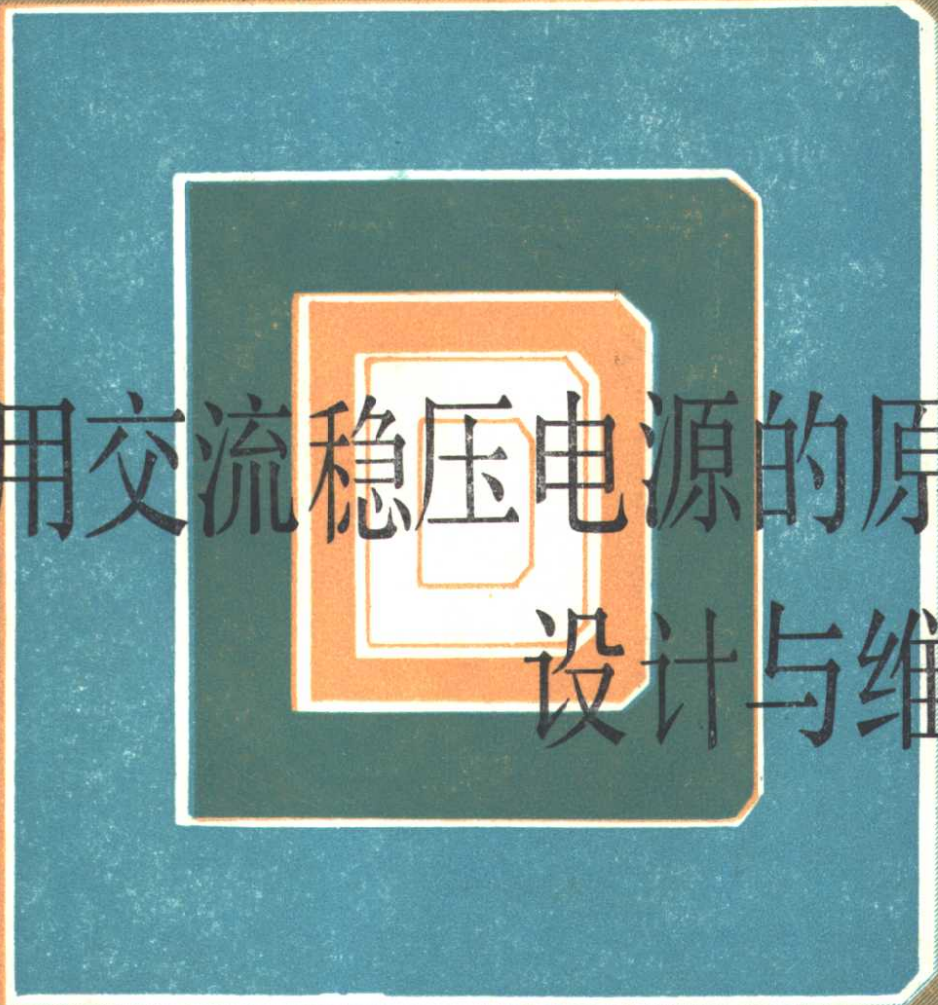




常用交流稳压电源的原理 设计与维修

张浩清 顾纪章 编著

国防工业出版社

常用交流稳压电源的原理、 设计与维修

张浩清 顾纪章 编著

国防工业出版社

内 容 简 介

本书以目前国内广泛使用的磁饱和交流稳压电源、稳压变压器、磁放大器调整式电子交流稳压电源和自动调压式交流稳压电源这四类稳压电源为基础,分别详细地叙述了它们的工作原理、设计计算、稳压特性、结构特点、测试方法以及使用维修。书末还附有常用电子交流稳压电源的线路图,给使用和维修人员提供了方便。

