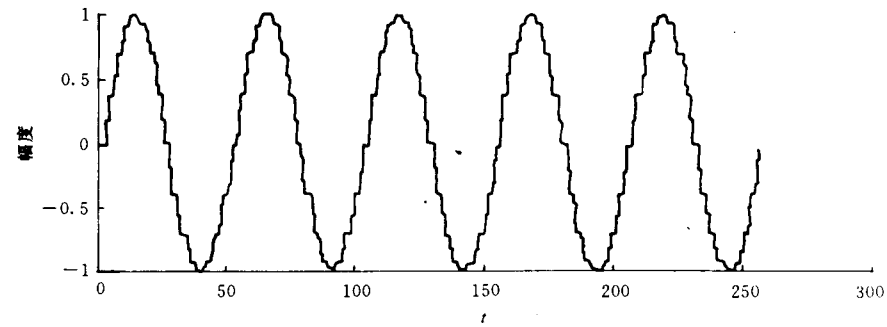
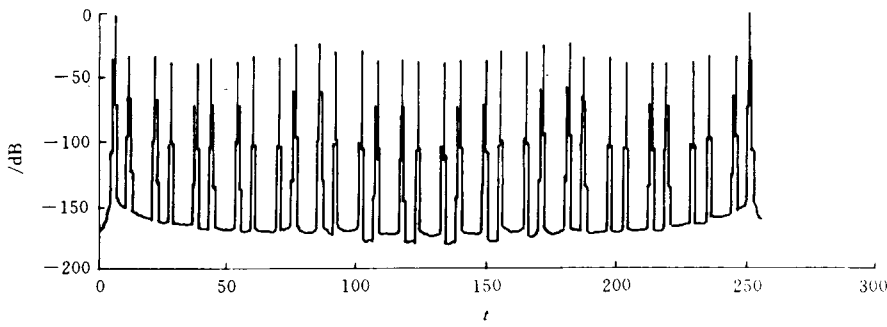


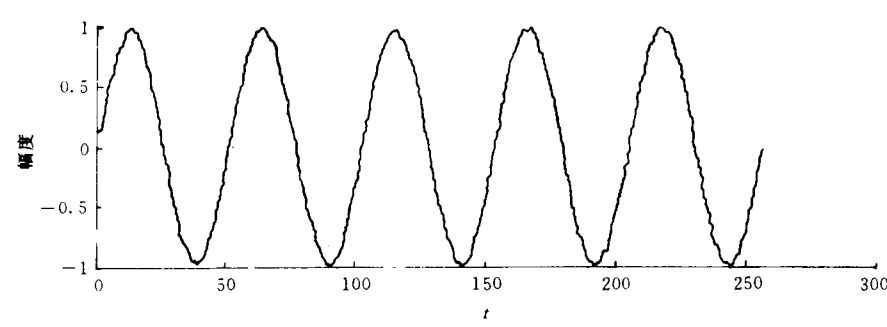
将式(7)构成的序列作 FFT 变换同式(1)构成的序列作 FFT 变换相比,可发现式(7)的序列大幅度降低了杂散,如图 4 所示。图 4(a)是式(1)序列,图 4(b)是其 FFT 变换,图 4(c)是式(7)所成序列,图 4(d)是其 FFT 变换,其中 $B=4, L=8, F_r=D_r=5$ 。图示结果表明,在此情况下,采用式(7)所构成的序列与传统的结构相比,可降低最大杂散的幅度 14.35dB。式(6)表面看似更为精确,但用计算机模拟杂散结果不如采用式(7)。



