

子项目 5

机器人转向电路的 组装与调试

一、项目目标

- 理解舵机输出轴转角与输入信号之间的关系；
- 学会利用信号发生器产生驱动信号；
- 会进行舵机正反向转动的控制。

二、项目结构

本项目以舵机电路为核心，设计并制作转向电路，对相关元器件进行测试，具体实施过程如图 5.1 所示。

三、项目实施

(一) 元器件清单

元器件清单如表 5.1 所示。

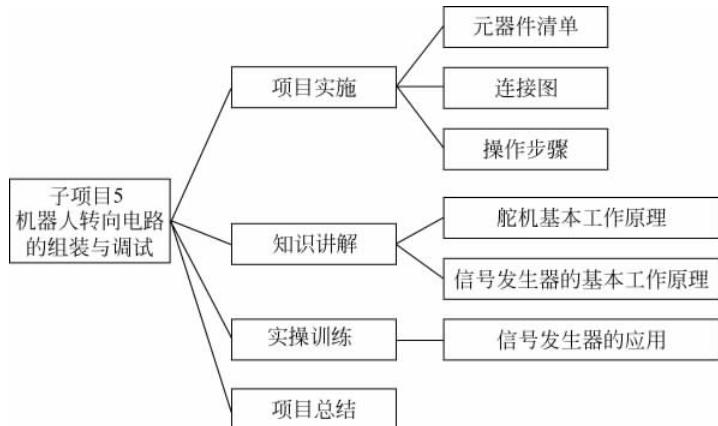


图 5.1 项目具体过程图

表 5.1 元器件清单表

元器件名称	型号	数量
舵机	MG996R/MG995	1
信号发生器	CA1646	1
示波器	DS1052E	1

(二) 连接图

机器人转向电路连接如图 5.2 所示。

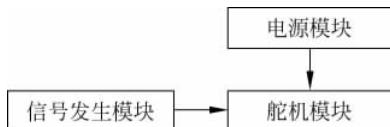


图 5.2 转向电路连接图

(三) 操作步骤

完成转向电路的制作,主要包括如下步骤。

- (1) 观察舵机的基本结构,明确三根线的作用,将舵机的红、棕、橘黄色线分别与 V_{CC}、GND、信号发生器的输出端相连接。舵机外观示意图如图 5.3 所示。
- (2) 调节信号发生器输出信号的幅值和频率,幅值为 1V,频率为 1kHz,实现舵机转一定角度,记录转动角度数值,填写入表 5.2 第 1 行。
- (3) 调节信号发生器输出信号的幅值和频率,幅值为 5V,频率为 1kHz,实现舵机转一定角度,记录转动角度数值,填写入表 5.2 第 2 行。



图 5.3 舵机外观示意图

(4) 调节信号发生器输出信号的幅值和频率,幅值为 5V,频率为 0.5kHz,实现舵机转一定角度,记录转动角度数值,填写入表 5.2 第 3 行。

(5) 调节信号发生器输出信号的幅值和频率,幅值为 5V,频率为 2kHz,实现舵机转一定角度,记录转动角度数值,填写入表 5.2 第 4 行。

(6) 调节信号发生器输出信号的幅值和频率,幅值为 5V,频率为 1kHz,实现舵机转一定角度,记录转动角度数值,填写入表 5.2 第 5 行。

表 5.2 信号与转角对照表

序号	幅值/V	频率/kHz	转角/°
1	1	1	
2	5	1	
3	5	0.5	
4	5	2	
5	5	0.75	

四、知识拓展

(一) 舵机的基本工作原理

在机器人控制系统中,舵机控制效果是重要因素。舵机可以在机电系统和航模中作为基本的输出执行机构,其简单的控制和输出使得单片机系统非常容易与之接口。

舵机是一种位置伺服的驱动器,适用于需要角度不断变化并可以保持的控制系统。目前在高档遥控玩具,如航模(包括飞机模型、潜艇模型、遥控机器人)中已经使用得比较普遍。舵机是一种俗称,其实是一种伺服马达。

舵机内部有一个基准电路,可产生周期为 20ms、宽度为 1.5ms 的基准信号,将获得的直流偏置电压与电位器的电压比较,得到电压差输出。电压差的正负输出到电机驱动芯片决定电机的正反转。当电机转速一定时,通过级联减速齿轮带动电位器旋



转,使得电压差为 0,电机停止转动。

我们不必了解舵机的具体工作原理,知道它的控制原理就够了。就像我们使用晶体管一样,知道可以拿它来做开关管或放大管就行了,至于管内的电子具体怎么流动,是可以不用去考虑的。

舵机的控制一般需要一个 20ms 左右的时基脉冲,该脉冲的高电平部分一般为 0.5~2.5ms 范围内的角度控制脉冲部分。以 180°角度伺服为例,那么对应的控制关系如表 5.3 所示。

表 5.3 脉冲宽度与角度对照表

序号	脉冲宽度/ms	角度/°
1	0.5	0
2	1.0	45
3	1.5	90
4	2.0	135
5	2.5	180

表 5.3 只是一种参考数值,具体的参数需要查看说明书。

小型舵机的工作电压一般为 4.8V 或 6V,转速也不是很快,所以更改角度控制脉冲的宽度太快时,舵机可能反应不过来。

要精确地控制舵机,其实没有那么容易,很多舵机的位置等级有 1024 个,那么,如果舵机的有效角度范围为 180°的话,其控制的角度精度是可以达到 180°/1024 约 0.18°了,从时间上看其实要求的脉宽控制精度为 2000/1024,约 2μs。

如果一个舵机连控制精度为 1°都达不到,而且还看到舵机在发抖的话,在这种情况下,只要舵机的电压没有抖动,那么抖动的就是控制脉冲了。

使用传统单片机控制舵机的方案有很多,多是利用定时器和中断的方式来完成控制的,这样的方式控制一个舵机还是相当有效的。

(二) 信号发生器的基本工作原理

1. 方波产生电路

矩形波产生电路是一种能够直接产生矩形波的非正弦信号发生电路。由于矩形波包含丰富的谐波,因此这种电路又被称为多谐振荡器。由运放构成的矩形波产生电路如图 5.4 所示。

图 5.4 中,参数 R_1, R_2, R_3, R_4, R_w 可根据具体情况调整,而振荡频率取决于 R, C 的大小,频率计算公式为 $f = \frac{1}{1.39RC}$ 。

