



60p

# RESISTOR SELECTION HANDBOOK

BY

**B. B. BABANI**

INTERNATIONAL EDITION

in

English, Deutsch, Francais, Nederlands,

Italiano, Espanol, Portugues, Dansk,

Svenska & Norsk

BABANI PRESS

No. 28



BIBLIOTHEEK  
N.V.H.R.

# RESISTOR SELECTION HANDBOOK

International Edition

in

English

Deutsch

Francais

Nederlands

Italiano

Espanol

Portugues

Dansk

Svenska

Norsk

by

**B. B. BABANI**

**BABANI PRESS**

The Publishing Division of  
Babani Trading and Finance Co Limited  
The Gramplans  
Shepherds Bush Road  
London W6 7NF

Although every care is taken with the preparation of this book the publishers will not be responsible for any errors that might occur.

The compiler of this book wishes to express his most sincere thanks to "Electronics Australia" the leading radio, TV and electronics magazine published in that continent, and to their agent 'Sungravure' for permission to use some of the material in this book which appeared originally as articles in that magazine

© 1975 by Bernard B. Babani

I. S. B. N. 0 85934 031 7

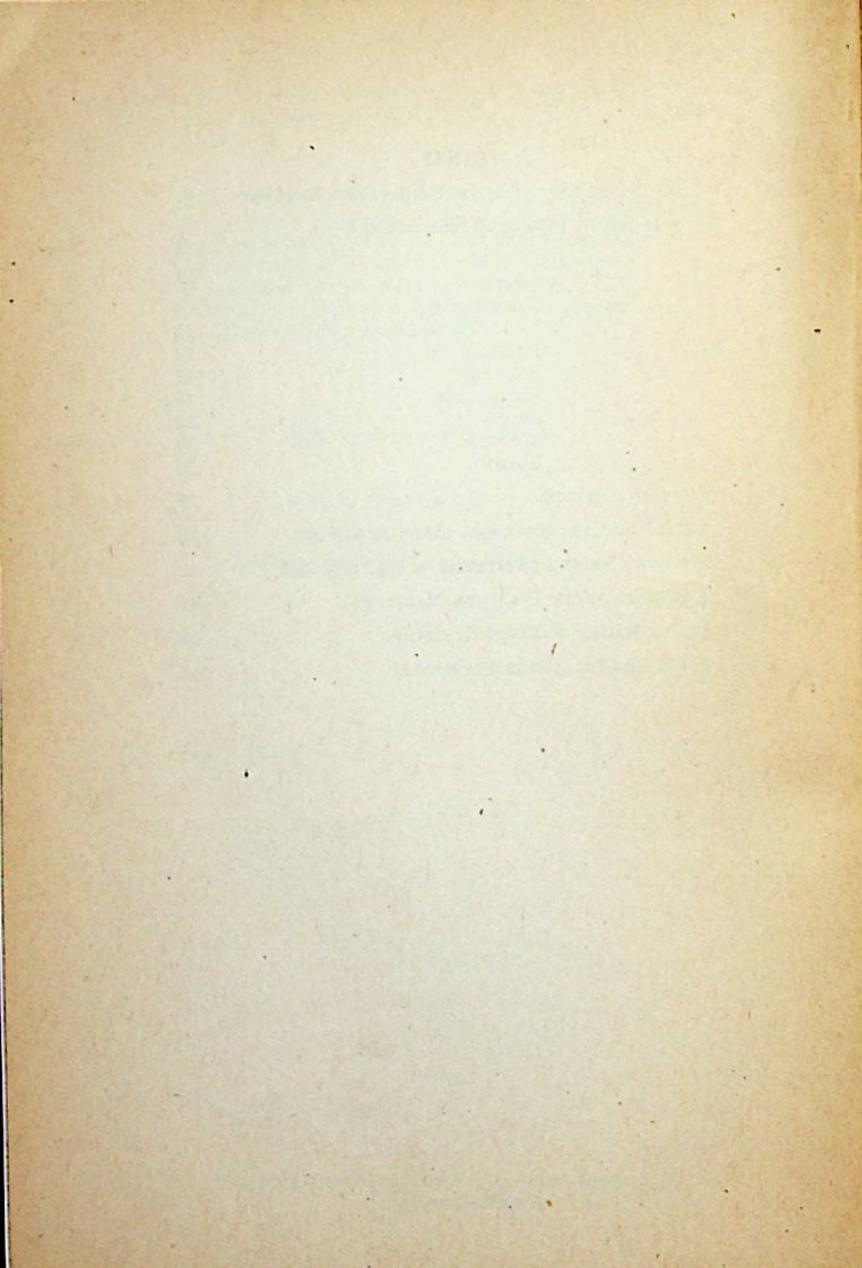
First Published - Jan 1976

Printed and Manufactured in Great Britain by  
Kingprint Limited

## CONTENTS

How to combine two preferred values to obtain  
any required values of resistance -

English	5
Deutsch	7
Francais	9
Nederlands	12
Italiano	14
Espanol	17
Portugues	19
Dansk	22
Svenska	24
Norsk	26
Selection Tables	29
Useful Information about Fixed Resistors	36
Standard Ranges of Resistors-5%, 10%, 20%	42
Resistor Colour Code and Markings	47
Power Rating of Fixed Resistors	48
Resistor Calculation Formulae	48



## Resistors — How to combine 2 preferred values to obtain any required values.

Producing non-preferred resistance values from preferred values can be a lengthy exercise, particularly when it is desired to know all the practical combinations, which will give the desired value. The author has solved the problem by evolving a suitable computer program, the print-out of which is reproduced in this article. The author also discusses the effects of tolerance on the accuracy of the final value.

With the advent of the new generation of general purpose resistors (eg, metal glaze) it is possible to place a much greater demand on their function. In particular, their temperature coefficient and long term stability is such that they may replace high stability or precision resistors in many design circumstances.

The problem then is how to make up those awkward values, between the standard values, with the fewest resistors (presumably two). The practice of "padding" is well known, in which one adds a small resistor in series, or a large resistor in parallel, to the main resistor to trim the overall value up or down until it is correct.

This method is not as efficient as possible, since it does not consider using two resistors of similar value. This is where the appended table comes in.

This table gives, in numerical order, all the values between one and ten that can be made up with two standard (preferred) value resistors, from the 10% range, connected either in parallel or in series. This does not limit the table to one decade, since the whole table may be multiplied by factors of 10.

To limit the number of combinations to a reasonable and justifiable figure the constraint is applied that the ratio of the two values is no greater than 100:1 or less than 1:100. The table gives combination values which are, on average, 0.36% apart and there are normally several combinations from which to choose.

Assuming that the purpose of creating a non-standard value is also to create a precise value, it may at first appear that these tables are useful only provided all standard resistors have exactly their nominal resistance. This is not true but, in any case, I have found that modern 5% values have a very small spread, typically of the order of 2%, and are centred quite closely on the nominal value.

If it is not possible to select resistors from a batch by measuring them, it will be necessary to use a closer tolerance resistor for at least one of the two in order to achieve the desired accuracy.

Let us consider the way in which the error of the composite resistor depends on the tolerance or error of the two individual resistors. In mathematical terms:  $e_R = e_{R2}$  for the series resistance case where  $e_R$ , is the error of the composite resistor  $R$ , and  $e_{R1}$  and  $e_{R2}$  are the errors of the two series resistors.

Since tolerances (in terms of percentage) rather than actual errors are normally quoted for R1 and R2 the previous expression may be stated more usefully as:

$$T = \frac{T_1 R_1 + T_2 R_2}{R_1 + R_2}$$

where the T is tolerance, expressed in percent. Note that if one resistor is much larger than the other the accuracy requirements for the larger one are much more stringent.

In a similar way an expression may be derived for the parallel combination:

$$T = \frac{T_1/R_1 + T_2/R_2}{R + 1/R_2}$$

Note that here if one resistor is much larger than the other the accuracy requirements of the smaller one are much more stringent.

In the above expressions T may be replaced by temperature coefficient, indicating that the requirements for the temperature coefficients may also be more stringent for one resistor than the other.

If the error of the compromise resistor is to be minimised the contribution to the overall accuracy by the individual resistors (in either tolerance or temperature coefficient) should be equal. This implies that the ratio (inverse ratio) of the individual errors in the series case (parallel case) should not be greater than the ratio of the individual resistors.

From these considerations a general procedure can be developed for achieving odd resistance values using the appended tables:

- (1) Find a convenient combination from the tables. One in which the resistance ratio is fairly large may be an advantage, since this means that the drift and temperature coefficient requirements are critical for only one of the two resistors.
- (2) The larger (smaller) resistor in a series (parallel) configuration is the most critical since it will contribute the greatest part of the overall temperature coefficient and long term drift. The value of this resistor should be fairly close to nominal.

(In most applications a normal metal glaze resistor may be quite adequate but an Electrolytic high stability resistor would be advantageous in more demanding applications.)

- (3) For a series (parallel) configuration select the smaller (larger) value such that the measured combination is within acceptable tolerance.
- (4) It is possible that the range of values for the resistor mentioned in step (3) is incapable of producing a value within the required tolerance. In this case it will be necessary to go back to step (2) and choose another value.

The above procedure is used when resistors are being selected from a batch. This means that the tolerances are immaterial. What matters is the temperature stability and long term stability.



An example: A resistance of 91k, plus or minus 2%, is required. The table shows that 9.091 can be achieved by paralleling 10 and 100. Thus the resistors required are 100k and 1M in parallel. The tolerances, if selection is not possible, will be 1% and 10% respectively. Naturally, if the second tolerance is better than 10% it can do no harm.

If selection is possible the procedure would be to select 1M resistors (any tolerance) until the combination gives a value between 89k and 93k. In this case the tolerance of the 100k is not of importance, but the temperature stability is still 10 times more important than for the 1M.

### **Widerstände – wie man zwei Vorzugswerte verbindet, um jeden gewünschten Wert zu erhalten.**

Bevorzugte Werte zu nicht bevorzugten Widerstandswerten zu machen, kann ein langwieriger Vorgang sein, besonders wenn man alle praktischen Kombinationen wissen will, durch die sich der gewünschte Wert ergibt. Wir haben das Problem gelöst, indem wir ein geeignetes Rechnerprogramm entwickelten, dessen Ausdruck nachstehend wiedergegeben ist. Wir besprechen ferner die Auswirkungen der Toleranz auf die Genauigkeit der endgültigen Werte.

Bei Aufkommen einer neuen Generation Allzweck-Widerstände (z.B. Metallglasur), kann man viel größere Ansprüche an ihre Funktion stellen. Insbesondere haben sie einen derartigen Temperaturkoeffizienten und langfristige Stabilität, daß sie hochgradig stabile oder präzise Widerstände in vielen Ausführungen ersetzen können.

Dann sieht man sich dem Problem gegenüber, wie man diese kritischen Werte zwischen den Standardwerten mit so wenig Widerständen wie möglich (am besten zwei) erzielt. Das sogenannte "Padding" ist weitgehend bekannt, bei dem man einen kleinen Widerstand in Serie oder einen großen Widerstand parallel dem Hauptwiderstand zufügt, um den Gesamtwert nach oben oder unten zu bringen, bis er stimmt.

Dieses Verfahren könnte leistungsfähiger sein, da hierbei nicht die Verwendung von zwei Widerständen eines ähnlichen Wertes berücksichtigt wird. Hier kommt die anhängende Tabelle zur Geltung.

In dieser Tabelle sind in numerischer Reihenfolge alle Werte zwischen eins und zehn angegeben, die durch zwei Widerstände mit (bevorzugtem) Standardwert von 10%igen Bereich entstehen können, die entweder parallel oder in Serie geschaltet sind. Das beschränkt jedoch die Tabelle nicht auf eine Dekade, da die gesamte Tabelle mit 10 multipliziert werden kann.

Um die Kombinationsmöglichkeiten auf einen angemessenen und zu rechtfertigenden Wert zu beschränken, wird die Beschränkung aufgelegt, daß das Verhältnis der beiden Werte nicht über 100:1 oder unter 1:100 liegen kann. Die Tabelle enthält die Kombinationswerte, die im Durchschnitt 0,36% auseinanderliegen, und normalerweise gibt es mehrere Kombinationen, unter denen man wählen kann.

Angenommen, daß die Schaffung eines nicht standardmäßigen Wertes auch den Zweck hat, einen genauen Wert zu schaffen, dann kann es auf den ersten Blick erscheinen, daß diese Tabellen nur dann nützlich sind, wenn alle Standard-Widerstände genau ihren Nennwiderstand aufweisen. Das trifft nicht zu, jedoch haben wir in jedem Fall festgestellt, daß moderne 5%ige Werte eine sehr geringe Schwankung aufweisen, typischerweise um 2% und sich ziemlich nahe um den Nennwert bewegen.

Wenn es nicht möglich ist, Widerstände aus einer Charge zu wählen, indem man sie mißt, ist es nötig, wenigstens bei einem der beiden einen Widerstand mit genauerer Toleranz zu benutzen, um die gewünschte Genauigkeit zu erzielen.

Denken wir einmal an die Art und Weise, in der die Regelabweichung des gemischten Widerstandes von der Toleranz oder der Regelabweichung der beiden Einzelwiderstände abhängt. Rechnerisch drückt sich das so aus:  $eR = eR_1 + eR_2$  für die in Serie geschalteten Widerstände, wobei  $eR$  die Regelabweichung des gemischten Registers  $R$  und  $eR_1$  und  $eR_2$  die Regelabweichungen der beiden in Serie geschalteten Widerstände sind.

Da für  $R_1$  und  $R_2$  normalerweise Toleranzen (prozentual) angegeben werden und nicht die eigentlichen Regelabweichungen, kann die vorstehende Gleichung besser wie folgt lauten:

$$T = \frac{T_1 R_1 + T_2 R_2}{R_1 + R_2}$$

wobei  $T$  = Toleranz in Prozent ausgedrückt wird. Es ist zu bemerken, daß falls ein Widerstand viel größer ist als der andere, die Genauigkeit des großen Widerstandes viel kritischer betrachtet werden muß.

In ähnlicher Weise kann man von der parallelen Kombination folgende Gleichung ableiten:

$$T = \frac{T_1/R_1 + T_2/R_2}{1/R_1 + 1/R_2}$$

Es ist zu berücksichtigen, daß hier, wenn ein Widerstand viel größer als der andere ist, die Genauigkeit des kleineren als viel zwingender betrachtet werden muß.

In den vorstehenden Gleichungen kann  $T$  durch den Temperaturkoeffizienten ersetzt werden, was bedeutet, daß die Vorbedingungen für den Temperaturkoeffizienten auch bei einem Widerstand kritischer sind als beim anderen.

Wenn die Regelabweichung eines gemischten Widerstandes auf ein Mindestmaß beschränkt werden soll, sollte der Beitrag der Gesamtgenauigkeit der einzelnen Widerstände (in Toleranz oder Temperaturkoeffizient) gleich sein. Das bedeutet, daß das Verhältnis (umgekehrtes Verhältnis) der einzelnen Regelabweichungen bei Serienschaltung (Parallelschaltungen) größer sein sollte als das Verhältnis der Einzelwiderstände.

