

尾作

73. A1
350

自动控制装置中的 晶体三极管

Ю. И. 高涅夫 著

諸葛石基 譯



0580/20

內 容 提 要

本书叙述在自动控制系统中的放大器中面結合型晶体三极管应用的基本原理和特点。討論了在交流放大器、电流平均值放大器以及相敏放大系统中晶体三极管的作用。介紹了一些电路的計算方法。

本书系供从事电气自动化和电子学方面工作的工程师和技术員参考，并供电气工程和无线电工程高等院校和专科学校高年級学生閱讀。

苏联Ю. И. Конев著‘Кристаллические триоды
в устройствах автоматического управления’
(Советское радио1957年第一版)

* * *

国防工业出版社 出版

北京市书刊出版业营业許可証出字第 074 号
机械工业出版社印刷厂印刷 新华书店发行

*

787×1092¹/₃₂ 印張4¹¹/₁₆ 98千字

1960年7月第一版

1960年7月北京第一次印刷

印数: 0,001—8,842册 定价: (10-7) 0.69元

NO. 3040

目 录

序言	5
第一章 面結合型晶体三极管的主要特性	9
1. 面結合型晶体三极管的静态特性	9
2. 晶体三极管电路的简化分析	13
3. 在弱訊号时晶体三极管的参量	18
4. 在弱訊号时带有晶体三极管的放大級	21
5. 晶体三极管的轉移特性	27
6. 晶体三极管的輸入特性	31
7. 晶体三极管在强訊号时的等效电路	34
8. 在强訊号时帶晶体三极管的放大級	36
第二章 交流前置放大器中的晶体三极管	41
1. 在自动控制系統的放大器中晶体三极管的工作特点	41
2. 訊号轉換器接向晶体三极管放大器	42
3. 晶体三极管放大級的負反饋	45
4. 偏压电路和晶体三极管放大級的溫度穩定	50
5. 輸入級的过载防护	62
第三章 交流放大器末級中的晶体三极管	68
1. 晶体三极管电路連接和工作状态的选择	68
2. A类工作状态的单臂放大級	70
3. B类工作状态の推挽級	71
4. 晶体三极管的并联	75
5. 接向两相感应电动机的放大器	78
第四章 电流平均值放大器中的晶体三极管	80
1. 放大变换电路。电流平均值放大器	80

2. 用直流电压供电时, 具有电阻负载的电流平均值放大器	84
3. 用直流电压供电时具有阻抗负载的电流平均值放大器	90
4. 用交流电压供电时晶体三极管的特性	93
5. 用交流电压供电时具有电阻负载的电流平均值放大器	105
6. 用交流电压供电时具有阻抗负载的电流平均值放大器	119
第五章 相敏放大器中的晶体三极管	123
1. 具有晶体三极管的相敏电路	123
2. 相敏电路中晶体三极管和二极管状态的选择	134
3. 相敏级的计算	137
4. 直流电机的控制	145
附录 在强讯号下晶体三极管参数的测量	148

自动控制装置中的 晶体三极管

Ю. И. 高涅夫 著

諸葛石基 譯



1960年第12期

圖書館藏

0580/20

內 容 提 要

本书叙述在自动控制系统的放大器中面結合型晶体三极管应用的基本原理和特点。討論了在交流放大器、电流平均值放大器以及相敏放大系統中晶体三极管的作用。介紹了一些电路的計算方法。

本书系供从事电气自动化和电子学方面工作的工程师和技术員参考，并供电气工程和无线电工程高等院校和专科学校高年級学生閱讀。

苏联Ю. И. Конев著‘Кристаллические триоды
в устройствах автоматического управления’
(Советское радио1957年第一版)

