

非线性声纳试验台 (第 I 部分)

Charles M. Slack

摘 要

奥斯汀的得克萨斯大学应用研究实验室 (ARL) 正在研究用作非线性声学测量的试验设备。这种设备被设想为一个试验台, 可以进行下述三种基本的非线性声学实验: ①利用现有的或容易装制的换能器做基本概念性实验; ②测试现有的舰用装备, 以确定是否能将非线性方式与一般线性系统结合起来; ③测试正在研制的舰用装备样机。这份终结报告介绍已经完工的非线性试验台第 I 部分测试设备。此设备包括二个40瓦激励级, 二个4千瓦功率放大器 (发射机), 二个15千瓦功率放大器, 二个信号发生通道, 一个由前置放大器、滤波器、存储示波器、采样数字电压表和定时单频脉冲发生器选通门组成的接收系统。各部分均可见于方框图和照片。

Hewlett—Packard公司USASCII母线联接系统*经过鉴定后, 被用作控制非线性声纳试验台自动部分的联接系统。

本文还简要介绍了用作阻抗匹配和功率分配—组合网络的传输线变压器, 以及一组一般的电抗匹配网络解。

一、引 言

为了理解和应用Westervelt于1960年初提出的参量发射阵, 从1960年末到1970年初这段时间中, 我们进行了大量的理论和实验工作。至今, 实验工作的实质性部分已在实验室里完成。该实验室拥有为了有限次试验而特别设计和构造的设备。

实验工作的结果是: 舰船专用的装备正在进行研制, 这些设备主要用于通讯和测深。参量发射阵在其他几种应用中似乎是有其优越性的, 目前正在研究用于那些应用的系统参数。另外, 通过理论和实验工作, 在了解参量接收阵方面不断取得重大进展; 可以预言, 它在舰船上有若干进一步的应用。用于研制参量接收系统的参数预选工作也在进行之中。

在目前非线性声学的应用阶段里, 非线性声纳试验台这种设备是十分需要的。这种设备被设想为一个试验台, 可作下述三种基本的非线性声学实验, ①利用现有的或容易

* 原文为bus interface system, 亦可译作信息转移通路接口系统。——译注

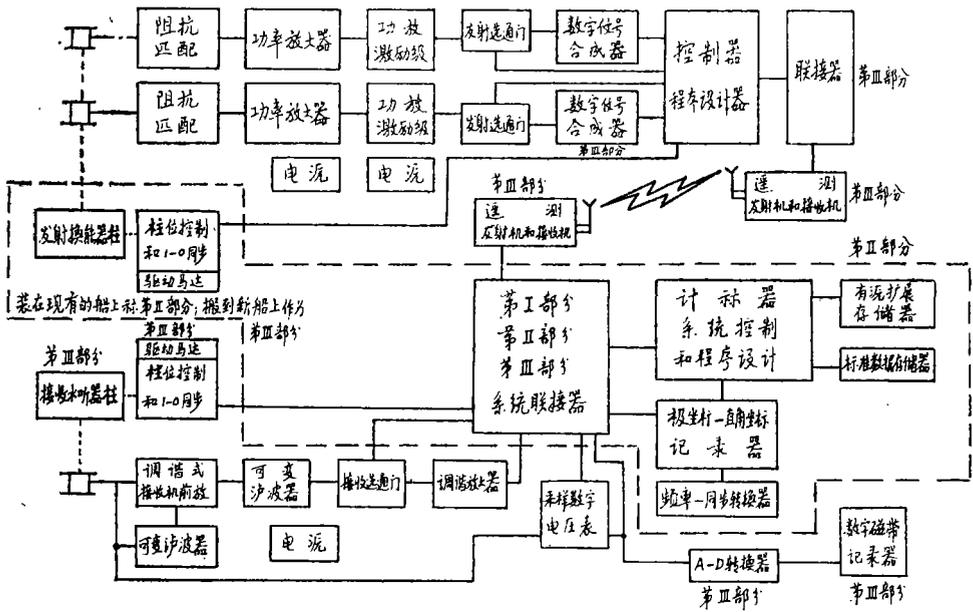


图1 非线性声纳试验台测试设备整机方框图 (包括第I、II、III三部分)

装制的换能器做基本概念性实验，其目的或者是证实几种关于估价非线性声学应用的潜在力的新见解，或者是为了扩展原先参数测量（即频率、激励电平等测量）的参数范围；②测量现有舰用装备的谐波电平（作为激励电平的函数），以确定是否能将非线性方式与一般线性系统结合起来；③试验和评价正在研制的舰用装备样机。

