

自控系统中反馈放大环节 传递函数分析

查世锦

(电工学教研室)

提 要

本文采用方块图变换的方法,以单级的反馈放大器为例,定量地分析了反馈放大器的性能,指出了每个类型的反馈放大器的性能均可用四种不同形式的传递函数来描述,并具体导出了各传递函数的表达式。可供从事分析计算和调试反馈控制系统的工程技术人员参考。

一. 引 言

在自动控制系统、模拟计算机以及测量装置中,反馈放大环节对系统的稳定性和对电路工作性能的改善均起重要的作用,因此需要我们对它的性能进行进一步的分析与探讨。

我们通常是用 A_R 、 A_V 、 A_G 和 A_I 分别表示电压并联、电压串联、电流串联和电流并联等四种基本类型反馈放大电路的传递函数,既对一种类型反馈放大电路只用一种传递函数来描述其性能,具有很大的局限性,不便于调试和测量系统的某些参量。例如采用并联反馈形式的

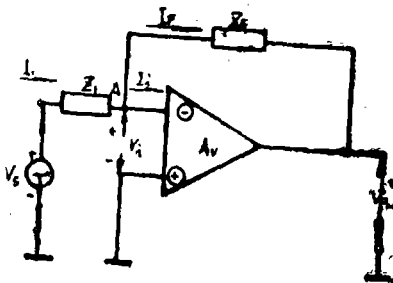


图 1

的运算放大器(见图1),在输入端本来是电流相减,但由于测量时经常使用 A_V 这个参量。这就说明了一种类型的反馈电路有必要用多种形式的传递函数来描述其性能才可以满足工程实际的需要。

二. 用方块图变换法分析反馈放大器的传递函数

1、电压并联反馈放大器(见图2)

为求出它的四个传递函数,我们将信号源等效为两种电源模型,分别画出微变等效电路(见图3和图4)。

根据图3所示各电量之间的关系,可求得互阻增益 $\dot{A}_R = \frac{\dot{V}_O}{\dot{I}_i}$ 和电流增益 $\dot{A}_I = \frac{\dot{I}_O}{\dot{I}_i}$ 的表达式。

根据图4所示各电量之间的关系,可求得电压增益 $\dot{A}_V = \frac{\dot{V}_O}{\dot{V}_i}$ 和互导增益 $\dot{A}_G = \frac{\dot{I}_O}{\dot{V}_i}$ 的表达式。

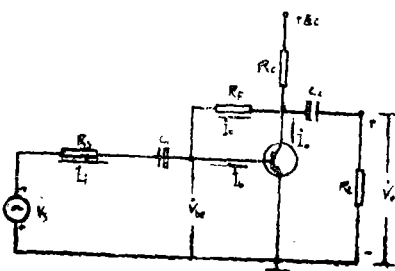


图 2

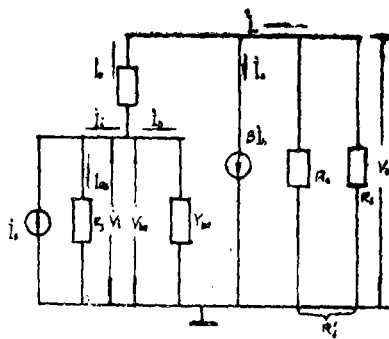


图 3

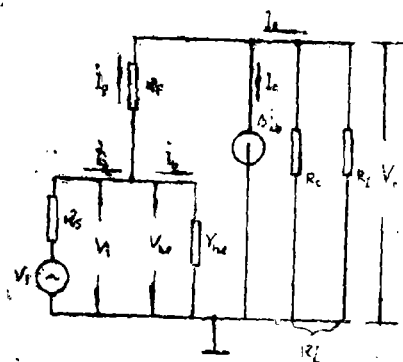


图 4

(1) 求 \dot{A}_R

由图3所标电量的正方向,可列电路方程组如下:

$$\dot{I}_i = \dot{I}_s - \dot{I}_{RS} \quad (\text{中其 } \dot{I}_{RS} = \frac{\dot{V}_{be}}{R_s} = \frac{\dot{I}_b r_{be}}{R_s})$$

$$\dot{I}_b = \dot{I}_i - \dot{I}_F \quad \dot{I}_C = \beta \dot{I}_b \quad \dot{I}_O = \dot{I}_C - \dot{I}_F$$

$$\dot{V}_O = -(\dot{R}_L' \dot{I}_O) \quad (\text{其中 } \dot{R}_L' = R_C \parallel R_L)$$

$$\dot{I}_F = \frac{\dot{V}_{be} - \dot{V}_O}{R_F} \approx -\frac{\dot{V}_O}{R_F}$$

