

中国科学技术大学 · 2026年春季

电子技术基础 总复习

Fundamentals of Electronics — Comprehensive Review

 梁福田

 3学分 / 60学时

 电路分析 + 模拟电路

 2026春

⚡ 电路分析基础

≈13 学时 · 李瀚荪《电路分析基础》

核心框架：1个假设 + 2类约束 + 3大方法

第1章 集总约束 · 第2章 网孔/节点 · 第3-4章 叠加/等效

第6章 一阶电路 ★★★ · 第7章 二阶电路 · 第8章 相量法

5

章节

13

学时

🔧 模拟电路

≈33 学时 · 康华光《电子技术基础（模拟部分）》

器件物理 → 放大理论 → 集成运放 → 系统应用

第3章 二极管 · 第4章 FET · 第5章 BJT ★★★

第1/6章 放大器/频响 · 第2章 运放 ★★★

第7章 模拟IC · 第8章 反馈 ★★★ · 第10章 信号

7

章节

33

学时

1 个假设

- ✔ 集总假设：器件尺寸 \ll 信号波长
- ✔ 判断： $\lambda / 10 >$ 电路最大尺寸
- ✔ 否则须用分布参数（传输线）

电网50Hz 手机900MHz WiFi 2.4GHz

2 类约束

- ✔ **拓扑约束**：KCL（电荷守恒）+ KVL（能量守恒）
- ✔ **元件约束**：VCR（R/C/L/电源/受控源）
- ✔ 2b法： $n-1 + b-(n-1) + b = 2b$ 个独立方程

2b法 \rightarrow 1b法（支路电流法/支路电压法）

3 大方法

- ✔ **叠加**：多源分解，受控源保留
- ✔ **分解**：单口VCR \rightarrow 戴维南/诺顿 \rightarrow 最大功率
- ✔ **变换域**：相量法（微分 \rightarrow 代数）

三大方法贯穿全课程，叠加+分解+相量

参考方向与功率

- **参考方向**：分析前必须标注，求解后正负号判断真实方向
- **关联参考方向**：电流从电压"+"端流入
- $p > 0$ **吸收** 功率 (电阻), $p < 0$ **提供** 功率 (电源)

关键提醒

没有标参考方向的电流/电压值没有意义 —— 这是初学者的第一道坎

- **受控源**：VCCVS/CCVS/VCCS/CCCS, 叠加分析中必须保留

KCL · KVL · 独立方程数

- **KCL**： $\sum i = 0$ (电荷守恒), 可扩展到割集
- **KVL**： $\sum u = 0$ (能量守恒)
- **动态元件**：电容电压连续、电感电流连续 (有界激励下)

独立方程数 (n节点、b支路)

KCL: $n-1$ 个 | KVL: $b-(n-1)$ 个 | VCR: b 个

2b 法: 求解 b 个电流 + b 个电压 = $2b$ 个未知量

🗪 网孔分析法

未知量: **网孔电流** (b-(n-1)个)

自电阻(+) × i_M + 互电阻(±) × $i_M = u_s$

含电流源: 直接代入, 减少未知数

● 节点分析法

未知量: **节点电压** (n-1个)

自电导(+) × u_N + 互电导(-) × $u_N = i_s$

含电压源: 超节点法

⚡ 戴维南定理 ★★★

含源单口 → **$u_{oc} + R_o$**

R_o 三种求法: ①置零化简 ②外加电源 ③ u_{oc} / i_{sc}

最大功率: $R_L = R_o$ 时 $P_{max} = u_{oc}^2 / 4R_o$

✧ 叠加原理

多源电路 = 各源单独作用之和

不作用源: 电压源短路, 电流源开路

⚠ 受控源**始终保留**

⚠ **功率不满足**叠加原理

$$f(t) = f(\infty) + [f(0^+) - f(\infty)] e^{-t/\tau}$$

适用于直流激励下任意支路的电压或电流

①

初始值 $f(0^+)$

换路定则: u_C 、 i_L 不跃变

画 0^+ 等效电路求解

(冲激激励下可跃变)

