

3.5W带数字音量控制/防削顶低EMI单声道D类音频功率放大器

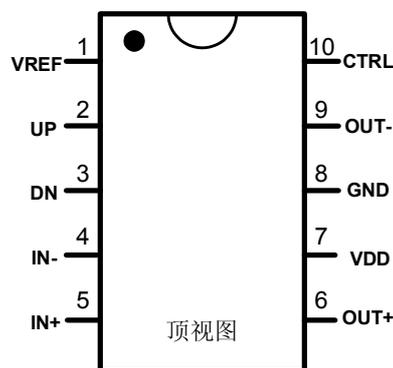
■ 特点

- 专利技术降低内阻和热耗，极大提升功率
 $P_o=3.5\text{ W}$ ($V_{DD}=5.0\text{V}$, $R_L=4\Omega$, $\text{THD+N}=10\%$)
 $P_o=5.4\text{ W}$ ($V_{DD}=5.0\text{V}$, $R_L=2\Omega$, $\text{THD+N}=10\%$)
- 优异的全带宽增强EMI抑制性能
 - a) 辐射水平远在FCC Part15 Class B 标准之下;
 - b) 对系统中FM收音、模拟电视、CMMB、CDMA和GSM等不同频段敏感模块无干扰;
 - c) 降低了系统设计难度
- 防削顶失真功能(Anti-Clipping Function, ACF)
- 全低噪应用，高信噪比 (SNR)
- 免滤波器数字调制，直接驱动扬声器
- 卓越的“咔嗒-噼啪”(Click-Pop)噪声抑制性能
- 低关断电流: $0.01\mu\text{A}$
- 过流保护功能
- 过热保护功能
- 欠压异常保护功能
- 无铅封装, MSOP10, MSOP10-PP, DFN10

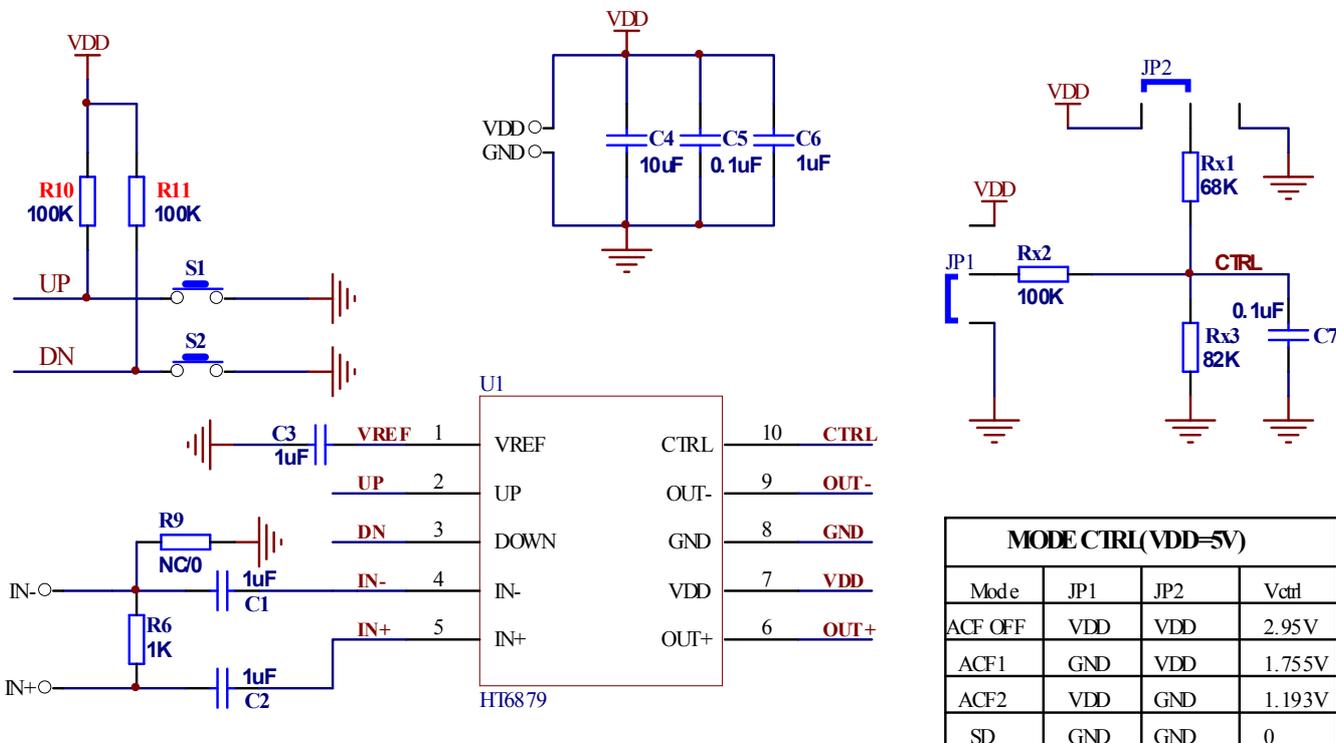
■ 应用

- 便携式音箱
- iPhone/iPod/MP3 docking
- PMP/MP4/MP5播放器
- 便携式游戏机
- 掌上电脑PDAs
- USB音箱
- 数码相框
- 导航仪GPS
- 手机

