

(12) 按照专利合作条约所公布的国际申请

(19) 世界知识产权组织
国际局

(43) 国际公布日
2016年9月9日 (09.09.2016)



(10) 国际公布号
WO 2016/138806 A1

- (51) 国际专利分类号:
H03F 1/30 (2006.01)
- (21) 国际申请号: PCT/CN2016/072560
- (22) 国际申请日: 2016年1月28日 (28.01.2016)
- (25) 申请语言: 中文
- (26) 公布语言: 中文
- (30) 优先权:
201510093261.7 2015年3月2日 (02.03.2015) CN
- (71) 申请人: 东南大学 (SOUTHEAST UNIVERSITY)
[CN/CN]; 中国江苏省南京市玄武区四牌楼二号, Jiangsu 210096 (CN)。
- (72) 发明人: 吴建辉 (WU, Jianhui); 中国江苏省南京市玄武区四牌楼二号, Jiangsu 210096 (CN)。 姚红燕 (YAO, Hongyan); 中国江苏省南京市玄武区四牌楼二号, Jiangsu 210096 (CN)。 郭仲亚 (GUO, Zhongya); 中国江苏省南京市玄武区四牌楼二号, Jiangsu 210096 (CN)。 陈超 (CHEN, Chao); 中国江苏省南京市玄武区四牌楼二号, Jiangsu 210096 (CN)。 黄成 (HUANG, Cheng); 中国江苏省南京市玄武区四牌楼二号, Jiangsu 210096 (CN)。 李红 (LI,

Hong); 中国江苏省南京市玄武区四牌楼二号, Jiangsu 210096 (CN)。

(74) 代理人: 南京经纬专利商标代理有限公司 (NANJING JINGWEI PATENT & TRADEMARK AGENCY CO.,LTD); 中国江苏省南京市鼓楼区中山路179号12楼B座, Jiangsu 210005 (CN)。

(81) 指定国 (除另有指明, 要求每一种可提供的国家保护): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JP, KE, KG, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW。

(84) 指定国 (除另有指明, 要求每一种可提供的地区保护): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), 欧亚 (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), 欧洲 (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO,

[见续页]

(54) Title: METHOD FOR USING CURRENT DAC TO ELIMINATE DC OFFSET IN VARIABLE-GAIN AMPLIFIER CIRCUIT

(54) 发明名称: 一种采用电流 DAC 消除可变增益放大电路直流失调的方法

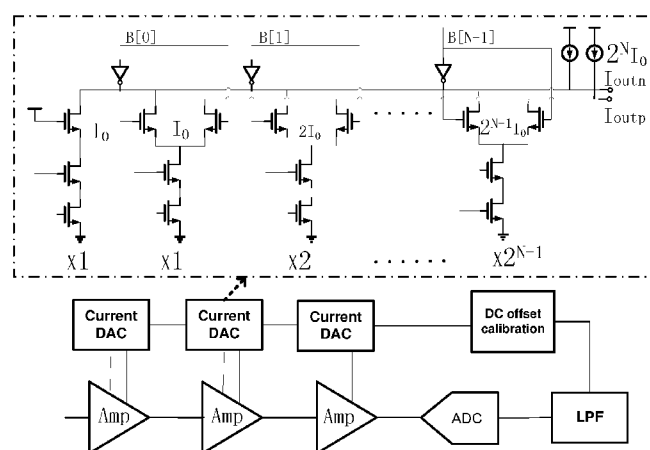


图 1

(57) Abstract: Provided is a method for using a current DAC to eliminate DC offset in a variable-gain amplifier circuit; the differential input end of a variable-gain amplifier is shorted; the output signal of the variable-gain amplifier circuit is a DC offset voltage; an analog-to-digital converter is used to perform sampling detection and analog-to-digital conversion of the DC offset voltage, to obtain a digital value of the DC offset voltage; a modified bitwise comparison algorithm is used to process the DC offset voltage to obtain a control word for controlling a current DAC; finally, feedback correction is performed, by means of the current DAC, on the input end of the variable-gain amplifier, so as to eliminate the DC offset voltage. The method improves the conventional means of bitwise correction in digital auxiliary DC offset elimination technologies, and employs an analog-to-digital converter to directly detect the DC offset voltage, thus improving the speed of correction.

(57) 摘要:

[见续页]



WO 2016/138806 A1



RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, **本国际公布:**

CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, — 包括国际检索报告(条约第 21 条(3))。
TG)。

一种采用电流 DAC 消除可变增益放大器电路直流失调的方法，将可变增益放大器的差分输入端短接，可变增益放大电路的输出信号即为直流失调电压，使用模数转换器对直流失调电压进行采样检测和模数转换，得到直流失调电压的数字值，采用改进的逐位比较算法对直流失调电压的数字值进行处理，得到控制电流 DAC 的控制字，最后通过电流 DAC 对对应可变增益放大器的输入端进行反馈校准，以消除直流失调电压。该方法改进了传统的数字辅助直流失调消除技术中的逐位校准的方式，并采用模数转换器直接检测直流失调电压，提高了校准的速度。

