

# SZZ 国考生存手册

State Final Examination Survival Kit

Czech Technical University in Prague (FEE)

Yuan Weize

January 2026

## Contents

I 答辩策略 / Defense Strategy	3
1 答辩策略分析 / Defense Strategy Analysis	3
2 国考委员会常问基础题 / SZZ Committee FAQ	3
2.1 数学 / Mathematics	3
2.2 微控制器 / Microcontrollers	4
2.3 物理与电路 / Physics & Circuits	4
3 对手画像 / Opponent Profile: Jan Koller	5
4 必答题: Acc + Gyro	5
II 数学基础 / Mathematics Foundation	5
5 线性代数 / Linear Algebra (BE5B01LAG)	5
6 数值分析 / Numerical Analysis (BE5B01NM)	6
7 微分方程 / Differential Equations (BE5B01DIF)	8
8 离散数学 / Discrete Math (BE5B01DMA)	9
9 图论 / Graph Theory (BE5B01DMA)	10
10 概率统计 / Probability & Statistics (BE5B01PST)	11
III 物理基础 / Physics Foundation	12
11 力学 / Mechanics (BE5B02PH1)	12
12 振动与波 / Oscillations & Waves (BE5B02PH1)	14
13 电场与磁场 / Electric & Magnetic Fields (BE5B02PH2)	16

14 热力学 / Thermodynamics (BE5B02PH2)	18
15 波动与光学 / Waves & Optics (BE5B02PH2)	20
IV 电子与计算机核心 / EECS Core	20
16 电路理论 / Circuit Theory (BE5B31ZEO)	21
17 半导体物理 / Semiconductors (BE5B34ELP)	24
18 模拟与数字电路 / Analog & Digital Electronics (BE5B34MIE)	25
19 微处理器 / Microprocessors (BE5B34MIE)	27
20 算法与复杂性 / Algorithms & Complexity (BE5B33ALG)	29
V 专业方向 / Specialization	30
21 电磁场理论 / Electromagnetic Theory (BE5B17MT1)	31
22 逻辑系统 / Logic Systems (BE5B01LGS)	32
23 信号与系统 / Signals & Systems (BE5B31SAS)	33
24 电机学 / Electrical Machines (BE5B14ESP)	33
25 材料科学 / Materials (BE5B13MAT)	34
26 电力系统 / Power Systems (BE5B14ESP)	35
27 人工智能 / Artificial Intelligence (BE5B33UI)	36
28 计算机体系结构 / Computer Architecture (BE5B35APO)	37
29 控制系统 / Control Systems (BE5B35ARI)	38

## Part I

# 答辩策略 / Defense Strategy

## 1 答辩策略分析 / Defense Strategy Analysis

### 黄金法则 / Golden Rule

老师并不想挂你。(Teachers don't want to fail you.) 他们问基础题是为了确认你具备基本的工程师素养。如果你遇到难题卡住了，立刻把话题引导到你熟悉的这些“保命题”上。

## 2 国考委员会常问基础题 / SZZ Committee FAQ

*Note: These are "Safe Questions" (保命题). Memorize these simple definitions.*

### 2.1 数学 / Mathematics

#### 导数与积分 / Derivative & Integral

[CN]: 老师可能会问：“什么是导数？”回答：

- **导数 (Derivative)**: 是变化率 (Rate of Change)。例如：速度是位置的导数 ( $v = dx/dt$ )。
- **积分 (Integral)**: 是累积量 (Accumulation) 或曲线下的面积。例如：距离是速度的积分。

[EN]:

- **Derivative**: Represents the **Rate of Change**. (e.g., Velocity is the derivative of Position).
- **Integral**: Represents **Accumulation** or Area under the curve. (e.g., Distance is the integral of Velocity).

#### 线性代数 / Linear Algebra

[CN]: “矩阵是什么？”回答：矩阵是一个**线性变换** (Linear Transformation)。它可以表示旋转、缩放或平移。特征值 (Eigenvalue) 表示变换中方向不变的向量的缩放比例。

[EN]: A Matrix represents a **Linear Transformation** (Rotation, Scaling, Translation). Eigenvalues represent the scaling factor of vectors that do not change direction.

## 2.2 微控制器 / Microcontrollers

### 哈佛 vs 冯诺依曼 / Harvard vs Von Neumann

[CN]: 这是 MIK 必问的基础题。回答:

- **冯诺依曼 (Von Neumann)**: 指令和数据共享同一个存储器和总线。瓶颈在于无法同时读写。(如 PC x86)。
- **哈佛 (Harvard)**: 指令和数据拥有物理分离的存储器和总线。速度更快。ESP32 使用哈佛架构。

[EN]:

- **Von Neumann**: Instructions and Data share the **SAME** memory and bus. (Bottleneck: Cannot fetch and write simultaneously).
- **Harvard**: Instructions and Data have **SEPARATE** memories and buses. (Faster). **ESP32 uses Harvard architecture.**

### 中断 / Interrupt vs Polling

[CN]:

- **轮询 (Polling)**: CPU 既然不断检查外设状态 (浪费资源)。
- **中断 (Interrupt)**: 外设主动通知 CPU。CPU 暂停当前任务，处理中断服务程序 (ISR)，然后返回。

[EN]:

- **Polling**: CPU constantly checks peripheral status (Wastes cycles).
- **Interrupt**: Peripheral signals the CPU. CPU pauses, executes ISR (Interrupt Service Routine), and resumes.

## 2.3 物理与电路 / Physics & Circuits

### 基本定律 / Laws of Physics

[CN]:

- **牛顿第二定律**:  $F = ma$ 。力等于质量乘以加速度。这是加速度计的基础。
- **欧姆定律**:  $V = IR$ 。电压等于电流乘以电阻。
- **基尔霍夫定律 (KCL/KVL)**: 电荷守恒 ( $\sum I = 0$ ) 和能量守恒 ( $\sum V = 0$ )。

[EN]:

- **Newton's 2nd Law**:  $F = ma$ . Force equals Mass times Acceleration. (Basis of Accelerometers).
- **Ohm's Law**:  $V = IR$ .
- **Kirchhoff's Laws**: Conservation of Charge (KCL) and Energy (KVL).

### 3 对手画像 / Opponent Profile: Jan Koller

核心特征: 务实但挑剔

Jan Koller 是一个「务实但挑剔的学究」(Pragmatic Pedant)。

- 痛恨形式错误: “非典型流程图”(Atypical flowcharts)是他的触发点。
- 关注单位: 必须有物理单位(Does 2.4 mean Volts or Amps?)。
- 你的评分: 他给了你 **B (Very Good)**。只要回答好问题, 稳 B 冲 A。

### 4 必答题: Acc + Gyro

Koller 的真题 (100% 会问)

**Q:** "Can you explain why a combination of acceleration and angular velocity is used in fall detection?"

**A (Concept):** [CN]: 单靠加速度计会有误报(如跳跃)。陀螺仪测量姿态变化。真正的跌倒 = 剧烈姿态变化(Gyro) + 剧烈撞击(Acc) + 静止。

[EN]: **Sensor Fusion.** Acceleration alone creates false positives (e.g., Jumping). Gyroscope measures orientation change. A Fall = Rotation (Gyro) + Impact (Acc) + Inactivity.

## Part II

### 数学基础 / Mathematics Foundation

#### 5 线性代数 / Linear Algebra (BE5B01LAG)

矩阵与方程组 / Matrices & Linear Systems

[CN] 定义:

- **线性方程组:** 可以用矩阵方程  $Ax = b$  表示。
- **秩 (Rank):** 矩阵中线性无关的行/列的最大数目。决定方程组解的情况。
- **高斯消元法:** 将矩阵转化为行阶梯形矩阵以求解的方法。

[EN] Definition:

- **Linear System:** Represented as  $Ax = b$ .
- **Rank:** Max number of linearly independent rows/cols. Determines solution existence (Frobenius Theorem).
- **Gaussian Elimination:** Method to convert matrix to Row Echelon Form (REF).

## 特征值与特征向量 / Eigenvalues & Eigenvectors

[CN] 定义: 对于方阵  $A$ , 如果存在非零向量  $\mathbf{v}$  和标量  $\lambda$ , 使得  $A\mathbf{v} = \lambda\mathbf{v}$ , 则  $\lambda$  是特征值,  $\mathbf{v}$  是特征向量。几何意义: 矩阵变换后方向不变, 只改变长度。

[EN] Definition: For square matrix  $A$ , if  $A\mathbf{v} = \lambda\mathbf{v}$  ( $\mathbf{v} \neq 0$ ), then  $\lambda$  is the Eigenvalue and  $\mathbf{v}$  is the Eigenvector. Geometric: The vector direction remains invariant under transformation  $A$ .

## 核心公式 / Key Formula

### 特征方程 / Characteristic Equation:

$$\det(A - \lambda I) = 0 \quad (1)$$

行列式 (Determinant):  $\det(A) = \prod \lambda_i$  (特征值之积). 迹 (Trace):  $\text{tr}(A) = \sum \lambda_i$  (特征值之和).

