

多信息集成化移频自动闭塞

罗海涛 编著
王建国

中 国 铁 道 出 版 社

1997年·北京

前 言

ZP-89 型移频自动闭塞及 GPW 无绝缘轨道电路是在既有移频自动闭塞制式基础上采用晶体及集成器件增加信息量,实现有绝缘及无绝缘轨道电路,完成自动闭塞功能。书名定为《多信息集成化移频自动闭塞》。该系统频率稳定,可产生 8 种信息,适用于电化铁路和非电化铁路。它是一种更新换代产品。为了适应现场维修和设计人员的需要,特编写此书,以供参考。

本书分两章,第一章为 ZP-89 型移频自动闭塞,共分六节:第一节为系统构成原理;第二节为几种元件的内部电路结构及其特性;第三节为设备电路原理;第四节为系统的可靠性与安全性;第五节为辐射电磁场对移频设备的干扰及其防护措施;第六节为技术指标、调试方法及附图,由罗海涛编写。第二章为 GPW 无绝缘轨道电路,共分四节:第一节为概述;第二节为基本原理;第三节为 GPW 无绝缘轨道电路系统框图、技术指标及主要功能;第四节为主要设备的电路原理,由王建国编写。由于编写水平有限,缺点和错误敬请读者批评指正。

本书由铁路科技出版基金资助出版。

编 著 者

1996 年 3 月

(京)新登字 063 号

内 容 简 介

本书主要介绍 8 信息集成化移频自动闭塞设备的工作原理,内容包括:系统构成原理,几种集成电路器件、特性及电路结构、发送设备、接收设备及电源等电路原理;系统的安全性与可靠性;高频辐射干扰的防护方法;技术指标和调试方法以及无绝缘轨道电路等。

本书可供从事移频自动闭塞维修工作的工程技术人员学习,也可供设计、施工管理及院校师生参考。

多信息集成化移频自动闭塞

罗海涛 编著
王建国

*

中国铁道出版社出版发行

(北京市宣武区右安门西街 8 号)

责任编辑 傅立彦 封面设计 徐树德

各地新华书店经售

河北省遵化市胶印厂印刷

开本:850×1168 毫米 1/32 印张:2.625 插页:2 字数:66 千

1997 年 2 月 第 1 版 第 1 次印刷

印数:1—5000 册

ISBN7-113-02392-4/U·676 定价:6.20 元

目 录

第一章 ZP-89 型移频自动闭塞	1
第一节 系统的构成原理	1
一、概 述	1
二、非电化集中设备系统的原理框图	1
三、低频信息系列	2
第二节 几种新元件的内部电路结构及其特性	3
一、概 述	3
二、CMOS 集成器件	3
三、运算放大器	5
四、双极型 555 集成电路	15
五、S22MD1 功率光控驱动开关	18
第三节 设备电路原理	19
一、电源设备	19
二、发送设备	21
三、接收设备	29
四、防雷系统	42
第四节 系统的可靠性与安全性	44
第五节 辐射电磁场对移频设备的干扰及其防护措施	51
第六节 技术指标、调试方法	58
第二章 GPW 无绝缘轨道电路	64
第一节 概 述	64
第二节 基本原理	65
第三节 GPW 无绝缘轨道电路系统框图、技术 指标及主要功能	68
第四节 主要设备的电路原理	71

附图

附图 1. 发送及接收盒端子使用图	76
附图 2. 电源盒原理图	插页
附图 3. 发送设备原理图	插页
附图 4. 有选频接收设备原理图	插页
附图 5. 无选频接收设备原理图	插页

第一章 ZP-89 型移频自动闭塞

第一节 系统的构成原理

一、概 述

移频自动闭塞在现场运用已有六千多公里,它对保证行车安全和提高行车效率发挥了显著作用。由于我国铁路运输是客货混跑,列车密度大,载重量多。为了能安全和高效地完成铁路运输任务,必须采用先进的现代化信息技术。为此,本系统在原有移频制式的基础上,进行了以下几点改进:

1. 增加信息量,以满足速差式自动闭塞和机车信号对区间和站内的信息要求;

2. 在满足系统及器件故障安全和抗干扰的基础上采用集成器件,以减小设备体积,提高设备的可靠性;

3. 为了提高系统的稳定性,必须提高频率的稳定度和精度。为此,低频和移频振荡电路均采用石英晶体振荡器;

4. 在电化分散区段,为满足扼流变压的断线要求,发送器采用电压自动调整方式;

