

用5G7556-CMOS双时基电路产生 对称方波的研究

王少雄

(精密机械工程系)

摘 要

本文研究用5G7556-CMOS双时基电路产生对称方波的条件和实验调整方法。

关键词 振荡, 对称方波, 时基电路

一、前 言

集成时基电路也称集成定时电路,它广泛应用于微型计算机、电子控制、电子检测、电子乐器、电子报警、电子定时、信号产生及调制等方面。5G7556时基电路是在一块硅片上集成两个相同的定时器的双时基电路。由于采用CMOS结构工艺制作,使其具有集成度高、功耗低、输入电流小,能在电源电压低情况下工作等优点。当5G7556电路用以构成无稳态多谐振荡器时,其输出为方波。本文研究使该方波对称的条件及其实验调整方法。

二、充放电等时条件的推导

在本文讨论的方波发生器中,RC充放电电路决定方波的振荡周期。将指出:该电路输出方波高电平的时间,等于电容充电时间;输出方波低电平的时间,等于电容放电时间。因此,要使输出方波对称,则要求电容充电时间应等于其放电时间。下面先讨论充电时间和放电时间长短与什么因素有关,然后再推导充放电等时条件。

图1为周期充放电电容器电压波形, E 为电源电动势,充电时间常数为 τ_1 ,充电时电容器最高电压为 mE ,充电时间为 t_1 ,放电时间常数为 τ_2 ,放电时电容器最低电压为 nE ,放电时间为 t_2 。

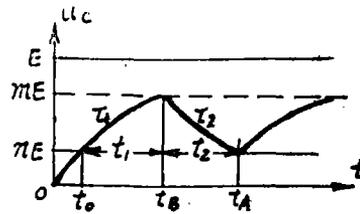


图 1

本文1987年6月12日收到。

由放电转为充电瞬间, 电容电压 $U_c(t_0) = nE$ 。充电过程电容电压随时间变化规律为

$$U_c(t) = (nE - E)e^{-(t_B - t_0)/\tau_1} + E,$$

充电结束时 $t = t_B$, $U_c(t_B) = mE$, 代入可得

$$mE = (nE - E)e^{-(t_B - t_0)/\tau_1} + E,$$

解得

$$t_1 = t_B - t_0 = \tau_1 \ln \frac{(1-n)E}{(1-m)E} = \tau_1 \ln \frac{1-n}{1-m}. \quad (1)$$

由充电转为放电瞬间, 电容电压 $U_c(t_B) = mE$, 放电过程电容电压随时间变化规律为

$$U_c(t) = mEe^{-(t_A - t_B)/\tau_2},$$

放电结束时 $t = t_A$, $U_c(t_A) = nE$, 代入可得

$$nE = mEe^{-(t_A - t_B)/\tau_2},$$

解得

$$t_2 = t_A - t_B = \tau_2 \ln(m/n). \quad (2)$$

则充放电时间比

$$\frac{t_1}{t_2} = \frac{\tau_1 \ln[(1-n)/(1-m)]}{\tau_2 \ln(m/n)}, \quad (3)$$

充放电时间相等条件, 即 $t_1 = t_2$ 的条件, 为

$$\tau_1 \ln[(1-n)/(1-m)] = \tau_2 \ln(m/n). \quad (4)$$

下面讨论两种特殊情况:

(1) 设 $\tau_1 = \tau_2$ 即充电时间常数等于放电时间常数, 那么 m 、 n 应满足什么关系才能使充电时间 t_1 等于放电时间 t_2 呢?