Aus diesen Erwägungen kann man ein allgemeines Verfahren entwickeln, um durch Benutzung der beigefügten Tabellen die einzelnen Widerstandswerte zu erreichen:

(1) Man sucht aus den Tabellen eine passende Kombination. Eine Kombination, bei der das Widerstandsverhältnis ziemlich groß ist, kann von Vorteil sein, da dies bedeutet, daß die Bedingungen für Nullabweichung und Temperaturkoeffizient nur für einen der beiden Widerstände kritisch sind.

(2) Der größere (kleinere) Widerstand in der Serienschaltung (Parallelschaltung) ist der kritischste, da er den größten Teil des Temperaturkoeffizienten und der langfristigen Regelabweichung insgesamt beiträgt. Der Wert dieses Widerstandes sollte ziemlich nahe am Nenwert liegen.

(Bei den meisten Ansendungen reicht ein normaler metallglasierter Widerstand absolut aus, jedoch würde bei anspruchsvolleren Anwendungen ein hochgradig stabiler Elektrolyt-Widerstand von Vorteil sein).

(3) Bei Serienschaltung (Parallelschaltung) ist insofern ein kleinerer (größerer) Wert zu wählen, so daß sich die gemessene Kombination in annehmbaren Grenzen bewegt.

(4) Es ist möglich, daß der Wertebereich des in Schritt (3) erwähnten Widerstandes keinen Wert erzeugt, der in der gewünschten Toleranz liegt. In diesem Fall ist zu Schritt (2) zurückzugehen und ein anderer Wert zu wählen.

Das vorstehende Verfahren wird angewandt, wenn Widerstände aus einer Partie gewählt werden. Das bedeutet, daß Toleranzen unbedeutend sind. Wichtig sind Temperaturstabilität und langfristige Stabilität.

Beispiel: Ein Widerstand von 91 k plus/minus 2% ist erforderlich. Die Tabelle gibt an, daß man 9,091 durch Parallelschaltung von 10 und 100 erzielen kann. Die erforderlichen Widerstände sind also 100k und 1M parallelgeschaltet. Wenn eine Wahl nicht möglich ist, betragen die Toleranzen 1% bzw. 10%. Wenn natürlich die zweite Toleranz besser als 10% ist, kann dies nicht schaden.

Wenn die Wahl möglich ist, würde man Widerstände von 1M (mit jeder Toleranz) wählen, bis sich durch Kombination ein Wert zwischen 89k und 93k ergibt. In diesem Fall ist die Toleranz von 100k unbedeutend, jedoch ist die Temperaturstabilität immer noch zehnmal wichtiger als bei 1M.

## **Résistances — Comment combiner deux valeurs préférées pour obtenir toute valeur désirée**

La production de valeurs de résistance non préférées à partir de valeurs préférées peut prendre longtemps, particulièrement quand on veut connaître toutes les combinaisons

pratiques qui fourniront la valeur désirée. Nous avons résolu le problème par la réalisation d'un programme d'ordinateur approprié dont nous reproduisons ici la restitution imprimée. Nous considérons aussi les effets de la tolérance sur la précision de la valeur finale.

A la suite de l'avènement de la nouvelle génération de résistances toutes fins (par ex. émaillage) il est possible d'en exiger une bien meilleure performance. En particulier, leur coefficient de température et leur stabilité à long terme sont tels qu'elles peuvent remplacer des résistances à haute stabilité ou de précision dans de nombreuses circonstances de conception.

Le problème qui se pose alors est celui d'établir ces valeurs difficiles, entre les valeurs standards, avec le nombre le plus réduit de résistances (nous supposons, deux). La pratique du "padding" est bien connue, selon laquelle on ajoute une petite résistance en série, ou une grande résistance en parallèle, à la résistance principale pour régler la valeur générale en plus ou en moins jusqu'à l'obtention de la bonne. Cette méthode n'est pas aussi efficace que possible, car elle ne tient pas compte de l'utilisation de deux résistances de valeur analogue. C'est là où le tableau en annexe devient utile.

Ce tableau donne, par ordre numérique, toutes les valeurs de un à dix qui peuvent être obtenues au moyen de deux résistances de valeurs standards (préférées), de la gamme des 10%, reliées soit en parallèle ou en série. Cela ne limite pas le tableau à une décade, vu que le tableau entier pourra être multiplié par des facteurs de 10.

Afin de limiter le nombre de combinaisons à un chiffre raisonnable et justifiable, on applique la contrainte que le taux des deux valeurs ne soit pas supérieur à 1 : 100. Le tableau donne des valeurs de combinaison qui, en moyenne, sont séparées de 0,36% et, normalement, le choix peut s'effectuer parmi plusieurs combinaisons présentées.

En supposant que le but de la création d'une valeur nonstandard soit aussi la création d'une valeur précise, il pourrait sembler tout d'abord que ces tableaux ne sont utiles que si toutes les résistances standards ont exactement leur résistance nominale. Il n'en est point ainsi mais, de toutes façons, j'ai constaté que les valeurs 5% modernes ont un centenaire très réduit, qui est typiquement de l'ordre de 2%, et se centrent de très près sur la valeur nominale.

S'il n'est pas possible de sélectionner des résistances d'un jeu en les mesurant, il sera nécessaire de faire appel à une résistance à tolérance plus stricte pour au moins une des deux afin d'obtenir le degré de précision désiré.

Étudions la façon dont l'erreur de la résistance composée dépend de la tolérance ou erreur des deux résistances individuelles. En termes mathématiques:  $eR = eR_1 + eR_2$  dans le cas des résistances en série où  $eR$  représente l'erreur du registre composé  $R$ , et  $eR_1$  et  $eR_2$  sont les erreurs des deux résistances en série.

Vu que des tolérances (en termes de pourcentage) plutôt que des erreurs effectives sont normalement indiquées pour  $R_1$  et  $R_2$ ,

l'expression ci-dessus pourra être indiquée plus utilement ainsi:

$$T = \frac{T1R1 + T2R2}{R1 + R2}$$

dans laquelle T est la tolérance exprimée comme pourcentage. A noter que si une résistance est bien plus grande qu'une autre, les besoins de précision pour la plus grande résistance s'imposent de manière bien plus stricte.

De même, il sera possible de dériver une expression pour la combinaison parallèle

$$T = \frac{T1/R1 + T2/R2}{1/R1 + 1/R2}$$

A noter qu'ici si une résistance est bien plus grande que l'autre, les besoins de précision pour la plus petite résistance s'imposent de manière bien plus stricte.

Dans les expressions ci-dessus T pourra être remplacé par le coefficient de température, indiquant que les besoins pour les coefficients de température pourront aussi être plus stricts pour une résistance que pour l'autre.

Si on veut réduire au minimum l'erreur de la résistance de compromis, la contribution à la précision générale par les résistances individuelles (soit en tolérance, soit en coefficient de température) devra être la même dans les deux cas. Cela implique que le rapport (rapport inverse) des erreurs individuelles dans le cas série (cas parallèle) ne devra pas être supérieur au rapport des résistances individuelles.

Sur la base de ces considérations on pourra élaborer une marche à suivre générale pour l'obtention de valeurs de résistances dépareillées en se servant des tableaux en annexe:

(1) Trouver aux tableaux une combinaison pratique. Une combinaison où le rapport de résistance est plutôt grand pourrait être avantageuse, vu que cela veut dire que les besoins de dérive et de coefficient de température sont critiques pour seulement une des deux résistances.

(2) La résistance la plus grande (la plus petite) dans une configuration en série (parallèle) est la plus critique vu qu'elle contribuera la plus grande partie du coefficient de température général et de la dérive à long terme. La valeur de cette résistance devra être assez proche de la valeur nominale.

(Dans la plupart des applications une résistance émaillée normale pourra suffire, mais une résistance à haute stabilité Electrosl serait avantageuse dans des applications plus impératives).

(3) Pour une configuration en série (parallèle) choisir la valeur plus petite (plus grande) de sorte que la combinaison mesurée soit endéans d'une tolérance acceptable.

(4) Il est possible que la gamme de valeurs pour la résistance mentionnée au stade (3) soit incapable de produire une valeur endéans de la tolérance requise. Dans ce cas il sera nécessaire de revenir au stade (2) et de choisir une autre valeur.

La marche à suivre ci-dessus s'adopte lorsque les résistances sont choisies dans un lot. Cela veut dire que les tolérances sont sans importance. Ce qui importe est la stabilité de température et la stabilité à long terme.

Un exemple: On recherche une résistance de 9 1 k, plus ou moins 2%. Le tableau indique qu'on pourra obtenir 9,091 en mettant en parallèle 10 et 100. Ainsi, les résistances requises sont 100k et 1M en parallèle. Les tolérances, si la sélection n'est pas possible, seront 1% et 10% respectivement. Naturellement, si la deuxième tolérance est meilleure que 10% cela ne sera pas nuisible.

Si une sélection est possible, il conviendrait de choisir des résistances de 1M (toutes tolérances) jusqu'à ce que la combinaison fournisse une valeur entre 89k et 93k. Dans ce cas, la tolérance de la 100k est sans importance, mais la stabilité de température est toujours 10 fois plus importante que pour la 1M.

### **Weerstanden — How men twee voorkeurwaarden kan combineren om elke gewenste waarde te verkrijgen.**

Het uit voorkeurwaarden verkrijgen van niet-voorkeurwaarden voor weerstanden kan een omslachtige taak zijn, vooral indien men alle praktische combinaties wenst te weten welke de verlangde waarden geven. Wij hebben het probleem opgelost door een passend computer-program ti ontwikkelen waarvan de print-out hier wordt weergegeven. Tevens worden de effecten van de tolerantie op de nauwkeurigheid van de eindwaarde besproken.

Met de komst van de nieuwe generatie weerstanden voor algemene doeleinden (bijv. metaalglazuur) is het mogelijk veel hogere eisen aan hun functie te stellen. Vooral hun temperatuurscoëfficiënt en stabiliteit op lange termijn is zondanig, dat zij bij vele toepassingen hogestabiliteits- en precisieweerstanden kunnen vervangen.

De moeilijkheid is echter hoe men deze, tussen de standaardwaarden liggende, onhandige waarden met de minste weerstanden (vermoedelijk twee) samen kan stellen. Men kent het z.g. "padding", waarbij een kleine weerstand in serie of een grote weerstand parallel met de hoofdweerstand wordt toegevoegd om de totale waarde naar boven of beneden bij te werken, totdat deze juist is.

Deze methode is niet erg doelmatig, omdat het gebruik van twee weerstanden van gelijksoortige waarde niet in aanmerking wordt genomen. In dat geval komt de bijgaande tabel van pas.

Deze table vermeldt in getallenvolgorde alle waarden tussen één en tien wleke met twee weerstanden met standaard(voorkeur)waarden uit de 10% reeks, in serie of parallel geschakeld, kunnen worden samengesteld. De tabel wordt hierdoor niet tot een tiental waarden beperkt, daar het geheel met factoren van 10 kan worden vermenigvuldigd.

Om de combinaties tot een redelijk aantal te beperken, wordt bepaald, dat de verhouding van twee waarden niet groter dan 100:1 of minder dan 1:100 is. De in de table aangegeven combinatiewaarden liggen gemiddeld 0,36% van elkaar en normaal zijn er meerdere combinaties waaruit men kan kiezen.

Indien men aanneemt, dat het samenstellen van een niet-standaardwaarde tevens de samenstelling van een precisiewaarde ten doel heeft, is de eerste indruk, dat deze tabellen slechts van nut zijn mits alle standaardweerstandens precies hun nominale weerstand hebben. Dit is onjuist, maar tevens heb ik ondervonden, dat moderne 5% waarden eern zeer geringe afwijking hebben van ongeveer 2%, welke dicht bij de nominale waarde ligt.

Indien het niet mogelijk is de weerstanden door meting uit een partij te selekteren, is het nodig, dat men voor tenminste één van de twee een weerstand met een kleinere tolerantie gebruikt teneinde de verlangde nauwkeurigheid te verkrijgen.

Wij dienen nu te beschouwen hoe de afwijking van de samengestelde weerstand afhangt van de tolerantie of de afwijking van de twee afzonderlijke weerstanden. Wiskundig uitgedrukt:  $eR$   $eR_2$  voor een serieweerstand waarin  $eR$  de afwijking van de samengestelde weerstand  $R$  voorstelt en  $eR_1$  en  $eR_2$  de afwijkingen van de twee serieweerstanden.

Daar toleranties voor  $R_1$  en  $R_2$  meestal in percentages worden uitgedrukt in plaats van feitelijke afwijkingen, kan de voorgaande uitdrukking op een nuttige manier a.v. worden weergegeven:

$$T = \frac{T_1 R_1 + T_2 R_2}{R_1 + R_2}$$

waarin  $T$  de tolerantie, uitgedrukt als een percentage, voorstelt. Opgemerkt dient te worden, dat indien één weerstand veel groter is dan de andere, da nauwkeurigheidseisen voor de grote weerstand veel hogen zijn.

Men kan op soortgelijke wijze een uitdrukking afleiden voor de parallelkombinatie:

$$T = \frac{T_1/R_1 + T_2/R_2}{1/R_1 + 1/R_2}$$

Hier dient opgemerkt te worden, dat indien één weerstand veel groter is dan de andere, de nauwkeurigheidseisen voor de kleinste veel hoger zijn.

In bovenstaande formules kan  $T$  door de temperatuurscoëfficiënt worden vervangen, waardoor wordt aangeduid, dat de eisen voor de temperatuurscoëfficiënten van de ene weerstand eveneens hoger zijn dan voor die van de andere.

Indien men de afwijking van de compromisweerstand zo gering mogelijk wenst te houden, dient de bijdrage door de afzonderlijke weerstanden tot de algehele nauwkeurigheid (wat betreft tolerantie en temperatuurscoëfficiënt) gelijk te zijn. Dit houdt in, dat de verhouding (omgekeerde verhouding) van de afzonderlijke afwijkingen in het geval van de serieschakeling (parallelschakeling) niet groter dient te zijn dan de verhouding tussen de afzonderlijke weerstanden.

Aan de hand van deze rendenering kan men een algemene methode ontwikkelen voor het verkrijgen van ongewone weerstandswaarden met gebruik van de bijgaande tabellen:

(1) Zoek een geschikte combinatie op in de tabellen. Bij voorkeur een combinatie met een vrij grote weerstandsverhouding, daar dit betekent dat de eisen voor waardeafwijkingen en temperatuurscoëfficiënt slechts voor een van de twee weerstanden kritisch zijn.

(2) De grote (kleine) weerstand van een serie (parallel) groepering is de meest kritische, daar deze verantwoordelijk is voor het grootste deel van de totale temperatuurscoëfficiënt en afwijking op lange termijn. De waarde van deze weerstand dient vrij dicht bij de nominale waarde te liggen.

(Voor de meeste toepassingen is een normale metaalglazuur-weerstand voldoende, maar een Electrolyt hogestabiliteitsweerstand is beter voor de meer veeleisende toepassingen).

(3) Kies voor een serie (parallel) groepering de kleinste (grootste) waarde zodat de gemeten combinatie binnen aanvaardbare toleranties valt.

(4) Het is mogelijk, dat uit de reeks waarden voor de in stap (3) vermelde weerstand geen binnen de verlangde tolerantie vallende waarden kan worden verkregen. In dat geval moet men naar stap (2) teruggaan om een andere waarde te kiezen.

De bovenstaande methode wordt gebruikt bij het selecteren van weerstanden uit een partij. Dit betekent, dat de toleranties onbelangrijk zijn. De temperatuurstabiliteit en de stabiliteit op lange termijn zijn in dit geval echter wel belangrijk.

