

第 2 章

智能手机的元器件

本章主要介绍智能手机的元器件，包括电子电路通用元器件电阻、电容、电感、二极管、三极管、场效应管，手机专用器件时钟晶体、ESD防护器件、EMI防护元件、麦克风（MIC）、受话器和扬声器以及集成电路等。识别这些元器件并掌握其工作原理，是学习手机原理图识图和故障维修的基础。

第 1 节 智能手机基本元件

电阻、电容、电感是电子产品中最基本、最常用的电子元器件，也是智能手机主板的重要组成部分，只有掌握它们的工作原理才能更好地学习手机维修技术。

2.1.1 电阻

电阻器在手机维修中一般称为电阻，智能手机主板上使用的电阻主要是贴片电阻，贴片电阻（SMD Resistor）是金属玻璃釉电阻器中的一种，是将金属粉和玻璃釉粉混合，采用丝网印刷法印在基板上制成的电阻器，它具有耐潮湿、耐高温、温度系数小等特点。

1. 电阻的外形结构

电阻是手机中应用最广泛的元器件之一，在手机中几乎所有的电路都有电阻存在，电阻的阻值有些标注在电阻的表面，有些不标注；未标注阻值的电阻需要查阅手机电路原理图或通过测量才能获得其具体阻值。

贴片电阻的表面为黑色，底部为白色，精密电阻表面也有其他的颜色；贴片电阻的外形呈矩形薄片状，引脚在元器件的两端。贴片电阻外形结构如图 2-1 所示。

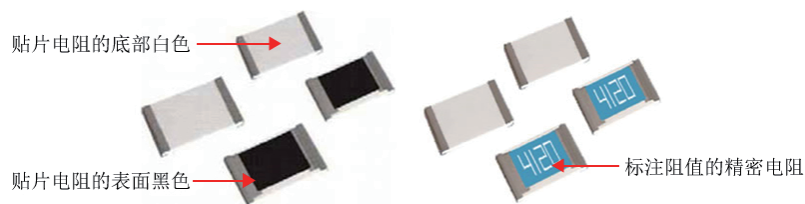


图 2-1 贴片电阻的外形结构

2. 电阻的电路符号

在手机电路原理图中，各种电子元件都有它们特定的表达方式，即元器件电路符号。电阻的电路符号通常如图 2-2 所示。



图 2-2 电阻的电路符号

左边是欧美标准中电阻的符号，右边是国标中电阻的符号。注意，左边电阻符号不要与电感符号相混淆。

3. 电阻的工作原理

在生活中，为了拦住河流，人们会在河道中建一道拦河坝，这样在大旱之年可以拦住水流，大涝之年可以放开水闸不至于漫堤。电阻的作用与拦河坝类似。

在物理学中，用电阻来表示导体对电流阻碍作用的大小。导体的电阻越大，表示导体对电流的阻碍作用越大，和河道中拦河坝一样，修建的越高对河流的阻力越大。不同的导体，电阻也不同，电阻是导体本身的一种特性。电阻的主要物理特性是变电能为热能，是一个耗能元件，电流经过它就会产生热能。当流经它的电流过大时，它会发热直至烧坏。

对信号来说，交流与直流信号都可以通过电阻，但会有一定的衰减。换句话说，电阻对交流信号和直流信号的阻碍作用是一样的。这样也方便分析交直流电路中电阻的作用。

(1) 欧姆定律

导体的电阻是它本身的一种性质，其大小取决于导体的长度、横截面积、材料和温度，即使它两端没有电压，没有电流通过，它的阻值也是一个定值。这个定值在一般情况下可以看作是不变的，对于光敏电阻和热敏电阻来说，电阻值是不定的。对于一般的导体来讲，还存在超导的现象，这些都会影响电阻的阻值。

在同一电路中，导体中的电流跟导体两端的电压成正比，跟导体的电阻值成反比，这就是欧姆定律，基本公式是 $I=U/R$ 。

欧姆定律由乔治·西蒙·欧姆提出，为了纪念他对电磁学的贡献，物理学界将电阻的单位命名为欧姆，以符号 Ω 表示。

(2) 电阻的串并联

① 电阻的串联

两个电阻首尾相接中间没有分支，就是电阻的串联。在串联电阻电路中，经过每个电阻的电流一样，但每个电阻两端的电压不同。

电阻的串联电路如图 2-3 所示。

电阻串联后的总电阻增大（AB 间的电阻）， $R_{\text{总}}=R_1+R_2$ 。

在串联电路中，流经 R_1 的电流 I_1 等于流经 R_2 的电流 I_2 ，等于总电流 $I_{\text{总}}$ 。

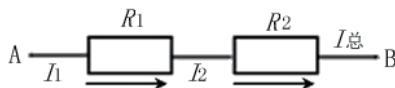


图 2-3 电阻串联

②电阻的并联

若两个或几个电阻的连接方式是首首相连、尾尾相连，则为电阻的并联。在并联电阻电路中，每个电阻两端的电压一样，但流过每个电阻的电流一般不同。

电阻并联如图 2-4 所示。

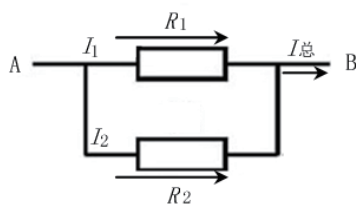


图 2-4 电阻的并联

并联电阻的总电阻会减小（AB的电阻）， $1/R_{\text{总}} = 1/R_1 + 1/R_2$ 。

在并联电路中，流经 R_1 的电流 I_1 和流经 R_2 的电流 I_2 之和等于总电流 $I_{\text{总}}$ 。

③电阻的混联

在实际电路中，电阻的并联与串联有时是同时存在的，如图 2-5 所示电阻的串并联关系是： R_2 和 R_3 并联，并联后再与 R_1 、 R_4 串联。

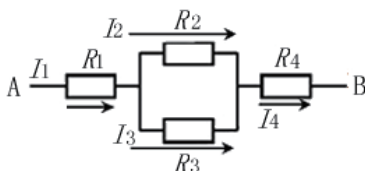


图 2-5 电阻混联

流经 R_1 的电流 I_1 等于流经 R_4 的电流 I_4 ，也等于流经 R_2 的电流 I_2 与流经 R_3 的电流 I_3 之和。

4. 电阻单位及标注方法

(1) 电阻单位

电阻的单位是欧姆，简称欧，用希腊字母“ Ω ”表示。常用的还有 $k\Omega$ （千欧）、 $M\Omega$ （兆欧）。其换算关系是： $1M\Omega=1000k\Omega$ ， $1k\Omega=1000\Omega$ 。

(2) 电阻阻值标注方法

①数字索位标称法

数字索位标称法就是在电阻体上用三位数字来标识其阻值。其中第一位和第二位为有效数字，第三位表示在有效数字后面0的个数，这一位不会出现字母。

例如：472 表示 4700Ω ；151 表示 150Ω 。

如果是小数，则用R表示小数点；用m代表单位为毫欧姆（ $m\Omega$ ）的电阻。

例如:2R4 表示 2.4Ω ;R15 表示 0.15Ω ;1R00 表示 1.00Ω ;R200 表示 0.200Ω ;R005 表示 $5.00m\Omega$;6m80 表示 $6.80m\Omega$ 。

数字索位标称法的电阻示例如图 2-6 所示。



图 2-6 电阻的数字索位标称法

②E96 数字代码与字母混合标称法

数字代码与字母混合标称法也是采用三位标明电阻阻值，即“两位数字加一位字母”，其中两位数字表示的是E96 系列电阻代码，第三位是用字母代码表示的倍率。

例如：51D表示“ 332×10^3 ， $332k\Omega$ ”；39Y表示“ 249×10^{-2} ， 2.49Ω ”。

E96 系列电阻代码表如图 2-7 所示。

代码	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
阻值	100	102	105	107	110	113	115	118	121	124	127	130	133	137	140	143	147
代码	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34
阻值	150	154	158	162	165	169	174	178	182	187	191	196	200	205	210	215	221
代码	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51
阻值	226	232	237	243	249	255	261	267	274	280	287	294	301	309	316	324	332
代码	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68
阻值	340	348	357	365	374	383	392	402	412	422	432	442	453	464	475	487	499
代码	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85
阻值	511	523	536	549	562	576	590	604	619	634	649	665	681	698	715	732	750
代码	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96						
阻值	768	787	806	825	845	866	887	909	931	953	976						

图 2-7 E96 系列电阻代码表

倍率代码表如图 2-8 所示。

A	B	C	D	E	F	G	H	X	Y	Z
10^0	10^1	10^2	10^3	10^4	10^5	10^6	10^7	10^{-1}	10^{-2}	10^{-3}

图 2-8 倍率代码表

色环标称法在手机电阻中应用较少，在此不再赘述。

5. 电阻在电路中的作用

电阻在电路中的作用非常大，其作用一般有 4 种，即限流、分压、分流、转化为内能。此外，还可以与电容器一起组成滤波器及延时电路，在电源电路或控制电路中用作取样电阻，在半导体电路中用作偏置电阻来确定电路的工作点等。电阻在电路中的应用非常多，也非常重要。

(1) 限流作用

为使通过电路的电流不超过额定值或实际工作需要的规定值，以保证电路的正常工作，通常在电路中串联一个电阻，如图 2-9 中所示的 R_1 。

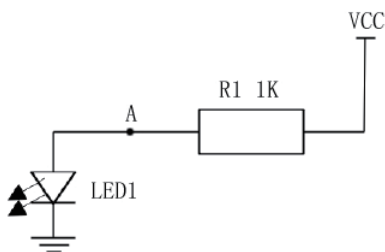


图 2-9 限流电阻

在电源与电路的A之间接入电阻时，A点的电压就比电源电压低（VCC的电压），可以为发光二极管提供合适的电压。电阻 R_1 同时限制该条支路的电流，保护发光二极管不会因为电流太大而烧坏，这种电阻在电路中一般称为降压电阻或者是限流电阻。

（2）分压作用

一般手机电路都有额定电压值，如图 2-10 所示，若电源 U_1 比额定电压高，则不可把电路直接接在电源上。可以用两只电阻构成分压电路，将 U_1 降低为 U_2 ， U_2 符合电阻分压公式 $U_2=U_1 \cdot R_2 / (R_1 + R_2)$ ，电路便能在额定电压下工作，该电路中的 R_1 和 R_2 一般称为分压电阻。

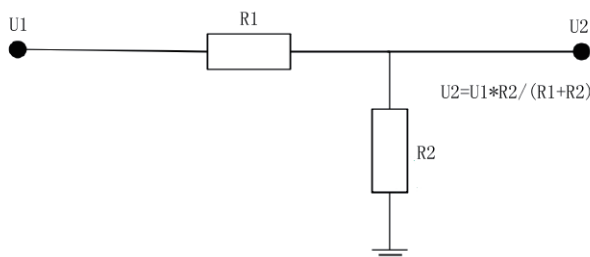


图 2-10 分压电阻

（3）分流作用

当在电路的干路上需同时接入几个工作电流不同的电路时，可以在额定电流较小的电路两端并联接入一个电阻，起到分流作用。如图 2-11 所示中的 R_1 或 R_2 ，电路满足电流分流公式： $I=I_1+I_2$ ，这种电阻在电路中一般称为分流电阻。

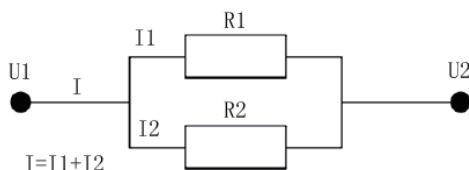


图 2-11 分流电阻

（4）将电能转化为内能的作用

电流通过电阻时，会把电能全部（或部分）转化为内能。用来把电能转化为内能的用电器叫电热器，如电烙铁、电炉、电饭煲、取暖器等。

2.1.2 电容

电容是电容器的简称。电容是一种储能元件，是电子线路中不可缺少的重要元件。电容器是由两个相互靠近的金属电极板，中间夹绝缘介质构成的。在电容的两个电极上加电压时，电容器就能储存电能。手机中的电容一般为多层陶瓷电容和贴片钽电解电容，其中多层陶瓷电容在智能手机中最为常见。

电容广泛用于高低频电路和电源电路中，可起到耦合、滤波、旁路、谐振、升压、定时等作用。

1. 电容的外形结构

在智能手机中电容的数量仅次于电阻，贴片多层陶瓷电容是手机中最常见的一种电容，是手机中使用量最多的一种。

(1) 贴片多层陶瓷电容

贴片多层陶瓷电容表面颜色从黄色到浅灰色都有，且上下两面的颜色一致；贴片多层陶瓷电容一般没有黑色，而且看起来比电阻更“胖”一点；贴片多层陶瓷电容两端的颜色是银白色，是电容的焊点，如图 2-12 所示。

