

基于 C5509A 的功放闭环数字控制系统

国营第七一三厂博士后工作站 陈向明

引言

随着通信系统的发展,要求通信具有更高的传输可靠性、更强的抗干扰能力。在无线信号发射过程中,射频信号必须经功放放大,再经天线发射出去,信号经功放后的幅度和稳定性对通信的可靠性和抗干扰起着关键作用。功放输出信号的幅度越大通信可靠性越稳定,接收的准确性和可靠性就越高。在发射端,功放输出功率控制一方面需要保证功放的安全可靠,另一方面又要尽可能使功放输出功率最大。因此,对功放的输出功率控制就显得十分重要,早期的功放控制一般采用模拟等方法实现。

本文提出一种基于DSP的数字闭环功放控制系统,通过检测正反向功率电压确定输出功率上升或下降的最佳步

径,按该步径增加或者减少功放输出功率,并随时检测输出功率是否超过额定输出功率,如超过额定输出功率,根据求出的最大下降步径进行相应的调整,及时将功放输出功率减小到额定功率,这样形成一个闭环控制系统。由于采用DSP为处理核心,处理速度和计算精度都得到保证。这样既能保证功放的安全可靠又可以使功放尽量输出可发射的最大功率。

系统硬件结构

整个系统由 C5509A、AD9857、AD7655 组成,系统框图如图 1 所示。

从图 1 可以看出,DSP 是核心控制单元;AD9857 用于发射数据,进行上变频,并输出模拟数据到功放,再经过

天线发射出去,AD9857 的控制信号由 DSP 的 SPI 接口实现。AD7655 负责采集功放的正向和反向电压值,将电压值回送到 DSP,DSP 根据电压值进行功放控制。SRAM 存储发射的基带数据,以及实时计算发射基带数据的中间变量。Flash 保存 DSP 所需要的程序,供 DSP 上电调用;DSP 和 PC 之间使用 HPI 口,使用 PCI 桥芯片,实现和 PC 的连接。DSP 对 AD9857、AD7655、SRAM 以及 Flash 都是经过 DSP 的 EMIF 接口连接,EMIF 接口是 DSP 的外部存储器接口 (External Memory Interface),可以方便的和外部 Flash、异步 SRAM 等设备连接。本系统的外部设备数据通信速率均较低,最高数据传输率为 AD9857 的 48Mb/s,C5509A 的 EMIF 接口适合满足其速度要求。

闭环控制算法

对发射机功放输出功率的典型控制方法是根据驻波比来调整发射机的输出功率。发射机的正、反向功率检测电压与功放输出功率及驻波比之间的数值关系如下。

正向功率检测电压:

$$V_{FWD} = V_{F_Full} \sqrt{P_{FWD} / P_{F_Full}} \quad (1)$$

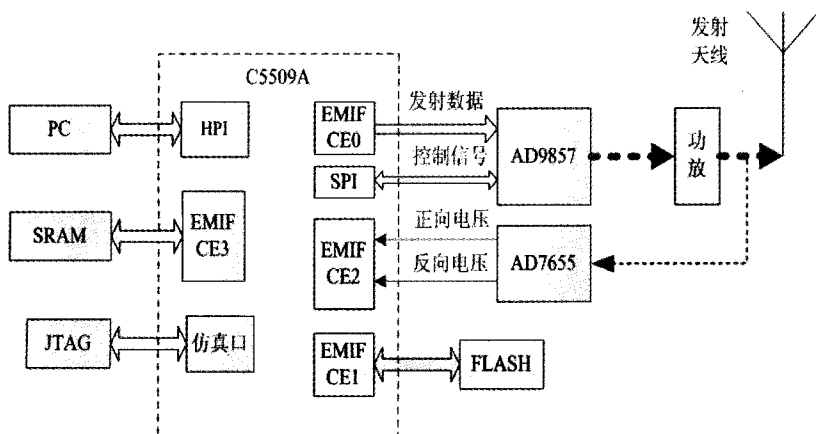


图 1 系统结构框图

反向功率检测电压：

$$V_{REV} = V_{F_Full} \sqrt{P_{REV} / P_{F_Full}} \quad (2)$$

驻波比：

$$S = \frac{V_{FWD} + V_{REV}}{V_{FWD} - V_{REV}} \quad (3)$$

式中， V_{F_Full} 表示当功放输出最大额定功率时对应的正向功率检测电压， P_{FWD} 表示功放输出的正向功率， P_{REV} 表示反向功率， P_{F_Full} 表示功放输出的最大额定功率。