Voorbeeld: Men heeft een weerstand van 91k, plus of minus 2%, nodig. De tabel toont, dat 9,091 kan worden verkregen door 10 en 100 parallel te schakelen. De verlangde weerstanden zijn dus 100k en 1M, parallel geschakeld. Indien selectie niet mogelijk is, zijn de toleranties respectievelijk 1% en 10%. Indien de tweede tolerantie beter dan 10% is, kan dit natuurlijk geen kwaad.

Indien selectie mogelijk is, kiest men 1M weerstanden (ongeacht de tolerantie) totdat een combinatie tussen 89k en 93k wordt verkregen. In dit geval is de tolerantie van de 100k niet van belang, maar de temperatuurstabiliteit is echter 10 maal zo belangrijk als voor de 1M.

## **Resistenze; come combinare due resistenze di valore standard per ottenere un qualsiasi valore voluto.**

Produrre valori non standard di resistenza servendosi di valori standard può rappresentare un lunghissimo lavoro, particolarmente se si vogliono conoscere tutte le combinazioni pratiche che daranno il valore voluto. Noi abbiamo risolto il problema mettendo a punto un opportuno programma per elaboratore elettronico, del quale



riproduciamo qui sotto il testo. Trattiamo inoltre degli effetti della tolleranza sull'esattezza del valore finale.

Con l'avvento della nuova generazione di resistenze per usi multipli (per esempio metalli smaltati) è possibile pretendere molto di più dalla loro funzione. Più particolarmente il loro coefficiente di temperatura e la loro stabilità di grande durata sono tali che in molte condizioni di progettazione possono sostituire le resistenze di alta stabilità e precisione.

Il problema consiste quindi nel riuscire a stabilire questi difficili valori fra i valori standard con il numero minimo possibile di resistenze (presumibilmente due). Il metodo del "padding" ("imbottitura") è ben noto, e consiste nell'aggiungere una piccola resistenza in serie o una grande in parallelo alla resistenza principale per aumentare o diminuire il valore complessivo, fino a raggiungere il valore voluto.

Questo metodo non è il migliore, dato che non prende in considerazione la possibilità di usare due resistenze del medesimo valore. E qui appunto si manifesta l'utilità della tabella allegata.

Questa tabella presenta in ordine numerico tutti i valori fra uno e dieci che possono ottenersi servendosi di due resistenze di valore standard, dalla gamma di 10%, collegate in serie o in parallelo. Questo non limita la tabella ad una diecina unica, dato che l'intera tabella può moltiplicarsi per multipli di dieci.

Per limitare il numero di combinazioni ad un livello ragionevole e giustificabile, si applica la limitazione in base alla quale il rapporto fra i due valori non superi 100:1 e non sia inferiore a 1:100. La tabella presenta valori di combinazione la cui differenza media è di 0,36 e che offrono generalmente diverse combinazioni fra le quali scegliere.

Presumendo che lo scopo di creare un valore non standard sia anche di creare un valore esatto, può sembrare a prima vista che queste tabelle utili solo a condizione che tutte le resistenze standard abbiano esattamente la loro resistenza nominale. Non è così, ma in ogni caso ho riscontrato che i moderni valori di 5% hanno differenze molto piccole, generalmente dell'ordine del 2%, e si avvicinano molto al loro valore nominale.

Se non è possibile scegliere una resistenza da una partita ricorrendo alla taratura, occorrerà usare una resistenza a tolleranza più stretta per almeno una delle due per garantire l'esattezza voluta.

Esaminiamo in che modo l'errore della resistenza composta dipende dalla tolleranza o dall'errore delle due resistenze singole. In termini matematici:  $eR = eR_1 + eR_2$  per il caso della resistenza in serie in cui  $eR$  rappresenta l'errore del registro composto  $R$ , e  $eR_1$  ed  $eR_2$  sono gli errori dei due resistori in serie.

Dato che generalmente per  $R_1$  e  $R_2$  si prendono in esame le tolleranze (in termini di percentuali), e non gli errori effettivi sarà più utile formulare la precedente espressione nella maniera seguente:

$$T = \frac{T1/R1 + T2/R2}{R1 + R2}$$

in cui T è la tolleranza espressa in percentuale. Notare che se una resistenza è molto più grande dell'altra, le esigenze di esattezza di quella più grande sono molto più severe.

Allo stesso modo un'espressione può dedursi per la combinazione in parallelo:

$$T = \frac{T1/R1 + T2/R2}{1/R1 + 1/R2}$$

Notare che se una resistenza è molto più grande dell'altra, le esigenze di esattezza di quella più piccolo sono molto più severe.

Nelle espressioni qui sopra T può essere sostituito dal coefficiente di temperatura, per indicare che anche le esigenze dei coefficienti di temperatura possono essere più severe per una resistenza che per un'altra.

Per ridurre al minimo l'errore della resistenza di compromesso il contributo dell'esattezza complessiva da parte delle resistenze singole (per tolleranza o coefficiente di temperatura) deve essere uguale. Questo significa che il rapporto (rapporto inverso) degli errori singoli nel caso del collegamento in serie (caso del collegamento in parallelo) non deve superare il rapporto delle resistenze singole.

Dalle considerazioni sopra menzionate si può dedurre un procedimento generale per ottenere valori disparati di resistenza usando le tabelle accluse:

(1) Trovare una combinazione opportuna dalle tabelle, nella quale il rapporto di resistenza sia piuttosto ampio, in quanto questo può rappresentare un vantaggio, perché significa che la deriva e il coefficiente di temperatura sono critici solo per una delle due resistenze.

(2) La resistenza più grande (più piccola) di una configurazione in serie (in parallelo) è la più critica in quanto contribuisce la massima parte del coefficiente complessivo di temperatura e della deriva a lungo termine. Il valore di tale resistenza dovrebbe essere abbastanza vicino a quello nominale

(Nella massima parte delle applicazioni può essere sufficiente una normale smaltatura metallica, mentre una resistenza ad alta stabilità Electrolyl presenterebbe dei vantaggi in applicazioni che esigano prestazioni più alte)

(3) Per una configurazione in serie (parallelo) scegliere il valore minimo (massimo) che garantisca che la combinazione misurata si trovi entro un limite accettabile di tolleranza.

(4) E' possibile che la gamma di valori per la resistenza menzionata nel paragrafo (3) non possa produrre un valore che rientri nei limiti voluti di tolleranza. In tal caso sarà opportuno retrocedere al paragrafo (2) e svegliere un valore diverso.

La procedura descritta qui sopra viene usata quando le resistenze vengono prelevate da una partita. Questo significa che le tolleranze non hanno importanza. Quello che conta sono la stabilità alla temperatura e quella a lungo termine.

Un esempio: Occorre una resistenza di  $91k \pm 2\%$ . La tabella nostra come si possa ottenere  $9,0911k$  mettendo in parallelo  $10$  e  $100$ . Le resistenze occorrenti sono quindi  $100k$  e  $1M$  in parallelo. Le tolleranze, se la selezione risulta impossibile, saranno rispettivamente  $1\%$  e  $10\%$ . Naturalmente, se la seconda tolleranza è migliore del  $10\%$ , tanto meglio.

Se la selezione è possibile, si dovrebbero scegliere resistenze  $1M$  (con qualsiasi tolleranza) fino a quando la combinazione dà un valore fra  $89k$  e  $93k$ . In tal caso la tolleranza del  $100k$  non ha importanza, ma la stabilità alla temperatura rimane  $10$  volte più importante per  $1M$ .

### **Resistores. — Cómo se combinan dos valores preferidos para realizar cualquier valor que se requiera.**

La producción de valores no preferidos para resistencias partiendo de valores preferidos puede ser un ejercicio prolongado, sobre todo si se desean saber todas las combinaciones prácticas que darán el valor deseado. Hemos resuelto este problema creando un programa de calculadora apropiado, cuyo estampado se reproduce aquí. Tratamos asimismo de los efectos de la tolerancia sobre la exactitud del valor definitivo.

Con la llegada de la nueva generación de resistores para usos generales (p.ej. de vidrio metálico), es posible exigir muchísimo más de sus funciones. En particular, es tal su coeficiente de temperatura y su estabilidad a largo plazo, que pueden sustituir a los resistores de alta estabilidad o de precisión en muchas circunstancias del diseño.

El problema consiste pues en cómo se crearán aquellos valores irregulares entre los valores de norma, con el uso del mínimo de resistores (por supuesto dos). La práctica de "rellenar" es bien conocida, por la cual se añade un pequeño resistor en serie, o un gran resistor en paralelo, al resistor principal, con el fin de ajustarse al valor total que se requiere, aumentando o disminuyendo hasta que el valor es correcto.

Este método no es tan eficiente como podría ser, puesto que no se considera en él el uso de dos resistores de valor próximo. Ahí es donde viene la tabla que se adjunta.

Esta tabla da, en orden numérico, todos los valores entre uno y diez que se pueden constituir con dos resistores de valor standard (preferido), desde la gama de  $10\%$ , conectados ya sea en paralelo o en serie. Esto no limita la tabla a una década, puesto que la tabla entera se puede multiplicar por factores de  $10$ .

Para limitar el número de combinaciones a una cifra razonable y justificable, se aplica la restricción de que la relación entre los dos valores no es superior a  $100:1$  ni inferior a  $1:100$ . La tabla da valores de combinación que están, en promedio, distanciados entre sí en  $0,36\%$ , y existen normalmente varias combinaciones entre las que se puede escoger.

Suponiendo que el objeto de crear un valor que no es standard es también el de crear un valor preciso, podrá parecer a primera vista que estas tablas son útiles solamente si todas las resistencias standard tienen exactamente su resistencia nominal. Esto no es así, pero he encontrado en todo caso que los valores modernos de 5% tienen una variación muy pequeña, típicamente del orden de 2%, hallándose centrados a mucha proximidad del valor nominal.

Si no es posible escoger resistores de una colección midiéndolos, será necesario usar un resistor de tolerancia más estrecha para por lo menos uno de los dos, si se desea conseguir la exactitud deseada.

Consideremos la manera en que el error del resistor compuesto depende de la tolerancia o del error de los dos resistores individualmente. En términos matemáticos:  $eR = eR_2$  para el caso de la resistencia en serie, en que  $eR$  es el error del resistor compuesto  $R$ , y  $eR_1$  y  $eR_2$  son los errores de los dos resistores en serie.

Como normalmente se hacen constar para  $R_1$  y  $R_2$  las tolerancias (en términos de porcentaje) más bien que los errores efectivos, la expresión que antecede se podrá consignar de una manera más útil como sigue:

$$T = \frac{T_1 R_1 + T_2 R_2}{R_1 + R_2}$$

en que  $T$  es tolerancia, expresada en porcentaje. Obsérvese que, si un resistor es mucho más grande que el otro, son mucho más estrictos los requisitos en exactitud del mayor de los dos.

De una manera semejante, se puede derivar una expresión para la combinación en paralelo:

$$T = \frac{T_1/R_1 + T_2/R_2}{1/R_1 + 1/R_2}$$

Obsérvese que aquí, si un resistor es mucho más grande que el otro, son mucho más estrictos los requisitos en exactitud del menor de los dos.

En las expresiones que anteceden, puede sustituirse  $T$  por el coeficiente de temperatura, lo que indicará que los requisitos en coeficientes de temperatura pueden también ser más estrictos para un resistor que para el otro.

Si se desea reducir al mínimo el error del resistor adecuado, deberá ser igual la contribución (ya en tolerancia o en coeficiente de temperatura) de los resistores individualmente a la exactitud del conjunto. Esto quiere decir que la relación (relación inversa) de los errores individualmente en los casos en serie (casos en paralelo) no deberá ser mayor que la relación de los resistores individualmente.

Partiendo de estas consideraciones, se puede poner a punto un procedimiento general para la realización de valores de resistencia irregulares utilizando las tablas adjuntas:

1) A base de las tablas, encontrar una combinación conveniente. Puede ser ventajosa una en que sea bastante grande la relación entre las resistencias, puesto que así sólo son críticos para uno de los dos resistores los requisitos en variación y en coeficiente de temperatura.

2) El mayor (menor) resistor en una configuración en serie (en paralelo) es el más crítico, pues es el que contribuye la mayor parte al coeficiente de temperatura y a la variación a largo plazo. Convendrá que el valor de este resistor sea bastante próximo al nominal.

(En la mayoría de las aplicaciones, podrá resultar perfectamente adecuado un resistor normal de vidriado metálico, pero en aplicaciones que sean más exigentes será más ventajoso un resistor Electrolyl de alta estabilidad.)

3) Para una configuración en serie (en paralelo), escoger el valor menor (mayor) de manera que la combinación medida esté dentro de una tolerancia aceptable.

4) Es posible que la gama de valores para el resistor indicado en el apartado 3) no pueda producir un valor dentro de la tolerancia que se requiere. En este caso será necesario volver al apartado 2) y escoger otro valor.

El procedimiento que acabamos de detallar se practica cuando se escogen resistores de un lote. Esto quiere decir que no tienen importancia las tolerancias. Lo que importa es la estabilidad en la temperatura y la estabilidad a largo plazo.

Ejemplo : Se requiere una resistencia de 91k, más o menos 2%. La tabla indica que se puede realizar 9,091 poniendo en paralelo 10 y 100. Así pues los resistores que se requieren son 100k y 1M en paralelo. Las tolerancias, si no es posible la selección, serán 1% y 10% respectivamente. Desde luego, si puede ser de menos de 10% la segunda tolerancia, no irá mal.

Si es posible la selección, el procedimiento consistirá en escoger resistores de 1M (de cualquier tolerancia) hasta que la combinación dé un valor entre 89k y 93k. En este caso la tolerancia del 100k no tiene importancia, pero la estabilidad en la temperatura es todavía 10 veces más importante que en la 1M.

## **Resistores — Como Combinar Dois Valores Preferidos para Obter Qualquer Valor Necessário.**

A produção de valores de resistência não preferidos a partir de valores preferidos pode ser um processo demorado, especialmente quando se deseja saber todas as combinações práticas que produzirão o valor necessário. Resolvemos o problema evoluindo um programa de computador apropriado cujo formulário de saída se encontra reproduzido aqui. Discutimos também os efeitos da tolerância na exatidão do valor final.

Com o advento da nova geração geral (de vidrado metálico, por exemplo) é possível impor uma exigência muito maior na sua função. Em particular, o seu coeficiente de temperatura e a sua estabilidade a longo termo são tais que podem substituir os resistores

de alta estabilidade ou de precisão em muitas circunstâncias de projeto.

O problema é então como constituir aqueles valores difíceis, entre os valores normais, com o mínimo de resistores (presumivelmente dois). A prática de "enchimento" é bem conhecida, segundo a qual se adiciona um resistor pequeno em série ou um resistor grande em paralelo ao resistor principal pra ajustar o valor global para mais ou para menos até que estiver correto.

Este método não é mais eficiente possível pois não considera o uso de dois resistores de valor semelhante. Aqui é que o quadro anexo tem a sua utilidade.

Este quadro exhibe, em ordem numérica, todos os valores entre um e dez que podem ser constituídos com dois resistores de valor normal (preferido), da gama de 10%, ligados ou em paralelo ou em série. Isto não limita o quadro a uma década pois o quadro todo pode ser multiplicado por fatores de 10.

