

稳 压 器

A C 托 法 紐 克 著

电 信 工 业 局 編 譯 所 譯

國防工業出版社

1 9 5 9

目 录

· 前言	3
I. 稳压原理	4
1. 参数法	4
2. 补偿法	11
II. 参数稳压器	14
1. 气体放电稳压器	14
稳压管(14)——气体放电(15)——稳压管稳压器(19)	
2. 半导体稳压器	25
硅电阻(25)——硅电阻稳定器(26)——热敏电阻(29)——热敏电 阻稳压器(31)	
3. 电磁稳压器	33
磁场铁心扼流圈(33)——电磁稳压器(34)	
4. 铁谐振稳压器	36
串联铁谐振(36)——串联电路稳压器(40)——并联铁谐振(42) ——并联电路稳压器(45)	
III. 补偿稳压器	48
1. 补偿稳压器的元件	48
灵敏元件(48)——放大元件(54)——伺服元件(58)	
2. 电子稳压器	59
3. 磁放大器稳压器	63
交流稳压器(63)——整流电压稳压器(65)	
4. 电机稳压器	67
稳定自耦变压器(67)——发电机电压的稳定(71)	
附录	75

前 言

現代無線電與電子裝置的工作質量在很大程度上決定於電源電壓的穩定性。

雷達機及其各個部件的電源電壓越穩定，其工作效率便越高。這是由於在現代的雷達、電子裝置及其他裝置中，脈沖或高頻振蕩參數應保持極高的精度所致。假定，脈沖寬度以幾分之幾微秒計算，而高頻振蕩頻率以幾千兆赫計算，則很顯然，這些數值與額定值之偏差該是多麼微小。

電源電壓不穩定對脈沖的寬度、幅度及波形都有很大的影響。在高頻振蕩器內，振蕩頻率是隨電源電壓的變化而改變的。譬如，反射速調管的振蕩頻率與它的反射極的電壓有直接關係。

電壓的波動使陰極射綫管光柵的尺寸以及射綫亮度與聚焦都產生變化。

在低頻放大器、視頻放大器及高頻放大器內，陽極電壓以及帘柵極電壓的變化對放大系數有很大的影響。像電子顯微鏡這類裝置，若電源電壓不穩定，一般是不能工作的。

電源電壓的變化對電子管的壽命以及電子管的工作質量的影響亦很大。譬如，當燈絲電壓降低10%時，直熱式電子管的發射就減少50%，而當燈絲電壓升高10%時，電子管的壽命就會縮短60~70%。

如果電壓不穩定，測試儀表亦不能正常工作，並且其讀數的精度也將會大大降低。

由此可見，電壓的穩定問題，在目前具有很大的意義。

稳 压 器

A C 托 法 紐 克 著

电 信 工 业 局 編 譯 所 譯

國防工業出版社

1 9 5 9

目 录

· 前言	3
I. 稳压原理	4
1. 参数法	4
2. 补偿法	11
II. 参数稳压器	14
1. 气体放电稳压器	14
稳压管(14)——气体放电(15)——稳压管稳压器(19)	
2. 半导体稳压器	25
硅电阻(25)——硅电阻稳定器(26)——热敏电阻(29)——热敏电阻稳压器(31)	
3. 电磁稳压器	33
磁场铁心扼流圈(33)——电磁稳压器(34)	
4. 铁谐振稳压器	36
串联铁谐振(36)——串联电路稳压器(40)——并联铁谐振(42)	
——并联电路稳压器(45)	
III. 补偿稳压器	48
1. 补偿稳压器的元件	48
灵敏元件(48)——放大元件(54)——伺服元件(58)	
2. 电子稳压器	59
3. 磁放大器稳压器	63
交流稳压器(63)——整流电压稳压器(65)	
4. 电机稳压器	67
稳定自耦变压器(67)——发电机电压的稳定(71)	
附录	75