②

稳态值 $f(\infty)$

$t \rightarrow \infty$ 时

电容 → **开路**

电感 → **短路**

求解直流电阻电路

③

时间常数 τ

RC电路: $\tau = R_o C$

RL电路: $\tau = L/R_o$

R_o : 从动态元件看进去的
戴维南等效电阻

RLC串联电路阻尼判据

条件	响应类型	特征根
$R^2 > 4L/C$	过阻尼	两不等负实根
$R^2 = 4L/C$	临界阻尼	重根
$R^2 < 4L/C$	欠阻尼	共轭复根
$R = 0$	无阻尼	纯虚根

$$\alpha = \frac{R}{2L} \quad \omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}} \quad \omega_d = \sqrt{\omega_0^2 - \alpha^2}$$

相量法 — 正弦稳态分析

核心思想：将微分方程变为复数代数方程

$$u(t) = U_m \cos(\omega t + \theta) \Leftrightarrow \dot{U} = U \angle \theta$$

元件	阻抗 Z	相位
电阻 R	R	同相
电容 C	$1/(j\omega C)$	电流超前 90°
电感 L	$j\omega L$	电流滞后 90°

$$Z = R + jX \quad (X > 0 \text{ 感性}, X < 0 \text{ 容性})$$

$$U_{\text{有效}} = U_m / \sqrt{2} \quad (220\text{V 交流振幅 } 311\text{V})$$

PART 02

模拟电路

Analog Circuits — 器件 · 放大 · 反馈 · 信号

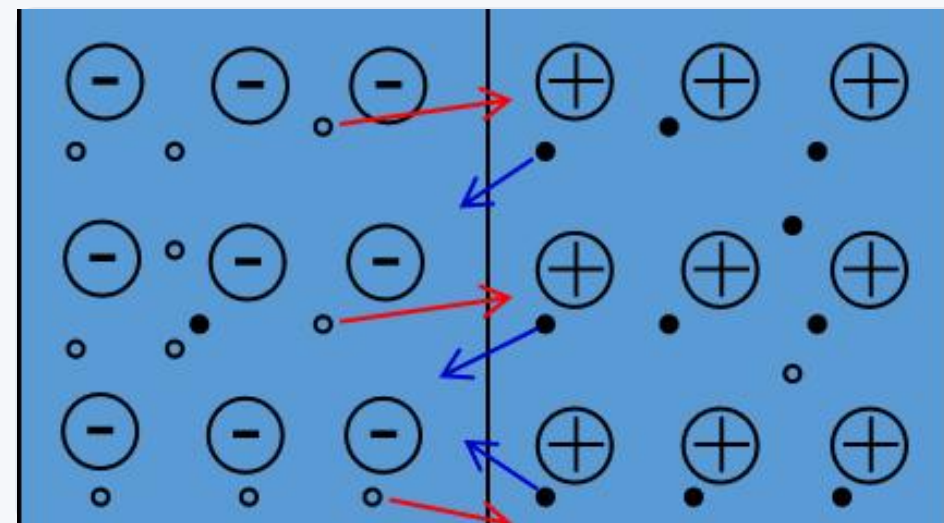
四种分析模型 ★★★

模型	正向特性	适用场景
理想模型	$V_D = 0$	高电压, 精度低
恒压降模型	$V_D = 0.7 \text{ V}$	最常用
折线模型	$V_{th} = 0.5 \text{ V},$ $r_D = 200\Omega$	更高精度
小信号模型	$r_d = V_T / I_D$	交流小信号

$$i_D = I_S(e^{v_D/V_T} - 1) \quad , \quad V_T \approx 26 \text{ mV}(300\text{K})$$

$$\text{小信号电阻: } r_d = \frac{26\text{mV}}{I_D} \quad | \quad I_D = 1 \text{ mA} \rightarrow r_d = 26\Omega$$

