

TACHAMMER™

DRAKE

LMR 线性磁力驱动马达

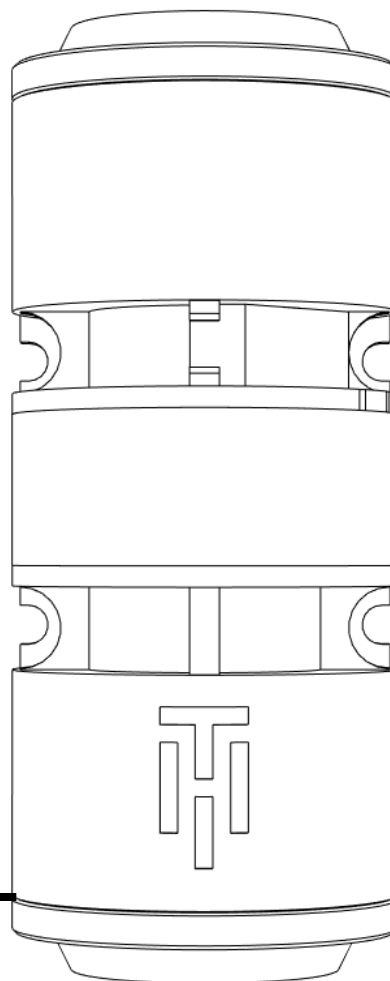
宽频, 高分辨率 (HD)

用于电子设备的音圈执行器

产品: TacHammer Drake (低频/低频/中频/高频)

产品编号: TH-D-952395 (LF/LFi/MF/HF)

修改: 2023 年 5 月 12 日



功能特点:

- 5-300Hz超宽频响应范围
- 19 G 峰值加速度
- 高位移(3mm)
- 运行效率高: <2 μ Amp-hour / click
- 工作电压: 1 - 7 Vp-p
- 与驱动电子设备广泛兼容
- 坚固的机构(一个移动部件)
- 多模式触觉生成:
 - 脉冲、振动、波形、音频、冲击

线性磁力驱动 (LMR)
触觉执行器

触觉模式:

脉冲 | 振动 | 波形 | 音频 | 冲击



目录

1 概述	3
1.1 应用	3
1.2 工作原理	3
2 规格	4
2.1 性能规格(ES1)	4
2.2 TacHammer™ 频率响应	5
2.3 推荐工作条件	7
2.4 电气特性	7
2.5 机械特性	7
2.7 产品尺寸规格	8
3 应用说明	9
3.1 驱动信号	9
3.1.1 单脉冲触觉	9
3.1.2 重复触觉(振动)	9
3.1.3 LRA 驱动信号兼容性	10
3.1.4 任意波形和音频波形	10
3.1.5 驱动信号调节	10
3.2 响应时间注意事项	11
3.3 驱动注意事项	11
3.4 测量方法	11
3.4.1 测试设备	11
3.4.2 测试固定设置	12
3.4.3 波形解释	13
4 标准测试条件	14
4.1 测试环境	14
4.2 可靠性测试和标准	14



1 LMR技术

1.1 LMR 技术特点

1. 宽频率响应
 - a. 更大频率范围内的响应
 - b. 非常适合音频到触觉等宽频应用
2. 高位移
 - a. 非常适合通过材料、外壳和衣物进行触觉传递
3. 高效节能
 - a. 电池供电的便携式电子产品
 - b. 高效的点击能量, 可实现点击和敲击触觉效果
4. 高动态范围
 - a. (低静摩擦) 将震子从静止位置移开的力较小
 - i. 使得几乎不可察觉的震感也能被检测到(检测阈值更低)
 - b. [显示最小检测阈值与电压水平的图表]
5. 线性频率跟踪
 - a. 出色的音频到触觉响应
6. 低驱动要求
 - a. 与各种驱动器 IC、PMIC 和 MOSFET 兼容
 - b. 驱动和操作简单

1.2 工作原理

运动机制

TacHammer™ 触觉执行器是一种基于磁悬浮技术的 LMR 型音圈执行器。通过在端子上施加正电流或负电流驱动内部质量块移动。

静止位置和阻尼

当没有施加电压时, 内部质量块返回到执行器外壳中的静止位置。该静止位置由磁性阵列的磁场维持。当震子返回到其静止位置时, 根据震子的先前位置和速度, 可能会感觉到小的振动。这种返回振动可以通过施加抵消波形或通过短接正负端子来阻尼。

被动阻尼

阻尼还可用于防止震子在受到剧烈震动时意外运动。通过短接正负端子, 无需连续电源即可实现无源阻尼。

注意: 使用固态放大器可能会在触觉系统中引入阻尼。

驱动信号

TacHammer 可由简单的单独电子脉冲、预置波形、连续波形(方波、正弦波或任意波形)、音频信号或混合信号驱动。放大和幅度调制可以通过改变输入电压或使用 PWM 来完成。参见部分 4.1 有关驱动信号的详细信息。