* * *

国防工业出版社 出版

北京市书刊出版业营业許可証出字第 074 号
机械工业出版社印刷厂印刷 新华书店发行

*

787×1092¹/₃₂ 印張4¹¹/₁₆ 98千字

1960年7月第一版

1960年7月北京第一次印刷

印数: 0,001—8,842册 定价: (10-7) 0.69元

NO. 3040

目 录

序言	5
第一章 面結合型晶体三极管的主要特性	9
1. 面結合型晶体三极管的静态特性	9
2. 晶体三极管电路的简化分析	13
3. 在弱訊号时晶体三极管的参量	18
4. 在弱訊号时带有晶体三极管的放大級	21
5. 晶体三极管的轉移特性	27
6. 晶体三极管的輸入特性	31
7. 晶体三极管在强訊号时的等效电路	34
8. 在强訊号时帶晶体三极管的放大級	36
第二章 交流前置放大器中的晶体三极管	41
1. 在自动控制系統的放大器中晶体三极管的工作特点	41
2. 訊号轉換器接向晶体三极管放大器	42
3. 晶体三极管放大級的負反饋	45
4. 偏压电路和晶体三极管放大級的溫度穩定	50
5. 輸入級的过载防护	62
第三章 交流放大器末級中的晶体三极管	68
1. 晶体三极管电路連接和工作状态的选择	68
2. A类工作状态的单臂放大級	70
3. B类工作状态の推挽級	71
4. 晶体三极管的并联	75
5. 接向两相感应电动机的放大器	78
第四章 电流平均值放大器中的晶体三极管	80
1. 放大变换电路。电流平均值放大器	80

2. 用直流电压供电时, 具有电阻负载的电流平均值放大器	84
3. 用直流电压供电时具有阻抗负载的电流平均值放大器	90
4. 用交流电压供电时晶体三极管的特性	93
5. 用交流电压供电时具有电阻负载的电流平均值放大器	105
6. 用交流电压供电时具有阻抗负载的电流平均值放大器	119
第五章 相敏放大器中的晶体三极管	123
1. 具有晶体三极管的相敏电路	123
2. 相敏电路中晶体三极管和二极管状态的选择	134
3. 相敏级的计算	137
4. 直流电机的控制	145
附录 在强讯号下晶体三极管参数的测量	148

序 言

近年来，半导体器件愈来愈广泛地被应用在各种不同的技术领域。

氧化銅、硒、鍺、硅等整流器、光敏电阻、障层光电管、半导体热敏电阻、温差发电机、半导体放大器——这些还远远没有完全列出目前广泛应用的半导体器件。

在这些器件中，半导体放大器是占有主要地位的一种。1922年O. B. 洛謝夫首先利用半导体器件来产生和放大电振荡。O. B. 洛謝夫在半导体放大器中应用了具有一段負电阻特性的晶体檢波器。后来，这种原始的还不完善的半导体放大器就被电子管所代替。

在第二次世界大战时期，由于无綫电定位技术的发展，并轉向厘米波，于是，晶体檢波器重新得到了应用。

探討了半导体鍺和硅的性质，研究了杂质对其性质的影响后，美国在1948年制造成功了半导体三极管放大器，它具有一系列独特的和有价值的特性。

用作现代半导体放大器和整流器的主要材料是经过高度純化的鍺和硅的单晶。在一定量的鍺和硅的单晶中加入少量特殊杂质，就构成不同类型的导电型式（电子型或空穴型），在这两种不同导电型式的材料交界处，形成电子-空穴阻挡层，也称为p-n阻挡层。这一阻挡层具有整流特性，因而可制做二极管。

晶体三极管是由二个电子-空穴阻挡层构成，这二个阻

擋層把單晶分成三個區域。當這些區域具有一定的幾何形狀和正確地選用雜質濃度時，它就可以用來作放大器。

晶体三极管具有許多有價值的特点：体积小、重量輕，抗振性和抗冲击性强，在电源电压极低的情况下，具有高效率的工作性能，沒有灯絲和寿命长。这就开辟了在許多技術部門中使用电子器件的可能性，这些部門由于电子管的缺陷，迄今还不能使用电子器件。

