

SZZ 国考生存手册

State Final Examination Survival Kit

Czech Technical University in Prague (FEE)

Yuan Weize

January 2026

Contents

I	数学基础 / Mathematics Foundation	4
1	线性代数 / Linear Algebra	4
2	Numerical Math (DEN)	7
2.1	Concepts / 核心概念	7
2.2	Formulas / 公式	7
2.3	Exam Questions / 常考题型	7
3	Differential Equations (DEN)	7
3.1	Concepts / 核心概念	8
3.2	Formulas / 公式	8
3.3	Exam Questions / 常考题型	8
4	Discrete Math & Sets (DMG)	8
4.1	Concepts / 核心概念	8
4.2	Formulas / 公式	8
4.3	Exam Questions / 常考题型	8
5	Graph Theory (DMG)	9
5.1	Concepts / 核心概念	9
5.2	Formulas / 公式	9
5.3	Exam Questions / 常考题型	9
6	Probability (PRS)	9
6.1	Concepts / 核心概念	9
6.2	Formulas / 公式	9
6.3	Exam Questions / 常考题型	10
II	物理基础 / Physics Foundation	10
7	力学 / Mechanics	10

8 Oscillations (PH1)	13
8.1 Concepts / 核心概念	13
8.2 Formulas / 公式	13
8.3 Exam Questions / 常考题型	13
9 Physical Fields (PH1)	14
9.1 Concepts / 核心概念	14
9.2 Formulas / 公式	14
9.3 Exam Questions / 常考题型	14
10 Thermodynamics (PH2)	14
10.1 Concepts / 核心概念	14
10.2 Formulas / 公式	14
10.3 Exam Questions / 常考题型	14
11 Waves & Optics (PH2)	15
11.1 Concepts / 核心概念	15
11.2 Formulas / 公式	15
11.3 Exam Questions / 常考题型	15
III 电子与计算机核心 / EECS Core	15
12 电路理论 / Circuit Theory	15
13 Semiconductors (ELP)	18
13.1 Concepts / 核心概念	18
13.2 Formulas / 公式	19
13.3 Exam Questions / 常考题型	19
14 Analog & Digital Circuits (ELP)	19
14.1 Concepts / 核心概念	19
14.2 Formulas / 公式	19
14.3 Exam Questions / 常考题型	19
15 微处理器 / Microprocessors	20
16 Algorithms (PRG/PGE)	23
16.1 Concepts / 核心概念	23
16.2 Formulas / 公式	23
16.3 Exam Questions / 常考题型	23
IV 专业方向 / Specialization	23
17 Electromagnetic Field Theory (EMT)	24
17.1 Concepts / 核心概念	24
17.2 Formulas / 公式	24
17.3 Exam Questions / 常考题型	24
18 Logic Systems (LSP)	25
18.1 Concepts / 核心概念	25
18.2 Formulas / 公式	25
18.3 Exam Questions / 常考题型	25

19 Signals & Systems (TES)	26
19.1 Concepts / 核心概念	26
19.2 Formulas / 公式	26
19.3 Exam Questions / 常考题型	26
20 Electrical Machines (SP1)	27
20.1 Concepts / 核心概念	27
20.2 Formulas / 公式	27
20.3 Exam Questions / 常考题型	27
21 Materials (MVE)	28
21.1 Concepts / 核心概念	28
21.2 Formulas / 公式	28
21.3 Exam Questions / 常考题型	28
22 Power Systems (EN1/EN2)	29
22.1 Concepts / 核心概念	29
22.2 Formulas / 公式	29
22.3 Exam Questions / 常考题型	29
23 AI & Classification (KUI/RPZ)	30
23.1 Concepts / 核心概念	30
23.2 Formulas / 公式	30
23.3 Exam Questions / 常考题型	30
24 计算机体系统结构 / Computer Architecture	31
25 控制系统 / Control Systems	35

Part I 数学基础 / Mathematics Foundation

1 线性代数 / Linear Algebra

矩阵基础 (Matrix Basics)

概念 (CN): 矩阵的定义、运算和性质

Term (EN): Matrix, Transpose, Inverse, Determinant

基本运算:

- 加法: $C = A + B$ (同尺寸矩阵对应元素相加)
- 乘法: $(AB)_{ij} = \sum_k a_{ik}b_{kj}$ (行乘列)
- 转置: $(A^T)_{ij} = a_{ji}$ (行列互换)

Key Insight: Matrix multiplication is NOT commutative: $AB \neq BA$ in general.

核心公式 / Key Formula

行列式 (2×2):

$$\det \begin{pmatrix} a & b \\ c & d \end{pmatrix} = ad - bc \quad (1)$$

行列式 (3×3 , 展开):

$$\det(A) = a_{11}C_{11} + a_{12}C_{12} + a_{13}C_{13} \quad (2)$$

其中 C_{ij} 是代数余子式。

逆矩阵:

$$A^{-1} = \frac{1}{\det(A)} \text{adj}(A) \quad (3)$$

逆矩阵存在条件: $\det(A) \neq 0$ (非奇异矩阵)

线性方程组 (Systems of Linear Equations)

概念 (CN): 求解 $Ax = b$ 的方法

Term (EN): Gaussian Elimination, Cramer's Rule, LU Decomposition

矩阵形式:

$$Ax = b \Rightarrow x = A^{-1}b \quad (4)$$

克莱默法则 (Cramer's Rule):

$$x_i = \frac{\det(A_i)}{\det(A)} \quad (5)$$

其中 A_i 是将 A 的第 i 列替换为 b 。

Key Insight: Gaussian elimination is more efficient than Cramer's rule for large systems.

核心公式 / Key Formula

高斯消元示例:

原方程组:

$$\begin{cases} 2x + y = 5 \\ 4x + 3y = 11 \end{cases} \quad (6)$$

增广矩阵:

$$\left(\begin{array}{cc|c} 2 & 1 & 5 \\ 4 & 3 & 11 \end{array} \right) \xrightarrow{R_2 - 2R_1} \left(\begin{array}{cc|c} 2 & 1 & 5 \\ 0 & 1 & 1 \end{array} \right) \quad (7)$$

回代: $y = 1, x = 2$

特征值与特征向量 (Eigenvalues & Eigenvectors)

概念 (CN): 满足 $\mathbf{Av} = \lambda\mathbf{v}$ 的标量 λ 和非零向量 \mathbf{v}

Term (EN): Eigenvalue, Eigenvector, Characteristic Polynomial

定义:

$$\mathbf{Av} = \lambda\mathbf{v} \Leftrightarrow (\mathbf{A} - \lambda\mathbf{I})\mathbf{v} = \mathbf{0} \quad (8)$$

求解步骤:

1. 求特征多项式: $\det(\mathbf{A} - \lambda\mathbf{I}) = 0$
2. 解出特征值 $\lambda_1, \lambda_2, \dots$
3. 对每个 λ_i , 解 $(\mathbf{A} - \lambda_i\mathbf{I})\mathbf{v} = \mathbf{0}$ 得特征向量

Key Insight: Eigenvalues reveal fundamental properties of a matrix (stability, principal directions).

