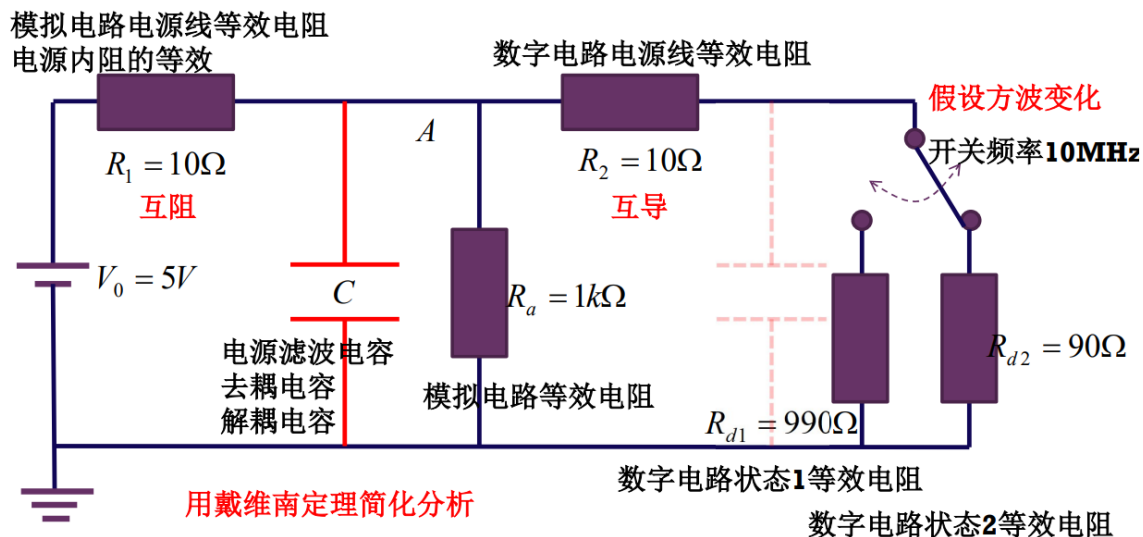


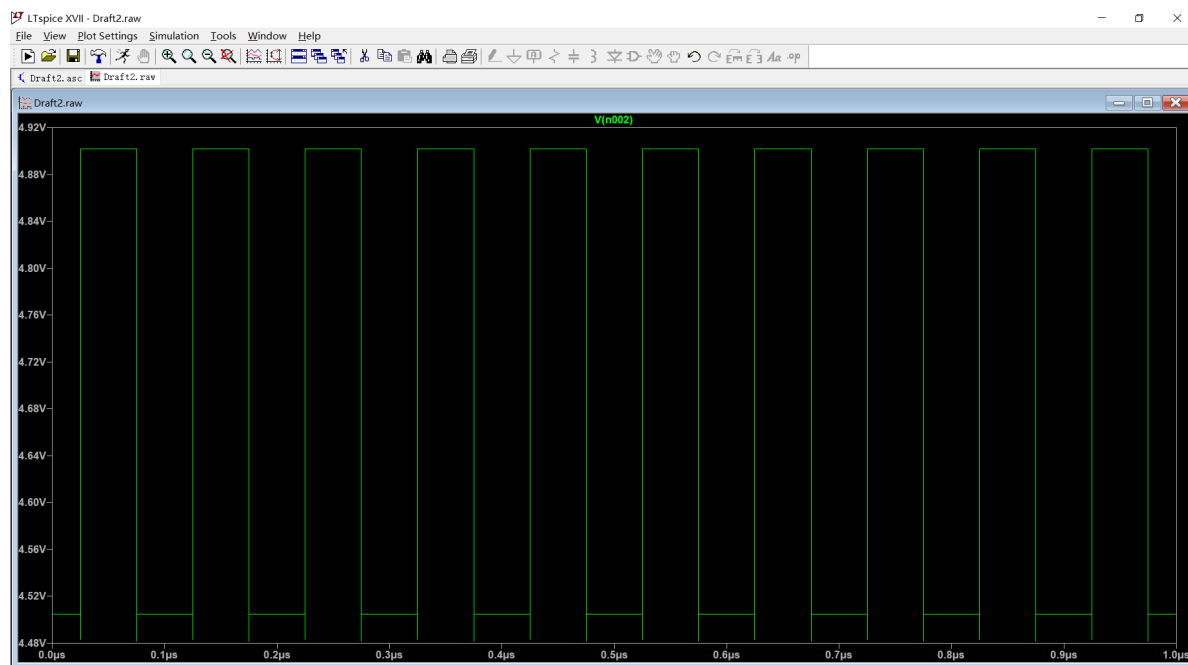
电源滤波电容仿真

无04 2019012137 张鸿琳

对于如下电路：



首先从理论层面分析：当 R_d 接入电路时，利用戴维南等效电路，可以得到A点的电压应为 $V_A = \frac{R_2 + R_d}{R_1 + R_2 + R_d} V_0 \times \frac{R_a}{R_1 // (R_2 + R_d) + R_a}$ ，当 R_d 分别取 R_{d1} 和 R_{d2} 时，可以得到 $V_{A1} \approx 4.902V$ ， $V_{A2} \approx 4.505V$ ，故其波形为起伏的方波，仿真结果如下：



与理论一致，此时A处电压起伏约为 $\Delta V_A \approx 0.397V$ ，此后加入电源滤波电容，使得电压起伏下降，首先分析可知电容具有通交流阻直流的作用，当其与后续电阻并联，就可以有效滤除电流中的交流成分，从而减少后续电阻的起伏。

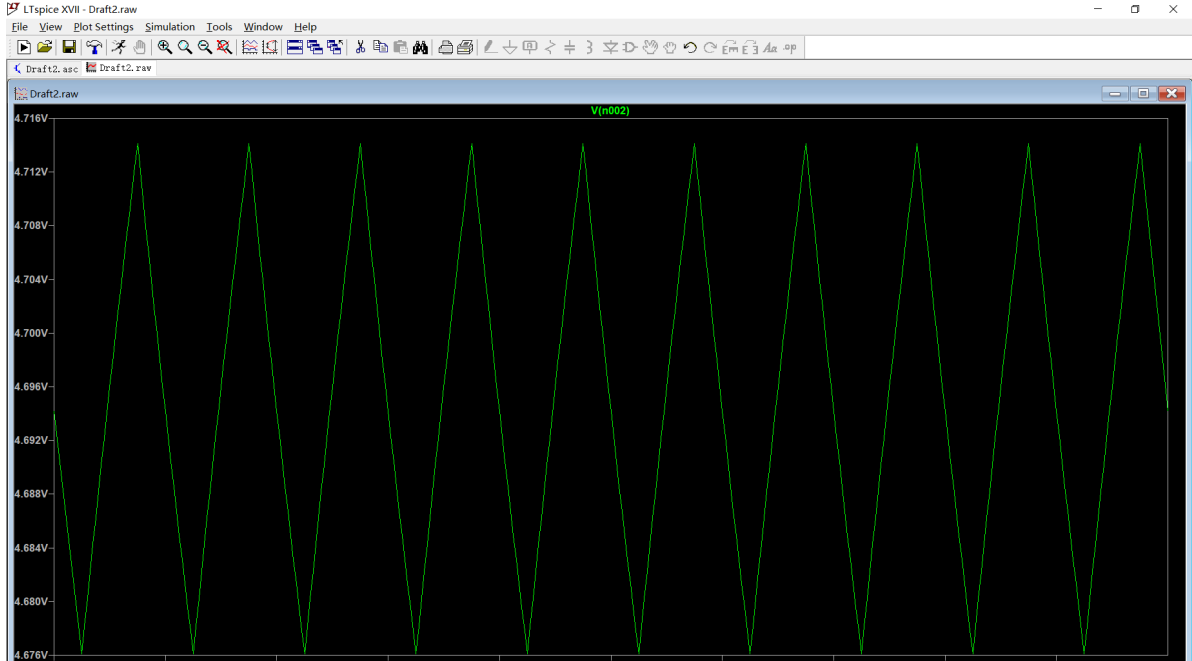
本质上还是电容不断充放电的过程，假设平衡时低位电压为 V_1 ，高位电压为 V_2 ，则充电过程为 $V_2 = V_{A1} + (V_1 - V_{A1}) \exp(-\frac{T}{2RC})$ ，而充电时 $R = R_1 // R_a // (R_2 + R_{d1}) \approx 9.804\Omega$ ，而放电时 $V_1 = V_{A2} + (V_2 - V_{A2}) \exp(-\frac{T}{2rC})$ ，而此处 $r = R_1 // R_a // (R_2 + R_{d1}) \approx 9.009\Omega$ ，由此可以解得：

$$V_{A1} + \exp(-\frac{T}{2rC})(V_{A2} - V_{A1} \exp(-\frac{T}{2RC}) - V_{A1})$$

$$V_2 = \frac{V_{A1} + \exp\left(-\frac{T}{2RC}\right)V_{A2} - \exp\left(-\frac{T}{2rC}\right)V_{A1}}{1 - \exp\left(-\frac{T}{2RC} - \frac{T}{2rC}\right)} \quad (1)$$

$$V_1 = \frac{V_{A2} + \exp\left(-\frac{T}{2rC}\right)V_{A1} - \exp\left(-\frac{T}{2RC} - \frac{T}{2rC}\right)V_{A1} - \exp\left(-\frac{T}{2rC}\right)V_{A2}}{1 - \exp\left(-\frac{T}{2RC} - \frac{T}{2rC}\right)} \quad (2)$$