由晶振和运放组成的矩形波产生器如图 5.5 所示。

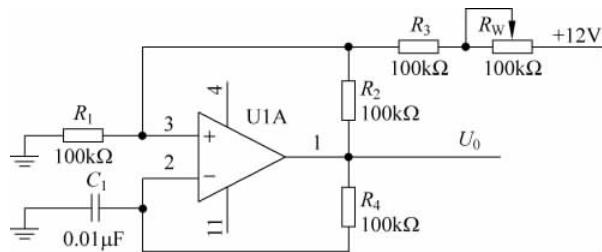


图 5.4 由运放构成的矩形波产生电路

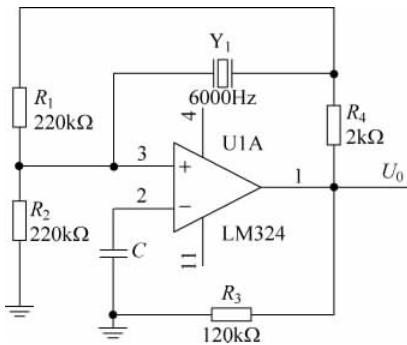


图 5.5 由晶振和运放构成的矩形波产生电路

图 5.5 中,输出信号频率决定于晶振的频率,其中电阻 $R_4 = 2\text{k}\Omega$,用作运算放大器输出级集电极开路的负载。

2. 三角波产生电路

三角波产生电路如图 5.6 所示。

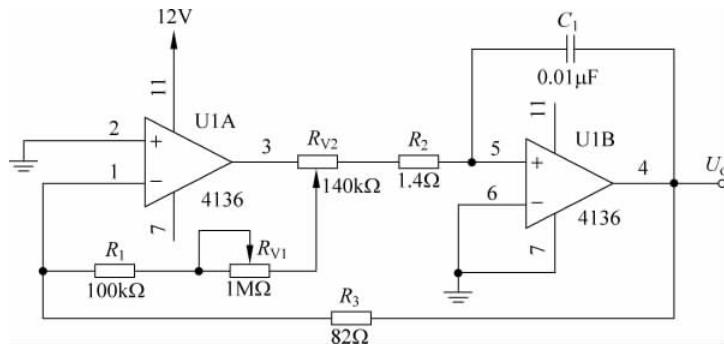


图 5.6 三角波产生电路

图 5.5 中,运放采用 4136,U1A 是一个门限检测器,U1B 是一个积分器, R_{v1} 用于幅度调节, R_{v2} 控制 C_1 的充电电流,进行频率调节。



3. 多种信号发生器

多种信号发生器电路简单、成本低廉、调整方便，电路如图 5.7 所示。

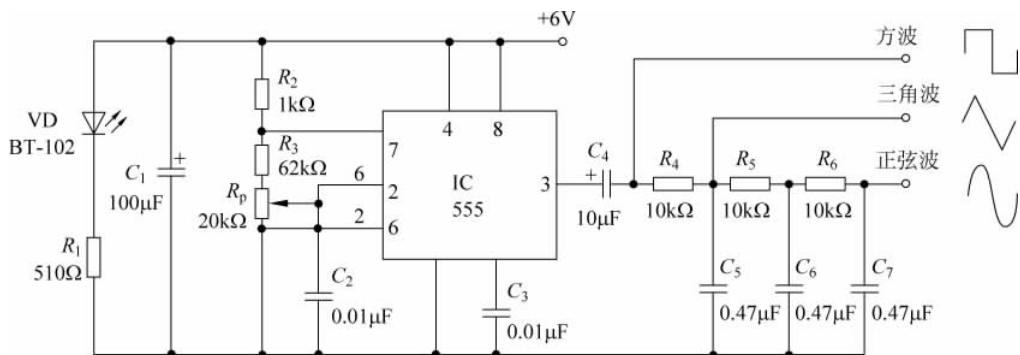


图 5.7 多种信号产生电路

555 定时器接成多谐振荡器工作形式， C_2 为定时电容， C_2 的充电回路是 $R_2 \rightarrow R_3 \rightarrow R_p \rightarrow C_2$ ； C_2 的放电回路是 $C_2 \rightarrow R_p \rightarrow R_3 \rightarrow I_C$ 的 7 脚（放电管）。由于 $R_3 R_p \gg R_2$ ，所以充电时间常数与放电时间常数近似相等，由 555 的 3 脚输出近似对称方波。

按图 5.7 所示元件参数，其频率为 1kHz 左右，调节电位器 R_p 可改变振荡器的频率。方波信号经 R_4 、 C_5 积分网络后，输出三角波。三角波再经 R_5 、 C_6 积分网络，输出近似的正弦波。 C_1 是电源滤波电容，发光二极管 VD 用作电源指示。

函数发生电路如图 5.8 所示。

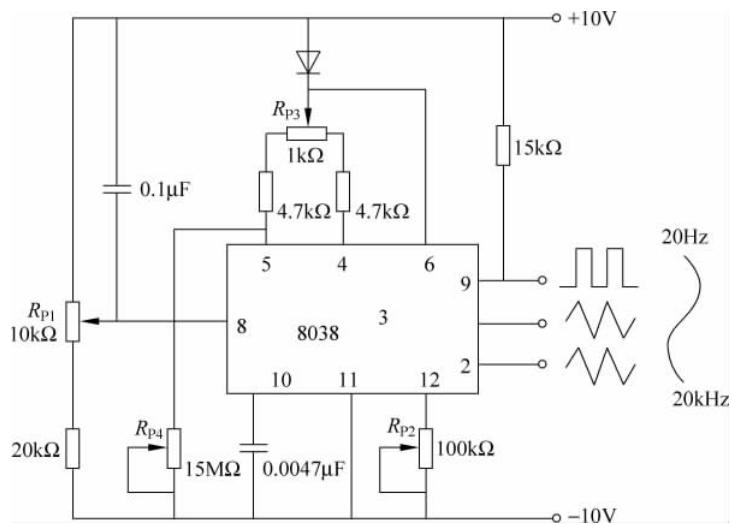


图 5.8 函数发生电路

图 5.8 中,由 8038 构成函数发生电路。采用集成电路芯片 8038 构成的函数发生器可同时获得方波、三角波和正弦波。三角波通过电容恒流放电直接形成;方波由控制信号获得;正弦波由三角波通过折线近似电路获得。通过这种方式获得的正弦波不是平滑曲线,其失真率为 1% 左右,可满足一般用途的需要。电路中的电位器 R_{p1} 用于调整频率,调整范围为 20 Hz~20 kHz; R_{p2} 用于调整波形的失真率; R_{p3} 用于调整波形的占空比。

交流电压的大小可用其峰值、平均值、有效值来表征,而各表征值之间的关系可用波形因数、波峰因数来表示。

(1) 峰值

峰值是交变电压 $u(t)$ 在所观察的时间内或一个周期内偏离零电平的最大值,记为 U_p ,正、负峰值不等时分别用 U_{p+} 和 U_{p-} 表示,如图 5.9 所示。

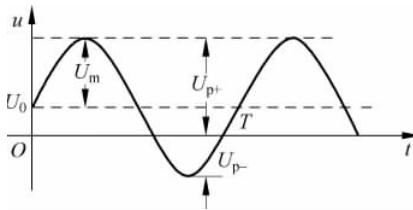


图 5.9 交流电压的峰值与幅值

$u(t)$ 在一个周期内偏离直流分量(平均值) U_0 的最大值称为振幅值,记为 U_m ,如图 5.9 所示。若正、负幅值不等时分别用 U_{m+} 、 U_{m-} 表示。

峰值是以零为参考电平计算的,振幅值则以直流分量为参考电平计算。对于正弦交流信号而言,当不含直流分量时,其振幅值等于峰值,且正、负峰值相等。

(2) 平均值

$u(t)$ 平均值 \bar{U} 的数学定义为

$$\bar{U} = \frac{1}{T} \int_0^T u(t) dt \quad (5.1)$$

\bar{U} 对周期性信号而言,积分时间通常取该信号的一个周期。当 $u(t)$ 为纯交流电压时, $\bar{U}=0$;当 $u(t)$ 包含直流分量 U_0 时, $\bar{U}=U_0$,如图 5.9 中虚线所示。这样,平均值将无法表征交流(分量)电压的大小。在电子测量中,通常所说的交流电压平均值是指经过检波后的平均值。根据检波器的种类不同,又可分为半波平均值和全波平均值。

