

盒式录音机稳速电路的设计计算*

王 蓉

(郑州铁路局电视大学)

提 要: 在音响装置中, 磁带走速稳定与否直接关系到音质的好坏。目前国内外大多数录音机均采用电子稳速电路来保证带速的稳定, 故研究简单、实用的电路, 提高稳速指标很有必要。

本文通过一典型实例, 提出稳速电路的简便设计计算方法。并通过调试使设计电路的稳速指标达到国家等级标准 (转速误差 $\Delta n < \pm 1.5\%$, 瞬时抖晃率 $\Delta W < 0.3\%$)。所提出的设计计算方法可供设计与维修人员参考。

关键词: 录音机, 稳速电路

在录音、录像、电唱等音响装置中, 当电源电压及负载转矩变化时, 磁带走速是否稳定, 将直接关系到音质的好坏。因而控制与稳定转速是这类电器产品最基本的要求。

考核它们的稳定性能有两项重要指标: 瞬时抖晃率和转速误差。为提高这两项指标, 可以采用不同的稳速方法和稳速电路。国外普通盒式收录机大多数采用间接转速 (反电势) 取样的电子稳速电路, 因为它电路简单, 元件少, 成本低, 是生产制造厂家和维修, 使用人员所欢迎的。

目前, 国内大多数生产厂家都是运用进口机芯组装成各类音响装置, 缺乏直接生产这类产品的有关方面资料, 因而研究简单、实用的电子稳速电路, 提高国内产品稳速指标是很有必要的, 也是生产制造厂家及使用人员的愿望。另一方面对于大量使用的电器音响产品来说, 电机与元件都有一定的寿命。使用一段时间之后, 音质会有明显下降, 在故障修理与电机更换时, 往往需要重新设计计算稳速电路。

本文旨在运用国产元器件, 对稳速电路提出较简便可行的设计计算方法, 为稳速电路的研究做些有益的尝试。

1 稳速原理

1.1 稳速电路的控制系统

稳速系统是转速控制系统的一种, 为稳定转速, 需给定一个参考基准, 并取出反映转速的信号 (取样) 与之比较, 当转速偏离基准有误差时, 使调节器送出一个减小误差的反变化讯号给电动机。即为达到稳速的目的, 必须采用转速负反馈的闭环控制系统, 如图 1 所示:

* 收稿日期: 1992-01-15

转速取样的方式可有不同的形式, 其中采用间接模拟(反电势)取样的称为电子稳速。此方法结构简单, 成本低。故为大多数盒式收录机所采用。

1.2 电子稳速电路原理

当忽略永磁直流电动机电枢反应对磁通 Φ 的影响时, 即 Φ 为常数时, 直流电动机的电枢感应电势为:

$$E_m = C_e \Phi n \propto n \propto \omega \quad (1)$$

又 $\because E_m = V_m - I_m R_m$ 即 E_m 的变化反映在端电压 V_m 及电枢电阻压降 $I_m R_m$ 的差值中, 所以转速取样电压。

$$V_n \propto n \propto E_m = V_m - I_m R_m \quad (2)$$

从上式可看出: 转速负反馈电压应包含两部分:

$V_n \propto V_m$ 即稳速电路对 V_m 应为负反馈

$V_n \propto (-I_m R_m)$ 即稳速电路对 I_m 应为正反馈

也即, 如要保持转速稳定, 则需 $V_m - I_m R_m = \text{常数}$, 当转速 $n \downarrow$ 时, 要求 $V_m \uparrow$ 或 $I_m \downarrow$, 结果才能使 $n \uparrow$ 为原值。即从反馈的角度讲, 要求稳速电路具有电压 V_m 负反馈和电流 I_m 正反馈。其等效负反馈应符合式 (2)。因此电子稳速电路应是一个复合反馈直流放大器。如图 2。