■ 引脚信息



■ 典型应用图



■ 引脚定义^{*1}

MSOP/DFN 引脚号	引脚 名称	I/O	ESD 保护电路	功能
1	VREF	A	PN	模拟参考电压
2	UP	A	PN	音量增加
3	DN	A	PN	音量减小
4	IN-	A	PN	同相输入端 (差分-)
5	IN+	A	PN	同相输入端 (差分+)
6	OUT+	O	-	同相输出端 (BTL+)
7	VDD	Power	-	电源
8	GND	GND	-	地
9	OUT-	O	-	反相输出端 (BTL-)
10	CTRL	I	PN	ACF模式和关断模式控制端

注1 I: 输入端 O: 输出端 A: 模拟端

当大于VDD的电压外加于PN保护型端口 (ESD保护电路由PMOS和NMOS组成) 时, PMOS电路将有漏电流流过。

■ 电气特性

● 极限工作条件^{*2}

参数	符号	最小值	最大值	单位
电源电压范围	V _{DD}	-0.3	5.8	V
输入信号电压范围 (IN+, IN-)	V _{IN}	V _{SS} -0.6	3	V
输入信号电压范围 (除IN+, IN-外)	V _{IN}	V _{SS} -0.3	V _{DD} +0.3	V
工作环境温度范围	T _A	-40	85	°C
工作结温范围	T _J	-40	150	°C
储存温度	T _{STG}	-50	150	°C

注2: 为保证器件可靠性和寿命, 以上绝对最大额定值不能超过。否则, 芯片可能立即造成永久性损坏或者其可靠性大大恶化。若输入端电压在可能超过VDD/GND的应用环境中使用, 推荐使用一个外部二极管来保证该电压不会超过绝对最大额定值。

● 推荐工作条件

参数	符号	条件	最小值	典型值	最大值	单位
电源电压	V _{DD}		2.5	5	5.5	V
工作环境温度	T _a	t _{SD} (Min.)=50ms	-20	25	85	°C
		t _{SD} (Min.)=80ms	-30			
扬声器阻抗	R _L		2			Ω

注: VDD的上升时间应当超过1μs。

● 直流特性 (DC)

V_{SS}=0V, V_{DD}=2.5V~5.5V, T_a=-40°C~85°C, 除非特殊说明。

参数	符号	条件	最小值	典型值	最大值	单位
VDD电源的启动阈值	V _{UVLH}			2.2		V
VDD电源的关断阈值	V _{UVLL}			1.9		V
ACF-Off 模式的设置阈值电压	V _{MOD1}		2.00		V _{DD}	V
ACF-1 模式的设置阈值电压	V _{MOD2}		1.55		1.85	V
ACF-2 模式的设置阈值电压	V _{MOD3}		1.10		1.40	V
SD 关断模式的设置阈值电压	V _{MOD4}		V _{SS}		0.30	V
静态电流	I _{DD}	V _{DD} =5V, 无负载, 无信号输入		8		mA
关断电流	I _{SD}	CTRL=V _{SS} , T _a =25°C		0.01		μA
BYPASS端电压值	V _{BYPASS}			V _{DD} /2		V

● 模拟特性

$V_{SS}=0V$, $V_{DD}=5V$, $A_v=18dB$, $T_a=25^{\circ}C$, $C_{IN}=33nF$, $R_{IN}=12k\Omega$, ACF-Off模式, 除非特殊说明.

参数	符号	条件	最小值	典型值	最大值	单位
输出功率	P_o	$R_L=4\Omega$, $V_{DD}=5V$	$f=1kHz$, $THD+N=10\%$	3.5		W
		$R_L=2\Omega$, $V_{DD}=5V$		5.4		
		$R_L=4\Omega$, $V_{DD}=3.7V$		1.9		
		$R_L=2\Omega$, $V_{DD}=3.7V$		3.0		
总谐波失真加噪声	THD+N	$R_L=4\Omega$, $P_o=1W$, $f=1kHz$		0.12		%
		$R_L=8\Omega$, $P_o=0.5W$, $f=1kHz$		0.10		%
输出噪声	V_N	$f=20Hz\sim 20kHz$, A加权, $A_v=18dB$		45		μV_{rms}
信噪比	SNR	A加权, $A_v=18dB$		90		dB
电源抑制比	PSRR	纹波 $V_{pp}=200mV$, $f=1kHz$		-80		dB
效率	η	$V_{DD}=5V$, $R_L=8\Omega$, $P_o=1W$		89		%
输出失调电压	V_{OS}			± 5		mV
频响特性	f_{RES}	$C_{IN}=0.1\mu F$, $f=100Hz\sim 20kHz$	-3	-	1	dB
系统增益	A_{V0}	$R_{IN}=12k\Omega$		24		dB
ACF衰减增益	Aa		-10		0	dB

注: 以上模拟特性随所选元件和PCB布局而有所变化; 以上特性为输出直接外接负载电阻后通过30kHz滤波器得到的信号测得; 若经滤波器后再接负载电阻, 结果将可能受滤波器影响而与上结果不一致。

