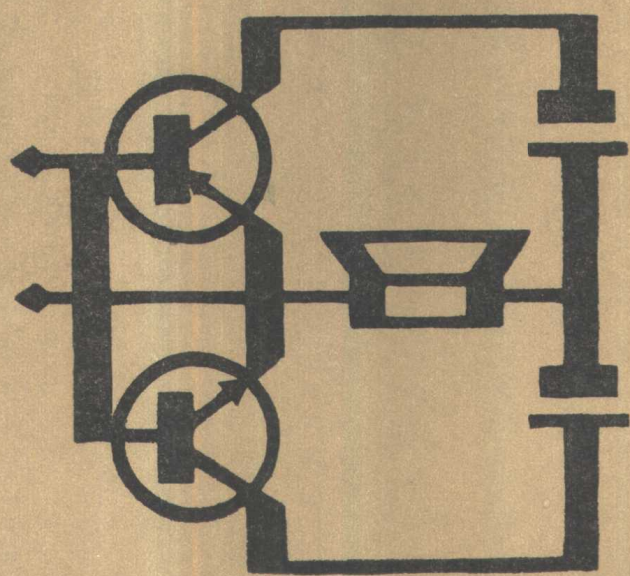


无线电爱好者丛书

# OTL OCL 低频放大电路集锦

唐远炎 编著



无线电爱好者丛书

# OTL OCL低频放大电路集锦

唐 远 炎 编

人民邮电出版社

## 内 容 提 要

本书搜集了93个OTL、OCL低频放大电路，其中国内电路有48个；国外电路45个，其中参考电路9个。这些电路既有晶体管分立元件电路，也有集成电路。本书简要地介绍了这些电路的特点、主要性能指标、安装及调试要点和晶体管（或集成电路）的选用。部分电路还给出了印刷电路板图。

书中国外电路部分还列出了有关晶体三极管的主要参数以及用国产晶体管代用的方法。

本书可供业余无线电爱好者和有关无线电工程技术人员及工人参考。

## 无线电爱好者丛书 OTL OCL低频放大电路集锦

唐 远 炎 编

责任编辑：王守觉

责任编辑：孙中臣

人民邮电出版社出版

北京东长安街27号

水利电力印刷厂排版

北京兴华印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行

各地新华书店经售

开本：787×1092 1/16 1983年6月第一版

印张：14 4/16 页数：114 1983年5月北京第4次印刷

字数：343千字 插页：1 印数：147 501—161 500册

ISBN7-115-03659-4/TN·Q96

定 价：3.00 元

TN722-1  
1  
2



## 中国电子学会科学普及读物编辑委员会

主 编：孟昭英

副主编：杜连耀

编 委：毕德显 吴朔平 叶培大 任 朗  
吴鸿适 童志鹏 陶 棣 顾德仁  
王守觉 甘本祓 张恩虬 何国伟  
周炯槃 邱绪环 陈芳允 秦诒纯  
王玉珠 周锡龄

## 丛 书 前 言

电子科学技术是一门发展迅速、应用广泛的现代科学技术。电子技术水准是现代化的重要标志。为了尽快地普及电子科学技术知识，中国电子学会和出版部门约请有关专家、学者组成编委会，组织编写三套有不同特点的、较系统的普及丛书。

本丛书是《无线电爱好者丛书》，由人民邮电出版社出版。其余两套是《电子应用技术丛书》，由科学普及出版社出版；《电子学基础知识丛书》，由科学出版社出版。

本丛书密切结合实际讲述各种无线电元器件和常用电子电路的原理及应用；介绍各种家用电子设备（如收音机、扩音机、录音机、电视机、小型电子计算器及常用测试仪器等）的原理、制作、使用和修理；提供无线电爱好者所需的资料、手册等。每本书介绍一项实用无线电技术，使读者可以通过自己动手逐步掌握电子技术的一些基本知识。本丛书的对象是广大青少年和各行各业的无线电爱好者。

我们希望广大电子科学技术工作者和无线电爱好者，对这套丛书的编辑出版提出意见，给以帮助，以便共同努力，为普及电子科学技术知识，为实现我国四个现代化作出贡献。

## 前 言

OTL是英文Output Transformerless的缩写,译成中文是“无输出变压器”;OCL是英文Output Capacitorless的缩写,译成中文是“无输出电容”;BTL是英文Balanced Transformerless的缩写,译成中文是“平衡无变压器”;DC是英文Direct Current的缩写,译成中文是直流的意思。OTL、OCL、BTL、DC等型式的低频放大电路都属于无输出变压器放大电路。这种电路具有频带宽、失真小、易于集成化等优点,目前已广泛应用在扩音机、收音机、录音机和电视机等方面,特别是在立体声设备和各种高传真放音设备中占有重要的地位。OTL电路和OCL电路也是我国广大无线电爱好者乐意采用的一种电路。为了给大家提供一些实用的OTL、OCL电路资料,编者将自己搜集的一些资料整理成这本书,供大家参考。

本书收编了93个电路。有晶体管的,也有集成电路的;有国内电路,也有国外电路。对于每一个电路,简要地介绍了它的电路特点、主要性能指标、安装调试要点和晶体管(或集成电路)的选用等四个方面。主要性能指标一般都引用于原著,对于某些没有标明指标的电路,本书已进行了估算。书中的印刷电路板图有些是原来已有的,有的是编者另行设计的。对于电路中使用的晶体管,除了电原理图给出的型号外,还给出了部分可供选用的型号。国外电路部分所使用的晶体管,对我国读者来说,目前还没有现成的手册可查。为了使读者分析电路和制作的方便,编者查阅了有关资料,搜集了这些外国晶体三极管的主要参数,介绍了用国产晶体管代用的方法,以供参考。

本书目录中第一部分是国内电路部分,1~36是分立元件电路,37~48是集成电路;第二部分是国外电路部分,都是分立元件电路,其中85~93只给出了电路和所用元件的参数,未加说明,仅供读者参考。为了便于读者查找,每一部分电路都按功率的瓦数由低向高的顺序进行排列。每个电路的出处都分别注明在该电路所在页的下面。

