

6.1 集成电路(IC)电压基准

王 成 编译

集成电路(IC)电压基准器件虽小,却是现代化电子系统中的一个关键性器件。选择适当,使用正确能使系统达到高超的性能。

集成电路电压基准是有源器件,在设计、封装和使用上都潜藏着许多技巧。使用得当能使其性能始终一致,高度准确和稳定,充分发挥其效能。集成电路电压基准现已广泛地应用在通信系统和数字化系统中。例如用于设定解码器的门限电平,数字电压表中的电压基准,锂电池充电器设定关断点等。

为了充分发挥其性能,除了选用技术指标适当又经严格挑选的型号之外,在印制电路板上的安装位置也要讲究,如装在恒温装置里和应力小的位置上。

一、电压基准发展历程

早期应仪表工业的发展和电力系统的需要,产生了湿式韦斯顿化学标准电池,它是液体式的,只能用于实验室作电压基准,用于实际系统中就很不方便了。半导体物理学经过几十年的发展,人们发现二极管 p-n 结的伏安特性可以制成实用的固体式的电压基准,但是制成的器件不精确,变化也大,达不到实用要求。经进一步研究发现 p-n 结二极管的 V_{be} 是负温度系数,而 ΔV_{be} 却是正温度系数。巧妙地把两者结合在一起,使正负温度系数相抵消制成了非常稳定的电压基准器件,即集成电路电压基准(IC 基准),这真是一种杰出的设计。IC 基准供电和输出电路见图 6.1-1。

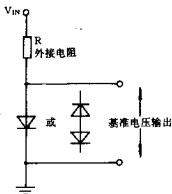


图 6.1-1 IC 基准电路

IC 基准最常用在数字化系统中,如在数字电压表里作参考电压,早期做到 8 位。不久便能做到 10 位甚至做到 12 位。同时用在模/数变换和数/模变换器里做为基准。到现在能做成具有内置基准的 10 位和 12 位变换器,不再外接基准了。但是在需要 14 位和 16 位的分辨率和宽

线性度时,外接 IC 基准仍是不可少的。

二、IC 基准的结构

IC 基准有 4 种结构,埋入式齐纳管,带隙式以及每一种之中的并联和串联结构。就器件本身而言,又有二端接线和三端接线之别。

埋入式齐纳管 IC 基准的噪声比带隙式的低,长期稳定性好,温漂也小,但是电压基准值高,约为 6 V~7 V,必须由高于此值电压供电才能工作。另外,齐纳管本身的功耗也比较大,不能用于低电压电路。

带隙式 IC 基准的电压可低至 1 V,现已有 1.235 V,1.25 V,2.048 V,2.5 V,4.096 V 和 5 V 的基准器件,可用在电池供电的系统中。

三、充分发挥 IC 基准器件的性能

为了充分发挥 IC 基准的性能,还必须掌握大量的电气和机械性能。首先要了解 IC 基准的供电电源。最好把 IC 基准的供电电源与系统中其它器件的供电电源分开,这可能不切实际,起码也要用单独一条干线专为 IC 基准供电。因为 IC 基准电源的抑制比很小,若遇电源电压变化较大就不能保证 IC 基准的性能,必要时专为它设置一套稳压器供电。

在挑选 IC 基准器件时,不仅要看它的线路调整指标也要看它的负载调整指标。例如许多模/数转换器,在其转换期间 IC 基准的输入端上会出现瞬间的低频干扰,应当加一级低漂移的运算放大器缓冲 IC 基准的输出,或者在其输出端上接一个滤波电容提供一定的储备电量。不过有些 IC 基准器件因为接上电容性负载反而不稳,使系统性能变坏。

虽然生产厂家都规定了负载和线路的调整值,但是在极端情况下的调整值却没有规定,因此还应查看在最低工作电压下的负载调整值。

大多数 IC 基准只能提供 100 mA 的电流,如果必须用它为其它电路提供工作电流,就要用大电流的运算放大器作缓冲级,可是运放的漂移又很大,使基准性能变差。

在需要提供大电流时,采用可以微调的低压降的稳压器。从概念上看,稳压器也像 IC 基准一样能提供稳定的电压而且能提供大于 10 mA 的电流,但是稳定度差,准确度在 0.5%~1% 以下。IC 基准提供的电流虽小,但稳定度和准确度很高。

