

背景通信信号产生原理及实现

刘 勇 漆兰芬

华中理工大学电子与信息工程系, 武汉 430074

摘 要: 本文介绍采用任意波形发生器 (AWG) 和数字信号处理方法产生背景通信信号的方法。文章论述多路信号产生、信号变频、信号放大等关键技术和原理。同时通过试验验证 AWG 产生多路通信信号的能力、变频特性、放大特性, 分析和试验表明该方法是产生复杂、动态变化信号的理想实现途径。

关键词: 背景通信信号, 杂散, 任意波形发生器, 变频

1 引言

随着信息技术的迅猛发展, 通信技术日新月异地发展, 新技术、新思想得到广泛应用。为了客观评价和鉴定各种通信设备, 在试验中需产生模拟实际环境下的复杂的背景通信信号环境, 这就需要研究产生背景通信信号的方法。

背景通信信号主要由高密度、多样式、宽频带、具有一定调制特征的通信信号组成, 并在空间具有一定的辐射功率, 以模拟在实际存在的大量定频通信信号。

2 背景通信信号产生方法

2.1 任意波形发生器原理

Tek520 任意波形发生器组成框图如图 1 所示, 它采用双通道 D/A、可变的取样时钟和分段的波形存贮器。工作原理如下: 首先通过数字信号处理的方法产生波形数据, 然后将波形数据装入波形存贮器, 通过地址发生器改变波形存贮器的地址, 存贮器的数据被送到高速 D/A, 最后通过低通滤波器和放大器得到所需的输出波形。

任意波形产生器具有序列地址控制功能, 波形存贮器可以分段工作, 因此任意波形发生器能执行序列功能。序列功能对复杂的时变多路模拟调制信号、数字调制信号的动态刷新非常有用。

Tek520 任意波形发生器主要技术指标:

- a) 双通道, 每通道 D/A 10 位垂直分辨率, $4\text{M} \times 10\text{bit}$ 内存;
- b) 取样频率 $50\text{kHz} \sim 1\text{GHz}$, 8 位分辨率, 频率准确度 $\pm 1 \times 10^{-6}$;
- c) 全通状态 3dB 带宽: 300MHz , 直接 D/A 输出 3dB 带宽: $\geq 400\text{MHz}$ 。

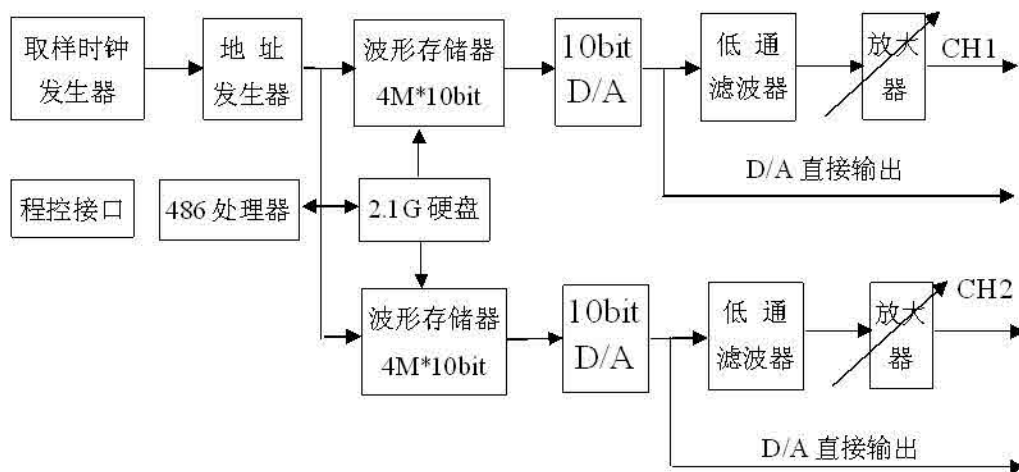


图 1 任意波形发生器原理框图

2.2 背景通信信号产生基本原理

背景信号的技术指标主要有频率分辨率、信号最高分辨率、杂散抑制、互调失真、在一定杂散抑制下的信号动态范围和信号变换时间等。

2.2.1 信号最高频率与取样率

理论上取样速率与产生信号的最高频率之比大于 2 即可行，但由于 D/A 输出信号时实际上还存在折叠信号（取样速率—信号最高频率），影响所需信号的信噪比。在实现过程中，两者之比取 ≥ 2.5 ，可以用滤波器滤除无用的折叠信号，保留所需信号。适当提高取样速率与信号最高频率之比，有利于提高生成信号的信噪比。

