

电力机车控制系统的数字仿真研究

卢宝光 王佩之

(电气系)

摘 要

本文介绍电力机车控制系统的数学模型,及应用CSS仿真程序,将韶山三型电力机车控制系统的数字仿真模型在Apple机上进行仿真的研究过程。仿真所得结果与牵引性能非常一致,这就说明:应用数字仿真方法来解决某些非线性的问题很有效,且能提高精确性和可信性,为我国的电力机车研制工作开辟了一条新途径。

一、引 言

我国现行的电力机车控制系统是采用串励牵引电动机的拖动控制系统,分析这类系统多是采用传递函数。串励牵引电动机的磁通、电感与电枢电流之间的关系是本质非线性的,把它当作线性环节处理显然欠妥,因此,分析所得结果往往与实际情况不符。根据这种理论设计、制造出的电力机车样机、经试验控制系统元件的参数常常要作较大的修改。结果使研制一种型号的电力机车周期长到十年左右。

上述情况与国家经济建设迫切要求铁路运输有一个较大发展是不相适应的。特别是我们已确定发展以电力机车为主的方针,缩短电力机车的研制周期,生产出优质产品便成了迫切的研究课题。采用数字仿真技术即可弥补传统分析法的不足,又可提高精确性和可信性。我们选择真实的韶山三型电力机车控制系统来进行数字仿真,目的是:

1. 解决串励牵引电动机的数学模型问题。
2. 验证控制系统实际参数数据正确与否。
3. 证明数字仿真应用于电力机车研制工作的可信性。

下面就串励牵引电动机模型的仿真结构图、韶山三型电力机车牵引工况的仿真结果与现场数据比较进行介绍。

二、韶山三型 (SS3) 电力机车控制系统牵引工况的工作原理

本文于1985年11月12日收到

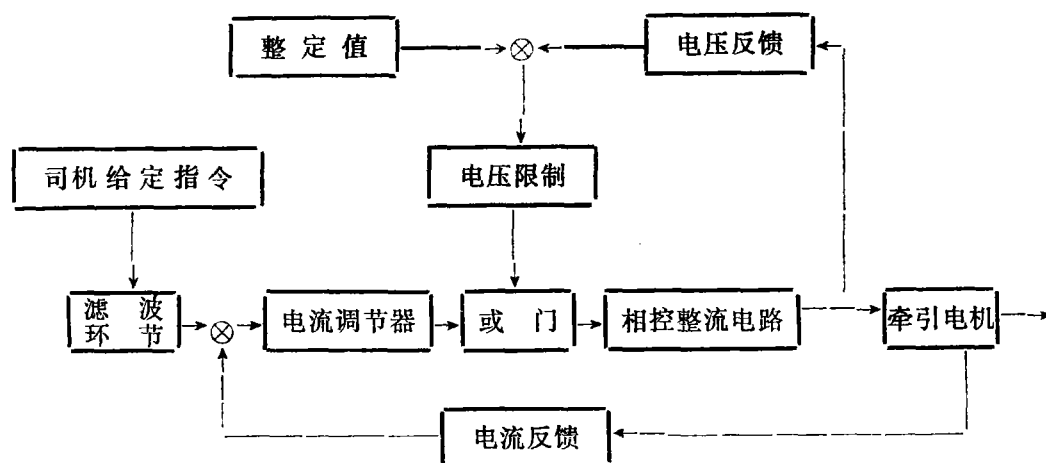


图1 牵引工况时SS3控制系统原理图

图1为韶山三型 (SS3) 电力机车控制系统的原理图 (牵引工况), 它只有恒流控制环和电压限制环。其作用简述如下: 牵引电机由可控硅级间 (8级) 调压装置供电, 该装置是调压开关与半控桥电路组合而成。在牵引运行工况下, 为充分利用粘着极限的作用, 要求起动、加速和运行过程中维持牵引电流恒值不变 (即恒流)。控制系统的恒流控制环, 在司机给定指令信号后, 通过直流电流互感器取得牵引电机的电流信号, 与给定信号比较, 若牵引电流小于给定电流信号, 则电流调节器输出量使晶闸管导通角逐渐增大, 满导通后, 调压开关到位, 再控导通角……直至达到给定值。相应地, 机车速度随之增大, 引起牵引电流下降, 电流调节器动作使电流始终保持恒值, 实现恒流控制。

