

ECL微型电路的可靠性评价

国防科委情报资料研究所

一九八〇年四月

对本研究工作的评价

这个研究计划的目的是对具有代表性的一般 ECL 高速数字微型电路进行可靠性评价试验,以便为空军的高可靠电子设备提供适当的试验方法、可靠性预测以及技术规范。从该项研究得到的资料包括:器件工艺、材料、设计、电测试数据、试验方法、高温功率老化筛选程序、技术规范 and 可靠性数据。该研究所取得的成果为各部门制定各种高可靠性试验和技术规范文件(例如:Mil-Std-883 和 Mil-M-38510)提供了依据,以确保 ECL 微型电路的可靠性。

研究结果表明,利用 Mil-M-38510 中规定的高温功率老化筛选试验方法有可能发现不了早期失效,进行高温加速试验却能够发现。对于 A 类器件来说,1974 年 3 月 29 日颁发的 Mil-M-38510/60 技术标准规定,高温功率老化筛选试验要按照 Mil-Std-883 试验条件 C 在 T_A 最低为 125°C 时试验 240 小时。对于不正常或早期失效器件作最坏情况分析表明,要在目前规定的 240 小时高温功率老化筛选期间发现这些失效,要求最低结温为 215°C 。这个结论与加速试验方面的其他工作是一致的,因此应尽快将这一点补充到 Mil-M-38510 中去。

已经把与本研究中所发现的失效机理有关的失效率外推到环境温度为 125°C 、使用 100 欧姆额定负载的器件。对于所研究的小规模集成器件来说,所得失效率通常是容许的,它优于 $0.0023\%/1000$ 小时。而在 125°C 环境温度下,较复杂的器件的外推失效率为 $0.4\%/1000$ 小时。这个失效率是不容许的,是由于器件功耗较大,因而结温也相应地较高所造成的直接结果。从而表明,在 Mil-M-38510 规定的最大允许环境温度 125°C 左右使用较为复杂的 ECL 时,可能会产生可靠性问题。

这项研究取得的另一项成果是,对所研究的几种特定器件上采用的每一种金属化系统的优点、缺点和可靠性指标作出了几个重要的结论。报告中讨论了导体电流密度和由此而引起的电迁移问题,以及有关的特定失效机理。从这些讨论中可以确定出有可能生产更可靠器件的一些特定因素。此外对电测试要求也提出了若干建议,从而保证军用器件能够代替目前在许多现有系统中使用的民用器件。

这项研究所取得的一切成果,对于进一步修订 Mil-Std-883 中的一些一般的试验方法和试验步骤,以及 Mil-M-38510 有关 ECL 微型电路技术规范的细节部分都是非常有用的。

计划工程师

约翰·R·哈伯里尔

目 录

I. 序言.....	(1)
II. 一般情况.....	(3)
A. 产品交货期	(3)
B. 气密性试验	(3)
C. 镀金	(3)
III. 电参数和电路.....	(4)
A. 参数测试	(4)
B. 发射极耦合逻辑电路	(5)
C. 实际的ECL电路.....	(6)
D. 输入/输出转换特性	(7)
E. 噪声容限	(9)
F. 开关时间测量	(10)
G. 热阻测量	(12)
IV. 结构分析.....	(14)
V. 寿命试验.....	(17)
A. 极限寿命试验	(17)
B. 长期寿命试验	(21)
VI. 失效判据和失效分析结果.....	(37)
A. 失效模式及其电气分析	(37)
B. 失效机理	(39)
C. 失效分析结果	(48)

D. 讨论	(49)
VII. 总结	(50)
A. 失效模式与失效机理	(50)
B. 可靠性预测和实验结果	(56)
C. 金属化系统和玻璃保护层	(57)
D. 电气性能	(58)
VIII. 附录	(60)
A. 输入/输出转换特性 (图A-1~A-42)	(60)
B. A厂10501型结构分析	(74)
C. A厂10506型结构分析	(81)
D. A厂1662型结构分析	(86)
E. B厂10101型和10106型结构分析	(94)
F. C厂10101型结构分析	(106)
G. C厂10106型结构分析	(112)
H. A厂10561型结构分析	(119)
I. D厂95101型结构分析	(127)
J. A厂10100系列参数规范	(135)
K. 双列直插式封装镀锡管脚的化学腐蚀和镀金	(136)

I 序 言

整个研究计划对1973年到1974年生产的约575个ECL 器件进行了评价。选作可靠性研究用的大部分器件是由厂家 A 生产的, 它是唯一 为其 器件规定了军用工作温度范围的一个厂家。

为了分析比较, 从另外两个厂家 (厂家B和厂家 C) 也 买来了类似的器件, 但它们没有规定这些器件可用于军用的工作温度范围。此外还有第四个厂家 (厂家 D) 生产的器件, 与上述三个厂家生产的器件不同, 厂家D生产的器件具有温度补偿 特性, 因此在电压和温度变动时器件性能依旧相当稳定。

器件的选择还考虑到进一步对各种金属化系统 (单层的和双层的, 功能简单的和功能略微复杂一些的) 进行比较。先对所有器件进行气密性检查, 然后在仙童5000型测试仪上作参数测试。器件引线原来是镀锡的, 为了防止在高温下氧化, 把引线上的锡去掉改镀金。

镀金后再检查器件的气密性, 进而作一些附加的直流测试, 按照厂家A 的非军用技术规范 (见附表J) 记录下直流电参数。其所以不采用Mil-M-38510/60 标准是为了好与厂家B和C的器件作比较。

器件根据表 1 所示的试验方案进行分配。

表 1 试 验 方 案

长 期 寿 命 试 验												极 限 试 验					
厂 家	贮 存		运 行 工 作 寿 命									贮存	运行工作寿命				
	300℃	250℃	$T_A=215^{\circ}\text{C}$ I_L			$T_A=245^{\circ}\text{C}$ I_L			$T_A=270^{\circ}\text{C}$ I_L			340℃ 最大	$T_J=300^{\circ}\text{C}$ 最大 $I_I=100$ 毫安	热阻 测量	电鉴 定	结构 分析	总数
			25	50	70	25	50	70	25	50	70						
A-10,506	15	15	5	5	5	5	5	5	5	5	5	10	10	5	3	2	105
C-10,106		15				5	5	5						5	3	2	40
B-10,106		15				5	5	5						5	3	2	40
A-10,501	15	15	5	5	5	5	5	5	5	5	5	10	10	5	3	2	105
C-10,101		15				5	5	5						5	3	2	40
B-10,101		15				5	5	5						5	3	2	40
A-10,561	15	15	$T_A=195^{\circ}\text{C}$			$T_A=215^{\circ}\text{C}$			$T_A=245^{\circ}\text{C}$			10	10	5	3	2	105
			5	5	5	5	5	5	5	5	5						
D-95,101												20	20	5	3	2	50
A-1662												20	20	5	3	2	50