关键应用: 整流、限幅、钳位、齐纳稳压



PN结构示意图: 耗尽层 + 内建电场

单向导电性: 正偏导通, 反偏截止

特殊二极管: 齐纳 (稳压) / 变容 / LED / 肖特基

⚡放大条件与电流关系

发射结**正偏**+ 集电结 **反偏**

$$i_C = \beta i_B \quad i_E = i_C + i_B \quad \beta \approx 50 \sim 300$$

$$r_{be} \approx 200 + (1 + \beta) \frac{26\text{mV}}{I_{EQ}}$$

🖼️画小信号等效电路步骤

- ① 求Q点 (直流分析)
- ② 直流源短路 (交流地)
- ③ 耦合/旁路电容短路
- ④ BJT用H参数模型替代

组态	A_V	相位	R_i	R_o	用途
共射(CE)	$-\frac{\beta R'_L}{r_{be}}$	反相	中(k Ω)	中(R_c)	最常用
共集(CC)	≈ 1	同相	高	低	缓冲/阻抗变换
共基(CB)	$\frac{\beta R'_L}{r_{be}}$	同相	低	高(R_c)	高频放大

Q点稳定: 分压式射极偏置 ($I_1 \gg I_B$, $V_B \gg V_{BE}$) | **失真**: 饱和失真 (Q点偏高) vs 截止失真 (Q点偏低)

BJT vs FET 核心对比

BJT (双极性)

电流控制: $i_B \rightarrow i_C$
 输入阻抗: 中 ($k\Omega$)
 载流子: 电子 + 空穴

FET (单极性)

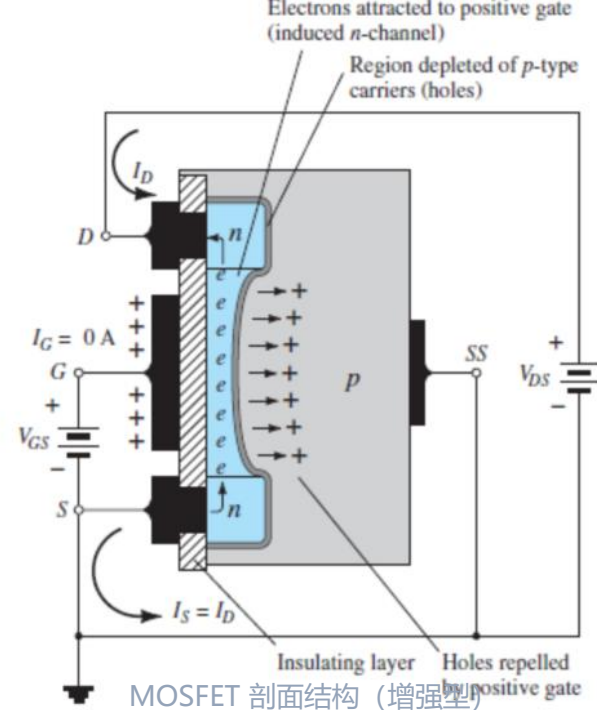
电压控制: $v_{GS} \rightarrow i_D$
 输入阻抗: 极高 ($>10^9\Omega$)
 载流子: 仅多子

MOSFET 平方律 (饱和区): $i_D = I_{D0} \left(\frac{v_{GS}}{V_T} - 1 \right)^2$

跨导: $g_m = \frac{\partial i_D}{\partial v_{GS}} \Big|_Q$ | 过驱电压: $V_{OV} = V_{GS} - V_T$

JFET: 夹断电压 V_P | I_{DSS} ($v_{GS} = 0$ 时)

先进结构: FinFET \rightarrow GAAFET



FET	BJT对应	A_V	R_i
共源 (CS)	CE	$-g_m(R_d \parallel R_L)$	高
共漏 (CD)	CC	≈ 1	高
共栅 (CG)	CB	$g_m(R_d \parallel R_L)$	$1/g_m$