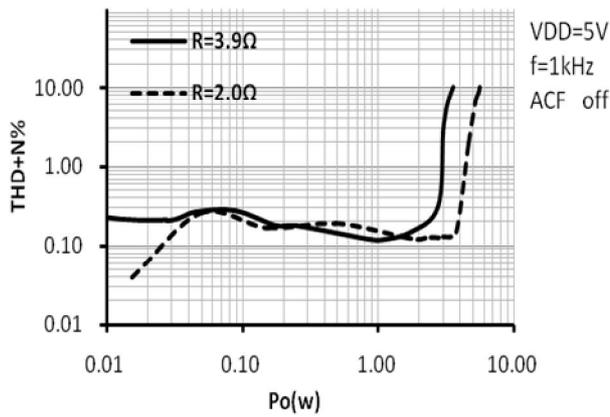
● 交流特性 (AC)

$V_{SS}=0V$, $V_{DD}=2.5$ to $5.5V$, $T_a=-30^{\circ}C\sim 85^{\circ}C$, 除非特殊说明.

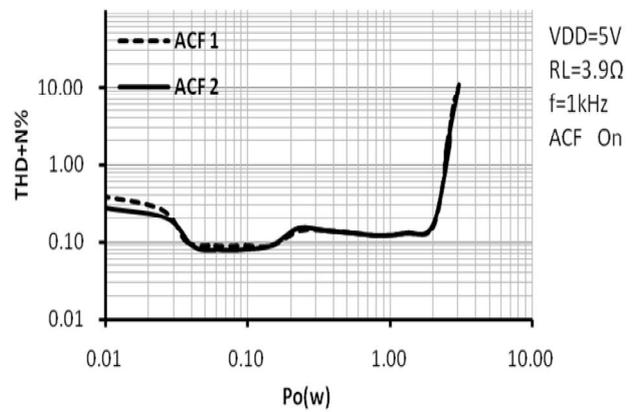
参数	符号	条件	最小值	典型值	最大值	单位
上电启动时间 (或从关断唤醒时间)	t_{STUP}			260		ms
输入截止频率	f_c	$C_{IN}=33nF$, $R_{IN}=27k\Omega$		179		Hz
ACF-1 启动时间	t_{AT1}	$V_{DD}=3.6V$, $g=10dB$		72		ms
ACF-1 释放时间	t_{RL1}	$V_{DD}=3.6V$, $g=10dB$		720		ms
ACF-2 启动时间	t_{AT2}	$V_{DD}=3.6V$, $g=10dB$		20		ms
ACF-2 释放时间	t_{RL2}	$V_{DD}=3.6V$, $g=10dB$		450		ms
唤醒模式设置时间	t_{WK}		35			ms
关断设置时间	t_{SD}	$T_a(\text{Min.})=-20^{\circ}C$	50			ms
		$T_a(\text{Min.})=-30^{\circ}C$	80			
各模式设置时间 (除关断外)	t_{MOD}		0.1			ms
载波调制频率	f_{PWM}			470		kHz

