

# TQ03D 电路板工作说明书

T. Q.

V4.0	PCB – TQ03D	2012-3-30
	ARM，仅增补 BpOut 功能定义	2013-5-7

参考：EEC19 板设计说明书

## 1. 前言

TQ03D 电路板，秉承 TQ03 系列电路板，基本维持 TQ03 板电路架构、运转流程和 PC 数据接口协议。在此基础上，开展阵列涡流线圈动态配置方案(简称 DEAC --- Dynamic Eddy Array Configure)和逐通道的驱动线圈平衡方案。

结合 TQ03 系列板的发展历程，列示 TQ03D 板的主要特性如下：

- 频率发生方案及其参数组合不变，能输出的最高正弦波频率仍为 5MHz；(始于 A 板)
- A/D 芯片为 16-bit、40MHz (Max)；(始于 C 板)
- EX-32 协议，即按 32 位格式向上位机传输采集数据；(已在部分 B 板和所有 C 板实施)
- 滤波方式(RF、LF)及其参数不变，但从这里开始上位机只向下传递系数 a；
- 驱动幅值仍为 1 ~ 8V 可调，但改由硬件操作串行 D/A，上位机只要向下传递幅值参数；
- 逐通道(信道)驱动/接收线圈的动态配置；
- 逐通道(信道)的线圈驱动电流平衡；
-

## 2. 电路运行进程

在启动电路工作后(置位 Running), TQ03D 板即进入多通道运转循环, 循环流程、步骤大概是:

- (1) 电路初始化, 设置决定正弦波幅值的参考电位。
- (2) 启动多通道项目循环, 根据项目数量(ChAmount), 从第一个项目开始到最后一个项目, 顺序进行, 周而复始。  
根据硬件、软件之间的采集数据存储、转移状态, 决定本轮的采集数据是否被存储, 即置位/复位 SaveEnable。  
项目号是顺序增加的, 表示信号通道。  
如果是 RF 直传模式(TransMode = 1), 则项目数参数无效, 电路只在上位机规定的通道上(TransChn)运行。
- (3) 以项目号作为索引, 读出当前信号通道的上述各参数, 并分解重置;
- (4) 运行当前通道的正弦波发生、驱动、接收、放大、采集, 以及 RF 滤波, 检波, LF 滤波等数字信号处理, 是否存储数据则根据 SaveEnable 状态。  
每通道的工作任务可以分别设置, 当前支持常规涡流、快速涡流、磁记忆等检测模式。  
一个通道可能包含一个或多个正弦波形, 详见附-1、附-3。
- (5) 完成该通道检测后, 电路状态转移:
  - 若项目循环未满, 即转入下一个项目 (项目号增 1)。  
转到第(3)步。
  - 若项目循环已满, 即转入第一个项目 (项目号归 0), 若本轮数据有被存储, 向存储控制状态机发出一个通知信号。  
转到第(3)步。
  - .....
- (6) .....

## 3. 软件操作进程

在进入应用程序后, 置 PowerOn = 1, Running = 0, 设置好各电路参数。

主机程序处理涡流采集进程 (与硬件相关部分):

- (1) 置 Running = 1, 进入采样流程。
- (2) 等待 SampReady = 0, 从 ExchangeRam 读取一轮采集数据。
- (3) 向硬件发出 ReStart 信号, 通知读写控制状态机(ExStateMachine)开放下一轮数据的存储。
- (4) 返回第二步, 进入下一循环, 周而复始。

在检测过程中, 需要修改参数时, 应先置 Running = 0, 再重置参数, 设置完毕后置 Running = 1。  
退出检测程序前, 置 PowerOn = 0。

