

前馈超线性放大器双环误差信号的提取

费劲峰, 王积勤, 任宝祥

(空军工程大学 导弹学院, 陕西 三原 713800)

摘要:论述了前馈超线性功放中信号对消环路和互调对消环路中的误差信号提取的问题。所讨论的两种误差信号提取的方法均在实践中得到了验证,达到了预期的指标。

关键词:前馈;超线性功放;误差信号提取

中图分类号:TN72 **文献标识码:**A **文章编号:**1009-3516(2001)05-0051-04

通信体制的发展经历了从模拟到数字、从固定通信到移动通信的发展,目前正兴起的软件无线电技术的研究和应用可以说是数字技术的进一步延伸。体制的变迁是源于需求的发展,是对通信系统高速、大容量、移动要求的结果。而各种技术的发展,如信源编码、信道编码、均衡技术、调制解调技术、多址技术等,又客观上为通信体制的进步提供了可能。所有这些技术的采用,在一定程度上满足客观的需求,但也对通信传输信道上的诸多环节提出了更高的指标要求。其中一个重要的方面就是对传输信道的线性提出新的要求^[1-2]。各种旨在提高传输信道,尤其是信号放大链路线性度的方法随即被提了出来:预失真技术、负反馈技术、前馈技术。各种方法都有其优缺点:预失真技术实现方案较为简单,结构上也适用于作为一个单独的模块加在放大器前级。对工作状态接近1 dB压缩点的放大器,这种方案的线性改善度通常在8 dB左右;负反馈技术用于功放的线性度改善,难以控制,容易产生自激,在实际中基本没有采用;前馈技术实现起来较为复杂,成本较高。但线性改善度高,能实现超线性。通常单环改善度约20 dB以上^[2,5]。因此,在要求超线性的场合几乎无一例外采用了前馈方案,或前馈方案和预失真方案的综合措施。在前馈实现方案中,两个对消环路的延时、增益、相位控制又是前馈方案的核心。在要加以控制的三个参数中,时延差相对较为固定,可采用延时滤波器或电缆来解决。而增益、相位的控制及误差信号的产生则是个核心的问题。

1 前馈放大器中增益、相位控制

一个典型的前馈系统包括两个对消环路:信号对消环路和误差对消环路,如图1所示。信号对消环路的任务是从主信号支路上耦合出一部分能量,其中包括了载波信号和互调分量。然后从另一支路过来的原始输入信号中仅仅包括载波信号,调整两路信号的延时、增益、相位,让其中的载波信号相互对消,输出信号中仅仅包括互调产物;互调对消环路的主要功能是将互调放大器出来的互调分量和主支路上的互调分量相互抵消,从而达到降低互调功率电平的目的。可以看出,在两个环路的对消过程中,各自对应的两个支路的延时、增益、相位控制十分关键。图2显示了两路信号增益、相位差对对消效果的影响。

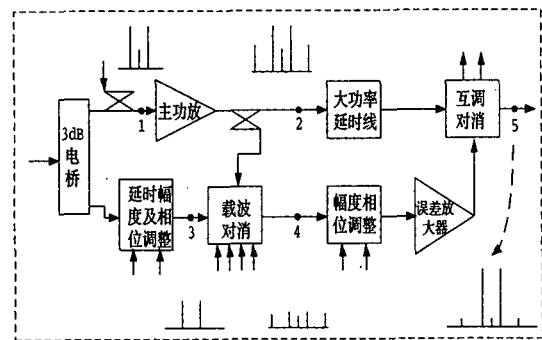


图1 前馈线性放大器原理框图及频谱示意图

图2中曲线由上而下分别代表两路信号的增益差为:0.1 dB、0.3 dB、0.5 dB、1.0 dB、1.5 dB。由此可

见,要获得 20 ~ 25 dB 的对消度,则要求两路信号的增益差 < 0.6 dB,相位差 < 5 度,而事实上,在两个对消环的两个信号支路上都存在色散现象,尤其是延时滤波器。传输路径的色散现象也严重影响两个环路的对消度。在达到同样的对消度的时候,对两路信号的幅度、相位误差要求就更为严格。同样达到 20 ~ 25 dB 的对消度,在色散信道中,对功率和相位的要求分别为:增益差 < 0.3 dB,相位差 < 2 度。如此高的误差要求对应着精确的控制信号,也就要求对消环路本身产生的代表信号对消效果的误差信号尤其的精确。