## 论文关联 / Project Application

[CN]:

- **传感器融合:** 卡尔曼滤波 (Kalman Filter) 严重依赖矩阵运算 (协方差矩阵  $P$  的更新和求逆)。虽然你使用的是互补滤波, 但理解矩阵是理解 KF 的基础。
- **旋转矩阵:** 描述 IMU 姿态 (Roll/Pitch/Yaw) 时使用  $3 \times 3$  旋转矩阵或四元数。
- **PCA:** 主成分分析用于数据降维, 本质上是求协方差矩阵的特征值。

[EN]:

- **Sensor Fusion:** Kalman Filtering relies on Matrix Algebra (Covariance Matrix  $P$  inversion).
- **Rotation:**  $3 \times 3$  Rotation Matrices describe IMU orientation in 3D space.
- **PCA:** Principal Component Analysis (Data reduction) is essentially finding Eigenvalues of the covariance matrix.

## 6 数值分析 / Numerical Analysis (BE5B01NM)

## 求根与优化 / Root Finding & Optimization

[CN] 定义:

- **二分法 (Bisection):** 简单稳健, 收敛慢。基于介值定理。
- **牛顿法 (Newton's Method):** 利用导数迭代  $x_{n+1} = x_n - f(x_n)/f'(x_n)$ 。收敛快 (二次收敛), 但可能发散。

[EN] Definition:

- **Bisection:** Robust but slow. Interval halving.
- **Newton's Method:** Iterative method using derivatives. Fast convergence (Quadratic), but requires good initial guess.

## 数值积分 / Numerical Integration

[CN] 定义: 用求和近似积分  $\int f(x)dx$ 。

- 梯形法则 (Trapezoidal Rule): 用直线段连接点。
- 辛普森法则 (Simpson's Rule): 用抛物线拟合点。精度更高。

[EN] Definition: Approximating definite integrals.

- Trapezoidal: Approximates area with trapezoids.
- Simpson's: Approximates with parabolas (Higher accuracy).

## 核心公式 / Key Formula

有限差分 / Finite Difference (用于求导):

$$f'(x) \approx \frac{f(x+h) - f(x)}{h} \quad (\text{前向差分}) \quad (2)$$

## 论文关联 / Project Application

[CN]: 你的 ESP32 固件在处理传感器数据时使用数值方法:

- 积分 (Integration): 加速度计  $\rightarrow$  速度  $\rightarrow$  位移。这是黎曼和 (Riemann Sum) 的离散实现 ( $v+ = a \cdot dt$ )。
- 微分 (Differentiation): 陀螺仪角度变化率计算。
- 浮点数精度: IEEE 754 标准 (float/double) 的舍入误差会随时间累积 (Drift)，导致惯性导航漂移。

[EN]:

- Integration: Accel  $\rightarrow$  Vel  $\rightarrow$  Pos. Implemented as discrete accumulation ( $v+ = a \cdot dt$ ).
- Floating Point Error: Accumulation of rounding errors causes "Drift" in IMU navigation, requiring corrections (Sensor Fusion).

## 7 微分方程 / Differential Equations (BE5B01DIF)

### 一阶微分方程 / First Order ODE

[CN] 定义: 涉及函数  $y$  及其一阶导数  $y'$  的方程。

- 分离变量法: 将  $x$  和  $y$  分别移到等号两边求解。
- 线性方程:  $y' + p(x)y = q(x)$ 。

[EN] Definition: Equation involving independent variable  $x$ , function  $y$ , and derivative  $y'$ .

- Separable: Can be rewritten as  $f(y)dy = g(x)dx$ .
- Linear: Standard form  $y' + p(x)y = q(x)$ . Integrating factor method.

### 核心公式 / Key Formula

#### 二阶线性常系数 ODE:

$$ay'' + by' + cy = 0 \quad (3)$$

特征方程:  $ar^2 + br + c = 0$ . 解的形式取决于判别式  $\Delta = b^2 - 4ac$ :

- $\Delta > 0$ :  $y = C_1 e^{r_1 x} + C_2 e^{r_2 x}$  (Overdamped)
- $\Delta = 0$ :  $y = C_1 e^{rx} + C_2 x e^{rx}$  (Critically Damped)
- $\Delta < 0$ :  $y = e^{\alpha x} (C_1 \cos \beta x + C_2 \sin \beta x)$  (Underdamped)

### 论文关联 / Project Application

[CN]: 物理系统通常由微分方程建模:

- **RC 电路**: 电容充电过程遵循一阶 ODE ( $RC \frac{dV}{dt} + V = V_{in}$ )。解是指数衰减函数。
- **机械振动**: 加速度 ( $a = x''$ ) 与力 ( $F = -kx - bv$ ) 的关系构成二阶 ODE ( $mx'' + bx' + kx = 0$ )。这解释了过阻尼和欠阻尼现象。

[EN]:

- **RC Circuit**: Modeled by 1st order ODE. Solution involves time constant  $\tau = RC$ .
- **Vibration**: Mass-Spring-Damper system is a 2nd order ODE ( $mx'' + bx' + kx = 0$ ). Explains Overdamped vs Underdamped responses in sensors.

## 8 离散数学 / Discrete Math (BE5B01DMA)

### 集合与逻辑 / Sets & Logic

[CN] 定义:

- **集合 (Set)**: 唯一对象的汇集。 $\cup$  (并),  $\cap$  (交),  $\setminus$  (不包含).
- **命题逻辑**: AND ( $\wedge$ ), OR ( $\vee$ ), NOT ( $\neg$ ), IMPLIES ( $\Rightarrow$ ).
- **关系 (Relation)**: 等价关系 (自反、对称、传递) 和偏序关系。

[EN] Definition:

- **Set**: Collection of unique objects. Union, Intersection, Difference.
- **Logic**: Boolean algebra ( $\wedge, \vee, \neg$ ).
- **Relation**: Equivalence (Reflexive, Symmetric, Transitive) and Partial Order.

### 核心公式 / Key Formula

#### 排列组合 / Combinatorics:

- **排列 (Permutation)**: 有序.  $P(n, k) = \frac{n!}{(n-k)!}$ .
- **组合 (Combination)**: 无序.  $C(n, k) = \binom{n}{k} = \frac{n!}{k!(n-k)!}$ .

### 论文关联 / Project Application

[CN]:

- **布尔逻辑**: 代码中的 `if (Condition A && Condition B)` 是命题逻辑的直接应用。
- **状态机**: 有限状态机 (FSM) 用于管理 ESP32 的连接状态 (Disconnected  $\rightarrow$  Connecting  $\rightarrow$  Connected)。这是离散数学中的图论应用。
- **位运算**: 掩码 (Masking) 操作对应集合的交集运算。

[EN]:

- **Boolean Logic**: ‘if’ statements relate directly to Propositional Logic.
- **FSM**: Finite State Machines manage connection states, rooted in Graph Theory.
- **Bitwise Ops**: Masking corresponds to Set Intersection.

## 9 图论 / Graph Theory (BE5B01DMA)

### 图的概念 / Graph Concepts

[CN] 定义: 图  $G = (V, E)$  由顶点集合  $V$  和边集合  $E$  组成。

- 度 (Degree): 连接到一个顶点的边的数量。
- 路径 (Path): 顶点序列。
- 连通图 (Connected): 任意两点间都存在路径。

[EN] Definition: Graph  $G = (V, E)$  consists of Vertices  $V$  and Edges  $E$ .

- Degree: Number of edges incident to a vertex.
- Path: Sequence of adjacent vertices.
- Connected: Path exists between any pair of vertices.

### 核心公式 / Key Formula

树 (Tree): 无环连通图 (Connected Acyclic Graph)。性质:

- 任意两点间只有唯一路径。
- $|E| = |V| - 1$  (边数 = 顶点数 - 1)。

欧拉路径 (Euler Path): 经过每条边恰好一次。条件: 奇度数顶点为 0 或 2 个。

### 论文关联 / Project Application

[CN]:

- 网络拓扑: 你的智能家居采用星型拓扑 (Star Topology)。WiFi 路由器是中心节点 (Hub), 所有 ESP32 设备是叶子节点 (Leaves)。
- MQTT 主题: MQTT 的 Topic 层级结构 (e.g., 'home/livingroom/temp') 实际上构成了一棵树 (Topic Tree)。
- 状态机: 状态转移图 (State Transition Graph) 是有向图 (Directed Graph)。

[EN]:

- Network Topology: Star Topology. Router is the Hub; ESP32s are Leaves.
- MQTT Topics: Form a Topic Tree hierarchy.
- FSM: Represented as a Directed Graph where nodes are states and edges are transitions.

## 10 概率统计 / Probability & Statistics (BE5B01PST)

### 随机变量 / Random Variables

[CN] 定义:

- 随机变量 (RV): 随机实验结果的数值表示。
- 概率密度函数 (PDF): 描述连续 RV 在某点附近取值的概率密度。
- 累积分布函数 (CDF):  $F(x) = P(X \leq x)$ 。

[EN] Definition:

- Random Variable (RV): Numerical outcome of a random phenomenon.
- PDF: Integration gives probability.
- CDF: Cumulative Distribution Function.

### 核心公式 / Key Formula

期望与方差:

- 期望 (Expectation):  $E[X] = \mu$  (平均值)
- 方差 (Variance):  $\text{Var}(X) = E[(X - \mu)^2] = E[X^2] - (E[X])^2$

正态分布 (Normal Distribution):

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}} \quad (4)$$

### 假设检验 / Hypothesis Testing

[CN] 定义:

- 零假设 ( $H_0$ ): 默认假设 (如“无关联”)。
- P 值 (p-value): 在  $H_0$  为真时, 观察到当前结果的概率。若  $p < \alpha$ , 拒绝  $H_0$ 。
- 第一类错误 (Type I): 假阳性 (False Positive)。
- 第二类错误 (Type II): 假阴性 (False Negative)。

[EN] Definition:

- Null Hypothesis ( $H_0$ ): Default assumption.
- p-value: Prob. of observing results given  $H_0$  is true. Reject if  $p < 0.05$ .
- Type I Error: False Positive (Reject true  $H_0$ ).
- Type II Error: False Negative (Accept false  $H_0$ ).

