第10章 控制单元的设计 习题与解答

> 说明：本章课件（Slide 498–545）未设独立习题/思考题页，课件原题均为课堂设计举例，共 3 道，全部收录并给出完整解答；另按考点补充 13 题，合计 16 题。事实性数据均与课件一致，页码以 Slide 编号计。

一、课件原题

题1（课件 p.508–515）

举例机含 10 条指令：CLA、COM、SHR、CSL、STP、ADD X、STA X、LDA X、JMP X、BAN X；采用同步控制方式、非总线 CPU 结构、一个机器周期 3 个节拍。要求：(1) 列出操作时间表（FE 取指、IND 间址、EX 执行三张表，课件以 CLA、COM、ADD、STA、LDA、JMP 六列为例）；(2) 写出微操作命令 M(MAR)→MDR 的最简逻辑表达式；(3) 说明由表达式画出逻辑图后，组合逻辑控制器的特点。

解答：

(1) 操作时间表（填 1 表示该指令在该节拍需要该微操作）：

FE 取指周期（课件 p.508、511）：

节拍	状态条件	微操作命令	CLA	COM	ADD	STA	LDA	JMP
T_0		PC→MAR	1	1	1	1	1	1
T_0		1→R	1	1	1	1	1	1
T_1		M(MAR)→MDR	1	1	1	1	1	1
T_1		(PC)+1→PC	1	1	1	1	1	1
T_2		MDR→IR	1	1	1	1	1	1
T_2		OP(IR)→ID	1	1	1	1	1	1
T_2	I	1→IND	1	1	1	1	1	1
T_2	$\bar{I}$	1→EX	1	1	1	1	1	1

IND 间址周期（课件 p.509、512）：

节拍	微操作命令	CLA	COM	ADD	STA	LDA	JMP
T_0	Ad(IR)→MAR			1	1	1	1
T_0	1→R			1	1	1	1
T_1	M(MAR)→MDR			1	1	1	1
T_2	MDR→Ad(IR)			1	1	1	1
T_2	1→EX			1	1	1	1

EX 执行周期（课件 p.510、513）：

节拍	微操作命令	CLA	COM	ADD	STA	LDA	JMP
T_0	Ad(IR)→MAR			1	1	1	
T_0	1→R			1		1	
T_0	1→W				1		
T_1	M(MAR)→MDR			1		1	
T_1	AC→MDR				1		
T_2	(AC)+(MDR)→AC			1			
T_2	MDR→M(MAR)				1		
T_2	MDR→AC					1	
T_2	0→AC	1					
T_2	AC→AC		1				
T_2	Ad(IR)→PC						1

（其余指令 SHR、CSL、STP、BAN 的执行微操作均在 T_2，见课件 p.504–506，列法相同。）

(2) 查表汇总 M(MAR)→MDR 出现的位置：FE·T_1（全部指令）；IND·T_1（ADD、STA、LDA、JMP、BAN）；EX·T_1（ADD、LDA）。相或并化简（课件 p.514）：

$$M(MAR)\rightarrow MDR = FE\cdot T_1 + IND\cdot T_1\cdot(ADD+STA+LDA+JMP+BAN) + EX\cdot T_1\cdot(ADD+LDA)$$
$$= T_1\cdot\{\ FE + IND\cdot(ADD+STA+LDA+JMP+BAN) + EX\cdot(ADD+LDA)\ \}$$

(3) 用与门、或门、非门按上式实现即得逻辑图（课件 p.515）。特点：① 思路清晰，简单明了；② 庞杂，调试困难，修改困难；③ 速度快，故适用于 RISC。

题2（课件 p.520–523）

用户程序依次为 LDA X、ADD Y、STA Z、STP。结合微程序控制单元框图说明其工作原理：(1) 写出取指阶段微指令的读出与执行流程（含 CMAR、CMDR 的操作）；(2) 说明执行阶段如何进入 LDA 的微程序、执行完后如何返回；(3) 为什么说程序执行过程中对控存「只需读出」？由此引出哪两个关键问题？

