



COURS DE COMPOSANTS ÉLECTRONIQUES

LES COMPOSANTS PASSIFS

RÉSISTANCES

INTRODUCTION

Dans l'étude des lois générales de l'électricité et les cours théoriques d'électronique, on considère les composants passifs comme étant des éléments idéaux. Dans ce cours, on découvre comment sont réalisés les composants réels qu'on utilise dans les circuits, quelles sont leurs propriétés et leurs caractéristiques, et on étudie leur technologie.

LES RÉSISTANCES

Il s'agit de résistances électriques. Dans celle-ci, l'énergie électrique fournie par le courant et la tension électrique est dissipée en chaleur; c'est « l'effet Joule ».

Energie dissipée : $W = P \cdot t$ $[J = W \cdot s]$

Puissance dissipée: $P = U \cdot I$ $[W = V \cdot A]$

Les dimensions des résistances sont déterminées par la puissance qu'elles doivent dissiper. C'est ainsi qu'on classe les résistances.

Les résistances de faibles puissances vont de 0,1 à 1 W, les plus courantes sont de ½ W.

Les résistances de puissance vont de plus de 1 W à 100 W (au-dessus, se sont des résistances de grandes puissances).

Pour réaliser les différents circuits électroniques, on a besoin de résistances fixes et de résistances variables, dans une grande gamme de valeurs. Et il existe différents types de résistances examinées par la suite.

RESISTANCES FIXES

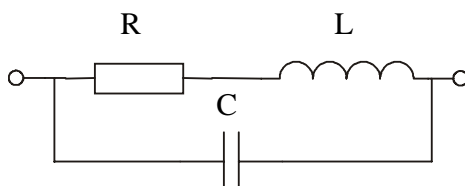
GRANDEURS CARACTÉRISTIQUES DES RÉSISTANCES

- **Résistance nominale :** valeur théorique indiquée sur l'élément. En Ω avec le code des couleurs ou en chiffres (Ω , $k\Omega$ ou $M\Omega$), exemples : 6R8 - 4K7 - 1M.
- **Tolérance :** écart admissible de la résistance réelle par rapport à la valeur nominale, en [%] (+/-).
- **Puissance nominale :** dissipation thermique maximale en air calme et pour une température ambiante de 70 °C. Unité : [W]. Des courbes donnent la réduction pour des températures supérieures (jusqu'à 155 °C, par exemple).
- **Tension maximale** Dans la plupart des cas, la tension maximale est fonction de la puissance maximale et de la résistance, mais pour les grandes valeurs de résistance, elle est limitée par la rigidité diélectrique de la résistance (le pouvoir de résister à un éclatement à travers un élément, dû à une tension élevée). Unité : [V].

D'autres grandeurs ont perdu de leur importance, car les résistances actuellement utilisées (résistances à film métallique) ont pour ces grandeurs des valeurs négligeables :

- **Coefficient de température :** quotient de la variation relative de la résistance par la variation de température. Actuellement l'unité est : [ppm / K] (ppm : parties par million).
- **Tension de bruit :** (dit également bruit ou souffle) provoquée par l'agitation thermique des molécules et par le passage du courant dans des matières hétérogènes. Unité : [pV / V]

SCHÉMA ÉQUIVALENT D'UNE RÉSISTANCE RÉELLE



Outre les effets des capacités et inductances parasites, il faudra tenir compte de l'effet pelliculaire en haute fréquence. Ces effets se feront plus sentir dans une résistance agglomérée (d'où leur abandon au profit des résistances à film).

UTILISATION EN PRATIQUE

CODE DES COULEURS ET TOLÉRANCES

On utilise souvent pour indiquer la valeur des résistances le code des couleurs, originaire des États-Unis. Ce système est particulièrement commode pour des petits composants. Il permet de lire la valeur quelle que soit la façon dont l'élément est monté.

Le marquage est réalisé par quatre au cinq anneaux de couleurs; les deux ou trois premiers indiquent les deux ou trois premiers chiffres significatifs, le suivant le nombre de zéro qu'il faut ajouter (ou la puissance de 10). On obtient ainsi la valeur en Ohm [Ω].

Le dernier anneau (généralement un peu plus large) indique la tolérance (pour les anciens types de résistances, avec 4 anneaux : argent : 10% ; or : 5% ; pas de quatrième bande indique : 20%). Les tolérances de 2 et 1 % se font avec le code des couleurs.