核心公式 / Key Formula

2×2 矩阵特征值:

对于 $\mathbf{A} = \begin{pmatrix} a & b \\ c & d \end{pmatrix}$:

特征多项式:

$$\lambda^2 - (a+d)\lambda + (ad - bc) = 0 \quad (9)$$

简化:

$$\lambda^2 - \text{tr}(\mathbf{A})\lambda + \det(\mathbf{A}) = 0 \quad (10)$$

解:

$$\lambda = \frac{\text{tr}(\mathbf{A}) \pm \sqrt{\text{tr}(\mathbf{A})^2 - 4\det(\mathbf{A})}}{2} \quad (11)$$

特征值性质

- $\sum \lambda_i = \text{tr}(\mathbf{A})$ (特征值之和 = 迹)
- $\prod \lambda_i = \det(\mathbf{A})$ (特征值之积 = 行列式)
- 对称矩阵的特征值都是实数
- 正定矩阵的特征值都 > 0

向量空间 (Vector Spaces)

概念 (CN): 满足向量加法和标量乘法封闭性的集合

Term (EN): Basis, Dimension, Span, Linear Independence

关键概念:

- **线性无关**: 没有向量可以表示为其他向量的线性组合
- **基 (Basis)**: 线性无关且张成整个空间的向量组
- **维度 (Dimension)**: 基中向量的个数
- **秩 (Rank)**: 矩阵列空间的维度

Key Insight: Rank tells you the "effective" number of independent equations/constraints.

核心公式 / Key Formula

秩-零化度定理:

$$\text{rank}(\mathbf{A}) + \text{nullity}(\mathbf{A}) = n \quad (12)$$

其中 n 是列数。

齐次方程组解的结构:

- $\text{rank}(\mathbf{A}) = n$: 唯一解 ($\mathbf{x} = \mathbf{0}$)
- $\text{rank}(\mathbf{A}) < n$: 无穷多解 (解空间维度 = $n - \text{rank}$)

Thesis Connection

线性代数与传感器融合:

你的论文使用 MPU-6050 (6 轴传感器) 进行跌倒检测。

传感器融合 (Kalman Filter) 用到的线性代数:

- 状态向量: $\mathbf{x} = [\theta, \dot{\theta}, \omega_{bias}]^T$
- 状态转移矩阵: $\mathbf{A} = \begin{pmatrix} 1 & dt & 0 \\ 0 & 1 & -dt \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$
- 协方差矩阵更新: $\mathbf{P} = \mathbf{A}\mathbf{P}\mathbf{A}^T + \mathbf{Q}$

Jan Koller 问题: "How do you combine Accelerometer and Gyroscope data?"

答案: 使用卡尔曼滤波器。加速度计提供绝对姿态 (有噪声), 陀螺仪提供角速度积分 (有漂移)。

卡尔曼滤波通过最小化协方差, 融合两者得到最优估计。核心是矩阵运算 (状态预测、协方差更新、卡尔曼增益计算)。

!

考试陷阱 / Exam Pitfalls]

1. 逆矩阵不存在: $\det(\mathbf{A}) = 0$ 时矩阵奇异, 无逆!
2. 特征向量方向: 特征向量乘以任意非零常数仍是特征向量。
3. 矩阵乘法顺序: \mathbf{AB} 的尺寸是 $(m \times p)$ 当 \mathbf{A} 是 $m \times n$, \mathbf{B} 是 $n \times p$ 。

2 Numerical Math (DEN)

Exam Cheat Sheet / 极速复习

- **Core Concept:** 数值方法用于计算机近似求解。重点是浮点数误差 (IEEE 754)、牛顿迭代法 (Newton Method) 求根。
- **Key Formula:** ...
- **Watch Out:** Common exam pitfalls.

2.1 Concepts / 核心概念

Floating Point, Round-off Error, Newton's Method, Interpolation

数值方法用于计算机近似求解。重点是浮点数误差 (IEEE 754)、牛顿迭代法 (Newton Method) 求根。

2.2 Formulas / 公式

$$x = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a} \quad (13)$$

2.3 Exam Questions / 常考题型

- Define ...
- Calculate ...

3 Differential Equations (DEN)

Exam Cheat Sheet / 极速复习

- **Core Concept:** 微分方程描述系统变化。重点是线性常微分方程 (Linear ODE) 和一阶系统的解法 (分离变量法)。
- **Key Formula:** ...
- **Watch Out:** Common exam pitfalls.

3.1 Concepts / 核心概念

ODE, Homogeneous Solution, Particular Solution, Characteristic Equation

微分方程描述系统变化。重点是线性常微分方程 (Linear ODE) 和一阶系统的解法 (分离变量法)。

3.2 Formulas / 公式

$$x = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a} \quad (14)$$

3.3 Exam Questions / 常考题型

- Define ...
- Calculate ...

4 Discrete Math & Sets (DMG)

Exam Cheat Sheet / 极速复习

- **Core Concept:** 集合论与二元关系。重点是模运算 (Modulo)、等价关系 (Equivalence) 和偏序 (Partial Order)。
- **Key Formula:** ...
- **Watch Out:** Common exam pitfalls.

4.1 Concepts / 核心概念

Sets, Cardinality, Equivalence Relation, Modulo Arithmetic

集合论与二元关系。重点是模运算 (Modulo)、等价关系 (Equivalence) 和偏序 (Partial Order)。

4.2 Formulas / 公式

$$x = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a} \quad (15)$$

4.3 Exam Questions / 常考题型

- Define ...
- Calculate ...

5 Graph Theory (DMG)

Exam Cheat Sheet / 极速复习

- **Core Concept:** 图论基础。重点是树 (Trees)、最短路径 (Dijkstra)、遍历 (BFS/DFS) 和图的连通性。
- **Key Formula:** ...
- **Watch Out:** Common exam pitfalls.

5.1 Concepts / 核心概念

Vertex, Edge, Path, Cycle, Tree, Component

图论基础。重点是树 (Trees)、最短路径 (Dijkstra)、遍历 (BFS/DFS) 和图的连通性。

5.2 Formulas / 公式

$$x = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a} \quad (16)$$

5.3 Exam Questions / 常考题型

- Define ...
- Calculate ...

6 Probability (PRS)

Exam Cheat Sheet / 极速复习

- **Core Concept:** 概率分布与统计。重点是贝叶斯定理 (Bayes Theorem)、正态分布 (Normal Distribution) 和期望值。
- **Key Formula:** ...
- **Watch Out:** Common exam pitfalls.

6.1 Concepts / 核心概念

Random Variable, PDF, CDF, Bayes Theorem, Expectation

概率分布与统计。重点是贝叶斯定理 (Bayes Theorem)、正态分布 (Normal Distribution) 和期望值。

6.2 Formulas / 公式

$$x = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a} \quad (17)$$

6.3 Exam Questions / 常考题型

- Define ...
- Calculate ...

Part II

物理基础 / Physics Foundation

7 力学 / Mechanics

牛顿运动定律 (Newton's Laws of Motion)

概念 (CN): 经典力学的三大基本定律

Term (EN): Newton's First, Second, and Third Laws

第一定律 (惯性定律): 物体在不受外力时，保持静止或匀速直线运动。

第二定律 (动力学基本方程): 物体的加速度与合外力成正比，与质量成反比。

第三定律 (作用与反作用): 两物体间的作用力与反作用力大小相等、方向相反。

Key Insight: Newton's 2nd Law ($F = ma$) is the core equation for all dynamics. It links force, mass, and acceleration.