注: 计算出的结温值见表 2。

为了确定器件在运行试验中的结温，需要测量热阻。从每种型号的器件中各选了 5 个，对它们的了结—壳热阻与结—静止空气热阻进行了测量，对有些器件还测量了在实际恒温箱中的结—空气热阻。表 2 中列出各种环境温度下结温的计算值。

表 2 计算出的结温值 (TJ)

器 件 型 号	10,561			10,506 & 10,106			10,501 & 10,101			T _A —℃	
	T _J —℃			T _J —℃			T _J —℃				
I _L -毫安	25	50	70	25	50	70	25	50	70		
厂 家											
A	220	224	226								195
A	239	242	245	223	229	230	226	232	235		215
A	272	276	279	254	260	262	256	262	263		245
B				255	261	264	255	262	265	245	
C				253	258	261	255	260	261	245	
A				279	285	287	282	286	292	270	

根据参数测试得到的结果，对具有高、中、低 V_{OH} 值的器件每种各选三个用作电性能评价。

在 V_{EE}=5.2 伏 ±10%、T_A=-55℃、+25℃及+125℃时，测得了所有型号器件的输入 (V_{in})/输出 (V_{out}) 转换特性。除了厂家 A 的 10561 型器件输出负载 (R_L) 为 100 欧姆外，所有其它型号器件的“或非”输出负载都是 50 欧姆。

在 V_{EE}=5.2 伏和 T_A=-55℃、+25℃及+125℃时，测量了器件的瞬态响应和传输延迟。各种型号器件的“或非”输出负载均为 50 欧姆，只有厂家 A 的 10561 型器件是在 100 欧姆负载电阻下测量的。按照试验方案，仅仅厂家 A 的器件进行了全部贮存与极限运行寿命试验。从实验结果可很快了解各种器件在最大应力条件下的工作能力，以及加速寿命试验下的性能的基线。

在长期运行寿命试验期间，唯有厂家 A 的器件是在三种不同的环境温度 (10501 和 10506 型器件在 T_A=+215℃、+245℃、+270℃；10561 型器件在 T_A=+195℃，215℃，+245℃) 下工作的。如表 3 所示，在每一种温度条件下都将器件分成三组，各组的输出电流分别为 25 毫安、50 毫安和 70 毫安。

表 3 运行寿命试验电流负载每个器件的加载输出端个数

型 号	厂 家	I _L =25毫安	I _L =50毫安	I _L =70毫安
10,101	A、B、C	4	3	2
10,106	A、B、C	3	3	2
10,561	A	7	4	3

由在不同温度下得到的结果数据可计算出激活能。同时也能求得与电流密度有关的平均失效间隔时间。

在长期运行寿命试验期间, 厂家B和C的器件是在一种温度即 $T_A=245^{\circ}\text{C}$ 时工作的, 而输出电流与厂家A的器件相同。

厂家A、B、C的同类型器件及厂家A的10561型器件在 250°C 时进行了长期贮存寿命试验。另外, 厂家A的10501型、10506型及10561型器件还在 300°C 时进行了贮存寿命试验。

对所有器件的结构详细地作了分析, 包括测绘器件的版图布局和校核电原理图。

失效分析包括将器件按失效模式进行分组, 并从每组抽样进行解剖分析以确定失效机理。分析中广泛采用了扫描电子显微镜, 在某些情况下还取了剖面图。

II 一般情况

A. 产品交货期

据称, 选作研究用的器件是流行产品, 交货期短。但如表4所示, 弄到这些器件还是等了一段时间的。

表4 产品交货情况

厂 家	型 号	交 货 期 (周)
B	10,101	16
A	10,561	8
D	95,101	14
A	1662	7
A	10,506	14
C	10,106	14
B	10,106	16
A	10,501	14
C	10,101	9

B. 气密性试验

对寿命试验中用的全部器件都做了气密性试验。

为了进行细漏试验, 使用了Norton氮质谱检漏仪, 并取小于 5×10^{-7} 厘米³/秒作为合格标准。

为了进行粗漏试验, 采用称重法, 当重量大于 0.5×10^{-3} 克时就认为不合格。

C. 镀 金

由于镀锡管脚在 200°C 以上的温度运行与贮存时锡会熔化或氧化, 因而在电测试和运行寿命试验期间使接触电阻增大。所以, 为了防止这种情况发生, 将所有器件管脚上的锡去掉, 然后先镀镍再镀金。关于详细工艺请参看附录K。

Ⅲ 电参数和电路

A. 参数测试

利用仙童5000D测试仪在试验的所有阶段进行全部直流测试，这台设备适合于以硬拷贝印出形式记录数据。

所作的测试包括：

电源电流	I_{EE}
高电平输入电流	I_{IH}
低电平输入电流	I_{IL}
高电平输出电压	V_{OH}
低电平输出电压	V_{OL}
高电平阈值输出电压	V_{OTH}
低电平阈值输出电压	V_{OTL}

为了能发现一些不易解释的失效或早期失效，另外还作了以下一些特殊的试验项目（见图1—5）：

1. 输入晶体管结漏

此时输入端短接到 V_{EE} ，测量输入电流，用限流电阻将其限制为 1 毫安。这个试验可同时测出发射极-基极与集电极-基极的内部漏电。当在管脚16与管脚8之间加 5.2 伏电压，且 Q_1 的输入与 V_{EE} 相连时，差动放大器的 Q_2 通过内部偏压网络导通。结果， R_E 中流过 4 毫安的电流， Q_1 与 Q_2 的发射极电位比 V_{EE} 高 3.2 伏。因此，输入晶体管 Q_2 的两个结（C-B 和 E-B）都被反向偏置，于是能测得总的结漏。

