

相敏放大整流器的 理論与計算

E. M. 萊雪特尼可夫著

國防工業出版社

相敏放大整流器的 理論与計算

技术科学副博士

E. M. 萊雪特尼可夫著

吳吉 翟东群譯

內 容 簡 介

本書對於隨動傳動系統和自動裝置中最常用的相敏放大整流器理論與計算作了詳細的分析。尤其關於陽極具有不同負載 (R_a 和 C 并联; R_a 和 L 串聯以及 $R_a L$ 和 C 并联) 的相敏放大整流器計算的介紹, 對設計人員有很大實際意義。

本書適用於在自動化方面工作的科學研究人員和工程技術人員, 此外還能作為大專學校的教學參考用書。

Е. М. Решетников

Теория и расчет фазочувствительных
усилителей-выпрямителей

Государственное издательство
оборонной промышленности 1956

國防工業出版社

北京市書刊出版業營業許可証出字第074號
機械工業出版社印刷廠印刷 新華書店發行

787×1092 $1/32$ 3 $3/4$ 印張 78 千字

1959年1月北京第一版

1959年1月北京第一次印刷

印數: 0,001—2,830 冊 定價: (11) 0.59 元

№ 2155 統一書號 15034·281

目 录

緒 論	5
第一章 單級電子相敏放大整流器的構造與 計算的基本問題	8
1. 單級電子相敏放大整流器的原理圖	8
2. 相敏放大整流器計算的基本問題	15
3. 帶有電阻性負載時相敏放大整流器的工作	19
第二章 在負載電路中具有電阻與電容的相敏 放大整流器	25
1. 帶有電容性負載時相敏放大整流器的 工作($R_a \parallel C$)	25
2. 陽極電流瞬時值方程的結論	29
3. 陽極電流截止角的確定	34
4. 帶有電阻-電容性負載時相敏放大整流器輸出 參數的確定	45
5. 電容器上的電壓脈動系數	57
第三章 帶有 $R_a L$ 和 $R_a L \parallel C$ 型負載的相敏放 大整流器	61
1. 帶有電阻-電感性負載($R_a L$)的相敏放大整流器	61
2. 帶有用電容并聯的電阻-電感性負載時 ($R_a L \parallel C$) 放大整流器的工作	73
3. 內阻大的功率相敏放大整流器	90
第四章 差動相敏放大整流器	100
1. 具有獨立偏壓時差動相敏放大整流器輸出參數 的確定	100

相 敏 放 大 整 流 器 的 理 論 与 計 算

技术科学副博士

E. M. 萊雪特尼可夫著

吳 吉 翟东群译

內 容 簡 介

本書對於隨動傳動系統和自動裝置中最常用的相敏放大整流器理論與計算作了詳細的分析。尤其關於陽極具有不同負載 (R_a 和 C 并联; R_a 和 L 串聯以及 $R_a L$ 和 C 并联) 的相敏放大整流器計算的介紹, 對設計人員有很大實際意義。

