

高等学校教材



电子电路设计

童诗白主编

人民教育出版社

本书主要内容是介绍典型的电子管放大电路、脉冲电路和小功率电源的设计方法。每一个设计题目都有电路特点的介绍、设计方法和设计举例。每个例题都经过教师的实地测试验证。书中还附有参考资料、元件介绍以及若干曲线和图表。

本书可作为高等工业学校电机系和自动控制系学生进行电子电路的课程设计时的辅助教材，也可供有关专业的学生作毕业设计时参考。本书对于从事电子电路工作的人员也有一定的参考价值。

电子电路设计

童诗白主编

北京市书刊出版业营业许可证出字第2号

人民教育出版社出版(北京景山东街)

人民教育印刷厂印装

新华书店北京发行所发行

各地新华书店经售

统一书号K15010·1129 开本 850×1168^{1/32} 印张 2^{1/16}

字数 210,000 印数 0,001—6,000 定价(7) ¥0.95

1963年12月第1版 1963年12月北京第1次印刷

目 录

前言	1
0.1 序(童詩白).....	1
0.2 电子电路設計中的一些問題(孙家圻).....	1
第一篇 放大电路的設計	
第一章 低頻电压放大器的設計(家孙圻、陆培新編写, 童詩白校).....	11
1.1.1 概述.....	11
1.1.2 以 $ K_{中总} $ 为主要依据的設計方法.....	12
1.1.3 以 $ K_{中总} $ 和 $f'_{下}-f'_{上}$ 为主要依据的設計方法.....	22
1.1.4 以 $ K_{中总} $ 、 $f'_{下}-f'_{上}$ 和电压放大倍数的恒定性为主要依据的設計方法.....	32
第二章 直流放大器的設計(朱亚清編写, 孙家圻校).....	38
1.2.1 概述.....	38
1.2.2 选择电路型式的原則.....	39
1.2.3 并联平衡式(差动式)直流电压放大器的設計.....	40
1.2.4 并联平衡式(差动式)直流功率放大器的設計.....	42
1.2.5 电阻分压式直流放大器的設計.....	44
1.2.6 并联平衡式直流放大器設計举例.....	46
1.2.7 直流运算放大器的設計.....	52
第三章 功率放大器的設計(童詩白編写, 孙家圻校).....	62
1.3.1 概述.....	62
1.3.2 甲类单边功率放大器的設計.....	63
1.3.3 甲乙类推挽功率放大器的設計.....	72
1.3.4 功率放大管的典型运行情况.....	85
第四章 差动相敏放大器的設計(閻石編写, 孙家圻校).....	88
1.4.1 概述.....	88
1.4.2 电阻負載半波差动相敏放大器的設計.....	90
1.4.3 阻抗負載半波差动相敏放大器的設計.....	95
1.4.4 全波差动相敏放大器的設計.....	97
1.4.5 設計举例.....	98
第五章 阴极輸出器的設計(孙家圻編写, 童詩白校).....	102
1.5.1 概述.....	102
1.5.2 設計方法.....	102

1.5.3 設計举例	108
------------	-----

第二篇 脉冲电路的设计

第一章 双稳态触发器的设计(周明德编写, 童诗白校)	116
2.1.1 概述	116
2.1.2 参数选择的原则	119
2.1.3 设计方法和步骤	124
2.1.4 参数的校核	127
2.1.5 加速电容和阴极旁路电容的确定	130
2.1.6 设计举例	132
第二章 单稳态触发器的设计(周明德编写, 童诗白校)	139
2.2.1 概述	139
2.2.2 选择电路及参数的原则	140
2.2.3 设计步骤	146
2.2.4 设计举例	153
第三章 自由多谐振荡器的设计(许道荣编写, 童诗白校)	161
2.3.1 概述	161
2.3.2 设计步骤	164
2.3.3 设计举例	167

第三篇 小功率电源的设计

第一章 小功率整流器的设计(许道荣、陆培新编写, 孙家忻校)	170
3.1.1 概述	170
3.1.2 设计步骤	172
3.1.3 设计举例	179
第二章 直流电子稳压器的设计(许道荣编写, 孙家忻校)	185
3.2.1 概述	185
3.2.2 常用电路介绍	186
3.2.3 计算方法	191
3.2.4 稳压器性能的改进	204
3.2.5 设计举例	207