2. 输入端到衬底的漏电

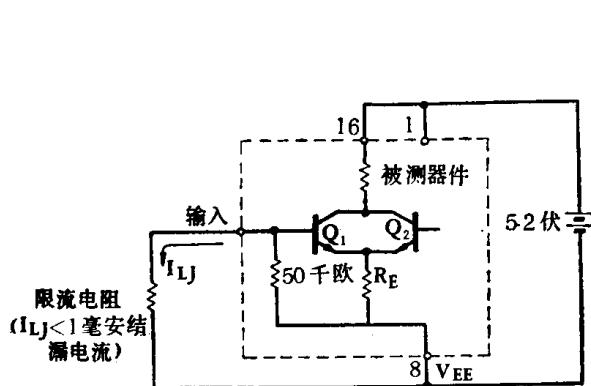


图1 输入晶体管结漏测试电路图

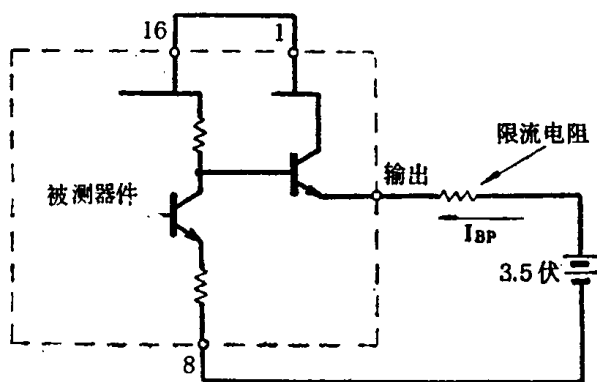


图2 输出衬底漏电测试电路图

此时， V_{CC1} 和 V_{CC2} 直接连在一起。3.5 伏电压通过限流电阻加在输出端与 V_{EE} 之间。用这个测试可发现键合点与 P 型衬底之间是否短路。

3. 在 $I_L = 100$ 微安时的 V_o

在输出端与 V_{CC1} 和 V_{CC2} 之间加上100微安的恒流源（恒流源两端的电压限为 5 伏以下），所测得的 V_o 应大于0.55伏。这个测试可发现集电极-发射极以及基极-发射极之间的等于或小于 5 千欧姆的分路。

4. 所有输出晶体管的 I_{CBO}

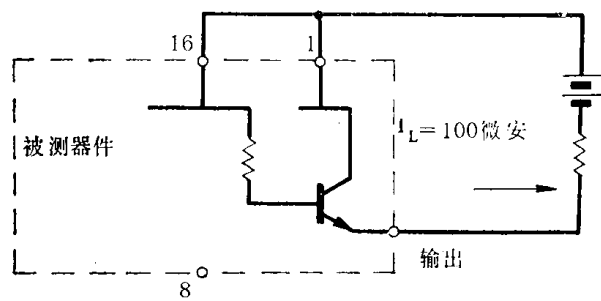


图3 小电流时的 V_{OH} 测量

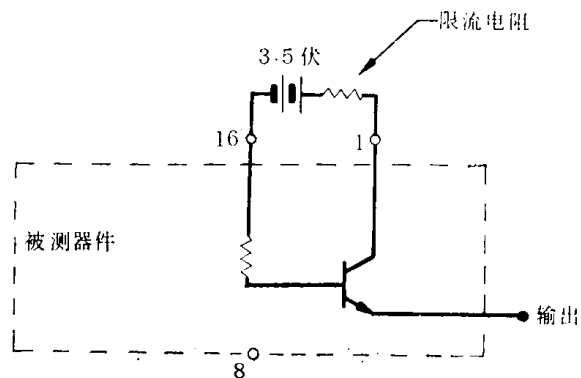


图4 I_{CBO} 测试电路图

在 V_{CC1} 和 V_{CC2} 之间加 3.5 伏的电压，就可以测得所有并联晶体管的集电极-基极的漏电流。

5. 衬底二极管的漏电：在 $V_{EE} = -0.3$ 伏时的 I_{EE}

在 V_{CC1} 、 V_{CC2} 与 V_{EE} 之间加0.3伏的低压，测得的漏电流应小于1.5微安。

6. 一般说明

在 Mil-M-38510/60 中，所有对于输出的测试都规定负载为 100 欧姆，而在这里除了厂家 A 的 10561 译码器外均用 50 欧姆作负载，目的是为了便于对军用器件和相应民用器件的试验结果直接进行比较。

在签订合同的时候，只有厂家 A 答应提供军用工作温度范围的器件，其他厂家只保证其器件在非军用温度范围内工作。试验结果表明，厂家 A 的 10501 型器件和 10506 型器件除了满足本厂技术规范外，还能全部满足 Mil-M-38510/60 的规范。但是，当将其按照 10101 型和 10106 型器件的厂定规范做试验时，10501 型器件的 80%，10506 型器件的 20% 超过了 V_{OH} 的最大极限（不合格）。有趣的是，就设计和工艺而论，101×× 和 105×× 都是相同的，它们只是到电测试阶段才被分成不同型号。这个情况是在同厂家 A 会谈时得知的。

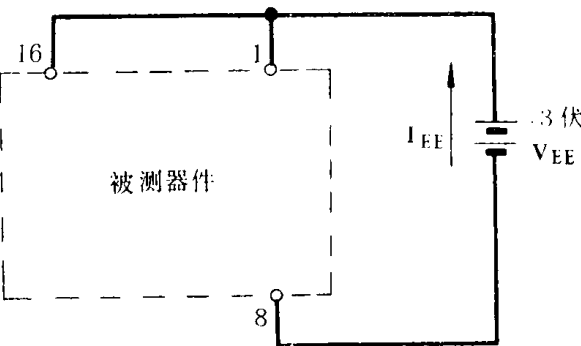


图5 衬底二极管漏电测试

B. 发射极耦合逻辑电路

基本电路结构如（图 6）所示。

下面我们将说明 ECL 的基本设计概念以及目前采用的三种实际电路。

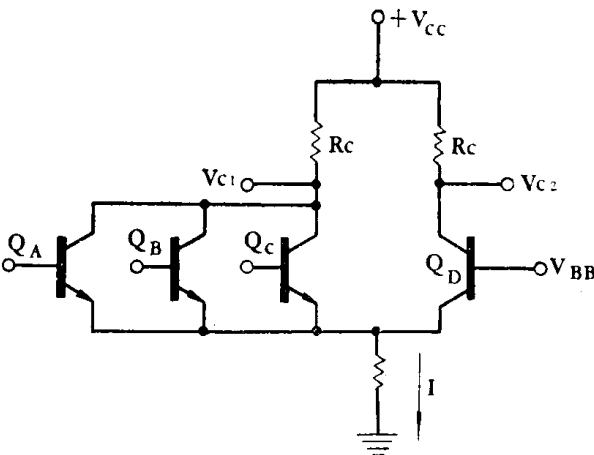


图6 基本的ECL电路图

假定晶体管 Q_A , Q_B 和 Q_C 的基极电压都为“零”电平, 那么, 这些晶体管均处于截止状态。电流 I 流过晶体管 Q_D , 迫使输出 V_{C2} 为“零”电平。如果其中有一个输入变成状态“1”, 不难看出, 这时电流 I 将流过“导通”晶体管的发射极, Q_D 不再有电流流过。输出 V_{C2} 为“1”电平, 而 V_{C1} 为“0”态。电路设计应使晶体管永远达不到饱和状态。

