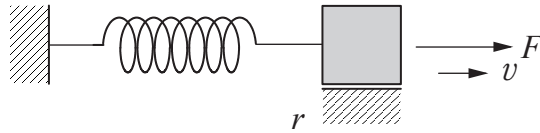


引导以使用压电陶瓷元件

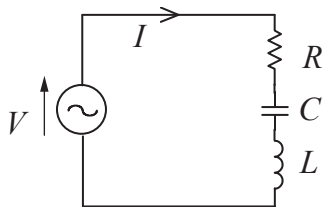
■电气系统和机械系统



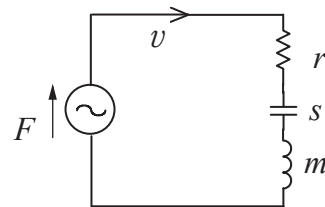
如图所示，将物体 m 挂在弹簧 s 上，施加振动力 F ，物体即会发生振动。此时的振动力 F 和速度 v 的关系是：

$$f = Z_m \cdot v$$

这个 Z_m 是振动系的机械阻抗，由物体的质量 m 、表示弹簧强度的柔量 s （刚度 c 的倒数）、摩擦阻抗 r 构成。这些关系与电气系统中的电压 V 、电流 I 、 R 、 L 、 C 的关系完全相同，相应的电气系统和机械系统如下图所示。



(a)电气系统



(b)机械系统

此外，机械振动系统要素与同等对待的电气系统要素的对应关系如下表所示。

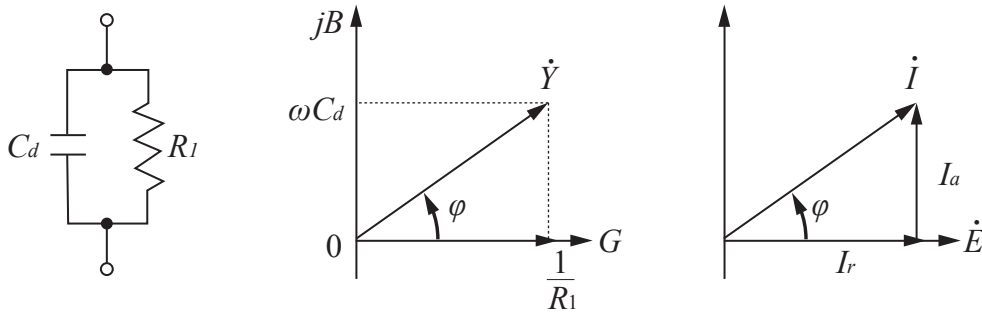
电气系统	电压	电流	电荷	电阻	电感	静电容量	电阻抗	导纳
	V	I	Q	R	L	C	Z	Y
机械系统	力	速度	位移	机械阻力	质量	达标	机械阻抗	机械导纳
	F	v	u	r	m	s	Z_m	Y_m