当 IC 基准驱动有较长线路的负载时,即使电流只有几 mA,线路电阻只有几 mΩ,线路上的电压降也有几 μV,也会降低 IC 基准的准确度和稳定度,使其性能变差,尤其在负载变化较大时情况就更坏,需用 Kelvin 四端缓冲器加以补偿,选负载中的一个点来控制输出值。有些型号的 IC 基准器件有内置的缓冲级,不必采用外接缓冲器了。

由于热和应力都会影响 IC 基准的性能,所以需要特别 IC 基准器件的安装环境。环境温度很稳定时,基准的性能也最好,所以常把 IC 基准器件安装在恒温装置中。有的 IC 基准器件内置加热器以保持其处在恒温环境中,提高其性能。可是这种器件的功耗较大,产品型号不多,不宜用在低功耗系统中。

有的 IC 基准规定了滞后参数,即温度变化了一个循环后,基准值并不回到原来的值。所以在有温度循环的项目中,滞后也是一项关键参数。精密仪器的通电、断电也是一种温度循环形

式,故也有滞后。作为计量标准的仪器最好常年不断电,一般的电子仪器也需通电预热后才能达到它应有的性能指标。

IC 基准器件通常要安装在印制电路板上,电路板的挠曲度对 IC 基准的性能有很大影响,也就是应力对 IC 基准的影响。据资料,面积为 $(18 \times 22) \text{cm}^2$ 的板,挠曲度为 0.18mm/cm ,对其上表面安装的 IC 基准进行测试发现,基准输出的漂移为 60×10^{-6} ,无挠曲度电路板上安装的同样 IC 基准输出的漂移只有 4×10^{-6} 。所以应注意 IC 基准的安装质量,如选用厚的印制电路板,IC 基准安装在弹性支座上。还要注意 IC 基准器件的封装定位和定向,要与印制电路板的安装定位和限定条件相适应。另外,还要对已装好的印制电路板进行老化,给 IC 基准加电使其加速老化。此后要在 100°C 环境下不加电静置 168h 以消除其应力。

四、根据实际应用作出选择

挑选 IC 基准器件时应考虑的主要技术指标,初始绝对精度,温度系数,长期稳定性和漂移量以及噪声。还应考虑工作电压的大小和功耗以及封装形式。由于生产厂家的技术水平和工艺水平有差别,IC 基准器件的技术指标也有区别。在选用时一定要确认厂家提供的全部技术指标。如有必要可请厂家对某项感兴趣的指标进行专门测试,因 IC 基准器件易受温度变化的影响,用户自己不具备条件,很难测定其结果。

五、主要生产厂家及其代表性产品

• Linear Technology 公司,LT1634 系列 IC 基准,标称输出电压有 1.25V , 2.5V , 4.096V 和 5V 。它是并联器件,静态电流 10mA ,初始准确度 0.05% ,最大漂移量低于 $25 \times 10^{-6}/^\circ\text{C}$ 。LT1460 串联式 IC 基准系列,SOT-23 封装,初始准确度 0.2% ,温度系数 $20 \times 10^{-6}/^\circ\text{C}$,输入与输出电压之差小于 0.9V ,在大于 20V 时也能正常工作。安装它的印制板焊接移动系数为 0.02% 。

• Maxim 公司,MAX6325 是埋入式齐纳管串联式 IC 基准器件。低噪声是其特点,在 $0.1 \sim 10 \text{Hz}$ 内的噪声只有 $1.5/2.4 \mu\text{V}_{\text{pp}}$ (标称值/最大值),适用于 16 位数字系统。其准确度为 0.02% ,温度系数 $1 \times 10^{-6}/^\circ\text{C}$,备有任选噪声引出脚,可连接 $2.2 \mu\text{F}$ 降噪电容,可使噪声降低 $1/2$ 。长期稳定度 $20 \times 10^{-6}/\text{kh}$ 。在 25°C 环境下滞后漂移 20×10^{-6} ,MAX61XX 系列 IC 基准有 $80 \mu\text{A}$ 电流即可正常工作,初始准确度 $\pm 1\%$,最大漂移 $50 \times 10^{-6}/^\circ\text{C}$ (标称漂移 $25 \times 10^{-6}/^\circ\text{C}$)。MAX873C 基准以超高准确度和超低功耗重新定义了未来的精密型 2.5V 的 IC 基准。它的稳定度 $7 \times 10^{-6}/^\circ\text{C}$ (A 级) 和 $20 \times 10^{-6}/^\circ\text{C}$ (B 级)。最大静态电流 $280 \mu\text{A}$ 。这些指标优于已有的最好的 REF43 基准,相比之下节省 40% 静态电流 (REF43 的静态电流为 $450 \mu\text{A}$)。MAX873A 的初始准确度 $\pm 1.5 \text{mV}$,MAX873B 为 $\pm 2.5 \text{mV}$ 。MAX873 型 2.5V IC 基准的温度特性如图 6.1-2 所示。

