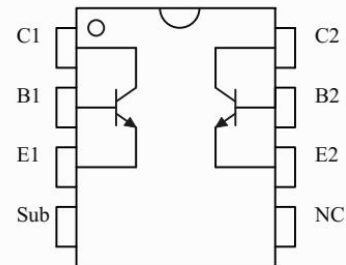




产品特点:

- 消除了 I_{ceo} 包线的超匹配 NPN 对管, 电流冲击耐受力强, 电流镜专用
- H_{fe} 典型值在 240-300 倍之间
 - 电流增益误差 $\Delta H_{fe} \leq 0.2\%$ 的器件占比约 66%
 - $0.2\% \leq \Delta H_{fe} \leq 0.5\%$ 之间的器件占比约 32%
 - $0.5\% \leq \Delta H_{fe} \leq 0.7\%$ 之间的器件占比小于 2%
 - $\Delta V_{be} \leq 0.1mV$, 很低的 $V_{ce(SAT)}$
- 良好的直流/动态电流增益稳定性:
 - $1.0 \mu A \leq I_c \leq 10mA$: (交/直流、脉冲) 电流增益恒定且三者相等
 - $1.0 \mu A \leq I_c \leq 20mA$: 交/直流电流增益恒定且两者相等
- 良好的高温 ($125^\circ C$) 稳定性(很低的 I_{ceo})
- 经过 100% 测试, 提供定制化分档筛选子型号 ZMT094C2/3/4/5(自主知识产权的 7 位半精度系统分档)

引脚定义(俯视)



ZMT094C1
ZMT094C2/3/4/5

ZMT094Cx 是为工业仪器仪表/交变信号放大电路特别设计的电流镜专用超匹配 NPN 对管, 内部两个 NPN 管彼此独立。其设计、工艺细节、到品管, 一切都以工业级应用的长期稳定性优先为原则。对 I_{ceo} 包线、 $H_{fe}-I_c$ 稳定性、(交/直流、脉冲电流增益都恒定且相等)、同批次/不同批次的参数一致性、电流冲击耐受力、高温条件下的 I_{ceo} 性能等应用中的深层次难点, ZMT094Cx 进行了特别优化, 不同批次之间互换性优良。特别适合用来搭建高可靠性、低维护成本的: 交直流信号链、电源管理电路中的电流镜, 进行工业化生产。

受制造工艺的制约, 超匹配对管普遍存在着动态性能缺陷: I_{ceo} 包线。对于交变信号电路, I_{ceo} 包线会导致不可预见、无法有效补偿的潜在性能隐患, 也是导致系统不稳定的潜在诱因。Tektonix576 由于不存在内部软件, 将其校准到手册指定的性能要求之后, 用于 I_{ceo} 包线的测量。图 1 是 Tek576 的 c-e 端口之间电压 ($25V_{p-p}$) 的实测波形。显然, 该测试状态与实际电路中 c-e 之间电压的实际工作状态相符。



图 1

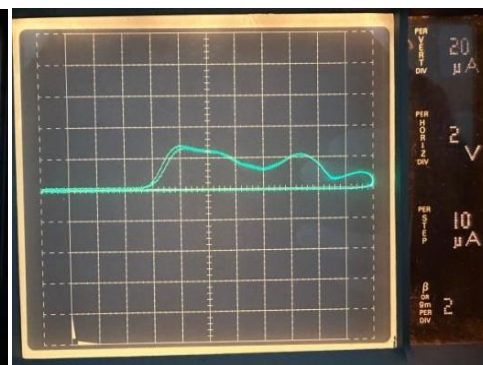


图 2

图 2 和图 3 是国际上著名的两款超匹配 NPN 对管 A 产品和 B 产品实测 I_{ceo} 包线。图 4 是 ZMT094Cx 的实测 I_{ceo} 特性, 不存在 I_{ceo} 包线。

