



5.1 基础知识

含有非线性特性的系统,称为非线性系统。非线性系统的本质特点是叠加原理不成立,由于非线性因素的存在,出现了许多线性系统所没有的动态特点。对于非线性系统的分析和设计,通常有五类方法。其中,第一类方法是等效线性化,这是一种工程的近似分析方法;第二类方法是相平面或根轨迹分析方法。

1. 稳定性

线性系统的稳定性,只取决于系统的结构和参数,而与起始状态无关。

非线性系统的稳定性,除了与系统的结构、参数有关外,很重要的一点是与系统的起始偏离的大小密切相连。起始偏离小,系统可能稳定;起始偏离大,系统可能就不稳定。

2. 运动形式

线性系统动态过程的形式与起始偏离或外作用的大小无关。如果系统具有复数主导极点,则响应总是振荡形式的,绝不会出现非周期性的单调过程。非线性系统则不然,小偏离时单调变化,大偏离时很可能就出现振荡。非线性系统的动态响应不服从叠加原理。

3. 自振

非线性系统有可能发生自激振荡,又简称自振。自振是由系统内部产生的一种稳定的周期运动。非线性系统的自振不同于线性系统中临界时的等幅振荡状态。线性系统中的临界稳定只发生在结构参数的某种配合下,参数稍有变化,等幅振荡便不复存在,而非线性系统的自振却在一定范围内能长期存在,不会由于参数的一些变化而消失。

5.2 【实验十一】 典型非线性环节的模拟

5.2.1 实验目的

1. 熟悉典型非线性环节的模拟电路。
2. 掌握非线性特性及其测量方法。

5.2.2 实验设备

1. ELVIS II 实验平台
2. 自动控制原理基础实验板
3. Keysight InfiniiVision 2000X 系列示波器
4. FLUKE 12E 数字万用表

5.2.3 实验原理

图 5-1 为非线性特性的测量接线图。信号发生器的输出同时接到非线性环节的输入端和示波器的 X 轴,非线性环节的输出接至示波器的 Y 轴。这样在示波器 ($x-y$ 模式)上就能显示出相应的非线性特性。

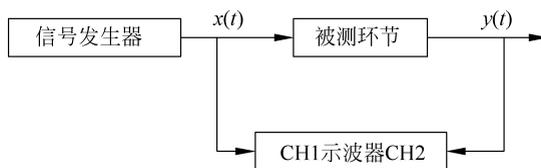


图 5-1 非线性特性的测量接线图

要测试的典型非线性特性有下列五种。

1. 继电器特性

实现继电器特性的模拟电路图与其特性曲线如图 5-2 所示。调节两只电位器的滑动端,就可调节输出的限幅值 M 。

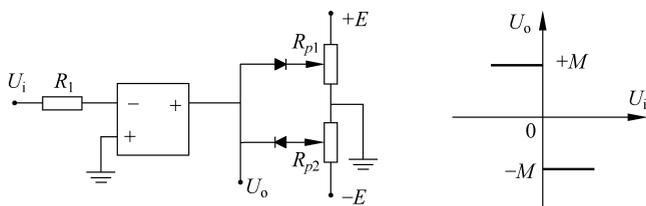


图 5-2 继电器特性的模拟电路图及特性曲线

2. 饱和特性

实现饱和非线性特性的模拟电路图和特性曲线如图 5-3 所示。它的数学表达式为：

$$U_o = \begin{cases} \pm U_i R_2 / R_1 & (|U_i| \leq |U_{i0}|, \tan\theta = R_2 / R_1) \\ \pm M & (|U_i| > |U_{i0}|) \end{cases}$$

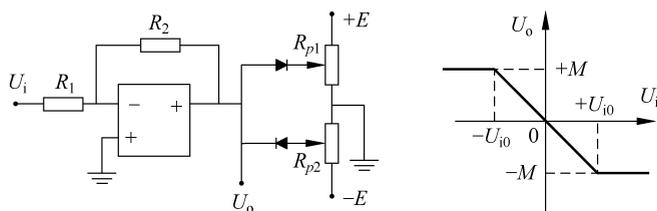


图 5-3 饱和非线性特性的模拟电路图和特性曲线

3. 死区特性

实现死区非线性特性的模拟电路图和特性曲线如图 5-4 所示。它的数学表达式为：

$$U_o = \begin{cases} 0 & (|U_i| \leq |U_{i0}|) \\ -K(U_i - U_{i0} \text{Sgn}U_i) & (|U_i| > |U_{i0}|) \end{cases}$$