本書適用於在自動化方面工作的科學研究人員和工程技術人員, 此外還能作為大專學校的教學參考用書。

Е. М. Решетников

Теория и расчет фазочувствительных
усилителей-выпрямителей

Государственное издательство
оборонной промышленности 1956

國防工業出版社

北京市書刊出版業營業許可証出字第074號
機械工業出版社印刷廠印刷 新華書店發行

787×1092 $1/32$ 3 $3/4$ 印張 78 千字

1959年1月北京第一版

1959年1月北京第一次印刷

印數: 0,001—2,830 冊 定價: (11) 0.59 元

№ 2155 統一書號 15034·281

目 录

緒 論	5
第一章 單級電子相敏放大整流器的構造與 計算的基本問題	8
1. 單級電子相敏放大整流器的原理圖	8
2. 相敏放大整流器計算的基本問題	15
3. 帶有電阻性負載時相敏放大整流器的工作	19
第二章 在負載電路中具有電阻與電容的相敏 放大整流器	25
1. 帶有電容性負載時相敏放大整流器的 工作($R_a \parallel C$)	25
2. 陽極電流瞬時值方程的結論	29
3. 陽極電流截止角的確定	34
4. 帶有電阻-電容性負載時相敏放大整流器輸出 參數的確定	45
5. 電容器上的電壓脈動系數	57
第三章 帶有 $R_a L$ 和 $R_a L \parallel C$ 型負載的相敏放 大整流器	61
1. 帶有電阻-電感性負載($R_a L$)的相敏放大整流器	61
2. 帶有用電容并聯的電阻-電感性負載時 ($R_a L \parallel C$) 放大整流器的工作	73
3. 內阻大的功率相敏放大整流器	90
第四章 差動相敏放大整流器	100
1. 具有獨立偏壓時差動相敏放大整流器輸出參數 的確定	100

2. 具有自偏压的差动相位电桥.....	109
参考文献	120

緒 論

电子自动学在苏联国民經济的自动化事业中起着很大的作用。

近几年来，电子学得到了广泛的发展。目前在国民經济各部門中已很难找出一个不应用电子学来控制与检查生产过程自动化的部門。电子学在航空技术上更有其巨大的意义。

在电子自动学中起着最重要作用的是电子放大器。放大器在自动装置中应用的一些特点决定了它的类型、特性和工作状态。通常电子放大器中电子管的阳极是用直流电源供电，但在有些情况下，当我们所需要的不是放大器輸出端被放大信号的波形，而需要的主要是电压或电流的平均值时，那么电子管阳极用交流电源来供电，往往就是必需的或在經济上更为合适和有利的（例如，用来控制电机或磁放大器的电磁或极性继电器繞组的供电等）。

阳极用交流电源供电的电子管，在直流或交流远距随动传动装置的放大器中应用得最为广泛。在远距控制系統中，放大器是同步联络（синхронная связь）的接收器与电力传动装置間的中間环节，所以放大器的作用与类型决定于发送到放大器輸入端信号的特征，該信号是从交流或直流供电的同步联络发出来的，同时放大器的作用与类型也决定于直流或交流电力传动装置之类型（該传动装置之控制繞组为放大器的負載）。

我們將仅对直流随动传动装置的相敏放大整流器加以

研究。

在这种随动传动装置中，同步联络既可用交流亦可用直流来工作。

若同步联络用直流工作，则放大器就应把输入功率提高到足以控制电力传动装置。若同步联络中用交流工作，则放大器就不仅要放大输入功率，而且要将其输入端的交流电压在输出端变为直流，即放大器同时也是一个整流器。在这种情况下，对放大器就提出了相位灵敏度的要求，这就是说，当输入信号相位改变了 180° 时，放大器输出端电压的极性或合成磁通的方向亦必须改变。

放大器相位灵敏度可能使它负载一臂中的阳极电流增加(减小)，另一臂中则减小(增加)，而在一臂中的电流究竟是增加抑或减小就决定于随动传动装置的控制轴与被控制轴之间失步角(угла рассогласования)之大小与方向^①。

由此可见，直流随动传动装置中的放大器乃是可控制的电子相敏放大整流器。

不可控制的电子整流器(二极管整流管)是可控制的相敏放大整流器的特殊情况，其理论在现代文献中已有充分的研究和阐述。

同时，虽然电子管阳极用交流电源供电在电子工业中已广泛地应用，但有关阐述用交流电供电的电子管和放大器这方面个别理论问题的著作却寥寥无几。并且在已发表的著作中(甚至最近的著作中)都没有谈到在实践中用得最广泛的具有 $R_a \parallel C$ 、 $R_a L$ 和 $R_a L \parallel C$ 型负载的相敏放大整流器的一些计

① 负载一臂中的阳极电流是增加或减少，仅决定于失步角的方向，而电流在量上的变化，才与失步角的大小有关。——译者注

算問題，而仅研究了电阻負載的情况。

本书力图在某种范围内补充可控相敏放大整流器理論与計算方法中存在的空白。本文仅研究放大器的稳定工作状态，即認為在阳极电压的周期內沒有能量的积聚(堆积)，电压和电流变化的过程完全与前一个和后一个阳极交变电势之周期一致。

