

# 三个月后再修

## TEK DM-502 Digital Multi-Meter

June, 2020. William Xu

### 摘要

修理复杂的电子仪器犹如破案. 一般来说, 修理以第一故障作为线索, 按照线路图, 参考测量仪器显示的各点电压和波形进行逻辑推理, 最后判断故障所在. 然而当测量仪器出现莫名的临时功能失灵, 或者待修电子仪器中出现了线路图中不存在的莫名元件, 那么修理工作就成为匪夷所思, 很难往下推进了.

本文是作者的修理笔记. 记载了最近在修理工作中遇到的上述困境. 描述了如何一步一步脱出困境最后把仪器修复的过程.

## I. TEK DM-502 三位半数字式多用电表

1975 年 Tektronix 公司的 Catalog 介绍了一种新的综合测试仪器, TM 500-Series Test and Measurement System.

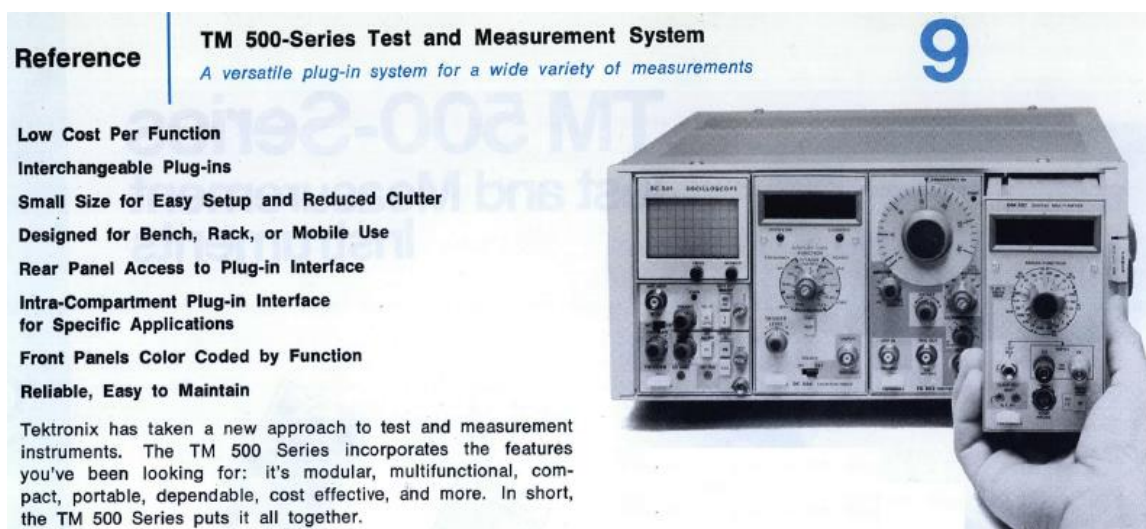


图 1. TM 500-Series Test and Measurement System

TM 500-Series 提供了一种随意组合综合测试仪器的新概念. 首先, TM 500 系列提供了可以插四个或者三个插件的主框架(Mainframe). 其

次 TM 500-Series 还提供了 30 多种不同测试功能的插件, 可以随意插入主框架. 见图 1, 图 2.

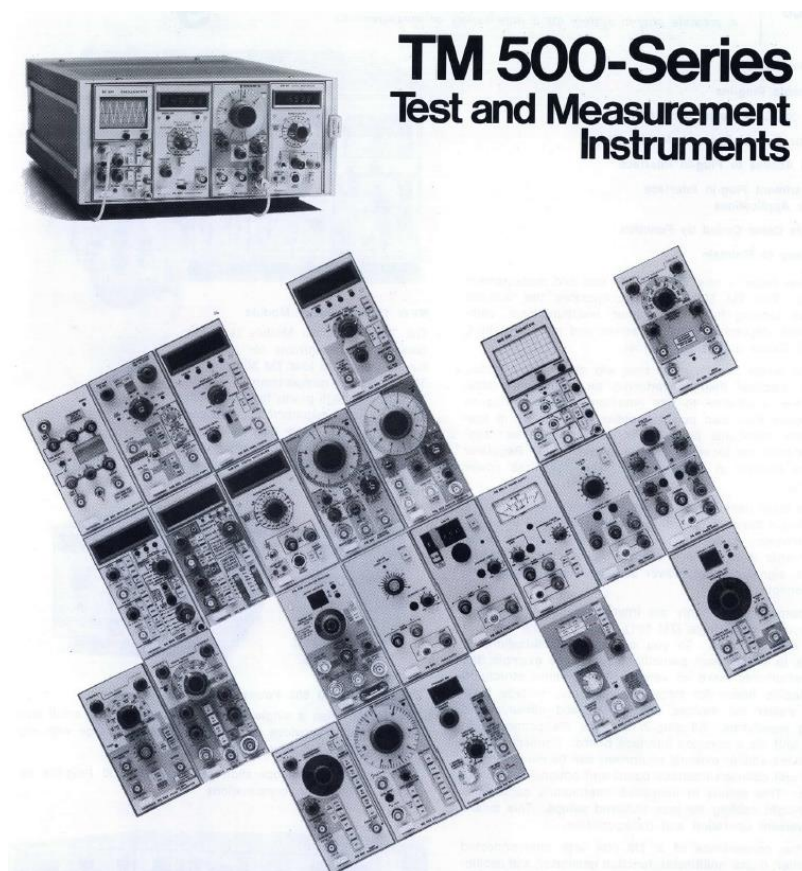


图 2 TM 500-Series 提供了 30 多种不同测试功能的插件

DM-502 数字多用电表即是 500-Series 的 30 多种插件中的一种. 我的收藏中有一台 Tektronix 500-Series 主框架 (Mainframe) TM504, 它可以插入四个 500 系列的测试功能插件. 这台 TM-504 带有数字式多用电表 DM-502, 见图 3 中的第三个插件.