组态	BJT	FET	A_v	R_i	R_o	相位
①	共射(CE)	共源(CS)	$-\frac{\beta R'_L}{r_{be}} / -g_m R'_d$	中 / 高	R_c / R_d	反相
②	共集(CC)	共漏(CD)	$\approx 1 / \approx 1$	高 / 高	低 / $1/g_m$	同相
③	共基(CB)	共栅(CG)	$\frac{\beta R'_L}{r_{be}} / g_m R'_d$	低 / $1/g_m$	R_c / R_d	同相

核心规律: **CE↔CS** (反相放大)、**CC↔CD** (跟随器)、**CB↔CG** (高频放大)

FET 输入阻抗远高于 BJT | BJT 跨导效率高于 FET | CB/CG 无密勒效应 → 高频性能好

四种放大电路模型

电压放大

增益 A_V | 理想 $R_i = \infty$, $R_o = 0$

电流放大

增益 A_I | 理想 $R_i = 0$, $R_o = \infty$

互阻放大

增益 A_R | 理想 $R_i = 0$, $R_o = 0$

互导放大

增益 A_G | 理想 $R_i = \infty$, $R_o = \infty$

分贝表示: $20\lg |A_V|$ dB | 带宽: $BW = f_H - f_L$

频率响应与密勒效应 ★★★

RC低通

$f_H = 1/(2\pi RC)$ -20dB/dec

RC高通: $f_L = 1/(2\pi RC)$

密勒效应

$C_M = (1 + g_m R_c) C_{b'c}$

输入端等效电容放大 $(1 + A_V)$ 倍

严重限制高频响应

CB/CG 电路无密勒效应

Cascode (共射-共基) 利用这一原理

增益-带宽积 \approx 常数 | $f_T = \frac{g_m}{2\pi(C_{b'e} + C_{b'c})}$

理想运放黄金法则

虚短: $v_P \approx v_N$ (同相端 \approx 反相端) **虚断:** $i_P \approx i_N \approx 0$ (输入端不取电流)
 条件: $A_{VO} \rightarrow \infty$, $R_i \rightarrow \infty$, $R_o \rightarrow 0$ | 同相端接地 \rightarrow **虚地**

- 反相放大器

$$A_{VF} = -\frac{R_f}{R_1}$$

虚地, 输入阻抗 = R_1

+ 同相放大器

$$A_{VF} = 1 + \frac{R_f}{R_1}$$

高输入阻抗, 共模高

= 电压跟随器

$$A_{VF} = 1 \quad | \quad \text{缓冲/隔离}$$

+ 加法器

$$v_o = -\left(\frac{R_f}{R_1}v_1 + \frac{R_f}{R_2}v_2\right)$$

- 减法器

$$v_o = \frac{R_f}{R_1}(v_2 - v_1)$$

∫ 积分器

$$v_o = -\frac{1}{RC} \int v_i dt$$

电路	增益 / 输出	特点
反相放大器	$A_{VF} = -\frac{R_f}{R_1}$	虚地, 输入阻抗 = R_1
同相放大器	$A_{VF} = 1 + \frac{R_f}{R_1}$	高输入阻抗
电压跟随器	$A_{VF} = 1$	缓冲 / 隔离
反相加法器	$v_o = -\left(\frac{R_f}{R_1}v_1 + \frac{R_f}{R_2}v_2\right)$	加权求和
减法器	$v_o = \frac{R_f}{R_1}(v_2 - v_1)$	差分输入
积分器	$v_o = -\frac{1}{RC} \int v_i dt$	注意低频增益
微分器	$v_o = -RC \frac{dv_i}{dt}$	高频噪声放大

非理想参数: V_{IO} (失调电压 1~10mV) | I_{IB} (偏置电流) | K_{CMR} (共模抑制比 80~120dB) | S_R (转换速率)