本书采用由浅入深的叙述方法,不仅可供广大使用交流稳压电源的工人、技术人员、维修人员阅读,而且还可供技术管理人员和从事交流稳压电源的设计人员参考。

常用交流稳压电源的原理、设计与维修

张浩清 顾纪章 编著

国防工业出版社出版

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

国防工业出版社印刷厂印装

*

787×1092¹/₃₂ 印张5⁵/₈ 121千字

1986年4月第一版 1986年4月第一次印刷 印数:00,001—11,100册

统一书号:15034·2944 定价:1.20元

前 言

交流稳压电源广泛应用于国民经济的各个领域，目前随着家用电器产品的发展，各种家用交流稳压电源使用得越来越普通。广大技术人员和交流稳压电源使用者希望更多地了解各种交流稳压电源的基本知识。编写本书的目的就是想在这较小的篇章里，以目前广泛使用的四大类型交流稳压电源为基础，叙述工作原理、稳压特性、使用和维修方法。为了加深理解，还介绍了各类交流稳压电源的经验计算方法和制造工艺方面的部分知识，这样编写的目的是为了理论与实践更加紧密的结合，有利于指导维修工作，同时亦为广大业余爱好者自行制作交流稳压电源提供方便。

本书共分四章，每章各叙述一种类型的交流稳压电源。根据编写的需要，我们将第三章“磁放大器调整式电子交流稳压电源”的内容适当扩大了一些，加入了一部分与交流稳压电源有关的磁放大器基本原理、结构和设计知识，这样有利于读者对这一章内容的理解。

在编写本书的过程中，得到了许多同志的支持和帮助。在完稿后，又承蒙卢淦教授和段孝斌同志审阅了全稿内容，并提出了修改意见，在此表示深切的谢意。

限于我们水平有限，书中缺点和错误在所难免，希望读者批评指正。

张浩清

顾纪章

11503/10

目 录

第一章 磁饱和交流稳压电源	1
§ 1-1 磁饱和交流稳压器的原理电路	1
1-1-1 基本稳压元件	1
1-1-2 稳压器的原理电路	2
§ 1-2 串联谐振式稳压器	4
1-2-1 电路组成及工作原理	4
1-2-2 实际电路和改进措施	8
1-2-3 串联谐振式稳压器设计计算方法	9
1-2-4 串联谐振式稳压器的制造工艺	16
§ 1-3 并联谐振式稳压器	17
1-3-1 并联谐振式稳压器的工作原理	17
1-3-2 稳压性能的改进——并联谐振补偿线圈式稳压器	23
1-3-3 并联谐振式稳压器的设计计算方法和制造工艺	24
1-3-4 国产电磁谐振式稳压器的型号规格	26
1-3-5 具有滤波电路的并联谐振式稳压器	27
1-3-6 具有频率补偿的并联谐振式稳压器	28
§ 1-4 磁饱和交流稳压电源的主要技术指标及测试方法	29
§ 1-5 磁饱和交流稳压电源的使用和维修	32
第二章 稳压变压器	34
§ 2-1 稳压变压器与磁饱和交流稳压器的区别	35
§ 2-2 稳压变压器的铁心结构	36
2-2-1 山字型铁心结构的稳压变压器	37
2-2-2 C型铁心结构的稳压变压器	38
2-2-3 双C型铁心结构的稳压变压器	39
§ 2-3 稳压变压器的稳压特性	41
2-3-1 稳压特性曲线	41

2-3-2	用向量图分析稳压特性	41
2-3-3	过载保护特性	43
2-3-4	抗干扰性能	44
2-3-5	输出补偿特性和输出波形	45
§ 2-4	稳压变压器的设计计算和制造工艺	47
2-4-1	稳压变压器的设计计算	47
2-4-2	稳压变压器的制造工艺	50
§ 2-5	稳压变压器的技术指标与测试方法	52
§ 2-6	稳压变压器的使用与维修	54
§ 2-7	国产稳压变压器的型号规格和典型线路图	56
第三章	磁放大器调整式电子交流稳压电源	60
§ 3-1	磁放大器调整式电子交流稳压器的的工作原理	60
3-1-1	电子交流稳压器中磁放大器原理、结构和工艺要求	60
3-1-2	614系列电子交流稳压器直流控制回路的工作原理	77
3-1-3	614系列电子交流稳压器交流调整回路的工作原理	81
3-1-4	几种附加电路的工作原理及3D1P、2D2P取样线路的比较	88
§ 3-2	电子交流稳压器的技术指标和测试方法	91
§ 3-3	电子交流稳压器的使用常识和注意事项	97
§ 3-4	电子交流稳压器的故障分析和维修	99
3-4-1	一般性的检查方法	100
3-4-2	测量各点电压的检查方法	105
3-4-3	常见的故障及其分析	110
3-4-4	维修时的注意事项	122
§ 3-5	614系列电子交流稳压器的设计和计算	123
3-5-1	交流回路的设计和计算	123
3-5-2	直流控制回路的设计和计算	133
3-5-3	计算实例	134
第四章	自动调压式交流稳压电源	142
§ 4-1	自动调压式交流稳压电源的工作原理及其设计	142
4-1-1	自动调压式交流稳压电源的工作原理	142
4-1-2	自动调压式交流稳压电源的设计	144
§ 4-2	自动调压式交流稳压电源的使用常识和注意事项	153

