologiques	140
8.3 Domaines d'utilisation	146
9 . Transistors bipolaires	157
9.1 Principe et propriétés	157
9.2 Caractéristiques technologiques	168
9.3 Domaines d'utilisation	172
10 . Transistors à effet de champ	179
10.1 Principe et propriétés	179
10.2 Caractéristiques technologiques	187
10.3 Domaines d'utilisation	188

11 . Thyristors	191
11.1 Principe et propriétés	191
11.2 Caractéristiques technologiques	198
11.3 Domaines d'utilisation	200
12 . Triacs	203
12.1 Principe et propriétés	203
12.2 Caractéristiques technologiques	204
12.3 Domaines d'utilisation	206
13 . Composants optoélectroniques	215
13.1 Principe et propriétés	215
13.2 Caractéristiques technologiques	219
13.3 Domaines d'utilisation	220
14 . Circuits intégrés analogiques	225
14.1 Généralités	225
14.2 Amplificateur opérationnel	228
14.3 Régulateur de tension	235
14.4 Convertisseur à découpage	236
14.5 Temporisateur	238
15 . Convertisseurs analogique-numérique et numérique-analogique	241
15.1 Convertisseurs analogique-numérique	241
15.2 Convertisseurs numérique-analogique	245
16 . Circuits intégrés logiques	249
16.1 Généralités	249
16.2 Circuits combinatoires	252
16.3 Circuits séquentiels	254
16.4 Astables et monostables	257

17 . ASIC et circuits intégrés programmables	263
17.1 Circuits intégrés développés pour un client	263
17.2 Circuits intégrés programmables	264
18 . Microcontrôleurs	271
18.1 Généralités	271
18.2 Exemple	273
18.3 Programmation	276
19 . Interrupteurs et fusibles	279
19.1 Commutateurs et interrupteurs	279
19.2 Fusibles	282
20 . Piles et accumulateurs	289
20.1 Introduction	289
20.2 Piles	295
20.3 Accumulateurs	299
21 . Échauffement et dissipation thermique	305
21.1 Étude générale des échanges thermiques	305
21.2 Application aux composants électroniques	312
22 . Fiabilité des composants	319
22.1 Notions générales	319
22.2 Cas des composants électroniques	320
23 . Circuits imprimés	323
23.1 Présentation	323
23.2 Conception assistée par ordinateur	326
23.3 Fabrication	327

24 . Documentation sur les composants	329
24.1 Diverses formes de documents	329
24.2 Types de documents	332
24.3 Contenu d'une notice technique	332
Lexique	335
Index	339

1

Résistances et potentiomètres

Malgré leur comportement extrêmement simple, les résistances restent les éléments les plus répandus de l'électronique. Sur pratiquement toutes les cartes électroniques n'utilisant pas les composants montés en surface, on les remarque tout de suite grâce à leurs anneaux de différentes couleurs.

1.1 Principe et propriété

1.1.1 Définition

Un conducteur ohmique, appelé couramment **résistance**, est un dipôle (composant électronique à deux bornes) dont la caractéristique est une droite passant par l'origine.

1.1.2 Symboles

Sur les schémas, les résistances sont représentées par leur symbole normalisé (*figure 1.1*) ou parfois par un autre symbole plus ancien (*figure 1.2*).

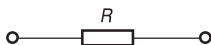


Figure 1.1 Symbole normalisé d'une résistance.



Figure 1.2 Autre symbole d'une résistance.

1.1.3 Loi d'Ohm

La tension u aux bornes d'une résistance idéale est proportionnelle à l'intensité i du courant qui la traverse. En convention récepteur (figure 1.3), cette relation s'écrit (loi d'Ohm) :

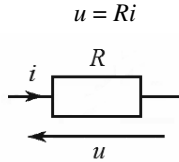


Figure 1.3 Résistance en convention récepteur.

Le coefficient de proportionnalité R est appelé **résistance du dipôle**. Une ambiguïté existe en français puisque l'on désigne par le même mot l'objet et un nombre R qui le caractérise. La langue anglaise évite ce problème en désignant l'élément par *resistor* et le nombre par *resistance*. Ce coefficient R chiffre la plus ou moins grande difficulté que rencontre le courant électrique pour traverser le dipôle.

