

# 第 7 篇 电工基础与工业电子学

(试 用 本)

机械工程手册 编辑委员会  
电机工程手册



机械工业出版社

TH-62  
3  
= 7

# 机械工程手册

第7篇 电工基础与工业电子学  
(试用本)

机械工程手册 编辑委员会  
电机工程手册



机械工业出版社



A708343

本书主要介绍电力工程和电子技术方面的基本概念、基本原理和技术数据，共分电和磁的基本量和基本定律、正弦交流电路、电路计算方法、非正弦交流电路、RC 和 RLC 电路对正弦激励的频率响应、RC 和 RL 电路对阶跃和冲激信号的时间响应、磁路和铁心线圈电路、常用半导体器件、低频放大器、直流放大器、集成运算放大器、正弦波振荡器、晶体管脉冲电路、半导体数字集成电路、半导体整流和直流稳压电路与硅晶体闸流管电路等 16 章。

**机 械 工 程 手 册**  
**第 7 篇 电 工 基 础 与 工 业 电 子 学**  
(试 用 本)

浙 江 大 学 主 编

\*

机械工业出版社出版 (北京阜成门外百万庄南街一号)

(北京市书刊出版业营业许可证出字第 117 号)

机械工业出版社印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·新华书店经售

\*

开本  $787 \times 1092 \frac{1}{16}$  · 印张 11 · 字数 303 千字

1980 年 7 月北京第一版 · 1980 年 7 月北京第一次印刷

印数 00,001—33,000 · 定价 0.83 元

\*

统一书号: 15033 · 4666

浙江  
机械

## 编辑说明

(一) 我国自建国以来，机械工业在毛主席的革命路线指引下，贯彻“独立自主、自力更生”和“洋为中用”的方针，取得了巨大的成就。为了总结广大群众在生产和科学研究方面的经验，同时采用国外先进技术，加强机械工业科学技术的基础建设，适应实现“四个现代化”的需要，我们组织编写了《机械工程手册》和《电机工程手册》。

(二) 这两部手册主要供广大机电工人、工程技术人员和干部在设计、制造和技术革新中查阅使用，也可供教学及其他有关人员参考。

(三) 这两部手册是综合性技术工具书，着重介绍各专业的理论基础，常用计算公式，数据、资料，关键问题以及发展趋向。在编写中，力求做到立足全局，勾划概貌，反映共性，突出重点。在内容和表达方式上，力求做到深入浅出，简明扼要，直观易懂，归类便查。读者在综合研究和处理技术问题时，《手册》可起备查、提示和启发的作用。它与各类专业技术手册相辅相成，构成一套比较完整的技术工具书。《机械工程手册》包括基础理论、机械工程材料、机械设计、机械制造工艺、机械制造过程的机械化与自动化、机械产品六个部分，共七十九篇；《电机工程手册》包括基础理论、电工材料、电力系统与电源、电机、输变电设备、工业电气设备、仪器仪表与自动化七个部分，共五十篇。

(四) 参加这两部手册编写工作的，有全国许多地区和部门的工厂、科研单位、大专院校等五百多个单位、两千多人。提供资料和参加审定稿件的单位和人员，更为广泛。许多地区

的科技交流部门，为审定稿件做了大量的工作。各篇在编写、协调、审查、定稿各个环节中，广泛征求意见，发挥了广大群众的智慧和力量。

(五) 为了使手册早日与读者见面，广泛征求意见，先分篇出版试用本。由于我们缺乏编辑出版综合性技术工具书的经验，试用本在内容和形式方面，一定会存在不少遗漏、缺点和错误。我们热忱希望读者在试用中进一步审查、验证，提出批评和建议，以便今后出版合订本时加以修订。