附 录

附录1 常用固定电阻器的选择(吴年裕编写, 孙家忻校)	222
附录2 常用固定电容器的选择(吴年裕编写, 孙家忻校)	231
附录3 电子电路中的常用符号(吴年裕编写, 孙家忻校)	246
附录4 本书所用的符号说明(孙家忻整理)	247

0.2 电子电路設計中的一些問題

电子电路的設計是先根据給定的一些技术指标,从穩定可靠、使用方便、經濟和体积大小等原則出发来选择方案,再由总体的技术指标估算出每級的指标,最后选择每級电子管,計算工作状况和电路参数。通常計算是从末級开始,循序算至前級。由于电子管的特性和元件参数都有誤差(电子管的实际特性与手册上給出的标准特性之間,可能达20%的偏差;炭膜电阻器的阻值誤差一般为5%—10%;非密封紙介电容器的容量誤差常在10%—20%左右),計算时所用的技术指标应有一定的裕量,例如放大倍数可以增加10%—20%。

下面簡述一下选择电子管、电源和元件参数的共同原則,以及处理干扰、振蕩和工艺等問題的方法。至于各种电路所具有的特殊問題,則分述于各节中。

由于电子电路每級功用不同,它可能用于电压放大、功率放大或触发等,因此給出的技术指标和需要考慮的問題就有所不同。对电压放大級主要考慮的是电压放大倍数、頻带、非綫性失真和噪声大小等。至于选用三极管,还是五极管,需視情况而定。三极管的电路簡單;五极管的阳极与栅极間的极間电容小,而且用作电压放大时可以得到高的放大倍数,但它的噪声要比具有同样数值的跨导和阳极电流的三极管的高2—4倍。在信号很小时,二者的非綫性失真大致相近;在信号比較大时,五极管的非綫性失真比三极管的大得多。所以对信号电压較大的末級,則以选用三极管較为合适。至于前級的电子管,在頻带較窄的放大器中(例如仅到10千赫),一般选用的是三极管。高 μ 三极管(6N1、6N9P等)比較适用于1—2伏以下的輸入信号的放大器,放大倍数近于50—80。当信号电压在1—2伏以上时,由于工作范围超出高 μ 管的阳极特性的綫性范围,因此应选用中 μ 三极管(6N1、6N8P等),这时放大倍数近于10—30。如果希望放大倍数在100以上,則需采用

五极管(6J1、6J4P、6J8P等)。从經濟观点考虑,一只双三极管的价格与一只五极管的价格大致相同,而双三极管可做成兩級放大,总放大倍数将远比一只五极管所能得到的为大,因此以采用双三极管比較合适。但从滿足一定放大倍数的要求来看,三极管放大器的級数可能要比五极管的多,因此寄生反饋現象比較严重,容易造成自激振蕩。在直流放大器的阴极补偿放大級和并联平衡式电压放大級中,以及在一些脉冲电路中,由于双三极管不仅价格便宜、安装方便、电路簡單,而且二只管子的老化也将相同,因此常为設計者所选用。

$$\text{对三极管來說} \quad |\dot{K}_\Phi| \approx (0.6-0.8)\mu. \quad (0.2.1)$$

「根据要求的中頻放大倍数 $|\dot{K}_\Phi|$ 值,估算电子管的放大系数 μ ,再由 μ 值来选择电子管的型号」

由于五极管的内阻 r_a 比其阳极等效負載电阻 R'_a 要大得多,因此

$$|\dot{K}_\Phi| \approx sR'_a. \quad (0.2.2)$$

选定 R'_a 值以后,可以利用式(0.2.2)算出 s 值,然后再根据 s 值来选择电子管的型号。由于式(0.2.2)中 s 为靜点值,通常比电子管手册中所給出的值要小,因此选电子管时应把 s 值适当加大。