前 言

現代無線電與電子裝置的工作質量在很大程度上決定於電源電壓的穩定性。

雷達機及其各個部件的電源電壓越穩定，其工作效率便越高。這是由於在現代的雷達、電子裝置及其他裝置中，脈沖或高頻振蕩參數應保持極高的精度所致。假定，脈沖寬度以幾分之幾微秒計算，而高頻振蕩頻率以幾千兆赫計算，則很顯然，這些數值與額定值之偏差該是多麼微小。

電源電壓不穩定對脈沖的寬度、幅度及波形都有很大的影響。在高頻振蕩器內，振蕩頻率是隨電源電壓的變化而改變的。譬如，反射速調管的振蕩頻率與它的反射極的電壓有直接關係。

電壓的波動使陰極射綫管光柵的尺寸以及射綫亮度與聚焦都產生變化。

在低頻放大器、視頻放大器及高頻放大器內，陽極電壓以及帘柵極電壓的變化對放大系數有很大的影響。像電子顯微鏡這類裝置，若電源電壓不穩定，一般是不能工作的。

電源電壓的變化對電子管的壽命以及電子管的工作質量的影響亦很大。譬如，當燈絲電壓降低10%時，直熱式電子管的發射就減少50%，而當燈絲電壓升高10%時，電子管的壽命就會縮短60~70%。

如果電壓不穩定，測試儀表亦不能正常工作，並且其讀數的精度也將會大大降低。

由此可見，電壓的穩定問題，在目前具有很大的意義。

对大多数的无线电装置来说，电源电压的偏差容許不超过±1~2%，有些电路对电源电压精度的要求还更高。

但是，由于各种因素，电源电压不可能保持不变，而且其变化范围还相当大。譬如，在一昼夜内，市电电压与額定值之偏差可达10~15%或10~15%以上。柴油发电机的输出电压亦因原动机的轉数和发电机的負荷等的变化而略有变化。

为了消除电源电压波动的现象，可在电源与耗电设备之間装一个通称为稳压器的特种装置。稳压器的作用是不管負荷或电源电压的变化如何，都能使电压保持不变。

在雷达机内，总的初級电压、各个部件甚至各級的电源电压都需要稳定，因此，必須采用工作原理和結構不同的各种稳压器。这是由于对电源电压的要求不同，电源的功率不同，以及交流电压和直流电压所要求的稳定度不同的緣故。

在这本小册子内，我們將研究在雷达及其他装置中所采用的几种主要的稳压器。

1 稳压原理

稳定电压的方法主要有两种：参数法与补偿法。有时也采用綜合法，即所謂补偿参数法。

1 参数法

有些电阻，其电流与电压的关系往往超出欧姆定律的范围，即具有非綫性关系。这些电阻的伏安特性曲綫偏于电流軸或电压軸（图1）。此种非綫性是由电阻的导电性、电阻

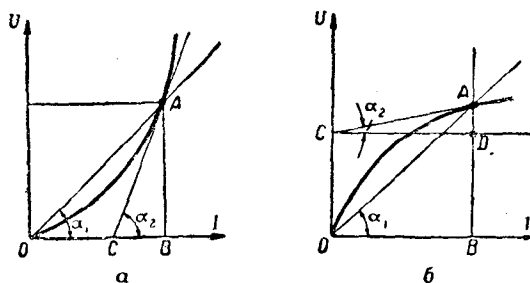


图 1 非线性电阻伏安特性曲线的两种类型:

α —偏于电压轴的; δ —偏于电流轴的。

的加热或电磁作用所决定的。

在参数稳压器中, 多半采用伏安特性曲线偏于电流轴的非线性电阻 (图1 6)。

非线性元件有两种参数: 静态电阻和动态电阻。

非线性元件对直流电通过所产生的阻力叫静态电阻。 A 点阻值的大小取决于纵坐标 AB 与横坐标 OB 比值的大小, 即取决于通过坐标原点与电阻测定点之直线, 跟横坐标轴所形成夹角 α_1 的正切的大小:

$$R_{\text{ст}} = \frac{AB}{OB} = \operatorname{tg} \alpha_1$$

非线性元件对低频电流通过所产生的阻力叫动态电阻。 A 点阻值的大小取决于电压增量 ΔU 与电流相应的增量 ΔI 二者比值的大小, 即取决于电流轴与通过动态电阻测定点的切线所形成夹角 α_2 的正切的大小

$$R_{\text{дин}} = \frac{AB}{CB} = \operatorname{tg} \alpha_2 (\text{图1 } a);$$

$$R_{\text{дин}} = \frac{AD}{CD} = \operatorname{tg} \alpha_2 (\text{图1 } \delta);$$

动态电阻通常称为非线性元件的内阻。

从图 1 可以看出, 动态电阻与静态电阻是不相等的。当伏安特性曲线偏于电压轴时 (图 1a), 动态电阻便大于静态电阻; 当伏安特性曲线偏于电流轴时 (图 1b), 动态电阻则小于静态电阻。

静态电阻和动态电阻都与通过非线性元件的电流或外加电压有关, 也就是说, 伏安特性曲线上每一点的阻值均不相等。

非线性电阻的电流与电压间的非线性关系可运用于参数稳压器。此种稳压器的工作原理是: 当非线性元件的电压或通过非线性元件的电流发生变化时, 线路内非线性元件的阻值 (参数) 就会相应的发生变化。

最简单的参数稳压器如图 2 所示。它是由直线性电阻 R 及非线性电阻 R_N 串联而成。非线性电阻具有 R_i 型特性曲线, 即偏于电压轴的特性曲线。将要稳定的电压 U_{bx} 加到上述两个电阻上, 而稳定的电压 U_N 则从非线性电阻 R_N 引出。

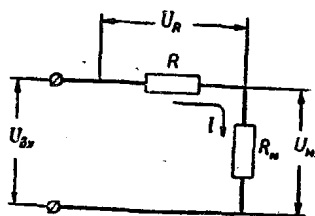


图 2 最简单的参数稳压器电路。

现在来证明, 在输入电压发生变化时, 非线性元件上的电压几乎保持不变的问题。为此, 需用图解法分析电路内各电阻的伏安特性曲线。此方法是以图解以下两个联立方程式为基础

$$U_N = f(I);$$

$$U_R = f(I)。$$

图 3 根据 $U_N = f(I)$ 所绘成的曲线 OA 表示非线性电阻的伏安特性曲线。此特性曲线通常为已知曲线。电路中直线性

性元件的伏安特性曲线按下式求得

$$U_{bx} = IR + U_N,$$

由此,

$$I = \frac{U_{bx} - U_N}{R} = \frac{U_R}{R},$$

或

$$U_R = RI_0$$

此方程式为直线方程式。直线性元件和非线性元件二者电压降的总和等于外加电压。因此, 特性曲线 $U_R = f(I)$ 的始点将是 D 点, 而其在纵坐标上的斜角决定于电阻 R , 因为

$$R = \frac{U_R}{I} = \operatorname{ctg} \alpha,$$

所以

$$\alpha = \operatorname{arc} \operatorname{ctg} R_0$$

此特性曲线有时称为负载直线。

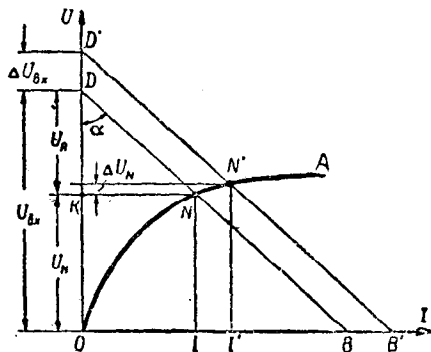


图3 输入电压变化时, 参数稳压器的图解分析。

由于通过这两个电阻的电流是相等的, 故直线性和非线性元件特性曲线的交点 N 就是电路的工作点。此时, 电路中的电流 I 可由 N 点的横坐标轴确定。自 N 点划一垂直于纵座

