

一、任务和组成

任务：产生大功率特定调制的射频调制信号。

这里说的特定调制，主要包括：振幅调制、频率调制和相位调制。

1、振幅调制

(1) 连续波信号

(2) 脉冲信号

2、频率调制

(1) 固定载频

(2) 频率分集

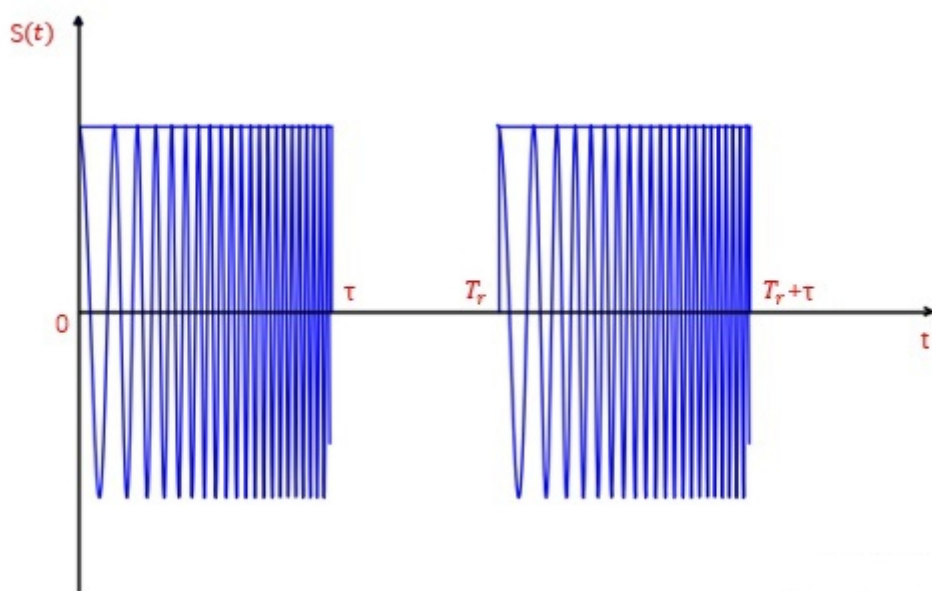
(3) 频率编码：脉宽分几段，每一段频率有所不同。

(4) 线性调频：(LFM, chirp) 在信号脉宽内，频率随时间线性增加或减少。

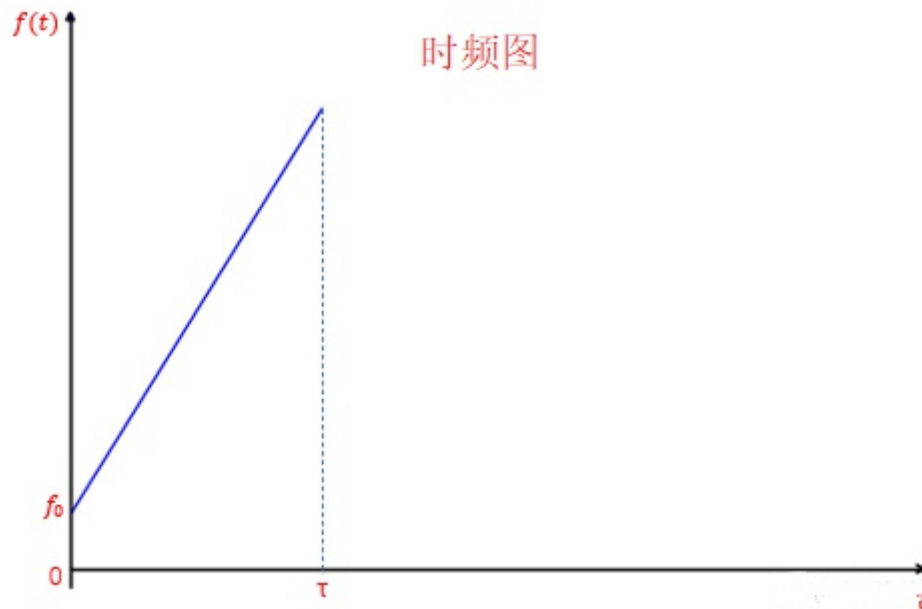
线性调频信号：

$$s_t(t) = A\cos(2\pi f_0 t + \pi\mu t^2 + \phi)$$

时域波形：



时频分布图：

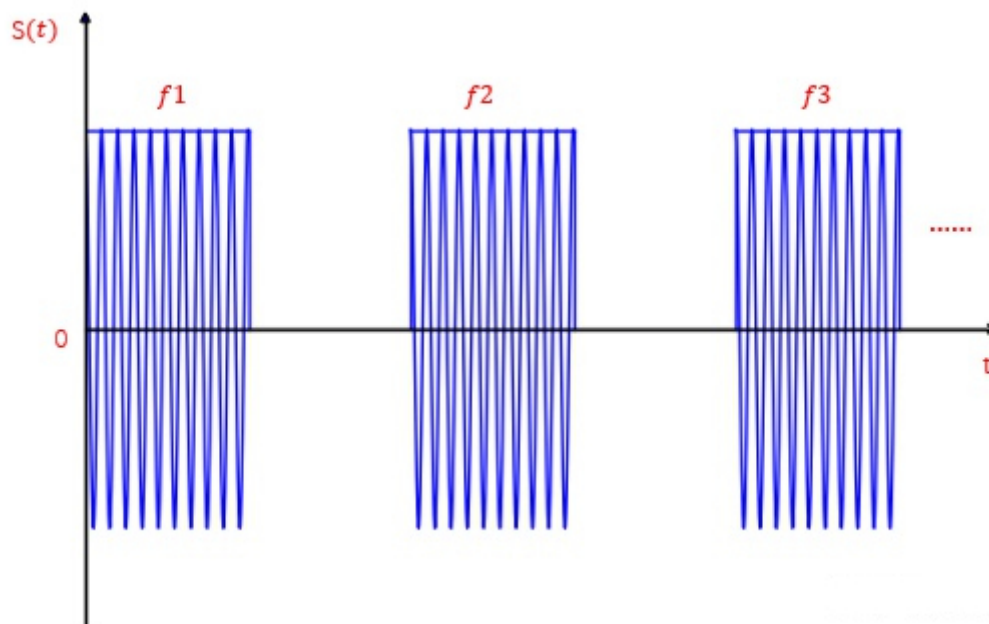


时频分布图，横轴为时间，可以给出信号每个频谱分量出现的时间段。时频分析的方法主要有：短时傅立叶变换，小波分析等。而傅立叶变换，横轴为频率，只能给出时域信号有哪些频谱分量及每个频谱分量的大小，并不能说明各个频率出现的时刻。