解答：

(1) 取指阶段执行取指微程序（入口 M，课件 p.521）：

```
M→CMAR                  ；取指微程序首地址送微地址寄存器
CM(CMAR)→CMDR           ；读出微指令 M
由 CMDR 发命令           ；PC→MAR，1→R
Ad(CMDR)→CMAR           ；下地址字段形成下条微指令地址 M+1
CM(CMAR)→CMDR           ；读出微指令 M+1
由 CMDR 发命令           ；M(MAR)→MDR，(PC)+1→PC
Ad(CMDR)→CMAR           ；下地址 M+2
CM(CMAR)→CMDR           ；读出微指令 M+2
由 CMDR 发命令           ；MDR→IR
```

(2) 执行阶段：OP(IR)→微地址形成部件→CMAR，即把 LDA 执行微程序入口 P 送 CMAR（课件 p.522）；依次执行 P（Ad(IR)→MAR、1→R）、P+1（M(MAR)→MDR）、P+2（MDR→AC）三条微指令，每条之后由 Ad(CMDR)→CMAR 形成下地址；P+2 的下地址为 M，即 M→CMAR 返回取指微程序，开始取 ADD Y（课件 p.519–522）。ADD、STA 同理各自转入 Q、K 入口的微程序；STP 执行 0→G 停机。

(3) 全部微指令已存放在控制存储器 CM 中，执行任何用户程序时只是按微地址反复**读出**微指令，不需要写入（课件 p.523）。由此引出微程序设计的两个关键问题：① 微指令的操作控制字段如何形成微操作命令（编码方式问题）；② 微指令的后续地址如何形成（微地址形成问题）。

题3（课件 p.535–545）

微程序设计举例（CPU 结构与组合逻辑举例相同）：(1) 考虑后续微地址的形成，写出取指阶段的微操作及节拍安排；(2) 统计全部微操作个数与微指令条数；(3) 确定微指令的编码方式、后续微地址形成方式与微指令字长；(4) 说明如何省去 CMAR 进行优化，给出优化后的最少字长和留余量后的实际字长；(5) 读码点表：写出取指微程序第一条微指令（00）与 LDA 微程序第一条微指令（16）的码点含义（操作控制字段只写表中可见列），并解释微指令 02 的下地址字段为何全×。

解答：

(1) 取指本需 3 条微指令（一拍一条），但每条之后还需形成下地址，故展开为 6 拍（课件 p.535–536）：

节拍	微操作
T_0	PC→MAR，1→R
T_1	Ad(CMDR)→CMAR
T_2	M(MAR)→MDR，(PC)+1→PC
T_3	Ad(CMDR)→CMAR
T_4	MDR→IR，OP(IR)→微地址形成部件
T_5	OP(IR)→微地址形成部件→CMAR

(2) 全部微操作 **20 个**，微指令 **38 条**（课件 p.541）。其中 19 条是纯送地址微指令：18 条 Ad(CMDR)→CMAR、1 条 OP(IR)→微地址形成部件→CMAR（课件 p.543）。

(3) 编码方式采用**直接控制**（直接编码）；后续地址形成：① 由机器指令操作码通过微地址形成部件形成，② 由微指令下地址字段直接给出（课件 p.542）。字长：操作控制字段 ≥ 20 位（20 个微操作）；下地址字段 k 满足 $2^k \geq 38$，$2^5=32<38\leq64=2^6$，取 6 位；字长可取 20+6=**26 位**（课件 p.542）。