① 全波平均值

交流电压经全波检波后的平均值称为全波平均值,用 \bar{U} 表示为

$$\bar{U} = \frac{1}{T} \int_0^T |u(t)| dt \quad (5.2)$$



② 半波平均值

交流电压经半波检波后,剩下半个周期,正半周在一个周期内的平均值称为正半波平均值,用 $\bar{U}_{+\frac{1}{2}}$ 表示;负半周在一个周期内的平均值称为负半波平均值,用 $\bar{U}_{-\frac{1}{2}}$ 表示

$$\bar{U}_{+\frac{1}{2}} = \frac{1}{T} \int_0^T u(t) dt, \quad u(t) \geq 0 \quad (5.3)$$

$$\bar{U}_{-\frac{1}{2}} = \frac{1}{T} \int_0^T |u(t)| dt, \quad u(t) < 0 \quad (5.4)$$

对于纯交流电压,有 $\bar{U}_{+\frac{1}{2}} = \bar{U}_{-\frac{1}{2}} = \frac{1}{2} \bar{U}$ 。

(3) 有效值

有效值又称均方根值,其数学定义为

$$U = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T u^2(t) dt} \quad (5.5)$$

有效值的物理意义是:交流电压 $u(t)$ 在一个周期内施加于一纯电阻负载上所产生的热量与直流电压在同样情况下产生的热量相等时,这个直流电压值就是交流电压有效值。

作为表征交流电压的一个参量,有效值比峰值、平均值应用更为普遍。通常所说的交流电压的量值就是指它的有效值。

(4) 波形因数和波峰因数

为了表征同一信号的峰值、有效值及平均值的关系,引入了波形因数及波峰因数。

波峰因数定义为交流电压的峰值与有效值之比,即

$$K_p = \frac{U_p}{U} \quad (5.6)$$

波形因数 K_F 定义为交流电压有效值与平均值之比,即

$$K_F = \frac{U}{\bar{U}} \quad (5.7)$$

表 5.4 列出了几种常见电压波形的参数。

表 5.4 几种常见电压波形的参数

名称	峰值	波形	U	\bar{U}	K_i	K_p
正弦波	A		$\frac{A}{\sqrt{2}}$	0.673A	1.11	$\sqrt{2}=1.414$
全波整流正弦波	A		$\frac{A}{\sqrt{2}}$	0.673A	1.11	$\sqrt{2}=1.414$

续表

名称	峰值	波形	U	\bar{U}	K_i	K_p
三角波	A		$\frac{A}{\sqrt{3}}$	$\frac{A}{2}$	1.15	$\sqrt{3} = 1.732$
方波	A		A	A	1	1
脉冲	A		$\sqrt{\frac{\tau}{T}} A$	$\frac{\tau}{T} A$	$\sqrt{\frac{T}{\tau}}$	$\sqrt{\frac{T}{\tau}}$

4. 交流电压的测量方法

模拟式交流电压表根据其内部所使用的检波器不同,可分为平均值电压表、有效值电压表和峰值电压表三种。

(1) 均值电压表

均值电压表使用均值检波器检波,其输出直流电压正比于输入交流电压的平均值。常用的均值检波电路如图 5.10 所示。其中图 5.10(a)为由四个检波特性相同的二极管组成的桥式电路,图 5.10(b)中使用了两只电阻代替两只二极管,称为半桥式电路。

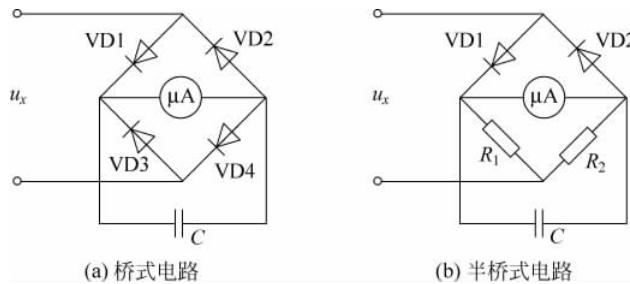


图 5.10 平均值检波器电路

均值检波器输出平均电流 \bar{I} 正比于输入电压平均值,而与波形无关。由于电流表头动圈偏转的惯性,其指针将指示 \bar{I} 的值。为了使指针稳定,在表头两端跨接滤波电容,滤去检波器输出电流中的交流分量。

均值检波器的输入阻抗可以等效为一个电阻和一个电容相并联。输入阻抗的电容部分主要取决于元器件及检波器的结构,一般可以小到 $1 \sim 3\text{pF}$,其输入电阻较低,约为 $1 \sim 3\text{k}\Omega$ 。因此,通常在均值检波器前加入放大器等高输入阻抗电路构成放大-检



波式电压表。

(2) 有效值电压表

有效值电压表内部所使用的检波电路为有效值检波器,其输出直流电压正比于输入交流电压的有效值。目前常用逼近式有效值检波器。

① 分段逼近式有效值检波器

有效值的定义为 $U = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T u^2(t) dt}$, 这要求有效值检波器应具有平方律关系的

伏安特性。二极管正向特性曲线的起始部分和平方律特性比较接近,可实现平方律检波,但这种方案动态范围较窄,只能测量较小的输入电压。如采用分段逼近法,则可得到动态范围较大的平方律特性曲线。如图 4.11(a)所示,一条理想的平方律曲线可用若干条不同斜率的线段来逼近,并要求随输入电压增大,线段斜率也要增加,即电路的负载电阻应随之减小。图 5.11(b)所示电路就是实现折线平方律特性的一种方案。

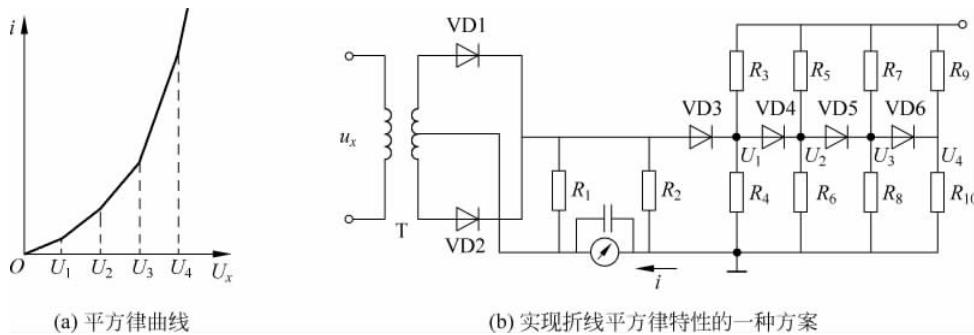


图 5.11 分段逼近式平方律检波电路

该电路由两部分组成:左边是由变压器 T 和二极管 VD1、VD2 构成的检波电路,右边是由 $R_2 \sim R_{10}$ 、VD3~VD6 构成的可变电阻网络,它与 R_1 并联后,作为检波电路的负载。由于电源电压 U 为 VD3~VD6 提供的反向偏置电压依次升高,即 $U_1 < U_2 < U_3 < U_4$,所以随着输入电压 $u_x(t)$ 的增大,起开关作用的二极管 VD3~VD6 逐次导通,从而控制 $R_3 // R_4$ 、 $R_5 // R_6$ 、 $R_7 // R_8$ 、 $R_9 // R_{10}$ 等电阻依此接入电路,使检波器负载电阻逐渐变小,于是便形成由折线逼近的一条平方律曲线。二极管越多,曲线越光滑。