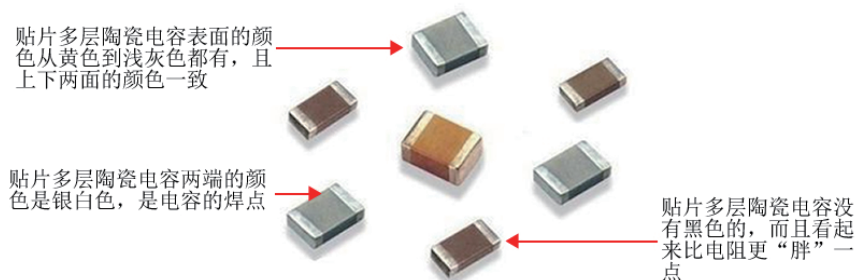


图 2-12 贴片多层陶瓷电容外形特征

贴片多层陶瓷电容是无极性电容。

(2) 贴片钽电解电容

贴片钽电解电容表面颜色一般为黑色或黄色，也有其他颜色，但是不多见。贴片钽电解电容的表面标注了电容容量和电容的耐压值，如图 2-13 所示。

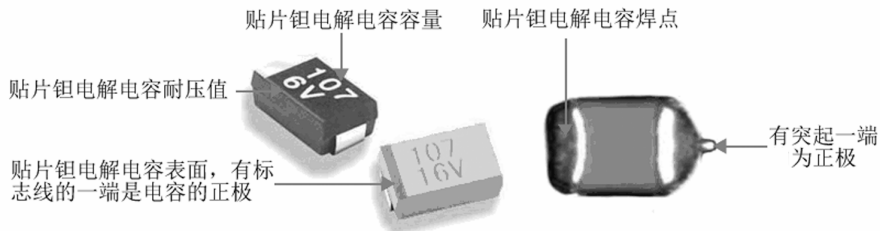


图 2-13 贴片钽电解电容外形特征

贴片钽电解电容是有极性电容，在贴片钽电解电容的表面，有标志线或凸起的一端是正极。

2. 电容的电路符号

在手机电路原理图中，无极性电容符号一般是两条平行线，然后在这两条平行线上引出两条引线来，无极性电容没有极性区分。

无极性电容的符号如图 2-14 所示。

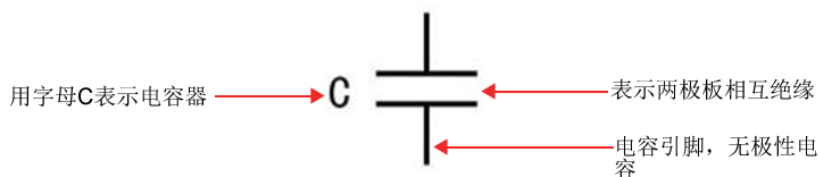


图 2-14 无极性电容电路符号

在有极性电容中，有“+”符号的一端为电容的正极，在国标旧电容符号中，电容正极用一个矩形表示。

有极性电容的符号如图 2-15 所示。

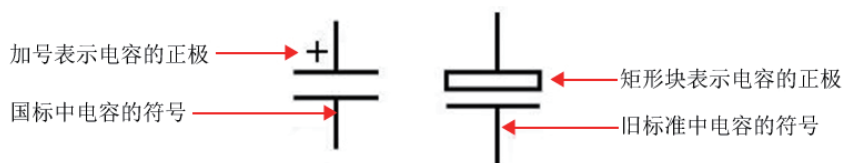


图 2-15 有极性电容电路符号

3. 电容的工作原理

电容器是一种能储存电荷的容器，它是由两片靠得较近的金属片，中间再隔以绝缘物质而组成。

可以将电容理解为一个蓄水池，蓄水池越大，蓄水池装满水后水量越大，其标称电压就相当于蓄水的水位对底部的压强。电容器容量的大小，就相当于蓄水的容积。水源流入时大时小（波动），不会影响用水的稳定性。如果用水量大于水源，蓄水池没有水了，其流量和水源流入一样（波动）。所以电容起到“蓄水”的作用。

（1）电容的串并联

在电路中，电容也有串联与并联两种接入方式，两个电容首尾相接中间无分支就是串联，两个电容首首连接、尾尾连接则是并联，如图 2-16 所示。



图 2-16 电容的串并联

但电容的串/并联与电阻的串/并联不同，电容的串联使电容的总电容减少，并联使总电容增大。

电容器并联时，相当于电极的面积加大，电容量也就加大了。并联时的总容量为各电容量之和，即 $C_{\#}=C_1+C_2+C_3+\cdots$ 。电容并联时，耐压值取决于耐压最小的电容，这个有点类似于木桶原理。一个木桶能盛多少水，不取决于最长的那块木板，而是由最短的木板决定。

电容串联时，相当于电容极板距离变长，电容容量减少，串联时电容总容量为各电容倒数之和。 $C_{\#}=1/C_1+1/C_2+1/C_3+\cdots$ 。电容串联时，耐压值相当于所有电容耐压值之和。

(2) 电容的特性

① “隔直通交”特性

电容的电路符号很形象，是两块相互绝缘的平行板，这也表明了它的基本功能：隔直通交，电容的一切功能都源自于此。

对于恒定直流电来说，理想的电容就像一个断开的开关，表现为开路状态。而对于交流电来讲，理想电容则为一个闭合开关，表现为通路状态，如图 2-17 所示。

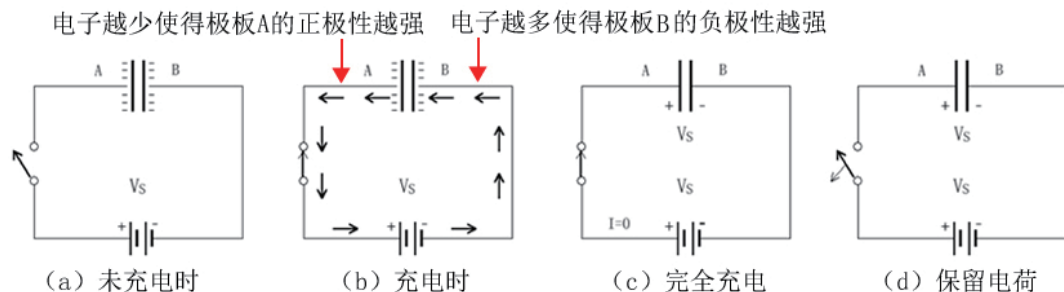


图 2-17 电容的隔直通交特性

图 2-17 详细描述了直流电受电容阻挡的原因。事实上，电容并非立刻将直流电阻隔，当电路刚接通时，电路中会产生一个极大的电流值，然后随着电容不断充电，极板电压逐渐增强，电路中的电流不断减小，最终电容电压和电源电压相等且反向，从而达到和电源平衡的状态。

这里很关键的一点需要明确，无论是直流还是交流环境，理想的电容内部是不会有电荷（电流）通过的。只是两极板电荷量对比发生了变化，从而产生了电场。

② 储能特性

把电容的两个电极分别接在直流稳压电源的正、负极上，过一会儿即使把电源断开，两个引脚间仍然会有残留电压（可以用万用表观察），可以说电容储存了电荷。电容极板间建立起电压，积蓄起电能，这个过程称为电容的充电。充好电的电容两端有一定的电压，电容储存的电荷向电路释放的过程，称为电容的放电。

电容的储能特性如图 2-18 所示。

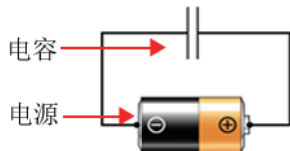


图 2-18 电容的储能特性

③ 容抗特性

交流电能够通过电容，但是将电容接入交流电路中时，由于电容不断充电、放电，所以电容

极板上所带电荷对定向移动的电荷具有阻碍作用，物理学上把这种阻碍作用称为容抗，用字母 X_c 表示。电容对交流电的阻碍作用叫作容抗。

电容量大，交流电容易通过电容，说明电容量大，电容的阻碍作用小，信号通过电容后，其幅度会发生变化，即电容输出端的信号幅度比输入端的小。

交流电的频率高，交流电也容易通过电容，说明频率高，电容的阻碍作用也小。电容的容抗随信号频率的升高而减小，随信号频率的降低而增大，对于交流信号，频率高的信号比频率低的信号更容易通过电容到其他电路中去。

4. 电容单位及标注方法

(1) 电容的单位

电容的符号是C，在国际单位制里，电容的单位是法拉，简称法，符号是F，常用的电容单位有毫法（mF）、微法（ μF ）、纳法（nF）和皮法（pF）（皮法又称微微法）等。

换算关系是：1 法拉（F）= 1000 毫法（mF）= 1000000 微法（ μF ），1 微法（ μF ）= 1000 纳法（nF）= 1000000 皮法（pF）。

(2) 电容容量标注方法

① 直标法

用数字和单位符号直接标识。如 $10\mu\text{F}$ 表示 10 微法，有些电容用 μ 表示小数点，如 $\mu 47$ 表示 0.47 微法。

例如：100，表示 $100\mu\text{F}$ ，如图 2-19 所示。

② 文字符号法

用数字和文字符号有规律地组合来标识容量。如 p10 表示 0.1pF ，1p0 表示 1pF ，6p8 表示 6.8pF ， $2\mu 2$ 表示 $2.2\mu\text{F}$ 。

③ 数学计数法

用三位数字标识，前两位表示有效数字，第三位表示在有效数字后面 0 的个数。例如：107，表示量为： $10 \times 10000000\text{pF} = 100\mu\text{F}$ ；如果标值 473，即为 $47 \times 1000\text{pF} = 0.047\mu\text{F}$ （后面的 7 和 3，都表示 10 的多少次方）。又如： $332 = 33 \times 100\text{pF} = 3300\text{pF}$ 。

数学计数法如图 2-20 所示。

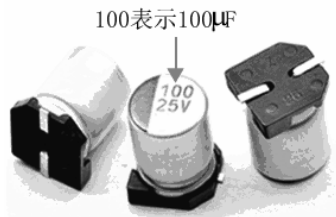


图 2-19 直标法

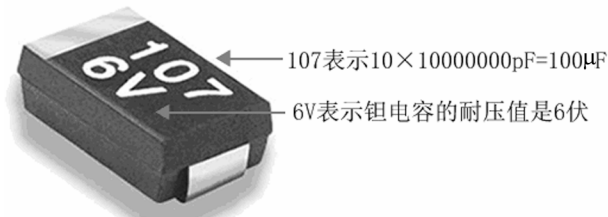


图 2-20 数学计数法

5. 电容在电路中的作用

电容在手机电路中具有隔直通交、通高频阻低频的特性，广泛应用于耦合、隔直、旁路、滤波、调谐、能量转换和自动控制等电路。

(1) 滤波电容

它接在直流电压的正负极之间，以滤除直流电源中不需要的交流成分，使直流电平滑，通常采用大容量的电解电容，也可以在电路中同时并接其他类型的小容量电容以滤除高频交流电。

在手机中，滤波电容主要应用于电源管理电路、供电电路等，如图 2-21 所示。

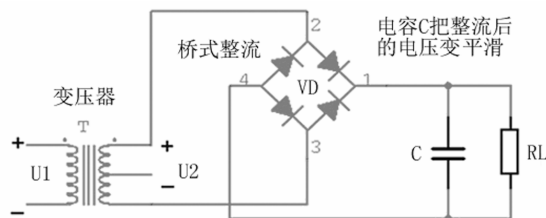


图 2-21 滤波电容

(2) 退耦电容

所谓退耦，即防止前后电路电流大小变化时，在供电电路中所形成的电流冲动对电路产生影响。换言之，退耦电路能够有效地消除电路之间的寄生耦合。

退耦电容并接于放大电路的电源正负极之间，防止由电源内阻形成的正反馈而引起的寄生振荡。退耦电容的取值通常为 $47\mu\text{F} \sim 200\mu\text{F}$ ，退耦压差越大，电容的取值应越大。所谓退耦压差指前后电路网络工作电压之差。

在手机的功放电路中，供电脚都接有大容量的退耦滤波电容，这个电容的作用是用来稳定功放的供电电压，可以大大减小负载等的波动对电源的影响，这就是退耦作用。退耦电容多采用贴片钽电容和贴片铝电解电容。

(3) 旁路电容

旁路，是指给信号中的某些有害部分提供一条低阻抗的通路。在交直流信号电路中，将电容并接在电阻两端或由电路的某点跨接到公共电位上，为交流信号或脉冲信号设置一条通路，以避免交流信号成分因通过电阻产生压降衰减。

电源中高频干扰是典型的无用成分，需要将其在进入下一级电路之前滤除掉，一般我们采用电容达到该目的。用于该目的电容就是旁路电容，它利用了电容的频率阻抗特性（理想电容的频率特性随频率的升高，阻抗降低），可以看出旁路电容主要针对高频干扰（高是相对的，一般认为 20MHz 以上为高频干扰， 20MHz 以下为低频纹波）。

旁路电容和退耦电容的区别是：旁路是把输入信号中的干扰作为滤除对象，而去耦是把输出信号的干扰作为滤除对象，防止干扰信号返回电源。

退耦电容和旁路电容的应用如图 2-22 所示。

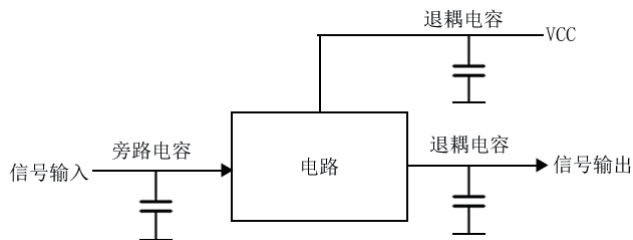


图 2-22 旁路电容和退耦电容在电路中的应用

(4) 耦合电容

在交流信号处理电路中，耦合电容用于连接信号源和信号处理电路或者作为两个放大器的级间连接，用于隔断直流，让交流信号或脉冲信号通过，使前后级放大电路的直流工作点互不影响。

耦合电容的应用如图 2-23 所示。



图 2-23 耦合电容

在手机中，以上 4 种用途是最常见的，除此之外，电容在电路中还有调谐、补偿、中和、稳频、反馈等作用。

2.1.3 电感

当线圈通过电流后，在线圈中会形成磁场感应，感应磁场又会产生感应电流来抵制通过线圈中的电流，这种电流与线圈的相互作用关系称为电的感抗，也就是电感。利用此性质制成的电感元件叫电感器，简称电感。

手机中的电感主要应用在电源管理电路和升压电路中，在射频处理器电路、音频处理器电路中也有应用。手机中的电感主要是贴片电感，也称为片式电感器。

1. 电感的外形结构

电感是用绝缘导线（例如漆包线、纱包线等）绕制而成的电磁感应元件，是智能手机中常用的元件之一。

在手机中，电感的外形特征不同，差别也较大，手机中的电感一般有两个引脚，贴片电感没有正负极性之分，可以互换使用。

(1) 绕线电感

绕线电感是用漆包线绕在骨架上做成的，根据不同的骨架材料、不同的匝数而有不同的电感量及Q值。它有 4 种外形，如图 2-24 所示。

塑封绕线电感内部有骨架绕线，外部有磁性材料屏蔽，经塑料模压封装而成，其主要应用在手机低频电路。塑封绕线电感的主要外部特征是：外部有塑封黑色材料，内部用线圈绕制而成，两端有引线。