■ 典型特性曲线

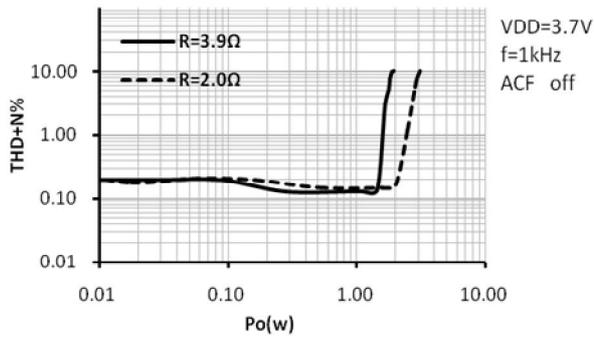
Po VS THD+N%



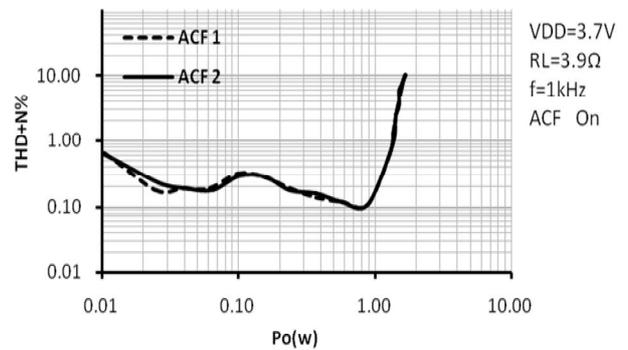
Po VS THD+N%



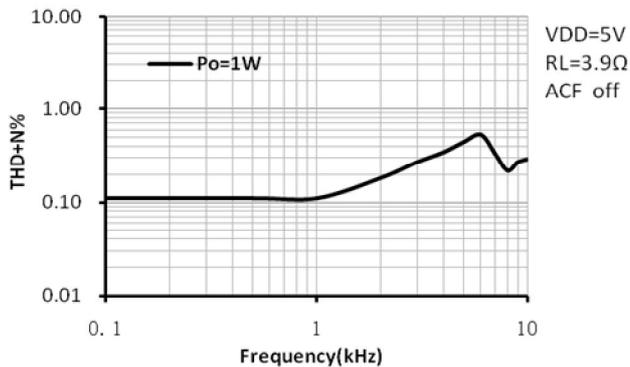
Po VS THD+N%



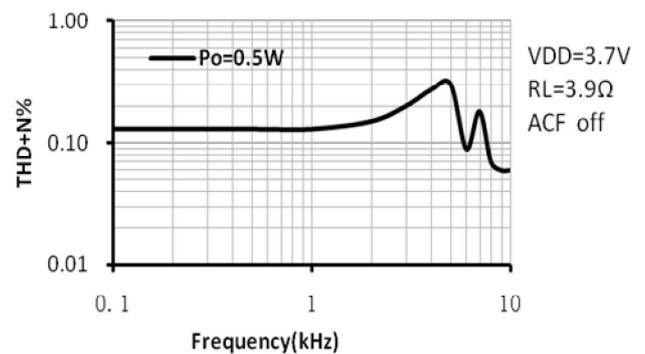
Po VS THD+N%



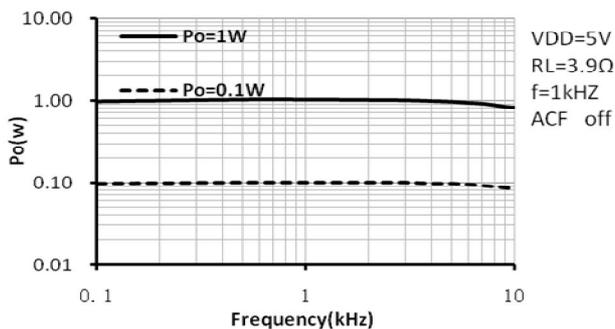
TND+N% VS Frequency



TND+N% VS Frequency



Po vs Frequency



■ 功能描述及应用信息

● 输入配置

对于差分信号输入时,通过隔直电容 C_{IN} 将左声道信号输入到INL+ 和INL-端, 见图1。

对于单端信号输入时,通过隔直电容将信号输入到INL+端。同时,INL-端必须通过一个电容 C_{REF} (与 C_{IN} 相同的值)到地,见图2。右声道输入情况同左声道类似。

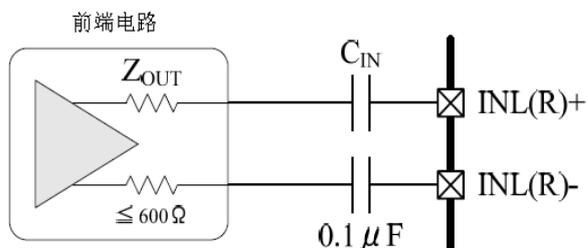


图1. 差分输入

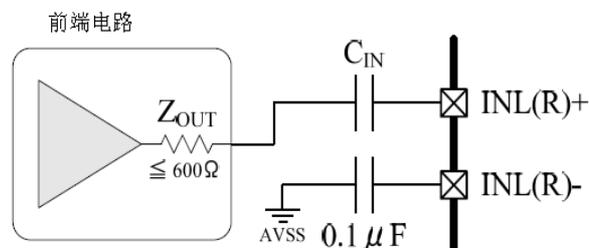


图2. 单端输入

另外,若输入端 (INL+和INL-,或者INR+和INR-) 没有接音源输入,应将没有用到的通道的两个输入端短接,并通过一个电容连接到地,见图3。该电容值与上面所述隔直电容值相同($0.1\mu F$)。

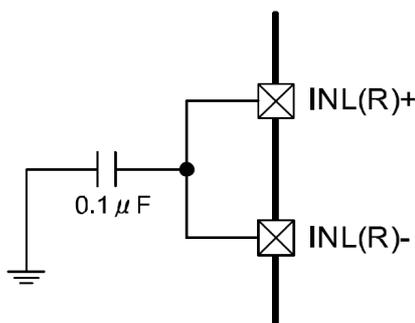


图3. 无用声道输入端的连接

输入截止频率由右边等式确定: $f_c = 1/(2 * \pi * Z_{IN} * C_{IN})$

其中 Z_{IN} 为放大器输入阻抗。

为了减小 pop 噪声, 输入信号源内阻可适当调整,同时输入隔直电容(C_{IN})设置为 $0.1\mu F$ 或更小。

● 数字音量控制

HT6879可通过外部管脚UP、DN来实现32阶数字音量控制功能。内部计数器时钟频率(f_{CLK})由下述表达式确定:

$$f_{CLK} = f_{OSC} / 2^{13}$$

其中 f_{OSC} 为内部振荡器频率,实际测试值为216KHz左右, f_{CLK} 典型值为26.4Hz (cycle=38ms)。

考虑到内部的延时以及工艺偏差影响, $T1=24\sim 32ms$ ($\pm 10\%$)。

将UP或DN管脚置低电平可实现音量上升或下降,控制时序如图4所示。其中 $T1$ 为抗抖动时间,经过 $T1$ 后音量上升或下降一阶; $T2$ 为音量维持不变的时间,经过较长时间 $T2$ 后音量继续上升或下降一阶;此后每隔较短时间 $T3$,音量即改变一阶,可实现音量的连续快速变化。