根据方程组建立方块图(见图5)然后利用方块图变换的规则逐步化简,可得方块图的最终形式(见图6)。可见:

$$\dot{A}_R = \frac{\dot{V}_O}{\dot{I}_i} = -\frac{\beta R_L' R_F}{R_s' + R_F + \beta R_L'}$$

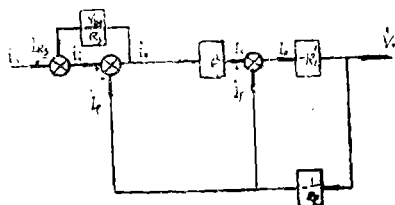


图 5

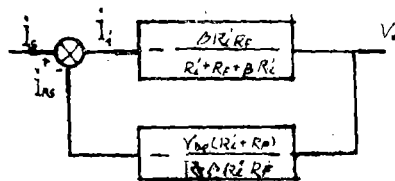


图 6

(2) 求 \dot{A}_I

根据图3所示各电流的关系—→列电路方程组—→建立方块图(见图7)—→简化方块图得其最终形式(见图8)。可见:

$$\dot{A}_I = \frac{\dot{V}_O}{\dot{I}_i} = \frac{\beta R_F}{R_F + R_L' + \beta R_L'}$$

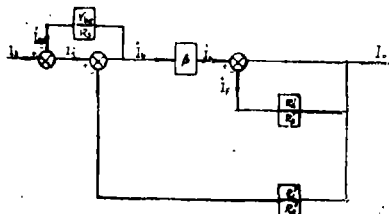


图 7

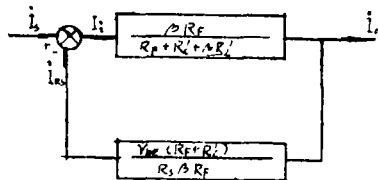


图 8

(3) 求 \dot{A}_V

由图4所标电量的正方向, 可列电路方程组如下:

$$\dot{V}_S + \dot{V}_{RS} = \dot{V}_{be} \quad \dot{V}_{be} \cdot \frac{1}{r_{be}} = \dot{I}_b \quad \dot{I}_C = \beta \dot{I}_b$$

$$\dot{I}_C - \dot{I}_F = \dot{I}_O \quad -\dot{I}_O R_L' = \dot{V}_O \quad \dot{I}_i = \dot{I}_F + \dot{I}_b \quad \dot{I}_i \cdot R_S = \dot{V}_{RS}$$

根据方程组建立方块图(见图9), 经简化得其最终形式(见图10)。可见:

$$\dot{A}_V = \frac{\dot{V}_O}{\dot{V}_{be}} = - \frac{\beta R_F R_L'}{r_{be} (R_F + R_L')}$$

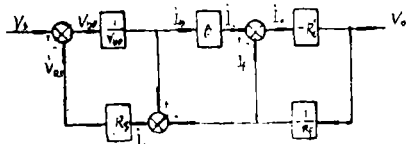


图 9

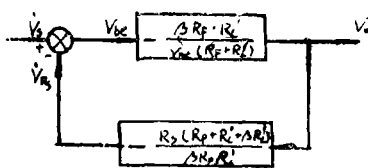


图 10

(4) 求 \dot{A}_G

根据图3所示各电量的关系—→列电路方程组—→建立方块图(见图11)—→简化方块图得其最终形式(见图12)。可见:

$$\dot{A}_G = \frac{\dot{I}_O}{\dot{V}_{be}} = - \frac{\beta R_F}{r_{be} (R_F + R_L')}$$

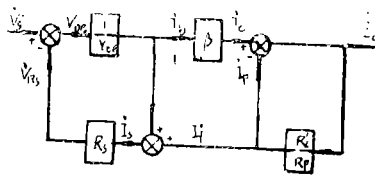


图 11

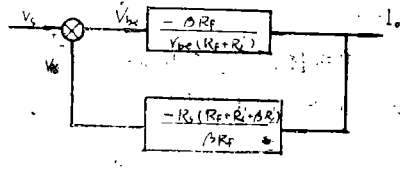


图 12

2、电流串联反馈放大器： 经推导可得：

$$\dot{A}_R = -\beta R_L \quad \dot{A}_I = \beta$$

$$\dot{A}_V = -\frac{\beta R_L}{r_{be} + (\beta + 1) R_E} \quad \dot{A}_G = \frac{\beta}{r_{be} + (\beta + 1) R_E}$$