現代低頻晶体三极管的缺点在于它的參量在很大程度上决定于温度和工作状态，以及管与管間的參量差异很大。如在晶体三极管中以硅代鍺，就根本上解决了參量的温度稳定性問題，并扩大了工作温度的范围。

然而，現代的晶体三极管，是可以成功地使用于各种不同的裝置中。首先，晶体三极管參量对于級參量的影响，可借使用負反饋和适当的綫路而減到很小。其次，設備并非在所有情况下，都在温度变化很广的范围內工作的。

實踐証明，在級間采用負反饋和設計綫路时考虑到晶体三极管的特有性能，可以順利地采用現代的晶体三极管来解决一系列的問題。

在自动控制系統的放大器和變換器中，特別是在随动系統的放大器中，用晶体三极管代替电子管，可以改善它們的运用特性，提高其可靠性、經濟性，減輕重量和縮小体积。晶体三极管不仅可以代替电子管应用于帶有电磁机构、磁放大器和电机放大器的組件中，而且在許多情况下，可以很有效地解决一系列用其它电子器件所不能解决的問題。

在自动控制系統的放大器和變換器中，晶体三极管常应用在特殊的和非一般的工作状态。例如：在高穩定調制器和

解調器中使三极管处在开关状态，在集电极电路的电源为交流或脉动电压时三极管的工作，在电流平均值放大器和相敏放大器中，当訊号电压幅度在大範圍内变化的交流放大級的工作等等都可称作特殊状态。

本书重点叙述在自动控制系統的放大器中，使用面結合型晶体三极管的基本原理和特性。考虑了适用于随动系統放大器的大部分問題，并分析了具有晶体三极管的各級的工作。

书中叙述了在弱訊号和强訊号时，具有晶体三极管各級的不同計算方法。討論了在具有不同訊号傳感器和訊号电压在寬範圍内变化的交流前置放大級中使用晶体三极管的若干問題。研究了交流放大器末級的簡易計算方法。

当电源为交流电压时，对电流平均值放大器中晶体三极管的工作分析，本书給予了最大的注意。詳細地討論了具有晶体三极管的相敏放大器电路的工作，并导出其計算方法。

在所有的电路計算中，利用了晶体三极管輸入特性曲綫和轉移特性曲綫的簡化分析法。

本书首次嘗試論述在自动化中使用晶体三极管的一系列專門問題，缺点在所难免，因而作者将非常感謝讀者对此书和对所列举的电路以及其計算方法的使用結果，提出批評和建議。

作者对技术科学博士Б. С. 沙脫斯果夫，Я. А. 費特多夫和編輯А. И. 苏盖納的宝貴指示，致以衷心的感謝。

作 者

1956年6月



第一章 面結合型晶体三极管的主要特性

1 面結合型晶体三极管的靜态特性

为了計算具有晶体三极管的电路，必須用各种不同方式来表示三极管的基本特性。这可以用图解法或解析法来达到。

在低頻时晶体三极管最完整的性能可以用靜态特性曲綫族来表示。这类特性曲綫可用各种方法求得。最简单的方法是用直流測繪靜态特性曲綫，但是，这样做需要花費許多時間。靜态特性曲綫族可在电子示波器的螢光屏上显示，并可把它拍摄下来。这一方法能保証高度的精确性而花費較少的时间。为了显示晶体三极管的靜态特性曲綫，制造了特殊的电子管設備。

現在我們来討論用直流測繪晶体三极管靜态特性曲綫。为此按图 I-1 所示的电路联接。电源接通的极性是用于 p-n-p 型三极管的。

苏联产的 $\Pi 1$ 、 $\Pi 2$ 、 $\Pi 3$ 和 $\Pi 4$ 型晶体三极管都属于这一类型。当測繪靜态特性曲綫时，晶体三极管可任意接成共基极、共发射极或共集电极电路。在图 I-1 中，晶体三极管是按共基极电路連接的。