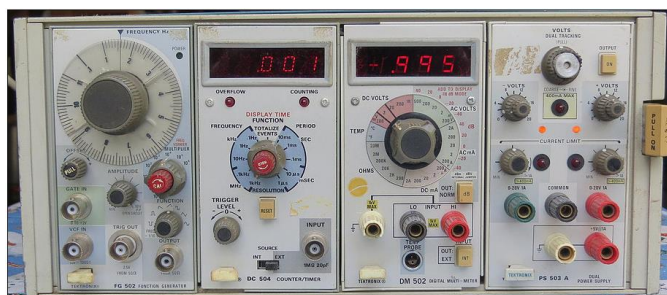


图 3. TM-504

DM-502 是 500-Series 插件的一种，一个三位半数字式多用电表，1974 年设计，1975 年推出市场，当时的市场价格是 \$395，见图 4。



图 4. DM-502 (1975 年 Tektronix 公司 Catalog)

## II. 原始故障及修理

原始故障非常简单, 是三个月以前故障的重复:

AC 上电, 各位数字均有显示. 但是没输入的时候显示不归零, 数字随机跳动. 预热一个小时以后, 随机跳动的数字渐渐变小, 最终归零.

上一次的故障比较容易修复. 一开始检查供电的时候就发现+5V 的供电不正常. 经检查发现+5V 开始仅有+4.51V, 加电后+5V 电压慢慢上升, 升到 5.02V 时数字归零. 最后换了一个滤波电容(220uF, 25V)以后解决. 这次重复出现上次的故障, 难不成这个+5V 又出毛病了? 两分钟的检查就知道这次没有这么简单: +5V, +/-12V 全部正常.

开门见山, 这里先叙述修理的结果. 在后面的章节中再慢慢叙述是如何分析推理得到这样结果的.



