

# 高速高精度A/D转换器的抗干扰\*

金圣经 沈国光 张曙之

(长春物理研究所)

高速高精度A/D转换器是一种精密的处理模拟信号的设备,所以极易受到噪声干扰的影响。要提高精度,就必须尽可能避免或减小这种影响。为此,首先需要了解干扰产生的原因。

噪声分许多种类,按波形特征分为周期性噪声和非周期性噪声。后者又可分为连续性噪声与冲击性噪声。但它们之间并没有严格的区别而往往同时融混在一起。

如果从噪声成因来分,又可分为内部噪声与外部噪声,前者为系统内部自身产生的噪声,后者则为系统外部通过各种途径窜入的噪声。

这里我们着重讨论电源干扰,地线干扰,外部干扰等引起的噪声,并结合我们研制的A/D转换器提出减小干扰的一些措施。

## 一、电源干扰

精密仪器中,因电源缺陷而产生的干扰均属电源干扰,如调整率不佳、随机的电源变动、长时间的漂移、哼声、纹波及过渡现象等。这类干扰应从电源的精度(稳定性、频宽、内阻)等方面考虑来减小它们。这里主要讨论电源变压器的漏电流和由电源供电方式带来的干扰。

(1) 漏电流流入被测线路引起干扰。

漏电流最主要的来源是设备的电源变压器。为了减少变压器副边到原边之间的电容,在原边和副边两绕组之间加入保护屏蔽。这样,原边到副边的电容就为保护屏蔽所分开。如图1所示,保护屏蔽应与原边相接;如果保护屏蔽接到副边,则所有的漏电流将经过模拟信号线路而产生比屏蔽前大数百甚至数千倍的干扰(由于 $C_2$ 变大)。

变压器绕组与屏蔽之间的容抗和绕组与屏蔽之间的距离,工作频率等因素有关。一般绕组和屏蔽之间的电容为几千微微法,如果我们取2000微微法,则对应于50赫交流信号其容抗

$$X_c = \frac{1}{2\pi f c} = \frac{1}{2 \times 3.14 \times 50 \times 2000 \times 10^{-12}} \approx 1 \text{ M}\Omega$$

$$\text{当次级绕组输出为} \sim 24 \text{伏, 则流过此电容的漏电流, 当匝数} n \text{很大时为 } I = \sum_{m=1}^n \frac{m v}{n} \cdot \frac{1}{X_c} = \frac{V n^{(1)}}{2 X_c} = \frac{24 v}{2 \times 10^6 \Omega} = 12 \times 10^{-6} \text{ A}$$

这个电流在 $2 \Omega$ 电阻的地线中就会产生24微伏的干扰。显然这对微弱信号是不能允许的。

为了减小 $C_2$ ,可在保护屏蔽和原边之间再加一层屏蔽。因为把保护屏蔽接得使共态抑制

\*此文发表在“电子技术应用”1981年第1期。



最大，会使漏电流的效应最大，而保护屏蔽接得使漏电流最小，则又会相应地减少了共态抑制。为了克服这一缺点，在保护屏蔽与副边之间再加一层屏蔽。图2表示带有完整屏蔽的电源变压器图，也就是我们装置中采用的变压器结构。

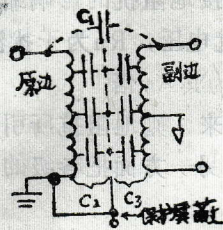


图1 有保护屏蔽的变压器

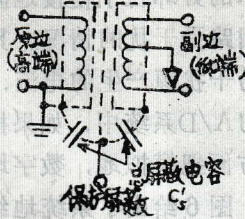


图2 带有完整屏蔽的变压器

(2) 电源供电方式不当，电源回路存在公共的阻抗；放大器之间或其他公共电源负载之间由于阻抗耦合形成干扰。

图3是其示意图。如 $Z_c$ 为公共阻抗，由 $A_2$ 流过的电流 $i$ 在 $A_1$ 处产生 $V_n = iZ_c$ 的正态干扰。当 $A_1$ 为小信号线路， $A_2$ 为大信号线路时此种影响极大。此时靠改善稳压电源的性能是不能压低噪声的。

根据这种情况，在我们的装置中，全部模拟电源均采用并联供电方式，并将用于不同目的电源互相分开。图4表示了电源供电示意图。为了进一步减小电源回路的阻抗，引线用粗导线或导线板。