唐远炎

1981年10月

# 目 录

## 概 述

## 第一部分 国内 电 路

|                                               |    |
|-----------------------------------------------|----|
| 1. 150毫瓦OTL低放电路 .....                         | 15 |
| 2. 150毫瓦直接耦合OTL低放电路 .....                     | 15 |
| 3. 150毫瓦C-E倒相式OTL低放电路 .....                   | 16 |
| 4. 300毫瓦OTL低放电路 .....                         | 17 |
| 5. 400毫瓦电视伴音OTL低放电路 .....                     | 19 |
| 6. 450毫瓦OTL低放电路 .....                         | 20 |
| 7. 700毫瓦OTL低放电路 .....                         | 21 |
| 8. 700毫瓦具有温度补偿的OTL低放电路 .....                  | 24 |
| 9. 1瓦输入变压器倒相式OTL低放电路 .....                    | 25 |
| 10. 自倒相RC推挽电路(60毫瓦~1.7瓦) .....                | 26 |
| 11. 2瓦二极管稳定工作点OTL低放电路 .....                   | 31 |
| 12. 2瓦三极管稳定工作点OTL低放电路 .....                   | 32 |
| 13. 具有音调控制的2~4瓦OTL扩音机 .....                   | 33 |
| 14. 宽带OCL低放电路(4瓦) .....                       | 35 |
| 15. 三极管稳定电压法OTL低放电路(5瓦) .....                 | 36 |
| 16. C-E倒相式OTL低放电路(5瓦) .....                   | 38 |
| 17. 具有均衡电路和音调控制电路的OTL扩音机(5瓦) .....            | 40 |
| 18. 具有多种音调控制电路的OTL扩音机(5瓦) .....               | 44 |
| 19. 场效应管输入、有音调控制的OCL扩音机(5~10瓦) .....          | 48 |
| 20. 5瓦OCL扩音机 .....                            | 50 |
| 21. 具有音调控制的OTL扩音机(7瓦) .....                   | 53 |
| 22. 全直流负反馈OTL低放电路(10瓦) .....                  | 54 |
| 23. 电流负反馈环提供静态工作电流的OCL低放电路(10瓦) .....         | 56 |
| 24. 18瓦OCL扩音机 .....                           | 57 |
| 25. 自动适应10~45伏电源电压的OTL和OCL低放电路(1.5~30瓦) ..... | 61 |
| 26. 带音调控制及前置电路的适用多种电源电压的OTL扩音机(1.5~30瓦) ..... | 65 |
| 27. DC功率放大电路(25瓦) .....                       | 67 |
| 28. 35瓦高传真度OCL扩音机 .....                       | 70 |
| 29. 20瓦×2立体声OCL扩音机 .....                      | 75 |
| 30. OCL立体声扩音机(20×2瓦) .....                    | 80 |

|                                       |     |
|---------------------------------------|-----|
| 31.超低失真OCL低频放大器(40瓦) .....            | 84  |
| 32.15~50瓦OCL低放电路 .....                | 86  |
| 33.40瓦全对称OCL低放电路 .....                | 90  |
| 34.50瓦C-E倒相、末级串联输出OCL扩音机 .....        | 95  |
| 35.50瓦高传真度OCL扩音机 .....                | 99  |
| 36.双频道扩音机(50瓦+30瓦+8瓦) .....           | 104 |
| 37.低压集成BTL低放电路(2瓦) .....              | 109 |
| 38.具有低音提升网路的集成电路OTL低放电路(2.5瓦) .....   | 113 |
| 39.带场效应管音调控制器的集成电路OTL低放电路(2.5瓦) ..... | 115 |
| 40.3瓦集成电路BTL低频放大器 .....               | 116 |
| 41.3瓦集成电路OTL扩音机 .....                 | 118 |
| 42.SL-38集成BTL功率放大器(1.5~7瓦) .....      | 122 |
| 43.10瓦带集成音调控制器的新式OCL扩音机 .....         | 124 |
| 44.5~15瓦集成电路OCL扩音机 .....              | 126 |
| 45.6~12瓦5G28集成运放OTL低放电路 .....         | 130 |
| 46.6~12瓦5G28集成运放OCL扩音机 .....          | 131 |
| 47.8~12瓦集成电路等响度OCL扩音机 .....           | 133 |
| 48.8瓦×2集成电路立体声扩音机 .....               | 137 |

## 第二部分 国 外 电 路

|                              |     |
|------------------------------|-----|
| 49.300毫瓦OTL低放电路 .....        | 145 |
| 50.500毫瓦OTL低放电路 .....        | 147 |
| 51.1瓦立体声OTL低频放大器 .....       | 148 |
| 52.2瓦立体声OTL扩音机 .....         | 149 |
| 53.C-E倒相式OTL低放电路(2瓦) .....   | 151 |
| 54.3瓦OTL扩音机 .....            | 153 |
| 55.3~6瓦OTL低放电路 .....         | 154 |
| 56.4瓦汽车收音机放大器(OTL低放电路) ..... | 155 |
| 57.5瓦OTL低放电路 .....           | 157 |
| 58.8瓦具有音调控制电路的OTL扩音机 .....   | 158 |
| 59.8瓦单边/立体声OTL扩音机 .....      | 160 |
| 60.10瓦低失真OTL低放电路 .....       | 162 |
| 61.5~10瓦OTL扩音机 .....         | 164 |
| 62.全对称互补OCL低放电路(10瓦) .....   | 166 |
| 63.15瓦高传真度OTL低放电路 .....      | 168 |
| 64.15瓦×2立体声OTL扩音机 .....      | 170 |
| 65.15瓦OTL低放电路 .....          | 173 |