## 论文关联 / Project Application

[CN]:

- **传感器噪声:** 假设 MEMS 加速度计的噪声服从高斯分布 (Gaussian White Noise)。这是卡尔曼滤波和移动平均滤波的基本假设。
- **跌倒检测性能:** 评估算法时，你需要计算灵敏度 (Sensitivity) 和特异度 (Specificity)。这直接对应于统计学中的 True Positives 和 True Negatives。

[EN]:

- **Sensor Noise:** Assumed to be Gaussian (Normal) White Noise. Filter design relies on signal-to-noise ratio (SNR).
- **Performance:** Sensitivity (Recall) and Specificity metrics quantify the fall detection algorithm's accuracy (checking for Type I/II errors).

## Part III

# 物理基础 / Physics Foundation

## 11 力学 / Mechanics (BE5B02PH1)

### 运动学 / Kinematics

[CN] 定义: 运动学描述物体的运动而不考虑其成因 (力)。

- **基本量:** 位移 (Displacement)  $\vec{r}$ , 速度 (Velocity)  $\vec{v} = d\vec{r}/dt$ , 加速度 (Acceleration)  $\vec{a} = d\vec{v}/dt$ .
- **圆周运动:** 线速度  $v = \omega r$ , 向心加速度  $a_c = v^2/r$ .

[EN] Definition: Kinematics describes motion without considering the forces that cause it.

- **Basic Quantities:** Displacement  $\vec{r}$ , Velocity  $\vec{v} = \dot{\vec{r}}$ , Acceleration  $\vec{a} = \dot{\vec{v}}$ .
- **Circular Motion:** Linear vel  $v = \omega r$ , Centripetal acc  $a_c = v^2/r$ .

### 核心公式 / Key Formula

#### 匀加速直线运动 / Uniformly Accelerated Motion:

$$v = v_0 + at \quad (5)$$

$$x = x_0 + v_0 t + \frac{1}{2} a t^2 \quad (6)$$

$$v^2 = v_0^2 + 2a(x - x_0) \quad (7)$$

应用: 计算自由落体距离 (Free fall distance).

## 牛顿定律 / Newton's Laws

[CN] 定义: 动力学的基础。

1. 第一定律 (惯性): 物体保持静止或匀速直线运动, 除非有力作用。
2. 第二定律: 力等于质量乘以加速度 ( $\vec{F} = m\vec{a}$ )。这是整个力学的核心方程。
3. 第三定律: 作用力与反作用力大小相等、方向相反。

[EN] Definition: The foundation of dynamics.

1. 1st (Inertia): An object remains at rest or uniform motion unless acted upon by a force.
2. 2nd: Force equals mass times acceleration ( $\vec{F} = m\vec{a}$ ). The core equation.
3. 3rd: Action and reaction are equal in magnitude and opposite in direction.

## 功与能 / Work and Energy

[CN] 定义:

- 功 (Work): 力在位移方向上的累积 ( $W = \int \vec{F} \cdot d\vec{r}$ ).
- 动能 (Kinetic Energy): 运动物体具有的能量 ( $E_k = \frac{1}{2}mv^2$ ).
- 势能 (Potential Energy): 位置决定的储能 (重力  $mgh$ , 弹簧  $\frac{1}{2}kx^2$ ).

守恒律: 在只有保守力做功时, 机械能守恒。

[EN] Definition:

- Work: Integration of force over distance ( $W = \vec{F} \cdot \vec{d}$ ).
- Kinetic Energy: Energy of motion ( $E_k = \frac{1}{2}mv^2$ ).
- Potential Energy: Stored energy by position (Gravity  $mgh$ , Spring  $\frac{1}{2}kx^2$ ).

Conservation: Total mechanical energy is constant if only conservative forces act.

## 刚体力学 / Rigid Body Mechanics

[CN] 定义: 描述具有形状大小物体的转动。

- 力矩 (Torque): 使物体转动的“力” ( $\tau = r \times F$ ).
- 转动惯量 (Moment of Inertia): 转动中的“质量” ( $I = \sum mr^2$ ).
- 转动定律:  $\tau = I\alpha$  (类比  $F = ma$ ).

[EN] Definition: Describing rotation of extended bodies.

- Torque ( $\tau$ ): The rotational equivalent of force ( $\tau = r \times F$ ).
- Moment of Inertia ( $I$ ): Rotational mass, resistance to angular acceleration.
- Newton's 2nd Law for Rotation:  $\tau = I\alpha$ .

## 论文关联 / Project Application

[CN]: 你的跌倒检测算法直接基于力学原理:

- **MPU6050 加速度计:** 测量  $\vec{F}/m$ 。静止时测量重力加速度  $g$ 。自由落体时读数为 0 (失重)。
- **冲击检测:** 跌倒撞击地面时, 系统经历巨大的负加速度 (减速), 导致读数飙升 ( $a \gg g$ )。
- **陀螺仪:** 测量角速度  $\omega$ , 辅助判断人体姿态变化。

[EN]: Your fall detection relies on mechanics:

- **Accelerometer:** Measures proper acceleration. Reads  $1g$  when static. Reads  $\approx 0g$  during free fall (weightlessness).
- **Impact:** Upon impact, the body decelerates rapidly, causing a spike in accelerometer reading ( $a \gg g$ ).
- **Gyroscope:** Measures angular velocity  $\omega$  to detect orientation changes.

## 考试陷阱 / Exam Pitfalls

- **Weight vs Mass:** 质量 ( $m$ ) 是不变的, 重量 ( $mg$ ) 随重力场变化。
- **Centripetal Force:** 向心力不是一种独立的力, 而是重力、张力等的合力。
- **Force Pairs:** 牛顿第三定律的作用力和反作用力作用在不同的物体上, 永远不会互相抵消!

## 12 振动与波 / Oscillations & Waves (BE5B02PH1)

### 简谐振动 / Simple Harmonic Motion (SHM)

[CN] 定义: 物体受到的回复力与位移成正比且方向相反的运动 ( $F = -kx$ )。

- 方程:  $x(t) = A \cos(\omega t + \phi)$ .
- 周期 (Period):  $T = 2\pi/\omega$ .
- 频率 (Frequency):  $f = 1/T$ .

[EN] Definition: Motion where the restoring force is directly proportional to the displacement and acts in the direction opposite to that of displacement ( $F = -kx$ ).

- Equation:  $x(t) = A \cos(\omega t + \phi)$ .
- Angular Frequency:  $\omega = \sqrt{k/m}$ .

## 核心公式 / Key Formula

单摆 / Simple Pendulum:

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{L}{g}}, \quad \omega = \sqrt{\frac{g}{L}} \quad (8)$$

(仅适用于小角度  $\theta \ll 1$  rad)

弹簧振子 / Spring Mass System:

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{m}{k}}, \quad \omega = \sqrt{\frac{k}{m}} \quad (9)$$

## 阻尼与驱动 / Damped & Driven Oscillations

[CN] 定义:

- 阻尼 (Damping): 由于摩擦力导致能量耗散，振幅随时间指数衰减 ( $A(t) = A_0 e^{-\beta t}$ )。
- 驱动 (Driven): 受到周期性外力作用。当驱动频率接近固有频率时发生共振 (Resonance)。

[EN] Definition:

- Damped: Amplitude decreases over time due to energy loss (friction/drag).
- Driven: External periodic force is applied. Resonance occurs when driving frequency matches natural frequency ( $\omega \approx \omega_0$ ), causing maximum amplitude.

## 机械波 / Mechanical Waves

[CN] 定义: 振动在介质中的传播。

- 横波 (Transverse): 质点振动垂直于传播方向 (如弦波、光波)。
- 纵波 (Longitudinal): 质点振动平行于传播方向 (如声波)。

[EN] Definition: Propagation of disturbances through a medium.

- Transverse: Particle oscillation is perpendicular to wave propagation (e.g., Light, String).
- Longitudinal: Particle oscillation is parallel to wave propagation (e.g., Sound).

## 核心公式 / Key Formula

波函数 / Wave Equation:

$$y(x, t) = A \cos(kx - \omega t) \quad (10)$$

$k = 2\pi/\lambda$  (波数 / Wave Number)

波速 / Wave Speed:

$$v = \lambda f = \frac{\omega}{k} \quad (11)$$

## 论文关联 / Project Application

[CN]:

- **MEMS 谐振器:** MPU6050 内部使用微小的振动质量块 (Vibrating Mass) 和电容检测。它们工作在谐振状态。Coriolis 力会改变振动模式。
- **信号滤波:** 我们的“移动平均滤波器”本质上是一个低通滤波器，用于去除高频振动 (噪音)，只保留低频运动分量。

[EN]:

- **MEMS Resonator:** Inside MPU6050, vibrating masses operate at resonance. Coriolis forces shift this vibration, detected capacitively.
- **Filtering:** The moving average filter acts as a Low-Pass Filter, attenuating high-frequency oscillations (noise) while passing low-frequency motion.

