

Norton 负反馈放大器

BG6RDF

Norton 负反馈放大电路也称作共基极变压器反馈 Norton 放大器(Common Base Transformer Feedback Norton Amplifier)，该放大器是 David E. Norton 博士于 1975 年首次发表的，并取得了美国专利（该专利已过期）。该电路的主要特点是噪声低，因此也被称为“noiseless feedback amplifier”。我们在 ICOM 高中端机种中高放部分可看到该电路的身影。

本文参考专利文档和有关仿真对该电路进行分析。

一. 电路分析

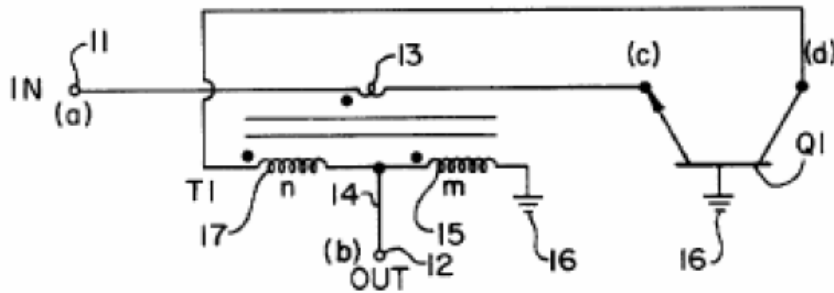


图 1：放大器电路

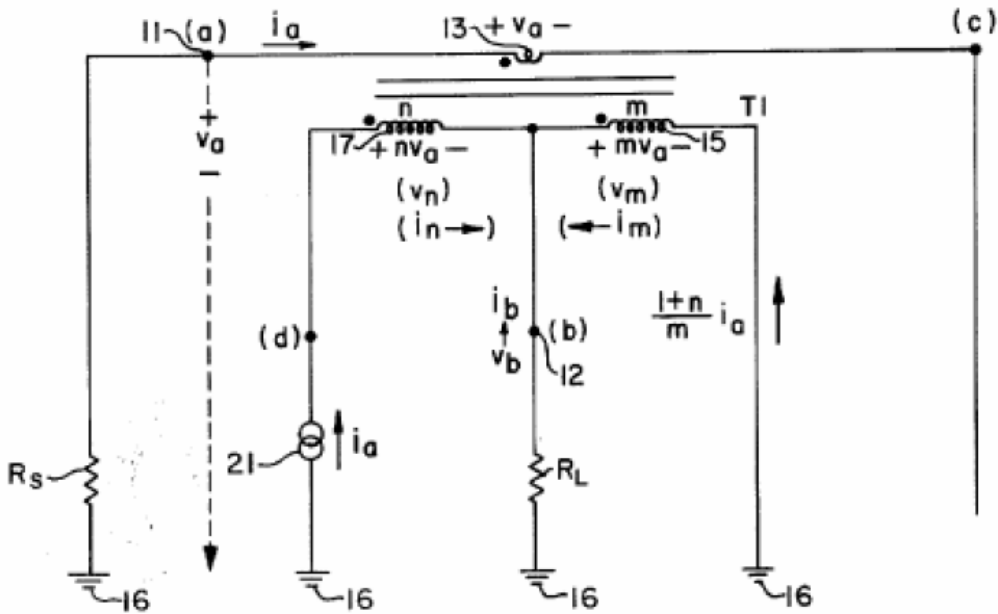


图 2：电路分析

该电路是一个由共基极接法的三极管放大器和一个变压器构成。该变压器有初级绕组和一个有抽头的次级绕组。初级绕组串接于输入端和三极管的发射极，三极管的基极和次级绕组的一端接地，另一端接集电极，次级抽头作为输出。次级抽头到地的匝数为 m ，抽头到集电极的匝数为 n ，初级匝数为 1。这里所说的匝数是指匝数的比值。我们根据图 2 对电路进行分析。