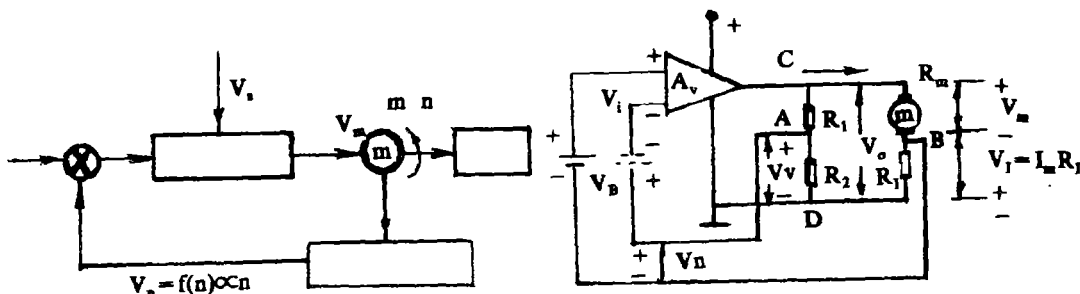


图1 稳定转速控制系统图

2 模拟转速取样稳速电路原理图

该电路具有单端输出, 双端差动输入(有对地共模讯号)的形式。

2 设计应用实例

2.1 给定技术条件:

已知电动机的额定数据:

$$V_{me} = 3.7(V) \quad I_{me} \leq 150(mA)$$

$$M_e = 10(g \cdot cm) \quad n_e = 2400(rpm)$$

$$K_M = \frac{M_o}{M_c} = 4.5 \quad R_m = 5.765(\Omega)$$

2.2 设计要求

① 稳速电路采用反电势取样方式

②电源电压 $V_s = 6(V)$ 电压使用范围 $\Delta = \pm 20\%$

③按国家等级录音机稳速指标设计: $\Delta n < \pm 1.5\%$, $\Delta W < \pm 0.3\%$

2.3 选用电路及说明

参照电子稳速的基本电路及国内常见的收录机中所用的 MABUCHI, SANYO (M2511) 等电路, 设计出一实用电路如图 3 所示:

① T_1 为 NPN 硅管, T_2 为 PNP 锗管, 两管组成异极性互补直接耦合放大电路。

②基准电压 V_B 由硅二极管 D_1 , D_2 和 T_1 管的 bc 结压降产生。

③ R_1 、 R_2 、 W 、 R_3 、 R_4 及电动机本身的 R_m 组成反电势转速取样网络, 电桥平衡时, A、B 两点之间的电压 V_m 将代表转速 n 。

④ R_6 接在 T_2 的 bc 之间, 可提高 I_c , 提高放大器的增益。

⑤ R_5 的作用是负补偿, 当 $V_s \downarrow$ 时, n 会略 \uparrow , R_5 有利于在低电压下起动, 直接加上 V_s 的分压。

⑥ R_7 、 R_8 、 D_3 、 D_4 组成隔离式起动电路。

⑦ L 、 C 组成低通滤波电路, 消除换向火花产生的高频干扰。

⑧ R_1 接在 T_1 管的上偏流电路中, 起温补作用, 可提高稳速精度。

2.4 电路参数的设计与计算:

初始假设流过 D_1 和流过 R_5 的电流相等, 即 $I_{D1} = I_{R5}$, 它们对电机支路无分流, 对电桥平衡无影响, 可不考虑。再按电动机额定状态参数计算。