## 考试陷阱 / Exam Pitfalls

- **Period vs Frequency:**  $T = 1/f$ . Don't mix them up.
- **Resonance:** 共振只发生在驱动频率  $\omega_d = \omega_0$  时，此时能量传输最大，若无阻尼可能导致破坏。
- **Sound in Vacuum:** 声波是机械波，不能在真空中传播！ (Light can).

# 13 电场与磁场 / Electric & Magnetic Fields (BE5B02PH2)

## 静电场 / Electrostatics

[CN] 定义: 电荷周围存在的场，对其他电荷产生力。

- **库仑定律 (Coulomb's Law):** 点电荷间的力  $F = k \frac{q_1 q_2}{r^2}$ .
- **电场强度 (E-Field):** 单位电荷受到的力  $\vec{E} = \vec{F}/q$ .
- **电势 (Potential):** 单位电荷的电势能  $V = E_p/q$ .

[EN] Definition: Field around charges exerting force on other charges.

- **Coulomb's Law:** Force between point charges.
- **Electric Field ( $\vec{E}$ ):** Force per unit charge ( $\vec{E} = \vec{F}/q$ ). Vector.
- **Electric Potential ( $V$ ):** Potential energy per unit charge. Scalar.

## 核心公式 / Key Formula

高斯定律 / Gauss's Law:

$$\oint \vec{E} \cdot d\vec{A} = \frac{Q_{enc}}{\epsilon_0} \quad (12)$$

电通量等于包围的净电荷除以介电常数。

电容 / Capacitance:

$$C = \frac{Q}{V} = \epsilon_0 \frac{A}{d} \quad (\text{平行板}) \quad (13)$$

## 静磁场 / Magnetostatics

[CN] 定义: 由运动电荷 (电流) 产生的场。

- 洛伦兹力 (Lorentz Force): 运动电荷在磁场中受到的力  $\vec{F} = q(\vec{v} \times \vec{B})$ .
- 安培定律 (Ampere's Law): 电流产生磁场  $\oint \vec{B} \cdot d\vec{l} = \mu_0 I$ .

[EN] Definition: Field produced by moving charges (currents).

- Lorentz Force: Force on a moving charge ( $\vec{F} = q(\vec{v} \times \vec{B})$ ). Always perpendicular to velocity (does no work!).
- Ampere's Law: Current generates magnetic field.

## 电磁感应 / EM Induction

[CN] 定义: 磁通量变化产生感应电动势。

- 法拉第定律 (Faraday's Law): 感应电动势等于磁通量变化率的负值。
- 楞次定律 (Lenz's Law): 感应电流的方向总是阻碍磁通量的变化 (那个负号)。

[EN] Definition: Changing magnetic flux induces EMF.

- Faraday's Law:  $\mathcal{E} = -\frac{d\Phi_B}{dt}$ .
- Lenz's Law: The induced current flows in a direction that opposes the change in magnetic flux (Conservation of Energy).

## 论文关联 / Project Application

[CN]:

- **PCB 设计 (EMC)**: 快速变化的电流 (如 SPI/I2C 时钟) 会产生磁场辐射 (安培定律)。这是电磁干扰 (EMI) 的来源。
- **去耦电容**: 为高频电流提供回路，减小环路面积，从而减小辐射 (EMI reduction)。
- **无线通信**: ESP32 的 Wi-Fi 天线发射电磁波 (EM Waves)，即变化的电场产生磁场，变化的磁场产生电场。

[EN]:

- **PCB EMC**: High-speed currents (clock lines) generate Magnetic Fields (Ampere's Law), causing Electromagnetic Interference (EMI).
- **Decoupling**: Reduces loop area for high-frequency currents, minimizing radiated emissions.
- **Antenna**: ESP32 Wi-Fi works by radiating EM waves (Maxwell's Equations).

## 考试陷阱 / Exam Pitfalls

- **Magnetic Work**: 磁力  $\vec{F} \perp \vec{v}$ , 所以恒定磁场不对电荷做功! (Work = 0).
- **Field Liens**: 电场线起于正止于负；磁场线是闭合曲线 (无磁单极子)。

## 14 热力学 / Thermodynamics (BE5B02PH2)

### 热力学定律 / Laws of Thermodynamics

[CN] 定义:

- **第零定律**: 如果 A 和 B 平衡, B 和 C 平衡, 则 A 和 C 平衡 (温度定义)。
- **第一定律**: 能量守恒。内能的变化等于吸收的热量加上外界对系统做的功 ( $\Delta U = Q + W$ )。
- **第二定律**: 孤立系统的熵 (Entropy) 永不减少。热量不能自发从低温流向高温。

[EN] Definition:

- **0th Law**: Defines Temperature (Thermal Equilibrium).
- **1st Law**: Conservation of Energy.  $\Delta U = Q + W$ .
- **2nd Law**: Entropy of an isolated system never decreases. Heat cannot spontaneously flow from cold to hot.

## 核心公式 / Key Formula

理想气体状态方程 / Ideal Gas Law:

$$pV = nRT = NkT \quad (14)$$

$p$ : 压强,  $V$ : 体积,  $T$ : 绝对温度 (Kelvin).

热传递 / Heat Transfer:

- **传导 (Conduction):** 接触传递 (Fourier's Law).
- **对流 (Convection):** 流体流动传递.
- **辐射 (Radiation):** 电磁波传递 (Stefan-Boltzmann Law).

## 论文关联 / Project Application

[CN]:

- **ESP32 发热:** 芯片工作时消耗电能转换为热能 (焦耳热  $P = IV$ )。
- **散热设计:** PCB 的铜箔层充当散热片 (Heatsink), 通过**热传导**将热量散发。若封装密闭, 主要依靠**热辐射**散发。
- **BMP180 传感器:** 测量环境温度, 依据其实是电阻随温度的变化 (热敏电阻原理) 或带隙电压基准特性。

[EN]:

- **Self-Heating:** ESP32 converts electrical energy into heat ( $P_{loss} \approx IV$ ).
- **Heat Dissipation:** The PCB copper layers act as heatsinks, dissipating heat via **Conduction**.
- **Temperature Sensing:** BMP180 measures temperature, critical for compensating MEMS bias drift (which is temperature-dependent).

## 考试陷阱 / Exam Pitfalls

- **Kelvin Scale:** 热力学公式永远使用开尔文 ( $T_K = T_C + 273.15$ )。
- **Adiabatic vs Isothermal:** 绝热过程 ( $Q = 0$ ) 不等于等温过程 ( $T = \text{const}$ )。
- **Entropy meaning:** 熵是系统无序度 (Disorder) 的度量。

## 15 波动与光学 / Waves & Optics (BE5B02PH2)

### 波的特性 / Wave Properties

[CN] 定义:

- 干涉 (Interference): 波的叠加。同相增强 (Constructive), 反相抵消 (Destructive)。
- 衍射 (Diffraction): 波绕过障碍物的现象。孔越小, 衍射越明显。
- 偏振 (Polarization): 横波振动方向的限制 (仅适用于横波, 如光)。

[EN] Definition:

- **Interference:** Superposition of waves. Constructive (in-phase) or Destructive (out-of-phase).
- **Diffraction:** Bending of waves around obstacles. Significant when  $\lambda \approx$  aperture size.
- **Polarization:** Orientation of oscillation (Transverse waves only).

### 核心公式 / Key Formula

电磁波谱 / EM Spectrum: Radio → Microwave → IR → Visible → UV → X-Ray → Gamma.  
光速的关系:

$$c = \lambda f \approx 3 \times 10^8 \text{ m/s} \quad (15)$$

### 论文关联 / Project Application

[CN]:

- **Wi-Fi 通信:** ESP32 使用 2.4 GHz 载波。波长计算:  $\lambda = \frac{c}{f} = \frac{3 \cdot 10^8}{2.4 \cdot 10^9} \approx 0.125 \text{ m} = 12.5 \text{ cm}$ 。
- **天线设计:** 最优天线长度通常是  $\lambda/4$  (约 3.1 cm)。这也是为什么 ESP32 模块上的 PCB 天线是这个尺寸。
- **多径干扰:** 室内环境中, Wi-Fi 信号反射形成多径效应 (Multipath), 产生干扰。

[EN]:

- **Wi-Fi Carrier:** 2.4 GHz ISM band.
- **Wavelength:**  $\lambda \approx 12.5 \text{ cm}$ . Optimum antenna length is typically  $\lambda/4$  ( $\approx 3.1 \text{ cm}$ ), explaining the size of the PCB trace antenna.
- **Multipath:** Reflection causes signal interference (Fading) in indoor environments.

### 考试陷阱 / Exam Pitfalls

- **Medium Requirement:** 电磁波不需要介质 (可以在真空中传播)。声波需要介质。
- **Index of Refraction:**  $n = c/v$ . 光在介质中速度减慢。

# Part IV

## 电子与计算机核心 / EECS Core

### 16 电路理论 / Circuit Theory (BE5B31ZEO)

#### 基尔霍夫定律 / Kirchhoff's Laws

[CN] 定义: 基尔霍夫定律是电路分析的基础。

- **电流定律 (KCL):** 节点上的电流守恒。流入节点的电流之和等于流出的电流之和 (基于电荷守恒)。
- **电压定律 (KVL):** 回路中的能量守恒。沿着闭合回路一周, 电压升与电压降的代数和为零。

#### [EN] Definition:

- **KCL:** The algebraic sum of currents entering a node is zero ( $\sum I = 0$ ). It reflects the conservation of charge.
- **KVL:** The algebraic sum of voltage drops around any closed loop is zero ( $\sum V = 0$ ). It reflects the conservation of energy.