在要求頻帶較寬的放大級中,一般是根据所要求的品质因数来选择电子管的型号。电子管的品质因数的表示式为

$$|\dot{K}_\Phi| f_{\pm} = \frac{s}{2\pi C_0}. \quad (0.2.3)$$

式中 f_{\pm} 为每級慣例通頻帶的上限頻率,即在 f_{\pm} 时該級的高頻失真系数为 $M_{\text{高}} = \frac{|\dot{K}_\Phi|}{|\dot{K}_{\text{高}}|} = \sqrt{2}$, $|\dot{K}_{\text{高}}|$ 为該級高頻区放大倍数。从式(0.2.3)可知,电子管的实际的品质因数,除决定于其 s 值外,尚决定于具体电路中的 C_0 值。 C_0 值由下式决定:

$$C_{01} = C_{ak1} + C_{w1} + C_{gk2} + C_{ag2}(1 + |\dot{K}_{\Phi2}|). \quad (0.2.4)$$

式中注角“1”和“2”,分别表示所考虑的級和它下一級的参数, C_{w1} 为

该级的接线电容,其数值一般约在 20 微微法左右; C_{ak1} 为该级电子管阳极与阴极之间的电容; C_{gk2} 为下一级电子管的栅极和阴极之间的电容; C_{ag2} 为下一级电子管的阳极和栅极之间的电容,这些电容数值可由手册中查得。由于五极管的 C_{ag} 值比三极管的 C_{ag} 值小很多,因此 C_0 值较小。在同样的 s 的情况下,五极管的品质因数比三极管的大。表 0.2.1 为几种常用的电子管的品质因数^①。

表 0.2.1 常用电子管的品质因数表

型号	6N1	6J1	6J3	6J4P	6K4	6P1	6P9P	6P15
$\frac{s}{2\pi C_0}$	1.98×10^7	3.09×10^7	2.84×10^7	3.97×10^7	2.30×10^7	2.14×10^7	4.61×10^7	5.78×10^7

在要求频带较宽和输出电压变化量 $\Delta U_{出}$ 较大的末级中,选择电子管时必须考虑电子管的阳极电流变化量 ΔI_a 和电路中的 C_0 值。由于输出电压 $\Delta U_{出} = \Delta I_a R'_a$, 而采用五极管时, $R'_a \approx R_0$ ^②, 因此

$$\Delta U_{出} f_{上} = \frac{\Delta I_a R_0}{2\pi C_0 R_0} = \frac{I_{0a} - I_{am}}{2\pi C_0} \quad (0.2.5)$$

式中 I_{0a} 为 $u_g = 0$ 时的阳极电流, I_{am} 为考虑减小非线性失真而取的最小阳极电流。由给定的 $\Delta U_{出} f_{上}$ 值,根据式(0.2.5)算出 $\frac{I_{0a} - I_{am}}{C_0}$, 然后查电子管手册挑选合适的电子管,一般可选功率五极管,例如 6P9P、6P14 和 6P15 等。

选择功率放大级的电子管的原则是:对于要求输出功率几百瓦以下的功率放大级,一般选用束射管,因为束射管的功率、效率和功率灵

^① 参阅[参 0.2.1] 351 页表 2.3.2。 C_0 值是在假设两级为同一类型的电子管, C_w 为 20 微微法和忽略 $C_{ag}(1 + |\dot{K}_{\Phi 2}|)$ 时,利用式(0.2.4)计算得到的。对五极管来说,由于 C_{ag} 小,因此忽略 $C_{ag}(1 + |\dot{K}_{\Phi}|)$ 所引起的误差是不大的。但对三极管来说,应该估算 $|\dot{K}_{\Phi 2}|$, 以便将 $C_{ag}(1 + |\dot{K}_{\Phi 2}|)$ 值计入。

^② R_0 为阻容耦合微变等效电路中的总并联电阻,即电子管内阻 r_0 和 R'_a 的并联电阻。

敏度比三极管的高。对于几瓦的小功率放大級，可采用单边甲类工作的电路。对于几瓦以上的功率放大級，則采用推挽甲类或甲乙类工作的电路。在要求高质量的功率放大級中亦有把束射管接成三极管来用，以减小非綫性失真。根据給定的輸出功率 $P_{出}$ ，利用下列关系式估算电子管的阳极最大額定損耗 $P_{a\kappa}$ ：