标軸的垂直綫，即可求得直綫性和非綫性元件上的电压降：

$$OK = U_N, \quad KD = U_{R_0}$$

輸入电压改变时，直綫 DN 与纵座标軸的斜度保持不变，因为电阻 R 值不变，只是平行地移动一些；此时，工作点 N 也将沿 $U_N = f(I)$ 特性曲綫而移动。

当輸入电压值增大 ΔU_{Bx} 时，工作点 N 移至工作点 N' ，电路中的总电流及直綫性元件与非綫性元件的电压降也随之增大。同样，当輸入电压减少时，也可以看到类似的情况，但此时每个元件上通过的电流和电压将降低。

由曲綫图上可以看出，电阻 R_N 上电压的变化 ΔU_N ，比輸入电压的变化 ΔU_{Bx} 要小得多，即

$$\Delta U_N < \Delta U_{Bx}。$$

同样，电压 U_N 的相对变化，亦比輸入电压 U_{Bx} 的相对变化小，即

$$\frac{\Delta U_N}{U_N} < \frac{\Delta U_{Bx}}{U_{Bx}}。$$

若非綫性元件伏安特性的工作部分相当平直的話，則电压 U_N 的相对变化将很小，因此，在大多数情况下可忽略不計。

由此可見，在图 2 的电路图中，当輸入电压在某一范围内变动时，非綫性元件上的电压降 U_N 实际上保持不变，亦即此电路具有稳定的性能。

因此在穩压器內，常接入一只負荷电阻 R_H ，負荷电阻的消耗电流为 I_H 。此时，即使負荷电流发生变化，电路仍具有稳定性。

下面我們再来証明，由直綫性元件和非綫性元件組成的

电路(图4), 能使输出电压 U_N 在负荷电流变化时保持不变的问题。

首先必须指出, 若电路中有几个伏安特性曲线不同的非线性电

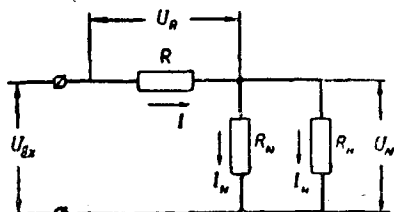


图4 并联负荷的稳压器线路。

阻和直线性电阻时, 则其伏安特性曲线可以相加, 由一等效特性曲线来代替。为此, 在并联非线性电阻 R_N 和直线性电阻 R_n 时, 总电流应等于流经这两个电阻的电流总和, 其电压降亦应相等。