Chaque couleur correspond à un chiffre, selon la table ci-dessous.

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
noir	brun	rouge	orange	jaune	vert	bleu	violet	gris	blanc

SÉRIES NORMALISÉES

Il existe des séries de valeurs normalisées, que l'on trouve couramment chez les fournisseurs et qui sont universellement adoptées.

La suite des valeurs des résistances, selon une progression arithmétique (toujours le même écart absolu en [Ω] entre chaque valeur), n'aurait aucun sens. La progression est géométrique (toujours le même écart proportionnel).

Les séries (Europe) sont définies par le nombre de valeurs qu'il y a entre deux valeurs espacées dans un rapport de 1 à 10.

Ainsi, il existait la série E6 pour les résistances agglomérées de 20 % et actuellement, il existe les séries E12, E24, E48, ainsi de suite et la normalisation est définie jusqu'à E192.

La série E12 (avec 12 valeurs échelonnées dans un rapport de 1 à 10) est la plus courante (pour les résistances à couche de carbone) et la série E24 est disponible facilement pour les résistances à fil métallique.

La formule de l'écart relatif e entre deux valeurs pour une série E5 est :

$$e = \sqrt[5]{10}$$

Exemple du rapport de progression pour les résistances de la série E12 :

$$e = \sqrt[12]{10}$$
$$e = 1,212$$

Puis les valeurs sont calculées et arrondies pour aboutir à la suite normalisée suivante :

(10 12 15 18 22 27 33 39 47 56 68 82) * 10^n

TYPES DE RÉSISTANCES

RÉSISTANCES BOBINÉES

Les résistances bobinées sont constituées par un fil résistant de Ni-Cr enroulé autour d'un support isolant, généralement cylindrique, le plus souvent en céramique. Les résistances bobinées de puissance sont en général vitrifiées c'est-à-dire recouvertes d'une couche de verre dans laquelle les spires sont noyées, et qui les protège contre l'oxydation. Plus la valeur de la résistance doit être grande, plus le nombre de spires est important, avec du fil toujours plus fin (à puissance égale). Il est difficile de réaliser de très grandes valeurs de résistance; le maximum se situe vers 100 [k Ω].

L'inconvénient majeur de ce type de résistances provient du fait même qu'elles sont bobinées : elles ont une inductivité non négligeable, d'autant plus grande que le nombre de spires est plus grand (L est proportionnelle à N). Dans le schéma équivalent d'une résistance bobinée, la valeur de L est relativement importante. Par exemple, une résistance de 10 k Ω . et 5,5 W, présente une inductivité de l'ordre de 30 mH, ce qui correspond à une impédance inductive de 10 k Ω (égale à la valeur résistive), à environ 50 kHz.

Pour éliminer en grande partie cette inductivité, certains modèles sont bobinés dans un sens puis dans l'autre en revenant en arrière sur la première spire.

Par contre, les résistances bobinées sont très stables, car on utilise des alliages résistants à très faible coefficient de température.

Nous utilisons les résistances bobinées soit comme résistances de puissance (de 2 à 100 W), soit pour les faibles valeurs (0,1 à 1 [Ω]).

La tolérance est habituellement de 5 % et de 1% pour les plus précises.

RÉSISTANCES AGGLOMÉRÉES (OU AU CARBONE MOULEES)

C'est un type ancien de résistances pour les valeurs courantes.

L'élément résistant, constitué d'un agglomérat de fines granules de carbone mélangé avec de la silice (isolant) et de la Bakélite (liant), d'où le nom de résistances agglomérées. Le mélange est dans des proportions voulues pour obtenir les valeurs de résistance désirées. Cet agglomérat est moulé à l'intérieur d'un corps de résine isolante. Cette structure permet une fixation très solide et simple des fils de connexion: Ce type de résistance permet également de réaliser des résistances de très grandes valeurs.

D'autre part, à cause de la configuration linéaire de l'élément de carbone, ces résistances n'ont pratiquement pas d'inductivité.

Par contre, elles produisent une tension de bruit relativement importante. En effet, cet agglomérat est une matière très hétérogène favorisant ce phénomène.

En plus, elles ne sont pas très stables. La valeur de la résistance varie en fonction de la température, mais aussi en fonction du vieillissement de façon non négligeable. Elle varie également sous l'effet de la tension appliquée sur la résistance, ce coefficient de tension est de 0,02 % / V environ.