|                               |     |
|-------------------------------|-----|
| 66.具有短路保护的高传真OTL低放电路(20瓦)     | 174 |
| 67.20瓦具有保护电路的OCL低放电路          | 176 |
| 68.25瓦高传真OTL低放电路(有保护电路)       | 177 |
| 69.25瓦OTL低放电路                 | 179 |
| 70.具有自动平衡稳定电路的OTL低放电路(30瓦)    | 180 |
| 71.30瓦带继电保护电路的OCL低放电路         | 183 |
| 72.30瓦高传真OTL低放电路              | 185 |
| 73.40瓦全互补对称OCL低放电路            | 187 |
| 74.40瓦具有保护电路及过载指示电路的OTL低放电路   | 188 |
| 75.40瓦具有保护电路的OCL低放电路          | 192 |
| 76.全互补对称25~50瓦OCL低放电路         | 194 |
| 77.50瓦×2立体声高传真OCL扩音机          | 196 |
| 78.50瓦有二极管保护措施OCL低放电路         | 199 |
| 79.功放级自动稳定偏压OTL低放电路(60瓦)      | 200 |
| 80.输入变压器倒相式OCL低放电路(15~60瓦)    | 202 |
| 81.30~60瓦具有二极管保护电路的OTL低放电路    | 204 |
| 82.12~70瓦具有保护电路的OCL低放电路       | 206 |
| 83.35~100瓦具有保护电路的全互补对称OCL低放电路 | 208 |
| 84.甲类动态偏压全互补对称OCL低放电路         | 211 |
| 85.参考电路一(5瓦)                  | 213 |
| 86.参考电路二(50瓦)                 | 213 |
| 87.参考电路三(50瓦)                 | 214 |
| 88.参考电路四(25瓦)                 | 215 |
| 89.参考电路五(60瓦)                 | 215 |
| 90.参考电路六(60瓦)                 | 215 |
| 91.参考电路七(70瓦)                 | 216 |
| 92.参考电路八(70瓦)                 | 217 |
| 93.参考电路九(宽频带0~5兆赫)            | 217 |
| 参考资料                          | 218 |

## 概 述

### 一、无输出变压器功率放大电路

晶体管收、扩音机中，广泛采用推挽功率放大电路。一般的推挽电路总需要输出变压器和输入变压器，这种变压器耦合的电路存在一些缺点，如：由于变压器铁心的磁化曲线是非线性的，它会使放大电路产生非线性失真；由于变压器漏磁对电路输入回路、中频回路的寄生耦合，会使整机工作不稳定；由于变压器是电感元件，有附加相移，不能引入深度负反馈来改善音质；特别是由于变压器的存在，严重地影响了电路的频率特性，这是因为变压器绕组的电感量不能做得太大（否则变压器体积太大，成本太高），因此，在低频时电抗较小（电抗  $X_L = \omega L$ ，频率  $\omega$  低时，电抗也小）。使信号被分流了一部分，使低频端增益下降，在高频时，由于变压器铁心导磁率的下降及漏感、分布电容的影响，也会使高频端增益降低。这样使高、低音都不够丰满。

为了克服这些缺点，出现了另一类电路叫“无输出变压器电路”。这类无变压器功放电路甩掉了级间耦合用的输出变压器，改用直接耦合。这样，电路结构虽然复杂些，但便于加负反馈电路，能使频响宽、失真小，易于满足大功率和小型化的要求。在立体声设备中，这种电路就显得更加重要了。

无输出变压器电路的种类很多，按不同的分类方法，可以分为如下几种：

- |                   |   |                                                                                                                     |
|-------------------|---|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1. 按输出级与扬声器的连接方式分 | { | ①OTL电路（输出级与扬声器之间采用电容耦合）<br>②OCL电路（输出级与扬声器之间直接耦合）<br>③BTL电路（输出级与扬声器之间用电桥形式连接）                                        |
| 2. 按激励信号的倒相方式分    | { | ①输入变压器倒相式电路（激励信号的倒相是由输入变压器完成的）<br>②C-E倒相式电路（倒相任务是靠晶体三极管集电极和发射极相位相反的原理完成的）<br>③互补对称式电路（依靠PNP和NPN管导电特性不同来完成激励信号的倒相工作） |
| 3. 按使用的放大元件分      | { | ①分立元件电路放大器<br>②集成电路放大器                                                                                              |

### 二、输入变压器倒相式OTL电路

我们以图0-1电路为例，来分析输入变压器倒相式OTL电路的工作原理。图0-1(a)是原理电路，图0-1(e)是实用电路。

图0-1(a)中省略了偏置电阻等， $BG_1$ 和 $BG_2$ 是同极性的两只晶体管（这里以PNP型管为例），变压器B用作倒相耦合，它的次级有两个独立的绕组 $L_1$ 和 $L_2$ ，分别接在两只晶体管的基极和发射极之间。请注意，绕组 $L_1$ 的同名端（有“·”号的一端）接到 $BG_1$ 管的基极，绕组 $L_2$ 的同名端则接到 $BG_2$ 管的发射极，所以，两个绕组的相位相反。现设两管工