$$V_n = nV_a \quad (1)$$

$$V_m = mV_a \quad (2)$$

按照变压器功率恒定的原理有：

$$i_a + ni_n = mi_m \quad (3)$$

因为初级线圈电流和次级 n 匝绕组线圈电流相同，即：

$$i_a = i_n \quad (4)$$

将(4)代入(3)，得出：

$$i_m = \frac{1+n}{m} i_a \quad (5)$$

b 点的电压为：

$$V_b = V_m = mV_a \quad (6)$$

又因为：

$$i_b = -(i_n + i_m)$$

将(4)，(5)代入上式得到：

$$i_b = -\frac{m+n+1}{m} i_a \quad (7)$$

将(6)代入(7)有：

$$V_b i_b = -(m+n+1) i_a V_a \quad (8)$$

$$V_b / i_b = -\frac{m^2}{m+n+1} V_a / i_a \quad (9)$$

实际上：

$$V_b / i_b = -R_L \quad (10)$$

由(9)可得：

$$V_a / i_a = \frac{m+n+1}{m^2} R_L = R_{in} \quad (11)$$

$$V_b / i_b = \frac{m^2}{m+n+1} R_s = R_{out} \quad (12)$$

$$n = m^2 (R_s / R_L) - m - 1 \quad (13)$$

输入功率：

$$P_{in} = V_a i_a \quad (14)$$

输出功率：

$$P_{out} = V_b i_b = (m+n+1) P_{in} \quad (15)$$

匹配时功率增益：

$$P_{out} / P_{in} = G = m+n+1 = m^2 (R_s / R_L)$$