(a)传统的 DDS 输出

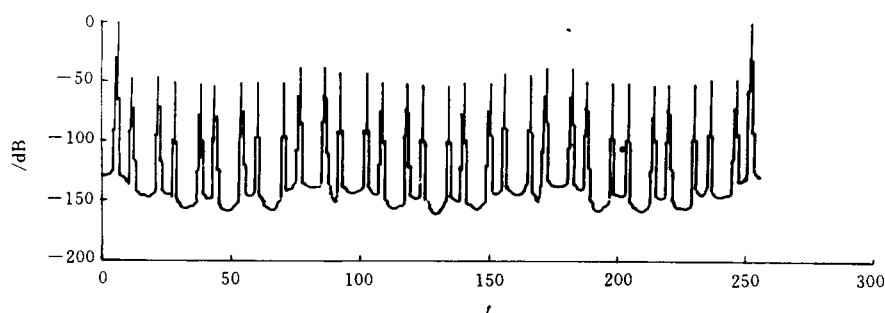


(b)传统的 DDS 输出的傅氏变换



(c)修正的 DDS 输出

基于以上的结果可以设计如图 5 所示的 DDS 结构,图中 $x=\frac{2\pi}{2^L}2^B\left[\frac{nF_r}{2^B}\right]$,由图可以看出,修正的 DDS 模型实质上是等效于在原有波形上加一个由相位截断引起的误差项,这个误差项是由一个 ROM 来实现的,他的地址由 $\cos(x)$ 的 ROM 输出和 D_r 相位累加器输出构成,由于存储 $\cos(x)$ 的 ROM 输出位数 C 可以很小,所以用于存储误差的 ROM 无需



(d)修正的 DDS 输出的傅氏变换

图 4 两种 DDS 的输出波形及其傅立叶变换

很大的容量,所以这种结构十分容易实现,并且可以输出波形很好的正弦波。

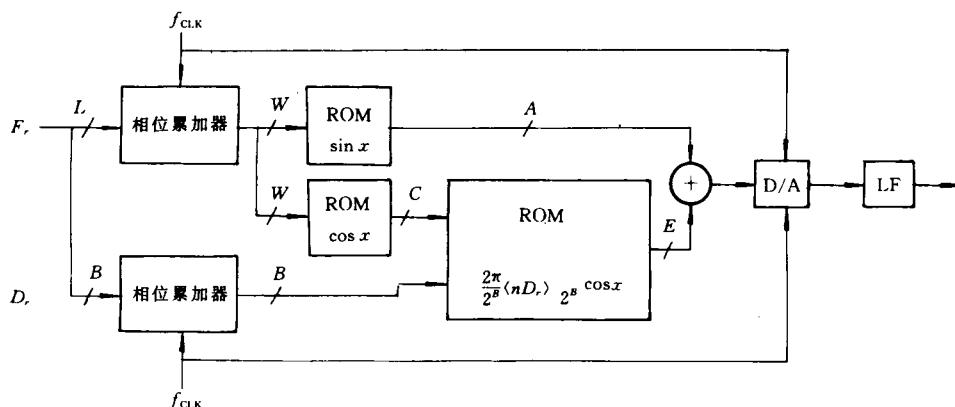


图 5 修正的 DDS 结构图

下面分析降低杂散幅度的原因,根据式(4)和(5)可得

$$\begin{aligned}
 & \sin\left(\frac{2\pi}{2^L} 2^B \left\lceil \frac{nF_r}{2^B} \right\rceil\right) + \frac{2\pi}{2^L} \langle nD_r \rangle_{2^B} \cos\left(\frac{2\pi}{2^L} 2^B \left\lceil \frac{nF_r}{2^B} \right\rceil\right) \\
 & \approx \sin 2\pi \frac{nF_r}{2^L} - \frac{2\pi}{2^L} \langle nD_r \rangle_{2^B} \left(\cos 2\pi \frac{nF_r}{2^L} - \cos\left(\frac{2\pi}{2^L} 2^B \left\lceil \frac{nF_r}{2^B} \right\rceil\right) \right) \\
 & \approx \sin 2\pi \frac{nF_r}{2^L} \left(1 + \left(\frac{2\pi}{2^L} \langle nD_r \rangle_{2^B} \right)^2 \right)
 \end{aligned}$$

也就是说它的输出和正弦序列的误差是

$$\left(\frac{2\pi}{2^L} \langle nD_r \rangle_{2^B} \right)^2 \sin 2\pi \frac{nF_r}{2^L}$$

由于 $\frac{\langle nD_r \rangle_{2^B}}{2^L} \ll 1$, 其二次方的作用较大地减小了所造成的误差, 这就是造成降低杂散幅度的原因。

(下转第 52 页)