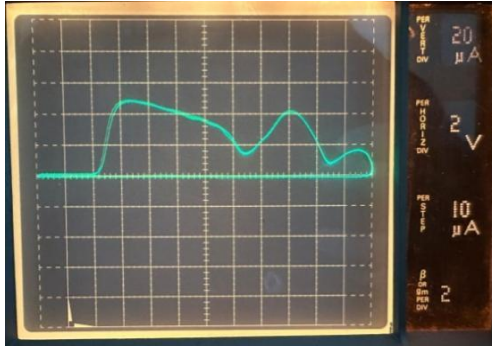


图 3

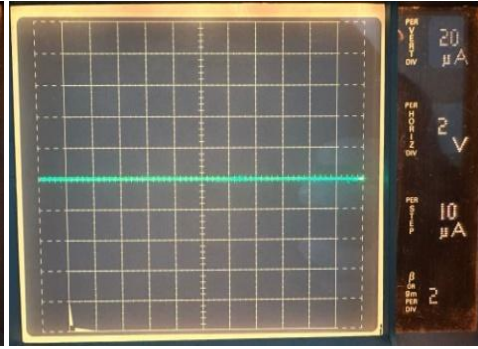


图 4

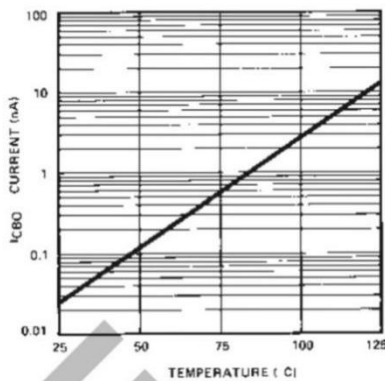
电流镜在实际工作中,工作电流从近乎截止到最大设计电流之间持续变化,因而 $H_{fe}-I_c$ 的性能也非常关键,也是超匹配对管厂商设计的重点。图 5 是 A 产品手册 $H_{fe}-I_c$ 特性的截图。

Parameter	Symbol	Conditions	Min	Typ	Max	Min	Typ	Max
Current Gain	h_{FE}	$I_C = 1 \text{ mA}^1$	500	605		400	605	
		$I_C = 100 \text{ } \mu\text{A}$	500	590		400	590	
		$I_C = 10 \text{ } \mu\text{A}$	400	550		300	550	
		$I_C = 1 \text{ } \mu\text{A}$	300	485		200	485	

图 5

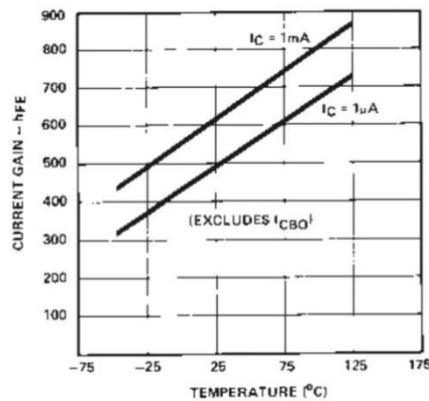
用 ZMT094Cx 搭建的电流镜,当 $1.0 \text{ } \mu\text{A} \leq I_c \leq 10\text{mA}$, (交/直流、脉冲) 电流增益都恒定且相等,可以让产品性能得以充分地发挥。当 $1.0 \text{ } \mu\text{A} \leq I_c \leq 20\text{mA}$: 交/直流电流增益都恒定且两者相等。

I_{ceo} 的高温性能 (125°C) 和超匹配对管装机的可靠性、稳定性密切相关,也和电流镜的最低工作点相关。例如 A 产品给出 I_{cbo} 参数 12nA (图 5 查得), 其 I_{ceo} 要乘以该器件在 125°C 下的 H_{fe} 典型值 700 (图 6 查得): 即 $8.4 \text{ } \mu\text{A}$ 。因此实际电路的 $I_c(\text{min})$ 需大于 $84 \text{ } \mu\text{A}$, 在 125°C 条件下才有比较低的传递误差; 实测 125°C 下 ZMT094Cx 的 I_{ceo} 典型值为 $0.15 \text{ } \mu\text{A}$, 则要求实际电路 $I_c(\text{min})$ 大于 $1.5 \text{ } \mu\text{A}$, 在 125°C 条件下才有比较低的传递误差。



TPC 12. Collector-to-Base Leakage vs. Temperature

图 5



TPC 2. Current Gain vs. Temperature

图 6

足够的抽样检测表明: ZMT094Cx 当 $T_a=125^\circ\text{C}$, $V_{ce}=40\text{V}$ 时, 可确保 $I_{ceo} < 0.5 \text{ } \mu\text{A}$ 。应