#### 核心公式 / Key Formula

##### KCL (Node Analysis):

$$\sum_{k=1}^n I_k = 0 \quad (16)$$

##### KVL (Loop Analysis):

$$\sum_{k=1}^n V_k = 0 \quad (17)$$

##### 分压公式 / Voltage Divider:

$$V_2 = V_{source} \cdot \frac{R_2}{R_1 + R_2} \quad (18)$$

使用场景: 将 5V 传感器信号转换为 3.3V (Using 1.8k + 3.3k resistors).

#### 欧姆定律与电阻 / Ohm's Law and Resistors

[CN] 定义: 欧姆定律 (Ohm's Law) 描述了线性元件中电压、电流和电阻的关系。电阻 (Resistance) 阻碍电流流动并消耗能量。电阻可以串联 (Series) 或者是并联 (Parallel) 连接。

[EN] Definition: Ohm's Law states that the current through a conductor is directly proportional to the voltage across it ( $V = IR$ ). Resistance opposes current flow. Resistors can be connected in Series (additive resistance) or Parallel (additive conductance).

## 核心公式 / Key Formula

欧姆定律:

$$V = I \cdot R, \quad P = V \cdot I = I^2 R \quad (19)$$

串并联 / Series & Parallel:

- Series:  $R_{eq} = R_1 + R_2 + \dots$
- Parallel:  $\frac{1}{R_{eq}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots$

## 动态元件 / Capacitors and Inductors

[CN] 定义:

- 电容 (Capacitor): 以电场形式储存能量, 阻碍电压突变。即  $i = C \frac{dv}{dt}$ 。
- 电感 (Inductor): 以磁场形式储存能量, 阻碍电流突变。即  $v = L \frac{di}{dt}$ 。
- 时间常数 (Time Constant): 描述电路响应速度的参数 ( $\tau = RC$  或  $\tau = L/R$ )。

[EN] Definition:

- Capacitor: Stores energy in an electric field and opposes voltage changes ( $I = C\dot{V}$ ).
- Inductor: Stores energy in a magnetic field and opposes current changes ( $V = L\dot{I}$ ).
- Time Constant ( $\tau$ ): Characterizes the transient response definition.  $1\tau \approx 63.2\%$  of final value.

## 核心公式 / Key Formula

RC 充电公式 / RC Charging:

$$V_C(t) = V_S(1 - e^{-t/\tau}), \quad \tau = R \cdot C \quad (20)$$

应用: 去耦电容 (Decoupling Capacitor) 为芯片提供瞬态电流。

## 交流分析 / AC Circuit Analysis

[CN] 定义: 在正弦稳态下, 我们使用相量 (Phasor) 和阻抗 (Impedance) 进行分析。这允许我们将微分方程转化为代数方程。阻抗  $Z = R + jX$  包含实部电阻和虚部电抗。

[EN] Definition: AC analysis uses Phasors (complex numbers) to represent sinusoidal signals. Impedance ( $Z$ ) generalizes resistance to include phase shifts, turning differential equations into algebraic ones ( $V = I \cdot Z$ ).

## 核心公式 / Key Formula

### 阻抗公式 / Impedance:

- Resistor:  $Z_R = R$
- Inductor:  $Z_L = j\omega L$
- Capacitor:  $Z_C = \frac{1}{j\omega C} = -j\frac{1}{\omega C}$

谐振频率 / Resonance:  $f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$

## 戴维南定理 / Thévenin's Theorem

[CN] 定义: 任何线性双端网络都可以等效为一个电压源 ( $V_{th}$ ) 和一个串联电阻 ( $R_{th}$ )。这极大地简化了负载分析。

[EN] Definition: Any linear two-terminal circuit can be replaced by an equivalent circuit consisting of a single voltage source ( $V_{th}$ ) in series with a resistor ( $R_{th}$ ). This simplifies load connecting analysis.

## 论文关联 / Project Application

[CN]: 你的论文在电源设计部分大量运用了电路理论:

- **LDO 稳压**: AMS1117-3.3 及其外围电容构成了一个稳压系统。
- **去耦 (Decoupling)**: 根据 KCL, 当 ESP32 需要瞬态大电流时, 100nF 和 10μF 电容提供电流, 防止电压跌落。
- **分压器**: 某些传感器 (5V) 需要分压才能连接到 ESP32 (3.3V GPIO)。

[EN]: Your thesis applies circuit theory in the power supply design:

- **LDO Regulator**: The AMS1117-3.3 provides stable voltage.
- **Decoupling**: Capacitors (100nF + 10μF) provide transient current (KCL) to filter noise for the ESP32.
- **Voltage Divider**: Used to level-shift 5V sensor signals to 3.3V logic levels.

## 考试陷阱 / Exam Pitfalls

- **KCL/KVL Signs**: 符号搞反是最常见的错误。定义好参考方向!
- **Capacitor Impedance**:  $Z_C$  是  $\frac{1}{j\omega C}$ , 即  $-j\frac{1}{\omega C}$ 。别忘了那个负号!
- **RMS vs Peak**: 交流功率计算用 RMS ( $V_{rms} = V_m/\sqrt{2}$ )。

## 17 半导体物理 / Semiconductors (BE5B34ELP)

### PN 结 / PN Junction

[CN] 定义: PN 结是现代电子学的基石, 由 P 型半导体 (空穴为主) 和 N 型半导体 (电子为主) 结合而成。

- 耗尽层 (Depletion Region): 接触面上载流子扩散复合, 形成无自由载流子的区域和内建电场。
- 正向偏置 (Forward Bias): 外接电压对抗内建电场 ( $V > V_{th} \approx 0.7V$ ), 导通电流。
- 反向偏置 (Reverse Bias): 外接电压增强内建电场, 电流截止。

[EN] Definition: A PN junction is formed by joining P-type and N-type semiconductors.

- Depletion Region: A region devoid of free carriers at the interface, creating a built-in electric field.
- Forward Bias: Voltage applied against the built-in potential allowing current flow ( $V > 0.7V$ ).
- Reverse Bias: Voltage applied supporting the built-in potential, blocking current flow.

### 核心公式 / Key Formula

肖克利方程 / Shockley Equation:

$$I = I_S \left( e^{\frac{V}{nV_T}} - 1 \right) \quad (21)$$

$V_T \approx 26mV$  (热电压 / Thermal Voltage).

### 晶体管 / Transistors

[CN] 定义:

- BJT (双极性结型晶体管): 电流控制电流设备 ( $I_C = \beta I_B$ )。输入阻抗低, 线性性能好。
- MOSFET (场效应管): 电压控制电流设备 ( $I_D \propto V_{GS}$ )。输入阻抗极高 (栅极绝缘)。ESP32 使用 CMOS (互补 MOS) 工艺。

[EN] Definition:

- BJT: Current-controlled device. Low input impedance. Good for analog amplification.
- MOSFET: Voltage-controlled device. Very high input impedance (Gate Oxide). Used in digital logic (CMOS).

## 核心公式 / Key Formula

### MOSFET 工作区 / Regions of Operation:

1. 截止 (Cutoff):  $V_{GS} < V_{th}$  (Switch OFF)
2. 线性 (Linear/Ohmic):  $V_{DS} < V_{GS} - V_{th}$  (Voltage controlled Resistor)
3. 饱和 (Saturation):  $V_{DS} > V_{GS} - V_{th}$  (Constant Current / Amplifier)

## 论文关联 / Project Application

[CN]: 你的项目使用了多种半导体器件:

- 光电二极管 (Photodiode): TCS34725 颜色传感器内部含有光电二极管阵列。光子撞击 PN 结产生电子-空穴对，产生光电流 (Photocurrent)。
- LED: KY-037 模块上的指示灯。正向偏置时，电子与空穴复合释放能量 ( $E = h\nu$ )。

[EN]: Your project utilizes various semiconductor devices:

- Photodiode: Inside the TCS34725. Photons striking the PN junction generate electron-hole pairs, creating a photocurrent proportional to light intensity.
- Light Emitting Diode (LED): On the KY-037 module. Recombination of electrons and holes releases energy as light when forward-biased.

## 考试陷阱 / Exam Pitfalls

- Saturation Region: MOSFET 的“饱和区”对应于恒流源特性（用于放大），而 BJT 的“饱和区”对应于开关导通（开关应用）。这两个术语在 BJT 和 MOSFET 中是反义的！
- Threshold Voltage:  $V_{th}$  是开启 MOSFET 的门槛电压，不要和  $V_T$  (热电压, 26mV) 混淆。

## 18 模拟与数字电路 / Analog & Digital Electronics (BE5B34MIE)

### 运算放大器 / Operational Amplifier

[CN] 定义: 运放 (Op-Amp) 是具有极高增益的电压放大器。理想特性:

- 输入阻抗无穷大 ( $R_{in} = \infty$ ): 不从信号源吸取电流。
- 输出阻抗为零 ( $R_{out} = 0$ ): 理想电压源。
- 开环增益无穷大 ( $A_{OL} = \infty$ )。

虚短与虚断: 在负反馈下,  $V_+ = V_-$  以及  $I_+ = I_- = 0$ 。

[EN] Definition: An Op-Amp is a high-gain differential voltage amplifier. Ideal Properties: Infinite  $R_{in}$ , Zero  $R_{out}$ , Infinite Gain. Golden Rules:

- Virtual Short:  $V_+ = V_-$  (with negative feedback).
- Virtual Open: No current enters input terminals ( $I = 0$ ).