单边工作时

$$P_{a\kappa} \geq 3P_{出} \quad (0.2.6)$$

推挽工作时

$$P_{a\kappa} \geq 1.25P_{出1} \quad (0.2.7)$$

$P_{出1}$ 是每管輸出功率。上面两式的推导見(1.3.2)和(1.3.3)节。

根据 $P_{a\kappa}$ 值可以挑选合适的电子管。若为差动式直流功率級，則从滿足輸出差动电流出发来挑选电子管。常采用的功率管为 6P1、6P3P、6P6P 和 FU-7 等。

在脉冲电路中，一般是选用截止栅偏压小、跨导大和极間电容小的，即品质因数高的电子管(这样，翻轉時間、脉冲上升和下降時間都較小)，而且电子管的額定阳极損耗功率要大，因此在小阳极負載情况下，可以得到所要求的輸出电压幅度。多諧振蕩器的頻率不超过 100 千赫时，可选用双三极管(6N1、6N8P 和 6N15 等)。如果頻率再高，則需用五极管，以减小电子管的等效輸入电容，并且可以把五极管的屏栅极作为耦合，而阳极作为輸出，以得到良好的輸出电压波形。在单稳态触发器中选择电子管的原則和在多諧振蕩器中选择电子管的原則一样。若要求脉冲上升和下降時間較小的情况下，应选用品质因数高的电子管。如果不仅要求波形的上升和下降時間較小，而且要求輸出脉冲电压幅度較大，則必須采用大电流和小电容的五极管，例如 6P15。但对于双稳态触发器，在絕大多数情况下都是采用双三极管。

在整流器中对整流管的选择，主要是依据給定的輸出直流电压、直流电流和选好的整流电路及滤波器，算出电路中整流管的平均电流、最

大阳极电流和最大阳极逆向电压，从而挑选电子管的型号。稳压电源的控制管，应具有較大的放大系数 μ 和較大的額定阳极損耗功率。一般可采用功率三极管 6N5P，或把束射管接成三极管来用。常用的束射管有 6P1、6P3P 和 FU-7 等。

各級电源电压的选择，是根据輸出电压的幅度、額定阳极損耗功率、綫性度以及与其他部分共用等来統一考虑的。一般是选 100—350 伏(对于較大額定阳极損耗功率的电子管，例如 FU-7，为了增加輸出功率或电流，可以选用更高的电源电压)。

电子管的工作情况和范围，应该根据信号和要求来决定，但其阳极电压、阳极电流和阳极損耗功率不得超过电子管手册中所給定的最大阳极电压、最大阳极电流以及額定阳极損耗功率(若为五极管或束射管，还需考虑使得其屏栅极損耗功率不超过額定值)，而且还应保证在无栅流区工作(甲乙₂类推挽功率放大和触发电路等除外)。

选择电路参数时，由于各級功用和要求的不同，所以計算的方法也有所不同，这将分述于各章节中。对于电路中的栅漏电阻 R_g ，在放大电路中一般选用等于或小于电子管手册中給定的最大栅漏电阻 R_{gM} 值^①。过大的 R_g 值将使电子管栅偏压不稳定^②。为了减小干扰源对栅极迴路的影响，一般采用較小的 R_g 值^③(例如 200—300 千欧)。根据电路参数計算的結果，对于电阻器，应选定其型式、标准阻值、額定功率和准确度^④。估算电阻器的功率时，为了方便起见，交流电压放大电路中的电阻器的功率可按 1.5 倍于直流功率計算(假设交变电流幅度与直流相等)。直流放大电路中的电阻器的功率是按最大电流計算的。脉冲电路中的电阻器的功率，为了可靠起见，一般可按可能出現的最大