2.4.1 求反电势 E_{mc}

已知 $V_{mc} = 3.7(V)$ $I_{mc} = 150(mA)$

$R_m = 5.765(\Omega)$ $n_c = 2400(rpm)$

$M_c = 10(g-cm)$

由 $E_m = V_m - I_m R_m$

得 $E_{mc} = 3.7 - 0.15 \times 5.765 = 2.84(V)$

2.4.2 确定基准电压 V_b

$V_b = V_{D1} + V_{D2} - V_{bc1} = 0.7 + 0.7 - 0.7 \approx 0.7(V)$

D_1 、 D_2 、 T_1 均选用硅管, 结压降 $\approx 0.7V$

2.4.3 确定取样电桥的分压比 η

假定放大电路的放大倍数 A_v 足够大, 则在额定转速时, $n = n_c$ (稳态) $V_n \approx V_b$ 。

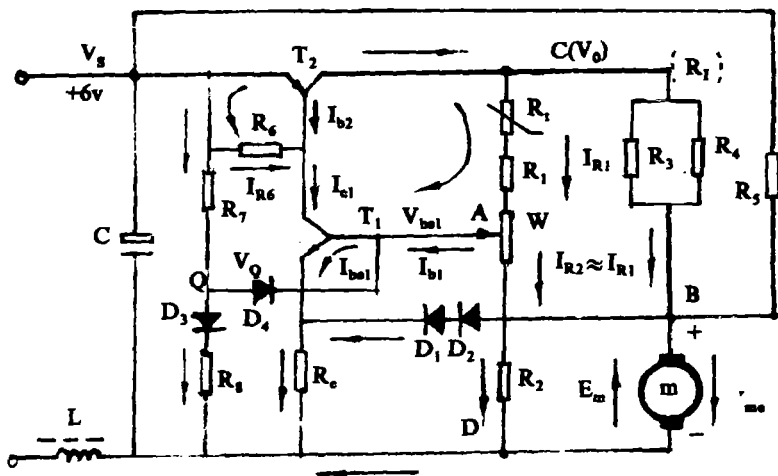


图 3 实用的稳速电路

反馈信号 $V_i = V_b - V_n = 0$

$$\therefore V_n = V_v - V_i = \left(\frac{R_1}{R_1 + R_2}\right)V_0 - \left(\frac{R_i}{R_i + R_m}\right)I_m(R_i + R_m)$$

$$= \eta(V_0 - I_m R_i - I_m R_m) = \eta(V_m - I_m R_m) = \eta E_m = \eta K_e n;$$

$$\therefore \eta E_m = V_n \approx V_b;$$

$$\text{即 } \eta \approx \frac{V_b}{E_m} = \frac{0.7}{2.84} = 0.244;$$

2.4.4 确定电阻 $R_i (R_3 \parallel R_4)$

$$\therefore \eta = \frac{R_i}{R_i + R_m}$$

$$\therefore R_i = \frac{\eta R_m}{1 - \eta} = \frac{0.244 \times 5.765}{1 - 0.244} = 1.86(\Omega)$$

2.4.5 选定三极管 T_1 、 T_2 ;

根据额定状态要求 $I_{mc} = 150(\text{mA})$

①假定流过 R_c 、 R_1 及 T_1 基极的电流很小, 则有 T_2 集电极电流 $I_{C2} \approx I_{mc} = 150(\text{mA})$
(实际应略大于 150mA)

②当电机堵转时, $I_{max} = (4 \sim 5)I_{mc} \approx 600\text{mA}$

则 T_2 最大允许电流 I_{cm2} 应 $\approx 600(\text{mA})$

现取 $I_{cm2} \approx 500\text{mA}$

③额定运行时, T_2 的管压降

$$V_{ce2} = V_s - (V_m - I_{mc} R_i) = 6 - (3.7 + 0.15 \times 1.86) \approx 2(\text{V})$$

④ T_2 管的功耗

$$P_{c2} = V_{ce2} I_{c2} = 2 \times 150 = 300(\text{mW})$$

考虑到 $V_s \uparrow$ 时及电机过载(堵转)时 $I_{C2} \uparrow$ 管耗会大大 \uparrow , 故应取 $P_{C2} > 2 \times 500 \approx 1(\text{W})$

采用 3AX83A 管(PNP 型锗管), 其参数:

$$P_{CM} = 800(\text{mW}) \quad I_{CM} = 500(\text{mA})$$

$$\beta = 190 \quad I_{c2c} = 150(\text{mA})$$

因选用的是处理管, P_{CM} 的指标略低。

⑤ T_2 的基极电流

$$I_{b2} = \frac{I_{c2}}{\beta} = \frac{150}{190} \approx 0.8(\text{mA})$$

⑥确定 T_1 管的 I_{C1}

I_{b2} 与 I_{R6} 由 I_{C1} 提供, 即 $I_{C1} = I_{b2} + I_{R6}$;

