

检修 TEK FG-502 Function Generator

William Xu March, 2020

FG-502 是多功能函数发生器, Tektronix 公司 1973 年的产品. 见图 1. 数年前我从旧货市场把 Tektronix TM-504 买来的时候它装在 TM-504 的第 1 个 Bay 上. 见图 3.



图 1. FG-502 当年的广告



图 2. 我的 FG-502 修复后的照片

The Tektronix TM504 is a four-bay mainframe for the TM-500 system. 它可以插入四个 500 系列的组合件. 当时这 TM-504 带有一个信号发生器 FG-502, 一个数字式多用电表 DM-502, 一个计数器 DC-504, 还有一个电源供给器 PS-503A. 这个 TM-504 组合了一个综合测试仪, 一般修理要用的仪器都在上面了. 可是非常不幸, 这个四个组合件中间没有一个是完好的. 本文叙述如何修好 FG-502 这个多功能函数发生器. 其他组件的修理将另文叙述.

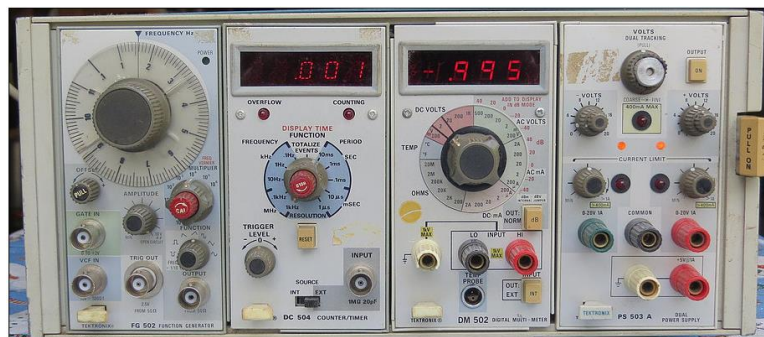


图 3. TM-504

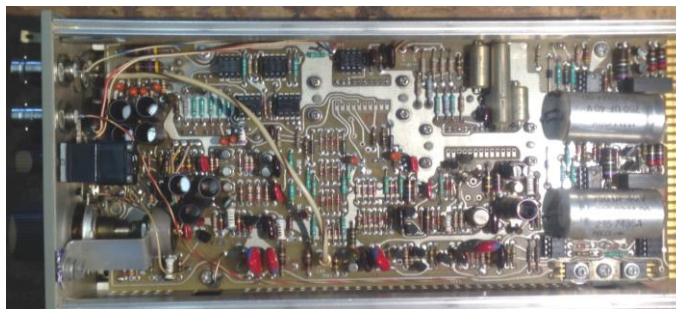


图 4. FG-502 内部

第一章 概述

FG-502 是 1974 年产的仪器, 不算太老. 从网上找到了 Service Manual (FG-502 INSTRUCTION MANUAL, Oct. 1973) 故而修理工作可以往下进行. Service Manual 中的 THEORY OF OPERATION 那一章非常重要, 不看它修起来还真有点难度. 本章列出了一个简表, 读者可以一目了然地看到检修的全部过程. 具体的技术细节将在后面几章分别叙述.

No.	现象	故障描述	修理
1	AC 上电, 产生的波形不正常 	本机原可以产生正负脉冲波, 上下锯齿波, 三角波, 方波和正弦波七种波形. 但是本机上电后有的波形有, 有的波形没有, 非常不正常.	阅读 Service Manual 中的 THEORY OF OPERATION 那一章.
2	从图 4 的 FG-502 函数发生器方框图, 画出我自己的简易线路图, 见图 6.	本机产生的函数可以分为两大类型: 对称型和不对称型. 三角波, 方波和正弦波等为对称型; 正负脉冲波, 上下锯齿波等为不对称型.	对称型波又以三角波为基础, 先修理三角波. 把波形开关拨到三角波位置. 
3	图 6 中充电电容 C 上的充电波正负不	根据 THEORY OF OPERATION 的描述, 对称型波以三角	充电电容上的充电波形电压正负不平衡, 很可能是正负