核心公式 / Key Formula

牛顿第二定律:

$$\vec{F} = m\vec{a} = m \frac{d\vec{v}}{dt} = \frac{d\vec{p}}{dt} \quad (18)$$

其中 $\vec{p} = m\vec{v}$ 是动量。

冲量-动量定理:

$$\vec{J} = \int_{t_1}^{t_2} \vec{F} dt = \Delta \vec{p} = m\vec{v}_2 - m\vec{v}_1 \quad (19)$$

动量守恒:

$$\sum \vec{p}_{before} = \sum \vec{p}_{after} \quad (\text{无外力时}) \quad (20)$$

功、能、功率 (Work, Energy, Power)

概念 (CN): 功是力沿位移方向的作用效果；能量是做功的能力；功率是做功的速率。

Term (EN): Work, Kinetic Energy, Potential Energy, Power

功 (Work):

- 恒力做功: $W = \vec{F} \cdot \vec{s} = F s \cos \theta$
- 变力做功: $W = \int \vec{F} \cdot d\vec{s}$

能量守恒: 机械能 = 动能 + 势能 (保守力场中守恒)

Key Insight: Energy is ALWAYS conserved; it transforms between forms (kinetic, potential, thermal).

核心公式 / Key Formula

动能:

$$E_k = \frac{1}{2}mv^2 \quad (21)$$

重力势能:

$$E_p = mgh \quad (22)$$

弹性势能:

$$E_p = \frac{1}{2}kx^2 \quad (23)$$

功率:

$$P = \frac{dW}{dt} = \vec{F} \cdot \vec{v} \quad (24)$$

动能定理:

$$W_{net} = \Delta E_k = \frac{1}{2}mv_2^2 - \frac{1}{2}mv_1^2 \quad (25)$$

转动力学 (Rotational Mechanics)

概念 (CN): 刚体绕固定轴转动的运动学与动力学

Term (EN): Moment of Inertia, Torque, Angular Momentum

类比关系:

平动	转动
质量 m	转动惯量 I
力 \vec{F}	力矩 $\vec{\tau}$
速度 \vec{v}	角速度 $\vec{\omega}$
动量 \vec{p}	角动量 \vec{L}

Key Insight: Rotational mechanics mirrors linear mechanics—just replace mass with moment of inertia.

核心公式 / Key Formula

转动惯量:

$$I = \sum_i m_i r_i^2 = \int r^2 dm \quad (26)$$

力矩与角加速度:

$$\vec{\tau} = I\vec{\alpha} = \vec{r} \times \vec{F} \quad (27)$$

角动量:

$$\vec{L} = I\vec{\omega} = \vec{r} \times \vec{p} \quad (28)$$

转动动能:

$$E_k = \frac{1}{2} I \omega^2 \quad (29)$$

常见转动惯量:

- 细杆 (绕端点) : $I = \frac{1}{3}mL^2$

- 圆盘 (绕轴) : $I = \frac{1}{2}mR^2$

- 球体 (绕直径) : $I = \frac{2}{5}mR^2$

简谐运动 (Simple Harmonic Motion)

概念 (CN): 物体在回复力作用下, 沿直线往复运动的周期性运动

Term (EN): SHM, Angular Frequency, Phase, Amplitude

特征:

- 回复力: $F = -kx$ (与位移成正比, 方向相反)
- 运动方程: $x(t) = A \cos(\omega t + \phi)$
- 等时性: 周期与振幅无关

Key Insight: SHM is everywhere: pendulums, springs, crystal oscillators (in your ESP32!).

核心公式 / Key Formula

运动方程:

$$x(t) = A \cos(\omega t + \phi) \quad (30)$$

速度:

$$v(t) = -A\omega \sin(\omega t + \phi) \quad (31)$$

加速度:

$$a(t) = -A\omega^2 \cos(\omega t + \phi) = -\omega^2 x \quad (32)$$

角频率:

$$\omega = \sqrt{\frac{k}{m}}, \quad T = 2\pi \sqrt{\frac{m}{k}} \quad (33)$$

机械能:

$$E = \frac{1}{2}kA^2 = \frac{1}{2}m\omega^2 A^2 \quad (34)$$

Thesis Connection

跌倒检测与力学:

你的论文使用 MPU-6050 加速度计/陀螺仪进行跌倒检测。

牛顿第二定律应用: 加速度计测量的是 $a = F/m$, 即施加在传感器上的力。

跌倒特征:

1. 失重阶段: 自由落体时加速度接近 $0g$ (失重)
2. 碰撞阶段: 撞击地面时加速度峰值可达 $3-5g$
3. 静止阶段: 角速度 $\omega \approx 0$ (躺在地上不动)

Jan Koller 问题: "Why use Acc + Gyro?"

答案: 加速度检测冲击力, 陀螺仪检测姿态变化。两者融合 (Sensor Fusion) 才能区分“跌倒”和“快速坐下”。

!

考试陷阱 / Exam Pitfalls]

1. 向量方向: \vec{F} 、 \vec{a} 、 $\vec{\tau}$ 都是向量, 注意方向!
2. 能量符号: 动能永远 ≥ 0 , 势能可正可负 (取决于参考点)。
3. SHM 相位: $\phi = 0$ 表示从最大位移开始; $\phi = \pi/2$ 表示从平衡点开始。

8 Oscillations (PH1)

Exam Cheat Sheet / 极速复习

- Core Concept: 谐振动。重点是阻尼振动 (Damped) 和受迫振动 (Forced), 与 RLC 电路直接对应。
- Key Formula: ...
- Watch Out: Common exam pitfalls.

8.1 Concepts / 核心概念

Simple Harmonic Motion, Damping, Resonance, Angular Frequency

谐振动。重点是阻尼振动 (Damped) 和受迫振动 (Forced), 与 RLC 电路直接对应。

8.2 Formulas / 公式

$$x = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a} \quad (35)$$

8.3 Exam Questions / 常考题型

- Define ...
- Calculate ...

9 Physical Fields (PH1)

Exam Cheat Sheet / 极速复习

- **Core Concept:** 电场与引力场。重点是高斯定理 (Gauss Law) 和电势 (Potential)。
- **Key Formula:** ...
- **Watch Out:** Common exam pitfalls.

9.1 Concepts / 核心概念

Electric Field, Potential, Gauss Law, Flux

电场与引力场。重点是高斯定理 (Gauss Law) 和电势 (Potential)。

9.2 Formulas / 公式

$$x = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a} \quad (36)$$

9.3 Exam Questions / 常考题型

- Define ...
- Calculate ...

10 Thermodynamics (PH2)

Exam Cheat Sheet / 极速复习

- **Core Concept:** 热力学定律。重点是熵 (Entropy)、卡诺循环 (Carnot Cycle) 和理想气体方程。
- **Key Formula:** ...
- **Watch Out:** Common exam pitfalls.

10.1 Concepts / 核心概念

First Law, Entropy, Heat Capacity, Isothermal

热力学定律。重点是熵 (Entropy)、卡诺循环 (Carnot Cycle) 和理想气体方程。

10.2 Formulas / 公式

$$x = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a} \quad (37)$$

10.3 Exam Questions / 常考题型

- Define ...
- Calculate ...

11 Waves & Optics (PH2)

Exam Cheat Sheet / 极速复习

- **Core Concept:** 波动理论。重点是干涉 (Interference)、衍射 (Diffraction) 和光的折射。
- **Key Formula:** ...
- **Watch Out:** Common exam pitfalls.

