

非綫性电阻

И. Г. 戈尔德列耶尔 著
В. Ю. 罗金斯基



國防工業出版社

非 綫 性 电 阻

И. Г. 戈尔德列耶尔 著
В. Ю. 罗金斯基

朱 世 靖 译
汪 雍 校

国防工业出版社

И. Г. Гольдереер и В. Ю. Рогинский НЕЛИ-
НЕЙНЫЕ СОПРОТИВЛЕНИЯ ГОСЭНЕРГ-
ОИЗДАТ Москва—1956

本書系根据苏联动力出版社

一九五六年俄文版譯出

[苏]戈尔德列耶尔, 罗金斯基著

朱世靖譯

汪雍校

*

国际工业出版社出版

北京市書刊出版业營業許可証出字第 074 号

机械工业出版社印刷厂印刷 新华書店發行

*

787×1092 耗 $1/32 \cdot 2^{11/16}$ 印張·56,000 字

一九五八年九月北京第一版

一九五八年九月北京第一次印刷

印数: 1—4,000 册

定价: (10)0.44 元

目 录

引言	3
第一章 非綫性电阻的种类	8
1. 鎮流管	8
2. 气体放电稳压管	11
3. 飽和扼流圈	16
4. 薛格涅特介質电容器	18
5. 半导体二極管	20
6. 热变电阻	40
7. 金剛砂电阻	45
第二章 非綫性电阻电路的最簡單計算方法	46
第三章 非綫性电阻的应用	54
8. 最簡單的参数稳压器	54
9. 电振蕩發生器	71
10. 交流电压变换器	79
結束語	84
参考文献	85

非 綫 性 电 阻

И. Г. 戈尔德列耶尔 著

В. Ю. 罗金斯基

朱 世 靖 译

汪 雍 校

国防工业出版社

目 录

引言	3
第一章 非綫性电阻的种类	8
1. 鎮流管	8
2. 气体放电稳压管	11
3. 飽和扼流圈	16
4. 薛格涅特介質电容器	18
5. 半导体二極管	20
6. 热变电阻	40
7. 金剛砂电阻	45
第二章 非綫性电阻电路的最簡單計算方法	46
第三章 非綫性电阻的应用	54
8. 最簡單的参数稳压器	54
9. 电振蕩發生器	71
10. 交流电压变换器	79
結束語	84
参考文献	85

引 言

电工学的基本定律——欧姆定律——适用于只含直綫性元件：如有效电阻、电感綫圈、电容器等的电路。通过綫性电阻的电流与作用于电阻上的电压大小的关系（它的伏安特性）是通过坐标原点的直綫关系。

然而，在實踐中也广泛地应用着那些在电流和作用于其上的电压之間不保持正比率关系的电阻，这样的电阻称为**非綫性电阻**。非綫性电阻与綫性电阻的主要差别是它的数值与沿电阻通过的电流或作用于电阻上的电压有关。

許多現代的无綫电技术装置（例如无綫电接收机）和自动装置（例如计算机）都含有为数極多的非綫性电阻，在某些情况下它們数以万計。非綫性电阻在技术中的作用正逐年增長。因此，将各种非綫性电阻的形式及它們在应用上的可能性介紹給广大讀者，已經成为很有实际意义的事。这也正是本書的任务。

非綫性电阻依本身伏安特性形状的不同而相异。对實踐來說， R_U 和 R_I 型电阻最有意义。前者具有这样的特性：即当通过它的电流在某一限度內改变时，其电压的改变非常小。 R_I 型非綫性电阻正相反，只有当电压在一定限度內改变时，通过它的电流才有極小的改变。这两种电阻的伏安特性曲綫如圖1所示。