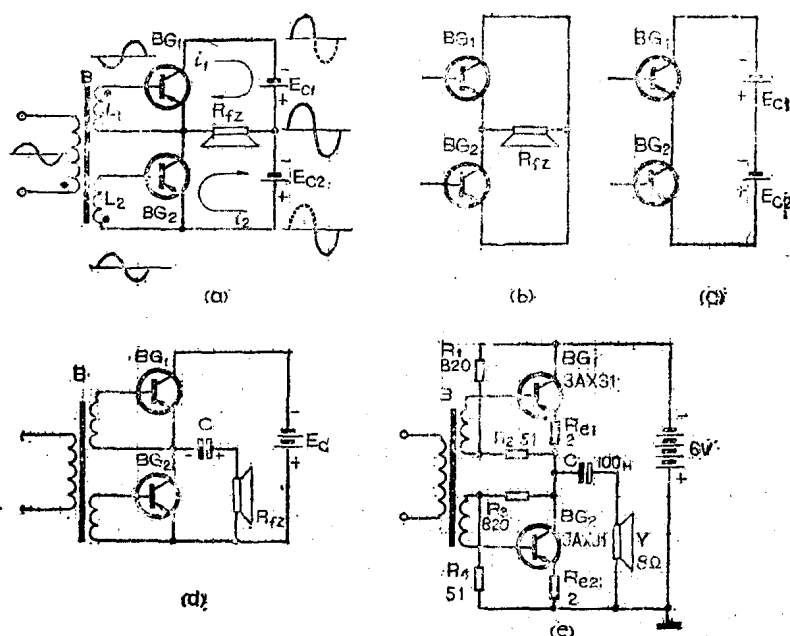


图 0-1

作于乙类状态，无信号时两管的集电极电流为零，处于截止。（但实际上，为了避免交越失真，两管在无信号时不是完全截止，而是有一定的静态工作电流，工作在甲乙类）。当信号电压正半周时， $BG_1$ 管的基极为负，发射极为正，发射结是正向偏压；而 $BG_2$ 管的基极为正，发射极为负，其发射结加有反向偏压。因此， $BG_1$ 管导通、 $BG_1$ 管的集电极电流 $i_1$ 随信号而变化， $i_1$ 流过负载 $R_{fz}$ ，在它上面得到相应的正半周信号。当信号负半周时，则 $BG_1$ 管截止、 $BG_2$ 管导通，电流 $i_2$ 流过 $R_{fz}$ ，在其上得到相应的负半周信号。这样，两管轮流工作，在负载 $R_{fz}$ 上恰好两个半周正弦波拼起来合成一个完整的正弦波，即一个完整的信号。另一方面，两管都是半波输出，相当于整流，所以其中有直流成份。但从图0-1(a)可看出， $i_1$ 和 $i_2$ 流过负载时方向相反，由于电路对称，所以负载中的直流部分相互抵消了。

图0-1(b)是交流简化电路，两管交流输出是并联的，所以这种电路的输出阻抗和一般变压器耦合推挽电路相比要小得多。由于输出阻抗较低，因此就不必使用输出变压器作阻抗变换了，可以直接将电路的输出端和较高阻抗的扬声器相连。

图0-1(c)是直流简化电路，这时两管串联，两组电源 $E_{c1}$ 和 $E_{c2}$ 串联起来对两只串联的 $BG_1$ 、 $BG_2$ 供电。所以我们可以把电源 $E_{c1}$ 和 $E_{c2}$ 加在一起，去掉中间抽头，采用一个电源 $E_c = E_{c1} + E_{c2}$ 供电。这样我们可以把图0-1(a)改画成图0-1(d)的形式， $BG_1$ 和 $BG_2$ 串联起来，它们从电源 $E_c$ 各分到一半电压，即 $\frac{E_c}{2}$ 。为了防止直流电流流过负载 $R_{fz}$ ，可以加一个隔直电容 $C$ 把负载（这里是扬声器）和电源隔开。图0-1(d)的形式就和实际电路图0-1(e)相似了，再加上各管的偏置电阻、射极电阻等，就变成了实际电路。

图0-1(e)中,  $R_1$ 、 $R_2$ 是BG<sub>1</sub>管的偏置电阻,  $\frac{E_c}{2}$ 电压加到 $R_1+R_2$ 两端, 从 $R_2$ 上

取得的电压降加到BG<sub>1</sub>管的基极和发射极之间作为偏压;  $R_3$ 、 $R_4$ 是BG<sub>2</sub>管的偏置电阻, 加偏压方式同BG<sub>1</sub>;  $R_{e1}$ 、 $R_{e2}$ 分别是两管的射极电阻。由于 $R_{e1}$ 、 $R_{e2}$ 的电流负反馈作用(晶体管电流增大时,  $R_{e1}$ 、 $R_{e2}$ 上电压降增大, 抵消偏置电压, 使管子电流降下来), 可以稳定工作点并进一步改善音质; C是隔直流电容, 使直流电流不流过扬声器, 以便实行单电池组供电, C同时又是耦合电容, 音频信号通过它送到扬声器。

这种电路都工作在甲乙类状态, 保证无信号时两管有一定的静态电流, 使上管导电过渡到下管导电的交接不脱节, 以消除小信号的交越失真。什么叫“交越失真”呢? 原来晶体管的 $U_{be} \sim I_c$ 特性不是直线, 它的下部(在电流比较小时)弯曲很厉害, 非线性特别严重, 这从图0-2所示的3AX31的 $U_{be} \sim I_c$ 特性可以清楚地看出来。在分析推挽电路时, 我们总是把两只管子的 $U_{be} \sim I_c$ 特性画在一起, 如图0-3, 图0-4。若两管都工作在乙类状态, 则会由于两管的 $U_{be} \sim I_c$ 特性曲线下部的非线性区的影响, 使输出波形呈现严重的非线性失真, 特别是在正半周信号和负半周信号的交接处出现脱节现象, 这就叫交越失真, 如图0-3所示。为了避免这种失真, 我们往往使管子工作在甲乙类, 无信号时也给管子一定的起始电流 $I_{cQ}$ , 使两管的 $U_{be} \sim I_c$ 特性曲线的弯曲区域相互补偿, 如图0-4。

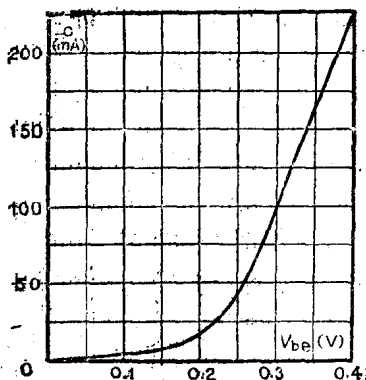


图 0-2

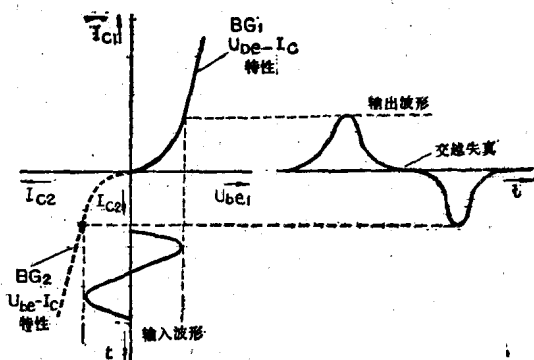


图 0-3

这种输入变压器倒相式OTL电路的优点是:

1. 容易选择特性完全一致的一对晶体管, 使放大器的非线性失真减小。
2. 确定合适的输入变压器的初、次级匝数比, 可以获得较高的功率增益。
3. 前后级的偏置独立, 不相互牵制, 便于调整和维修。
4. 由于中点电位被分压电阻固定, 开机时扬声器中的冲击电流较小。