线性调频信号，是脉冲体制雷达的很重要的一种信号形式。雷达在接收时，可以通过特定的信号处理方法，把脉冲压缩成比较窄的形式，来解决距离分辨率和发射信号功率的矛盾。

(5) 频率捷变

每个脉冲频率不同，是一种有效的抗干扰手段。



发射信号每个脉冲频率是不一样的。雷达接收机有一定的通带范围，如果干扰机发射的干扰信号频率不在此通带范围，就不能进入雷达接收机，达到干扰的目的。所以干扰机想要干扰雷达，首先要测量雷达发射信号的频率。

3、相位调制

(1) 随机相位

每个脉冲前沿时刻的相位是**随机变化**的。单级振荡式发射机。

(2) 相位相参

脉冲之间具有固定的相位关系(时间轴上任意两点相位是有互相联系的, 可以通过一个相位算出另外一个相位)。主振放大式发射机。

(3) 相位编码

一个脉宽分成几个子段, 每一段的初始相位不同。和线性调频信号一样, 都是脉冲压缩体制雷达的典型信号形式。主要是为了解决距离分辨率和发射信号功率的矛盾。

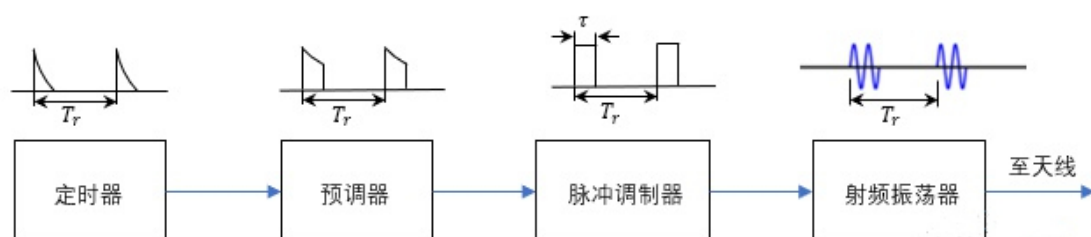
频率对时间的积分就是相位, 相位对时间求导就是频率。也就是说频率和相位其实是相互联系的。

二、分类和组成

1、单级振荡式发射机

非相参系统

大功率电磁振荡产生与调制同时完成。



预调器: 产生有一定脉宽的信号, 但是相邻的间隔还是 T_r

脉冲调制器: 包络串信号

射频振荡器: 产生振荡信号, 频率是一定的, 前沿的初始相位跟调制的这一时刻, 它时间上的随机噪声有关系, 噪声是随机变量, 所以相位也是随机的。

所以单级振荡式可以满足简单的测距要求, 无法测速和测多普勒频率

2、主振放大式发射机

全相参系统

主振放大式名称由来: 主控振荡器 + 射频放大链。

先产生小功率连续波信号, 再分多级进行调制放大。

- 定时器
- 固体微波源: 产生连续波信号
- 中间放大器, 输出功率放大器
- 脉冲调制器: 产生脉冲串

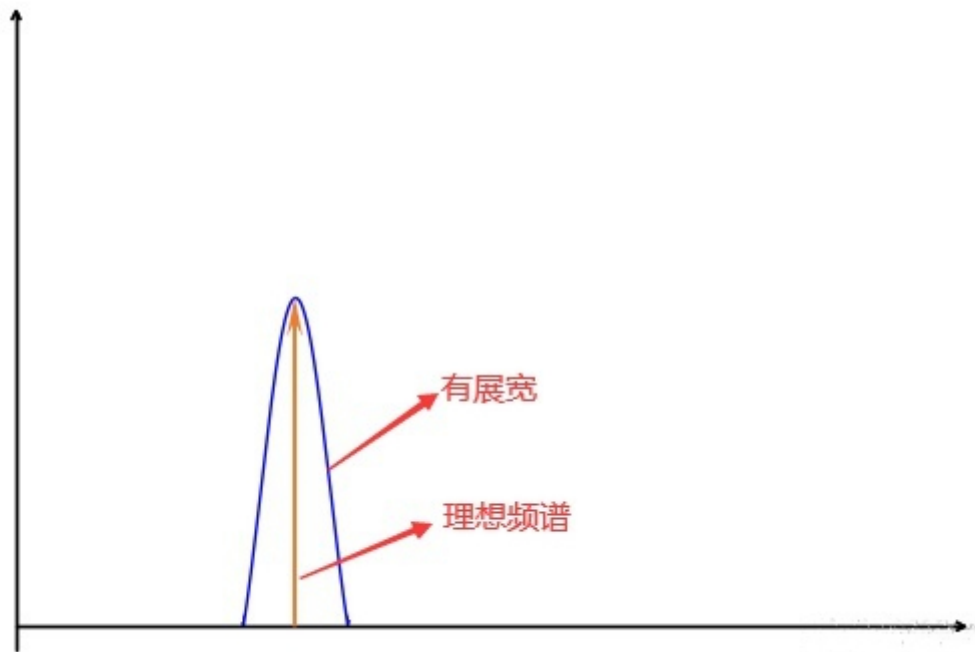
主振放大式特点:

(1) 具有很高的频率稳定度

理想情况下发射信号表达式:

$$s_t(t) = A\cos(2\pi f_0 t + \phi_0)$$

频率稳定度越高，周期越均匀，该信号频谱越接近 delta 函数形式。如果信号频谱有展宽，(周期一会疏一会密)说明其频率稳定度低。

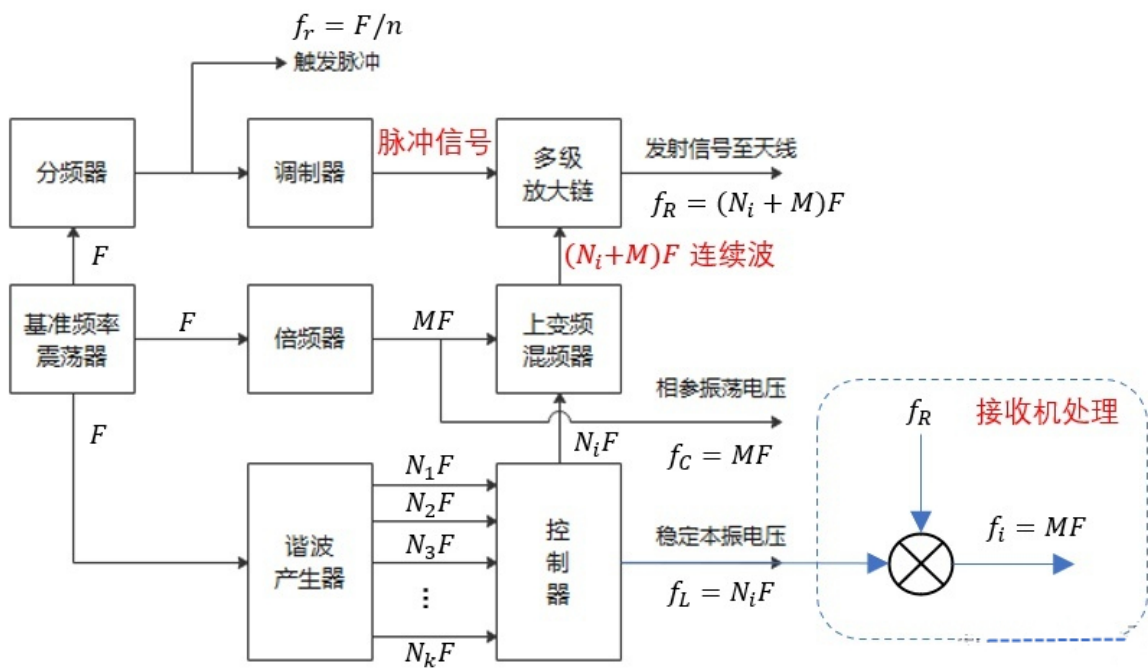


(2) 发射相位相参信号

所谓相位相参性，是指两个发射信号的相位之间存在确定的关系。在要求发射相位相参信号的雷达系统中，必须采用主振放大式发射机。

(3) 适用于频率捷变雷达

频率捷变雷达每个射频脉冲的载频可以在一定频带内快速跳变，为了保证接收机能正确接收回波信号，要求接收机本振电压的频率 f_L 能与发射信号的载频 f_R 同步跳变。



图中的 $f_r = \frac{1}{T_r}$ ，其中 T_r 为脉冲重复周期， f_r 为脉冲重复频率 $f_r = PRF = \frac{F}{n}$ 分频是因为频率小，倍频的话频率太大了。