## 2.1 发现故障:

R291 接到 R290 的印板连接线漏电, 自行带有 +76.5mV 左右的浮动直流电压, 而且在逐渐下降趋零。

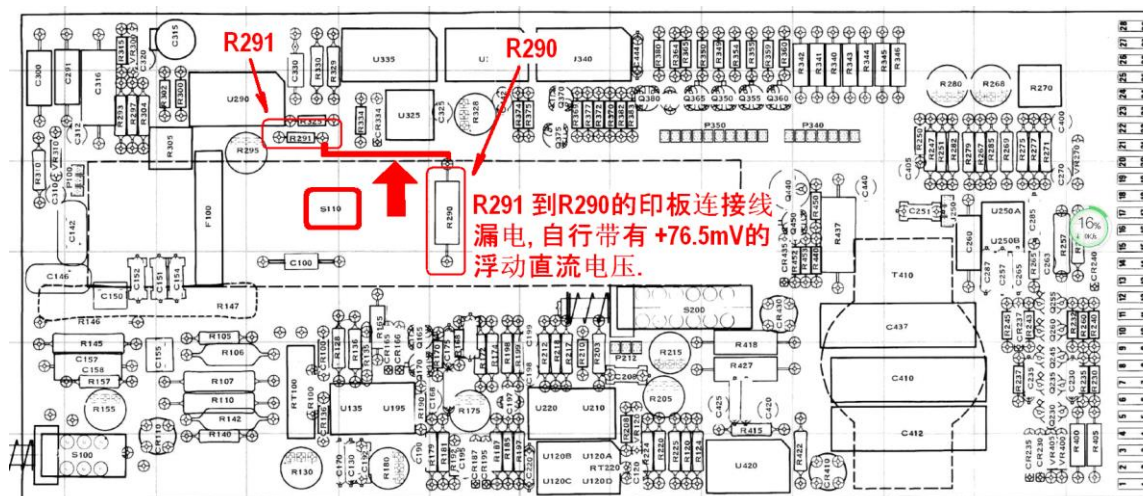


图 5. R291 到 R290 的印板连接线漏电

## 2.2 排除故障:

把 R290 (1M), R291 (100K) 两个电阻的一端分别从印板上焊下, 直接用一根外接的电线接通。故障排除。见下图中的绿色外接电线。

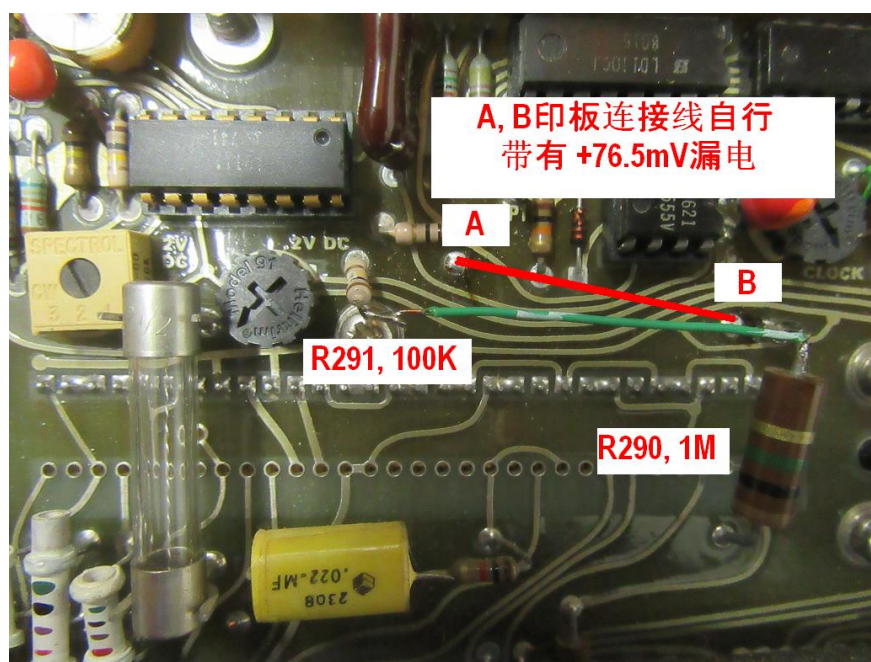


图 6. 跳过印板连线, 用绿色外接电线直接连通 R290, R291

### III. 故障分析

发现匪夷所思的印板连接线漏电的确花费了我不少时间. 因为这是多层印版, 而且这条内部连线被量程开关 S110 盖住, 至今也没弄明白到底是怎么漏的电. 起先以为是开关 S110-45 漏电(图 7)但后来证明不是. 无论如何, 这已经不重要了, 因为这条线已经不再使用.

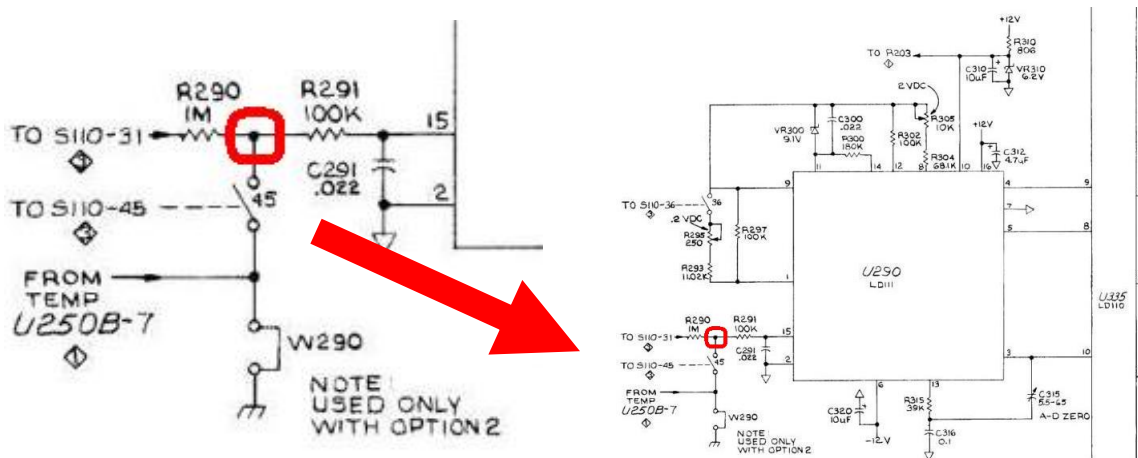


图 7. R290(1M), R291(100K) 和集成块 U250 输入端 Pin 15 的关系

#### 3.1 了解 DM-502 工作原理

1974 年生产的错综复杂, 价值 \$395 的 DM-502 三位半数字式多用电表(图 8)在 20 年前已被廉价的三位半数字表(\$15-\$20)所取代: 一块 UM7106 集成块就取代了除了量程开关以外 95%的所有零件. (图 9)

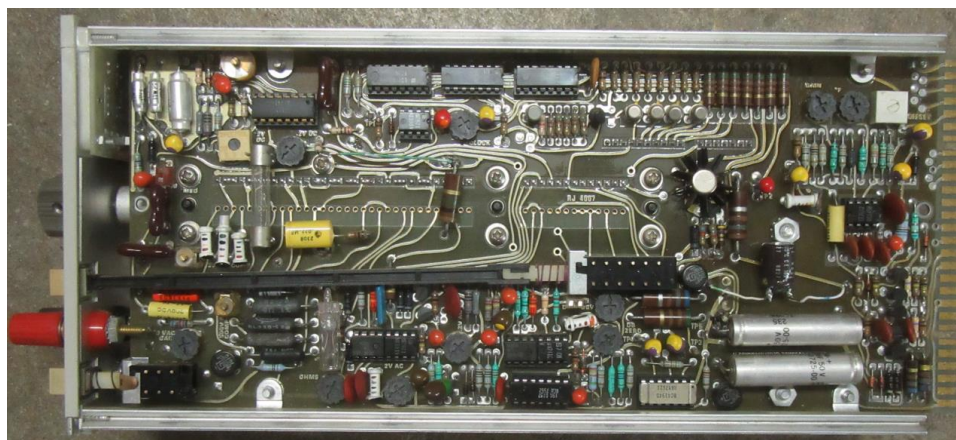


图 8. DM-502 三位半数字表内部



图 9. 三位半数字表集成块 UM7106

下图显示了用\$15 买下的全新廉价三位半数字表正面和反面。注意该数字表的主要元件就是一个大集成块 UM7106。这种电表维修就特别简单。非常可惜，DM-502 可没那么简单，单线路图就有三大张。