11.1 Concepts / 核心概念

Wavelength, Frequency, Interference, Refraction

波动理论。重点是干涉 (Interference)、衍射 (Diffraction) 和光的折射。

11.2 Formulas / 公式

$$x = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a} \quad (38)$$

11.3 Exam Questions / 常考题型

- Define ...
- Calculate ...

Part III

电子与计算机核心 / EECS Core

12 电路理论 / Circuit Theory

基尔霍夫定律 (Kirchhoff's Laws)

概念 (CN): 基尔霍夫电流定律 (KCL) 与基尔霍夫电压定律 (KVL)

Term (EN): Kirchhoff's Current Law (KCL) & Kirchhoff's Voltage Law (KVL)

定义:

- **KCL (电流定律):** 流入任一节点的电流之和等于流出该节点的电流之和。基于电荷守恒。
- **KVL (电压定律):** 沿任一闭合回路，所有电压降的代数和为零。基于能量守恒。

Key Insight (EN): KCL ensures charge is conserved at nodes; KVL ensures energy is conserved around loops. These are the foundation of ALL circuit analysis.

核心公式 / Key Formula

KCL (节点分析):

$$\sum_{k=1}^n I_k = 0 \quad (39)$$

其中 I_k 是进入节点的电流 (流出为负)。

KVL (回路分析):

$$\sum_{k=1}^n V_k = 0 \quad (40)$$

其中 V_k 是回路中的电压降。

戴维南与诺顿等效 (Thevenin & Norton)

概念 (CN): 任何线性二端网络可以等效为一个电压源串联电阻 (戴维南) 或一个电流源并联电阻 (诺顿)。

Term (EN): Thevenin Equivalent & Norton Equivalent

戴维南定理:

- V_{Th} = 开路电压 (Open-circuit voltage)
- R_{Th} = 从端口看入的等效电阻 (所有独立源置零)

诺顿定理:

- I_N = 短路电流 (Short-circuit current)
- $R_N = R_{Th}$ (等效电阻相同)

Key Insight: Thevenin/Norton simplifies complex circuits into a simple source + resistor for load analysis.

核心公式 / Key Formula

戴维南等效电路:

$$V_{load} = V_{Th} - I_{load} \cdot R_{Th} \quad (41)$$

诺顿等效电路:

$$I_N = \frac{V_{Th}}{R_{Th}} \quad (42)$$

转换关系:

$$V_{Th} = I_N \cdot R_N, \quad R_{Th} = R_N \quad (43)$$

RLC 电路与谐振 (RLC Circuits & Resonance)

概念 (CN): RLC 串联/并联电路在特定频率下发生谐振，阻抗最小/最大。

Term (EN): Series/Parallel Resonance, Quality Factor (Q)

串联谐振 (Series Resonance):

- 谐振频率: $f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$
- 阻抗最小: $Z_{min} = R$
- 电流最大

并联谐振 (Parallel Resonance):

- 阻抗最大
- 电流最小

Key Insight: Resonance is used in oscillators, filters, and tuning circuits. Your ESP32's crystal oscillator relies on piezoelectric resonance.

核心公式 / Key Formula

谐振频率:

$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}, \quad f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \quad (44)$$

品质因数 (Quality Factor):

$$Q = \frac{\omega_0 L}{R} = \frac{1}{\omega_0 C R} = \frac{1}{R} \sqrt{\frac{L}{C}} \quad (45)$$

带宽:

$$BW = \frac{f_0}{Q} \quad (46)$$

交流电路中的功率 (Power in AC Circuits)

概念 (CN): 交流电路中存在有功功率、无功功率和视在功率。

Term (EN): Real Power (P), Reactive Power (Q), Apparent Power (S), Power Factor

三种功率:

- **有功功率 P:** 实际消耗的功率 [W]
- **无功功率 Q:** 储能元件 (L/C) 交换的功率 [VAR]
- **视在功率 S:** 电源提供的总功率 [VA]

Key Insight: Power factor tells you how efficiently power is being used. Low power factor = wasted energy.

核心公式 / Key Formula

功率关系:

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2} = V_{rms} \cdot I_{rms} \quad (47)$$

有功功率:

$$P = V_{rms} \cdot I_{rms} \cdot \cos \phi = S \cdot \cos \phi \quad (48)$$

无功功率:

$$Q = V_{rms} \cdot I_{rms} \cdot \sin \phi = S \cdot \sin \phi \quad (49)$$

功率因数:

$$\cos \phi = \frac{P}{S} \quad (50)$$

Thesis Connection

ESP32 电源设计:

你的 ESP32-S3 通过 USB (5V) 供电，经过 LDO 线性稳压器降压到 3.3V。

KCL 应用: 流入 LDO 的电流 = ESP32 消耗电流 + 热损耗。

功率应用: ESP32 峰值功耗约 500mW ($P = U \cdot I = 3.3V \times 150mA$)。

Jan Koller 问题: "How is power dissipated in the LDO?"

答案: $P_{LDO} = (V_{in} - V_{out}) \times I = (5V - 3.3V) \times 0.15A = 0.255W$

!

考试陷阱 / Exam Pitfalls]

1. 忘记电流方向: KVL/KCL 要求统一的电流/电压参考方向。
2. 混淆 RMS 与峰值: $V_{peak} = \sqrt{2} \cdot V_{rms}$ 。
3. 功率因数符号: 容性负载功率因数超前, 感性滞后。

13 Semiconductors (ELP)

Exam Cheat Sheet / 极速复习

- Core Concept: 半导体物理。重点是 PN 结 (PN Junction)、二极管和晶体管 (MOSFET/BJT) 的工作区。
- Key Formula: ...
- Watch Out: Common exam pitfalls.

13.1 Concepts / 核心概念

PN Junction, Forward Bias, Depletion Region, MOSFET

半导体物理。重点是 PN 结 (PN Junction)、二极管和晶体管 (MOSFET/BJT) 的工作区。

13.2 Formulas / 公式

$$x = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a} \quad (51)$$

13.3 Exam Questions / 常考题型

- Define ...
- Calculate ...

14 Analog & Digital Circuits (ELP)

Exam Cheat Sheet / 极速复习

- **Core Concept:** 模拟与数字电路。重点是放大器 (Op-Amp) 配置和基本逻辑门电路。
- **Key Formula:** ...
- **Watch Out:** Common exam pitfalls.

14.1 Concepts / 核心概念

Operational Amplifier, Gain, Logic Gates, CMOS

模拟与数字电路。重点是放大器 (Op-Amp) 配置和基本逻辑门电路。

14.2 Formulas / 公式

$$x = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a} \quad (52)$$

14.3 Exam Questions / 常考题型

- Define ...
- Calculate ...

15 微处理器 / Microprocessors

冯诺依曼 vs 哈佛架构 (Von Neumann vs Harvard)

概念 (CN): 计算机体系结构的两种基本模型

Term (EN): Von Neumann Architecture, Harvard Architecture

冯诺依曼架构:

- 程序和数据共享同一存储器和总线
- 简单, 成本低
- 瓶颈: 内存带宽有限 (冯诺依曼瓶颈)
- 例: x86 PC

哈佛架构:

- 程序和数据分开存储, 有独立总线
- 可同时取指令和取数据
- 例: ARM Cortex-M, ESP32

Key Insight: Harvard architecture allows simultaneous instruction fetch and data access = faster execution.