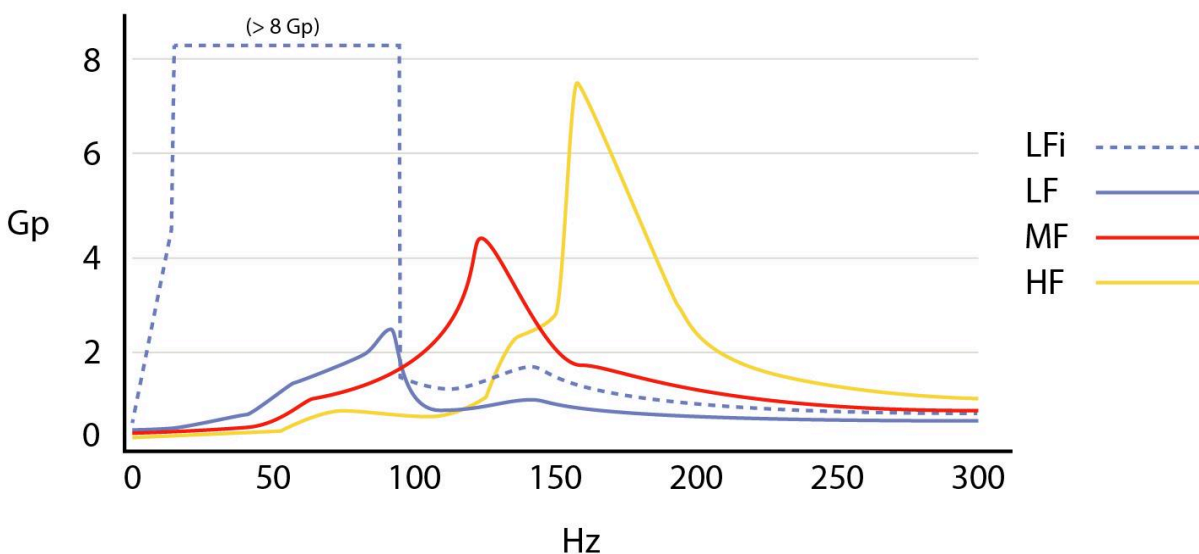
2 规格

2.1 型号概述

型号	LFi 低频 (冲击)	LF 低频	MF 中频	HF 高频	单位
峰值加速度 / 瞬态振动量	19	2.5	4.5	7.5	G
谐振频率(F0) ¹	65	95	130	160	Hz
峰值加速频率下的 RMS 加速度 ²	13.4	1.7	3.18	4.45	Grms
峰值加速频率下的 RMS 电流 ²	174	170	222	145	mA
峰值加速频率下的 RMS 功率 ^{2,3}	242	231	394	168	mW
加速效率 ²	108	26	11.4	56	G/W
点击能量 ⁴	.95	.3	.61	.87	μAh
延迟 ⁵	~10	~10	~10	~10	ms
启动时间 ⁵	>5	>5	>5	>5	ms
刹车时间 ⁵	>5	>5	>5	>5	ms
峰值加速频率下的噪声 ⁶	<65	<45	<45	<45	dbA
使用寿命 ⁷	120M+	120M+	120M+	120M+	cycles