C. 实际的ECL电路

A类电路 (图7)

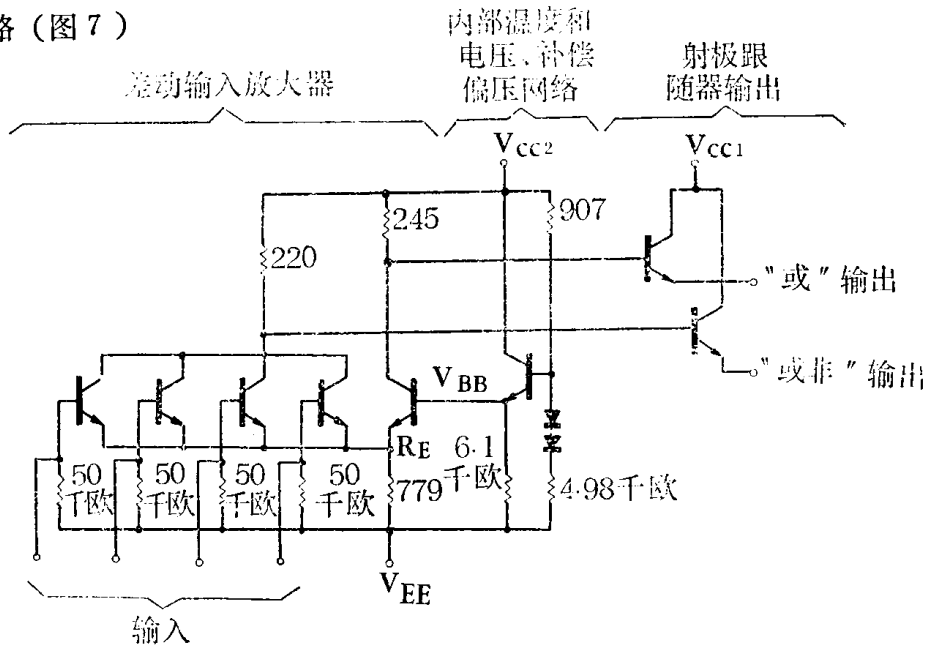


图7 实际的ECL电路: A类电路

如原理图所示, 基本的门电路包含一个输入网络, 该输入网络是差动放大器的一个部分, 而此差动放大器的参考电压或偏压 V_{BB} 调准在信号逻辑摆幅的中点处。图示的偏压网络能在一定电源电压范围内大体保持 V_{BB} 的电平对于 V_{CC2} 为恒定值, 并能补偿温度变动的影响。

差动放大器接有发射极电阻 R_E , 因此发射极电流 I_E 随着加在输入晶体管基极上的高电平输入电压 V_{IH} 而变化, 而这又使“或非”输出的低电压 V_{OL} 产生相应变化。

B类电路 (图8)

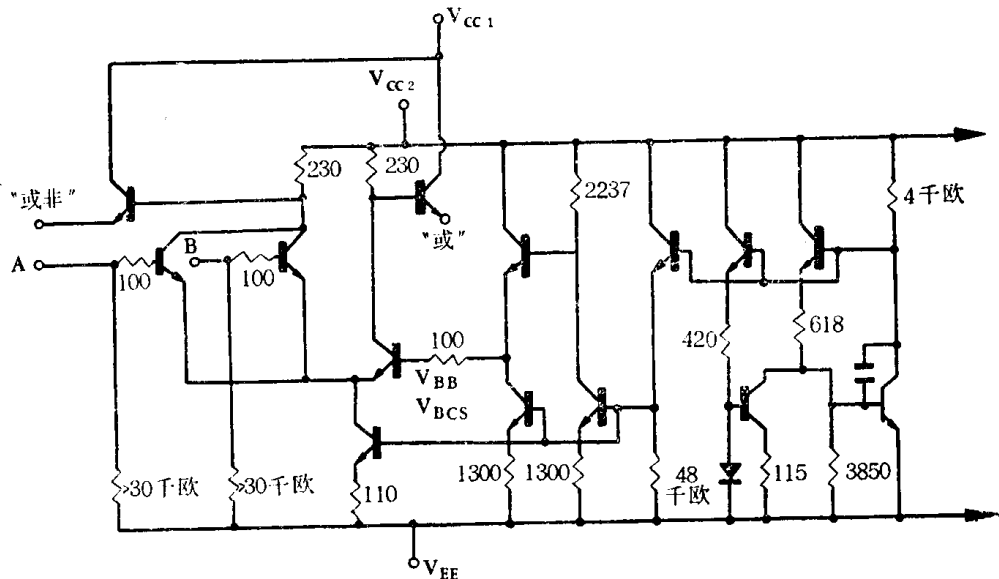


图8 实际的ECL电路: B类电路

正如图 8 电路所示, 当电压 V_{EE} 变化时, V_{BB} 相对于 V_{CC2} 说来保持为常数。此外, 这个电路中的差动放大器采用的是恒流源。 V_{BB} 对温度变化也有补偿作用。

C 类电路 (图 9)

此电路中的偏压网络与 B 类电路所用的相似, 其中差动放大器也采用恒流源。电源电压变动时, 电压 V_{CS} 相对于 V_{EE} 保持为常数。这个电路的突出特点是当环境温度变动时输出电平仍保持稳定, 这是因为在差动放大器的二个集电极之间桥接了二极管—电阻网络和采用了随温度而变化的电流源的缘故。既然输出电平在给定的温度范围内为常数, 所以这个电路中的 V_{BB} 电压也设计得使在环境温度变动时相对于 V_{CC2} 保持为常数。