此外, 为避免牵引电机产生过电压, 必须限制牵引电机电压不超过最大允许值 (1600V)。在电压限制环中, 当调压开关升到最高级位 (第8级) 时, 直流电压互感器取得电枢电压信号, 与设置的整定值比较, 若超过, 电压限制环节起作用, 调节晶闸管的导通角, 使电枢电压限制在1600V。

三、韶山三型电力机车控制系统的模型

上面原理当中, 除牵引电机外其它各环节的具体电路及元件参数, 在工作范围内, 它们都可以按线性环节处理, 数学模型可用传递函数描述。所以, 建立电力机车控制系统的模型, 关键在于建立牵引电动机模型。

串励脉流牵引电动机模型:

建立电力机车牵引电机的数学模型, 首先要将实际的主电路 (包括平波电感器) 变换为一台牵引电机的等效单机拖动系统, 如图2所示。同时还要计入牵引电机拖动的整个列车。

1. 串励脉流牵引电机的数学模型专业教科书用传递函数表示, 即将牵引电机线性化处理。

在恒流起动时, 表示为

$$\frac{I(s)}{U(s) - E(s)} = \frac{1/R}{1 + T_L s}$$

式中 $T_L = \frac{L}{R}$, L 、 R 分别为总

电感和总电阻。

在恒速调节时, 表示为

$$\frac{V(s)}{U(s)} = \frac{V'/C'_v}{T_m s(1 + T_L s)}$$

$$T_m > T_L$$

式中 $C'_v = C_v \Phi$, $T_L = L/R$,

$$T_m = \frac{R M}{C'_F C'_v}, \text{ 它们都是与磁通 } \Phi$$

和电感 L 有关, 而计算时均按线性化处理。这对于串励脉流牵引电机显然是不符合实际的。

2. 我们对串励脉流牵引电机用非线性微分方程描述如下:

牵引电机电枢回路电压方程

$$\frac{dI}{dt} = \frac{1}{L(I)} [U - \sum RI - C_v(I)V]$$

$$\sum R = 3R_p + R_a + R_h + \beta R_f$$

列车运动方程

$$\frac{dV}{dt} = \frac{\zeta}{G} (F - W)$$

式中 V —列车速度

ζ —加速度系数

G —列车重量

$F = G\Phi(I)I$ —列车牵引力

$W = W_0 + W_1$ —列车阻力。其中 W_0 为基本阻力, 它包括电力机车和货车 (或客车) 的基本阻力, 计算都按经验公式。而附加阻力 W_1 则包括坡道、弯道、起动、空气等附加阻力, 计算按铁道部颁标准。

串励牵引电机数学模型即为

$$\frac{dI}{dt} = \frac{I}{L(I)} [U - \sum RI - C_v \Phi(I)V]$$

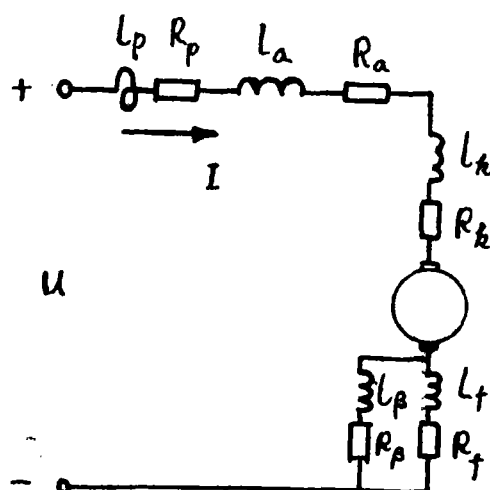


图2 等效牵引电机电路

$$\frac{dV}{dt} = \frac{\xi}{G} [C_F \Phi(I)I - W]$$

考虑到韶山三型串励脉流牵引电机的 $\Phi(I)$ 和 $L(I)$ 曲线已知,在仿真研究中,直接用函数块输入。于是,由上方程组可得其仿真结构图(图3)