## 4. 信号、参数、数据的名称定义

将参数划分为全局参数和通道参数。对于通道参数，每个通道需分别设置。  
表-4.1 至表-4.2 列出主机可操作的参数、数据。

表-4.1 全局参数

名称 (及操作)	定义描述		
PowerOn (WR)	1 位, 1/0 将开通/关断部分电路的工作。 进入检测程序时置位, 退出检测程序时复位		
Running (WR)	1 位, 1/0 将允许/停止检测电路的运行, 在为 0 时还将复位一些电路的工作状态。 设置或修改电路参数前应先停止电路运行, 设置完毕后或启动采样前开启电路运行		
ReStart (W)	1 位, 读取完一轮数据后通知硬件(也可在读取一轮数据之前发出以提高速度)		
SampReady (R)	1 位, 判别:	0	至少一轮采集数据已经准备好
		1	尚无数据供主机程序读取
ChAmount[7:0](WR)	8 位, 循环的项目(通道)数, 赋值范围 1 ~ 128		
TransMode	1 位,	0	正常检测模式
		1	RF 直传模式
TransChn[6:0]	7 位, RF 直传模式时的通道号, 仅在 TransMode = 1 时才有效		
TransAmount	RF 直传模式的采集点数。计算方法参考附-4。软件需要计算这个数值并依此从 Ex-Mem 读出正确点数的 RF 采集数据, 但无需向硬件传递这个参数。		
SineAmplitude[3:0]	4 位, 取值 1 ~ 8 (V)		
AdOffset[7:0]	8 位(signed), 调整 AD 输入数据的直流位移量, 取值在 -100 ~ +100 间。		
BpOut[7:0] (WR)	8 位, 输出仪器控制信号	D[0]	OC 门输出
		D[1]	OC 门输出
		D[2]	OC 门输出, 可作为延时报警(AlmD)
		D[3]	OC 门输出, 可作为实时报警(AlmR)
		D[4]	OC 门输出, 专用于 LED 显示控制
		D[5]	CMOS 电平输出
		D[6]	OC 门输出, 专用于蜂鸣器控制
		D[7]	输出 SupplyTurnOff (= 1 时将关闭电源)
BpIn[7:0] (R)	8 位, 用以从外部控制 仪器运行。	D[1:0]	第一路外部时钟输入的 B、A 相
		D[2]	第一路外部触发信号 A (Scan1A)
		D[3]	第一路外部触发信号 B (Scan1B)
		D[5:4]	第二路外部时钟输入的 B、A 相
		D[6]	第二路外部触发信号 A (Scan2A)
		D[7]	第二路外部触发信号 B (Scan2B)
TimerInt[31:0] (R)	32 位, 是按内部时钟 10kHz 计时的计时值		
TimerExt1[31:0] (R)	32 位(signed), 是对第一路外部时钟进行可逆计数的计数值		
TimerExt2[31:0] (R)	32 位(signed), 是对第二路外部时钟进行可逆计数的计数值		
TimerIntClear(W)	1 位, 清零 TimerInt[31:0]		
TimerExt1Clear(W)	1 位, 清零 TimerExt1[31:0]		
TimerExt2Clear(W)	1 位, 清零 TimerExt2[31:0]		
TimerExt1ClrMode(W)	1 位, 置 1 时允许 Scan1A 上升沿清零 TimerExt1 (Scan1A 与 TimerExt1Clear 相或)		
TimerExt2ClrMode(W)	1 位, 置 1 时允许 Scan2A 上升沿清零 TimerExt2 (Scan2A 与 TimerExt2Clear 相或)		
TimersLen (W)	1 位, 控制计时器数值的锁存, 为 1 时允许在计数的同时更新锁存器数值。		

	软件在读取计时计数值之前，须先将其置 0；读完后，须将其置 1	
SampData[31:0](R)	32 位，RF 或 X/Y 采集数据。详见表-6.2	
PcbSN[15:0](R)	16 位，	详见附-5
PcbFN[15:0](R)	16 位，	
PcbCfg[15:0](R)	16 位，	