非线性电阻 R_N 的伏安特性用图5中的曲线 OD 表示。直线性电阻 R_n 的特性曲线为直线 OA , 它决定于角 α , 即

$$\alpha = \arctan R_{n0}$$

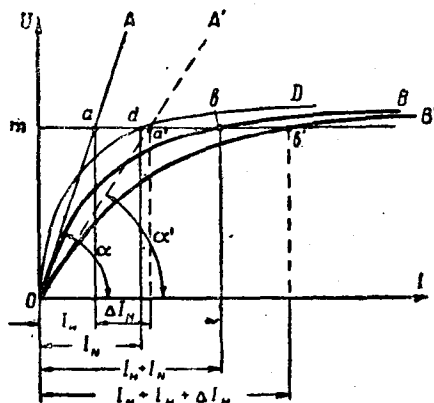


图5 直线性电阻和非直线性电阻的伏安特性曲线相加。

若电压值相等, 此二特性曲线的横坐标相加, 即可得出等效特性曲线 OB 。

$$mb = ma + md_0$$

現在我們來研究在負荷電阻 R_H 發生變化時，並聯等效電阻 R_N 與 R_H 上的電壓降將起何種變化。顯然，此時特性曲線 OA 與橫座標軸的斜度將改變。

當 R_H 減少了 ΔR_H ，即負荷電流增加 ΔI 時，特性曲線則移到 OA' 的位置，這個位置取決於角 α' 的大小。

$$\alpha' = \arctg(R_H - \Delta R_H)。$$

此時，等效特性曲線將是 OB' ：

$$mb' = ma' + md_0$$

由圖 5 可見，特性曲線 OB 和 OB' 的水平部分極其接近，幾乎是平行的。因此，若穩壓器的工作點 N 選在這段水平部分（圖 6）則即使負荷電流的變化很大，也只能使等效電阻的電壓發生微小的變化 ΔU_N 。電壓 U_N 的相對變化將比負荷電流的相對變化小得多，即：

$$\frac{\Delta U_N}{U_N} \ll \frac{\Delta I_H}{I_H}。$$

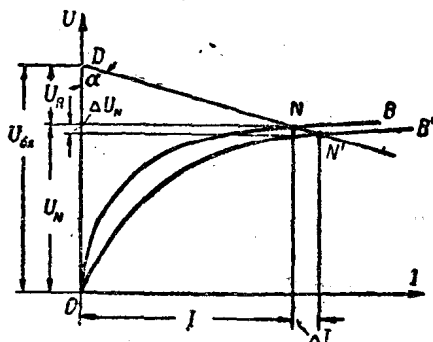


圖 6 負荷電流變化時穩壓器的圖解分析。

因此，當輸入電壓改變時，帶負荷電阻的穩壓器電路的工作情況與不帶負荷的電路（圖 2）相似。

由此可見，由直綫性电阻和非綫性电阻組成的参数稳压
器电路在輸入电压和負荷电流变化时，均具有稳定性。电路
的稳定性越好，非綫性元件特性曲綫的工作部分就越平。因
此，水平部分斜度不大的非綫性电阻可用于参数稳压器。

此外，稳压管、砷电阻、热敏电阻以及飽和鉄心电感綫
圈等，均可用作非綫性元件。直綫性元件——电阻、扼流圈
等——用来将工作点固定于非綫性元件特性曲綫水平部分的
中間。

因而，参数稳定法的实质是：当輸入电压 U_{BX} 或負荷电
流 I_H 变化时，电路中的非綫性电阻的阻值亦起变化，以保証
輸出电压的相对变化小于輸入电压或負荷电流的相对变化。

2 补偿法

补偿法的实质在于能够自动調整輸出电压。

补偿稳压器乃是一种閉合循环的自动調整器件，通常按
图 7 所示的方框图装成。

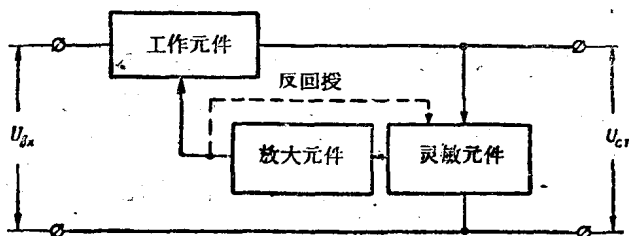


图 7 补偿稳压器方框图。

补偿稳压器由三个主要元件——灵敏元件、放大元件及
工作元件組成。为了提高稳定性及防止自激厉的現象，电路
内采用負回授(OOC)。

灵敏元件内有标准电压（基准电压） U_{on} ，稳压器的部分输出电压，可经常与标准电压作比较。在输出电压正常的条件下，灵敏元件的输出电压等于零。当输出电压偏离额定值时，从灵敏元件输出端就有两个电压差（标准电压与部分输出电压的差值）送到放大元件。这两个电压相差愈大，输出电压与额定电压之偏差也就愈大。

上述的电压差在放大元件内经过放大到能控制工作元件所需之数值时，输出电压就能在工作元件的影响下达到额定值。可见稳定电压实际上就是消除标准电压与送至灵敏元件输入端的电压两者之间的差数。