2.2.2 信号分辨率与内存长度

内存容量和取样速率决定了信号的频率分辨率。为保证重复调用信号时相位连续，生成的信号必须是完整的周期。信号分辨率与内存关系如下：

内存容量 = 取样率 / 信号输出的最高分辨率

表 1 是设计采用的频率分辨率、内存容量和可生成的波形个数的关系。

表 1 频率分辨率、内存容量和可生成的波形个数的关系

最高频率(MHz)	30	30	215	215	215	215	215	350	350	350
频率分辨率(kHz)	0.05	0.1	0.25	0.5	0.25	0.5	1	0.25	0.5	1
取样率(Msps)	100	100	600	600	1000	1000	1000	1000	1000	1000
单波形需内存(M)	2	1	2.4	1.2	4	2	1	4	2	1
4M 内存产生波形数	2	4	1	3	1	2	4	1	2	4

2.2.3 多路信号动态范围

多路信号产生器 D/A 转换器位数为 W ，当总的峰值电压是单个正弦信号的 H 倍时，信噪比 S/N ，可用下式表示：

$$S/N = 6 \times W + 4.8 - 20 \lg H \quad (\text{dB})$$

采用计算机在生成信号点数为 2.2M、频率为 30~215MHz、取样率为 550Msps 的情况下，调制方式为 AM、FM、SSB、CW、ASK、PSK、FSK 时，动态范围 10dB 时，不同路数合成时峰值电压倍数如表 2 所示，并计算 10 位 D/A 转换器的输出多路信号时最大信号的信噪比。

表 2 不同信号路数随机相位合成的波峰电压

路 数	50	100	200	250	400	500
平均峰值电压倍数	16.8	23.4	33.3	37.7	47.8	50.8
10 位 D/A 信噪比(dB)	40.3	37.4	34.4	33.3	31.2	30.7

在实际信号产生过程中，杂散比较集中在折叠频率和频率较低处，而这些杂散可通过滤波器滤除，并且杂散和互调产物个数增加但能量分散减小，因而实际得到的信号信噪比有一定的改善。

2.2.5 信号刷新时间

动态信号刷新有以下几种方式：

- 利用任意波形发生器序列功能刷新信号时，波形变换时间小于 8ns，动态信号频率分辨率是主信号的 2~4 倍；
- 利用通道进行切换时，波形变换时间为两通道开关的动作时间，约为 100ms，频率分辨率与主信号相同；
- 利用内存进行刷新时，波形变换时间为内存重新装入所需的时间，更换 2M 字内存所需时间小于 10s，更换 4M 字内存所需时间小于 20s。