① 手册中 R_{gM} 值一般为 0.5—1 兆欧。

② 参阅[参 0.2.2]293—294 頁。

③ 参阅[参 0.2.2]409—410 頁。

④ 規格見附录 1。

电流計算。由于电阻器的額定功率与溫度有关,若用在过热情况下,虽不一定立即损坏,但可靠性和稳定性降低,因此所选定的电阻器的額定功率,可为估算功率的 1.5—2 倍左右。同时还应注意电阻器的极限工作电压^①。对于电容器,应选定其型式、标准容量、耐压和准确度^②。电容器的耐压应根据电容器两端可能出現的最大电压来选择。

在电子电路中应尽可能采用同一型号的电子管和同一規格的元件,以减少規格种类。同时亦应尽量照顾到采购方便和价格便宜。

电子电路設計质量的好坏,不仅决定于計算部分(方案的选择,参数的計算等),而且还与焊接、安装和調整技术有关。若焊接、安装不当,則往往不能保证电子电路的质量,甚至于使电子电路不能正常工作。

在叙述安装和焊接工作之前,先討論一下电路中的干扰問題(包括寄生振蕩)^③。这对于微弱信号的高放大倍数的放大器更为重要。常遇到的干扰和解决的一些办法大致如下:

(一) 50·赫电源所引起的干扰

灯絲接綫应远离栅极,并把二根接綫絞合起来,以使每根接綫中的交变电流所产生的交变电磁場尽可能互相抵消。把灯絲一端接地有时可以减小干扰电压,但亦有可能反而增大,这就要看空間电磁場分布的情况而定。至于灯絲的一端是否需要接地,可以通过实验来决定。另一种方法是把灯絲变压器的次級繞組的中心抽头接地,如无中心抽头,可用一个 100 欧左右的电位器并联在灯絲两端,使其可动触头接地,調节可动触头的位置以平衡灯絲电源对栅极迴路的影响,从而使干扰电压最小。亦有把灯絲变压器次級繞組的中心抽头不接地而接到一个正

① 參閱附录 1。

② 規格見附录 2。

③ 參閱[參 0.2.3]76—88 頁。

的电位^① (例如 10 伏) 来消除灯丝与阴极之间漏电所引起的干扰。此外, 适当降低灯丝电压, 也可使干扰电压减小^②。由于灯丝电源通过灯丝与栅极之间电容所引起的干扰电压是与栅漏电阻的阻值成正比的, 因此, 如果没有必要, 第一级的栅漏电阻应取较小的阻值。此外, 由实验得知, 各种电子管的干扰电压与栅漏电阻的比值是不同的, 例如在常用的 6N1、6N2、6N9P 和 6J1 型电子管中, 以 6J1 型电子管的为最小, 6N2 型电子管的次之。因此, 电压放大电路第一级的电子管以选用 6J1 或 6N2 型电子管较好^③。

输入电压为毫伏级以下的放大器, 为了防止 50 赫交变电磁场的干扰, 应把第一级输入电路, 甚至于输入级屏蔽起来。

(二) 阳极电源电压滤波不良所引起的干扰

电路中的阳极电源电压一般都是由 50 赫交流电源经过全波整流和滤波后获得的。若滤波不良, 则电源中 100 赫的脉动电压经过第一级的阳极回路就加到第二级的栅极回路中进行放大。通常第一级的阳极电源电压的脉动系数应尽可能小些, 解决的办法是每级采用去耦合滤波器。一般滤波电阻的电压降约为下一级阳极电源电压的 10%—20% 左右, 滤波电阻为几千欧到几十千欧, 滤波电容为几微法到几十微法。

(三) 寄生振荡

寄生振荡可分高频和低频两类, 高频振荡的产生主要是由于各级相互之间的耦合或电子管的负阻效应而造成的。振荡频率由电路中的参数决定。输出电压一般较干扰电压大。解决的办法是输入端的元件和布线应远离输出端, 布线要尽量短而整齐, 以免互相耦合。在调整过程中, 若整理接线不能消除振荡, 可在电子管的栅极回路中串接一阻值为几百欧至几千欧的电阻, 以消除由于负阻效应而产生的高频振荡。