(4) 让 Ad(CMDR) 直接送控存地址线、OP(IR) 经微地址形成部件也直接送控存地址线（多路选择），省去输至 CMAR 的时间并省去 CMAR，从而省去 19 条微指令、2 个微操作（课件 p.543）：微指令 38−19=19 条 → 下地址字段最少 5 位（$2^4=16<19\leq32=2^5$）；微操作 20−2=18 个 → 操作控制字段最少 18 位；最少字长 18+5=23 位。考虑留有一定余量：操作控制字段取 24 位、下地址字段取 6 位，**共 30 位**（位 0–23 操作控制、位 24–29 下地址）（课件 p.544）。

(5) 微指令 00：操作控制位 0=1（PC→MAR）、位 1=1（1→R），下地址字段 000001，即后继微地址 01（八进制）。微指令 16：操作控制位 1=1（1→R）、位 10=1（Ad(IR)→MAR），下地址字段 001111，即后继微地址 17（八进制）（课件 p.545）。微指令 02 完成 MDR→IR 后，后继微地址应由 OP(IR) 经微地址形成部件产生（转入对应执行微程序），下地址字段不起作用，故记××××××（课件 p.545）。

二、考点补充题

题4【补充•考点：CU 外特性与节拍信号】（填空）

组合逻辑 CU 的输入有三类：**、、；输出为**。节拍即____周期；本章举例采用____控制方式，一个机器周期含____个节拍，CPU 内部采用____方式结构。

解答：操作码译码输出（n 位操作码译码出 2^n 条线）；节拍发生器产生的节拍信号 T_0…T_n；标志；微操作命令信号（控制信号 C_0…C_n）（课件 p.499）。时钟；同步；3；非总线（课件 p.500–501）。评分要点：三类输入缺一不可；「节拍=时钟周期」「机器周期=若干节拍」关系 1 分。

题5【补充•考点：微操作节拍安排三原则】（简答）

写出安排微操作时序的三原则，并用其解释：① 为什么 (PC)+1→PC 能与 M(MAR)→MDR 同节拍？② 为什么 MDR→IR 与 OP(IR)→ID 能同节拍?

解答：三原则（课件 p.502）：① 微操作先后顺序不得随意更改；② 被控对象不同的微操作尽量安排在一个节拍内完成；③ 占用时间较短的微操作尽量安排在一个节拍内完成，并允许有先后顺序。 ① 两者被控对象分别为 PC 与 MDR，互不冲突，符合原则二，故同在 T_1（课件 p.503）。 ② 两者占用时间短，且允许先 MDR→IR、后 OP(IR)→ID 的先后顺序，符合原则三，故同在 T_2（课件 p.503）。 评分要点：三原则各 1 分；两例分别对应原则二、原则三各 1 分。

题6【补充•考点：中断周期与中断隐指令】（填空+简答）

(1) 填空：中断周期 T_0 的微操作为____、**，同时**；T_1 为____；T_2 为____、____。这些操作由____完成。 (2) 简答：为什么说中断隐指令不是指令系统中的指令?

解答：(1) 0→MAR；1→W；硬件关中断；PC→MDR；MDR→M(MAR)；向量地址→PC；中断隐指令（课件 p.507）。 (2) 中断隐指令没有操作码、不出现在程序中，是响应中断时由硬件自动完成的一组微操作（保存断点、关中断、形成服务程序入口），故不是指令系统中的指令（课件 p.507；「无操作码」表述为补充常识）。其作用是把断点 PC 存入 0 号单元并把向量地址送 PC，以便中断返回（补充常识）。

题7【补充•考点：微程序基本概念】（选择）

下列关于微程序的叙述中，正确的是（ ）。 A. 一条微指令即可完成一条机器指令的功能 B. 一条机器指令对应一个微程序，微程序由若干微指令组成 C. 微程序存放在主存储器中，与用户程序一起编址 D. 微程序的个数等于机器指令的条数

解答：选 B。 A 错：一条机器指令对应一个微程序（若干微指令），微指令只完成若干微操作（课件 p.516）。 B 对：课件 p.516 原文「一条机器指令对应一个微程序」。 C 错：微程序存入控制存储器（ROM），不在主存（课件 p.516、523）。 D 错：除每条机器指令的执行微程序外，还有公用的取指、间址、中断周期微程序，微程序数多于机器指令数（课件 p.517）。