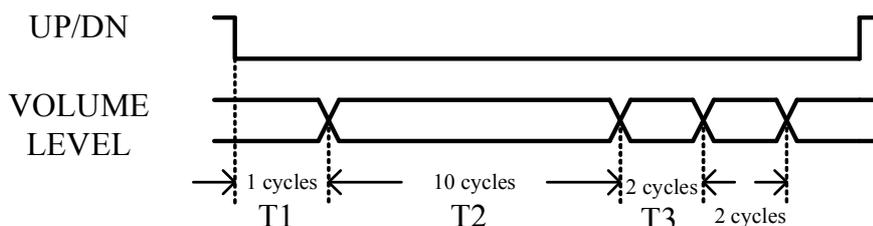


图4. 音量控制时序图

操作事项:

- UP和DN同时置低电平时,音量维持不变;
- 从静音状态恢复/关断模式恢复时,之前设置的音量不改变;
- 初始上电时,系统增益默认值为9dB;
- 32阶音量控制增益见表1。

表1. 音量控制增益

阶数	增益*3 (dB)	阶数	增益 (dB)	阶数	增益 (dB)
1	MUTE	12	-7	23	15
2	-37	13	-5	24	16
3	-34	14	-3	25	17
4	-31	15	-1	26	18
5	-28	16	1	27	19
6	-25	17	3	28	20
7	-22	18	5	29	21
8	-19	19	7	30	22
9	-16	20	9	31	23
10	-13	21	11	32	24
11	-10	22	13		

注3: 增益指的是系统整体增益

● CTRL模式设置

在 CTRL 端输入不同电压值, 能实现 4 种工作模式, 即防削顶模式 1 (ACF-1), 防削顶模式 2 (ACF-2), 防削顶功能关闭模式 (ACF-Off) 和芯片关断模式 (SD), 详见下表。

表 2 CTRL 引脚不同模式设置的输入电压

参数名	符号	最小值	理想值	最大值	单位
ACF-Off 模式的设置阈值电压	V_{MOD1}	2.00	VDD	V_{DD}	V
ACF-1 模式的设置阈值电压	V_{MOD2}	1.55	1.70	1.85	V
ACF-2 模式的设置阈值电压	V_{MOD3}	1.10	1.25	1.40	V
SD 模式的设置阈值电压	V_{MOD4}	V_{SS}	0	0.30	V

应用时, 可通过以下两种方式来设置预置模式, 需要注意的是, 由于 CTRL 端内部设置了 200kΩ(±10%) 的下拉电阻, 在设置外部电阻参数时需要将此考虑进去:

(1) 外部微控制器设置方式

通过外部微控制器的 2 个逻辑控制端 CTRL1、CTRL2 和电阻网络 R_{CTRL1} 、 R_{CTRL2} 、 R_{CTRL3} (推荐精度, 1%), 可产生上表中的设置电压输入 CTRL 端完成 4 种模式设置。另外, CTRL 端需通过一个电容 C_{CTRL} (陶瓷电容, $\geq 0.1\mu F$) 接地, 消除模式切换时的噪声。CTRL1、CTRL2 端电位和实现模式的对应关系见下表。

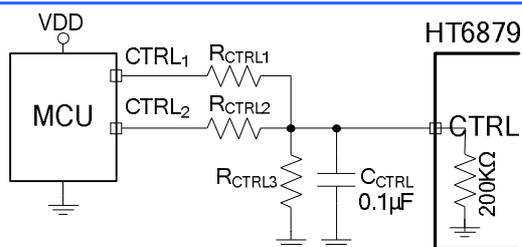


图5 微控制器双端控制CTRL

表3 工作模式设置

CTRL1电位	CTRL2电位	模式
H	H	ACF-Off
GND	H	ACF-1
H	GND	ACF-2
GND	GND	SD

H 表示微控制器的输入/输出为高电平，GND 表示微控制器输出地电位。微控制器 GND 电位必须和 HT6879 的 GND 电位一致。根据微控制器输入/输出端口的不同 H 电位值，电阻网络可取如下阻值：

表4 微控制器 H 电位值与电阻网络取值

微控制器 I/O 端口 H 电位值	5.0V
R_{CTRL1}	100k Ω
R_{CTRL2}	68k Ω
R_{CTRL3}	82k Ω

若应用中不需要 ACF-1 和 ACF-2 模式，可通过单个引脚（CTRL1）来控制实现 ACF-Off 和 SD 模式，见下图。根据 V_{MOD1} 和 V_{MOD4} 阈值来设置 CTRL 端电压，为消除噪声建议采用时间常数不小于 1ms 的 RC 滤波器（例如 $R_{CTRL}=470k\Omega$ ， $C_{CTRL}=0.1\mu F$ ），当然也需要考虑内置电阻 200k Ω 的分压。