(3) 峰值电压表

峰值电压表使用的检波器为峰值检波器,其输出直流电压正比于其输入的交流电压的峰值。常用的峰值检波电路如图 5.12 所示,其中图 5.12(a)为串联式峰值检波器原理电路,图 5.12(b)为并联式峰值检波器原理电路。

图 5.12 中元件参数必须满足

$$R_D C \ll T_{\min}, \quad RC \gg T_{\max} \quad (5.8)$$

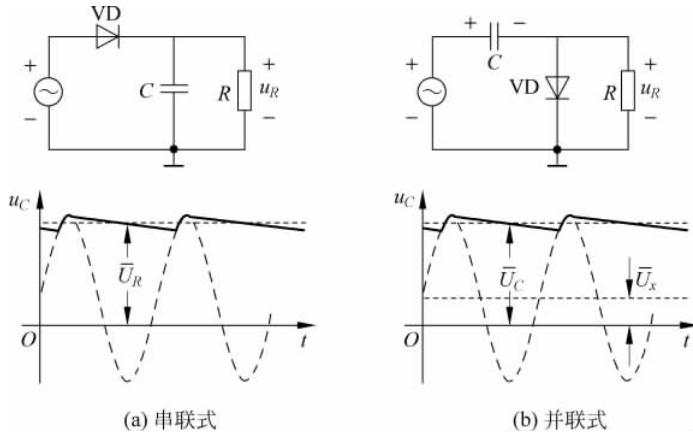


图 5.12 峰值检波电路及其工作波形(稳态时)

式(5.8)中, T_{\min} , T_{\max} 分别表示被测信号的最小周期和最大周期; R_D 为二极管正向导通电阻, 包括被测电压的等效信号源内阻。

这样的电路参数使检波器输出电压平均值 $\overline{U_R}$ 近似等于输入电压的峰值。对于串联式峰值检波器, 在被测电压 $u_x(t)$ 的正半周, 二极管 VD 导通, $u_x(t)$ 通过它对电容 C 充电。由于充电时间常数 $R_D C$ 非常小, 电容 C 上电压迅速达到 $u_x(t)$ 的峰值 U_P 。当 $u_x(t)$ 从正峰值下降到小于电容两端电压 $U_{C_{\max}}$ 时, 二极管 VD 截止, 电容 C 通过电阻 R 放电。由于放电时间常数 RC 很大, 因此电容上的电压 U_C 在一个周期内下降很少。当 $u_x(t)$ 下一个周期的正半周电压大于此时电容上电压 $U_{C_{\min}}$ 时, 二极管 VD 又导通, $u_x(t)$ 再次对电路 C 充电, 如此反复。这样, 便可在电容 C 两端保持接近于 $u_x(t)$ 正峰值 U_P 的电压, 即

$$\overline{U_R} = \overline{U_C} \approx U_{P+} \quad (5.9)$$

对于并联式峰值检波器, 电路中的电容 C 有隔直流作用, 即检波器的输出只能正比于输入信号中交流电压分量的振幅值 U_m 。此时 R 两端的电压为

$$u_R(t) = -u_C(t) + u_x(t) \quad (5.10)$$

对该电压积分并滤波后, 可得到平均电压:

$$\begin{aligned} \overline{U_R} &= \frac{1}{T} \int_0^T u_R(t) dt \\ &= \frac{1}{T} \int_0^T [-u_C(t) + u_x(t)] dt \\ &= -\overline{U_C} + \overline{U_x} \\ &\approx -U_{P+} + U_0 \\ &= -U_{m+} \end{aligned} \quad (5.11)$$

式(5.11)中, U_0 为被测信号中的直流分量, 等于信号一个周期内的平均值; U_{P+} 为被



测信号的正峰值,即电容两端电压的平均值; U_{m+} 为被测信号的正幅值,即负载电阻两端的平均电压。

检波后的直流电压要用直流放大器放大。若采用一般的直流放大器,则增益不高。为了提高电压表的灵敏度,目前普遍采用斩波式直流放大器,它可以解决一般直流放大器的增益与零点漂移之间的矛盾。斩波式直流放大器先利用斩波器把直流电压变换为交流电压,然后用交流放大器放大,最后再把放大后的交流信号恢复为直流电压,因此这种放大器又称作直-交-直放大器。它的增益很高,而噪声和零点漂移都很小。

五、实操训练

函数信号发生器是高精度信号源,用来输出一定频率和一定电压幅度的正弦波、方波、三角波等信号的电子仪器。函数信号源为电子设备、电子电路提供所需要的输入信号。我们实验室中用的信号源一般为低频信号源。下面以 CA1645 型合成函数信号源为例进行实操作练。

(一) CA1645 型合成函数信号源面板的主要部分

CA1645 型合成函数信号源如图 5.13 所示。

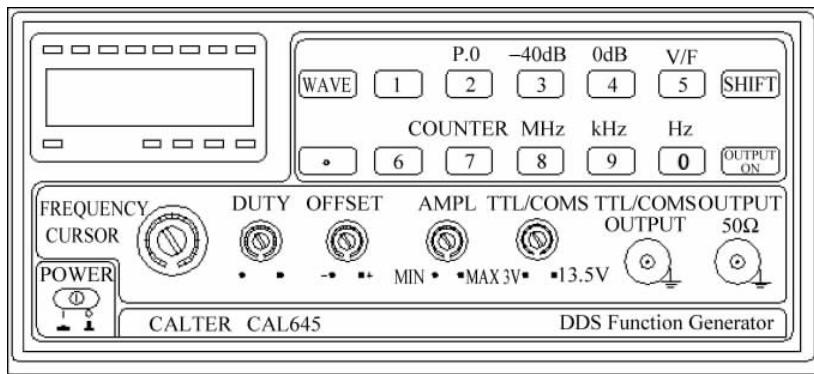


图 5.13 CA1645 型合成函数信号源

SFG-1013 型信号源面板的主要部分如下。

- (1) POWER 键: 电源开关。
- (2) 显示屏: 显示输出信号频率值或输出信号幅度值。
- (3) WAVE 键: 选择输出信号的波形,有正弦波、方波和三角波。
- (4) 输入键: 有 0~9 和“.”11 个键,用于设置信号的频率值。
- (5) SHIFT 键: 选择输入键的第二功能键。