5. 本系统在电路结构上考虑电化和非电化通用,当线路由非电化转为电化时,只需将轨道变压器改为扼流变压器及在接收端增设一个带通滤波器即可满足要求。

二、非电化集中设备系统的原理框图

图 1 中:

FS——发送盒;

ZFL——室内防雷单元;

DL——电缆线路;

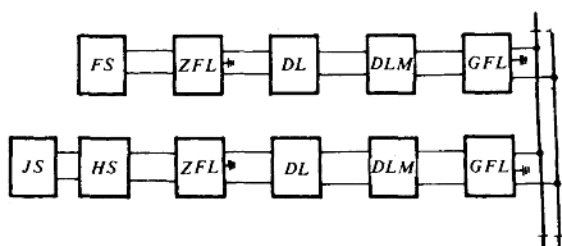


图 1 非电化集中设备系统的原理框图

DLM——电缆模拟网络(7.5km);

GFL——轨道防雷单元;

HS——衰耗隔离盒;

JS——接收盒。

三、低频信息系列

原有三显示自动闭塞,采用了 11Hz、15Hz、20Hz 及 26Hz 四种信息。当区间有反向运行列车并按大区间运行时,反向列车的机车信号可采用接近连续式机车信号方式。在区间机车显示白灯。当机车进入第二接近区段时,机车上能够复示进站信号机的显示。为此,需要增加 30Hz 频率,作为反向运行时区间轨道电路之用(该频率机车信号设备不接收)。故有反向运行的三显示自动闭塞区段,需要五种信息频率。

对较繁忙的三显示区段,机车信号在站内需要增加两个信息,一为绿黄,另一个为黄闪。13.5Hz 定为绿黄,而 17.5Hz 定为黄闪。因此需要七种信息。而八信息的移频系统其信息频率为 8Hz、11Hz、13.5Hz、15Hz、17.5Hz、20Hz、26Hz 及 30Hz。其中 30Hz 也是作为机车反向运行时用作接近机车信号区间轨道电路之用。根据以上分析,非 ATP 区段移频自动闭塞可考虑三种信息系列:

1. 站内不需要增加信息的三显示自动闭塞区段,可采用五种信息,即 11Hz、15Hz、20Hz、26Hz 及 30Hz。

2. 站内需要增加两种信息的三显示自动闭塞区段,可采用

11Hz、13.5Hz、15Hz、17.5Hz、20Hz、26Hz 及 30Hz 七种信息频率。

3. 站内需要增加三种信息的三显示自动闭塞区段,可采用 8Hz、11Hz、13.5Hz、15Hz、17.5Hz、20Hz、26Hz 及 30Hz 八种信息频率。

第二节 几种新元件的内部 电路结构及其特性

一、概 述

多信息集成化移频自动闭塞设备,主要采用 CMOS 集成器件和运算放大器线性集成器件。CMOS 集成器件是一种互补对称金属氧化物半导体集成电路。CMOS 集成电路具有功耗低、工作电源电压范围宽、抗干扰能力强、输入阻抗高、输出能力强、抗辐射能力强及温度性能好等优点。本系统采用的 CMOS 集成器件有: MC14060 14 级计数分频器、MC14049 六反相器、MC14081 四 2 输入端与门及 MC14071 四 2 输入端或门等。

运算放大器是一种用反馈控制其特性的直接耦合高增益放大器。运算放大器可以在线性和非线性电子电路每一领域,也可用在某些数字电路中。本系统采用运算放大器,主要用作线性放大电路、有源滤波器及施密特触发器等。

二、CMOS 集成器件

1. MC14049 六反相缓冲/变换器

MC14049 六反相缓冲/变换器用于发送器的移频振荡器及反相之用。移频振荡器需要四个反相器、低频振荡器的输出端需要一个反相器,故一个发送器需要五个反相器,还有一个反相器留作备用。MC14049 的供电电源 $V_{DD}=3\sim 18V$,有 16 个引出端。

2. MC14081 四 2 输入与门

与门是执行“与”功能的逻辑部件,逻辑关系的特点是:只有当

全部输入端都处于高电平时,输出端才呈现高电平,只要有一个输入端处于低电平,输出端都处于低电平。MC14081 有四个 2 输入端与门。它用于发送器移频振荡电路中,每个发送器用两个 2 输入与门。留下两个留作备用。与门电路属于组合逻辑电路。