说明书

一种采用电流 DAC 消除可变增益放大电路直流失调的方法

技术领域

本发明涉及一种采用电流 DAC 消除可变增益放大电路直流失调的方法，是应用在无线收发机的中频放大器中的重要技术，涉及无线通信领域的中频放大技术和数字基带技术。

背景技术

在 CMOS 工艺中，噪声和失调是限制模拟集成电路精度的主要因素。事实上随着沟道长度变小失调会越来越严重，因此失调是成为限制精度的主导因素。失调是由相同放置的晶体管间的不匹配所造成的。尤其在差分可变增益放大器的设计过程中，由于晶体管的不匹配造成失调电压，当放大器的增益较大时，等效在放大器输入的直流失调电压会被放大，从而使得高增益运放产生比较大的误差，甚至当失调较大的时候会湮没有效信号，造成信号通路的阻塞。一般电路的失调用输入失调电压来定义：使输出电压为零时的两端输入电压之差。在一个双端放大器中，失调电压常常是毫伏级的，在 CMOS 工艺中，失调电压有可能会增大到至少 10 倍以上。而可变增益放大器通常具有较高的增益，因此，如何有效的消除可变增益放大器的失调电压是在电路设计时必须考虑的一个重要问题。

直流失调消除的方法比较多，比如反馈和前馈、开关电容、数字校正等。评价直流失调消除技术的性能可以从如下几个指标进行：直流消除的建立时间，即输出信号直流分量稳定到一定的精度所需的时间；直流失调的衰减程度，即输出信号直流分量与输入信号直流分量的比值；电路功耗、面积、稳定性等。直流失调消除最简单的方法是交流耦合：将大电容放在两级电路之间，实现隔直流通交流的目的。这种方法实现相对简单，但是当电路工作在低频状态下需要很大的电容才能实现较低的交流信号的衰减，很大的隔直电容如果在片内实现会占用很大的面积。在一些采用具有高通特性的电路取代直接交流耦合，另外考虑到大电阻和大电容占用的面积较大，在一些电路中采用 MOS 管来实现电容和电阻。另外的方法是采用反馈消失调，基本原理是在正向放大通路上并联一个低通的负反馈回路，从而实现闭环传递函数的高通特性。传统的模拟直流失调消除技术都需要用到大电容，并且具有很慢的建立时间，另外采用反馈的方式也易引起电路的稳定性问题。

因此在现在的一些电路设计中，主要采用数字辅助的直流失调消除的技术。数字辅助的校准方法的基本过程是：首先将放大器的差分输入短接，检测可变增益放大器的输出失调电压，然后通过一个逐次比较的算法，计算失调校准值，最后通过一个校准 DAC

将失调消除。这种方法的直流失调消除电路占用很小的芯片面积并且每个增益级的失调都能得到校准。其中比较输出失调电压通常是采用比较器实现，对比较器的要求比较高，需要自身失调很小的比较器才能得到准确的校准。在传统的数字辅助直流失调校准算法中，由于采用的校准 DAC 是二进制 DAC，若有一位 DAC 的校准发生错误，则后面的校准难以将失调重新校准过来。在一些文献中，采用了亚二进制的 DAC，即 DAC 每一位的加权小于二。这样可以有效防止校准出错，但是这样相同位数的 DAC 校准的失调电压较小。

发明内容

发明目的：为了消除直流失调电压对可变增益放大器性能的影响，本发明提供一种采用电流 DAC 消除可变增益放大电路直流失调的方法，能够在较短的时间内实现数字自动直流失调校准；本发明采用改进的逐步校准算法控制校准 DAC，以消除可变增益放大器的等效输入失调电压；本发明方法能够将失调校准到很小的数量级，校准失调电压范围大，校准准确性高，校准速度快。

技术方案：为实现上述目的，本发明采用的技术方案为：

一种采用电流 DAC 消除可变增益放大电路直流失调的方法，该可变增益放大电路共有三个放大级，即由三个可变增益放大器串联构成可变增益放大电路，每个可变增益放大器均连接一个直流失调调节用的电流 DAC（即校准 DAC），可变增益放大电路的输出端接入模数转换器的输入端，模数转换器的输出端接入直流失调消除模块进行数字处理，得到的数字控制字分别连接控制各个电流 DAC；工作过程为：将可变增益放大电路的差分输入端短接，可变增益放大电路的输出信号即为直流失调电压，使用模数转换器对直流失调电压进行采样检测和模数转换，得到直流失调电压的数字值，采用改进的逐位比较算法对直流失调电压的数字值进行处理，得到控制电流 DAC 的控制字，最后通过电流 DAC 对对应可变增益放大器的输入端进行反馈校准，以消除直流失调电压；在直流失调电压消除后，将可变增益放大电路的差分输入端断开，即可进行交流信号的放大，也即可变增益放大电路进入正常的放大模式。

所述电流 DAC 共有 $(N+1)$ 个电流支路，其中第二个电流支路到第 $(N+1)$ 个电流支路的电流按二进制加权增加，分别为 I_0 、 $2 \times I_0$ 、 $\dots$ 、 $2^n \times I_0$ 、 $\dots$ 、 $2^{(N-1)} \times I_0$ ，第一个电流支路的电流为 I_0 ；电流 DAC 的电流输出端口有两个，分别连接到对应可变增益放大器的差分输入端的两个端口，记电流 DAC 的两个电流输出端口输出的电流信号分别为