	平衡, (B)点波形全部偏在零线以下.	波为基础, 方波和正弦波均由三角波滤波后产生.	充电常数不同或是正负充电电压不等.
4	经测量. 正负充电电压相等(+/- 17.0V); 充电电阻也一样(都是 2.15K).	既然正负充电常数同, 正负充电电压相等, 但是充电波正负不平衡, 那一定是切换开关的直流电平降到了零线以下.	据 THEORY OF OPERATION 的描述, 切换开关的直流电平应该以 0V 为基线, 上下 5V 的开关电压.
5	在(A)点的充电切换信号应是+5V/-5V 的方波, 但现在波形全部偏在零线以下.	据 THEORY OF OPERATION, +5V/-5V 的充电切换信号方波是由 8 个两极管阵 (CR300, ... CR316) 钳位晶体管 Q292 的集电极电压产生. 见图 7.	图 7 中, 看到切换信号电压还受晶体管 Q315, 两极管 CR315 控制. 它们是 GATE 控制的一部分. 临时断开两极管 CR315, 看有什么反应?
6	断开两极管 CR315 后切换信号正常. 呈现以 0V 为基线, 上下 5V 的开关电压.	切换信号正常后查图 6 的 (B) 点, 三角波也正常了.	GATE 部分不工作不影响其他部分, 暂时断开两极管 CR315 继续往下检查故障.
7	机器最终的输出点 (OUTPUT) 三角波还是不正确 	查 FG-502 输出放大器(图 10): 1) 放大器的输入端(R460)三角波正常 2) 在 AMLITUDE 的中心端三角波上部被压缩削波 3) 机器最终的输出点 (OUTPUT)三角波上部也被压缩削波	输出放大四个晶体管散热器互相碰到产生故障, 使波形失真. 注意到线路有输出负反馈, 因此 AMLITUDE 的中心端三角波上部也被压缩削波. 调整晶体管散热器位置以后解决. 
8	三角波正常以后调节波形开关测试其他波形 	正负脉冲波, 上下锯齿波, 三角波, 锯齿波, 方波和正弦波七种波形全部正常.	机器最终修理完毕.