§ 4-3	自动调压式交流稳压电源的故障和维修	154
4-3-1	主要部件的检查及维修	154
4-3-2	常见故障及其分析	160
附表一	热轧和冷轧无取向硅钢片(带)的电磁性能	162
附表二	热轧和冷轧无取向硅钢片(带)的 含硅量和平均密度	163
附表三	冷轧取向硅钢片(带)的电磁性能	163
附表四	常用的功率调整管参数	164
附图一	614-05(500VA) 电子交流稳压器线路图	165
附图二	614-A ₂ (1kVA) 电子交流稳压器线路图	166
附图三	614-2kVA 电子交流稳压器线路图	167
附图四	612-B ₃ (3kVA) 电子交流稳压器线路图	168
附图五	614-C ₃ (5kVA) 电子交流稳压器线路图	169
附图六	JA ₁ 型 (1kVA) 电子交流稳压器线路图	170
附图七	JA ₂ 型 (2kVA) 电子交流稳压器线路图	171
附图八	WY-2000(2kVA) 电子交流稳压器线路图	172

第一章 磁饱和交流稳压电源

磁饱和交流稳压电源，亦称电磁式交流稳压电源或铁磁谐振式交流稳压电源。它的优点是结构简单、设计制造方便，稳定输入电压的范围较宽、工作稳定可靠、过载能力较强，即使瞬间短路也不致引起稳压器的损坏。它的缺点是波形失真大，稳压精度比电子交流稳压器的指标差。在波形失真及稳压精度要求不是太高的场合，例如一般工业或民用方面，它是一种运用较普遍的交流稳压器，也可作为高精度稳压电源的预稳压器。

磁饱和交流稳压器按其电路组成，可分为串联谐振式稳压器、并联谐振式稳压器，并联谐振补偿线圈式稳压器、带滤波电路的稳压器和具有频率补偿的稳压器等。

§ 1-1 磁饱和交流稳压器的原理电路

1-1-1 基本稳压元件

磁饱和交流稳压器的基本稳压元件是饱和电抗器，它是一种具有铁心（通常用硅钢片作铁心）的电感线圈。当它的两端接上频率一定的（如 50Hz 的交流电网）交流电压时，电感线圈的交流端压 U 与流经电感的交流电流 I 一般都存在如图 1-1 所示的伏安特性。从曲线的形状可见，在其开始部分， U 与 I 都比较小，电感端压与流经它的电流呈线性关系，但当到达伏安特性的 A 点以后， U 的增长就比 I 慢得多，以致最后曲线趋于平坦， U 几乎不随 I 而增长。特性曲线的这种

由直线而变成弯曲，并且最后趋于平坦，是由于铁心材料的磁导系数在磁感应高的情况下变小，亦即通常所说的铁心的饱和所造成的。

所以称这种铁心电感为饱和电抗器，就是由于在使用这种电感时，有意地让通过它的电流 I 较大，使它工作在饱和区。这样做，就能使饱和电抗器的端压 U 基本不随流过它的电流 I 而变。

从一个线圈的电感量来看，饱和电抗器实质上是一种非线性电感。在电流 I 不大，磁感应不高的情况下（亦即伏安特性曲线的 A 点以前），它的电感量 L 较大，而且是常数，因此感抗 ωL 也是较大的常数；当电流 I 升高，铁心进入饱和区以后，线圈的电感量就不再是常数了， I 越大，电感 L 越小，因而感抗 ωL 也就越小。