I_{C1} 大有利于提高放大器增益;

I_{C1} 大, V_{bc2} 一定大, 又使 $R_6 \downarrow$, 有可能使 $A_v \downarrow$;

故综合考虑取: $I_{C1} = 1.2(\text{mA})$

⑦ T_1 管管压降

$$V_{be1} = V_s - V_{be2} - (V_{me} - V_{D1} - V_{D2}) = 6 - 0.3 - (3.7 - 0.7 - 0.7) \approx 3.4(V)$$

其中 $V_{be2} \approx 0.3(V)$ (锗管)

⑤ T_1 管的功耗

$$P_{C1} = V_{C1} I_{C1} = 3.4 \times 1.2 = 4.08(mW)$$

由于 T_1 管的功率小, 故可选用小功率 NPN 型硅管, 本设计采用 3DG6, 其参数为:

$$P_{CM} = 100(mW) \quad I_{CM} = 20(mA) \quad \beta = 70$$

2.4.6 确定电阻 R_6

R_6 跨接在 T_1 的 bc 结

$$\because V_{R6} \approx V_{bc2} = 0.3(V)$$

$$\text{又 } I_{R6} = I_{C1} - I_{B2} = 1.2 - 0.8 = 0.4(mA)$$

$$\therefore R_6 = \frac{V_{R6}}{I_{R6}} = \frac{0.3}{0.4} = 0.75(K\Omega) = 750(\Omega)$$

2.4.7 选二极管 D_1 、 D_2

选用 2CK20C 型硅二极管, 特性曲线如图 4, 从图中看出, 当 $I_D = 10(mA)$ 时, $V_D \approx 0.7(V)$ 稳压性能较好, 故取 $I_D = 10(mA)$

最大允许电流, $I_{CM} = 50(mA)$

2.4.8 确定电阻 R_c :

$$\begin{aligned} V_{Rc} &= V_{mc} - V_{D1} - V_{D2} \\ &= 3.7 - 0.7 - 0.7 = 2.3(V) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} I_{Rc} &= I_{C1} + I_{D1} \\ &= 1.2 + 10 = 11.2(mA) \end{aligned}$$

$$\therefore R_c = \frac{V_{Rc}}{I_{Rc}} = \frac{2.3}{11.2} = 0.205(K\Omega) = 205(\Omega)$$

其中取 $I_{D1} = 10mA$

2.4.9 确定 R_1 、 R_1 、 W 、 R_2 支路的电阻:

① 先求出该支路的电压、电流(V_{C2} , I_{R1})

$I_{R1} = I_{B1} + I_{R2}$, 为使 I_{B1} 的分流作用不致影响 A 点电位, 应使 $I_{R1} \gg I_{B1}$, 即当 $I_{B1} \approx 0$ 时, 可忽略分流的影响。

$$\text{今取 } I_{R1} = (50-80)I_{B1} = 60I_{B1}$$

可满足 $I_{R1} \gg I_{B1}$

$$\because I_{B1} = \frac{I_{C1}}{\beta_1} = \frac{1.2}{70} = 0.017(mA)$$

$$\therefore I_{R1} = 60I_{B1} = 60 \times 0.017 \approx 1(mA)$$

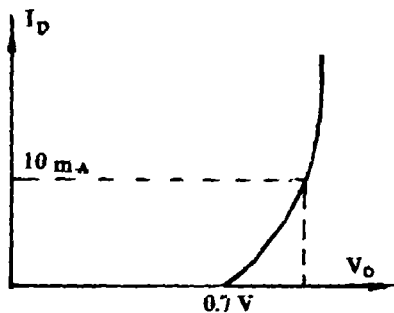


图 4 特性曲线

$$\text{又 } V_{C2} = V_{mc} + I_{mc} R_1 = 3.7 + 0.15 \times 186 \approx 4(V)$$

②该支路的总电阻 $\Sigma R = R_i + R_1 + R_w + R_2$

$$\Sigma R = R_i + R_1 + R_w + R_2 = \frac{V_{C2}}{I_{R1}} = \frac{4}{1} = 4(K\Omega)$$