2.1.1 型号概述 - 频率响应

TacHammer Drake Frequency Response



2.2 Drake-LF 性能规格

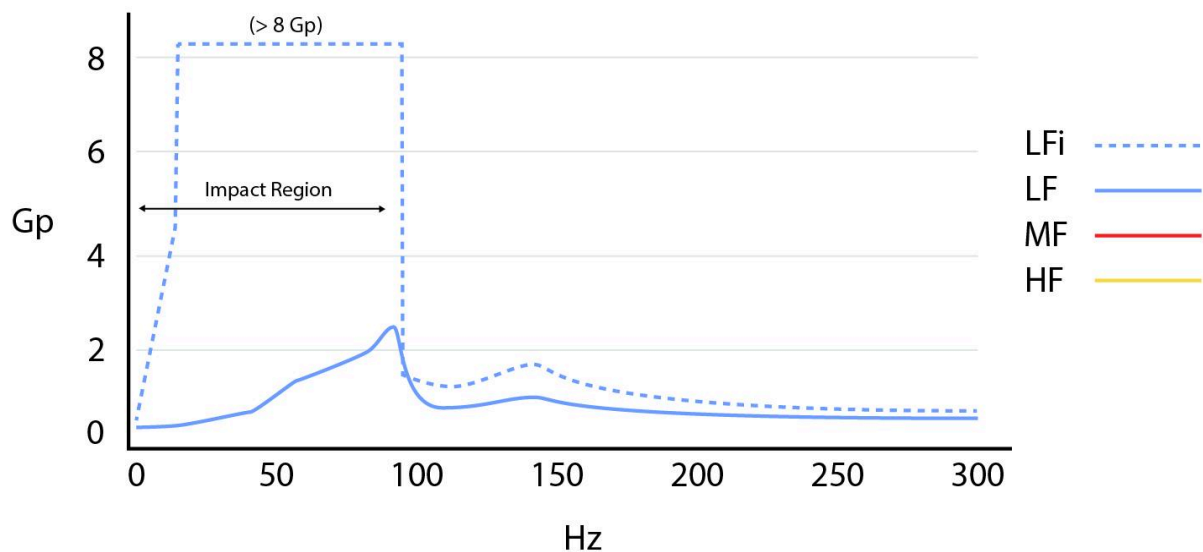
一般运行表现

当连接到 100g 质量时

范围	低频冲击 (LFI)	低频振动	单位
峰值加速度 / 瞬态振动量	19	2.5	G
谐振频率(F0) ¹	65	95	Hz
峰值加速频率下的 RMS 加速度 ²	13.4	1.7	Grms
峰值加速频率下的 RMS 电流 ²	174	170	mA
峰值加速频率下的 RMS 功率 ^{2,3}	242	231	mW
加速效率 ²	108	26	G/W
点击能量 ⁴	.95	.3	μAh
延迟 ⁵	~10	~10	ms
启动时间 ⁵	>5	>5	ms
刹车时间 ⁵	>5	>5	ms
峰值加速频率下的噪声 ⁶	<65	<45	dbA
使用寿命 ⁷	120M+	120M+	cycles

2.2.2 Drake LF 和 LFi 频率响应

TacHammer Drake Frequency Response



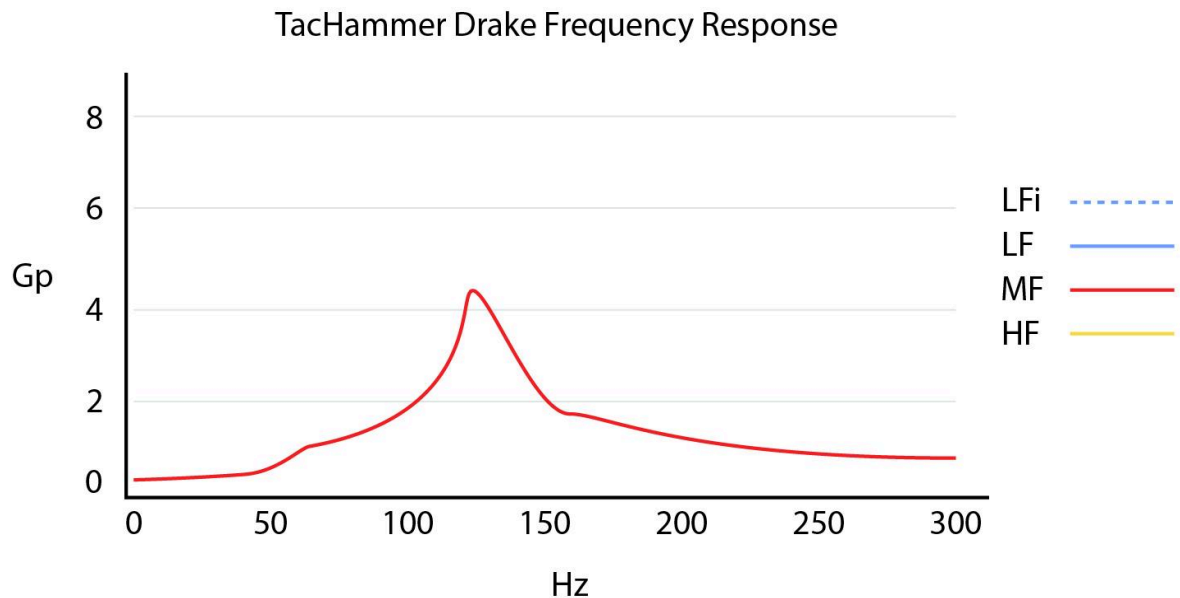
2.3 MF 型号性能规格

一般运行表现

当连接到 100g 质量时

范围	Drake-MF	单位
峰值加速度 / 瞬态振动量	4.5	G
峰值加速频率(共振) ¹	130	Hz
峰值加速频率下的 RMS 加速度 ²	3.18	Grms
峰值加速频率下的 RMS 电流 ²	222	mA
峰值加速频率下的 RMS 功率 ^{2,3}	394	mW
加速效率 ²	11.4	G/W
点击能量 ⁴	.61	μAh
延迟 ⁵	~10	ms
启动时间 ⁵	>5	ms
刹车时间 ⁵	>5	ms
峰值加速频率下的噪声 ⁶	<45	dbA
使用寿命 ⁷	120M+	cycles