2.3 信号生成峰值电压的降低

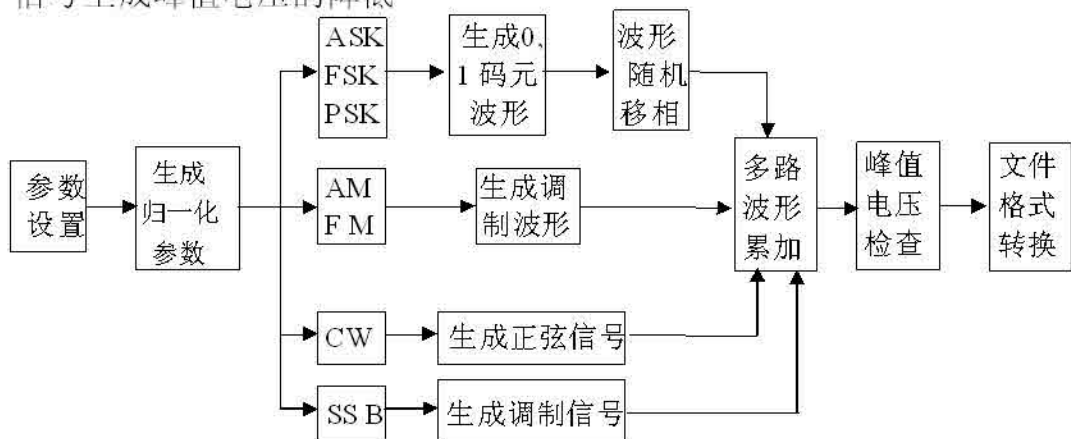


图 2 计算机多路信号生成流程图

在用数学方法生成波形文件时，采用图 2 的流程，针对多路信号的信道间隔、调制方式、调制频率和载波频率、相位等的内在关系可适当降低峰值电压，但效果并不明显。为了更进一步降低波形峰值，在计算机生成波形后，对不同路数的 2.2M 点波形数据幅度分布进行了统计，结果如表 3 所示。

表 3 2.2M 点波形数据电压分布统计

路数	平均峰值	≥45 点数	≥40 点数	≥35 点数	≥30 点数	≥25 点数	≥20 点数
200	33.3					291	4867
250	37.7			4.7	294	1634	
400	47.8	3.3	40.3	415	3020		
500	50.8	19.7	195	1467			

从统计结果分析，采用限幅的方法是一种快速减低峰值的方法。限幅的缺点是产生新的频谱成分，当限幅为非连续的峰值(最多两个峰值相邻，对应频率为 275MHz)，且峰值之间的时间间隔较长(最少间隔 1000 点，对应频率 550kHz)，这样可通过带通滤波器滤除新的频率成分，保证有用信号的频谱纯度。分析可知 500 路合成信号峰值可采用限幅方式将峰值降到 35~40，400 路合成信号峰值降到 30~35，这样对生成信号频谱纯度影响不大。同时通过试验，当 500 路信号峰值限幅降到 35~40 时，信号的底部噪声略有增加，噪声相对值增加约为 2dB，而限幅到 30 时，噪声相对值增加约为 8dB，这样验证 500 路信号的最大峰值限幅到 35 信号信噪比较好，与不削波处理相比，可获得 3dB 改善。

数字调制信号由于旁瓣较多，占有带宽较大，对邻近信道可能构成干扰，采用高斯数字滤波器对调制到载波的基带信号滤除无用边带。

2.4 变频单元

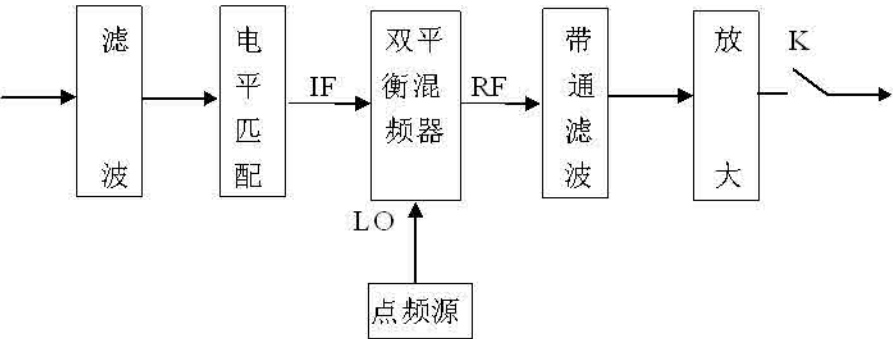


图 3 变频单元原理框图

变频单元组成框图如图 3 所示，特点是小信号宽带变频，它将产生中频信号搬移到 VHF/UHF 频段高端。产生的中频信号起始频率不从低频开始，而从较高频率开始，可以减少变频生成的杂散，以及降低对带通滤波器的要求。

单路信号输入时双平衡混频器的三阶交调电平计算如下：

$$\text{三阶交调电平} = \text{交叉电平} - (\text{交叉电平} - \text{射频输入电平}) \times 3$$

对多路信号，由于频率跨度大，无法满足通常的输入信号频率与点频源产生的 7 阶互调在信号带外这种条件。通过多种试验可确定：当多路信号的合成电压峰值基本等同于单路信号的峰值电压，产生的互调产物较小；此时每路信号幅度很小，约为峰值电压的 $-30 \sim -40\text{dB}$ ，同时要求本振点频源的杂散很小，才能保证变频后的杂散满足指标要求。

