

利用对消驱动提高心电信号测量共模抑制的原理分析

圣邦微电子(北京)有限公司：吴英超

日期：2011-12-30

摘要：心电检测是在强共模干扰下的微弱信号检测，为了提高电路的共模抑制比，常采用对消驱动电路（右腿驱动）来提高共模抑制比，本文分析了对消驱动电路的原理，结合实际电路实际验证了电路的效果。

关键词：共模抑制比、运放

心电信号是人体特定的点与点之间的差模电压，信号幅度在 0.5mV~8mV 之间，典型值为 1mV。心电受到的工频干扰非常强，一般情况下人体的工频幅值在 V 级，比心电信号大 3 个数量级，工频干扰常以共模形式出现。

在如此强的工频干扰中检测出微弱的心电信号是一大挑战，这就要求运放具有很高的共模抑制比，一般要求在 60~120dB 之间，太低了影响心电图机性能，太高的运放成本上会让人难以接受。采用高共模抑制比的前置放大器，如在 50Hz 时 80dB 共模抑制比的仪表放大器是属于性能比较好的产品，这样工频干扰的幅值还是达到了信号幅值的十分之一，对于医生诊断来说是不能接受的，心电图机普遍采用对消驱动电路来进一步增强共模抑制能力。

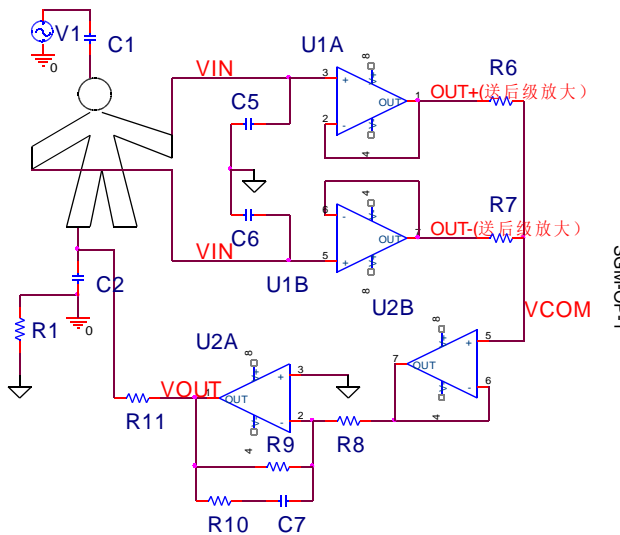


图 1 对消驱动模型

U2A 和 R9, R10, R11, C7 共同组成了右腿驱动电路，其原理是通过 R6, R7 从人体取出共模电压反向加到人体。下面我们通过公式来说明对消驱动的作用，计算中忽略 C5, C6, U1A, U1B 的误差对共模抑制比的影响，同时 R10 和 C7 是为了系统稳定而设计的，不影响低频时共模抑制比的计算，计算时忽略，公式推导如下：

U1A, U1B 作用是阻抗变换的跟随器，有：

$$V_{com} = V_{in} \quad (1)$$

U2A 组成了一个反向放大器，其传递函数为：

$$V_{out} = -(R_9 * V_{com}) / R_8 \quad (2)$$

根据基尔霍夫电流定律有：

$$\begin{aligned} & (V_1 - V_{in}) * j\omega C_{11} \\ & = V_{in} * j\omega C_2 + (V_{in} - V_{out}) / R_{11} \end{aligned} \quad (3)$$

得到 V_{in} 传递函数为：

$$\begin{aligned} V_{in} & = R_8 * R_{11} * j\omega C_2 / \\ & (R_8 * R_{11} * j\omega C_1 + R_8 * R_{11} * j\omega C_2 + \\ & j\omega C_1 * j\omega C_2 * R_8 + j\omega C_1 * j\omega C_2 * R_9) \end{aligned} \quad (4)$$

带入常用电路的典型参数：

$R_8=10k\Omega$, $R_{11}=100k\Omega$, $R_9=1M$, $C_2=100pf$ 不考虑电容的相位影响，略去极小项则：

$$V_{in} = R_8 * R_{11} * j\omega C_2 / (R_8 + R_9) \quad (5)$$

在以上参数下 V_{in} 幅值为：

$$V_{in} = 1 / 3000 = -69dB \quad (6)$$

按照上述参数设计的右腿驱动电路理论上可以提供 69dB 的共模抑制比，这是一个对消驱动简化模型，实际电路中考虑到阻容的误差，滤波电容对相位的影响，运放的延迟等等，右腿驱动的共模抑制能力会劣化甚至产生震荡，具体的电路需要根据需要进行调整。

圣邦微电子在对消驱动电路上做了很多验证工作，如器件的选择、线路板设计、电源结构等，在本篇文档不再详述，请参考圣邦相关技术资料。按照图 1 所示电路制作了验证板，实测共模抑制比为 50dB，这样我们选择一颗共模抑制比 60dB 以上的集成或分立器件搭成的仪表放大器，整个系统就可以达到 89dB¹ 的标准要求。

¹ 《GW-44_AAMI_EC13-2002》 心脏监测仪专用标准