由此得到 $\Delta V = V_2 - V_1 = \frac{1-A-B+AB}{1-AB}(V_{A1} - V_{A2})$ ，其中 $A = \exp\left(-\frac{T}{2RC}\right)$ ， $B = \exp\left(-\frac{T}{2rC}\right)$ ，所以为了使电压起伏变为原来的 $\frac{1}{10}$ ，只需令 $\frac{1-AB}{1-A-B+AB} \approx 10$ ，估算得到 $C \approx 27.68nF$ （将 R 和 r 都视为 9Ω 来计算），仿真得到如下结果：

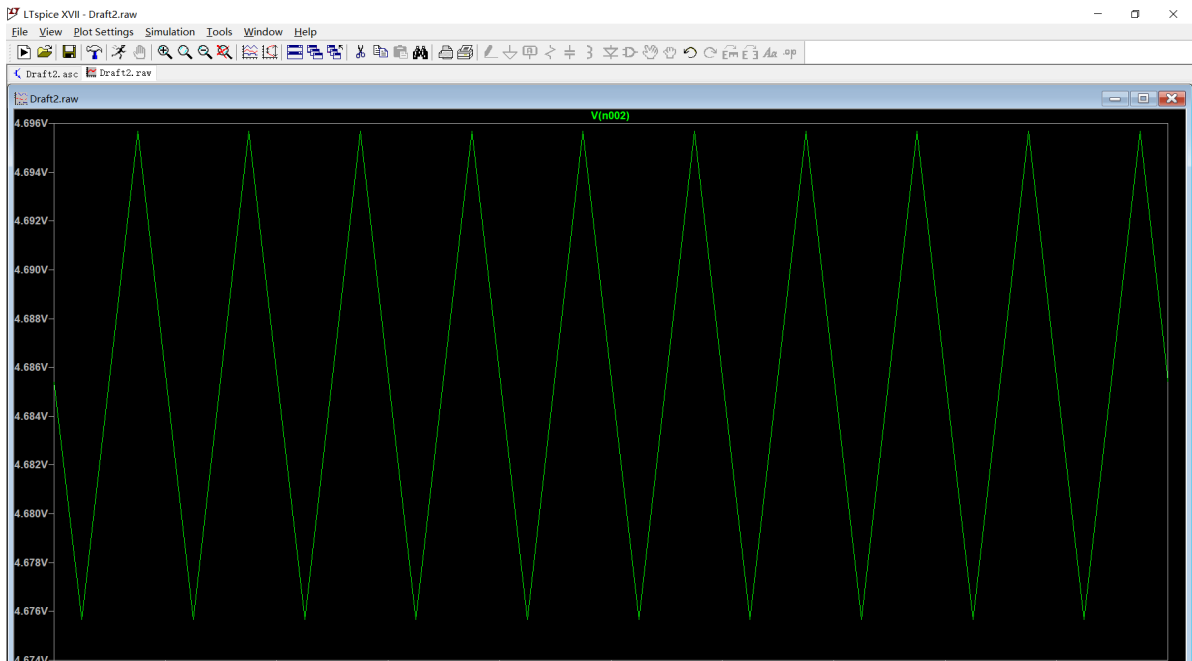


可见起伏电压变为 $\Delta V \approx 4.714 - 4.676 = 0.038V$ ，电压起伏确实变为了原来的 $\frac{1}{10}$ 。