① 选择频率单位：按 SHIFT 键+数字键 8，为 MHz；按 SHIFT 键+数字键 9，为 kHz；按 SHIFT 键+数字键 0，为 Hz。

② 选择频率/电压显示：按 SHIFT 键+小数点键，切换显示屏显示信号频率值和电压值。

(6) OUTPUT ON 键：输出 ON/OFF 切换。

(7) 频率调节旋钮：对信号频率进行细调。

(8) AMPL 信号幅度调节旋钮：调节输出信号的幅度值。

(9) 输出接口：输出信号线的接口。

注意：信号源在使用过程中，输出端不能短路。

(二) 产生一定幅度和频率的正弦波

(1) 按下 POWER 键，打开电源开关。

(2) 选择输出波形，重复按下 WAVA 键就会在显示器上显示相应的波形符号，选择正弦波。

(3) 设置信号频率，使用数字键直接输入波形频率。只要直接按相应的数字键+SHIFT+频率单位键就可以直接设置所需要的频率。

(4) 调整输出信号的幅度。

① 按下输出开关键 OUTPUT ON。

② 按 SHIFT+V/F，切换到显示信号的输出幅度值。重复此操作，则返回至频率显示。

③ 旋转 AMPL 输出幅度调节旋钮，调整信号输出幅度为指定值。

(5) 连接输出信号线，将输出信号线插入输出接口，把信号接入其他电路中。

(三) 产生一定幅度和频率的方波

(1) 按下 POWER 键，打开电源开关；

(2) 选择输出波形，重复按下 WAVA 键就会在显示器上显示相应的波形符号，选择方波。

(3) 设置信号频率，使用数字键直接输入波形频率。只要直接按相应的数字键+SHIFT+频率单位键就可以直接设置所需要的频率。

(4) 调整输出信号的幅度。

① 按下输出开关键 OUTPUT ON。

② 按 SHIFT+V/F，切换到显示信号的输出幅度值。重复此操作，则返回至频率显示。

③ 旋转 AMPL 输出幅度调节旋钮，调整信号输出幅度为指定值。



(5) 调节占空比,拉出占空比旋钮,顺时针旋转增大占空比。逆时针旋转减小占空比,初始值设置为 50%。

注意: 占空比设定不适用于正弦波与三角波。

(6) 连接输出信号线,将输出信号线插入输出接口,把信号接入其他电路中。

(四) 产生一定幅度和频率的三角波

(1) 按下 POWER 键,打开电源开关。

(2) 选择输出波形,重复按下 WAVA 键就会在显示器上显示相应的波形符号,选择方波。

(3) 设置信号频率,使用数字键直接输入波形频率。只要直接按相应的数字键 + SHIFT + 频率单位键就可以直接设置所需要的频率。

(4) 调整输出信号的幅度。

① 按下输出开关键 OUTPUT ON。

② 按 SHIFT + V/F 键,切换到显示信号的输出幅度值。重复此操作,则返回至频率显示。

③ 旋转 AMPL 输出幅度调节旋钮,调整信号输出幅度为指定值。

(5) 连接输出信号线,将输出信号线插入输出接口,把信号接入其他电路中。

(五) 产生 TTL 输出

(1) 按下输出键,LED 灯亮(只有输出在 ON 状态下时,TTL 才会开启)。

(2) 按下 SHIFT 键,然后按下 WAVA 键,TTL 指示灯将会出现在显示屏上。

(3) 波形产生与 TTL 输出端会产生幅度大于等于 $3V_{pp}$ 的 TTL 波形。

注意: 输出信号幅度的调节时,调节幅度调节旋钮,调节到输出电压显示屏显示所需输出电压值。要求输出小信号时,可以利用衰减,使输出信号大幅度衰减。

(六) 应用举例

调节信号发生器,输出产生 1000Hz、15mV 的正弦波。

(1) 选择正弦波: 按 WAVE 键。

(2) 调节频率: 1 → 0 → 0 → 0 → SHIFT → Hz。

(3) 调节幅度: 切换到幅度显示 SHIFT + V/F; 切换到衰减 SHIFT → - 40dB;

调节幅度旋钮 AMPL 显示 15mV。

(4) 打开输出开关: 按 OUTPUT ON 键; 连接输出线,产生的 1000Hz、15mV 正弦波就可以在示波器上显示出来了。

注意：按下 SHIFT+3 (−40dB) 键。切换至输出衰减 −40dB，并且显示屏上的 −40dB 指示灯就会亮。

用信号发生器分别产生如下三个信号。

(1) 产生一个 2V、1kHz 的正弦信号。

① 信号发生器连接电源，按下 POWER 键，启动信号发生器；按下 FREQUENCY 键进行频率设置的位选，并旋转该旋钮进行频率的大小调节，设置大小为 1kHz(开机默认频率为 1kHz，本步骤可不进行设置)。

② 按下 SHIFT 键，选择 V/F 功能(键位数字 5)，进入电压值显示界面，旋转旋钮 AMPL 进行电压值设置，大小为 2V(如进行波形显示，可调节 OFFSET 键进行波形的微调)；

③ 按下 OUTPUT 键，输出波形。

(2) 产生一个 100mV、1kHz 的方波信号。

① 信号发生器连接电源，按下 POWER 键，启动信号发生器；按下 FREQUENCY 键进行频率设置的位选，并旋转该旋钮进行频率的大小调节，设置大小为 1kHz。

② 按下 SHIFT 键，选择 V/F 功能(键位数字 5)，进入电压值显示界面，按下 SHIFT 键，选择 −40DB 功能(键位数字 3)，此时电压值变为 mV 级(电压值较原值缩小了 100 倍)，旋转旋钮 AMPL 进行电压值设置，大小为 100mV(如进行波形显示，可调节 OFFSET 键进行波形的微调)。

③ 按下 OUTPUT 键，输出波形。

(3) 产生一个 100mV、1.5kHz 的三角波信号。

① 信号发生器连接电源，按下 POWER 键，启动信号发生器；按下 FREQUENCY 键进行频率设置的位选，并旋转该旋钮进行频率的大小调节，设置大小为 1.5kHz。

② 按下 SHIFT 键，选择 V/F 功能(键位数字 5)，进入电压值显示界面，按下 SHIFT 键，选择 −40DB 功能(键位数字 3)，此时电压值变为 mV 级(电压值较原值缩小了 100 倍)，旋转旋钮 AMPL 进行电压值设置，大小为 100mV(如进行波形显示，可调节 OFFSET 旋转进行波形的微调)。

③ 按下 OUTPUT 键，输出波形。

六、项目总结

本项目为机器人主体结构的组装与调试，按照项目实施、知识拓展、实操训练、项目总结的顺序展开讲解。



通过本项目的学习,学生应该掌握如下实践技能和重点知识:

- (1) 舵机工作的基本原理;
- (2) 信号发生器的基本工作原理;
- (3) 机器人转向电路的组装与调试;
- (4) 信号发生器的正确使用方法。

以项目小组为单位,进行项目总结汇报,制作 PPT,每组派一人进行讲解。

七、阅读材料

(一) 信号发生器

1. 信号发生器的发展历史

信号发生器是一种历史悠久的测量仪器,早在 20 世纪 20 年代电子设备刚出现时它就产生了。

随着通信和雷达技术的发展,20 世纪 40 年代出现了主要用于测试各种接收机的标准信号发生器,使信号发生器从定性分析的测试仪器发展成定量分析的测量仪器。同时还出现了可用来测量脉冲电路或用作脉冲调制器的脉冲信号发生器。