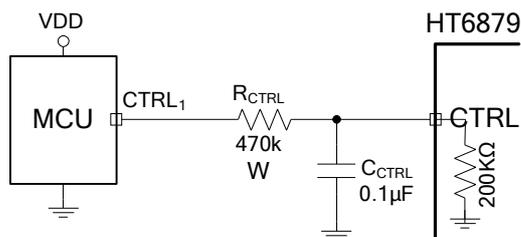


图6 微控制器单端控制CTRL

表5 工作模式设置

CTRL1电位	模式
H	ACF-Off
GND	SD

(2) 外部开关按钮变换模式

精简应用电路（ACF-Off）

图7 是 ACF-Off 和 SD 固定模式应用图，开关 S1 闭合时处于 ACF-Off 模式，打开后则进入 SD 关断模式。

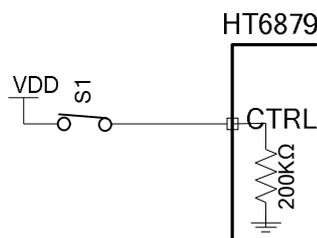


图7 ACF-Off 模式实现

表6 工作模式选择

开关S1	模式
闭合	ACF-Off
断开	SD（关断）

若不需 SD 低功耗应用，可去掉开关 S1，直接将 CTRL 脚接电源 VDD 即可。

● CTRL模式功能描述

(一) ACF ON 模式

在 ACF-1、ACF-2 模式下，当电路检测到输入信号幅度过大而产生输出削顶时，HT6879 通过自动调整系统增益，控制输出达到一种最大限度的无削顶失真功率水平，由此大大改善了音质效果。此外，当电源电压下降时，HT6879 也能自动衰减输出增益，实现与 VDD 下降值相匹配的最大限度无削顶输出水平。

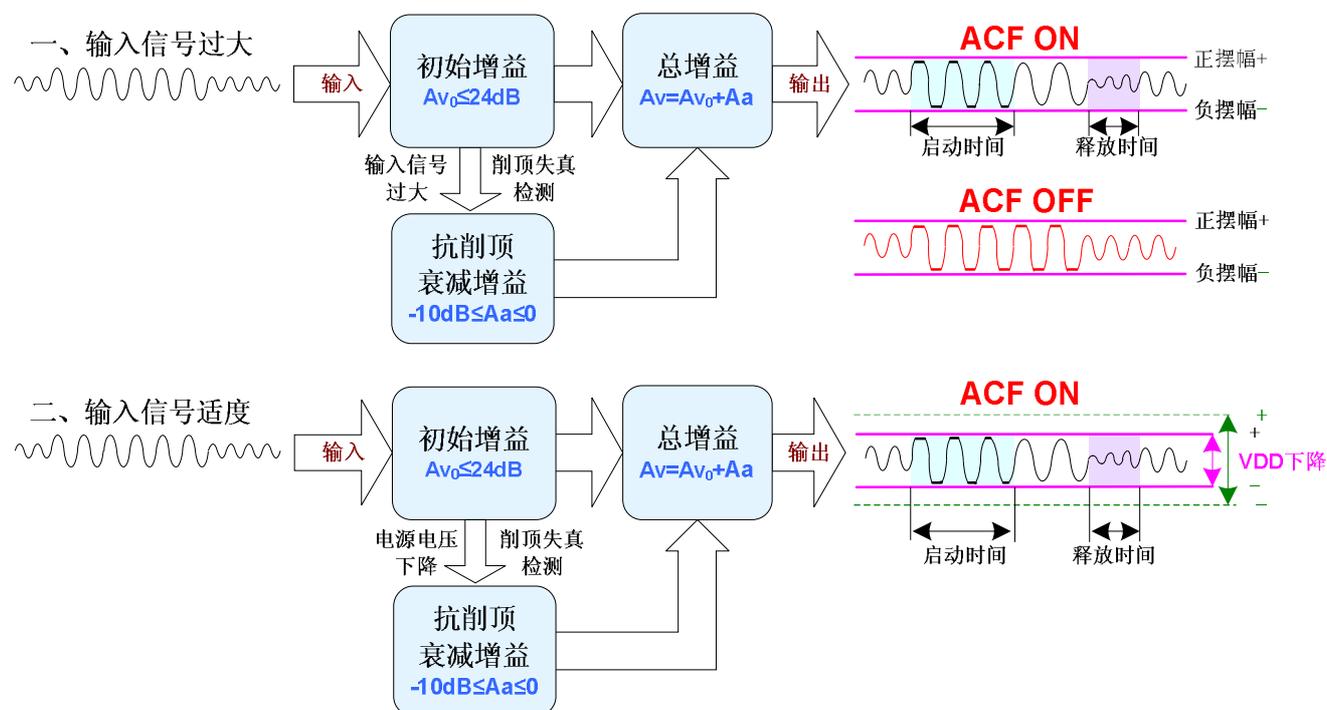


图 8 ACF 工作原理示意图

ACF ON 模式下的启动时间 (Attack time) 指在突然输入足够大信号而产生输出削顶的条件下，从 ACF 启动对放大器的增益调整，直到增益从 Av_0 衰减至距目标衰减增益 3dB 时的时间间隔；释放时间 (Release time) 指从产生削顶的输入条件消失，到增益退出衰减状态恢复到 Av_0 的时间间隔。HT6879 的最大衰减增益为 10dB。

ACF-1 和 ACF-2 模式具有不同的启动时间和释放时间（见下表）。

表 7 ACF-1 和 ACF-2 模式区别

模式	启动时间	释放时间
ACF-1 (推荐)	50ms	64ms
ACF-2	56ms	38ms

(二) ACF OFF 模式

在 ACF-Off 模式下，ACF 功能被关闭，HT6879 不对输出削顶条件作检测，也不对系统增益作自动调整操作，系统增益保持设置增益（如 $Av=Av_0=24\text{dB}$ ）恒定不变。HT6879 可能因输出存在破音失真而音质变坏。