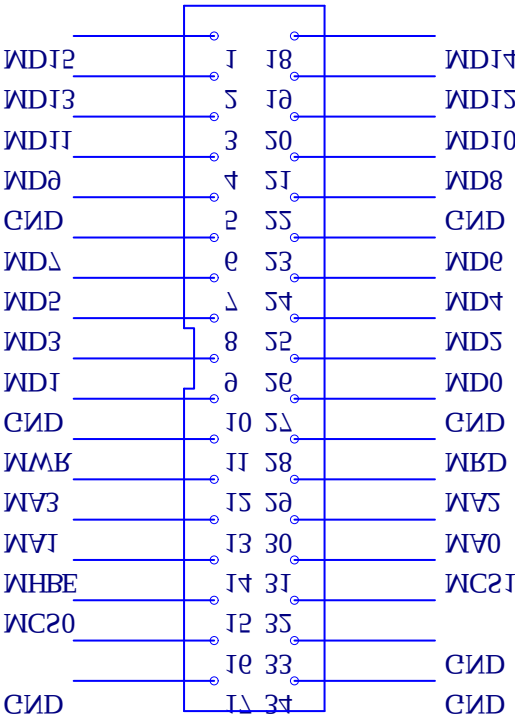
表-4.2 通道参数

名称 (及操作)	定义描述											
ChJob[3:0]	4 位，规定本通道任务	0	常规涡流									
		1	快速涡流									
		2	磁记忆									
F (屏幕示值)	正弦波频率，取值范围 1Hz ~ 5MHz (仅作为屏幕调整参数，软件不能向硬件直接传递)							正弦波形控制参数， 详见附-1				
Wck	用以产生 F 频率正弦波的波形时钟，也是 RF 采样频率 (软件不能向硬件直接传递)											
WckDivisor[15:0]	16 位，是从 40MHz 生成 Wck 的除数											
WpAmount[11:0]	12 位，表示由 Wck 生成一个正弦波形的点数											
WpDelta[23:0]	24 位，表示由 Wck 跳点生成正弦波形的累加增量											
CoilNumforPickB[7:0]	8 位，选择接入接收电路 B 输入的线圈号							阵列线圈及探头驱动 等参数设置， 详见附-2				
CoilNumforPickA[7:0]	8 位，选择接入接收电路 A 输入的线圈号											
CoilNumforDriveB[7:0]	8 位，选择接入驱动电路 B 输出的线圈号											
CoilNumforDriveA[7:0]	8 位，选择接入驱动电路 A 输出的线圈号											
DriveBalance[3:0]	4 位，调整驱动电路 A、B 输出的电阻平衡											
DriveResistanceSel	4 位， 选择驱动电路输出电阻	0	100 欧姆									
		1	50 欧姆									
ProbeGain[2:0]	3 位， 设置探头前置增益	数值	0	1	2	3	4	5	6	7		
		增益	0dB	5dB	10dB	15dB	20dB	25dB	30dB	35dB		
RfLpCoef[15:0]	16 位，设置 Rf 低通滤波系数(系数 a)							关于 IIR 滤波系数计算，参考 附-3				
RfHpCoef[15:0]	16 位，设置 Rf 高通滤波系数(系数 a)											
LfLpCoef[15:0]	16 位，设置 Lf 低通滤波系数(系数 a)											
LfHpCoef[15:0]	16 位，设置 Lf 高通滤波系数(系数 a)											

5. 主机数据接口协议

5.1. 电路接口规范

仿照 PC 机软驱的 FC-34 接插线排，实现主机与 TQ03 板之间的通讯，接口规范定义如图示。



信号（组）名	定义
MD[15:0]	主机 16 位数据信号总线，可选择按 8/16 位操作
MA[3:0]	主机地址信号线
MCS0	主机地址段 0 选通信号（低有效），用以选通涡流板(TQ03 版)。对于 PC-ISA 系统，安排地址范围是 D0020 ~ D002F
MCS1	主机地址段 1 选通信号（低有效），用以选通超声板(TQ02 板)。对于 PC-ISA 系统，安排地址范围是 D0010 ~ D001F
MWR	主机写控制信号（低有效）
MRD	主机读控制信号（低有效）
MHBE	主机数据高字节允许信号（低有效）

图- 5.1 主机数据接口电路与信号定义

对于 PC104 系统，只按 8 位数据总线操作，高字节数据 MD[15:8]和高字节允许信号 MHBE 无效，在电路板上可能用一个 FC-26 接插线排代替 FC-34 线排。

## 5.2. 系统 – 本地总线扩展

在这里，主机将其 TQ03 板视为一个外部存储器，按 Byte(8-Bit)/ Word(16-Bit)组织，以 MCS0 寻访，TQ03 板上安排了 16 个 Byte（或 8 个 Word）的系统地址。

本地的内容要通过扩展地址(64K-Byte)来寻访,扩展地址由主机预置，或在数据读写过程中由电路自动累加。因此，在主机与本地之间，需要设立一种系统 – 本地的地址扩展模式。实现途径是把这些系统地址看作是一些特殊端口，或者说，从硬件看，将系统地址线 MA[3:0]看做是一组控制线，规定 TQ03 板实施一系列约定的操作。

表-5.1 按照 8-Bit 数据格式，列出这些端点的功能协议。扩展地址自动增长时是增长 1-Byte。这时 MD[15:8]无效。

表-5.2 按照 16-Bit 数据格式，列出这些端点的功能协议。扩展地址自动增长时是增长 1-Word。

对于 PC-ISA 系统来说，这两个表所引述地址（端点）是相对于系统地址 D0020 的偏移地址。

表-5.1 主机 – 本地端点功能定义（按 8-bit 数据宽度）

端点 MA[3:0]	标识	描述
0	CheckBkAddrLB	主机读取扩展地址低字节，即：BkA[7:0] => MD[7:0]
1	CheckBkAddrHB	主机读取扩展地址高字节，即：BkA[15:8] => MD[7:0]
2	PresetBkAddrLB	主机设置扩展地址低字节，即：MD[7:0] => BkA[7:0]
3	PresetBkAddrHB	主机设置扩展地址高字节，即：MD[7:0] => BkA[15:8]
4	WriteInc0B	主机向当前扩展地址写入数据(MD[7:0])，且扩展地址不变
6	WriteInc1B	主机向当前扩展地址写入数据(MD[7:0])，随即扩展地址增 1-Byte
8	ReadInc0B	主机从当前扩展地址读出数据(MD[7:0])，且扩展地址不变
A	ReadInc1B	主机从当前扩展地址读出数据(MD[7:0])，随即扩展地址增 1-Byte