① 参阅[参 0.2.1]372 页图 2.3.62。

② 参阅[参 0.2.2]410 页。

③ 参阅[参 0.2.3]83 页图 42。

电阻器应直接焊至管座脚上。此外还可采用电容器或电容器与电阻器串联的高頻校正网络并联于中間級的輸入端，利用网络的移相作用来破坏高頻振蕩条件^①。

在三級以上的电路中，最常見的一种低頻振蕩是由于共用阳极电源的内阻的存在而造成的^②。消除这种振蕩最常用的方法是采用去耦合滤波器^③。阻容时间常数一般是取 0.1—0.5 秒左右，滤波电容可取几微法到几十微法。

接地不良亦会造成級間耦合，因此每級的接地点应汇在一起，然后再分別接到共同的地綫上去（地綫可用燙錫的較粗銅綫），不要依靠底板来作通路^④。

在安装和焊接前应做好下面几方面的工作^⑤：

（一）画好元件排列和布綫草图。元件排列要合理^⑥，布綫要考虑短而整齐。在絕大多数的情况下，接綫短总比接綫长好；接綫短則各种感应小，但有时由于地位的关系，不能使每根接綫都短。一般栅极迴路容易受到干扰，所以接綫應該尽量短些，同时也可减少分布电容以改善幅頻特性。有时为了布綫的整齐和調整的方便，可以利用接綫板把元件排列在上面，統一出綫。

（二）檢查安装和焊接所需的工具是否良好。烙铁头不要太鈍，但也不要太尖。太鈍則不易下錫或下得太多。太尖（像刀子一样）則不易傳热，并且当烙铁拿开时，使得焊点不圓。在焊接过程中应保持烙铁头清洁，且有一层薄的焊錫。如烙铁头氧化发黑，則需用砂紙或銼刀打光后塗上一层錫再用。

① 參閱[參 0.2.4] 168—169 頁。

② 在扩音器中表现为汽船声。

③ 參閱[參 0.2.2] 374—375 頁。

④ 參閱[參 0.2.1] 372—375 頁。

⑤ 參閱[參 0.2.5]。

⑥ 參閱[參 0.2.6] 732—733 頁。

(三)檢查元件的規格是否合乎要求。利用欧姆表量測电阻器和电位器的阻值，檢查电位器可动触头接触是否良好、电容器有无短路現象以及电容量大的电容器的漏电情况。如要精确測量，則需利用电桥。

(四)把接綫剪成合适尺寸，然后用烙铁燙去两端絕緣，用砂紙打光或用刀片刮干淨，然后塗錫。有的綫是鍍过錫的，剛去掉絕緣后不要用手摸，可直接焊接。此外，还要做好地綫(粗裸銅綫塗錫)，以备焊接用。

(五)把电子管的管座脚、电阻器、电容器等元件的出綫头，先用砂紙打光或用刀片刮干淨(已鍍錫的除外)，然后燙錫。在試制阶段焊接时，不要把元件出綫剪短或弯得过份。为了不弄伤元件出綫，在弯元件出綫时，一定要把根部夹住再弯。大批元件的燙錫工作，可用一鍋松香酒精溶液和一鍋煮錫，把元件弄清洁后，先沾松香(不要沾太多，否則发粘不易揮发)，然后沾錫約一二秒钟，拿出甩掉多余的錫即可。一般可采用烙铁燙錫。

元件一定要安装得牢固可靠，各个固定用的螺釘必需擰紧，不要把接綫焊在螺釘上，因为这样一則可能焊不牢，二則以后螺釘不能拆卸。焊接的方式可采用勾焊或搭焊。对于試制阶段的焊接，考虑到更換零件的方便起見，一般采用搭焊，但必需保证焊牢，不能有松动或者虛焊的現象。所謂虛焊就是表面上有一层錫包着焊点，而实际上錫并没有把焊点上各接綫連在一起，以致有时接上，有时断开，造成电路的工作不正常。由于虛焊所产生的故障很容易誤认为电路中其他方面的問題，同时檢查虛焊点又比較困难，这样在調整过程中会浪費許多時間，因此在焊接过程中一定要严格遵守焊接的規程，把每一焊点焊牢。为了焊接可靠，每个焊点的接綫不得多于三根。当接綫更多时，可采用接綫支架的焊片头作为連接点。烙铁和焊点的接触面积要大，接触時間要合适，小焊点約一二秒钟，大焊点不超过五秒钟，若時間过长，則容易发生电阻值改变或电容器內部接綫松脫等現象。每个焊点的錫要差不多，不要一个太多或一个太少。良好的焊点应是正反两面都有錫把焊

