

触觉震动反馈技术的功耗分析

Flora Wang

Shenzhen OEM Team

摘 要

目前，很多产品都需要和用户进行交互，不仅是用户的输入控制，更多的时候需要产品给用户反馈信息。长期以来，电子产品的主要语言是声和光。随着人类对触觉学的研究，触觉反馈逐渐成为电子产品和人类沟通的第三种语言。触觉反馈应用于消费类电子产品中时，用户非常关注它功耗。DRV260X 系列和 DRV2667 是德州仪器推出的线性马达/转子马达驱动器和压电陶瓷马达驱动器，能够显著的改善用户体验，并且减少震动马达的功耗。本文主要介绍了三种常见的触觉震动马达，详细的描述了如何测量触觉震动反馈技术的功耗，并对这三种触觉震动马达的区别进行了比较和分析。

1	触觉震动反馈技术概述	2
1.1	转子马达触觉震动器	2
1.2	线性马达触觉震动器	3
1.3	压电陶瓷触觉震动器	4
2	如何测量触觉反馈技术的功耗	5
2.1	电流观测比较法	5
2.2	功率消耗比较法	6
2.3	mA/g 比较法	7
3	ERM, LRA, Piezo 马达的功率消耗对比.....	8
4	DRV260x 的功耗优势	9
	附录 A 更多震动反馈器功耗数据	12
	附录 B 实验测试平台	13
	附录 C 手机应用场景功耗计算	14

图 例

图 1.	三种触觉震动器	2
图 2.	线性马达震动强度随频率偏移特性	3

图 3. Click 触觉震动效果电流观测比较法..... 5

图 4. Buzz 触觉震动效果功耗测试..... 7

图 5. Piezo LRA ERM 功耗对比..... 8

图 6. 自动频率追踪技术开/关下的 Buzz 波形..... 10

图 7. 起动速度对比..... 10

图 8. 停止速度对比..... 11

表 格

表 1. 三种触觉震动器的比较..... 4

表 2. Click 触觉震动效果消耗的电流大小..... 6

表 3. Click 触觉震动效果的功率消耗..... 6

表 4. Buzz 触觉震动效果下的能量消耗..... 7

表 5. 三种马达的功率消耗对比..... 8

表 6. 情景应用举例..... 9

表 7. 自动频率追踪开/关的功耗对比..... 10

1 触觉震动反馈技术概述

触觉震动反馈技术通过触觉震动马达的震动模拟事件，物体表面和人类的触觉感受，丰富人类的生活。改变触觉震动器的驱动电压，频率，驱动时间，驱动方向，人们就能感受到不同的触觉效果。目前，常见的触觉震动器有三种，转子马达（ERM），线性马达（LRA）和陶瓷马达（Piezo）。

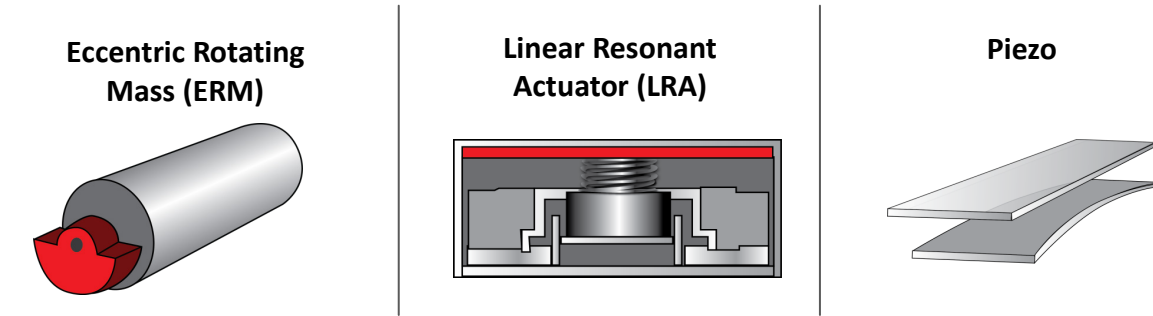


图 1. 三种触觉震动器

1.1 转子马达触觉震动器

转子马达触觉震动器的工作原理类似于直流电机。在转子马达的中央有一个偏心转子，偏心转子的旋转引起了触觉震动器的震动。当转子马达旋转时，偏心转子会产生一个离向心力，这种离向心力引起马达发生微小的位移。人们感受到的这种震动反馈就称为触觉反馈。

转子马达的震动依靠旋转产生，因而在 Y 轴和 Z 轴方向都能感受到震动。但是这并不是一个好现象，因为在很多应用场合，可能只需要某一个方向的震动感受，这样，其他方向的震动感受就变成了能量的浪费。

对于转子马达来说，它的特点如下：

优点：驱动简单，成本较低。

缺点：响应速度慢，震动强度弱，震动体验感觉不细腻，功耗大。

1.2 线性马达触觉震动器

线性马达触觉震动器主要是一个由弹簧，质量块和线圈组成的弹簧系统。弹簧将线圈悬浮在线性马达内部，当线圈中有电流流过时，线圈会产生磁场。线圈和带有磁性的质量块相连，当流过线圈的电流改变时，磁场的方向和强弱也会改变，质量块就会在变化的磁场中上下移动。这种运动被人们感知就会产生触觉效果。