根据正、反向功率检测电压计算出允许功放输出功率的最大上升或下降步径来控制功放输出功率。

设 P_{R_Full} 为功放能承受的最大反向功率，并且 $P_{R_Full} = b$ (常数)； P_{OUT} 为反向电压达到 V_{R_Limit} 时的输出功率；输出额定功率时对应的正向功率检测电压 $V_{F_Full} = a$ (常数)； $P_{F_Full} / P_{R_Full} = n$ (常数)。这三个常数都由功放的指标确定。

$n = P_{F_Full} / P_{R_Full} = a^2 / N_{R_Limit}^2$ ，可以得到 $V_{R_Limit} = a' \sqrt{n}$

根据式 (3)，在反向电压达到 V_{R_Limit} 时的驻波比如下：

$$S = \frac{V_{FWD} + V_{R_Limit}}{V_{FWD} - V_{R_Limit}} = \frac{V_{FWD} + a' \sqrt{n}}{V_{FWD} - a' \sqrt{n}} \quad (4)$$

$$V_{FWD} = \frac{S+1}{S-1} \cdot \frac{a}{\sqrt{n}}, \quad \frac{P_{Out}}{P_{F_Full}} = \frac{V_{FWD}^2}{a^2}$$

$$P_{Out} = \frac{\left(\frac{S+1}{S-1}\right)^2 \times b}{n} \quad (5)$$

由于 P_{OUT} 最大为 b ，所以有：

$$\left(\frac{S+1}{S-1}\right)^2 = n \quad (6)$$

当 $\left(\frac{S+1}{S-1}\right)^2 = n$ 时， $S = \frac{\sqrt{n}+1}{\sqrt{n}-1}$ ，也就

是说，此时输出额定功率。

根据上面的讨论，功放输出额定功率受限于功放的 P_{F_Full} / P_{R_Full} 的比值 n 。在一定驻波比情况下，功放是无法输出额定功率的，例如，驻波比为 3， n 为 3 无法输出额定功率。此时，功放能够输出的功率将

小于额定功率，但可以输出的最大功率是多少呢？根据式 (5)，图 2 画出了功率控制曲线图。图中设定输出额定功率为 0dB，为了比较，图中给出了 $n = 9$ 和 $n = 5$ 以及线性控制方法的曲线。

线性控制方法为根据驻波比直接进行线性比例控制方法。线性控制不考虑功放自身的情况，所以其控制简单，比较容易实现。但控制粗糙，对于质量好的功放，没有充分发挥其性能，对于质量差的功放，又容易烧毁功放。

如图 2 中 $n = 9$ 时，此时功放的指标较差，一般情况下不能使用。尤其在使用线性控制方法时，工作时间稍长就会烧毁功放。这是因为，线性控制方法在驻波比等于 2 时，输出额定功率。而使用基于闭环控制算法后，由于 $n = 9$ ，在驻波比等于 2 时不能输出额定功率，确保不会烧毁功放。

如图 2 中 $n = 5$ 时，此时功放的指标较好，使用线性控制方法，仍然严格遵

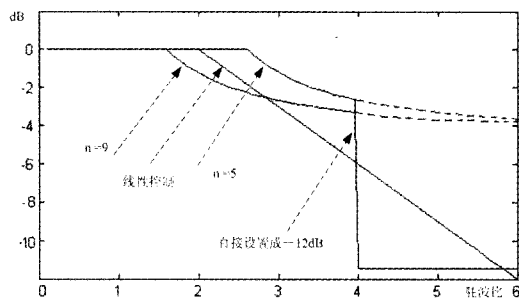


图 2 功率控制曲线

守图中斜线，闭环控制方法的功率输出则明显偏大，充分利用了功放的特性。

实际工作情况下，驻波比大于 4 时功放和天线都将明显变差，此时为了保证系统的稳定，将直接将曲线设置成 -12dB ，使得功放的输出维持在较低的水平。

实验

为了验证本文提出的方法的有效性和实用性，将该方法应用于短波和超短波电台，图 3 为其功率控制收敛曲线。从图中可以看出，功率控制大概在 10 次步径后达到稳定状态，稳定后曲线波动较小，功率输出几乎恒定。

总结

本文介绍了对发射机功放输出功率进行控制的闭环控制算法，以及系统组成。通过计算正反向功率检测电压，确定允许功放输出功率升降的最大步径来控制功放输出功率。整个系统采用 DSP 和 AD9857 来实现，经过短波和超短波系统测试，基于闭环算法的功放输出效率明显高于其他典型的线性控制算法，在确保功放安全的情况下，对提高功放的效率具有实用价值。

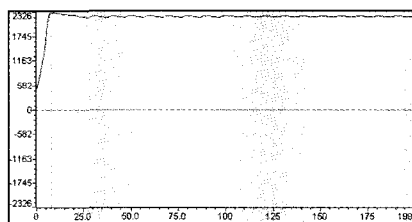


图 3 功率控制收敛曲线