表 1. Tek FG-502 检修的简要过程

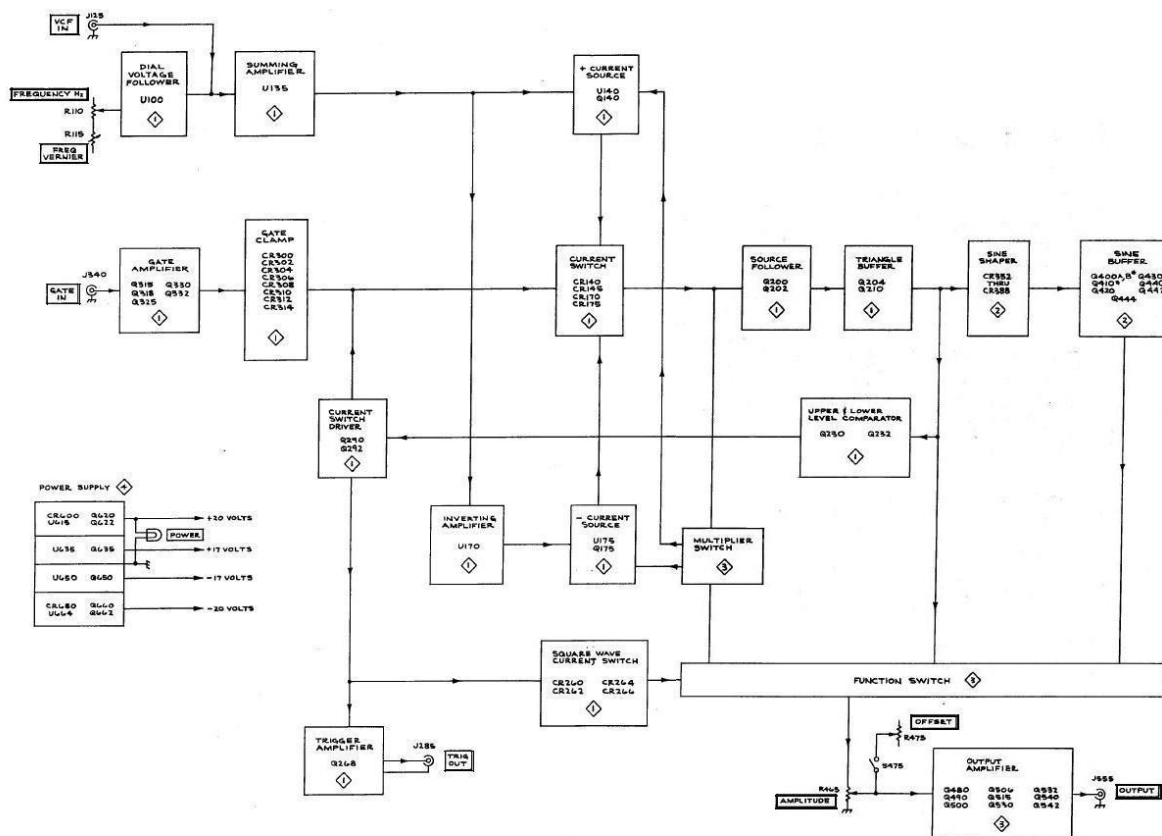


图 5. FG-502 函数发生器方框图

第二章 故障修理详述

2.1 原始故障

本机的原始故障是 AC 上电后产生的波形不正常。本机原可以产生正负脉冲波，上下锯齿波，三角波，方波和正弦波七种波形。但是本机上电后有的波形有，有的波形没有，非常不正常。仔细阅读 THEORY OF OPERATION (FG-502 INSTRUCTION MANUAL, P19)，明确了本机信号产生的原理：所有的波形都用三角波为基础处理后产生。因此决定先修理三角波：先把波形开关拨到三角波位置。

2.2 波形产生原理

FG-502 产生的函数可以分为两大类型：对称型和不对称型。

三角波，方波和正弦波等为对称型；

正负脉冲波，上下锯齿波等为不对称型。

按照手册的描写，所有的波形都以三角波为基础处理后产生。因此首先必须理解三角波的产生。FG-502 产生三角波的线路有点复杂。图 5 是 FG-502 函数发生器的方框图，但是它不便于线路分析。所以我修理的第一步是把三角波的产生简化成图 6 的线路。