线性马达的震动强度受到内部弹簧谐振频率的限制，驱动震动器的正弦波频率必须在谐振频率的附近。并且这个带宽非常窄，最好在 $\pm 2\text{Hz}$ 以内。否则，少许的偏离都会带来震动强度的迅速下降。图 2 的曲线很好的解释了这一点。通常，由于制造误差，元件老化，温度和机械固定的原因，线性马达常常不能工作在准确的谐振频率点上。DRV260x 有自动谐振频率追踪功能，能够自动检测马达的谐振频率，使马达工作在最佳谐振频率点上，帮助马达产生最佳震动效果，增强用户体验感。

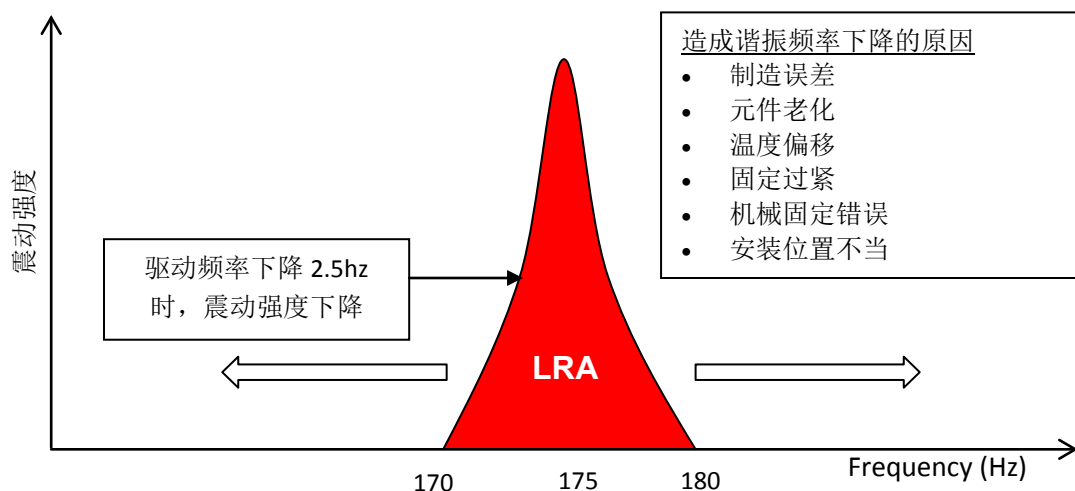


图 2. 线性马达震动强度随频率偏移特性

线性马达的震动依靠磁性质量块的上下运动，因而线性马达只会在垂直方向产生震动，不会在其他方向产生能量的浪费，这一运动的方向优势有助于节省功耗。

线性马达的特点如下：

优点：响应速度快，震动强度大，震动体验感觉细腻，功耗低，声学噪声小。

缺点：谐振频率的细微偏移会噪声震动强度的大幅下降，减弱震动效果。

1.3 压电陶瓷触觉震动器

压电陶瓷触觉震动器是采用压电陶瓷材料制成。当有电压加在压电陶瓷上时，压电陶瓷材料会迅速的产生形变。压电陶瓷震动器的震动即来源于种形变。压电陶瓷材料使压电陶瓷震动器成为了一种高精度的触觉震动器。高精度意为响应速度更快，震动控制更精确。它可以接受更宽的驱动电压频率，声学噪声更小，震动强度和震动体验感觉比转子马达和线性马达更强，更真实。

压电陶瓷震动器有单层和多层之分。压电陶瓷震动器是容性负载，因而单层和多层压电陶瓷对驱动电压的要求不同。通常单层压电陶瓷震动器需要更高的电压，而多层压电陶瓷震动器只需较低的电压，但是却需要更大的驱动电流。DRV2667 可以用来驱动高达 200Vpp 的压电陶瓷震动器，可以驱动多种压电陶瓷马达。

压电陶瓷马达的震动是由压电陶瓷马达材料的形变引起的，因而它的震动强度也只产生在单一方向。同时，由于这种震动器的震动强度更强，响应速度更快，这些优点也有助于节省功耗。

优点：响应速度更快，驱动频带宽，震动强度大，震动体验感觉细腻真实，声学噪声小，功耗低。

缺点：需要高电压驱动。

表 1 总结了转子马达，线性马达和压电陶瓷马达震动器的各自特点，可以有效的帮助用户了解触觉震动反馈技术。

表 1. 三种触觉震动器的比较

	转子马达	线性马达	单层 压电陶瓷马达	多层 压电陶瓷马达
综合评价	好	很好	最好	最好
震动加速度 (G)	~1G	~1-2G	~3-5G	~3-5G
声学噪声	大	中等	安静	安静
响应时间	~50ms	~30ms	0.5ms	0.5ms
功耗	高	低	更低	更低
高精度触觉震动器	否	否	是	是
价格	较低	低	中等	高