Dans le système international, l'unité de résistance est l'ohm (symbole Ω) du nom du physicien allemand Georg-Simon Ohm qui a étudié les lois des circuits électriques. Dans la loi d'Ohm, la tension doit alors être exprimée en volts (V) et l'intensité du courant en ampères (A).

Devant la diversité des valeurs des résistances, on emploie les multiples et éventuellement les sous-multiples de l'ohm. Les correspondances sont données dans le *tableau 1.1*.

Tableau 1.1 Multiples et sous-multiples de l'ohm.

Nom	Symbole	Valeur en Ω
milliohm	$m\Omega$	10^{-3}
kilo-ohm	$k\Omega$	10^3
mégohm	$M\Omega$	10^6

Pour les composants électroniques, on utilise surtout le kilo-ohm et le mégohm. Le milliohm apparaît seulement pour chiffrer des résistances parasites comme les résistances de contact. Les fils de liaison dans les

montages électroniques sont des conducteurs de très faible résistance. On peut en général considérer que la tension à leurs bornes est négligeable quel que soit le courant qui les traverse : tout se passe comme si la résistance était nulle, on dit qu'il s'agit d'un court-circuit.

On utilise parfois aussi la **conductance** G , inverse de la résistance R :

$$G = \frac{1}{R}$$

L'unité de conductance est le siemens (symbole S) du nom de l'inventeur et industriel allemand Werner von Siemens.

1.1.4 Résistivité

La résistance dépend à la fois des dimensions du conducteur et de la nature du matériau utilisé. Par exemple, la résistance R d'un fil (*figure 1.4*) est proportionnelle à sa longueur l et inversement proportionnelle à sa section s :

$$R = \rho \frac{l}{s}$$

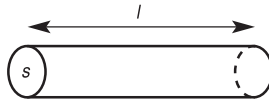


Figure 1.4 Résistance d'un fil conducteur.

Le coefficient ρ est caractéristique d'un matériau donné dans des conditions fixées et se nomme résistivité. L'unité de résistivité est l'ohm-mètre (symbole $\Omega \cdot \text{m}$) puisque l s'exprime en mètres (m) et s en mètres carrés (m^2). Par exemple, la résistivité du cuivre à la température de 25 °C est $\rho = 1,7 \times 10^{-8} \Omega \cdot \text{m}$.

On utilise parfois aussi la conductivité σ , inverse de la résistivité ρ :

$$\sigma = \frac{1}{\rho}$$

L'unité de conductivité est le siemens par mètre (symbole S/m).

1.1.5 Influence de la température

Dans une plage de température limitée, une résistance R dépend de la température θ (en degrés Celsius, °C) selon la loi :

$$R = R_0 [1 + \alpha(\theta - \theta_0)]$$

R_0 est la valeur de R à une température de référence θ_0 et α le coefficient de température qui dépend essentiellement du matériau conducteur utilisé et un peu de la plage de température considérée. Par exemple, pour le cuivre, $\alpha = 3,9 \times 10^{-3} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ au voisinage de $20 \text{ } ^\circ\text{C}$ (la valeur dépend un peu de la pureté du métal). Le coefficient de température est souvent donné en $\% / ^\circ\text{C}$ ou en $\text{ppm}/^\circ\text{C}$.

Remarque

Plus précisément, c' est la résistivité qui suit la loi qui vient d'être citée. Pour la résistance, il faut théoriquement tenir compte également de la dilatation, mais son influence est très limitée.

1.1.6 Effet de peau

La résistance d'un conducteur augmente lorsque les variations du courant sont rapides. Cela est dû à l'effet de peau (appelé aussi effet pelliculaire ou effet Kelvin) : l'amplitude de la densité de courant décroît quand on s'éloigne de la surface du matériau.