(三) SD 模式

在关断模式（低功耗待机）下，芯片关闭所有功能并将功耗降低到最小，输出端为弱低电平状态（内部通过高阻接地）。

● CTRL 模式转换时序

当 CTRL 接地时, 进入 SD 关断模式, 此时 CTRL 端低电平应保持至少 t_{SD} 时间不变。反之 CTRL 设为高电位时, 经 T_{STUP} 后芯片正常工作, 关断被解除, 请注意以下唤醒的初始化时序:

- (1) 先启动前级电路以稳定 IN+/IN- 端直流偏置电压 (见下图-②), 再解除 HT6879 关断状态。注意前级偏置电压的变化量应低于 VDD。稳定偏置所需时间 T_{DLY} 为,

$$T_{DLY} \cong C_{IN} \times 330 \times 10^3 \times 3$$

例如, $C_{IN}=33nF$ 时, $T_{DLY} \cong 33ms$ 。

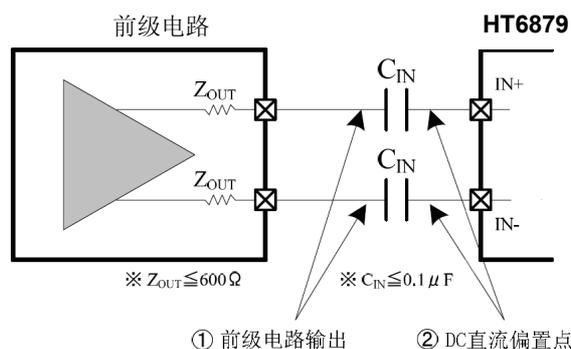


图9 前级偏置示意图

- (2) 从关断模式唤醒时, 必须先设置为模式 ACF-Off 作为过渡, 这样芯片才能正常启动工作, 否则 HT6879 将维持关断状态不变。即先在 t_{WK} 时间内设置图 5 中的 CTRL1、CTRL2 为 H 高电平, 再转换到预设模式 (如 ACF-2)。各模式的设置时间 (除 SD 外) t_{MOD} 为 0.1ms。

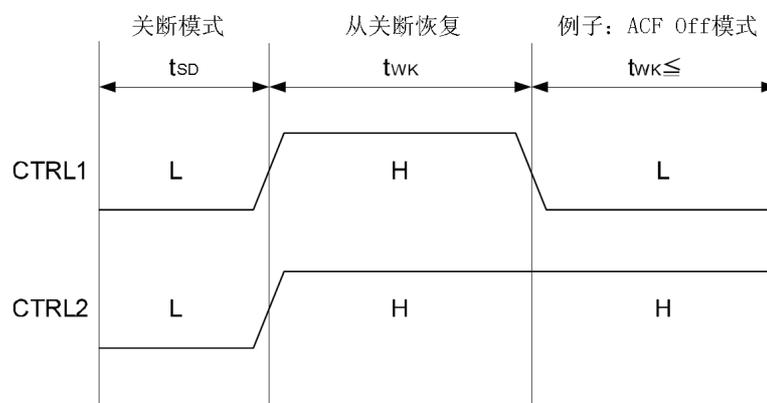


图10 唤醒初始化时序

- (3) 在电源上电时, 推荐在电源电压足够稳定之后再从关断模式唤醒, 并依照操作时序(1)(2)启动芯片。

● 咔嗒-噼噗声消除

HT6879 内置控制电路实现了全面的杂音抑制效果，有效地抑制住了系统在上电、下电、关断及其唤醒操作过程中出现的瞬态咔嗒-噼噗（Click-Pop）噪声。

为达到更优异的咔嗒-噼噗声消除效果，一般情况下，可采用 $0.1\mu\text{F}$ 或更小的隔直电容 C_{IN} 。同时 POP 噪声还可通过下列上电、下电时关断模式的时序控制措施来达到杂声微乎其微的效果：

- 电源上电时，保持关断模式，等电源足够稳定后再解除关断模式。
- 电源下电时，提前设为关断模式。

● 保护功能

HT6879 具有以下几种保护功能：输出端过流保护、片内过温保护、电源欠压异常保护。

(1) 过流保护

当检测到一输出端对电源、对地、或对另一输出端短路时，过流保护启动，输出端切换至高阻态，防止芯片烧毁损坏。短路情况消除后，通过关断、唤醒一次芯片，或重新上电均能使芯片退出保护模式。