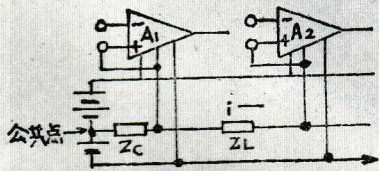


图3. 电源线路的共同阻抗

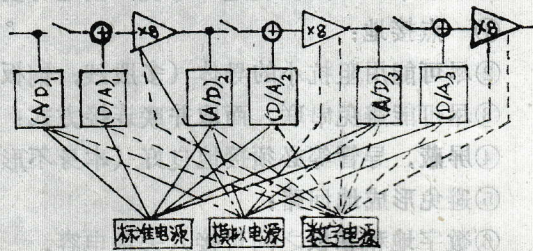


图4 供电式示意图

## 二、地线干扰

理想接地阻抗为零，能无限地吸收电能，干扰电流完全被吸收掉。但实际的接地中有连接阻抗，杂散电容，所以如果地线不佳或接地点不当都会产生新的干扰。

由于串并型A/D转换器系统是既包含模拟电路又包含数字电路，所以必须注意两个电路系统的相互干扰，这种干扰往往成为系统的噪音，而降低设备精度。如果数字地和模拟地接在同一条线上，则其间将出现一电压源。它主要是由感应电流及流经两部分接地点之间的地电流产生的，其数值决定于线路耦合及周围环境。

通常数字系统具有较大的脉动信号而模拟系统流过的却是弱信号。如果两个系统的公共地线，在数字和模拟信号之间产生耦合，则将使模拟信号电平呈现漂移或残留电压。



一般接地系统都作为讯号及电源返回线的公共线路，是作讯号和电源的基准点用的。而在我们的设备中，既分模拟系统和数字系统又包含各种地，机壳地、电源地、输入信号地、输出信号地等，而信号地又分为模拟地和数字地。这些地点和基准接地点之间均会有接地阻抗。接地技术的好坏在于使接地阻抗尽量趋于零，或使接地阻抗的影响缩小到最低限度。图5表示地线回路受干扰的情况。其中 $V_n$ 为地线回路干扰电压， $R_n$ 为干扰源等效内阻， $R_g$ 为地阻抗， $I_n$ 为干扰源产生的电流，则 $V_n = I_n R_g$ ，输出为其 $A_v$ 倍。

在我们的A/D系统中，如果把各级的接地线串联起来，则地阻抗所引起的干扰将是很大的，为此一方面把模拟地，数字地及机壳地隔离开来，另一方面把各级的每种地线分别地汇集在一点上。图6给出了系统地线设置示意图。

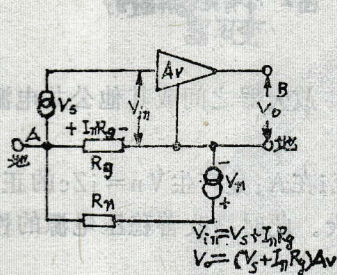


图5 地线干扰

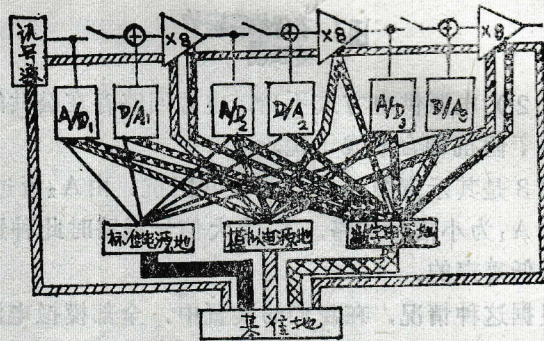


图6 系统地线设置示意图

为了减小接地阻抗引起的干扰，接地时要考虑如下几点：

- ①一点接地；
- ②尽可能用阻抗小的导体（多股线，铜板条等）；
- ③尽可能避免串联，而取并联连接方式；
- ④屏蔽，导管等必须接地良好（本身不形成电回路）；
- ⑤避免形成地回路；
- ⑥数字地和基板之间可接入去耦电容。

### 三、外部干扰<sup>[2]</sup>

这里指的外部干扰，主要指电磁场产生的干扰，它可以归纳为静电耦合干扰，电磁耦合干扰和阻抗耦合干扰。图7表示周围对系统的外部干扰。图中： $I_n$ —接地电流； $\phi_n$ —耦合到输入信号线路的磁通； $\phi'_n$ —抵达系统的磁通。