由于早期的信号发生器机械结构比较复杂,功率比较大,电路比较简单,因此发展速度比较慢。直到 1964 年才出现第一台全晶体管的信号发生器。20 世纪 60 年代后信号发生器有了迅速的发展,出现了函数发生器,这个时期的信号发生器多采用模拟电子技术,由分立元件或模拟集成电路构成,其电路结构复杂,且仅能产生正弦波、方波、锯齿波和三角波等几种简单波形,由于模拟电路的漂移较大,使其输出波形的幅度稳定性差,而且模拟器件构成的电路存在尺寸大、价格贵、功耗大等缺点,如果要产生较为复杂的信号波形则电路结构非常复杂。

20 世纪 70 年代微处理器出现以后,利用微处理器、模/数转换器和数/模转换器,硬件和软件使信号发生器的功能扩大,可产生比较复杂的波形。这段时期的信号发生器多以软件为主,实质是采用微处理器对 DAC 的程序控制,就可以得到各种简单的波形。软件控制波形的一个最大缺点就是输出波形的频率低,这主要是由 CPU 的工作速度决定的,如果想提高频率可以改进软件程序,减少其执行周期时间或提高 CPU 的时钟周期,但这些办法是有限度的,根本的办法还是要改进硬件电路。

2. 信号源的发展方向

现代信号源向着智能化、数字化、合成化方向发展。

随着现代电子、计算机和信号处理等技术的发展,极大促进了数字化技术在电子测量仪器中的应用,使原有的模拟信号处理逐步被数字信号处理所代替,从而提高了

仪器信号的处理能力,提高了信号测量的准确度、精度和变换速度,克服了模拟信号处理的诸多缺点,数字信号发生器随之发展起来。

利用合成技术制成的信号发生器,常被称为合成信号发生器,也是发展的主流。

3. 典型信号源的应用

信号发生器的应用非常广泛,种类繁多。

首先,信号发生器可以分通用和专用两大类,专用信号发生器主要是为了某种特殊的测量目的而研制的,如电视信号发生器、脉冲编码信号发生器等。这种发生器的特性是受测量对象的要求所制约的。

其次,信号发生器按输出波形又可分为正弦波信号发生器、脉冲波信号发生器、函数发生器和任意波发生器等。

再次,按其产生频率的方法又可分为谐振法和合成法两种。一般传统的信号发生器都采用谐振法,即用具有频率选择性的回路来产生正弦振荡,获得所需频率。但也可以通过频率合成技术来获得所需频率。

下面列出几种典型应用信号源。

(1) 函数信号发生器

函数信号发生器如图 5.14 所示。函数信号发生器最小输出信号可小于 1mV。大功率函数信号发生器为国内首创,其具有稳定性、可靠性高,售价低等特点。国内所独有的输出保护技术,能有效防止过载、输出短路、错接等误操作或外电流倒灌造成损坏。输出信号有三角波、方波、正弦波、脉冲波、单次脉冲。

(2) 电视信号发生器

电视信号发生器如图 5.15 所示。电视信号发生器采用存储器、中央处理器、专用编码器等器件组成,能产生 16 种理想图案,图案十分稳定精确,彩色相位误差小于 $\pm 3^\circ$,不受温度和电压的影响,用途非常广泛,适合设计、生产、维修彩色/黑白电视机、追踪故障和调校各级线路等。



图 5.14 函数信号发生器



图 5.15 电视信号发生器

(3) 低频信号发生器

低频信号发生器如图 5.16 所示。低频信号发生器包括音频(200~20 000Hz)和



视频($1\text{Hz} \sim 10\text{MHz}$)范围的正弦波发生器。主振级一般用 RC 式振荡器,也可用差频振荡器。为便于测试系统的频率特性,要求输出幅频特性平和,波形失真小。



图 5.16 低频信号发生器

(4) 高频信号发生器

高频信号发生器如图 5.17 所示。高频信号发生器是产生频率为 $100\text{kHz} \sim 30\text{MHz}$ 高频、 $30 \sim 300\text{MHz}$ 甚高频的信号发生器。一般采用 LC 调谐式振荡器,频率可由调谐电容器的刻度盘刻度读出。主要用途是测量各种接收机的技术指标。输出信号可用内部或外加的低频正弦信号调幅或调频,使输出载频电压能够衰减到 $1\mu\text{V}$ 以下。



图 5.17 高频信号发生器

(二) 交流电

正弦交流电简称交流电,是目前供电和用电的主要形式。这是因为交流发电机等供电设备比直流等其他波形的供电设备性能好、效率高;交流电压的大小可以通过变压器比较方便地进行变换。在电子技术中,正弦信号的应用也十分广泛,这是因为非正弦周期信号可以通过傅立叶级数分解为一系列不同频率的正弦分量。

大小和方向随时间作周期性变化、并且在一个周期内的平均值为零的电压、电流和电动势统称为交流电,不过,工程上所用的交流电主要指正弦交流电。以电流为例,其数学表达式为

$$i = I_m \sin(\omega t + \varphi)$$

其波形如图 5.18 所示。式中 i 称为瞬时值, ω 称为角频率, φ 称为初相位或初相角。最大值、角频率和初相位一定,则正弦交流电与时间的函数关系也就一定,所以它

们是确定正弦交流电的三要素。

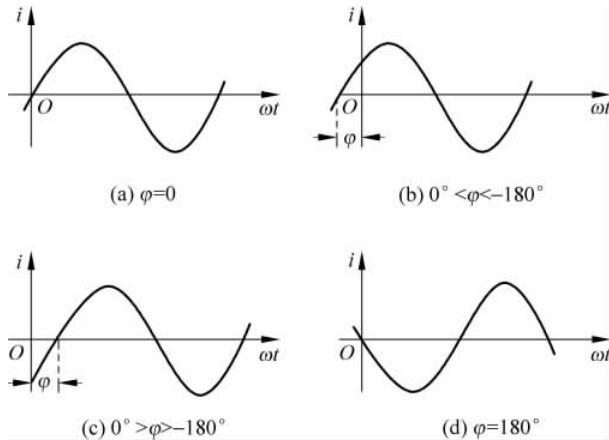


图 5.18 正弦波形示意图

分析正弦交流电时应从以下三方面进行。

1. 交流电的周期、频率和角频率

交流电变化一个循环所需要的时间称为周期,用 T 表示,单位是秒(s)。单位时间内,即每秒内完成的周期数称为频率,用 f 表示,单位是赫(兹)(Hz)。 T 与 f 是互为倒数的关系,即

$$f = \frac{1}{T} \quad (5.1)$$

交流电每交变一次就变化 2π 弧度,即

$$\omega T = 2\pi \quad (5.2)$$

故角频率与周期、频率的关系为

$$\omega = \frac{2\pi}{T} = 2\pi f \quad (5.3)$$

式中, ω 的单位是 rad/s(弧度每秒)。

我国的工业标准频率简称工频,是 50Hz。世界上很多国家,如欧洲各国的工业标准频率是 50Hz,只有少数国家,如美国为 60Hz。除工频外,某些领域还需要采用其他的频率,如无线电通信的频率为 $30\text{kHz} \sim 3 \times 10^4\text{MHz}$,有线通信的频率为 $300 \sim 5000\text{Hz}$,机械工业用的高频加热设备频率为 $200 \sim 300\text{kHz}$ 等。

