

锁相控制技术在功率直流 传动系统中的应用

廖云龙 王治章
(天水电气传动研究所)

摘 要

本文介绍已用于某厂流速仪检定车电控系统之一部分。这个系统主回路采用可控硅三相全桥交叉联结供电；控制回路为环流可控并具有电流内环、速度外环和鉴频鉴相的三环结构，同时控制2台3千瓦或4台22千瓦直流电动机，带动10吨重的拖车，在0.01米/秒—10米/秒的车速中稳定工作。用锁相环作频率给定，把锁相调速用在中功率电机拖动，对于保证给定和反馈的准确性和再现性，扩大调速范围，改善动态品质，提高系统稳速精度，都具有明显效果，使调速范围达到1:2500，系统精度优于0.1%。

一、概 述

流速仪检定车（简称拖车），是检查标定各类流速仪及科研新仪器的标准检定设备。流速仪悬挂在车上，车子以各种稳定的速度牵引仪器在横断面均匀一致的静水长槽中作相对运动，如图1所示。拖车的车速直接模拟江河湖海中各种水流速度，因此，车速的稳定与准确直接影响水文仪器的检定质量。为适应各类仪器的不同需要，拖车应能提供各

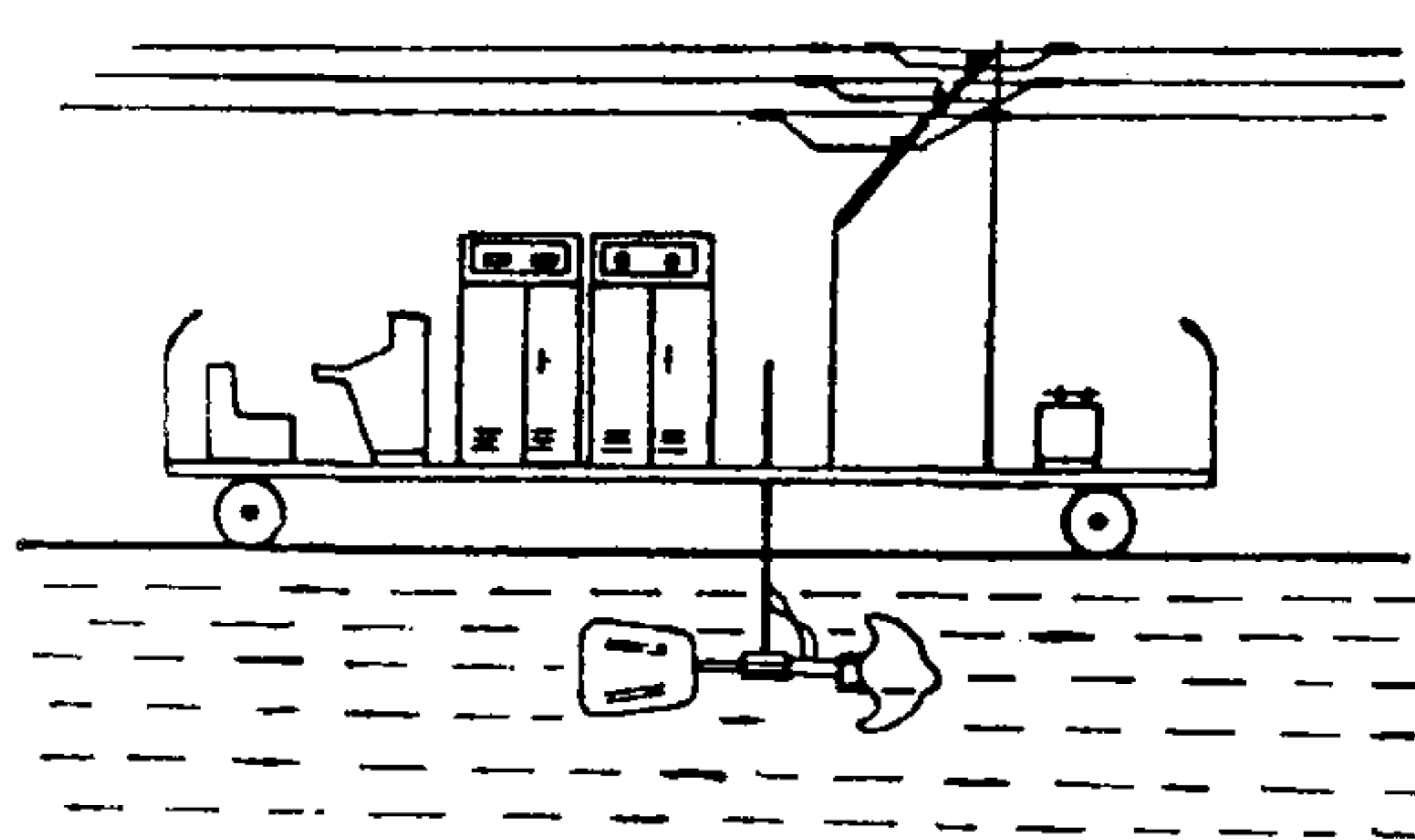


图1 车仪示意图

种车速。水槽长度有限，特别在拖车高速行驶时还需留有一定时间进行各种数据的采集，要求启制动过程越快越好。所以，拖车的传动系统是一个高精度、宽调速、高动态品质的

稳速系统.

二、系统的组成及原理

控制系统原理框图如图 2 所示.

