

单端输入差分放大电路输入信号的等效变换

任骏原

(渤海大学 物理系, 辽宁 锦州 121000)

摘 要:本文对单端输入差分放大电路发射极耦合传输的分析方法进行了深入研究,利用电路分析的方法将单端输入信号等效变换成差模输入信号与共模输入信号的叠加。指出等效变换并不需要发射极电阻 R_e 很大的条件, R_e 的取值大小只反映对共模输入信号的抑制程度。并把这种方法与输入信号用数学方法等效变换进行了对比,得出这两种输入信号的等效变换方法具有等效性的结论。并介绍了单端输入差分放大电路的教学处理方法。

关键词:差分放大电路;单端输入;等效变换

中图分类号: TN722.5+7

文献标识码: A

文章编号: 1008-0686(2008)06-0012-03

The Equivalent Transformation of Input Signal in Single-end Input Differential Amplifier

REN Jun-yuan

(Department of Physics, Bohai University, Jinzhou 121000, China)

Abstract: Analysis methods of emitter coupling transmission in differential amplifier have been researched. Through circuit analysis, single end input signals have been converted to superposition of common-mode signals and difference-mode signals. Condition of big emit-port resistance R_e is not necessary when perform this equivalent transform. The value of R_e only reflects the suppression degree of common-mode signals. Compared with mathematical transformation methods of input signal, the conclusion that the two methods are equivalent has been drawn. At last, teaching processing methods of single-end input differential amplifier are introduced.

Keywords: differential amplifier; single-end input; equivalence transformation

1 问题的提出

对图1所示的长尾式单端输入差分放大电路的动态性能进行分析的常用方法是,将单端输入信号进行等效变换,变成差模输入信号和共模输入信号共同作用,再分别分析差模特性和共模特性。

目前,一些教材及文献介绍的输入信号等效变换方法有两种:输入信号用数学方法等效变换^[1-2]和输入信号发射极耦合传输等效变换^[3-4],但均未深入

分析两种处理方法之间的关系,也没有对发射极耦

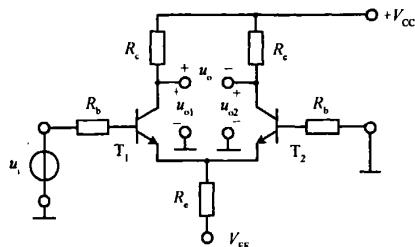


图1 长尾式单端输入差分放大电路

收稿日期:2008-06-17;修回日期:2008-08-16

作者简介:任骏原(1955-),男,副教授,主要从事电子技术教学和科研工作,E-mail:renjunyuan@126.com

合传输等效变换进行深入研究,因而出现了两种输入信号等效变换方法的条件与结论不一致的现象。这会给单端输入差分放大电路的教学带来许多疑难问题。而本文分析认为两种方法具有等效性。

2 两种等效变换方法的比较

2.1 方法1:输入信号用数学方法等效变换

图1左侧输入信号可等效变换为

$$u_i = u_i/2 + u_i/2 \quad (1)$$

右侧输入信号可等效变换为

$$0 = u_i/2 - u_i/2 \quad (2)$$

变换后的左右两边每侧等效为差模和共模两个信号源串联,每侧的差模输入信号分别为 $u_i/2$ 和 $-u_i/2$,总的差模输入信号为 u_i ;每侧即总的共模输入信号为 $u_i/2$ 。等效变换后的输入信号作用位置是输入端和地之间,输入信号的接地方式已经改变,如图2所示。

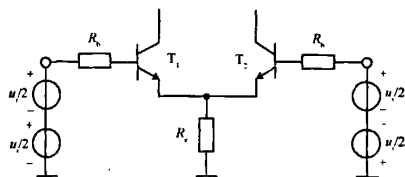


图2 放大电路输入信号的等效变换

分析差模特性时,信号差模输入, T_1 管和 T_2 管的发射极电流以大小相等、方向相反的形式通过发射极电阻 R_e 。因而 R_e 中的总电流为零,其两端电压为零,所以发射极电阻 R_e 可按短路处理。