非綫性电阻可以是有效电阻性的，也可以是电抗性的。屬於非綫性电抗的有具有处于飽和状态的鉄芯电感綫圈和介

質处于極化状态的电容器。这些电抗被分別地称为飽和扼流圈和薛格涅特介質电容器[●]。也可以把它們称为非綫性电感和非綫性电容。

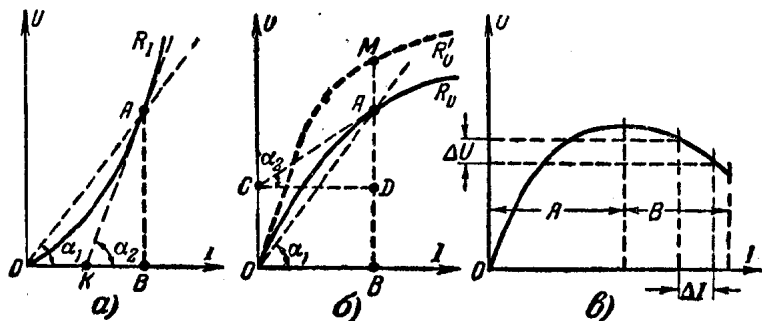


圖 1 非綫性电阻的伏安特性曲綫。

a — R_1 型电阻的特性曲綫； b — R_U 型电阻的特性曲綫；

b —帶負电阻段的特性曲綫。

与綫性有效电阻不同，非綫性有效电阻对于直流电流和直流电流的变化（脉动电流的交流成分）有着不同的数值。

相应于直流电流的电阻称为静态电阻

$$R_{cm} = \frac{U}{I}。$$

相应于直流变化的电阻称为动态电阻

$$R_{dyn} = \frac{\Delta U}{\Delta I}。$$

静态电阻决定于电流軸与通过坐标原点及伏安特性曲綫工作点 A 的直綫所夹之角的正切（圖 1, a ），而动态电阻则决定于电流軸及通过同一 A 点的切綫之間夹角的正切。

对于 R_1 型电阻：

● 非綫性的特性最先發現于介質为酒石酸鉀鈉盐的电容器上。

$$R_{cm} = \frac{AB}{OB} \quad \text{和} \quad R_{\partial uu} = \frac{AB}{KB}。$$

由于角 α_1 和 α_2 互不相等，所以电阻 R_{cm} 和 $R_{\partial uu}$ 的数值也不等（静态电阻小于动态电阻）。

R_U 型非綫性电阻的情形正相反， $R_{cm} > R_{\partial uu}$ （圖1,6）。

R_I 和 R_U 型电阻的非綫性程度用参数

$$Q_I = \frac{R_{\partial uu}}{R_{cm}} \quad \text{和} \quad Q_U = \frac{R_{cm}}{R_{\partial uu}}$$

来表示，它們称为非綫性电阻的品質或品質因数。

非綫性电阻的品質因数表明，在伏安特性曲綫同一工作点上的电阻之一——静态的或动态的——比另一电阻大多少倍。仅仅按照参数 R_{cm} 或 $R_{\partial uu}$ 中的一个，还不能判断这一或另一电阻的非綫性程度。为了說明上述情况，圖1,6中特繪出了非綫性电阻 R'_U 的伏安特性曲綫，在 M 点电阻 R'_U 有和电阻 R_U 相等的动态电阻。可是具有較大品質因数的电阻 R'_U 更能表示出非綫性的特性。这可以从这样一点看出：即当通过电阻 R_U 和 R'_U 的电流改变相同时， R'_U 的电压要改变得小一些。實質上非綫性电阻的品質因数表明非綫性电阻的数值随电流或电压改变而改变的程度。

当 R_I 型非綫性电阻的 R_{cm} 随电流的改变而改变得愈快， R_U 型电阻的 R_{cm} 随电压的改变而改变得愈快时，則該电阻所拥有的非綫性也愈大。这时， R_I 型的动态电阻 $R_{\partial uu}$ 的数值就迅速上升，而 R_U 型的动态电阻的数值就迅速下降。 R_I 型的动态电阻 $R_{\partial uu}$ 可以变得无限大，而 R_U 型的动态电阻 $R_{\partial uu}$ 可以变得等于零。当静态电阻随电流或电压的改变而改变得更快时，动态电阻就会变成負的。在这种情况下非綫性电阻就称为負电阻（ $R_{\partial uu} = \frac{\Delta U}{\Delta I} < 0$ ）。

圖 1, σ 的伏安特性曲綫有一負电阻段 B 。在这里, 随着通过电阻的电流的减少, 电阻上的电压降就增加。如果将負电阻与电路上的普通綫性电阻或具有正动态电阻的非綫性电阻串联, 則电路中电流的增加将引起負电阻上电压降的减小和正电阻上电压降的增加。不应認为負电阻是能源。它只促使电源的电能在电路元件之間进行某种重新分配。負电阻的存在 (下面将加以說明) 提供了借助于非綫性电阻發生电振荡的可能性。