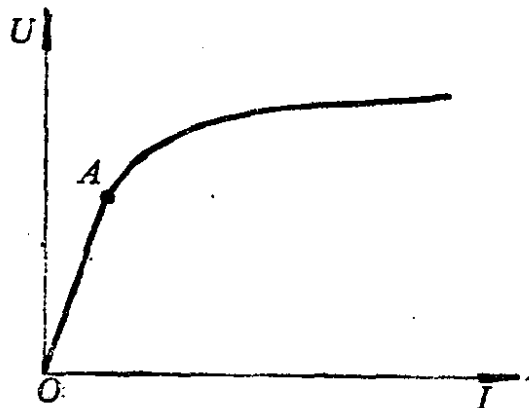


图1-1 铁心电感的伏安特性

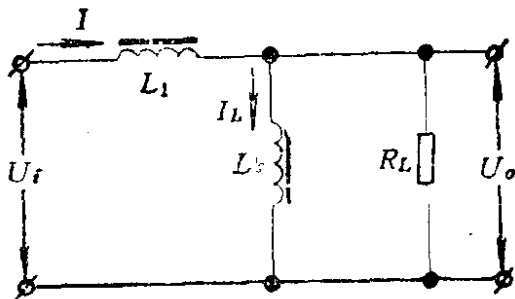


图1-2 电感串联磁饱和稳压器

1-1-2 稳压器的原理电路

利用饱和电抗器的饱和伏安特性就能构成磁饱和交流稳压器。图 1-2 给出了一种最简单的交流稳压器电路，它由非饱和电感 L_1 与饱和电抗器 L_2 串联而成。 U_i 是未经稳压的输入交流电源电压（例如，有起伏的 50Hz 电网电压），负载 R_L 则

接到饱和电感 L_s 的两端，也就是说，负载是与饱和电感并联的。显然，这种电路是通过电感 L_1 与 L_s 组成的分压器对负载供电的。通常负载 R_L 远大于饱和电抗器的感抗 ωL_s ，因而可近似地略去 R_L 的分路作用，分压比近似为

$$n = \frac{\omega L_s}{\omega L_1 + \omega L_s} = \frac{L_s}{L_1 + L_s}$$

当电网电压 U_i 不稳，发生起伏时，电流 I 将随着改变。若 U_i 上升， I 将随着增大，它对非饱和电感 L_1 没有影响，但将迫使饱和电感 L_s 减小，因此分压比 n 将随着 U_i 的上升而减小，从而使负载得到的供电电压 U_o 不随 U_i 而明显上升，保持基本稳定，而 I 的增大却导致非饱和电感 L_1 的压降 $I\omega L_1$ 增大，使得输入电压 U_i 的增加部分基本降落在固定电感端，如同电感 L_1 吸收了输入电压的变化，使之不传送到负载端去，所以 L_1 可以称之为“吸变元件”。

以后可以见到，任何一种磁饱和稳压器电路，显然具体形式各有不同，但基本上都脱离不了稳压元件和吸变元件这样两个主要元件，而且稳压元件总是与负载并联，吸变元件总是串联在电源与负载之间，如图1-3所示。

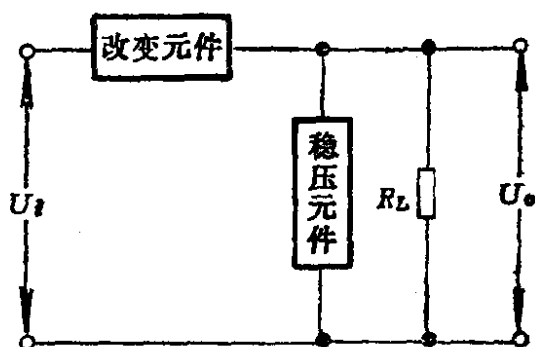


图1-3 磁饱和稳压电路的一般组成形式

有了这种认识，对熟悉和掌握各种具体的磁饱和稳压器电路是有帮助的。

还应该注意到，由于饱和电抗器必须工作在饱和区，因此它的端压，亦即稳压器的交流输出电压必然有明显的波形失真；同样，由于饱和电抗器应工作在饱和区，因此通过电

抗器的电流一般都较大,也就是说,磁饱和交流稳压器的空载电流不可能做得很小,有载时的功率因数也不可能很高,这些都是各种磁饱和交流稳压器的共有特点。在设计稳压电路时,如何使空载电流尽可能小些,功率因数尽可能大些,是值得注意的问题。