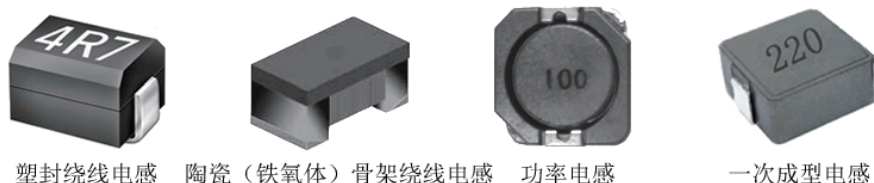


图 2-24 绕线电感的外形结构

陶瓷（铁氧体）骨架绕线电感是用长方形骨架绕线而成（骨架有陶瓷骨架或铁氧体骨架）的电感。陶瓷（铁氧体）骨架绕线电感在低频和高频电路中都有应用，主要特征是外部或侧面能看到绕制的线圈，两端无引线。

功率电感是由方形或圆形工字形铁氧体为骨架，采用不同直径的漆包线绕制而成。主要用于电源、DC/DC电路中，用做储能器件或大电流LC滤波器件（降低噪声电压输出）。功率电感的主要外形特征是：线圈绕在一个圆形的或方形的磁芯上，屏蔽式电感的颜色一般为黑色，是铁氧体磁芯的颜色，从外部看不到线圈。有些大功率贴片电感是非屏蔽式，从侧面可以看到线圈。

一体成型电感是由数控自动绕线机绕制好的空心线圈，一体成型电感需要外接电极并植入特定的模具，填入磁性粉末，高压压制成型，高温固化后加上防氧化涂层而成的一体化结构的电感器。在高频和高温环境下仍然保持优良的温升电流及饱和电流特性。主要应用在电源、CPU电路等低电压、大电流的环境中，目前在高端手机中应用较多，是功率电感的替代产品。

（2）叠层电感

顾名思义，“叠层电感”就是说有很多层叠在一起，这些“层”一般是铁氧体层或者陶瓷层。叠层电感是用磁性材料采用多层生产技术制成的无绕线电感。它采用铁氧体膏浆（或陶瓷层）及导电膏浆交替层叠并采用烧结工艺形成整体单片结构，有封闭的磁回路，所以有磁屏蔽作用。叠层电感具有高的可靠性，由于有良好的磁屏蔽，又无电感器之间的交叉耦合，所以可实现高密度安装。

铁氧体叠层电感和陶瓷叠层电感在外形上无太大区别，主要应用于电源管理电路。常见的叠层电感如图 2-25 所示。

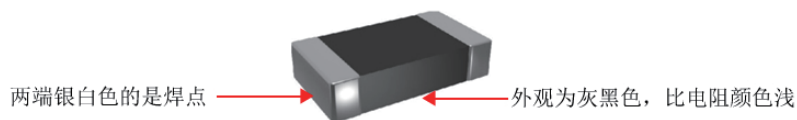
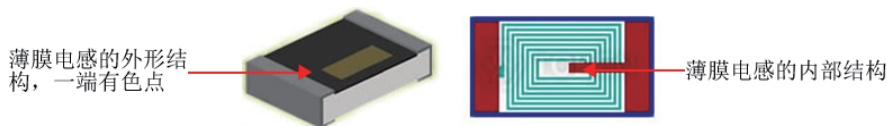


图 2-25 叠层电感

（3）薄膜电感

薄膜电感是在陶瓷基片上用精密薄膜采用多层工艺技术制成，具有高精度且寄生电容极小等特点，如图 2-26 所示。



薄膜电感主要应用在手机射频处理器电路中，贴片电感的主要外形特征是两端银白色是焊点，中间白色，一端有色点，部分中间是绿色，部分中间是蓝色，它们的外形类似电容，但仔细观察还是有明显的区别。

（4）印刷电感（微带线）

手机中的印刷电感（微带线），它不是一个独立的元件，而是在制作电路板时，利用高频信号的特性，运用弯曲的导线（铜箔）之间的距离形成一个电感或互感耦合器，起到滤波、耦合的作用。

印刷电感（微带线）一般有两个方面的作用：一是它能有效地传输高频信号；二是与其他固体器件，如电感、电容等构成一个匹配网络，使信号输出端与负载很好地匹配。印刷电感如图 2-27 所示。

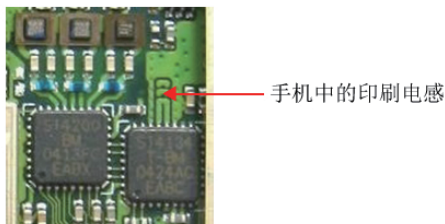


图 2-27 印刷电感

2. 电感的电路符号

在电路原理图中，电感符号是一个用导线绕成的线圈，注意与电阻符号的区别。图 2-28 是手机电路图中常见电感的电路符号。

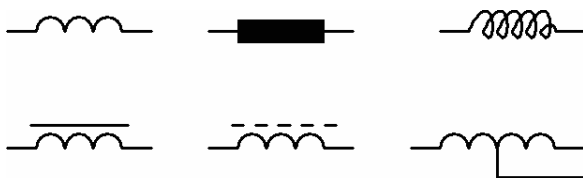


图 2-28 电感的电路符号

3. 电感的工作原理与特性

（1）电感的工作原理

当一根导线中有恒定电流流过时，总会在导线四周激起恒定的磁场，当把这根导线弯曲成为螺旋线圈时，根据电磁感应定律，就能断定螺旋线圈中发生了磁场。将这个螺旋线圈放在某个电流回路中，当这个回路中的直流电变化时（如从小到大或许相反），电感中的磁场也会发生变化，变化的磁场会带来变化的“新电流”，由电磁感应定律可知，这个“新电流”一定和原来的直流电方向相反，从而在短时间内对直流电的变化构成一定的抵抗力。只是一旦变化完成，电流稳定起来，磁场也不再变化，便不再有任何障碍发生。电生磁、磁生电，两者相辅相成。

如果觉得上面一段描绘十分难懂、拗口，不妨从另一个角度来说明。假定有一条人工渠，渠边有一个大大的水车，水车很重，需要较大流量的渠水才能推进它。首先，渠道中没有水的时候，水车是不会转动的。接下来开启闸门放水，在放水最开始的时候，水流会从小到大，那么水车是怎样变化的呢？

水车会随着水的到来而快速旋转和水同步？显然不是，由于惯性和阻力的存在，水车会迟缓地开始转动，过一段时间后会和水流构成稳定的均衡。在水车“起步”、开始迟缓转动的进程中，实际上也是水车在阻拦水流向前，抵抗水流变化的进程。在水流流动、水车转速稳固后，水和水车构成一种调和共生的关系，就互不干预了。

那么假如关掉闸门呢？关掉闸门后，水会逐步减少，流速也会下降。在水的流速下降的时候，水车并不能快速和水流建立新的均衡，它还会依据之前的速率持续旋转一段时间，并带动水流在一

定时间内维持之前的速率，接着水车会随着水流速度降低、水流减少而渐渐中止转动。恰似电感电路中电流的变化，使得电感就像是电路中的一个“整理、梳理者”。

（2）电感的特性

①电感的“通直隔交”特性

从上面的过程来看，完全可以将电感器的作用和水车等同起来，它们的核心作用都是阻止电流（水流）的变化。比如电流由小到大，水流由大到小的过程中，无论是电感器还是水车都存在一种“滞后”作用，它们能在一定时间内抵御这种变化。从另一个角度来说，正因为电感和水车拥有储存一定能量（惯性）的作用，它们才能在变化来临时试图维持原状，但需要说明的是，当能量耗尽后，则只能随波逐流了。

说到这里，电感的作用就非常清晰了——那就是“通直流，阻交流”。为什么这样说呢？如果以水车作为例子的话，直流就是恒定的一个方向的水流，水车虽然在水流开闸后的一小段时间内对水流有阻止，但一旦水车和水流达到平衡，则无论是水车还是水流都会按照规律运动，不再会有阻止发生，这就是“通直流”。作为“阻交流”，试想，如果渠道中的水流一会儿向左、一会儿向右，水车在其中也无法正常转动，最后的结果是水渠无法形成正常的运转，这就是电感的“阻交流”作用。

在直流电路中，当电感中通过直流电时，由于电感本身电阻很小，几乎可以忽略不计，因此电感对直流电相当于短路。

在交流电路中，由于电压、电流随时间变化，电感元件中的磁场不断变化，引起感应电动势，电感对交流电起着阻碍的作用，阻碍交流电的是电感的感抗，感抗远大于电感器的直流电阻，所以电感有通直流阻交流的特性，这和电容通交流阻直流的特性正好相反。

②电感的感抗特性

交流电也可以通过线圈，但是线圈的电感对交流电有阻碍作用，这个阻碍叫作感抗。交流电越难以通过线圈，说明电感量越大，电感的阻碍作用就越大；交流电的频率高，也难以通过线圈，电感的阻碍作用也大。实验证明，感抗和电感成正比，和频率也成正比。

当交流电通过电感线圈的电路时，电路中会产生自感电动势，阻碍电流的改变，形成了感抗。自感系数越大则自感电动势也越大，感抗也就越大。如果交流电频率大则电流的变化率也大，那么自感电动势也必然大，所以感抗也随交流电的频率增大而增大。交流电中的感抗和交流电的频率、电感线圈的自感系数成正比。在实际应用中，电感起着“阻交、通直”的作用，因而在交流电路中常应用感抗的特性来通低频及直流电，阻止高频交流电。

4. 电感的单位及标注方法

（1）电感的单位

电感量也称自感系数，是表示电感器产生自感应能力的一个物理量。电感器电感量的大小，主要取决于线圈的圈数（匝数）、绕制方式、有无磁心及磁心的材料等。通常，线圈圈数越多、绕制的线圈越密集，电感量就越大。有磁心的线圈比无磁心的线圈电感量大；磁心导磁率越大的线圈，电感量也越大。

电感量的基本单位是亨利（简称亨），用字母H表示。常用的单位还有毫亨（mH）、微亨（ μH ）、纳亨（nH）和皮亨（pH），由于H太大，通常用毫亨（mH）和微亨（ μH ）表示。

其换算关系是：1H（亨）=1000mH（毫亨），1mH（毫亨）=1000 μH （微亨），1 μH （微亨）

=1000nH（纳亨），1nH（纳亨）=1000pH（皮亨）。

（2）电感量的标注方法

贴片电感采用以下三种标注方法：

- 部分nH（纳亨）级电感一般直接标识，用N或R表示小数点，如10N、47N分别表示10nH、47nH，4N7或4R7均表示4.7nH。
- 三位数字与一位字母。前两位数字代表电感量的有效数字，第三位数字表示有效数字后面0的个数，单位是nH，不足10nH的用N或R表示小数点，第四位字母代表误差。
- 有些功率电感上直接标注数字，例如220，表示220 μ H。

电感的标识方法如图2-29所示。

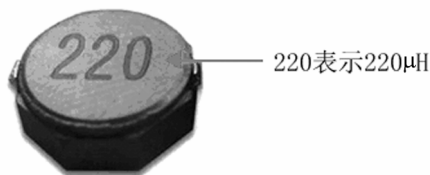


图 2-29 电感的标识方法

5. 电感在电路中的作用

电感在手机电路中主要有滤波、振荡、抗干扰、升压等作用，一般要和其他元件配合使用。

（1）滤波电感

电感在电路中最常见的作用就是与电容一起，组成LC滤波电路。电容具有“阻直流，通交流”的本领，而电感则有“通直流，阻交流”的功能。如果把伴有许多干扰信号的直流电通过LC滤波电路，那么，交流干扰信号将被电容变成热能消耗掉；变得比较纯净的直流电流通过电感时，其中的交流干扰信号也被变成磁感和热能，频率较高的最容易被电感阻抗，这就可以抑制较高频率的干扰信号了。

（2）振荡电感

整流是把交流电变成直流电的过程，那么振荡就是把直流电变成交流电的过程，我们把完成这一过程的电路叫作振荡电路。

振荡电感主要是用于高频电路，与电容及三极管或集成电路组成一个谐振回路，即电路的固有振荡频率 f_0 与非交流信号的频率 f 相等，起到一个选频的作用，谐振时电路的感抗与容抗等值又反向，回路总电流的感抗最小，电流量最大（指 $f=f_0$ 的交流信号），LC（电感、电容）谐振电路具有选择频率的作用，能将某一频率 f 的交流信号选择出来或直接通过电路振荡，将一个低频信号与振荡信号互相调制信号，然后通过高频放大器将调制的信号发射出去。

（3）抗干扰电感

抗干扰电感主要是抑制电磁波干扰，主要应用于电源电路及信号处理，如磁环电感、共模电感等。

在声音信号输出电路输入处接入共模电感或磁环电感后再接听筒或扬声器，磁环在不同的频率下有不同的阻抗特性。在低频时阻抗很小，当信号频率升高后磁环的阻抗急剧变大。信号频率越

高，越容易辐射出去，有的信号线是没有屏蔽层的，这些信号线就成了很好的天线，接收周围环境中各种杂乱的高频信号，而这些信号叠加在传输的信号上，就会改变传输的有用信号，严重干扰手机的正常工作。在磁环作用下，既能使正常有用的信号顺利地通过，又能很好地抑制高频干扰信号，而且成本低廉。