多级放大链输出的信号就是射频信号，即脉冲信号与 $(N_i + M)F$ 相乘后得到的频率捷变，在不同的时间段产生不同频率的包络脉冲串，达到抗干扰的目的。

图上右下角 f_i 代表中频信号，相当于射频信号减去本振电压，达到混频的效果，就可以把射频降到中频。

如果雷达系统的发射信号、本振电压、相参振荡电压和定时器的触发脉冲均由同一基准信号提供，那么所有这些信号之间均保持相位相参性，通常把这种系统称为全相参系统。

(4) 能产生复杂调制波形

对于主振放大式发射机，各种复杂调制可以在低电平的波形发生器中形成，而后接的大功率放大级只要有足够的增益和带宽即可。

三、主要质量指标

1、工作频率（射频 也就是载波频率）

频率与器件有关。

频率与功率有关，频率越高功率越低。

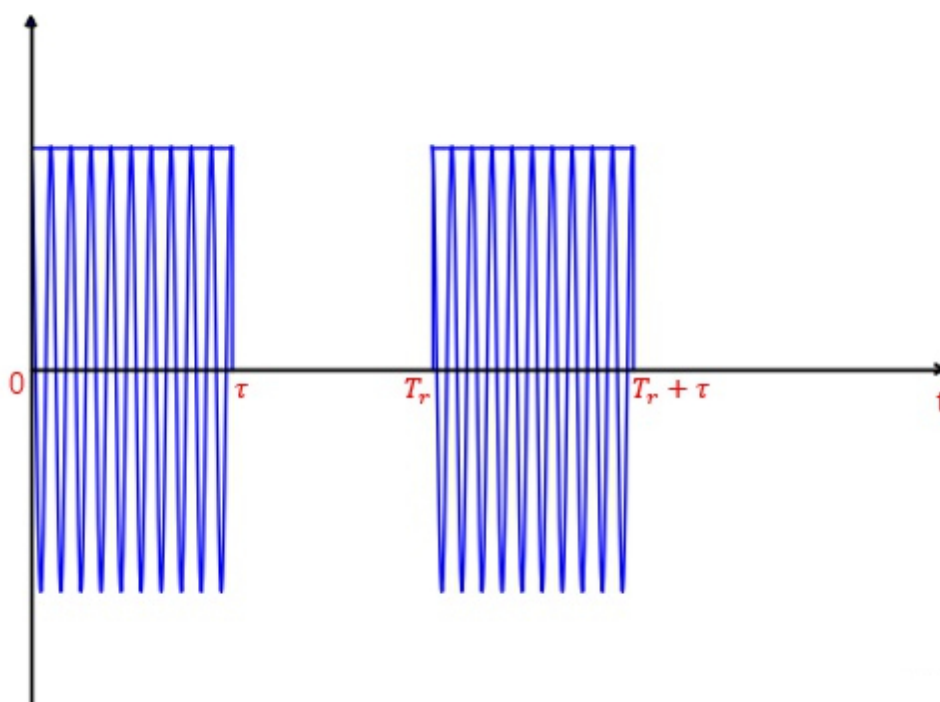
2、输出功率

平均功率 P_{av} ： T_r 内的平均功率。

峰值功率 P_t ： τ 内的平均功率。

$$P_{av} = P_t \frac{\tau}{T_r} = P_t D$$

其中，D：工作比。



3、总效率

发射机输出功率与它的输入总功率之比。

$$\eta = \frac{P_{av}}{P_s}$$

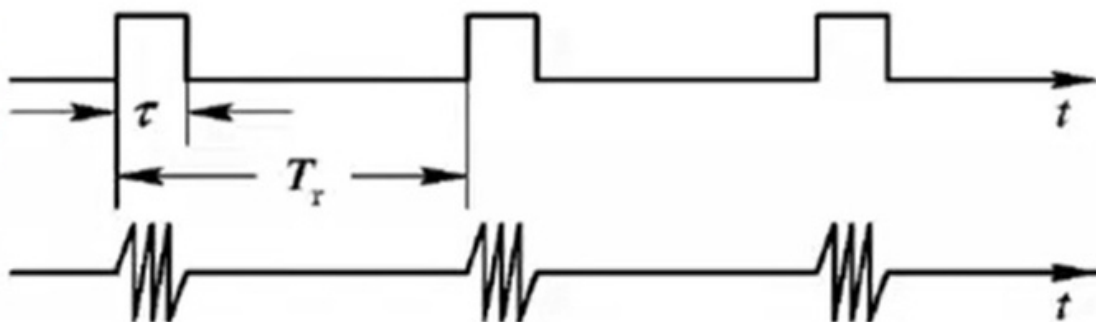
4、信号形式

常见的几种信号形式：

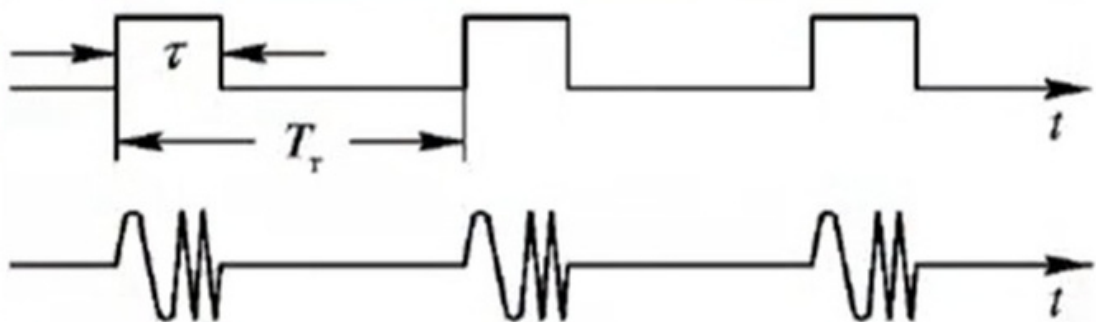
波形	调制类型	工作比%
简单脉冲	矩形振幅调制	0.01~1
脉冲压缩	线性调频	0.1~10
	脉内相位编码	0.1~10
调频连续波	线性调频	100