## 核心公式 / Key Formula

### 常见配置 / Common Configurations:

- 反相放大器 (Inverting):  $V_{out} = -\frac{R_f}{R_{in}}V_{in}$
- 同相放大器 (Non-Inverting):  $V_{out} = (1 + \frac{R_f}{R_g})V_{in}$
- 电压跟随器 (Buffer):  $V_{out} = V_{in}$  ( $R_f = 0, R_g = \infty$ )

## 比较器 / Comparator

[CN] 定义: 比较器利用运放的开环高增益特性, 将模拟信号与参考电压进行比较, 输出数字电平(高/低)。没有负反馈。

[EN] Definition: A comparator uses an Op-Amp in open-loop mode to compare an analog signal  $V_{in}$  against a reference  $V_{ref}$ , outputting a digital logic level (High/Low).

## 模数转换器 / AD Converter (ADC)

[CN] 定义: 将连续的模拟电压信号转换为离散的数字值。关键指标:

- 分辨率 (Resolution): 比特数 (e.g., 12-bit → 0-4095)。
- 采样率 (Sampling Rate): 每秒采样次数 (Samples per second)。
- 混叠 (Aliasing): 如果采样率  $< 2f_{max}$ , 高频信号会伪装成低频噪音。

[EN] Definition: Converts continuous analog signals into discrete digital values. Key Specs:

- Resolution: Number of bits (e.g. 12-bit).  $LSB = V_{ref}/2^N$ .
- Sampling Rate: How often the signal is measured.
- Nyquist Theorem: Sampling rate must be  $> 2 \times f_{max}$  to avoid Aliasing.

## 论文关联 / Project Application

[CN]: KY-037 声音传感器 包含了完整的模拟电路链条:

1. **换能器**: 驻极体麦克风将声波转换为微弱电压信号 (mV 级)。
2. **放大器**: 下方芯片 (LM393) 作为一个运算放大器, 放大这个信号到 **Analog Out**。
3. **比较器**: 另一个运放通道作为比较器, 当音量超过电位器设定阈值时, 驱动 **Digital Out** 变高 (并点亮 LED2)。
4. **ADC**: ESP32 的 12-bit SAR ADC 读取模拟输出 ( $0 - 3.3V \rightarrow 0 - 4095$ )。

[EN]: The **KY-037 Sound Module** demonstrates the analog signal chain:

1. **Transducer**: Electret mic converts sound to weak voltage.
2. **Amplifier**: LM393 amplifies the signal for **Analog Out**.
3. **Comparator**: Another Op-Amp compares signal vs potentiometer voltage, triggering **Digital Out**.
4. **ADC**: ESP32's 12-bit SAR ADC digitizes the analog signal.

## 考试陷阱 / Exam Pitfalls

- **Op-Amp Real vs Ideal**: 实际运放输出电压受电源轨 ( $V_{CC}/GND$ ) 限制 (Rail-to-Rail)。
- **ADC Range**: ESP32 的 ADC 是非线性的, 且在 0V 和 3.3V 附近有盲区。
- **Comparator Hysteresis**: 实际比较器通常加入正反馈产生迟滞 (Hysteresis/Schmitt Trigger), 以防止在阈值附近由于噪声引起的频繁跳变。

## 19 微处理器 / Microprocessors (BE5B34MIE)

### 处理器架构 / CPU Architecture

[CN] 定义:

- **冯诺依曼 (Von Neumann)**: 指令和数据共享同一内存和总线。瓶颈在于无法同时读写。(如传统 x86)。
- **哈佛 (Harvard)**: 指令和数据拥有独立的物理内存和总线。可以同时读取指令和访问数据。(如 ESP32, AVR)。

[EN] Definition:

- **Von Neumann**: Shared memory and bus for both instructions and data. Suffers from the "Von Neumann Bottleneck".
- **Harvard**: Separate memory and buses for instructions and data. Allows simultaneous instruction fetching and data access (Common in embedded systems like ESP32).

## 核心公式 / Key Formula

### CPU 主要组件 / Core Components:

- **ALU**: Arithmetic Logic Unit (算术逻辑单元) - 执行加减乘除和逻辑运算。
- **Registers**: 寄存器 - CPU 内部的最快存储单元 (PC, SP, Status Reg)。
- **CU**: Control Unit (控制单元) - 解码指令并指挥数据流。

## 中断系统 / Interrupt System

[CN] 定义: 中断 (Interrupt) 是一种允许硬件信号打断 CPU 当前执行流, 转而去执行特定处理程序 (ISR) 的机制。这比轮询 (Polling) 更高效, 因为 CPU 不需要不断检查状态。

[EN] Definition: An Interrupt is a mechanism where a hardware signal suspends the CPU's current activity to execute an Interrupt Service Routine (ISR). It is more efficient than Polling because the CPU reacts only when an event occurs.

## I2C 通信协议 / I2C Protocol

[CN] 定义: I2C (Inter-Integrated Circuit) 是一种同步、半双工、多主从架构的通信协议。它只需要两根线: **SDA** (数据) 和 **SCL** (时钟)。设备通过 7 位或 10 位地址区分。

[EN] Definition: I2C is a synchronous, half-duplex, multi-master/slave communication protocol. It uses two lines: **SDA** (Serial Data) and **SCL** (Serial Clock). Devices are addressed via 7-bit or 10-bit unique IDs.

## 论文关联 / Project Application

[CN]: 你的智能家居项目是嵌入式系统的典型应用:

- **MCU**: 使用了 ESP32-S3 (Xtensa LX7 双核)。它结合了高性能计算和低功耗模式。
- **I2C 总线**: IMU 传感器 (MPU6050, 地址 0x68) 和气压计 (BMP180, 地址 0x77) 挂载在同一个 I2C 总线上 (GPIO 4/5)。
- **中断**: 定时器中断 (Timer Interrupt) 用于保证以精确的 10Hz 频率采样传感器数据, 确保跌倒检测算法的输入稳定性。

[EN]: Your Smart Home project demonstrates embedded system principles:

- **MCU**: Utilizes ESP32-S3 (Xtensa LX7 Dual-core), balancing performance and power efficiency.
- **I2C Bus**: Connects sensors like MPU6050 (0x68) and BMP180 (0x77) on shared lines (GPIO 4/5).
- **Interrupts**: A rigid Timer Interrupt ensures precise 10Hz sampling for the fall detection algorithm, avoiding jitter issues.

## 考试陷阱 / Exam Pitfalls

- **Interrupts vs Polling:** 为什么用中断? 为了节省 CPU 资源并保证实时性 (Real-time response)。
- **I2C Pull-up:** I2C 是开漏输出 (Open-drain), 必须需要在 SDA/SCL 上接上拉电阻 (Pull-up Resistors), 否则无法输出高电平。
- **Volatile:** 在中断服务程序 (ISR) 和主程序共享变量时, 必须声明为 `volatile`, 防止编译器优化。

## 20 算法与复杂性 / Algorithms & Complexity (BE5B33ALG)

### 算法复杂性 / Computational Complexity

[CN] 定义: 大 O 符号 ( $O(\cdot)$ ) 描述了算法在最坏情况下的运行时间或空间需求随输入规模  $N$  增长的趋势。

- $O(1)$ : 常数时间 (如数组索引)。
- $O(\log N)$ : 对数时间 (如二分查找)。
- $O(N)$ : 线性时间 (如遍历链表)。
- $O(N^2)$ : 平方时间 (如冒泡排序)。

[EN] Definition: Big-O notation describes the worst-case growth rate of an algorithm's time or space requirements relative to input size  $N$ .

- $O(1)$ : Constant Time (e.g., Array Access).
- $O(\log N)$ : Logarithmic (e.g., Binary Search).
- $O(N)$ : Linear (e.g., Iterating a list).
- $O(N \log N)$ : Linearithmic (e.g., QuickSort/MergeSort).

### 排序算法 / Sorting Algorithms

[CN] 定义:

- **快速排序 (QuickSort):** 分治法。平均  $O(N \log N)$ , 但不稳定。
- **归并排序 (MergeSort):** 分治法。保证  $O(N \log N)$ , 稳定, 但需要额外空间。
- **堆排序 (HeapSort):** 利用二叉堆。 $O(N \log N)$ , 原地排序。

[EN] Definition:

- **QuickSort:** Divide and Conquer. Avg  $O(N \log N)$ . Unstable.
- **MergeSort:** Stable,  $O(N \log N)$ , requires  $O(N)$  extra space.
- **HeapSort:** Uses Binary Heap structure. In-place  $O(N \log N)$ .

## 论文关联 / Project Algorithms

[CN]: 你的固件中实施了特定的实时算法:

- 移动平均滤波 (Moving Average): 公式:  $y[n] = y[n - 1] + \frac{x[n] - x[n - N]}{N}$  (递归实现)。复杂度:  $O(1)$  (如果递归) 或  $O(N)$  (如果每次由头求和)。用于平滑传感器噪音。
- 跌倒检测 (Fall Detection): 逻辑: `if (acc > 2.4G && gyro > 240 deg/s)`. 复杂度:  $O(1)$ 。这是实时系统的关键, 保证了在资源受限的 ESP32 上极低的延迟。

[EN]: Your firmware implements real-time algorithms:

- **Moving Average Filter:** Used to smooth sensor noise. Complexity:  $O(1)$  (Recursive implementation) or  $O(N)$  (Naive sum).
- **Fall Detection:** Logic: Threshold comparison. Complexity:  $O(1)$  (Constant time). Critical for low latency on the ESP32.