若输入阻抗和输出阻抗相等且匹配时，例如都是 50 欧姆，则有：

$$n = m^2 - m - 1$$

下面是这种情况下常用的变压器绕组表：

匝数比 1:n:m	功率增益(dB)
1:1:2	6.0
1:5:3	9.5
1:11:4	12.0
1:19:5	14.0

表 1：常用变压器绕组表

二. 电路仿真

根据上述分析设计了如下电路：

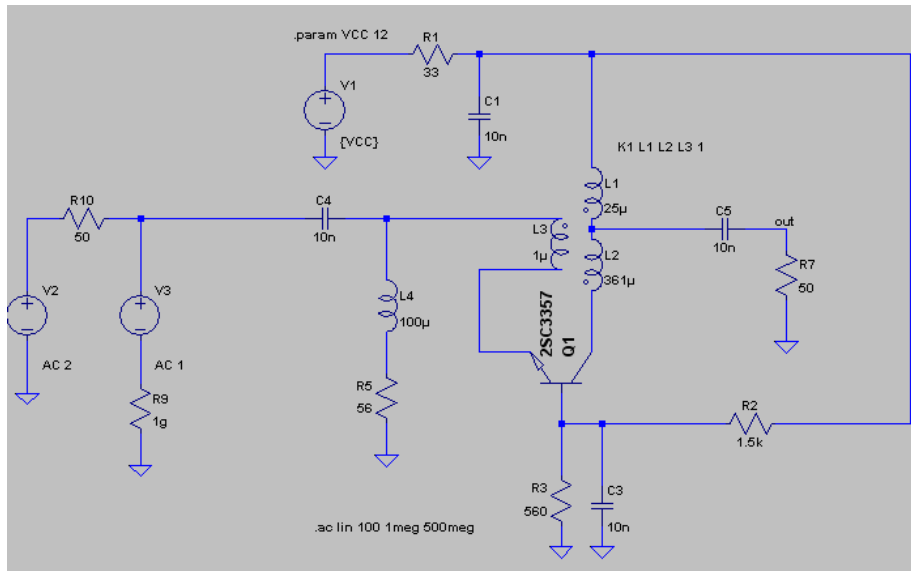


图 3：电路实例

图中 V3 是用于计算 S11，图中匝数是用电感量标识的(电感量的比等于匝数比的平方)，实际匝数比是 1:5:19。下面是仿真情况：

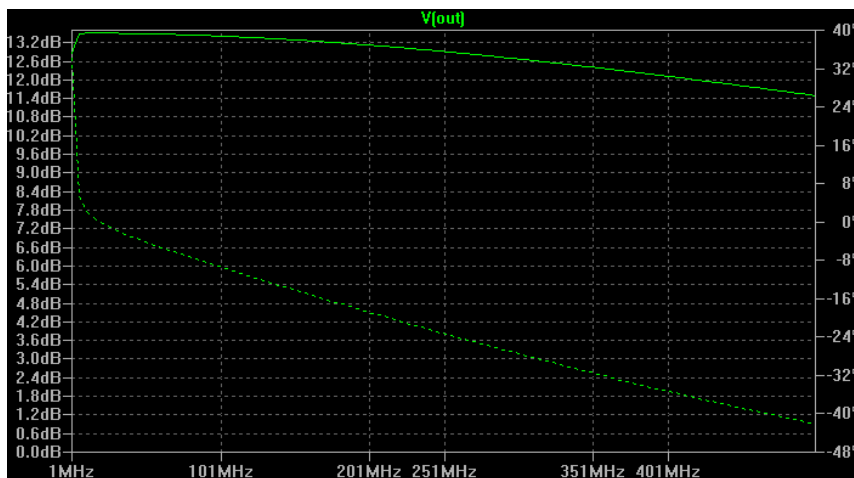


图 4：S21 增益曲线

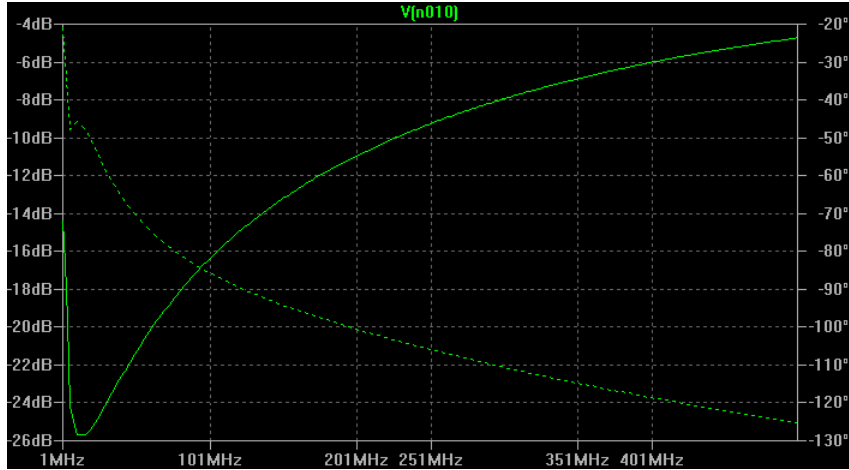


图 5: S11 回损曲线

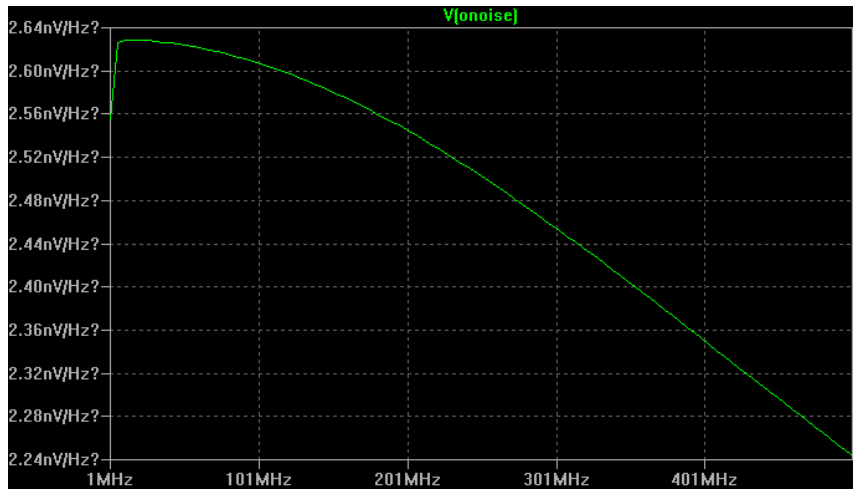


图 6: 噪声曲线(Y 轴单位 nV / \sqrt{Hz})

为换算成噪声系数 NF, 用下列公式:

$$e_{N(RF)} = 10^{\left(\frac{G_{RF} + NF_{RF}}{20}\right)} \cdot e_{N(50)} \cdot 0.5 \left(\frac{nV}{\sqrt{Hz}}\right)$$

上式中 G_{RF} 是增益, NF_{RF} 是噪声系数, $e_{N(50)}$ 是 50 欧系统的噪声密度(27 摄氏度下为

$$0.91nV_{RMS} / \sqrt{Hz})$$

根据图 6, 按照上式计算, 该放大器的噪声系数约为 1.8dB 左右。对于反馈放大电路而言, 非常低。

另外从模拟曲线可以看出 500MHz 以内增益曲线非常平坦, 200MHz 以内回损在-10dB 以下, 可以接受。