Pour ces raisons, ce type de résistances n'est plus utilisé dans les valeurs courantes. Par contre, elle existe encore pour les très grandes valeurs, de 1 M Ω à 100 M Ω , ou elle est encore unique depuis 10 M Ω .(de manière courante).

RÉSISTANCES A COUCHE DE CARBONE

La résistance est constituée par une mince couche de carbone déposée sur un support cylindrique en céramique. Les résistances à couche ont donc à peu près la même allure que les résistances agglomérées, mais au contraire de celles-ci, dans lesquelles le carbone est à l'intérieur du cylindre, le carbone se trouve maintenant à l'extérieur. Pour augmenter la valeur de la résistance, on taille souvent autour du cylindre une rainure en hélice; on « découpe » donc la couche résistante en une bande longue et étroite qui se trouve comme enroulée en spirale autour du corps de céramique (ceci afin de diminuer la section par la largeur plus faible et augmenter la longueur, de la couche résistive). Cette couche de carbone, très fine et très homogène, constitue une résistance de bonne stabilité.

C'est le raccord des fils de connexion qui constitue le point délicat.

Au début, pour les premières résistances bon marché, les fils étaient fixés à deux capots métalliques sertis aux bouts du cylindre de céramique. Le contact électrique était réalisé par simple pression. On peut se rendre compte qu'un tel montage ne pouvait réaliser une liaison très stable et fiable: on perdait de ce fait par le contact la stabilité qu'on avait gagnée grâce à la couche de carbone.

Les résistances de bonne qualité (mais qui étaient chers) et actuellement toutes les résistances de ce type ont des contacts soudés. Les deux extrémités du cylindre de céramique sont métallisées; la couche métallique déposée se trouve en liaison étroite avec la couche résistante de carbone; les fils sont soudés directement sur la zone métallisée avec un alliage spécial fondant à plus haute température que la soudure normale. On obtient ainsi un excellent contact électrique très stable.

Ce genre de fixation est moins solide mécaniquement que celui des résistances agglomérées; il ne faut donc pas souder les fils trop près du corps de la résistance et ne pas exercer de traction trop forte. Les résistances à couche sont recouvertes d'un vernis isolant. La protection mécanique de la couche de carbone est donc moins bonne que pour les résistances agglomérées.

Résumons les inconvénients et les avantages de ce type d'élément:

- Les résistances à couche de carbone sont relativement délicates.
- Elles peuvent présenter une faible inductivité, surtout pour les fortes valeurs de résistance.

Par contre, elles présentent:

- une bonne fiabilité
- une bonne stabilité
- un coefficient de température faible.
- une tension de bruit plus faible que celui des résistances agglomérées.

Les résistances les plus courantes pour une puissance de $\frac{1}{2}$ W, vont de 10Ω à $1\text{ M}\Omega$ dans la série E12 et ont une tolérance de 5 % (voir exemple de caractéristiques techniques en annexe, que l'on doit pouvoir interpréter).

La fréquence d'utilisation maximale est de 10 MHz (pas pour les résistances avec la couche en spirale).

Les résistances à couche de carbone sont de moins en moins d'actualité car, actuellement, les résistances à film métallique tendent à les supplanter.

RÉSISTANCES A FILM MÉTALLIQUE

Ces résistances ont exactement la même structure que les résistances à couche de carbone. Mais au lieu de carbone, c'est un film métallique de Ni-Cr qu'on dépose, par vaporisation sous vide, sur le cylindre de céramique. Pour les grandes valeurs, on réalise également le film en spirale.

Elles ont des propriétés analogues à celles des résistances à couche de carbone, mais elles présentent une stabilité encore meilleure. Ce sont des résistances qui ont une plus grande précision, dont la valeur reste remarquablement constante. La stabilité est bien supérieure aux tolérances indiquées, qui sont dues à la dispersion des valeurs obtenues dans la fabrication. Le coefficient de température est négligeable et la tension de bruit est très faible (quelques millièmes de pV / V).

On peut les utiliser avec des fréquences jusqu'à 100 MHz (mais pas pour les grandes valeurs de résistances).

Les résistances les plus courantes ont des puissances de 0,4 et 0,6 W et vont de 1 Ω à 10 M Ω dans la série E24, avec une tolérance de 1 % (voir exemple de caractéristiques techniques en annexe).