第一章 單級电子相敏放大整流器 的构造与計算的基本問題

1. 單級电子相敏放大整流器的原理图

最简单的相敏放大整流器的形式可以用一个电子管組成的單級放大器(图 1)，該电子管的阳极是以交流电压(E_a)来供电的，而柵极上可以加以下几种电压：

1) 由交流电源来的电压 (E_g) (以后簡称为交流信号)；

2) 由直流电源来的电压 (u_g) (簡称为直流信号)；

3) 同时由直流与交流电源来的电压 ($E_a + u_g$)。

本书所討論的仅是由交流电源供电的阳极与柵极电压的正弦变化规律。柵极上的交流电压必須与阳极的頻率相同。

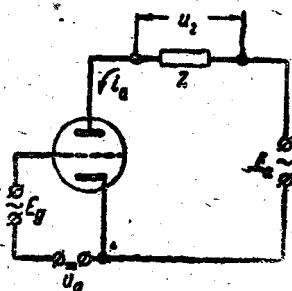


图 1 相敏放大整流器的最简单电路图

在一般情况下，柵极和阳极的电压在相位上差一角度 φ_0 ，其值可从 0° 到 $\pm 180^\circ$ 。

在电子管柵极交流信号电压振幅值相同的情况下，相移角 φ_0 的改变可导致电子管阳极电流平均值在一定范围内增大或减小。但这时对阳极电流的大小有影响的并不是所有的交流信号电压 E_g ，而仅是它在阳极电压向量上之投影 $E_g \cos \varphi_0$ ，垂直于阳极电压向量之分量 $E_g \sin \varphi_0$ 对阳极电流的平均值仅

有很小的影响。

因此，电子管阳极供以交流电压就使电子管具有相敏的特性。由于这一点，所以阳极电流的控制既可借助于仅改变加于栅极上交流信号的振幅(振幅控制)，亦可以仅改变相移角 φ_0 (相位控制)，或同时改变交流信号的振幅与相位(幅相控制)来实现。

大多数自动装置中应用的相敏放大整流器都是采用振幅控制来改变阳极电流的平均值。与此同时，也利用了电子管的相敏特性，即在栅极上加一与阳极电压相位差 180° 或同相的信号。把阳极用交流电压的电子管作为相敏元件使用，这一点在各种用途的自动随动装置中具有重大的意义。

上面所研究的最简单的相敏放大整流器线路，在电子继电器中已获得实际应用，而应用得更为广泛的则是所谓相敏放大整流器的差动电路，它包括了两个简单的相敏放大整流器。

差动相敏放大整流器的电路有很多种，但不外乎是二电子管之阳极电压同相，而栅极电压之相位(或极性)反相(图2)；或是阳极电压反相，而栅极电压的相位(或极性)一致(图3)。

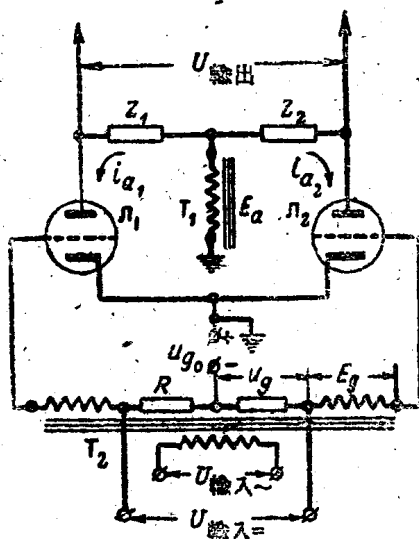


图 2 相位电桥的差动电路

我們称第一种类型的差动相敏放大整流器(图2)为差动相位电桥,而第二种则为推挽相位电桥(图3)。当有关的问题是牵涉到这两种类型放大器时,就简称为相位电桥。

因为仅在阳极上是正电压时,相位电桥的电子管才导电,那么在差动相位电桥(图2)中,两电子管开启的时间为阳极电压正周期的一部分,而在周期的其余时间中两电子管皆封闭。在阳极电压的前半周期之部分时间里,推挽相位电桥(图3)中只有一个电子管开启,而在后半部分周期内,另一电子管开启。当所研究的电路图2作于电阻负载时($Z_1=Z_2=R_a$),电压与电流变化的曲线如图4, a和b所示。