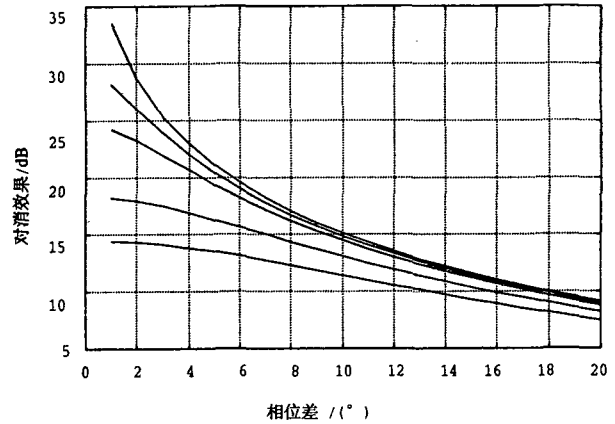


图2 信号对消度与增益、相位差的关系

2 信号对消环路误差信号的提取

信号对消环路的闭环控制通常采用最小功率算法和正交调节环的方案。这种方案的优点是控制速度快,但控制精度不高^[3]。结合整个项目的整体方案,在相位和功率控制上,采用了全数字环控制。即支路的功率和相位分别受控于单片机的两个 D/A 口,幅度和相位独立调整。在这样的数字闭环中,如何分离出功率差和相位差就十分的重要。采用如图 3(a)所示的对消模块^[4],即可满足上述要求,其中,虚线框的详图如图 3(b)所示。

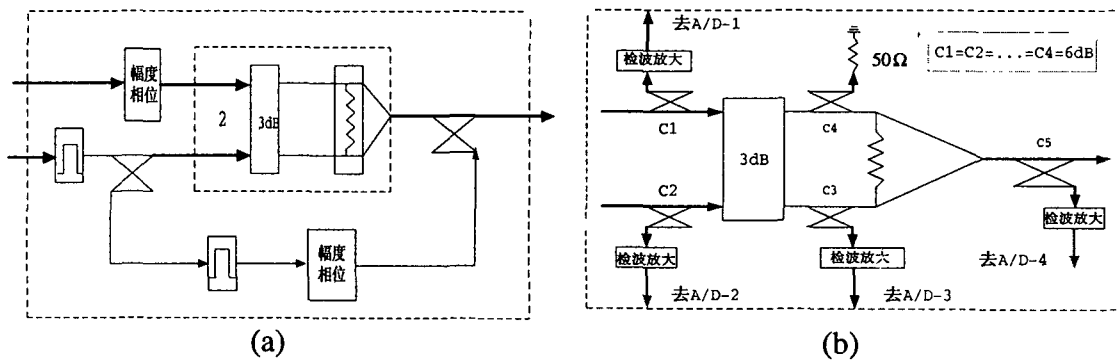


图3 信号对消环路实现框图

检测 1、2、3、5 四个端口的输出信号功率 $P_1、P_2、P_3、P_5$, 然后构造两个函数:

$$\alpha = P_1 - (P_2 + 2 * P_5); \beta = P_1 + P_2 - 2 * P_3。$$

分别用 A、B 代表 1 端口信号、互调产物的幅度,设初始相位为零。用 $(A + \Delta A)、(\pi + \Delta \phi)$ 代表 2 端口信号的幅度和相位,则

$$\alpha = -2 \cdot (A + \Delta A) \cdot [A(1 - \cos(\Delta \phi) + \Delta A)] \cong -2A \cdot \Delta A;$$

$$\beta = -2 \cdot A \cdot (A + \Delta A) \cdot \sin \Delta \phi \cong -2 \cdot A^2 \cdot \Delta \phi。$$

