

114

安休斯自动操舵仪

(ANSCHÜTZ)



53

新华书店
PDG

上海远洋公司船技处

1983年3月

517

52

前 言

本书是根据安休斯 (ANSCHÜTZ) 自动操舵仪资料编译而成。全书共分三部份：第一部份安休斯自动操舵仪介绍，以 102-837 型为例，着重介绍了几块插件板的电路工作原理；第二部份 102-837 型的操作说明；第三部份安休斯自动操舵仪的调整。第一部份是根据电路图编写；第二、第三部份按原文译出，稍有修改。本书主要供给船上电机员了解安休斯自动舵原理，及维修保养之用，也可供给有关技术人员参考。由于编译者水平不高，加之时间仓促，肯定存在不少错误缺点，欢迎指出。

本书由刘小才同志编译，吴忠富同志校对修改，沈平、刘小才同志编辑，吴琴珍、蒯灏龙同志制图。

上海远洋运输公司

船技处技术档案室

1983年3月

目 录

一部份 安休斯 102-837 型自动操舵仪介绍

第一节 自动操舵仪基础知识

第二节 安休斯 102-837 型自动操舵仪插件板电路说明

2-1 介绍几种运算放大器

2-2 电源变压器

2-3 输入和电源供给插件板 K 电路说明

2-4 控制插件板电路说明

2-5 触发电路板电路说明

2-6 放大器插件板电路说明

2-7 报警电路板 "B" 说明

2-8 报警电路板 "S" 的说明

第三节 随动舵系统工作原理

二部份 自动操舵仪装置操作说明

一、自动操舵仪控制装置 102-837 型说明

1. 一般说明

2. 操作说明

二、指示器装置说明

三部份 自动操舵仪的调节和整定

一、自动操舵仪 102-837/834 型试航时的调整

二、自动操舵仪 102-834/837 型港口调整

三、电动自动操舵仪 102-801 到 813 和 816 型初始调整和试航调整

四、测量表

五、保养

第一部份 安休斯 102-837 型自动操舵仪介绍

第一节 自动操舵仪基础知识

§ 1-1 概 述

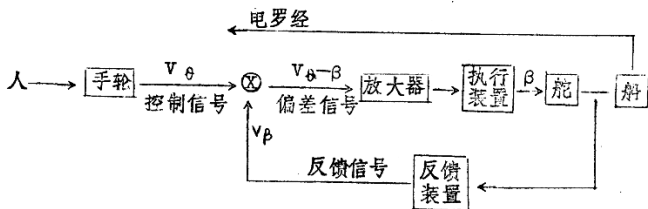
安休斯 102-837 型自动操舵仪共有自动和随动二种方式，取消了应急操舵。安休斯自动操舵仪可以和各种类型舵机配套，通用性很强，有宽阔的参数调节，并应用到各种大小不同的船舶上。

安休斯 102-837 型自动操舵仪的校正装置采用运算放大器，电位计可以在广阔范围内平衡地调节自动舵的积分，比例，微分控制信号，借助于开关可以改变自动舵的组成和操作方式，以适用于操作方式的要求。当开关置于“自动”位置时，则进行自动操舵，此时有灵敏度，纠偏舵等调整，以及还有例如自动报警等其他辅助控制，并按 PID（比例、积分、微分）规律调节，采用开关“I-OFF”可取消积分，则自动舵按 PD 规律调节。

为了便于理解安休斯自动舵的 PID 调节规律，先介绍一下 PID 自动舵的基础知识。

a) 随动舵:

随动舵是一种人工操舵方式。舵工扳动操舵手轮向某一方向转动时，舵就追随着向该方向偏转，待舵偏转到所要求的偏舵角时，舵叶自动停止转动。

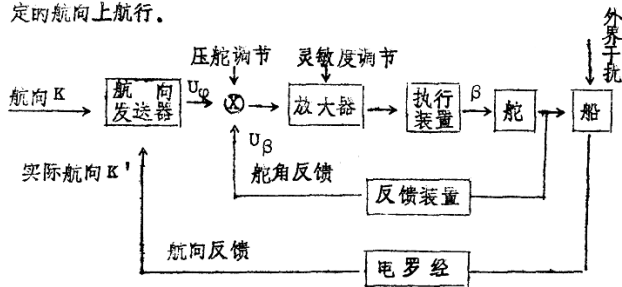


由图可见，舵工根据罗经的航向指示，扳动操舵手轮，发出转舵信号，因为舵叶与反馈装置机械连接，故发出反馈信号。转舵的控制信号 V_{θ} 和反馈装置反出的反馈信号 V_{β} 相比较，如果存在着偏差 $V_{\theta} - \beta$ ，则经过放大器放大后，操纵执行机构使舵叶转动，如果偏差被消除即 $V_{\theta} - \beta = 0$ ，舵叶就停止转动，实现了舵机的自动调节。

显然，在随动操舵调节系统中，被调节的对象是舵，被调节的量是舵角，它形成了一个封闭调节系统（即闭环系统）。这种系统常称为随动系统或跟踪系统。

6) 自动操舵:

自动操舵是在随动操舵基础上发展起来的一种全自动调节的操舵方式，操舵仪在舵工给出航向数值后就能自动操舵，使船舶保持在给定的航向上航行。



自动操舵除了有一个内部的舵角闭环调节系统外，还增加了一个外部航向闭环系统。内部舵角闭环调节系统的组成与随动操舵相同，外部航向闭环调节系统则用电罗经作敏感元件，用它来测量在风浪等外界干扰作用后船舶与所给定的航向偏差的大小，然后用这个偏差信号进行操舵，所以电罗经既是一个测量船舶航向的仪器，在自动操舵中又是

一个外反馈装置。我们知道，人工操舵是根据偏航角 φ ，凭经验决定合适的偏舵角 β 。自动操舵模仿人工操舵并按偏差原则进行调节。

目前常用的调节规律有三种：

(1) 按船舶偏航角 φ 来调节偏舵角 β

其调节规律： $\beta = -K_1 \varphi$

K_1 为比例系数，“-”表示偏航的方向用来消除偏航，即向右偏航操左舵，向左偏航操右舵。

按这种比例调节规律的自动舵，偏舵角 β 与偏航角 φ 成正比。比例系数 K_1 一般变化范围从 0.5 ~ 4，可根据船舶类型，载重多少，天气状况等进行选择和调整。

比例舵的优点，结构简单，船舶遇到风浪等外界干扰偏航后有纠正偏航的能力，但是采用比例舵，只考虑了偏航角 φ 的大小，没有考虑船舶偏航惯性（即偏航速度 $\frac{d\varphi}{dt}$ ）的影响，因而必然使船舶周而复始地围绕正航向上左右摇摆，有一定的摇摆周期，航迹是一条 S 形曲线。比例舵维持航向精确度差，故较新式的自动舵仪已不再用这种型式。

(2) 按船舶偏航角 φ 和偏航速度 $\frac{d\varphi}{dt}$ 来调节偏舵角 β

调节规律： $\beta = - (K_1 \varphi + K_2 \frac{d\varphi}{dt})$

K_1 —— 比例系数， K_2 —— 微分系数，“-”表示偏航的方向是消除偏航。

按这种规律调节的自动舵，偏舵角 β 与偏航角 φ 和偏航角速度 $\frac{d\varphi}{dt}$ 成正比，属于比例—微分（即 PD）控制系统。比例系数 K_1 一般变化范围从 0.5 - 4，微分系数 K_2 一般在 0.1 度/秒的偏航角速度下约为 1° - 3°，可根据船舶类型，载重多少，天气状况等进行调整。目前这种比例—微分舵应用较为普遍。

采用比例—微分舵操舵，不仅考虑了偏航角 φ 的大小，而且还考虑了船舶偏航的惯性（即偏航角速度 $\frac{d\varphi}{dt}$ ）的影响。这种P-D调节对于消除船舶惯性而引起的向另一侧偏摆很有好处，这种调节的偏舵规律跟人工操舵很接近，而且比人工操舵控制得更更有规律，船舶的航向偏摆可以很快稳定住。比例—微分舵的偏舵规律和偏航规律比较相适应，一般说来控制效果比较好。但如果参数选择不适合，例如微分量相对于比例量来说取得太大，会使舵角变化太厉害，反舵角过早出现，影响航行质量，所以 K_1 、 K_2 等参数的选择必须合适。