A fim de limitar o número de combinações a uma cifra razoável e justificável aplica-se o constrangimento de que a relação dos dois valores não seja maior do que 100:1 nem menor do que 1:100. O quadro apresenta valores de combinação que se distam, em média, de 0,36% e normalmente ha várias combinações dentre as quais se pode escolher.

Dado que a finalidade de criar um valor anormal é também de criar um valor exato, pode parecer de início que estes quadros só têm utilidade na condição de que todos os resistores normais tenham exatamente a sua resistência nominal. Isto não é verdade mas, em todo o caso, tenho verificado que os valores modernos de 5% têm uma extensão muito reduzida, tipicamente da ordem dos 2%, e se centram bem próximos ao valor nominal.

Se não for possível selecionar resistores de um lote pela sua medição, será necessário usar um resistor de uma tolerância mais próxima para pelo menos um dos dois a fim de conseguir a exatidão desejada.

Consideremos a maneira pela qual o erro do resistor composto depende da tolerância ou do erro dos dois resistores individuais. Em termos matemáticos:  $eR = eR_1 + eR_2$  para o caso da resistência em série no qual  $eR$  representa o erro do resistor composto  $R$ , sendo  $eR_1$  e  $eR_2$  representativos dos erros dos dois resistores em série.

Visto que normalmente se citam as tolerâncias (em termos de percentagem) ao em vez dos erros efetivos para  $R_1$  e  $R_2$ , a expressão acima pode ser externada mais proveitosamente como:

$$T = \frac{T_1 R_1 + T_2 R_2}{R_1 + R_2}$$

onde o  $T$  representa a tolerância, expressa como percentagem. Deve-se notar que se um resistor for muito maior do que o outro as exigências de exatidão para o maior são muito mais imperativas.

Pode-se derivar, de maneira semelhante, uma expressão para a combinação em paralelo:

$$T = \frac{T1/R1 + T2/R2}{1/R1 + 1/R2}$$

Note-se que aqui, sendo um resistor muito maior do que o outro, as exigências de exatidão para o menor são muito mais imperativas.

Na expressão acima o T pode ser substituído pelo coeficiente de temperatura, indicando que as exigências para os coeficientes de temperatura também podem ser mais estritas para um resistor do que para o outro.

Se é que o erro do resistor composto vai ser reduzido ao mínimo, a contribuição para a exatidão global por parte dos resistores individuais (em termos tanto de tolerância como de coeficiente de temperatura) deve ser igual. Isto traz consigo que a relação (relação inversa) dos erros individuais no caso de série (caso de paralelo) não deva ser maior do que a relação dos resistores individuais.

A partir destas considerações pode ser desenvolvido um procedimento geral para se conseguir, empregando os quadros anexos, os valores de resistência ímpares:

(1) Usando os quadros, procure uma combinação conveniente. Uma na qual a relação de resistência seja bastante grande pode oferecer maior vantagem já que isto significa que a deriva e as exigências do coeficiente de temperatura são críticas para apenas um dos dois resistores.

(2) O resistor maior (menor) numa configuração de série (paralelo) é o mais crítico visto que contribuirá a maior parte do coeficiente de temperatura global e da deriva a longo termo. O valor deste resistor deve ser bastante próximo ao nominal.

(Na maioria das aplicações um resistor de vidro metálico pode ser perfeitamente adequado mas um resistor de alta estabilidade Electrosl seria vantajoso nas aplicações mais exigentes).

(3) Para uma configuração de série (paralelo) selecione o valor menor (maior) de tal modo que a combinação medida fique dentro de uma tolerância aceitável.

(4) É possível que a gama de valores para o resistor mencionado em passo (3) seja incapaz de produzir um valor dentro da tolerância necessária. Sendo este o caso, será preciso voltar para o passo (2) e escolher outro valor.

Utiliza-se o procedimento acima quando os resistores estão sendo selecionados de um lote. Isto significa que as tolerâncias não têm importância. O que importa é a estabilidade de temperatura e a estabilidade a longo termo.

Um exemplo: É necessária uma resistência de 91k, mais ou menos 2%. O quadro mostra que se pode conseguir 9,091 pelo paralelismo de 10 e 100. Assim, os resistores necessários são 100k e 1M em paralelo. As tolerâncias, se a seleção não for possível, serão de 1% e 10% respectivamente. Naturalmente, se a segunda tolerância for melhor do que 10% não fará mal nenhum.

Sendo possível a seleção o procedimento seria de selecionar resistores 1M (de qualquer tolerância) até a combinação dar um valor entre 89k e 93k. Neste caso a tolerância do 100k não tem importância, mas a estabilidade de temperatura ainda é 10 vezes mais importante do que para o 1M.

## Modstande - hvorledes to foretrukne værdier kombineres, så de giver enhver ønsket værdi.

Tilvejebringelse af ikke-foretrukne modstandsværdier fra foretrukne værdier kan være en langtrukken opgave, især når det ønskes at bestemme alle de praktiske kombinationer, der vil give den ønskede værdi. Vi har løst problemet ved udvikling af et egnet datamatprogram, hvis printout gengives her. Vi diskuterer også tolerancens virkning på den endelige værdis nøjagtighed.

Med fremkomsten af den nye generation af universalmodstande (f. eks. metalfilmmodstande) er det muligt at stille meget større krav til deres funktion. Især er deres temperaturkoefficient og langtidstabiliteter af en sådan beskaffenhed, at de i mange konstruktionstilfælde kan erstatte højstabile eller præcisionsmodstande.

Problemet består således i at tilvejebringe disse vanskelige værdier imellem standard værdierne ved anvendelse af færrest mulige modstande (sandsynligvis to). Fremgangsmåden ved hjælp af "padding" er velkendt, idet man tilføjer en lille modstand i serie eller en stor modstand i parallel til hovedmodstanden, så totalværdien trimmes op eller ned, indtil den er korrekt.

Denne metode er ikke så effektiv som muligt, da den ikke tager muligheden i betragtning af at bruge to modstande af ensartet værdi. Det er her, den vedlagte tabel kan bruges.

Denne tabel giver i nummerorden alle værdier mellem 1 og 10, der kan laves med to standard modstande af foretrukken værdi fra 10% området, forbundet enten i serie eller i parallel. Dette begrænser ikke tabellen til en decade, da hele tabellen kan ganges med faktorer af 10.

For at begrænse antallet af kombinationer til et rimeligt og forsvarligt tal indføres den begrænsning, at forholdet mellem to værdier ikke overstiger 100:1 eller er mindre end 1:100. Tabellen giver kombinationsværdier, der i gennemsnit ligger 0,36% fra hinanden, og der er normalt adskillige kombinationer at vælge imellem.

Hvis det forudsættes, at formålet med at skabe en ikke-standard værdi også er at skabe en nøjagtig værdi, ser det ved første øjekast ud til, at disse tabeller kun kan bruges, hvis alle standard modstande udviser nøjagtigt deres nominelle modstand. Dette holder ikke stik, men jeg har desuden fundet, at moderne 5% værdier har meget ringe spredning, den typiske størrelsesorden er 2%, og ligger samlet meget tæt ved den nominelle værdi.

Hvis det ikke er muligt at udvælge modstande fra et parti ved at måle dem, vil det være nødvendigt at bruge en modstand med en snævrere tolerance som mindst een af de to for at opnå den ønskede nøjagtighed.



Lad os betragte, hvorledes kombinationsmodstandens fejl afhænger af de to individuelle modstandes fejltolerance. Udtrykt matematisk:  $eR = eR_2$  i tilfælde af seriemodstand, hvor  $eR$  er fejlen i kombinationsmodstanden  $R$ , og  $eR_1$  og  $eR_2$  er de to serieforbundne modstandes fejl.

Da tolerancer (udtrykt i 1%) til fordel for absolutte fejl normalt angives for  $R_1$  og  $R_2$ , kan det ovenstående udtryk opstilles i mere brugbar form som:

$$T = \frac{T_1 R_1 + T_2 R_2}{R_1 + R_2}$$

hvor  $T$  er tolerance, udtrykt i %. Bemærk at hvis den ene modstand er meget større end den anden, er nøjagtighedskravet for den større meget strengere.

På samme måde kan et udtryk udvikles for parallel kombination:

$$T = \frac{T_1/R_1 + T_2/R_2}{1/R_1 + 1/R_2}$$

Bemærk at hvis den ene modstand her er meget større end den anden, er nøjagtighedskravene meget strengere for den mindre.

I det ovennævnte udtryk kan  $T$  erstattes af temperaturkoefficienten, hvilket viser, at kravene til temperaturkoefficienterne også kan være strengere for den ene modstand end for den anden.

Hvis kompromis-modstandens fejl skal gøres mindst mulig, skal de individuelle modstandes bidrag til totalnøjagtigheden (enten med hensyn til tolerance eller temperaturkoefficient) være ens. Dette medfører, at forholdet (omvendt forhold) mellem de individuelle fejl i tilfælde af serieforbindelse (i tilfælde af parallelforbindelse) ikke må være større end de individuelle modstandes forhold.

På basis af disse betragtninger kan der udvikles en almindelig fremgangsmåde til ved hjælp af vedlagte tabeller at tilvejebringe tilfældige modstandsværdier:

(1) Find en passende kombination fra tabellerne. Et ret stort forhold mellem modstandene kan være fordelagtigt, da det betyder, at kravene til afvigelses- og temperaturkoefficienter kun er kritiske for en af de to modstande.

(2) Den større (mindre) modstand i seriesammenstilling (parallelsammenstilling) er den mest kritiske, da den vil give det største bidrag til den totale temperaturkoefficient og langtidsafvigelse. Værdien af denne modstand bør være ret nær til nominalværdien.

(Til de fleste formål kan en normal metalfilmmodstand være fuldtud tilstrækkelig, men en Electrolyt højstabil modstand ville være en fordel ved mere krævende anvendelser).

(3) Til en seriekombination (parallelkombination) vælges den mindre (større) værdi, så den målte kombination ligger inden for acceptabel tolerance.

(4) Det er muligt, at området af værdier for den i trin (3) omtalte modstand ikke er i stand til at tilvejebringe en værdi inden for den ønskede tolerance. I et sådant tilfælde vil det være nødvendigt at gå tilbage til trin (2) og vælge en anden værdi.

Onvænnævnt fremgangsmåde bruges, når modstande undvælges fra et parti. Dette betyder, at tolerancerne er uden betydning. Det, der betyder noget, er temperaturstabiliteten og langtidstabiliteten.

Et eksempel: En modstand på 91k plus eller minus 2% ønskes. Tabeller viser, at 9,091 kan tilvejebringes ved parallelforbindelse af 10 og 100. De ønskede modstande er således 100k og 1M i parallelforbindelse. Tolerancerne vil, hvis udvælgelse ikke er mulig, blive henholdsvis 1% og 10%. Hvis den anden tolerance er bedre end 10%, gør dette naturligvis ingen skade.

Hvis udvælgelse er mulig, ville fremgangsmåde være at vælge 1M modstande (enhver tolerance), indtil kombinationen giver en værdi på mellem 89k og 93k. I dette tilfælde er tolerancen af 100k'eren ikke af vigtighed, men temperaturstabiliteten er stadig 10 gange vigtigere end for 1M'eren.

### **Motstånd — hur två prefererade värden kombineras så att erforderligt värde erhålles**

Det kan vara svårt att få fram icke-prefererade motståndsvärden från prefererade värden, framförallt om man vill veta alla de praktiska kombinationer som ger det önskade värdet. Vi har löst detta problem genom att utveckla ett lämpligt databehandlingsprogram vars utskrift vi återger i denna artikel. Toleransens inverkan på det slutliga värdets noggrannhet behandlas också.

I och med den nya generationen universalmotstånd (t ex metallfilmsmotstånd) är det möjligt att ställa högre krav på deras funktion. Framförallt är deras temperaturkoefficient och långtidstabilitet av sådan beskaffenhet att de på många områden kan ersätta motstånd med hög stabilitet eller precisionsmotstånd.

Problemet är då hur man finner fram till dessa svåra värden som ligger mellan standardvärdena och med minsta möjliga antal motstånd (troligen två). Ett välkänt tillvägagångssätt är "padding" där man lägger in ett extra motstånd som "utfyllning", dvs där ett litet motstånd läggs in i serie eller ett större läggs parallellt med huvudmotståndet så att totalvärdet justeras upp eller ned till korrekt nivå.

Detta är dock inte den effektivaste metoden eftersom den inte tar hänsyn till att använda två motstånd av samma värde. Det är här som tabellen kommer in.

Denna tabell ger i nummerordning alla värden mellan 1 och 10 som kan skapas med två standard (prefererade) — motstånd från 10% — området kopplade antingen i serie eller parallellt. Detta begränsar emellertid inte tabellen till en totalserie eftersom hela tabellen kan multipliceras med faktorer av 10.

För att begränsa antalet kombinationer inom en rimlig och försvarbar gräns får förhållandet mellan de två värdena ej överstiga 100:1 eller vara mindre än 1:100. Tabellen ger kombinationsvärden som i genomsnitt ligger 0.36% från varandra och normalt kan man välja mellan flera kombinationer.

Om syftemålet med att finna fram till ett värde som inte är standard samtidigt är att uppnå ett helt godtagbart värde så kan det vid första anblicken verka som om dessa tabeller endast kan användas om alla standardmotstånden uppvisar deras nominella motstånd. Detta är inte riktigt och under alla omständigheter har det visat sig att moderna 5%-värden har mycket ringa spridning, 2% är utmärkande, och denna ligger i så fall tämligen nära det nominella värdet.

Om det inte är möjligt välja motstånd från en grupp genom att mäta dem så kan det bli nödvändigt att använda ett motstånd med snävare toleranser för i varje fall ett av dem för att uppnå den önskade korrektheten.

Låt oss se lite på hur kombinationsmotståndens fel har samband med de två individuella motståndens toleranser eller fel. Matematiskt uttryckt:  $eR = eR_2$  då det gäller motstånd kopplade i serie. Här är  $eR$  felet i det sammansatta registret  $R$  och  $eR_1$  och  $eR_2$  är felet i de två seriemotstånden.

Eftersom toleranser (uttryckt som procent) oftare än faktiska fel normalt anges för  $R_1$  och  $R_2$  kan ovanstående uttryck kanske bättre uttryckas i brukbar form som:

$$T = \frac{T_1R_1 + T_2R_2}{R_1 + R_2}$$

där  $T$  är toleransen angiven i procent. Lägg märke tillätt om det ena motståndet är mycket större än det andra så är korrekthetskrävet för det större mycket strängare. På samma sätt kan man få ett uttryck för en parallell-kombination:

$$T = \frac{T_1/R_1 + T_2/R_2}{1/R_1 + 1/R_2}$$

Lägg märke till att i detta fall är kraven på noggrannhet för det minsta motståndet mycket strängare om det ena motståndet är mycket större än det andra.

I ovannämnda uttryck kan  $T$  ersättas av temperaturkoefficienten och detta visar att kraven för temperaturkoefficienten också kan vara mycket strängare för det ena motståndet än för det andra.

Om kompromissmotståndets fel skall bli minsta möjliga skall de individuella motståndens bidrag till den totala noggrannheten (vare sig det gäller toleransen eller temperaturkoefficienten) vara lika. Detta medför att förhållandet (det omvända förhållandet) till de individuella felet vid seriekoppling (parallellkoppling) inte får vara större än förhållandet mellan de individuella motstånden.