表-5.2 主机 – 本地端点功能定义（按 16-bit 数据宽度）（暂不可用）

端点 MA[3:0]	标识	描述
0	CheckBkAddrW	主机读取扩展地址低字节，即：BkA[15:0] => MD[15:0]
2	PresetBkAddrW	主机设置扩展地址低字节，即：{MD[15:1], 1'b0} => BkA[15:0]
4	WriteInc0W	主机向当前扩展地址写入数据(MD[15:0])，且扩展地址不变
6	WriteInc1W	主机向当前扩展地址写入数据(MD[15:0])，随即扩展地址增 1-Word
8	ReadInc0W	主机从当前扩展地址读出数据(MD[15:0])，且扩展地址不变
A	ReadInc1W	主机从当前扩展地址读出数据(MD[15:0])，随即扩展地址增 1-Word

5.3. （……）

6. 本地扩展地址安排

主机对 TQ03 板的进行读写的数据内容，都要通过本地扩展地址访问。

表-6.1 按照 8-Bit 数据格式列出这些 Byte 地址内容。

表-6.1 TQ03D 板本地扩展地址分配表

地址	内容、作用		
0000	读 PcbSn[7:0]		
0001	读 PcbSn[15:8]		
0002	读 PcbFn[7:0]		
0003	读 PcbFn[15:8]		
0004	读 PcbCfg[7:0]		
0005	读 PcbCfg[[15:8]		
0006	读 RunStatus[7:0]	D[0]	SampReady （低表示采样好）
		D[3:1]	（未用）
		D[4]	PwOn
		D[5]	Running
		D[6]	SupplyWillbeOff (低表示要求关闭电源)
		D[7]	（未用）
000F	写、读 CaliMode [7:0] （用于调试硬件，软件无需亦不可操作)		
0010	写 PwOn		D[0]
0011	写 Running		D[0]
0015	写、读 ChAmount[7:0]		
0016	写、读	TransChn[6:0]	D[6:0]

		TransMode	D[7]	
0018	写、读 AdOffset[7:0]			
001F	写、读 SineAmplitude[3:0]		D[3:0]	
0020	写 ReStart		D0 = 1（动作）	
0022	写 TimerLen		D[0]	
0023	写	TimerExt1ClrMode	D[1]	可同时或分别置位/复位
		TimerExt2ClrMode	D[2]	
0024	写	TimerIntClear	D0 = 1 (动作)	可同时或分别清零
		TimerExt1Clear	D1 = 1 (动作)	
		TimerExt2Clear	D2 = 1 (动作)	
002E	读 RtKey[7:0]，其中，bit[7]是旋转计数器中的按键(=1 时有效)， bit[6:0] 计数器中是一次变化量(signed)			
002F	读 Keyboard[7:0]，其中，bit[6:0] 是按键原值，bit[7](= 1 时) 表示长按键（超过 1.2 秒）			
0030	读 TimerInt[7:0]			
0031	读 TimerInt[15:8]			
0032	读 TimerInt[23:16]			
0033	读 TimerInt[31:24]			
0034	读 TimerExt1[7:0]			
0035	读 TimerExt1[15:8]			
0036	读 TimerExt1[23:16]			
0037	读 TimerExt1[31:24]			
0038	读 TimerExt2[7:0]			
0039	读 TimerExt2[15:8]			
003A	读 TimerExt2[23:16]			
003B	读 TimerExt2[31:24]			
003C	读 BpIn[7:0]			
003E	写、读 BpOut[7:0]			
0400 ~ 07FF	写、读 TestRam （用于调试，将来不予保留）			
1000 ~ 13FF	从 ExchangeRam 读检测数据，见表-6.2			
2000 ~ 27FF	写波形及探头控制参数到 WparamsRam，见表-6.3			
3000 ~ 31FF	写 LF 滤波系数到 LfCoefRam，见表-6.4			



表-6.2 ExchangeRam 检测数据排列(1k-Byte， 1000 ~ 13FF)

地址	内容	每通道需要 8-Byte
000	XD[7:0]	Of Ch0
001	XD[15:8]	
002	XD[23:16]	
003	XD[31:24]	
004	YD[7:0]	
005	YD[15:8]	
006	YD[23:16]	
007	YD[31:24]	
008 ~ ~ 00F	⋮	Of Ch1
⋮		⋮
3F8 ~ ~ 3FF		Of CH127

对于磁记忆检测，数据从 XD 读出，YD 无效；  
对于 RF 直传模式，则是一个通道的 RF 数据，最多 256 点（4-Byte /点）。

表 6.3 WparamsRam 内的参数排列 ( 2k-Byte, 2000 ~ 27FF )