此电路还存在着如下的不足之处:

1. 变压器占用空间位置大。变压器产生的磁场若与接收机的天线耦合, 容易引

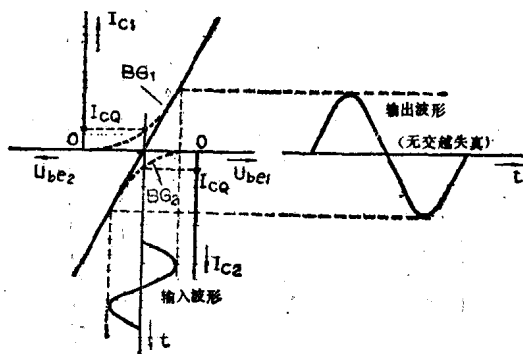


图 0-4

起振荡；输入变压器如果与电源变压器的磁场耦合，将感应出交流声。所以变压器的排列位置也受到限制。

2. 因为极间耦合仍采用变压器，因此当进一步加深负反馈量时，容易引起高频相移。因此频响欠佳，失真较大。

### 三、C-E倒相式CTL电路

利用晶体管放大器的发射极输出信号与基极输入信号相位相同，而集电极输出信号与基极输入信号相位相反的特点（即集电极输出信号与发射极输出信号相位相反），可以代替输入变压器进行倒相。具体电路见图0-5，BG<sub>1</sub>是倒相级，倒相后的两路信号分别从BG<sub>1</sub>的集电极和发射极输出。由于晶体管的集电极输出电压U<sub>A</sub>和发射极输出电压U<sub>B</sub>正好是反相，如R<sub>2</sub>=R<sub>3</sub>，而I<sub>c</sub>≈I<sub>e</sub>，那么这两个信号电压的大小也是基本相等的。这一级的电压增益很小，近似为1。图0-6是这个电路的交流简化电路，电容C<sub>1</sub>、C<sub>2</sub>、C<sub>3</sub>、C<sub>4</sub>以及电池对于交流信号都视为短路，R<sub>4</sub>、R<sub>5</sub>、R<sub>6</sub>、R<sub>7</sub>是BG<sub>2</sub>、BG<sub>3</sub>的偏置电阻，对交流信号的分流作用很小，可以忽略不计，因此都省去不画。从交流简化电路可见，BG<sub>1</sub>输出的两个反相信号U<sub>A</sub>、U<sub>B</sub>分别从电阻R<sub>2</sub>、R<sub>3</sub>上取出加在输出管BG<sub>2</sub>、BG<sub>3</sub>的基极和发射极之间，BG<sub>1</sub>管起了输入变压器的倒相作用。电容C<sub>1</sub>的作用是：由于C<sub>1</sub>对交流信号的短路作用，才能使BG<sub>1</sub>的集电极输出信号U<sub>A</sub>加到BG<sub>2</sub>管的基、射之间，构成共射电路。如果去掉C<sub>1</sub>，信号U<sub>A</sub>就加在BG<sub>2</sub>管的基、集之间了，使BG<sub>2</sub>变成共集电路。R<sub>1</sub>的作用是避免C<sub>1</sub>将BG<sub>2</sub>的集电极与发射极短路。这种电路省去输入变压器，可避免磁场干扰，减轻了放大器的重量，并缩小了体积。还能施加深度负反馈以改善OTL电路的性能。但是这种电路的电压增益较低。其原因是：

1. 输出级在大信号状态下工作，集电极电流很大，这就要求必须有较大的基极电流来驱动。除了功放级选用h<sub>FE</sub>高的管子外，另一个办法就是减小功放管偏置电阻的阻值。但偏置电阻减小后，推动级的交流负载也减小，就会造成前后级失配。为此，应加大推动级集电极电流，以保证有足够的激励功率。又因为推动级集电极电流与其发射极电流成正比，而发射极电流的增加，必然会使输入阻抗降低，这就又使前一级的电压增益减小了。

2. 要想从推动级的发射极和集电极取出两个幅度相等的信号，就必须使集电极和发射极的负载电阻值相等。这时，放大倍数k=1。可见，这种电路的缺点是电压增益较低。

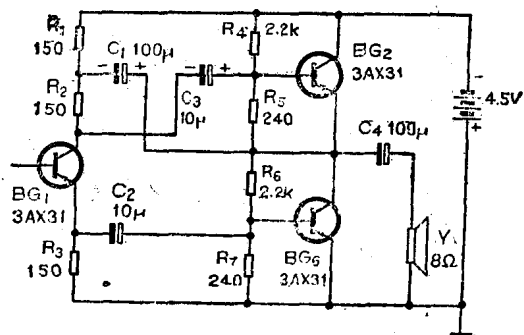


图 0-5

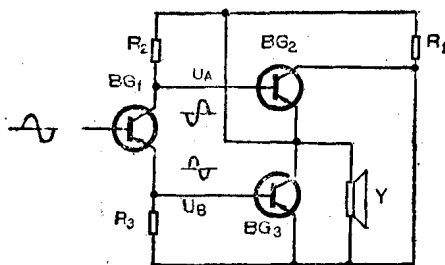


图 0-6

#### 四、互补对称式OTL电路

前面讲的电路，是由两只导电特性相同的晶体管（都是PNP型或都是NPN型）构成，因此需用输入变压器或晶体管倒相级进行倒相。输入变压器会影响频率特性，音质也不够好；晶体管倒相级的增益很低，不能充分发挥管子作用，且因极间电容的存在等原因，两臂信号也不会对称。为了克服这些缺点，人们采用了另一种电路——互补对称电路。