Pour un conducteur cylindrique de rayon a parcouru par un courant sinusoïdal, le rapport de l'amplitude J_M de la densité de courant à la distance r de son axe à l'amplitude J_{M0} de la densité de courant à sa surface s'exprime par :

$$\frac{J_M}{J_{M0}} = \frac{\sqrt{\text{ber}^2 \frac{\sqrt{2}r}{\delta} + \text{bei}^2 \frac{\sqrt{2}r}{\delta}}}{\sqrt{\text{ber}^2 \frac{\sqrt{2}a}{\delta} + \text{bei}^2 \frac{\sqrt{2}a}{\delta}}}$$

où δ est la profondeur de pénétration, appelée aussi épaisseur de peau, qui s'exprime en fonction de la résistivité ρ du matériau, de sa perméabilité

magnétique μ et de la fréquence f du courant par :

$$\delta = \sqrt{\frac{\rho}{\pi f \mu}}$$

Les valeurs des fonctions de Kelvin ber et bei sont disponibles dans des tables. Il est alors possible de tracer la courbe de $\frac{J_M}{J_{M0}}$ en fonction de r , avec $\frac{a}{\delta}$ en paramètre (figure 1.5).

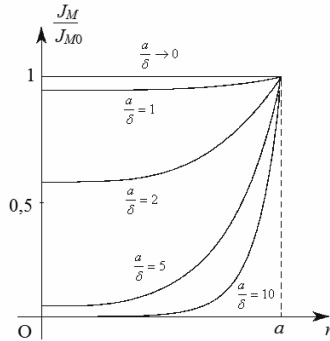


Figure 1.5 Courbes de l'amplitude de la densité de courant dans un fil en fonction de la distance à l'axe.

L'effet de peau est néfaste car il augmente les pertes. Une façon de le diminuer consiste à remplacer un fil par plusieurs conducteurs en parallèle isolés entre eux. C'est ce qui est fait dans un fil de litz (traduction servile de l'allemand *Litzendraht* qui signifie fil à brins isolés) utilisé dans certains câblages en haute fréquence.

1.1.7 Effet Joule

Un phénomène important dans une résistance est l'effet Joule (du nom du physicien anglais James-Prescott Joule qui a étudié les lois de la chaleur). Une résistance parcourue par un courant reçoit un travail électrique et le transforme en transfert thermique. Quand le courant est périodique, la puissance électrique P reçue (on parle de puissance dissipée par effet Joule) s'exprime en fonction de la tension efficace U , de l'intensité efficace

I du courant et de la résistance R par l'une des trois formules, équivalentes grâce à la loi d'Ohm :

$$P = UI = RI^2 = \frac{U^2}{R}$$

L'unité de puissance est le watt (symbole W), du nom de l'ingénieur écossais James Watt. On emploie assez souvent en électronique son sous-multiple, le milliwatt (mW) qui vaut 10^{-3} W.

Dans tous les cas, même si le courant n'est pas périodique, le travail électrique W_e reçu entre deux instants t_1 et t_2 par un conducteur ohmique de résistance R traversé par un courant d'intensité i s'écrit :

$$W = R \int_{t_1}^{t_2} i^2 dt$$

L'unité de travail électrique est le joule (J).

La puissance dissipée par effet Joule dans un composant est un problème important en électronique. Tout d'abord, il s'agit d'une puissance perdue pour le circuit électrique et qui doit donc lui être fournie (en général par une source de tension continue), et ensuite, il se pose souvent un problème d'évacuation de la chaleur créée car les petites dimensions des montages compliquent les échanges thermiques. Ces questions se posent essentiellement d'une part, pour les montages qui traitent des courants assez élevés comme les amplificateurs de puissance ou les alimentations et d'autre part, pour les circuits de taille très réduite.

1.1.8 Bruit

Même lorsqu'elle n'est parcourue par aucun courant, une résistance est le siège d'un bruit thermique, ou bruit de Johnson, dû à l'agitation thermique des électrons. La densité spectrale de bruit V_b s'exprime en fonction de la constante de Boltzmann $k = 1,38 \times 10^{-23}$ J/K, de la température thermodynamique T , de la résistance R et de la bande de fréquence Δf par la formule de Nyquist :

$$V_b = \sqrt{4kTR\Delta f}$$

L'unité de V_b est le volt par racine carrée de hertz ($V/\sqrt{\text{Hz}}$).