波形的产生经常是使用电容器的充放电来实现的，FG-502 也不例外。在这个简化图中，我显示了产生三角波的核心部分：

- A) 充放电的电容 C
- B) 正负向充电电阻 R_+ ， R_-
- C) 正负向充电电压 V_+ ， V_-
- D) 正负充电切换信号

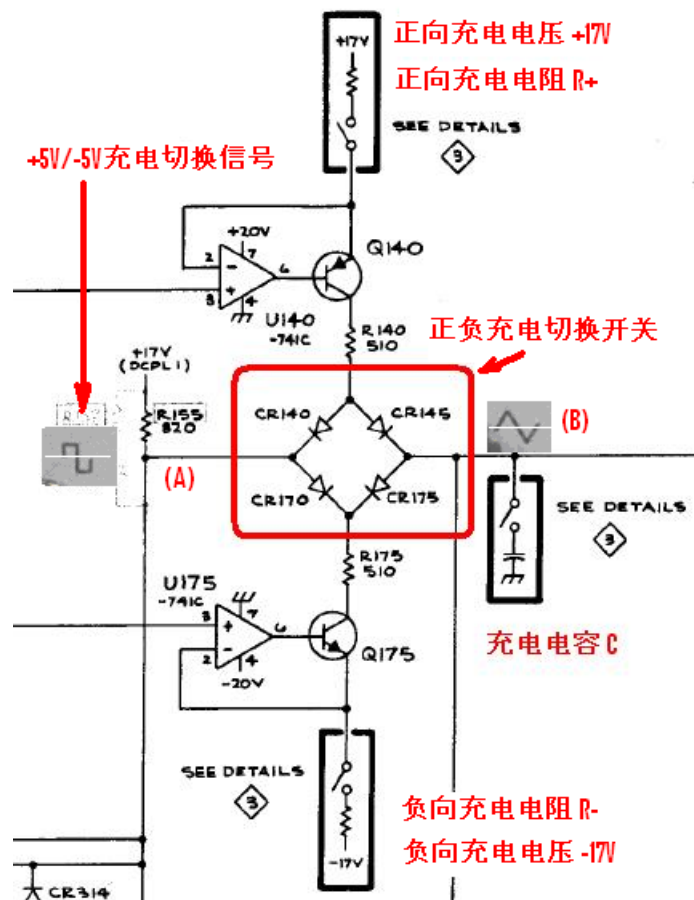


图 6. 我简化的线路图

下面描述三角波是怎么产生的（见图 6）：

- 1) 在(A)和(B)两点中有四个两极管（CR140, CR145, CR170, CR175）他们组成一个正负充电切换开关，用于给充电电容 C 充电.
- 2) 当充电切换开关正向开通的时候，正向充电电压 +17V 通过正向充电电阻 R+给电容 C 正向充电.
- 3) 当充电切换开关负向开通的时候，负向充电电压 -17V 通过负向充电电阻 R-给电容 C 负向充电.
- 4) 在(A)点加有充电切换信号，它是+5V/-5V 的方波. 当方波是+5V 时，切换开关正向开通，电容 C 正向充电；当方波是-5V 时，切换开关负向开通，电容 C 负向充电.

由 1) 到 4)，可以明白如果正负两边充电电压和充电电阻相等，那么如在(A)点加上充电切换信号，在(B)点以就可以得到对称的三角波.

2.3 故障修理详述

有了图 6 的简化线路就很容易分析故障. 示波器显示，图 6 中充电电容 C 上的充电波正负不平衡，(B)点波形全部偏在零线以下. 根据 THEORY OF OPERATION 的描述，三角波应是以零线为对称的对称型波. 充电电容上的充电波形正负不平衡，很可能是正负充电电阻不同或是正负充电电压不等.

经测量，正负充电电压相等(+/- 17.0V)；充电电阻也一样(都是 2.15K). 既然正负充电常数同，正负充电电压相等，但是充电波正负不平衡，那一定是切换开关的直流电平降到了零线以下. 据 THEORY OF OPERATION 的描述，切换开关的直流电平应该以 0V 为基线，上下 5V 的开关电压.

在(A)点的充电切换信号应是+5V/-5V 的方波. 但现在示波器显示波形全部偏在零线以下. 据 THEORY OF OPERATION, 充电切换信号方波的正+5V/-5V 是由 8 个两极管阵(CR300, ... CR316) 钳位晶体管 Q292 的

The diagram illustrates a complex electronic circuit, likely a radio receiver or a specialized signal processor. Key components and sections include:

- VCF IN Stage:** A variable frequency converter input stage at the top left.
- FREQUENCY MIXER:** A section labeled 'FREQUENCY MIX' involving a transformer and U100.
- FREQ. VERNIER:** A frequency vernier control section.
- Local Oscillator (U135):** A -741C op-amp configured as a local oscillator.
- Detector and Discriminator (U170):** A -741C op-amp used for signal detection and discrimination.
- Audio Amplifier (U175):** A -741C op-amp used for audio amplification.
- Gate Input (J340):** A gate input section at the bottom left.
- Diode Array (CR302-CR315):** A series of diodes used for signal processing, with CR315 highlighted in a red box and labeled '+/-5V钳位两级管阵'.
- Power Supply and Biasing:** Various resistors (R100, R105, R110, etc.) and capacitors (C100, C105, etc.) for biasing and power supply regulation.
- Output Stages:** Two output sections labeled (A) and (B), each featuring a diode bridge and a transformer.

The circuit is powered by a +17V supply and includes a -17V supply for certain components. A 'SYN' (synchronization) signal is also present. The diagram is annotated with numerous component values and labels, including 'SEE DETAILS' and 'Q175'.