在这以前，还没有一种水下测试设备能够连续地或费用经济地做上述试验；而且，对于舰船现场试验是无能为力的。本合同的目的是研制一种能进行广泛的非线性声学基础实验的设备，要求它在湖泊或野外现场都能连续而费用经济地工作。

已完成的非线性声纳试验台和校准设备将安放在应用研究实验室的 Travis 湖 试验站 (LTTTS)。Travis湖是个淡水湖，大概距奥斯汀17哩。该试验设备将供非线性声学团体使用，并且，它将为收集新的有关的实验信息提供了一个中心点。

二、系统性能

所设想的完整的非线性试验台测试设备示于图1。然而，按照合同，只投资和完成非线性声纳试验台第I部分（图2），即发射和简单的接收机部分。第II部分包括一个极坐标一直角坐标记录器、换能器柱（安放架）、换能器柱位控制和系统联接器；打算作为非线性试验台的进一步研究项目。

与遥测技术（这是数据收集、数据的数字磁带记录所必需的）相结合的未来的远距离船只定位设备，同其他测试设备一起，将使此试验台成为一个完整的试验和校准场所，

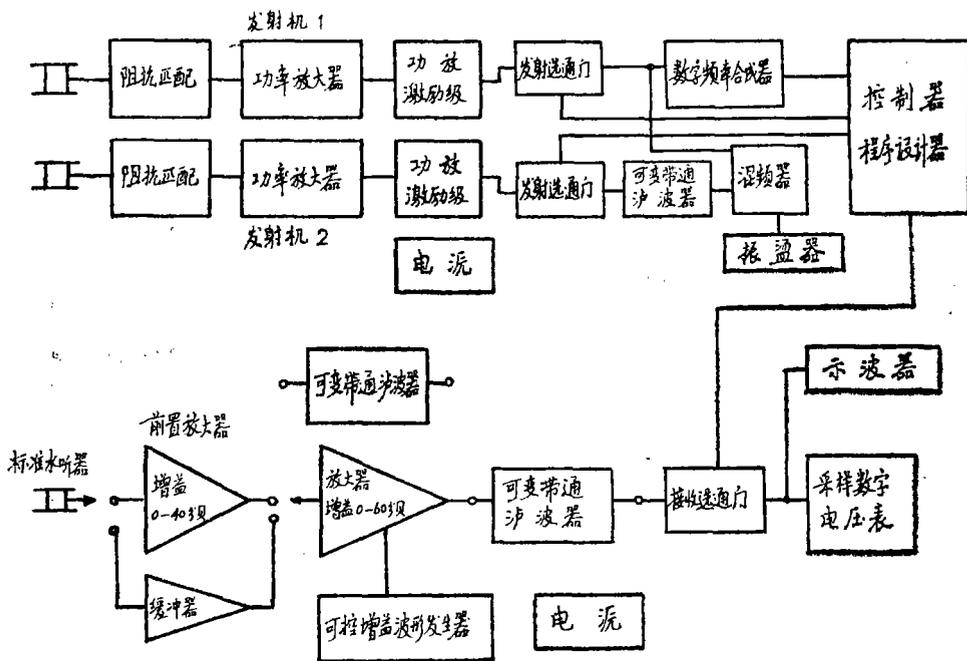


图2 非线性声纳试验台第I部分测试设备方框图

供非线性声学团体使用。

已完成的第I部分测试设备的参数，按照信号发生、发射机和接收机，分为三个基本部分，如表I所示。其中的特殊部分将在本报告下面几节中加以讨论。图3是试验台第I部分的信号发生和接收机实物，图中给出了每台仪器的制造型号或其他术语。

表I 非线性声纳试验台（第I部分）参数

信号发生（图3）

- A. 频率范围0.1赫—13兆赫
- B. 信号类型
 - 1. 连续波
 - 2. 脉冲式连续波
 - 3. 调频波（向上，向下，尖顶）
 - 4. 调幅连续波
 - 5. 调幅连续波脉冲
 - 6. 连续随机噪声
 - 7. 脉冲式随机噪声

发射机（二个通道中的一个）

- A. 功率放大器
 - 1. 40瓦连续波固态宽带功率放大器激励级（图4）

2.4 调谐式频段可选的电子管功率放大器 (图 4, 5, 6)

3.15 调谐式频段可选的电子管功率放大器 (图 7)

4.10 频段可选的固态功率放大器, 由 40 个 250 瓦的组件构成, 它们可以单独运用或并联运用 (图 8, 9)