På basis av dessa betraktningar kan ett allmänt tillvägagångssätt utvecklas för att finna fram till ovanliga motståndsvarden med hjälp av tabellen:

(1) Med hjälp av tabellen letar man upp en lämplig kombination. En kombination där motståndsförhållandet är ganska stort kan vara en fördel eftersom detta betyder att driften och temperaturkraven är kritiska endast för ett av de två motstånden.

(2) Det större (mindre) motståndet i en seriekoppling (parallellkoppling) är det mest kritiska eftersom detta kommer att bidra med det mesta av den totala temperaturkoefficienten och långtidsdriften. Motståndets värde bör ligga ganska nära det nominella. (I de flesta fall kan ett glansmetallmotstånd visa sig vara tillräckligt, men ett Electrolyt-motstånd med hög stabilitet kan vara en fördel vid mera krävande tillfällen).

(3) För en seriekoppling (parallellkoppling) väljes det mindre (större) värdet så att den mätta kombinationen ligger inom en acceptabel tolerans.

(4) Det är möjligt att värdeskalen för motståndet nämnt under (3) inte har kapacitet att ge ett värde som ligger inom den önskade toleransen. I så fall är det nödvändigt att gå tillbaka till (2) och välja ett annat värde.

Ovannämnda tillvägagångssätt användes när motstånden väljes ur ett parti. Detta betyder att toleranserna inte har någon betydelse. Det som är av betydelse är temperaturstabiliteten och långtidsstabiliteten.

Ett exempel: Ett motstånd på 91k plus/minus 2% erfordras. Tabellen visar att 9,091 kan erhållas med 10 och 100 i parallellförbindelse. Med andra ord, erforderliga motstånd är 100k och 1M i parallell. Om man inte har möjlighet välja blir toleranserna respektive 1% och 10%. Skulle den andra toleransen vara bättre än 10% gör detta självklart ingen skada.

Om man har möjlighet att välja skulle tillvägagångssättet bli att man väljer ett 1M motstånd (varje tolerans är möjlig) tills kombinationen ger ett värde som ligger mellan 89k och 93k. I detta fall är inte toleransen för 100k av betydelse, men temperaturstabiliteten är fortfarande 10 gånger viktigare än för 1M.

## **Motstander - hvordan De kan kombinere to foretrukne verdier for å komme frem til ønsket verdi.**

Det kan være en langtekkelig affære å finne frem til ikke-prefererte motstandsverdier fra prefererte verdier, særlig hvis man ønsker å få greie på alle de praktiske kombinasjoner som vil gi den ønskede verdi. Vi har løst dette problemet ved å utvikle et egnet EDB-program som vi gjengir utskriften til her. Vi omtaler også hvordan toleransen virker inn på nøyaktigheten til den endelige verdi.

I og med den nye generasjon motstander til generelle formål (dvs. glansmetall), er det mulig å stille strengere krav til virkemåten. Spesielt er disses temperaturkoeffisient og langtidsstabilitet slik at det

er mulig at de kan komme til å ta plassen til motstandene med høy stabilitet eller presisjonsmotstandene på mange områder.

Spørsmålet blir da hvordan man skal finne frem til de vanskelige verdiene som ligger mellom standardverdiene, og med færrest mulig motstander (sannsynligvis to). Fremgangsmåten med å legge inn en ekstramotstand som "utfylling" er velkjent, dvs. hvor en liten motstand legges inn i serie eller en større i parallell med hovedmotstanden slik at totalverdien justeres opp eller ned til ønsket nivå.

Denne fremgangsmåten er ikke den mest effektive, idet den ikke gjør bruk av to motstander med samme verdi. Det er her tabellen kommer inn.

Denne tabellen gir - i nummerrekkefølge - alle verdier mellom en og ti som kan dannes av to standard - (øprefererte) - motstander fra 10% rekken; koplet enten i serie eller parallell. Dette begrenser imidlertid ikke tabellen til en serie på ti fordi hele tabellen kan multipliseres med trinnav 10.

Men for å holde antallet av kombinasjoner innen rimelighetens grenser må forholdet mellom de to verdiene ikke overskride 100:1 eller være mindre enn 1:100. Tabellen gir kombinasjonsverdier som gjennomsnittlig ligger 0,36% fra hverandre, og normalt kan man velge blant flere kombinasjoner.

Om vi antar at formålet med å finne frem til en verdi som ikke er standard samtidig er å oppnå en helt nøyaktig verdi, så kan det ved første øyekast virke som om disse tabellene bare kan anvendes hvis alle standardmotstander yter nøyaktig den nominelle motstand. Dette er ikke riktig, og under alle omstendigheter har jeg oppdaget at moderne 5%-verdier har meget liten spredning, 2% er typisk, og denne ligger da temmelig nær den nominelle verdi.

Hvis det ikke er mulig å velge motstander fra en gruppe ved å måle dem, så vil det være nødvendig å bruke en motstand med snevrere toleranse for å måle i hvertfall en av dem for å finne frem til den ønskede nøyaktighet.

La oss se litt på hvordan feilen til massemotstanden avhenger av toleransen eller feilen til de to individuelle motstandene. Uttrykt matematisk:  $eR = eR_1 + eR_2$  med motstandene koplet i serie. Her er  $eR$  feilen til det sammensatte register  $R$ , og  $eR_1$  og  $eR_2$  er feilen til de to seriemotstandene.

Da toleranser (uttrykt som prosent) heller enn de faktiske feil normalt er oppgitt for  $R_1$  og  $R_2$ , kan ovennevnte uttrykk kanskje bedre gjengis som:

$$T = \frac{T_1 R_1 + T_2 R_2}{R_1 + R_2}$$

hvor  $T$  er toleransen, uttrykt i prosent. Legg merke til at hvis den ene motstanden er mye større en den andre, så er kravene til nøyaktigheten til den største langt strengere.

På samme måte kan vi få et uttrykk for en parallell-kombinasjon:

$$T = \frac{T1/R1 + T2/R2}{1/R1 + 1/R2}$$

Legg merke til at i dette tilfelle er kravene til nøyaktigheten til den minste motstanden langt strengere hvis den ene motstanden er mye større enn den andre.

I ovennevnte uttrykk kan T skiftes ut med temperaturkoeffisienten, slik at kraven til temperaturkoeffisientene kan også være langt strengere for den ene motstanden enn den andre.

Hvis feilen til den endelige motstand skal holdes på et absolutt minimum, må bidraget til den totale nøyaktighet av de individuelle motstandene være det samme (enten dette gjelder toleransen eller temperaturkoeffisienten). Det betyr at forholdet (det omvendte forhold) til de individuelle feil ved seriekopling (parallellkopling) ikke må være større enn forholdet mellom de individuelle motstandene.

Ut fra disse betraktninger er det mulig å sette opp en generell fremgangsmåte for å finne frem til uvanlige motstandsverdier ved hjelp av tabellen:

(1) Ved hjelp av tabellen finner man en passende kombinasjon. En kombinasjon hvor motstandsforholdet er ganske stort kan være en fordel, idet dette betyr at driften og temperaturkravene er kritiske for bare den ene av motstandene.

(2) Den største (minste) motstanden i en seriekopling (parallellkopling) er den mest kritiske da denne vil bidra med det meste av den totale temperaturkoeffisient og langtids-driften. Motstandens verdi må ligge temmelig nær den nominelle.

(I det fleste tilfelle kan en vanlig glansmetallmotstand vise seg tilstrekkelig, men en Electrolyt-motstand med høy stabilitet vil være en fordel i mer krevende tilfelle).

(3) For en seriekopling (parallell-kopling) velges den minste (største) verdi slik at den målte kombinasjonen ligger innenfor en akseptabel toleranse.

(4) Det er mulig at verdiskalaen til motstanden nevnt under (3) ikke er i stand til å gi en verdi som ligger innenfor den ønskede toleranse. I så fall vil det være nødvendig å gå tilbake til (2) og velge en annen verdi.

Ovennevnte fremgangsmåte gjelder hvor motstander følges fra en ladning. Det betyr at toleransene er uten betydning. Det som spiller en rolle er temperaturstabiliteten og stabiliteten på lang sikt.

Eksempel: En motstand på 91k, pluss eller minus 2% ønskes. Tabellen viser at 9,091 kan oppnås ved 10 og 100 i parallell. Med andre ord, motstandene som kreves er 100k og 1M i parallell. Hvis valg ikke er mulig vil toleransene bli henholdsvis 1% og 10%. Om dem andre toleransen er bedre enn 10% vil dette selvsagt ikke skade.

Hvis det er mulig å velge blir fremgangsmåten at man velger en 1M motstand (enhver toleranse er mulig) til kombinasjonen gir en verdi som ligger mellom 89k og 93k. I dette tilfelle er ikke toleransen til 100k av betydning, men temperaturstabiliteten er fremdeles 10 ganger så viktig som for 1M.

S – SERIES COMBINATION

P – PARALLEL COMBINATION

\* – STANDARD VALUE FOR PRECISION RESISTORS

Required Value	Prefered Value	Prefered Value	Required Value	Prefered Value	Prefered Value
1.000 S	0.000	1.000	1.170 S	1.200	47.000
1.010 S	0.330	0.680	1.175 P	1.200	56.000
1.010 S	0.010	1.000	1.179 P	1.200	68.000
1.012 S	0.012	1.000	1.180 S	0.180	1.000
1.015 S	0.015	1.000	1.183 P	1.200	82.000
1.018 S	0.018	1.000	1.183 P	1.500	5.600
1.020 P	1.200	6.800	1.186 P	1.200	100.000
1.022 S	0.022	1.000	1.188 P	1.200	120.000
1.027 S	0.027	1.000	1.200 S	0.000	1.200
1.030 S	0.470	0.560	1.210 S	0.390	0.820
1.031 P	1.500	3.300	1.212 S	0.012	1.200
1.033 S	0.033	1.000	1.212 P	2.200	2.700
1.039 S	0.039	1.000	1.215 S	0.015	1.200
1.040 S	0.220	0.820	1.218 S	0.018	1.200
1.047 P	1.200	8.200	1.220 S	0.220	1.000
1.047 S	0.047	1.000	1.222 S	0.022	1.200
1.056 S	0.056	1.000	1.227 S	0.027	1.200
1.068 S	0.068	1.000	1.229 P	1.500	6.800
1.070 S	0.390	0.680	1.232 P	1.800	3.900
1.071 P	1.200	10.000	1.233 S	0.033	1.200
1.080 P	1.800	2.700	1.239 S	0.039	1.200
1.082 S	0.082	1.000	1.240 S	0.560	0.680
1.083 P	1.500	3.900	1.247 S	0.047	1.200
1.090 S	0.270	0.820	1.256 S	0.056	1.200
1.091 P	1.200	12.000	1.268 S	0.068	1.200
1.100 S	0.100	1.000	1.268 P	1.500	8.200
1.100 P	2.200	2.200	1.270 S	0.270	1.000
1.111 P	1.200	15.000	1.282 S	0.082	1.200
1.120 S	0.120	1.000	1.290 S	0.470	0.820
1.120 S	0.560	0.560	1.300 S	0.100	1.200
1.125 P	1.200	18.000	1.302 P	1.800	4.700
1.137 P	1.500	4.700	1.304 P	1.500	10.000
1.138 P	1.200	22.000	1.320 S	0.120	1.200
1.149 P	1.200	27.000	1.320 P	2.200	3.300
1.150 S	0.330	0.820	1.330 S	0.330	1.000
1.150 S	0.150	1.000	1.333 P	1.500	12.000
1.150 S	0.470	0.680	1.350 S	0.150	1.200
1.158 P	1.200	33.000	1.350 P	2.700	2.700

<i>Required Value</i>	<i>Prefered Value</i>	<i>Prefered Value</i>
1.164 P	1.200	39.000
1.165 P	1.800	3.300
1.364 P	1.500	15.000
1.380 S	0.180	1.200
1.380 S	0.560	0.820
1.385 P	1.500	18.000
1.390 S	0.390	1.000
1.404 P	1.500	22.000
1.407 P	2.200	3.900
1.420 S	0.220	1.200
1.421 P	1.500	27.000
1.423 P	1.800	6.800
1.435 P	1.500	33.000
1.444 P	1.500	39.000
1.454 P	1.500	47.000
1.461 P	1.500	56.000
1.468 P	1.500	68.000
1.470 S	0.270	1.200
1.470 S	0.470	1.000
1.473 P	1.500	82.000
1.476 P	1.800	8.200
1.478 P	1.500	100.000
1.481 P	1.500	120.000
1.485 P	2.700	3.300
1.485 P	1.500	150.000
1.499 P	2.200	4.700
1.500 S	0.680	0.820
1.500 S	0.000	1.500
1.515 S	0.015	1.500
1.518 S	0.018	1.500
1.522 S	0.022	1.500
1.525 P	1.800	10.000
1.527 S	0.027	1.500
1.530 S	0.330	1.200
1.533 S	0.033	1.500
1.539 S	0.039	1.500
1.547 S	0.047	1.500
1.556 S	0.056	1.500
1.560 S	0.560	1.000
1.565 P	1.800	12.000
1.568 S	0.068	1.500
1.579 P	2.200	5.600
1.582 S	0.082	1.500
1.590 S	0.390	1.200
1.595 P	2.700	3.900
1.600 S	0.100	1.500
1.607 P	1.800	15.000

<i>Required Value</i>	<i>Prefered Value</i>	<i>Prefered Value</i>
1.360 S	0.680	0.680
1.362 P	1.800	5.600
1.620 S	0.120	1.500
1.636 P	1.800	18.000
1.640 S	0.820	0.820
1.650 S	0.150	1.500
1.650 P	3.300	3.300
1.662 P	2.200	6.800
1.664 P	1.800	22.000
1.670 S	0.470	1.200
1.680 S	0.180	1.500
1.680 S	0.680	1.000
1.688 P	1.800	27.000
1.707 P	1.800	33.000
1.715 P	2.700	4.700
1.720 S	0.220	1.500
1.721 P	1.800	39.000
1.734 P	1.800	47.000
1.735 P	2.200	8.200
1.744 P	1.800	56.000
1.754 P	1.800	68.000
1.760 S	0.560	1.200
1.761 P	1.800	82.000
1.768 P	1.800	100.000
1.770 S	0.270	1.500
1.773 P	1.800	120.000
1.779 P	1.800	150.000
1.782 P	1.800	180.000
1.788 P	3.300	3.900
1.800 S	0.000	1.800
1.803 P	2.200	10.000
1.818 S	0.018	1.800
1.820 S	0.820	1.000
1.822 P	2.700	5.600
1.822 S	0.022	1.800
1.827 S	0.027	1.800
1.830 S	0.330	1.500
1.833 S	0.033	1.800
1.839 S	0.039	1.800
1.847 S	0.047	1.800
1.856 S	0.056	1.800
1.859 P	2.200	12.000
1.868 S	0.068	1.800
1.880 S	0.680	1.200
1.882 S	0.082	1.800
1.890 S	0.390	1.500
1.900 S	0.100	1.800