I_{outn} 和 I_{outp} ；第二个电流支路到第 $(N+1)$ 个电流支路上均设置有一个开关，每个开关均由两个并联的 NMOS 管构成，对于第 $(n+1)$ 个电流支路，两个 NMOS 管的控制信号为 $B[n]$ 和经过反相器的 $\overline{B[n]}$ ，采用控制信号 $B[n]$ 的所有电流支路和第一个电流支路相连后输出 I_{outn} ，采用经过反相器的 $\overline{B[n]}$ 的所有电流支路相连后输出 I_{outp} ，即：

$$I_{outn} = 2^N I_0 - (B[0]I_0 + 2B[1]I_0 + \dots + 2^{(N-1)} B[N-1]I_0)$$

$$I_{outp} = 2^N I_0 - (\overline{B[0]}I_0 + 2\overline{B[1]}I_0 + \dots + 2^{(N-1)} \overline{B[N-1]}I_0)$$

其中， $B[0:N-1]$ 记为电流 DAC 的控制字；电流 DAC 流入可变增益放大器的校准电流为 $I_{outn} - I_{outp}$ ，校准电流的变化范围为 $(-2^N I_0, 2^N I_0)$ ，变化的精度为 I_0 。

所述改进的逐位比较算法为：根据模数转换器的当前检测的直流失调电压值和上一状态的直流失调电压值来逐位调整电流 DAC 的控制字：当当前检测的直流失调电压不在模数转换器的检测范围内时，从电流 DAC 的高位到低位逐位比较调整，首先调整第一级的可变增益放大器，调整完成后调整第二级的可变增益放大器，调整完成后调整第三级的可变增益放大器；当当前检测的直流失调电压在模数转换器的检测范围内时，通过当前检测的直流失调电压值和当前可变增益放大电路的增益值进行换算，直接调节电流 DAC 的控制字，实现直流失调电压的快速调整；

其中，上一状态的直流失调电压值即电流 DAC 控制字改变的前一状态的直流失调电压值；从电流 DAC 的高位到低位逐位比较调整的基本过程是：电流 DAC 的初始控制字为 $B[N-1:0] = \langle 100 \dots 0 \rangle$ ，即最高位为 1，其余的 $(N-1)$ 位均为低位，此时各级可变增益放大器的校准电流为 0；根据当前检测的直流失调电压值和上一状态的直流失调电压值：若当前的直流失调电压值和上一状态的直流失调电压值均在模数转换器的检测范围内，直流失调电压消除校准停止，电流 DAC 的控制字保持不变，此时可变增益放大电路可以进入正常的放大模式；若当前的直流失调电压值低于模数转换器的检测范围，上一状态的直流失调电压值高于模数转换器的检测范围，电流 DAC 的当前控制位变为高；若当前的直流失调电压值高于模数转换器的检测范围，上一状态的直流失调电压值低于模数转换器的检测范围，电流 DAC 的当前控制位变为低；若当前的直流失调电压值低于模数转换器的检测范围，上一状态的直流失调电压值低于模数转换器的检测范围，电

流 DAC 的当前控制位变为高，上一控制位变为高；若当前的直流失调电压值高于模数转换器的检测范围，上一状态的直流失调电压值高于模数转换器的检测范围，电流 DAC 的当前控制位变为低，上一控制位变为低；通过上述方式比较当前状态和上一状态，采用逐步改变一位或改变两位控制位的方式，能够有效解决直流失调电压校准过程中发生的错位和冗余问题，使得直流失调电压得到准确的校准。

有益效果：本发明提供的采用电流 DAC 消除可变增益放大电路直流失调的方法，改进了传统的数字辅助直流失调消除技术中的逐位校准的方式，并采用模数转换器直接检测直流失调电压，提高了校准的速度；并且本发明采用采用的数字辅助的直流失调消除的方式，可以有效减小芯片占用的版图面积；本发明的直流失调消除方法，具有准确性和快速性。

附图说明

图 1 为采用本发明方法的可变增益放大电路的结构框图和电路 DAC 电路图；

图 2 为从电流 DAC 的高位到低位逐位比较调整的流程图；

图 3 为采用本发明方法的可变增益放大电路在不同增益模式下的直流失调电压消除的过程波形。

具体实施方式

下面结合附图对本发明作更进一步的说明。

本发明提供的采用电流 DAC 消除可变增益放大器电路直流失调的方法，采用了数字辅助的直流失调电压消除技术。该数字辅助的直流失调电压消除技术采用可变增益放大电路输出的直流失调电压，通过电流 DAC 在可变增益放大器的输入端进行校准消除，最终使得可变增益放大电路的输出信号的直流失调电压在能接受的范围甚至是达到零。在校准过程中，若经过放大器后的直流失调过大，会超过模数转换器的检测范围，因此需要在直流失调消除的过程中采用逐位比较的方法。本发明改进了传统的数字直流失调消除技术逐位逼近算法，能有效防止直流失调消除过程中的位的丢失和冗余，使得直流失调电压能够得到有效的消除。