Remarque

Dans l'étude du bruit, on définit de façon générale une densité spectrale de puissance (DSP) qui correspond à V_b^2 (le terme puissance est pris ici au sens de la théorie du signal) et dont l'unité est le volt au carré par hertz (V^2/Hz). Dans le cas particulier de l'électronique, on préfère prendre sa racine carrée.

Le bruit thermique est associé aux noms de Johnson et de Nyquist car il a été mesuré pour la première fois en 1927 par l'ingénieur américain d'origine suédoise John-Bertrand Johnson (1887-1970) des laboratoires Bell puis formalisé par Harry Nyquist (1889-1976), son collègue des mêmes laboratoires, également américain d'origine suédoise.

1.1.9 Associations

■ Association en série

On peut brancher deux résistances R_1 et R_2 en série (figure 1.6).

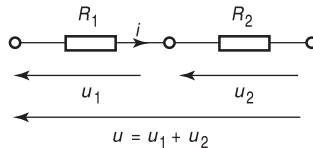


Figure 1.6 Association de deux résistances en série.

Le courant est le même dans les deux éléments, mais les tensions à leurs bornes s'ajoutent. Le dipôle résultant se comporte comme un conducteur ohmique dont la résistance est :

$$R = R_1 + R_2$$

Cette loi peut se généraliser à n conducteurs ohmiques en série :

$$R = \sum_{k=1}^n R_k$$

■ Association en parallèle

Le deuxième mode d'association de résistances est le branchement en parallèle (figure 1.7).

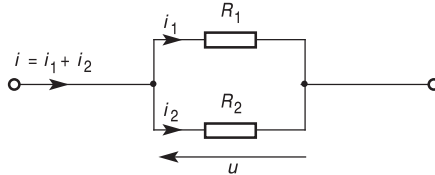


Figure 1.7 Association de deux résistances en parallèle.

La tension est la même pour les deux éléments, mais les courants qui les traversent s'ajoutent. Le dipôle résultant se comporte comme un conducteur ohmique dont la conductance est :

$$G = G_1 + G_2$$

soit, avec les résistances :

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}$$

Pour plusieurs résistances, on a de même :

$$\frac{1}{R} = \sum_{k=1}^n \frac{1}{R_k}$$

Dans le cas de deux résistances, on peut facilement obtenir R par la formule :

$$R = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}$$

Cette dernière formule ne se généralise pas pour un nombre quelconque de résistances.

■ Cas des résistances de même valeur

Un cas particulier intéressant est celui où les valeurs des résistances sont identiques : deux résistances en série donnent une résistance de valeur

double et deux résistances en parallèle équivalent à une résistance de valeur moitié.

1.1.10 Modèle d'une résistance réelle

Une résistance réelle présente des effets inductifs et capacitifs qui ont une influence non négligeable aux fréquences élevées (figure 1.8).

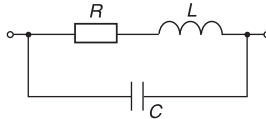


Figure 1.8 Modèle d'une résistance réelle.

1.2 Caractéristiques technologiques des résistances fixes

1.2.1 Précision

Le nombre indiqué sur le composant est la valeur nominale de la résistance. Du fait des tolérances de fabrication, la résistance réelle est un peu différente. Les constructeurs donnent une fourchette dans laquelle peut se trouver cette valeur. L'intervalle est défini par un pourcentage de la résistance nominale qui indique l'écart maximal, en plus ou en moins, qu'il peut y avoir entre la valeur réelle et la valeur nominale.

Par exemple, un composant marqué $10\text{ k}\Omega$, 5 % peut avoir une résistance réelle comprise entre $9,5\text{ k}\Omega$ et $10,5\text{ k}\Omega$ puisque 5 % de $10\text{ k}\Omega$ correspond à un écart possible de $0,5\text{ k}\Omega$.

1.2.2 Valeurs normalisées

Du fait de la tolérance qui existe sur les valeurs de résistances, il est inutile de disposer d'un trop grand nombre de composants différents. En effet, avec l'exemple précédent, on voit que la valeur nominale $10,5\text{ k}\Omega$ ne servirait à rien puisqu'une résistance réelle de ce type pourrait être identique à un élément marqué $10\text{ k}\Omega$.

