

汽车电子与智能控制传感器执行器基础

3.1 电 子 基 础

3.1.1 直流电路

1. 组成

直流电路由电源、负载与连接导线组成,如图 3.1 所示。汽车电路多为直流电路,实行单线制,即借助于汽车基体作为电路连接导线的一部分,又称为搭铁。汽车电路、电器故障中,有很大比例是由搭铁不良引起的,因此搭铁线十分重要。例如,某些汽车的小灯与转向灯采用同一搭铁线,如果该搭铁线搭铁不良或不搭铁,可能出现打开转向灯时小灯闪烁或两者同时闪烁等故障现象。

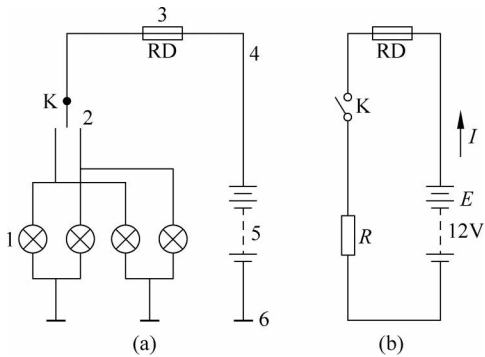


图 3.1 直流电路的组成

(a) 汽车前照灯电路; (b) 简化电路

1—前照灯; 2—变光开关; 3—熔断丝; 4—连接导线; 5—蓄电池; 6—搭铁

根据基尔霍夫定律,汽车电路基本上是由简单的直流电路组成的复杂电路,任一电路,只要工作就要形成回路,并产生工作电流。如果有一处断路,工作电流无法形成,该电路便发生故障。

2. 电路基本物理量

(1) 电流: 在电场作用下,单位时间内通过某导体截面的电量。用 I 表示,单位是安培(A)。

(2) 电压: 电场力把单位电荷从正极经外电路移动到负极所做的功称为电源正负极两端的电压, 用 U 表示, 单位是伏特(V)。

汽车电路中所指的电压是广义的, 是指用电设备电压降或电路某点对地之间的电位差。

(3) 电阻: 导体或半导体对电荷移动有阻碍作用称为电阻。用 R 表示, 单位是欧姆(Ω)。

(4) 电源电动势: 电场力把单位正电荷从电源负极经电源内部搬运到正极所做的功。用 E 表示, 单位是伏(V)。例如, 汽车用铅酸蓄电池充电过程将电能转化为化学能, 使蓄电池具有高的电动势。