2.3.2 Drake-MF 频率响应



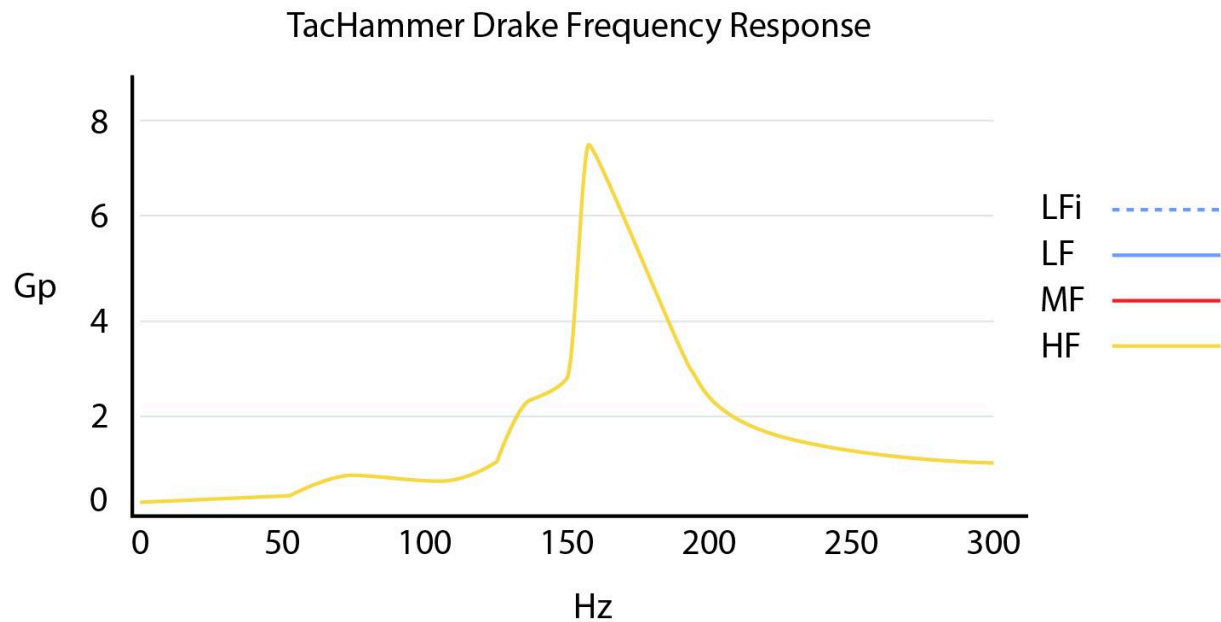
2.4 HF 型号性能规格

一般运行表现

当连接到 100g 质量时

范围	Drake-HF	单位
峰值加速度 / 瞬态振动量	7.5	G
谐振频率(F0) ¹	160	Hz
峰值加速频率下的 RMS 加速度 ²	4.45	Grms
峰值加速频率下的 RMS 电流 ²	145	mA
峰值加速频率下的 RMS 功率 ^{2,3}	168	mW
加速效率 ²	56	G/W
点击能量 ⁴	.87	μAh
延迟 ⁵	~10	ms
启动时间 ⁵	>5	ms
刹车时间 ⁵	>5	ms
峰值加速频率下的噪声 ⁶	<45	dbA
使用寿命 ⁷	120M+	cycles

2.4.2 Drake-HF 频率响应



2.5 驱动条件和测量说明

1. 谐振频率定义为在 3.3V 时产生最高峰值加速度的频率
2. 在 +/- 3.3V、100g 夹具、峰值加速频率下测量。质量朝向加速度计方向运动。
3. 功率计算 $P = I_{rms}^2 * Resistance$
4. 点击能量定义为执行点击的能量。

$$ClickEnergy = \frac{Instantaneous * PulseWidth}{3600}$$

计算如下：

5. 参见部分 4.2 响应时间注意事项 了解更多详情
冲击测量条件：3.3V、100g 质量、1Hz、7.8ms 脉冲宽度
传统测量条件：3.3V、100g 质量、1Hz、7.8ms 脉冲宽度
6. 从10cm开始测量
7. 1 个周期定义为震子从静止到静止的一次完整运动。在 3.3Vp 下测试, 50Hz@40% 占空比



2.6 推荐操作条件

范围	最小	最大	单位
工作电压	.5	7	Vp-p
工作温度	-20	80	°C

执行器可以短时间内在更高的电压下驱动，可高达10V+，只要线圈温度不超过 80°C。

2.7 电气特性

范围	最小	典型值	最大	单位
线圈电阻 (DC) @ 20°C	7.6	8	8.4	Ω
阻抗 @ 100hz, 1V (LFi)	8.23	8.66	9.09	Ω
阻抗 @ 100hz, 1V (LF)	7.70	8.11	8.52	Ω
阻抗 @ 100hz, 1V (MFi)	7.57	7.97	8.37	Ω
阻抗 @ 100hz, 1V (HFi)	7.71	8.12	8.53	Ω