临时断开两极管 CR315，看有什么反应？断开两极管 CR315 后切换信号正常！呈现以 0V 为基线，上下 5V 的开关电压。切换信号正常后查图 6 的 (B) 点，三角波也正常了。

很不幸，机器最终的输出点(OUTPUT)三角波还是不正确，这时故障应该在 FG-502 输出放大器。查 FG-502 输出放大器(图 10)。以下是使用示波器测量的结果：

- 1) 放大器的输入端(R460)三角波正常.
- 2) 在 AMLITUDE 的中心端, 三角波上部被压缩削波.
- 3) 机器最终的输出点(OUTPUT)三角波上部也被压缩削波.

从故障现象可以推断, 输出放大器的正向放大部分有问题. 经过仔细检查, 发现放大器末的四个输出晶体管散热器互相碰到, 产生故障使放大器的正向放大失效, 因此输出波形正向失真. 注意到线路有输出负反馈, 因此 AMLITUDE 的中心端的输入三角波上部也被压缩削波.

调整晶体管散热器位置以后解决故障, 三角波正常.

三角波正常以后调节波形开关测试其他波形. 正负脉冲波, 上下锯齿波, 三角波, 锯齿波, 方波和正弦波七种波形全部正常. 机器最终修理完毕.

故障修理后七种输出波形:

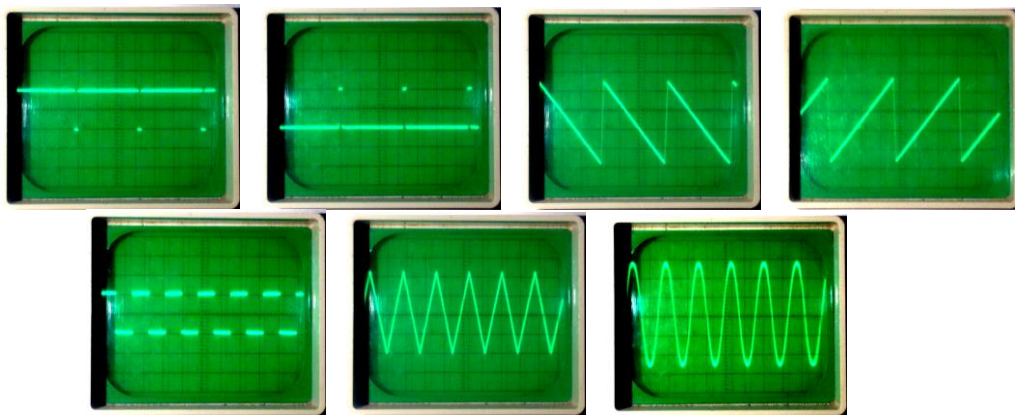
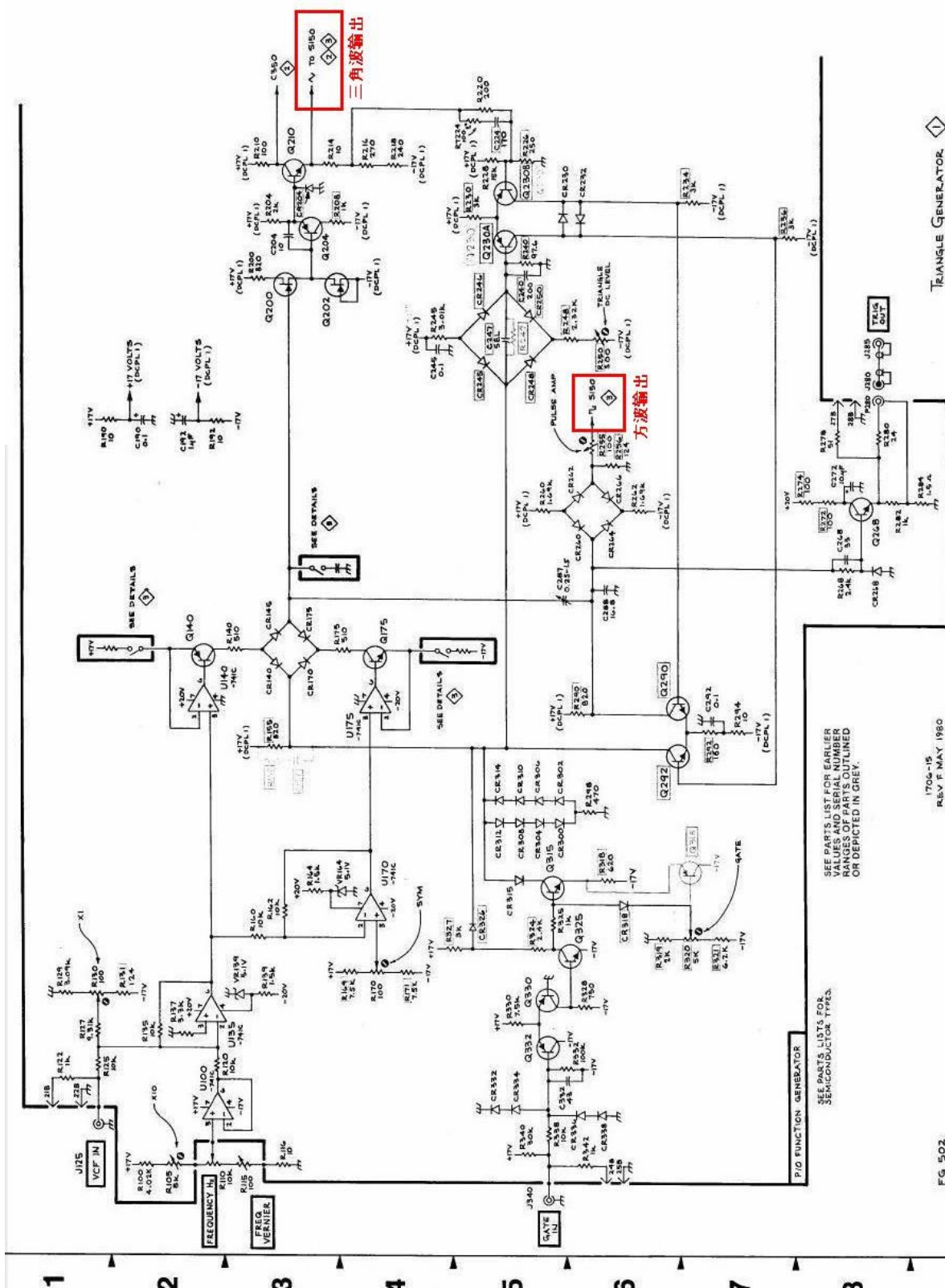