下面再分几种情况进行讨论：

将电容放在位置B

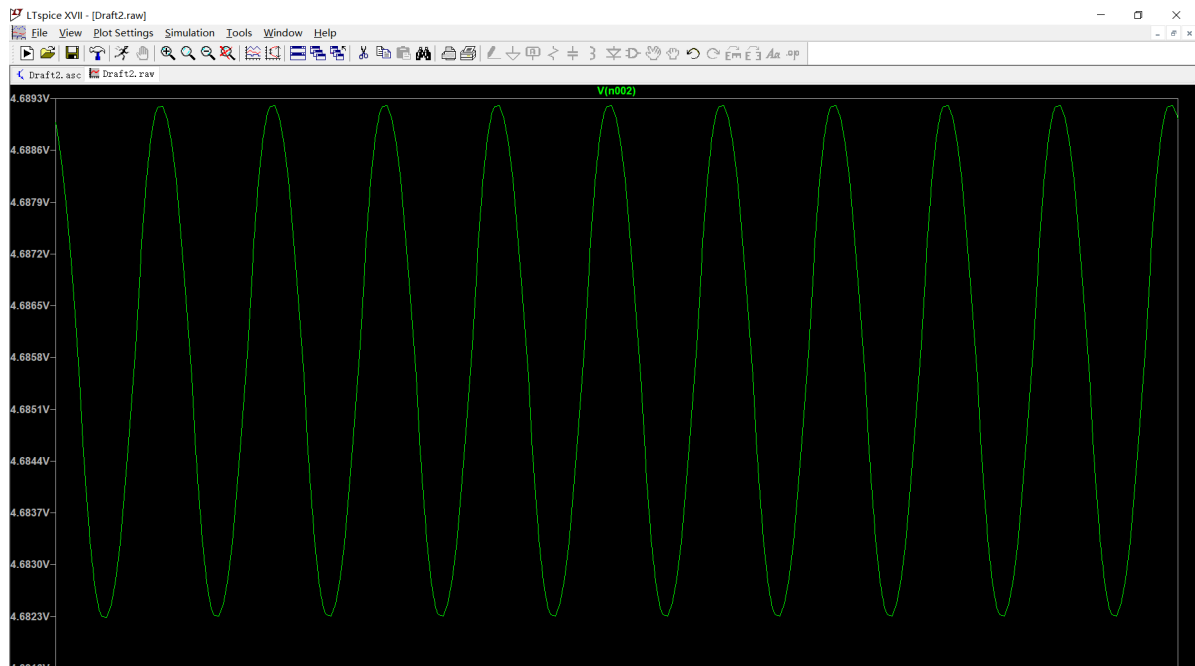
从理论角度分析，可知，上面推导公式中的 R 和 r 发生变化，此时 $r \approx 16.297\Omega$ ，而 $R \approx 20\Omega$ ，相当于 A 和 B 整体变大了，那么就会导致抑制作用更明显，仿真结果如下：



可以看到电压起伏变为 $\Delta V \approx 4.695 - 4.675 = 0.02V$ ， A 处电压起伏进一步减小了。

将电容拆分为两个，分别置于A、B处

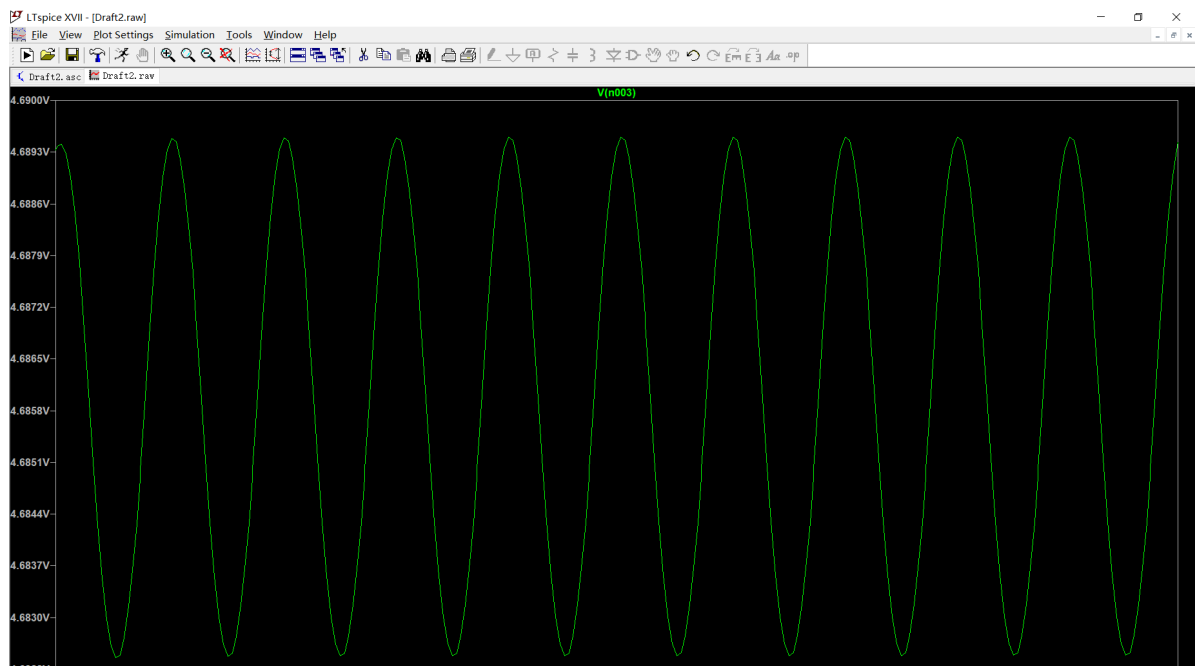
两个电容容值都取 $13.84nF$ ，为原电容的 $\frac{1}{2}$ ，仿真得到下面结果：