质量 m 和柔量 s 与电气系统的 L 、 C 相同，是作为运动能量或位置能量积累能量的要素，摩擦阻抗 r 与电气阻抗 R 相同，是消耗能量的要素。

引导以使用压电陶瓷元件

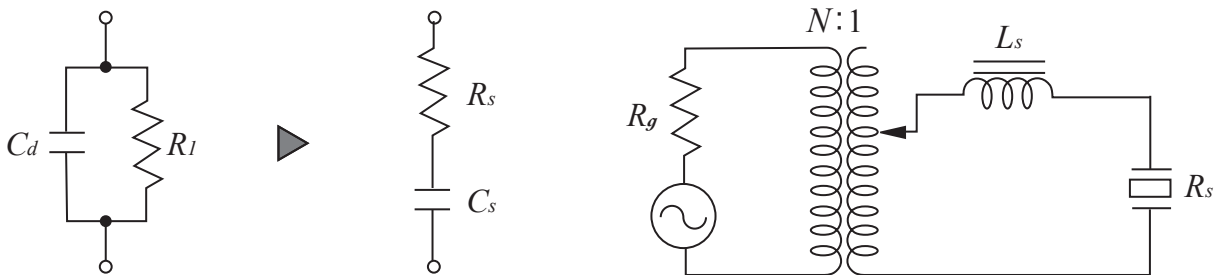
■ 阻抗匹配

压电陶瓷元件在谐振点会有电容性阻抗，如果电力由振荡器提供时，压电陶瓷元件不能被有效驱动。为获得有效的电力供应，必须以与压电陶瓷元件的电容性电抗相同模数的诱导电抗来抵销压电陶瓷元件的电抗，必须以并联或串联的方式压电陶瓷元件置于振荡回路中。



振动子共振时的矢量图

压电陶瓷元件包含等效电路中的 L_1 、 C_1 、 R_1 、 C_d 。但是由于 C_1 、 C_d 被抵销，仅在并联情况下，等效电路会显示 R_1 和 C_d 。元件的电阻抗 Z 就变为 $1/\omega C_d$ 。如与这个电阻抗 Z 的数值相等，元件的阻抗假设就是 R_1 。此外，如假设元件的输出电阻为 R_g ，使 R_g 与 R_1 相等的最有效驱动是可以实现的。这个简单方法需要调整卷线比为 $N:1$ ，此时 $R_g = N^2 R_1$ 。如果负荷大小发生变化， R_1 值也会改变，因为 R_1 与振荡器的机械负荷相对应。比如同样的水负荷就会随着浸入水的方式和气穴现象的产生发生很大的变化。因为，在接近真实运行条件下实测 R_1 值是非常有必要的。一个并联的等效回路可以转变为有 R_s 、 C_s 的串联的回路，此时，将与 $1/\omega C_d$ 的绝对值同样的扼流圈串联，可以与 C_s 抵销。



$$R_s = \frac{R_l}{1 + (\omega C_d R_l)^2} \quad C_s = \frac{1 + (\omega C_d R_l)^2}{(\omega C_d R_l)^2}$$

振动子系统等价变换

振动子阻抗匹配典型电路

引导以使用压电陶瓷元件

■外部施加力的产出计算方法

外部施加力 F 下产生的电荷 Q 或者电压 V 就是一个电能量从机械能量转化的应用。通用常数比例变化(如压电常数 d_{33} 和 C_d 大小的变化)施加全部外部作用下, 压电陶瓷会对应产生的所有荷电量 Q 。

$$Q = C_d \cdot V = F \cdot d_{33}$$

此时, 输出电压 V 可由压电元件的压电常数 g_{33} 的厚度 t 和断面积 A 的关系表达出来, 具体见下公式。

$$V = \frac{F \cdot d_{33}}{C_d} = \frac{F \cdot g_{33} \cdot t}{A}$$

如果外部施加力 F 是不变, 则荷电量 Q 也是不变。因为一个压电元件荷电量 Q 值与外部施加力 F 是对应的。但是, 因为压电元件(假定是某种电容)的绝缘电阻值是限定的, 实际产生的电量 Q 将被放出, 具体见下表达式。

$$q = Q e^{-t/C_d R} \quad q: \text{实际的表观电荷}$$

因此, 务必知道在应用压电元件于压力感应器等用途时, 是没有静态灵敏度的。外部施加力 F 可以由质量 m 、加速度 α 、振幅 u , 角频率 ω 和交流电来计算出, 具体如下式:

$$F = m \cdot \alpha = m \cdot u \cdot \omega^2 = m \cdot u \cdot (2\pi f)^2$$

引导以使用压电陶瓷元件

■输入电压 V 对电位移量的计算方法

输入电压对变形能量的驱动有很多应用的实例。在电力输入产生机械力应用实例中，有一个可以在交流电和超声装置下运行，也可在直流电或低频交流电下运行。此时，无负荷下的电位移 u 和产生力 F 变为下列的关系，具体见以下的关系式：