(六) 本书是《机械工程手册》第7篇，由浙江大学主编，参加编写的有上海业余工业大学。许多有关单位对编审工作给予大力支持和帮助，在此一并致谢。

机械工程手册  
电机工程手册 编辑委员会编辑组

## 常用符号表

$A$ ——传递函数	$I_{f'}$ ——管子上流过的正向电流平均值 A
$A$ ——阳极	$I_{f_m}$ ——正向电流最大值 A
$A$ ——开环传递系数	$I_{i_0}$ ——输入短路电流 A
$A_c$ ——共模放大倍数	$I_{r_0}$ ——输入反向漏电流 A
$A_F$ ——闭环传递系数	$I_m$ ——脉冲幅度 mA
$A_i$ ——电流放大倍数	$I_o$ ——直流电流 A
$A_p$ ——功率放大倍数	$I_o$ ——输出电流 A
$A_v$ ——电压放大倍数	$I_P$ ——峰点电流 A
$B$ ——磁感应强度 T或G	$I_s$ ——反向饱和电流 A
$B$ ——变压器	$I_{T(AV)}$ ——硅晶闸管通态平均电流 A
$b$ ——电纳 $\Omega$ (s)	$I_z$ ——稳定电流 A
$b_L$ ——感纳 $\Omega$ (s)	$i_o$ ——输出电流 A
$b_c$ ——容纳 $\Omega$ (s)	$k_c$ ——波顶因数
$C$ ——电容 F	$k_d$ ——畸变因数
CMRR——共模抑制比	$k_f$ ——波形因数
$D$ ——非线性失真系数	$L$ ——电感 H
$D$ ——二极管	$m_o$ ——脉动数
$D$ ——漏极	$N_i$ ——扇入系数
$D_z$ ——稳压二极管	$N_o$ ——扇出系数
$E$ ——电场强度 N/C或V/m	$P$ ——功率 kW
$E$ ——电动势 V	$P$ ——有功功率 kW
$e$ ——瞬时电动势 V	$P_{CM}$ ——集电极最大允许耗散功率 W
$F$ ——力 N	$P_{om}$ ——最大不失真输出功率 W
$F$ ——反馈系数	$P_{B_2M}$ ——基极 $B_2$ 最大允许耗散功率 W
$F_m$ ——磁动势 A或At	$P_{on}$ ——空载通导功耗 W
$f$ ——频率 Hz	$Q$ ——电荷量 C
$f_H$ ——上限频率 Hz	$Q$ ——无功功率 Kvar
$f_L$ ——下限频率 Hz	$Q$ ——品质因数
$f_0$ ——谐振频率 Hz	$Q$ ——热量 cal
$f_T$ ——特征频率 Hz	$Q$ ——脉冲占空系数
$G$ ——栅极	$R$ ——电阻 $\Omega$
$G$ ——门极	$R_{BB}$ ——单结晶体管两个基极间的电阻 $\Omega$
$g$ ——电导 s或 $\Omega$	$R_{GS}$ ——场效应管输入电阻 $\Omega$
$g_m$ ——磁导 H	$R_L$ ——负载电阻 $\Omega$
$g_m$ ——场效应管低频跨导 $\mu\Omega$	$r$ ——电阻 $\Omega$
$H$ ——磁场强度 A/m At/m或 $O_e$	$r$ ——动态电阻 $\Omega$
$h_{ie}$ ——共发射极短路输入电阻	$r_{bc}$ ——晶体管输入电阻 $\Omega$
$h_{fe}$ ——共发射极短路电流放大系数	$r_i$ ——输入电阻 $\Omega$
$h_{re}$ ——共发射极开路电压反馈系数	$r_m$ ——磁阻 1/H
$h_{oe}$ ——共发射极开路输出电导	$r_o$ ——输出电阻 $\Omega$
$I$ ——直流电流 A	$r_z$ ——稳压管的动态电阻 $\Omega$
$I$ ——交流电流的有效值 A	$S$ ——视在功率 kVA
$I_{CBO}$ ——发射极开路, 集电极-基极反向饱和电流 A	$S$ ——脉动系数
$I_{CEO}$ ——基极开路, 集电极-发射极反向饱和电流 A	$S$ ——稳定系数
$I_{CM}$ ——集电极电流最大允许值 A	$S$ ——面积 $cm^2$
$I_{DSS}$ ——饱和漏源电流 A	$S$ ——源极
$I_F$ ——额定正向平均电流 A	$S_V$ ——稳压系数

$T$ ——绝对温度 $^{\circ}\text{C}$	$V_p$ ——峰点电压 V
$T$ ——周期 S	$V_{RRM}$ ——硅晶闸管反向重复峰值电压 V
T——晶体三极管	$V_{rm}$ ——反向峰值电压 V
T——硅晶闸管	$V_{ss}$ ——源极电源
$t_d$ ——延迟时间 s	$V_T$ ——开启电压 V
$t_f$ ——脉冲下降时间 s	$V_z$ ——稳定电压 V
$t_{on}$ ——开通时间 s	$V_z$ ——基准电压 V
$t_r$ ——脉冲上升时间 s	$W$ ——电功 J 或 kWh
$t_s$ ——存储时间 s	$x$ ——电抗 $\Omega$
$t_w$ ——脉冲宽度 s	$x_c$ ——容抗 $\Omega$
$t_{pd}$ ——平均延迟时间 s	$x_L$ ——感抗 $\Omega$
$t_{ps}$ ——上升延迟时间 s	$Y$ ——导纳 $\Omega$ 或 s
$t_{pj}$ ——下降延迟时间 s	$Z$ ——阻抗 $\Omega$
$V$ ——电压 V	TTL——晶体管-晶体管逻辑 (T) 电路
$V_{BB}$ ——单结晶体管两个基极间的电压 V	HTL——高阈值逻辑 (T) 电路
$V_{BB}$ ——基极电源	MOS——金属-氧化物-半导体
$V_{(BR)CEO}$ ——基极开路, 集电极-发射极反向击穿电压 V	PMOS——P 沟道 MOS
$V_{CC}$ ——集电极电源	CMOS——互补型 MOS
$V_{DD}$ ——漏极电源	LSI——大规模集成电路
$V_{EE}$ ——发射极电源	RAM——随机存储器
$V_{GT}$ ——门极触发电压 V	ROM——只读存储器
$V_i$ ——输入电压 V	$\alpha$ ——晶体管共基极交流电流放大系数
$V_l$ ——线电压 V	$\beta$ ——晶体管共发射极交流电流放大系数
$V_m$ ——磁压 A	$\beta$ ——逆变角
$V_m$ ——电压最大值	$\bar{\beta}$ ——晶体管共发射极直流电流放大系数
$V_o$ ——直流电压 V	$\gamma$ ——电导率 $1/\Omega \cdot \text{m}$ 或 $\text{m}/\Omega \cdot \text{mm}^2$
$V_o$ ——输出电压 V	$\mu$ ——磁导率 H/m
$V_{off}$ ——关门电平 V	$\mu_0$ ——真空磁导率 H/m
$V_{OH}$ ——输出高电平 V	$\phi$ ——磁通 $\text{W}_b$ 或 $\text{M}_x$
$V_{on}$ ——开门电平 V	$\psi$ ——初相角
$V_p$ ——相电压 V	$\psi_m$ ——磁链 $\text{W}_b$
$V_p$ ——夹断电压 V	$\omega$ ——角频率 rad/s

# 目 录

## 编辑说明

## 常用符号表

### 第1章 电和磁的基本量和基本定律

1 电和磁的基本量	7-1
1.1 电场和电场强度	7-1
1.2 电位、电压和电动势	7-1
1.3 电流强度和电流密度	7-1
1.4 电功和电功率	7-1
1.5 击穿电压和击穿强度	7-2
1.6 磁场、磁感应强度、磁通量和磁链	7-2
1.7 磁导率和磁场强度	7-2
1.8 磁动势、磁压、磁阻和磁导	7-2
2 电路参数	7-3
2.1 电阻和电导	7-3
2.2 电感	7-3
2.3 电容	7-5
2.4 单一元件的伏安关系及电压、电流正方向的规定	7-5
3 电和磁的基本定律	7-7
3.1 右手螺旋定则	7-7
3.2 安培定律-电磁力	7-7
3.3 电磁感应定律	7-7
3.4 全电流定律	7-8
3.5 焦耳-楞次定律	7-8
3.6 欧姆定律	7-8
3.7 基尔霍夫定律	7-8

### 第2章 正弦交流电路

1 正弦交流电	7-9
1.1 周期、频率和角频率	7-9
1.2 相位(相角)和相位差(相角差)	7-10
1.3 有效值	7-10
1.4 平均值	7-10
2 正弦量的表示法	7-10
2.1 旋转矢量表示法	7-10

2.2 复数符号法	7-11
3 纯电阻、纯电感与纯电容的交流电路	7-11
4 电阻、电感、电容串联和并联的交流电路	7-11
5 功率和功率因数	7-11
6 三相正弦交流电路	7-16
6.1 三相电源的联接	7-16
6.2 三相负载的联接	7-16

### 第3章 电路计算方法

1 支路电流法	7-16
2 回路电流法	7-16
3 节点电位法	7-17
4 叠加原理	7-18
5 等效电源定理	7-18
5.1 电流源和电压源	7-18
5.2 等效电源定理	7-18
5.3 电压源和电流源的互换	7-19
6 星形网络和三角形网络的等效互换	7-19
7 四端网络(双口网络)	7-19
7.1 无源四端网络的 $Y$ 方程和 $Y$ 参数	7-20
7.2 无源四端网络的 $H$ 方程和 $H$ 参数	7-21
7.3 含源四端网络	7-21
8 非线性电阻电路	7-22
8.1 非线性电阻的伏安特性	7-22
8.2 非线性电阻电路的计算方法	7-22

### 第4章 非正弦交流电路

1 非正弦周期量的谐波分析	7-23
1.1 非正弦周期量展开为傅里叶级数	7-23
1.2 幅度频谱和相位频谱	7-24
1.3 谐波分量对波形的影响	7-24
2 谐波分析实例	7-24
2.1 几种常见波形的谐波分析	7-24



## 7-VI 目 录

2.2 周期矩形脉冲的频谱 .....	7-24
3 非正弦周期量的有效值和平均值 .....	7-26
4 波形因数、波顶因数和畸变因数 .....	7-26
5 非正弦交流电路的计算 .....	7-27
6 非正弦交流电路的有功功率和等效正弦量 .....	7-28
6.1 有功功率 .....	7-28
6.2 等效正弦量 .....	7-28

### 第5章 RC和RLC电路对正弦激励的频率响应

1 RC电路的频率特性 .....	7-28
1.1 RC电路频率特性的物理概念和数字表达式 .....	7-28
1.2 几种RC电路的频率特性 .....	7-2
2 RLC串联电路的正弦响应——串联谐振 .....	7-30
2.1 电路的响应特性 .....	7-30
2.2 串联谐振及其主要特点 .....	7-31
2.3 品质因数和通频带 .....	7-31
3 RL和C并联电路的正弦响应——并联谐振 .....	7-31
3.1 电路的响应特性 .....	7-31
3.2 并联谐振及其主要特点 .....	7-32
3.3 调节并联谐振电路阻抗的方法 .....	7-32
4 耦合谐振电路的正弦响应 .....	7-33

### 第6章 RC和RL电路对阶跃和冲激信号的时间响应

1 阶跃信号和冲激信号 .....	7-34
2 RC和RL电路对阶跃信号的时间响应 .....	7-35
2.1 开闭定律 .....	7-35
2.2 单一元件对阶跃信号的时间响应 .....	7-37
2.3 RC电路对阶跃信号的时间响应 .....	7-37
2.4 RL电路对阶跃信号的时间响应 .....	7-38
3 RC和RL电路对冲激信号的时间响应 .....	7-38
3.1 单一元件对冲激信号的时间响应 .....	7-38
3.2 RC电路对冲激信号的时间响应 .....	7-38
3.3 RL电路对冲激信号的时间响应 .....	7-41

4 RLC电路对冲激信号的时间响应 .....	7-41
4.1 RLC串联电路对冲激信号的时间响应 .....	7-41
4.2 RLC并联电路对冲激信号的时间响应 .....	7-42
5 RC电路对矩形脉冲信号的时间响应 .....	7-42
5.1 RC微分电路——杜阿密尔积分的应用 .....	7-42
5.2 RC积分电路——褶积积分的应用 .....	7-44
5.3 RC电路的拉氏变换分析法 .....	7-45

### 第7章 磁路和铁心线圈电路

1 磁性材料的基本磁性能 .....	7-46
1.1 磁化曲线 .....	7-46
1.2 磁滞回线 .....	7-46
1.3 磁滞损耗和涡流损耗 .....	7-46
1.4 磁性材料的分类和主要用途 .....	7-47
2 磁路和磁路定律 .....	7-48
2.1 磁路的组成 .....	7-48
2.2 磁路的欧姆定律 .....	7-48
2.3 磁路的基尔霍夫定律 .....	7-48
3 直流磁路的计算 .....	7-48
3.1 已知磁通求磁动势计算步骤 .....	7-48
3.2 已知磁动势求磁通 .....	7-48
4 直流电磁铁 .....	7-48
4.1 直流电磁铁的吸力计算 .....	7-48
4.2 直流电磁铁的特点 .....	7-49
5 交流铁心线圈电路 .....	7-49
5.1 电压平衡方程式 .....	7-49
5.2 等效电路 .....	7-50
6 交流电磁铁 .....	7-51
6.1 交流电磁铁的吸力计算 .....	7-51
6.2 电磁铁铁心截面的计算 .....	7-51
6.3 电磁铁线圈匝数和励磁电流的计算 .....	7-51
6.4 交流电磁铁的特点 .....	7-51
7 变压器的基本原理 .....	7-51

### 第8章 常用半导体器件

1 P-N结 .....	7-52
2 晶体二极管 .....	7-53

2.1 伏安特性 .....	7-53	4.4 场效应管偏置电路 .....	7-69
2.2 主要参数 .....	7-54	5 低频放大器分析方法 .....	7-70
3 稳压二极管 .....	7-54	5.1 图解法 .....	7-70
4 发光二极管和光敏二极管 .....	7-55	5.2 等效电路计算法 .....	7-71
5 双极型晶体管 .....	7-56	6 多级放大器 .....	7-72
5.1 结构和电流放大作用 .....	7-56	6.1 级间耦合方式 .....	7-72
5.2 特性曲线 .....	7-56	6.2 分析方法 .....	7-72
5.3 常用参数 .....	7-57	6.3 电路安排原则 .....	7-74
5.4 开关参数 .....	7-58	6.4 自激的产生和消除 .....	7-74
6 场效应晶体管 .....	7-58	7 负反馈 .....	7-74
6.1 结型场效应管的结构和原理 .....	7-58	7.1 反馈的基本概念 .....	7-74
6.2 MOS型场效应管的结构和原理 .....	7-60	7.2 负反馈的四种类型 .....	7-75
6.3 主要参数 .....	7-60	7.3 负反馈对放大器性能的影响 .....	7-75
6.4 特性曲线 .....	7-60	7.4 几种典型的反馈放大器电路 .....	7-77
6.5 场效应管使用注意事项 .....	7-61	7.5 反馈放大器分析 .....	7-78
7 单结晶体管 .....	7-61	7.6 射极输出器 .....	7-79
7.1 工作原理和伏安特性 .....	7-61	8 功率放大器 .....	7-80
7.2 主要参数 .....	7-62	8.1 变压器耦合的功率放大器 .....	7-80
8 硅晶体闸流管 .....	7-62	8.2 无变压器耦合功率放大器 .....	7-81
8.1 普通硅晶闸管结构、原理及伏安特性 .....	7-62	8.3 集成功率放大器 .....	7-83
8.2 普通硅晶闸管主要参数 .....	7-63	9 选频放大器 .....	7-83
8.3 特殊硅晶闸管 .....	7-63	9.1 选频放大器的主要指标 .....	7-83
		9.2 选频放大器电路 .....	7-84

## 第9章 低频放大器

1 放大器的三种组态及其基本 工作原理 .....	7-64
1.1 三种组态 .....	7-64
1.2 单级交流放大器基本工作原理 .....	7-64
2 交流放大器的主要指标 .....	7-65
2.1 放大倍数 .....	7-65
2.2 非线性失真系数 .....	7-65
2.3 频率特性 .....	7-65
2.4 输入电阻和输出电阻 .....	7-65
3 晶体管的交流等效电路 .....	7-65
3.1 T型等效电路 .....	7-65
3.2 $h$ 参数等效电路 .....	7-66
3.3 场效应管微变等效电路 .....	7-67
4 偏置与稳定 .....	7-67
4.1 静态工作点对放大器工作的影响 .....	7-67
4.2 稳定系数 $S$ .....	7-67
4.3 常用偏置电路 .....	7-67

## 第10章 直流放大器

1 零点漂移 .....	7-86
1.1 零点漂移的产生 .....	7-86
1.2 零点漂移的克服 .....	7-86
1.3 衡量漂移的指标 .....	7-86
2 差动放大器 .....	7-86
2.1 工作原理 .....	7-86
2.2 共模抑制比 .....	7-87
2.3 具有恒流源的差动放大器 .....	7-87
2.4 差动放大器的几种接法 .....	7-87
2.5 差动放大器的调零 .....	7-87
3 调制型直流放大器 .....	7-89
3.1 工作原理 .....	7-89
3.2 调制器 .....	7-90
3.3 解调器 .....	7-90

## 第11章 集成运算放大器

1 集成运算放大器简介 .....	7-91
-------------------	------

2	集成运算放大器主要参数	7-92
3	集成运算放大器的等效电路及符号	7-93
4	集成运算放大器的反馈特性	7-93
5	集成运算放大器组成的模拟运算电路	7-93
5.1	比例放大器	7-93
5.2	加法器	7-95
5.3	减法器	7-95
5.4	积分器	7-96
5.5	微分器	7-96
5.6	对数放大器和反对数放大器	7-96
6	比例-积分-微分器(PID放大器)	7-96
6.1	比例积分器	7-96
6.2	比例微分器	7-97
6.3	PID放大器	7-97
7	集成运算放大器在调制型直流放大器中的应用	7-97
7.1	单通道式	7-97
7.2	双通道式	7-97
8	运算放大器用于有源滤波器	7-98
9	集成运算放大器应用中的几个问题	7-98

## 第12章 正弦波振荡器

1	正弦波振荡器的原理和振荡条件	7-99
1.1	工作原理	7-99
1.2	振荡条件	7-100
2	频率稳定度	7-100
3	LC正弦波振荡器	7-100
3.1	变压器反馈振荡电路	7-100
3.2	电感反馈振荡电路	7-100
3.3	电容反馈振荡电路	7-100
4	石英晶体振荡器	7-102
4.1	石英晶体谐振器	7-102
4.2	并联型石英晶体振荡器	7-102
4.3	串联型石英晶体振荡器	7-102
5	RC正弦波振荡器	7-103
5.1	RC移相式振荡器	7-103
5.2	文氏电桥振荡器	7-103

## 第13章 晶体管脉冲电路

1	脉冲的主要参数	7-104
2	削波器与箝位器	7-104
2.1	削波器(限幅器)	7-104
2.2	箝位器	7-104
3	反相器	7-107
4	双稳态触发器	7-107
5	单稳态触发器	7-107
6	无稳态触发器(多谐振荡器)	7-109
7	施密脱触发器(射极耦合触发器)	7-109
8	脉冲功率放大器	7-110

## 第14章 半导体数字集成电路

1	基本逻辑门	7-111
2	高阈值逻辑(HTL)门电路	7-112
2.1	电路结构和基本原理	7-112
2.2	基本参数	7-113
2.3	抗扰度	7-113
3	晶体管-晶体管逻辑(TTL)门电路	7-114
3.1	电路的结构和基本原理	7-114
3.2	基本参数和抗扰度	7-114
3.3	TTL的“与”扩展器、“与或”扩展器和驱动器	7-115
4	PMOS门电路	7-115
4.1	PMOS“与非”门电路	7-115
4.2	PMOS“或非”门电路	7-116
4.3	PMOS传送门	7-116
5	CMOS门电路	7-116
5.1	CMOS“与非”门电路	7-116
5.2	CMOS“或非”门电路	7-116
5.3	CMOS传输门及模拟门	7-117
6	用“与非”门电路(或“或非”门电路)构成其他各种逻辑门电路	7-117
7	用“与非”门电路(或“或非”门电路)构成的触发器	7-117
7.1	R-S触发器	7-117
7.2	时钟R-S触发器	7-118
7.3	维持阻塞触发器	7-118

7.4	主-从触发器	7-119
7.5	准静态触发器	7-119
7.6	用“与非”门电路构成的无稳态 触发器	7-119
7.7	用“与非”门电路构成单稳态触发器	7-119
7.8	施密脱触发器	7-119
8	集成电路触发器	7-120
8.1	D触发器	7-121
8.2	T触发器	7-121
8.3	J-K触发器	7-121
8.4	集成电路触发器的相互转换	7-121
9	计数器	7-122
9.1	二进制计数器	7-122
9.2	N进制计数器	7-123
9.3	十进制计数器	7-123
10	移位寄存器	7-126
11	译码器	7-126
11.1	二极管矩阵译码器	7-126
11.2	集成电路译码器举例	7-126
11.3	顺序脉冲分配器	7-127
12	数据选择器	7-127
13	数字-模拟转换器 (D/A)	7-128
14	HTL, TTL, MOS 集成电路间的 电平转换	7-128
15	显示	7-128
15.1	辉光数码管显示	7-128
15.2	荧光数码管显示	7-128
16	半加器和半减器	7-129
17	全加器和全减器	7-129
17.1	全加器	7-129
17.2	全加减器	7-130
18	大规模集成电路 (LSI)	7-130
18.1	半导体存储器	7-131
18.2	逻辑电路	7-132
18.3	微处理器	7-132
18.4	微型计算机	7-134
18.5	LSI 电路在机电工业中的应用	7-134

### 第15章 半导体整流和直流稳压电路

1	整流电路	7-134
1.1	基本原理	7-134

1.2	整流电路的基本电量关系	7-136
1.3	各种整流电路的特点	7-136
2	滤波电路	7-138
2.1	基本原理	7-140
2.2	各种滤波电路的特点	7-140
3	半导体直流稳压电路	7-141
3.1	稳压电路的主要性能参数	7-141
3.2	稳压管稳压电路	7-141
3.3	连续调整串联型稳压电路	7-142
3.4	开关型稳压电路	7-146

### 第16章 硅晶体闸流管电路

1	可控整流的主电路	7-147
1.1	单相桥式半控整流电路	7-147
1.2	三相桥式全控整流电路	7-147
1.3	电感对可控整流电路的影响	7-152
1.4	反电势负载	7-153
1.5	可控整流电路的逆变状态	7-154
1.6	可逆整流电路	7-155
2	硅晶闸管的触发电路	7-155
2.1	阻容移相桥触发电路	7-156
2.2	单结晶体管触发电路	7-156
2.3	锯齿波移相控制的触发电路	7-156
3	逆变器	7-158
3.1	串联逆变器	7-158
3.2	并联逆变器	7-159
4	交流调压器	7-160
4.1	单相交流调压器	7-160
4.2	三相交流调压器	7-161
5	无触点开关和直流斩波器	7-161
5.1	单相交流无触点开关	7-161
5.2	三相交流无触点开关	7-161
5.3	直流无触点开关	7-162
5.4	直流斩波器	7-162
6	普通硅晶闸管的串并联和保护	7-163
6.1	硅晶闸管的串联和均压	7-163
6.2	硅晶闸管的并联和均流	7-163
6.3	硅晶闸管的过电流保护	7-163
6.4	硅晶闸管的过电压保护	7-163
	参考文献	7-164

# 第1章 电和磁的基本量和基本定律

## 1 电和磁的基本量

### 1.1 电场和电场强度

a. **电场** 电荷或变化磁场的周围存在着一种特殊形态的物质,称为电场。电场具有能量。电量为 $Q$ 的正电荷在电场内某一点所受到的作用力,称为电场力 $F$ 。

b. **电场强度** 电场强度是表征电场中某给定性质点的一个物理量。电场中某点的电场强度 $E$ ,为单位正电荷在该点所受的力,即

$$E = \frac{F}{Q} \quad \text{N/C 或 V/m} \quad (7.1-1)$$

式中  $F$ ——力 N;

$Q$ ——电量 C。

电场强度是一个矢量,其方向就是正电荷在该点所受力的方向。

### 1.2 电位、电压和电动势

a. **电位** 在电场中取任意点 $P$ 作为参考点,单位正电荷在电场力作用下从电场中的 $a$ 点移到参考点 $P$ 时,电场力所作的功称为 $a$ 点的电位 $V_a$ ,即

$$V_a = \int_a^P \mathbf{E} d\mathbf{l} \quad \text{V} \quad (7.1-2)$$

在理论研究中常取无穷远点作为电位的参考点;在电力线路中常取大地作为电位的参考点,用符号 $\perp$ 表示;在电子线路中常取公共点作为电位的参考点,用符号 $\perp$ 表示。参考点的电位规定为零。

b. **电压** 在电场中单位正电荷在电场力的作用下从 $a$ 点移到 $b$ 点,电场力所作的功称为 $a$ 、 $b$ 两点间的电压 $V_{ab}$ ,即 $a$ 、 $b$ 两点间的电位差为

$$V_{ab} = \int_a^b \mathbf{E} d\mathbf{l} = \int_a^P \mathbf{E} d\mathbf{l} - \int_P^b \mathbf{E} d\mathbf{l} = V_a - V_b \quad \text{V} \quad (7.1-3)$$

电压是标量,它的方向规定为从高电位到低电位。

c. **电动势** 非电场的外力把单位正电荷从 $a$ 点移到 $b$ 点所作的功,称为 $a$ 、 $b$ 两点间的电动势 $E$ 。其单位是V。电动势是标量,它的方向规定为非电场的外力推动正电荷移动的方向,即从低电位到高电位。

### 1.3 电流强度和电流密度

a. **电流强度** 单位时间内通过某导体截面的电量,称为电流强度,简称电流 $i$ ,且

$$i = \frac{dq}{dt} \quad (7.1-4)$$

对于恒定电流

$$I = \frac{Q}{t} \quad \text{A 或 C/s} \quad (7.1-5)$$

式中  $t$ ——时间 s;

$Q$ ——电量 C。

电流是标量,它的方向规定为正电荷移动的方向。

b. **电流密度** 在垂直于电流方向的单位面积中所通过的电流,称为电流密度 $J$ 。当电流在截面积 $S$ 中均匀分布时,

$$J = \frac{I}{S} \quad \text{A/m}^2 \quad (7.1-6)$$

### 1.4 电功和电功率

a. **电功** 电量为 $Q$ 的电荷在电场力的作用下,从 $a$ 点移到 $b$ 点,电场力所作的功,称为电功 $W$ ,

$$W = VQ = VIt = I^2 R t \quad \text{J} \quad (7.1-7)$$

式中  $V$ —— $a$ 、 $b$ 两点间的电压 V;

$I$ ——电流 A;

$t$ ——时间 s;

$R$ ——电阻  $\Omega$ 。

$$1 \text{ J} = 1 \text{ W} \cdot \text{s} = 277.8 \times 10^{-9} \text{ kW} \cdot \text{h}$$

b. **电功率** 单位时间内电场力所作的功,称为电功率 $P$ ,

$$P = \frac{W}{t} = VI \quad \text{W} \quad (7.1-8)$$

## 1.5 击穿电压和击穿强度

绝缘材料的外施电压增大到某一极限值就会发生击穿现象,这时绝缘材料被局部破坏,并失去绝缘性能。使绝缘材料击穿的最小电压,称为击穿电压。对应的电场强度,称为击穿强度或绝缘强度,单位是 kV/cm 或 kV/mm。

表 7·1-1 列出了几种绝缘材料的击穿强度。

表 7·1-1 几种绝缘材料的击穿强度

材料名称	击穿强度 kV/cm
空气	33
变压器油(10号)	160~180
天然橡胶	>200
聚苯乙烯	200~280
醇酸纸云母箔(5830)	160~350
卷缠绝缘纸	80~100

## 1.6 磁场、磁感应强度、磁通量和磁链

**a. 磁场** 运动电荷、载流导体或变化电场的周围存在着一种特殊形态的物质,称为磁场。磁场具有能量。磁针在磁场内受到作用力。

**b. 磁感应强度** 磁感应强度  $B$  是表征磁场中某给定点性质的一个物理量,其数值表示该点磁场的强弱,其方向就是该点的磁场方向,即在磁场的作用下磁针北极(N极)所转到的方向。 $B$  也就是磁通密度。单位是特斯拉(T)、韦伯/米<sup>2</sup>(Wb/m<sup>2</sup>)或高斯(G), $1\text{T} = 1\text{Wb}/\text{m}^2 = 10^4\text{G}$ 。

若磁场内各点的磁感应强度大小相同,方向一致,则称为均匀磁场。

**c. 磁通量** 磁通量(简称磁通) $\phi$ 是磁感应强度矢量的通量。在均匀磁场中,通过垂直于磁场方向的面积 $S$ 的磁通为

$$\phi = BS \quad \text{Wb} \quad (7\cdot1-9)$$

式中  $B$ ——磁感应强度 Wb/m<sup>2</sup>;  
 $S$ ——面积 m<sup>2</sup>。

$$1\text{Wb} = 10^8\text{Mx}$$

**d. 磁链** 与线圈相环链的磁通和线圈匝数的乘积,称为磁链 $\psi_m$ 。当 $N$ 匝线圈都环链相同的磁通 $\phi$ 时,

$$\psi_m = N\phi \quad \text{Wb} \quad (7\cdot1-10)$$

## 1.7 磁导率和磁场强度

**a. 磁导率** 磁导率 $\mu$ 是表征物质的导磁性能的一个物理量,它的单位是亨利/米(H/m)。真空磁导率 $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7}\text{H}/\text{m}$ 。某一物质的磁导率 $\mu$ 与真空的磁导率 $\mu_0$ 之比,称为该物质的相对磁导率 $\mu_r$ ,即

$$\mu_r = \frac{\mu}{\mu_0} \quad (7\cdot1-11)$$

$\mu_r$ 是没有量纲的纯数。非磁性材料(如空气、木材、玻璃、铜、银、铅等)的磁导率与真空磁导率近似,故非磁性材料的相对磁导率 $\mu_r \approx 1$ 。磁性材料的磁性能见本篇第7章。

**b. 磁场强度** 磁场强度 $H$ 是描述磁场的另一个物理量,它和磁感应强度 $B$ 的关系为

$$H = \frac{B}{\mu} \quad \text{A}/\text{m} \quad (7\cdot1-12)$$

式中, $H$ 的单位是安培/米(A/m)、安·匝/米(A·t/m)或奥斯特(Oe), $1\text{A}\cdot\text{t}/\text{m} = 0.4\pi\text{Oe}$ 。

## 1.8 磁动势、磁压、磁阻和磁导

**a. 磁动势** 产生磁通的磁化力,称为磁动势 $F_m$ ,单位为安培·匝(At)或安培(A)。它就是励磁线圈的匝数 $N$ 和流过线圈的电流 $I$ 的乘积,即

$$F_m = NI \quad \text{At (或 A)} \quad (7\cdot1-13)$$

**b. 磁压** 磁路中任意两点 $a$ 、 $b$ 间的磁压 $V_m$ 为

$$V_m = \int_a^b H dl \quad \text{A} \quad (7\cdot1-14)$$

磁路往往由若干磁场强度不同的部分(段)所组成,而每段的 $H$ 都相同。故式(7·1-14)可写成

$$V_m = \Sigma Hl \quad \text{A} \quad (7\cdot1-15)$$

式中  $H$ ——各段的磁场强度;

$l$ ——沿磁场强度方向各段磁路的长度。

**c. 磁阻** 磁路的磁阻 $R_m$ 为

$$R_m = \frac{l}{\mu S} \quad 1/\text{H} \quad (7\cdot1-16)$$

式中  $\mu$ ——物质的磁导率 H/m;

$S$ ——磁路的截面积 m<sup>2</sup>;

$l$ ——磁路的长度 m。

如果磁路中各段的 $\mu$ 或 $S$ 不同,则应分别计算各段的磁阻。如果磁路含有铁磁物质,由于 $\mu$ 不是

常量，故磁路的磁阻也不是常量。

d. 磁导 磁路的磁导  $g_m$  为

$$g_m = \frac{\mu S}{l} = \frac{1}{R_m} \text{ H} \quad (7.1-17)$$

## 2 电路参数

### 2.1 电阻和电导

#### 2.1.1 电阻

在电路中电阻器把电能转变为热能，它是耗能元件。电阻是表征电阻器耗能能力的参数，其单位是  $\Omega$ 。

物体的电阻  $R$  与物体的长度  $l$  成正比，与物体截面积  $S$  成反比（当电流在截面中均匀分布时），此外还与物体的材料有关，即

$$R = \rho \frac{l}{S} \quad \Omega \quad (7.1-18)$$

式中， $\rho$  为电阻率。不同的材料具有不同的电阻率。其单位是  $\Omega \cdot m$ 。工程上常用  $\Omega \cdot mm^2/m$ ，或  $\Omega \cdot cm$ 。

#### 2.1.2 电阻温度系数

电阻与温度有关。在一般工作温度范围内，导体电阻与温度的关系可以认为是线性的。用下式表示

$$R_2 = R_1 + R_1 \alpha (t_2 - t_1) \quad \Omega \quad (7.1-19)$$

式中  $R_1$ ——温度为  $t_1$  时导体的电阻  $\Omega$ ；

$R_2$ ——温度为  $t_2$  时导体的电阻  $\Omega$ ；

$\alpha$ ——以温度  $t_1$  为基准时导体的电阻温度系数  $1/^\circ C$ 。

所有金属的电阻都随温度的增加而增大，所以  $\alpha$  值是正的。而电解液、碳和半导体的电阻却随着温度的增加而减小，所以它们的  $\alpha$  值是负的。

各种元素的  $\rho$  与  $\alpha$  见本手册第1篇表 1.5-5。

#### 2.1.3 电导与电导率

a. 电导 衡量物体传导电流的能力的物理量，称为电导  $g$ ，单位为西门子 (S) 或姆 (M)。它是电阻的倒数，即

$$g = \frac{1}{R} \quad \text{S 或 M} \quad (7.1-20)$$

b. 电导率 电导率  $\gamma$  是电阻率  $\rho$  的倒数，即

$$\gamma = \frac{1}{\rho} \quad 1/\Omega \cdot m \quad (7.1-21)$$

工程上常用  $m/\Omega \cdot mm^2$  作为电导率的单位。

#### 2.1.4 电阻的串联与并联 (表 7.1-2)

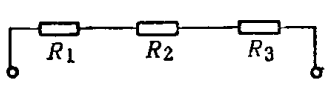
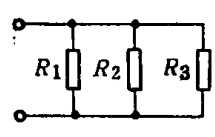
#### 2.1.5 绝缘电阻

绝缘材料在恒定电压作用下，有微小漏电流通过。外施电压与漏电流的比值，称为绝缘材料的绝缘电阻。通常用  $M\Omega$  作为单位。

### 2.2 电感

在电路中电感器把电能转变为磁场能，它是储能元件。电感是表征电感器储能能力的参数。电感包括自感和互感，有时自感也称为电感。

表 7.1-2 电阻的串联与并联

名称	电阻串联	电阻并联
电路图		
等效电阻	$R = R_1 + R_2 + R_3$	$R = \frac{1}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}}$
等效电导	$g = \frac{1}{\frac{1}{g_1} + \frac{1}{g_2} + \frac{1}{g_3}}$	$g = g_1 + g_2 + g_3$

2.2.1 自感

载流线圈的磁链  $\psi_m$  与所通过的电流  $i$  的比值, 称为自感系数  $L$ , 简称自感

$$L = \frac{\psi_m}{i} \quad \text{H} \quad (7.1-22)$$

当线圈通有电流  $I$  时, 其中的磁场储有能量

$$W_m = \frac{1}{2} LI^2 \quad \text{J} \quad (7.1-23)$$

所以电感线圈是由于电流的流通而储存能量的元件, 它的储能与通过元件的电流有关。自感说明一个线圈产生磁链, 即储存磁能的能力, 它的大小与线圈匝数平方成正比, 与线圈的几何尺寸、形状及物质的磁导率有关。

对于空心线圈,  $\psi_m$  与  $i$  成正比,  $L$  是常量。而

铁芯线圈,  $\psi_m$  与  $i$  不成正比,  $L$  是随  $i$  而变的一个变量。

2.2.2 几种自感的计算公式 (表 7.1-3)

2.2.3 互感

如图 7.1-1 所示, 在磁通量与电流成正比的情况下, 线圈 1 中的电流  $i_1$  所产生的与线圈 2 环链的磁链  $\psi_{21}$  正比于  $i_1$ ;  $\psi_{21}$  与  $i_1$  的比值  $M_{21}$  称为线圈 1 对线圈 2 的互感系数, 简称互感, 即

$$M_{21} = \frac{\psi_{21}}{i_1} \quad \text{H} \quad (7.1-24)$$

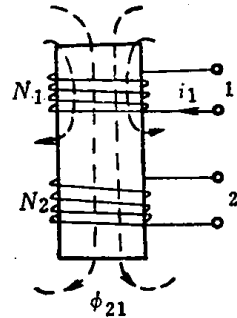


图 7.1-1 互感

表 7.1-3 几种自感的计算公式

项 目	图 形	自 感 (H)	条 件
圆截面直导线段的自感		$L = \frac{\mu_0 l}{2\pi} \left( \ln \frac{2l}{r_0} - 0.75 \right)$	$r_0 \ll l$
矩形线圈的自感		$L = \frac{\mu_0}{\pi} \left[ a \ln \frac{2ab}{r_0(a+b)} + b \ln \frac{2ab}{r_0(a+b)} - 2(a+b-d) \right] + \frac{\mu_0}{\pi} \left( \frac{a+b}{4} \right)$	$r_0$ 为圆形导线半径 $d = \sqrt{a^2 + b^2}$ $r_0 \ll a$ $r_0 \ll b$
圆环的自感		$L = \mu_0 R \left( \ln \frac{8R}{a} - 1.75 \right)$	$a$ 为圆环截面的半径 $a \ll R$
长螺管线圈的自感		$L \approx \frac{\mu_0 N^2 A}{l}$	$A$ 为螺管线圈截面积 $N$ 为匝数 $l/R > 40$
短螺管线圈的自感		$L \approx \frac{6.4 \mu_0 N^2 D^2}{3.5D + 8l} \cdot \frac{D - 2.25d}{D}$	$N$ 为匝数

注: 设导体与导体外面的空间都是非铁磁物质。



同样，线圈2对线圈1的互感系数  $M_{12}$  为

$$M_{12} = \frac{\psi_{12}}{i_2} \text{ H} \quad (7.1-25)$$

而且  $M_{12} = M_{21} = M \text{ H} \quad (7.1-26)$

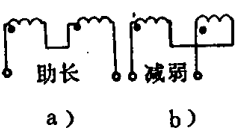
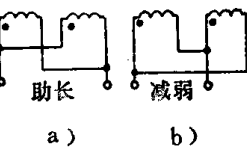
互感有正、负值，当两个电流从同铭端流入时为正；一个从同铭端流入，一个从非同铭端流入时为负。互感系数与线圈匝数  $N_1$  和  $N_2$  的乘积成正比，并与两个线圈的形状、大小、相互位置及周围介质的磁导率有关。

同铭端在接线图中用“·”标记。两个线圈的电流分别由同铭端流入（或流出）时，它们所产生的磁通是相互助长的；一个电流由同铭端流入，另一个由非同铭端流出，则产生的磁通是相互减弱的。若电流  $i_1$  由同铭端流入线圈1，并通过互感在线圈2中感应出电流  $i_2$ ，根据楞次定律， $i_2$  产生的磁通减弱  $i_1$  的磁通，则  $i_2$  由非同铭端流出。

### 2.2.4 线圈串联或并联时的电感

线圈串联或并联时，既有自感，又有互感，其接线图及总电感计算公式见表7.1-4。

表7.1-4 线圈的串联与并联

联接	接线图	总电感
串联		$L = L_1 + L_2 + 2M$ a) $M > 0$ b) $M < 0$
并联		$L = \frac{L_1 L_2 - M^2}{L_1 + L_2 - 2M}$ a) $M > 0$ b) $M < 0$

### 2.3 电容

在电路中电容器把电能转变为电场能，它是储能元件。电容是表征电容器储能能力的参数。

如果在电容器的两极板上施加电压  $V$ ，则电容器被充电，在两极板上分别出现数量相等而符号相反的电荷。电荷  $q$  与电压  $v$  的比值，称为电容器的电容  $C$ ，即

$$C = \frac{q}{v} \text{ F} \quad (7.1-27)$$

对于恒定电压

$$C = \frac{Q}{V} \text{ F} \quad (7.1-28)$$

电容的基本单位为法拉 (F)；由于这个单位太大，常用微法 ( $\mu\text{F}$ ) 或皮法 (pF)。皮法又称微微法 ( $\mu\mu\text{F}$ )。  $1\mu\text{F} = 10^{-6}\text{F}$ ，  $1\text{pF} = 10^{-12}\text{F}$ 。

电容器充电后，其中的电场储有能量，即

$$W = \frac{1}{2} C V^2 \text{ J} \quad (7.1-29)$$

所以电容器是由于两端加有电压而储存能量的元件，它的储能与加于元件的电压有关。电容说明电容器容纳电荷，即储存电场能的能力，它的数值与导体的形状、大小、相互位置有关，也和两导体间绝缘材料的电性能(用  $\epsilon$  表示)有关(见表7.1-6)。

表示绝缘材料电性能的物理量称为介电常数  $\epsilon$ ，单位是  $\text{F/m}$ 。真空介电常数  $\epsilon_0 = 8.85 \times 10^{-12} \text{ F/m}$ 。某一绝缘材料的介电常数  $\epsilon$  与真空介电常数  $\epsilon_0$  之比称为该材料的相对介电常数  $\epsilon_r$ ，

$$\epsilon_r = \frac{\epsilon}{\epsilon_0} \quad (7.1-30)$$

表7.1-5 列出了几种绝缘材料的  $\epsilon_r$  值。

表7.1-5 几种绝缘材料的相对介电常数

材料名称	$\epsilon_r$
空气	1.0
电容器油	2.1~2.3
蓖麻油	4.2
白云母	5.4~8.7
聚丙烯薄膜	2.0~2.2

#### 2.3.1 几种电容的计算公式(表7.1-6)

#### 2.3.2 电容的串联与并联(表7.1-7)

### 2.4 单一元件的伏安关系及电压、电流正方向的规定

三种基本电路元件——电阻器、电感器和电容器的伏安关系，即元件两端的电压和流过元件的电流之间的关系见表7.1-8。

在进行电路分析计算时，电路中的电动势、电压或电流方向可任意假定并用箭头标于电路图中，称为规定的正方向。当电动势、电压或电流的实际方向与正方向相同时，电动势、电压或电流取正值；反之，取负值。