假如非綫性电阻来不及在作用于其上的电压的一个周期內改变自己的数值时, 它就被称为慣性电阻。同一非綫性电阻在低頻电流时可以变成非慣性电阻, 而在較高的頻率时也可以变成慣性电阻。非綫性慣性电阻不引起电路中电流曲綫形状的畸变, 而非慣性电阻卻能引起很大程度的畸变。

按照决定特性曲綫非綫性的物理过程, 非綫性电阻可以分为两类。第一类电阻的伏安特性的非綫性决定于引起电流流通的物理过程的本身特性。属于这一类非綫性电阻的有气体放电管、半导体电阻和整流管、薛格涅特介質电容器、带飽和导磁体的扼流圈等等。

第二类电阻的特性的非綫性由加热所引起, 加热决定于电流在这些电阻內的流通程度。这一类非綫性电阻通常为慣性电阻, 甚至在極低的电流頻率下也一样。白熾灯、鎮流管和热变阻器就属于这一类。

非綫性电阻可以是控制式的和非控制式的。所謂控制式是指可以在很大限度內任意改变其数值, 即控制其数值的那些电阻。在这种情况下可以是电控制, 也可以是非电控制。严格說来, 非控制式电阻数值的改变也与影响它的因素有

关。然而就控制式电阻来说，突出的是输入控制数值的微小改变都会导致输出控制数值的极大改变。属于非线性控制电阻的有电子管、晶体三极管和饱和扼流圈。

在电控制时，利用接到非线性电阻上的附加电压（电流）电源而改变非线性电阻的数值。非线性电阻数值的改变会引起工作点（如图 1, a 中的 A ）沿伏安特性曲线的位移 并以此来达到静态电阻 R_{cm} 数值的改变。电控制式非线性电阻广泛地应用于现代无线电技术中。

还有一类非线性电阻，它们的 R_{cm} 在非电量的影响下而改变的。属于这类电阻的，例如有光电管和热变阻器。当作用于光电管的光通量和作用于热变阻器的热能量变化时，它们的伏安特性曲线的非线性部分几乎相互平行地在移动。由此，伏安特性曲线上的工作点的坐标（电流和电压）将改变，因而电阻 R_{cm} 也将改变。

本书只讨论具有两个端子，即为二端网络的非线性电阻。这种电阻中包括广泛应用的镇流管、气体放电稳压管、饱和扼流圈和薛格涅特介质电容器、各种具有单向导电性的半导体电阻（硒二极管、氧化亚铜二极管、锗二极管和硅二极管）、热变阻器和金刚砂电阻。

现代的控制式电阻（电子管、半导体三极管）同样具有非线性的特性，但它们不是二端网络。本书不讨论此类电阻。

下面将说明：在一系列情况下控制式电阻可以成功地被更便宜和在实际应用上更方便的二端非线性电阻所代替。目前这类非线性电阻用来：发生电振荡，这些振荡的调制和反调制，稳定直流和交流电压，分频和倍频以及变换一系列其他电压和电流。

第一章 非綫性电阻的种类

1. 鎮流管

鎮流管是 R_T 型非綫性电阻。它通常用来自动調節电流，在电路中它和負荷相串联。在构造上，鎮流管乃是一个充滿了氫气的玻璃泡，其中装有鋼絲或鎢絲，它們帶着通入鎮流管管底的引出綫。当电流通过鎮流管的灯絲时，灯絲就發热，而它的电阻就改变。灯絲的尺寸和材料以及主要冷却条件应当这样来选择：即要能保証鎮流管电阻的非直綫变化規律。

在多数情况下，鎮流管中采用正溫度系数为 $0.0046 \sim 0.0062$ 的灯絲。当这样的鎮流管的灯絲在 100°C 的溫度下加热时它的电阻增長到 $1.46 \sim 1.62$ 倍。如果選擇另一种溫度系数的灯絲材料的話，那末，鎮流管灯絲的电阻所改变的倍数将不同。但是仅靠加热产生灯絲电阻的改变不能保証鎮流管电阻具有尖銳的非綫性特性。为此，还应当要保証鎮流管灯絲适当的冷却范围。由此可見灯絲的冷却程度随着它的加热而不同。