令 $\tau_1 = \tau_2$ 代入式(4)得

$$\ln[(1-n)/(1-m)] = \ln(m/n),$$

即

$$n(1-n) = m(1-m), \quad m^2 - n^2 = m - n,$$

解得

$$m + n = 1. \quad (5)$$

结论: 对于充放电时间常数相等的电路, 充电时间等于放电时间的条件是: 电容充电的最高电压 mE 和电容放电的最低电压 nE 之和等于电源电压 E 。

(2) 设 $m + n = 1$ 的条件能满足, 但 $\tau_1 \neq \tau_2$, 求充放电时间比。由式(3)得

$$\frac{t_1}{t_2} = \frac{\tau_1 \ln[(1-n)/(1-m)]}{\tau_2 \ln(m/n)} = \frac{\tau_1}{\tau_2}. \quad (6)$$

结论: 对周期充放电电路, 当电容器最高电压与最低电压之和等于电源电压时, 充放电时间比等于充放电电路时间常数比。

三、用5G7556双时基电路产生方波振荡器的原理

图2为5G7556电路内部半部分等效功能方框图。内部电路中的R-S触发器是由两个“或非”门组成的, 为高电平触发, 其真值表如图3所示。

图4为5G7556双时基电路引出脚排列图

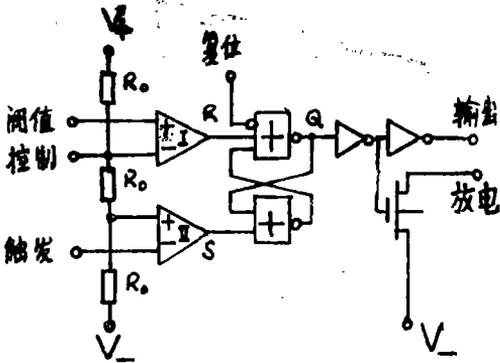


图2 1/25G7556内部等效功能方框图

R	S	Q
1	0	0
0	1	1
1	1	不定
0	0	不变

图3 真值表

用5G7556双时基电路的半部分接成图5所示电路,即可产生方波。下面叙述产生方波的工作原理。

(1) 当接通电源、定时电容器C两端的电压 V_c 为零。对于运算放大器I,其同相输入端电位 $V_{I+} = V_c = 0$,而其反相输入端电位,从内部分压电路可知, $V_{I-} = (2/3)V_D$,故运算放大器I输出为低电平,即 $R = 0$ 。而对于运算放大器II, $V_{II+} = (1/3)V_D$, $V_{II-} = V_c = 0$,故该运放输出高电平,即 $S = 1$ 。由真值表可知,触发器输出 $Q = 1$ 。通过反相放大器,场效应管T的栅极G处于低电位,管子截止。电源 V_D 通过 $R = R_1 + R_2$ 按时间常数 $\tau_1 = RC = (R_1 + R_2)C$,给电容C充电。 V_c 由零上升。电路输出端5与G之间接反相放大器,故5点输出高电平。

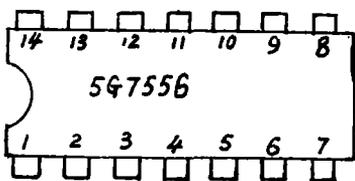


图4 引出脚排列图

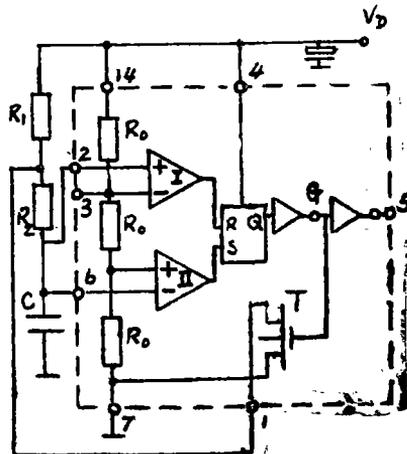


图5 方波发生器

(2) $(2/3)V_D > V_c > (1/3)V_D$ 。因为 $V_{I+} = V_{II-} = V_c$, $V_{I-} = (2/3)V_D$, $V_{II+} = (1/3)V_D$,所以运放I输出低电平, $R = 0$;而运放II输出也为低电平, $S = 0$ 。由真值表可知R-S触发器不变, $Q = 1$ 。场效应管T仍截止,电容器继续充电, V_c 继续上升,电路输出端5仍为高电平。