Ainsi, on ne fabrique que des résistances dont les valeurs appartiennent à des séries normalisées conçues de telle façon qu'il y ait tout juste recouvrement des intervalles possibles pour les valeurs réelles correspondant à des valeurs nominales consécutives.

Par exemple, dans la série de précision 5 %, la valeur qui suit 10 kΩ est 11 kΩ. La résistance minimale que peut atteindre le composant marqué 11 kΩ est 10,45 kΩ (l'écart par rapport à la valeur nominale est 5 % de 11 kΩ, soit 0,55 kΩ). Le recouvrement n'intervient qu'entre 10,45 kΩ et 10,5 kΩ, ce qui est pratiquement négligeable. À chaque tolérance correspond une série normalisée. La norme CEI 60063, intitulée *Séries de valeurs normales pour résistances et condensateurs*, précise les valeurs correspondantes. Le *tableau 1.2* donne les différentes progressions utilisées. Les séries sont désignées par E6, E12... Les chiffres suivant la lettre E indiquent ainsi le nombre de valeurs dans une décade (par exemple entre 10 et 100, 100 non compris). Le tableau fournit les valeurs comprises entre 10 et 100, mais il suffit de multiplier par une puissance de 10 pour obtenir toutes les résistances possibles.

Tableau 1.2 Valeurs normalisées.

Progressions	Tolérances	Séries normalisées
E3		10 22 47
E6	± 20 %	10 15 22 33 47 68
E12	± 10 %	10 12 15 18 22 27 33 39 47 56 68 82
E24	± 5 %	10 11 12 13 15 16 18 20 22 24 27 30 33 36 39 43 47 51 56 62 68 75 82 91
E48	± 2 %	100 105 110 115 121 127 133 140 147 154 162 169 178 187 196 205 215 226 237 249 261 274 287 301 316 332 348 365 383 402 422 442 464 487 511 536 562 590 619 649 681 715 750 787 825 866 909 953
E96	± 1 %	100 102 105 107 110 113 115 118 121 124 127 130 133 137 140 143 147 150 154 158 162 165 169 174 178 182 187 191 196 200 205 210 215 221 226 232 237 243 249 255 261 267 274 280 287 294 301 309 316 324 332 340 348 357 365 374 383 392 402 412 422 432 442 453 464 475 487 499 511 523 536 549 562 576 590 604 619 634 649 665 681 698 715 732 750 768 787 806 825 845 866 887 909 931 953 976

Les conducteurs ohmiques courants ont une tolérance de 5 %. On fait parfois appel à des résistances de précision, en général à 1 % ou à 2 %. Pour des applications spécifiques (étalonnages), on trouve des éléments très précis : 0,1 % par exemple.

Les résistances sont normalement disponibles entre quelques dixièmes d'ohm et quelques dizaines de mégohms, mais les valeurs courantes ne descendent pas en dessous de quelques ohms et ne vont pas au-delà de quelques mégohms.

1.2.3 Marquage

Les résistances sont souvent identifiées par différents anneaux de couleur tracés sur le corps du composant qui indiquent la valeur nominale et la tolérance. La norme CEI 60757, intitulée *Code de désignation de couleurs*, définit le marquage utilisé pour les composants électroniques. Les éléments ordinaires (5 % ou 10 %) comportent quatre anneaux (figure 1.9) tandis que les éléments de précision (1 % ou 2 %) en ont cinq (figure 1.10).

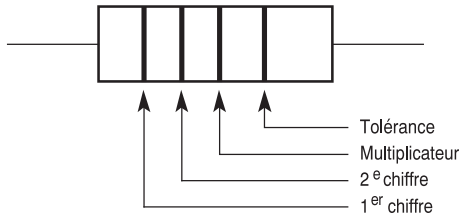


Figure 1.9 Marquage d'une résistance à 5 % ou 10 %.

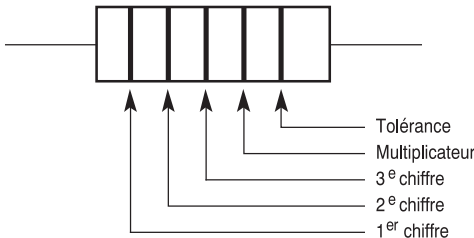


Figure 1.10 Marquage d'une résistance à 1 % ou 2 %.