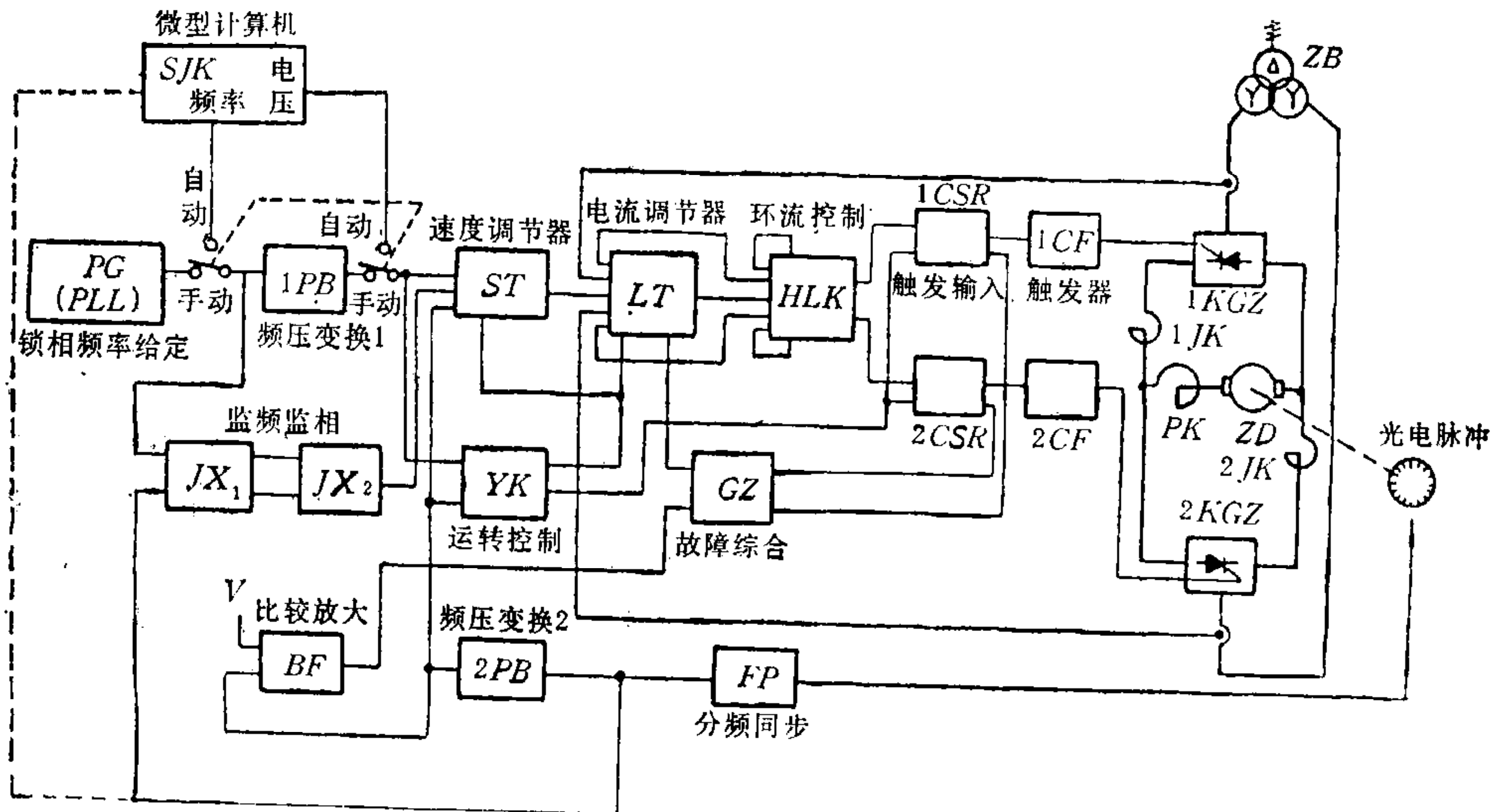


图 2 系统原理方框图

这是一个数字-模拟复合系统,取数字系统精度高、模拟系统动特性好的优点而构成.

用光电脉冲转换器和频率电压变换器代替测速发电机作速度反馈,保留了原双闭环可逆系统的结构.再用锁相环构成基准频率给定,并把电机反馈的频率引入鉴频鉴相单元进行比相,得到一个与频相差成正比的电压.将这一差值电压送到速度调节器中进行信号综合,不断修正转速误差,使电机转速紧紧跟随给定值,实现锁相调速.下面介绍几个主要环节.

1. 数字积分式锁相频率给定单元

一个高精度稳速系统,必须有一个高稳定度的给定,此处采用单片锁相环(5G4046)构成,见图3.根据文献[1]得到 $f_0 = Nf_i$.当 N 由某一个最小数变到最大(例如 $1 \rightarrow 999$)时,就可得到 1000 个不同的 f_0 输出,其稳定度与石英晶振相当.