2. 交流电的瞬时值、最大值和有效值

交流电的瞬时值用小写字母表示,如 i 、 u 和 e 等,它是随时间在变化的。最大值又称幅值,用带有下标 m 的大写字母来表示,如 I_m 、 U_m 和 E_m 等,它虽然能够反映出



交流电的大小,但毕竟只是一个特定瞬间的数值,不能用来计量交流电。因此,规定了一个用来计量交流电大小的量,称为交流电的有效值。是这样定义的:如果交流电流通过一个电阻时在一个周期内消耗的电能,与某直流通过同一电阻在同样长的时间内消耗的电能相等的话,就把这一直流的数值定义为交流的有效值。根据这一定义

$$\int_0^T R i^2 dt = RI^2 T \quad (5.4)$$

由此求得有效值与瞬时值的关系为

$$I = \sqrt{\frac{i}{T} \int_0^T i^2 dt} \quad (5.5)$$

即有效值等于瞬时值的平方在一个周期内平均值的开方,故有效值又称方均根值。

有效值的定义及它与瞬时值的上述关系不仅适用于正弦交流电,也适用于任何其他周期性变化的电流。

对正弦交流电来说

$$\int_0^T i^2 dt = \int_0^T I_m^2 \sin^2(\omega t + \varphi) dt = I_m^2 \int_0^T \frac{1 - \cos 2(\omega t + \varphi)}{2} dt = \frac{I_m^2}{2} T \quad (5.6)$$

代入式(5.5)中,便得到了正弦交流电的有效值与最大值的关系为

$$I = \frac{I_m}{\sqrt{2}} \quad (5.7)$$

同理,正弦交流电压和电动势的有效值与它们最大值的关系为

$$U = \frac{U_m}{\sqrt{2}} \quad (5.8)$$

$$E = \frac{E_m}{\sqrt{2}} \quad (5.9)$$

有效值都用大写的字母表示。平时所说的交流电压和电流的大小以及一般测量仪表所指示的电压或电流的数值都是指它们的有效值。

3. 交流电的相位、初相位和相位差

交流电在不同的时刻 t 具有不同的 $\omega t + \varphi$ 值,交流电也就变化到不同的数值。所以 $\omega t + \varphi$ 代表了交流电的变化进程,称为相位或相位角。

$t=0$ 时的相位即为初相位 φ 。显然,初相位与所选时间的起点有关。原则上,计时的起点是可以任意选择的。不过,在进行交流电路的分析和计算时,同一个电路中所有的电流、电压和电动势只能有一个共同的计时起点。因而只能任选其中某一个初相位为零的瞬间作为计时的起点。这个初相位被选为零的正弦量称为参考量,这时其他各量的初相位就不一定等于零了。

任何两个频率相同的正弦量之间的相位关系可以通过它们的相位差来说明。

例如

$$u = U_m \sin(\omega t + \varphi_u) \quad (5.10)$$

$$i = I_m \sin(\omega t + \varphi_i) \quad (5.11)$$

它们的相位差

$$\varphi = (\omega t + \varphi_u) - (\omega t + \varphi_i) = \varphi_u - \varphi_i \quad (5.12)$$

可见,相位差也就是初相位之差。初相位不同,即相位不同,说明它们随时间变化的步调不一致。

当 $180^\circ > \varphi > 0^\circ$ 时,波形如图 5.19(a)所示, u 总要比 i 先经过相应的最大值和零值,这时就称在相位上 u 是超前于 i 一个 φ 角的,或者称 i 是滞后于 u 一个 φ 角的;当 $-180^\circ < \varphi < 0^\circ$ 时,波形如图 5.19(b)所示, u 与 i 的相位关系正好倒过来;当 $\varphi=0^\circ$ 时,波形如图 5.19(c)所示,这时就称 u 与 i 相位相同,或者说 u 与 i 同相;当 $\varphi=180^\circ$ 时,波形如图 5.19(d)所示,这时,就称 u 与 i 相位相反,或者说 u 与 i 反相。

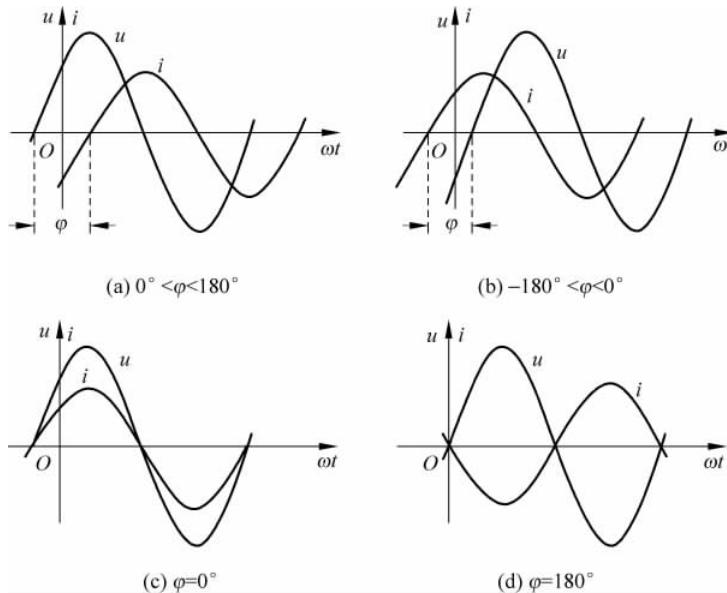


图 5.19 不同 φ 的波形图

(三) 用电安全

1. 触电

触电是指人体接触到带电体时,电流流过人体造成的伤害。触电事故可分为直接接触触电事故和间接接触触电事故两类。

直接接触触电事故是指人体直接接触到电气设备正常带电部分引起的触电事故,例如在 380/220V 低压供电系统中,人体直接接触到一根裸露的相线时称为单线触



电,如图 5.20(a)所示,此时作用于人体的电压为相电压 220V,事故电流 I_d 由相线通过人体到地从而引起触电。如果人体同时接触到两个裸露的相线,则称为两线触电,如图 5.20(b)所示,此时作用于人体的电压为线电压 380V,通过人体的事故电流 I_d 比单线触电时大,触电更危险。

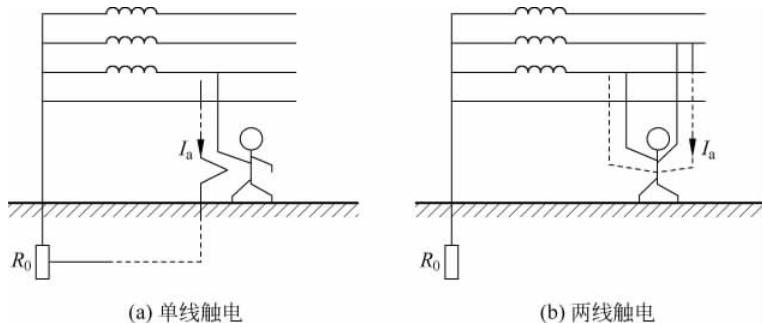


图 5.20 触电分类

间接接触触电事故是指人体接触到正常情况下不带电、仅在事故情况下才会带电的部分而发生的触电事故。例如,电气设备的外露金属部分,在正常情况下是不带电的,但是当设备内部绝缘老化、破损时,内部带电部分会向外部本来不带电的金属部分“漏电”,在这种情况下,人体触及外露金属部分便有可能触电。随着家用电器使用的日趋增多,间接接触触电事故所占比例正在上升。