(4) 升压电感

升压电感主要应用在使用电感的DC/DC（就是指直流转直流电源）升压电路中，在升压电路中，升压电感是将电能和磁场能相互转换的能量转换器件，当MOS（绝缘栅型场效应管）开关管闭合后，电感将电能转换为磁场能储存起来，当MOS断开后电感将储存的磁场能转换为电场能，且这个能量在输入电源电压叠加后通过二极管和电容的滤波后得到平滑的直流电压给负载，由于这个电压是输入电源电压和电感的磁场能转换为电能叠加后形成的，所以输出的电压高于输入电压，即升压过程的完成。

第2节 智能手机半导体器件

手机的半导体器件主要包括二极管、三极管、场效应管、LDO器件、集成电路等，随着智能手机集成化程度的提高，在手机中已很少看到二极管、三极管的踪迹了，在集成电路的外围部分，只有少数的场效应管。

2.2.1 半导体

第一次听说半导体这个词，不是在学无线电的时候，而是小时候在农村老家见到的半导体收音机上，也叫“戏匣子”，那时候收音机的节目不像现在，除了戏曲、评书、新闻之外，好像别的节目很少。之所以叫半导体收音机，是因为里面使用了半导体二极管和半导体三极管。

1. 什么是半导体

半导体是介于绝缘体和导体之间的物质，在特定的温度环境中，电阻率随着状态的变化而变化，具体来说，有锗、硅、钾、非晶体、砷等物质。这些物质碰到“电流、光照、加热”等状态变化时，电阻值会发生变化。

2. N型半导体和P型半导体

半导体分为N型半导体和P型半导体，如图2-30所示。

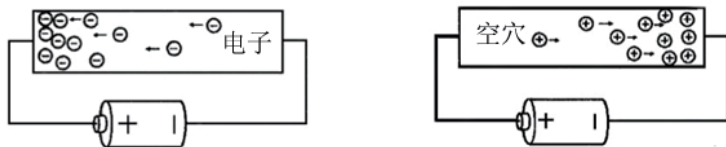


图 2-30 N型半导体与P型半导体

N型半导体是靠带负电的电子导电，因为带负电（Negative），所以叫作N型半导体。N型半导

体中原本均匀分布的电子，因为带负电，受到正电极的吸引而移动，聚集在正电极侧。

P型半导体是靠带正电的空穴导电，因为带正电（Positive），所以叫作P型半导体。P型半导体中原本均匀分布的空穴，因为带正电，受到负电极的吸引而移动，聚集在负电极侧。到了最后，电流将无法流动。

2.2.2 二极管

二极管又叫晶体二极管，是诞生最早的半导体器件之一，二极管的用途非常广泛，几乎所有的电子电路中都能用到它。

1. 二极管的外形特征

在手机中，二极管有多种外形，按照制造材料划分可分为塑封二极管、玻封二极管、金属封装二极管。由于玻封二极管、金属封装二极管体积大，在智能手机及便携设备中很少使用，在智能手机中使用最多的是塑封二极管。

（1）二极管的极性

二极管有极性，分为正极和负极。在二极管的一端有明显的特征，有的是竖线，有的是圆环，还有的是色点。一般来说，有标识的一端就是二极管的负极，如图 2-31 所示。



图 2-31 二极管的极性

（2）二极管的引脚

在手机中，贴片二极管分为有引脚封装和无引脚封装两种。有引脚封装的贴片二极管有三种结构，第一种是引脚向外延伸，第二种是引脚向下凹在底部，第三种是轴向型引脚，如图 2-32 所示。



图 2-32 二极管的引脚外形

内凹形引脚的贴片二极管一定要与贴片钽电容的外形区分开，它们的外形和颜色非常接近。无引脚封装的贴片二极管两端无引脚，外形类似贴片电阻，一端有明显的色点。

2. 二极管的电路符号

二极管的电路符号如图 2-33 所示，二极管的两个电极分别是正极和负极，有些资料中也叫作阳极和阴极。二极管符号中间的三角箭头表示只能单向导通，中间的竖线表示二极管反向是截止。



图 2-33 二极管的电路符号

二极管的电路符号比较容易理解，二极管的电路符号如果铺在马路上，就是直行的交通标志，如图 2-34 所示。

这个直行标志表示只能往箭头指示的方向行驶，不能反方向行驶，就和二极管的特性一样，正向导通，反向截止。

二极管按照功能划分又分为普通二极管、稳压二极管、发光二极管、光电二极管、变容二极管等，常见二极管的符号如图 2-35 所示。



图 2-34 直行交通标志

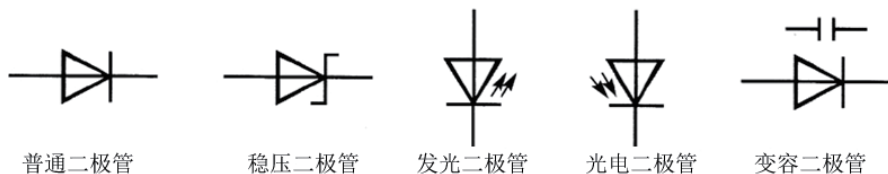


图 2-35 常见二极管的符号

3. 二极管的工作原理和特性

(1) 二极管的工作原理

在讲二极管的工作原理之前，先了解一个交通规则，就是单行线规则，城市的道路中有好多单行线，单行线就是只能向一个方向行驶。二极管也和单行线一样，只能正向导通。

二极管是把一个N型半导体和一个P型半导体接合而成的，在其界面两侧形成一个结合区，这个结合区叫PN结，如图 2-36 所示。

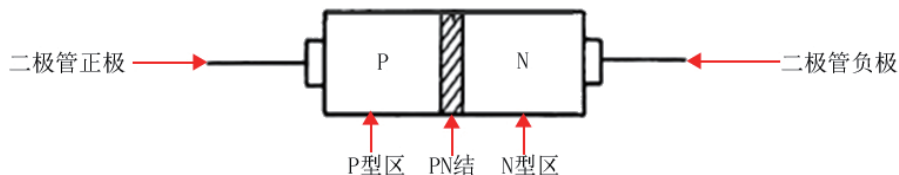


图 2-36 二极管的结构

P型半导体的空穴被电池负极吸引而移动，聚集在电池负极的附近；N型半导体的电子被电池

正极吸引而移动，聚集在电池正极的附近。结果，中间导电的电子和空穴越来越少，最后没有了，这时电流也无法流动。

P型半导体的空穴被电池正极排斥，往P型与N型半导体的结合面移动，因为N型半导体是和电池负极相连的，所以空穴穿过结合面继续往电池的负极移动；同样的道理，N型半导体的电子往电池的正极移动，这样就形成了电流，如图2-37所示。

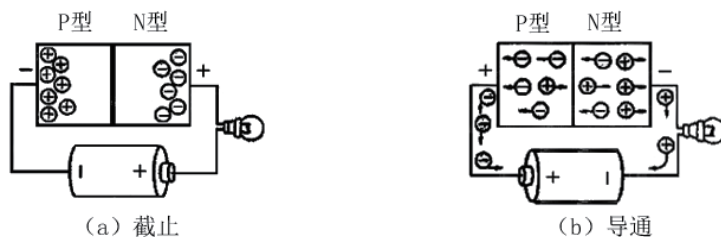


图 2-37 二极管的工作原理

(2) 二极管的特性

① 正向特性

在电子电路中，将二极管正极接在高电位端，负极接在低电位端，二极管就会导通，这种连接方式，称为正向偏置，如图2-38所示。

必须说明，当加在二极管两端的正向电压很小时，二极管仍然不能导通，流过二极管的正向电流十分微弱。只有当正向电压达到某一数值（这一数值称为“门槛电压”，又称“死区电压”，锗管约为0.1V，硅管约为0.5V）以后，二极管才能真正导通。导通后二极管两端的电压基本上保持不变（锗管约为0.3V，硅管约为0.7V），该电压称为二极管的“正向压降”。

② 反向特性

在电子电路中，二极管的正极接在低电位端，负极接在高电位端，此时二极管中几乎没有电流流过，二极管处于截止状态，这种连接方式，称为反向偏置，如图2-39所示。

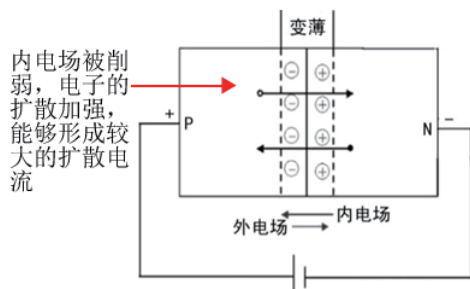


图 2-38 PN 结正向偏置

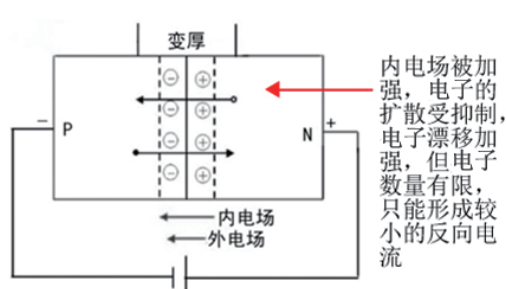


图 2-39 PN 结反向偏置

二极管处于反向偏置时，仍然会有微弱的反向电流流过二极管，称为漏电流。当二极管两端的反向电压增大到某一数值时，反向电流会急剧增大，二极管将失去单方向导电特性，这种状态称为二极管的击穿。

4. 二极管极性的判别

(1) 观察法

小功率二极管的N极（负极），在二极管外表上大多采用一种色圈标示，有些二极管也用二极管专用符号来表示P极（正极）或N极（负极），也有采用符号标志P、N来确定二极管极性的。

(2) 测量法

用数字万用表测二极管时，首先将万用表档位调到二极管档，红表笔和黑表笔分别接二极管的两个电极，然后再调换表笔测量，这时候万用表就会显示一个很大的数值和较小的数值，其中数值大的那一次，红表笔接的是二极管的正极。

5. 二极管在电路中的作用

(1) 整流二极管

整流二极管利用PN结的单向导电特性，把交流电变成脉动直流电。整流二极管漏电流较大，多数采用面接触型塑料封装的二极管。

整流二极管主要应用在手机的充电电路中。在智能手机中使用的整流二极管主要是肖特基二极管，肖特基二极管是以贵金属（金、银、铝、铂等）为正极，以N型半导体为负极，利用二者在接触面上形成的势垒具有整流特性而制成的金属-半导体器件。

(2) 稳压二极管

稳压二极管是一种由硅材料制成的面接触型晶体二极管，简称稳压管。此二极管是一种直到临界反向击穿电压前都具有很高电阻的半导体器件。稳压管在反向击穿时，在一定的电流范围内（或者说在一定功率损耗范围内），两端电压几乎不变，表现出稳压特性。在智能手机中，稳压二极管主要应用在稳压及保护电路中。

(3) 变容二极管

变容二极管又称“可变电抗二极管”，是一种利用PN结电容（势垒电容，势垒区电荷的变化有点类似于电容的充放电，所以叫势垒电容）与其反向偏置电压的依赖关系及原理制成的二极管，所用材料多为硅或砷化镓单晶。

变容二极管工作在反向偏置状态，反偏电压愈大，则结电容愈小。由于其结电容随反向电压变化，因此可取代可变电容，用作调谐回路、振荡电路、锁相环路，如电视机高频头的频道转换和调谐电路、手机的VCO电路等。

(4) 发光二极管

发光二极管（Light Emitting Diode, LED）是半导体二极管中的一种，是一种将电能转换为光能的半导体器件，第一个商用二极管产生于1960年。

发光二极管是由镓（Ga）与砷（As）和磷（P）的化合物制成的二极管，当电子与空穴复合时能辐射出可见光，所以可以用来制成发光二极管。

发光二极管与普通二极管一样是由一个PN结组成，也具有单向导电性。当给发光二极管加上正向电压后，从P区注入到N区的空穴和由N区注入到P区的电子，在PN结附近数微米内分别与N区的电子和P区的空穴复合，产生自发辐射的荧光。电子和空穴复合时释放出的能量越多，则发出的光的波长越短。

发光二极管在智能手机及仪器中用作指示灯、组成文字或数字显示。磷砷化镓二极管发红光，磷化镓二极管发绿光，碳化硅二极管发黄光。红色发光二极管、绿色发光二极管导通电压在 2V 左右，白色发光二极管或蓝色发光二极管导通电压在 3.3V 左右。

常见的发光二极管如图 2-40 所示。

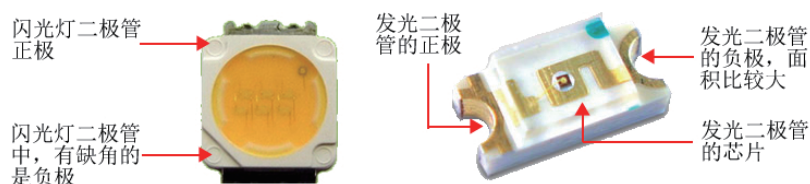


图 2-40 发光二极管

在发光二极管中，负极一般会有明显的标识，一般为支架大的一端为负极，因为负极托着发光二极管的芯片。在闪光灯二极管中，有缺角的是负极。

2.2.3 三极管

三极管又称晶体三极管，是一种具有三个有效电极，能起放大、振荡或开关等作用的半导体器件，是在手机和电子产品中应用非常广泛的半导体器件之一。

1. 三极管的外形特征

(1) 普通三极管

普通三极管的特征：外观为黑色，一般有 3~4 个引脚。贴片三极管的封装形式一般为 SOT (Small Out-Line Transistor，小外形晶体管)。

三极管在半导体锗或硅的单晶上制作两个能相互影响的 PN 结，组成一个 PNP (或 NPN) 结构，分别称为 PNP 型三极管或 NPN 型三极管。中间的 N 区 (或 P 区) 叫基区，两边的区域叫发射区和集电区，这三部分各有一条电极引线，分别叫基极 B、发射极 E 和集电极 C。

将三极管平放在桌面上，焊盘向下，单独引脚的一边在上方，摆放方式如图 2-41 所示，上边只有一个引脚的是集电极 (C)，下边左侧的引脚是基极 (B)，右侧的引脚是发射极 (E)。