地址	内容			每通道需要 16-Byte
000	WpDivisor[7:0]			Of Ch0
001	WpDivisor[15:8]			
002	WpAmount[7:0]			
003	D[7:4]	D[3:0]		
	ChJob[3:0]	WpAmount[11:8]		
004	WpDelta[7:0]			
005	WpDelta[15:8]			
006	WpDelta[23:16]			
007	D[7:4]	D[3]	D[2:0]	
	ProbeBal[3:0]	DriveResistanceSel	ProbeGain[2:0]	
008	CoilNumforPickB[7:0]			
009	CoilNumforPickA[7:0]			
00A	CoilNumforDriveB[7:0]			
00B	CoilNumforDriveA[7:0]			
00C	RfLpCoef[7:0]			
00D	RfLpCoef[15:8]			
00E	RfHpCoef[7:0]			
00F	RfHpCoef[15:8]			
010 ~ ~ 01F				Of Ch1

' ' ' ' '		' ' ' ' '
7F0 ~ ~ 7FF		Of Ch127

表-6.4 LfCoefRam 内的参数排列 (512-Byte, 3000 ~ 31FF)

地址	内容	每通道需要 4-Byte
000	LfLpCoef[7:0]	Of Ch0
001	LfLpCoef[15:8]	
002	LfHpCoef[7:0]	
003	LfHpCoef[15:8]	
008 ~ ~ 00F	' ' ' ' '	Of Ch1
' ' ' '		' ' ' '
1FC ~ ~ 1FF		Of Ch127

7. (……)

## 附-1 TQ03 版激励频率及其正弦波形生成

A1-1. 硬件设立一个 ROM, 存放 2048 点的一个周期的正弦波形数据。正弦数据按 8-bit 二进制数, ROM 内各点数据:  
 $127.5 + 127.5 * \sin(2 * \pi * k / 2048)$  ,  $k = 0, 1, 2, \dots, 2047$

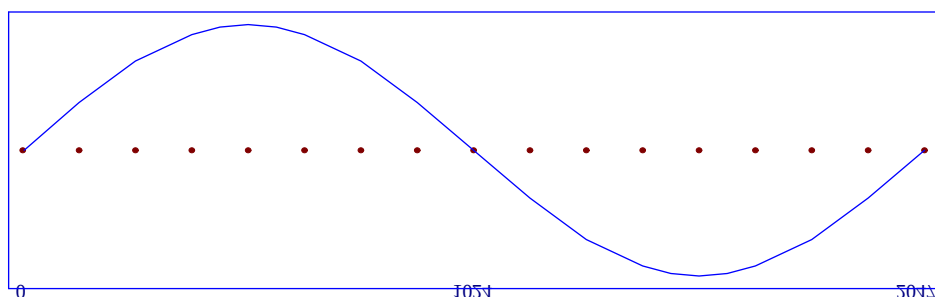


图 2.2 2048 点单周期正弦表

当以 Wck 频率, 按 2048 点从 ROM 逐点读出时, 再经 D/A 转换, 即可生成一个频率为 WCK/2048 的正弦波。

记为:  $F_0 = F(k)$ ,  $k = 0, 1, 2, \dots, 2047$

若按 M 点以跳点方式 (步进 2048/M) 读出, 则是一个频率为 WCK/M 的正弦波。

记为:  $F = F(k * 2048 / M)$ ,  $M = 4 * (2, 3, \dots, 2048/4) = 4 * (2, 3, \dots, 512)$ ,  
 $k = 0, 1, 2, \dots, M - 1$

限制: 一个周期的正弦波形点数(M)最少是 8 点, 最多是 2048 点。

要生成一个预期的涡流检测频率需要确定 3 个参数:

- # 波形时钟 Wck;
- # 一个周期的正弦波形点数 M;
- # 跳点读出 ROM 数据的步进增量 2048/M。

因此，电路设置有：

- # 一个 16 位分频器，用以从基时钟(BCK = 40MHz)分频产生 WCK； ( 40MHz / (Divisor + 1) )
- # 一个 12 位计数器，用以计数输出波形点数；
- # 一个 27 位累加器，划分为 11 位整数和 16 位小数，整数部分[26:16]连接 ROM 地址线[10:0]。

相应地，根据各通道的正弦频率，上位机软件要对每个通道设置 3 个参数：

- # WpDivisor[15:0]：时钟分频数值，按  $(40 * 1000000 / Wck) - 1$  计算；
- # WpAmount[11:0]：波形点数 M，按  $4 * \{2, 3, \dots, 512\}$  给出；
- # WpDelta[23:0]：累加器增量，按  $2048 / M$  计算，一般不是整数，其中高 8 位[23:16]是整数部分，低 16 位[15:0]是小数部分。