(5) 电功率: 电能单位时间内所做的功。用 P 表示, 单位是瓦(W)。

3. 电路基本定律和基本原理

1) 欧姆定律

局部电路欧姆定律, 如图 3.2 所示。

$$I = \frac{U}{R} \quad (3.1)$$

全电路欧姆定律, 如图 3.3 所示。

$$E_2 = I(R_1 + r_1 + r_2) + E_1 \quad (3.2)$$

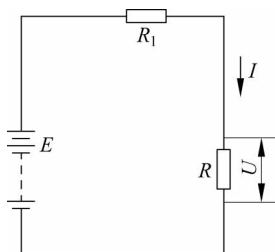


图 3.2 局部电路欧姆定律

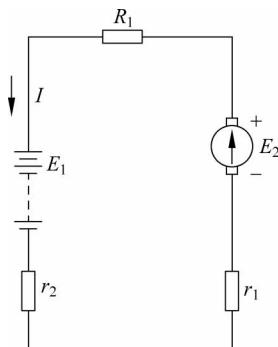


图 3.3 全电路欧姆定律

2) 基尔霍夫定律

第一定律: 同一节点, 流入电流总和等于流出电流总和。如图 3.4 中, 流入 A 节点电流 I 等于流出电流 I_1 与 I_2 之和, 它反映节点电流关系。

第二定律: 沿任何回路一周, 所有电动势的代数和等于该回路上各个电阻的电压降代数和, 用关系式(3.3)表达, 它反映回路电压关系。

$$E = I_1 R_1 + (I_2 + I_1) R_3 \quad (3.3)$$

3) 电阻串并联及分压分流原理

电阻串联与分压原理: 如图 3.5(a)所示, 总电阻为

$$R = R_1 + R_2 \quad (3.4)$$

各电阻上的电压降关系式为

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{R_1}{R_2}$$

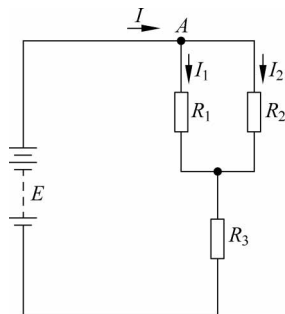


图 3.4 基尔霍夫定律

电阻并联与分流原理：如图 3.5(b)所示，总电阻为

$$R = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} \quad (3.6)$$

电流 I_1 、 I_2 的关系为

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{R_2}{R_1} \quad (3.7)$$

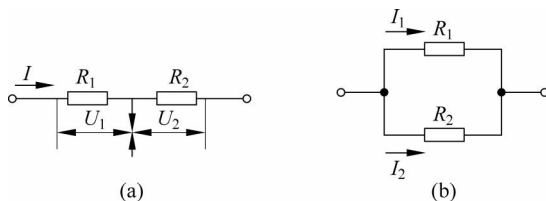


图 3.5 分压与分流原理

(a) 串联分压；(b) 并联分流

4) 电源串并联

为了提高总电动势，进行电源串联，如图 3.6(a)所示，总电动势为

$$E = E_1 + E_2 \quad (3.8)$$

为了提高电源的供电电流，对内阻和电动势一致的电源进行并联，如图 3.6(b)所示，总电动势不变。

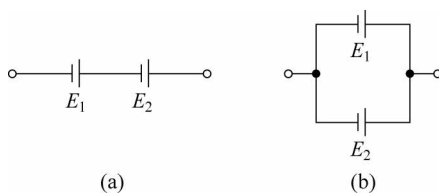


图 3.6 电源串并联原理

(a) 电源串联；(b) 电源并联

3.1.2 电磁感应

1. 磁场的形成

如图 3.7 所示，由永久磁铁或电流产生，磁场强度 B 为

$$B = \frac{\Phi}{S} \quad (3.9)$$

式中， B 为磁场强度，T； Φ 为磁通量， $V \cdot S$ ； S 为磁通截面， m^2 。

2. 电磁感应定律

如图 3.8 所示，通过线圈的磁通量发生变化时或导体在磁场中切割磁力线时，线圈或导体两端便产生感生电动势，其大小分别为：

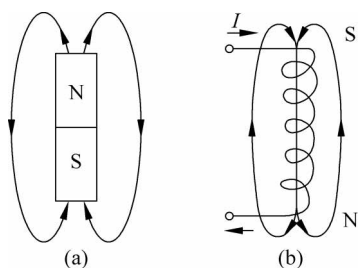


图 3.7 磁场的形成

(a) 永久磁铁; (b) 螺线管电磁铁

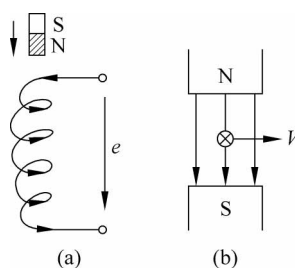


图 3.8 电磁感应定律

(a) 线圈; (b) 导体

线圈中:

$$e = -N \frac{d\Phi}{dt} \quad (3.10)$$

导线中:

$$e = BLV \quad (3.11)$$

感生电动势的方向,分别由楞次定律或右手定则判定。

例如,磁电式传感器就是利用线圈的电磁感应产生传感信号。

3. 互感与自感原理

1) 互感原理

如图 3.9 所示,同一铁芯上绕有两个线圈,初级匝数为 N_1 ,次级匝数为 N_2 ,通过初级线圈的电流为 I ,它存储的磁场能为

$$E = \frac{1}{2} l I^2 \quad (3.12)$$

式中, l 为线圈 N_1 的电感量, H。 l 的大小与线圈匝数、形状、尺寸和铁芯有关。

如果初级线圈的电流发生变化,即 N_1 中磁场发生变化,那么通过线圈 N_2 的磁通量也将随之变化。根据电磁感应定律, N_2 产生感生电动势,称为互感。

如图 3.10 所示的变压器,其工作基于互感原理,初级、次级电压符合以下关系:

$$\frac{U_1}{U_2} \approx \frac{N_1}{N_2} \quad (3.13)$$

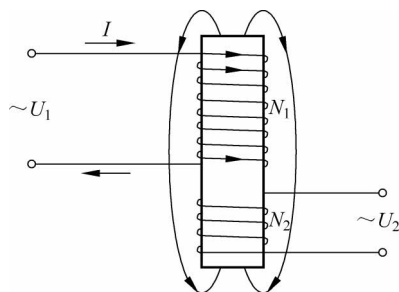


图 3.9 互感原理示意图

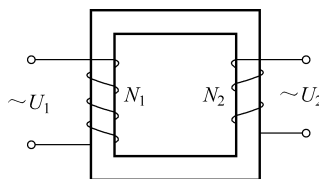


图 3.10 变压器

图 3.11 所示的汽车点火线圈也是根据互感原理工作的。

触点 K 闭合时,初级线圈形成回路,产生电流:

$$i = \frac{U}{R}(1 - e^{-(R/L)t_b}) \quad (3.14)$$

触点 K 断开时,电流值为 I_k ,则初级线圈 N_1 存储的磁场能为

$$E = \frac{1}{2}LI_k^2 \quad (3.15)$$

由于触点 K 断开,在次级和初级线圈中产生感生电动势,用 U_2 、 U_1 表示。磁场能转化为电场能,其中次级电压 U_2 大小为

$$U_2 = I_k \eta \sqrt{\frac{l}{C_1(N_1/N_2)^2 + C_2}} \quad (3.16)$$

式中, C_1 为电容器电容值; C_2 为次级分布电容; l 为初级线圈电感值; η 为能量转换效率。

2) 自感原理

如图 3.12 所示,回路突然断电时,线圈 L 中产生自感电动势,其大小为

$$e_1 = -N \frac{d\Phi}{dt} \quad (3.17)$$

自感电动势可达到几千甚至上万伏,对电子设备危害极大。

4. 磁路

各种材料包括各种介质,其导磁能力是不同的,有的材料如矽钢片,其导磁能力强,磁力线通过时磁阻小;有的介质如空气等,其导磁能力弱,磁阻高。如图 3.13 所示的磁回路遵守磁路欧姆定律,其表达式为