按人体所受伤害方式的不同,触电又可分为电击和电伤两种。电击(electrical shock),主要是电流通过人体内部,影响呼吸系统、心脏和神经系统,造成人体内部组织的破坏,甚至导致死亡。电伤(electrical injury),主要是指电流的热效应、化学效应、机械效应等对人体表面或外部造成的局部伤害。当然,这两种伤害也可能同时发生。调查说明,绝大部分触电事故都是电击造成的,通常所说的触电事故基本上都是对电击而言。

电击伤害的程度取决于通过人体电流的大小、电流通过人体的持续时间、电流通过人体的途径、电流的频率以及人体的健康状况等。50~60Hz 的交流电流通过心脏和肺部时危险性最大。

2. 触电防护

选用安全电压是防止直接接触触电和间接接触触电的安全措施。根据欧姆定律,作用于人体的电压越高,通过人体的电流越大,因此,如果能限制可能施加于人体上的电压值,就能使通过人体的电流限制在允许的范围内。这种为防止触电事故而采用的由特定电源供电的电压系列称为安全电压。

安全电压值取决于人体的阻抗值和人体允许通过的电流值。人体对交流电时呈

电容性的。在常规环境下,人体的平均总阻抗在 $1\text{k}\Omega$ 以上。当人体处于潮湿环境、出汗、承受的电压增加以及皮肤破损时,人体的阻抗值都会急剧下降。国际电工委员会(IEC)规定了人体允许长期承受的电压极限值,称为通用接触电压极限。在常规环境下,交流($15\sim100\text{Hz}$)电压为 50V ,直流(非脉动波)电压为 120V ;在潮湿环境下,交流电压为 25V ,直流电压为 60V 。这就是说,在正常和故障情况下,交流安全电压的极限值为 50V 。我国规定工频有效值 42V 、 36V 、 24V 、 12V 和 6V 为安全电压的额定值。电气设备安全电压值的选择应根据使用环境、使用方式和工作人员状况等因素选用不同等级的安全电压。例如,手提照明灯、携带式电动工具可采用 42V 或 36V 的额定工作电压;若在工作环境潮湿又狭窄的隧道和矿井内,周围又有大面积接地导体时,应采用额定电压为 24V 或 12V 的电气设备。

3. 保护接地和保护接零

安全电压只是在特殊情况下采用的安全用电措施。事实上,目前大多数电气设备都是采用 $380/220\text{V}$ 低压供电系统供电的,其工作电压不是安全电压。因此,当电气设备使用日久,绝缘老化而出现漏电,或者某一相绝缘损坏而使该相的带电体与外壳相碰而造成一相碰壳时,都会使外壳带电,人体触及外壳便有触电的危险。这是工矿企业和日常生活中常见的触电事故。为防止这类事故的发生,应该按供电系统接地形式的不同,分别采用接地或接零保护措施。

4. 漏电开关

漏电开关(leakage switch)是漏电电流动作保护装置的简称,主要用于低压供电系统防止直接和间接接触的单线触电事故,同时还能起到防止由漏电引起的火灾和用于监测或切除各种单相接地故障的作用。有的漏电开关还兼有过载、过压或欠压及缺相等保护功能。各地电业局对用电设备安装漏电开关都有具体的规定。

漏电开关的作用体现在被保护设备出现故障时,故障电流作用于自动开关,若该电流超过预定值,便会使开关自动断开,切断供电电路。

我国生产的漏电开关适用于 50Hz 、额定电压 $380/220\text{V}$ 、额定电流 $6\sim250\text{A}$ 的低压供电系统和用电设备。选用漏电开关时,应使其额定电压和额定电流与被保护的电路和设备相适应。除此之外,漏电开关还有漏电动作电流和漏电动作时间两个主要参数。漏电动作电流是在规定条件下开关动作的故障电流值,该值越小,灵敏度越高。漏电动作时间是故障电流达到上述数据起到开关动作切除供电电路为止的时间。按动作时间的不同,漏电开关分为快速型和延时型等。如果漏电开关用于人身保护,应选用漏电动作电流为 30mA 以下(30mA 、 20mA 、 15mA 、 10mA)、漏电动作时间为 0.1s 以下的漏电开关。如果用于线路保安与防火,应选用漏电动作电流为 $50\sim100\text{mA}$ 的



漏电开关,漏电动作时间可延长到 0.2~0.4s。

漏电开关还有二极、三极和四极之分。单相电路和单相负载选用二极漏电开关,仅带三相负载的三相电路可选用三极或四极漏电开关。动力与照明合用的三相四线制电路或三相照明电路必须选用四极漏电开关。

5. 静电防护

所谓静电是指在宏观范围内暂时失去平衡的相对静止的正、负电荷。静电现象是十分普遍的电现象,其产生极其容易,又极易被人忽视。静电现象一方面被广泛应用,例如静电除尘、静电复印、静电喷漆、静电选矿等;另一方面由静电引起工厂、油船、仓库和商店的火灾和爆炸又提醒人们应充分重视其危害性。

产生静电的原因很多,其中最主要的是以下几种。

(1) 摩擦起电。两种物质紧密接触(其间距小于 25×10^{-3} cm)时,界面两侧会出现大小相等、符号相反的两层电荷,紧密接触后又分离,静电就产生了。摩擦起电就是通过摩擦实现较大面积的接触、在接触面上产生双电层的过程。

(2) 感应起电。处在电场中的导体,在静电场的作用下,其表面不同部位感应出不同电荷或引起导体上原有电荷的重新分布,使得本来不带电的导体变成带电的导体。

静电的产生虽然难以避免,但并不一定都会造成危害。危险的是这些静电的不断积累,形成了对地或两种带异性电荷体之间的高电压,这些高电压有时可高达数万伏。这不仅会影响生产、危及人身安全,而且静电放电时产生的火花往往会造成火灾和爆炸。防止静电危害的基本方法如下。

(1) 限制静电的产生。限制静电产生的主要办法是控制工艺过程。例如,降低液体、气体和粉尘的流速,在易燃、易爆场所不要采用皮带轮传动等。

(2) 防止静电的积累。防止静电积累的主要方法是给静电一条随时可以入地或与异性电荷中和的通路。例如增加空气的湿度,将容易产生静电的设备、管道采用金属等导电良好的材料制成,并予以可靠的接地,添加抗静电剂和使用静电中和器等。

(3) 控制危险的环境。在易燃、易爆的环境中尽量减少易燃易爆物的形成,加强通风以减少易爆物的浓度,可以间接防止静电引起的火灾和爆炸。

八、巩固练习

1. 简述信号发生器的发展历史。
2. 简述信号发生器的发展方向。
3. 利用信号发生器产生一个频率为 3kHz 的方波。
4. 利用信号发生器产生一个频率为 5kHz 的三角波。