§ 1-2 串联谐振式稳压器

1-2-1 电路组成及工作原理

图 1-2 所示的稳压电路实际运用的并不多,因为它需要两个电感,比较笨重,而且成本也较高;此外,这种电路只能提供比输入交流电压 U_i 低的输出交流电压 U_o ,而一般总是希望电网电压 220V 上下有较大的波动时,输出电压基本保持在 220V 附近。

为了克服上述缺点,可将原电路中的吸变元件——非饱和电感 L_1 改换为电容 C ,这就构成如图 1-4 所示的串联谐振式稳压电路。

首先研究电容电感串联电路的伏安特性。由于是串联电路,设忽略负载的分路作用,流经 C 和 L_r 的电流总是相等的;若电容与电感都是理想的无耗元件,电容端压 U_c 与电感端压 U_L 在相位上完全反相,从而串联电路的端压 U 总是等于两者之差,即 $U = |U_L - U_c|$ 。图 1-5 给出了电容与电感的伏安特性 $U_c = f_2(I)$ 及 $U_L = f_3(I)$ 。求两者的差,即到总端压 U 随电路电流 I 变化的曲线,即串联电路的总伏安特性。

在伏安特性的 A 点, U_L 与 U_c 大小相等,亦即 L_r 的感抗与 C 的容抗相等,因此 A 点为串联电路的谐振点,这时串联电路的总端压等于零。

伏安特性以串联谐振点 A 为分界:在 A 点以前,即伏安

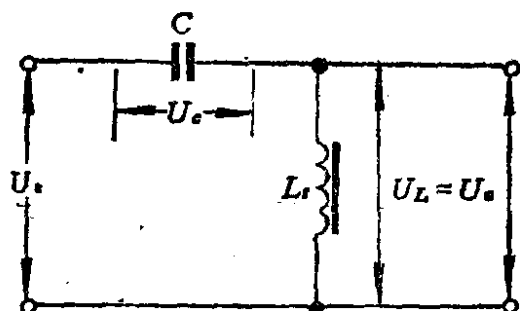


图1-4 串联谐振式稳压电路

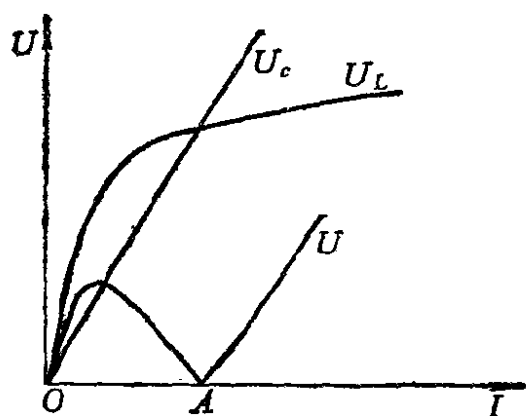


图1-5 串联谐振电路的伏安特性

特性的 OA 段， $\omega L_s > \frac{1}{\omega C}$ ，电路为感抗性；在 A 点以后，随着电路电流 I 的增大，饱和电抗器的饱和程度越来越深，即电感 L_s 的感抗越来越小，因此 C 的容抗起主导作用，电路呈容抗性，总端压 U 随 I 而近似线性地增大。