$$\Phi = \frac{IN}{R_m} \quad (3.18)$$

式中, Φ 为磁通量; IN 为磁势; R_m 为磁阻。

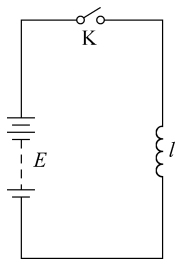


图 3.12 自感原理

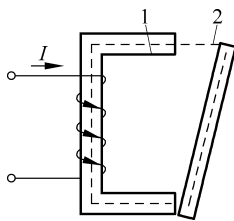


图 3.13 磁回路示意图

1—导磁材料; 2—磁力线

3.1.3 晶体二极管及其整流电路

晶体二极管的结构如图 3.14(a) 所示。它的重要特性为单向导电性,它在控制电路中

应用广泛。例如,如图 3.15 所示的桥式整流稳压电路,将交流电转换成单向脉动直流电。硅整流发电机的三相全波整流电路也属于这种类型,如图 3.16 所示。

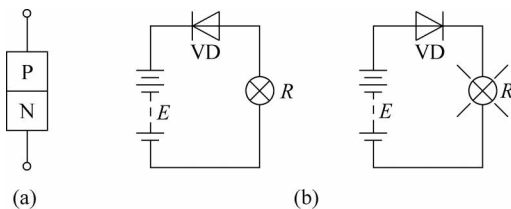


图 3.14 二极管的结构与特性
(a) 结构; (b) 特性

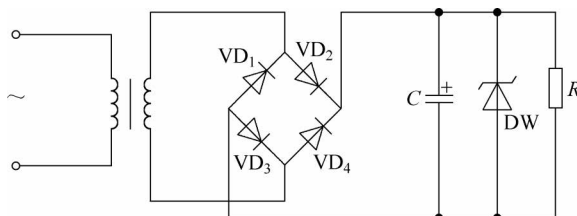


图 3.15 全桥整流稳压电路

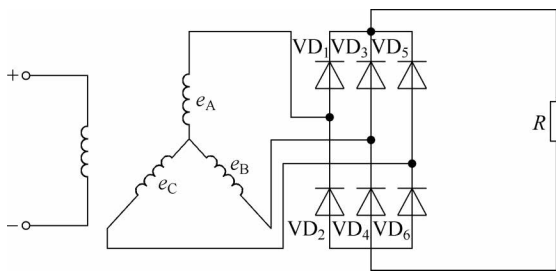


图 3.16 三相全桥整流电路

稳压二极管也是二极管的一种,应用在稳压电路中,如图 3.15 所示。在该电路中,稳压管反接,使其反向击穿,两端电压稳定在某一范围内。稳压二极管的工作电流较小,只用在小功率稳压电路中。

3.1.4 晶体三极管及其特性

晶体三极管的结构如图 3.17 所示,它具有放大特性,即基极电流 I_b 的微小变化引起集电极电流 I_c 的较大变化,或基极电压微小变化引起集电极电压较大变化。电流放大倍数为

$$\beta = \frac{I_c}{I_b} \quad (3.19)$$

图 3.18 给出了 PNP 管的输出特性曲线。

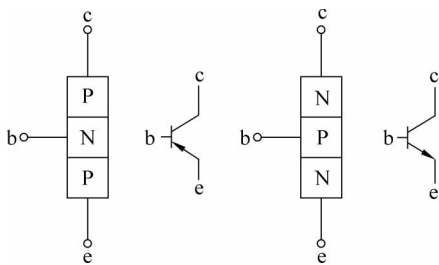


图 3.17 晶体三极管的结构图

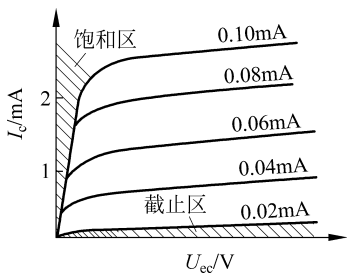


图 3.18 PNP 管的输出特性曲线

1. 放大电路

单管电压放大器如图 3.19 所示,输出电压与输入电压的关系为

$$u_o = \beta u_i \tag{3.20}$$

式中, β 为电压放大倍数。

2. 开关电路

如图 3.20 所示为一开关电路,只要 be 所加电压超过 0.7V,三极管 ce 之间电阻会变得很小,继电器线圈通电工作,相当于机械开关 K 闭合;当 U_i 低于 0.6V 时,三极管 ce 之间电阻变得很大,继电器线圈断电,相当于 K 断开。因而三极管起到开关的作用。

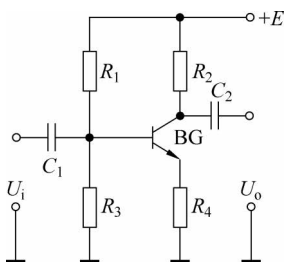


图 3.19 单管电压放大器

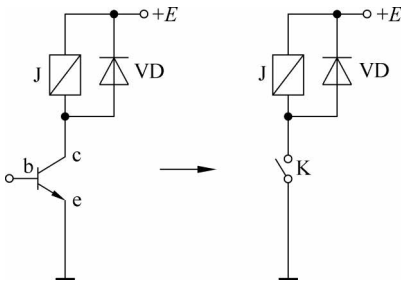


图 3.20 开关电路

3. 光电耦合器

光电耦合器是电-光-电信号传输的传感器件,输入信号驱动发光二极管使其发光,由光敏三极管受光导通,两者制作在同一密闭器件中。例如,TLP521 光电耦合器的电路如图 3.21 所示。TLP521 光电耦合器的发光二极管在导通状态下保持 10~15mA 的电流,光敏三极管导通电流在 10mA 以下。以光为媒介传输电信号方式,具有良好的电隔离性能,较强的抗干扰能力。