(3) 按船舶偏航角 φ 和偏航速度 $\frac{d\varphi}{dt}$ 及偏航角积分 $\int \varphi dt$ 来调节偏舵角 β 。

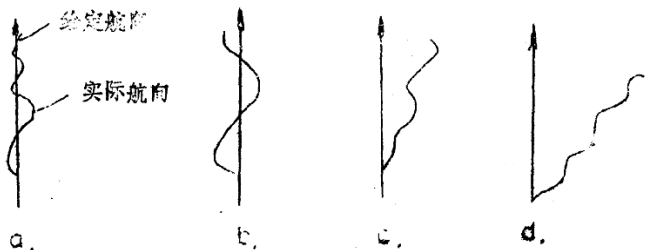
$$\beta = -(K_1 \varphi + K_2 \frac{d\varphi}{dt} + K_3 \int \varphi dt)$$

式中： K_1 ——比例系数， K_2 ——微分系数， K_3 ——积分系数，

"—"表示偏舵的方向是消除偏航。

按这种规律调节的自动舵，偏舵角 β 与偏航角 φ ，偏舵角速度 $\frac{d\varphi}{dt}$ ，和偏航角积分 $\int \varphi dt$ 成正比，属于比例—微分—积分控制系统。比例系数 K_1 一般变化范围从 $0.5 - 4$ ，微分灵敏度取1分钟偏航 1° 时起舵，微分系数 K_2 一般在 0.1 度/秒偏航角速度下，约为 $1^\circ - 3^\circ$ ，积分灵敏度取偏航 0.1° 时开始积分，积分系数 K_3 一般在放大器饱和输出（通常偏航 1° 时放大器就达饱和）条件下，4分钟积 $4^\circ - 5^\circ$ ，这些参数可根据船舶类型载重多少，天气状况等进行选择和调整。

船舶航行中一般是微微偏摆状的前进，偏摆若在航向不灵敏区之内，（即静态误差范围内）是不会使舵机动作的，这样船舶航行就有如图所示的几种可能。



a、b的情况，经过比较长时间航行后，船舶的平均航向就在给定的航向上，因此不会出现积分操舵，而对于图c和d的情况，经过比较长时间航行后，船舶的平均航向将不在给定的航向上，要发生偏离。一般说来，在恒值干扰（如螺旋桨不对称，持续的单侧风压或流压等）力矩的持续作用下，才会发生后二种的情况下，积分—— $\int \varphi dt$ 调节的作用在于把这些持续恒值干扰的影响累积起来，并用此信号操纵舵叶，使它产生一个反方向转动力矩，以校正恒值干扰力矩，使船舶稳定在指定航向上航行。可以看到，比例——微分——积分舵是由比例——微分的基础上改进而来，它增加了积分调节，消除了恒值干扰所造成的误差，提高了自动操舵的精确度，所以是一种比较完善的调节系统。

另外，从自动舵的系统框图中还有灵敏度调节和压舵调正。

① 灵敏度调节。所谓灵敏度是指系统开始投入工作时的船舶偏航角。例如灵敏度为 $\pm 0.3^\circ$ ，即船舶偏离规定航向 0.3° 时，自动舵即工作，使舵叶偏转。灵敏度调节是根据天气情况和海况而定的。风平浪静时，灵敏度可适当调得高些，船舶可保持在航向较高精确度下直线航行。气候条件恶劣时，风浪很大，船舶摇摆比较厉害，应当把灵敏度调节得低些，一方面可以减少舵机投入工作的次数，减轻舵机的磨

损；另一方面减少频繁操舵，也可使船速不至于下降过甚。

② 压舵调整。船舶航行时，如果受到了持续的单侧风浪，潮流或者由于船型、推进力不对称等因素的影响，使船舶平均航向发生偏离，形成某一侧偏航较厉害的情况。在人工操舵时，就要打一个固定的舵角，以纠正船舶的偏航。自动操舵与人工操舵一样，在放大器的输入端设法加入某一极性信号，由该信号产生的舵角即为压舵舵角。实际应用中，有些自动舵虽然不具有积分调节环节，但具有压舵环节，它在某种程度上反映了积分作用。