图 8. FG-502 七种输出波形

FG-502 输出波形的性能不错, 下表列出了一部分性能

Characteristics	Performance Requirements
Sinewave Distortion	< 0.5% from 10 Hz to 50 kHz.
Triangle Symmetry	Within 1 o/o from 0.1 Hz to 1.1 MHz
Triangle Linearity	Within 1.0% from 0.1 Hz to 110kHz; Within 3% from 100 kHz to 1.1 MHz

表 2. FG-502 三角波, 正弦波输出性能



Appendix:

1. FG-502 控制面板

CONTROLS AND CONNECTORS

- ① **OFFSET Control**
Pull and adjust for output waveform DC offset.
- ② **AMPLITUDE Control**
Adjusts amplitude of output waveform.
- ③ **GATE IN Connector**
Voltage applied permits gating of output waveform.
- ④ **VCF IN Connector**
Applied external voltage changes output waveform frequency.
- ⑤ **LATCH**
Pull to remove plug-in.
- ⑥ **TRIG OUT Connector**
Square-wave output for applications requiring an external trigger.
- ⑦ **OUTPUT Connector**
BNC connector for waveform output.
- ⑧ **FUNCTION Switch**
Selects output waveform.
- ⑨ **VERNIER Control**
Allows fine adjustment of output frequency.
- ⑩ **MULTIPLIER Switch**
Sets basic frequency range.
- ⑪ **FREQUENCY Hz Dial**
Multiply dial reading by MULTIPLIER setting for frequency out.
- ⑫ **POWER On Pilot Light**
Illuminated when power is applied to unit.