什么叫“互补对称”呢？请看图0-7。BG<sub>1</sub>为PNP型管，BG<sub>2</sub>为NPN型管。从导电特性来看，两只管子是完全相反的，PNP管对负信号导通，而NPN管则对正信号导通，它们彼此互为补偿。从电路连接方式来看，上下两管的电路是完全对称的，所以人们就称之为“互补对称”。它的工作原理同前面所讲电路相似，不同之处是输入激励信号只要一个就行了，而不需要倒相电路。当信号正半周时，对NPN的BG<sub>2</sub>管而言，基极为正、发射极为负，发射结有正向偏压，因此BG<sub>2</sub>管导通，其集电极电流 $i_2$ 随信号变化，流过负载 $R_L$ ，在 $R_L$ 上得到相应的正半周信号。但对PNP的BG<sub>1</sub>管来说，发射结加的是反向偏压，所以这个管子截止， $i_1 = 0$ 。反之，当信号负半周时，对PNP型的BG<sub>1</sub>管加的是正向偏压，BG<sub>1</sub>导通，其电流 $i_1$ 随信号变化，而对NPN型的BG<sub>2</sub>管是负向偏压，BG<sub>2</sub>截止， $i_2 = 0$ ，这时只有 $i_1$ 流过负载 $R_L$ ，在其上得到相应的负半周信号。这样，两管轮流工作，结果在负载 $R_L$ 上就可以得到一个完整的信号。由此可见，这种电路不需倒相级，而由互补对称的BG<sub>1</sub>、BG<sub>2</sub>两管本身自动完成倒相作用。所以也称它为“单端推挽电路”。

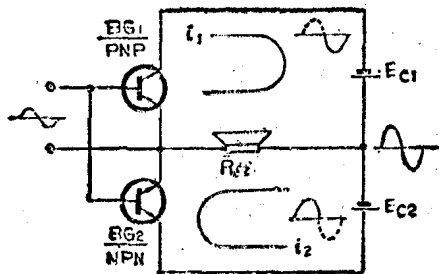


图 0-7

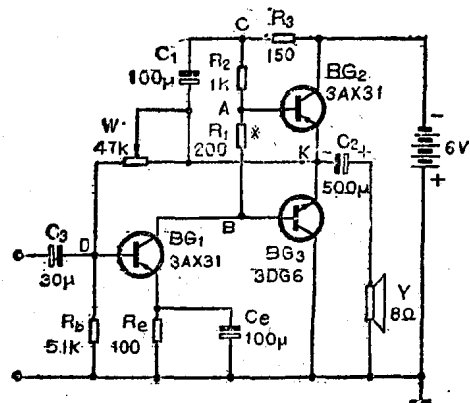


图 0-8

图0-8是互补对称推挽电路的实际电路图。BG<sub>2</sub>、BG<sub>3</sub>为功率输出级，BG<sub>1</sub>是激励级。图0-9是这一电路的直流通道电路。各电容器对直流视为开路，故不画出。BG<sub>2</sub>、BG<sub>3</sub>串联起来由电池 $E_c$ 供电，各得电源电压的一半。图0-10是简化交流通道电路。各电容器和电源视为短路。略去对交流信号关系不大的元件。

下面，从直流通道和交流通道出发，通过电路中各元件作用的分析来进一步说明这种OTL电路的工作原理：

1.  $R_1$ 、 $R_2$ 、 $R_3$ ：从直流通道来看， $R_1 + R_2 + R_3$ 是BG<sub>1</sub>管的集电极电阻，其中 $R_1$ 上的电压降 $U_{R1}$ 决定了BG<sub>2</sub>和BG<sub>3</sub>的偏流大小，一般应使电流 $I_{c1}$ 在 $R_1$ 上的压降 $U_{R1}$ 正好等

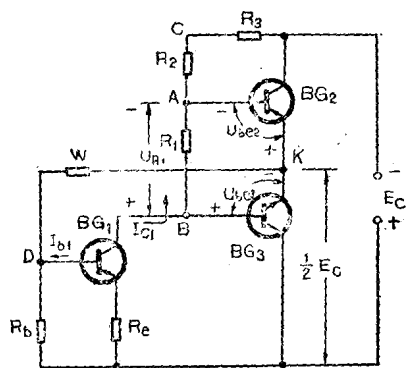


图 0-9

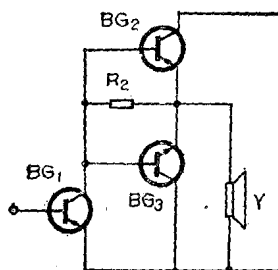


图 0-10

于BG<sub>2</sub>和BG<sub>3</sub>处于甲乙类工作状态下的两管基极电位之差，或两管基、射极间电压之和，即 $U_{R1} = U_{be3} + U_{be2}$ ，由于BG<sub>2</sub>是锲管， $U_{be2} \approx 0.2$ 伏；BG<sub>3</sub>是硅管， $U_{be3} \approx 0.7$ 伏，因此 $U_{R1} = 0.2 + 0.7 = 0.9$ 伏。若BG<sub>3</sub>采用3BX型的锲管，则 $U_{R1} = 0.4$ 伏左右。若R<sub>1</sub>阻值大，其上的压降大，即 $U_{be2} + U_{be3}$ 大，故BG<sub>2</sub>、BG<sub>3</sub>的静态工作电流就大，因此，调节R<sub>1</sub>的大小就可调节输出级的工作点。从交流通道来看，电路参数选择时，总是使 $R_2 \gg R_1$ ， $R_2 \gg R_3$ ，因此从BG<sub>1</sub>集电极输出的信号在图0-8中的A点和B点的幅度基本相等，在画交流导通电路时就忽略R<sub>1</sub>不画，用短路线代替。又因电容C<sub>1</sub>对低频信号的容抗很小，C<sub>1</sub>可视为短路，故可将R<sub>2</sub>与R<sub>3</sub>相接的一点C直接与K相接。由于 $R_2 \gg R_3$ ，R<sub>3</sub>也可略掉不画。这样，从图0-10简化交流通道电路可见，BG<sub>1</sub>的集电极输出信号都是通过R<sub>2</sub>加在BG<sub>2</sub>管和BG<sub>3</sub>管的基、射间，即BG<sub>2</sub>和BG<sub>3</sub>均由内阻为R<sub>2</sub>的信号源所激励。R<sub>3</sub>的作用是避免C<sub>1</sub>将BG<sub>2</sub>的集电极与发射极短路。