用厂商只要保证 ZMT094Cx 的结温在 -25°C 至 125°C 之间，就可以在 $1.0\mu\text{A}\leq I_c\leq 10\text{mA}$ 范围内达到手册所给出的所有性能。

警告:不能因 $T_a=125^{\circ}\text{C}$, $V_{ce}=40\text{V}$ 时可以确保 $I_{ceo} < 0.5\mu\text{A}$, 而让器件 V_{ce} 超手册使用

为提高应用厂商整机的可靠性、降低维修保养成本, ZMT094Cx 对电流冲击耐受力进行了强化, 并通过足够的破坏性试验, 确认了造成性能退化的电流冲击门限值、性能退化判据供厂商作为维修参考(详见后文)。此外, 非常低的 $V_{ce}(\text{SAT})$ 提供了很小的插入损耗。

ZMT094Cx 衬底独立引出, 若配合良好的 Guard 方案, 就可以方便地提高产品的性能/稳定性, 以面对噪声要求特别严格/强干扰的应用场景。

ZMT094C2/3/4/5 是定制化分档筛选子型号, 并以自主知识产权的 7 位半精度系统分档。它与不分档的 ZMT094C1 性能完全相同, 区别仅在于: ZMT094C2/3/4/5 具有较好的一致性区间, 便于精密设备厂商优化生产, 具备更好的产品竞争力。

极限参数

集电极-发射极击穿电压, $T_a=125^{\circ}\text{C}$ (BV_{ceo}): 40V

集电极-基极击穿电压, $T_a=125^{\circ}\text{C}$ (BV_{cbo}): 40V

集电极-集电极击穿电压, $T_a=125^{\circ}\text{C}$ (BV_{cc}): 40V

发射极-发射极击穿电压, $T_a=125^{\circ}\text{C}$ (BV_{ee}): 40V

集电极最大通过电流 I_{cm} : 40mA

基极最大通过电流 I_{bm} : 20mA

工作温度: -25°C 至 85°C

存储温度: -65°C 至 150°C

焊接时间: 10s@ 270°C

最大耗散功率 P_{cm} : 400mW (若 $T_a\geq 40^{\circ}\text{C}$, 需要足够的 PCB 铺铜辅助散热)

ZMT094Cx 电性能参数 (测试条件: $V_{ce}=25\text{V}$, $T_a=25^{\circ}\text{C}$, 有标注值除外)

参数	字符	测试条件	Min	Typ	Max	单位/(附注)
直流电流增益 (Hfe) 及交流电流增益 (β) 计算系数(老炼后)	Hfe(β 需根据 I_c 计算)	$I_c=1\mu\text{A}$	190	270-300	400	$\beta = Hfe$
		$I_c=10\mu\text{A}$	190	270-300	400	$\beta = Hfe$
		$I_c=100\mu\text{A}$	190	270-300	400	$\beta = Hfe$
		$I_c=1\text{mA}$	190	270-300	400	$\beta = Hfe$
		$I_c=10\text{mA}$	190	270-300	400	$\beta = Hfe$
		$I_c=20\text{mA}$ (不完全推荐)	190	270-300	400	$\beta = Hfe/1.05$
		$I_c=30\text{mA}$ (不推荐)	185	260-290	390	$\beta = Hfe/1.08$
		$I_c=35\text{mA}$ (不推荐)	175	250-280	370	$\beta = Hfe/1.14$
$I_c=40\text{mA}$ (不推荐)	170	240-270	360	$\beta = Hfe/1.2$		
不同温度下 β 恒定的 I_c 范围	$I_c-\beta-T_a$	$T_a=-25^{\circ}\text{C}$ $T_a=25^{\circ}\text{C}$ $T_a=55^{\circ}\text{C}$ $T_a=85^{\circ}\text{C}$ $T_a=125^{\circ}\text{C}$	同 Type	$1.5\mu\text{A}-10\text{mA}$ $1.0\mu\text{A}-10\text{mA}$ $1.0\mu\text{A}-10\text{mA}$ $1.0\mu\text{A}-10\text{mA}$ $1.0\mu\text{A}-10\text{mA}$	同 Type	