当 $|U_i| \leq aE/(1-a)$ 时, $K=0$; 当 $|U_i| > aE/(1-a)$ 时, $K = -(1-a)R_2/R_1$, $\tan\theta = (1-a)R_2/R_1$ 。式中, U_{i0} , θ 和 K 为死区非线性的主要特征参数。改变电位器的分位值 a , 就能改变 θ 和 K 。

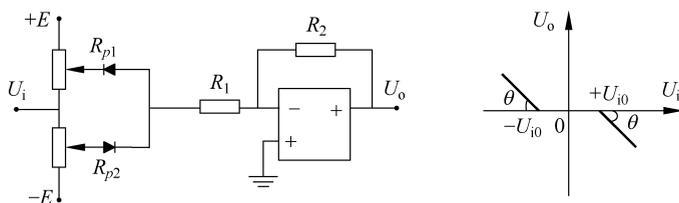


图 5-4 死区非线性特性的模拟电路图和特性曲线

4. 回环非线性特性

实现回环非线性特性的模拟电路图和特性曲线如图 5-5 所示。它的数学表达式为：

$$U_o = \frac{C_2}{C_1} (1-a)(U_i \pm U_{i0})$$

$$\theta = \arctan[(1-a)C_2/C_1]$$

式中, $U_{i0} = aE / (1 - a)$, 由上式可见, 只要改变参数 C_1, C_2 和电位器的分位值 a , 就能改变特性的夹角 θ 。

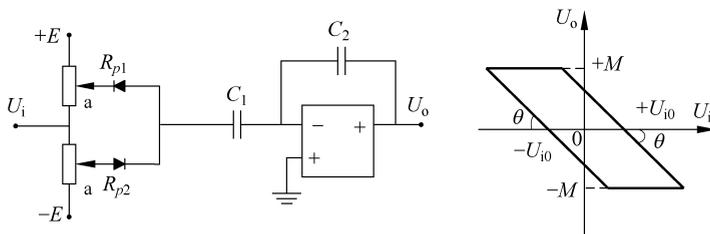


图 5-5 回环非线性特性的模拟电路图和特性曲线

5. 带回环的继电器特性

实现带回环继电器特性的模拟电路图和特性曲线如图 5-6 所示。运算放大器需接成正反馈, 其反馈系数为 $K = R_1 / (R_1 + R_2)$ 。显然, R_2 越小, 正反馈的系数 K 越大, 说明正反馈越强。环宽的电压 U_{i0} 与输出限幅电压 M 和反馈系数 K 有关, 其关系为 $U_{i0} = KM$ 。

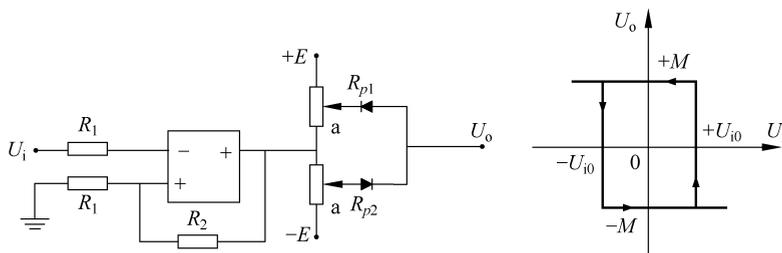


图 5-6 带回环继电器特性的模拟电路图和特性曲线

5.2.4 实验内容

1. 仿真实验

登录信息学院网络化实验课程平台进入自动控制原理虚拟仿真实验课程, 选择非线性环节实验, 通过仿真实验观察上述 5 种非线性特性的波形及仿真电路。

2. 硬件实验

根据各典型环节设计相应的模拟电路。用示波器(X-Y 模式)记录其非线性特性曲线, 调节相关参数, 观察它们对非线性特性的影响。