2. W、R<sub>b</sub>、R<sub>e</sub>：从直流通道可知，W、R<sub>b</sub>、R<sub>e</sub>组成BG<sub>1</sub>管的偏置电路，它和一般的偏置电路的区别在于偏置电阻W不是接在电源E<sub>c</sub>的负端，而是接在输出端K，这样就具有负反馈，可以稳定工作点。例如，由于某种原因，使BG<sub>1</sub>的集电极电流I<sub>c1</sub>增加。设增加量为 $\Delta I_{c1} = 0.1$ 毫安。这时，电阻R<sub>1</sub>、R<sub>2</sub>、R<sub>3</sub>上的电压降增大，使A点和B点的电位U<sub>A</sub>和U<sub>B</sub>也跟着向正方向（对电源负端而言）增加，其增加量分别为 $\Delta U_A = \Delta I_{c1} (R_2 + R_3) = 0.1 \times 1.15 = 0.115$ 伏； $\Delta U_B = \Delta I_{c1} (R_1 + R_2 + R_3) = 0.1 \times 1.35 = 0.135$ 伏；R<sub>1</sub>上的压降也会因I<sub>c1</sub>的增加而增加，其增加量为 $\Delta U_{R1} = \Delta I_{c1} R_1 = 0.1 \times 0.2 = 0.02$ 伏，它使 $U_{be3} + U_{be2}$ 也增加了0.02伏。当两管都用锲管或都用硅管时，每管的基射间电压各增加了 $\Delta U_{R1}/2$ ，即0.01伏。其结果使K点电位也向正向增加了 $\Delta U_K = \Delta U_B - \Delta U_{be3} = 0.135 - 0.01 = 0.125$ 伏（或 $\Delta U_K = \Delta U_A + \Delta U_{be2} = 0.115 + 0.01 = 0.125$ 伏）。这样BG<sub>1</sub>的基极电位U<sub>D</sub>也相应地向正方向增加，就减小了BG<sub>1</sub>的正向偏压，使BG<sub>1</sub>的集电极电流I<sub>c1</sub>下降，其过程简单表示为： $I_{c1} \uparrow \rightarrow U_A (U_B) \uparrow \rightarrow U_K \uparrow \rightarrow U_D \uparrow \rightarrow I_{c1} \downarrow$ ，从而自动稳定了工作点。

因此可以看出，在调节W的阻值，改变I<sub>c1</sub>的大小时，会使K点电位发生变化。电路调整时，要用到这一特点。

3. 电容器C<sub>1</sub>：电容C<sub>1</sub>是自举电容。它有两个作用：第一、由于C<sub>1</sub>的接入，使BG<sub>2</sub>、

BG<sub>3</sub>的输入由原来的共集电极组态变成了共发射极组态。图0-8中：如果不接C<sub>1</sub>，输入信号在负半周时，BG<sub>2</sub>导通，信号将从R<sub>2</sub>、R<sub>3</sub>加到BG<sub>2</sub>管的基-集之间；输入信号正半周时，BG<sub>3</sub>导通，信号将通过R<sub>1</sub>、R<sub>2</sub>、R<sub>3</sub>加在BG<sub>3</sub>管的基-集之间。这就是说，输入信号都是从基极与集电极加入的，而输出信号都从集电极与发射极之间取出，公共点是集电极，为共集电极组态。接入C<sub>1</sub>后，由于C<sub>1</sub>的容量很大，对低频信号说，C、K两点视为短路，因此，在BG<sub>2</sub>工作期间，信号是通过R<sub>2</sub>加在该管和基-射之间；而在BG<sub>3</sub>工作期间，信号通过R<sub>1</sub>、R<sub>2</sub>加在该管的基-射之间。因此，接入C<sub>1</sub>以后，电路的输入就变为共发射极组态。第二，C<sub>1</sub>能提高电路的负向电压输出幅度。先假定没有电容C<sub>1</sub>，则交流等效电路如图0-11所示。由于电流i<sub>c1</sub>流过R<sub>2</sub>和R<sub>3</sub>，要产生压降i<sub>c1</sub>(R<sub>2</sub>+R<sub>3</sub>)，故当BG<sub>2</sub>导通时，K点电位向负端摆动不会到-E<sub>c</sub>，而只能到 $U_K = -[E_c - i_{c1}(R_2 + R_3) - V_{be2}]$ ，即BG<sub>2</sub>管不能充分导通，输出功率受到限制。

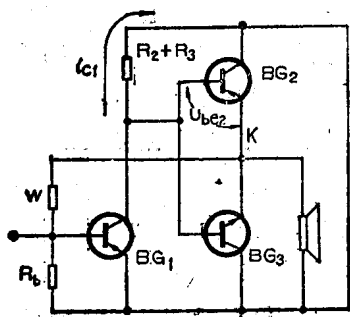


图 0-11

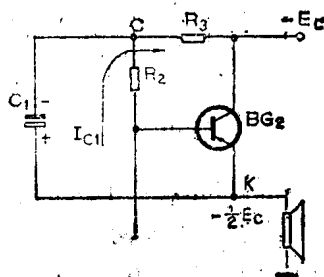


图 0-12

当接入电容C<sub>1</sub>后，其局部电路如图0-12所示。从直流通道来看，R<sub>1</sub>、R<sub>2</sub>和R<sub>3</sub>一起构成BG<sub>1</sub>的集电极负载。这时C点的直流电位为 $U_c = -(E_c - I_{c1}R_1)$ 。由于R<sub>3</sub>很小，其上的压降I<sub>c1</sub>R<sub>3</sub>可以忽略不计，这样可近似认为 $U_c \approx -E_c$ 。而中点电位 $U_K = -\frac{1}{2}E_c$ ，由图0-12可见，电容C<sub>1</sub>两端的电位差为 $\frac{1}{2}E_c$ ，故电容C<sub>1</sub>被充电，极性是下正上负，因此可认为C点电位是中点电位U<sub>K</sub>叠加上电容C<sub>1</sub>上的电压U<sub>c1</sub>，即 $U_c = U_K + U_{c1} = \left(-\frac{1}{2}E_c\right) + \left(-\frac{1}{2}E_c\right) = -E_c$ 。