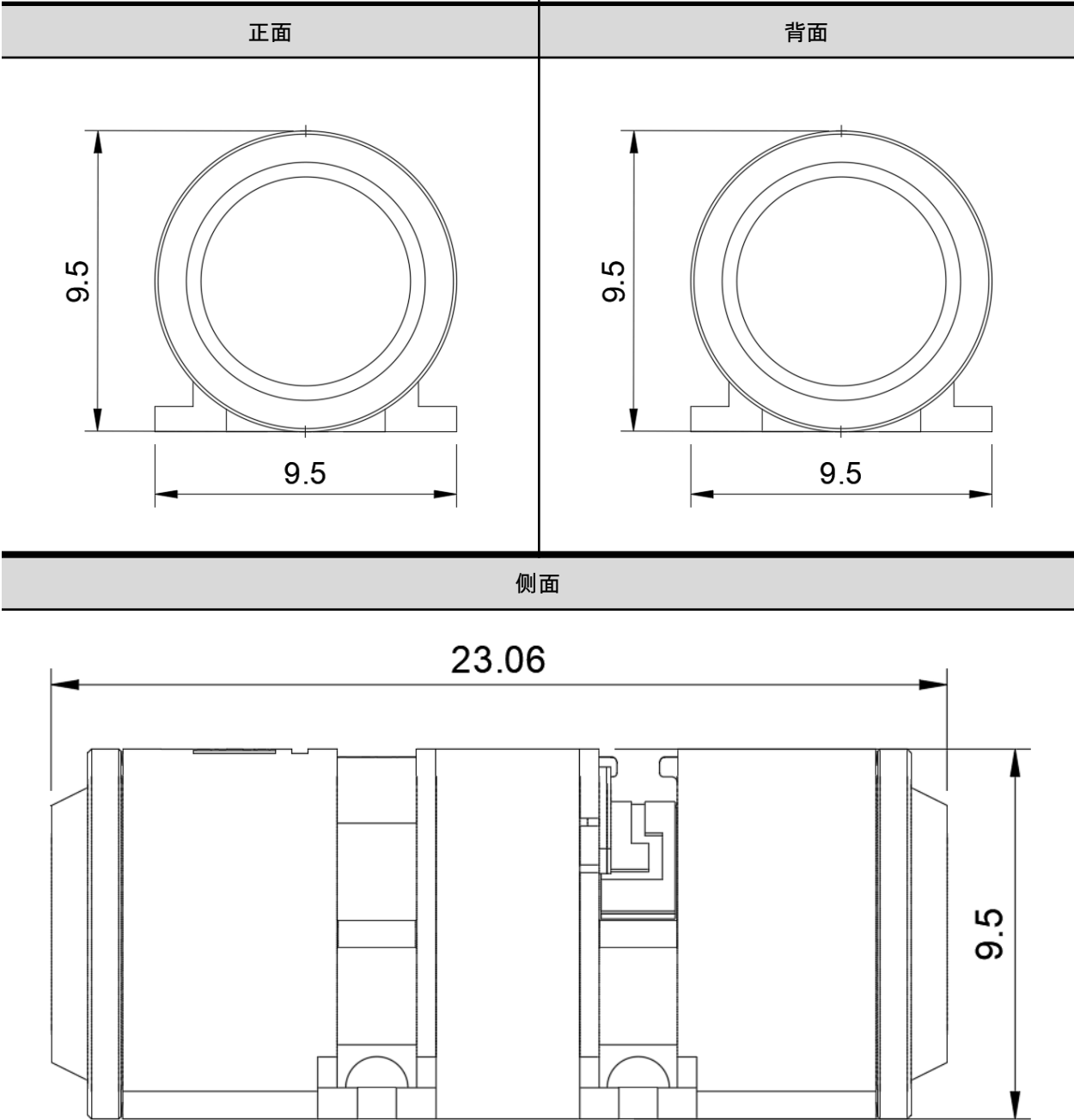
2.8 机械特性

范围	规格
尺寸	9.5 毫米 x 9.5 毫米 x 23.06 毫米
总重量(LF, MF, HF)	6 克
总重量(LFi)	5.5 克
连接类型	飞线



2.9 产品尺寸规格

*所有尺寸单位为毫米



3 应用说明

3.1 应用说明

TacHammer 可以通过各种类型的电气输入进行驱动，无需专门的电子设备。

对于基本应用

3.1.1 单脉冲触觉

可以使用短直流脉冲生成单次振动，例如单个Tick/滴答声或Pulse/脉冲。正 (+V) 电压将震子推向冲击端，产生尖锐的“滴答声”。负 (-V) 电压将震子推向排斥磁场，从而产生钝的“脉冲”。