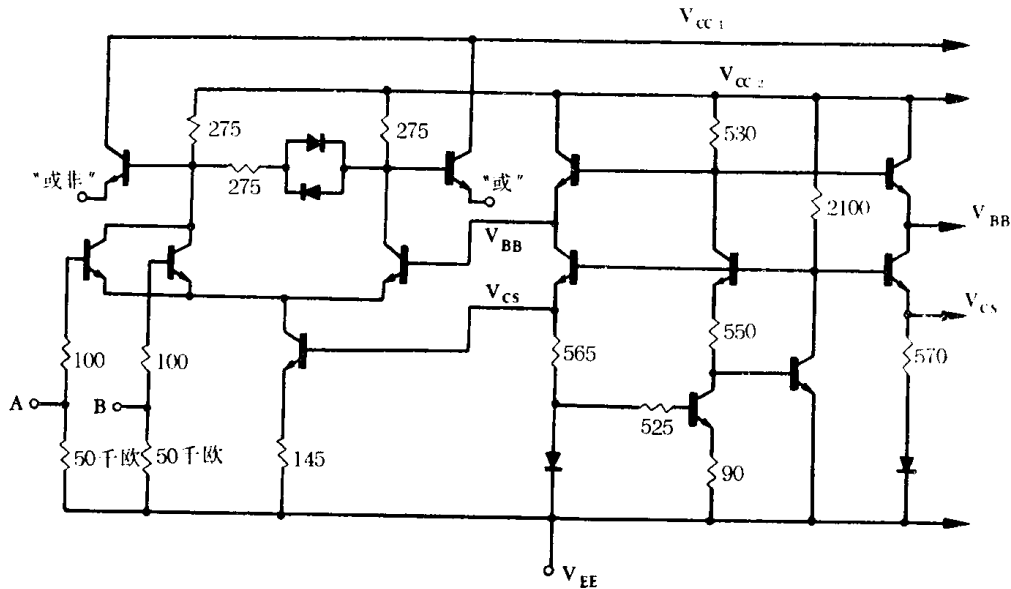


图 9 实际的 ECL 电路：C 类电路

D. 输入/输出转换特性

根据对输出逻辑电平 V_{OH} 的测量结果, 从每个厂家的每种型号器件中选出三个来 (一个 V_{OH} 测量值最大, 一个中等, 一个最小)。

使用任意型号的 $x-y$ 记录仪 (现用 HP. 莫斯利 7000A 型), 测量以下输入/输出电压特性曲线 (I/O):

- $T = +25^{\circ}\text{C}$, V_{EE} 为 -4.7 伏、 -5.2 伏和 -5.7 伏时的 I/O ;
- $T = +125^{\circ}\text{C}$, V_{EE} 为 -4.7 伏、 -5.2 伏和 -5.7 伏时的 I/O ;
- $T = -55^{\circ}\text{C}$, V_{EE} 为 -4.7 伏、 -5.2 伏和 -5.7 伏时的 I/O ;
- 各种温度下典型器件 (V_{OH} 为中等值) 的 I/O ;
- 比较各个厂家典型器件的 I/O 特性, 以显示这些器件在性能上值得注意的差异。

除了 10561 型器件的所有输出端接有 100 欧姆负载电阻以外, 其他器件的所有“或非”输出都接了 50 欧姆负载。 V_{CC1} 和 V_{CC2} 接地, 所有负载电阻都接 -2 伏电压。

转换特性曲线 (见附录中的图 A-1 至 A-42) 以预期的方式示出器件在整个温度与电压范围内的性能。为了对各个厂家器件的性能进行正确比较, 在多数情况下器件试验的条件与极限都超出了其原规定的数值。在厂家 A 的 10561 型器件的特性曲线上有一个过冲, 它是由于 $x-y$ 记录仪的机械部分所造成的。

除了10561型器件外，厂家A的所有器件的转换特性曲线，如表5、表6中所示，对电压变动与温度变动的反应程度都是相同的。厂家B和厂家C的器件也有类似的关系。

表 5 器件电源响应

(毫伏/伏)

厂 家	型 号	T=25℃	T=125℃	T=-55℃	T=25℃	T=125℃	T=-55℃
		V_{OL}/V_{EE}	V_{OL}/V_{EE}	V_{OL}/V_{EF}	V_{OH}/V_{EF}	V_{OH}/V_{EF}	V_{OH}/V_{EE}
D	95101	20	20	20	< 9	<10	<5
A	10,501	210	280	210	< 6	< 5	<10
B	10,101	33	50	30	< 3	< 5	<10
A	1662	220	210a75℃	225a0℃	< 8	10a75℃	8a0℃
A	10,561 ^a	225	225	230	<18	<10	<10
C	10,101	220	230	220	< 6	< 5	< 5
A	10,506	220	220	210	< 4	< 5	< 5
B	10,106	42	50	40	< 3	< 5	<10
C	10,106	230	235	210	< 6	< 5	<10

$a_{RL}=100$ 欧姆

表 6 器件温度响应

(毫伏/℃)

厂 家	型 号	$V_{OL}/℃$ (-55℃ 到 +125℃)	$V_{OH}/℃$ (-55℃ 到 +125℃)
D	95,101	0.47	0.28
D	95,101	0.26 ^a	0.09 ^a
A	10,501	1.03	1.39
B	10,101	0.31	1.39
A	1,662	0.93	1.2
A	10,561	0.72	1.5
C	10,101	1.11	1.44
A	10,506	1.03	1.44
B	10,106	0.28	1.43
C	10,106	1.22	1.50

a: 0—75℃

一些厂家的器件在特性曲线斜率和逻辑电平方面有明显的差别。这并不出所料，因为厂家A和厂家C采用的是A类电路结构，厂家B采用的是B类电路结构，而厂家D则采用了C类电路结构。还可以看出，对于厂家B和厂家D的器件，在 V_{OL} 区域内曲线是平坦的，斜率测不出来。而对于厂家A和厂家C的器件，在这个区域中曲线的斜率却很明显。在差动放大

器的发射极回路用一个恒流源（晶体管）代替单一的电阻，就可以使特性曲线在这个区域内趋于平坦。

如表 5 所示，由于厂家 B 和厂家 D 采用了电压调节的恒流源，所以厂家 A 和厂家 C 器件的 V_{OL} 随 V_{EE} 变化而变动的程度要比厂家 B 和厂家 D 的大得多。