Les résistances à film métallique ont de meilleures caractéristiques et une tolérance plus faible que les résistances à couche de carbone, mais elles sont plus coûteuses (environ le double du prix pour grandes quantités).

Il existe également des résistances de précision de $\frac{1}{4}$ W avec une tolérance de 0,1 % ou 0.01%.

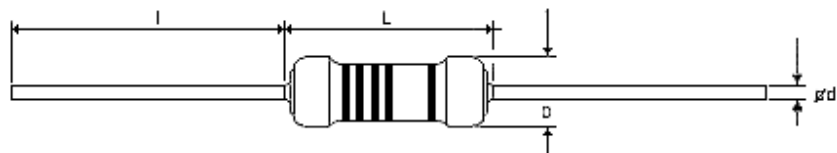
C'est aussi avec ce type de construction que l'on trouve sur le marché des résistances de puissance (depuis quelques W) de très faibles valeurs, depuis 0,005 Ω , pour des applications spéciales et qui peuvent remplacer les résistances bobinées.

LES RÉSISTANCES À COUCHES ÉPAISSES

(> 1 mégohm) sont faites d'une pâte de verres fusibles et de métaux nobles déposée (quelques dizaines de μm) par sérigraphie sur un support d'alumine, puis cuite à haute température.

Boîtiers

Boîtiers à pattes

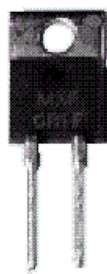


Dimensions en mm en fonction de la puissance

Puissance	L	D	l	d
½ W	9.0 +/- 1.0	3.5 +/- 0.5	28.0 +/- 1.0	0.6 +/- 0.05
1 W	11.0 +/- 1.0	4.5 +/- 0.5	28.0 +/- 1.0	0.8 +/- 0.05
2 W	15.0 +/- 1.0	5.0 +/- 0.5	35.0 +/- 1.0	0.8 +/- 0.05
3 W	17.0 +/- 1.0	6.0 +/- 0.5	35.0 +/- 1.0	0.8 +/- 0.05
5 W	24.0 +/- 1.0	8.0 +/- 0.5	32.0 +/- 1.0	0.8 +/- 0.05
7 W	24.0 +/- 1.0	8.0 +/- 0.5	32.0 +/- 1.0	0.8 +/- 0.05
10 W	52.0 +/- 1.0	8.0 +/- 1.0	38.0 +/- 1.0	0.8 +/- 0.05

Il existe en outre une multitude de boîtiers pour les résistances de puissance, par exemple montée par vis pour éviter la soudure sur des éléments qui vont être très sollicités en température (fonctionnement au-dessus du point de fusion de l'étain).

Prendre garde aux résistances de puissances de forme tubulaires qui doivent impérativement être montées verticales (effet cheminée) pour pouvoir dissiper leur puissance nominale.



Boîtiers SMD

On trouve de même pour la faible puissance les résistances en boîtiers SMD (Surface Montage Device, composant monté en surface) La valeur de ces résistances n'est pas peinte à l'aide des codes de couleur mais on note directement la valeur et la puissance de 10 sur le boîtier : 103 correspond à 10×10^3 ceci n'est toutefois pas valable pour les boîtiers plus petits que 0805, il n'y a aucun marquage sur ceux-ci (!). On ne distingue d'ailleurs plus pour ces boîtiers les résistances des condensateurs.

Puissance	CODE	Longueur	Largeur	Hauteur	Tension
	01005	0.40	0.20		
1/20 W	0201	0.60±0.05	0.30±0.05	0.12±0.05	15V
1/16 W	0402	1.00±0.10	0.50±0.05	0.35±0.05	25V
1/10 W	0603	1.60±0.10	0.80±0.10	0.45±0.10	75V
1/8W	0805	2.00±0.15	1.25±0.10	0.50±0.10	100V
1/4W	1206	3.10±0.10	1.60±0.15	0.60±0.10	150V
1/3 W	1210	3.10±0.10	2.50±0.15	0.56±0.15	200V
1/2W	2010	5.00±0.15	2.50±0.15	0.56±0.15	
1 W]	2512	6.30±0.15	3.20±0.15	0.56±0.15	

Pour finir, nous avons représenté ici les boîtiers des deux tableaux précédents à l'échelle 1 :1. On notera la difficulté de manutention manuelle des petits boîtiers SMD.

Résistances avec la puissance maximum qu'elles peuvent dissiper.

Boîtiers SMD avec leur code respectif