3. MC14071 四 2 输入或门

或门电路是执行“或”功能的逻辑部件,其逻辑关系的特点是:只要有一个输入端为高电平,其输出端就为高电平,只有两个输入端均为低电平时,输出端才为低电平。MC14071 也是用在发送器的移频振荡电路。四个 2 输入或门只用一个,有三个未用。

MC14081 和 MC14071 供电电源 $V_{DD} = 3 \sim 18V$, 有 14 个引出端。

4. MC14060 14 位二进制串行计数分频器

MC14060 有 14 级计数级,有 10 个引出输出端,它完成两部分逻辑功能。它由两部分构成,一部分是 14 级分频器、另一部分是振荡器。分频器是由 T 型触发器组成的 14 位二进制串行计数器,它是在时钟脉冲下降沿的作用下,作增量计数的。所有输入端和输出端都有缓冲级。振荡器是通过外接晶体构成高精度的晶体振荡器。MC14060 还有一个公共清零端 C_r ,只要在 C_r 端加一个高电位或正脉冲,即可使计数器输出全部为“0”电平,同时迫使振荡器停振。

用 MC14060 内部的门电路构成的晶体振荡器与用小规模门电路构成的晶体振荡器的电路是一样的。因此在发送器低频振荡电路中利用 MC14060 内部的门电路构成晶体振荡器后面的 14 位二进制串行计数器用作 14 级分频器。

MC14060 的供电电源为 $5 \sim 18V$ 。有 16 个引出端,其中 8 为 V_{SS} , 16 为 V_{DD} , 12 为 C_r 清零端, 9、10 和 11 均为输入信号端,当输入信号的上升沿和下降沿都比较缓慢时,则可将信号送到 11 端的 CP_1 端,并且在管脚 9 与 11 对 8(地端)之间并接 R_i 和 R_s 两个分压电阻,一般 R_i 取 $390k\Omega$, R_s 取 $150k\Omega$ 。时钟脉冲从管脚 9 输入(CP_0)。

三、运算放大器

运算放大器是用反馈控制其特性的直接耦合高增益放大器。它包括反相运算电路,同相运算电路,差动运算电路,积分和微分运算电路,对数和反对数运算电路,以及乘法和除法运算电路。在移频自动闭塞系统中,主要采用了 LM148、LM124 四运放及 LM1558 二运放等。它们用作有源滤波器和施密特触发器。

1. 运算放大器的图形符号

运算放大器除了有两个输入端和一个输出端外,还有两个正、负电源引入端。分析电路时,运算放大器本身的具体电路结构一般无关紧要。在引出端子中,直接有关的也只是两个输入端和一个输出端。为了简化应用电路,常用带两个输入端和一个输出端的三角形符号来代表运算放大器(见图 2)。

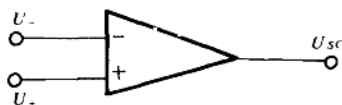


图 2

图中:符号“-”代表运算放大器的反相输入端, U_- 是这个端子的对地电压,符号“+”代表同相输入端, U_+ 是同相端子对地的电压, U_{sc} 代表输出端的输出电压。

2. 理想运算放大器的特性

理想的运算放大器,它的参数具有以下特性:

- (1) 差动电压增益 $K_0 = \infty$;
- (2) 共模电压增益 $K_c = 0$;
- (3) 共模抑制比 $CMRR = \infty$;
- (4) 输入偏置电流或输入电流 $I_b = 0$;
- (5) 差动输入阻抗 $Z_i = \infty$;
- (6) 共模输入阻抗 $Z_c = 0$;
- (7) 输出阻抗 $Z_{sc0} = 0$;
- (8) 带宽 $= \infty$;

(9)当输入电压=0时,输出电压=0;

(10)参数的温度漂移等于0;

(11)等效输入噪声等于0。

3. 分析应用电路时的两条重要结论

现有的运算放大器虽然达不到上述理想参数,但比较接近。所以在一般分析讨论中,将实际运算放大器看成理想运算放大器,不会引起明显误差。

在实际应用电路中,大多数运算放大器都工作在线性区域内。在这种条件下工作时,下述两条重要结论便普遍适用:

第一条,运算放大器的输入电流为零。由于理想运放的输入阻抗为无穷大,当然不会从外部电路索取任何电流,因此,在运放的同相端和反相端都不会有任何输入电流。

第二条,运算放大器的差动输入电压为零,当运算放大器工作在线性区域内,它的输出电压 U_{sc} 便是一个有限数值,由于

$$U_{sc} = K_0(j\omega)(U_+ - U_-) \quad (2-1)$$

在 $K_0(j\omega)$ 足够大的条件下,差动输入电压 $U_+ - U_-$ 就基本为零,或表示成:

$$U_+ = U_- \quad (2-2)$$

即同相端电压等于反相端电压。

上述两条结论,对理想运算放大器显然成立,对实际运算放大器也基本正确,只有在个别情况下,才应作别论。因此,这两条普遍适用的重要结论,就成为分析运算放大器应用电路的基本出发点。

4. 反相比例运算放大器

在运算放大器电路中,如果输入信号是从反相端输入,便属于反相运算放大器。在图3中, R_f 是反馈回路电阻, R_i 是输入回路电阻, R_p 是补偿电阻。参数选择时,应使 $R_p = R_i // R_f$,让放大器同相端与反相端的外接电阻相等,确保运算放大器处于对称平衡工作状态,以便消除放大器的偏置电流及其漂移的影响。

反相比例运算放大器主要性能参数是闭环增益 K_c 、输入阻抗 r_{in} 和-3dB闭环带宽 f_f 。如果利用理想运算放大器的模型来分析

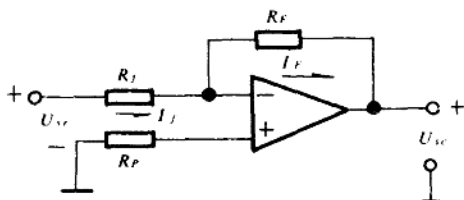


图 3

反比例运算放大器,就显得非常简单。根据第一条结论,同相端与反相端不取电流,于是有:

$$U_+ = 0 \quad (2-3)$$

$$I_f = I_p \quad (2-4)$$

根据第二条结论,同相端电位等于反相端电位,并考虑到 $U_+ = 0$,可知 $U_- = 0$,这种反相端电位为零现象是反相运算放大器的共同特点,叫做虚地,由此,求得:

$$I_f = \frac{U_{in}}{R_f} \quad (2-5)$$

$$I_p = \frac{U_{sc}}{R_p} \quad (2-6)$$

由此得:
$$K_f = \frac{U_{sc}}{U_{in}} = -\frac{R_p}{R_f} \quad (2-7)$$

式中 K_f 叫做反比例运算放大器的理想闭环增益。故闭环增益 K_f 仅与外部电路的电阻 R_p 和 R_f 有关,而与放大器本身参数无关。

考虑到反相端为虚地,电位为零,所以反比例运算放大器的输入电阻 r_{in} 就约等于输入回路电阻 R_f ,即:

$$r_{in} = \frac{U_{in}}{I_f} \approx R_f \quad (2-8)$$

5. 同比例运算放大器

输入信号是从放大器同相端输入的运算电路,叫同相运算放大器见图 4。同比例运算放大器的参数主要有:闭环增益、输入

电阻、闭环带宽及共模抑制比。

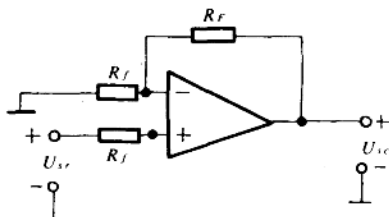


图 4

由于反相端电位为零,故:

$$I_f = -\frac{U_{sr}}{R_f} \quad (2-9)$$

$$I_f = \frac{U_{sr} - U_{sc}}{R_f} \quad (2-10)$$

$$\text{当 } I_f = I_f \text{ 时} \quad (2-11)$$

则求得:

$$K_F = \frac{U_{sc}}{U_{sr}} = 1 + \frac{R_f}{R_f} \quad (2-12)$$

式中: K_F 为同相比例运算放大器的理想闭环增益,它只与外部电路的电阻 R_f 和 R_f 有关,而与放大器本身的参数无关。

当运算放大器具有理想特性时,输入电阻无疑为无穷大,但是,当运算放大器特性不理想时,输入电阻就是一个有限值。其值为:

$$r_m = R_F + (r_c // r) \quad (2-13)$$

式中:

$$r = \left[1 + \frac{K_0 (R_f // r_c)}{R_F + (R_f // r_c)} \right] r_d + (r_c // R_f // R_F)$$