图 10. \$15 买下的全新廉价三位半数字表正面和反面

花了一些时间去读 DM-502 Service Manual. 特别是 Section 2, THEORY OF OPERATION. 在美国多年, 深知洋人喜欢繁琐哲学. 遇到写说明书, 动辄上百页, 有时候还没写明白. 这个 THEORY OF OPERATION 如果让我来写, 只要下面这三句话略加细化就可描述三大张线路图:

- 1) 线路图 <2> 是 DM-502 数字表的核心部分. 它是一个 0 – 2V 的数字电压表, 主要由两块集成块(LD111, 及 LD110)组成.
- 2) 线路图 <1>是为线路图<2>服务的. 它是各量挡的衰减器以及前置放大器. 这些衰减器/前置放大器看似名目繁多, 实际用途只有一个: 把所有的输入信号转换成 0-2V 的直流电压送到线路图



<2> 的 0-2V 数字表. 因 DM-502 可以测量电压, 电流, 电阻以及温度各量挡, 各量挡又都带有自己的衰减器/前置放大器/转换器等所以线路图 <1> 看起来有些复杂.

3) 线路图 <3> 是电源供电.

DM-502 整机的三张线路图可见篇尾的 Appendix.

### 3.2 从 DM-502 工作原理推断故障所在

从 3.1 节可以知道, DM-502 数字表的核心部分是一个 0-2V 的数字电压表, 主要由两块集成块(LD111, 及 LD110)组成. 不归零的原始故障在各量程挡都有显示, 而 0-2V 数字电压表又是它们的公共部分. 因此故障就很有可能出现线路图 <2> 中.

图 11 是 0-2V 数字电压表的方块图. 左边是集成块 LD111, 右边是集成块 LD110. 左边的集成块 LD111 组成一个 0V-2V 电压的前置放大器和自动调零机构; 右边是集成块 LD110, 组成一个 0V-2V 电压的 A-D 变换器.

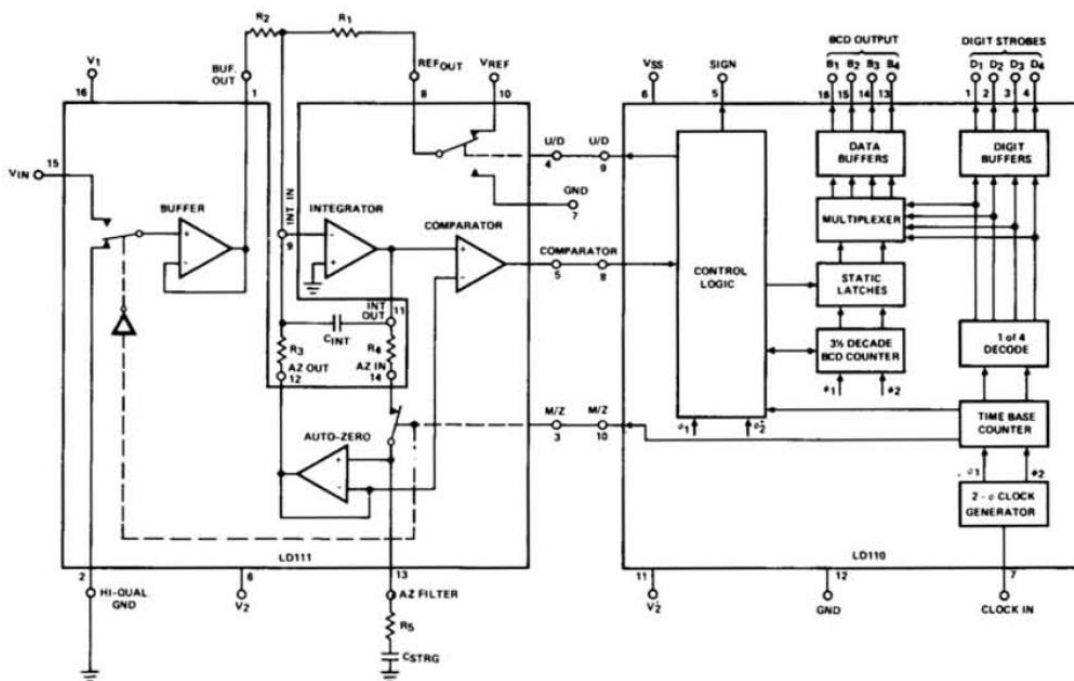


图 11. 0V-2V 数字电压表 (LD111, LD110) 方块图

参照集成块 LD111 的说明书, 每次测量以前, LD111 内部要进行自动调零. 所谓自动调零就是把输入端接地, 比较参考电压寻找平衡点, 最后把这个平衡点输出到 A-D 转换器. 图 11 中左下的虚线部分就表示自动调零如何进行. 自动调零的时候, Vin (Pin 15) 输入端被断开, 输入放大器 Buffer 输入端经过调零开关接地.

这个调零操作保证了只要输入端(Pin 15)的电压与地线相等就显示 0V. 但现在的故障是没输入的时候显示不归零, 数字随机跳动.

### 3.3 测量仪器出现莫名的临时功能失灵误导检修方向

我常用的测试电表是 FLUKE 87. 四位半数字式多用电表. 记忆中好像它从来没有出过故障. 然而这一次它骗了我, 让我浪费了好多时间.

经过 3.2 这节的分析, 首先必须确定 LD111 的 0-2V 输入端 (Pin 15) 有没有剩余电压导致不归零. FLUKE 87 显示为 0.0000mV, 没有剩余电压. 当时我就想麻烦了, 可能集成块 LD111 已经损坏. 40 年前的集成块恐怕很难找到, 该机修不成了. 当然还不死心, 对 LD111 周围好多其他零件及 Zener Diode, 参考电压等等一一查询, 希望能找到毛病. 很可惜, 这些零件全部是完好的.