§ 1-2 安休斯 102-837 型自动舵原理框图简介

安休斯 102-837 型自动操舵仪采用了 P-I-D 调节规律，现根据系统框图简要叙述其工作原理。

自动操舵原理框图如 α 、 δ 图所示。此两种装置都采用了四块插件板。 α 图有输入及电源板；控制器电路板；放大器电路板；警报板； δ 图有输入及电源板；控制器电路板；触发电路板；警报板，此两种装置的区别就在于 δ 为非连续形操舵， α 为连续形操舵，用放大器电路板来取代触发器电路板，以及警报板稍有差别。

现以框图 δ 为例说明其原理（具体电路说明可看后文插件板电路说明）。

将把操纵方式选择开关转换到自动方式（AUTD）位置，此时接收机与电罗经接通，当船舶没有受到外力干扰时，船舶即按指定的航向作直航向航行，这时舵叶处于艏艉线，舵角指示器为零。

当船舶受外力干扰时，船舶就会偏离给定航向。如右偏 φ 角度，电罗经指示出航向偏差，通过电气同步传动，操舵台内的接收机带动航向

刻度盘指示出偏航角 φ ，同时通过误差发送器发出一个误差信号，产生与偏航角 φ 成正比的交流电压 U_{φ} ， U_{φ} 经过相敏整流器，输出直流信号，再经滤波电路滤除脉动成份，然后再送到灵敏度调节电路，在运算放大器中进行比例，微分，积分（即PID）综合运算，在控制电路中输出控制信号，再送到触发电路板（或放大器电路板），接通操舵开关装置（继电器组件，或可控硅开关装置），使操舵电磁阀工作，舵机就投入工作，如果航向右偏，舵机带动舵叶向左偏转，如果向左偏，则舵机带动舵叶向右偏转。

舵偏转后，带动反馈装置中舵角反馈电位器转动。舵角反馈电路不再平衡，发出直流信号经积分电路，也送入运算放大器，与航向信号按一定比例综合放大。当航向信号与舵角信号平衡时，因极性相反，运算放大器没有输出，继电器就释放，电磁阀无电，舵机停止工作。（详细工作情况见有关插件板的电路原理说明）。

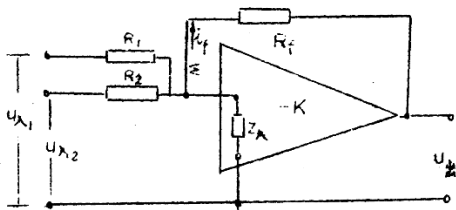
第二节 安休斯102-837型自动操舵仪插件板电路说明

§ 2-1 介绍几种运算放大器

在安休斯102-837型自动操舵仪电路中主要采用运算放大器。为了便于后文插件板电路的说明，在这里介绍几种常见的运算放大器。

一、运算放大器的特点：

利用反馈技术，可以做成这样一类放大器，它的输出电压（或电流）是输入电压（或电流）数学运算的结果。例如，输出电压可以是输入信号的加、减、微分、积分等等，这一类放大器叫做运算放大器。

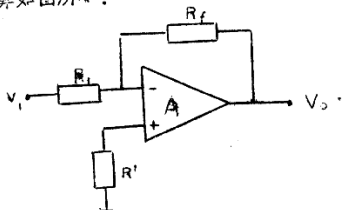


如上图所示，它表示一个运算放大器。三角框 K 表示一个放大倍数很高（几千倍~几万倍）的基本放大器， K 前面标注一个负号，表示该放大器的输入和输出电压是反相的。通常该放大器由高增益的直流放大器构成。图中 $U_{\lambda 1}$ 、 $U_{\lambda 2}$ 是输入信号电压； U_{λ} 是输出电压， R_f 是运算放大器的反馈电阻抗，它可以是电阻，也可以是电容； R_1 、 R_2 是在输入端外接的阻抗，它也可以是电阻或电容。显然运算放大器是一个并联电压负反馈放大器。

二、在数学运算上的应用

1. 反相运算:

反相运算如图所示:

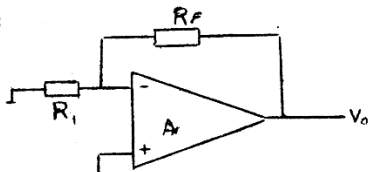


R_i 为输入电阻, R_f 为反馈电阻, $R' = R_i \parallel R_f$, A_V 为放

大倍数.