从厂家 A、B、C 器件的转换特性图可见，当 V_{EE} 变动时， V_{OH} 的变化在理论上接近于零。然而，在 V_{EE} 增大时，一方面，具有负温度系数的输出晶体管的结压降 V_{BE} 由于芯片功耗增大（从而温度升高）要使 V_{OH} 减小，但另一方面，电路内部的漏电流和在金属化层中的电压降却要使 V_{OH} 增加。由于 V_{BE} 压降看来在起主导作用，所以多数器件的 $\Delta V_{OH}/\Delta V_{EE}$ 为正。

随着温度改变，除了厂家 D 的器件外，所有其他厂家的器件 V_{OH} 的变化都很明显，变化的数值也不相上下。厂家 D 采用了 C 类电路的温度补偿性能。但其他厂家没有采用，所以 V_{OH} 变化的大小与方向和一个正向偏置的二极管一样。

表 5 和表 6 是从 $x-y$ 曲线图推导出的，表中的数值是按照图 10 选择中等值 V_{OH} 的器件求得的。

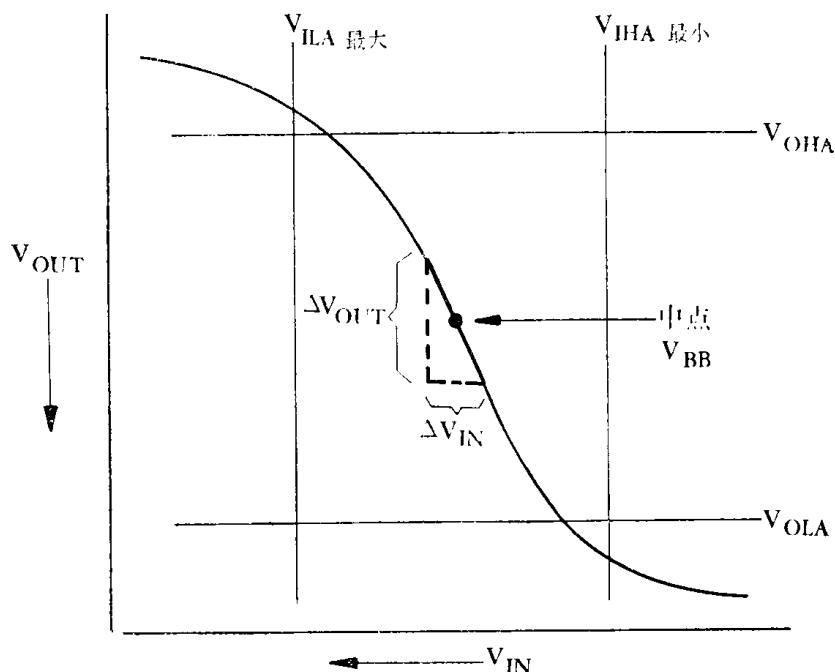


图10 转换特性

电压增益是在 I/O 特性上的 V_{BB} 点（输出电压摆幅的中点）进行计算的，其变化范围从 3.8（厂家 A 的器件）到 6.17（厂家 B 的器件）。表 7 中列出了各个厂家全部型号器件的 dV_{out}/dV_{in} 数据。厂家 A 的 10561 型器件的电压增益为 15，因为它采用了串接的两级电路，所以电压增益是各级增益之乘积。

E. 噪声容限

在电路设计中，关于噪声容限的考虑是重要因素之一。噪声容限规定了一个安全范围，以便防止在不利工作条件下发生不希望的转换。我们把噪声容限定义为最坏情况下的输入逻辑电平与最坏情况下的输出逻辑电平之差。

$$NM_{HL} = V_{OHA\text{最小}} - V_{IHA\text{最小}} \quad (1)$$

$$NM_{LL} = V_{ILA\text{最大}} - V_{OLA\text{最大}} \quad (2)$$

既然ECL电路的所有输出电平都是随电源电压、温度和负载条件的改变而变化的，所以势必也要对噪声容限产生影响。

表7 电 压 增 益

厂 家	器 件 型 号	dv_{out}/dv_{in}
D	95,101	5.6
A	10,501	3.8
B	10,101	6.17
A	1,662	4.5
A	10,561	15 ^a
C	10,101	4.9
A	10,506	4.3
B	10,106	6.0
C	10,106	5.4

a. $dv_{out}/dv_{in}=15$ 是采用两级结构的结果

为了保证电路正常工作，在任何应用中，都必须确保有足够的噪声容限。ECL器件的用户必须知道，当在设计中使用不同厂家的器件时，它们的特性是不一样的。根据本研究中对各个厂家器件的 I/O 特性和电路进行分析的结果来看，最能兼容的是厂家A的器件与厂家C的器件。如果驱动器件和接收器件用的电源电压不同，或所处的环境温度不同，噪声容限就要降低。为了使噪声容限额外的损失最少，建议在设计中应尽量采用同一厂家生产的器件，但厂家A和厂家C器件的混用可能是例外。

F. 开关时间测量

为了对不同型号的器件和不同厂家的器件进行比较，要求采用一组标准的测试条件。尽管有的型号原规定负载电阻为100欧姆，而现在我们在所有“或非”输出都端接 50 欧姆作负载。测量是在 -55°C 、 $+25^{\circ}\text{C}$ 和 $+125^{\circ}\text{C}$ 时，在“或非”输出管脚上进行的。虽然输出负载电流大了一些，所有器件还都能满足Mil-M-38510/60（1974年3月29日颁发）规定的转换时间和传输延迟时间的指标。因为10561型器件没有其他厂家的器件可与之直接进行比较，所以在负载电阻分别为50欧姆和100欧姆时都测量了开关时间（见表8）。10561型器件的传输延迟时间 t_{PLH} 和 t_{PHL} 几乎是所有其他器件的数值的两倍，因为它是两级串联的缘故。