PART 03

模拟集成电路

差分放大 · 电流源 · 运放内部结构

差模与共模信号

差模信号

$v_{id} = v_{i1} - v_{i2}$ | 需要放大的有用信号

共模信号

$v_{ic} = \frac{v_{i1} + v_{i2}}{2}$ | 需要抑制的干扰/漂移

共模抑制比

$K_{CMR} = \left| \frac{A_{VD}}{A_{VC}} \right|$ | 越大越好 (理想 ∞)

双端输出时 $A_{VC} \rightarrow 0$, $K_{CMR} \rightarrow \infty$

关键概念

抑制零点漂移原理

对称结构使温漂作为共模信号被抵消
恒流源 ($r_o \rightarrow \infty$) 进一步抑制共模

双入双出差模增益

$$A_{VD} = -\frac{\beta R_c}{r_{be}}$$

与单管共射放大电路增益相同!

运放内部结构

输入级 (差分) \rightarrow 电压放大级 \rightarrow 输出级 (跟随器)
偏置电路: 镜像电流源 / Widlar微电流源 / 有源负载

田 差分电路四种接法性能对比

接法	A_{VD}	A_{VC}	K_{CMR}	特点
双入双出	$-\frac{\beta R_c}{r_{be}}$	$\rightarrow 0$	$\rightarrow \infty$	最好, 但电路复杂
双入单出	$-\frac{\beta R_c}{2r_{be}}$	有限	有限	常用, 接后续级
单入双出	$-\frac{\beta R_c}{r_{be}}$	$\rightarrow 0$	$\rightarrow \infty$	单端转差分
单入单出	$-\frac{\beta R_c}{2r_{be}}$	有限	有限	结构最简单

FET差分: 增益 $A_{VD} = -g_m R_d$ (双出) 或 $-g_m R_d/2$ (单出)

闭环增益: $A_F = \frac{A}{1 + AF}$ | $|1 + AF| > 1$ 负反馈 | $|1 + AF| < 1$ 正反馈 | $= 0$ 自激

电压串联

稳定 v_o
 $R_i \uparrow, R_o \downarrow$

电压并联

稳定 v_o
 $R_i \downarrow, R_o \downarrow$

电流串联

稳定 i_o
 $R_i \uparrow, R_o \uparrow$

电流并联

稳定 i_o
 $R_i \downarrow, R_o \uparrow$

判断方法: 输出短路法判**电压/电流**反馈 | 输入看求和方式判**串联/并联**反馈 | **瞬时极性法**判正/负反馈

深度负反馈

深度负反馈条件

$$|1 + AF| \gg 1 \quad \rightarrow \quad A_F \approx \frac{1}{F}$$

闭环增益仅取决于反馈网络

对性能的影响

- ✓ **提高增益稳定性** ✓ 展宽通频带
- ✓ 减小非线性失真 ✓ 改变输入/输出电阻
- ✓ 抑制噪声和干扰

深度负反馈下**虚短/虚断**同样适用

自激振荡

振荡条件 (同时满足)

- ① $|AF| = 1$ (幅值条件)
- ② $\phi_A + \phi_F = \pm 180^\circ$ (相位条件)

稳定裕度

相位裕度 $\phi_m > 45^\circ$

增益裕度 $G_m < -10$ dB

频率补偿

降低高频增益 (滞后补偿)

引入零点 (超前补偿)

滤波器分类

类型	通带 & 衰减
低通(LPF)	$0 \sim f_H$ -20 dB/dec (一阶)
高通(HPF)	$f > f_L$ -20 dB/dec (一阶)
带通(BPF)	$f_L \sim f_H$ 选频
带阻(BEF)	$f_L \sim f_H$ 抑制

品质因数 Q

Q=0.707: Butterworth最平坦

Q>0.707: 出现峰值 Q<0.707: 过度衰减

正弦波振荡电路

振荡条件

幅值: $|AF| = 1$ | 相位: $\phi_A + \phi_F = 2n\pi$

起振: $|AF| > 1$ (必须从大于1开始)