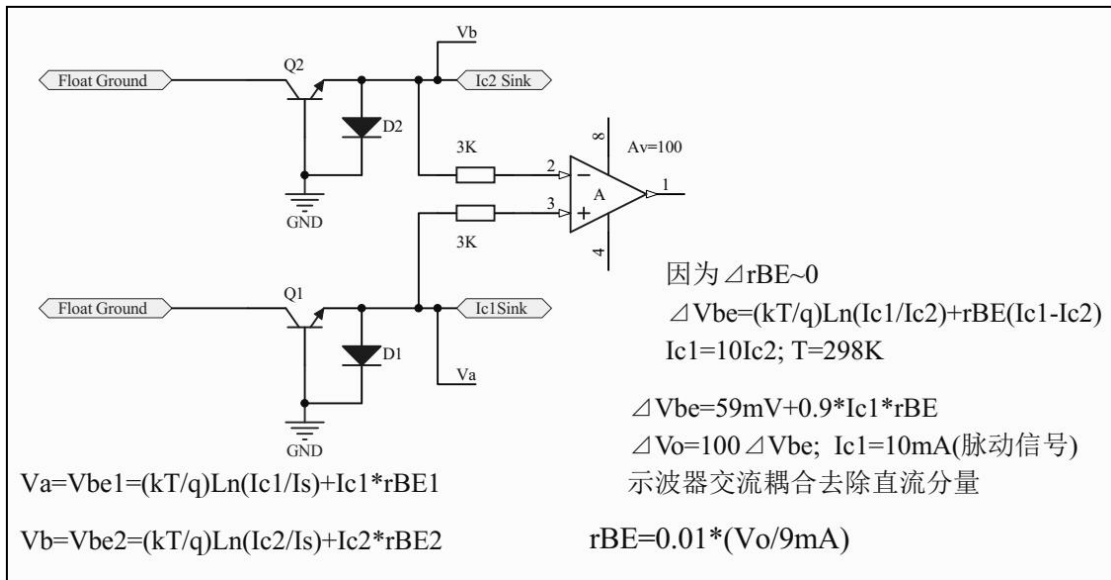


低温 (-25℃) 与 常温电流增益比	Hfe-25/ Hfe25	Hfe-25 @Ta=-25℃, Hfe25 @Ta=25℃, 1.5 μA ≤ Ic ≤ 10mA,	0.6	0.75	0.85	
电流增益误差 (仅 ZMT094C1)	$\Delta Hfe = Hfe1 - Hfe2 $ /0.5*(Hfe1+ Hfe2)	Ic=1mA-4mA (7 位半系统 CP 测值)		0.1 ± 0.05	0.7	%
电流增益误差 (仅 ZMT094C2/3/4/5)	ΔHfe (ZMT094C2) ΔHfe (ZMT094C3) ΔHfe (ZMT094C4) ΔHfe (ZMT094C5)	Ic=1mA-4mA (7 位半系统 CP 测值)	0.1 0.05 0.01	0.15 0.07 0.02	0.7 0.1 0.05 0.01	%
b-e 结电压差	$ \Delta Vbe $	见后文附图			100	μV
基极偏置电流	Ib-bias	Ic=10 μA		36	50	nA
c-e 结漏电流	Iceo	Ta=25℃ Ta=55℃ Ta=85℃ Ta=125℃		0.15 2.5 13 150	0.25 4 25 300	nA
c-c 间漏电流	Icc	Ta=25℃ Ta=55℃ Ta=85℃ Ta=125℃		0.03 0.06 0.3 20	0.05 0.1 0.5 50	nA
c-e 耐压	BVceo	Iceo=0.5 μA, Ta=125℃	40			V
b-e 反向耐压	BVebo	Iebo=0.5 μA, Ta=125℃	6.2			V
稳态输出失调 电压(老炼后)	ΔVos	见后文附图 (Ic=1mA, Vce=5V)		150	300	μV
截止频率	fr	Ic=1mA	70			MHz
电压噪声密度 (老炼后)	En	Ic=1mA, f=10Hz Ic=1mA, f=100Hz		1.7 1.3	3.5 2.7	nV/√Hz
b-e 体电阻	rBE	$\Delta Ic=1mA-10mA$, (后附电路计算得到)			1	Ω
基区电阻	rbb'				10	Ω
输出电容	Cob				18	pF
集电极间电容	Ccc				23	pF
c-e 饱和压降	Vce(Sat)	Ic=1mA, Ib=0.1mA Ic=10mA, Ib=0.1mA Ic=20mA, Ib=0.1mA Ic=2mA, Ib=0.2mA Ic=10mA, Ib=0.2mA Ic=20mA, Ib=0.2mA		0.04 0.15 0.35 0.04 0.12 0.2	0.06 0.2 0.5 0.06 0.16 0.3	V