## 核心公式 / Key Formula

图搜索算法 / Graph Search:

- **BFS (广度优先):** 使用队列 (Queue)。寻找无权图最短路径。
- **DFS (深度优先):** 使用栈 (Stack) 或递归。用于回溯法。
- **Dijkstra:** 使用优先队列 (Priority Queue)。寻找加权图最短路径。

## 考试陷阱 / Exam Pitfalls

- **Binary Search Requirements:** 二分查找要求数据必须是有序的 (Sorted)。
- **Stack vs Queue:** Stack is LIFO (Last In First Out); Queue is FIFO (First In First Out).
- **Recursion Risk:** 递归虽然代码简洁, 但深度过大时会导致栈溢出 (Stack Overflow), 在嵌入式中需谨慎。

## Part V

# 专业方向 / Specialization

## 21 电磁场理论 / Electromagnetic Theory (BE5B17MT1)

### 麦克斯韦方程组 / Maxwell's Equations

[CN] 定义: 经典电磁学的核心, 包含四个方程:

1. 高斯电场定律: 电荷产生散开的电场 ( $\nabla \cdot E = \rho/\epsilon_0$ ).
2. 高斯磁场定律: 无磁单极子 ( $\nabla \cdot B = 0$ ).
3. 法拉第定律: 变化的磁场产生电场 ( $\nabla \times E = -\partial B/\partial t$ ).
4. 安培定律: 电流和变化的电场产生磁场 ( $\nabla \times B = \mu_0 J + \mu_0 \epsilon_0 \partial E/\partial t$ ).

[EN] Definition: The core of classical electromagnetism:

1. **Gauss's Law**: Electric charges produce diverging E-fields.
2. **Gauss's Law for Magnetism**: No magnetic monopoles.
3. **Faraday's Law**: Changing B-field induces E-field.
4. **Ampere's Law**: Currents and changing E-fields produce B-fields.

### 核心公式 / Key Formula

传输线 / Transmission Lines: 特性阻抗 (Characteristic Impedance):

$$Z_0 = \sqrt{\frac{L}{C}} \approx 50\Omega \quad (22)$$

为了防止反射 (Reflection), 负载阻抗必须匹配  $Z_L = Z_0$ 。

### 论文关联 / Project Application

[CN]:

- **阻抗匹配**: ESP32 的天线输出被设计为  $50\Omega$ 。PCB 走线宽度必须精确计算以保持此阻抗, 防止信号向源端反射。
- **去耦**: 在电源线上放置电容是为了提供高频信号的低阻抗返回路径, 减小辐射回路面积。

[EN]:

- **Impedance Matching**: ESP32 antenna output requires  $50\Omega$ . PCB traces are dimensioned to match this to prevent signal reflection ( $S_{11}$ ).
- **Decoupling**: Capacitors provide a low-impedance return path for high-frequency currents, reducing the loop area and EMI.

## 22 逻辑系统 / Logic Systems (BE5B01LGS)

### 布尔代数 / Boolean Algebra

[CN] 定义: 数字逻辑的数学基础。

- 基本运算: AND ( $A \cdot B$ ), OR ( $A + B$ ), NOT ( $\bar{A}$ ).
- 德摩根定律:  $\overline{A \cdot B} = \bar{A} + \bar{B}$ ,  $\overline{A + B} = \bar{A} \cdot \bar{B}$ .

[EN] Definition: Mathematical foundation of digital logic.

- **Ops:** AND (Conjunction), OR (Disjunction), NOT (Negation).
- **De Morgan's Laws:** NAND equals OR of negations; NOR equals AND of negations.

### 时序逻辑 / Sequential Logic

[CN] 定义: 输出取决于当前输入以及过去输入的电路 (有记忆)。

- **触发器 (Flip-Flop):** 基本存储单元 (如 D-FF)。在时钟边沿改变状态。
- **寄存器 (Register):** 并联的 D-FF, 用于存储多位数据。

[EN] Definition: Circuits where output depends on current inputs **and** history (Memory).

- **Flip-Flop:** Basic storage element (e.g., D Flip-Flop). State changes on clock edge.
- **Register:** Parallel D-FFs storing multi-bit data.

### 论文关联 / Project Application

[CN]:

- **GPIO 模式:** ESP32 的 GPIO 输入寄存器读取引脚电压。配置为 INPUT\_PULLUP 实际上是在内部连接了一个上拉电阻，形成逻辑 1。
- **I2C 硬件:** ESP32 内部的 I2C 控制器是由大量状态机 (FSM) 和移位寄存器 (Shift Register) 组成的复杂时序逻辑电路。

[EN]:

- **GPIO:** Configured via registers. INPUT\_PULLUP connects an internal resistor, defaulting logic High.
- **I2C Controller:** Implemented in silicon using Finite State Machines (FSMs) and Shift Registers to serialize data.

## 23 信号与系统 / Signals & Systems (BE5B31SAS)

### 傅里叶变换 / Fourier Transform

[CN] 定义: 将信号从时域 (Time Domain) 转换到频域 (Frequency Domain)。任何周期信号都可以分解为正弦波的叠加。

[EN] Definition: Transforms a signal from Time Domain to Frequency Domain. States that any periodic function can be expressed as a sum of sines and cosines.

### 核心公式 / Key Formula

采样定理 / Nyquist-Shannon Theorem:

$$f_s \geq 2f_{max} \quad (23)$$

采样率必须至少是信号最高频率的两倍，否则会发生混叠 (Aliasing)。

### 论文关联 / Project Application

[CN]:

- 采样率选择: 你的 MPU6050 采样率为 10Hz。这意味着只能准确捕捉 5Hz 以下的运动（人体正常运动通常  $< 2\text{Hz}$ ）。
- 滤波: 你的移动平均滤波器实际上是一个低通滤波器 (Low Pass Filter)，切断了高频噪声。

[EN]:

- Sampling: MPU6050 @ 10Hz. Nyquist limit is 5Hz, sufficient for human motion ( $< 2\text{Hz}$ )。
- Filtering: The Moving Average Filter acts as an FIR Low Pass Filter, attenuating high-frequency noise.

## 24 电机学 / Electrical Machines (BE5B14ESP)

### 变压器 / Transformer

[CN] 定义: 基于电磁感应，只转换交流电压/电流，不改变频率。 $V_1/V_2 = N_1/N_2$ 。

[EN] Definition: Static device transferring AC energy via induction. Steps up/down voltage ( $V_p/V_s = N_p/N_s$ ) without changing frequency.

## 电动机 / Electric Motors

[CN] 定义:

- **直流电机 (DC Motor)**: 使用换向器 (Brushed) 或电子换向 (BLDC)。速度  $\propto$  电压。
- **感应电机 (Induction Motor)**: 异步。转子速度总是落后于旋转磁场 (Slip)。
- **同步电机 (Synchronous Motor)**: 转子速度锁定于电源频率。

[EN] Definition:

- **DC Motor**: Speed  $\propto$  Voltage. Brushed or Brushless (BLDC).
- **Induction (Asynchronous)**: Rotor "slips" behind the rotating magnetic field.
- **Synchronous**: Rotor rotates in lock-step with supply frequency.

## 论文关联 / Project Application

[CN]: 虽然你的项目主要是传感器节点，但智能家居通常控制电机负载:

- **继电器控制**: 你的 ESP32 可以驱动继电器来开启/关闭大功率交流电机（如风扇、水泵）。
- **感性负载**: 电机是感性负载，关闭时会产生反电动势 (Back EMF)。需要反向二极管 (Flyback Diode) 保护电路。

[EN]: Smart homes often control motors:

- **Relays**: ESP32 drives relays to switch AC motors (fans, pumps).
- **Inductive Load**: Motors generate Back EMF when switched off. A Flyback Diode is required to protect the control circuitry.

## 25 材料科学 / Materials (BE5B13MAT)

### 材料分类 / Classification

[CN] 定义: 根据导电性能分类 (能带理论):

- **导体 (Conductor)**: 电子自由移动 (如铜 Cu)。价带与导带重叠。
- **半导体 (Semiconductor)**: 导电性介于导体和绝缘体之间 (如硅 Si)。带隙较小 ( $E_g \approx 1.1\text{eV}$ )。
- **绝缘体 (Insulator)**: 电子被束缚 (如玻璃)。带隙很大。

[EN] Definition: Based on energy bands:

- **Conductor**: Free electron movement (Copper). Overlapping bands.
- **Semiconductor**: Intermediate conductivity (Silicon). Small Bandgap.
- **Dielectric (Insulator)**: No free charges (Glass, FR4). Large Bandgap.

## 论文关联 / Project Application

[CN]:

- **PCB 基板 (FR4):** 玻璃纤维环氧树脂。它是绝缘体 (介电材料)，其介电常数 ( $\epsilon_r \approx 4.4$ ) 影响阻抗匹配。
- **导线 (Copper):** PCB 走线是铜箔，具有非零电阻。大电流走线需要足够的宽度以减少发热。
- **半导体:** ESP32 芯片本身是基于硅工艺 (CMOS) 制造的。

[EN]:

- **FR4:** The PCB substrate. It is a dielectric with  $\epsilon_r \approx 4.4$ , affecting trace impedance.
- **Copper:** Traces have resistance. High-current power traces must be wide to minimize voltage drop and heating.
- **Silicon:** The base material for the ESP32 SoC (CMOS process).