2.5 功率放大

同样多路信号放大时，由于低频段的谐波在带内，各路信号的互调也在带内，因此放大器的选择非常关键。我们选用 A 类功放，要求 1dB 压缩点大于输出功率的 60%，谐波小于 -20dB ，较高的三阶交调点，杂散优于 -65dB 。

当 500 路背景信号集中于一个功率放大器进行放大时，并且 500 路信号的幅度 10dB 随机变化和相位合随机变化时，按平均峰值电压是单位正弦信号电压的 35 倍计算输出功率。采用功率放大器 1dB 压缩点大于标称输出功率的 60%。计算单路信号最大输出功率为：

$$P_o \geq P_{\text{标}} \times 60\% / \text{峰值电压倍数}^2 = P_{\text{标}} \times 60\% / 35^2 = 4.90 \times 10^{-4} \times P_{\text{标}}$$

使用的功率放大器标称功率为 50W 时，单路信号最大输出功率为：

$$P_o \geq 4.90 \times 10^{-4} \times P_{\text{标}} = 0.0245\text{W} = 24.5\text{mW}$$

考虑信号动态范围为 10dB，则每路信号的输出功率范围约为 2.45mW ~ 24.5mW。可计算 10dB 动态范围时额定功率与最小功率的比值为：

$$10\lg(50\text{W}/2.45\text{mW}) = 43.1\text{dB}$$

使用的功率放大器杂散抑制优于 65dB，可以满足多路信号输出的要求。短波段采用 180W 功率放大器，1dB 压缩点为 70%，输出 300 路信号，峰值电压为 30，计算每路信号的输出功率范围约为 14mW~140mW。

考虑接插件、电缆和天线辐射效率，计算各频段的辐射功率如表 4。

表 4 实际辐射功率计算

频段(MHz)	5~7	7~30	30~200	200~400	400~1000	1000~1300
功放输出(dBm)	11.5~21.5	11.5~21.5	3.9~13.9	3.9~13.9	3.9~13.9	3.9~13.9
接插件衰减(dB)	0.3	0.3	0.4	0.4	0.6	0.6
电缆损耗(dB)	0.03*4	0.035*4	0.07*8	0.1*8	0.16*10	0.2*10
天线效率(dB)	-10	-7	-1	-1	-1	-1
辐射功率(dBm)	1.1~11.1	4.1~14.1	1.9~11.9	1.7~11.7	0.7~10.7	0.3~10.3

3 背景通信信号实现

3.1 概述

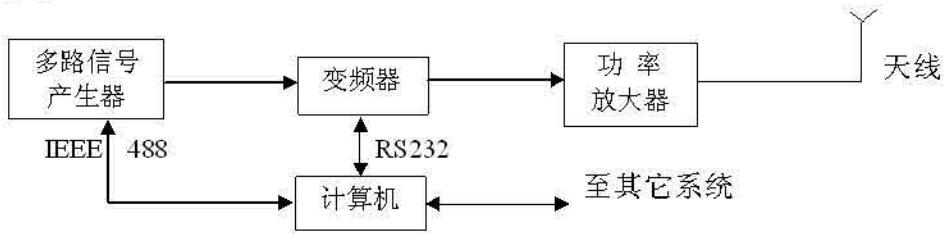


图 4 背景通信信号产生框图

背景通信信号由如图 4 所示的设备组成实现，它主要由双通道多路信号产生器（任意波形产生器）、变频器、功率放大器、计算机、天线系统等设备组成。

多路信号产生器产生背景通信信号的中频信号。多路信号产生器的每个通道产生的背景信号由多路 CW、SSB、ASK、FSK、PSK 信号和 AM、FM 信号组成。多路信号产生器可以在较宽带宽内产生多路互不相关的背景多路信号。多路信号产生器与变频器的组合可以覆盖 HF/VHF/UHF 频段。

通过变频器的多路信号经过功率放大器放大后，通过对应频段的天线辐射到空间，在空间形成背景通信信号。

为使产生的背景信号比较真实，大部分背景信号（主信号）应稳定不变，选取的重点频段的小部分背景信号（动态刷新信号）进行刷新变换。

多路信号产生器所需的波形数据源由控制计算机产生，通过 IEEE488 接口送到多路信号产生器，并通过 RS232 接口控制变频器的状态，从而控制背景多路信号的产生。