3、电压串联反馈放大器 经推导可得：

$$\dot{A}_R = (\beta + 1) R_L' \quad \dot{A}_I = \frac{(\beta + 1) R_L'}{R_L}$$

$$\dot{A}_V = \frac{(\beta + 1) R_L'}{r_{be} + (\beta + 1) R_L'} \quad \dot{A}_G = \frac{(\beta + 1) R_L'}{R_L [r_{be} + (\beta + 1) R_L']}$$

三 结 论

由以上推导可知：

- 1、任何一种类型的反馈放大器均可用四种不同传递函数来描述其工作性能。
- 2、从四个传递函数的定义出发，我们不难找到它们之间的关系。即：

$$A_R \cdot A_G = A_I \cdot A_V$$

当我们已知 A_I 和 A_V 的分数表达式后，就可写出 A_R 和 A_G 的表达式。

已知 $A_I = \frac{A}{B}$ 和 $A_V = \frac{C}{D}$ ，则 $A_R = \frac{C}{B}$ ， $A_G = \frac{A}{D}$ 。

3、采用方块图变换的方法，可以方便地求出各种传递方式的电量传递利用系数 ϵ 。 ϵ 定义为输出电量（有用电量）与信号源内部损失的电量（无用电量）之比，即：

$$\epsilon = \frac{X_s}{X_r}$$

X_s 表示输出电量 \dot{V}_o 或 \dot{I}_o

X_r 表示信号源损失电量 \dot{I}_{RS} 或 \dot{V}_{RS}

例如对于电压并联反馈放大器来说，它的四个电量利用系数分别表示为：

$$\epsilon_R = \frac{V_o}{I_{RS}} = \frac{R_s \beta R_L' R_F}{r_{be} (R_L' + R_F)} \quad (\text{见图6})$$

（下转78页）

(上接86页)

物,需染料费为5.21元,现配方中最便宜的染料费只需4.86元,每染一百公斤织物节约0.35元,如果染的样品是深色的,染料费用下降更多,如有一墨绿色,原染料费为160.80元,我们算的配方只需染料费用92.89元,可见经济效益十分明显。打印配方中 X_0 , Y_0 , Z_0 为样品的三刺激值, X , Y , Z 为配方的三刺激值。 $O(1)$, $O(2)$, $O(3)$ 为染料的用量(染料(公斤)/每一百公斤织物), DEA 为色差值, SY 为每一百公斤织物所需染料的总价格。

6. 配方计算完毕后,计算机将提出你是否要转入扩充功能块,如果你要把刚才计算的样品资料存入计算机,则要转,然后返回主控模块。否则直接返回主控模块。

如果你需要继续计算别的样品配方,则可重复上述过程,否则可进行其它功能块的运行。从以上操作中,我们看到整个操作过程,都是在计算机的提示下进行的,而且用户只需按动一些数字键,输入一些数字就可,如果你对染料的编号记不清了,你可预先向计算机查询一下,所以操作非常方便简单,一学就会。

最后,为了使操作更方便,我们可配上仓颉Ⅱ型中文卡,使总目录和对话以汉字显示,这样使用更方便,容易被人接受,不过增加中文卡,将增加设备投资。

微型计算机染色配方的计算是我院与郑州国棉二厂协作的研究课题,厂方主要提供原始资料和进行试染实验,他们参加本课题工作的有孟春芳、沈曼茵、李康同志。特此致谢。

(上接90页)

$$\varepsilon_1 = \frac{I_O}{I_{RS}} = \frac{R_S \cdot \beta \cdot R_F}{r_{be} (R_F + R_L')} \quad (\text{见图8})$$

$$\varepsilon_V = \frac{V_O}{V_{RS}} = \frac{\beta R_F R_L'}{R_S (R_F + R_L' + \beta R_L')} \quad (\text{见图10})$$

$$\varepsilon_G = \frac{I_O}{V_{RS}} = \frac{\beta R_F}{R_S \cdot (R_F + R_L' + \beta R_L')} \quad (\text{见图12})$$

由于我们在分析问题采用了放大器的微变等效电路,所以只有在放大器的输入信号为小信号时,推导的表达式才是精确的。

参考文献

- [1] 童诗白著 模拟电子技术
- [2] 康华光著 电子技术基础