2 如何测量触觉反馈技术的功耗

本文中的测试范例中使用的 ERM 型号为 Sanyo NRS2574I, LRA 型号为 AAC 1036C, Piezo 为 Semco PHAT423535XX 压电陶瓷模组。所有的测试波形都是在 DRV2604EVM-CT 板上和 DRV2667EVM-CT 板上测得, 每个通道代表的含义如下:

- C1: OUT+输出波形
- C2: OUT-输出波形
- Math: C1-C2 的波形
- C3: 加速度传感器测得的马达加速度
- C4: 某个震动效果期间消耗的平均电流

触觉反馈技术的功耗对于消费类电子产品, 尤其是穿戴式设备, 智能手机来说, 显得比较重要。本节介绍了如何测量震动反馈技术的功耗, 并对三种常见的触觉震动器的功耗进行了比较, 并给出了它们在功耗方面的区别。

测量触觉反馈技术有三种方法:

2.1 电流观测比较法

在相同的供电电压, 相同的触觉效果下, 观测某个触觉效果全过程中消耗的电流大小。根据一次 Click 中消耗的电流值大小, 可以计算每种马达的最大 Click 次数, 比较不同的马达和驱动器之间的异同。

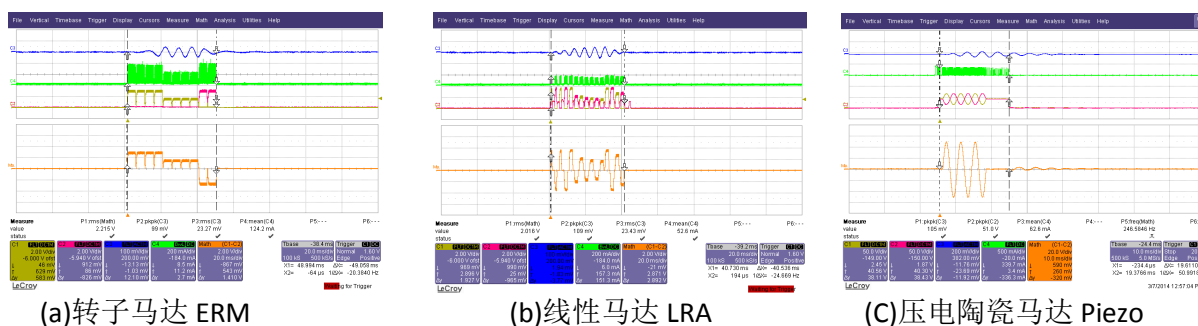


图 3. Click 触觉震动效果电流观测比较法

图 3 显示了三种马达的 Click 触觉效果波形。本节以 Click 触觉效果为例, 说明了转子马达, 线性马达和压电陶瓷马达消耗电流大小的差异。用电流探头测试 Click 触觉效果整个过程中消耗的平均电流值, 使 Click 触觉效果中的最大震动强度保持保持在 0.9G, 数据如表 2 所示。转子马达消耗的电流最大, 为 124mA; 其次是压电陶瓷马达, 消耗的电流大小为 62.6mA; 线性马达消耗的电流最小, 为 51.3mA。

理想情况下，Click 所需要的电流值大小如果对于一个电池容量为 1200mAh 容量的手机来说，可以用来计算在该手机上能够支持的最大 Click 次数。用转子马达的数据举例说明如何计算：

$$\text{ERM 最大 click 次数} = \frac{1200\text{mAh}}{124\text{mA} \times 50\text{ms}} \times 3600\text{s/h} = 696774$$

表 2. Click 触觉震动效果消耗的电流大小

Click	平均电流 (mA-per click)	持续时间 (ms-per click)	最大加速度 (g)	最大 Click 次数 (1200mAh 电池)
ERM	124	50	0.868	696774
LRA	52.6	40	0.903	2105263
Piezo	62.6	19.61	0.921	3570076

如此，我们得到以下结论：

- 1) 线性马达 LRA 和转子马达 ERM 相比，线性马达只需要消耗转子马达一半的电流即可达到和转子马达相同的加速度。
- 2) 压电陶瓷马达消耗的电流大小和线性马达消耗的限流大小很接近，均比转子马达消耗的电流小。
- 3) 如果用压电马达，最大 click 次数是转子马达最大 click 次数的 5 倍；线性马达最大 click 次数是转子马达的 3 倍。

2.2 功率消耗比较法

该参数描述了每个触觉效果下的功率消耗，反映了如 Click, Buzz, Alert 等不同触觉效果下，每种震动马达的功率消耗情况。通常以 $\mu\text{A-hours per click}$, mA-hours per buzz 为功率消耗的单位。

以图 3 中 ERM 的 Click 触觉效果为例：持续时间为 50ms，因而每 Click 消耗的功率为：

$$P = \frac{124\text{mA} \times 50\text{ms}}{3600\text{ms/hour}} = 1.72\mu\text{Ah}$$