3.2 测试结果

试验产生了各频段的多种路数的背景通信信号，并通过 50W 功放输出信号，对信号质量进行了测试。

图 5 为通过放大器的 50~350MHz 频段 500 路背景通信信号的低频端频谱，图 6 为该信号的高频端频谱，此时功放输出功率为 10W，低频端杂散优于-40dB，高频端除个别点杂散为-38dB 外，其余均优于-40dB。图 7、图 8 为通过变频器、功放后的 500 路背景通信信号的 700MHz（功放输出 11W）、1300MHz（功放输出 7W）频段的频谱，700MHz 点附近杂散优于-35dB，1300MHz 点附近杂散优于-38dB。

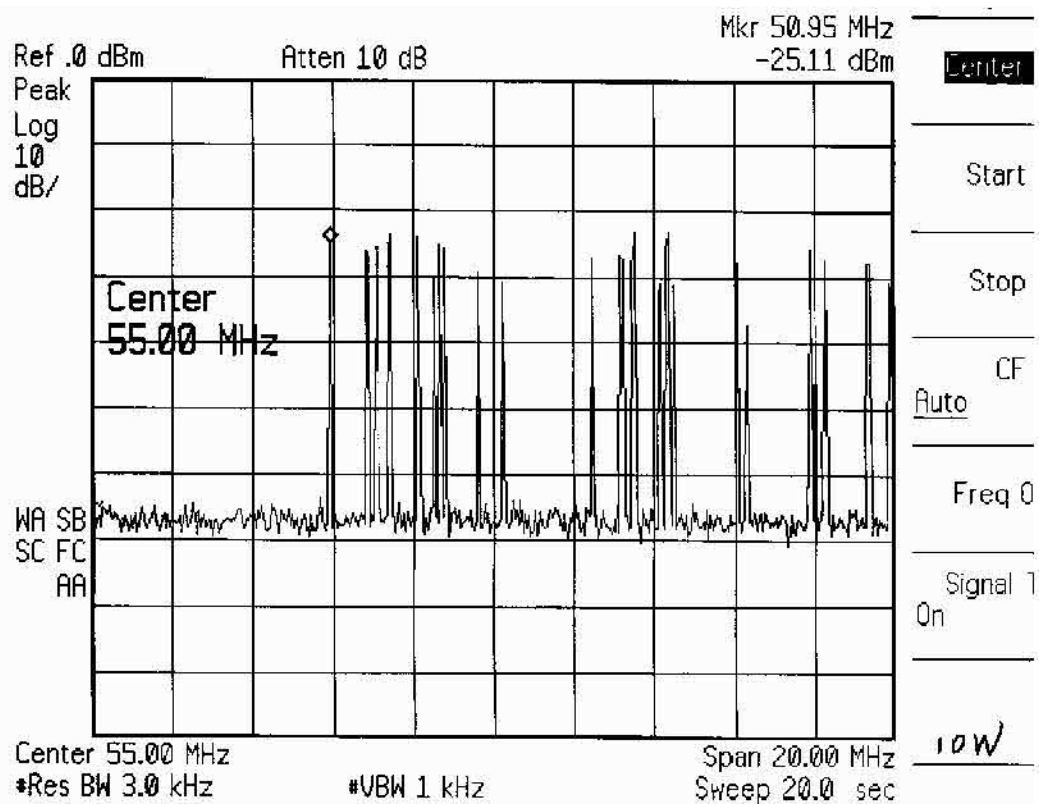