Chaque couleur correspond à un chiffre, ainsi qu'il est indiqué dans le *tableau 1.3*. Il faut faire attention au sens de lecture : le dernier anneau est un peu séparé des autres.

Tableau 1.3 Code des couleurs pour le marquage des résistances.

Couleur	1 ^{er} chiffre	2 ^e chiffre	3 ^e chiffre (éventuel)	Multiplicateur	Tolérance
Argent				$\times 0,01 \Omega$	10 %
Or				$\times 0,1 \Omega$	5 %
Noir		0	0	$\times 1 \Omega$	20 %
Marron	1	1	1	$\times 10 \Omega$	1 %
Rouge	2	2	2	$\times 100 \Omega$	2 %
Orange	3	3	3	$\times 1 \text{ k}\Omega$	
Jaune	4	4	4	$\times 10 \text{ k}\Omega$	
Vert	5	5	5	$\times 100 \text{ k}\Omega$	
Bleu	6	6	6	$\times 1 \text{ M}\Omega$	
Violet	7	7	7		
Gris	8	8	8		
Blanc	9	9	9		

Considérons un premier exemple (*figure 1.11*). Les deux premiers anneaux indiquent les chiffres significatifs de la valeur nominale de la résistance : jaune correspond à 4 et violet à 7. Le troisième anneau définit le multiplicateur : orange signifie $\times 1 \text{ k}\Omega$. La résistance nominale est donc $47 \text{ k}\Omega$. La précision est donnée par le quatrième anneau : or correspond à 5 %.

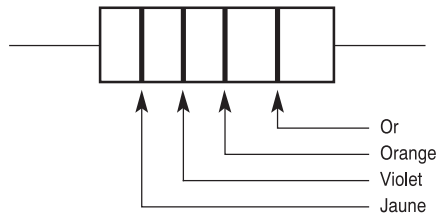


Figure 1.11 Exemple de marquage : résistance $47 \text{ k}\Omega$, 5 %.

Prenons un autre exemple (*figure 1.12*). Il s'agit d'une résistance de précision puisque son marquage comporte cinq bandes. Les trois premières indiquent les chiffres significatifs de la valeur nominale : blanc, orange et marron, soit 931. La quatrième bande donne le multiplicateur : noir signifie $\times 1 \Omega$. La résistance nominale est donc 931Ω . La tolérance est indiquée par le dernier anneau : marron pour 1 %.

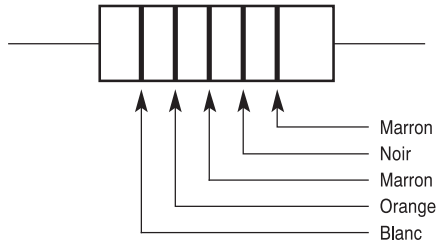


Figure 1.12 Exemple de marquage : résistance 931Ω , 1 %.

1.2.4 Puissance maximale

Comme on l'a dit plus haut, une résistance dissipe une certaine puissance sous forme thermique : c'est l'effet Joule. Pour un composant donné, il existe une limite technologique de dissipation. Si l'on dépasse cette puissance maximale autorisée, l'élément risque de se dégrader : sa résistance est modifiée sans forcément que cela change l'aspect du composant. Si la limite est fortement dépassée, la résistance noircit et peut même se détruire. Les résistances ordinaires ont une puissance maximale de $1/4 \text{ W}$. On utilise également des résistances de puissance supérieure lorsque c'est nécessaire : $1/2 \text{ W}$, 1 W , 2 W , 5 W ... Les éléments de puissance sont nettement plus encombrants sur les circuits imprimés et évidemment plus chers. Il importe donc de chiffrer correctement la puissance nécessaire afin d'utiliser ces composants à bon escient. On peut employer une des trois formules citées plus haut. Par exemple, on branche une résistance de $4,7 \text{ k}\Omega$ sous une tension continue de 12 V . La puissance dissipée par effet Joule est alors :

$$P = \frac{12^2}{4700} = 0,03 \text{ W}$$

Une résistance 1/4 W convient parfaitement. Sous la même tension de 12 V, on connecte un élément de 470 Ω . La puissance est dans ce cas :

$$P = \frac{12^2}{470} = 0,3 \text{ W}$$

Une dissipation de 1/4 W est insuffisante, il faut au moins 1/2 W. On voit que pour les éléments soumis à une tension fixée, on a intérêt à choisir des résistances de valeurs élevées lorsque c'est possible : les puissances dissipées restent alors faibles.