一种采用电流 DAC 消除可变增益放大器电路直流失调的方法，如图 1 和图 2 所示该可变增益放大电路共有三个放大级，即由三个可变增益放大器串联构成可变增益放大电路，每个可变增益放大器均连接一个直流失调调节用的电流 DAC（即校准 DAC），可变增益放大电路的输出端接入模数转换器的输入端，模数转换器的输出端接入直流失调消除模块进行数字处理，得到的数字控制字分别连接到各个电流 DAC；工作过程为：将可变增益放大器的差分输入端短接，可变增益放大电路的输出信号即为直流失调电压，

使用模数转换器对直流失调电压进行采样检测和模数转换,得到直流失调电压的数字值,采用改进的逐位比较算法对直流失调电压的数字值进行处理,得到控制电流 DAC 的控制字,最后通过电流 DAC 对对应可变增益放大器的输入端进行反馈校准,以消除直流失调电压;在直流失调电压消除后,将可变增益放大电路的差分输入端断开,即可进行交流信号的放大,也即可变增益放大电路进入正常的放大模式。

所述电流 DAC 共有 $(N+1)$ 个电流支路,其中第二个电流支路到第 $(N+1)$ 个电流支路的电流按二进制加权增加,分别为 I_0 、 $2 \times I_0$ 、 $\dots$ 、 $2^n \times I_0$ 、 $\dots$ 、 $2^{(N-1)} \times I_0$,第一个电流支路的电流为 I_0 ; 电流 DAC 的电流输出端口有两个,分别连接到对应可变增益放大器的差分输入端的两个端口,记电流 DAC 的两个电流输出端口输出的电流信号分别为 I_{outn} 和 I_{outp} ; 第二个电流支路到第 $(N+1)$ 个电流支路上均设置有一个开关,每个开关均由两个并联的 NMOS 管构成,对于第 $(n+1)$ 个电流支路,两个 NMOS 管的控制信号为 $B[n]$ 和经过反相器的 $\overline{B[n]}$,采用控制信号 $B[n]$ 的所有电流支路和第一个电流支路相连后输出 I_{outn} ,采用经过反相器的 $\overline{B[n]}$ 的所有电流支路相连后输出 I_{outp} ,即:

$$I_{outn} = 2^N I_0 - (B[0]I_0 + 2B[1]I_0 + \dots + 2^{(N-1)} B[N-1]I_0)$$

$$I_{outp} = 2^N I_0 - (\overline{B[0]}I_0 + 2\overline{B[1]}I_0 + \dots + 2^{(N-1)} \overline{B[N-1]}I_0)$$

其中, $B[0:N-1]$ 记为电流 DAC 的控制字; 电流 DAC 流入可变增益放大器的校准电流为 $I_{outn} - I_{outp}$, 校准电流的变化范围为 $(-2^N I_0, 2^N I_0)$, 变化的精度为 I_0 。

所述改进的逐位比较算法为: 根据模数转换器的当前检测的直流失调电压值和上一状态的直流失调电压值来逐位调整电流 DAC 的控制字: 当当前检测的直流失调电压不在模数转换器的检测范围内时, 从电流 DAC 的高位到低位逐位比较调整, 首先调整第一级的可变增益放大器, 调整完成后调整第二级的可变增益放大器, 调整完成后调整第三级的可变增益放大器; 当当前检测的直流失调电压在模数转换器的检测范围内时, 通过当前检测的直流失调电压值和当前可变增益放大电路的增益值进行换算, 直接调节电流 DAC 的控制字, 实现直流失调电压的快速调整。

其中, 上一状态的直流失调电压值即电流 DAC 控制字改变的前一状态的直流失调

电压值；从电流 DAC 的高位到低位逐位比较调整的基本过程是：电流 DAC 的初始控制字为 $B[N-1:0]=\langle 100\cdots 0 \rangle$ ，即最高位为 1，其余的 $(N-1)$ 位均为低位，此时各级可变增益放大器的校准电流为 0；根据当前检测的直流失调电压值和上一状态的直流失调电压值：若当前的直流失调电压值和上一状态的直流失调电压值均在模数转换器的检测范围内，直流失调电压消除校准停止，电流 DAC 的控制字保持不变，此时可变增益放大电路可以进入正常的放大模式；若当前的直流失调电压值低于模数转换器的检测范围，上一状态的直流失调电压值高于模数转换器的检测范围，电流 DAC 的当前控制位变为高；若当前的直流失调电压值高于模数转换器的检测范围，上一状态的直流失调电压值低于模数转换器的检测范围，电流 DAC 的当前控制位变为低；若当前的直流失调电压值低于模数转换器的检测范围，上一状态的直流失调电压值低于模数转换器的检测范围，电流 DAC 的当前控制位变为高，上一控制位变为高；若当前的直流失调电压值高于模数转换器的检测范围，上一状态的直流失调电压值高于模数转换器的检测范围，电流 DAC 的当前控制位变为低，上一控制位变为低；通过上述方式比较当前状态和上一状态，采用逐步改变一位或改变两位控制位的方式，能够有效解决直流失调电压校准过程中发生的错位和冗余问题，使得直流失调电压得到准确的校准。