点包住发亮,而所用的錫又不多。焊接时先把灯絲綫、地綫、接綫板上的接綫、短而不易焊的綫先焊好,再焊其他的綫。各接綫焊好后露出的裸綫不能太长(約一毫米左右),否則易造成短路。

在調整电子电路以前,应先拟好实验提綱,同时提出实验所需要的仪器。在調整过程中应有严格的科学作风,使所设计的电路的性能满足要求,并須仔细地分析各种现象。最后写出说明书,说明书的内容包括計算、量測和調整方法、实验数据的整理和分析、实验中主要现象的记录和处理、材料成本和实验费用的核算,并附有曲线、电路原理图和元件明細表。

参考資料

[参 0.2.1] 童詩白主編:“电子技术基础”第一册,人民教育出版社,1962年。

[参 0.2.2] 华中工学院、西安交大等校編,沈尚賢主編:“工业电子学”上册,人民教育出版社,1962年修訂版。

[参 0.2.3] Полонников Д. Е. 著,朱宝璋譯:“自动补偿装置的电子放大器”,科学出版社,1963年。

[参 0.2.4] Ризкин А. А. 著,顾世华等譯:“放大电路原理”,人民邮电出版社,1962年。

[参 0.2.5] Бодак, С. И. 等著,沈着譯:“无綫电机件装配指南”,科技卫生出版社,1958年。

[参 0.2.6] 华中工学院、西安交大等校編,沈尚賢主編:“工业电子学”下册,人民教育出版社,1962年修訂版。

第一篇 放大电路的设计

第一章 低频电压放大器的设计

1.1.1 概述

低频电压放大器(下面简称电压放大器)^①是用来把频率从几十赫到几百千赫的信号电压增大到我们可以觉察或者利用的程度。由于级与级之间的耦合通常是依靠电阻器和电容器来实现的,因此,低频电压放大器又称为阻容耦合放大器。典型的三极管和五极管阻容耦合放大器的电路图如图 1.1.1 和图 1.1.2 所示。

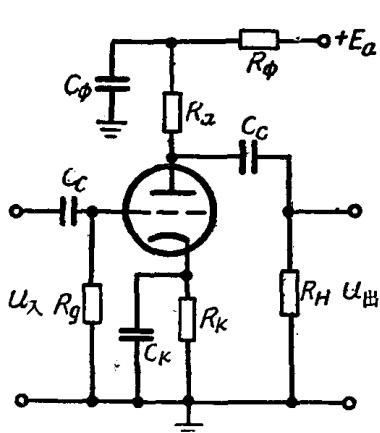


图 1.1.1 三极管阻容耦合放大器。

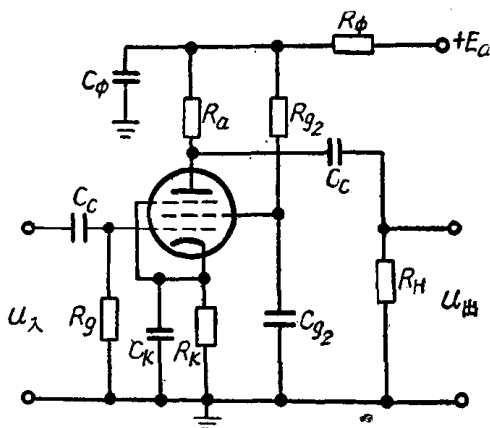


图 1.1.2 五极管阻容耦合放大器。

电压放大器的技术指标,主要有下列几个方面:

(一)中频放大倍数 $|\dot{K}_{中总}|$;

^① 关于频带加宽的问题未加讨论,但可参阅[参 1.1.1]2.3.10 节。

- (二) 通頻带 $f'_下 - f'_上$;
- (三) 输出电压 $\dot{U}_{出}$;
- (四) 输出电压与輸入电压的綫性关系;
- (五) 噪声和干扰;
- (六) 放大倍数的恒定性。