警告:给出 Ta=125℃条件下的参数, 是为方便工程师进行电路设计和可靠性预估。受 SOP8 封装限制, 不要让 ZMT094Cx 工作温度超出-25℃至 85℃。

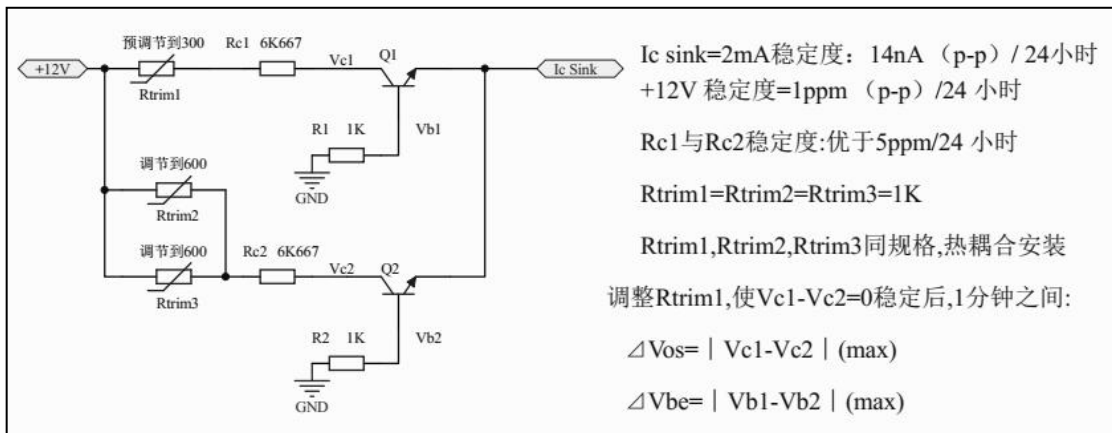


r_{BE} 测量条件



说明: Q1 和 Q2 是 ZMT094Cx 内部的两个 NPN 管; D1 和 D2 用于防止 Ic1 sink 和 Ic2 sink 的电流倒灌

ΔV_{os} 与 ΔV_{be} 测量条件



说明: a. Ic 的大小、Rc1 和 Rc2 的取值将会明显影响 ΔV_{os} 值; Ta、气流、器件引脚热电势、焊锡的热电势将会影响到 ΔV_{os} 值;
 b. R1 和 R2 的取值将会影响到 ΔV_{be} 值。上列条件与实际应用贴近。



应用参考信息

造成性能退化的电流冲击门限、判断参数

超匹配对管承受电流超过额定最大值很容易损坏。针对电流镜的应用特点，ZMT094Cx 强化了电流冲击耐受力。此外，过大的 I_b 电流和 I_c 电流通过器件，哪怕时间很短也会造成器件的性能退化。为提高应用厂商的电路可靠性、降低维修保养成本，ZMT094Cx 进行了足够的破坏性试验，确认出绝对不会造成性能退化的电流冲击的门限值，以及判断性能是否退化的参数：

- 仅 I_c 冲击达到 60mA，持续 30S 以内，管芯温度不超出 125℃，不会造成性能退化。
- 仅 I_b 冲击达到 40mA，持续 20S 以内，不会造成性能退化
- 当 I_b 冲击达到 20mA、时间不超过 10S，同时 I_c 不超过 40mA，管芯温度不超出 125℃，不会造成性能退化。
- 发生了性能退化的器件用通常的万用表测量法难以判别。需要在微电流条件下，根据 I_b 和 I_c 的数值判断： $I_b=0.1\mu A$ 条件下，测量 I_c ：如果 I_c 低于 $19\mu A$ 的器件可以确定为性能退化器件。