如图 3 为采用本发明方法的可变增益放大电路在不同增益模式下的直流失调电压消除的过程波形，电路根据直流失调电压的值逐步校准，从图中通过逐步校准最终可以使得可变增益放大电路的直流失调在能接受的范围内，仿真的结果差分两端的直流失调信号最终能校准到小于 15mV。当增益模式发生切换的时候，直流失调进行重新调整。由于直流失调是根据模数转换器的采样值进行调节，因此直流失调的校准速度与模数转换器的采样率有关，这里采样率为 16MHz。从仿真结果可以看出直流失调的校准时间可以控制在 10us 之内。

本发明的采用电流 DAC 消除可变增益放大器直流失调的技术，改进了传统数字辅助直流失调消除技术易错误较不准的缺点，具有响应快速、准确的特点。采用二进制加权的电流 DAC，具有校准范围大，精度高的特点。

以上所述仅是本发明的优选实施方式，应当指出：对于本技术领域的普通技术人员来说，在不脱离本发明原理的前提下，还可以做出若干改进和润饰，这些改进和润饰也应视为本发明的保护范围。

权 利 要 求 书

1、一种采用电流 DAC 消除可变增益放大电路直流失调的方法，其特征在于：该可变增益放大电路共有三个放大级，即由三个可变增益放大器串联构成可变增益放大电路，每个可变增益放大器均连接一个直流失调调节用的电流 DAC，可变增益放大电路的输出端接入模数转换器的输入端，模数转换器的输出端接入直流失调消除模块进行数字处理，得到的数字控制字分别连接控制各个电流 DAC；工作过程为：将可变增益放大电路的差分输入端短接，可变增益放大电路的输出信号即为直流失调电压，使用模数转换器对直流失调电压进行采样检测和模数转换，得到直流失调电压的数字值，采用改进的逐位比较算法对直流失调电压的数字值进行处理，得到控制电流 DAC 的控制字，最后通过电流 DAC 对对应可变增益放大器的输入端进行反馈校准，以消除直流失调电压；在直流失调电压消除后，将可变增益放大电路的差分输入端断开，即可进行交流信号的放大，也即可变增益放大电路进入正常的放大模式。

2、根据权利要求 1 所述的采用电流 DAC 消除可变增益放大电路直流失调的方法，其特征在于：所述电流 DAC 共有 $(N+1)$ 个电流支路，其中第二个电流支路到第 $(N+1)$ 个电流支路的电流按二进制加权增加，分别为 I_0 、 $2 \times I_0$ 、 $\dots$ 、 $2^n \times I_0$ 、 $\dots$ 、 $2^{(N-1)} \times I_0$ ，第一个电流支路的电流为 I_0 ；电流 DAC 的电流输出端口有两个，分别连接到对应可变增益放大器的差分输入端的两个端口，记电流 DAC 的两个电流输出端口输出的电流信号分别为 I_{outn} 和 I_{outp} ；第二个电流支路到第 $(N+1)$ 个电流支路上均设置有一个开关，每个开关均由两个并联的 NMOS 管构成，对于第 $(n+1)$ 个电流支路，两个 NMOS 管的控制信号为 $B[n]$ 和经过反相器的 $\overline{B[n]}$ ，采用控制信号 $B[n]$ 的所有电流支路和第一个电流直流相连后输出 I_{outn} ，采用经过反相器的 $\overline{B[n]}$ 的所有电流支路相连后输出 I_{outp} ，即：

$$I_{outn} = 2^N I_0 - (B[0]I_0 + 2B[1]I_0 + \dots + 2^{(N-1)} B[N-1]I_0)$$

$$I_{outp} = 2^N I_0 - (\overline{B[0]}I_0 + 2\overline{B[1]}I_0 + \dots + 2^{(N-1)} \overline{B[N-1]}I_0)$$

其中， $B[0:N-1]$ 记为电流 DAC 的控制字；电流 DAC 流入可变增益放大器的校准电流为 $I_{outn} - I_{outp}$ ，校准电流的变化范围为 $(-2^N I_0, 2^N I_0)$ ，变化的精度为 I_0 。

3、根据权利要求 2 所述的采用电流 DAC 消除可变增益放大电路直流失调的方法，

其特征在于：所述改进的逐位比较算法为：根据模数转换器的当前检测的直流失调电压值和上一状态的直流失调电压值来逐位调整电流 DAC 的控制字：当当前检测的直流失调电压不在模数转换器的检测范围内时，从电流 DAC 的高位到低位逐位比较调整，首先调整第一级的可变增益放大器，调整完成后调整第二级的可变增益放大器，调整完成后调整第三级的可变增益放大器；当当前检测的直流失调电压在模数转换器的检测范围内时，通过当前检测的直流失调电压值和当前可变增益放大电路的增益值进行换算，直接调节电流 DAC 的控制字，实现直流失调电压的快速调整；