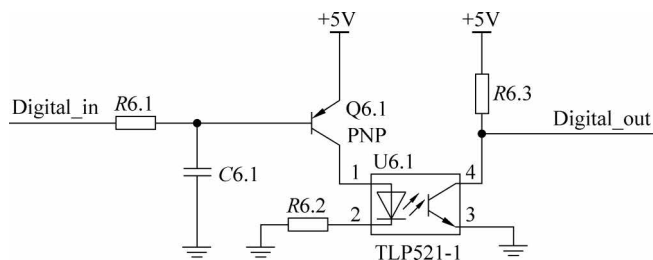


图 3.21 光电耦合器的电路

3.1.5 场效应管与绝缘栅极双极型晶体管

1. 场效应管

半导体三极管的开关特性较差,容易发热。场效应管是电压控制元件,它的输出电流取决于输入端电压的大小,基本上不需要信号源提供较大电流,所以它的输入电阻很高,可高达 $10^9 \sim 10^{14} \Omega$,已被广泛应用于开关与放大电路中。

由金属-氧化物-半导体制成的场效应管(Metal-Oxide-Semiconductor, MOS),在控制时基本不需要较大电流,开关特性好,且受温度影响小,便于制作成大功率开关电路。场效应管分为结型场效应管和绝缘栅型场效应管两类,绝缘栅场效应管按其工作状态可以分为增强型与耗尽型两类,每类又有 N 沟道和 P 沟道之分。图 3.22 所示为 N 沟道 MOS 管结构示意图。其应用电路详见后续执行器驱动章节。

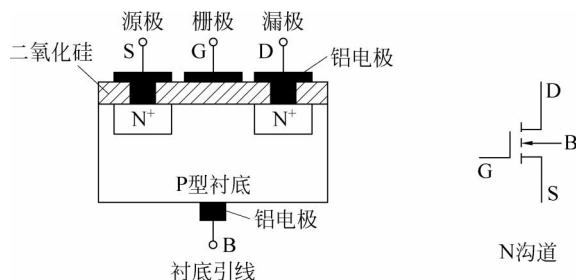


图 3.22 N 沟道 MOS 管结构和符号示意图

电力场效应晶体管,简称 P-MOSFET,如图 3.23 所示。通过对基极(门极、栅极)的控制,既可使其导通,又可使其关断,属于全控型器件。因为这些器件具有自关断能力,所以通常称为自关断器件,用于各种电力电子电路及控制,特别是应用于电动汽车逆变器控制等。但其导通压降大,载流密度小。

2. 绝缘栅极双极型晶体管

绝缘栅极双极型晶体管(Insulated Gate Bipolar Transistor, IGBT),是一种复合了功率场效应管和电力晶体管的优点而产生的新型复合器件,它同时具有 MOSFET 的高速开关及电压驱动特性和双极晶体管的低饱和电压特性,容易实现较大电流的驱动能力,既具有输入阻抗高、工作速度快、热稳定性好和驱动电路简单的优点,又具有通态电压低、耐压高和

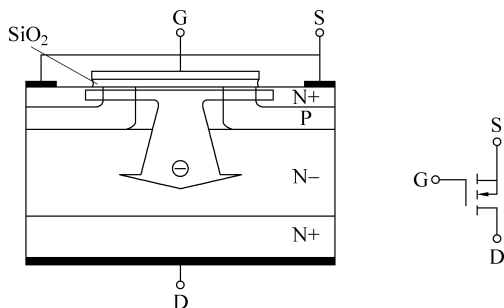


图 3.23 电力场效应晶体管和符号示意图

承受电流大的优点,工作频率可达 $10 \sim 40\text{kHz}$ 。目前,已有 $2500 \sim 3000\text{V}$ 、 $800 \sim 1800\text{A}$ 的 IGBT 器件产品,可供高频电力电子装置选用,这使得 IGBT 成为近年来电力电子领域中尤为令人瞩目的电力电子驱动器件,并且得到了越来越广泛的应用。

如图 3.24 所示,IGBT 通过栅极驱动电压来控制开关晶体管,工作原理同 P-MOSFET 相似。IGBT 综合了 P-MOSFET 双极晶体管的优点,开关特性好,压降低。IGBT 有 C (collector,集电极)、G (gate,栅极)、E (emitter,发射极) 三个电极,在 IGBT 的 GE 间施加一个电压,则在 CE 间有大电流流过,是电压放大电流的器件。其具体应用电路见后续 IGBT 驱动章节。