通常有 $r_c \gg R_f$, $K_0 r_d \gg R_F$ 和 $K_0 F \gg 1$,故上式近似为:

$$r \approx K_0 F r_d \quad (2-14)$$

式中, F 为反馈系数,其值为:

$$F = \frac{R_f}{R_f + R_r} \quad (2-15)$$

r_d 为运算放大器差动输入电阻, K_0 为直流开环增益。

同相比例运算放大器的输入电阻很高, 它近似为下式所示:

$$r_{in} \approx r_c // K_0 F r_d \quad (2-16)$$

6. 运算放大器内部电路的分析

在运算放大器的内部, 目前使用着很多数目的电路, 但单块运算放大器具有图 5 的通用结构。



图 5

(1) 输入差动放大器: 这一级决定了运算放大器增益的稳定性、共模抑制、偏置漂移、输入阻抗、摆动速率、带宽和噪声。以下各级对这些参数影响较小。如果第一级的电压增益为 10, 则第二级误差将化为第一级等量误差的 1/10。所以, 输入差动放大器必须精心设计, 保证生产质量稳定。图 6 是典型运算放大器的主要四级简化电路。图 6(A) 是其简化电路。采用电流源使电路具有很大的共模抑制能力。

(2) 第二级差动放大器: 除电阻取代了电流源外, 这级与输入差动放大器几乎相同。共模抑制能力要求不如第一级大。因此, 一个简单的电阻电流源就够用了。由输入级决定的七个关键参数, 在第二级的作用将为第一级的 1/10 到 1/100。在第二级只使用一个输出端见图 6(B)。

(3) 电平移动放大器: 如果运算放大器差动输入电压是 0, 那么它的静态输出电压也应为 0, 为了进行直流电平移动并提供更大的增益, 常常还需要另外一级。通常使用图 6(C) 所示的标准 NPN 共发射级放大器, 负载电阻为两个二极管和一个电阻, 它提供了一个温度补偿的分压器以驱动输出功率放大器。为取得一定

量的负反馈,射极上串接了一个低阻值电阻。这一级还能将第二级差动放大器的阻抗变换为低阻抗,以便能够驱动输出功率放大器。

(4)输出功率放大器:这一级是互补型射极跟随器,也就是说,图 6(D)的 NPN 晶体管提供正输出信号,PNP 晶体管提供负输出信号。射极输出器具有高电流增益、宽频带、高输入阻抗和低输出阻抗。由于这一级必须驱动运算放大器的外部负载,所以具有相当大的电流驱动能力。为保护运算放大器,通常应具有限流作用,使输出电流不得超过某一固定值。

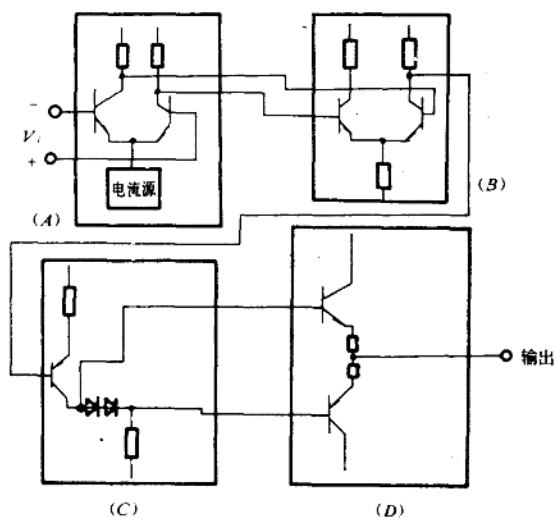


图 6

(A)输入差动放大器;(B)第二级差动放大器;

(C)电平转移放大器;(D)输出功率放大器。

在 ZP-89 型自动闭塞设备中,主要用了两种运算放大器。一种是双运放,另一种是四运放。但是无论双运放还是四运放都由多个单运放组成。而单运放 741 是一种基本电路。下面就以 741 为例进行分析。