MAX875 和 876 是 5V 和 10V 基准中唯一能提供 0.06% 初始准确度及 $7 \times 10^{-6}/^\circ\text{C}$ 漂移的基准器件,功耗电流低于 $280 \mu\text{A}$ 。其输出的最大线性调整 $4 \times 10^{-6}/\text{V}$,负载调整小于 $15 \times 10^{-6}/\text{mA}$,吸入电流 2mA ,输出电流 10mA 。具有温度补偿引出脚 (TEMP),有输出电压微调引出脚,可调范围 $\pm 95 \text{mV}$ 。与工业级基准 REF01,REF02 相比,功耗降低 80% ,而准确度提

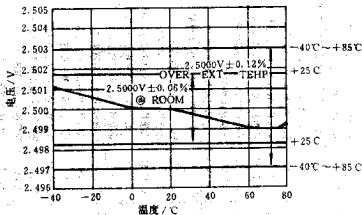


图 6.1-2 MAX873 型 2.5 V IC 基准的温度特性

高 80%。

• Analog Devices 公司: AD158X 系列串联式带隙 IC 基准器件, 静态电流最大为 65 mA, 工作电压从 200 mV ~ 12 V, 起始误差最差者也小于 $\pm 0.1\%$, 输出电流 5 mA。ADR29X 系列的功耗更小一些。该系列采用新型内部结构, 有助于齐纳管式和带隙式两者的设计。0.1 ~ 10 Hz 内的噪声为 $6 \mu\text{V}_{\text{pp}}$, 输出电流 12 μA , 初始准确度 $\pm 2 \text{ mV}$, 最大温度系数 $8 \times 10^{-6}/\text{C}$ (标称值 $5 \times 10^{-6}/\text{C}$)。

• National Semiconductor 公司: LM4041 型 IC 基准电压 1.2 V, 在有容性负载的情况下仍能保持稳定, 输出电流 60 μA ~ 12 mA, 输出电压误差 $\pm 0.1\%$, 噪声小于 20 μV_{rms} , 最大漂移 $100 \times 10^{-6}/\text{C}$ 。

• Burr-Brown 公司: REF102 型 IC 基准, 输出电压 10 V $\pm 0.0025 \text{ V}$, 漂移小于 $2.5 \times 10^{-6}/\text{C}$, 长期稳定度优于 $5 \times 10^{-6}/\text{kh}$, 噪声 5 μV_{pp} , 输入电压 11.4 ~ 36 V, 静态电流 1.4 mA。

六、结束语

有些应用不但要求 IC 基准稳定, 而且要求输出电压可调。因此有些厂家增加了调节引脚, 用于连接电位器以便调节, 但是稳定度变坏。因此在设计上尽量不用微调 IC 基准, 必要时多选一些型号, 取折衷办法加以解决。