<i>Required Value</i>	<i>Prefered Value</i>	<i>Prefered Value</i>	<i>Required Value</i>	<i>Prefered Value</i>	<i>Prefered Value</i>
1.919 P	2.200	15.000	2.270 S	0.470	1.800
1.920 S	0.120	1.800	2.282 S	0.082	2.200
1.933 P	2.700	6.800	2.288 P	2.700	15.000
1.939 P	3.300	4.700	2.299 P	3.900	5.600
1.950 S	0.150	1.800	2.300 S	0.100	2.200
1.950 P	3.900	3.900	2.320 S	0.820	1.500
1.960 P	2.200	18.000	2.320 S	0.120	2.200
1.970 S	0.470	1.500	2.348 P	2.700	18.000
1.980 S	0.180	1.800	2.350 S	0.150	2.200
2.000 P	2.200	22.000	2.350 P	4.700	4.700
2.000 S	1.000	1.000	2.353 P	3.300	8.200
2.020 S	0.220	1.800	2.360 S	0.560	1.800
2.020 S	0.820	1.200	2.380 S	0.180	2.200
2.031 P	2.700	8.200	2.400 S	1.200	1.200
2.034 P	2.200	27.000	2.405 P	2.700	22.000
2.060 S	0.560	1.500	2.420 S	0.220	2.200
2.063 P	2.200	33.000	2.455 P	2.700	27.000
2.070 S	0.270	1.800	2.470 S	0.270	2.200
2.076 P	3.300	5.600	2.479 P	3.900	6.800
2.083 P	2.200	39.000	2.480 S	0.680	1.800
2.102 P	2.200	47.000	2.481 P	3.300	10.000
2.117 P	2.200	56.000	2.496 P	2.700	33.000
2.126 P	2.700	10.000	2.500 S	1.000	1.500
2.130 S	0.330	1.800	2.525 P	2.700	39.000
2.131 P	2.200	68.000	2.530 S	0.330	2.200
2.131 P	3.900	4.700	2.553 P	2.700	47.000
2.143 P	2.200	82.000	2.555 P	4.700	5.600
2.153 P	2.200	100.000	2.576 P	2.700	56.000
2.160 P	2.200	120.000	2.588 P	3.300	12.000
2.168 P	2.200	150.000	2.590 S	0.390	2.200
2.173 P	2.200	180.000	2.597 P	2.700	68.000
2.178 P	2.200	220.000	2.614 P	2.700	82.000
2.180 S	0.680	1.500	2.620 S	0.820	1.800
2.190 S	0.390	1.800	2.629 P	2.700	100.000
2.200 S	0.000	2.200	2.641 P	2.700	120.000
2.200 S	1.000	1.200	2.643 P	3.900	8.200
2.204 P	2.700	12.000	2.652 P	2.700	150.000
2.222 P	3.300	6.800	2.660 P	2.700	180.000
2.222 S	0.022	2.200	2.667 P	2.700	220.000
2.227 S	0.027	2.200	2.670 S	0.470	2.200
2.233 S	0.033	2.200	2.673 P	2.700	270.000
2.239 S	0.039	2.200	2.700 S	0.000	2.700
2.247 S	0.047	2.200	2.700 S	1.200	1.500
2.256 S	0.056	2.200	2.705 P	3.300	15.000
2.268 S	0.068	2.200	2.727 S	0.027	2.700

	Value	Value	Value		
2.733 S	0.033	2.700	3.260 S	0.560	2.700
2.739 S	0.039	2.700	3.260 P	3.300	270.000
2.747 S	0.047	2.700	3.267 P	3.300	330.000
2.756 S	0.056	2.700	3.300 S	0.000	3.300
2.760 S	0.560	2.200	3.300 S	1.500	1.800
2.768 S	0.068	2.700	3.313 P	3.900	22.000
2.779 P	4.700	6.800	3.328 P	5.600	8.200
2.782 S	0.082	2.700	3.333 S	0.033	3.300
2.789 P	3.300	18.000	3.339 S	0.039	3.300
2.800 S	0.100	2.700	3.347 S	0.047	3.300
2.800 S	1.000	1.800	3.356 S	0.056	3.300
2.800 P	5.600	5.600	3.368 S	0.068	3.300
2.806 P	3.900	10.000	3.377 P	4.700	12.000
2.820 S	0.120	2.700	3.380 S	0.680	2.700
2.850 S	0.150	2.700	3.382 S	0.082	3.300
2.870 P	3.300	22.000	3.400 S	0.100	3.300
2.880 S	0.180	2.700	3.400 S	1.200	2.200
2.880 S	0.680	2.200	3.400 P	6.800	6.800
2.920 S	0.220	2.700	3.408 P	3.900	27.000
2.941 P	3.300	27.000	3.420 S	0.120	3.300
2.943 P	3.900	12.000	3.450 S	0.150	3.300
2.970 S	0.270	2.700	3.480 S	0.180	3.300
2.988 P	4.700	8.200	3.488 P	3.900	33.000
3.000 S	1.500	1.500	3.520 S	0.820	2.700
3.000 S	1.200	1.800	3.520 S	0.220	3.300
3.000 P	3.300	33.000	3.545 P	3.900	39.000
3.020 S	0.820	2.200	3.570 S	0.270	3.300
3.030 S	0.330	2.700	3.579 P	4.700	15.000
3.043 P	3.300	39.000	3.590 P	5.600	10.000
3.071 P	5.600	6.800	3.600 S	1.800	1.800
3.083 P	3.300	47.000	3.601 P	3.900	47.000
3.090 S	0.390	2.700	3.630 S	0.330	3.300
3.095 P	3.900	15.000	3.646 P	3.900	56.000
3.116 P	3.300	56.000	3.688 P	3.900	68.000
3.147 P	3.300	68.000	3.690 S	0.390	3.300
3.170 S	0.470	2.700	3.700 S	1.000	2.700
3.172 P	3.300	82.000	3.700 S	1.500	2.200
3.195 P	3.300	100.000	3.717 P	6.800	8.200
3.197 P	4.700	10.000	3.723 P	3.900	82.000
3.200 S	1.000	2.200	3.727 P	4.700	18.000
3.205 P	3.900	18.000	3.754 P	3.900	100.000
3.212 P	3.300	120.000	3.770 S	0.470	3.300
3.229 P	3.300	150.000	3.777 P	3.900	120.000
3.241 P	3.300	180.000	3.801 P	3.900	150.000
3.251 P	3.300	220.000	3.817 P	3.900	180.000

<i>Required Value</i>	<i>Prefered Value</i>	<i>Prefered Value</i>	<i>Required Value</i>	<i>Prefered Value</i>	<i>Prefered Value</i>
3.818 P	5.600	12.000	4.505 P	8.200	10.000
3.832 P	3.900	220.000	4.523 P	4.700	120.000
3.844 P	3.900	270.000	4.557 P	4.700	150.000
3.854 P	3.900	330.000	4.580 S	0.680	3.900
3.860 S	0.560	3.300	4.580 P	4.700	180.000
3.861 P	3.900	390.000	4.602 P	4.700	220.000
3.873 P	4.700	22.000	4.620 P	4.700	270.000
3.900 S	1.200	2.700	4.634 P	4.700	330.000
3.900 S	0.000	3.900	4.638 P	5.600	27.000
3.939 S	0.039	3.900	4.644 P	4.700	390.000
3.947 S	0.047	3.900	4.653 P	4.700	470.000
3.956 S	0.056	3.900	4.679 P	6.800	15.000
3.968 S	0.068	3.900	4.700 S	0.000	4.700
3.980 S	0.680	3.300	4.720 S	0.820	3.900
3.982 S	0.082	3.900	4.747 S	0.047	4.700
4.000 S	0.100	3.900	4.756 S	0.056	4.700
4.000 S	1.800	2.200	4.768 S	0.068	4.700
4.003 P	4.700	27.000	4.782 S	0.082	4.700
4.020 S	0.120	3.900	4.788 P	5.600	33.000
4.048 P	6.800	10.000	4.800 S	1.500	3.300
4.050 S	0.150	3.900	4.800 S	0.100	4.700
4.078 P	5.600	15.000	4.820 S	0.120	4.700
4.080 S	0.180	3.900	4.850 S	0.150	4.700
4.100 P	8.200	8.200	4.871 P	8.200	12.000
4.114 P	4.700	33.000	4.880 S	0.180	4.700
4.120 S	0.820	3.300	4.897 P	5.600	39.000
4.120 S	0.220	3.900	4.900 S	2.200	2.700
4.170 S	0.270	3.900	4.900 S	1.000	3.900
4.195 P	4.700	39.000	4.920 S	0.220	4.700
4.200 S	1.500	2.700	4.935 P	6.800	18.000
4.230 S	0.330	3.900	4.970 S	0.270	4.700
4.271 P	5.600	18.000	5.000 P	10.000	10.000
4.273 P	4.700	47.000	5.004 P	5.600	47.000
4.290 S	0.390	3.900	5.030 S	0.330	4.700
4.300 S	1.000	3.300	5.090 S	0.390	4.700
4.336 P	4.700	56.000	5.091 P	5.600	56.000
4.340 P	6.800	12.000	5.100 S	1.800	3.300
4.370 S	0.470	3.900	5.100 S	1.200	3.900
4.396 P	4.700	68.000	5.170 S	0.470	4.700
4.400 S	2.200	2.200	5.174 P	5.600	68.000
4.445 P	4.700	82.000	5.194 P	6.800	22.000
4.460 S	0.560	3.900	5.242 P	5.600	82.000
4.464 P	5.600	22.000	5.260 S	0.560	4.700
4.489 P	4.700	100.000	5.302 P	8.200	15.000
4.500 S	1.800	2.700	5.303 P	5.600	100.000
4.500 S	1.200	3.300	5.350 P	5.600	120.000

Required Value	Prefered Value	Prefered Value	Required Value	Prefered Value	Prefered Value
5.380 S	0.680	4.700	6.290 P	8.200	27.000
5.398 P	5.600	150.000	6.367 P	6.800	100.000
5.400 S	1.500	3.900	6.420 S	0.820	5.600
5.400 S	2.700	2.700	6.429 P	10.000	18.000
5.431 P	5.600	180.000	6.435 P	6.800	120.000
5.432 P	6.800	27.000	6.500 S	1.800	4.700
5.455 P	10.000	12.000	6.505 P	6.800	150.000
5.461 P	5.600	220.000	6.552 P	6.800	180.000
5.486 P	5.600	270.000	6.568 P	8.200	33.000
5.500 S	2.200	3.300	6.596 P	6.800	220.000
5.507 P	5.600	330.000	6.600 S	3.300	3.300
5.520 S	0.820	4.700	6.600 S	2.700	3.900
5.521 P	5.600	390.000	6.600 S	1.000	5.600
5.534 P	5.600	470.000	6.633 P	6.800	270.000
5.545 P	5.600	560.000	6.663 P	6.800	330.000
5.600 S	0.000	5.600	6.667 P	12.000	15.000
5.634 P	8.200	18.000	6.683 P	6.800	390.000
5.638 P	6.800	33.000	6.703 P	6.800	470.000
5.656 S	0.056	5.600	6.718 P	6.800	560.000
5.668 S	0.068	5.600	6.733 P	6.800	680.000
5.682 S	0.082	5.600	6.775 P	8.200	39.000
5.700 S	1.000	4.700	6.800 S	1.200	5.600
5.700 S	0.100	5.600	6.800 S	0.000	6.800
5.700 S	1.800	3.900	6.868 S	0.068	6.800
5.720 S	0.120	5.600	6.875 P	10.000	22.000
5.750 S	0.150	5.600	6.882 S	0.082	6.800
5.780 S	0.180	5.600	6.900 S	0.100	6.800
5.790 P	6.800	39.000	6.900 S	2.200	4.700
5.820 S	0.220	5.600	6.920 S	0.120	6.800
5.870 S	0.270	5.600	6.950 S	0.150	6.800
5.900 S	1.200	4.700	6.980 S	0.180	6.800
5.930 S	0.330	5.600	6.982 P	8.200	47.000
5.941 P	6.800	47.000	7.020 S	0.220	6.800
5.974 P	8.200	22.000	7.070 S	0.270	6.800
5.990 S	0.390	5.600	7.100 S	1.500	5.600
6.000 S	2.700	3.300	7.130 S	0.330	6.800
6.000 P	10.000	15.000	7.153 P	8.200	56.000
6.000 P	12.000	12.000	7.190 S	0.390	6.800
6.064 P	6.800	56.000	7.200 S	3.300	3.900
6.070 S	0.470	5.600	7.200 P	12.000	18.000
6.100 S	2.200	3.900	7.270 S	0.470	6.800
6.160 S	0.560	5.600	7.297 P	10.000	27.000
6.182 P	6.800	68.000	7.318 P	8.200	68.000
6.200 S	1.500	4.700	7.360 S	0.560	6.800
6.279 P	6.800	82.000	7.400 S	2.700	4.700
6.280 S	0.680	5.600	7.400 S	1.800	5.600

<i>Required Value</i>	<i>Prefered Value</i>	<i>Prefered Valie</i>	<i>Required Value</i>	<i>Prefered Value</i>	<i>Prefered Value</i>
7.455 P	8.200	82.000	8.590 S	0.390	8.200
7.480 S	0.680	6.800	8.600 S	3.900	4.700
7.500 P	15.000	15.000	8.600 S	1.800	6.800
7.579 P	8.200	100.000	8.670 S	0.470	8.200
7.620 S	0.820	6.800	8.718 P	10.000	68.000
7.674 P	10.000	33.000	8.760 S	0.560	8.200
7.676 P	8.200	120.000	8.800 P	12.000	33.000
7.765 P	12.000	22.000	8.880 S	0.680	8.200
7.775 P	8.200	150.000	8.900 S	3.300	5.600
7.800 S	2.200	5.600	8.913 P	10.000	82.000
7.800 S	3.900	3.900	8.919 P	15.000	22.000
7.800 S	1.000	6.800	9.000 S	2.200	6.800
7.843 P	8.200	180.000	9.000 P	18.000	18.000
7.905 P	8.200	220.000	9.020 S	0.820	8.200
7.958 P	8.200	270.000	9.091 P	10.000	100.000
7.959 P	10.000	39.000	9.176 P	12.000	39.000
8.000 S	3.300	4.700	9.200 S	1.000	8.200
8.000 S	1.200	6.800	0.231 P	10.000	120.000
8.001 P	8.200	330.000	9.375 P	10.000	150.000
8.031 P	8.200	390.000	9.400 S	4.700	4.700
8.059 P	8.200	470.000	9.400 S	1.200	8.200
8.082 P	8.200	560.000	9.474 P	10.000	180.000
8.102 P	8.200	680.000	9.500 S	3.900	5.600
8.119 P	8.200	820.000	9.500 S	2.700	6.800
8.182 P	15.000	18.000	9.559 P	12.000	47.000
8.200 S	0.000	8.200	9.565 P	10.000	220.000
8.246 P	10.000	47.000	9.643 P	15.000	27.000
8.282 S	0.082	8.200	9.643 P	10.000	270.000
8.300 S	2.700	5.600	9.700 S	1.500	8.200
8.300 S	0.100	8.200	9.706 P	10.000	330.000
8.300 S	1.500	6.800	9.750 P	10.000	390.000
8.308 P	12.000	27.000	9.792 P	10.000	470.000
8.320 S	0.120	8.200	9.825 P	10.000	560.000
8.350 S	0.150	8.200	9.855 P	10.000	680.000
8.380 S	0.180	8.200	9.880 P	10.000	820.000
8.420 S	0.220	8.200	9.882 P	12.000	56.000
8.470 S	0.270	8.200	9.900 P	18.000	22.000
8.485 P	10.000	56.000	9.901 P	10.000	1000.000
8.530 S	0.330	8.200	10.000 S	1.800	8.200

## Fixed Resistors

**Types of resistors – Their characteristics – Temperature effects – Storage and service problems – Voltage coefficient – Inductance and capacitance – Special types.**

It is fairly safe to say that the most common component to be found in electronic and electrical equipments is the fixed resistor; although a simple device there are, nevertheless, many years of applied science and manufacturing know-how behind the components in use today. A selection of resistors from various manufacturers throughout the world would appear to be a motley collection – different sizes, shapes, finishes and terminations – and yet they would be found to comprise mainly four basic types.