超手册应用条件下 I_{ceo} 包线的消除

受超匹配对管制造工艺制约，当 V_{ce} 超出器件手册 25V 的设计值，ZMT094Cx 依然会出现图 7 中的 I_{ceo} 包线。这是因为：对于苛刻的应用场景，如果在 b-e 之间设置内部的逆向二极管会制约电路工程师的灵活设计，从而 ZMT094Cx 没有在器件内部设置逆向二极管所致。

消除这个残余的 I_{ceo} 包线只需要在 ZMT094Cx 的 b-e 间各接一个逆向二极管就能解决。对于非常严苛的科学仪器，可以选用漏电流低至 1pA 的二极管，如 Siliconix 生产的 PAD1/DPAD1。对于一般要求，可以选用任何一种高频小功率 NPN 管（没有功耗，用 SMT 封装即可），短接其 b-c 极，将其 b-e 结作为 ZMT094Cx 外接的逆向保护二极管即可。图 8 就是使用这个方案之后的实测 V_{ce} 特性线，完全消除了图 7 的残余的 I_{ceo} 包线。

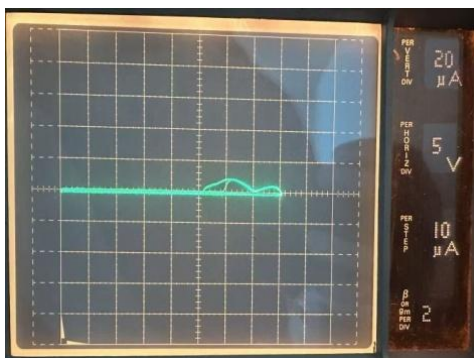


图 7

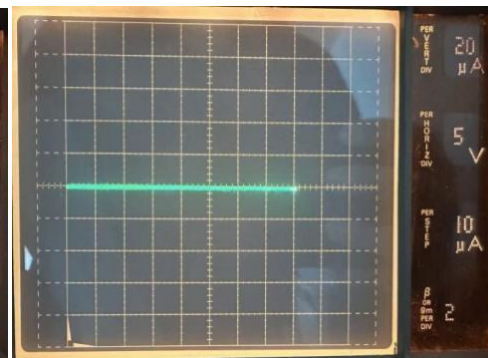


图 8



电流镜延展应用

图 9 是通常的电流镜电路，一般情况 $R1=0$ 、 $R2=0$ 。如果需要降低 I_{Input} 与 I_{Output} 的误差，适当加大 $R1$ 、 $R2$ 阻值（一般不要让 $R1/R2$ 压降大于 $0.1V$ ），并且选用匹配性、热耦合良好的网络电阻将会有效降低两者的误差。如果 V_{cc1} 和 V_d 都不大于 $25V$ ，可以省略 $D1$ 。严格来说，这样电路构成电流镜两臂的晶体管由于发热不同，承受的 V_{ce} 不同，无论什么型号的超匹配对管实际性能都不算理想，仅限于 V_{cc} 小于 $25V$ ， $I_{Input(max)}$ 小于 $5mA$ 低要求的场合。