有些应用项目要求使用电流作基准, 需用带有附加器件的电压基准来代替, 或者直选用 IC 电流基准器件。

总之, IC 基准虽小, 对整个系统的性能影响很大, 在设计上应选用既经济又合用的 IC 基准器件。有关 Maxim 公司的产品及性能见下表。

电压基准

器件	电压 (V)	温度漂移 (ppm/°C 最大)	初始精度 $T_A + 25^\circ\text{C}$ (%精度, 最大)	静态电流 (mA, 最大)	噪声 (μV_{RMS} , 最大(典型))	封装	温度范围 *	特性
MAX6160	可调	100(15 典型)	1	100 μA	(15)	SOT143, SO	E	低成本, 低误差, 三端可调基准
MAX6120	1.2	100(30 典型)	1	70 μA	(10)	SOT23, SO	E	低成本, 低功耗, 三端基准
MAX6520	1.2	50(25 典型)	1	70 μA	(10)	SOT23, SO	E	低成本, 低功耗, 三端基准
ICL8069	1.2	10 至 100	2	0.05	5(10Hz 至 10kHz)	TO-52, TO-92, SO	C, E, M	低功耗, 三端基准
MAX872	2.5	40	0.2	10 μA	(60)	DIP, SO	C, E	最低功耗, 最低误差, 精密基准, $V_{\text{CC}} = V_{\text{OUT}} + 200\text{mV}$
MAX873	2.5	7 至 20	0.06 至 0.1	0.28	(16)	DIP, SO	C, E	低功耗/漂移, REF43 升级
MAX6125	2.5	50(15 典型)	1	100 μA	(15)	SOT23, SO	E	低成本, 低误差, 三端, 基准
MAX6225	2.5	2 至 5	0.04 至 0.1	2.7	(1.5)	DIP, SO, CERDIP	C, E, M	低漂移, 噪声小于 1.5 μV_{RMS}
MAX6825	2.5	1 至 2.5	0.04	2.7	(1.5)	DIP, SO, CERDIP	C, E, M	超低漂移, 1.5 μV_{RMS} 输出噪声
MX580	2.5	10 至 85	0.4 至 3	1.5	(60)	TO-52, SO	C, M	低漂移性能基准
MX584	2.5	5 至 30	0.05 至 0.3	1	(50)	TO-99, DIP, SO, CERDIP	C, M	低漂移可控基准
MAX874	4.096	40	0.2	10 μA	(60)	DIP, SO	C, E	最低功耗, 最低误差, 精密基准, $V_{\text{CC}} = V_{\text{OUT}} + 200\text{mV}$
MAX6141	4.096	50(15 典型)	1	105 μA	(25)	SOT23, SO	E	低成本, 低误差, 三端基准
MAX6241	4.096	2 至 5	0.02 至 0.1	2.9	(2.4)	DIP, SO, CERDIP	C, E, M	低漂移, 输出噪声小于 2.4 μV_{RMS}
MAX6341	4.096	1 至 2.5	0.02	2.9	(1.5)	DIP, SO, CERDIP	C, E, M	超低漂移, 输出噪声 2.4 μV_{RMS}
MAX6145	4.5	50	1	105 μA	(30)	SOT23, SO	E	低成本, 低误差, 三端基准
MAX675	5.0	12 至 20	0.15	1.4	15	TO-99, DIP, SO, CERDIP	C, E, M	低漂移, 低噪声三端基准
MAX875	5.0	7 至 20	0.06 至 0.1	0.28	(32)	DIP, SO	C, E	低功耗/漂移, REF02 升级
MAX6150	5.0	50(15 典型)	1	110 μA	(35)	SOT23, SO	E	低成本, 低误差, 三端基准
MAX6250	5.0	2 至 5	0.02 至 0.1	3	(3)	DIP, SO, CERDIP	C, E, M	低漂移, 输出噪声小于 3.0 μV_{RMS}
MAX6350	5.0	1 至 2.5	0.02	3	(1.5)	DIP, SO, CERDIP	C, E, M	超低漂移, 输出噪声 3.0 μV_{RMS}
MAX584	5.0	5 至 30	0.05 至 0.3	1	(50)	TO-99, DIP, SO, CERDIP	C, M	低漂移可控基准
REF02	5.0	6.5 至 250	0.3 至 2	1.4	15	TO-99, DIP, SO, CERDIP	C, M	低漂移性能基准
MX584	7.5	5 至 30	0.05 至 0.3	1	(50)	TO-99, DIP, SO, CERDIP	C, M	低漂移可控基准
MAX674	10.0	12 至 20	0.15	1.4	30	TO-99, DIP, SO, CERDIP	C, E, M	低漂移, 低噪声性能基准
MAX876	10.0	7 至 20	0.06 至 0.1	0.28	(64)	DIP, SO	C, E	低功耗/漂移, REF01 升级
MX581	10.0	5 至 30	0.05 至 0.3	1	(50)	TO-99, SO	C, M	低漂移性能基准
MX584	10.0	5 至 30	0.05 至 0.3	1	(50)	TO-99, DIP, SO, CERDIP	C, M	低漂移可控基准
REF01	10.6	8.5 至 65	0.3 至 1	1.4	30	TO-99, DIP, SO, CERDIP	C, M	低漂移性能基准