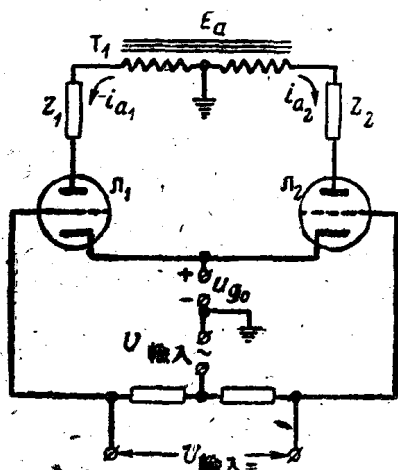


图3 相位电桥的推挽电路

在输出端出现电压 $v_{\text{输出}}$,它与阳极电流瞬时值之差 $i_{a1}-i_{a2}$ 成正比。

在推挽相位电桥中(图3),即使在输入信号为零时(v_g

当输入信号为零时($v_g = E_g + u_g = 0$),差动相位电桥(见图2)输出端电压的瞬时值或平均值皆为零;因为阳极电流瞬时值的大小相等($i_{a1} = i_{a2}$),而符号相反(见图4, a)。当信号 $E_g > 0$ 时,电子管 $1J_1$ 的阳极电流比电子管 $1J_2$ 的大,因为电子管 $1J_1$ 的栅压与阳极电压同相,而在电子管 $1J_2$ 上反相,

$= E_g + u_g = 0$), 放大器的输出电压也每个瞬时都正比于无信号电流 i_{a0} , 但这电压在一周期内的平均值却同样等于零。当相位电桥输入端供给信号 ($v_g > 0$) 后, 则和前面的情况一