For any particular application there is the "right" component and the following description of resistor characteristics, together with an outline of production processes, should assist the constructor to make the correct choice for his own projects.

**Types of resistors:** The four basic types in general use are: (1) moulded carbon composition, (2) carbon film, (3) pyrolytic or cracked-carbon (also known as deposited carbon) and (4) wire-wound.

The **moulded carbon resistor** is produced from carbon, a refractory filler, such as talc, and a resin binder which are ground and mixed in powder form, then die-pressed into the shape of a rod and cured in a kiln. By varying the proportion of carbon and filler, the resistance of a batch of rods can be controlled within certain limits but sorting into different values is always necessary and is done automatically by machines using the limit-bridge measuring method. Depending on the manufacturer's own technique, connecting wires may be moulded into the ends of a rod during the diepress process or, after curing, the rod may be metallised at each end and the wires wrapped and soldered or, as a further alternative, attached by means of force-fit pressed-metal caps. After this, the resistor may be given simply a coat of paint (in colours indicating its value) or it may be better protected and insulated by enclosure in a ceramic or plastic tube or thermosetting plastic mould.

The **carbon film resistor** is another composition type but manufactured differently from its moulded counterpart. A continuous extrusion of glass tubing of about 1/16in outside diameter is drawn through a liquid carbon mix to leave a uniform film on the tubing, which is then heated to fix and cure the material. The tubing is cut to the required predetermined lengths and connecting wires, crimped a little way from one end to form a plug, are inserted in each end of a tube and secured with a conducting cement that makes contact with the resistive material. Each wire extends well inside the tube in order to better collect and dissipate the heat generated in the resistor when in use. Protection is usually afforded by a thermosetting plastic case, having a diameter four or five times that of the glass tube to ensure rigidity and also to function as a heat sink. Finally, the resistors go through the same sorting procedure as the moulded variety.

The resistive element for the **cracked carbon** type of resistor is produced by the pyrolytic process known as "cracking"; ceramic rods of controlled dimensions are heated to about 1,000 deg. C. and exposed to a hydro-carbon gas (usually methane), which decomposes to leave a carbon deposit on the rods. The resistance of the deposit can be predetermined with reasonable accuracy by selection of the rod temperature, gas pressure and exposure time. Next, a helical groove is cut through the carbon and into the rod thus, in effect, providing a very thin ribbon of material wound along the length of the rod. The cutting process is fairly precise and is accomplished by means of an automatic lathe-like machine fitted with a diamond-cutting wheel; the width and pitch of the cut can be set up to determine the final resistance within 2 per cent and 5 per cent, but, for consistently greater accuracy, the machine may require to be manually operated. Connecting wires are attached to metal caps force-fitted over the ends of the rod and protection is provided by a coating of silicone lacquer or enclosure in a ceramic or plastic tube. The resistors are sorted into tolerance groups of 5 per cent, 2 per cent and 1 per cent.

**Wire-wound** resistors, the last of the four types considered, consist of a rod or tube of ceramic, glass or glass fibre on which is wound a single layer of resistance wire, nickel-chromium and nickel-copper being the most commonly used. The production process is almost wholly automatic, employing what are virtually coil-winding machines. The ends of a winding are connected to clips or wires by brazing or riveting and, while some components are left unprotected, it is usual to "finish" it with a coating of cement, vitreous enamel or lacquer. Production tolerances are within 5 per cent and, by subsequent selection, within 1 per cent of nominal values.

**Characteristics:** The power that a particular type of resistor can dissipate is dependent on the permissible rise in working temperature which in turn, is a function of the ambient temperature and the resistor's form of construction. Consequently, without reference to the ambient temperature, it is impossible to specify precisely the wattage rating of a resistor. It is usual, however, for manufacturers to specify a nominal rating at a given ambient temperature (commonly 40 deg. C or 70 deg. C) and in their catalogues to publish derating curves which indicate to what extent the dissipation must be reduced at elevated temperatures. A typical derating curve for carbon film resistors, based on 70 deg. C, is shown.

The **maximum surface temperature** at which resistors may be operated is about 100 deg. C for composition, 150 deg. C for some wire-wound types. This is not to say that they should be run at such high temperatures, particularly if long life, stability and minimum noise are important factors!

The **maximum surface temperature** at which resistors may be operated is about 100 deg. C for composition, 150 deg. C for cracked-carbon and 400 deg. C for some wire-wound types. This is not to say that they should be run at such high temperatures, particularly if long life, stability and minimum noise are important factors!

Resistors are subject also to a **maximum voltage** rating beyond which corona discharge or a complete breakdown can occur; this voltage varies between 50V and many kilovolts, depending on the resistor type and its physical dimensions.

The wattage rating is usually the limiting factor for low-resistance values but the voltage rating becomes the limiting factor for high values. Consider a 1M resistor rated at 250mW (at 70 deg. C ambient) and 250VDC continuous. At the maximum voltage, only 62.5mW is dissipated and cannot be increased without exceeding the continuous voltage rating. On the other hand, a 100K resistor of the same type and wattage rating would dissipate 625mW, more than twice the permissible rating at maximum voltage; obviously, in this case, it is not possible to apply 250V continuously if rapid disintegration of the component is to be avoided.

Resistors **stored** under normal conditions are subject to a spontaneous aging and a consequent change of value, which can be either temporary or permanent. The change may be as much as 5% for composition types and about 1% for cracked-carbon and wire-wound types, and may be sufficient to compromise the performance of critical circuits. Some manufacturers endeavour to overcome this difficulty by pre-curing, i.e., artificially aging their components prior to sorting.

In service, as distinct from storage, high ambient temperature, power dissipation and soldering are contributory factors which can cause permanent changes of value to components. A 20% change is not uncommon for composition resistors but the average figure for this type used with reasonable care is about 5%. Cracked-carbon and wire-wound types will withstand higher temperatures for prolonged periods with permanent changes of value of not more than 2%.

The **voltage coefficient** whereby carbon resistor values change with applied voltage is another tribulation for the user. This is a temporary change and has nothing to do with dissipation; it would still occur if there was no current flow! As might be expected by now, the change is greatest for the composition type, being 2% or 3%, but only a fraction of 1% for the cracked-carbon, when 100V is applied.

All resistors have **inductance** and **self-capacitance** which modifies their behaviour in AC applications. Wire-wound components possess these characteristics, especially inductance, to a considerable degree, making the general-purpose types broadly unsuitable to carry signal frequencies above the audio range or even within this range in some instances. Due to their self-capacitance the effective resistance (i.e. impedance) of carbon components falls off markedly with increasing frequency. The higher values and ratings have the greater self-capacitance and, as a result, the lowest maximum useful operating frequency. The accompanying set of curves illustrates this characteristic for four carbon film resistors. Note that it is not possible to extrapolate for higher frequencies because the inductance of the components may start to become a dominant factor, with a tendency to increase the effective resistance.



Perhaps the most objectionable characteristic of resistors left to be discussed is **noise**, of which there are two major sources.

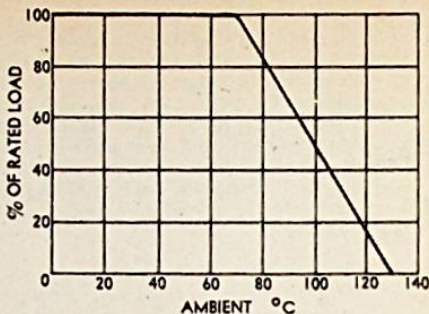
One is known as "thermal" or "Johnson" noise and is due to the random motion of electrons; this is not peculiar to resistors but is inherent in all conductors. Noise voltages so produced contain frequencies from zero to the highest yet used; in other words noise is distributed evenly throughout the spectrum. When the temperature and resistance of a component are known, the magnitude of the noise is predictable. At a temperature of 30 degrees C a 100K resistor produces about 3uV RMS of thermal noise, measured with a bandwidth of 5MHz; increasing the temperature, resistance and bandwidth will all increase the noise.

The variations in contact resistance between the granules of material of which a carbon resistor is made causes a current flowing through it to fluctuate and become evident as noise; this is the second source and is usually referred to as "current" noise. Its characteristics are not very predictable and the energy is unevenly distributed in the low audio frequency range. Resistors from the same production batch can differ considerably in the amount of current noise they produce and a selection from different manufacturers would be found to differ even more so. Cracked-carbon types are the least noisy in this respect; next are the carbon film and the worst are the moulded composition types. Incidentally, in each case, the higher values are the more noisy. The moulded resistor will produce much more noise when operated near to its maximum rating and, where noise is to be considered, it is preferable to use a component of higher rating in order to lower the current density and, thereby, reduce the noise.

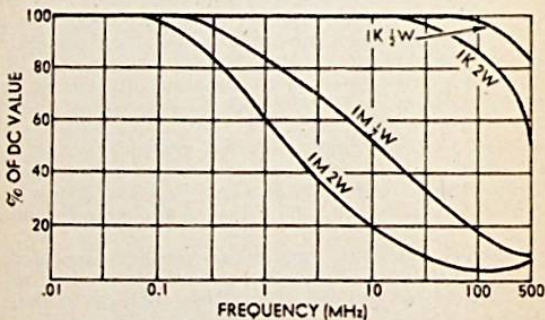
This article would be incomplete without reference to three other types of resistor — precision wire-wound, metal film and metal oxide. The first two are not commonly encountered, for reasons that will appear obvious, but the third one is coming into more general use.

The **precision wire-wound** component comprises a slotted porcelain bobbin having a large cast-metal ring terminal at each end, and a winding (of insulated resistance wire) with a configuration that reduces the inductance and self-capacitance. Protection is afforded by vacuum impregnation with a varnish, followed by a wrapping of paper or plastic-film. For use in adverse climatic conditions, the resistor is often sealed into a metal tube fitted with neoprene or rubber end-bungs. Various tolerances are available down to better and 0.1%. Owing to its physical size and high cost, this type of resistor is mostly to be found in high-grade instruments and some Service equipment.

Production of the **metal-film** resistor starts with a glass rod being drawn through a mix in a like manner to the carbon-film resistor. The mix, in this case, is a solution of platinum and gold compounds in an essential oil such as lavender. After coating, the rod is heated to about 400 degrees C, to produce the metal-alloy film, which is then cut helically, followed by further heating to 700 degrees C in order to bond the film to the glass. Connecting wires are soldered direct on to the metal and, after a lacquer coating, the resistor is enclosed in a



**Figure 1:** A typical de-rating curve illustrating how dissipation limits for carbon resistors must be lowered, where increased ambient temperature is anticipated.



**Figure 2:** Particularly with higher values of resistor, self-capacitance reduces their effective value, setting a practical limit to the signal frequencies at which they may be used.

glass or plastic tube for cull climatic protection. This component has tolerance values similar to the cracked carbon type, produces negligible noise, is highly stable and — highly priced!

The metal-oxide resistor also has a glass-rod foundation and the resistive material is a metallic oxide, usually of tin, fused on to the rod. After the helical groove cutting, the end sections are silver plated to receive force-fit caps (also silver-plated) to which are welded the connecting wires. Protection is invariably by means of a heavy lacquer coating or a thermosetting plastic. This is a high-stability, low-noise resistor which is becoming comparatively cheap and is competing with the cracked carbon for many applications.

**Precautions in use:** It is important to remember that the performance and reliability of all resistors are affected by their finish or protection. Types of protection which are adequate for temperate climates might well be inadequate in the tropics, and the manufacturer's data should be consulted when doubt exists.

Resistors jostled around in the junk box are liable to have their protection damaged and, where such is the case, they should not be used if overall reliability is required. Components which appear to be sound should be checked if they have been stored for some time, as it is highly probable that their values will have changed.

Because stability, life and noise level are all dependent on power dissipation, resistors should never be operated beyond their ratings, in fact composition types particularly will behave far better if restricted to 50% or 60% of their rated dissipation.

Connecting wires should not be bent close to the resistor body nor should they be bent in such a way as to leave them stressed when fixed. Soldering should be done rapidly and at least half an inch from the body. Where this is impracticable (as with most printed boards), a thermal shunt should be used to prevent over-heating of the component.

## Standard Ranges of Resistors

Percent Step Size 10		Percent Step Size 20		Percent Step Size 40	
E24 Series Step Multiplier $24\sqrt{10} = 1.1$		E12 Series Step Multiplier $12\sqrt{10} = 1.21$		E6 Series Step Multiplier $6\sqrt{10} = 1.46$	
Preferred values $\pm 5\%$	Tolerance range in ohms from - to	Preferred values $\pm 10\%$	Tolerance range in ohms from - to	Preferred values $\pm 20\%$	Tolerance range in ohms from - to
10	9.5 - 10.5	10	9 - 11	10	8 - 12
11	10.45 - 11.55				
12	11.4 - 12.6	12	10.8 - 13.2		
13	12.35 - 13.65			15	12 - 18
15	14.25 - 15.75	15	13.5 - 16.5		
16	15.2 - 16.8				
18	17.1 - 18.9	18	16.2 - 19.8		
20	19 - 21			22	17.8 - 26.4
22	20.9 - 23.1	22	19.8 - 24.2		
24	22.8 - 25.2				
27	25.65 - 28.23	27	24.3 - 29.7		
30	28.5 - 31.5				
33	31.35 - 34.65	33	29.7 - 36.3	33	26.4 - 39.6
36	34.2 - 37.8				
39	37.05 - 40.95	39	35.1 - 42.9		
43	40.85 - 45.15				

47	44.65	47	42.3	47	37.6	56.4
51	48.45					
56	53.2	56	50.4			
62	58.9					
68	64.6	68	61.2	68	54.4	82
75	71.25					
82	77.9	82	73.8			
91	86.45					
100	95	100	90	100	80	120
110	104.5					
120	114	120	108			
130	123.5					
150	142.5	150	135	150	120	180
160	152					
171	171	180	162			
180	190					
200	209	220	198	220	178	264
220	228					
240	256.5	270	243			
270	285					
300	313.5	330	297	330	264	396
330	342					
360	370.5	390	351			
390	408.5					
430	446.5	470	423	470	376	564
470	484.5					
510	532	560	504			
560	589					
620	646	680	612	680	544	820
680	712.5					
750	779	820	738			
820	864.5					
910						