A1-2. 显然，并不能产生任意频率的正弦波，此外，在频率点上，还应注意合理安排其疏密、均匀。

首先是要确定波形时钟 Wck，然后按  $M = Wck / F$  计算波形点数 M。

除了在高频段(100KHz 及以上)，M 只好较少外，在其它频段，应让 M 大于 400 点。

考虑将正弦频率分段，指定 Wck。这里是一种可能方案：

F	Wck	M (pts)
5000KHz ~ 20KHz	40MHz	8 ~ 2000
19.0KHz ~ 10KHz	20MHz	1052 ~ 2000
9.9KHz ~ 4.0KHz	8MHz	808 ~ 2000
3.9KHz ~ 2.0KHz	4MHz	1024 ~ 2000
1.9KHz ~ 800Hz	1.6MHz	840 ~ 2000
790Hz ~ 400Hz	800KHz	1012 ~ 2000
390Hz ~ 160Hz	320KHz	820 ~ 2000
150Hz ~ 80Hz	160KHz	1064 ~ 2000
79Hz ~ 32Hz	64KHz	808 ~ 2000
31Hz ~ 16Hz	32KHz	1032 ~ 2000
15Hz ~ 8Hz	16KHz	1064 ~ 2000
7Hz ~ 4Hz	8KHz	1144 ~ 2000
3Hz ~ 2Hz	4KHz	1332 ~ 2000
1HZ	2KHz	2000

在计算累加器增量 WpDelta 时，为提高精度，建议这样处理：

从  $2048 / M$  得到的整除部分，直接作为整数部分，赋予 WpDelta[23:16]；

从  $2048 / M$  得到的余数部分，先乘上 65536，再除以 M，赋予 WpDelta[15:0]。

A1-3. 虽然磁记忆检测不需要正弦波形，但在涡流\磁记忆混合检测系统，为了不影响涡流驱动连续性，就在磁记忆检测时输出正弦波形，其正弦频率取 80KHz：

设置 Wck = 40MHz，波形点数取 500 点。

其波幅在纯磁记忆检测系统设置为 5V，在混合检测系统由涡流参数调整。

附-2 TQ03D 板探头设置

A2-1. 仪器可逐通道动态配置线圈阵列，从阵列中选择分别接入仪器 DriveA、DriveB、PickA、PickB 的线圈。同一个线圈可同时接入这 4 个电路节点，但在一个节拍(通道)，任何一处节点只能有一个线圈接入，也可以放空不接，对于输入节点(PickA/B)来说，还可以选择接地。

TQ03D 板支持最多 256 个线圈的阵列。线圈编码按 8 位数排列，范围从 0 到 255, 但将最后 8 个编码(248 ~ 255)留作特殊用途。

- 255 : 空;
- 254 : 地;
- 253 ~ 248 暂未定义，将来可能用于内置平衡线圈。

因此，探头实际线圈数目为 248 个，编码范围 0 ~ 247。

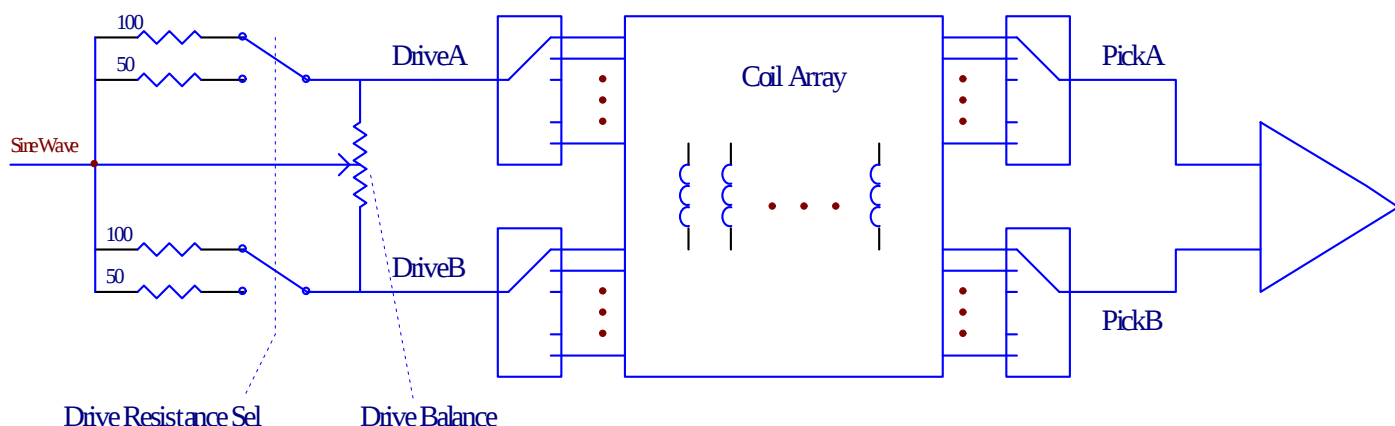
仪器由 4 组 8 位编码分别控制 4 个电路节点和线圈阵列之间的切换，记为：  
CoilNumforPickB[7:0]，CoilNumforPickA[7:0]，CoilNumforDriveB[7:0]，CoilNumforDriveA[7:0]。