(2) 功率三极管

贴片功率三极管一般有 4 个引脚，如图 2-41、图 2-42 所示，上面最宽的那一个引脚是集电极，下面引脚从左到右依次是基极 (B)、集电极 (C)、发射极 (E)。两个集电极是连在一起的，上面的集电极其实是散热片。

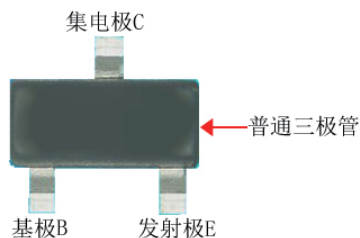


图 2-41 普通三极管的外形结构

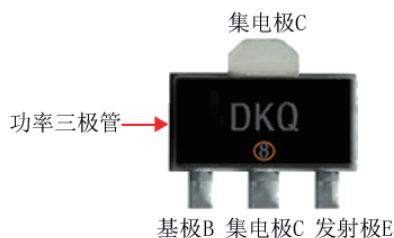


图 2-42 功率三极管的外形结构

(3) 复合三极管

在手机中，为了缩小主板面积，经常采用贴片复合三极管，复合三极管有 6 个引脚的，也有 5 个引脚的，封装在一起的三极管有些是单纯的封装在一起，有些是两个三极管之间有一定的逻辑关系，如构成电子开关等，如图 2-43 所示。

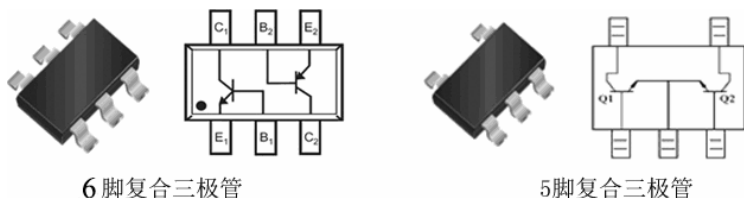


图 2-43 复合三极管

(4) 数字三极管

数字三极管是将一个或两个电阻与三极管连接后封装在一起构成的，其作用是作为反相器或倒相器，广泛应用于智能手机、平板电视及显示器等电子产品中。

数字三极管通常应用在数字电路中，其外形特征与普通三极管一样，区别是其内部增加了两个电阻。有时候也称为带阻三极管，如图 2-44 所示。

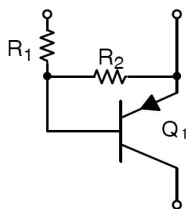


图 2-44 数字三极管内部结构

数字三极管常作开关使用，例如厂家技术手册中标注 $4.7\text{k}\Omega+10\text{k}\Omega$ ，表示 R_1 是 $4.7\text{k}\Omega$ ， R_2 是 $10\text{k}\Omega$ ，如果只含一个电阻，要标出是 R_1 还是 R_2 。

2. 三极管的电路符号

在手机电路原理图中，三极管的符号用 V 表示。在三极管的符号中，位于竖线垂直方向的是基极（B），有箭头的是发射极（E），在发射极对面没有箭头的是集电极（C）。

三极管的电路符号如图 2-45 所示。

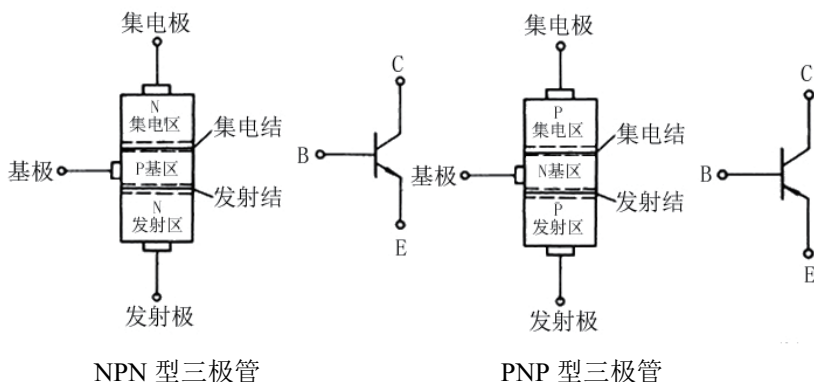


图 2-45 三极管电路符号

3. 三极管的工作原理

三极管按材料分有两种：锗管和硅管，而每一种又有 NPN 和 PNP 两种结构形式。NPN 型三极管是把 P 型半导体夹在两块 N 型半导体中间组成的；而 PNP 则是把 N 型半导体夹在两块 P 型半导体中间

组成的。但使用最多的是硅NPN和PNP两种三极管，两者除了电源极性不同外，其工作原理相同。

(1) NPN 型三极管的原理

如图 2-46 所示，水源通过水管连接到水龙头，通过旋转水龙头的阀门可以调节从水管流向水龙头的水的流量。在NPN型三极管的电路图中，电源、集电极、基极、发射极就类似水源、水管、阀门、水龙头，用于调节电流的流量。也就是说，通过调节基极电压，就可以调节从集电极流向发射极的电流。

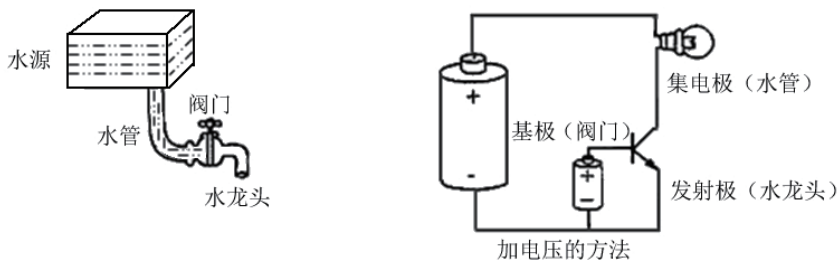


图 2-46 NPN 型三极管的原理

加电压的方法：如果水管里的水比水龙头低，水就流不出来。同样，如果集电极电压比发射极电压低，就不可能有电流流动。而且，基极电压也必须比发射极电压要高。

基极电压比发射极电压高，就有电流流动。利用很小的基极电压来控制很大的集电极电流，这个作用叫作“三极管的放大作用”。

(2) PNP 型三极管的原理

与NPN型三极管电路相同，在PNP型三极管的电路中，也是通过对基极电压的调节来调节电流的流量。但是，集电极和发射极的作用刚好与NPN型三极管相反。电流不是从集电极流向发射极，而是从发射极流向集电极，如图 2-47 所示。

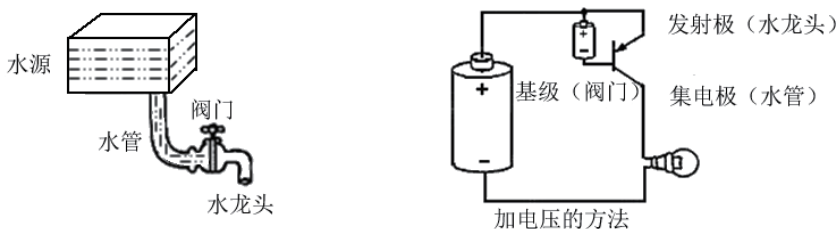


图 2-47 PNP 型三极管的原理

加电压的方法：对于PNP型三极管，发射极电压应该比集电极的电压高，而且基极电压比发射极电压低。

三极管是一种电流放大器件，但在实际使用中常常利用三极管的电流放大作用，通过电阻转变为电压放大作用。使用三极管作放大用途时，必须在它的各电极上加上适当极性的电压（称为“偏置电压”），简称“偏压”，对应电流称为偏流，其组成电路叫偏置电路。

4. 三极管在电路中的作用

(1) 三极管的放大作用

当三极管被用作放大器使用时，其中两个电极用作信号（待放大信号）的输入端子，两个电极作为信号（放大后的信号）的输出端子。那么，三极管三个电极中，必须有一个电极既是信号的输入端子，又同时是信号的输出端子，这个电极称为输入信号和输出信号的公共电极。

按三极管公共电极的不同选择，三极管放大电路有三种：共基极电路、共射极电路和共集电极电路。

(2) 三极管的开关作用

当三极管用在开关电路的时候，它工作于截止区和饱和区，相当于电路的切断和导通。由于它具有完成断路和接通的作用，被广泛应用于各种开关电路中，如常用的开关电源电路、驱动电路、高频振荡电路、模数转换电路、脉冲电路及输出电路等。

在开关电路中，三极管的作用相当于手动的开关，当三极管饱和的时候，相当于开关闭合，负载开始工作或输出信号。当三极管截止的时候，相当于开关断开，负载停止工作或不再输出信号。

(3) 三极管的混频作用

三极管的混频电路是利用了三极管的非线性特性的电路，三极管的基极同时输入了载频和调制信号。如果三极管是理想的线性元件，那就不能起到混频的作用，不会产生新的频率成分，输出的仍是这两个频率。

由于三极管的非线性，产生了载频+调制信号，各次谐波频率经过集电极的谐振回路，从众多频率成分中选取载频、载频调制、载频-调制信号、信号这三个频率，就组成了调幅波。

2.2.4 场效应管

场效应管（Field Effect Transistor，简称FET）是利用电场效应来控制半导体中电流的一种半导体器件，故因此而得名。它属于电压控制型半导体器件，具有输入电阻高（ $10^8\Omega \sim 10^9\Omega$ ）、噪声小、功耗低、动态范围大、易于集成、没有二次击穿现象、安全工作区域宽等优点，在手机中，已经逐步替代三极管。

1. 场效应管的外形特征

(1) 场效应管的外形特征

场效应管和三极管一样也有三个电极，分别叫作栅极（G）、漏极（D）和源极（S），相当于三极管的基极（B）、集电极（C）和发射极（E）。

在手机主板上，场效应管的颜色为黑色，大部分为三个引脚，也有些场效应管有3~6个引脚。场效应管的外形如图2-48所示。

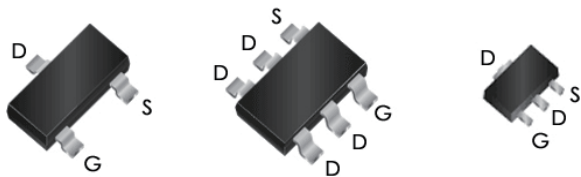


图 2-48 场效应管的外形

场效应管的外形与三极管的外形基本一致，很难从外形上进行区分，又加上手机贴片元件上很少标注型号，所以给初学者带来很大的困难。初学者可以通过测量或者对比原理图符号进行区分。

(2) 场效应管的电路符号

场效应管分为绝缘栅型场效应管（MOS管）和结型场效应管，按照沟道材料又分为N沟道和P沟道。结型场效应管均为耗尽型，绝缘栅型场效应管既有耗尽型的，也有增强型的，而绝缘栅型场效应管又分为N沟道耗尽型和增强型、P沟道耗尽型和增强型四大类。

绝缘栅型场效应管（MOS管）的电路符号如图 2-49 所示。

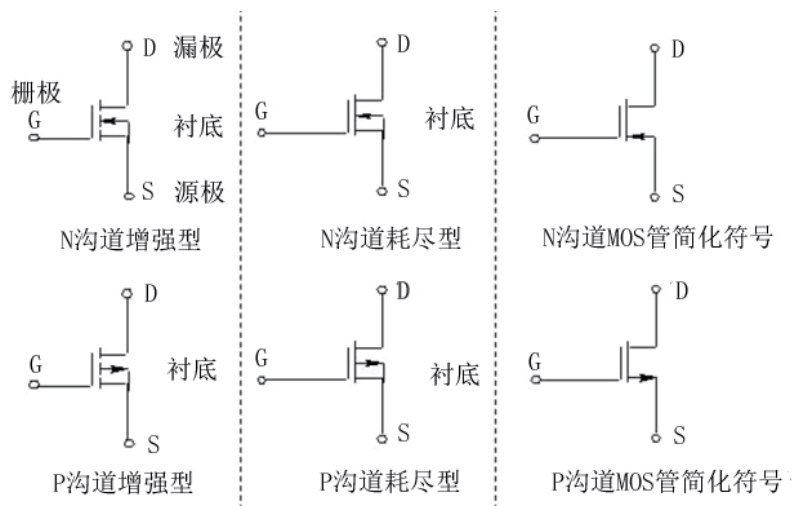


图 2-49 场效应管的电路符号

2. 场效应管的工作原理

场效应管是电压型控制元件，三极管是电流型控制元件，相对三极管来讲，场效应管更省电，随着制造工艺的发展，场效应管在手机中的应用越来越多。

(1) 结型场效应管的工作原理

以N沟道结型场效应管为例，它的结构及符号如图 2-50 所示。这种场效应管在N型硅棒两端引出漏极D和源极S两个电极，又在硅棒的两侧各做一个P区，形成两个PN结；在P区引出电极并连接起来，称为栅极G，这样就构成了N型沟道的场效应管。

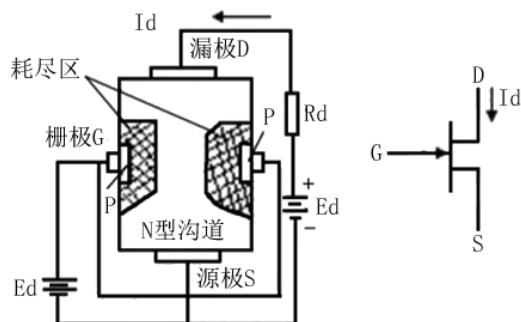


图 2-50 结型场效应管结构及符号

由于PN结中的载流子已经耗尽，故PN结基本上不导电，形成了所谓的耗尽区，从图中可见，当漏极电源电压 E_d 一定时，如果栅极电压越负，PN结交界面所形成的耗尽区就越厚，则漏极、源极之间导电的沟道越窄，漏极电流 I_d 就愈小；反之，栅极电压没有那么负，则沟道变宽， I_d 变大。所以用栅极电压 E_g 可以控制漏极电流 I_d 的变化，也就是说，场效应管是电压控制元件。