其中，上一状态的直流失调电压值即电流 DAC 控制字改变的前一状态的直流失调电压值；从电流 DAC 的高位到低位逐位比较调整的基本过程是：电流 DAC 的初始控制字为 $B[N-1:0]=\langle 100\cdots 0 \rangle$ ，即最高位为 1，其余的 $(N-1)$ 位均为低位，此时各级可变增益放大器的校准电流为 0；根据当前检测的直流失调电压值和上一状态的直流失调电压值：若当前的直流失调电压值和上一状态的直流失调电压值均在模数转换器的检测范围内，直流失调电压消除校准停止，电流 DAC 的控制字保持不变，此时可变增益放大电路可以进入正常的放大模式；若当前的直流失调电压值低于模数转换器的检测范围，上一状态的直流失调电压值高于模数转换器的检测范围，电流 DAC 的当前控制位变为高；若当前的直流失调电压值高于模数转换器的检测范围，上一状态的直流失调电压值低于模数转换器的检测范围，电流 DAC 的当前控制位变为低；若当前的直流失调电压值低于模数转换器的检测范围，上一状态的直流失调电压值低于模数转换器的检测范围，电流 DAC 的当前控制位变为高，上一控制位变为高；若当前的直流失调电压值高于模数转换器的检测范围，上一状态的直流失调电压值高于模数转换器的检测范围，电流 DAC 的当前控制位变为低，上一控制位变为低；通过上述方式比较当前状态和上一状态，采用逐步改变一位或改变两位控制位的方式，能够有效解决直流失调电压校准过程中发生的错位和冗余问题，使得直流失调电压得到准确的校准。