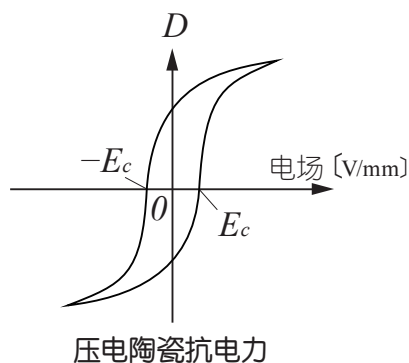
$$u = V \cdot d_{33} \quad V: \text{输入电压、} d_{33}: \text{压电常数}$$

$$F = \frac{u}{S_n} \quad S_n, S_{33}^E: \text{达标}$$

$$S_n = S_{33}^E \cdot \frac{t}{A} \quad t, A: \text{厚度、面积}$$

■抗电力 (抗电场·抗电压)

用高直流电对压电元件进行极化处理，沿着内部自极化方向给定方向，使其发生剩余极化现象，从而得到压电性能。施加与极化方向相反的电压，剩余极化为零时的电场就是抗电力 E_c 。

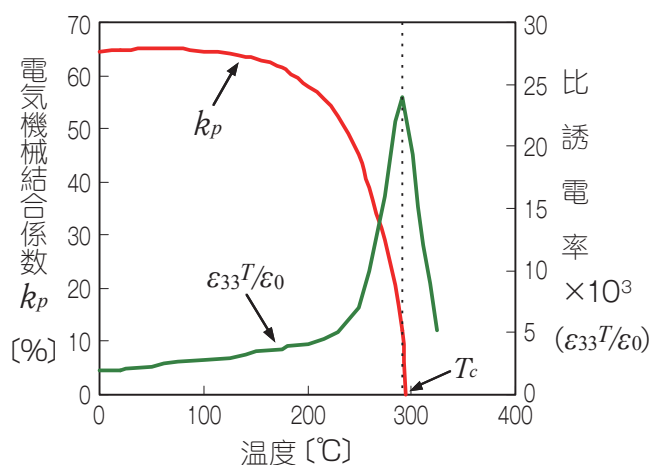


抗电力 E_c 值因压电元件的材料而异，实际使用时，在加强剩余极化的方向，即压电元件的正显示侧施加正电压时，不会发生任何问题，但在正显示侧施加负的高电压时，就需要特别注意。由于剩余极化的消失特性是电压、时间和温度等的函数，因此会根据当时的条件而变化，而对于压电元件的电极之间的厚度，则以几十至几百 V/mm 的电场为限。

引导以使用压电陶瓷元件

■最高使用温度

在一个较低的温度范围内，极化后的压电元件的特性是安全的，不会发生明显变化。但在一个较高的温度范围，其工作温度范围是有限的，这主要是因为晶轴有一个结晶变态点(居里点) T_c 。由于介电常数会无限增加，晶体在居里点变得极不稳定，晶体结构产生相变。由于此时自极化和剩余极化消失，压电现象也将消失。由于剩余极化现象会一直保持消失状态，当温度降至居里点以下时，虽然自极化从压电损失中恢复，但压电性能不能恢复。由于剩余极化消失程度取决于时间，温度，材料，因此不能一概而论。1/2 到 1/3 的居里点温度一般作为连续稳定使用的标准工作温度。



压电陶瓷的高温特性(C-6系列)

■常温时的物理参数

密度	(ρ)	$7.3\sim 7.7\times 10^3$ [kg/m ²]
线性膨胀率	(α)	$5\sim 10\times 10^{-6}$ [1/°C]
比热	(C)	500~700 [J/kg·°C]
导热系数	(k)	1~1.5 [W/m·°C]
电阻率		$10^{10}\sim 10^{11}$ [$\Omega\cdot m$]
抗压强度		$5\sim 7\times 10^8$ [N/m ²]
抗拉强度		$0.6\sim 1\times 10^8$ [N/m ²]
抗折强度		$0.6\sim 1\times 10^8$ [N/m ²]
维氏硬度	(HV)	350~450
纵波声速	(v)	2800~3600 [m/s]