抑制电压起伏的效果相较之前有了进一步提升。

将电容拆分为三个，分别放在A、B和互导之间

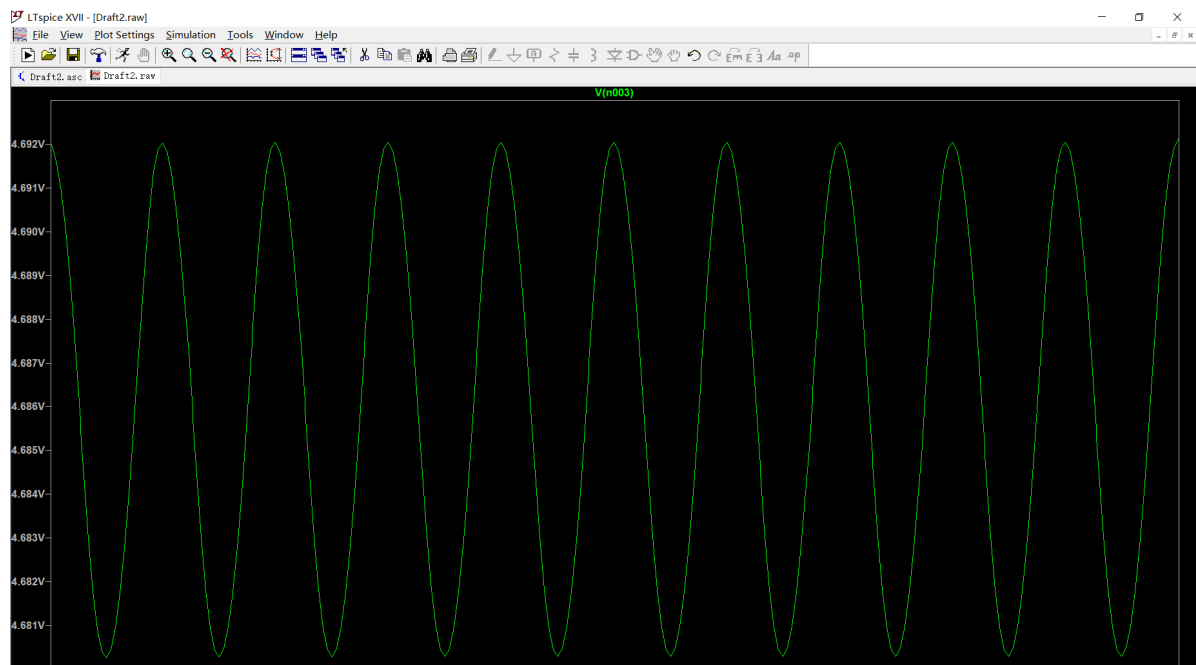
三个电容容值都取 $9.227nF$ ，分别置于相应位置，得到下面的结果：



与上面一种情况的抑制效果相仿。

将电容拆分为四个，分别放在A、B和互导、互阻之间

四个电容容值都取 $6.92nF$ ，置于相应位置后，得到下面结果：



相较于前面的两个结果，效果有所下降。

结论

综合上面的仿真结果和理论分析，可以该功能电路中的去耦电容置于靠近数字电路处，效果更好，如果能够拆分为一系列小电容进行去耦，那么效果会更好。

进一步分析，加入上面功能电路中的数字电路部分距离电源更近，那么在模拟电路的负载端，其等效戴维南电路的等效电压基本不变，而等效电阻的变化幅度为 $19 - 19.9\Omega$ ，而原来等效电阻的变化范围为 $9.09 - 9.9\Omega$ ，相比之下模拟电路的电压起伏减小了，从这个角度看，或许数字电路距离电源近了更好。