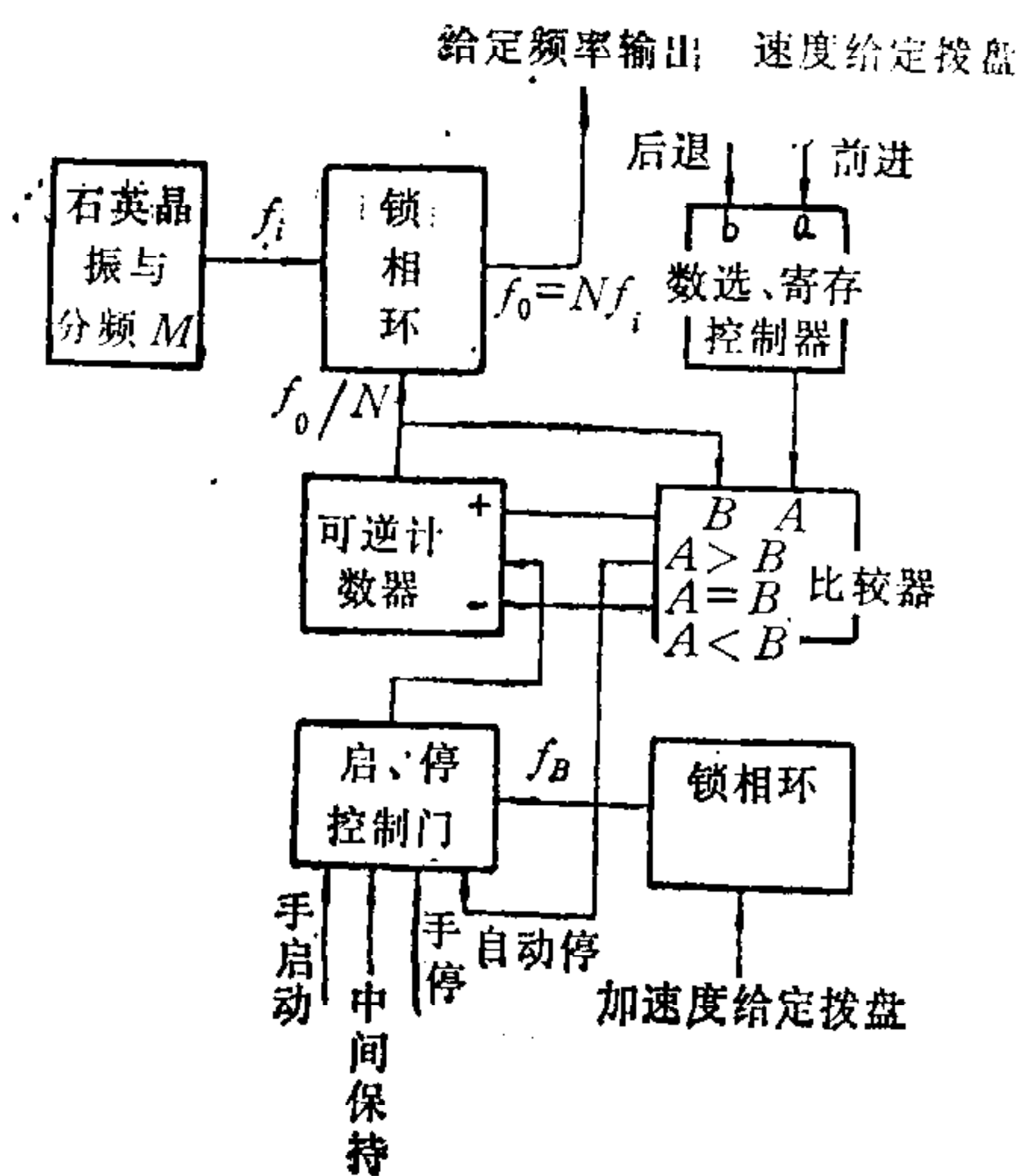


图 3 数字积分式锁相频率给定单元框图

加速度控制与速度给定是通过给定拨盘实现的,由锁相环组成的加减速给定积分器受两位数码拨盘控制,斜率可调范围是 $0.01g \sim 0.99g$.

2. 伏秒积分式频率电压变换单元

它是本系统中一个重要单元,其作用是将给定或反馈的频率量转换成按一定比例的电压量。对它的要求是转换时间快,纹波小,线性度和稳定度高。由于线路采用精密稳压管和桥式温度补偿稳幅,用 500 千赫石英晶振分频计数法定宽,用纹波对消法进行滤波,用高运放进行放大等措施,该单元的变换线性度和稳定度均在 0.05—0.005% 之内,纹波很小,从而满足了系统给定和反馈的变换需要。

3. 数字式鉴频鉴相单元

它是锁相调速的关键环节,使系统被控信号的相位与基准相位同步。通常的鉴频器与鉴相器是独立部件。这里设计的单元是既能按鉴频方式工作,又能按鉴相方式工作的一种线路,具有鉴频范围宽,线性鉴相区大等优点,原理框图见图 4。