二天后当我几乎准备放弃的时候, 偶尔想到何不换一个电表试试? 我另有几个老的 FLUKE 数字电表. 换了一个 FLUKE 8062A 测试 LD111 的输入端(Pin 15), 竟然发现原来这里对地有+76.5mV 左右的浮动直流电压, 而且在逐渐下降趋零!

FLUKE 87 是 FLUKE 新一代产品, 最大的一个特点是它提供全部自动量程, 使用非常方便. 然而 “自动” 太多也就容易出毛病. 仍然是应了这句话: 最简单的系统就是最可靠的系统. 见图 11, FLUKE 老表和新表.

(当我换回 FLUKE 87 测量, 仍然是 0.0000mV. 后来才查知, 该表的毛病是: 如果被测直流成分内含有小量交流成分, 不能显示直流电压. 这是后话了.)





图 12. FLUKE 8062A 和 FLUKE 87

### 3.4 匪夷所思的印板连接线漏电

在上面 2.1 一节中已经讲了最终的故障是印板连接线漏电. 如何找到图 5 的这条漏电印板接线花了不少时间.

#### 3.4.1 LD111 的信号输入端, 有+76.5mV 浮动电压

图 13 表示了集成块 LD111 输入端的电路情况;

- 1) Pin 15 是 LD111 的信号输入端, 现在测得上面有+76.5mV 浮动电压.
- 2) A 点是电压/电阻/电流等各种信号输入点. (温度测量除外).
- 3) 当温度测量开关(45)接通, 温度测量信号通过开关(45)接到 B 点.

#### 3.4.2 查找过程浮动电压的来源

下面是查找过程:

- 1) 切断开关 45, Pin 15 仍有+76.5mV 浮动电压. 表示温度测量放大部分不是故障.
- 2) 焊下信号输入电阻 R290(1M), Pin 15 仍有+76.5mV 浮动电压.
- 3) 把集成块 LD111 从插座上取下, Pin 15 仍有+76.5mV 浮动电压.

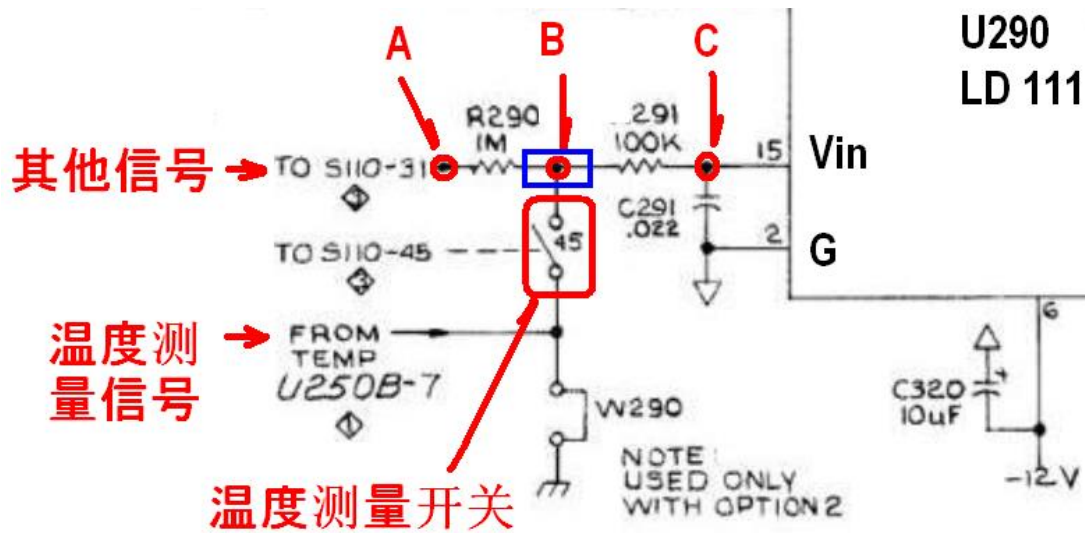


图 13. 查找印板连接线漏电

- 4) 至此已经莫名其妙: R290 已经断开, 开关 45 已切断. 单只有 R291 (100K) 电阻接在 C 点, 何来的浮动电压?
- 5) 当然会怀疑 C291 (0.022) 这个电容的充电电压没有放净. 但是我  
已经短路放电过数次应该没有剩余电压了.