PZT(Pb(Zr·Ti)O₃)的常温物理常数

左表表示压电陶瓷PZT在常温下的一般性物理常数。这些数值将随温度和形状变化而变化，因此详细数据请参照其它文献等。

引导以使用压电陶瓷元件

■实现注意事项

安装压电陶瓷的元件时需要注意电极的处理。

大多数电极是高温烧结的银电极和化学镀金的镍电极。

银电极膜压 $8\mu\text{m}$ 、贴紧强度 $20\text{N}/\text{mm}^2$ 、约相当于3~5B的铅笔硬度，镍电极膜压 $3\mu\text{m}$ 、贴紧强度 $10\text{N}/\text{mm}^2$ 、约相当于3H的铅笔硬度，对实际使用没有妨碍，但因焊接方法、胶粘方法及化学状态，可能发生强度劣化和表面变质，因此需要注意。

●电极的焊接方法

例如，使用 Alunit LFM48 焊锡，建议焊枪尖端温度在 270°C 以下，将焊点控制在最小限度，3秒钟以内短时间作业。

●胶粘方法

将胶粘面进行脱脂处理，涂抹适量的环氧树脂系粘合剂，温度在 80°C 左右以下，边压接边使其凝固。

加热~冷却时会带电，因此尺寸大的元件建议使电极间短路。

●耐化学性和电极的耐环境性

银和镍会与酸、硫化物、卤化物产生化合反应，因此需要注意化学状态。如下表所示。

状 态	银 电 极	镍 电 极
在 空 气 中	即使在氧气中加热也不会氧化。在臭氧中会变成黑色的过氧化银 Ag_2O_2 。	不易被空气、湿气氧化。
酸 性 溶 液	溶于硫酸、热浓硫酸，会变成 AgNO_3 、 Ag_2SO_4 。	溶于硫酸、硝酸等，变成 NiSO_4 、 $\text{Ni}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ 。
碱 性 溶 液	银不溶于碱性溶液，但会侵蚀电极所含的玻璃质，发生银膜剥离。	无影响。
硫 化 物	遇硫磺、硫化氢会变成黑色的 Ag_2S 。	化合反应后变成 NiS 。
卤 化 物	化合反应后变成 AgCl 、 AgBr 、 AgI 等。	化合反应后变成 NiCl_2 等。
其 他	在高湿度环境下直流电场长时间加压会发生银迁移（银结晶成长短路现象）。建议进行防湿处理。	在高湿度环境下使用时，最好进行防湿处理。
保 存 方 法	最好避免高温多湿环境，在密封状态下保存。请不要与橡皮圈和尿烷泡沫等包装在一起。	最好避免高温多湿环境，在密封状态下保存。

引导以使用压电陶瓷元件

■使用注意事项

- 产品的规格会随着产品的改进而变化而且不会事先通知。请在订货前确认产品的最新规格。
- 本目录描述了产品的特性和质量保证，在确保使用该产品前需要您做出实际的评估和确认。
- 目录中的产品仅作一般性描述。如果将产品直接用于人体生命相关或很高要求的场合，请事先加以验证。
- 当第三方知识产权拥有者使用公司的产品所造成的伤害，本公司不承担连带责任。
- 不正确的使用方法可能导致人身伤害或火灾等事故，这与产品的质量和可靠性无关。如果对产品的使用方法有不清楚的地方请和本公司联系。
- 對於那些對應的管制物品按照外匯及外國貿易法的規定，您必鬚根據出口的情況下，法律的出口許可證。
- 未经许可，任何人不得对本目录的内容进行复制或转载。
- 本公司在产品的生产过程中没有使用破坏臭氧层的物质（ODS）。