1k	950	1k	900	1k	800	1.2k
1.1k	1.045k	1.2k	1.08k	1.5k		
1.2k	1.14k	1.5k	1.35k	1.8k	1.2k	1.8k
1.3k	1.235k	1.8k	1.62k	2.2k	1.78k	2.64k
1.5k	1.425k	2.2k	1.98k	2.7k	2.64k	3.96k
1.6k	1.52k	2.7k	2.43k	3.3k	3.76k	5.64k
1.8k	1.71k	3.3k	2.97k	3.9k	5.44k	8.2k
2k	1.9k	3.9k	3.151k	4.7k	8k	12k
2.2k	2.09k	4.7k	4.23k	5.6k	10k	15k
2.4k	2.28k	5.6k	5.04k	6.8k	12k	18k
2.7k	2.565k	6.8k	6.12k	8.2k	15k	20k
3k	2.85k	8.2k	7.38k	10k	18k	
3.3k	3.135k	10k	9k	12k		
3.6k	3.42k	12k	10.8k	15k		
3.9k	3.750k	15k	13.5k	18k		
4.3k	4.085k	18k	16.2k			
4.7k	4.465k					
5.1k	4.845k					
5.6k	5.32k					
6.2k	5.89k					
6.8k	6.46k					
7.5k	7.125k					
8.2k	7.79k					
9.1k	8.645k					
10k	9.5k					
11k	10.45k					
12k	11.4k					
13k	12.35k					
15k	14.25k					
16k	15.2k					
18k	17.1k					
20k	19k					

22k	20.9k	- 23.1k	22k	19.8k	- 24.2k	22k	17.8k	- 26.4k
24k	22.8k	- 25.2k						
27k	25.65k	- 28.23k	27k	24.3k	- 29.7k			
30k	28.5k	- 31.5k						
33k	31.55k	- 34.65k	33k	29.7k	- 36.3k	33k	26.4k	- 39.6k
36k	34.2k	- 37.8k						
39k	37.05k	- 40.95k	39k	35.1k	- 42.9k			
43k	40.85k	- 45.15k						
47k	44.65k	- 49.35k	47k	42.3k	- 51.7k	47k	37.6k	- 56.4k
51k	48.45k	- 53.55k						
56k	53.2k	- 58.8k	56k	50.4k	- 61.6k			
62k	58.9k	- 65.1k						
68k	64.6k	- 71.4k	68k	61.2k	- 74.8k	68k	54.4k	- 82k
75k	71.25k	- 78.75k						
82k	77.9k	- 86.1k	82k	73.8k	- 90.2k			
91k	86.45k	- 95.55k						
100k	95k	- 105k	100k	90k	- 110k	100k	80k	- 120k
110k	104.5k	- 115.5k						
120k	114k	- 126k	120k	108k	- 132k			
130k	123.5k	- 136.5k						
150k	142.5k	- 157.5k	150k	135k	- 165k	150k	120k	- 180k
160k	152k	- 168k						
180k	171k	- 189k	180k	162k	- 198k			
200k	190k	- 210k						
220k	209k	- 231k	220k	198k	- 242k	220k	178k	- 264k
240k	228k	- 252k						
270k	256.5k	- 282.3k	270k	243k	- 297k			
300k	285k	- 315k						
330k	313.5k	- 346.5k	330k	297k	- 363k	330k	264k	- 393k
360k	342k	- 378k						
390k	370.5k	- 409.5k	390k	351k	- 429k			
430k	408.5k	- 451.5k						

470k	446.5k	470k	423k	517k	470k	376k	564k
510k	484.5k	560k	504k	616k			
560k	532k	588k	612k	748k	680k	544k	820k
620k	589k	651k	738k	902k			
680k	646k	714k	900k	1.1M	1M	800k	1.2M
750k	712.5k	787.5k	1.08M	1.32M			
820k	779k	861k	1.35M	1.65M	1.5M	1.2M	1.8M
910k	864.5k	955.5k	1.62M	1.98M			
1M	950k	1.05M	1.98M	2.42M	2.2M	1.78M	2.64M
1.1M	1.045M	1.155M	2.43M	2.97M			
1.2M	1.14M	1.26M	2.97M	3.63M	3.3M	2.64M	3.96M
1.3M	1.235M	1.365M	3.51M	4.29M			
1.5M	1.425M	1.575M	4.23M	5.17M	4.7M	3.76M	5.64M
1.6M	1.52M	1.68M	5.04M	6.16M			
1.8M	1.71M	1.89M	6.12M	7.48M	6.8M	5.44M	8.2M
2M	1.9M	2.1M	7.38M	9.02M			
2.2M	2.09M	2.31M	9M	11M	10M	8M	12M
2.4M	2.28M	2.52M					
2.7M	2.565M	2.823M					
3M	2.85M	3.15M					
3.3M	3.135M	3.465M					
3.6M	3.42M	3.78M					
3.9M	3.705M	4.095M					
4.3M	4.085M	4.515M					
4.7M	4.465M	4.935M					
5.1M	4.845M	5.355M					
5.6M	5.32M	5.88M					
6.2M	5.89M	6.51M					
6.8M	6.46M	7.14M					
7.5M	7.125M	7.875M					
8.2M	7.79M	8.61M					
9.1M	8.645M	9.555M					
10M	9.5M	10.5M					



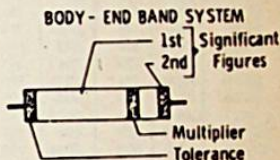
## RESISTOR CODES (RESISTANCE GIVEN IN OHMS)

COLOR	DIGIT	MULTIPLIER	TOLERANCE
BLACK	0	1	±20%
BROWN	1	10	±1%
RED	2	100	±2%
ORANGE	3	1000	±3% *
YELLOW	4	10000	GMV*
GREEN	5	100000	±5% (RETMA Alternate)
BLUE	6	1000000	±6%*
VIOLET	7	10000000	±12 1/2%*
GRAY	8	.01 (RETMA Alternate)	±30% *
WHITE	9	.1 (RETMA Alternate)	±10% (RETMA Alternate)
GOLD		.1 (JAN and RETMA Preferred)	±5% (JAN and RETMA Pref.)
SILVER		.01 (JAN and RETMA Preferred)	±10% (JAN and RETMA Pref.)
NO COLOR			±20%

\*GMV = guaranteed minimum value, or -0 - 100% tolerance.

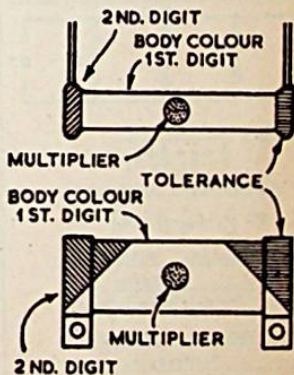
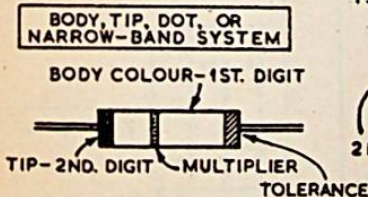
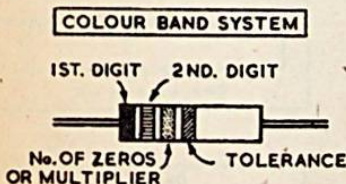
±3, 6, 12 1/2, and 30% are ASA 40, 20, 10, and 5 step tolerances.

Resistors With Black Body Color Are Composition, Non-Insulated.  
 Resistors With Colored Bodies Are Composition, Insulated.  
 Wire-Wound Resistors Have The 1st Digit Color Band Double Width.



## RESISTORS BRITISH, RMA/JAN

COLOUR CODE GIVES RESISTANCE IN OHMS

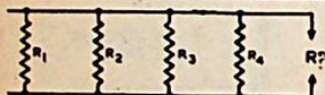


EXAMPLE: YEL/VIOLET/RED/SILVER  
 $4700\Omega \pm 10\%$

**POWER RATINGS OF FIXED RESISTANCES.**

Wattage	→ 0.5 Watt.		1-Q Watt.		2-Q Watts.		3-Q Watts.		5-Q Watts.	
	OHMS	Amps.	Volts	Amps.	Volts	Amps.	Volts	Amps.	Volts	Amps.
50	.1	5	.141	7	.2	10	.25	12.2	.32	15.8
100	.07	7	.10	10	.141	14.1	.173	17.3	.224	22.4
250	.045	11	.063	16	.089	23.1	.108	27.2	.141	35.5
500	.032	16	.045	22	.061	32.5	.076	39	.100	50
750	.025	20	.036	27	.051	39	.062	49	.083	60
1000	.022	22	.032	32	.045	45	.055	55	.071	71
2000	.016	32	.022	45	.032	62	.040	77	.050	100
3000	.013	39.5	.018	55	.026	77	.032	95	.041	124
4000	.011	45	.016	62.5	.022	89	.027	110	.035	141
5000	.010	50	.014	71	.020	100	.025	121	.032	159
6000	.009	55	.013	77	.018	110	.022	135	.029	173
7000	.008	59	.012	84	.017	118	.021	145	.027	188
8000	.008	63	.011	89	.016	125	.020	154	.025	200
9000	.0075	67	.0105	95	.015	135	.018	164	.023	212
10000	.007	71	.010	100	.014	141	.017	172	.022	225
15000	.0058	86	.008	121	.011	172	.014	213	.018	265
20000	.0055	100	.007	141	.010	200	.012	245	.016	315
25000	.0045	110	.0063	158	.009	225	.011	272	.014	355
30000	.004	124	.0058	174	.0082	244	.010	300	.013	389
40000	.0035	140	.005	200	.0071	282	.0087	344	.011	448
50000	.003	159	.0043	225	.0063	317	.0077	386	.010	500
75000	.0025	194	.0036	275	.0052	387	.0062	475	.008	613
100000	.0021	220	.003	309	.0044	440	.0055	550	.007	707
200000	.0015	321	.0023	441	.0032	631	.004	770	.005	1000
250000	.0014	350	.002	500	.0028	700	.0035	861	.0045	1120
500000	.001	500	.0014	700	.002	1000	.0025	1200	.003	1581
750000	.0008	612	.0012	866	.0016	1224	.002	1500	.0026	1937
1000000	.0007	709	.001	1000	.0014	1410	.0017	1720	.0022	2250

**RESISTANCES  
IN PARALLEL**



$$R = \frac{1}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \frac{1}{R_4} + \text{etc.}}$$

**2 PARALLEL RESISTANCES**

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

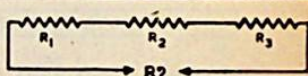
**3 PARALLEL RESISTANCES**

$$R = \frac{R_1 \times R_2 \times R_3}{(R_1 \times R_2) + (R_2 \times R_3) + (R_1 \times R_3)}$$

**4 PARALLEL RESISTANCES**

$$R = \frac{R_1 \times R_2 \times R_3 \times R_4}{(R_1 \times R_2 \times R_3) + (R_2 \times R_3 \times R_4) + (R_3 \times R_4 \times R_1) + (R_4 \times R_1 \times R_2)}$$

**RESISTANCES  
IN SERIES**



$$R = R_1 + R_2 + R_3 + \text{etc.}$$

**RESISTANCES  
IN SERIES—PARALLEL**



$$R = \frac{1}{\frac{1}{R_1 + R_2} + \frac{1}{R_3 + R_4} + \frac{1}{R_5 + R_6 + R_7}}$$

BIBLIOTHEEK  
N.V.H.R.

## BERNARDS & BABANI PRESS RADIO AND ELECTRONICS BOOKS

BP1	First Book of Transistor Equivalents and Substitutes	40p
BP2	Handbook of Radio, TV and Ind. & Transmitting Tube & Valve Equiv.	60p
BP3	Handbook of Tested Transistor Circuits	40p
BP4	World's Short, Medium & Long Wave FM & TV Broadcasting Stations Listing (International Edition)	60p
BP5	Handbook of Simple Transistor Circuits	35p
BP6	Engineers and Machinists Reference Tables	30p
BP7	Radio and Electronic Colour Codes and Data Chart	15p
BP8	Sound and Loudspeaker Manual	50p
BP9	38 Practical Tested Diode Circuits for the Home Constructor	35p
BP10	Modern Crystal and Transistor Set Circuits for Beginners	35p
BP11	Practical Transistor Novelty Circuits	40p
BP12	Hi-Fi, P.A., Guitar & Discotheque Amplifier Design Handbook	75p
BP13	Electronic Novelties for the Motorist	50p
BP14	Second Book of Transistor Equivalents	95p
BP15	Constructors Manual of Electronic Circuits for the Home	50p
BP16	Handbook of Electronic Circuits for the Amateur Photographer	60p
BP17	Radio Receiver Construction Handbook using IC's and Transistors	60p
BP18	Boys & Beginners Book of Practical Radio and Electronics	60p
BP22	79 Electronic Novelty Circuits	75p
BP23	First Book of Practical Electronic Projects	75p
BP24	52 Projects using IC741 (or Equivalents)	75p
BP25	How to Build Your Own Electronic and Quartz Controlled Watches & Clocks	85p
BP26	Radio Antenna Handbook for Long Distance Reception & Transmission	85p
BP27	Giant Chart of Radio, Electronic, Semiconductor & Logic Symbols	60p
BP28	Resistor Selection Handbook (International Edition)	60p
BP29	Major Solid State Audio Hi-Fi Construction Projects	85p
100	A Comprehensive Radio Valve Guide - Book 1	40p
121	A Comprehensive Radio Valve Guide - Book 2	40p
126	Boys Book of Crystal Sets	25p
129	Universal Gram-Motor Speed Indicator (Combined 50 & 60 <del>cm</del> model)	10p
138	How to Make Aerials for TV (Band 1-2-3)	25p
143	A Comprehensive Radio Valve Guide - Book 3	40p
150	Practical Radio Inside Out	40p
157	A Comprehensive Radio Valve Guide - Book 4	40p
160	Coil Design and Construction Manual	50p
161	Radio, TV and Electronics Data Book	60p
170	Transistor Circuits for Radio Controlled Models	40p
177	Modern Transistor Circuits for Beginners	40p
178	A Comprehensive Radio Valve Guide - Book 5	40p
183	How to Receive Foreign TV Programmes on your Set by Simple Modifications	35p
195	High Fidelity 14 Watt Amplifier Design Chart	15p
196	AF - RF Reactance-Frequency Chart for Constructors	15p
197	Inexpensive Push-Pull Amplifier Construction Chart	15p
200	Handbook of Practical Electronic Musical Novelties	50p
201	Practical Transistorised Novelties for Hi-Fi Enthusiasts	35p
202	Handbook of Integrated Circuits (IC's) Equivalents and Substitutes	75p
203	IC's and Transistor Gadgets Construction Handbook	50p
204	Second Book of Hi-Fi Loudspeaker Enclosures	60p
205	First Book of Hi-Fi Loudspeaker Enclosures	60p
206	Practical Transistor Circuits for Modern Test Equipment	50p
207	Practical Electronic Science Projects	75p
208	Practical Stereo and Quadrophony Handbook	75p
209	Modern Tape Recording Handbook	75p
210	The Complete Car Radio Manual	75p
211	First Book of Diode Characteristics Equivalents and Substitutes	75p
214	Audio Enthusiast Handbook	75p
215	Shortwave Circuits and Gear for Experimenters and Builders	75p
216	Electronic Gadgets and Games	75p
218	Build your own Electronic Experimenters Laboratory Using IC's	75p
RCC	Resistor Colour Code Disc Calculator	15p

**BABANI PRESS & BERNARDS (PUBLISHERS) LIMITED**  
 The Grampians, Shepherds Bush Road, London W6 7NF  
 Telephone Number: 01-603 2581/7296

Bibliotheek Ned. Ver. v

NV  
B