注意：1974年3月29日颁发的可应用的Mil-M-38510/60规范和1968年5月1日颁发的被参考的Mil-Std-883规范在术语与定义上的差异。Mil-M-38510/60对转换时间测量作了以下详细规定：

t_{TLH} 是从输出电压波形的20%到80%测得的时间；

t_{THL} 是从输出电压波形的80%到20%测得的时间。

表 8 ECL电路开关速度

厂 家	器件型号	序 号	开 关 速 度 (毫微秒)											
			-55℃				+25℃				+125℃			
			t _{PLH}	t _{PHL}	t _{TLH}	t _{THL}	t _{PLH}	t _{PHL}	t _{TLH}	t _{THL}	t _{PLH}	t _{THL}	t _{TLH}	t _{THL}
A	10,501	42MAX	2.55	2.63	2.66	2.38	2.34	2.70	2.46	2.54	2.31	3.25	2.56	3.44
		45MED	2.40	2.60	2.50	2.31	2.27	2.78	2.33	2.62	2.28	3.45	2.50	3.58
		41MIN	2.35	2.48	2.51	2.29	2.27	2.55	2.38	2.39	2.29	3.10	2.58	3.20
B	10,101	8MAX	1.78	1.95	2.40	2.06	1.90	2.17	2.42	2.20	2.04	2.67	2.60	2.48
		6MED	1.83	1.93	2.29	2.16	1.95	2.16	2.45	2.37	2.12	2.93	2.68	2.58
		2MIN	1.78	1.90	2.21	2.07	1.97	2.13	2.36	2.13	2.14	2.93	2.60	2.49
C	10,101	27MAX	2.24	2.28	2.50	2.26	2.20	2.38	2.39	2.30	2.24	2.91	2.58	2.58
		23MED	2.06	2.23	2.22	2.05	2.05	2.32	2.18	2.20	2.12	2.90	2.38	2.56
		26MIN	2.08	2.01	2.15	2.00	2.09	2.20	2.16	2.10	2.16	2.89	2.39	2.43
D	95101	14MAX	2.23	2.44	2.87	2.76	2.29	2.34	2.59	2.36	2.32	2.38	2.34	2.20
		7MED	2.22	2.42	2.84	2.71	2.27	2.30	2.48	2.28	2.32	2.30	2.30	2.14
		15MIN	2.20	2.41	2.88	2.71	2.28	2.34	2.58	2.32	2.29	2.43	2.32	2.13
A	10,506	78MAX	2.66	2.65	2.98	2.62	2.38	2.74	2.73	2.65	2.44	3.24	2.86	3.31
		56MED	2.72	2.62	2.94	2.55	2.46	2.73	2.64	2.53	2.51	3.25	2.77	3.19
		76MIN	2.62	2.52	2.72	2.30	2.34	2.60	2.45	2.36	2.42	3.15	2.62	2.96
B	10,106	33MAX	2.02	2.11	2.60	2.08	2.06	2.38	2.76	2.34	2.23	2.98	3.03	2.92
		37MED	1.98	2.07	2.32	1.96	2.06	2.33	2.57	2.27	2.28	2.90	2.91	2.70
		31MIN	1.97	2.17	2.42	2.00	2.06	2.46	2.65	2.37	2.33	3.06	3.08	3.20
C	10,106	13MAX	2.23	2.18	2.82	2.44	2.16	2.43	2.70	2.56	2.36	3.21	2.94	3.07
		2MED	2.21	2.13	2.73	2.42	2.14	2.37	2.65	2.57	2.33	3.07	2.86	2.91
		6MIN	2.17	2.30	2.56	2.30	2.10	2.48	2.47	2.44	2.30	3.22	2.70	3.06
A	10,561	33MAX	4.04	4.65	2.75	2.47	3.67	4.72	2.58	2.35	3.75	5.30	2.81	2.65
		69MED	3.98	4.67	2.76	2.52	3.70	4.73	2.65	2.42	3.78	5.40	2.83	2.70
		65MIN	3.99	4.66	2.74	2.49	3.64	4.73	2.59	2.45	3.79	5.55	2.81	2.60
A	1,662	27MAX	1.30	1.32	1.20	1.12	1.18	1.40	1.24	1.23	1.25	1.67	1.45	1.43
		28MED	1.29	1.40	1.23	1.09	1.19	1.39	1.23	1.22	1.22	1.69	1.40	1.44
		31MIN	1.23	1.42	1.17	1.05	1.17	1.43	1.20	1.19	1.20	1.69	1.35	1.45

除了管脚 2 的输出电阻等于 100 欧姆外, 其余条件和以上同。

厂 家	器件型号	序 号	开 关 速 度 (毫微秒)											
			-55℃				+25℃				+125℃			
			t _{PLH}	t _{PHL}	t _{TLH}	t _{THL}	t _{PLH}	t _{PHL}	t _{TLH}	t _{THL}	t _{PLH}	t _{THL}	t _{TLH}	t _{PHL}
A	10,561	33MAX	3.79	4.42	2.31	2.02	3.52	4.43	2.29	2.04	3.60	5.05	2.38	2.13
		69MED	3.75	4.44	2.36	2.13	3.53	4.44	2.35	2.10	3.63	5.21	2.52	2.30
		65MIN	3.69	4.44	2.34	2.14	3.50	4.45	2.30	2.10	3.62	5.28	2.52	2.34

注: 所有器件 (除A厂的10561型外) 都是用管脚 7 作输入, 管脚 3 作输出。

Mil-M-38510/60规范也提到了Mil-Std-883规范的3004方法, 3004方法没有对转换时间 t_{TLH} 和 t_{THL} 下明确定义, 然而却提到了上升时间 t_R 和下降时间 t_F 。还有, 对传输延迟的量度两个规范用的符号也不一样, Mil-M-38510/60用的是 t_{PLH} 和 t_{PHL} , 而 Mil-Std-883的3003

方法用的都是 t_{PDL} 和 t_{PDH} 。

建议：修改Mil-Std-883的3003方法和3004方法以反映Mil-M-38510/60所用的术语。

G. 热阻测量

为了计算在极限寿命试验和运行寿命试验期间，消耗着功率的器件的结温，测量了所有型号器件的热阻。全部测量是在用一个输出晶体管的基极-发射极结作为温度传感器的情况下进行的，这时管脚1和管脚16被连在一起，100微安直流用作校准和测量电流。

把数据脉冲（DATA PULSE）110型发生器的偏置电压调节到-5.2伏，然后加在 V_{EE} 端点上，以使器件产生功耗。此外，通过若干个二极管-电阻网络，包括用作温度传感器的输出晶体管在内的所有“或非”输出晶体管均通过27毫安的负载电流。此器件的供电时间的占空比大于99.5%（见图11）。测量了三种热阻，结果示于表9和表10中。