(2) 绝缘栅型场效应管的工作原理

以N沟道耗尽型绝缘栅型场效应管为例，绝缘栅型场效应管是由金属、氧化物和半导体所组成，所以又称为金属-氧化物-半导体场效应管，简称MOS场效应管。它的结构、电极及符号如图 2-51 所示，这种场效应管以一块P型薄硅片作为衬底，在它上面扩散两个高杂质的N型区，作为源极S和漏极D。在硅片表面覆盖一层绝缘物，然后再用金属铝引出一个电极G（栅极），由于栅极与其他电极绝缘，所以称为绝缘栅型场效应管。

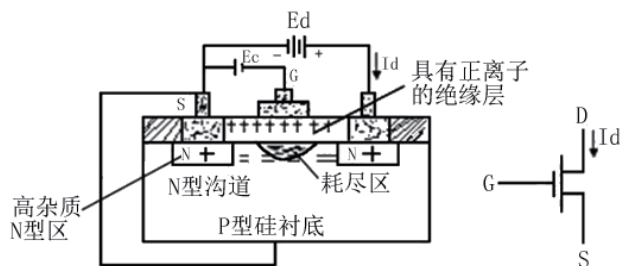


图 2-51 绝缘栅型场效应管的结构及符号

在制造管子时，通过工艺使绝缘层中出现大量正离子，故在交界面的另一侧能感应出较多的负电荷，这些负电荷把高杂质的N区接通，形成了导电沟道，即使在 $V_{GS}=0$ 时也有较大的漏极电流 I_d 。当栅极电压改变时，沟道内被感应的电荷量也会改变，导电沟道的宽窄随之而变，因而漏极电流 I_d 随着栅极电压的变化而变化。

场效应管的工作方式有两种：当栅压为零时有较大漏极电流的称为耗尽型；当栅压为零，漏极电流也为零，必须再加一定的栅压之后才有漏极电流的称为增强型。

在手机中，场效应管主要应用在控制电路中，一般控制负载的工作或信号的输出，由于是电压控制型器件，所有要比三极管省电。

3. 场效应管在电路中的作用

场效应管由于其省电、节能等不可代替的优越性，在手机及便携电子产品中的使用越来越多。

(1) 场效应管的放大作用

场效应管可应用于放大电路，由于场效应管放大器的输入阻抗很高，因此耦合电容可以容量较小，不必使用电解电容器；场效应管很高的输入阻抗非常适合作阻抗变换，常用于多级放大器的输入级作阻抗变换。

在驻极体麦克风中，由于实际电容器的电容量很小，输出的电信号极为微弱，输出阻抗极高，可达数百兆欧以上。因为它不能直接与放大电路相连接，必须连接阻抗变换器，通常用一个场效应管作为阻抗变换和放大作用，如图 2-52 所示。

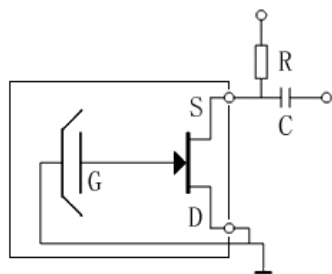


图 2-52 驻极体麦克风电路

(2) 场效应管的开关作用

在手机中，利用场效应管做电子开关，比使用三极管更省电，在充电控制电路、振动马达控制电路、供电控制电路中都有使用。

第3节 智能手机专用元器件

在本节中学习的专用元器件主要有时钟晶体、ESD元件、EMI元件、声电器件等，这些专用元器件用于实现手机的特定功能，保护手机电路以防各种干扰。

2.3.1 时钟晶体

1. 时钟晶体的外形特征

(1) 实时时钟晶体

实时时钟晶体大多在外壳上标注有时钟频率，有的厂家用字母来标示型号和频率。

塑封的时钟晶体有4个引脚，外形为长条形，颜色大部分为黑色或浅黄色、浅紫色等；铁壳的时钟晶体一般为银白色和金色，一般有两个引脚，外壳接地。

实时时钟晶体的外形如图2-53所示。



图 2-53 实时时钟晶体外形

(2) 系统时钟晶体

系统时钟晶体主要应用在手机处理器电路作为系统基准时钟，应用在蓝牙电路作为蓝牙系统基准时钟，应用在NFC电路作为NFC系统基准时钟等。

手机中的系统时钟晶体外观为长方体，顶部为白色，顶部四周为金黄色，底部为陶瓷基片，有4个引脚。

系统时钟晶体的外形如图2-54所示。



图 2-54 系统时钟的晶体外形

2. 时钟晶体的电路符号

当晶体不振动时，可把它看成一个平板电容器（称为静电电容 C ），它的大小与晶片的几何尺寸、电极面积有关，一般约几个PF到几十PF。当晶体振荡时，机械振动的惯性可用电感 L 来等效。一般 L 的值为几十mH到几百mH。晶片的弹性可用电容 C 来等效， C 的值很小，一般只有 $0.0002 \sim 0.1\text{pF}$ 。晶片振动时因摩擦而造成的损耗用 R 来等效，它的数值约为 100Ω 。由于晶片的等效电感很大，而 C 很小， R 也小，因此回路的品质因数 Q 很大，可达 $1000 \sim 10000$ 。加上晶片本身的谐振频率基本上只与晶片的切割方式、几何形状、尺寸有关，而且可以做得精确，因此利用石英谐振器组成的振荡电路可获得很高的频率稳定度。

时钟晶体的符号和等效电路如图 2-55 所示。

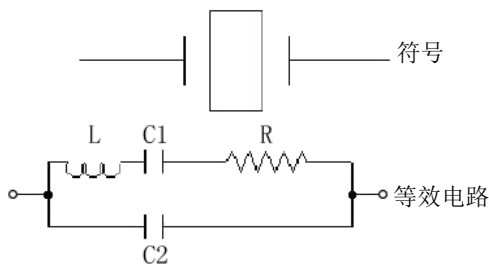


图 2-55 时钟晶体的符号和等效电路

3. 时钟晶体的工作原理

下面以智能手机休眠时钟晶体为例介绍时钟晶体的工作原理，时钟晶体B2200 与C2208、C2209 及集成电路D2200 共同组成了时钟晶体电路。32.768kHz时钟晶体和电源管理芯片内部电路共同产生振荡信号。

智能手机休眠时钟晶体电路如图 2-56 所示。

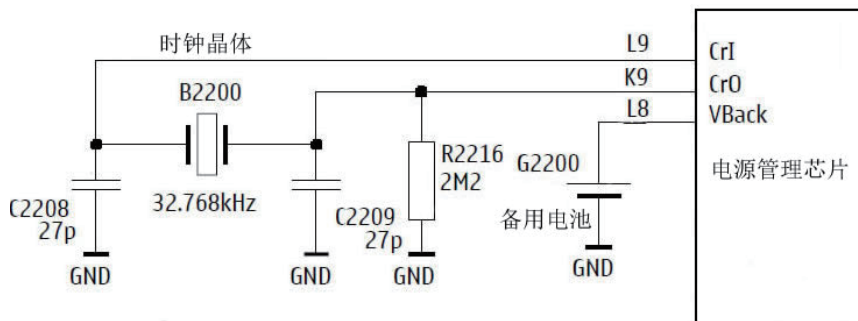


图 2-56 智能手机休眠时钟晶体电路

4. 时钟晶体在电路中的作用

实时时钟在手机中最常见的作用是计时，手机显示的时间日期就是由实时时钟电路负责提供的；在待机状态下，实时时钟还作为应用处理器电路或基带处理器电路休眠时钟使用，实时时钟电路还在继续工作。

系统时钟作为应用处理器电路的主时钟，是应用处理器电路工作的必要条件，开机时有足够的幅度就可以，对频率的准确性要求不高。开机后，系统时钟作为射频处理器电路的基准频率时钟，完成射频系统共用收发本振频率合成、PLL锁相以及倍频等工作。

2.3.2 ESD 防护元件

1. ESD 防护

ESD（Electro-Static Discharge）的意思是“静电释放”，国际上习惯将用于静电防护的器材统称为ESD，中文名称为静电抗器。

静电在日常生活中可以说是无处不在，人的身体上和周围就带有很高的静电电压，可达几千伏甚至几万伏，平时可能体会不到，人走过化纤的地毯时所产生的静电大约是 35000V，翻阅塑料说明书时所产生的静电大约为 7000V，对于一些敏感仪器来讲，这个电压可能会是致命的危害。

静电既能为生活创造便利，例如静电除尘和静电复印机，同时也会给生活带来不便，例如静电对人身和对电子产品的危害。

2. 压敏电阻

压敏电阻（Voltage Dependent Resistor，简称为VDR，即电压敏感电阻）是指在一定电流、电压范围内电阻值随电压而变的电阻器，或者说成“电阻值对电压敏感”的电阻器。压敏电阻器的电阻体材料是半导体，是一种具有半导体稳压管伏安特性的电阻器件，所以它是半导体电阻器的一个品种。

压敏电阻器是兼有过压保护和ESD防护的元件。

（1）压敏电阻的外形

在正常电压条件下，压敏电阻相当于一只小电容器，而当电路出现过电压时，它的内阻急剧下降并迅速导通，其工作电流会增加几个数量级，从而有效地保护了电路中的其他元器件不致过压

而损坏。

手机中压敏电阻的外形有点像电容，但颜色是灰褐色，从颜色来看更像电阻，手机中压敏电阻的外形如图 2-57 所示。

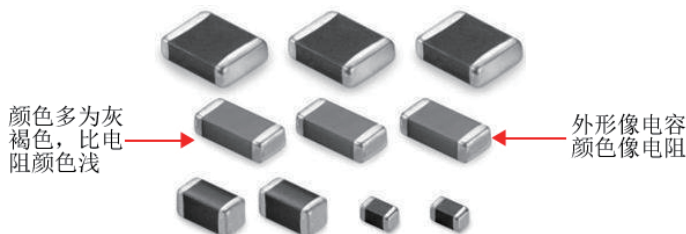


图 2-57 压敏电阻外形

(2) 压敏电阻电路

压敏电阻的最大特点是当加在它上面的电压低于它的阈值时，流过它的电流极小，相当于一只关死的阀门；当电压超过阈值时，流过它的电流激增，相当于阀门打开。利用这一功能可以抑制电路中经常出现的异常过电压，保护电路免受过电压的损害。

电路中的压敏电阻如图 2-58 所示，在电路中 R2106、R2107 是压敏电阻，它的击穿范围是 14V~50V，在正常情况下，R2106、R2107 两个压敏电阻不会对电路产生影响，当有浪涌电压、浪涌电流、尖峰脉冲窜入电路的时候，如果电压超过 14V，R2106、R2107 两个压敏电阻动作，保护音频功率放大器免受浪涌脉冲的损害。

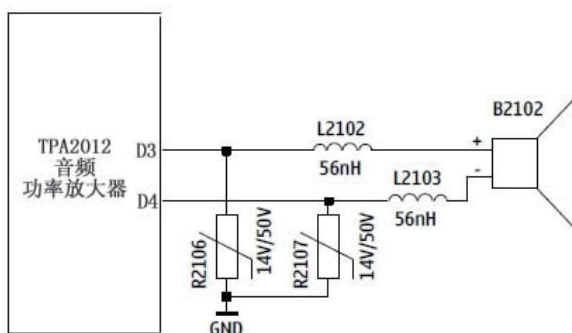


图 2-58 电路中的压敏电阻

3. TVS 管

TVS管 (Transient Voltage Suppressor) 是瞬态抑制二极管的简称，是一种二极管形式的高效能保护器件，利用PN结的反向击穿原理，将静电的高压脉冲导入地，从而保护电器内部对静电敏感的元素。

(1) TVS 管的工作原理

当瞬时电压超过电路正常工作电压后，TVS管便发生雪崩，提供给瞬时电流一个超低电阻通路，其结果是瞬时电流通过二极管被引开，避开被保护器件，并且在电压恢复正常值之前使被保护回路一直保持截止电压。

当瞬时脉冲结束以后，TVS管自动回复到高阻状态，整个回路进入正常电压。TVS管的失效模

式主要是短路，但当通过过电流太大时，也可能造成TVS管被炸裂而开路。

TVS管的工作原理如图 2-59 所示。

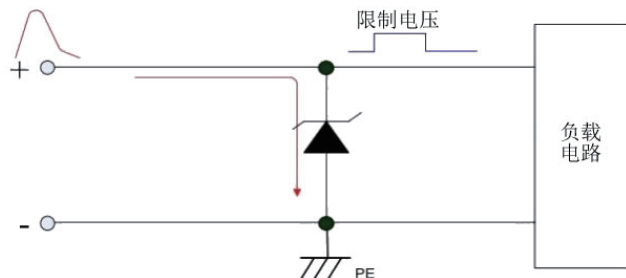


图 2-59 TVS 管的工作原理

(2) TVS 管的电路符号及外形

TVS管有单向与双向之分，单向TVS管的特性与稳压二极管相似，双向TVS管的特性相当于两个稳压二极管反向串联。

TVS管的电路符号如图 2-60 所示。

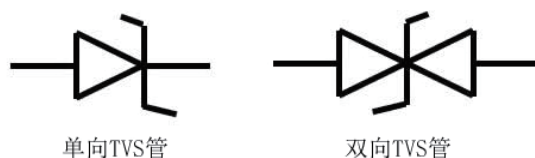


图 2-60 TVS 管电路符号

TVS管的外形看起来与贴片二极管、晶体管完全一样，但是特性和内部结构有明显区别，使用和替换时一定要注意区分。

TVS管的外形如图 2-61 所示。

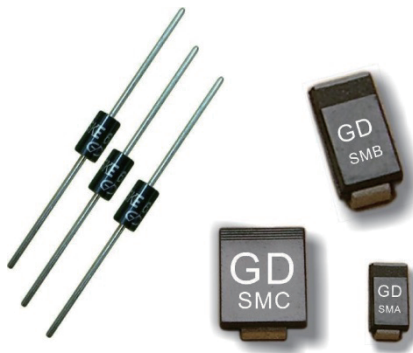


图 2-61 TVS 管外形

(3) TVS 管电路

TVS管电路如图 2-62 所示。在手机电路中，TVS管一般接在电路的输入端，防止浪涌脉冲通过电路窜入到芯片的内部，浪涌脉冲由TVS管D1901 进行箝位，从而保护了手机芯片的安全。