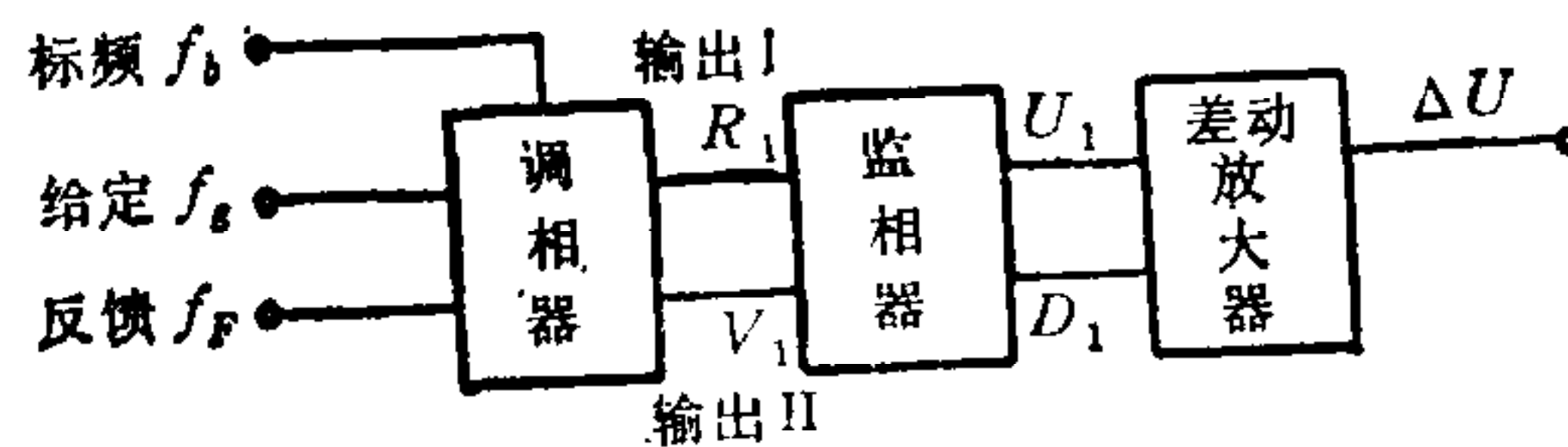


图 4 鉴频鉴相原理框图

调相器实际上是一个脉冲信号相加器和一个 N 分频器相串联,其目的是扩大调相范围,实现快捕。鉴相器是采用 ST002 九个与非门组成的边沿触发鉴相器,它具有对称性和频相鉴别能力,锁相工作区间为 $\pm 2\pi$ 。差动放大器是一个线性运算放大器,工作于差动输入状态,目的是进行差值放大和极性转换。

三、系统分析与计算

鉴于拖车是车上控制,操作试验均在车上,拖车靠钢轮在钢轨上行驶,启动最大加速度受钢轮和钢轨摩擦系数的限制,一般在 $0.1g$ — $0.12g$ 之间;而人在车上工作最好的感觉加速度是 $0.08g$ 。所以希望车子有斜率控制器,要求启停平稳,无超调,调节要快。

设计的主导思想是:启制动过程由电流、速度双闭环来完成,待启动以后锁相控制才投入。这样,既可充分发挥双闭环模拟系统动态特性好的优势,又避免因锁相介入造成超调振荡。实践证明,这种控制方案是有效的。

根据图 2 系统原理框图,得其动态结构图如图 5。将频压变换器和鉴频鉴相器当作小惯性环节处理,就可使本属高阶的系统降为三阶系统进行参数计算。电流闭环采用并联校正,按三阶最佳匹配 PI 参数。