同理，可得 LRA 每 Click 消耗的功率为 0.57 μAh ，Piezo 每 Click 消耗的功率为 0.34 μAh 。

表 3. Click 触觉震动效果的功率消耗

Click	电源电压 (V)	平均电流 (mA)	持续时间(ms)	功耗 (μAh)
ERM	5	124	50	1.72
LRA	5	52.6	40	0.58
Piezo	5	62.6	19.61	0.34

结论：

- 1) LRA 与 ERM 相比，每 Click 能够节省 67%的功率消耗。
- 2) 在类似 Click 这种持续时间较短的触觉效果中，Piezo 马达是最佳的选择。究其原因是因为 Piezo 响应速度最快，同比之下能够在最短的时间内达到相同的震动强度。缩短了起动时间，因而节省了功耗。

2.3 mA/g 比较法

该测量方法反映震动马达加速度每达到 1G，所需要消耗的电流量大小。该测量方法反映的震动加速度是平均值，适用于持续的震动强度下测量。

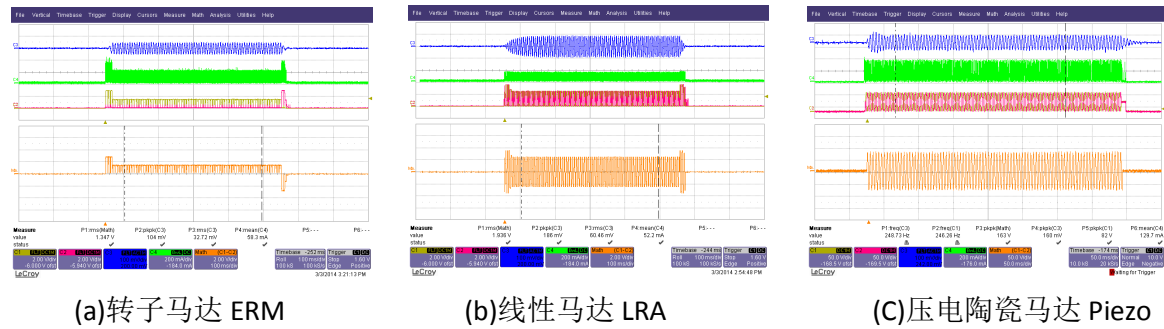


图 4. Buzz 触觉震动效果功耗测试

图 4 和表 4 显示了转子马达，线性马达和压电陶瓷马达 Buzz 触觉效果的能量消耗。Buzz 触觉震动效果的特点是持续时间较长，震动加速度保持恒定。对于这一类的触觉效果，mA/g 这种测量方法能够反映马达震动强度每 G 消耗的电流值。

表 4. Buzz 触觉震动效果下的能量消耗

Buzz	平均电流(mA)	震动加速度(g)	功耗(mA/g)
ERM	58.5	0.91	62.1
LRA	52.3	1.63	32.0
Piezo	67.4	0.90	72.4

结论:

- 1) 线性马达每 G 消耗电流最少，线性马达在持续时间较长的震动效果中有着突出的能量优势。
- 2) 转子马达和压电陶瓷马达，在持续时间较长的触觉效果中，每 G 消耗的电流大小差别不大。

附录 A 显示了更多厂家的触觉振动马达功耗数据，可以供读者参考。表格中的数据是在 DRV2603EVM 板上测试的，与 DRV2604EVM 测试数据仅有细小的差别。

3 ERM, LRA, Piezo 马达的功率消耗对比

本节中，给出了更多转子马达，线性马达和压电陶瓷马达的触觉效果功耗测试数据，供读者参考。

表 5. 三种马达的功率消耗对比

触觉效果	Piezo			LRA			ERM		
	持续时间 (ms)	功 耗 (uAh)	加速度 (g)	持续时间 (ms)	功 耗 (uAh)	加速度 (g)	持续时间 (ms)	功 耗 (uAh)	加速度 (g)
Bump	13.3	0.31	0.96	40	0.30	0.93	39	1.14	0.89
Click	19.61	0.34	0.921	51.3	0.57	0.903	50	1.72	0.90
Pulse	48	0.90	0.91	91	0.68	0.95	94	1.72	0.92
Alert	60	1.18	0.92	75	0.47	0.91	78.70	2.00	0.96
Buzz	609	11.4	0.90	752	3.38	1.00	609	11.41	0.93