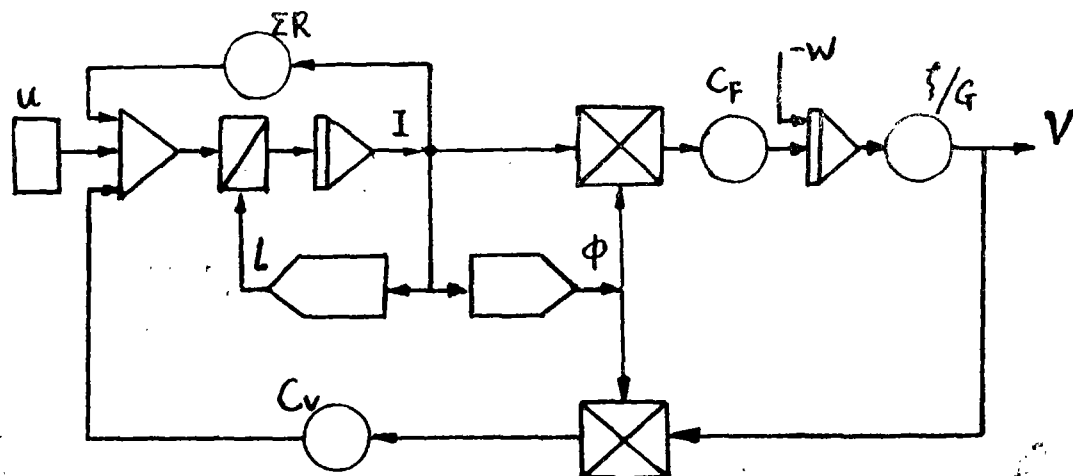


图3 SS3 牵引电机仿真结构图

其它环节的数学模型:

相控整流电路

$$G_1(s) = K_s / (1 + T_s S)$$

电流调节器

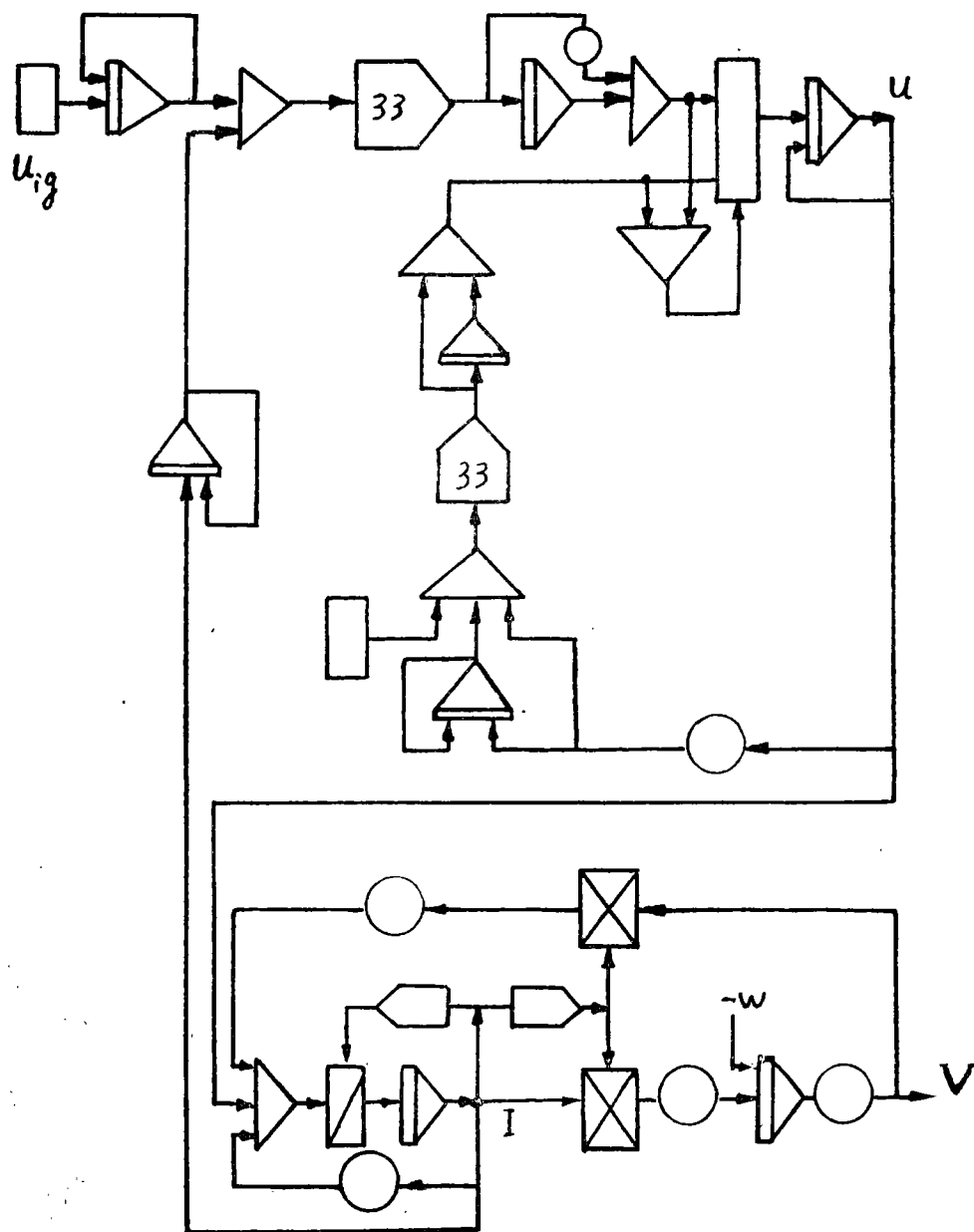
$$G_2(s) = \frac{K_i (T_i + 1)}{T_i S}$$