(1) 静电耦合干扰讯号线路周围存在的干扰源与讯号线路之间的感应，在线路内产生干扰，它同静容量成比例。图8表示这一干扰示意图。其中 $E_n$ 是以公共线路为基准的干扰电压—共态干扰。

信号线上的合成干扰电压为：

$$e_s = \sum_{i=1}^n \frac{C_{oi}}{C_{oi} + C_i} = E_i$$



其中  $C_i$  是  $E_i$  干扰源与讯号线路之间的电容； $C_{oi}$  是与讯号线耦合的  $C_i$  以外的合成电容。

### (2) 电磁耦合干扰

这是由与讯号源相邻的大电流线路和讯号线路之间的磁通  $\phi$  耦合在信号线上感应出的干扰。图9表示电磁耦合形式的干扰，干扰电压由下式给出：

式中  $I_i$  是第  $i$  个大电流线路流过的电流， $M_i$  是讯号线路与大电流线路间的互感系数。此干扰串联在信号线路中，称为正态干扰。

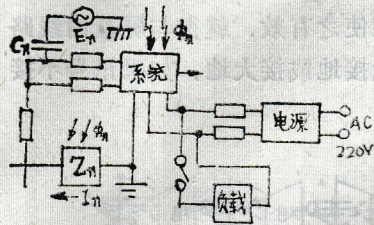


图7 周围对系统的各种干扰

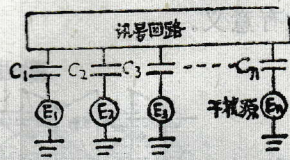


图8 静电耦合形式干扰



图9 电磁耦合形式干扰

### (3) 阻抗耦合形式干扰

干扰电流流过讯号线路造成压降而产生的干扰，由于线路的绝缘电阻低，公共阻抗和接地线路电流等原因，常会第二次产生干扰。

由上述分析可见，小信号线路和大信号线路共存，或信号线路周围有电磁辐射时，对小信号线路就会有大的干扰。

所有这些外部干扰，可归结为如图10所示的等效电路中的二种干扰。

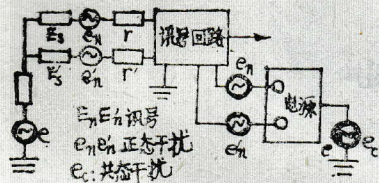


图10 外部干扰的等效电路

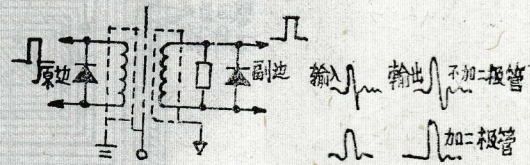


图11 减小瞬态过程

针对这些外部干扰，我们在设备中采取了如下的一些抗干扰措施：

- ① 对于干扰源施行磁屏蔽及静电屏蔽；
- ② 模拟信号系统取一定的距离，施行静电屏蔽；
- ③ 数字系统和模拟系统根据不同情况进行部分或完全隔离；
- ④ 引线 and 基板的布线要短，用多股绞合线，屏蔽线等来减小布线的噪音；
- ⑤ 不必要的高速开关器件尽可能不用；
- ⑥ 模拟信号线应尽量远离数字信号线和交流电源线，如果相交应互相垂直。
- ⑦ 隔离变压器，开关等具有瞬态过程的部件上，根据情况分别接入电阻、电容、二极管等元件，以便减小瞬态过程的影响。如图11所示。



## 四、屏蔽

在高精度仪器中，为了消除外来干扰，施行一定的屏蔽措施是必不可少的。但是必须注意正确连接，否则会适得其反。屏蔽电流回路不应包含讯号导体，屏蔽—讯号导体的连接，再接在讯号接地点上。

图12表示正确的输入屏蔽连接。由 $E_s$ 造成的电流取②→①→③→②回路，在导体④⑤内没有电流流过。如若屏蔽接在②⑤处，则 $E_s$ 产生的电流将取道③→②→⑤→④→①→③。此回路包括导体④⑤，会产生干扰。由此可知，一静电屏蔽罩使之有效，就得与屏蔽内线路的零讯号基准电位相连接。如果信号接地或接大地，屏蔽也就接地或接大地；如果讯号不接地或大地，则屏蔽接地或大地就没有意义。