## 26 电力系统 / Power Systems (BE5B14ESP)

### 电力 / Electric Power

[CN] 定义:

- **有功功率 (Active Power, P):** 实际做功的功率。单位: 瓦特 (W)。
- **无功功率 (Reactive Power, Q):** 在电感/电容中振荡但未消耗的功率。单位: VAR。
- **视在功率 (Apparent Power, S):** 总功率。 $S = \sqrt{P^2 + Q^2}$ 。单位: VA。

[EN] Definition:

- **Active Power (P):** Real useful power (Watts).
- **Reactive Power (Q):** Oscillating power stored in L/C fields (VAR).
- **Apparent Power (S):** Vector sum magnitude (VA).

### 核心公式 / Key Formula

功率因数 / Power Factor:

$$PF = \frac{P}{S} = \cos \phi \quad (24)$$

理想情况下  $PF = 1$ 。

## 论文关联 / Project Application

[CN]:

- **电池供电:** 我们的设计使用 Li-Po 电池 (3.7V - 4.2V)。
- **电源管理 (LDO):** AMS1117-3.3 线性稳压器将电池电压降至 3.3V 供 ESP32 使用。效率较低 ( $\eta = V_{out}/V_{in}$ )，多余能量变为热量。
- **功耗:** ESP32 Wi-Fi 发送时峰值电流可达 240mA。必须确保 LDO 和走线能通过此电流。

[EN]:

- **Battery:** Li-Po cell nominal 3.7V.
- **LDO Regulator:** Steps down voltage to 3.3V. Linear regulators dissipate excess voltage as heat (Low efficiency).
- **Peak Current:** Wi-Fi transmission spikes up to 240mA. Power traces must handle this.

## 27 人工智能 / Artificial Intelligence (BE5B33UI)

### 分类与学习 / Machine Learning

[CN] 定义: 从数据中学习模式的算法。

- **监督学习 (Supervised):** 训练数据有标签 (如: 这组数据是“跌倒”，那组是“走路”)。
- **无监督学习 (Unsupervised):** 数据无标签，寻找内在结构 (如聚类)。
- **神经网络 (Neural Network):** 模拟人脑神经元的层级结构。

[EN] Definition: Learning patterns from data.

- **Supervised:** Data is labeled (Input → Output mapping). Classification/Regression.
- **Unsupervised:** No labels (Clustering).
- **Neural Networks:** Layers of artificial neurons (Perceptrons) with weights and activation functions.

## 论文关联 / Project Application

[CN]:

- **TinyML**: 在微控制器 (MCU) 上运行机器学习。
- **跌倒检测**: 目前使用的是基于阈值的规则 (Heuristic)。
- **未来改进**: 可以收集加速度数据训练一个 SVM (支持向量机) 或简单的神经网络分类器，部署在 ESP32 上以区分“跌倒”和“跳跃”，减少误报。

[EN]:

- **TinyML**: Running ML inference on Edge devices (ESP32).
- **Current**: Heuristic Threshold-based detection.
- **Future Work**: Train a Classifier (SVM or Neural Net) on acceleration data to distinguish Fall vs Jump, improving Specificity.

## 28 计算机体系结构 / Computer Architecture (BE5B35APO)

### 流水线与缓存 / Pipeline & Cache

[CN] 定义:

- **流水线 (Pipelining)**: 将指令执行分解为多个阶段 (取指, 译码, 执行...) 并行处理, 提高吞吐量。
- **缓存 (Cache)**: 位于 CPU 和内存之间的小容量高速存储, 利用局部性原理 (Locality) 减少内存访问延迟。L1, L2, L3。

[EN] Definition:

- **Pipelining**: Splitting instruction processing into stages (Fetch, Decode, Execute, Writeback) to increase throughput (Instructions Per Cycle).
- **Cache**: Fast, small memory hiding DRAM latency. Relies on Spatial and Temporal Locality.

### 指令集架构 / ISA

[CN] 定义:

- **CISC (复杂指令集)**: 指令复杂, 长度可变 (x86)。
- **RISC (精简指令集)**: 指令简单, 长度固定, 利用流水线 (ARM, RISC-V, Xtensa)。

[EN] Definition:

- **CISC**: Complex instructions, variable length (Intel x86).
- **RISC**: Reduced instructions, fixed length, optimized for pipelining (ARM, ESP32).

## 论文关联 / Project Application

[CN]:

- **ESP32 架构:** 基于 Tensilica Xtensa LX7 核心，是一个典型的 **RISC** 架构。
- **双核:** 它有两个核心 (PRO\_CPU, APP\_CPU)。FreeRTOS 调度器可以在两个核心上运行任务。
- **DMA:** 直接内存访问控制器允许外设 (如 SPI, I2C) 在不占用 CPU 的情况下传输数据，这对于高频传感器采样至关重要。

[EN]:

- **Xtensa LX7:** A RISC architecture powering the ESP32-S3.
- **Dual Core:** Symmetric Multiprocessing (SMP). Contains PRO\_CPU and APP\_CPU.
- **DMA:** Direct Memory Access allowing peripherals to transfer data to RAM without CPU intervention, critical for efficient sensor sampling.

## 29 控制系统 / Control Systems (BE5B35ARI)

### 控制结构 / Control Structures

[CN] 定义:

- **开环控制 (Open-Loop):** 控制动作独立于系统输出。无法纠正干扰带来的误差。(例如: 普通烤面包机)。
- **闭环控制 (Closed-Loop):** 使用反馈 (Feedback) 将输出与期望值比较，根据误差调整控制动作。(例如: 空调恒温)。

[EN] Definition:

- **Open-Loop:** Control action is independent of the process output. Cannot compensate for disturbances (e.g., toaster).
- **Closed-Loop:** Uses Feedback to compare output with reference. Adjusts control action based on error (e.g., thermostat).

### 核心公式 / Key Formula

闭环传递函数 / Closed-Loop Transfer Function:

$$T(s) = \frac{Y(s)}{R(s)} = \frac{G(s)}{1 + G(s)H(s)} \quad (25)$$

$G(s)$ : Plant (对象),  $H(s)$ : Sensor (传感器),  $R(s)$ : Reference (参考).

## PID 控制器 / PID Controller

[CN] 定义: 工业中最常用的反馈控制器。包含三个项:

- **比例 (P)**: 当前误差。响应快, 但这也是主要的控制力。
- **积分 (I)**: 过去误差的累积。用于消除稳态误差 (Steady-state error)。
- **微分 (D)**: 误差变化率。预测未来趋势, 增加阻尼, 减少超调 (Overshoot)。

[EN] Definition: The most common industrial controller.

- **Proportional (P)**: Reacts to current error. Main drive.
- **Integral (I)**: Reacts to accumulated past errors. Eliminates steady-state error.
- **Derivative (D)**: Reacts to rate of change. Predicts future error, adds damping, reduces overshoot.

## 核心公式 / Key Formula

### PID 公式 / PID Formula:

$$u(t) = K_p e(t) + K_i \int e(t) dt + K_d \frac{de(t)}{dt} \quad (26)$$

调参口诀: P 决定响应速度, I 消除静差但导致振荡, D 抑制振荡。

## 稳定性 / Stability

[CN] 定义: 一个系统被称为 BIBO (Bounded-Input Bounded-Output) 稳定, 如果任何有界输入都产生有界输出。在频域中, 线性系统稳定的充要条件是: 所有闭环极点 (Poles) 都位于复平面的左半部分 (LHP)。

[EN] Definition: A system is BIBO Stable if every bounded input produces a bounded output. In the frequency domain, a linear system is stable if and only if **all closed-loop poles are located in the Left Half Plane (LHP)**.

## 论文关联 / Project Application

[CN]: 虽然你的毕业设计主要关注数据采集, 但 Home Assistant 也可以由控制理论解释:

- **Bang-Bang 控制**: 比如当温度  $> 25$  度时开启风扇,  $< 24$  度时关闭。这是一种带有迟滞 (Hysteresis) 的非线性控制。
- **反馈回路**: 传感器 (SHT30)  $\rightarrow$  服务器 (HA)  $\rightarrow$  智能开关 (Relay)  $\rightarrow$  房间温度  $\rightarrow$  传感器。

[EN]: Home Assistant automations can be viewed as control loops:

- **Bang-Bang Control**: Turning a fan ON if Temp  $> 25$ , OFF if  $< 24$ . This is non-linear control with Hysteresis.
- **Feedback Loop**: Sensor (SHT30)  $\rightarrow$  Controller (HA)  $\rightarrow$  Actuator (Relay)  $\rightarrow$  Plant (Room Temp)  $\rightarrow$  Sensor.

## 考试陷阱 / Exam Pitfalls

- **Right Half Plane (RHP)**: 只要有一个极点在右半平面，系统就不稳定！ (Unstable).
- **Integral Windup**: 积分饱和。如果执行器达到极限，积分项会持续累积导致系统失控。解决方法是“积分分离”或“抗饱和”。
- **Phase Margin**: 相位裕度越小，系统越接近振荡。通常设计目标是  $45^\circ - 60^\circ$ 。