电流反馈环节

$$G_3(s) = \frac{K_{if}}{1 + T_{if} S}$$

滤波环节

$$G_4(s) = \frac{K_{il}}{1 + T_{il} S}$$

$$G_5(S) = \frac{K_{uf}(1 + T_{u_1} S)}{1 + T_{u_2} S} \quad T_{u_1} > T_{u_2}$$
$$G_8(S) = K_u (1 + K/S)$$


根据图1及各环节的数学描述,综合化简后可得牵引工况时SS3控制系统的仿真结构图(图4)。

四、SS3 控制系统的仿真结果分析

根据图 2、应用CSS仿真程序,在Apple—II型机上进行仿真,其结果分析如下:

1. 假设机车拖1800T的货车,且在平直道上运行,电源电压一次性给定,仿真结果,列车达到50公里/小时稳定运行时间为1分26秒。试验报告中,机车拖3500T的货车,在环行道上运行,列车达到60公里/小时稳定运行时间约为3分50秒(不撒沙)或3分(撒沙)。我们仿真假设轮不空转,这与撒沙情况相近,再计入环行道的附加阻力影响,仿真结果与现场报告很一致。证明所建模型正确,同时也验证了SS3控制系统满足恒流起动、限压控制的要求。

2. 根据专业教科书的数学模型进行仿真,其结果是发散的,意味着SS3电力机车不能稳定运行,显然不符合SS3机车控制系统的实际。究其原因就在于把串励牵引电机作线性化处理,这可说明如下:

SS3控制系统结构可简化成

图 5 所示的非线性控制系统图。

串励脉流牵引电机具有饱和特性,把它当线性环节时,引起其传递函数变化,结果使系统的

$G^*(j\omega) = \text{Re}G(j\omega) + j\omega \text{Im}G(j\omega)$

轨迹线不全在波波夫直线右侧,故系统变成不稳定的。

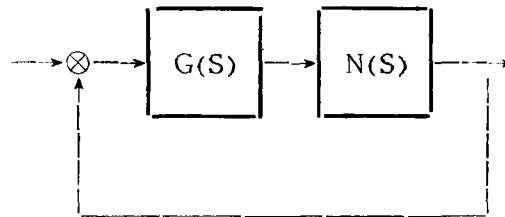


图 5 SS3 控制系统结构简化图

3. 所建立的SS3控制系统模型,可计入各种环境因素,分析它们对系统性能的影响。

4. 本课题研究表明:直接用函数块输入非线性函数的仿真方法,对解决某些类型的非线性问题是精确有效的。

结 束 语

本文建立的这个数学模型和数字仿真模型经实践检验是一个与实际运行性能一致的模型,但计入随机因素的模型描述还有待于进一步的研究。我们愿与同行共同努力,为开辟我国电力机车研制工作的新途径贡献力量。

本课题的研究曾得到吴品芳同志的大力支持,在此表示感谢!

参 考 文 献

- [1] 韶山大功率半导体电力机车交车文件 田心机车车辆厂
- [2] 韶山3型电力机车说明书(总体线路) 株洲电力机车工厂
- [3] 电传动机车控制 上海铁道学院等合编 铁道出版社
- [4] 自动控制系统 陈伯时主编 机械工业出版社
- [5] 控制系统计算机仿真毕业设计参考资料 东北工学院自控系编