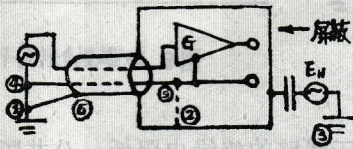


图12 正确的输入屏蔽串接

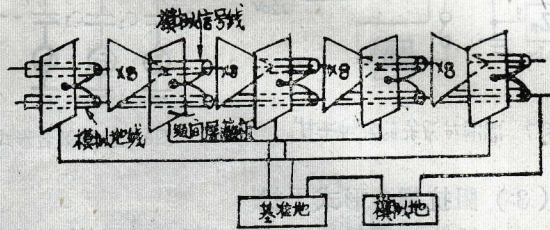


图13 屏蔽接地示意图

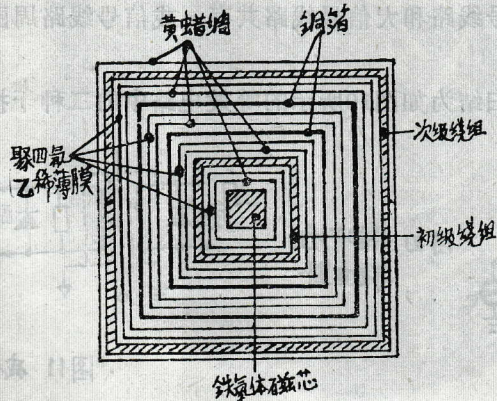


图14 双层屏蔽变压器结构示意图

屏蔽导体应在讯号接地处与零讯号基准电位连接。这样就保证寄生电流在屏蔽中而不在讯号导体中流过。屏蔽可看作是不需要的电流回接地点的泄漏通道。

对于多级系统，一般都制成本身的屏蔽段，而每级与零讯号基准电位连接。如果屏蔽接在两点，则在屏蔽中有电流流过并造成一电位。为了获得连续性，需要两点以上与基准地电位连接时，必须保证在屏蔽导体中不让电流流过。

根据上面的讨论，我们采取了如下的屏蔽措施：

- ①级与级之间的模拟信号输出和模拟地线，均用同轴电缆并把电缆的屏蔽铜网一端接地。
- ②转换器的每级均进行屏蔽，其屏蔽板分别接到地点。
- ③同一个印刷板中，数字系统和模拟系统之间也加屏蔽板。



图13是屏蔽接地示意图。在我们的系统中，为了实现模拟地、数字地以及机壳地之间的隔离，数字部分与模拟部分之间的联系，是用隔离变压器来实现的。隔离变压器的屏蔽通常有：分离屏蔽法；法拉第屏蔽法；盒式屏蔽法。我们采用了法拉第屏蔽法。图14表示我们所用的隔离变压器结构示意图。

上面的分析和措施是针对我们研制的12位10万次串并型A/D转换器。实验证明这种措施对防止干扰是有效的。这些措施，只是防干扰措施的一部分，但对于其他弱信号测量设备也是有意义的。

#### 参考文献

- (1) Ralph Morrison. "Grounding and Shielding Techniques in Instrumentation" (Second Edition), P40-41  
A Wiley-Interscience Publication John Wiley Sonn, Inc.
- (2) 北岛清作. "エレクトロニクスダイズエスト" 1970年5月 P59-69

## THE ANTI-INTERFERENCE OF THE HIGH-SPEED HIGH-ACCURACY A/D CONVERTER

Jin Sheng-Jing, Shen Guo-guang, Zhang Shu-Zhi

(Ciang Chun Institute of Physics, )

#### Abstract

The interference factors in the high-speed high-accuracy (rate is 100,000  $\text{sec}^{-1}$ , 12 bit) series-parallel connection A/D converter have been analysed in this paper. The factors include the disturbances caused by power supply, earth wire and outside (electrostatic coupling, electromagnetic coupling, impedance coupling). To prevent the interference we have adopted the following methods; connecting power source's transformer protect shield with the first coil, inserting a shield between the protect shield and first and secondary coils, parallel feed and independent power supplies in different parts, perfect ground connection collect to one point in every stages). To prevent the disturbances caused by outside we made the use of; shielding the disturbances sources, a screened analog system, part or full partition between analog and digital systems, reducing wire noise, making least use of high-speed switches. Devices, which may be in mutation state, have been attached by resistors, capacitors and diodes to reduce the influence of transient. Shielding is thought as a leakage way for no use current to earth. The experiments have proved that these methods are effective.