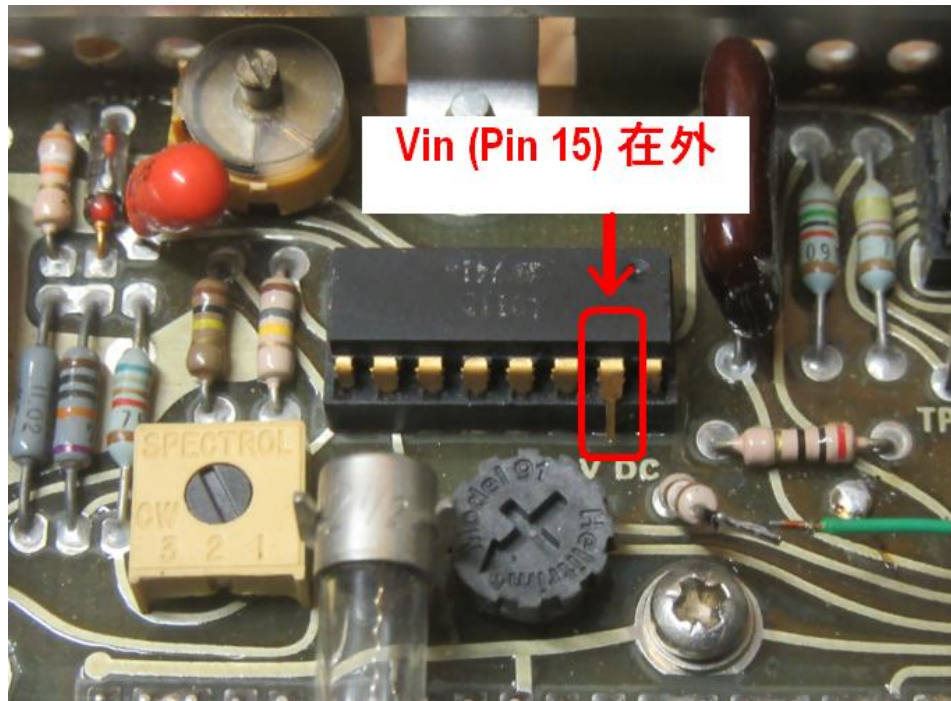


图 14. 无损害测试法

- 6) 还有最后一步,那就是从印板上切断 C 点到 Pin 15 的连线看结果如何.但这个会破坏印板.最后想了一个无损害测试法,把集成电路 LD111 插回插座,但是 Pin 15 在外.见图 14.
- 7) 好现象:接上电源,DM-502 数字显示为- 0.007V.
- 8) 当我在悬空的 Pin 15 (Vin) 和 Pin 2(G) 之间接入 FLUKE 8062A 电表以后, DM-502 数字显示为+0.001/+0.000.故障消失!  
(为何接入 FLUKE 电表后 - 0.007V 消失? 想来 LD111 Vin 是 MOS 高阻抗输入, Vin 悬空的时候会产生悬空静电压. FLUKE 8062A 大概有 20-40M 上下的内部阻抗, 接入以后就释放了这些悬空电压.)

### 3.4.3 结论

从上面 3.4.2 一节中分析的结果已经很明显:

- 1) 集成电路 LD111 没有损坏.浮动电压应该是由集成电路插座的 Pin 15 带来.
- 2) 插座的 Pin 15 接有 R291(100K),它与 R290(1M) 相接.但因为 R290 在 A 点已经断开,因此 R291 上边的浮动电压只能够从 B 点带来.见图 13.
- 3) 最后确定 R291 接到 R290 的印板连接线漏电,自行带有 +76.5mV 左右的浮动直流电压.见图 13 中 B 点的蓝框.
- 4) 解决故障:跳过印板连线,用绿色外接电线直接连通 R290, R291.见图 6.至此 DM-502 修理完毕.

