

关于饱和和非线性特性仿真的商榷*

童明俊

(重庆建工学院)

在面向结构图的离散相似法数字仿真中,当饱和和非线性特性位于线性环节之后时,若将参[1]提出的饱和和非线性特性仿真子程序应用到控制系统仿真的主程序中,常常会出现不正常的剧烈振荡,与实际系统的情况完全不相符合。本文对此问题进行了研究,分析了产生振荡的原因,在此基础上,对参[1]提出的饱和和非线性特性仿真子程序进行了修改,并将修改后的子程序应用到控制系统仿真的主程序中,获得了满意的结果。

饱和和非线性特性的输入-输出特性如图1所示,它在控制系统中应用十分广泛。在控制系统中,一般调节器的输出总要有限幅,这种带有限幅的调节器,实际上就相当于一个线性调节器后面再附加一个饱和非线性特性。因此,对饱和非线性特性进行仿真,具有十分重要的意义。

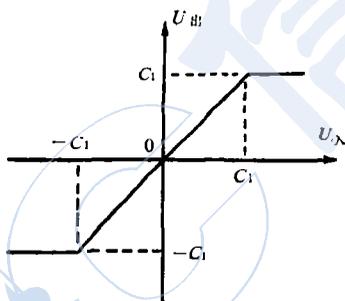


图 1

参[1]中给出了饱和和非线性特性的仿真程序框图和用BASIC语言编写的仿真子程序。这个子程序简单,明瞭,而且考虑了广泛的通用性,无疑是十分有用的,本文不必赘述。在将饱和非线性特性仿真子程序应用到控制系统仿真的主程序中时,参[1]又根据饱和非线性特性在控制系统中位置的不同进行了两种不同的处理。当饱和非线性特性位于线性环节之前

时,对该线性环节的输入进行修正;当饱和和非线性特性位于线性环节之后时,则对该线性环节的输出进行修正。如前所述,这种饱和非线性特性位于线性环节之后的情况更为普遍,因而更具有重要性。

在控制系统的数字仿真中,为了改变参数方便,并便于处理控制系统中常常包含的非线性特性,一般采用面向结构图的离散相似法数字仿真。在这种仿真方法中,只将线性环节作为基本环节,且各个线性环节均采用统一的典型传函 $(C + DS)/(A + BS)$,而非线性特性并不作为基本环节,它只对相应线性环节的输入或输出进行修正。在进行每步计算时,大体步骤如下: 1) 根据各环节本步的输出 $Y[I]$, 通过连接矩阵 $P[I, J]$ 求出各环节本步的输入 $U[I]$, 若某线性环节前含有非线性特性,则根据非线性特性对该线性环节的输入 $U[I]$ 进行修正; 2) 根据各环节相邻两步的输入 $U[I]$ 和 $W[I]$, 求出各环节输入量的变化率 $\dot{U}[I]$; 3) 根据各环节本步的状态量 $X[I]$ 、输入量 $U[I]$ 及 $\dot{U}[I]$ 的变化率 $\dot{U}[I]$, 通过离散状态方程, 求出各环节下一步的状态量 $X[I]$; 4) 根据各环节下一步的状态量及输入量, 通过输出方程求各环节下一步的输出 $Y[I]$, 若某线性环节后含有非线性特性, 再根据非线性特性对该线性环节的输出进行修正。

根据上述仿真步骤, 当线性环节前出现饱和和非线性特性时, 只对该环节的输入 $U[I]$ 进行修正, 是完全正确的。但是, 当线性环节后出现饱和和非线性特性时, 若只对其输出 $Y[I]$ 进行修正, 而不同时对其状态量 $X[I]$ 进行相应修