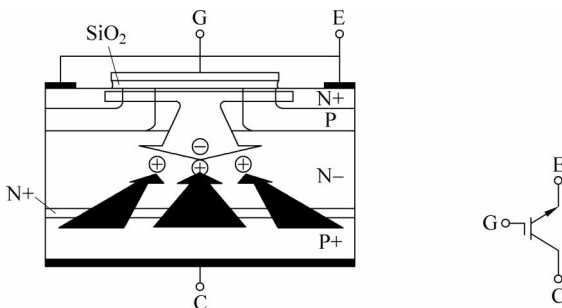


图 3.24 绝缘栅极双极型晶体管和符号示意图

3.2 传感器与执行器驱动基础

3.2.1 发动机传感器与调理电路

1. 发动机温度传感器

1) 发动机缸体温度传感器

发动机缸体温度传感器(或冷却液温度传感器)一般采用负温度系数 NTC 热敏电阻,热敏电阻阻值随温度上升呈指数减小。图 3.25 所示为缸体温度传感器的工作原理图。根据分压原理,ECU 内部的 5V 电压通过分压电阻 R 加在缸体温度传感器内的热敏电阻上,再通过接地构成回路。缸体温度传感器的输出信号即为加在热敏电阻上的电压。

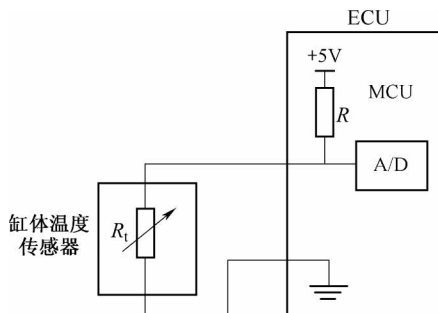


图 3.25 缸体温度传感器的工作原理图

为了得到缸体温度传感器输出信号与温度的对应关系,首先对温度传感器进行标定,掌握其特性。标定过程中用一个可变电阻模拟缸体温度传感器,改变电阻值,输出信号进入 MCU 的 A/D 引脚。标定结果如图 3.26 所示。

根据图 3.26 中的曲线,可得到缸体温度传感器局部输出特性的拟合公式为

$$y = -2.0461x^3 + 17.49x^2 - 68.359x + 126.11 \quad (3.21)$$

式中, y 为缸体温度; x 为缸体温度传感器输出的电压值。

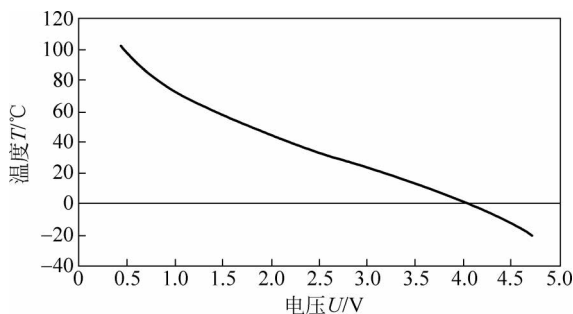


图 3.26 缸体温度传感器输出特性标定曲线

2) 发动机进气温度传感器

热敏电阻型发动机进气温度传感器与发动机缸体温度传感器类似,这里不再赘述。进气温度或缸体温度可以采用铂电阻 Pt100 作为传感器。铂电阻温度传感器精度高,稳定性好,线性度好,并且有较强的抗干扰能力。Pt100 是一种广泛应用的铂电阻式测温元件,温度测量范围 $-50 \sim 600^\circ\text{C}$ 。

理想情况下 Pt100 在 0°C 时的阻值一般为 100Ω ,在 100°C 时阻值应为 138.5Ω ,但由于加工工艺以及导线的影响,其实际的阻值并不等于理想情况下的阻值,所以需要对实验用的 Pt100 包括导线标定在各种温度下的实际阻值,然后将各种温度下的实际阻值进行线性拟合,得到传感器的特性曲线。

3) 发动机排气温度与缸头温度传感器

(1) 排气温度传感器

排气温度传感器一般使用镍铬-镍硅热电偶(K 型热电偶)。适用温度为 $-200 \sim 1300^\circ\text{C}$ 。

K 型热电偶具有线性度好、热电动势较大、灵敏度高、稳定性和均匀性较好、抗氧化性能强、价格便宜等优点。