将表 5 的数据用柱形图形显示出来，如图 5 所示：

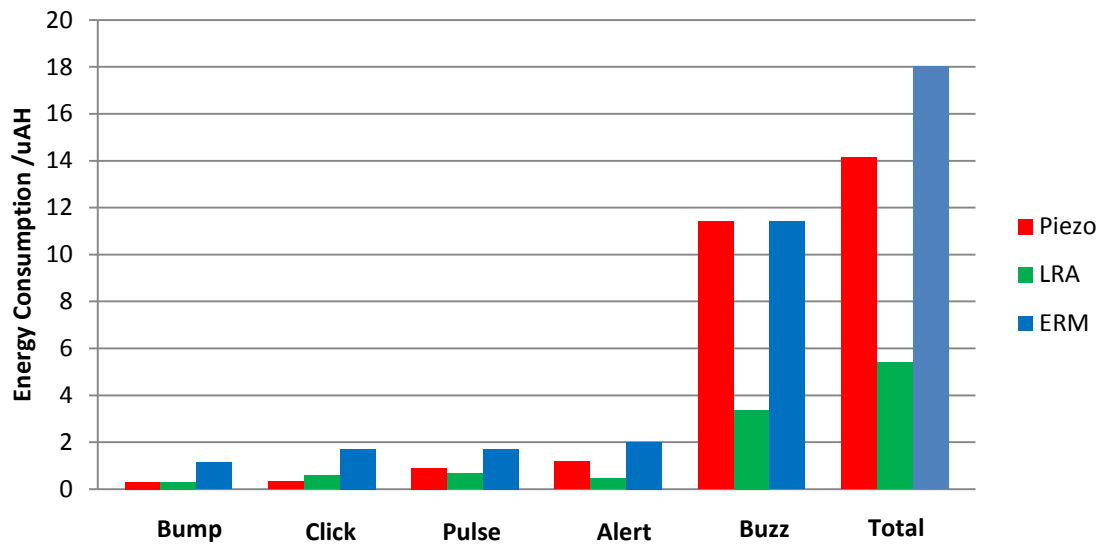


图 5. Piezo LRA ERM 功耗对比

因而我们可以得出以下结论：

- 压电陶瓷马达由于响应速度快，对于持续时间较短的触觉震动效果，例如 Bump, Click 等，消耗的功率最小。
- 线性马达与转子马达相比，能够节省 60%-80%的能量。
- 当播放持续时间较长的触觉效果时，LRA 功耗优势比较明显，Piezo 的功耗和 ERM 功耗相差无几。

实验测试以 100g 的质量块，模拟常见手机重量，具体测试环境如附录 B 所示。表 6 给出了常见手机应用场景：

表 6. 情景应用举例

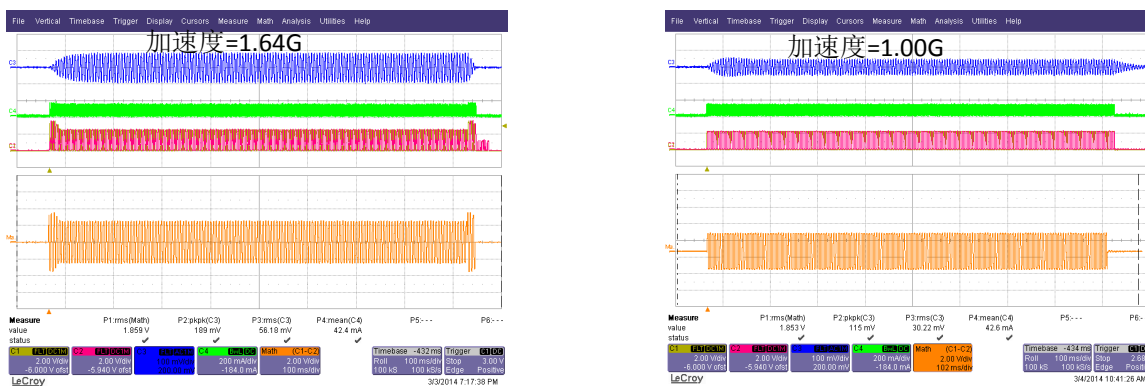
Usage/Energy consumption(uAh)	Piezo	LRA	ERM
Phone Call	140.2	46.31	154.22
15x	2103	694.62	2313.54
Text Message	72.74	115.87	352.40
15x	1091.04	1737.96	5286
Replay an E-mail	106.74	172.86	524.6
5x	533.68	864.32	2623
Reminding	125.84	38.5	134.18
10x	1258.4	385	1341.8
Games 60 minutes	4725.6	3538.68	11084.16
Social media 60 minutes	2628	2235.40	6979.30
Other 60 minutes	2624.69	2242.46	7087.40
standby	240	45.6	45.6
total	15204.41	11744.05	36760.8
1200 mAh %	1.267	0.979	3.06

附录 C 显示了表 6 应用场景的计算具体过程。表 6 的应用场景显示，在手机应用中，用 DRV2604 和 DRV2605 驱动线性马达，或是 DRV2667 驱动压电陶瓷马达，与驱动传统的转子马达相比，能够明显的节省功耗，是普通转子马达功耗的 1/3。这一功耗优势在穿戴式设备中，更加明显。

4 DRV260x 的功耗优势

DRV260x 驱动线性马达，还表现出其独特的功耗优势。DRV260x 内置自动谐振频率追踪引擎，能够实时的自动追踪 LRA 谐振频率。第一节中已经讲述了，由于元件老化，制造偏移等不可抵抗因素，LRA 的谐振频率会发生偏移。这种偏移哪怕是细小的，就会引起震动强度的大幅下降。因而通常对于发生了频率偏移的马达，用户往往会在不知晓的情况下，通