1.2.5 Technologies

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

■ Résistances à couche de carbone

Les résistances à couche de carbone ont longtemps été les plus répandues, mais elles sont actuellement supplantées par les résistances à couche métallique. Elles sont destinées à tous les usages courants. Leurs performances sont correctes et leur prix est faible. On les rencontre dans des gammes de précision moyenne : 5 % par exemple. La dissipation maximale peut aller jusqu'à 2 W (on trouve essentiellement 1/4 W, 1/2 W, 1 W et 2 W). Ces résistances sont toujours marquées par le code des couleurs (*figure 1.13*).



Figure 1.13 Résistance à couche de carbone.

■ Résistances à couche métallique

Les résistances à couche métallique ont des caractéristiques supérieures, mais leur prix est un peu plus élevé. Elles sont destinées aux applications professionnelles et elles occupent une grande part du marché. Leur précision est bonne : parfois 5 %, mais aussi 2 % ou 1 %. Ces résistances ont une bonne stabilité (c'est-à-dire que leur valeur ne se modifie pas beaucoup au cours du temps). Certaines fabrications de ce type sont même à haute stabilité. La dissipation maximale peut aller jusqu'à 1 W ou 2 W. Le marquage est souvent effectué avec le code des couleurs, mais les séries de précision sont parfois marquées en clair : la valeur et la tolérance sont indiquées en chiffres sur le corps du composant (par exemple $1 \text{ k}\Omega \pm 1 \%$). En l'absence d'indication contraire, les résistances rencontrées sur les schémas sont à couche métallique.

■ Résistances bobinées

Pour des puissances plus élevées, on dispose de résistances bobinées (*figure 1.14*). On rencontre différentes présentations suivant les puissances et les performances : résistances moulées, vitrifiées... Les dissipations sont de quelques watts, quelques dizaines de watts ou plus. Le marquage est en clair. Les tolérances sont assez moyennes (10 %, 5 %...) bien qu'il existe des séries de bonne précision, mais à des prix élevés. Les résistances bobinées d'usage courant ne sont pas utilisables aux hautes fréquences car elles sont inductives.



Figure 1.14 Résistance bobinée vitrifiée.

1.2.6 Résistances CMS

Les résistances existent aussi comme composants montés en surface (CMS). Cette technologie occupe la plus grande part de marché pour les résistances de faible puissance. Le marquage est en clair : les chiffres significatifs et la puissance de 10 sont indiqués sur le boîtier avec la lettre R signifiant ohm (*figure 1.15*). Par exemple, une résistance marquée 470 R a une valeur 470Ω et une autre marquée 103 a une valeur de $10 \times 10^3 \Omega$, soit $10 \text{ k}\Omega$.



Figure 1.15 Résistance CMS.

1.2.7 Réseaux de résistances

Les réseaux de résistances comportent plusieurs conducteurs ohmiques placés dans un même boîtier. Les résistances sont souvent de même valeur et elles peuvent être indépendantes ou posséder un point commun (*figure 1.16*). Il existe néanmoins des réseaux de résistances différentes dans des configurations plus particulières comme le diviseur de tension.

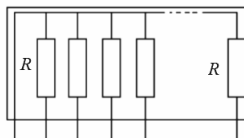


Figure 1.16 Réseau de résistances à un point commun.

Les boîtiers des réseaux de résistances sont soit du type SIP (*Single In-line Package*) présentant une seule rangée de connexions (*figure 1.17*), soit du type DIP (*Dual In-line Package*) présentant une double rangée de connexions. Il existe aussi des réseaux de résistances CMS.

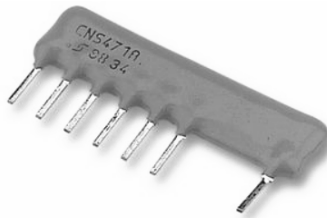


Figure 1.17 Réseau de résistances en boîtier SIP.