题8【补充•考点：微程序控制器组成】（简答）

写出微程序控制单元中 CM、CMAR、CMDR、微地址形成部件、顺序逻辑的功能，并写出微指令的基本格式。

解答（课件 p.518）： - CM（控制存储器）：存放全部微程序，按微地址读出微指令，执行中只读不写（p.523）； - CMAR（微地址寄存器）：存放欲访问的微指令地址； - CMDR（微指令寄存器）：存放从 CM 读出的微指令，其操作控制字段发出控制信号； - 微地址形成部件：由机器指令操作码 OP(IR) 形成执行微程序的入口微地址； - 顺序逻辑：结合标志、CLK 与下地址/转移方式产生后续微地址送 CMAR。 微指令基本格式 = 操作控制字段 + 顺序控制字段（含下地址）。 评分要点：每部件 1 分；格式 1 分。注意与主存侧 MAR/MDR 区分（课件 p.518、521）。

题9【补充•考点：微指令编码方式】（计算）

某微指令需发出 24 个微操作命令。① 若采用直接编码，操作控制字段需多少位？② 若改为字段直接编码，分成 4 个互斥字段，各含 5、6、7、6 个命令，且约定每个字段用一个编码表示「不发任何命令」，操作控制字段需多少位？③ 比较两种方案的代价。

解答：① 直接编码一位一个命令：24 位（课件 p.524）。② 各字段状态数 = 命令数+1：6、7、8、7。位数 = $\lceil\log_2 6\rceil=3$（$2^2=4<6\le8=2^3$）、$\lceil\log_2 7\rceil=3$、$\lceil\log_2 8\rceil=3$、$\lceil\log_2 7\rceil=3$；合计 3×4=**12 位**。③ 字段直接编码把字长从 24 位缩到 12 位，但每段需译码，增加译码时间、微程序执行速度较慢（课件 p.525）；直接编码无需译码、速度最快但字长最长（课件 p.524）。 评分要点：①2 分；②每字段 1 分+合计 1 分；③2 分。「留空状态」按题设约定计算。

题10【补充•考点：微地址形成】（选择+简答）

(1) 下列哪项**不是**微指令后继地址的形成方式（ ）。 A. 微指令的下地址字段指出 B. 由机器指令的操作码经微地址形成部件形成 C. 增量计数器 (CMAR)+1→CMAR D. 由机器指令的地址码 Ad(IR) 直接给出 (2) 简答：哪两个微地址必须由硬件产生?

解答：(1) 选 D。A、B、C 均为课件 p.527 所列方式（另有分支转移、测试网络、硬件入口，p.528）；D 中 Ad(IR) 是操作数的主存地址，不是控存微地址，不能用作微地址。 (2) 第一条微指令地址（取指微程序入口）由专门硬件产生；中断周期微程序首地址由硬件产生（课件 p.528）。

题11【补充•考点：水平型与垂直型微指令】（简答）

列表比较水平型与垂直型微指令（至少 4 项），并指出哪种与机器指令差别大。

解答（课件 p.530–531）：

对比项	水平型	垂直型
并行操作能力	强，一次可定义并执行多个并行操作	弱，由微操作码规定功能
执行一条机器指令所需微指令数	少，速度快	多，速度慢
结构特点	微指令字长长、微程序短	微指令字长短、微程序长
与机器指令关系	差别大	类似机器指令操作码方式
编码	直接/字段直接/字段间接/混合	微操作码字段

水平型与机器指令差别大（课件 p.531 第 4 条）。评分要点：每行 1 分，结论 1 分。

题12【补充•考点：静态/动态微程序与毫微程序】（填空）

静态微程序采用____；动态微程序采用____，通过改变____和____来改变机器指令，有利于____。毫微程序设计是用____解释____；两级控存中第一级读出____型微指令，第二级读出____型微指令。