由于电压放大器的用途不同，因此上面的技术指标并不是都要考虑的。对頻带沒有要求的电压放大器，例如当給出的信号頻率为单頻(50 赫或 400 赫)，或是通頻带的上限頻率 $f'_上$ 較低时，主要是考虑 $|\dot{K}_{中总}|$ 。在要求高放大倍数的电压放大器中，还必须考虑噪声和干扰。在示波器的电压放大器中，不仅对 $|\dot{K}_{中总}|$ 有要求，而且由于上限頻率 $f'_上$ 較高，对頻率失真还有要求。此外，在量測仪表的放大器中，还对放大倍数的恒定性有所要求。

前面所說的一些技术指标往往是相互影响的。例如要使 $|\dot{K}_{中总}|$ 大，就要求阳极負載电阻 R_a 大，而这将使慣例通頻带的上限頻率 $f'_上$ 降低。这类例子是很多的。因此在設計时必须对給出的各种技术指标加以綜合考虑，而設計的方法也就随主要要求的不同而有所差别。下面将分三种情况来討論：

- (一) 設計的主要指标是 $|\dot{K}_{中总}|$;
- (二) 設計的指标是 $|\dot{K}_{中总}|$ 和上限頻率 $f'_上$ 較高的通頻带;
- (三) 設計的指标除与(二)相同外，还对放大倍数的恒定性有所要求。

1.1.2 以 $|\dot{K}_{中总}|$ 为主要依据的设计方法

(一) 設計步驟

在这种情况下，給定的技术指标一般是 $|\dot{K}_{中总}|$ 、最大輸出电压、輸入电压及其頻率、对干扰和噪声电压的要求等。設計步驟如下：

- (1) 选电子管和 R_a 值

阻容放大器的中频放大倍数为

$$|\dot{K}_\#| = \frac{\mu R'_a}{r_a + R'_a}, \quad (1.1.1)$$

式中 $R'_a = \frac{R_a R_g}{R_a + R_g}$ 是电子管的阳极等效负载电阻。

五极管的 μ 和 r_a 通常不易准确定出，同时 $r_a \gg R'_a$ ，因此将 (1.1.1) 式改写为

$$|\dot{K}_\#| = s R'_a. \quad (1.1.2)$$

对三极管来说，一般取 $R_a = (2-5)r_a$ ，则 $|\dot{K}_\#| \approx (0.6-0.8)\mu$ 。当继续加大 R_a 值时，放大倍数反而增加很少，这是由于 E_a 一定时， R_a 过大将使工作点进入电子管的变 μ 区（或称截止区），造成 μ 减小和 r_a 的剧烈增大的缘故。正是由于这个原因， R_a 过大有时反而使放大倍数减小，这自然是我們所不希望的。为了避免由于增加 R_a 而使工作点进入电子管的变 μ 区，可以采用增加 E_a 的办法。但是采用很大的 E_a 值来提高选用的 R_a 值也不一定合适，因为一则不经济，二则 E_a 值受电子管的最大允许的阳极电压（手册中给出的最大阳极电压 U_{am} ）的限制^①而不能取得太高。

在电压放大器中，常采用中 μ 三极管如 6N1, 6N8P 等及高 μ 三极管如 6N2, 6N9P 等双三极管。高 μ 三极管的 μ 值约在 70 到 100 之间，内阻 r_a 则视静态工作点的位置而定，一般在 50 千欧到 100 千欧之间。中 μ 三极管的 μ 约在 20 到 50 之间，内阻 r_a 则约在 5 千欧到 15 千欧之间，但是因其内阻较小，阳极电流和 s 值较大 [s 值在 (3-5) 毫安/伏左右]，因此能在较小的负载电阻情况下得到比高 μ 三极管为大的放大倍数。

五极管放大器的放大倍数近似地可以用式 (1.1.2) 计算。但是必须注意，式中的 s 是静态工作点的值，而且随着静态阳极电流 I_{a0} 的减

① 参阅 [参 1.1.1] 231 页。