分析共模特性时,由于信号共模输入, T_1 和 T_2 的发射极电流以大小相等、方向相同的形式通过发射极电阻 R_e 。此时 R_e 中的总电流不为零, R_e 两端电压不为零。所以发射极电阻 R_e 引入了共模负反馈抑制共模信号。

方法1的特点是变换方法简单,但没有输入信号在输入回路传输过程的分析。

2.2 方法2:发射极耦合传输等效变换

图1电路为输入信号 u_i 由 T_1 发射极产生的跟随电压 u_e 耦合传输至 T_2 的发射极。如果发射极电阻 R_e 很大, R_e 支路相当于开路,输入信号 u_i 近似对称分配在 T_1 和 T_2 之间,两处极性相反为一对差模输入信号,与双端输入时近似一致,如图3所示。

方法2的特点是输入信号在输入回路的传输过程直观清楚,但没有表示出输入信号在输入回路分

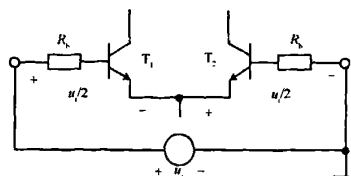


图3 R_e 开路的差模输入等效电路

解出的共模信号及发射极电阻 R_e 对共模信号的抑制,信号等效分解变换是近似结果。

2.3 两种不同等效变换方法分析

输入信号两种等效变换方法不同之处如下:

① 等效变换时对发射极电阻 R_e 的取值要求不同:方法1对发射极电阻 R_e 的取值没有要求,方法2要求发射极电阻 R_e 的取值很大。

② 差模特性分析时发射极电阻 R_e 的处理方式不同:方法1将发射极电阻 R_e 短路处理,方法2将发射极电阻 R_e 开路处理。

③ 输入信号等效变换后作用位置不同:方法1等效变换后输入信号作用于输入端和地之间,方法2等效变换后输入信号作用于输入端和发射极之间。

笔者认为,现行教材未对发射极耦合传输等效变换不同方法进行分析的原因,是未分析输入信号的等效分解变换过程,只做了简单的近似等效分解。

3 发射极耦合传输的等效变换

图1所示差分放大电路的输入回路的微变等效电路如图4所示。其中, r_{be} 为晶体管的输入电阻, β 为晶体管的电流放大系数, u_e 为发射极电位^[5]。

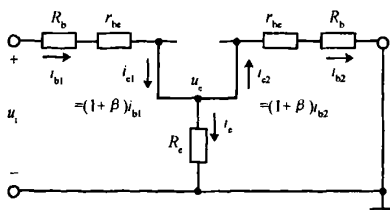


图4 输入回路的微变等效电路

由图4,可得到

$$i_{e1} = i_e + i_{e2} = \frac{i_{b2}(R_b + r_{be})}{R_e} + (1 + \beta)i_{b2} \quad (3)$$

所以有

$$i_{b2} = \frac{R_e}{R_b + r_{be} + (1 + \beta)R_e} i_{e1} = \frac{(1 + \beta)R_e}{R_b + r_{be} + (1 + \beta)R_e} i_{b1} \quad (4)$$

由图4及上式可见,输入信号 u_i 表达式为

$$u_i = (R_b + r_{be})i_{b1} + (R_b + r_{be})i_{b2} = (R_b + r_{be}) \frac{R_b + r_{be} + 2(1+\beta)R_c}{R_b + r_{be} + (1+\beta)R_c} i_{b1} \quad (5)$$

于是,发射极电位 u_e 的表达式为

$$u_e = (R_b + r_{be})i_{b2} = \frac{u_i}{2} - \frac{(R_b + r_{be})u_i}{2(R_b + r_{be}) + 4(1+\beta)R_c} \quad (6)$$

由图1和图4可见,左边输入端和发射极之间的电压为

$$u_{i1} = u_i - u_e = \frac{u_i}{2} + \frac{(R_b + r_{be})u_i}{2(R_b + r_{be}) + 4(1+\beta)R_c} \quad (7)$$

由图1和图4可见,右边输入端和发射极之间的电压为

$$u_{i2} = -u_e = -\frac{u_i}{2} + \frac{(R_b + r_{be})u_i}{2(R_b + r_{be}) + 4(1+\beta)R_c} \quad (8)$$