下表列出了各个触觉的建议持续时间。

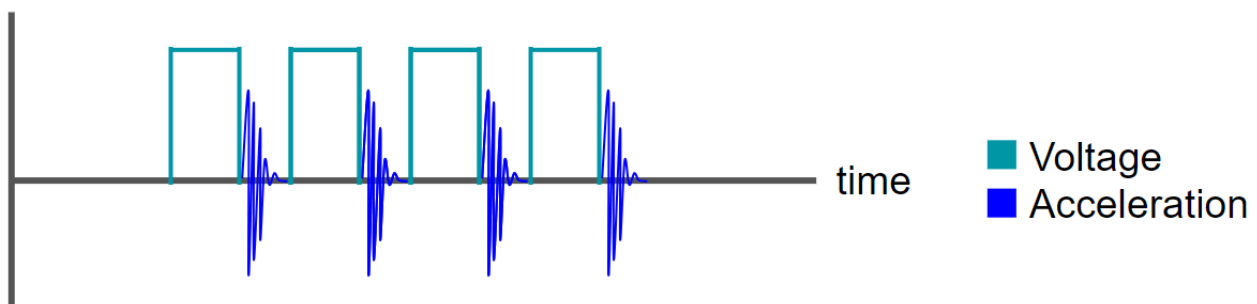


触觉反馈	持续时间	单位
滴答声 (+V)	8.6	ms
脉冲 (-V)	5.2	ms

改变脉宽和/或应用脉宽调制可进一步调节触觉强度。注意：使用脉宽时，请务必使用非可听频率和/或低通滤波，以避免产生不需要的噪声。

3.1.2 重复触觉(振动)

对于如振动这样的重复触觉，TacHammer最佳驱动方式为使用方波输入，也可以使用 PWM 和/或正弦波来生成连续的触觉回放的任意波形。注意：通常不需要以最大占空比运行来生成峰值加速度幅度，减少占空比可以节省功耗而不影响性能。



3.1.3 LRA 驱动信号兼容性

TacHammer 可以使用 LRA 信号驱动。虽然兼容, 但使用 LRA 信号进行播放可能会导致性能略有下降。为了获得最佳结果, 请将 LRA 驱动信号频率移至更接近 TacHammer 的 F0(通常为较低频率)或使用音频波形。使用闭环 LRA 驱动器 IC 有助于修改 LRA 输入信号, 以优化 TacHammer 的更高输出。

3.1.4 任意波形和音频波形

TacHammer 可用于播放通常用于驱动扬声器的音频波形。为了获得最佳效果, 信号放大可以通过专用触觉 IC、音频 IC(PWM、Class-D或模拟) 或分立元件(H 桥) 来实现。

3.1.5 驱动信号调节

低通滤波 可用于消除可听到声音的产生。LPF 可以使用 IC、分立元件或软件信号处理 (DSP) 来实现。

共振移位 可以通过将直流偏移信号施加到输入波形来实现。正偏移将降低单位共振, 负偏移将提高单位共振。警告:使用直流偏置会加速线圈的温升。 请注意不要使线圈过热, 否则设备可能会过早失效。

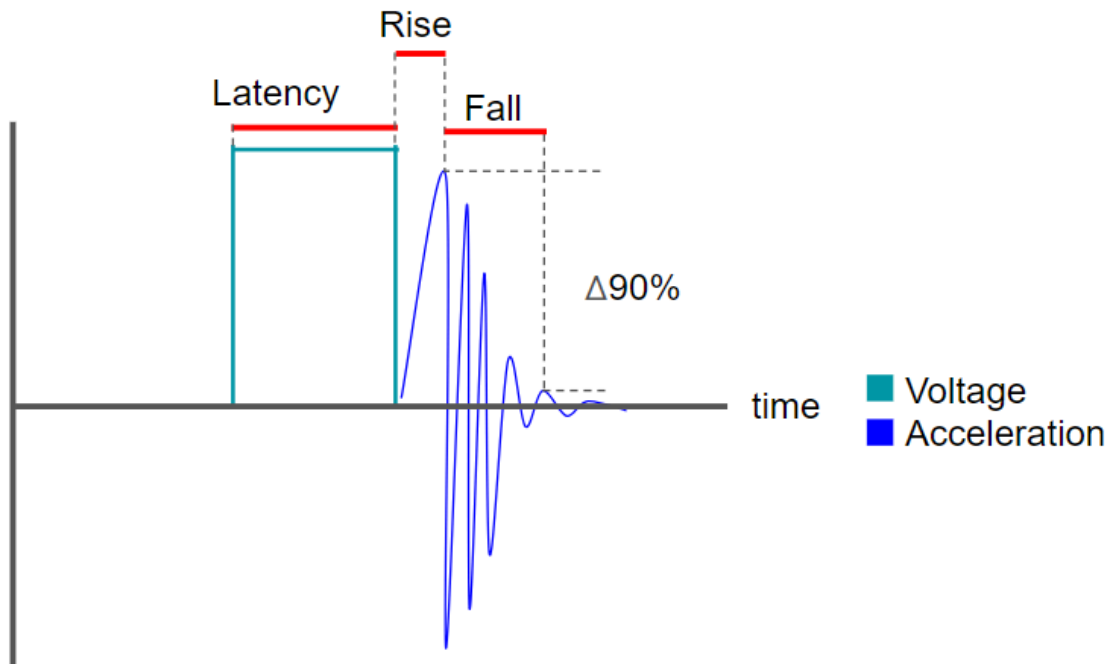
3.1.6 非线性磁悬浮设计

TacHammer 具有非线性力分布, 这是 TacHammer 与现有触觉技术之间的主要区别之一。这种非线性使得 TacHammer 具有较宽的工作频率范围和快速的响应时间, 这主要是由于其静态的静摩擦力较低。