由此可见,通过计算 $\alpha、\beta$ 的值,可以分别获取两路信号的幅度差、相位差信息。而整个信号对消单元的损耗大约为 8 dB。在具体的电路设计时,C1、C2、C3、C4 均为 20 dB 耦合器,其中 C4 仅仅是为了保持两支路的平衡而设置的耦合器。C5 为一 6 dB 耦合器,之所以没有采用 20 dB 耦合器,是因为端口 5 输出的信号功率较小,这时采用 6 dB 耦合器将缩小其后检波器的输入功率电平与端口 1、2、3 上检波器输入功率电平的差异,减小检波器的工作动态范围、及非线性可能带来的误差。而在单片机的控制程序中,将不对等耦合度进行数字补偿,然后再参与公式中的运算,以补偿耦合器耦合度的差异引起的采样电压的不对等。功率检波部分采用了 HP2852 零偏置高灵敏度检波管。在检波电路的设计上,采用了差分检波的技术,提高了检波单元的温度特性。而视频放大器部分则采用了 MAX427 构成的低零漂的仪表放大器,四个检波放大单元完全一样。当然采用这样的对消模块也有其固有的缺点:插损大。实测的插入损耗 ≈ 7.6 dB,较直接采用 3 dB 耦合器构成的对消电路的插入损耗大 3 dB,也就意味着误差放大器的增益相应的要高 3 dB。

3 互调对消环路误差信号提取

互调对消环路的误差信号提取对于互调对消环路的控制有着关键性的作用。在互调对消环路采用了导频信号注入法。在图 1 中,各个节点处的频谱分布示意表明了这样一个事实:在功放最终输出的频谱中,导频信号功率的大小可以代表互调信号功率的大小。因此,导频信号功率的变化就体现了环路中互调产物的对消程度:导频信号功率小,互调对消度高;导频信号功率大,环路对消效果差。正因为如此,如何精确检测输出频谱中导频信号存在功率就成为互调对消环路的关键之一。从图 1 中可以看出,在线性功放的最终输出频谱中,要求导频信号和互调的功率比载频的功率低 60 dBc 左右,甚至更高。而且导频和载频、互调之间的频距很小,这些都容易导致导频功率检测误差的增大,同时,也大大降低了检波电压对导频信号功率变化的灵敏度。因此,在导频信号功率检测电路设计上采用了数字差分放大法,如图 4 所示。实际结果表明,数字差分放大法的设计是成功的,也是必须的。

一次导频功率检测操作包括以下几个过程:1)关导频信号输出(图中未画出);2)关两个直流开关(单刀双掷);3)采样 A/D-2 口的电压,并送该电压到 D/A-5 口;4)开导频信号输出;5)开直流开关;6)采样 A/D-3 口电压。从上述导频功率检测的操作过程可以看出,最终 A/D-3 口的采样电压仅仅是导频信号功率的贡献,其他一切的干扰,包括载频、互调产物以及运放的失漂等对检波的电压的贡献都被剔除。同时,由于末级运放的放大作用,大大提高了检波电压对导频信号功率的敏感度。实际的样机调试过程中发现:在关闭导频信号输出的时候,A/D-2 的检波电压常常达到 2.1 V 左右。开启导频信号输出时,A/D-2 口的检波电压在 2.6 V 左右。也就是说,由导频信号功率贡献的检波电压仅仅 0.5 V 左右。通常,适当调整末级运放的增益,将上述仅仅由导频信号功率贡献的检波电压部分放大到 3.5 V-4 V,这样,导频信号功率细微的变化都将引起 A/D-3 口检波电压明显的变化,从而为控制环节提供了可靠的数据源。实际进行的极限测试结果如下:在导频信号的上下边带 200 kHz 处分别放置两个比导频信号本身功率电平高 68 dBc 的单音频信号。此时,调整导频信号注入功率,使得检波器入口处的导频信号功率电平在 -30 dBm ~ -25 dBm 的范围内变化,A/D-2 和 A/D-3 口检测电压的变化如表 1 所示。

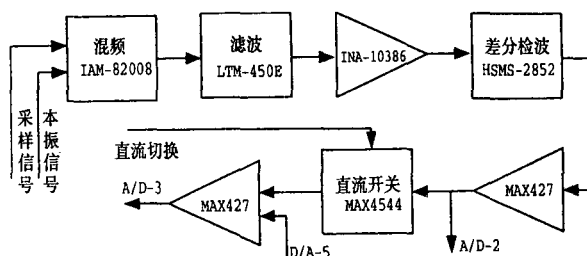


图 4 数字差分检波、放大单元实现框图

在上述数字差分检波放大的工作过程中,还有一个控制信号的参与:导频信号的闭合和断开。在实际的电路实现上通过单片机控制导频信号源后级的衰减器的衰减量来实现的。这样,整个数字差分检波放大实际上占用的单片机资源包括:一个 D/A 口、两个 A/D 口、两个数字控制口(分别控制直流开关和衰减器)。