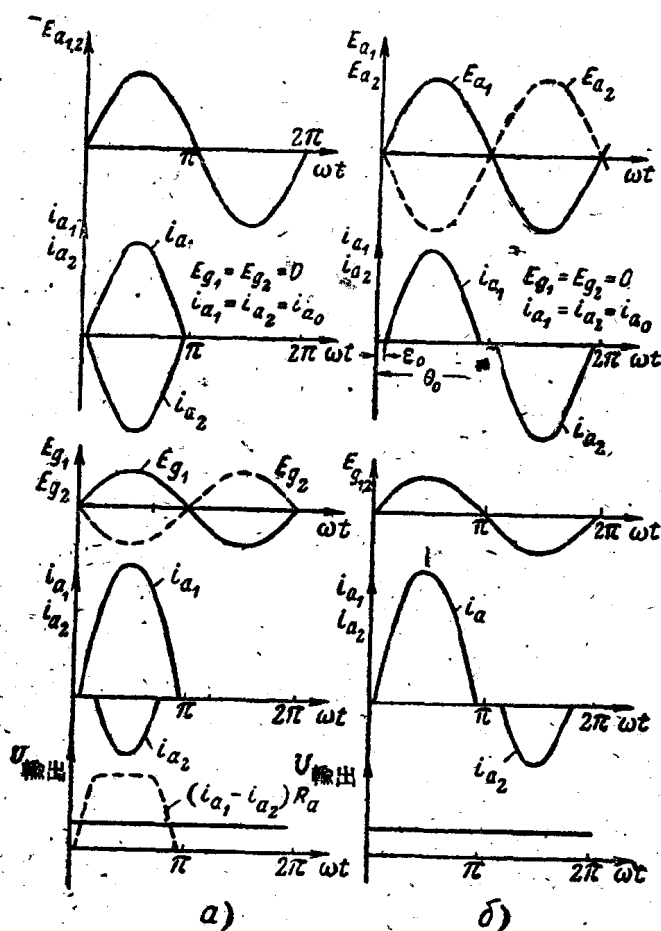


图 4 差动(a)与推挽(b)相位电桥电路中电压和电流的变化曲线

样，相位电桥一臂(电子管 J_1)中之阳极电流增加，而另一臂(电子管 J_2)中则减少。输出电压之瞬时值具有符号交变的特征，而它的平均值则正比于电子管 J_1 和 J_2 阳极电流平均值之差。正如相位电桥中负载电流变化的分析与实验所指出，阳极负载两端分路电容的接入对推挽相位电桥中负载电流脉冲的滤波作用比在差动相位电桥的线路中要小得多。

由以上所述可知，当输出电压的脉冲对自动装置的工作有害时(特别当 $v_g=0$)，则采用相位电桥的推挽电路是不合适的。

为了使相敏放大整流器的电子管能在没有栅流的情况下工作，即在栅极特性的负直线部分内工作，就必须使电子管的栅极上加初始负偏压 v_{g0} ，它对相位电桥的两电子管应相同(当参数相等时)。在相位电桥电子管的阴极—栅极电路中，加入一个独立的直流电源 u_{g0} 或交流电源 E_{g0} ，就可以得到初始偏压 v_{g0} 。交流电源应这样接入：当在阳极电压的正半周内，《正极》应加在阴极上，而《负极》则加在栅极上。交流初始偏压从阳极电源变压器的次级线圈上得到较为合适，这时差动相位电桥只要一个线圈就够了，而推挽相位电桥就要两个线圈或一个带中心抽头的线圈。从计算的观点来看，独立偏压的存在就等于将输入信号的电压 $v_{\text{输入}}=E_g+u_g$ 改变一初始偏压的值 v_{g0} 。

具有所谓自偏压的差动相位电桥电路得到广泛的应用(图5)。这种线路中初始栅偏压 E_{g0} 是取自电子管 J_1 和 J_2 的阳极电流在电阻 R_k 上的压降。以下将证明，该电路中初始偏压之大小与输入信号无关，而仅决定于电路的参数与阳极电压的改变。

在推挽相位电桥中采用自偏压是不适合的，因为这时需要用很大的电容来分路自偏压电阻。如所周知，在相反的情况下，相位电桥每臂的放大系数就会大大地降低，所以整个放大器的放大系数亦下降。实际上接入了并联于电阻 R_k 的分路大电容，就使相位电桥具有了独立的直流栅偏压（在这种情况下电容就作为电源）。

以上我們仅研究了用三极管的相位电桥，但相位电桥中还应用五极管和集射四极管（图6）。

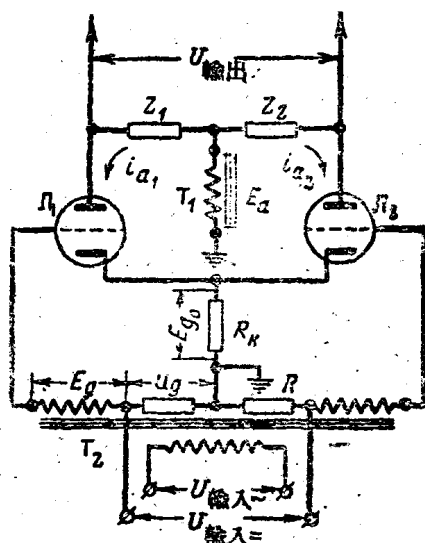


图 5 具有自偏压的相位电桥的差动电路

用五极管和集射四极管之相位电桥的结构与三极管相位电桥一样，因此以上就三极管而言的一切对五极管和四极集射管也是完全适合的。

在五极管和集射四极管的相位电桥电路中，阳极用交流电源供电后，则这些电子管的簾栅极就不能再用直流电源供电了，因为阳极电压之瞬时值正的很小时，特别是在阳极电压的负半周期内，电子管中会通过很大的不允许的簾栅极电流，它能使电子管损坏。

在上述电路中，簾栅极可用与阳极电压同相的交流电压