短波 NVIS 传播方式及 NVIS 天线设计

李 成

(南京无线电厂军代表室, 南京 210002)

益晓新

(通信工程学院无线通信教研室, 南京 210016)

张继宗

(兰州军区修理所, 兰州 730020)

摘要 采用近垂直入射天波技术 NVIS(Near-Vertical Incidence Skywave)可以有效的解决短波通信的静区问题,受到各国军方的广泛注视。本文介绍了 NVIS 传播的基本特点以及用于 NVIS 传播方式的 DBS-97A 型鞭状天线与适配器设计,并给出试验结果。

关键词 短波通信;近垂直入射天波;短波天线

短波通信历来是军事通信的重要手段,短波通信不仅可以利用电离层反射进行数千公里的远距离战略通信,也可以利用地波进行数十公里的近距离战术通信。但是短波通信存在着明显的静区效应,在天波的跳距(Skip Distance)和地波传播的极限距离之间有一段静区,信号无法到达,如图 1 所示。这是因为在一定的仰角波束范围内,更高的仰角将使电磁波穿透电离层。

近垂直入射天波传播可以有效解决这一问题,它的原理是采用高仰角天线,使电磁波以近似垂直入射进入电离层,这样可以解决 400 公里以内的通信。

NVIS 对军事通信有着特别重要的意义,由于在这种传播模式下,电磁波是从电离层直接反射到地球表面的,因而接受信号和地形地貌的影响几乎无关,特别适合在山区和地形复杂的丛林地带使用。NVIS 还可以克服地波通信在沙漠地区的

严重衰耗问题。美军在越南战争和中东海湾战争中都广泛采用了 NVIS,取得了良好的效果。

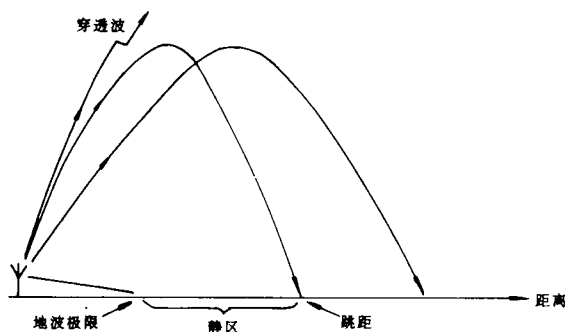


图 1 短波地波传播示意

1 近垂直入射天波的特点

1.1 近垂直入射天波频率窗的选择

NVIS 的工作频率大体处于 2~10MHz 范围内的一小段频率窗中,该频率窗的位置还是每天的时间、季节、太阳黑子活动以及地理位置的函数。在太阳黑子活动的高峰期,NVIS 的工作频率最高可达 10MHz;而在太阳黑子活动的低谷期,工作频率为 6MHz 以下,这时如适逢冬天夜晚,工作频率只能在 2MHz 甚至更低。

如果频率选择适当,采用 NVIS 可望取得良好的通信效果,但是只需偏离该最佳频率 1MHz,往往会使信号幅度下降 10dB 以上甚至彻底丢失信号。可见 NVIS 对频率的选择是相当苛刻的。在人工选频条件下这无疑是一项艰难的任务。而采用了高频自适应技术后,可以通过线路质量分析 LQA 及时选择较好的频率,从而使 NVIS 的使用更加方便。表 1 为中纬度地区垂直入射临界频率的变化情况,可以作为 NVIS 工作频率选择的依据。

表 1 中纬度地区垂直入射临界频率典型月中值

	一月	四月	七月	十月
低 SSN	2.6MHz	3	4	3
夜晚	(2.2~3.0)MHz	(2.4~3.6)	(3.2~4.8)	(2.4~3.6)
高 SSN	3	6	6	4
夜晚	(2.4~3.6)	(4.8~7.2)	(4.8~7.2)	(3.2~4.8)
低 SSN	5	5	5	5
中午	(4.5~5.5)	(4.5~5.5)	(4.5~5.5)	(4.5~5.6)
高 SSN	10	9	7	9
中午	(9~11)	(8.1~9.9)	(6.3~7.7)	(8.1~9.9)

注:表中 SSN 表示太阳黑子数,括号内为垂直入射临界频率可能的变化范围。

1.2 近垂直入射天波的通信距离和接收场强

NVIS 的最高可用频率 MUF(NVIS)可用下式计算:

$$NUF(NVIS) = f_v \sec \varphi$$

其中 f_v 为垂直入射临界频率, φ 为入射角。天波通信一般通过 F_2 层反射,根据 F_2 层的高度可以算出,当 φ 为 25° 时对应的地面覆盖区域大约为 270 公里。这时的 MUF(NVIS)大体比 f_v 高 10%。可见为了达到上述的覆盖范围,应当时刻保持这个 10% 的频率差和规定的仰角。遗憾的是 f_v 是时变的,因此用 NVIS 方式工作时,适时改变频率是十分重要的。图 2 为 NVIS 的工作频率和接收信号强度随着距离的变化曲线。

由图可见,白天在 40km 以内 NVIS 的工作频率变化不大,场强变化在 2dB 左右,这

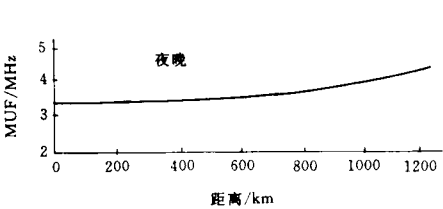


图 2a 夜晚 NVIS 的最高可用频率

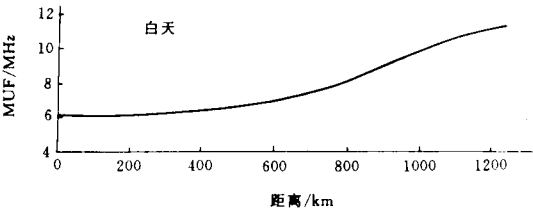


图 2c 白天 NVIS 的最高可用频率

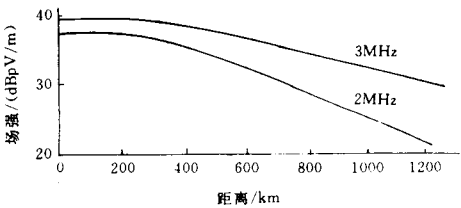


图 2b 夜晚 NVIS 的场强

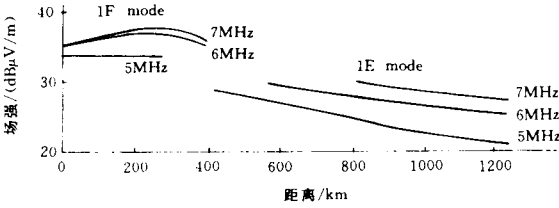


图 2d 白天 NVIS 的场强

种工作状态是比较理想的。当距离超过 400km,由于入射角的加大,MUF 变化加快,这时已不能再认为是 NVIS 传播模式了。夜晚 NVIS 主要依靠 F₂ 层反射,工作频率为 2~4MHz。

2 NVIS 天线设计

2.1 近垂直入射天波对天线的要求

根据近垂直入射天波传播特性,NVIS 天线首先要求高仰角,本文的后半部分将专门讨论高仰角天线的设计问题。天线极化对 NVIS 天线也是一个重要的问题,由于在较近的距离里,NVIS 天波和地波可能同时到达接收点,这两种传播路径长度相差极大,而幅度往往相差无几,从而造成严重的多径干扰。地波天线一般是垂直极化的,因此要求 NVIS 采用水平极化。此外由于 NVIS 多工作在短波低频段,这时近距离的地波干扰和噪声比较严重,而水平极化对这些噪声和干扰是不敏感的,从而提高了接收信噪比。

2.2 NVIS 天线的几种形式

74 型 400W 通信车配备的天线是鞭天线、水平软天线。为了解决车辆在运动中的通信,每部通信车配两根 4M 鞭天线,车顶前装置 4M 鞭天线为发射机用天线,尾部 4M 鞭天线用作收信机天线。在天线中部用绳索拴牢后将天线拉倒至 45 度左右固定在车身两旁,起到了高仰角天线的作用。

80 年代中期以后我军大部分车辆均采用三环天线,三环天线符合 NVIS 方式对天线