由于实际电路元件总是有损耗的，因而串联电路的实际总伏安特性的谐振点 A 的端压不为零，如图 1-6 所示。图中实线为实际总伏安特性，虚线为理想伏安特性。

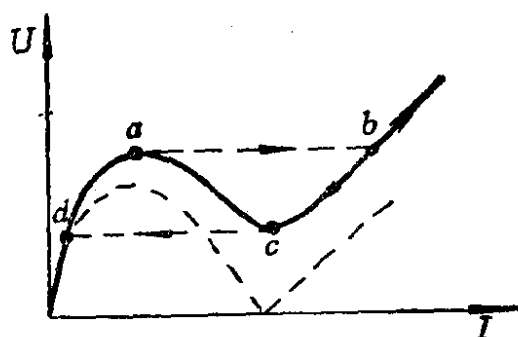


图1-6 电感串联磁饱和稳压器

当对这种电路提供输入电压 U_i 时，设 U_i 从零逐渐增大，当达到特性的 a 点以后，进一步增加 U_i ，就会发生从 a 点到 b 点的跃变，即电流突然增大，而 U_i 再往上升时，电流将沿伏安特性而上升；反之，当电源电压往回逐渐下降时，电流将沿伏安特性下降到 c 点，进一步减低 U_i 就会发生从 c 到 d 的突变，即电流突然减小。这就是串联谐振式稳压器的启动特性。通常为了保证稳压， L_s 应工作于深饱和区，即电

源电压 U_i 总是足够高,使得串联电路工作于远比串联谐振点为高的区域(图 1-6 中伏安特性 b 点以上的区域)。因此在一般情况下,当电源电压 U_i 是在正常值附近变动、而不是从零逐渐升高或从正常值逐渐下降到很低时,就不一定能遇到这种启动过程。

现在说明串联谐振式稳压器的稳压作用,也就是说,观察当电源电压 U_i 在正常值附近改变时,输出电压 U_o ,即稳压元件——饱和电抗器 L_r 端的电压 U_L 如何变化。

在图 1-7 中,假定电源电压从 U_i' 下降到 U_i'' ,那么从曲线 $U_i=f_1(I)$ 与 $U_L=f_3(I)$ 就可以求出相应的输出电压 U_o' 与 U_o'' 〔具体地讲,从 $U_i=f_1(I)$ 上找出对应于 U_i' 的 I' ,再从 $U_L=f_3(I)$ 找出对应于 I' 的 U_o'' ,余类推〕。

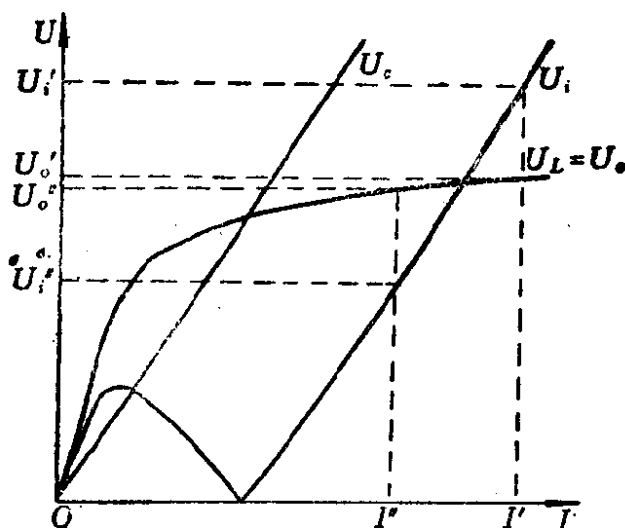


图1-7 串联谐振式稳压器的稳压作用

从上图可见,电源电压的很大变化 $\Delta U_i = U_i' - U_i''$ 只能引起输出电压很小的变化 $\Delta U_o = U_o' - U_o''$,说明这种电路具有明显的稳压性能。此外,由于采用了谐振电路,可使输出电压 U_o'' 大于输入电压 U_i'' ,这是前述的电感串联式稳

压电路所办不到的。

如果对一系列的 U_i 值求出相应的 U_o 值, 就可以给出输出电压 U_o 随输入电压 U_i 而变化的关系曲线 $U_o=f(U_i)$, 如图1-8所示。从曲线可以看出, 这种稳压电路只有在输入电压 U_i 超出某一临界值 U_{ic} 时才能起稳压作用, 因此, U_{ic} 被称为“启稳电压”。此后, 在较宽的范围内, 虽然输入电压 U_i 不断上升, 而输出电压 U_o 则变化甚小, 说明了谐振式磁饱和稳压器的稳压范围是可以做得较宽的。