③以 A 点为界, 设支路上半部总电阻为 R' , 下半部电阻为 R'' , 当电桥平衡时:

$$\frac{R'}{R' + R''} = \frac{R_i}{R_i + R_m} = \eta = 0.244$$

$$\therefore R' = (R' + R'')\eta = 4 \times 0.244 = 0.976 K\Omega$$

$$\therefore R'' = \Sigma R - R' = 4 - 0.976 = 3.024(K\Omega)$$

④选电位器 $W = 820(\Omega)$, 以电位的中心分界, (可以在较大的范围调节)

$$\text{则 } R_i + R_1 = R' - \frac{\overline{W}}{2} = 976 - \frac{820}{2} = 566\Omega$$

$$R_2 = R'' - \frac{\overline{W}}{2} = 3024 - \frac{820}{2} = 2614\Omega$$

⑤参照已知电路及文献资料, T_1 管采用硅晶体管, V_D 用二支硅二极管时, 要求 T_1 的温度系数: $dV_{be1p}/dT = (-3) \sim (-4) mV/^\circ C$

这样大的温度系数, 用硅三极管是难以实现的, 而可方便地选择热敏电阻来满足这一要求。

本设计选用 $R_i = 500\Omega$, 则 $R_1 = 60(\Omega)$

2.4.10 启动电路计算

采用隔离启动电路计算较为简便。

①选 D_3, D_4 为小电流硅二极管 2CK20C

②求取 Q 点的电压 V_Q :

对 Q 点电压的要求是:

$$V_Q > V_{D4} + V_{be1} = 0.7 + 0.7 = 1.4V$$

$$V_Q < V_{mc} - V_{D1} - V_{D2} + V_{be1} = 3.7 - 0.7 - 0.7 + 0.7 = 3V$$

$$\therefore \text{取 } V_Q = 1.4 \sim 3 \approx 2V$$

③求 R_7, R_8

在 R_7, R_8 支路中, 电流过小, 不利于电路启动, 电流过大时, 损耗增大, 一般取电流为 $(3 \sim 5mA)$, 本设计取 $I_{R7} = 4mA$

若忽去 I_{D4}

$$\text{则 } R_7 + R_8 \approx \frac{V_s - V_{D3}}{I_{R7}} = \frac{6 - 0.7}{4} = 1.325 (K\Omega)$$

$$\text{又 Q 点: } V_Q = V_s - \frac{R_7}{R_7 + R_8} (V_s - V_{D3}) = 2 (V)$$

联立解上两式:

$$R_7 = 1000(\Omega) \quad R_8 = 325(\Omega)$$

2.4.11 启动电阻 R_5 (隔离启动电路作电压补偿) 的选定。 R_5 的作用有以下几个:

①将电源电压的变化 ΔV_s 引入 A_v 的反相输入端 B 点, 当电源电压变化时, 将在输出端产生一个与 ΔV_s 极性相反的附加 ΔV_o ; 即使转速随电压的增加而减小(负补偿, 或反之, 且 R_5 愈小, 影响愈大, 可使稳速精度 \downarrow 。

②对电动机提供一启动电流, R_5 愈小, 给电动机提供的启动电流 I_Q 也愈大, (电压也愈高);

为 D_1 、 D_2 提供电流, 可减小 D_1 、 D_2 对 I_m 的分流, 由上述分析可看出, 通过计算确定 R_5 是困难的, 而通过实验来选定 R_5 较方便, 本设计经实验确定: $R_5 = 300 \sim 400(\Omega)$, 效果最好, 故选定 $R_5 \approx 300(\Omega)$

2.4.12 分析计算 R_5 及 D_1 、 D_2 对电桥的影响

$$\text{由于 } I_{R5} = \frac{(V_s - V_{me})}{R_5} = \frac{6 - 3.7}{300} = 0.0078(A) = 7.8(mA)$$