对于速度环,系统希望启停平稳,无超调,动态调整时间快,对外扰能即时校正。为此除给定的速度有斜率限制外,速度闭环按干扰最佳用 PI 进行并联校正。在速度反馈回路中附加一路速度微分反馈,它对反超调的效果特别明显。参数匹配得当,系统可做到既无超调,反应又快,给定无需滤波。根据文献[2],当系统放大倍数 $B = 4.5$ 时,几种品质指标均优于工程电子最佳,所以按 $B = 4.5$ 进行计算。实际参数: $T_1 = R_1 C_1 = 285 \times 10^{-3}$ 秒, $T_2 = R_2 C_2 = 296 \times 10^{-3}$ 秒, $T_0 = C_2(R_0 + R_2) = 790 \times 10^{-3}$ 秒, $T_\mu = \frac{T_0}{4} =$

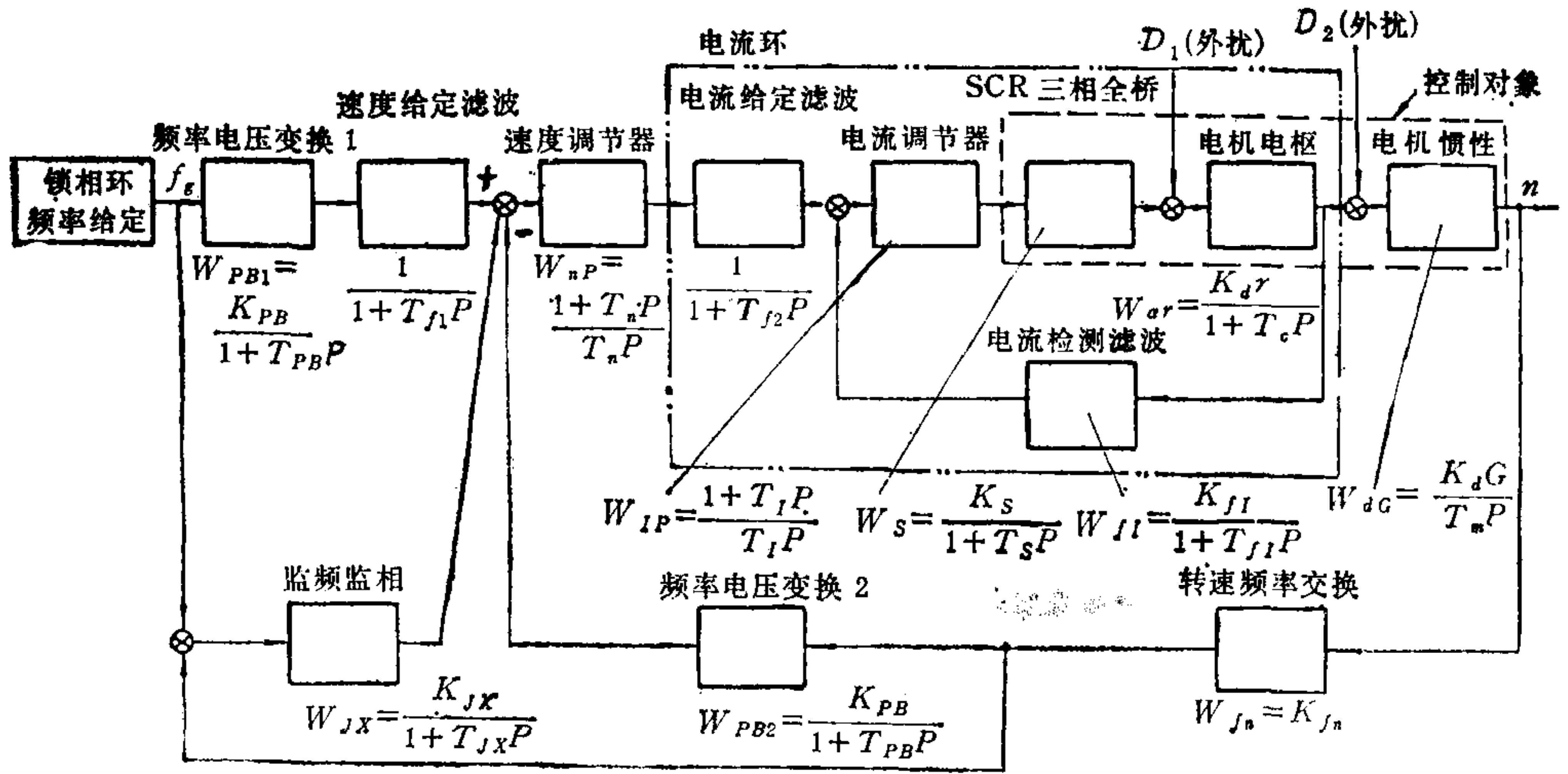


图5 系统动态结构图

197.5×10^{-3} 秒,超前时间常数 $b = \frac{T_2}{T_\mu} = \frac{296 \times 10^{-3}}{197 \times 10^{-3}} \approx 1.5$, 无超调的边界。

对于鉴频鉴相,无论相位是超前或者滞后,其线性鉴相区为 $\pm 2\pi$, 超过该值则为非线性鉴频区,保持极性电压峰值 $\pm U_m$ 。所以频相差电压为

$$U_d = \pm \frac{U_m}{2\pi} \cdot \Delta\theta, \quad (-2\pi \leq \Delta\theta = \theta_i - \theta_0 \leq +2\pi).$$

当相位差 $\Delta\theta = \pm 2\pi$ 时,差值电压 $U_d = \pm \frac{U_m}{2\pi} \cdot 2\pi = \pm U_m$ 。这个 $\pm U_m$ 必须充分重视,此值过大易造成系统超调甚至振荡,过小则调节太慢,也将使锁相时间增长。

四、现场运行情况

本系统 1985 年 6 月投入实际运行以来,每月平均检定各类流速仪千余架次,运行稳定可靠。运行实践表明系统设计方案是成功的,部分超过用户提出的技术指标。实际车速范围是 0.004—10 米/秒,静态稳速精度用数字测频仪测量反馈频率,按常规相对误差公式 $\delta = \pm \frac{f_{\max} - f_{\min}}{f_{\max} + f_{\min}} \times 100\%$ 进行计算,从低速到高速实际为 $\pm 0.5-0.01\%$ 。启停特性平稳,加减速给定方便,电流波形丰满,速度波形无超调。

实践证明,用锁相控制作频率给定,稳定性高,重复性好。用鉴频鉴相作锁相调速,调速范围宽,稳速精度高,低速性能好。在双闭环基础上加 CMOS 锁相控制,既可保持模拟系统良好的动态品质,又可获得数字系统较高的稳速精度。