(3) $V_c > (2/3)V_D$ 。因为 $V_{I+} = V_{II-} = V_c$, $V_{I-} = (2/3)V_D$, $V_{II+} = (1/3)V_D$,所以运放I输出高电平, $R = 1$;运放II输出低电平, $S = 0$ 。由真值表知 $Q = 0$,通过反相放大器,场效

应管 T 的栅极 G 处于高电位,管子导通。电容 C 放电,放电通路为 $C \rightarrow R_2 \rightarrow T \rightarrow \text{地} \rightarrow C$,放电时间常数 $\tau_2 = R_2 C$ 。由于 G 为高电平,则电路输出端5输出低电平,电容电压 V_c 下降。

(4) $(2/3)V_D > V_c > (1/3)V_D$ 。与节三(2)分析的情况类似, $R = 0, S = 0$, R-S触发器输出不变, $Q = 0$ 即R-S触发器保持节三(3)情况的输出(节三(2)情况中R-S触发器输出不变是保 $Q = 1$ 状态)。电容器继续放电, V_c 继续下降,电路输出端5输出低电平。

(5) $V_c < (1/3)V_D$ 。与节三(1)分析的情况相同, $V_{I+} = V_{II-} = V_c, V_{I-} = (2/3)V_D, V_{II+} = (1/3)V_D$,运放I输出低电平 $R = 0$,运放II输出高电平 $S = 1$ 。由真值表知,触发器输出 $Q = 1$ 。 G 点为低电位,场效应管 T 截止,电容器 C 充电,电压上升,充电时间常数 $\tau_1 = RC = (R_1 + R_2)C$,电路输出端5输出高电平。

电容器的充放电过程周而复始。 V_c 低于 $(1/3)V_D$ 时,电容由放电状态转为充电状态,5点输出高电平; V_c 高于 $(2/3)V_D$ 时,电容器由充电状态转为放电状态,5点输出低电平。电容器的电压在 $(1/3)V_D$ 到 $(2/3)V_D$ 之间变化,5点输出方波。电容器的电压 V_c 和输出端电压 V_5 的波形如图6所示。从图中也可以看出,充电时间 t_1 即方波高电平时间,而放电时间 t_2 即方波低电平时间。多谐振荡器的周期

$$T = t_1 + t_2 = \tau_1 \ln[(1-n)/(1-m)] + \tau_2 \ln(m/n). \quad (7)$$

在图5电路中,充电时电容器最高电压为 $(2/3)V_D$,故 $m = 2/3$;放电时电容器最低电压为 $(1/3)V_D$,故 $n = 1/3$ 。把 $m、n$ 数值代入式(7)得

$$T = \tau_1 \ln 2 + \tau_2 \ln 2 = 0.693(\tau_1 + \tau_2).$$

当电路元件参数选择得使 $R_2 \gg R_1$ 则 $\tau_1 = (R_1 + R_2)C \approx R_2 C = \tau_2$,即充放电时间常数近似相等。再考虑到 $m = 2/3, n = 1/3, m + n = 1$,把它们代入式(1)、(2),可以看出 $t_1 = t_2$,也就是说,充放电时间相等,与之对应的是电路输出的方波是对称的。

$m = 2/3, n = 1/3$ 的条件的实质是要求构成基准电压分压器的三只 R_0 电阻阻值必需相等。但从输出对称方波的条件考虑,只要 $m + n = 1$ 条件满足即可,并不一定要求 $m = 2/3, n = 1/3$ 。例如分压器的这三只电阻,只要电路中与14端相连的上电阻 R_0 严格等于与7端相连的下电阻 R_0 ,而这两个电阻不一定严格等于中间的那只电阻,即 m 不一定等于 $2/3, n$ 不一定等于 $1/3$,但 $m + n = 1$,此时电路仍能输出对称方波。