* 收到本文的时间是1985年2月12日。

正, 则是不完全的, 因而是错误的。这是因为, 状态量 $X(I)$ 是在计算中引入的辅助变量, 输出量 $Y(I)$ 总是根据状态量 $X(I)$ 和输入量 $U(I)$ 通过输出方程进行计算的。对于积分环节或惯性环节, 输出量 $Y(I)$ 就等于状态量 $X(I)$ 。对于比例-积分环节或比例-惯性环节, 输出量 $Y(I)$ 与状态量 $X(I)$ 也有着直接的密切关系。当线性环节后含有饱和和非线性特性时, 若输出量 $Y(I)$ 达到限幅值后只对 $Y(I)$ 进行修正, 而不同时对 $X(I)$ 进行相应修正, 则 $X(I)$ 的绝对值势必会继续增长, 在 $Y(I)$ 应开始退饱和和时, $X(I)$ 的绝对值可能已增大到很大的数值。由于 $X(I)$ 不可能立即下降, 致使通过状态量 $X(I)$ 计算出的输出量 $Y(I)$ 仍然在较长时间内超过限幅值, 始终处于饱和状态, 即 $Y(I)$ 迟迟不能退出饱和。这样, 相当于在饱和非线性特性后人为地增加了一个纯滞后环节(饱和程度越深, 滞后时间越长), 因此, 在 $Y(I)$ 开始退饱和和时又常常产生不正常的剧烈振荡, 与实际系统完全不相符合。

由此可见, 当饱和非线性特性位于线性环节之后时, 只对 $Y(I)$ 进行修正是不够的, 还必须对 $X(I)$ 进行相应修正。修改后的饱和非线性特性仿真程序框图如图2所示, 用BASIC语言

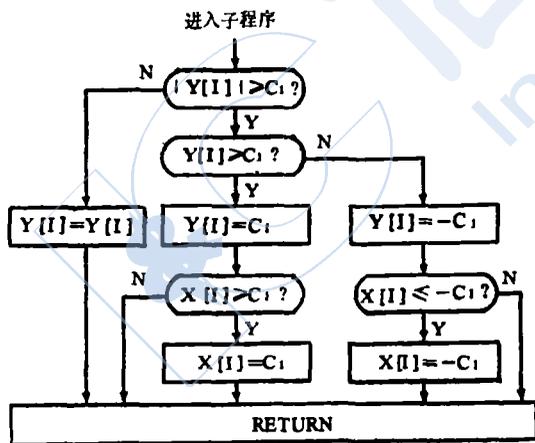


图2 饱和非线性特性仿真程序框图

编写的仿真子程序如下:

```

600 IF ABS(Y(I)) >= C1 GOTO 606
602 LET Y(I) = Y(I)
    
```

```

604 GOTO 630
606 IF Y(I) >= C1 GOTO 618
608 LET Y(I) = -C1
610 IF X(I) <= -C1 GOTO 614
612 GOTO 630
614 LET X(I) = -C1
616 GOTO 630
618 LET Y(I) = C1
620 IF X(I) >= C1 GOTO 624
622 GOTO 630
624 LET X(I) = C1
630 RETURN
    
```

本文作者分别将修改前、后的饱和非线性特性仿真子程序应用到控制系统仿真的主程序中, 研究了错位选触无环流系统在额定转速 $n_{de} = 1500$ 转/分下突加给定空载起动(假定空载时负载电流 $I_L = 0.15 I_{de} = 0.975A$)时的动态特性, 打印了转速和电流随时间变化的表格(为节省篇幅和便于观察, 文中只给出了根据计算机打印结果在座标纸上描点绘出的曲线, 如图3所示。图3中同时绘制了子程序修改前、