这意味着您可以以非常低的功耗创建有效的点击效果, 对音频驱动信号做出良好的响应, 并创建其他传统技术很难产生的非常微妙的触觉效果。此外, 非线性特性消除了对昂贵驱动 IC 的需求, 使整体解决方案成本低于其他高清触觉马达。



3.2 响应时间说明



注意: 上图表示单个冲击触觉的驱动信号和相应的加速度波形。

3.3 兼容的驱动硬件

TacHammer Drake (所有型号) 可响应各种驱动信号, 并可由各种放大器驱动, 包括:

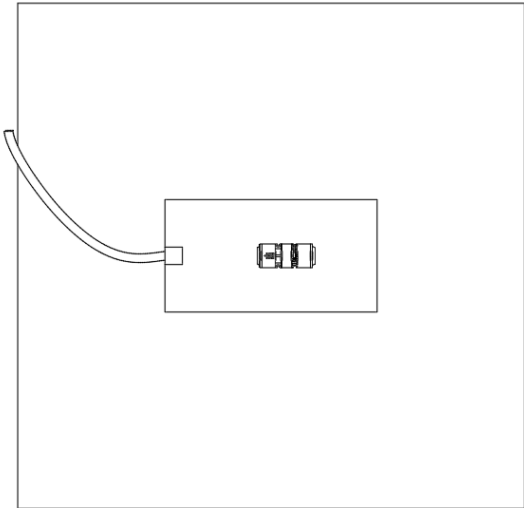
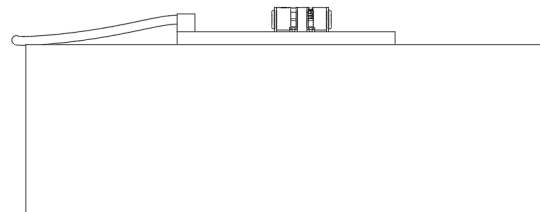
- **D 类放大器**
示例:
PAM8403 - *Diodes* 公司
BH3541F - *ROHM* 罗姆半导体
- **专用触觉驱动器 IC**
示例:
DRV2605 - *TI* 德州仪器
DA7281 - *Dialog* 戴格半导体
AW8623DNR - 艾为 IC
- **H 桥电机控制器**
示例:
DRV8833-OF
分立元件 H 桥
- **PMIC**