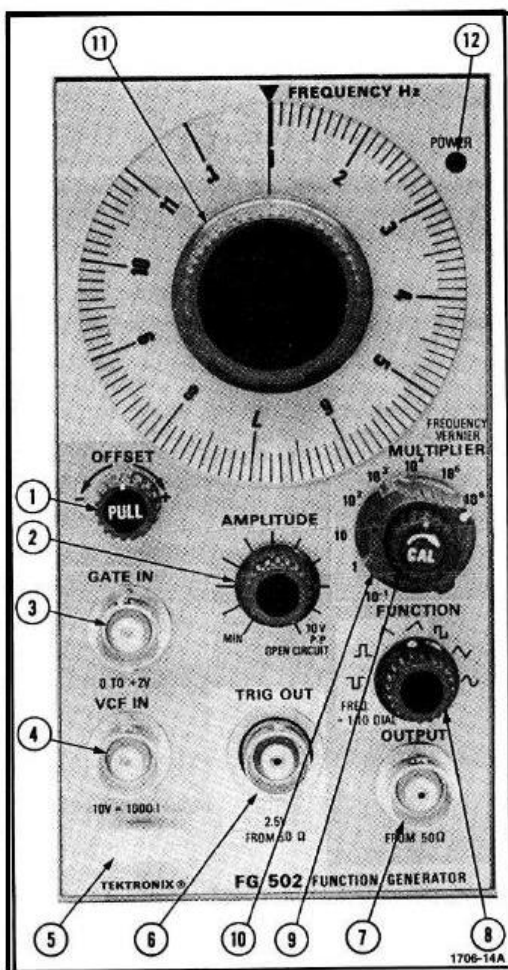


Fig. 2-2. Controls and Connectors.

图 11. FG-502 控制面板

2. FG-502 修理趣闻

发现 46 年以前的装配错误 —— 假焊的晶体管。

开始的时候我很高兴，以为故障点找到了。很可惜这个不是故障点。虽然假焊 46 年，可直至今天这两个晶体管对印刷板接触仍然非常良好，难以相信。

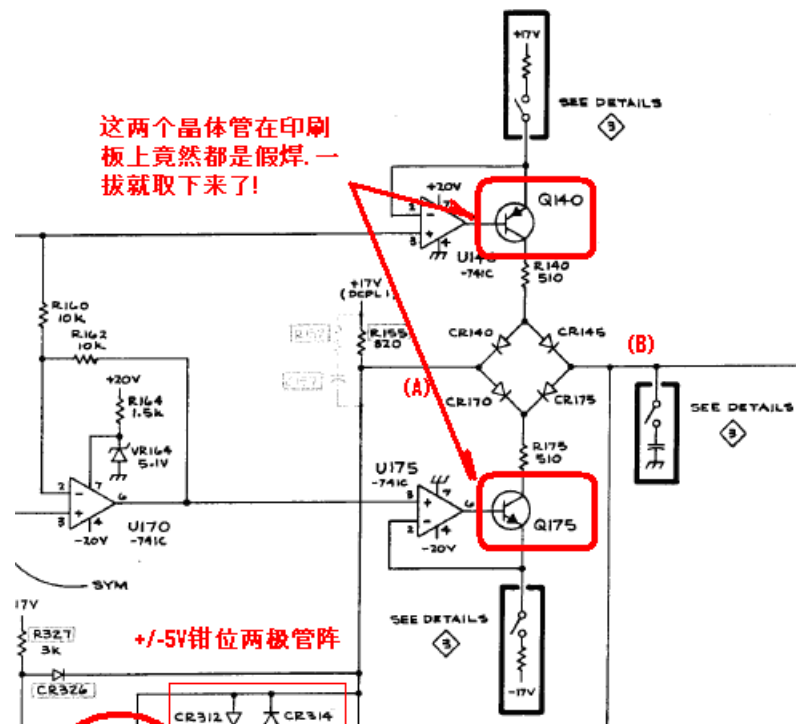


图 12. 发现假焊的晶体管 Q140, Q175