当激励信号负半周时，BG<sub>2</sub>导通，中点电位向电源负端摆动，即 $U_K \rightarrow -E_c$ ，相应地C点电位将变成： $U_c = (U_K + U_{c1}) = -\left(E_c + \frac{1}{2}E_c\right) = -\frac{3}{2}E_c$ 。由此可见，由于C<sub>1</sub>的作用，将C点电位举高了，相当于在C点接了一个高压电源，举高的电压足以补偿电阻R<sub>2</sub>和R<sub>3</sub>上的电压损失，使K点电位能摆动到-E<sub>c</sub>，使电源电压得到充分利用，输出功率得以提高。

## 五、复合互补对称式OTL电路

在输出功率要求较大的时候，如晶体管扩音设备中，常采用复合互补对称电路（或称准互补对称电路）。复合管是把两个（或两个以上）晶体管的适当电极直接连接起来成为一个

管子使用。一般有两种连接方式：（1）是由两只导电特性一致（都是PNP或都是NPN）的管子构成，如图0-13；（2）是由导电特性不同的管子（NPN）和（PNP）构成，图0-14。

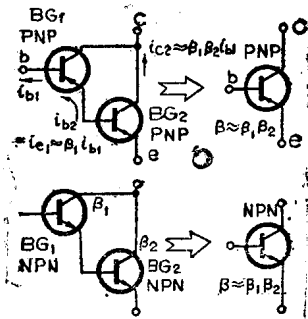


图 0-13

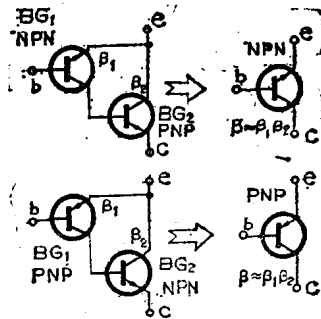


图 0-14

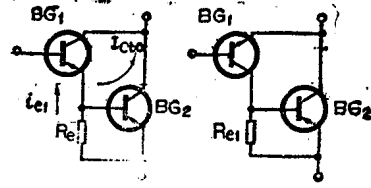


图 0-15

由图0-13可知，复合管的电流放大系数 $\beta$ 近似等于两只管子 $\beta$ 值的乘积 $\beta \approx \beta_1 \cdot \beta_2$ 。这是因为BG<sub>1</sub>管的基极信号电流 $i_{b1}$ 经BG<sub>1</sub>放大 $\beta_1$ 倍（实际是 $\beta_1 + 1$ ）后成为BG<sub>2</sub>的基极注入电流 $i_{b2}$ （ $i_{b2} \approx \beta_1 i_{b1}$ ），它又被BG<sub>2</sub>再次放大 $\beta_2$ 倍，得到 $\beta_2 \beta_1 i_{b1}$ ，因此，从BG<sub>2</sub>的集电极所得到的信号电流 $i_{c2}$ 是 $i_{b1}$ 的 $\beta_1 \cdot \beta_2$ 倍。所以，复合管总电流放大系数为两管放大系数的乘积。

另外由图0-14可知，当不同导电特性管子组成复合管时，复合管的导电特性取决于第一只管子， $\beta$ 值仍近似等于两管 $\beta$ 值的乘积。

在推挽功放电路中，为了减小小信号的交越失真，在静态时，必须使组成复合管的BG<sub>1</sub>和BG<sub>2</sub>都有合适的静态电流。为此，在BG<sub>1</sub>的发射极加接电阻 $R_e$ ，如图0-15。 $R_e$ 的作用是：（1）使BG<sub>1</sub>有一定的静态电流；（2）靠 $I_{e1}$ 在 $R_e$ 上的压降 $I_{e1} R_e$ 维持BG<sub>2</sub>合适的静态电流；（3）加 $R_e$ 后还可防止在温度高时由于BG<sub>2</sub>的漏电流 $I_{cbo}$ 增大使复合管失控而无放大作用。因为 $I_{cbo}$ 的方向和 $I_{e1}$ 相反。本来BG<sub>2</sub>的基极由BG<sub>1</sub>的发射极电流 $I_{e1}$ 控制。当 $I_{cbo}$ 增大时将使 $I_{e1}$ 减小，使BG<sub>1</sub>对BG<sub>2</sub>的控制作用减弱。如果 $I_{cbo}$ 增加过大，会完全抵消 $I_{e1}$ 而使BG<sub>2</sub>失控，在大功率输出时 $I_{cbo}$ 大于 $I_{e1}$ 是很可能的。现在加上 $R_e$ 后使 $I_{cbo}$ 被 $R_e$ 分流一部分，从而减轻对 $I_{e1}$ 的抵消作用。加入 $R_e$ 后，对信号电流也有分流作用。图0-15中，BG<sub>1</sub>射极（或集电极）输出的信号电流 $i_{e1}$ 不能全部注入BG<sub>2</sub>的基极，而有一部分从 $R_e$ 分流了，降低了复合管的 $\beta$ 值。 $R_e$ 的数值一般在几十欧到几百欧。

明白了复合管的一般原理，现在来介绍一个复合互补对称推挽功率放大电路的实例，如图0-16，它是一台高传真度收音机的低放级。

BG<sub>1</sub>是前置放大级。其发射极电阻 $R_{e1}$ 上加有从输出端经反馈电阻 $R_f$ 和反馈电容 $C_f$ 引来的深度负反馈，用以提高音质。这一级是阻容耦合电路， $R_{b1}$ 、 $R_{b2}$ 是基极偏置电阻， $R_{c1}$ 是集电极负载电阻， $R_{e1}$ 、 $R_{e2}$ 是射极电阻，用来稳定此级的工作点。BG<sub>1</sub>的输出经 $C_1$ 耦合到BG<sub>2</sub>激励级。

容易看出，这里从激励级以后的电路和图0-8电路基本相同，只不过图0-8中的BG<sub>2</sub>和BG<sub>3</sub>分别用复合管BG<sub>3</sub>+BG<sub>5</sub>和复合管BG<sub>4</sub>+BG<sub>6</sub>代替了。 $R_{e5}$ 、 $R_{e6}$ 用来稳定电路工作，通常取0.5~1欧；阻值不宜过大，因为它们和扬声器串联，太大了会影响输出功率。在