又经 D_1 、 D_2 的 $I_{D1} = 10(mA)$

则可知对电动机的分流为 $I_{D1} - I_{R5} = 10 - 7.8 = 2.2(mA)$

$$\text{而 } \left(\frac{I_{D1} - I_{R5}}{I_{me}} \right) \times 100\% = \frac{2.2}{150} \times 100\% = 1.5\%$$

即分流仅占 I_{me} 的 1.5%, 可忽略。

则说明 R_5 及 D_1 、 D_2 的分流对电桥的影响是很小的, 设计之初的原始假设是完全成立的。

2.4.13 选用滤波电路参数 L 及 C

在电源输入电路串联接 L 和 C 组成的低通滤波器, 主要用来减小电动机换向电势引起的刷下火花产生的高频交流干扰讯号, 防止这种干扰通过电源在收录音机中产生噪音。

参照已有电路取 $L = 10mH$, $C = 10\mu F$

表 1 本设计电路各元件设计值与实际值明细表

代号	计算值	实际值	代号	计算值	实际值
m	36WYL (52A)	$\begin{cases} V_{me} = 3.7V \\ I_{me} = 150mA \end{cases}$	R ₆	750Ω	750Ω
			R ₇	1000Ω	1KΩ
			R ₈	325Ω	320Ω
			W	820Ω	820Ω
T ₁	3DG6	$\begin{cases} P_{CM} = 100mw \\ I_{CM} = 20mA \\ \beta = 70 \end{cases}$	C		10μF
			L		10mh
			R _t		500Ω
T ₂	3AX83	$\begin{cases} P_{CM} = 500mw \\ I_{CM} = 500mA \\ \beta = 190 \end{cases}$	R ₁		60Ω
D ₁	2CK20C	$\begin{cases} I_{CM} = 50mA \\ I_D = 10mA \end{cases}$			
D ₂	"	"			
D ₃	"	"			
D ₄	"	"			
R ₃	2(Ω)	2Ω			
R ₄	26(Ω)	26Ω			
R ₃ // R ₄		1.886Ω			
R ₂	2614(Ω)	2600Ω			
R _e	205(Ω)	200Ω			
R ₅	300~400(Ω)	300Ω			

3 实 测

将组装, 调试好的稳速电路及电动机安装在录音机芯上, 实测时, 安装在一台“春雷牌”录音机上, (其原机芯电动机为日本 MABUCHI 内装式), 用标准磁带 (I=3000HZ) 进行测试, (在抖晃仪上实测), 得到两项指标: 转速误差 (Δn) 及抖晃率 (ΔW), 每 0.1 秒计数一次, 见表 2:

表 2

V _s (V)	6	7.5	4.5	3.5
Δn(%)	±1.16	±1.3	±1.46	±2.46
ΔW(%)	<0.15	<0.14	<0.14	<0.19

二级录音机稳速指标: Δn<±1.5%
ΔW<0.3%

4 结 论

按本文所述的方法设计计算稳速电路, 并利用国产元件组装稳速电路的方法是可行的, 稳速指标可以达到国家等级标准, 这在发展国产元器件, 逐步或完全取代进口机芯的应用方面提供了一点经验, 设计线路和方法可供维修及设计人员参考。

参 考 资 料

- (1) 康华光主编. 电子技术基础. 上册 高教出版社 1981
- (2) 王宗培. 微型永磁直流电动机. 第二册 四机部微电机科技情报网 1983

Design and Calculation of steady speed circuit of the Cassete recorder

Wang Rong

(Zhengzhou Railway Bureau Television University)

abstract: The sound quality of the sounder outfit bears on the stability of magnetic tape speed. All but a good many of cassette recorder on the world adopted the electronic circuit of steady speed, which assures stabilization of tape speed. Therefore, it is necessary to research the practical and simple circuit and to develop the function of steady speed.

This paper will go through a practical exemplar to points out the simple method of design and calculation of steady speed circuit. Through the measures and adjustment gained results of steady speed, which reached the National standard ($\Delta n\% < 1.5\%$, $\Delta W\% < 0.3\%$).

That is useful for the designer and repairmen.

Keywords: Cassete recorder. steady speed circuit.