中断系统 (Interrupts)

概念 (CN): 外部或内部事件触发 CPU 暂停当前任务, 转去执行中断服务程序 (ISR)

Term (EN): Interrupt, ISR (Interrupt Service Routine), IRQ, NVIC

中断类型:

- **外部中断:** GPIO 电平变化、定时器溢出
- **内部中断:** 软件中断、异常 (如除零)
- **NMI:** 不可屏蔽中断 (最高优先级)

中断处理流程:

1. 保存现场 (寄存器入栈)
2. 跳转到 ISR
3. 执行 ISR
4. 恢复现场 (寄存器出栈)
5. 返回原程序

Key Insight: Interrupts allow real-time response to events without polling.

核心公式 / Key Formula

中断延迟:

$$T_{latency} = T_{recognition} + T_{context_save} + T_{ISR_entry} \quad (53)$$

ESP32 中断优先级: 1-7 级 (7 最高, NMI)

关键寄存器:

- IE (Interrupt Enable): 中断使能
- IF (Interrupt Flag): 中断标志
- NVIC_IPR: 优先级寄存器

GPIO 与外设 (GPIO & Peripherals)

概念 (CN): 通用输入输出引脚及其配置

Term (EN): GPIO, Pull-up, Pull-down, Open-drain, Push-pull

GPIO 模式:

- 输入模式: 浮空、上拉、下拉
- 输出模式: 推挽输出、开漏输出

推挽 vs 开漏:

特性	推挽 (Push-Pull)	开漏 (Open-Drain)
高电平驱动	有	无 (需外部上拉)
低电平驱动	有	有
线与功能	无	有
典型应用	LED 驱动	I2C 总线

Key Insight: Open-drain allows multiple devices to share a bus (like I2C).

通信总线 (Communication Buses)

概念 (CN): 微处理器与外设通信的标准接口

Term (EN): I2C, SPI, UART, CAN

比较表:

协议	线数	速度	拓扑	典型应用
I2C	2 (SDA, SCL)	100k-3.4M	多主多从	传感器
SPI	4 (MOSI, MISO, SCK, CS)	10M+	一主多从	Flash, LCD
UART	2 (TX, RX)	115200	点对点	调试串口
CAN	2 (CANH, CANL)	1M	总线型	汽车电子

Key Insight: I2C uses fewer wires but is slower; SPI is faster but needs more pins.

核心公式 / Key Formula

I2C 地址格式:

$$7\text{-bit address} + \text{R/W bit} = 8\text{-bit frame} \quad (54)$$

SPI 时钟配置:

- **CPOL:** 时钟极性 (空闲时高/低)
- **CPHA:** 时钟相位 (第一/二边沿采样)
- 四种模式: Mode 0 (CPOL=0, CPHA=0), Mode 1, Mode 2, Mode 3

UART 波特率:

$$\text{Baud Rate} = \frac{f_{clk}}{16 \times \text{Divisor}} \quad (55)$$

存储器类型 (Memory Types)

概念 (CN): 不同类型存储器的特性

Term (EN): SRAM, DRAM, Flash, EEPROM, ROM

类型	易失性	可写	典型用途
SRAM	易失	读写	Cache, 寄存器文件
DRAM	易失	读写	主内存
Flash	非易失	读/块写	程序存储, SSD
EEPROM	非易失	读/字节写	配置存储
ROM	非易失	只读	Bootloader

Key Insight: ESP32 使用 Flash 存储程序，使用 SRAM 存储运行时数据。

Thesis Connection

ESP32-S3 与微处理器:

你的论文使用 **ESP32-S3**, 它是一个双核 Xtensa LX7 处理器。

架构: 修改版哈佛架构 (指令和数据分开, 但共享部分总线)

通信总线使用:

- I2C: SHT40 温湿度传感器, MPU-6050 加速度计
- SPI: 未使用 (无外部 Flash)
- UART: 调试串口

中断应用:

- GPIO 中断: PIR 运动传感器触发
- 定时器中断: 定期采集传感器数据

Jan Koller 问题: "How does ESP32 handle multiple sensors on I2C?"

答案: 每个 I2C 设备有唯一的 7-bit 地址。Master (ESP32) 先发送地址, 只有匹配的 Slave 响应。

!

考试陷阱 / Exam Pitfalls]

1. **I2C 地址冲突**: 同一地址的两个设备不能挂接在同一总线上。
2. **中断嵌套**: 高优先级中断可以打断低优先级 ISR。
3. **GPIO 浮空**: 未配置上拉/下拉的输入引脚读取值不确定。

16 Algorithms (PRG/PGE)

Exam Cheat Sheet / 极速复习

- **Core Concept**: 基本算法与数据结构。重点是排序 (Sorting)、链表 (Linked List) 和复杂度分析 (Big-O)。
- **Key Formula**: ...
- **Watch Out**: Common exam pitfalls.

16.1 Concepts / 核心概念

Time Complexity, Sorting, Recursion, Stack, Queue

基本算法与数据结构。重点是排序 (Sorting)、链表 (Linked List) 和复杂度分析 (Big-O)。

16.2 Formulas / 公式

$$x = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a} \quad (56)$$

16.3 Exam Questions / 常考题型

- Define ...
- Calculate ...

Part IV 专业方向 / Specialization

17 Electromagnetic Field Theory (EMT)

Exam Cheat Sheet / 极速复习

- **Foundation:** Maxwell's 4 Equations. Memorize Integral AND Differential forms.
- **Static vs Dynamic:** Electrostatics ($\partial/\partial t = 0$) vs Electrodynamics (Time-varying B creates E).
- **Thesis Link:** Signals on your PCB. High frequency = Transmission line effects (Reflections) if traces are long.

17.1 Concepts / 核心概念

Gauss Law, Ampere Law, Faraday Law, Biot-Savart Law, Displacement Current

Maxwell's Equations / 麦克斯韦方程组

The "Standard Model" of Electrical Engineering:

- **Gauss's Law:** $\oint \vec{D} \cdot d\vec{S} = Q_{enc}$ (Charge creates Electric Field).
- **Gauss's Law (Mag):** $\oint \vec{B} \cdot d\vec{S} = 0$ (No magnetic monopoles).
- **Faraday's Law:** $\oint \vec{E} \cdot d\vec{l} = -\frac{d\Phi_B}{dt}$ (Changing B-field creates Voltage). **Key for Induction Machines!**
- **Ampere-Maxwell:** $\oint \vec{H} \cdot d\vec{l} = I_{enc} + \frac{d\Phi_E}{dt}$ (Current + Changing E-field creates B-field).

17.2 Formulas / 公式

$$\vec{F} = q(\vec{E} + \vec{v} \times \vec{B}) \quad (\text{Lorentz Force}) \quad (57)$$

$$C = \frac{\epsilon A}{d} \quad (\text{Parallel Plate Capacitor}) \quad (58)$$

17.3 Exam Questions / 常考题型

- "Explain Skin Effect." (A: AC current flows only on the surface of conductor at high freq. Increases effective Resistance).
- "Derive the capacitance of a coaxial cable using Gauss's law."

18 Logic Systems (LSP)

Exam Cheat Sheet / 极速复习

- **Boolean Algebra:** De Morgan's Laws ($A \cdot B = \overline{A} + \overline{B}$).
- **K-Maps:** Minimization of logic functions (grouping 1s).
- **FSM:** Finite State Machines (Mealy vs Moore).
- **Thesis Link:** Your ESP32 GPIOs are essentially controlled by memory-mapped *registers* (Flip-flops).

18.1 Concepts / 核心概念

Combinational Logic, Sequential Logic, Flip-Flops (D, JK), Multiplexer, VHDL

Sequential Logic / 时序逻辑

Unlike Combinational logic (Output = $f(\text{Input})$), Sequential logic has **Memory**.

- **Latch vs Flip-Flop:** Latch is level-triggered; Flip-Flop is edge-triggered (synchronous).
- **Setup Time (t_{su}):** Data must be stable *before* clock edge.
- **Hold Time (t_h):** Data must be stable *after* clock edge.

FSM (Finite State Machines) / 有限状态机

- **Moore:** Output depends only on *Current State*. (Safer glitch-wise).
- **Mealy:** Output depends on *Current State AND Input*. (Reacts faster, but risky).

18.2 Formulas / 公式

$$F(A, B, C) = \sum m(0, 1, 4, 7) \quad (\text{Sum of Products}) \quad (59)$$

18.3 Exam Questions / 常考题型

- "Design a 3-bit counter using D Flip-Flops." (A: Next state logic + Current state register).
- "What is a Hazard in combinational logic?" (A: Temporary glitch due to unequal delay paths).

19 Signals & Systems (TES)

Exam Cheat Sheet / 极速复习

- **Transforms:** Laplace (s -domain) for Continuous; Z-transform (z -domain) for Discrete.
- **Sampling:** $f_s \geq 2f_{max}$ (Nyquist). Aliasing happens if violated.
- **Convolution:** Output $y(t) = x(t) * h(t)$.
- **Thesis Link:** Your accelerometer data is sampled at discrete intervals (e.g., 50Hz).

19.1 Concepts / 核心概念

LTI Systems, Impulse Response, Frequency Response, Pole-Zero Plot, DFT/FFT

LTI Systems / 线性时不变系统

Linear Time-Invariant systems are characterized completely by their **Impulse Response** $h(t)$.

- **Linear:** $S(ax_1 + bx_2) = aS(x_1) + bS(x_2)$.
- **Time-Invariant:** Shift in input causes same shift in output.

Fourier Series & Transform / 傅里叶变换

Decomposing a signal into sine waves.

- **Periodic:** Fourier Series (discrete spectrum).
- **Aperiodic:** Fourier Transform (continuous spectrum).

19.2 Formulas / 公式

$$X(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} x(t)e^{-j\omega t} dt \quad (\text{CTFT}) \quad (60)$$

$$y[n] = \sum_{k=-\infty}^{\infty} x[k]h[n-k] \quad (\text{Discrete Convolution}) \quad (61)$$

19.3 Exam Questions / 常考题型

- "What happens if you sample a 100Hz signal at 150Hz?" (A: Aliasing. You "see" a 50Hz ghost signal. $150 - 100 = 50$).
- "Explain the relationship between the s-plane and z-plane." (A: Left Half Plane in $s \leftrightarrow$ Unit Circle Interior in z).

20 Electrical Machines (SP1)

Exam Cheat Sheet / 极速复习

- **Transformer:** Static theoretical basis ($U_1/U_2 = N_1/N_2$). Hysteresis & Eddy Current losses.
- **Induction Machine:** Asynchronous. Key param: **Slip (s)**.
- **Synchronous Machine:** Constant speed $n_s = 60f/p$. Used in power plants.

20.1 Concepts / 核心概念

Magnetic Circuits, Transformer Equivalent Circuit, Induction Motor Torque, Slip, Commutator (DC)

Induction Motor / 感应电机

The most common industrial motor.

- **Slip (s):** Difference between Stator field speed (n_s) and Rotor mechanical speed (n).
- **Start-up:** High current ($5 - 7 \times I_n$). Needs Star-Delta starter or Soft Starter.

Transformer Equivalent Circuit / 变压器等效电路

Include:

- Series: $R_1, X_{\sigma 1}$ (Primary winding loss/leakage).
- Shunt: R_{Fe} (Core loss), X_{μ} (Magnetizing reactance).
- Ideal Transformer: Ratios $N_1 : N_2$.

20.2 Formulas / 公式

$$n_s = \frac{60f}{p} \quad (\text{Sync Speed, } p = \text{pole pairs}) \quad (62)$$

$$s = \frac{n_s - n}{n_s} \times 100\% \quad (63)$$

20.3 Exam Questions / 常考题型

- "Why does a transformer heat up?" (A: Joule losses I^2R in windings + Iron losses in core).
- "Sketch the Torque-Slip ($M - s$) characteristic of an induction motor." (Identify Starting Torque, Breakdown Torque, Nominal Point).

21 Materials (MVE)

Exam Cheat Sheet / 极速复习

- **Classes:** Conductors (Metals), Semiconductors (Si, Ge), Insulators (Dielectrics).
- **Band Theory:** Energy gap (E_g). Metals: overlap. Semi: small gap. Insulators: large gap.
- **Thesis Link:** PCB substrate (FR4) is a dielectric. Copper traces are conductors.

21.1 Concepts / 核心概念

Resistivity, Permittivity, Permeability, Polarization, Breakdown Voltage

Dielectrics / 电介质

Used in capacitors and insulation.

- **Polarization:** Electric field aligns dipoles.
- **Losses ($\tan \delta$):** Energy lost as heat in AC fields. Important for high-frequency PCBs!
- **Breakdown:** Max field strength before arcing (e.g., air ≈ 3 MV/m).

Magnetic Materials / 磁性材料

- **Ferromagnetic:** Iron, Cobalt. High μ_r . Used in Transformer cores.
- **Hysteresis Loop:** Area inside loop = Energy loss per cycle. Soft magnetic materials have narrow loops (good for transformers).

21.2 Formulas / 公式

$$R = \rho \frac{l}{S} \quad (\text{Resistance}) \quad (64)$$

$$\sigma = ne\mu \quad (\text{Drift Conductivity}) \quad (65)$$

21.3 Exam Questions / 常考题型

- "Why do we laminate transformer cores?" (A: To reduce Eddy Currents by increasing resistance in the loop path).
- "What distinguishes a semiconductor from an insulator?" (A: Band gap energy. Si ≈ 1.1 eV).

22 Power Systems (EN1/EN2)

Exam Cheat Sheet / 极速复习

- **Grid Setup:** Generation (10-20kV) → Transmission (400kV/220kV/110kV) → Consumer (230V/400V).
- **3-Phase:** $\sqrt{3}$ factor is critical. Star (Y) vs Delta (Δ).
- **Control:** P controls Frequency (f), Q controls Voltage (U).
- **Thesis Link:** Batteries in IoT. Energy density (Li-Ion vs Li-Po).

22.1 Concepts / 核心概念

Active/Reactive Power, Power Factor, Transmission Line Models, Short Circuit, Substations

Three-Phase Power / 三相电

- **Phase Voltage (U_{ph})**: Line-to-Neutral (230V in EU).
- **Line Voltage (U_{line})**: Phase-to-Phase (400V in EU).