鎮流管灯絲的冷却是靠灯絲的輻射和管内气体的对流来实现的。为了最好的冷却采用氫气来充填管子，氫气具有比其他气体更高的导热性。

通常鎮流管灯泡中的氫气气压是在50到200毫米水銀柱的范围内选择。

鎮流管的伏安特性曲綫及其与电路相接的最簡單的接綫圖如圖 2 所示。

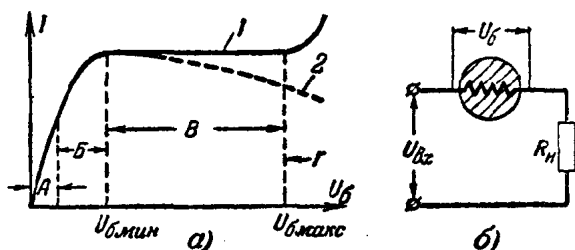


圖 2 鎮流管的伏安特性曲綫(a)和它与电路相接的綫路圖(b)。

鎮流管的伏安特性曲綫可分为四个特性区。在A区中鎮流管和一般綫性电阻沒有区别，因为它的灯絲加热很微，鎮流管上电压降和通过它的电流成比例。随着灯絲温度的增高，鎮流管电流和作用于其上的电压的非綫性关系就开始呈显出来（区域B）。

在伏安特性曲綫的B区中鎮流管的电阻随供給它的电压而急剧变化，同时电压改变与鎮流管电阻改变的比例关系仍保持不变，这样，通过鎮流管的电流也几乎不变。加热灯絲所消耗的功率与由于輻射及气体对流从灯絲表面耗散的功率相等乃是鎮流管这种工作状态的条件。

几乎保持不变的电流（通常在額定电流的 $\pm 4\%$ 范围内）称为鎮定电流。在保持着鎮定电流时的电压極限值称为鎮定电压或称为鎮定極限（ $U_{b, \text{мин}}$ 和 $U_{b, \text{макс}}$ ）。

在某些情况下当灯絲的热状态选择得适当时，B区中的特性曲綫可以有下降的性質（圖 2, a 中的曲綫2），例如

在 1B10-17 型鎮流管上就常常見到這種情形。

鎮流管用下面的方法標志：前面的數字表示以安培計的額定鎮定電流的數值，字母 B 表示鎮流管，字母后的前列數字表示起始鎮定電壓，後列數字表示終止鎮定電壓。例如 0.3B65-135 型鎮流管，其額定電流為 0.3 安，而穩定極限等於 65 和 135 伏。

在鎮流管接通時，電流的額定值只在經過若干時間之後才建立起來。由於熱慣性和鎮流管的低的起始電阻，有一段時間內通過管的電流是超過鎮定電流額定值 1~2 倍的。作用於鎮流管的電壓 U_{ax} 數值愈接近於鎮定上限 $U_{B, макс}$ ，則這段時間就愈短。

鎮流管是非綫性慣性電阻，它們不僅可以用於直流電路中，而且也可以用於交流電路中。甚至在最低的頻率時鎮流管也不會使電流曲綫形狀畸變。由於熱慣性的緣故，鎮流管只有在輸入電壓的變化充分緩慢時才能穩定電路中的電流。輸入電壓突然的、急劇的波動是會被平滑的，並且毫無改變地在電路中傳給負載。

工業用各種型號鎮流管的數據列於表 1 中。

表 1 鎮流管

鎮流管型號	起始鎮定電壓 $U_{B, мин}$ (伏)	終止鎮定電壓 $U_{B, макс}$ (伏)	起始鎮定電流 I_B (安)	終止鎮定電流 I_B (安)	額定電流的建立時間 (分)
1B5-9	5.0	9.0	1.0	1.0	5
1B10-17	10.0	17.0	1.0	1.0	5
0.3B17-35	17.0	35.0	0.275	0.375	5
0.3B65-135	65.0	135.0	0.275	0.325	5
0.42B5.5-12	5.5	12.0	0.415	0.435	5
0.85B5.5-12	5.5	12.0	0.83	0.85	5

用鎮流管自动保持負載中的电流，得到了各式各样和广泛的应用。例如：电子管由电压变更的电力網供电时，为了保持使电子管灯絲电流不变，就可以采用 0.3B65-135 型鎮流管。在某些情况下为了这样的目的也可采用另一种型号的鎮流管。

在許多情况下采用鎮流管来和热变阻器串联（下面将介紹）以便在額定鎮定电流形成之前限制电路中电流的起始值。

2. 气体放电稳压管

气体放电稳压管是 R_U 型非綫性电阻，它用来稳定当电流在一定的範圍内变动时电路中的电压。

这种稳定管乃是一种气体放电管，被稳定的电压就作用于它的电極上。这时在电極之間有輝光放电的現象。

气体中的輝光放电發生在电流密度不超过每个气体——金屬偶所特具的一定数值时，同时稳压管电極之間的电压降几乎是恒定的，而且不依赖于通过它的电流的数值。一系列的研究确定，电極間总电压降的很大一部分發生在阴極，而在阳極和气体本身的間隙中电压降很小。因此稳压管中的总电压降用阴極的电压降数值来表明。这一电压降数值是物理常数，并称为“正常阴極电势降”。