表 1 导频检波功率及各 A/D 口电压

检波功率/dBm	无导频/V	导频开启/V	A/D-3/V
-30	2.05	2.29	1.23
-29	2.05	2.37	1.61
-28	2.11	2.54	2.19
-27	2.13	2.66	2.73
-26	2.17	2.83	3.34

4 结论

控制的依据是环路的误差信号,因此如何精确、快速的获取控制环路的误差信号是任何控制环路的重要课题之一。本文提出的前馈线性放大中两个对消环路的误差信号提取方法都在实践中得到了验证。在误差信号提取过程中,充分利用了单片机的资源和数字电路的优点,在信号对消环和互调对消环中分别运用了不等耦合度数字补偿、数字差分放大的处理方法,收到很好的效果。另外,在检波的环节上,采用的检波管对构成差分检波电路,改善了检波环节的温度特性,进一步保证了误差信号的精确性。

参考文献:

[1] David Wills. A Control System for a Feedforward Amplifier[J]. MICROWAVE JOURNAL,1998,41(3):23-34.

- [2] Eid E Eid, Fadhel M. Adaptive Nulling Loop Control for 1.7GHz Feedforward Linearization Systems[J]. IEEE TRANSACTIONS ON MICROWAVE THEORY ANDTECHNIQUES, 1997, 45(1):52-55.
- [3] Michael Farlkner. Amplifier Linearization Using RF Feedback and Feedforward Techniques[J]. IEEE TRANSACTIONS ON VEHICULAR TECHNOLOGY. 1998, 47(1):17-31.
- [4] Daniel P. MYER. A Multicarrier Feedforward Amplifier Design[J]. MICROWAVE JOURNAL, 1994, 37(10):59-68.
- [5] Surinder Kumar. Power Amplifier Linearization Using MMICs[J]. MICROWAVE JOURNAL, 1992, 35(3):27-31.

The Double-loop Error Signal Extraction in the Feed-forward Superlinear Amplifier

FEI Jin-feng, WANG Ji-qin, REN Bao-xiang

(The Missile Institute, Air Force Engineering University, Sanyuang 713800, China)

Abstract: This paper deals with extracting the error signals from the opposed-signal cancellation loop and the intermodulated opposed-signal cancellation loop in the feed-forward superlinear amplification. The two extractions in question have proved workable and effective.

Key words: feed-forward; linear amplifier; error signal extraction

(上接第 50 页)

参考文献:

- [1] 杨行峻, 迟惠生. 语音信号处理[M]. 北京: 电子工业出版社, 1995.
- [2] L R 拉宾纳, R W 谢弗. 语音信号处理[M]. 朱雪龙. 北京: 科学出版社, 1978.
- [3] Ephraim Y. Statistical-Model-Based Speech Enhancement Systems[J]. Proc IEEE, 1992, 80(10):1526-1555.
- [4] CAO Zhi-gang, ZHENG Wen-tao, LIU Zhi-yong. Speech Enhancement Algorithm and Realization Based on MMSE Estimation and Real-Time Realization[J]. Chinese journal of Electronics, 1993, 2(2):1-5.

Speech Enhancement Algorithm and Realization Based on the Frame-overlapping-spectral Subtraction

LI Hong-wei, DUAN Yan-li, GUO-Ying

(The Telecommunications Engineering Institute, Air Force Engineering University, Xi'an 710077, China)

Abstract: This paper uses the time-varied spectral analysis and the synthesis technology eliminate the noise from the noisy speech through the frame-overlapping-spectral subtraction method which accords with the characteristic of constant changing speech. The test verifies that this method can effectively eliminate the disturbance of noise to get the enhanced speech, and ensure the non-loss of the intelligibility and the naturalness of speech.

Key words: time-varied spectrum; spectral subtraction method; speech enhancement