1.2.8 Normes

Les principales normes concernant les résistances fixes sont indiquées dans le *tableau 1.4*.

Tableau 1.4 Normes concernant les résistances fixes.

Numéro	Date	Contenu
NF EN 60115-1	2006	Résistances fixes utilisées dans les équipements électroniques - Partie 1 : spécification générique
UTE C83-220	1976	Composants électroniques - Résistances fixes de précision - Recueil de spécifications particulières
NF C93-217	1972	Résistances fixes bobinées de précision à faible dissipation - Prescriptions générales
NF EN 140101	2008	Spécification particulière cadre : résistances fixes à couche et à faible dissipation
NF EN 140400	2005	Spécification intermédiaire : résistances fixes à faible dissipation pour montage en surface (CMS)
NF EN 140401	2009	Spécification particulière cadre : résistances fixes à couches et à faible dissipation pour montage en surface (CMS)
NF EN 140402	2000	Spécification particulière cadre : résistances fixes bobinées à faible dissipation pour montage en surface (CMS)
NF EN 60062	2005	Codes de marquage des résistances et des condensateurs
NF EN 60751	2008	Thermomètres à résistance de platine industriels et capteurs thermométriques en platine

1.3 Caractéristiques technologiques des résistances variables

1.3.1 Potentiomètres de réglage

Ces éléments sont utilisés lorsque l'on veut pouvoir régler manuellement un paramètre électrique de façon régulière.

■ Potentiomètre rotatif

Les potentiomètres les plus classiques sont constitués d'un axe relié à un curseur qui se déplace sur une piste de carbone de forme circulaire (*figure 1.18*). On trouve les potentiomètres courants dans la série E3 (valeurs 1 ; 2,2 ; 4,7) avec une tolérance de 20 %. Les valeurs s'échelonnent entre 100 Ω et 4,7 M Ω . La puissance est couramment de 1/4 W et peut parfois aller jusque 1 W. Le plus souvent la loi de variation est linéaire, c'est-à-dire que la résistance comprise entre le curseur et une extrémité du potentiomètre est proportionnelle à l'angle de rotation de l'axe, mais on trouve aussi des lois non linéaires pour des applications particulières : la loi logarithmique est notamment employée en audio. Enfin, le potentiomètre peut être éventuellement muni d'un interrupteur.



Figure 1.18 Potentiomètre rotatif.

■ Potentiomètre à glissière

On utilise aussi parfois des potentiomètres à glissière, notamment sur certains appareils audio. La piste de carbone est rectiligne au lieu d'être circulaire. Le curseur se déplace simplement en translation le long d'une glissière.

■ Potentiomètre bobiné

Pour des puissances plus élevées, on trouve des potentiomètres bobinés. Les dissipations sont de quelques watts ou quelques dizaines de watts, parfois plus. Les valeurs sont en général celles de la série E3.

■ Potentiomètre multitour

Lorsqu'une grande précision de réglage est nécessaire, on fait appel à un potentiomètre multitour. L'axe commande une vis à faible pas. On y adapte éventuellement un bouton compte-tours qui permet de bien repérer une valeur de réglage. Ces composants sont évidemment d'un coût beaucoup plus élevé que les résistances variables ordinaires et leur emploi est limité.

1.3.2 Résistances ajustables

■ Résistance ajustable à piste de carbone

Ces composants sont ajustés à la construction de l'appareil ou lors de réglages occasionnels, mais ne font pas l'objet d'un usage régulier. Les résistances ajustables sont formées d'un curseur qui frotte sur une piste de carbone, mais ne possèdent pas d'axe (*figure 1.19*). Il faut se munir d'un tournevis pour les actionner. De faible encombrement sur les circuits imprimés (souvent 1 cm), les ajustables sont disponibles en deux versions : l'une à câbler horizontalement (solution la moins fragile), l'autre à câbler verticalement (solution la moins encombrante). Les valeurs s'échelonnent entre 100 Ω et 4,7 M Ω , en série E3. La dissipation maximale est 1/10 W pour les petits modèles, 1/4 W pour des composants un peu plus grands.