正常阴極电势降的数值与电子从金屬表面逸出功成正比，此外，它还与填充放电管电極空隙之間的气体有关。各种气体——金屬偶的正常阴極电势降列于表 2 中。

当需要降低放电管电極之間的电势降时，采用阴極激活的方法。例如鎳——氫偶的正常阴極电势降为 131 伏特，而

当在鍍阴極上鍍以鹼土金屬（鋇、鈹、鋇等）薄膜时，电势降就下降到70伏。

表2 金屬——气体偶的阴極电势降

阴極的 材 料	气 体						
	空 气	氧	氫	氮	氬	氖	氦
銅	252	—	214	208	177	—	—
銀	279	—	216	233	162	—	131
鎂	224	310	153	188	125	94	119
鋁	229	311	171	179	141	102	100
鉄	269	343	198	215	161	—	131
鍍	226	—	211	197	—	—	131
鉍	277	364	276	216	160	252	131

最簡單的气体放电稳压管由两个装置在充滿惰性气体的灯泡中的电極組成。此外还有各种不同的組合稳压管。其中有带数个气体間隙的放电管（多电極放电管），这种放电管象是串联在一个灯泡內的稳压管。这样的放电管还可以用来作为直流电压的分压器。此外还有具有附加电極的稳压管，附加电極能保証它們不但可以用来稳定电压，而且还可以用来作为振荡器、放大器等中的高压指示器。

在构造上几乎所有型号的稳压管都相同。作为阴極的电極，其表面大于阳極的表面，这是为了在保持阴極表面为稳定輝光放电所必需的較小电流密度时，可以通过放电管得到足够多的电流。用于小电流的稳压管，其阳極常常作成杆状，装置在圓柱形網状阴極的中央。当稳压管的电極形状为片状材料做成的空心圓柱体时，这种稳压管结构中阴極的形状就为底部边緣为圓形的柱形体。其所以有这样的必要，是为了避免在边緣窄小的阴極表面形成大的电流密度。

气体放电稳压管的电极通常固定在玻璃泡内陶瓷质或玻璃的基座上，玻璃泡内充满惰性混合气体。其压力为数十毫米水银柱。为了充填稳压管可以采用氮、氩、氦和氙的混合气体、其他气体或混合气体。

气体放电稳压管的伏安特性曲线如图 3, a 所示。这种放电管的主要参数为： U_s ——点火电压（而电极间开始放电时的电压）； U_{cm} ——稳定电压（几乎等于正常阴极电势降）； $I_{c,min}$ ——放电的最小电流（还能够维持放电时的电流）； $I_{c,maxc}$ ——最大电流（还没有过渡到电弧放电，仍然还在辉光放电时的电流）； $R_{dyn} = \frac{\Delta U}{\Delta I}$ ——放电时交流电的电阻（按伏安特性曲线来确定）。

当电流超过电流 $I_{c,maxc}$ 时就开始电弧放电，放电管就失去了本身的稳定性能。除此以外，在电弧放电时，阴极就损坏了。为了限制放电电流，通过放电管接入限流电阻 R_0 （不稳电阻），如图 3, b 的接线图所示。限流电阻的数值应当这样，即在稳压管最大输入电压 U_{bx} 时通过放电管（气体放电稳压管）的电流要不超过电流 $I_{c,maxc}$ 的数值。

从图 3, b 的接线图中可以看出，通过限流电阻 R_0 的电流是放电管电流和负载电流的总和。当输入电压 U_{bx} 增大时，通过限流电阻 R_0 的电流 I_0 也增加，这就引起了在它上面电压降的增加。若电极的间隙之间保持着辉光放电，则放电管上和与其并联的负载电阻 R_n 上的电压就保持不变。显然，在这种情况下通过放电管的电流就会增加，而负载电流就将保持不变。若通过放电管的电流变得大于电流 $I_{c,maxc}$ ，则辉光放电就能够转为电弧放电，电流的稳定就会破坏，而负载中的电流就将改变。稳压管工作状态的这样被损坏在电阻 R_0 比