四、实验调整

用图5电路产生方波,一方面由于集成电路内部分压器精度不够,不能保证三个分压电阻等值,另一方面电路的充电和放电时间常数只是近似相等,因此输出方波很难保证对称,必需通过实验调整,调整的方法是在集成电路7脚到地之间或14脚到正电源之间串接一个补

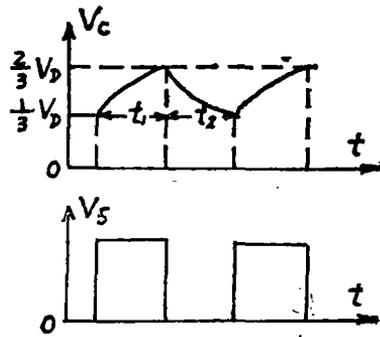


图6 电容电压与输出方波时间关系图

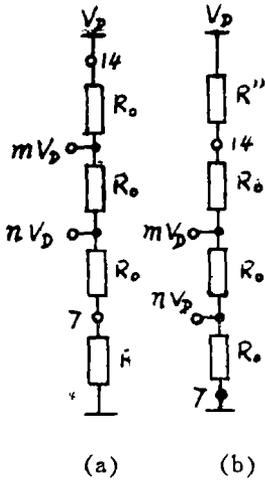


图 7 补偿电路

补偿电阻，下面分析补偿电阻的接入对充电时间和放电时间比的影响。

式 (3) 给出充放电时间比，补偿电阻的引入，改变了分压系数 m, n ，从而改变充放电时间比。

(1) 在 7 脚到地之间接入补偿电阻 R' ，如图 7(a) 所示，则分压系数 $m = (2R_0 + R') / (3R_0 + R')$ ， $n = (R_0 + R') / (3R_0 + R')$ ，代入式 (3) 得

$$\frac{t_1}{t_2} = \frac{\tau_1}{\tau_2} \cdot \frac{\ln[(2R_0)/R_0]}{\ln[(2R_0 + R')/(R_0 + R')]} = \frac{\tau_1}{\tau_2} \cdot \frac{\ln 2}{\ln[1 + (R_0/(R_0 + R'))]}$$

可见 R' 的接入使得充放电时间比变大。

(2) 在 14 脚到正电源之间接入补偿电阻 R'' ，如图 7(b) 所示。则分压系数 $m = 2R_0 / (3R_0 + R'')$ ， $n = R_0 / (3R_0 + R'')$ 代入式 (3) 得

$$\frac{t_1}{t_2} = \frac{\tau_1}{\tau_2} \cdot \frac{\ln[(2R_0 + R'')/(R_0 + R'')]}{\ln(2R_0/R_0)} = \frac{\tau_1}{\tau_2} \cdot \frac{\ln[1 + (R_0/(R_0 + R''))]}{\ln 2}$$

可见 R'' 的接入使得充放电时间比变小。

输出方波的不对称对应于电路充电时间与放电时间不等。因此，补偿电阻的接入，改变了充放电时间比，从而可以调整输出方波的对称性。在补偿电阻接入之前，先用示波器观察电容器电压的波形，当波形表明充电时间长于放电时间，则补偿电阻 R'' 应接在集成电路 14 脚到正电源之间；当波形显示充电时间短于放电时间，则补偿电阻 R' 应接在集成电路 7 脚与地之间。调整补偿电阻 (R' 或 R'') 的数值，使得充电时间等于放电时间。最后在输出端 5 上接示波器，观察对称的输出方波。

参 考 文 献

- (1) 谈文心、刘本鸿编，运放及模拟集成电路，国防工业出版社，(1986)。
- (2) Triebel, W. A., *Integrated Digital Electronics*, Prantice-Hall Inc., (1982)。

Study on Symmetrical Square Wave Generated by Using 5G7556-CMOS Timer Circuit

Wang Shaoxiang

Abstract

This paper studies the conditions for generating symmetrical square wave by using 5G7556-CMOS timer integrated circuit as well as their experimental and adjustment methods.

Key words oscillation, symmetrical square wave, timer circuit