式(7)和式(8)表明,输入信号 u_i 在输入回路可等效分解为差模输入信号和共模输入信号的叠加,且等效变换时不需要发射极电阻 R_c 很大的条件。

式(7)和式(8)中, $u_i/2$ 和 $-u_i/2$ 为每边的差模输入信号,作用位置是输入端和发射极之间,总的差模输入信号为 u_i 。在保持输入端和发射极之间的差模输入信号不变且保持输入端差模输入电流不变的前提下,改变接地点及将 R_c 短路,可将每边的差模输入信号作用位置等效变换为输入端和地之间,如图5所示。它和方法1中差模输入等效形式相同。

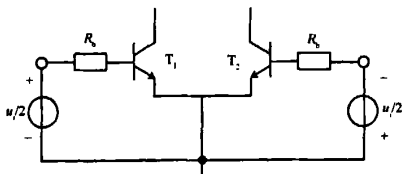


图5 R_c 短路的差模输入等效电路

式(7)和式(8)中,令 u_A 为

$$u_A = \frac{(R_b + r_{be})u_i}{2(R_b + r_{be}) + 4(1+\beta)R_c} \quad (9)$$

即为每边共模输入信号,即总的共模输入信号,作用位置是输入端和发射极之间。表达式中含发射极电阻 R_c ,反映了 R_c 对共模输入信号的抑制作用。共模输入等效电路如图6所示,等效电路中发射极电阻 R_c 短路。

当发射极电阻 $R_c = 0$ 时,共模输入信号最大为 $u_i/2$,电路没有共模负反馈抑制作用;发射极电阻 R_c 越大,共模负反馈抑制作用越强,共模输入信号越小。当 $R_c = \infty$ 时,共模输入信号 u_A 为零。

图6所示的 R_c 短路的共模输入等效电路和方

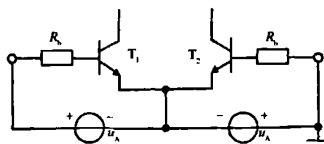


图6 R_c 短路的共模输入等效电路

法1中接 R_c 的共模输入等效电路的效果相同:所产生的共模输入电流大小相等。

在保持所产生的共模输入电流不变的条件下,如果改变接地点将发射极经电阻 R_c 接地,共模输入信号等效变换成数值为 $u_i/2$ 、作用位置为输入端和地之间。于是,可将电路可画成图7所示的形式,和方法1中的共模输入的等效形式相同。

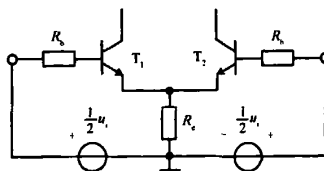


图7 接 R_c 的共模输入等效电路

4 结语

本文深入研究了输入信号发射极耦合传输等效变换的过程和完善变换方法后,发现输入信号用数学方法等效变换和输入信号发射极耦合传输等效变换的两种方法具有等效性,表现在以下三个方面:

① 两种方法均对输入信号进行了等效变换,等效为差模输入信号、共模输入信号的叠加,且等效变换时与发射极电阻 R_c 取值大小无关。

② 发射极电阻 R_c 抑制共模输入信号,取值大小反映对共模输入信号的抑制程度。

③ 发射极电阻 R_c 对差模输入信号无影响,输入信号用数学方法等效变换法、输入信号发射极耦合传输等效变换法都是用短路处理方式消除 R_c 的影响。

参考文献:

- [1] 华成英,童诗白. 模拟电子技术基础(第四版)[M]. 北京:高等教育出版社,2006
- [2] 杨素行. 模拟电子技术基础简明教程(第三版)[M]. 北京:高等教育出版社,2006
- [3] 康华光,陈大钦. 电子技术基础 模拟部分(第四版)[M]. 北京:高等教育出版社,1999
- [4] 张凤言. 电子线路基础[M]. 北京:高等教育出版社,1986
- [5] 任骏原,张风云. 电子线路专题研究[M]. 成都:西南交通大学出版社,1995