A2-2. 仪器以参数 DriveResistanceSel 控制切换探头驱动内阻，可选择 50 或 100 欧姆驱动内阻。*(取消)*

SEL	0	1
内阻	100 欧姆	50 欧姆

A2-3. 仪器以参数 DriveBalance[3:0]控制一个数字电位器，微调 A/B 端驱动电阻，实现探头驱动平衡。  
DriveBalance[3:0]取值范围 0 ~ 15，中值是 8。

建议屏幕可调示值设为 -8 ~ 0 ~ +7，向硬件传递数字 0 ~ 15。



探头设置示意图

### 附-3 IIR 高低通滤波系数计算

A3-1. 以一阶 IIR 低通为例，其滤波迭代计算式基本型：

$$Y_n = aX_n + (1-a) \times Y_{n-1} \quad , \quad \text{其中, } X_n \text{ 是输入系列, } Y_n \text{ 是输出系列;}$$

其系数计算：
$$a = \cos(2\pi f_C T) + \sqrt{\cos^2(2\pi f_C T) - 4 \times \cos(2\pi f_C T) + 3} - 1$$

其中，

$T$  是信号采样周期，对于 RF 与 LF 滤波，其取值的计算方法不同；

$f_C$  是设定的滤波截止频率（半功率点），

$f_C$  取  $0 \sim f_T/2$ ，若  $f_C \geq f_T/2$ ，让  $f_C = f_T/2$ ；（ $f_T = 1/T$ ）

按照上式计算， $a$  随  $f_C$ （ $0 \sim f_T/2$ ）在  $0 \sim 0.82843$  之间正向单调。

上位机软件将这两个小数转换为 16 位无符号整数再传递给硬件。

$$A = a \times 65535$$

约定，关闭低通，置  $a = 1$ ，即  $A = 65535 = 0xFFFF$ ；

关闭高通，置  $a = 0$ ，即  $A = 0$ 。

A3-2. 关于 RF 滤波的截止频率  $f_C$ 、采样周期  $T$

采样频率即为 Wck，即  $T = 1/Wck$ ，注意不同通道的 Wck 可能不同。

讨论一下滤波通带的设置：

取低通滤波的 3dB 截止频率为正弦频率  $F$  的  $1.1 \sim 10$  倍,

(在高频段,  $10 * F$  不可超过  $W_{ck}/2 = B_{ck}/2 = 20\text{MHz}$ )

取高通滤波的 3dB 截止频率为正弦频率  $F$  的  $0.1 \sim 0.9$ 。

屏幕可调参数按这种样式设计, 以便调试。但用户程序不给出此项参数, 而是将该参数蕴含在程序内部。

**暂定: 用户程序的 RF-HP 按  $0.3 * F$  计, RF-LP 按  $4 * F$  计。**

### A3-3. 关于 LF 滤波的截止频率 $f_c$ 、采样周期 $T$

截止频率屏幕可调, 建议设置其调整范围:

低通:  $10\text{Hz} \sim 2000\text{Hz}$ , 最小步进  $1\text{Hz}$

高通:  $0.1\text{Hz} \sim 100\text{Hz}$ , 最小步进  $0.1\text{Hz}$  (改为  $0.1\text{Hz} \sim 500\text{Hz}$ )

采样周期即为一轮多通道检测所需时间, 是每个通道所需时间之和。下面讨论一个通道的持续时间。

一个通道包含一个或若干个完整的正弦波周期。正弦波周期时间较容易计算:  $M * 1/W_{ck}$ 。但一个通道包含几个正弦周期则受如下因素影响。

- (1) 开始一个通道时等待探头和电路稳定的延迟: 在常规涡流检测模式下, 有两条原则同时起作用: 一是至少  $10\mu\text{s}$  的延迟, 二是延迟须是一个或若干个完整正弦周期。

延迟周期数 =  $\text{Quot}(400/M)$

澄清一下整数除法计算式  $\text{Quot}(x/y)$ :

若  $x$  能被  $y$  整除:  $\text{Quot}(x/y) = x/y$ , 如  $\text{Quot}(16/8) = 2$ ;