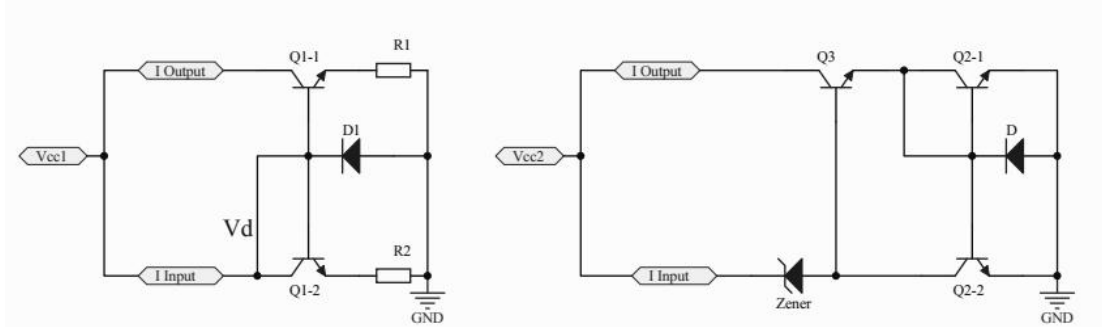


图 9

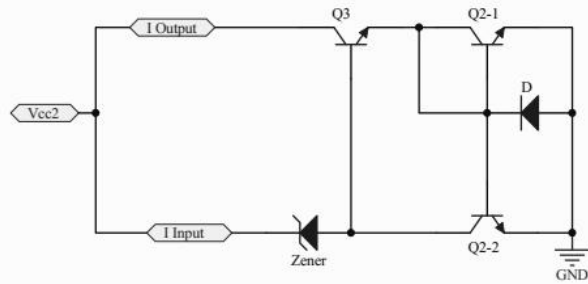


图 10

超匹配对管耐压都比较低，面对供电电压 V_{cc2} 大于 $40V$ 的应用场景，可以采用图 10 的电路配合 ZMT094C 延展应用。齐纳器件可以根据电路实际情况决定是否采用，除了考虑功耗以外，参数选择条件是： $I_{zener} \geq I_{input(max)}$ ； $V_{cc2} - 5V \geq V_{zener} \geq V_{cc2} - 25V$ ； $Q3$ 的选用必需保证在 I_{Input} 最大工作电流值的动态条件下， $Q3$ 的 BV_{ceo} 大于 V_{cc2} ，推荐 $Q3$ 的 $BV_{ceo} \geq V_{cc2}/0.5$ 。这样即便 V_{cc2} 超过 $300V$ ，电路也可以有良好的可靠性（原理上说不需要 D [用 $Q3$ 同型号短接 $c-b$ 结和 e 结构成]，设置 D 是考虑到应急维修时 D 可作 $Q3$ 的备件）。

以图 11 电路作为 ZMT094Cx 的应用实例进行测试验证：

图中的 $Q3$ 和 D 都使用 $P_{cm} = 700mW$ ，实测工作耐压 $150V$ 的 NPN 通用三极管。图 12 是该晶体管的实测特性，谈不上良好。图 13 和图 14 是该应用实例的实测曲线。对于 Tek576 发出的脉冲测量信号，ZMT094Cx 可以在 $12mA$ 以内具有完美的性能。对于更高的应用电压，只需要更换与应用电路性能要求匹配的 $Q3$ 和 D 即可达到图 13 和图 14 性能。

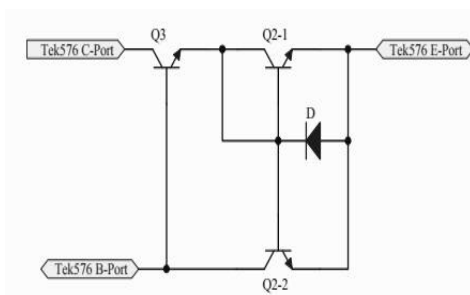


图 11

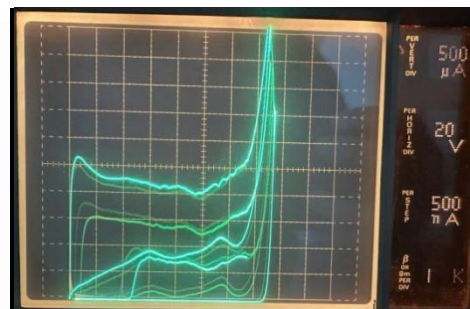


图 12

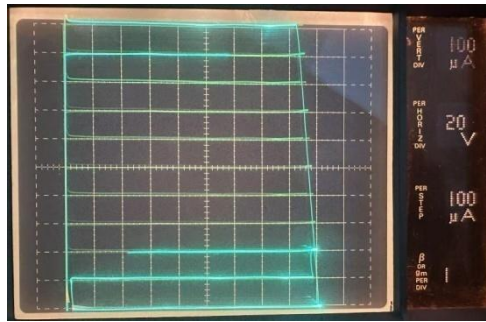


图 13

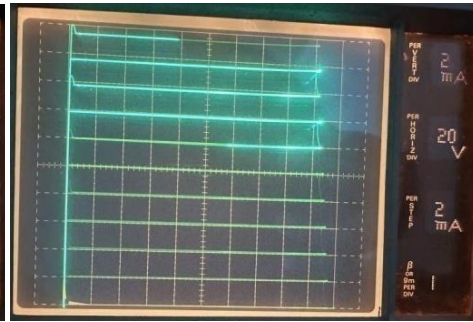


图 14

0.1Hz 低通的 1/f 噪声:

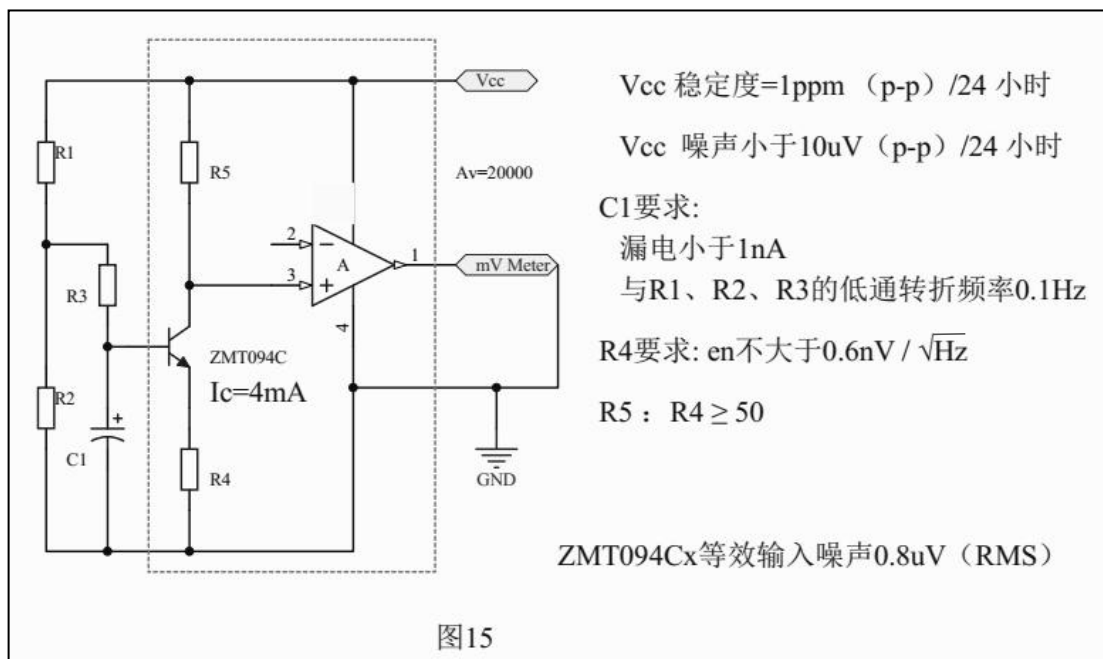


图15

应用小技巧

ZMT094Cx 衬底的第 4 脚通过一个适当阻值 (建议不小于 $1M\Omega$) 的安全保护电阻连接到与发射极 e 电位接近的低电位, 以配合整机的 Guard 方案, 可以明显提高电路的噪声性能/稳定性/抗干扰能力。如果设备要求特别高, 这个安全保护电阻两端可以考虑并联一个高可靠性、低漏电的小容量电容, 可以把杂散电场的影响降到最低。如果对 Guard 技巧应用不是很有把握, 则可以在 PCB 上让第四脚空置。图 13、图 14 特性是在 ZMT094Cx 未连接衬底到地电位所取得的保守性能。

关于静电防护

虽然低能量的静电放电不一定会损坏 ZMT094Cx, 但若要保证在 I_c 低于 $10\mu A$ 以下的 H_{fe} 长期稳定, 需要严格遵守半导体的行业静电防护规范。



关于万用表简单复测

装机之前厂家可能要求用万用表对 ZMT094Cx 进行简单复测。如果使用台式万用表，需要确保：在二极管导通电压档，其表笔间的开路电压不要超过 6V，以排除 b-e 结被意外击穿而造成性能退化的可能。这是因为一些台式万用表二极管导通电压档以及电阻档的表笔间开路电压会超过 10V。

建议使用二极管导通电压档开路电压箝位在 5V 的手持万用表，如 Fluke 等品牌。对于电阻档使用 1.5V 供电的指针万用表，建议用的 R×100/ R×1K 量程进行判别。

关于产品改进：

南通至正电子会根据用户反馈，持续改进产品。其中的细节未必及时更新或者发布，由此保留相关的解释权。

封装及分档信息

ZMT094Cx 采用世界一流材质进行 SOP8 封装，通过严格的工艺要求，保证器件具有优良的抗振动能力和极温循环可靠性。可以提供定制化的高标准封装/筛选/老炼器件。