过调整驱动电压来获得更大的震动强度，这在无形中就增加了功耗。DRV260x 能够实时追踪 LRA 谐振频率，实时调整驱动电压的频率，使线性马达工作在最佳状态。这一点相对于开环控制的驱动器来说，有着明显的功耗优势。



(a)自动频率追踪开启

(b) 自动频率追踪关闭

图 6. 自动频率追踪技术开/关下的 Buzz 波形

表 7. 自动频率追踪开/关的功耗对比

	加速度 (G)	起动时间 (ms)	停止时间 (ms)	谐振频率 (hz)	功耗 (mA/g)
自动频率追踪开	1.64	56	14.5	175	28.4
自动频率追踪关	1.00	51.7	71.6	185	51.8

从图 6 的波形和表 7 的数据可知，自动频率追踪条件下，马达的震动强度从 1.00G 提高到了 1.64G。自动频率追踪技术使得线性马达以消耗更少的电流获取更大的震动强度！驱动马达的交流电压频率也一致保持在 175hz，与 AAC 1036C 规格书中指出的谐振频率—175hz 保持一致。

自动频率追踪技术对起动速度和停止速度的影响：

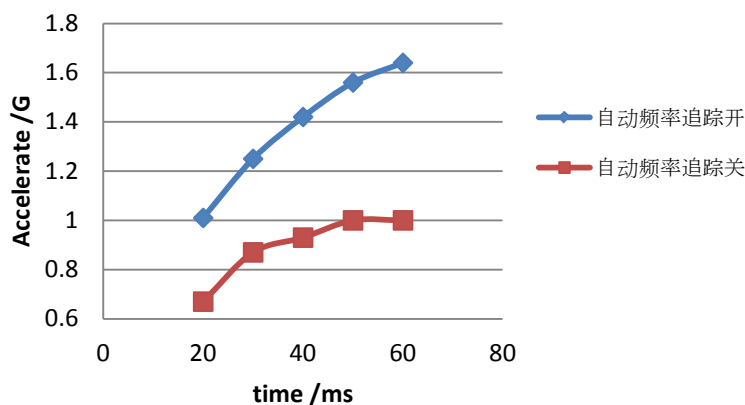


图 7. 起动速度对比

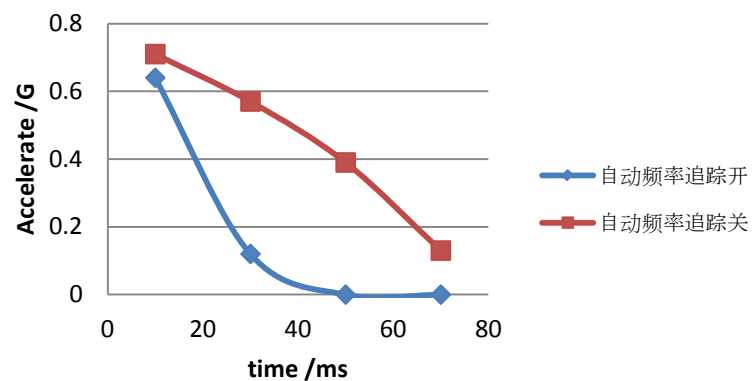


图 8. 停止速度对比

自动频率追踪条件下，马达的起动时间和停止时间看起来更长。这是因为自动频率追踪技术下获得的加速度更大，因而增加了起动时间和停止时间。事实上，自动频率技术使马达响应更快，达到相同的震动强度时所需的时间更短，如图 7 和图 8 的曲线显示，在自动频率追踪技术下，马达的起动速度和停止速度更快。