(2) 过温保护

当检测到芯片内温度超过 150°C 时，过温保护启动，正负输出端切换至弱低电平状态（内部通过高阻接地），防止芯片被热击穿损坏。

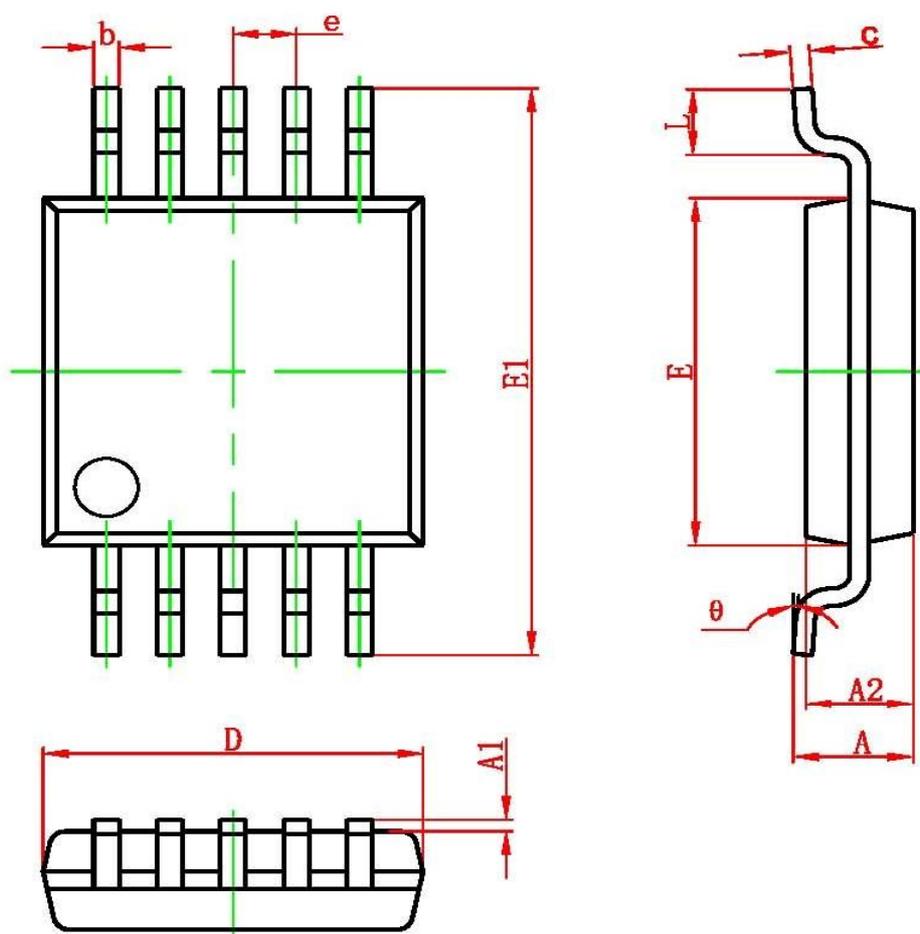
(3) 欠压保护

当检测到电源端 VDD 低于 V_{UVLL} (1.9V)，启动欠压保护，输出端为弱低电平状态（内部通过高阻接地）；当检测到 VDD 高于 V_{UVLH} (2.2V)，保护模式自动解除，经启动时间 T_{STUP} 后进入正常工作状态。

■ 封装外形

● MSOP8

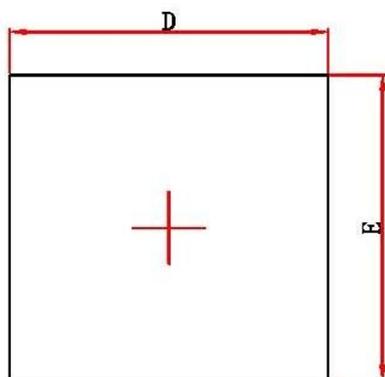
MSOP10 PACKAGE OUTLINE DIMENSIONS



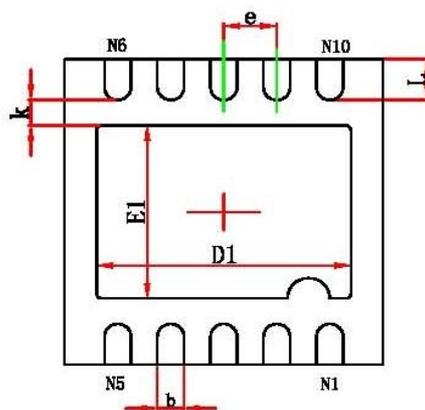
Symbol	Dimensions In Millimeters		Dimensions In Inches	
	Min	Max	Min	Max
A	0.820	1.100	0.032	0.043
A1	0.020	0.150	0.001	0.006
A2	0.750	0.950	0.030	0.037
b	0.180	0.280	0.007	0.011
c	0.090	0.230	0.004	0.009
D	2.900	3.100	0.114	0.122
e	0.50(BSC)		0.020(BSC)	
E	2.900	3.100	0.114	0.122
E1	4.750	5.050	0.187	0.199
L	0.400	0.800	0.016	0.031
θ	0°	6°	0°	6°

● DFN10

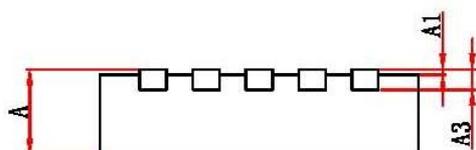
DFNWB3×3-10L (P0.50T0.75/0.85) PACKAGE OUTLINE DIMENSIONS



Top View



Bottom View



Side View

Symbol	Dimensions In Millimeters		Dimensions In Inches	
	Min.	Max.	Min.	Max.
A	0.700/0.800	0.800/0.900	0.028/0.031	0.031/0.035
A1	0.000	0.050	0.000	0.002
A3	0.203REF.		0.008REF.	
D	2.900	3.100	0.114	0.122
E	2.900	3.100	0.114	0.122
D1	2.300	2.500	0.091	0.098
E1	1.600	1.800	0.063	0.071
k	0.200MIN.		0.008MIN.	
b	0.180	0.300	0.007	0.012
e	0.500TYP.		0.020TYP.	
L	0.300	0.500	0.012	0.020