

AEDL 2026 秋季招新 信号类方向测试题

——求解线性常微分方程的模拟计算机

一、任务目标

利用通用运算放大器（LM324DR）及阻容元件，设计并制作一个求解下列实系数二阶线性常微分方程的模拟计算机系统：

$$\frac{d^2 u_o(t)}{dt^2} + 4 \times 10^4 u_o(t) = 3 \times 10^4 u_i(t)$$

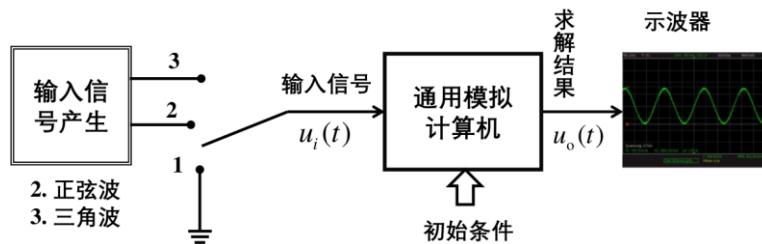


图1 求解微分方程的模拟计算机结构示意图

输入信号 $u_i(t)$ 为以下3种状态（可通过开关或跳线切换）：

- （1）零输入： $u_i(t) = 0$ ；
- （2）正弦波输入：角频率 $\omega = 600 \text{ rad/s}$ ，信号幅度峰峰值大于 2 V ，初相位不限；
- （3）三角波输入：与正弦波同频同相的对称三角波，信号幅度峰峰值大于 2 V 。

求解系统的初始状态条件设定为：

- （1）初始输出电压： $u_o(0) = 1 \text{ V}$ ；
- （2）初始输出导数： $\frac{du_o(0)}{dt} = 0 \text{ V/s}$ 。

器件限制：

- （1）运算放大器芯片：仅允许使用最多2片 LM324DR 四运放芯片（共8个运放单元）；
- （2）电阻、电容分立元件：数量及参数不限；
- （3）供电电源：采用 $\pm 5 \text{ V}$ 双极性直流稳压电源供电；
- （4）不得擅自增加其他 IC 芯片。

二、任务要求

1. 输入信号发生电路

（1）基于运放设计并实现正弦波与三角波发生电路，角频率 $\omega = 600 \text{ rad/s}$ ，幅度峰峰值大于 2 V ，波形平滑无严重失真；

(2) 三角波与正弦波应保持同频同相，预留独立测试端子。

2. 微分器与积分器单元电路

(1) 基于运算放大器分别构造微分器与积分器电路模块；

(2) 微分器与积分器功能须可单独测量验证，留出输入输出测试端子，输入 1 V/100 Hz 三角波或方波信号时，能正确实现微分与积分的波形变换。

3. 模拟计算机系统

(1) 将信号产生、微分器、积分器、反相求和器及初始条件设置电路连接组成解算系统；

(2) 系统开始计算时刻（时间 0 点）由开关或按键控制；

(3) 分别在 3 种输入信号下完成方程求解，求解结果 $u_o(t)$ 通过示波器进行观测和记录。

4. 扩展设计（可选）

在完成硬件指标的基础上，可进一步采用单片机（建议使用 STM32 系列芯片，推荐 STM32F103、STM32G474 等）ADC 实时采集输出信号，并通过屏幕显示输出信号的基本参数，包括频率、峰峰值、有效值、谐波失真度等数据

三、说明

(1) 制作与测试环境：实验室提供可调直流稳压电源、示波器、数字万用表、负载电阻及焊接工具；

(2) 初态控制：二阶方程初始条件可通过积分电容并联开关在初始时刻前复位释放，开关断开时刻即为 $t = 0$ 起始解算时刻；

(3) 测量规范：求解结果以示波器观测到的稳态与瞬态波形峰峰值、频率与波形特征为主要考查量；

(4) 设计报告：需提交设计报告（2~3 页），内容包含总体方案、电路原理图、元器件参数计算推导过程以及自测波形记录；

(5) 考查：验收时将结合实物提问电路工作原理、各级参数计算依据、环路稳定性以及调试中的排障方法。

(6) 独立完成原则：招新期间允许查阅公开技术资料与手册，但硬件作品须由本人独立焊接与调试。

四、参考设计

1. 理论求解结果提示

(1) 当 $u_i(t) = 0$ 时，齐次方程理论解为等幅正弦自由振荡：

$$u_o(t) = \cos(200t) \text{ V}$$

(2) 当 $u_i(t) = 2\cos(600t + \theta) \text{ V}$ 时，方程全解为：

$$u_o(t) = K\cos(200t - \varphi) + 0.1875\cos(600t + \theta) \text{ V}$$

其中待定系数由初始条件及参数决定，满足：

$$\tan\varphi = \frac{0.5625\sin\theta}{1 + 0.1875\cos\theta}, K = \frac{1 + 0.1875\cos\theta}{\cos\varphi}$$

2. 通用模拟计算机参考拓扑结构

对于一般的实系数二阶线性常微分方程：

$$\frac{d^2u_o(t)}{dt^2} + a_1 \frac{du_o(t)}{dt} + a_0 u_o(t) = b_1 \frac{du_i(t)}{dt} + b_0 u_i(t)$$

解此方程的通用模拟计算机结构参考如图 2 所示。利用积分、微分、比例及求和电路可实现微分方程求解，各积分常数及初始条件可在相应单元中分别配置。

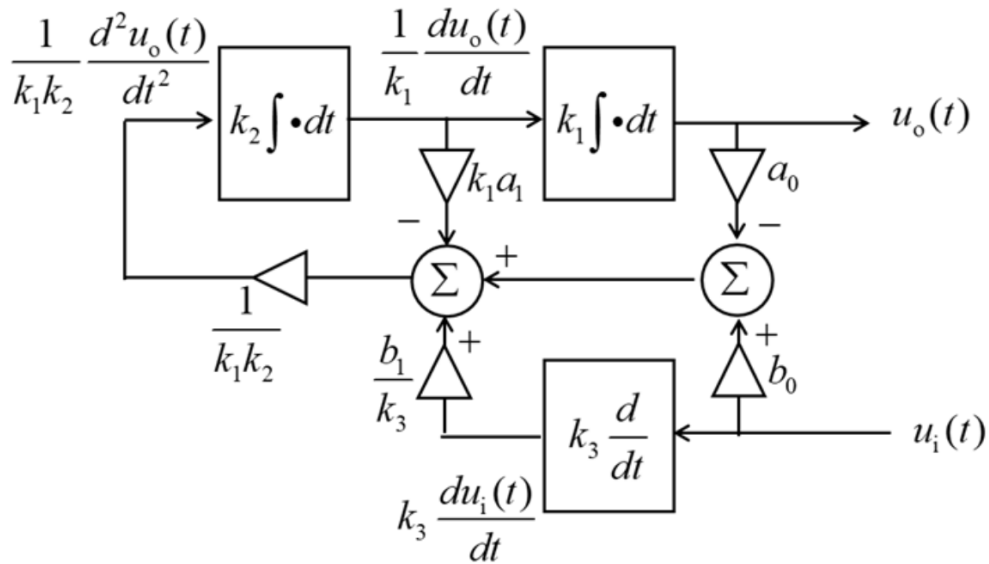


图 2 二阶微分方程求解的通用模拟计算机结构