θ_{JC} ：结-壳热阻。利用FC77型氟碳化合物液体作吸热介质。

θ_{JA} ：结-静止空气（+25℃）热阻。采用了Blue M型恒温箱，此恒温箱中有一个2'×3'×2'的空腔，风扇没有接电。所用的插座为鲁滨逊-纽金特（Robinson-Nugent）耐高温16个管脚的IC-163-S2-HT型插座（插入的器件不嵌入到插座里）。

θ_{JAF} ：置于寿命试验恒温箱中的结-空气（+25℃）热阻。只对所选择的少数器件进行了这项特殊测量。

热阻 θ_{JC} 和 θ_{JA} （静止空气）的测量结果仅供参考用。被测器件都能很好地满足军用技术规范 and 厂定技术规范的要求。

热阻 θ_{JAF} 的测量结果用来计算极限寿命试验和长期寿命试验中的结温。

从表9可见，对于所有型号和厂家的被测器件，其结-壳热阻的测量平均值从17.8到25.8度/瓦。

热阻 θ_{JC} 的所有测量结果与平均读数的离差均在可允许的范围之内，这说明芯片装架是均匀的。

表9 θ_{JA} 与 θ_{JC} 的比较表

厂 家	型 号	θ_{JA}^a	θ_{JAF}^b	θ_{JC}
A	10,501	99.7℃/瓦	64.8℃/瓦	25.8℃/瓦
C	10,101	107.6℃/瓦	64.3℃/瓦	25.3℃/瓦
B	10,101	111.3℃/瓦	63.1℃/瓦	24.6℃/瓦
D	95,101	107.5℃/瓦	60.0℃/瓦	17.8℃/瓦
A	10,506	104.2℃/瓦	68.1℃/瓦	22.4℃/瓦
C	10,106	104.0℃/瓦	70.4℃/瓦	22.9℃/瓦
B	10,106	101.3℃/瓦	68.9℃/瓦	20.0℃/瓦
A	10,561	89.7℃/瓦	60.0℃/瓦	23.3℃/瓦
A	1662	93.7℃/瓦	60.2℃/瓦	21.4℃/瓦

注 a：静止空气的条件。

b： θ_{JAF} 等于在实际恒温箱和特定气流条件下的结-空气的热阻。

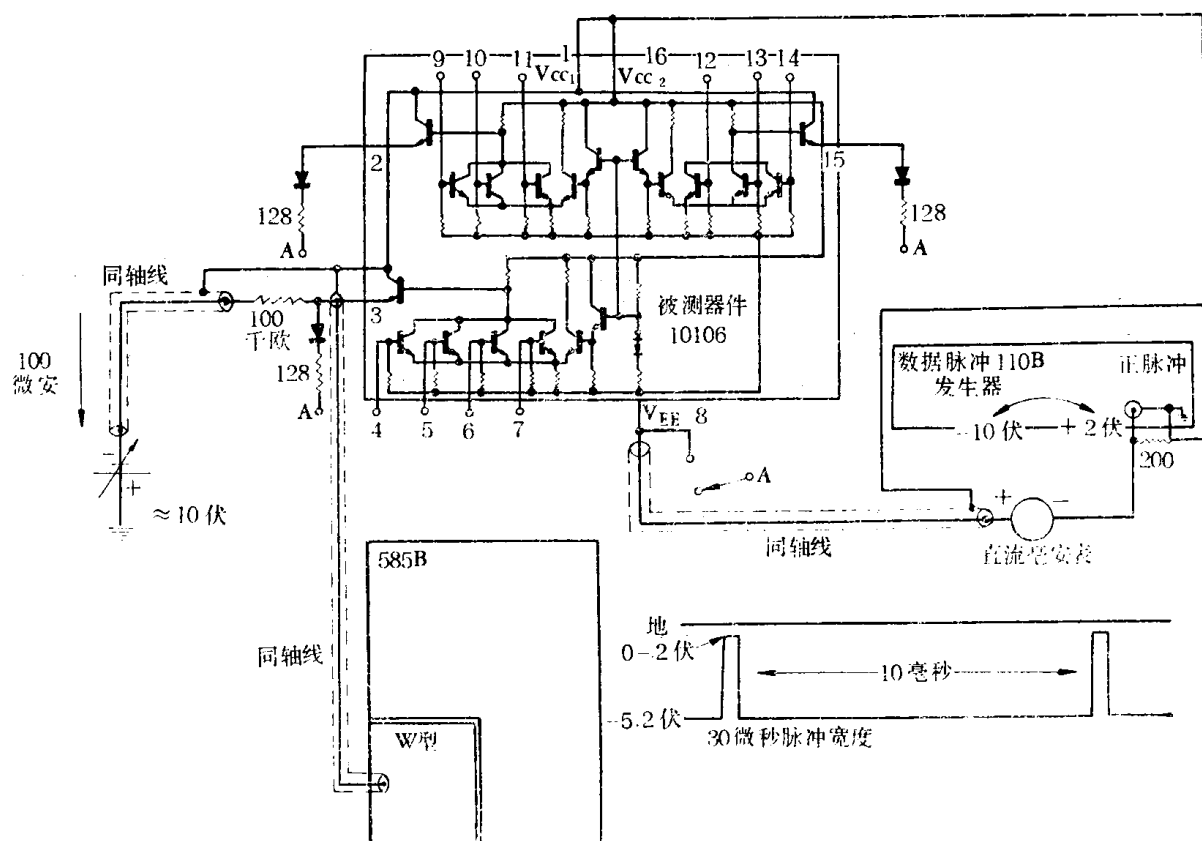


图11 热阻测试

表10 热阻的变化情况

$\theta_{ic} \text{ } ^\circ\text{C}/\text{瓦}$

厂 家	器 件 型 号	最大值 $^\circ\text{C}/\text{瓦}$	平均值 $^\circ\text{C}/\text{瓦}$	最小值 $^\circ\text{C}/\text{瓦}$
A	1,662	24.7	21.4	18.4
A	10,506	24.0	22.4	22.1
B	10,106 ^a	25.8	20.0	16.7
C	10,106	27.0	24.6	23.0
A	10,501	29.7	25.8	22.5
B	10,101	25.7	22.9	19.0
C	10,101	29.0	25.3	22.6
D	95,101	20.6	17.8	16.2
A	10,561	25.7	23.3	20.8