用电阻 R_1 調整到一定数值的发射极电流 I_{e0} 。借分压器 R_2 調整集电极-基极間电压达給定值 U_K 。然后記錄发射极-基极的电压 U_{e0} 和集电极电流 I_K 。保持发射极电流 I_{e0} 不变，电压 U_K 为不同数值时，进行同样的測量，可得到一系列新

的 U_{be} 和 I_K 值。在不同的发射极电流 I_E 时, 重复这种测量, 可得到测绘静态特性曲线族的数据。

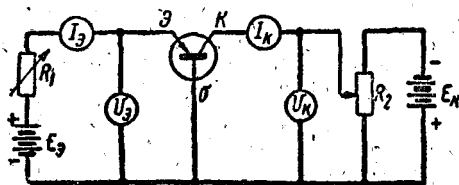


图 I-1 用直流测绘晶体管静态特性曲线的电路图。

用上述方法求得的 $\Pi 2A$ 型晶体管输出特性曲线族, 示于图 I-2。由这些特性曲线表明, 在各种不同的发射极电流 I_E 的情况下, 集电极电流 I_K , 取决于集电极-基极间的电压 U_K 。可作为特征的是在发射极电流给定时, 集电极电流几乎不取决于电极-基极间的电压, 甚至当该电压趋近于零值时也是如此。这证明当晶体管按共基极电路连接时, 具有高输出阻抗。

可以利用空载试验和短路试验的计算数据, 在输出特性曲线族中画负载直线。有了输出特性曲线族和负载直线, 就容易绘出晶体管的转移特性曲线。负载电阻 R_n 和电源电压 U_n 的值为已知时, 转移特性曲线表明集电极电流 I_K 决定于发射极电流 I_E 。图 I-3a 中所示的转移特性曲线, 是在图 I-2 输出特性曲线的基础上绘制的, 此时, 负载电阻 $R_n = 5000$ 欧姆, 电源电压 $U_n = 55$ 伏。

当电源电压改变时, 负载直线作平行于其本身的移动, 此时, 集电极电流的极限值亦起变化。但由于输出特性曲线几乎是水平线, 因而转移特性曲线的斜度, 实际上是不变的。

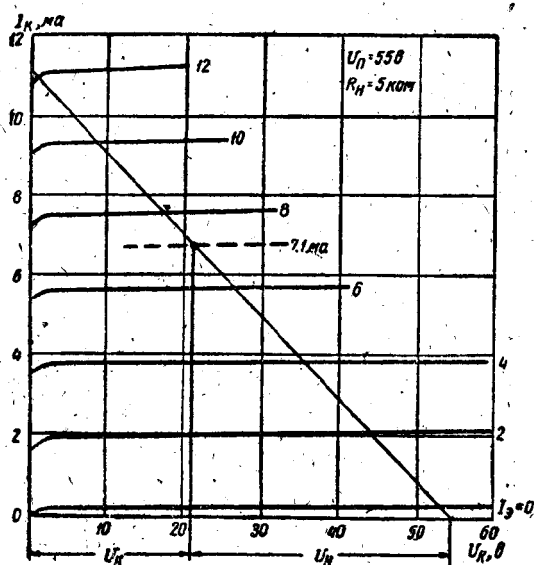


图 1-2 具有负载直线的 $\Pi 2A$ 型晶体三极管的集电极特性曲线族。

当负载电阻值改变时，负载直线围绕空载点旋转。因而也只有集电极电流的极限值起变化，而转移特性曲线的斜度则几乎不变。

晶体三极管的转移特性曲线和电子管阳极-栅极的动态特性曲线相似，这种动态特性曲线表明阳极电流决定于栅极-阴极间的电压。在 A 类状态下工作的电子管没有栅极电流，实际上不从讯号电源取得电流，因此当电源电压和它的负载阻抗给定时，阳极电流完全决定于栅极对阴极的电位差。

晶体三极管的输入电路与电子管栅极电路不同的地方，是当它按任何一种电路连接时，要从讯号电源取得很大的电

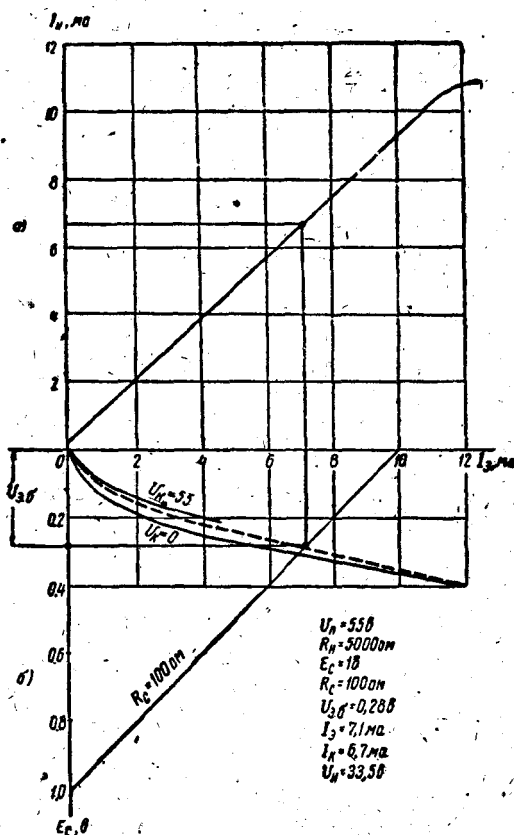


图 I-3 输入电路具有负载直线的П2А型晶体三极管的转移特性曲线和输入特性曲线。

流，这一电流与输入电压有非线性关系。因此，晶体三极管输入电路的工作状态，不能用取得的输入电流或输入电压来完全说明。这就不能不在计算中要测定并使用能表示输入电流和输入电压关系的晶体三极管输入特性曲线。

图 I-36 中所示, 是 $\Pi 2A$ 型晶体三极管在集电极-基极間有两种不同电压值时所測繪的輸入特性曲綫。当发射极-基极間的电压值很小和集电极-基极間的电压对輸入特性曲綫的影响相对地小时, 这些特性曲綫的显著的非綫性是一目了然的。

假定輸入特性曲綫族和輸出特性曲綫族具有負載直綫, 輸入的动态特性曲綫亦极易繪制。当負載电阻和电源电压的数值已定, 这一特性曲綫示明輸入电流决定于輸入电压。动态輸入特性曲綫用虛綫表示于图 I-36 中。

具有电动势 $E_s = 1$ 伏和内电阻 $R_s = 100$ 欧姆的訊号电源的負載直綫示于图 I-36 中。負載直綫与动态輸入特性曲綫的交点, 决定发射极-基极間的电压 $U_{be} = 0.28$ 伏和发射极电流 $I_b = 7.1$ 毫安。利用轉移特性曲綫, 可以求得此时的集电极电流 $I_c = 6.7$ 毫安。回到輸出特性曲綫族(图 I-2), 确定負載电阻上的电压为 $U_c = 33.5$ 伏。給与另一 E_s 值, 用同样方法, 求得相应的 I_c 和 U_c 值。

因此, 晶体三极管的图解概念, 給出当訊号电源电动势按任一規律变化时决定一級性能的可能性。图解法对直流电路(偏压电路)的計算和在弱或强的交流訊号下一級的工作分析同样有用。不过, 在繪制特性曲綫和对它們修正时, 使用这一方法, 需要花費許多時間。

根据晶体三极管的工作状态, 可以采用各种計算分析方法來代替图解法。

2 晶体三极管电路的簡化分析

如所周知, 晶体三极管在电路中可以按三种不同方式来