从分析知道, $A_V = -\frac{R_f}{R_i}$, " - " 表示反相.

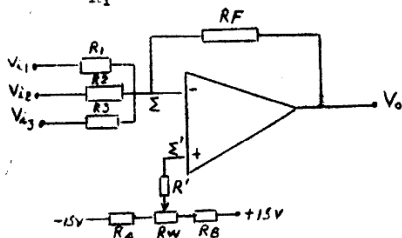
2. 同相运算:



从分析知道, $A_V = 1 + \frac{R_f}{R_i}$

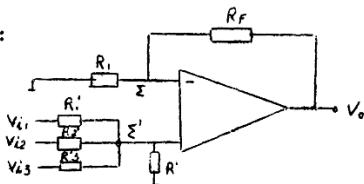
3. 求和运算:

(1) 反相输入:



$$V_o = -\left(\frac{R_f}{R_1}V_{i1} + \frac{R_f}{R_2}V_{i2} + \frac{R_f}{R_3}V_{i3}\right)$$

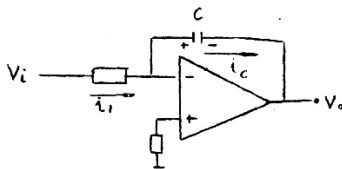
(2) 同相输入:



$$V_o \approx \left(1 + \frac{R_F}{R_1}\right) V_{\Sigma'} - \left(1 + \frac{R_F}{R_2}\right) R_{\Sigma'} \left(\frac{V_{i1}}{R_1} + \frac{V_{i2}}{R_2} + \frac{V_{i3}}{R_3}\right)$$

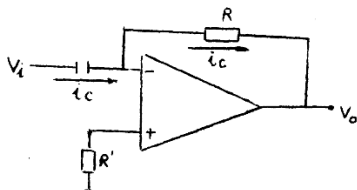
$$\text{其中: } R_{\Sigma'} = R' + R_1 + R_2 + R_3$$

4. 积分运算:



$$V_o \approx -V_c = -\frac{1}{C} \int i_c dt = -\frac{1}{RC} \int V_i dt$$

5. 微分运算:

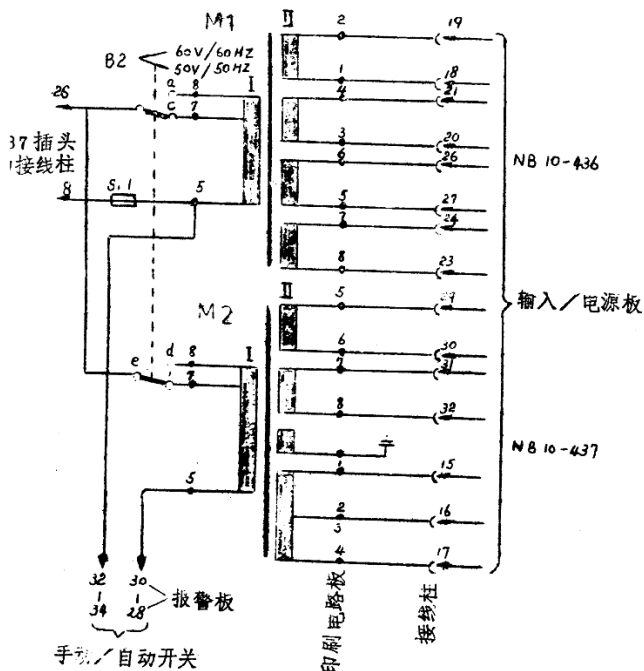


$$V_o = -i_c R_c = -RC \frac{dV_i}{dt} = -RC \frac{dV_i}{dt}$$

§ 2-2 电源变压器

用途：为自动操舵仪提供所要求的交流电压。

说明：变压器M1接于复示器的配电箱，M2接于操舵方式选择开关。



一般测试条件:

电压表内阻: $\geq 20 \text{ K}\Omega/\text{V}$

设备条件: 输入板和触发电路板(放大器电路板)分别拆下

测试	接线端	测量内容	条件	读数
1.	M1.15/7	变压器1的供给电压	电罗经接通	50V _{a.c}
2.	M1.15/8			60V _{a.c}
3.	M2.15/7	变压器2的供给电压	电罗经接通, 操舵方式置"自动"	50V _{a.c}
4.	M2.15/8			60V _{a.c}
5.	M1.111/2	变压器1 NB10-436的输出电压	电罗经接通	29V \pm 0.5V
6.	M1.113/4			29V \pm 0.5V
7.	M1.115/6			24V \pm 0.5V
8.	M1.117/8			20V \pm 0.5V
9.	M2.115/6	变压器2 NB10-437的输出电压	电罗经接通, 操舵方式置"自动"	63.5V \pm 0.5V
10.	M2.117/8			8.7V \pm 0.5V
11.	M2.111/2			58V \pm 1V
12.	M2.113/4			58V \pm 1V

§2-3 输入和电源供给插件板K 电路说明

用途:

输入插件板K 的用途

- a. 为自动舵提供所有的直流电压。
- b. 对航向误差信号和反馈信号进行整形放大。

工作原理:

产生-15 伏的稳定电压:

A、C 电压送到输入端 18、19，通过桥式整流电路 N_4 进行整流，此电压又经集成电压调节器 N_{12} 和三极管 N_{10} 稳压。三极管 N_{11} 和稳压管 N_5 用来防止调节器电路产生的过高供给电压，如果产生过高电压，稳压管击穿短路，稳压电源通过输出端 13 输出。

产生+15 伏的稳定电压:

此电路同上述所说的一样，A、C 从输入端 20、21 输入，稳定电压从输出端 12 输出。

产生+5 伏稳定电压:

A、C 电压从输入端 23 和 24 送入，此交流电压经桥式整流电路 N_{14} 整流，又经电压调整器 N_{15} 稳压，稳压电源从 22 输出。

开关电压:

A、C 交流电压从 29、30 输入，经桥式整流电路 N_6 整流，未经滤波，通过限流电阻 R_3 ，从 28 输出。

继电器电压:

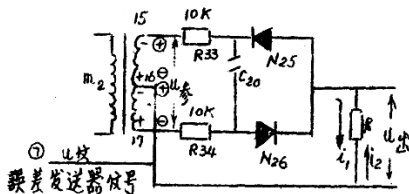
A、C 电压从 26 和 27 送入，经桥式整流电路 N_{13} 整流，又经滤波后，从 25 端输出。

灯电压:

A、C 电压从 31、32 端输入，经 N_1 桥式整流电路整流，没有进行滤波，从 34 端输出。

反馈信号的电压是同舵角相对应的，经11端输入，通过由扼流圈 K_1 和 C_{15} 组成的滤波网络后，再经 R_{23} 和 R_{29} 分压器，然后这个“分压反馈信号” (DIVDED FEED BACK SIGNAL) 从9端输出，此外，经滤波的“反馈信号”加到运算放大器 N_{18} 组成的整流电路， N_{18} 的输出电压总是负的，同反馈信号的极性无关。如果来自舵角反馈电位器的信号为“+”时，经过二极管 N_{16} ，电阻 R_{20} 加入运算放大器 N_{18} 的反相输入端④，因此 N_{18} 的输出是“-”信号，如果来自舵角反馈电位器的信号为“-”时，经过二极管 N_{17} ，电阻 R_{21} 加入 N_{18} 的同相输入端，故运算放大器 N_{18} 的输出仍然是“-”信号。这个整流反馈信号电压经 R_{25} 降压后从2端输出。

15、17端是变压器 M_2 的输出，16端是相敏整流线圈的中间抽头，7端是航向误差信号。因此， R_{33} ， R_{34} ， N_{25} ， N_{26} 及相敏整流线圈组成一个相敏整流电路。为了便说明这个电路原理，把这个图重绘于如下：



这是一个半波相敏整流电路。在自动控制系统中常常用二个交流信号之间的相位差来模拟某些被控制量之间的关系。例如，在自动舵中航向误差 φ ，偏航角 β 等都是通过自整角机发出的调制信号。相敏电路就是能够反映输入信号与参考信号之间相位差的关系，是一种调制信号的解调器。