前三种信号对应的时域波形：

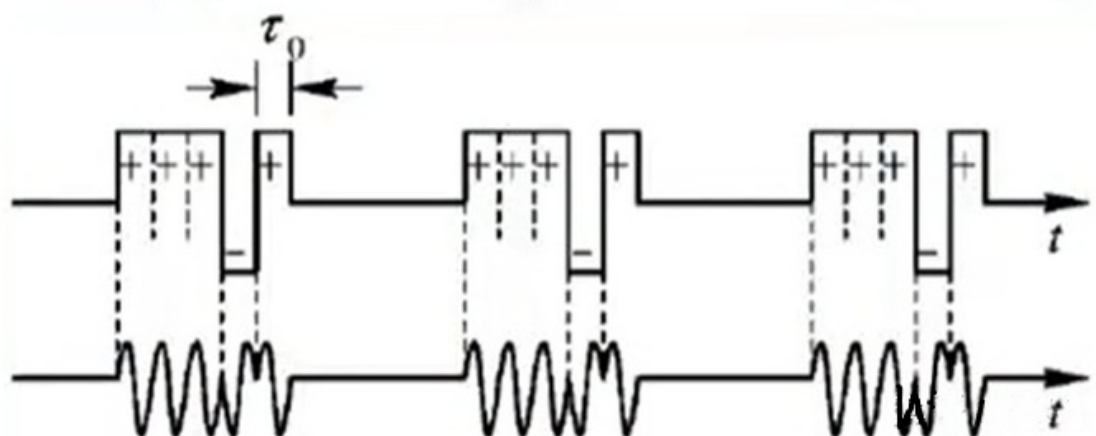
简单脉冲



线性调频

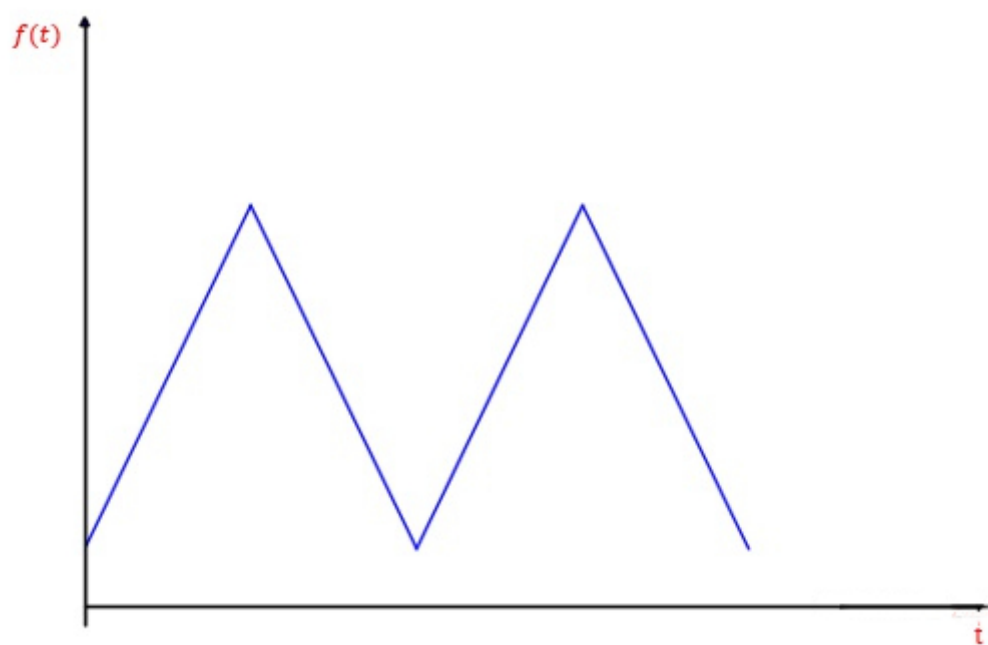


脉内相位编码

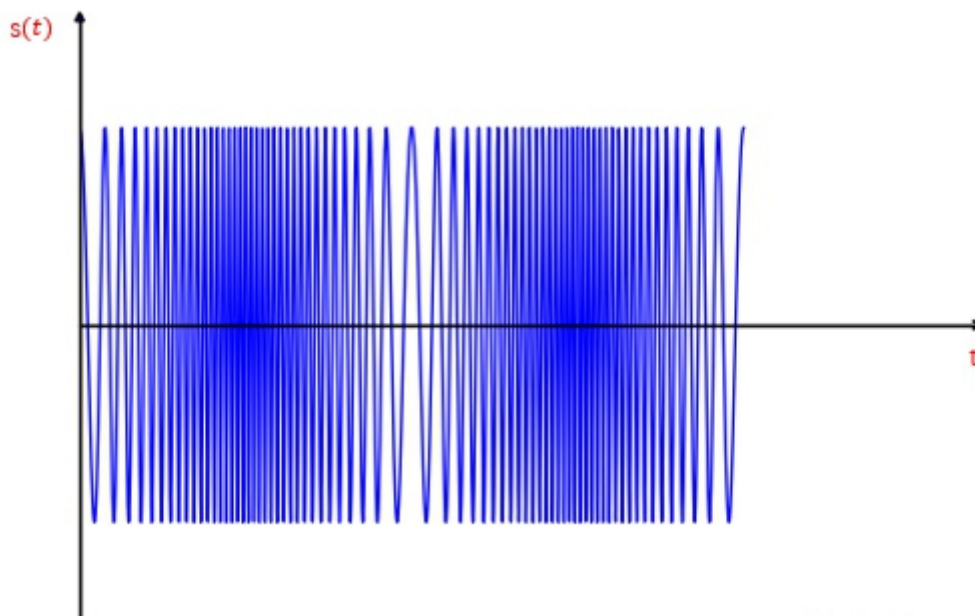


对于调频连续波

时频分布图：



时域波形：



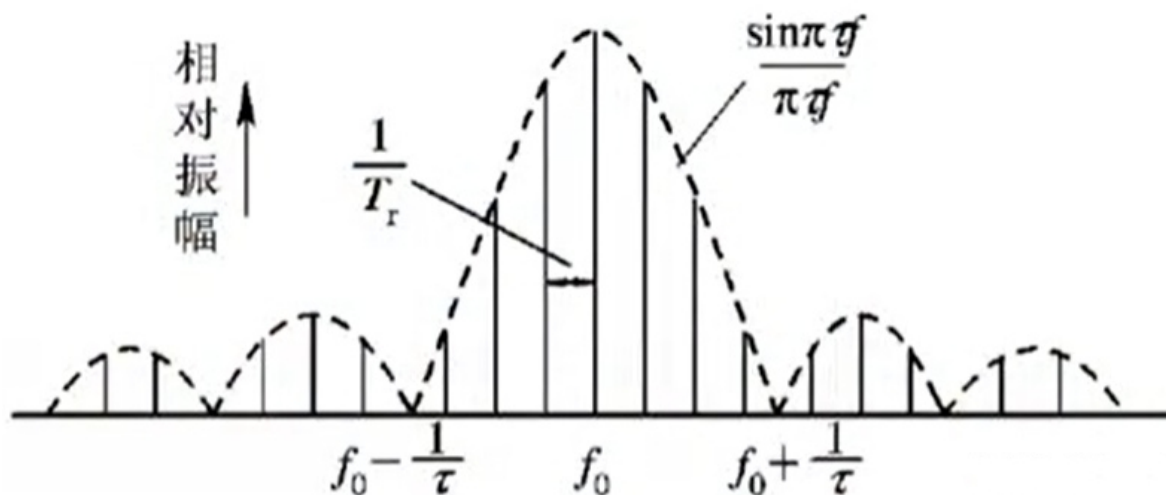
5、信号的稳定度和频谱纯度

信号的稳定度是指信号的各项参数，例如信号的振幅、频率（或相位）、脉冲宽度及脉冲重复频率等是否随时间作不应有的变化。

在**时间域**，可用信号某项参数的方差来表示，例如信号的振幅方差、相位方差、定时方差及脉冲宽度方差等。

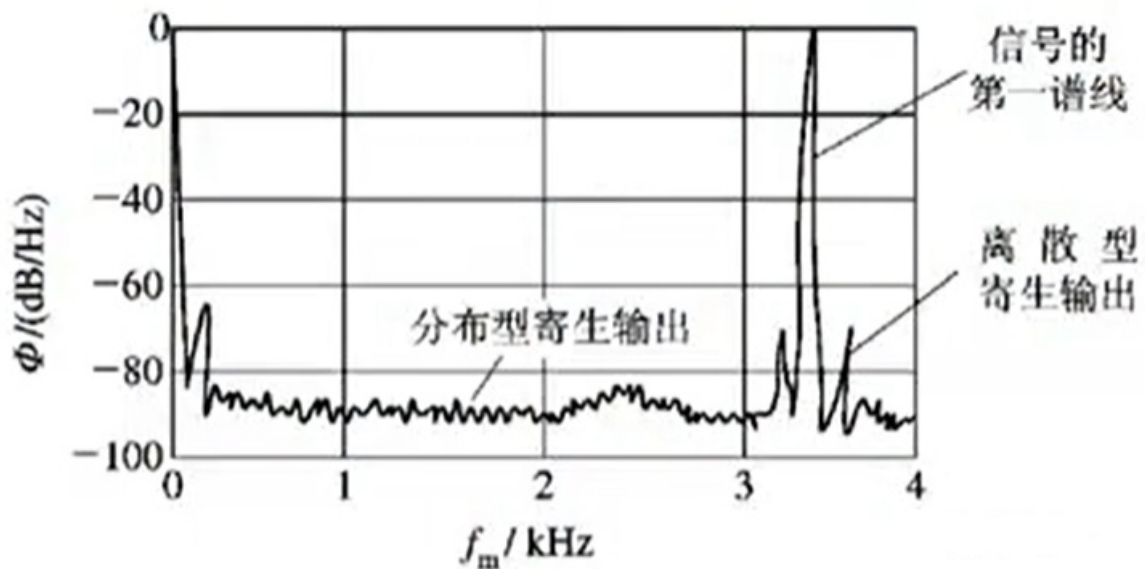
在**频域**中，信号稳定度又称为信号的频谱纯度。是指雷达信号在应有的信号频谱之外的寄生输出。

典型矩形调幅的射频脉冲，它的理想频谱是以载频 f_0 为中心的、包络呈 sinc 函数状的、间隔为脉冲重复频率的梳齿状频谱。如下图(矩形射频脉冲列的理想频谱)所示。