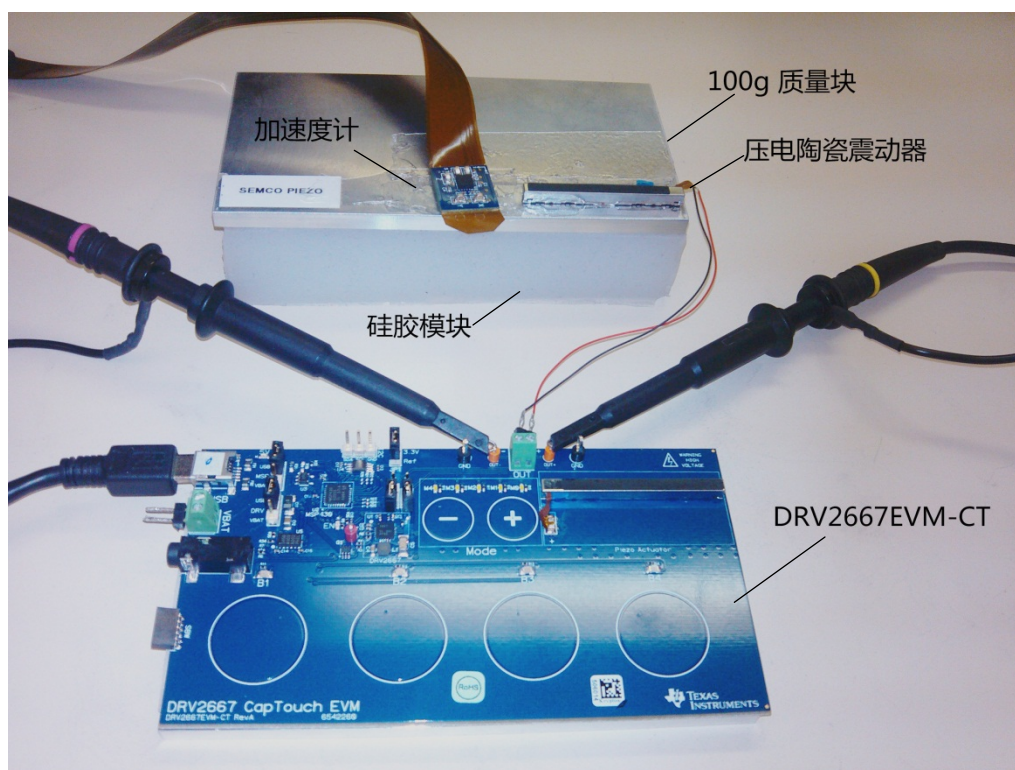
附录 A 更多震动反馈器功耗数据

附录 A 展示了多个厂家的触觉震动马达的功耗测试数据，供用户参考。

震动马达	持续时间 (ms)	震动加速度 (G)	Click 效果下的功耗 (uAh per click)
LRA – AAC ELV1411	50	0.941	0.680
LRA – Partron (Rectangle)	50	0.466	0.531
LRA – Partron (Round)	50	0.557	0.458
LRA – LG Innotek	50	1.32	0.412
LRA – AAC ELV1036A	50	0.914	0.541
LRA – Semco 1030	50	0.846	0.521
LRA – Semco 1036	50	0.795	0.414
LRA – Copal AA7	45	0.631	0.633
ERM – Sanyo NRS2574I	45	1.103	1.819
ERM – Sanyo BMR3565	45	0.541	1.284
ERM – AWA GS-2717	45	0.580	0.718
ERM – Sanyo BNK3266	45	0.550	1.342
Piezo – Semco	16.5	0.904	0.782
Piezo – AAC	16.5	0.543	0.680

附录 B 实验测试平台

附录 B 展示了马达部分的测试场景。



附录 C 手机应用场景功耗计算

附录 C 显示了如何利用表 6 的数据计算智能手机应用场景中的触觉震动技术功耗。

- 1) 通话应用场景-15 次 /天
 - 拨号: 电话号码 11 位, 每个拨号场景需按键 11 次, 平均每天拨打电话 15 次, 共计 165 次 click。
 - 来电振铃: 每两个 Buzz 构成一个响铃, 响铃 6 声后接听电话, 因而每个来电包括 12 个 Buzzes, 共计 180 个 Buzz。
- 2) 短信息应用场景-15 次 /天
 - 写短信息: 每条短信平均按 40 字计算, 每个字需拼写 5 次, 共计按键 3000 次。
 - 接收短信息提醒: 假设收到短信息时提醒为 4 个 Alerts 振动效果, 共计 60 个 Alerts。
- 3) 邮件应用场景-5 次 /天
 - 写邮件: 回复每封邮件平均按 60 字计算, 每个字需拼写 5 次, 每封邮件需按键 300 次, 共计 1500 次 click。
 - 接收邮件提醒: 假设接收邮件时的提醒为 4 个 Alerts, 每天每人以 5 封邮件计算, 共计 20 Alerts。
- 4) 备忘录提醒应用场景-10 次 /天
 - 假设提醒每次提醒由 10 个 Alerts 和 10 个 Buzz 组成。
- 5) 游戏应用场景-60 分钟/天

不同的游戏应用有不同震动效果, 假设玩游戏 10 分钟, 出现如下震动效果:

 - Bump: 100 次
 - Click: 500 次
 - Pulse: 200 次
 - Alert: 150 次
 - Buzz: 20 次
- 6) 社交网络应用场景 - 60 分钟/天

假设使用 10 分钟出现如下震动效果, 以此计算每天 60 分钟的震动场景。

 - Bump: 70 次
 - Click: 400 次
 - Pulse: 80 次
 - Alert: 60 次
 - Buzz: 12 次
- 7) 搜索, 查询, 网页浏览等其他应用- 60 分钟/天

假设这些应用共计时间 60 分钟, 有如下几种震动效果:

 - Bump: 720 次
 - Click: 2400 次
 - Pulse: 360 次
 - Alert: 312 次
 - Buzz: 78 次
- 8) 待机功耗

DRV2605（转子马达 ERM 和线性马达 LRA 驱动器）待机电流为 1.9uAh, DRV2667（压电陶瓷马达 Piezo 驱动器）待机电流为 10uAh.因而转子马达 ERM 和线性马达 LRA 的待机功耗为 45.6uAh，压电陶瓷 Piezo 待机功耗为 240uAh。