图 5 50~350MHz 频段低频端频谱图

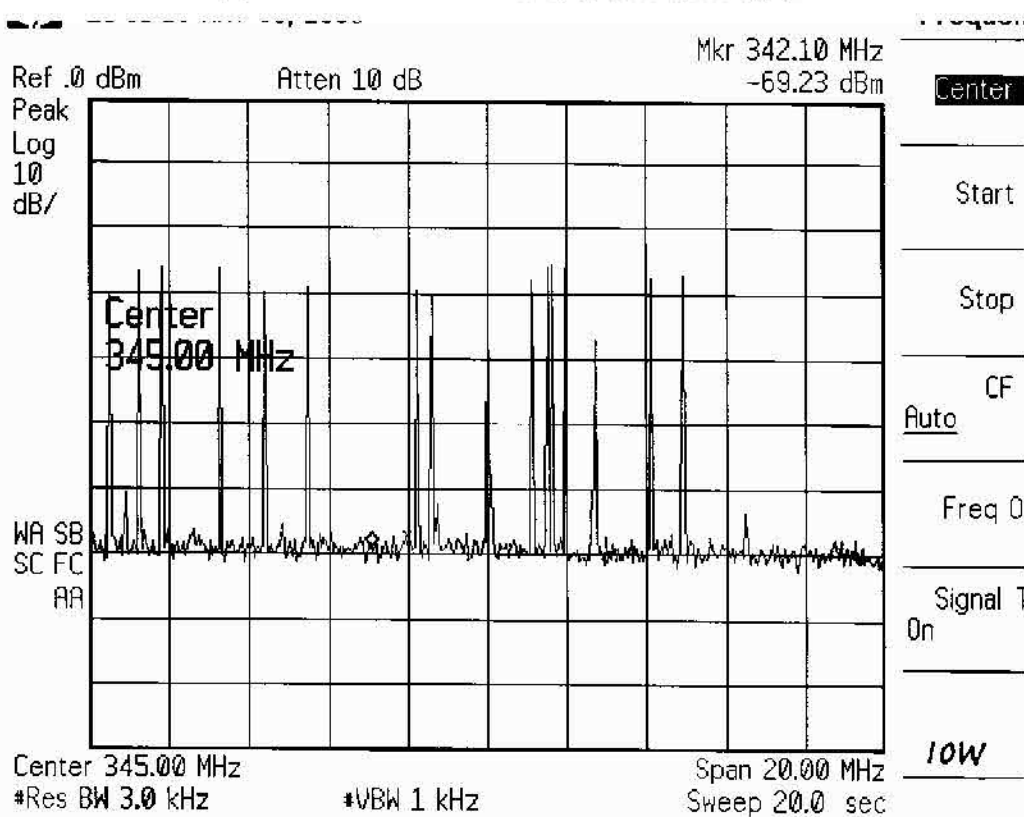


图 6 50~350MHz 频段高频端频谱图

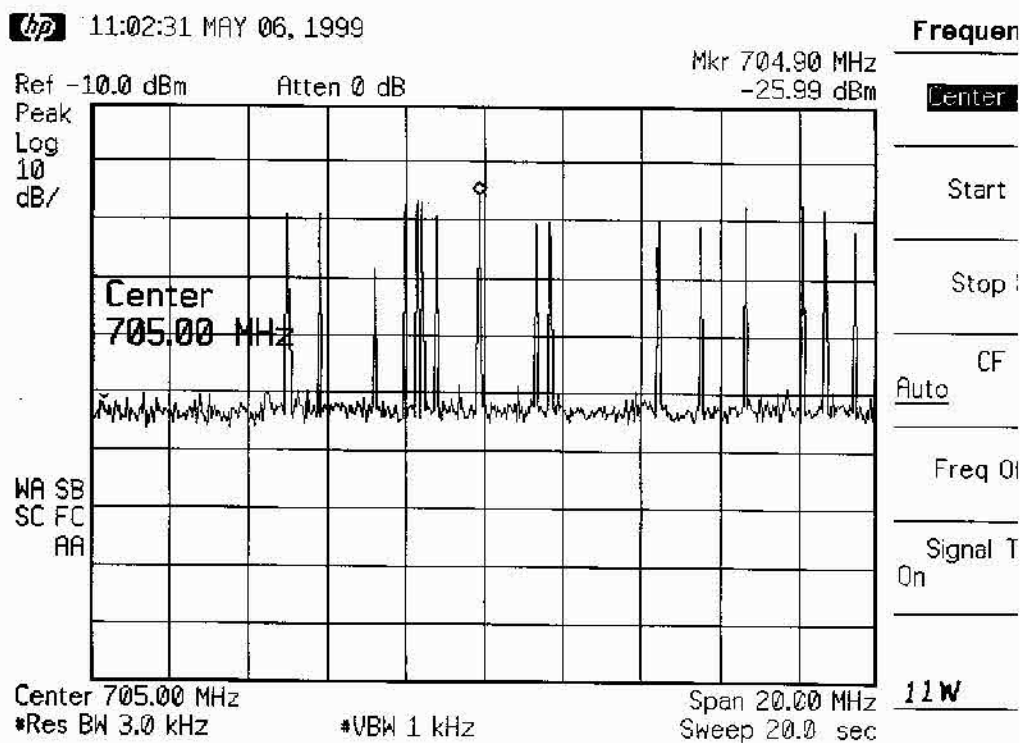


图 7 700MHz 频率附近频谱图

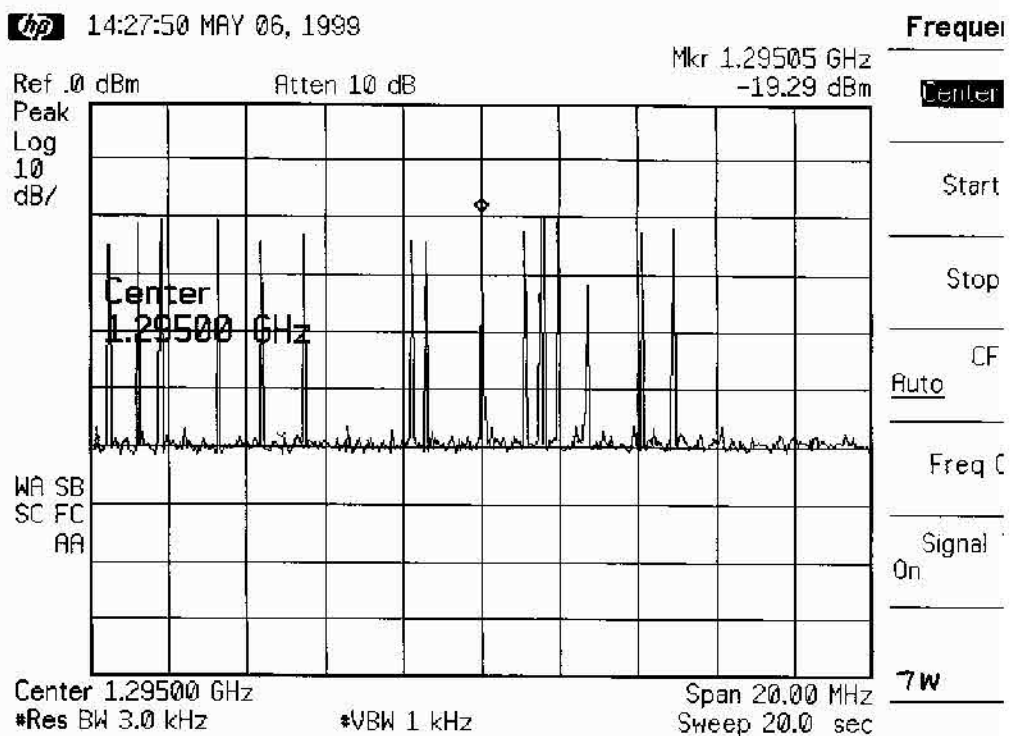


图 8 1300MHz 频率附近频谱图

4 结束语

背景通信信号在技术上是一个新的领域，实现上比较复杂。国内尚处在初期研究阶段，国外可查阅的背景信号模拟技术资料非常少，到目前为止未见到完整公开的背景通信信号模拟器的报道。

我们在初步设计的基础上完成多种试验，了解多路信号产生的关键技术、宽带小信号变频技术、功率放大器放大多路信号的杂散情况，在实验室产生了满足技术要求的背景通信信号，作为通信设备的检验测试信号。

背景通信信号由通用的硬件平台和开发的软件平台产生，结合了软件无线电的有关原理，波形数据文件的产生主要依赖于软件。因此该方法既满足的近期使用要求，又可根据对任意波形产生技术的研究发展和用户使用要求的变化，修改有关波形生成软件，扩展应用范围，满足多种使用要求。

参考文献：

- 1 Tektronix, User Manual AWG510&AWG520 Arbitrary Waveform Generator
- 2 姚天任, 数字语音处理, 华中理工大学出版社, 1992