零频处单个门函数的频谱为 sinc 函数。根据信号与系统理论，时域的周期化对应频域的离散化。所以，周期门函数的频谱，是以 0 点为中心的、包络呈 sinc 函数状的、间隔为脉冲重复频率的梳齿状频谱。矩形调幅的射频脉冲序列，可以看成是，周期门函数和周期为 f_0 的余弦函数相乘得到。因此，其频谱就被搬移到 f_0 处。

实际上，由于发射机各部分的不完善，发射信号会在理想梳齿状谱线之外产生寄生输出。如下图(实际发射信号的频谱)所示。



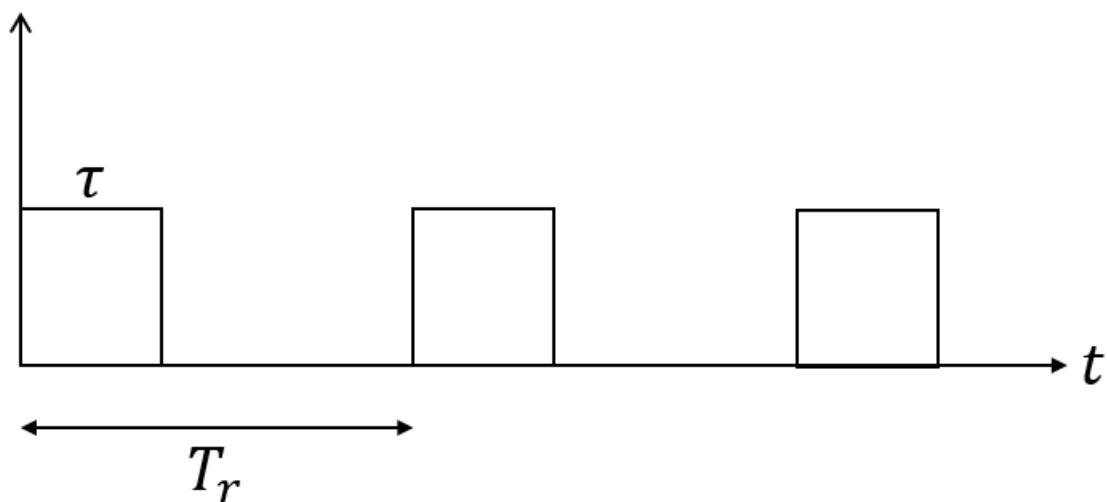
因为存在离散型寄生输出和分布型寄生输出，所以对于信号频谱纯度的衡量 两个都要衡量，一个是衡量离散型寄生谱，一个是衡量分布型寄生谱

离散型寄生谱频谱纯度：用主副瓣比来衡量----> $10lg \frac{\text{信号谱的最大功率}}{\text{寄生谱的最大功率}}$ ，也就是最高峰值曲线的功率比上寄生谱的最大功率，单位是分贝值dB。

分布型寄生谱频谱纯度：频谱纯度 = $L(f_m) = 10lg \frac{\text{距主频 } f_m \text{ 处单边带 } \Delta B \text{ 内功率}}{\Delta B \times \text{信号功率}}$ ，从第一谱线的主频往左取 f_m 的范围，然后加一个滤波器，滤波器的带宽是 ΔB ，可以取出带宽内滤波器的输出功率取出来，单位是 dB/Hz。