说明书附图

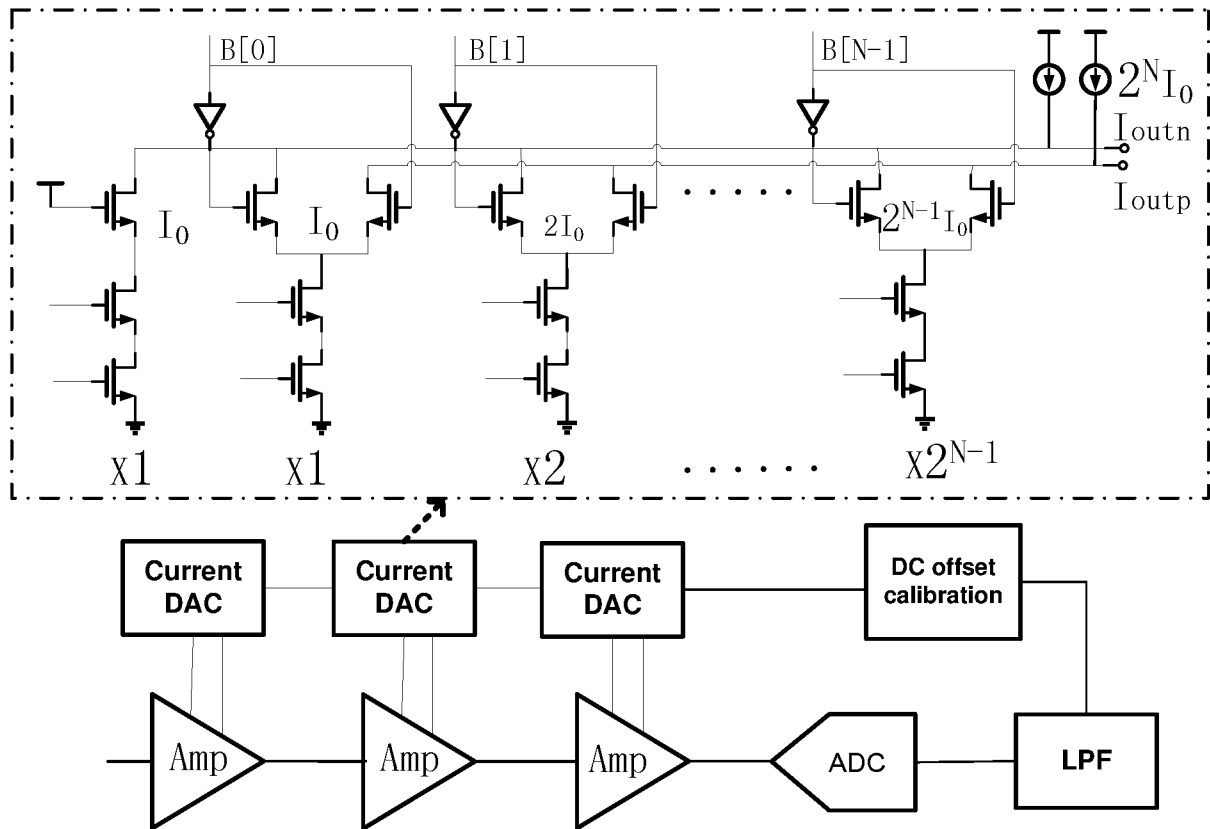


图 1

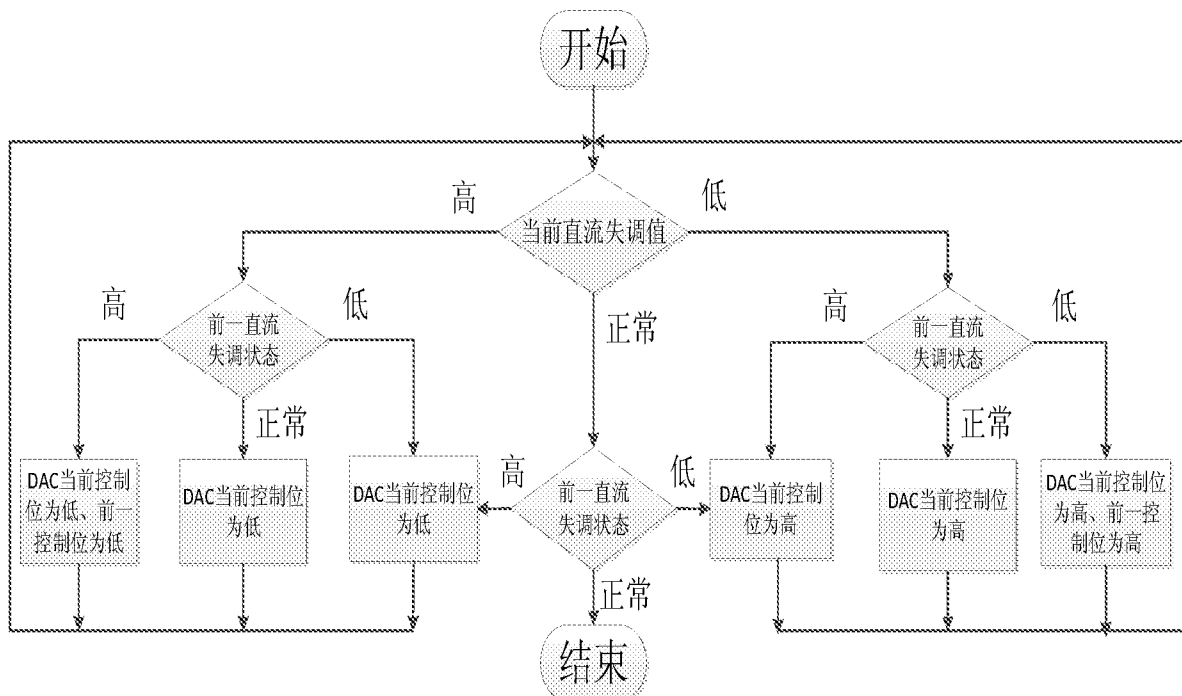


图 2

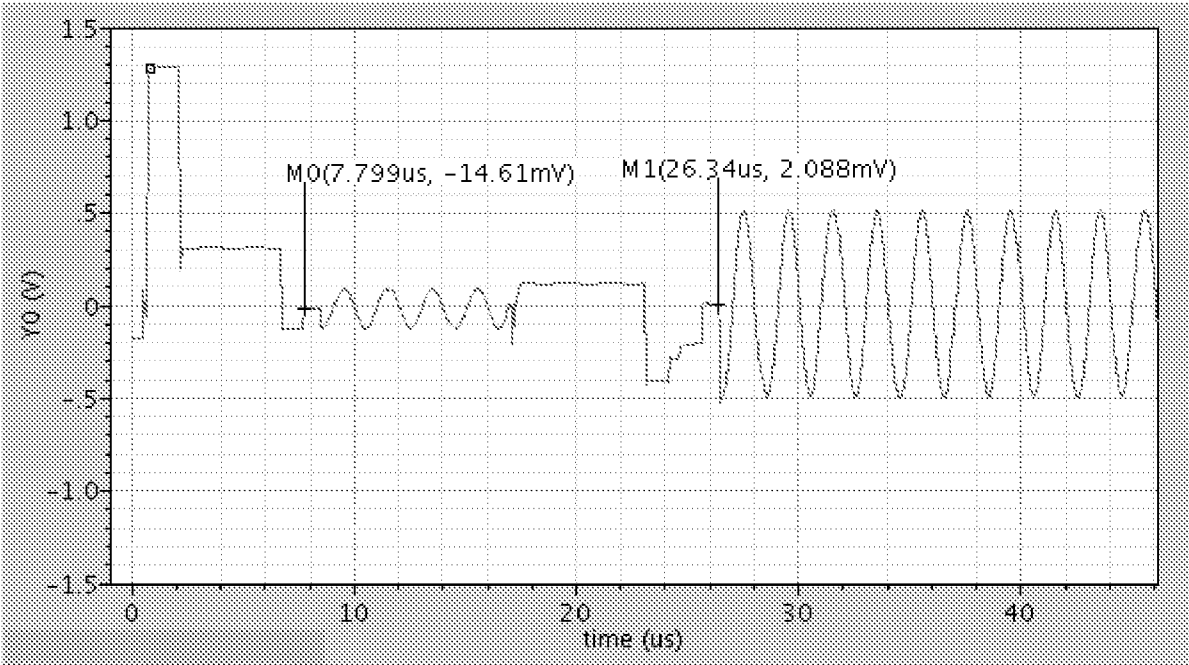


图 3

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/CN2016/072560

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

H03F 1/30 (2006.01) i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

H03F

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

EPODOC, WPI, CNPAT, USTXT, CNKI, IEEE: direct current, "DA", varia+, gain, amplif+, direct, current, offset+, detuning, imbalance, analog+, digital

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
PX	CN 104734645 A (SOUTHEAST UNIVERSITY), 24 June 2015 (24.06.2015), claims 1-3	1-3
A	CN 102270971 A (CANAANTEK CO., LTD.), 07 December 2011 (07.12.2011), description, paragraphs [0012]-[0018], and figures 3-6	1-3
A	CN 202455317 U (XI'AN AEROSEMI TECHNOLOGY CO., LTD.), 26 September 2012 (26.09.2012), the whole document	1-3
A	CN 103036517 A (TIANJIN UNIVERSITY), 10 April 2013 (10.04.2013), the whole document	1-3
A	US 7477100 B2 (BROADCOM CORPORATION), 13 January 2009 (13.01.2009), the whole document	1-3

☐ Further documents are listed in the continuation of Box C.