解答：ROM；EPROM；微指令；微程序；仿真；毫微程序；微程序；垂直；水平（课件 p.532–533）。评分要点：每空 0.5 分；注意毫微程序解释的对象是微程序而非机器指令。

题13【补充•考点：串行与并行微程序控制】（简答）

画出（或描述）串行与并行微程序控制中「取微指令」与「执行微指令」的时间关系，并说明并行方式的优点。

解答：串行：取第 i 条→执行第 i 条→取第 i+1 条→执行第 i+1 条，取与执行依次串行（课件 p.534）。并行：执行第 i 条微指令的同时取第 i+1 条微指令，执行第 i+1 条的同时取第 i+2 条，两段时间重叠（课件 p.534 时序图）。优点：取微指令的时间被执行时间掩盖，缩短微程序执行时间、提高速度。评分要点：两种时序各 2 分，优点 1 分。

题14【补充•考点：微指令字长计算】（计算）

某微程序控制器共有 30 个微操作、60 条微指令。① 采用直接编码时微指令字长至少多少位？② 若操作控制字段改用字段直接编码，分 5 个互斥字段、每字段 6 个命令（每字段留一个「不发命令」编码），下地址字段不变，字长至少多少位？

解答： ① 操作控制字段 ≥ 30 位；下地址字段 k：$2^5=32<60\le64=2^6$ → 6 位；字长 ≥ 30+6=**36 位**（口径同课件 p.542）。 ② 每字段状态数 6+1=7 → $\lceil\log_2 7\rceil=3$ 位；5 字段共 15 位；字长 ≥ 15+6=**21 位**。代价是增加译码时间（课件 p.525）。 评分要点：①操作控制 2 分、下地址 2 分、合计 1 分；②每字段位数 2 分、合计 1 分。

题15【补充•考点：硬布线 vs 微程序对比】（简答）

从实现方式、速度、可修改性、典型应用四方面比较硬布线控制器与微程序控制器，并说明各自适用场合。

解答：

对比项	硬布线	微程序
实现方式	组合逻辑网络（课件 p.515）	存储逻辑：控存+微程序（课件 p.516）
速度	快（课件 p.515）	较慢（需读控存，补充常识）
可修改性	庞杂、调试修改困难（课件 p.515）	改微程序即可，动态微程序利于仿真（课件 p.532）
典型应用	RISC（课件 p.515）	CISC（补充常识）

适用：追求速度、指令系统简单规整选硬布线；指令系统复杂、要求易扩充易仿真选微程序。评分要点：每行 1 分，适用场合 2 分。

题16【补充•考点：微程序设计综合•拔高】（综合设计）

基于课件举例（p.535–545）回答： (1) 若不省去 CMAR，取指微程序含几条微指令？全机微程序共几条微指令？(2) 省去 CMAR 后，LDA 执行微程序含几条微指令？其八进制微地址与下地址字段（二进制）各是什么？ (3) 优化

后下地址字段最少几位？为什么？ (4) 优化后每个执行微程序末条微指令的下地址字段为何值？含义是什么？

解答：(1) 取指 6 拍各占一条微指令 → **6 条**（课件 p.536）；全机 **38 条**（课件 p.541）。 (2) **3 条**：微地址 16（下地址 001111→17）、17（下地址 010000→20）、20（下地址 000000→00）（课件 p.545）。 (3) 优化后微指令 38−19=19 条；$2^4=16<19\le32=2^5$，故最少 **5 位**（课件 p.543）。 (4) 全 0（000000），即八进制 00——取指微程序入口地址，表示执行微程序结束后返回取指微程序（课件 p.545、p.519）。 评分要点：(1)2 分；(2)3 分；(3)2 分（含 $2^4<19\le2^5$ 的判断）；(4)2 分。