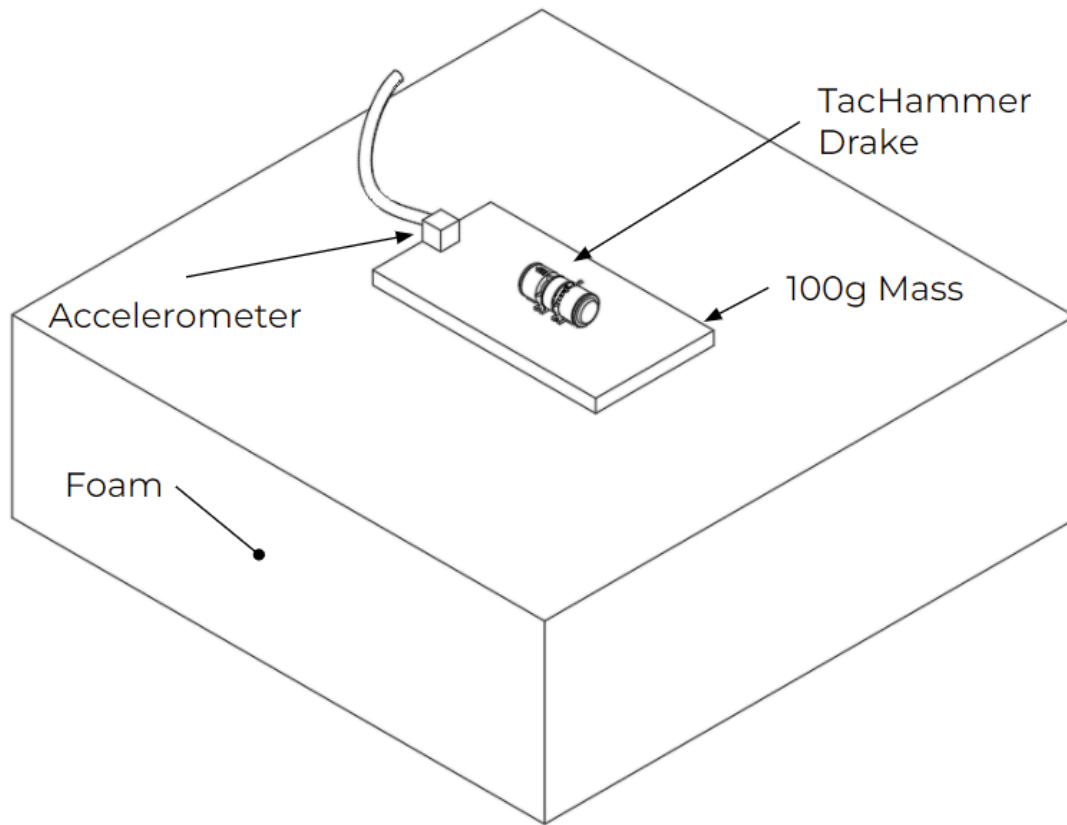
3.4 测量方法

3.4.1 测试设备

功能	制造商	型号
加速度计	Dytran	7523A3
电源	Agilent	6632B
信号发生器	Rigol	DG1022
信号放大器	Rigol	PA1011
示波器	Lecroy	Waverunner 204MXI

3.4.2 测试固定设置

ISO	SIDE
	



TacHammer 装置重量为 100 克, 并放置在泡沫块的顶部。加速度计沿 TacHammer 轴安装, 距离 TacHammer 3 厘米。测量值取 3 轴读数的最大矢量幅度。

4 标准测试条件

4.1 测试环境

- 除非另有说明, 标准测量环境为 $25^{\circ}\text{C}\pm 3^{\circ}\text{C}$ & $65\%\text{RH}\pm 20\%\text{RH}$
- 所有 $<0^{\circ}\text{C}$ 的温度均为 $+0^{\circ}\text{C}/-3^{\circ}\text{C}$ 标准, 除非另有说明
- 所有 $>0^{\circ}\text{C}$ 的温度均为 $+3^{\circ}\text{C}/-0^{\circ}\text{C}$ 标准, 除非另有说明

4.2 可靠性测试和标准

本节包含一份详细的测试和成功标准列表

测试名称	测试说明	测试标准	成功标准
跌落测试	掉落夹具: 200克 包括执行器和装配螺钉。 从 1.0m 高度以指定落差跌落到 6 面上。 执行器未通电。		性能指标在原来的20%以内 (测试后4小时恢复后)
寿命测试 - 冲击	$25^{\circ}\text{C}/50\%\text{RH}$ 。寿命测试周期, 1s开, 1s关, 200 时间		性能指标在原来的20%以内 (测试后4小时恢复后)
寿命测试 - 非冲击	$25^{\circ}\text{C}/50\%\text{RH}$ 。寿命测试循环, 1s开, 1s关, 静音模式, 200 时间		性能指标在原来的20%以内 (测试后4小时恢复后)
高温储存	85°C , 96小时。执行器 是 未通电。	EIA-364-17	性能指标在原来的20%以内 (测试后4小时恢复后)
低温储存	-40°C , 96小时。执行器 是 未通电。	EIA-364-17	性能指标在原来的20%以内 (测试后4小时恢复后)
高温高温寿命测试	$85^{\circ}\text{C}/95\%$ 。寿命测试周期, 1秒开, 1秒关, 40小时。	EIA-364-17	性能指标在原来的20%以内 (测试后4小时恢复后)
低温寿命测试	-40°C 。寿命测试周期, 1秒开, 1秒关, 72小 时。	EIA-364-17	性能指标在原来的20%以内 (测试后4小时恢复后)
长寿命测试	$25^{\circ}\text{C}/50\%\text{RH}$ 。寿命测试周期, 1s on, 1s off , 600小时		表现 规格在原来的20%以内 (测试后4小时恢复后)
热冲击测试	-40°C 30 分钟+ 85°C 30 分钟循环 5 次。寿命 测试循环, 1s开, 1s关, 5个温度循环。	EIA-364-32	性能指标在原来的20%以内 (测试后4小时恢复后)
盐雾试验	35°C 、5%盐溶液浓度。寿命测试周期, 1秒开 , 1秒关, 8小时。	EIA-364-26	性能指标在原来的20%以内 (测试后4小时恢复后)
非工作随机振动测试	夹具: 200克 包括执行器和装配螺钉。 3 轴, 每轴 10 分钟, 6 g, 10-2000Hz。执行 器 是 未通电。	EIA-364-28	性能规格与原规格相差20% 以内(测试后4小时恢复后)
冲击测试	夹具: 180克 包括执行器和装配螺钉。 半正弦冲击加, +X/-X/+Y/-Y/+Z/-Z轴, 每轴3 次, 500G, 执行器 是 未通电。	EIA-364-27B	性能指标在原来的20%以内 (测试后4小时恢复后)
可焊性测试	将连接器连接至焊锡炉 温度: $245\pm 5^{\circ}\text{C}$.3~5秒	EIA-364-52	性能规格与原规格相差20% 以内(测试后4小时恢复后)