Relationship: $U_{line} = \sqrt{3}U_{ph}$.

Transmission Lines / 输电线路模型

- **Short Line:** Series impedance $Z = R + jX$.
- **Medium/Long Line (Pi-Model):** Includes shunt capacitance C (charging current). The "Ferranti Effect" causes voltage rise at open-load end.

22.2 Formulas / 公式

$$S = P + jQ = \sqrt{3} \cdot U_{line} \cdot I_{line} \cdot (\cos \phi + j \sin \phi) \quad (66)$$

$$\Delta U \approx \frac{PR + QX}{U_n} \quad (\text{Voltage Drop Approximation}) \quad (67)$$

22.3 Exam Questions / 常考题型

- "Why do we use High Voltage for transmission?" (A: Reduce current I , since Loss $P_{loss} = I^2R$. Higher $U \rightarrow$ Lower I).
- "Draw the phasor diagram of a synchronous generator connected to the grid."

23 AI & Classification (KUI/RPZ)

Exam Cheat Sheet / 极速复习

- **Search:** BFS (Queue, Optimal for unweighted), DFS (Stack). A* (Heuristic $f = g + h$).
- **Classification:** Supervised Learning. Bayes Classifier minimize risk.
- **Thesis Link:** Your "Threshold-based Fall Detection" is a *Rule-based Classifier*. A Neural Network would learn these thresholds automatically.

23.1 Concepts / 核心概念

State Space, Heuristic, Neural Networks, Overfitting, Training/Test Set

Search Algorithms / 搜索算法

- **Uninformed:** BFS (Complete), DFS (Not complete, memory efficient).
- **Informed:** A* uses heuristic $h(n)$ (estimated cost to goal). Proof of optimality requires $h(n)$ to be *admissible* (never overestimate).

Pattern Recognition / 模式识别

- **Feature Space:** The dimensions of your data (e.g., in thesis: Accel-X, Accel-Y, Gyro-Z).
- **Linear Classifier:** Separates classes with a hyperplane (Perceptron).
- **Bias-Variance Tradeoff:** Simple models underfit (High Bias), complex models overfit (High Variance).

23.2 Formulas / 公式

$$P(C|X) = \frac{P(X|C)P(C)}{P(X)} \quad (\text{Bayes Rule}) \quad (68)$$

23.3 Exam Questions / 常考题型

- "What is the difference between A* and Dijkstra?" (A: A* uses heuristics to guide search towards the goal, Dijkstra is just A* with $h = 0$).
- "Explain Overfitting." (A: Model memorizes noise instead of learning patterns. Fails on new data).

24 计算机体系结构 / Computer Architecture

冯诺依曼架构 (Von Neumann Architecture)

概念 (CN): 现代计算机的基础模型

Term (EN): Stored-Program Computer, CPU, Memory, I/O

五大部件:

1. **运算器 (ALU)**: 执行算术和逻辑运算
2. **控制器 (CU)**: 指令解码和执行控制
3. **存储器 (Memory)**: 存储程序和数据
4. **输入设备 (Input)**: 键盘、传感器
5. **输出设备 (Output)**: 显示器、执行器

Key Insight: Programs and data share the same memory = "stored program" concept.

核心公式 / Key Formula

指令周期:

$$\text{Instruction Cycle} = \text{Fetch} + \text{Decode} + \text{Execute} + \text{Memory} + \text{Write-back} \quad (69)$$

CPU 性能公式:

$$\text{CPU Time} = \text{IC} \times \text{CPI} \times \text{Clock Period} \quad (70)$$

其中:

- IC = Instruction Count (指令数)
- CPI = Cycles Per Instruction (每条指令周期数)
- Clock Period = $1/f_{clk}$

流水线 (Pipeline)

概念 (CN): 将指令执行分解为多个阶段，并行处理多条指令

Term (EN): Pipeline, Pipeline Hazards, Stall, Forwarding

经典 5 级流水线:

1. IF (Instruction Fetch): 取指令
2. ID (Instruction Decode): 译码 + 读寄存器
3. EX (Execute): ALU 执行
4. MEM (Memory Access): 访存
5. WB (Write Back): 结果写回寄存器

Key Insight: Pipelining increases throughput, not latency. Each instruction still takes 5 cycles, but one completes every cycle.

核心公式 / Key Formula

理想吞吐量:

$$\text{Throughput} = \frac{1}{\text{Clock Period}} \quad (1 \text{ instruction/cycle}) \quad (71)$$

加速比:

$$\text{Speedup} = \frac{n \times k}{n + k - 1} \approx k \quad (\text{当 } n \gg k) \quad (72)$$

其中 n = 指令数, k = 流水线级数

!

流水线冲突 / Pipeline Hazards]

1. **结构冲突 (Structural):** 硬件资源冲突 (如同时访问内存)
 - 解决: 增加硬件资源 (分离 I-Cache 和 D-Cache)
2. **数据冲突 (Data):** RAW (Read After Write) 依赖
 - 解决: Forwarding (数据旁路)、Stall (插入气泡)
3. **控制冲突 (Control):** 分支指令导致的冲突
 - 解决: 分支预测 (Branch Prediction)、延迟槽

高速缓存 (Cache Memory)

概念 (CN): 位于 CPU 和主存之间的小容量高速存储器

Term (EN): Cache, Hit Rate, Miss Rate, Locality

局部性原理:

- **时间局部性:** 刚访问的数据可能很快再次访问
- **空间局部性:** 访问某地址后, 邻近地址也可能被访问

Cache 层次:

- L1 Cache: 最快, 最小 (32-64KB), CPU 内部
- L2 Cache: 中等 (256KB-1MB)
- L3 Cache: 最大, 多核共享 (2-32MB)

Key Insight: Cache exploits locality to bridge the CPU-Memory speed gap.

核心公式 / Key Formula

平均访存时间 (AMAT):

$$AMAT = \text{Hit Time} + \text{Miss Rate} \times \text{Miss Penalty} \quad (73)$$

命中率:

$$\text{Hit Rate} = \frac{\text{Hits}}{\text{Hits} + \text{Misses}} \quad (74)$$

Cache 映射方式:

- **直接映射:** 每个主存块只能映射到一个 Cache 行
- **全相联:** 每个主存块可以映射到任意 Cache 行
- **组相联:** 折中方案 (n-way set associative)

分支预测 (Branch Prediction)

概念 (CN): 在分支指令结果确定前预测其方向

Term (EN): Static Prediction, Dynamic Prediction, BTB

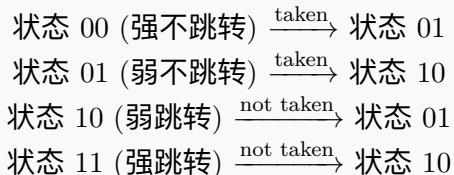
预测策略:

- **静态预测:** 总是预测跳转/不跳转
- **1-bit 预测器:** 上次跳转则预测跳转
- **2-bit 预测器:** 四状态机 (强跳转、弱跳转、弱不跳转、强不跳转)

Key Insight: Modern CPUs achieve >95% branch prediction accuracy.