☒ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:	"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance	"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date	"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)	"&" document member of the same patent family
"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means	
"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed	

Date of the actual completion of the international search 29 March 2016 (29.03.2016)	Date of mailing of the international search report 28 April 2016 (28.04.2016)
Name and mailing address of the ISA/CN: State Intellectual Property Office of the P. R. China No. 6, Xitucheng Road, Jimenqiao Haidian District, Beijing 100088, China Facsimile No.: (86-10) 62019451	Authorized officer WANG, Xun Telephone No.: (86-10) 62413643

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.

PCT/CN2016/072560

Patent Documents referred in the Report	Publication Date	Patent Family	Publication Date
CN 104734645 A	24 June 2015	None	
CN 102270971 A	07 December 2011	None	
CN 202455317 U	26 September 2012	None	
CN 103036517 A	10 April 2013	None	
US 7477100 B2	13 January 2009	US 2005243893 A1	03 November 2005
		US 2005260965 A1	24 November 2005
		US 7348838 B2	25 March 2008
		US 2005238123 A1	27 October 2005
		US 7995679 B2	09 August 2011

A. 主题的分类		
H03F 1/30 (2006.01) i		
按照国际专利分类 (IPC) 或者同时按照国家分类和 IPC 两种分类		
B. 检索领域		
检索的最低限度文献 (标明分类系统和分类号)		
H03F		
包含在检索领域中的除最低限度文献以外的检索文献		
在国际检索时查阅的电子数据库 (数据库的名称, 和使用的检索词 (如使用))		
EPDOC, WPI, CNPAT, USTXT, CNKI, IEEE: 变, 增益, 放大, 直流, 失调, "DA", varia+, gain, amplif+, direct, current, offset+, detuning, imbalance, analog+, digital.		
C. 相关文件		
类 型*	引用文件, 必要时, 指明相关段落	相关的权利要求
PX	CN 104734645 A (东南大学) 2015年 6月 24日 (2015 - 06 - 24) 权利要求1-3	1-3
A	CN 102270971 A (上海迦美信芯通讯技术有限公司) 2011年 12月 7日 (2011 - 12 - 07) 说明书第12-18段, 附图3-6	1-3
A	CN 202455317 U (西安航天民芯科技有限公司) 2012年 9月 26日 (2012 - 09 - 26) 全文	1-3
A	CN 103036517 A (天津大学) 2013年 4月 10日 (2013 - 04 - 10) 全文	1-3
A	US 7477100 B2 (BROADCOM CORPORATION) 2009年 1月 13日 (2009 - 01 - 13) 全文	1-3
☐ 其余文件在C栏的续页中列出。 ☒ 见同族专利附件。		
* 引用文件的具体类型: "A" 认为不特别相关的表示了现有技术一般状态的文件 "E" 在国际申请日的当天或之后公布的在先申请或专利 "L" 可能对优先权要求构成怀疑的文件, 或为确定另一篇引用文件的公布日而引用的或者因其他特殊理由而引用的文件 (如具体说明的) "O" 涉及口头公开、使用、展览或其他方式公开的文件 "P" 公布日先于国际申请日但迟于所要求的优先权日的文件 "T" 在申请日或优先权日之后公布, 与申请不相抵触, 但为了理解发明之理论或原理的在后文件 "X" 特别相关的文件, 单独考虑该文件, 认定要求保护的发明不是新颖的或不具有创造性 "Y" 特别相关的文件, 当该文件与另一篇或者多篇该类文件结合并且这种结合对于本领域技术人员为显而易见时, 要求保护的发明不具有创造性 "&" 同族专利的文件		
国际检索实际完成的日期		国际检索报告邮寄日期
2016年 3月 29日		2016年 4月 28日
ISA/CN的名称和邮寄地址		授权官员
中华人民共和国国家知识产权局 (ISA/CN) 中国北京市海淀区蓟门桥西土城路6号 100088 传真号 (86-10) 62019451		王迅
		电话号码 (86-10) 62413643

国际检索报告
关于同族专利的信息

国际申请号

PCT/CN2016/072560

检索报告引用的专利文件			公布日 (年/月/日)	同族专利	公布日 (年/月/日)
CN	104734645	A	2015年 6月 24日	无	
CN	102270971	A	2011年 12月 7日	无	
CN	202455317	U	2012年 9月 26日	无	
CN	103036517	A	2013年 4月 10日	无	
US	7477100	B2	2009年 1月 13日	US 2005243893 A1	2005年 11月 3日
				US 2005260965 A1	2005年 11月 24日
				US 7348838 B2	2008年 3月 25日
				US 2005238123 A1	2005年 10月 27日
				US 7995679 B2	2011年 8月 9日

表 PCT/ISA/210 (同族专利附件) (2009年7月)