若在正常稳压状态下逐渐降低输入电压 U_i , 则当 U_i 降低到 U_{it} 时, 输出电压突然下跌, 稳压器失去稳压作用, U_{it} 被称为“停稳电压”。显然, 启稳电压 $U_{ic} >$ 停稳电压 U_{it} 。

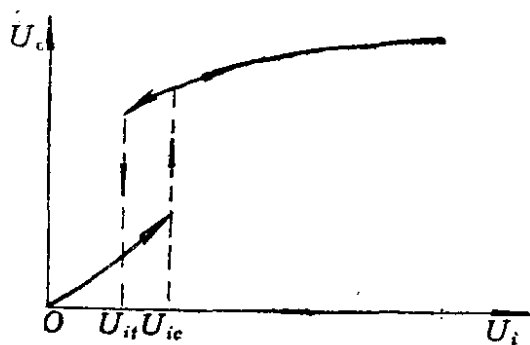


图1-8 稳压特性

从图1-7还应该注意, 稳压电路的正常工作区域是在串联谐振点以上(即图中 U_c 与 U_L 曲线交点的右侧), 因此电容的端压 U_c 总是大于饱和电感的端压 U_L , 但两者的相位相反, 输入电压 U_i 与 U_c 及 U_L 的关系为

$$U_i = |U_c - U_L|$$

随着输入电压 U_i 的起伏, 例如 U_i 的可能变化范围为160~250 V, 电容的端压可能在

$$U_c = U_i + U_L = (160 \sim 250) + 220 = 380 \sim 490 \text{ V} \bullet$$

的范围内变化, 这就进一步说明了在稳压电路中, 吸变元件 C 在承受输入电压变量中所起的作用, 同时还表明, 电容 C 必须有足够高的耐压——电容的耐压应选择在600 V以上。

● 假定 U_L 完全可以稳定在220 V。

1-2-2 实际电路和改进措施

为了便于生产和使用, 上述串联谐振式稳压电路一般还应作如下一些改进, 如图 1-9 及图 1-10 所示。

1. 图中 K 为电源开关, 在正常工作时, K 扳向电源; 在停用时, K 扳向电阻 R , R 是泄放电阻。由于电容 C 与饱和电

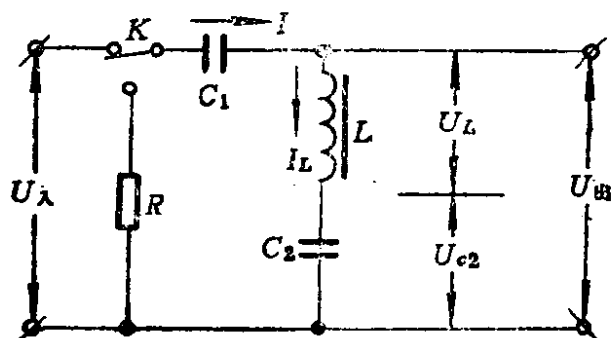


图1-9 电容补偿串联磁饱和稳压器

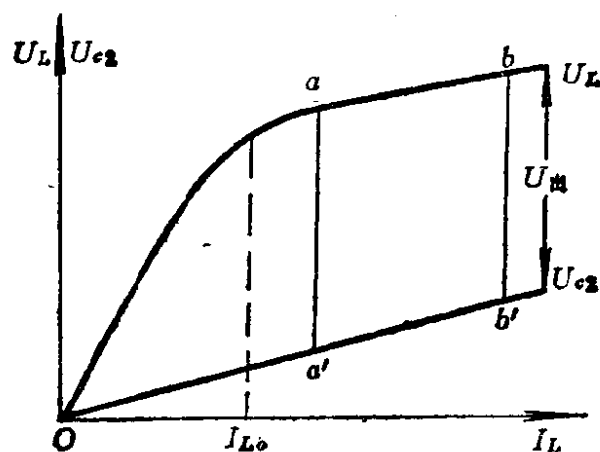


图1-10 电容补偿串联稳压器特性曲线

感 L , 都是储能元件, 停用时理应将 C 或 L 中储存的电感或磁能通过泄放电阻加以释放, 以保证安全。开关 K 也是为了节约能源所必需的, 如前所述, 磁饱和稳压器的空载电流较大, 饱和电抗器铁心的磁滞、涡流等损耗均较大, 停用时断开电源, 可避免不必要的能源消耗。