若不能整除, 即有余数:  $\text{Quot}(x/y) = x/y + 1$ , 如  $\text{Quot}(20/16) = 2$ ,  $\text{Quot}(15/16) = 1$

在快速涡流模式下(这种模式主要用于如 EEC24K 型号仪器或远场涡流仪器), 不作延迟。

对于磁记忆检测模式, 已在附-1 的 A1-3 项说明其等效波形频率为  $80\text{KHz}$ , 波形点数为 500 点, 故其固定延迟周期为  $\text{Quot}(400/500) = 1$ , 延迟时间为  $1 / (0.8\text{MHz}) = 12.5\mu\text{s}$ 。

- (2) 一个通道的最少采集点数是 400 点(以  $W_{ck}$  频率采集), 当一个正弦周期不足 400 点时, 就要再增加若干个完整的正弦周期来完成采样, 这样, 一个通道的采集需要一个或多个正弦周期。采集周期数的确定与延迟周期数相同。即:

采集周期数 =  $\text{Quot}(400/M)$

综上所述, 一个通道的持续时间为:

- # 常规涡流模式:  $2 * \text{Quot}(400/M) * M / W_{ck}$
- # 快速涡流模式:  $\text{Quot}(400/M) * M / W_{ck}$
- # 磁记忆检测模式:  $2 * \text{Quot}(400/M) * M / W_{ck} = 25\mu\text{s}$

再将各通道的时间累加求和, 即为一轮多通道检测所需时间, 即采样周期。



## 附-4 RF 直传模式下的采集点数

当仪器作探头正弦波形显示时，需要将 RFDSP 输出的数据直接传送 PC。考虑：对这种特殊模式，只运行一个通道，但可从现有通道列表中任意指定一个。

一个波形最多是 2048 点(最少 8 点),输出(记为 TransAmount)最多是 256 点,需要予以压缩。压缩比率(记为 CptRate)按下式计算：

$$\text{CptRate} = \text{Quot}(M/256) \text{ , 可见, } 1 \leq \text{CptRate} \leq 8 \text{ 。}$$

再确定输出点数：

$$\text{TransAmount} = \text{Quot}(M/\text{CptRate}) \text{ 。}$$

例如，当  $M \leq 256$  时， $\text{CptRate} = 1$ ， $\text{TransAmount} = M$ ;  
当  $M == 260$  时， $\text{CptRate} = 2$ ， $\text{TransAmount} = 130$ ;  
当  $M == 512$  时， $\text{CptRate} = 2$ ， $\text{TransAmount} = 256$ ;  
当  $M == 516$  时， $\text{CptRate} = 3$ ， $\text{TransAmount} = 173$ 。

电路得到 CptRate 的方法：M 最大值是 2048，用 12 位数字信号表示为 WpAmount[11:0];

将其减去 1 后的有效位是 11 位的数字信号：WpAmountMinus1[10:0]；  
用 3 位数字信号表示压缩比率：CptRate[2:0]，可简单连线：  
CptRate[2:0] = WpAmountMinus1[10:8]。

## 附-5 关于版本号控制

上位机从 TQ04D 板读出下列信息，其意义约定如下：

1. 以 16 位数字 PcbSn[15:0]表示关于电路板系列号，按 4 位 16 进制“XXXX”来表示。

其中，Sn[15:8]固定为 03，表示 TQ03 系列板；  
Sn[7:4]固定为 4，表示 D 版；  
Sn[3:0]用以表示 FPGA-HDL 版本，初版为 0。

2. 以 16 位数字 PcbFn[15:0]表示电路板功能限制

其中，Fn[15:8]未定义，暂置为 FF；

Fn[7:0]是板上跳线，配合软件，限制电路板实现的功能和通道数。

Fn[2:0]: 限制某种型号仪器的最大通道数 (记为 N)。

将 Fn[2:0] 视为 3 位二进制数, 表示 0~7 中的一个数, 记为 k。

通道数限制为:

$$N = 2^k, \quad \text{即 } N \text{ 是 } 2 \text{ 的 } k \text{ 次方。}$$

下表具体列出受限通道数与 Fn[2:0] 的关系。

Fn[2:0]	000	001	010	011	100	101	110	111
受限通道数	1	2	4	8	16	32	64	128

Fn[7:3] 限制仪器检测功能:

Fn[3] = 1 时支持常规涡流检测;

Fn[4] = 1 时支持快速涡流检测 (和分选功能);

Fn[5] = 1 时支持远场涡流检测;

Fn[6] = 1 时支持磁记忆检测;

Fn[7] = 1 时支持漏磁检测。

3. 以 16 位数字 PcbCfg[15:0] 表示电路板配置。暂未定义。