锁相调速不仅适用于小功率电机,同样适用于中功率或较大功率的电机,也可用于原有双闭环系统欲提高精度的改造上。

参 考 文 献

- [1] 上海元件五厂 CMOS 电路编写组, CMOS 锁相环——5G4046, 1982 年。
[2] 张世义, 三阶系统时域分析, 电气传动自动化, 1984 年, 第一期。

THE APPLICATION OF PHASE-LOCKED TECHNIQUE TO MEDIUM POWER DC DRIVE SYSTEM

LIAO YUNLONG WANG ZHIZHANG

(Tianshui Electric Drive Research Institute)

ABSTRACT

In this paper, a portion of the electric control system in the examine trailer of the flow rate instrument for a plant is described. The main circuit of the system is directly supplied by 3 phase SCR bridge in cross-connection. The control circuit is of circulating controllable and possesses the three-loop structure, i.e., the speed loop, the current loop, and the monitor loop in phase and frequency. It can control 2 sets of 3 KW and 4 sets of 22 KW DC motor simultaneously and drive the 10-ton trailer to work stably at the speed of 0.01—10 m/s.

When using the phase-locked loop as frequency reference and the phase-locked speed control in medium power DC motor, apparent effects can be got to assure accuracy and repetition of the reference, widen the speed control range, improve the dynamic quality, and raise the stabilized accuracy. The accuracy of the system is superior to 0.1% and the speed control range can up to 1:2500.