在输入电压剧烈波动的情况下，电路内就会产生等幅振荡。为了使电路稳定，可采用负回授。这样，负回授的脉冲便与灵敏元件输出端的电压差相遇，从而削弱了它的作用。

必须指出，在灵敏元件内还可以采用其他原理来显示输出电压偏离额定电压的现象，关于这一点在下面还会讲到。

补偿稳压器亦称为回授稳压器，因为这种稳压器的的工作原理是以电压负回授为基础的。

任何稳压器的质量均按下列几个指标来评定，即稳定系数、稳定范围、输出电压波形的失真系数、工作中的惰性、效率、 $\cos \varphi$ 、工作时有无杂音、构造是否简单而又可靠。

稳定系数表示稳压器输出电压的相对变化与输入电压、负荷电流或电源频率相对变化的比值。

为了全面地评价稳压器电路的稳定性能，通常使用下列三种稳定系数：（1）输入电压稳定系数 K_U ，鉴定稳压器在电源电压变化时的稳定特性；（2）稳压器的负荷电流稳定系数 K_I ，表示稳压器的输出电压在负荷电流变化时的变化情况。

况；(3) 电源频率稳定系数 K ，衡量稳压器在电源电压的频率变化时的稳定特性。

稳压器的稳定系数一般以下式表示

$$K = \frac{\frac{\Delta x}{x}}{\frac{\Delta U_{\text{cr}}}{U_{\text{cr}}}}$$

式中 K ——稳定系数；

Δx ——不稳定因素(输入电压、负荷电流、电源频率)的最大偏差；

x ——不稳定因素的额定值；

ΔU_{cr} ——稳压器输出电压与额定值的最大偏差；

U_{cr} ——输出电压额定值。

稳定范围系决定输出电压保持在規定范围时输入电压的变化。

输出电压波形失真系数于稳压器电路内接有非线性元件，因而加至上述电路输入端的正弦电压在输出端便产生失真的现象，并出现很不好的最高次谐波。失真系数越小，稳压器的质量就越好。

惰性输入电压的变化(波动)可能非常缓慢，也可以异常急速(实际上是瞬息的)。因此稳压器的惰性应尽量小，使其能反应极其迅速的电压变化。稳压器的惰性是用反应时间，即从输出电压产生波动起至稳压器对其开始起作用为止这一段时间来表示的。

效率是指稳压器本身所消耗的功率。此功率，从经济观点来看是无效的，因此，为了提高效率，必须减少稳定器所消耗的功率。

$\cos \varphi$ 是指稳压器无功元件的损耗。损耗越大, $\cos \varphi$ 便越小。由于无效功率是无效的, 因而必须提高 $\cos \varphi$ 。

稳压器其余的质量指标是一目了然的。

下面我们就根据上述各项指标来衡量各类稳压器, 并对其优缺点分别进行分析。

II 参数稳压器

凡是以伏安特性曲线偏于电流轴的非线性电阻为主要元件的稳压器 (图 16) 都属于参数稳压器。

稳压管、砷电阻、热敏电阻、饱和扼流圈和带饱和扼流圈的谐振电路等等都可当作非线性电阻。

1 气体放电稳压器

在这类稳压器中, 一般用气体放电管、稳压管作为非线性元件。

稳 压 管

稳压管属于气体放电管, 其工作原理是以气体放电的某些特性为基础的。

稳压管乃是一种充气管 (图 8 a)。在压力为几毫米水银柱的条件下, 先将玻壳 (1) 内的空气抽掉, 然后充入氩、氪或氮等惰性气体。玻壳内有阳极和阴极两个电极。阴极 (2) 是一个圆筒形的电极, 通常用镍制成。阴极的内部涂有一层氧化膜, 以减小输出功能。

阳极 (3) 是一根镍棒, 装在圆筒形的阴极内。管内还有