类型	频率范围
RC振荡器 (文氏电桥)	Hz ~ MHz
LC振荡器 (Colpitts/Hartley)	MHz 以上
晶体振荡器	高稳定度

选频网络

决定振荡频率, 是振荡器的核心

$$u = Ri$$

欧姆定律

$$\sum i = 0 \quad \sum u = 0$$

KCL / KVL

$$i_C = C \frac{du_C}{dt} \quad u_L = L \frac{di_L}{dt}$$

电容 / 电感 VCR

$$\tau = RC \quad \text{或} \quad \tau = L/R_o$$

时间常数

$$P_{max} = u_{oc}^2 / (4R_o)$$

最大功率 ($R_L = R_o$)

$$f(t) = f(\infty) + [f(0^+) - f(\infty)]e^{-t/\tau}$$

三要素法 ★★★

$$s_{1,2} = -\alpha \pm \sqrt{\alpha^2 - \omega_0^2}$$

RLC 特征根

$$\dot{U} = ZI$$

相量欧姆定律

$$Z_R = R \quad Z_C = 1/(j\omega C) \quad Z_L = j\omega L$$

元件阻抗

$$U = U_m / \sqrt{2}$$

有效值 (正弦波)

$$i_D = I_S(e^{v_D/V_T} - 1)$$

二极管方程

$$i_D = I_{D0}(v_{GS}/V_T - 1)^2$$

MOSFET 平方律

$$r_d = 26\text{mV}/I_D$$

小信号电阻

$$A_V^{CS} = -g_m(R_d \parallel R_L)$$

共源增益

$$i_C = \beta i_B$$

BJT 电流放大

$$A_{VF} = -R_f/R_1 = 1 + R_f/R_1$$

反相 / 同相运放

$$r_{be} = 200 + (1 + \beta) \cdot 26\text{mV}/I_{EQ}$$

BJT 输入电阻

$$A_F = A/(1 + AF)$$

闭环增益

$$A_V^{CE} = -\beta R'_L/r_{be}$$

共射增益 ★★★

$$C_M = (1 + g_m R_c)C_{b'c}$$

密勒电容 ★★★

60-70%

计算分析题

- ✓ 三要素法 ★★★
- ✓ 运放电路分析
- ✓ BJT/FET小信号分析
- ✓ 反馈组态与计算
- ✓ 差分放大电路

20-30%

作图/简答题

- ✓ 画Bode图 (频响)
- ✓ 判断反馈组态
- ✓ 三种组态对比
- ✓ 反馈对性能影响

≈10%

概念辨析题

- ✓ 受控源 vs 独立源
- ✓ 线性 vs 非线性失真
- ✓ 差模 vs 共模信号
- ✓ 密勒效应本质

🔑 必考重点

一阶电路三要素法 + 运放电路分析 + BJT/FET小信号模型 + 反馈组态判断

💡 高分策略

先做计算大题中最熟悉的题; 留时间检查公式和单位; 画图用尺

1

概念梳理 (1天)

通读总复习大纲和各章要点
建立知识框架全局观
关注各章之间的逻辑联系

2

公式熟记 (1天)

边记边推导核心公式
理解每个公式的物理意义
重点：三要素法、运放、反馈

3

真题演练 (2天)

限时完成2-3套综合题
重点练三要素法、运放
控制每题时间，避免超时

三要素法: $f(0^+) \rightarrow f(\infty) \rightarrow \tau \rightarrow$ 套公式
先画 0^+ 和 ∞ 等效电路, 再算 τ

反馈判断: 输出短路法判取样, 输入求和方式判混合
瞬时极性法一路标到底

运放分析: 先找虚短/虚断关系, 再列KCL
有多个运放时逐级分析

小信号分析: 先求Q点, 再画交流等效电路
直流源短路, 电容短路, 模型替代

**祝大家复习顺利，
考试成功！**

掌握核心框架 + 熟练核心公式 + 多做真题练习
= 考试通过的关键