核心公式 / Key Formula

2-bit 饱和计数器状态转换:



分支惩罚:

$$\text{Penalty} = \text{Pipeline Depth} \times (1 - \text{Prediction Accuracy}) \quad (75)$$

RISC vs CISC

概念 (CN): 两种指令集设计哲学

Term (EN): Reduced Instruction Set Computer, Complex Instruction Set Computer

特性	RISC	CISC
指令数量	少 (100+)	多 (1000+)
指令长度	固定	可变
寻址模式	简单	复杂
寄存器数	多 (32+)	少
流水线	易实现	难
例子	ARM, RISC-V, MIPS	x86, x64

Key Insight: RISC simplifies hardware, enabling faster clocks and better pipelining.

Thesis Connection

ESP32-S3 体系结构:

你的论文使用 ESP32-S3, 基于 Xtensa LX7 架构 (类 RISC)。

架构特点:

- 双核: 两个 LX7 核心, 可并行处理
- Harvard: 分离的指令和数据总线
- Cache: 16KB I-Cache, 16KB D-Cache

Jan Koller 问题: "Is ESP32 RISC or CISC?"

答案: Xtensa 是一种可配置的 RISC 架构。它有固定长度指令 (24-bit)、大量寄存器 (64 个)、简单寻址模式。

!

考试陷阱 / Exam Pitfalls]

1. 流水线加速比: 不是无限的! 受限于冲突和依赖。
2. Cache 映射: 直接映射冲突最多, 全相联冲突最少但硬件复杂。
3. 分支预测: 2-bit 比 1-bit 更稳定 (需要连续两次错误才改变预测)。

25 控制系统 / Control Systems

开环与闭环控制 (Open-Loop vs Closed-Loop)

概念 (CN): 控制系统的两种基本结构

Term (EN): Open-Loop Control, Closed-Loop (Feedback) Control

开环控制 (Open-Loop):

- 无反馈，输出不影响输入
- 简单但无法自动纠错
- 例：定时器控制的洗衣机

闭环控制 (Closed-Loop):

- 有反馈，输出通过传感器反馈到输入
- 可以自动调节误差
- 例：恒温器、巡航控制

Key Insight: Feedback is the key difference. Closed-loop systems are self-correcting but can become unstable.

核心公式 / Key Formula

开环传递函数:

$$Y(s) = G(s) \cdot R(s) \quad (76)$$

闭环传递函数:

$$\frac{Y(s)}{R(s)} = \frac{G(s)}{1 + G(s)H(s)} \quad (77)$$

其中：

- $G(s)$ = 前向通道传递函数
- $H(s)$ = 反馈通道传递函数
- $R(s)$ = 参考输入
- $Y(s)$ = 输出

PID 控制器 (PID Controller)

概念 (CN): 比例-积分-微分控制器，工业控制中最常用的控制器

Term (EN): Proportional-Integral-Derivative Controller

三个组成部分:

- P (比例): 对当前误差的响应。 K_p 越大，响应越快，但可能振荡。
- I (积分): 对累积误差的响应。消除稳态误差，但增加超调。
- D (微分): 对误差变化率的响应。预测误差趋势，减少超调。

Key Insight: P = ”现在的误差”，I = ”过去的误差”，D = ”未来的误差”。

核心公式 / Key Formula

时域表达式:

$$u(t) = K_p e(t) + K_i \int_0^t e(\tau) d\tau + K_d \frac{de(t)}{dt} \quad (78)$$

传递函数形式:

$$C(s) = K_p + \frac{K_i}{s} + K_d s = K_p \left(1 + \frac{1}{T_i s} + T_d s \right) \quad (79)$$

其中:

- $e(t) = r(t) - y(t)$ = 误差信号
- K_p = 比例增益
- K_i = 积分增益
- K_d = 微分增益
- $T_i = K_p/K_i$ = 积分时间
- $T_d = K_d/K_p$ = 微分时间

PID 调参口诀

Ziegler-Nichols 经验法则:

1. 设 $K_i = 0, K_d = 0$
2. 增大 K_p 直到系统临界振荡，记录临界增益 K_u 和振荡周期 T_u
3. 按下表设定参数:

控制器	K_p	K_i	K_d
P	$0.5K_u$	—	—
PI	$0.45K_u$	$1.2K_p/T_u$	—
PID	$0.6K_u$	$2K_p/T_u$	$K_p T_u / 8$

稳定性分析 (Stability Analysis)

概念 (CN): 判断系统是否稳定 (输出是否会发散)

Term (EN): BIBO Stability, Poles, Routh-Hurwitz Criterion

稳定性条件:

- **BIBO 稳定:** 有界输入产生有界输出
- **极点位置:** 所有闭环极点必须在左半平面 (LHP)
- 极点 $\text{Re}(p) < 0 \Rightarrow$ 稳定

Key Insight: A system is stable if all poles of the closed-loop transfer function have negative real parts.

核心公式 / Key Formula

特征方程:

$$1 + G(s)H(s) = 0 \quad (80)$$

Routh-Hurwitz 判据:

对于特征多项式 $a_n s^n + a_{n-1} s^{n-1} + \dots + a_1 s + a_0 = 0$:

- 所有系数 $a_i > 0$ (必要条件)
- Routh 表第一列所有元素同号 \Rightarrow 稳定

二阶系统:

$$G(s) = \frac{\omega_n^2}{s^2 + 2\zeta\omega_n s + \omega_n^2} \quad (81)$$

稳定条件: $\zeta > 0$ (阻尼比为正)

频率响应 (Frequency Response)

概念 (CN): 系统对不同频率正弦输入的响应特性

Term (EN): Bode Plot, Gain Margin, Phase Margin

Bode 图:

- **幅频特性:** $20 \log |G(j\omega)|$ vs $\log \omega$
- **相频特性:** $\angle G(j\omega)$ vs $\log \omega$

稳定裕度:

- **增益裕度 (GM):** 相位 $= -180^\circ$ 时的增益距离 0dB 多远
- **相位裕度 (PM):** 增益 $= 0\text{dB}$ 时的相位距离 -180° 多远

Key Insight: GM $> 0\text{dB}$ and PM $> 0^\circ$ means stable. Larger margins = more robust.

核心公式 / Key Formula

一阶系统:

$$G(s) = \frac{K}{1 + \tau s}, \quad |G(j\omega)| = \frac{K}{\sqrt{1 + (\omega\tau)^2}} \quad (82)$$

截止频率 (Corner Frequency):

$$\omega_c = \frac{1}{\tau} \quad (83)$$

渐近线:

- $\omega \ll \omega_c$: 0 dB/decade (平坦)
- $\omega \gg \omega_c$: -20 dB/decade (下降)

Thesis Connection

智能家居与控制:

你的论文中的 Home Assistant 实现了简单的反馈控制。

闭环控制示例:

- **传感器**: SGP40 (VOC 传感器) 检测空气质量
- **控制器**: Home Assistant 判断 $VOC >$ 阈值
- **执行器**: 打开换气扇
- **反馈**: 继续监测 VOC 直到下降

Jan Koller 问题: "Is your smart home system open-loop or closed-loop?"

答案: 闭环。传感器持续反馈数据, 系统根据实时状态调整输出 (如自动开灯、调温)。

!

考试陷阱 / Exam Pitfalls]

1. **混淆开环与闭环传递函数**: 闭环 = $\frac{G}{1+GH}$, 开环 = GH 。
2. **积分器的稳态误差**: 积分项消除稳态误差, 但增加超调。
3. **极点位置**: 右半平面极点 = 不稳定!