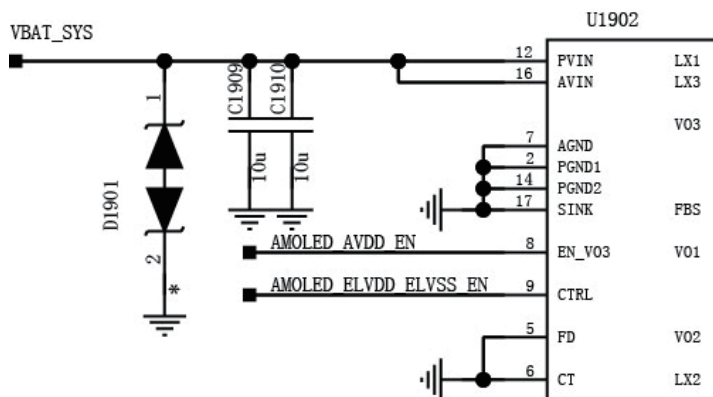


图 2-62 TVS 管电路

4. ESD 元件故障分析

几乎所有智能手机中都采用了ESD元件，以避免浪涌脉冲、静电脉冲对手机芯片造成的损害，ESD元件通常用在充电电路、键盘电路、SIM卡电路等接口电路中。

进水手机ESD元件损坏的较多，故障现象一般为击穿，ESD元件击穿后会对电路功能造成严重影响，在不同的电路中表现的故障不尽相同。例如在SIM卡电路中，可能会造成不识卡故障，所以在维修手机电路时，一定要注意检查电路中的ESD元件。

2.3.3 EMI 防护元件

1. EMI 干扰

EMI（Electromagnetic Interference，电磁干扰）是指电磁波与电子元件作用后产生的干扰现象，有传导干扰和辐射干扰两种。

通常认为电磁干扰传输有两种方式：一种是传导传输方式；另一种是辐射传输方式。从被干扰的敏感器来看，干扰耦合可分为传导耦合和辐射耦合两大类。

传导传输必须在干扰源和敏感器之间有完整的电路连接，干扰信号沿着这个连接电路传递到敏感器，发生干扰现象。这个传输电路可包括导线、设备的导电部件、供电电源、公共接地、电阻、电感、电容和互感元件等。

辐射传输是通过介质以电磁波的形式传播的，干扰能量按电磁场的规律向周围空间发射。常见的辐射耦合有三种：一是甲天线发射的电磁波被乙天线意外接收，称为天线对天线耦合；二是空间电磁场经导线感应而耦合，称为场对线的耦合；三是两根平行导线之间的高频信号感应，称为线对线的感应耦合。

在智能手机中，高频之间发生干扰通常包含许多种途径的耦合。正因为多种途径的耦合同时存在，反复交叉耦合，共同产生干扰，才使电磁干扰变得难以控制。因此在手机中要进行电磁干扰抑制。

2. EMI 滤波器外形

智能手机中的EMI滤波器根据使用的位置不同，外形也有区别，有些看起来像BGA芯片，有

些看起来像排容，须根据实际电路的应用进行区分。

EMI滤波器常见外形如图 2-63 所示。



图 2-63 EMI 滤波器的外形

3. EMI 滤波器电路

下面以手机显示屏电路为例讲解手机EMI滤波器的电路原理。手机显示屏驱动的数据通信线数据传输速率很高，容易被各种电磁干扰，造成图像质量下降，为此需要在数据通信线上采用有EMI抑制能力的滤波器件和ESD防护，以保障彩色图像的高质量。

EMI滤波器电路如图 2-64 所示。

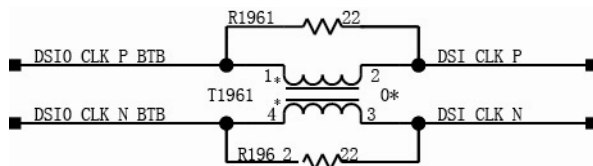


图 2-64 EMI 滤波器电路

4. EMI 滤波器故障分析

在智能手机的键盘电路、显示电路、音频电路等电路中都有EMI滤波器。一般EMI滤波器兼有ESD防护的功能。

EMI滤波器损坏后，典型的故障是信号无法传送至下级电路，造成信号中断。在不同的电路中，EMI滤波器表现的故障也不同。如果显示屏驱动电路的EMI滤波器损坏，出现的故障一般是不显示。如果是手机音频电路的EMI滤波器损坏，出现的故障一般是听筒无声、扬声器无声等。

2.3.4 麦克风 (MIC)

麦克风是将声音转换为电信号的一种声电转换器件，它可将话音信号转化为模拟的话音电信号。麦克风又称为送话器、咪头、微音器、拾音器等。

1. 麦克风的工作原理

在智能手机电路中用得较多的是驻极体麦克风，驻极体麦克风实际上是利用一个驻有永久电荷的薄膜（驻极体）和一个金属片构成的一个电容器。当薄膜感受到声音而振动时，这个电容器的容量会随着声音的震动而改变。

中高端智能手机还使用了MEMS（微型机电系统）麦克风，MEMS麦克风是基于MEMS技术制造的麦克风，简单来说就是一个电容器集成在微硅晶片上，并具有良好的噪声消除性能与良好的

RF及EMI抑制性。

2. 麦克风的外形特征

智能手机中的麦克风比较容易找，一般为圆形，在手机主板的底部，外观为黄色或银白色，麦克风上都会有一个黑色的胶圈，这个胶圈的作用是固定麦克风和屏蔽部分噪音干扰。

部分麦克风为长条形，外壳是一个银色的金属屏蔽罩，这种麦克风使用较少，一般是直接焊接在主板上。

常见麦克风的外形如图 2-65 所示。



图 2-65 常见麦克风的外形

麦克风在电路中用字母MIC或Microphone表示，麦克风的电路符号如图 2-66 所示。

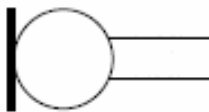


图 2-66 麦克风的电路符号

3. 麦克风故障分析

手机麦克风电路故障主要是对方听不到机主的声音，引起该故障的原因很多，如麦克风损坏或接触不良、麦克风无偏置电压、音频编码电路或音频处理器不正常。另外，软件故障也会造成送话不良故障。

麦克风本身引起的故障主要表现在以下几个方面。

(1) 噪声大

这个故障主要表现为对方听主机的声音有很大的噪声，一般为麦克风性能不良、接触不好等原因造成，可更换麦克风或用酒精棉球擦拭麦克风触点。

(2) 送话声音小

送话声音小一般为麦克风灵敏度降低造成，这种情况需要更换麦克风才能解决。手机麦克风在更换的时候，不能将正负极接反，否则会出现不能输出信号或送话声音小等故障。

(3) 不送话

不送话故障除了麦克风本身问题之外，偏置电压不正常、音频电路问题都会引起不送话故障。软件问题也会造成不送话故障。

2.3.5 受话器和扬声器

手机中的受话器和扬声器是用来将模拟的电信号转化成为声音信号，受话器和扬声器是一个电声转换器件，受话器又称为听筒，扬声器又称为喇叭等。

1. 受话器和扬声器的工作原理

(1) 受话器和扬声器的区别

受话器是把电能转换为声能并与人耳直接耦合的电声换能器，又称为通信用的耳机，受话器主要用于语言通信，频带窄（300Hz~3400Hz），强调语言的清晰度与可懂度。主要指的是应用于电话系统和军、民用无线电通信机中的送话器、受话器及头戴送、受话器组合部件。

扬声器是把电能变换为声能，并将声能辐射到室内或开阔空间的电声换能器。扬声器的特点是频率范围宽（20Hz~20kHz）、动态范围大、高音质、高保真、失真小等。主要指的是用于广播、电影、电视、剧院等方面声音重放和录音的各种扬声器系统、耳机、传声器、拾音器（唱头）。

受话器的直流电阻为 32Ω ，扬声器的直流电阻为 8Ω ，可以使用万用表测量其电阻判断是受话器还是扬声器。在手机维修中，受话器和扬声器虽然工作原理一样，但是它们的用途和频率范围还是有明显的区别。

(2) 受话器和扬声器的工作原理

受话器和扬声器不是将电能直接变换成声能，而是利用载流导体（由音频电流馈电的音圈）在永久磁体的磁场之间的相互作用，使音圈振动而带动振膜振动，其能量变换方式是电能→机械能→声能。

受话器和扬声器的发声原理基于其力效应（安培定律）和电效应（电磁感应定律），随着电流强度和方向的变化，音圈就在磁隙中来回振动，其振动周期等于输入电流的周期，而振动的幅度则正比于各瞬间作用电流的强弱。受话器的振膜与音圈粘连在一起，故音圈带动振膜往复振动，从而向周围媒质（空气）辐射声波，实现电能-机械能-声能的转换。

2. 受话器和扬声器的外形及符号

(1) 受话器和扬声器的外形

智能手机中的受话器和扬声器从外形来看可分为三种，即圆形、椭圆形和矩形；从连接方式来看，可分为引线式、弹片式和触点式。

智能手机中的受话器和扬声器的外观如图 2-67 所示。



图 2-67 受话器和扬声器的外观

(2) 受话器和扬声器的电路符号

受话器一般用Receiver、Ear或Earphone表示，扬声器通常用字母SPK或SPEAKER表示。受话器和扬声器的电路符号如图 2-68 所示。

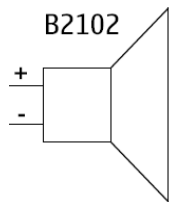


图 2-68 受话器和扬声器的电路符号

3. 受话器和扬声器的故障分析

受话器和扬声器出现问题后主要的故障表现如下。

(1) 扬声器或受话器无声

智能手机扬声器或受话器无声的故障表现为当来电话时，扬声器没有来电提示音乐，接通电话时，受话器内听不到对方讲话的声音。

这种故障主要是由扬声器或受话器开路、接触不良或者音频电路的驱动信号不正常造成的。针对这种故障，首先代换扬声器或受话器，其次检查音频电路。

(2) 扬声器或受话器声音小、嘶哑、失真

这种故障主要是由于扬声器或受话器音圈变形、错位造成的，如果扬声器或受话器出现这种情况只能更换。

第 4 节 智能手机集成电路

集成电路（Integrated Circuit）是一种微型电子器件或部件，在智能手机中的地位非常重要。集成电路是把一个电路中所需的晶体管、二极管、电阻、电容和电感等元件及布线互连在一起，制作在一小块或几小块半导体晶片或介质基片上，然后封装在一个管壳内，成为具有所需电路功能的集成电路。

2.4.1 集成电路及其封装

1. 集成电路简介

集成电路，顾名思义，就是把电路集成在一起，这样既缩小了体积，也方便电路和产品的设计，集成电路在智能手机中一般用字母IC、N、U等表示。

集成电路并不能把所有的电子元器件都集成在里面，对于大于 1000pF 的电容、阻值较大的电阻、电感，不容易进行集成，所以集成电路的外部会接有很多的元器件。

集成电路具有体积小，重量轻，引出线和焊接点少，寿命长，可靠性高，性能好等优点，同时成本低，便于大规模生产。它不仅在工、民用电子设备，如收音/录音机、电视机、计算机等方

面得到了广泛的应用，同时在军事、通信、遥控等方面也得到广泛的应用。

用集成电路来装配电子设备，其装配密度比晶体管可提高几十倍至几千倍，设备的稳定工作时间也会大大提高。集成电路在手机中的应用更是广泛，随着手机功能的增加和体积的缩小，手机芯片的集成度也越来越高，即超大规模集成电路的应用为手机增添了更多功能。

2. 手机集成电路封装

在手机中，使用的集成电路多种多样，外形和封装也有多种样式，快速有效地识别手机的集成电路封装和区分引脚是初学者的难点，下面分别进行介绍。

(1) SOP 封装

SOP (Small Outline Package) 封装又称小外形封装，是一种比较常见的封装形式，SOP封装的集成电路引脚均分布在两边，其引脚数目多在 28 个以下。如早期手机用的电子开关、电源管理电路、功放电路等都采用这种封装。

SOP封装的集成电路如图 2-69 所示。

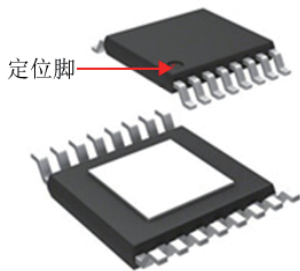


图 2-69 SOP 封装的集成电路

SOP封装的集成电路引脚的区分方法是：在集成电路的表面都会有一个圆点，靠近圆点最近的引脚就是 1 脚，然后按照逆时针循环依次是 2 脚、3 脚、4 脚等。

(2) QFP 封装

QFP (Quad Flat Package) 为四侧引脚扁平封装，又称为方形扁平封装，是表面贴装型封装之一，引脚从 4 个侧面引出呈海鸥翼 (L) 型，基材有陶瓷、金属和塑料三种。从数量上看，塑料 QFP 是目前应用最多的集成电路封装形式。