2. 饱和电抗器 L_s 最好做成抽头式的, 便于在生产及使用中将稳压器的输出电压调整到所需的标称电压。

3. 由于饱和电抗器的饱和伏安特性不可能做得很平坦, 因此稳压器的输出电压 U_o 还不免随输入电压的变化而有所变动, 如图 1-7 中的 $\Delta U_o = U_o' - U_o''$ 不可能为零。为了提高稳压性能, 还可在稳压器的饱和电感的支路里串接一个补偿电容 C_2 , 如图 1-10 所示。由于饱和电感电流 I_L 同时流过 L_s 与 C_2 , 而产生的压降相位相反, 只要适当选择 C_2 的容量 (一般要求补偿的电压值较小, 因此要求的容抗 $\frac{1}{\omega C_2}$ 较小, 亦即电容 C_2 较大) 就可使输出端压的变化得到进一步补偿, 提高稳压性能。显然, 电容 C_2 的端压较低, 因而可采用耐压较低的电容。

1-2-3 串联谐振式稳压器设计计算方法

1. 设计时的注意事项

串联谐振式磁饱和交流稳压器是一种比较容易制作的交流稳压电源, 除了工厂生产外, 一般业余爱好者也可以自己设计制作。正确选取 L 和 C 的大小, 这是设计此类稳压器的关键。

在主要材料的选择上应注意以下几个问题:

(1) 铁磁材料

串联谐振式稳压器, 由于在饱和电感线圈中有较大的电流流过, 由此在铁心中引起的涡流损耗和磁滞损耗将使铁心发热很厉害。因此, 选择的铁磁材料要求导磁率高、磁滞和涡流损耗小、饱和磁感应值高和具有明显饱和现象的磁性材料。最好采用冷轧硅钢片。冷轧硅钢片的磁通具有方向性, 并且饱和磁感应强度小、导磁率高和损耗小。硅钢片的这些

特点, 不仅能设计制作的稳压器自耗小、发热低, 更重要的是对稳压器的性能指标大有好处。

(2) 电容器

磁饱和稳压器中使用的电容器, 是外在 50Hz 的交变电压状态中工作的。电容器的耐压应取在 630V (交流) 以上。如采用直流工作电压下的电容器, 则耐压要加倍计算。这样才能使稳压器工作稳定可靠, 电容器不易击穿。若稳压器处在频率高的交变状态下工作, 则电容器的电压可适当降低。

电容器的电容量是根据稳压器的不同输出功率而选择适当容量的。功率大的稳压器所需的电容量也大, 可将数只电容器并联使用, 以满足一定数值的电容量。

选择电容器的种类时, 应注意采用介质损耗小, 受温度影响小的电容器, 以降低稳压器的温升和减小稳压器精度误差。

(3) 导线和绝缘材料

磁饱和稳压器是在长时间的高温情况下工作的, 应采用高强度漆包线作为绕组的导线。导线的直径和电流密度视不同输出功率而选定。一般 200VA 以下的小功率稳压器, 电流密度可选用 $3\text{A}/\text{mm}^2$, 超过 200VA 的大功率稳压器, 可取 $2\sim 2.5\text{A}/\text{mm}^2$ 。由于饱和铁心工作时发热很厉害, 因此在设计时, 铁心和绕组之间要求绝缘良好, 绕组的骨架, 可采用耐高温的玻璃纤维板。绕组的层间、级间垫纸用绝缘强度较高的电话纸和黄蜡绸。

串联谐振式磁饱和稳压器的设计功率, 一般不大于 150VA。因为在小功率的情况下采用该种稳压器是较为适宜的。功率大于 150VA 的串联谐振式稳压器, 由于铁心发热厉害, 交流嗡嗡声增大, 同时稳压性能也开始变差, 因此不宜采用。

2. 设计计算方法