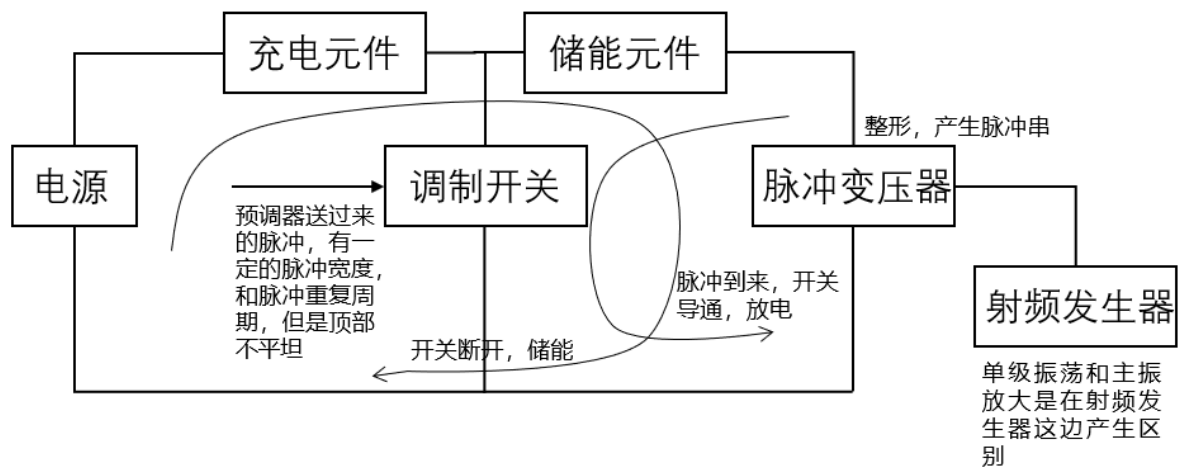
四、脉冲调制器

脉冲调制器的任务是给发射机的射频各级提供合适的视频调制脉冲，产生下图的矩形脉冲串。



基本组成：

- 电源
- 充电原件(电容或电阻)
- 储能原件
- 调制开关分类：



分类:

- 刚性开关脉冲调制器

本质是一个视频脉冲放大器, 充分考虑在大功率下运用, 保证射频发生器的良好波形。

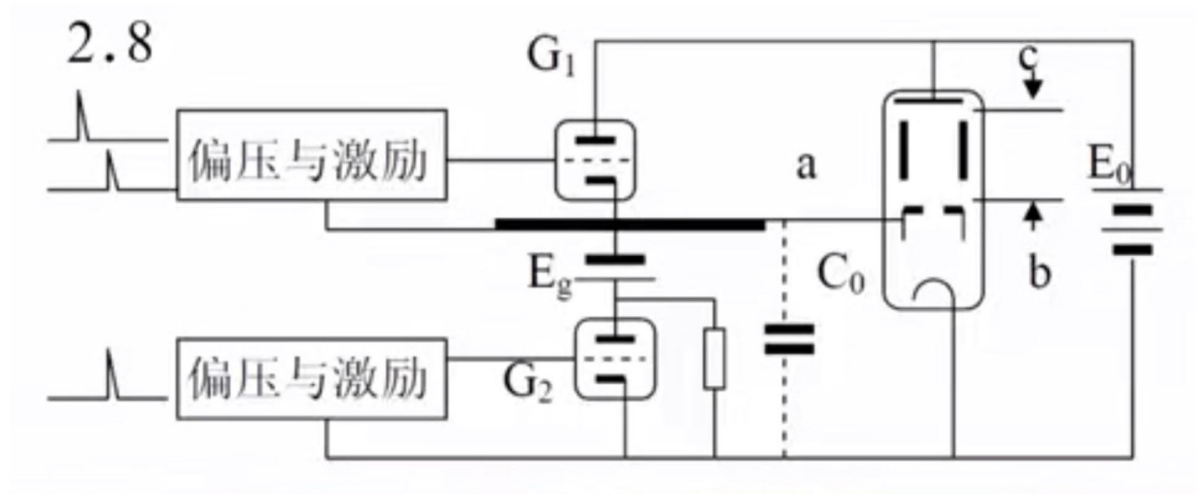
脉冲的前沿和后沿决定了刚性开关最终输出的前沿和后沿

- 软性开关脉冲调制器

开关控制脉冲起始, 储能元件**放电完毕** (电流为0) 后, 脉冲自动结束。

脉冲的前沿和软性开关最终输出的前沿相同, 后沿不一样。

□ 调制阳极脉冲调制器(刚性开关)



G_1 和 G_2 都是上面阳极, 下面阴极, 当脉冲前沿没有到来的时候, G_1 和 G_2 都截止, 当脉冲前沿到来的时候, G_1 导通, G_2 截止, 当脉冲后沿到来的时候, G_1 截止, G_2 导通。 C_0 两端的电压就是我们最终需要的脉冲调制串。浮动板看成短路线, C_0 上正下负。当 G_1 导通的时候, C_0 两端的电流方向和 G_1 两端的电流方向是一致的。当 G_1 截止, G_2 导通的时候, 电流方向是相反的。并且 G_1 和 G_2 有个特殊之处在于当导通的时候, 流过它们的电流是恒定值, 所以流过 C_0 的电流也是恒定值, 所以电压在做线性变换, 当电流为正电流的时候, 电压在线性增加, 当电流为负电流的时候, 电压在线性减少, 当 G_1 和 G_2 都不导通的时候, C_0 就维持在恒定的电压上, 所以 C_0 两端的电压波形相当于梯形, 当导通时间较小的时候, 可以近似于矩形, 好处在于顶端比较平整。

(1)工作原理:

①.休止期, V_1, V_2 截止

负偏压 E_g 给 C_0 充负压, 充到 $-E_g$

②工作期前沿到来, V_1 导通, V_2 截止, 恒流 i_c

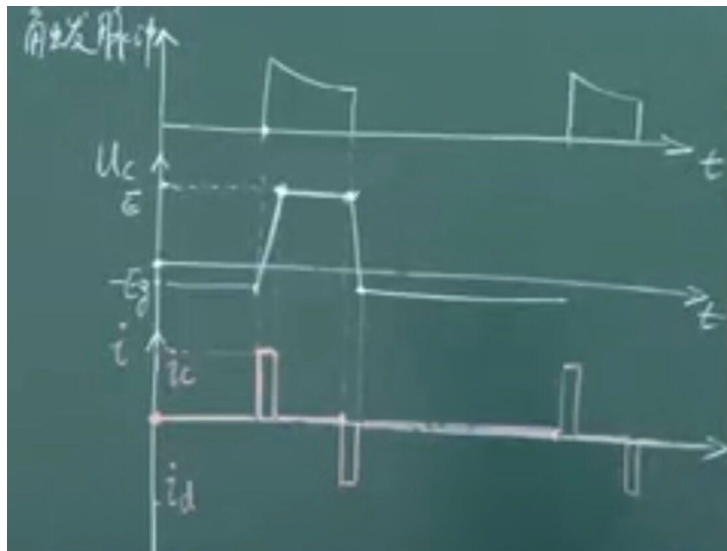
C_0 电压，线性上升到 E 为止

$$C_0 \frac{du_c}{dt} = i_c \quad u_c = \frac{i_c}{C_0} t - E_g$$

③工作期后沿到来， V_2 导通， V_1 截止，恒流 $-i_d$

C_0 电压，线性下降到 $-E_g$ 为止

$$u_c = \frac{-i_d}{C_0} t + E$$



其中图中的上升时间为 $(E + E_g) \cdot C_0 / i_c$ 、下降时间是 $(E + E_g) \cdot C_0 / i_d$ 。

(2)特点

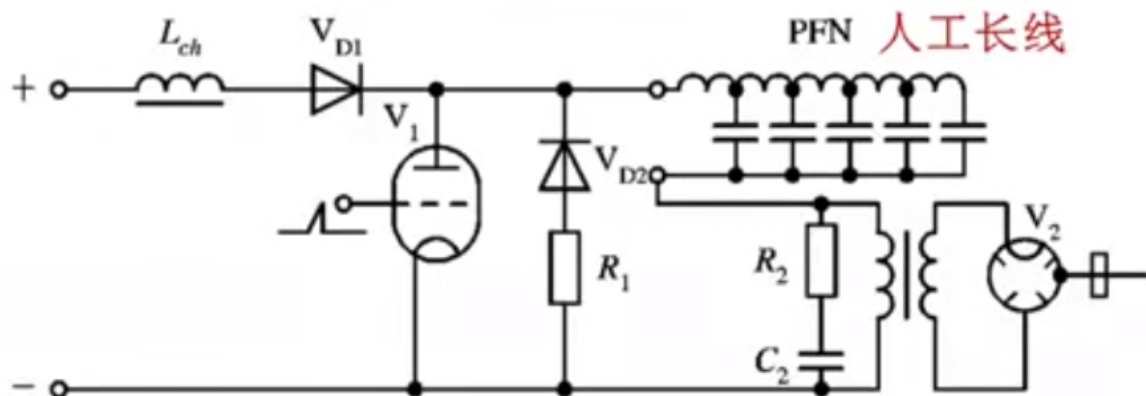
a.调制管上承担大功率

$$P_a = \frac{1}{2} C_0 E^2 f_r \quad f_r \text{ 为脉冲重复周期的倒数、} C_0 \text{ 为 } C_0 \text{ 两端的电压，也就是脉冲调制器的包络}$$

b.适用于宽脉冲、高工作比的雷达

c.顶部平坦，波形好看

二、软性开关脉冲调制器



储能元件：人工长线

由于软性开关在控制其导通后只有通过它的电流下降到一定电平（接近于零）以后才能断开，因而储能元件只能是完全放电。

为了在负载上获得近于矩形的脉冲，储能元件用开路长线组成，根据开路长线向匹配负载放电的原理，在负载上可以形成宽度等于电磁波在长线上往返传播时间的矩形脉冲。

$$\tau = n\pi\sqrt{L_1 C_1} \quad L_1 \text{ 是小电感 } C_1 \text{ 是小电容}$$

$$T_r = \pi\sqrt{L_{ch} C_0} \quad \text{其中 } L_{ch} \text{ 为电路最左边插铁芯的电感}$$

$$C_0 = nC_1 \quad C_0 \text{ 是 } n \text{ 个 } C_1 \text{ 合起来的大电容}$$

为了提高充电效率，在软性开关调制器中广泛采用电感作为充电元件。通常设计得使充电回路的自然谐振周期 $T_{ch} = 2\pi\sqrt{L_{ch} C_0}$ 等于脉冲重复周期 T_r 的两倍，即 $T_r = \pi\sqrt{L_{ch} C_0}$ 这种充电方式称为直流谐振充电。

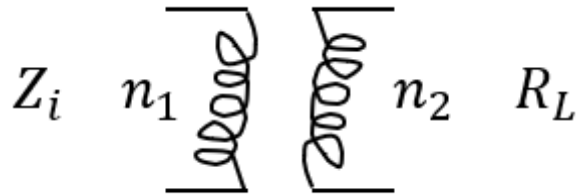
在忽略充电电路的损耗时，仿真线在充电结束时的电压应为电源电压的两倍。

图上右下角的变压器，变压器好好工作，最好前后的负载是相匹配的。

人工长线的特性阻抗是 $z_i = \sqrt{\frac{L_1}{C_1}}$

变压器本身的匝数比 $n' = \frac{\text{次级}}{\text{初级}} = \frac{n_2}{n_1}$

变压器右边的磁控管本身有个电阻，记为 R_L



此时 R_L 和 Z_i 要匹配，满足 $R_L/n'^2 = Z_i$