QFP封装的集成电路四周都有引脚，而且引脚数目较多，早期手机中的中频电路、DSP电路、音频电路、电源电路等都采用QFP封装。

QFP封装的集成电路如图 2-70 所示。

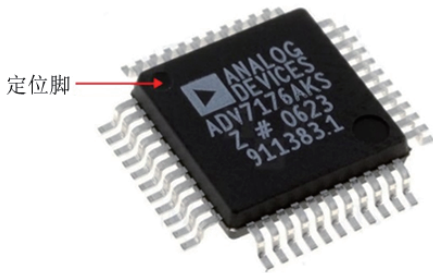


图 2-70 QFP 封装的集成电路

QFP封装的集成电路引脚的区分方法是在集成电路的表面都会有一个圆点，如果在4个角上都有圆点，就以最小的一个为准（或者将集成电路摆正，一般左下角的为1脚）。靠近圆点最近的引脚就是1脚，然后按照逆时针循环依次是2脚、3脚、4脚等。

（3）QFN 封装

QFN（Quad Flat No-lead Package，方形扁平无引脚封装）是一种焊盘尺寸小、体积小，以塑料作为密封材料的新兴的表面贴装芯片封装技术，现在多称为LCC。由于无引脚、贴装占有面积比QFP小、高度比QFP低等优点得到广泛应用。但是，引脚很难做到像QFP的引脚那样多，一般引脚从14到100个左右。

QFN封装材料有陶瓷和塑料两种。当有LCC标记时，基本上都是陶瓷QFN。引脚触点中心距1.27mm。塑料QFN是以玻璃环氧树脂印刷基板基材的一种低成本封装，引脚触点中心距除1.27mm外，还有0.65mm和0.5mm两种，这种封装也称为塑料LCC、PCLC、PLCC等。

手机中的电源管理芯片和射频芯片多采用QFN封装，QFN封装的集成电路如图2-71所示。

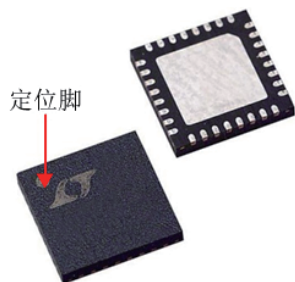


图 2-71 QFN 封装的集成电路

QFN封装的集成电路引脚的区分方法是，在集成电路的表面都会有一个圆点，如果在4个角上都有圆点，就以最小的一个为准（或者将集成电路摆正，一般左下角的为1脚）。靠近圆点最近的引脚就是1脚，然后按照逆时针循环依次是2脚、3脚、4脚等。

（4）BGA 封装

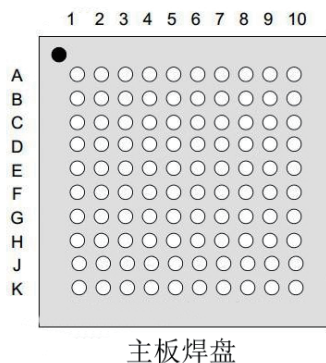
BGA是英文Ball Grid Array Package的缩写，即球栅阵列封装。1993年，摩托罗拉率先将BGA应用于手机，手机中的CPU、存储器、DSP电路、音频处理器电路都是BGA封装的集成电路，另外在BGA封装的基础上还延伸出其他封装形式。

手机中BGA封装的集成电路主板焊盘引脚的区分方法是：

（1）将手机主板平放在桌面上，先找出主板BGA焊盘的定位点，在主板BGA焊盘的一角会有一个圆点，或者在主板BGA焊盘内侧焊盘面会有一个角与其他三个角不同，这个角就是主板BGA焊盘的定位点。

（2）以定位点为基准点，从左到右的引脚按数字1、2、3、4……排列，从上到下按A、B、C、D……排行，但字母中没有I、O、Q、S、X、Z等字母，如果排到I了，就把I略过，用J延续。如果字母排到Y还没有排完，那么字母可以延位为AA、AB、AC……依次类推。例如A1引脚指以定位点从左到右第A行，从上到下第一列的交叉点；B6引脚的指从上往下第B行，从左到右第6列的交叉点。

主板BGA焊盘引脚的区分方法如图2-72所示。



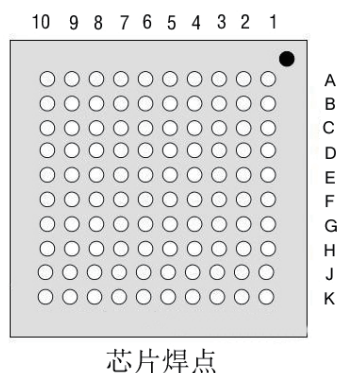
主板焊盘

图 2-72 主板 BGA 焊盘引脚的区分方法

如果是BGA芯片焊点引脚，我们同样需要找到BGA芯片的定位点，根据上面主板焊盘的判断方法，我们可以分析出来，以定位点为基准点，从右到左的引脚按数字 1、2、3、4……排列，从上到下按A、B、C、D……排列。

BGA芯片焊点引脚的区分方法如图 2-73 所示。

常见的几种BGA封装的集成电路的外形如图 2-74 所示。



芯片焊点

图 2-73 BGA 芯片焊点引脚的区分方法

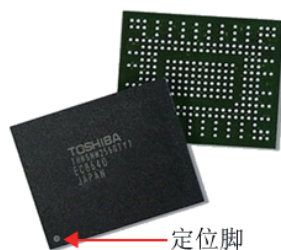


图 2-74 BGA 封装的集成电路

(5) CSP 封装

CSP (Chip Scale Package) 封装，是芯片级封装的意思。CSP封装是最新一代芯片封装技术，CSP封装可以让芯片面积与封装面积之比超过 1:1.14，已经相当接近 1:1 的理想情况，绝对尺寸也仅有 32 平方毫米，约为普通BGA的 1/3，仅仅相当于TSOP内存芯片面积的 1/6。与BGA封装相比，同等空间下CSP封装可以将存储容量提高三倍。

CSP封装技术和引脚的方式没有直接关系，在定义中主要指内核芯片面积和封装面积的比例。由CSP封装延伸出来的还有UCSP封装和WLCSP封装，UCSP封装和WLCSP封装在手机中应用较多。

CSP封装的集成电路如图 2-75 所示。

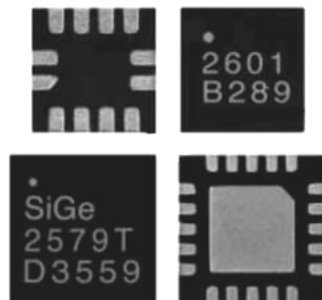


图 2-75 CSP 封装的集成电路

(6) LGA 封装

LGA全称是Land Grid Array，直译过来就是栅格阵列封装，主要在于它用金属触点式封装，LGA封装的芯片与主板的连接是通过弹性触点接触，而不是像BGA一样通过锡珠进行连接，BGA中的B（Ball）——锡珠，芯片与主板电路间就是靠锡珠接触，这就是BGA封装和LGA封装的区别。

在计算机的CPU中，不少是采用LGA封装的芯片，其实在手机中LGA封装的芯片仍然通过锡珠和主板进行连接。

LGA封装的集成电路如图 2-76 所示。

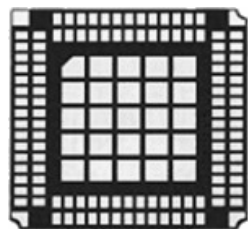


图 2-76 LGA 封装的集成电路

(7) WLCSP 封装

WLCSP（Wafer Level Chip Scale Packaging，晶圆级芯片规模封装），即晶圆级芯片封装方式，不同于传统的芯片封装方式（先切割再封装，而封装后至少增加原芯片 20%的体积），此种技术是先在整片晶圆上进行封装和测试，然后才切割成一个个的芯片颗粒，因此封装后的体积等同芯片裸晶的原尺寸。

WLCSP封装方式不仅明显地缩小了内存模块的尺寸，符合空间的高密度需求，另一方面在效能的表现上，更提升了数据传输的速度与稳定性。

在智能手机中，WLCSP封装是使用较多的一种封装形式。

2.4.2 手机集成电路

在手机中，集成电路的发展主要有几个方向，一是向高度集成化方向发展，随着智能手机的轻薄、多功能，集成电路外围的元件也越来越少；二是向 5G 方向发展，国内 5G 已经开始商用了，未来几乎所有的手机都支持 5G 功能；三是主频越来越高，手机运行主频已达到 2GHz 以上，使用的是四核甚至是八核的处理器。

1. 射频处理器

(1) 射频处理器简介

在手机中，射频处理器主要完成了除射频前端以外的所有信号的处理，包括射频接收信号的解调、射频发射信号的调制、VCO 电路等，外围除了少数的阻容元件外，很少有其他元件。

(2) 射频处理器的外形

手机的射频处理器封装主要还是以BGA封装居多，在手机中，英飞凌、高通公司的射频处理器占主流。常见的英飞凌射频处理器如图 2-77 所示。



图 2-77 英飞凌射频处理器

2. 功率放大器

(1) 功率放大器简介

手机中的功率放大器都是高频宽带功率放大器，主要用于放大高频信号并获得足够大的输出功率，功率放大器是手机中耗电

量最大的器件。

完整的功率放大器主要包括驱动放大、功率放大、功率检测及控制、电源电路等几个部分。在手机中，一般使用功率放大器组件，把这些部分全部集成在一起。

(2) 功率放大器的外形

在手机中，功率放大器的封装很少有BGA封装，多采用QFN和LGA的封装方式，这两种封装方式有利于功率放大器工作时的散热。

功率放大器的外形既有长条形的，也有正方形的，一般长条形居多。外形类似字库，但又有区别。功率放大器的外形如图 2-78 所示。

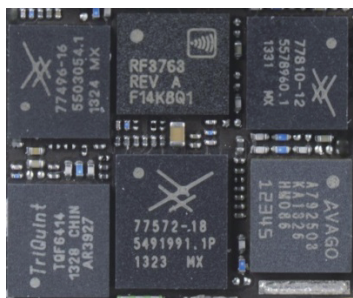


图 2-78 功率放大器的外形

3. 基带处理器

(1) 基带处理器简介

手机基带处理器一般由CPU（中央处理器）、DSP（数字信号处理器）、存储器（SRAM、ROM）组成，CPU运行协议栈和控制逻辑，DSP进行数字信号处理，存储器负责存储数据和程序。

(2) 基带处理器的外形

在手机中，基带处理器主要采用BGA封装、叠层封装等，在手机中个头最大的集成电路除了应用处理器就是基带处理器。

常见的基带处理器的外形如图 2-79 所示。



图 2-79 基带处理器的外形

4. 应用处理器

随着智能手机制造技术的发展，其应用功能不断地推陈出新，这对手机处理器的要求越来越高。现在市场上智能手机的应用处理器主频已经达到了 2GHz 以上，然而人们对智能手机应用功能

推出速度的要求远远高于应用处理器的发展速度，这就势必引起智能手机处理器架构的革新，传统的架构已经渐渐地失去它的优势。

(1) 应用处理器简介

在手机中，几乎所有信号处理应用处理器都要参与，它是伴随智能手机应运而生，应用处理器是在低功耗CPU的基础上扩展音视频功能和专用接口的超大规模集成电路。应用处理器是智能手机的灵魂和核心。

(2) 应用处理器的外形

智能手机使用的应用处理器各不相同，但是有一个共同点就是在所有的集成电路中，应用处理器个头最大。

在华为手机中大部分使用的是自主开发的海思麒麟处理器，应用处理器的外形如图 2-80 所示。

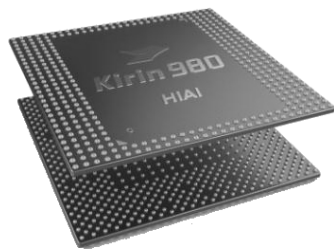


图 2-80 应用处理器的外形

(1) 存储器简介

智能手机属于信息通信终端前沿产品，对于要处理多种复杂功能的手机来说，处理能力、灵活性、速度、存储器密度和带宽都很重要。所以在手机中采用的都是低功耗、高品质、高可靠性的存储器。

功能丰富的手机对存储器需求很大，因为它们提供了更高级的功能，包括互联网浏览、收发更先进的文本消息、玩游戏、下载和播放音乐以及用相对较低的成本实现数字摄像应用。高端功能手机除了支持游戏、多媒体消息、视频下载、收发静态图像等功能外，额外增加了视频和音频流，特别是网络站点浏览和移动商务。这些种类各异的功能对存储器的要求更严格。

(2) 存储器的外形

在手机中，存储器主要采用BGA封装等形式，手机的存储器大部分是长方形，基带处理器和应用处理器旁边都有存储器。

存储器的外形如图 2-81 所示。

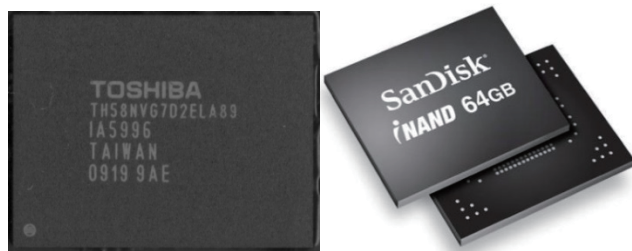


图 2-81 存储器的外形

6. 音频处理器

(1) 音频处理器简介

近年来，手机集成的功能越来越多，用户对音频体验要求也原来越高。智能手机存在基带处理器、应用处理器、调频(FM)广播、蓝牙(耳机)等多种音频输入源，为了更好地处理这些信

号源，使用了音频处理器。音频处理器可以集成在应用处理器内部，也可独立存在。

（2）音频处理器的外形

在手机中，音频处理器电路由单个或多个集成电路组成，常见的音频处理器电路的外形如图 2-82 所示。

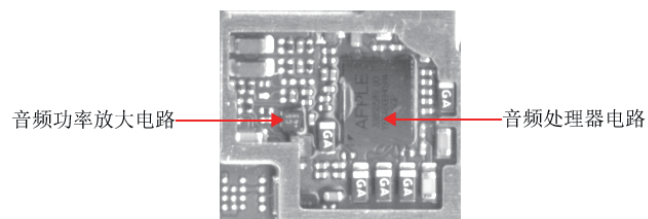


图 2-82 常见音频处理器的外形