重要声明

德州仪器(TI) 及其下属子公司有权根据 JESD46 最新标准, 对所提供的产品和服务进行更正、修改、增强、改进或其它更改, 并有权根据 JESD48 最新标准中止提供任何产品和服务。客户在下订单前应获取最新的相关信息, 并验证这些信息是否完整且是最新的。所有产品的销售都遵循在订单确认时所提供的TI 销售条款与条件。

TI 保证其所销售的组件的性能符合产品销售时 TI 半导体产品销售条件与条款的适用规范。仅在 TI 保证的范围内, 且 TI 认为 有必要时才会使用测试或其它质量控制技术。除非适用法律做出了硬性规定, 否则没有必要对每种组件的所有参数进行测试。

TI 对应用帮助或客户产品设计不承担任何义务。客户应对其使用 TI 组件的产品和应用自行负责。为尽量减小与客户产品和应用相关的风险, 客户应提供充分的设计与操作安全措施。

TI 不对任何 TI 专利权、版权、屏蔽作品权或其它与使用了 TI 组件或服务的组合设备、机器或流程相关的 TI 知识产权中授予 的直接或隐含权限作出任何保证或解释。TI 所发布的与第三方产品或服务有关的信息, 不能构成从 TI 获得使用这些产品或服务 的许可、授权、或认可。使用此类信息可能需要获得第三方的专利权或其它知识产权方面的许可, 或是 TI 的专利权或其它 知识产权方面的许可。

对于 TI 的产品手册或数据表中 TI 信息的重要部分, 仅在没有对内容进行任何篡改且带有相关授权、条件、限制和声明的情况 下才允许进行复制。TI 对此类篡改过的文件不承担任何责任或义务。复制第三方的信息可能需要服从额外的限制条件。

在转售 TI 组件或服务时, 如果对该组件或服务参数的陈述与 TI 标明的参数相比存在差异或虚假成分, 则会失去相关 TI 组件 或服务的所有明示或暗示授权, 且这是不正当的、欺诈性商业行为。TI 对任何此类虚假陈述均不承担任何责任或义务。

客户认可并同意, 尽管任何应用相关信息或支持仍可能由 TI 提供, 但他们将独力负责满足与其产品及其应用中使用的 TI 产品 相关的所有法律、法规和安全相关要求。客户声明并同意, 他们具备制定与实施安全措施所需的全部专业技术和知识, 可预见 故障的危险后果、监测故障及其后果、降低有可能造成人身伤害的故障的发生机率并采取适当的补救措施。客户将全额赔偿因 在此类安全关键应用中使用任何 TI 组件而对 TI 及其代理造成的任何损失。

在某些场合中, 为了推进安全相关应用有可能对 TI 组件进行特别的促销。TI 的目标是利用此类组件帮助客户设计和创立其特 有的可满足适用的功能安全性标准和要求的终端产品解决方案。尽管如此, 此类组件仍然服从这些条款。

TI 组件未获得用于 FDA Class III (或类似的生命攸关医疗设备) 的授权许可, 除非各方授权官员已经达成了专门管控此类使 用的特别协议。

只有那些 TI 特别注明属于军用等级或“增强型塑料”的 TI 组件才是设计或专门用于军事/航空应用或环境的。购买者认可并同 意, 对并非指定面向军事或航空航天用途的 TI 组件进行军事或航空航天方面的应用, 其风险由客户单独承担, 并且由客户独 力负责满足与此类使用相关的所有法律和法规要求。

TI 已明确指定符合 ISO/TS16949 要求的产品, 这些产品主要用于汽车。在任何情况下, 因使用非指定产品而无法达到 ISO/TS16949 要 求, TI 不承担任何责任。

	产品		应用
数字音频	www.ti.com.cn/audio	通信与电信	www.ti.com.cn/telecom
放大器和线性器件	www.ti.com.cn/amplifiers	计算机及周边	www.ti.com.cn/computer
数据转换器	www.ti.com.cn/dataconverters	消费电子	www.ti.com.cn/consumer-apps
DLP® 产品	www.dlp.com	能源	www.ti.com.cn/energy
DSP - 数字信号处理器	www.ti.com.cn/dsp	工业应用	www.ti.com.cn/industrial
时钟和计时器	www.ti.com.cn/clockandtimers	医疗电子	www.ti.com.cn/medical
接口	www.ti.com.cn/interface	安防应用	www.ti.com.cn/security
逻辑	www.ti.com.cn/logic	汽车电子	www.ti.com.cn/automotive
电源管理	www.ti.com.cn/power	视频和影像	www.ti.com.cn/video
微控制器 (MCU)	www.ti.com.cn/microcontrollers		
RFID 系统	www.ti.com.cn/rfidsys		
OMAP应用处理器	www.ti.com.cn/omap		
无线连通性	www.ti.com.cn/wirelessconnectivity	德州仪器在线技术支持社区	www.devisupport.com

邮寄地址: 上海市浦东新区世纪大道1568号, 中建大厦32楼邮政编码: 200122
Copyright © 2014, 德州仪器半导体技术(上海)有限公司