741 运算放大器是一种高增益、高输入阻抗、较宽的共模输入电压范围,输出级又设置了过载保护。整个电路由互补差动输入级、电压增益级、互补推挽输出级和电流源偏置电路等四部分组成,其内部电路见图 7(A),其中 $BG_1 \sim BG_3$ 和 $BG_2 \sim BG_4$ 组成共集共基互补复合差分输入放大器, BG_1 、 BG_2 是 PNP 型晶体管, BG_3 、 BG_4 是 PNP 型晶体管。 BG_1 、 BG_3 与 BG_2 、 BG_4 相当于两个等效的 PNP 晶体管。由于 PNP 晶体管的 β 可以做得比较高,因此在集电极电流一定时,仍保证基极电流足够小。 BG_1 、 BG_2 在这里起了减小基极偏流、提高电路输入阻抗的缓冲作用。 BG_3 、 BG_4 是横向 PNP 型晶体管,用它们组成共基放大电路,有利于改善频响关系。这种形式的输入电路,保护作用好,能承受较高的电压差而不致于损坏管子。 BG_5 、 BG_6 是差分输入级的有源负载,同时将差分放大双端输入信号转变成单端信号。 BG_3 、 BG_4 是多集电极横向 PNP 晶体管, BG_3 有两个集电极,一个与基极相连,另一个与 BG_5 的集电极和 BG_7 的基极相连。 BG_4 有三个集电极,一个集电极是与基极相连,第二个集电极是与 BG_6 的集电极及 BG_{16} 的基极相连,并为 BG_{16} 提供基流。第三个集电极与 BG_{10} 集电极相连。 BG_7 和电阻 R_1 构成射极输出器,为 BG_5 、 BG_6 提供基流。并能减小基极电流产生的误差。

由于差分放大器第一对管子采用 PNP 共集方式,第二对管子是 PNP 型共基电路,那么 BG_3 和 BG_4 的集电极应用 NPN 管组成的电流源作为有源负载。它是在 BG_5 的集电极插入一个 BG_7 双集电极的 NPN 三极管作为射极输出器。它可以为 BG_3 和 BG_4 提供基流,用以克服 BG_3 、 BG_4 有限基流损害其对称性,改善了 BG_3 和 BG_4 集电极负载的均衡性。从而使 BG_5 和 BG_6 集电极电流更精确同步,以便进一步提高输入级的跨导。这种有源负载还具有以下优点:

(A)用晶体管代替大电阻,节约了硅片面积,降低了成本;

(B)用较少的级数便可获得很高的增益,例如 LM741 只需两个增益级就可以达到十万倍以上的电压增益。由于输出阻抗高,运放的相位补偿变得特别简单。

(C)可以在很宽的电源范围内工作。

741 运算放大器的输入级采用上述共集-共基电路后具有以下优点:

在输入信号的同时,完成电平移动和双端-单端转换的功能,而且可以把全部差动电流增益在 BG_4 集电极以单端形式输出;

由于 BG_1 、 BG_2 采用 NPN 管,它们和 PNP 型的 BG_3 、 BG_4 管构成共集-共基结构,弥补了横向 PNP 管高频特性差的弱点,改善了放大器的频响。

共集-共基互补差分放大器采用离子注入技术,把场效应管和双极型晶体管同时制作,以减少失调电压和漂移电压。把高增益的 NPN 管与可控电流增益的横向 PNP 管组合成共集-共基互补电路,发挥互补结构的优越性。从图 7(A)中可知, BG_1 和 BG_2 的电压 BV_{BBO} 分别与 BG_3 和 BG_4 的电压 $BV_{BBO} = 40 \sim 60V$ 串联在一起,因此最大允许的差模输入电压是很高的。但是两个基射电路的串联连接又使失调电压和漂移电压分别比简单的差分放大器高得多,噪声系数也比简单差分放大器要差。尽管如此,由于采用这种级联对的其他性能比简单差分放大电路要好。形成这种优越性的主要原因是共基电路 BG_3 和 BG_4 管,将共集连接的 BG_1 和 BG_2 与负载隔离开。因为静态射极电流间接地取决于电流源(即通过 BG_3 和 BG_4 的基极电流)。所以要求 BG_3 和 BG_4 具有完全相同的电流增益,使用具有低可控电流增益的横向晶体管,很容易满足上述要求。共集-共基接法的另一个优点,就是共集接法的 BG_1 管能防止电容 C_{bc} 的密勒效应。总的差模输入电容 C_{id} 是半边电路输入电容的一半,即:

$$C_{id} \approx \frac{C_{be}}{4} + \frac{C_{bc}}{2}$$

随着频率的增加, C_{id} 稍有增加,但决不会超过 $\frac{(C_{bc} + C_{bc})}{2}$ 。

图 7 的输入差分放大器是由纵向 NPN 晶体管 BG_1 、 BG_2 和横向 PNP 晶体管 BG_3 、 BG_4 组成共集-共基互补差分输入极。 BG_1 和 BG_2 接成共集方式, BG_3 和 BG_4 连接成共基方式。信号由 BG_1 和 BG_2 的基极输入,由它们的发射极输出到 BG_3 、 BG_4 的发射极上,经放大后,由 BG_3 、 BG_4 的集电极输出。 BG_1/BG_3 和 BG_2/BG_4 相当于两个等