## Appendix

- 1) DM-502 线路图 <1>, <2>, <3>
- 2) DM-502 线路图开关阵表示法



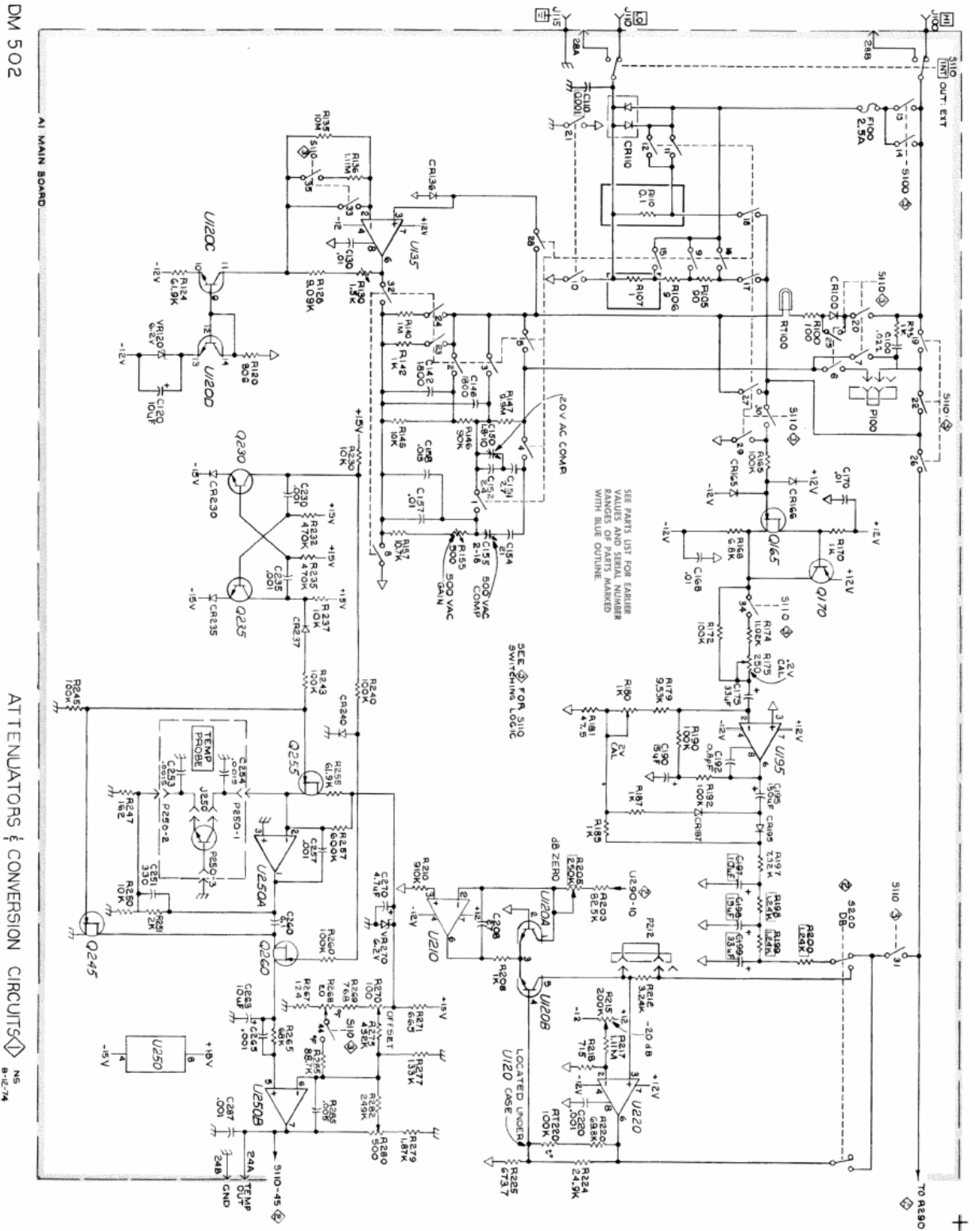


图 15. DM-502 线路图<1>

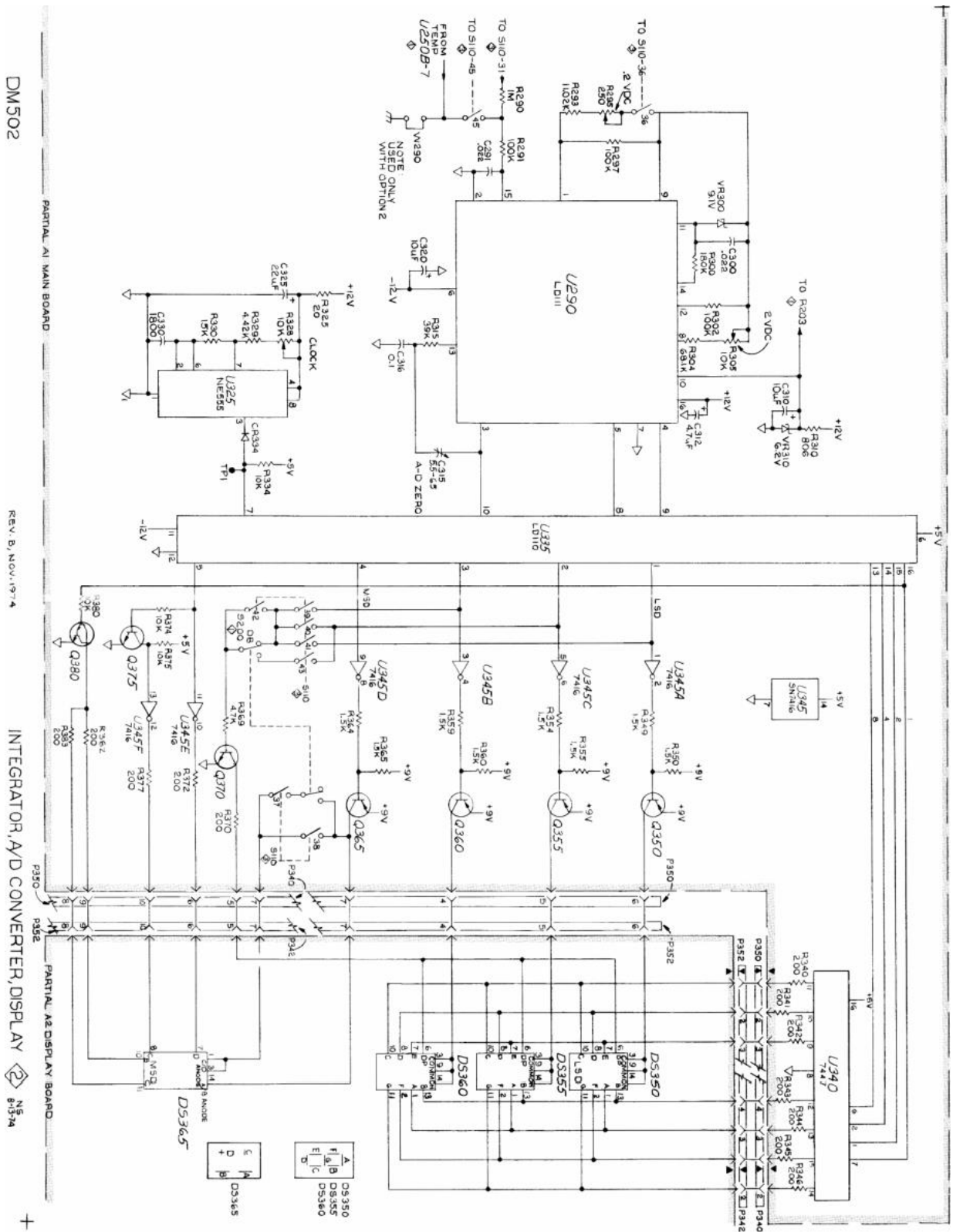
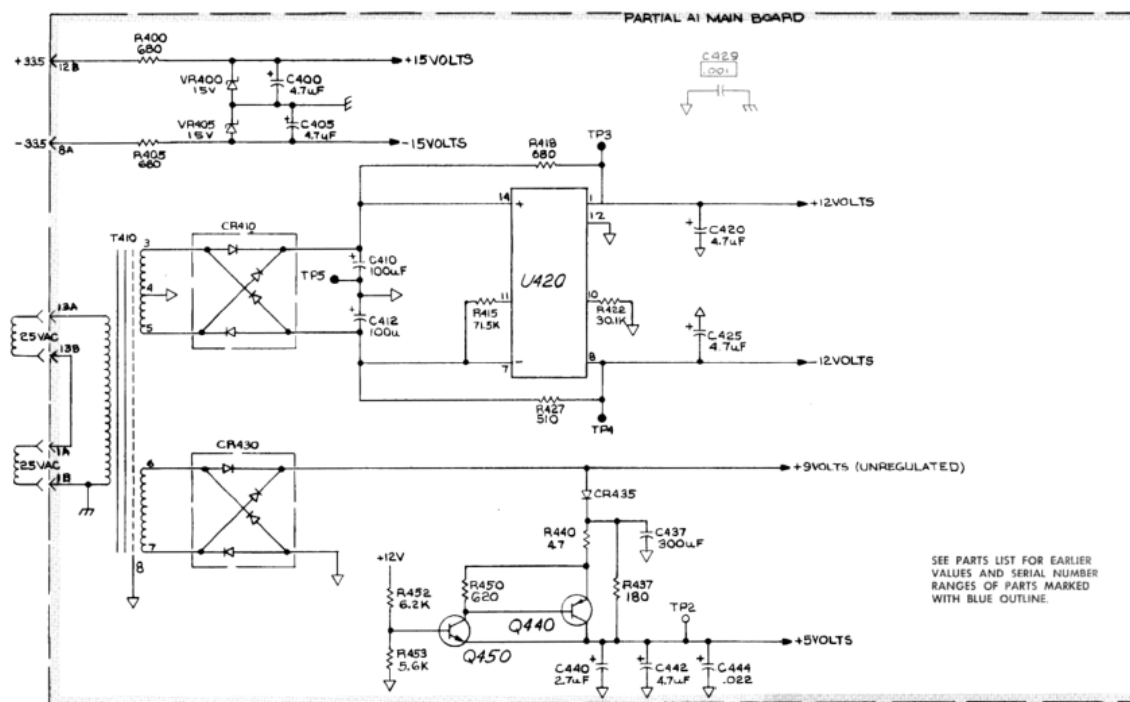
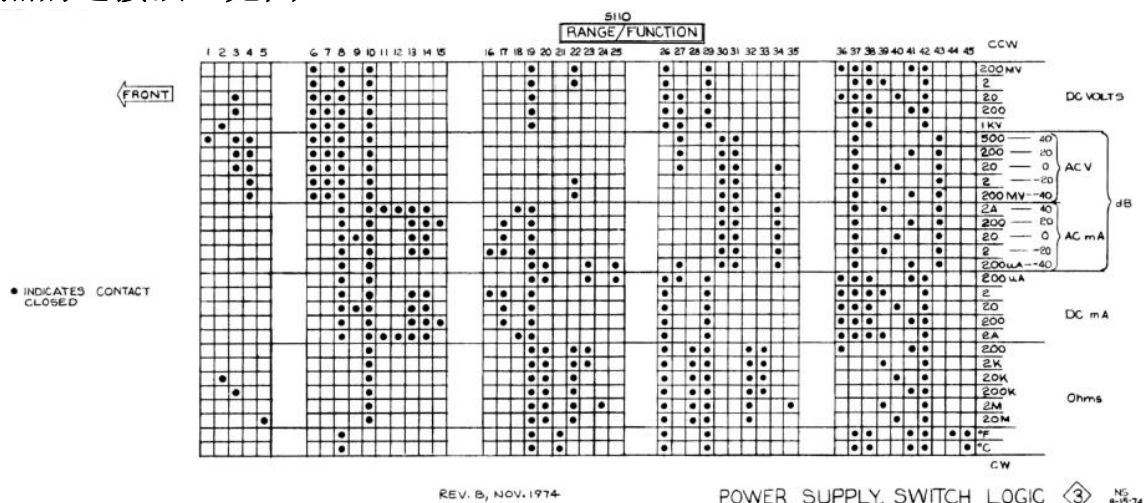


图 16. DM-502 线路图<2>



## 2) DM-502 线路图开关阵表示法

DM-502 电表的量程开关比较复杂, 图纸上用开关阵表示了开关各点的连接法. 见图 18.





下面对这个开关阵稍作解释. 图 19 表示了 2V DC 量程时 S110 开关的连接. 从这个图可以看出这时 S1102 的点 6, 8, 10, 19, 22, 26, 29, 37, 38, 39, 42 是接通的.

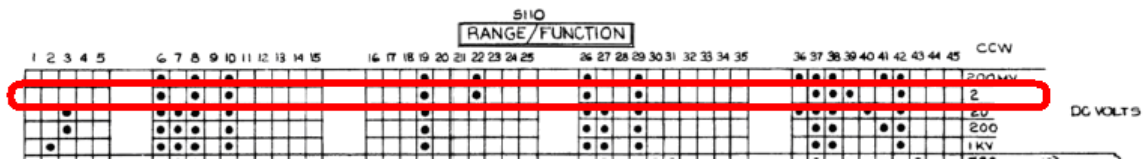


图 19. 2V DC 量程时开关阵表示法

例如, 开关 S110 点 19, 点 22, 点 26, 点 29 接通在图纸上的意义就是下面几点接通:

