

现代综合机械 设计手册

下

《现代综合机械设计手册》编委会

北京出版社

目 录

第六篇 通用标准传动部件.....	(2115)	3 NGW-S型行星齿轮减速器.....	(2242)
第一章 通用标准减速器及其选 用	(2115)	3.1 技术参数	(2242)
1 通用标准减速器类型与特点 ...	(2115)	3.2 减速器的选用	(2258)
2 通用标准减速器的选用	(2115)	4 NGW-L型立式行星齿轮减 速器.....	(2259)
第二章 圆柱齿轮减速器.....	(2118)	4.1 技术参数	(2259)
1 硬齿面、中硬齿面渐开线圆柱 齿轮减速器	(2118)	4.2 减速器的选用	(2269)
1.1 技术参数	(2118)	5 ZZ行星齿轮减速器	(2270)
1.2 减速器的选用	(2144)	5.1 技术参数	(2270)
2 圆弧圆柱齿轮减速器及软齿面渐开 线圆柱齿轮减速器.....	(2146)	5.2 减速器的选用	(2297)
2.1 技术参数	(2146)	6 H型混合少齿差星轮减速器 ...	(2298)
2.2 减速器的选用	(2166)	6.1 技术参数	(2298)
3 ZJ型轴装式减速器.....	(2168)	6.2 减速器的选用	(2320)
3.1 技术参数	(2168)	7 摆线针轮减速器.....	(2322)
3.2 减速器的选用	(2170)	7.1 技术参数	(2322)
第三章 蜗杆减速器	(2170)	7.2 减速器的选用	(2331)
1 阿基米德圆柱蜗杆减速器	(2170)	8 谐波传动减速器.....	(2331)
1.1 技术参数	(2170)	第七篇 液压与气动.....	(2334)
1.2 减速器的选用	(2175)	第一章 液压基本知识	(2334)
2 圆弧圆柱蜗杆减速器.....	(2175)	1 液压传动的定义和特点	(2334)
2.1 技术参数	(2175)	2 液压标准	(2334)
2.2 减速器的选用	(2193)	3 各主要国家的液压图形符号 ...	(2356)
3 直廓环面蜗杆减速器	(2197)	第二章 液压流体力学基础.....	(2356)
3.1 技术参数	(2197)	1 名词和常用公式.....	(2356)
3.2 减速器的选用	(2208)	1.1 压力	(2356)
第四章 行星齿轮减速器及摆线针 轮减速器、谐波传动减 速器	(2210)	1.2 液体作用于球面上的力	(2356)
1 NGW型行星齿轮减速器.....	(2210)	1.3 节流公式	(2356)
1.1 技术参数	(2210)	1.4 流过锥阀的流量系数	(2356)
1.2 减速器的选用	(2226)	1.5 直角棱边滑阀的流量系数	(2357)
2 NGW-Z型行星齿轮减速器 ...	(2226)	1.6 喷嘴挡板阀的流量系数	(2357)
2.1 技术参数	(2226)	1.7 层流和紊流	(2357)
2.2 减速器的选用	(2240)	1.8 雷诺数	(2357)
		1.9 湿周	(2357)
		1.10 水力直径.....	(2358)
		1.11 临界雷诺数.....	(2358)
		1.12 流量.....	(2358)

1.13 液体的连续性.....	(2359)	5.1 工作原理	(2403)
1.14 圆管和同心套管的层流流量.....	(2359)	5.2 变量机构	(2405)
1.15 液压冲击.....	(2359)	5.3 轴向柱塞泵系列及其技术参 数	(2405)
1.16 液压卡紧.....	(2360)	5.4 轴向柱塞泵的选用和注意事 项	(2413)
1.17 气穴和气蚀.....	(2360)	6 低速液压马达.....	(2414)
1.18 液压功率.....	(2360)	6.1 工作原理	(2414)
2 管道中的压力损失.....	(2360)	6.2 低速液压马达系列及其技术参 数和注意事项	(2414)
2.1 圆管的沿程压力损失	(2360)	7 摆动液压马达.....	(2416)
2.2 局部阻力损失	(2361)	7.1 工作原理	(2416)
2.3 压力损失的叠加	(2369)	7.2 摆动液压马达系列及其技术参 数	(2419)
2.4 管路计算	(2369)	第五章 液压缸	(2419)
第三章 液压系统中的工作介质	(2369)	1 液压缸的工作原理.....	(2419)
1 对工作介质的一般要求	(2369)	2 液压缸系列及其技术参数	(2420)
2 工作介质的物理化学性质	(2369)	2.1 DG系列车辆用液压缸	(2420)
3 工作介质的添加剂	(2371)	2.2 HSG系列工程液压缸	(2420)
4 常用工作介质.....	(2371)	2.3 YHG系列冶金用液压缸	(2423)
4.1 石油型工作介质	(2371)	2.4 船用液压缸	(2423)
4.2 乳化型工作介质	(2373)	3 双作用双活塞杆液压缸设计 ..	(2423)
4.3 合成型工作介质	(2373)	3.1 设计方法和步骤	(2423)
5 工作介质的选用.....	(2374)	3.2 缸的结构及其设计	(2426)
第四章 液压泵和液压马达	(2375)	4 液压缸结构实例和注意事项 ..	(2432)
1 液压泵和液压马达的主要参数 及常用计算公式.....	(2375)	第六章 液压控制阀	(2435)
1.1 液压泵和液压马达的主要参 数.....	(2375)	1 方向阀.....	(2436)
1.2 液压泵和液压马达的常用计 算公式	(2377)	1.1 单向阀和液控单向阀.....	(2436)
2 齿轮泵和齿轮马达.....	(2377)	1.2 电磁换向阀	(2441)
2.1 齿轮泵和齿轮马达工作原理 ..	(2377)	1.3 液控换向阀和电液换向阀	(2447)
2.2 齿轮泵和齿轮马达系列及其技 术参数	(2378)	1.4 手动换向阀	(2449)
2.3 齿轮泵的选用与注意事项	(2386)	1.5 换向阀系列及其技术参数	(2449)
3 螺杆泵	(2389)	1.6 电磁和电液换向阀的选用及注 意事项	(2449)
3.1 螺杆泵工作原理	(2389)	2 压力控制阀	(2453)
3.2 螺杆泵的特点、用途和注意事 项	(2389)	2.1 溢流阀	(2453)
3.3 螺杆泵的型号及其技术参数 ..	(2390)	2.2 顺序阀	(2457)
4 叶片泵和叶片马达.....	(2396)	2.3 减压阀	(2459)
4.1 工作原理	(2396)	2.4 压力继电器	(2463)
4.2 叶片泵和叶片马达的特点	(2397)	3 流量控制阀	(2465)
4.3 叶片泵系列及其技术参数	(2397)	3.1 节流阀和单向节流阀	(2465)
4.4 叶片泵的选用和注意事项	(2398)	3.2 恒速阀	(2466)
5 轴向柱塞泵和马达.....	(2403)	3.3 同步阀	(2469)

第七章 液压辅件.....	(2470)	4 运行调控回路.....	(2512)
1 密封件.....	(2470)	4.1 同步回路	(2512)
1.1 密封件的分类及设计选用要求	(2470)	4.2 顺序动作回路	(2514)
1.2 O形密封圈	(2470)	4.3 互不干扰回路	(2515)
1.3 Y形密封圈	(2476)	第九章 液压系统的设计	(2516)
1.4 V形密封圈	(2477)	1 设计方法	(2516)
1.5 油封	(2478)	1.1 主要参数的确定	(2516)
1.6 防尘圈	(2480)	1.2 初拟液压系统的整体方案	(2517)
1.7 密封胶	(2482)	1.3 性能的验算和工作图的绘制	(2518)
2 滤油器	(2482)	2 液压系统设计举例.....	(2518)
2.1 滤油器及其性能参数	(2482)	第十章 气动基本知识	(2523)
2.2 滤油器系列及其技术参数	(2483)	1 气压传动的特点及其系统的组成	(2523)
2.3 滤油器的选用原则	(2486)	1.1 特点	(2523)
3 蓄能器.....	(2488)	1.2 气动系统的组成	(2524)
3.1 气囊式蓄能器的工作原理	(2488)	2 气动元件	(2525)
3.2 蓄能器在液压系统中的作用	(2489)	2.1 基本参数	(2525)
3.3 使用蓄能器时的注意事项	(2489)	2.2 执行元件	(2525)
3.4 气囊式蓄能器产品	(2490)	2.3 控制元件	(2533)
4 油箱.....	(2490)	2.4 辅助元件	(2543)
4.1 油箱的结构和分类	(2490)	第十一章 气动系统的设计	(2548)
4.2 油箱的设计要点	(2491)	1 气动基本回路.....	(2548)
4.3 油箱的温度控制	(2491)	2 控制回路的逻辑设计	(2552)
5 管件.....	(2492)	3 气动元件的选择.....	(2555)
5.1 金属管和胶管	(2492)	3.1 执行元件的选择	(2555)
5.2 管接头	(2496)	3.2 控制元件的选择	(2555)
第八章 液压回路.....	(2500)	3.3 气源系统及辅助元件的选择	(2557)
1 压力调控回路	(2500)	4 设计实例	(2558)
1.1 调压回路	(2500)	附录1 GB/T 786.1-93液压气动图形符号.....	(2560)
1.2 减压回路	(2500)	附录2 国产主要气动元件品种规格	(2605)
1.3 增压回路	(2500)	第八篇 电气技术.....	(2615)
1.4 保压回路	(2500)	第一章 电工技术基础.....	(2615)
1.5 平衡回路	(2500)	1 电路的基本概念.....	(2615)
1.6 卸压回路	(2500)	1.1 电路的基本物理量	(2615)
1.7 卸荷回路	(2503)	1.2 电路和电路模型	(2616)
2 速度调控回路	(2504)	1.3 电路元件	(2616)
2.1 调速回路	(2504)	2 电路基本定律.....	(2617)
2.2 增速回路	(2506)	3 常用电路分析方法.....	(2619)
2.3 换速回路	(2507)	3.1 等效化简法	(2619)
2.4 制动回路	(2508)	3.2 支路(电流)法	(2619)
3 方向和位置调控回路	(2509)	3.3 回路(电流)法	(2620)
3.1 换向回路	(2509)	3.4 节点(电压)法	(2621)
3.2 锁紧回路	(2511)		
3.3 定位回路	(2512)		

3.5	叠加定理	(2621)	10.3	漏电自动开关与漏电继电器	(2652)
3.6	戴维南定理和诺顿定理	(2621)	第二章 电机与电器		(2653)
3.7	电路分析举例	(2622)	1 交流异步电动机		(2653)
4	正弦交流电路	(2624)	1.1 三相异步电动机的工作原理及构造		(2653)
4.1	正弦交流电的基本概念	(2624)	1.2 三相异步电动机的机械特性		(2655)
4.2	正弦交流电路的相量法	(2626)	1.3 三相异步电动机的起动、调速与制动		(2658)
4.3	电路基本定律的相量形式	(2627)	1.4 三相交流异步电动机的主要型号及技术参数		(2664)
4.4	复数阻抗	(2627)	2 直流电机		(2664)
4.5	交流电路的分析与计算	(2628)	2.1 直流电机及其结构		(2664)
4.6	交流电路计算举例	(2628)	2.2 直流电机的特性分析		(2677)
4.7	交流电路的功率	(2629)	2.3 他(并)励直流电动机的起动、制动和调速		(2678)
4.8	电路中的谐振	(2632)	2.4 直流电动机主要型号及技术参数		(2680)
5	三相交流电路	(2633)	3 变压器		(2681)
5.1	三相交流电源	(2633)	3.1 变压器的工作原理及结构		(2681)
5.2	负载Y连接的三相电路	(2633)	3.2 变压器特性分析与有关公式		(2691)
5.3	负载 Δ 连接的三相电路	(2634)	3.3 变压器主要型号及技术参数		(2695)
5.4	三相电路的功率	(2635)	4 常用低压控制电器		(2695)
6	非正弦周期线性电路	(2635)	4.1 开关及其系列		(2695)
6.1	非正弦周期信号的谐波分析	(2636)	4.2 主令电器		(2699)
6.2	非正弦周期信号的有效值和平均值	(2637)	4.3 熔断器		(2703)
6.3	非正弦电路的功率	(2638)	4.4 接触器		(2703)
6.4	非正弦交流电路的计算	(2638)	4.5 继电器		(2707)
6.5	电感和电容的滤波性能	(2638)	第三章 电子技术		(2716)
7	电路的暂态分析	(2638)	1 半导体二极管和三极管		(2716)
7.1	换路和换路定律	(2638)	1.1 国产半导体器件的符号和命名方法		(2716)
7.2	电路的暂态分析方法	(2638)	1.2 PN结及其单向导电性		(2717)
7.3	RLC串联电路的暂态过程	(2638)	1.3 半导体二极管		(2717)
7.4	微分电路和积分电路	(2639)	1.4 半导体三极管		(2718)
8	磁路与磁路基本定律	(2639)	2 基本交流放大电路		(2721)
8.1	磁路及其基本物理量	(2639)	2.1 基本交流放大电路的工作原理		(2721)
8.2	磁路基本定律	(2640)	2.2 静态工作点的设置		(2723)
8.3	磁路与电路的比较	(2640)	2.3 放大电路的分析方法		(2724)
8.4	直流磁路的计算	(2640)	2.4 阻容耦合多级放大电路		(2726)
8.5	交流磁路	(2641)	2.5 放大电路中的负反馈及射极输出器		(2727)
9	常用电工仪表	(2641)	2.6 功率放大器		(2729)
9.1	常用电工仪表的分类及其符号的意义	(2641)	3 场效应管放大器		(2729)
9.2	常用直读指示仪表	(2641)			
9.3	比较仪表、图示仪表和数字仪表	(2646)			
10	安全用电	(2649)			
10.1	安全电压	(2649)			
10.2	保护接地和保护接零	(2651)			

3.1 结型场效应管	(2729)	1.1 常用图形和文字符号	(2782)
3.2 绝缘栅场效应管	(2731)	1.2 电气原理图画法规则	(2792)
3.3 场效应管的特性及常用型号的 参数	(2733)	2 基本继电控制线路	(2793)
3.4 场效应管放大器	(2733)	2.1 三相异步电动机的基本控制线 路	(2793)
4 直流放大电路和运算放大器 ..	(2735)	2.2 三相同步电动机基本控制线 路	(2806)
4.1 直流放大电路	(2735)	2.3 直流电动机的基本控制线路 ..	(2808)
4.2 运算放大器	(2737)	2.4 常用的几种基本控制线路	(2810)
4.3 几种常用的国内外集成运算放 大器的技术参数	(2737)	3 典型继电控制系统的读图方 法	(2811)
5 信号发生器	(2743)	3.1 读图的基本法则	(2811)
5.1 正弦波振荡器	(2743)	3.2 查线读图法	(2812)
5.2 方波、三角波、锯齿波发生 器	(2745)	3.3 逻辑代数读图法	(2814)
5.3 实用信号发生器举例	(2746)	3.4 控制过程图读图法	(2816)
6 数字逻辑基础	(2746)	4 继电控制线路设计	(2817)
6.1 数字信号和数字电路	(2746)	4.1 机械设备电气设计的一般原 则	(2817)
6.2 正负逻辑和基本逻辑关系	(2746)	4.2 电动机容量的确定	(2818)
6.3 逻辑代数的基本运算规则	(2747)	4.3 继电控制线路设计	(2818)
6.4 逻辑函数的表示方法	(2747)	5 电气控制线路设计的主要计 算	(2829)
6.5 逻辑函数的化简	(2749)	5.1 鼠笼型异步电动机有关电阻 的计算	(2829)
6.6 二进制计数制	(2749)	5.2 鼠笼型异步电动机能耗制动的 计算	(2832)
7 逻辑门电路	(2750)	5.3 控制变压器容量的计算	(2832)
7.1 分立元件门电路	(2751)	第五章 数字控制技术	(2833)
7.2 集成门电路	(2751)	1 数控技术的基础知识	(2833)
8 组合逻辑电路	(2754)	1.1 数控技术的基本概念	(2833)
8.1 组合逻辑电路的分析与设计 ..	(2757)	1.2 数控技术概述	(2833)
8.2 几种常用的组合逻辑部件	(2758)	1.3 数控机床功能的基本概念	(2834)
9 时序逻辑电路	(2764)	1.4 数控机床加工的特点与加工工 件的选择	(2836)
9.1 触发器(双稳态)	(2765)	2 数控系统的分类及典型结构 ..	(2836)
9.2 寄存器	(2765)	2.1 数控系统的分类	(2836)
9.3 计数器	(2769)	2.2 典型CNC装置简介	(2838)
10 脉冲信号的产生与整形	(2771)	2.3 经济型微机数控系统	(2841)
11 数/模与模/数转换器	(2776)	3 数控机床的有关标准和规定 ..	(2843)
11.1 D/A转换器	(2776)	3.1 数控机床所采用的穿孔带代 码	(2843)
11.2 A/D转换器	(2777)	3.2 数控编程中的常用程序段 格式	(2846)
12 直流电源	(2779)	3.3 ISO标准常用的功能字	(2848)
12.1 整流电路	(2779)		
12.2 滤波电路	(2779)		
12.3 稳压电路	(2779)		
12.4 集成稳压电源	(2779)		
第四章 继电控制技术	(2782)		
1 继电控制常用图形、文字符号 和电气原理图的绘制	(2782)		

3.4 数控机床的坐标轴和运动方向	(2853)	2.4 通讯接口	(2990)
4 计算机数控系统的工作原理	(2855)	2.5 智能I/O接口	(2991)
4.1 输入	(2860)	2.6 扩展接口	(2993)
4.2 译码	(2868)	2.7 编程器	(2993)
4.3 预处理	(2871)	2.8 电源	(2994)
4.4 插补原理及其实现	(2876)	3 可编程序控制器的工作过程和特点	(2994)
5 数控伺服系统	(2894)	3.1 可编程序控制器的工作过程	(2994)
5.1 开环数控伺服系统	(2894)	3.2 可编程序控制器的特点	(2995)
5.2 闭环(半闭环)数控伺服系统	(2907)	3.3 可编程序控制器与RLC、微机的比较	(2996)
6 数控程序编制	(2931)	4 常见的可编程序控制器	(2996)
6.1 数控程序编制的一般步骤和方法	(2931)	4.1 国外几种可编程序控制器特性简介	(2996)
6.2 程序编制中的工艺处理	(2933)	4.2 国产几种可编程序控制器特性简介	(2996)
6.3 程序编制中工艺指令的处理	(2951)	5 小型可编程序控制器的指令系统	(3002)
6.4 程序编制中的误差	(2954)	5.1 C系列可编程序控制器指令	(3002)
6.5 程序编制中的数学处理	(2954)	5.2 EX系列可编程序控制器指令	(3006)
第六章 可编程序控制器(PC)	(2979)	5.3 MPC-001A型可编程序控制器指令	(3006)
1 可编程序控制器及其应用	(2979)	6 可编程序控制器的程序编制与应用举例	(3006)
1.1 可编程序控制器的分类和技术指标	(2979)	6.1 可编程序控制器的编程步骤和应用类型	(3006)
1.2 可编程序控制器的应用和发展	(2980)	6.2 可编程序控制器应用实例	(3006)
2 可编程序控制器的硬件结构	(2981)	本篇参考文献	(3016)
2.1 中央处理器	(2981)		
2.2 存储器	(2982)		
2.3 I/O接口	(2984)		

第八篇 电气技术

第一章 电工技术基础

1 电路的基本概念

1.1 电路的基本物理量

基本物理量:

电流 电荷有规则的运动形成电流。

在电场力的作用下,单位时间内通过某一导体截面的电量称为电流强度(简称电流)。大小和方向随时间变化的电流称为直流电,大小和方向均不随时间变化的电流称为交流电,它们可分别写为

$$i = \frac{dq}{dt}, \quad I = \frac{Q}{t}$$

上两式中, q 、 Q 表示电量,单位为库仑,单位符号为C; t 表示时间,单位为秒,单位符号为s; i 、 I 表示电流,单位是安培,单位符号为A。

电压与电位 电压是电场力将单位正电荷从电场中某点(如 a)移到另一点(如 b)时所做的功。可用下式表示

$$U_{ab} = \frac{A}{q} = \int_a^b \vec{F}_e \cdot d\vec{l}$$

式中 A 为电场力所做的功,单位是焦耳,单位符号为J; \vec{F}_e 为电场力,单位是牛顿,单位符号为N; $d\vec{l}$ 为 a 、 b 两点间正电荷经过的一段距离,单位是米,单位符号为m; U_{ab} 为电路中 a 点到 b 点间的电压,单位是伏特,单位符号为V。

电压 U_{ab} 也代表 a 、 b 两点间的电位差,即

$$U_{ab} = V_a - V_b \quad \text{或} \quad U_{ab} = \varphi_a - \varphi_b$$

式中 V_a 、 φ_a 、 V_b 、 φ_b 分别代表 a 点和 b 点的电位(电位单位与电压相同)。

电路中某点(如 x)的电位(V_x),是该点(x)与零电位点间的电压。通常规定电位参考点的电位为零。电路中电位的大小和正负是相对电位的参考点来说的,是相对量。而电路中任意两点间的电压则是绝对量,与所选电位参考点无关。

电动势 电源的电动势是电源力(非电场力)把单位正电荷从电源的负极(如 b)经电源内部移到电源的正极(如 a)所做的功。可用下式表

示

$$E_{ba} = \frac{A}{q} = \int_b^a \vec{F}_e \cdot d\vec{l}$$

式中 E_{ba} 为电源电动势,单位与电压的单位相同; \vec{F}_e 为电源力,单位与电场力相同。

电功率 电功率(简称功率)表示单位时间内电场力所做的功。在直流电路中,计算功率的公式是

$$P = \frac{A}{t} = \frac{UQ}{t} = UI = RI^2 = \frac{U^2}{R}$$

式中 P 为功率,单位是瓦,用符号W表示; R 为电阻,单位是欧姆,用符号 Ω 表示。

真实方向、正方向和关联正方向:

真实方向 电流的真实方向习惯上规定为正电荷运动的方向,或负电荷运动的相反方向。电压的真实方向规定为从高电位点指向低电位点,表示电位降落的方向。电动势的真实方向规定为由电源负极经过电源内部指向正极,表示电位升高的方向。

正方向 正方向也叫参考方向。分析与计算电路时,可任意选定某一方向作为电流、电压和电动势的正方向。电流的正方向在元件或电路中用箭头符号表示,箭头的指向即表示电流的正方向;电压和电动势的正方向是在元件或电路的两端用“+”、“-”分别表示高、低电位端,或用箭头指向表示电压的电位降落方向或电动势的电位升高方向。电流、电压和电动势的正方向分别如图8.1-1a)、b)、c)所示。

当电流、电压和电动势的正方向与其真实方向一致时,为正值;反之,则为负值。根据电流、电压和电动势的正值或负值,并结合其正方向,可以确定它们的真实方向。

关联正方向 同一段电路的电流和电压的正方向相同,称为关联正方向,如图8.1-1d)所示。在关联正方向下计算得的功率为正,说明该电路消耗

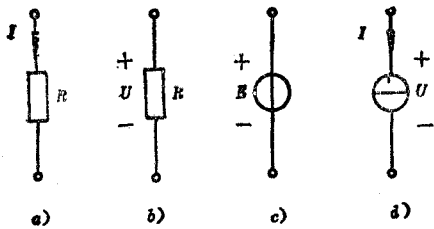


图 8.1-1 正方向和关联正方向

功率；计算出的功率为负，则说明该电路产生功率。

1.2 电路和电路模型

电路，是由许多电气元件或设备按照确定的规律组合后的总称，网络则是电路的泛称。简言之，电路就是电流流过的全部通路。电路通常由电源、负载和中间环节三部分组成。电路的作用包括电能的传送、分配和转换，以及信息的传递和处理等。由线性电路元件组成的电路，称为线性电路。电路

中若有非线性元件，则称为非线性电路。

由理想元件构成的电路，称为电路模型。理想元件是用来表征实际元、器件基本性质和主要物理现象的。电路中的一个实际元、器件，可以用一个或几个理想元件来表示。

1.3 电路元件

电路元件分有无源元件和有源元件。无源元件有电阻、电感和电容，其图形符号、伏安关系和主要物理性质见表8.1-1。

电路中的有源元件有独立源和受控源。独立源的电压或电流是定值，或是一定的时间函数，与电路中其它的电压或电流无关。独立源有电压源（实际电压源）、恒压源（理想电压源）、电流源（实际电流源）和恒流源（理想电流源），它们的含意、图形符号和伏安关系见表8.1-2。

受控源是一种非独立源，它用来反映电路中某处的电压或电流受另一处的电压或电流控制的物理现象的模型，是具有一对输入端和一对输出端的双口网络，常用于电子电路的分析与计算。按受控源的性质，可分为受控电压源和受控电流源两类。受

表 8.1-1 无源元件图形符号、伏安关系和主要物理性质

元件名称		电阻元件	电感元件	电容元件
图形符号				
伏安关系	表达式	$R = \frac{u}{i}$	$u = L \frac{di}{dt}$	$i = C \frac{du}{dt}$
	特性曲线			
参数	符号	R	L	C
	单位名称 (单位符号)	欧姆(Ω)	亨利(H)	法拉(F)
主要物理性质		1. 消耗电能，是耗能元件 2. 电流和电压均能跃变	1. 储存磁场能量，是储能元件 2. 电流不能跃变，电压可跃变	1. 储存电场能量，是储能元件 2. 电压不能跃变，电流可跃变

表 8.1-2 各种独立源的含意、图形符号和伏安关系

独立源类型	电压源	恒压源	电流源	恒流源	
含意	是实际电压源或有源二端网络的电路模型	是理想电压源的电路模型	是实际电流源或有源二端网络的电路模型	是理想电流源的电路模型	
图形符号					
伏安关系	$U = E - R_0 I$	$U = E$	$I = I_s - \frac{U}{R_0}$	$I = I_s$	
	空载	$I = 0$ $U = E$	$I = 0$ $U = E$	$I = 0$ $U = R_0 I_s$	$I = I_s$ $U = \infty$
	短路	$I = \frac{E}{R_0}$ $U = 0$	$I = \infty$ $U = 0$	$I = I_s$ $U = 0$	$I = I_s$ $U = 0$

注：① 图中虚线右侧表示外电路。

控电压源的电压受电路中其它电压或电流控制，其电压按一定规律变化，而与通过它的电流无关。受控电流源的电流受电路中其他电压或电流控制，其电流按一定规律变化，而与其本身两端的电压无关。理想受控源的类型、电路模型和特点见表 8.1-3。

线性电路中受控源必须是线性的，即表 8.1-3 中的参数为常数。在非理想的情况下，受控源的输入电阻和输出电阻具有有限值（不为零或无穷大）。

2 电路基本定律

电压和电流不随时间变化的电路称直流电路，它是电路的一种特殊情况。但是它具有电路共有的普遍规律。电路的基本定律和常用电路分析方法是以直流电路为基础的。

电路的基本定律包括欧姆定律和克希荷夫定律，它们是分析与计算电路的依据。

欧姆定律：流过电阻元件的电流与电阻两端的

电压成正比。电流和电压取关联正方向，以及电流和电压的正方向相反，两者的欧姆定律表达式分别为

$$U = RI \quad \text{和} \quad U = -RI$$

电阻 R 的倒数叫电导，用 G 表示，即 $G = \frac{1}{R}$ 。

电导的单位是西门子，单位符号为 S 。用电导表示的欧姆定律可以写成

$$I = GU$$

欧姆定律只适用于线性电阻元件。非线性电阻元件的电压和电流的关系不能用欧姆定律表示。含有非线性电阻元件的电路，通常直接以元件的伏安关系为依据，用图解法和等效电路法进行分析和计算。

克希荷夫定律包括电流定律和电压定律。

克希荷夫电流定律(KCL)④：在电路中任何时刻，流入任一节点的电流之和恒等于流出该节点的电流之和。其表达式为

表 8.1-3 理想受控源的类型、电路模型和特点

类型	文字符号	电路模型	参数	输入电阻	输出电阻
电压控制电压源	VCVS		电压放大系数 μ	$r_i = \infty$	$r_o = 0$
电流控制电压源	CCVS		转移电阻 r	$r_i = 0$	$r_o = 0$
电压控制电流源	VCCS		转移电导 g	$r_i = \infty$	$r_o = \infty$
电流控制电流源	CCCS		电流放大系数 α	$r_i = 0$	$r_o = \infty$

$$\sum I_i = \sum I_o \quad \text{或} \quad \sum I = 0 \quad (8.1-1) \quad \text{写为}$$

克希荷夫电流定律用来确定连接同一节点各支路中电流间的关系。列节点电流方程式时应注意：1. 选定分析节点，并标定各支路中电流的正方向；2. 规定流入节点的电流为正，流出节点的电流为负（也可作相反规定，但只可有一种规定）。克希荷夫电流定律可以推广到任意假想的闭合面（该闭合面也称广义节点），即通过任一闭合面的电流的代数和也等于零。如图8.1-2所示，其中虚线表示的闭合面可视为一个节点来分析。依据KCL则可

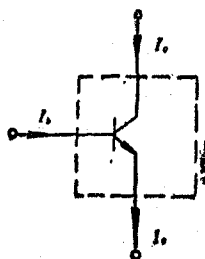


图 8.1-2 克希荷夫电流定律的推广

$$I_b + I_c - I_o = 0$$

克希荷夫电压定律(KVL)^②：在电路中任何时刻，沿任一回路所有支路或元件上电压的代数和恒等于零。可表达为

$$\sum U = 0 \quad (8.1-2)$$

克希荷夫电压定律用来确定回路中各部分电压间的关系。列回路电压方程式时应注意：1. 选定分析回路的绕行方向（顺时针或逆时针方向，但只可有一种绕行方向）；2. 标出各支路或元件上电流、电压和电动势的正方向（也只可有一种标定方法）；3. 在式8.1-2中，与回路绕行方向一致的电动势前取负号，反之取正号；与回路绕行方向一致的电压前取正号，反之，取负号。克希荷夫电压定律不仅适用于闭合回路，也适用于未闭合的假想回路（也称虚构回路）。图8.1-3所示电路是某电路的一部分，可假想其为闭合回路 $abcd a$ ，设 a 、 d 两点间的电压为 U_{ad} ，回路的绕行方向如图所示，根据KVL，则其回路电压方程为

① KCL是Kirchhoff's Current Law的缩写；② KVL是Kirchhoff's Voltage Law的缩写。

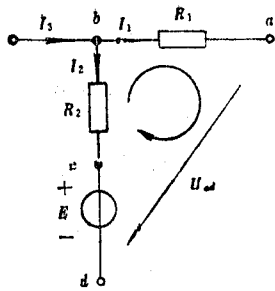


图 8.1-3 克希荷夫电压定律

$$U_{ad} - E - R_2 I_2 + R_1 I_1 = 0$$

或 $U_{ad} - R_2 I_2 + R_1 I_1 = E$

分析电路时，迅速而正确地求出电路中任意两点间的电压往往是很重要的。一般情况下，应沿较简单的路径进行计算。图8.1-3中a、d两点间的电压为

$$U_{ad} = -R_1 I_1 + R_2 I_2 + E$$

实际上，此式为前两式的另一种形式。

3 常用电路分析方法^①

电路分析方法的依据是元件的伏安关系和克希荷夫定律。分析方法大致有两类。一类是等效化简法，即利用电路等效变换的概念，简化电路的计算。这类方法有电阻串、并联，Y-Δ变换，电源等

效变换，以及戴维南定理和诺顿定理等。另一类是选取电路中不同的未知量，列方程求解电路。这类方法有支路法、回路法和节点法。电路的各种分析方法，从根本上说是相通的，但分析与计算过程有繁有简，因而在具体应用时应作具体分析。对于复杂电路，而且需要求出较多支路的电流(或电压)，一般采用回路法或节点法，而支路法因所列方程较多，计算过程较繁，故一般不用。电路中节点数少于网孔数，可采用节点法，反之则用回路法。若只需求出某一支路电流(或电压)，一般采用等效化简法，较常用的是戴维南定理。通常很少直接用叠加定理计算电路，但如果各支路电流(或电压)已经求出，而在某一支路需要增加(或除去)一个电源，此时可用叠加定理，只要计算该电源单独作用时在各支路中产生的电流(或电压)，然后叠加到原有的计算结果上即可。

3.1 等效化简法

把电路的一部分代以另一电路后，电路其余部分的电流和电压关系不变，称为等效。利用等效的概念将电路化简的过程，称为等效化简。无源网络及电源的等效变换的电路、公式和特点见表8.1-4。

3.2 支路(电流)法

支路法是以支路电流作为未知量，利用元件的伏安关系和克希荷夫定律，直接列写联立方程，然后求解各支路电流。对于具有b条支路，有n个节点

表 8.1-4 无源网络及电源的等效变换

电路类型	电 路 图	公 式	特 点
电 阻 的 等 效 变 换	串 联	$R = R_1 + R_2$ $\left. \begin{aligned} U_1 &= U \frac{R_1}{R_1 + R_2} \\ U_2 &= U \frac{R_2}{R_1 + R_2} \end{aligned} \right\} \text{分压公式}$	串联电路中各电阻流过同一电流
	并 联	$R = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}$ $\left. \begin{aligned} I_1 &= I \frac{R_2}{R_1 + R_2} \\ I_2 &= I \frac{R_1}{R_1 + R_2} \end{aligned} \right\} \text{分流公式}$	并联电路中各电阻两端电压相同

注：① 这里以直流电路为例说明常用电路分析方法。稍加变换，这些方法也适用于交流电路。在直流电路中，电感相当于短路，电容相当于开路，所以除电源外，只讨论纯电阻的电路。而在交流电路中，由于电压、电流随时间变化，电感和电容的作用很明显，因此，除电阻外，还应考虑电感和电容。

电路类型	电 路 图	公 式	特 点
电阻的等效变换		$\Delta \text{电阻} = \frac{Y \text{相邻电阻乘积之和}}{\Delta \text{电阻对面的} Y \text{电阻}}$ 例： $R_{12} = \frac{R_1 R_2 + R_2 R_3 + R_3 R_1}{R_3}$	若 $R_1 = R_2 = R_3$ 则 $R_{\Delta}^{\text{①}} = 3R_Y^{\text{②}}$
		$Y \text{电阻} = \frac{\Delta \text{相邻电阻乘积}}{\Delta \text{电阻之和}}$ 例： $R_1 = \frac{R_{12} R_{31}}{R_{12} + R_{23} + R_{31}}$	若 $R_{12} = R_{23} = R_{31}$ 则 $R_Y = \frac{1}{3} R_{\Delta}$
电源等效变换		$I_S = \frac{E}{R_0}$	两种电源的内阻、开路电压和短路电流分别相等
		$R_0' = R_0$	
电压源 → 电流源		$E = R_0' I_S$	
电流源 → 电压源		$R_0 = R_0'$	

注：① R_{Δ} —三角形 (Δ) 连接的电阻；② R_Y —星形 (Y) 连接的电阻。

和 m 个网孔的电路，应用支路法求解的步骤如下：

- ① 选定 b 条支路电流为未知量，并标出各电流的正方向；
- ② 依据 KCL ，列出 $(n-1)$ 个节点电流方程；
- ③ 标出回路的绕行方向，依据 KVL ，列出 m 个回路电压方程；
- ④ 联立 $b = (n-1) + m$ 个方程，解出待求的各支路电流。

需要指出：若电路的某支路含有恒流源时，则恒流源的电流即为该支路的电流，在列含有恒流源支路的回路电压方程时，可设恒流源两端的电压为未知量（不可误认为恒流源两端的电压为零）。

列写 m 个回路电压方程时，应注意方程的独立性。含有新支路的回路电压方程是独立的；网孔的电压方程也是独立的。

3.3 回路（电流）法^①

回路法是假想每个回路中有一回路电流在流动，并以回路电流作为未知量，根据克希荷夫电压

定律列出回路电流方程。它与支路法相比，可减少 $(n-1)$ 个节点方程，只需列 m 个回路方程，从而简化了计算。

用回路法求解的一般步骤是：如电路中有电流源，应先将电流源转换成电压源。若电路中有恒流源，则设恒流源两端的电压为未知量，同时补充相应方程。然后选定回路电流的正方向（都取顺时针方向或逆时针方向），列写回路电流方程。对于有 3 个回路（网孔）的电路（更多回路可依此类推），其标准化的回路方程为

$$\left. \begin{aligned} R_{11}I_{m1} + R_{12}I_{m2} + R_{13}I_{m3} &= E_{11} \\ R_{21}I_{m1} + R_{22}I_{m2} + R_{23}I_{m3} &= E_{22} \\ R_{31}I_{m1} + R_{32}I_{m2} + R_{33}I_{m3} &= E_{33} \end{aligned} \right\} \quad (8.1-3)$$

式中 I_{m1} 、 I_{m2} 、 I_{m3} 为回路电流； R_{11} 、 R_{22} 、 R_{33} 称为自电阻，总为正值； R_{12} 、 R_{21} 、 R_{13} 、 R_{31} 、 R_{23} 、 R_{32} 称为互电阻，总为负值； E_{11} 、 E_{22} 、 E_{33} 分别为回路 1、2、3 中电动势的代数和，其中与回路电流方向一致的电动势前取正号，反之取负号。

联立求解回路电流方程组，解出各回路电流

注：① 一般选网孔作为回路比较简单，故将回路电流法也叫做网孔电流法。

后, 标出各支路电流的正方向, 支路电流即为有关回路电流的代数和, 与支路电流方向一致的回路电流为正, 反之为负。

3.4 节点(电压)法

节点法是以节点电压作为未知量, 根据克希荷夫电流定律列出节点电压方程。它与支路法相比, 可省略 m 个回路方程, 只要列 $(n-1)$ 个节点方程, 从而简化了计算。

用节点法求解的一般步骤是: 如电路中有电压源, 应先将电压源变换为电流源。若电路中有恒压源, 则将恒压源电压作为节点的已知电压。然后选定参考节点, 并认为参考节点的电压值为零, 则其余节点与参考点间的电压就是节点电压(也即节点电位); 若电路有4个节点(更多节点可依此类推), 则可列出3个节点电压方程, 其标准化的形式为

$$\left. \begin{aligned} G_{11}U_{n1} + G_{12}U_{n2} + G_{13}U_{n3} &= I_{s11} \\ G_{21}U_{n1} + G_{22}U_{n2} + G_{23}U_{n3} &= I_{s22} \\ G_{31}U_{n1} + G_{32}U_{n2} + G_{33}U_{n3} &= I_{s33} \end{aligned} \right\} \quad (8.1-4)$$

式中 U_{n1} 、 U_{n2} 、 U_{n3} 为节点电压; G_{11} 、 G_{22} 、 G_{33} 称为自电导, 总为正值; G_{12} 、 G_{21} 、 G_{13} 、 G_{31} 、 G_{23} 、 G_{32} 称为互电导, 总为负值; I_{s11} 、 I_{s22} 、 I_{s33} 分别为连接节点1、2、3的电源电流的代数和, 当电源的电流流向该节点时, 其前取正号, 反之取负号。

联立求解节点电压方程组, 解出各节点电压后, 标出各支路电流正方向, 根据欧姆定律, 由节点电压即可求出各支路电流。

对于只有两个节点的电路, 取其中一个节点作为参考节点, 另一个节点的电压若设为 U_n , 则该节点的电压方程称为弥尔曼定理, 其形式为

$$\Sigma G_{nn}U_n = \Sigma I_{snn} \quad \text{或} \quad U_n = \frac{\Sigma I_{snn}}{\Sigma G_{nn}} \quad (8.1-5)$$

式中 ΣI_{snn} 为电路中电压源都变换为电流源后, 各电流源流入和流出该节点的电流的代数和, 其中流入的电流为正, 流出的电流为负; ΣG_{nn} 为电路中各支路电导之和。

3.5 叠加定理

叠加定理表述为: 在线性电路中, 任一支路的电流(或电压)都是电路中各个电源单独作用时在该支路中产生的电流(或电压)之代数和。应用叠加定理时应注意以下几点:

- ① 叠加定理只用来计算线性电路的电流(或电压), 对非线性电路不适用;
- ② 叠加时要注意电流(或电压)的正方向, 各分电流(或电压)与总电流(或电压)方向一致

时, 其前取正号, 反之取负号;

③ 当一个电源单独作用时, 其它电源不作用, 指的是恒压源要用短路线代替, 恒流源要开路;

④ 由于功率不是电流或电压的一次函数, 所以不得用叠加定理计算功率。

3.6 戴维南定理和诺顿定理

戴维南定理和诺顿定理又称等效电源定理, 用于只需计算复杂电路中某一支路的电流(或电压)时比较简单。

戴维南定理: 任一线性含源二端网络, 对外电路来说, 可用一电压源等效代替, 该电压源的电动势 E 等于含源二端网络的开路电压 U_{oc} , 其内阻 R_0 等于含源二端网络除源后的等效电阻。图8.1-4所示电路为戴维南定理的示意图, 图中 N 为线性含源二端网络, N_0 为除源后的无源二端网络。

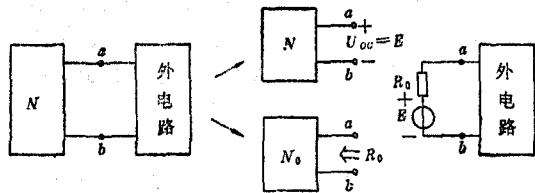


图 8.1-4 戴维南定理示意图

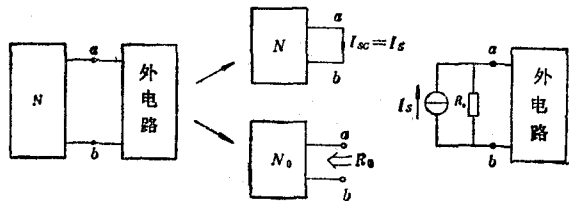


图 8.1-5 诺顿定理示意图

诺顿定理: 任一线性含源二端网络, 对外电路来说, 可用一电流源等效代替, 该电流源的电流 I_s 等于含源二端网络的短路电流 I_{sc} , 其内阻 R_0 等于含源二端网络除源后的等效电阻。图8.1-5所示电路为诺顿定理的示意图。

在应用戴维南定理和诺顿定理分析与计算电路时, 重要的是求得线性含源二端网络的开路电压或短路电流和除源二端网络的等效电阻。并且特别要注意等效电源中电压和电流的方向。

上述除源二端网络等效电阻的求法, 除用表8.1-4中电阻串、并联公式计算外, 还可用以下两种方法计算:

① 外加电压求电流法。将线性含源二端网络去源后，在二端网络端口处施加一电压 U ，求出端口电流 I ，则等效电阻 $R_0 = U/I$ 。其示意图如图 8.1-6a) 所示。

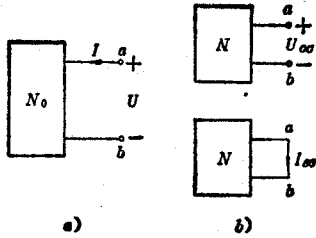


图 8.1-6 含源二端网络等效电阻的两种求法

② 开路电压除以短路电流法。分别求出线性含源二端网络的开路电压 U_{oc} 和短路电流 I_{sc} ，则等效电阻 $R_0 = U_{oc}/I_{sc}$ 。其示意图如图 8.1-6b) 所示。

3.7 电路分析举例

如图 8.1-7 所示电路，已知 $R_1 = 8\Omega$, $R_2 = 4\Omega$, $R_3 = 9\Omega$, $R_4 = 6\Omega$, $E = 6V$, $I_s = 3A$ ，试求电阻 R_1 中的电流 I_1 。其各种解法如下。

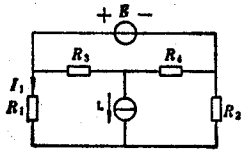


图 8.1-7

方法一 支路法：电路中支路数 $b = 6$ ，节点数 $n = 4$ ，网孔数 $m = 3$ ，各支路电流正方向和回路绕行方向如图 8.1-8 所示。支路法的方程组为

$$\left. \begin{aligned} I_5 - I_1 - I_3 &= 0 \\ I_3 - I_4 - I_2 &= 0 \\ I_4 - I_5 - I_2 &= 0 \\ E - R_4 I_4 - R_3 I_3 &= 0 \\ R_3 I_3 + U - R_1 I_1 &= 0 \\ R_4 I_4 + R_2 I_2 - U &= 0 \end{aligned} \right\}$$

代入已知数据，则方程组为

$$\left. \begin{aligned} I_5 - I_1 - I_3 &= 0 \\ I_3 - I_4 - I_2 &= 0 \\ I_4 - I_5 - I_2 &= 0 \\ 6 - 6I_4 - 9I_3 &= 0 \\ 9I_3 + U - 8I_1 &= 0 \\ 6I_4 + 4I_2 - U &= 0 \end{aligned} \right\}$$

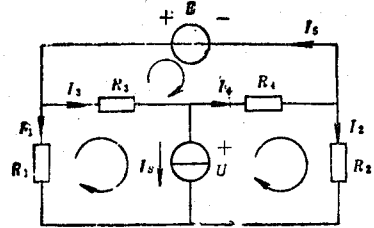


图 8.1-8

于是解得各支路电流为： $I_1 = -0.5A$, $I_2 = -2.5A$, $I_3 = 1.6A$, $I_4 = -1.4A$, $I_5 = 1.1A$ 。

方法二 回路法：应用回路法分析电路；首先将电路中所有电源表示为电压源模型。本例电路中有一恒流源，可假设有一电阻 $R = \infty$ 与其并联，并变换成电压源模型，如图 8.1-9 所示。设定各网孔电流为顺时针方向，则电路的回路电流方程组为

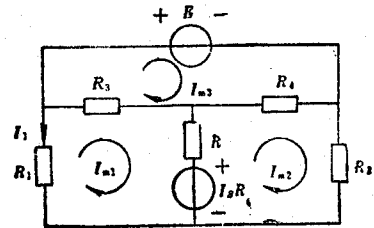


图 8.1-9

$$\left. \begin{aligned} (R_1 + R_3 + R)I_{m1} - RI_{m2} - R_3I_{m3} &= -RI_s \\ -RI_{m1} + (R + R_4 + R_2)I_{m2} - R_4I_{m3} &= RI_s \\ -R_3I_{m1} - R_4I_{m2} + (R_3 + R_4)I_{m3} &= -E \end{aligned} \right\}$$

代入已知数据，方程组为

$$\left. \begin{aligned} (8 + 9 + R)I_{m1} - RI_{m2} - 9I_{m3} &= 3R \\ -RI_{m1} + (R + 6 + 4)I_{m2} - 6I_{m3} &= -3R \\ -9I_{m1} - 6I_{m2} + (9 + 6)I_{m3} &= -6 \end{aligned} \right\}$$

解该联立方程组，得各回路电流为

$$I_{m1} = \frac{-540 + 90R}{1128 + 180R}$$

$$I_{m2} = \frac{-612 - 450R}{1128 + 180R}$$

$$I_{m3} = \frac{-1020 - 198R}{1128 + 180R}$$

当 $R = \infty$ 时, 分别求出 I_{m1} 、 I_{m2} 、 I_{m3} 的极限为 $I_{m1} = 0.5\text{A}$, $I_{m2} = -2.5\text{A}$, $I_{m3} = -1.1\text{A}$.

由此可求出各支路电流。由图 8.1-8 可知 $I_1 = -I_{m1} = -0.5\text{A}$ 。

方法三 节点法: 应用节点法分析电路时需要将电路中所有的电压源表示为电流源模型, 而本题中有一恒压源支路, 此时可假设一电阻 R 与其串联, 并变换成电流源模型, 如图 8.1-10 所示。设 O 点为参考节点, 则节点电压方程为

$$\left. \begin{aligned} \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R} \right) U_{n1} - \frac{1}{R_3} U_{n2} - \frac{1}{R} U_{n3} &= \frac{E}{R} \\ -\frac{1}{R_3} U_{n1} + \left(\frac{1}{R_3} + \frac{1}{R_4} \right) U_{n2} - \frac{1}{R_4} U_{n3} &= -I_s \\ -\frac{1}{R} U_{n1} - \frac{1}{R_4} U_{n2} + \left(\frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_4} + \frac{1}{R} \right) U_{n3} &= -\frac{E}{R} \end{aligned} \right\}$$

代入已知数据, 上述方程组为

$$\left. \begin{aligned} \left(\frac{1}{8} + \frac{1}{9} + \frac{1}{R} \right) U_{n1} - \frac{1}{9} U_{n2} - \frac{1}{R} U_{n3} &= \frac{6}{R} \\ -\frac{1}{9} U_{n1} + \left(\frac{1}{9} + \frac{1}{6} \right) U_{n2} - \frac{1}{6} U_{n3} &= -3 \\ -\frac{1}{R} U_{n1} - \frac{1}{6} U_{n2} + \left(\frac{1}{4} + \frac{1}{6} + \frac{1}{R} \right) U_{n3} &= -\frac{6}{R} \end{aligned} \right\}$$

解此方程组, 各节点电压为

$$U_{n1} = \frac{-432 \times (5R + 15)}{243R + 1620}$$

$$U_{n2} = \frac{-54 \times (85R + 552)}{243R + 1620}$$

$$U_{n3} = \frac{-36 \times (51R + 450)}{243R + 1620}$$

令 $R = 0$, 分别求出各节点电压的极限为

$$U_{n1} = -4\text{V} \quad U_{n2} = -18.4\text{V} \quad U_{n3} = -10\text{V}$$

所以
$$I_1 = \frac{U_{n1}}{R_1} = \frac{-4}{8} = -0.5\text{A}$$

方法四 叠加定理: 当恒压源 E 单独作用时, 电路如图 8.1-11a) 所示, 流过 R_1 的电流为

$$I_1' = \frac{E}{R_1 + R_2} = \frac{6}{8 + 4} = 0.5\text{A}$$

当恒流源 I_s 单独作用时, 电路如图 b) 所示, 流过 R_1 的电流为

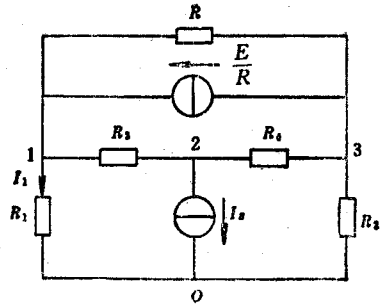
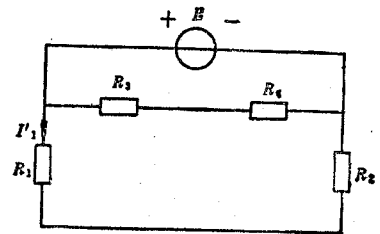
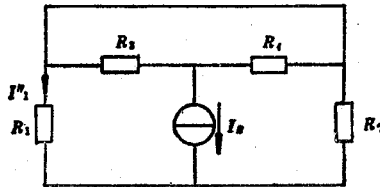


图 8.1-10



a)



b)

图 8.1-11

$$I_1'' = -I_s \frac{R_2}{R_1 + R_2} = -3 \frac{4}{8+4} = -1\text{A}$$

当两电源共同作用时，流过 R_1 的电流为

$$I_1 = I_1' + I_1'' = 0.5 + (-1) = -0.5\text{A}$$

方法五 戴维南定理：用戴维南定理求解时分为三步。第一步是将 R_1 两端断开，如图8.1-12a)所示，求开路电压

$$U_{oc} = E - R_2 I_s = 6 - 4 \times 3 = -6\text{V}$$

第二步是将图a)所示电路变成无源网络，如图b)所示，则等效电阻 $R_0 = R_2 = 4\Omega$ 。

第三步是在原电路的等效电路中，如图c)所示，求流过 R_1 的电流

$$I_1 = \frac{U_{oc}}{R_0 + R_1} = \frac{-6}{8+4} = -0.5\text{A}$$

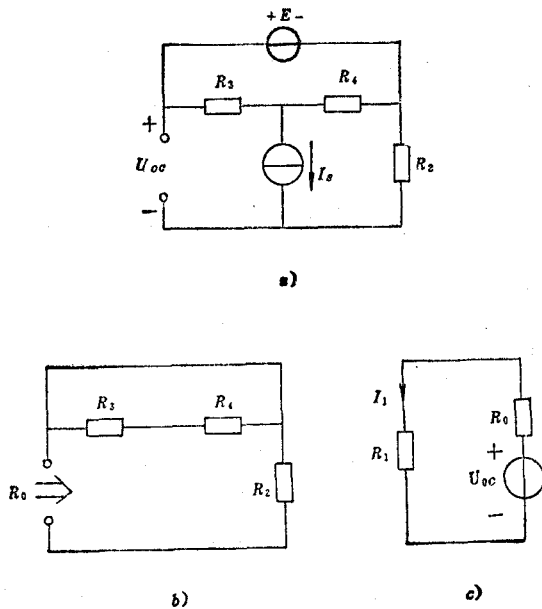


图 8.1-12

方法六 诺顿定理：用诺顿定理求解也分三步。一是将 R_1 短路，如图8.1-13a)所示，求短路电流

$$I_{sc} = \frac{E}{R_2} - I_s = \frac{6}{4} - 3 = -1.5\text{A}$$

二是求无源二端网络等效电阻 $R_0 = 4\Omega$ ，其解法与方法五相同。最后在原电路的等效电路中，如图b)所示，求流过 R_1 的电流

$$I_1 = I_{sc} \frac{R_0}{R_0 + R_1} = -1.5 \frac{4}{8+4} = -0.5\text{A}$$

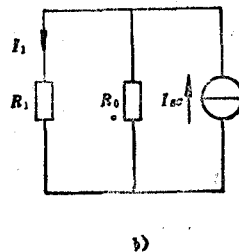
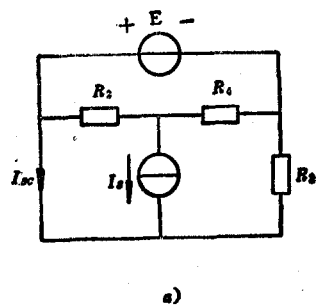


图 8.1-13

方法七 电源等效变换：在原电路节点1和节点3间增加一恒压源 E ，并将节点3分割成两点3'和3''，如图8.1-14a)所示，然后将电路顺次按图b)和c)进行变换，则 R_1 支路的电流为

$$I_1 = \left(\frac{E}{R_2} - I_s \right) \times \frac{R_2}{R_1 + R_2} = \left(\frac{6}{4} - 3 \right) \times \frac{4}{8+4} = -0.5\text{A}$$

也可在原电路中将电流源的路径变换成图8.1-15a)所示的形式，然后将电路顺次进行变换，如图b)和c)所示，则 R_1 支路的电流为

$$I_1 = \frac{E - R_2 I_s}{R_1 + R_2} = \frac{6 - 4 \times 3}{8+4} = -0.5\text{A}$$

4 正弦交流电路

4.1 正弦交流电的基本概念

4.1.1 正弦交流电及其三要素

随时间按正弦规律变化的电流、电压和电动势，称为正弦交流电，简称交流电、正弦量。正弦交流电可以用瞬时值表达式、波形图表示。例如，正弦交流电压 u 的瞬时值表达式为

$$u = U_m \sin(\omega t + \psi)$$

式中 U_m 为 u 的最大值（也称幅值、峰值）； ω 为 u 的角频率； ψ 为 u 的初相位（也称初相角、初相）。

与电压 u 瞬时值表达式相对应的波形图如图