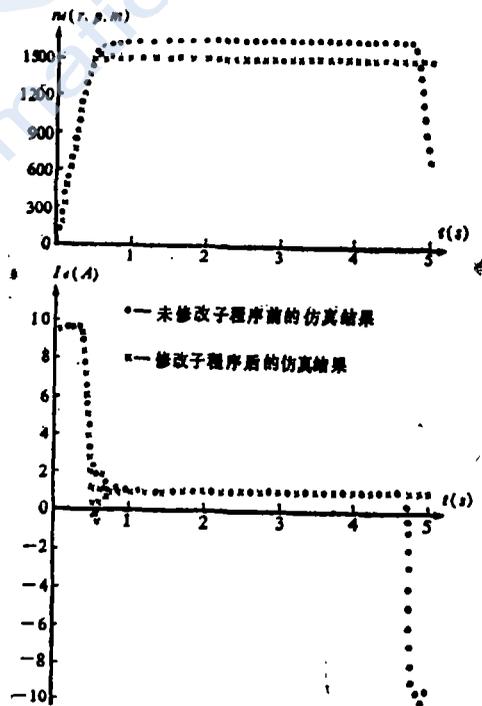


图3

表 1

仿真结果		调节器开始	调节器输入量	状态量达到的	调节器开始退	调节器退饱和	调节器退饱和
调节器名称	子程序修改前,后	饱和的时刻	反号的时刻	最大值	饱和的时刻	滞后的时间	后系统的情况
速度调节器 ST	修改前	0.003秒	0.48秒	146.05	2.82秒	2.34秒	系统产生剧烈振荡 系统仅有正常的 轻微波动
	修改后	0.003秒	0.48秒	1.0	0.48秒	0	
电流调节器 LT	修改前	0.35秒	3.84秒	153.35	4.74秒	0.9秒	系统产生剧烈振荡 系统仅有正常的 轻微波动
	修改后	0.36秒	0.53秒	1.0	0.53秒	0	
电压调节器 YT	修改前	起动过程中, YT始终未进入饱和					
	修改后	起动过程中, YT始终未进入饱和					

注: ST和LT为PI调节器, YT为大时间常数的惯性调节器。

后的仿真结果,以资比较)。同时,还打印了起动过程中各调节器(各调节器后均带有饱和和非线性特性。在系统参数计算中采用了相对值算法,各调节器的限幅值均为1.0)的输入量、状态量和输出量随时间变化的表格,其结果归纳于表1之中。

比较饱和和非线性特性仿真子程序修改前后的仿真结果,不难看出,当饱和非线性特性位于线性环节之后时,原子程序的仿真结果与实

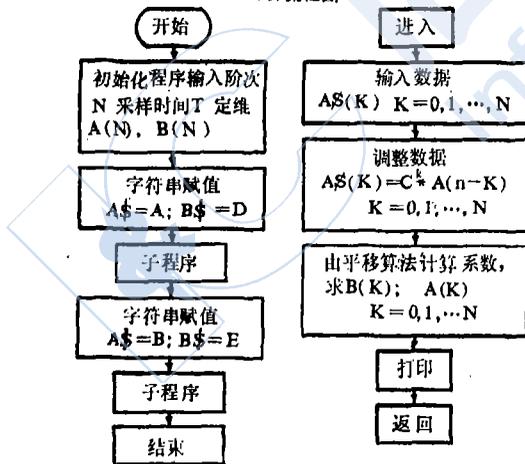
际系统的情况有明显区别,而子程序修改后的仿真结果与实际系统的情况基本相符合。因此当饱和非线性特性位于线性环节之后时,应该采用修改后的子程序对它进行仿真。

参 考 文 献

[1] 熊光楞,控制系统的数字仿真,清华大学出版社,1982。

(上接61页)

计算流程图



参 考 文 献

[1] 沈琪英、缪熙怡、宋安澜,信息与控制,第11卷,第4期,1982。
 [2] 斯坦利, W.D., 数字符号处理, 常编译, 1979。
 [3] 熊光楞,控制系统的数字仿真,清华大学出版社,1982。
 [4] 吴如松,实时数字模拟方法,自动化学报,第6卷,第2期,1980年4月。
 [5] 李友善,自动控制原理(下),国防工业出版社,p141。
 [6] 李师正,多项式代数,山东人民出版社,1981。