B. 输出阻抗

1. 额定值为 50 欧姆 (指功率放大器激励级)

2. 末级功率放大器输出阻抗为 8—1000 欧姆可调

C. 频率范围 5 千赫—1.5 兆赫

接收机

A. 频率范围

1. 低频 20 赫—150 千赫

2. 高频 100 千赫—2 兆赫

B. 系统组成部分 (图 3)

1. 宽带前置放大器, 频率响应 10 赫—3 兆赫, 增益 0—40 分贝

2. 增益为 1 的宽带电压缓冲级

3. 增益可变的 60 分贝宽带放大器

4. 可变增益和 (或) 选通的 60 分贝宽带放大器

5. 滤波器: 双通道可变高通, 低通, 带通, 带阻 (Krohn-Hite 公司 3202 有源型)

6. 数字式对数采样电压表 (Dragnetz 公司 220 A 型)

7. 可变余辉存储示波器 (Hewlett-Packard 公司 181 AR 型, 50 兆赫)

8. 发射和接收定时发生器与选通门 (Drnaetz 公司 206 A 型)

9. 可控增益波形发生器

10. 接收和发射用的标准换能器

a. H-23, 20 赫—150 千赫

b. E-8, 100 千赫—2 兆赫

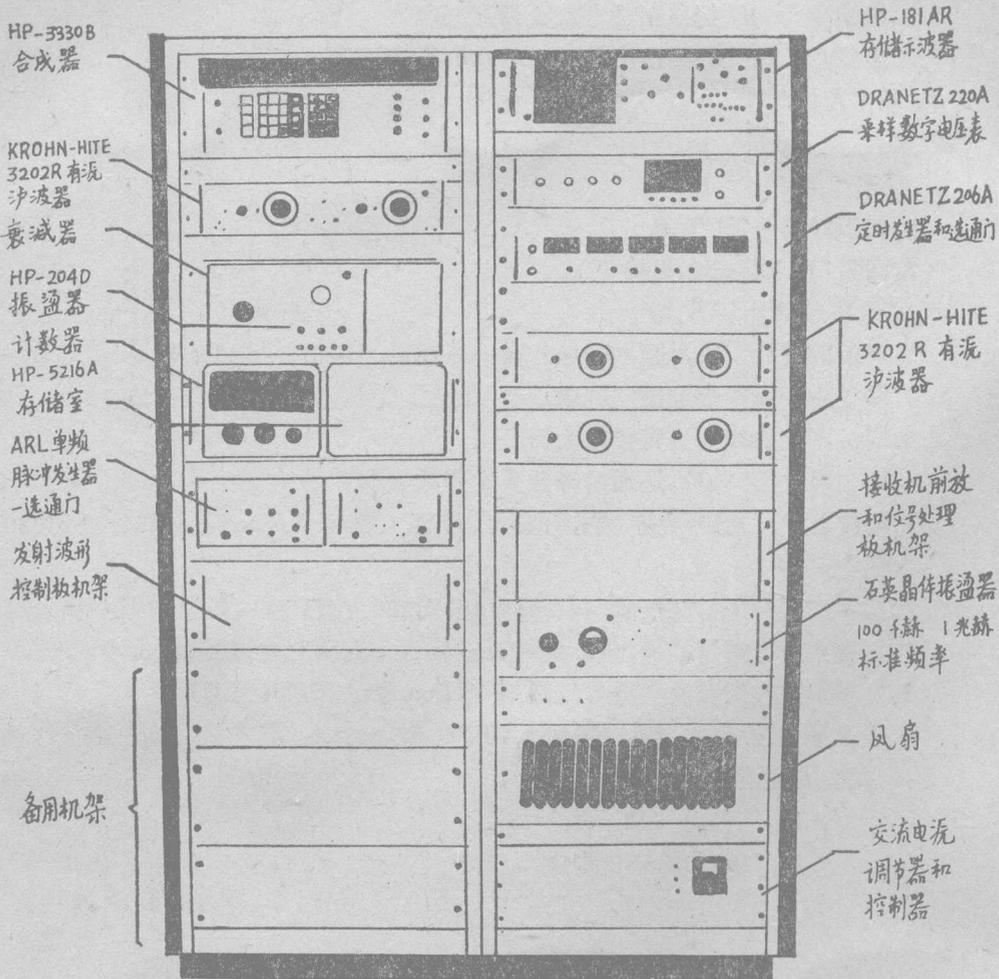


图3 非线性声纳试验信号发生和接收系统

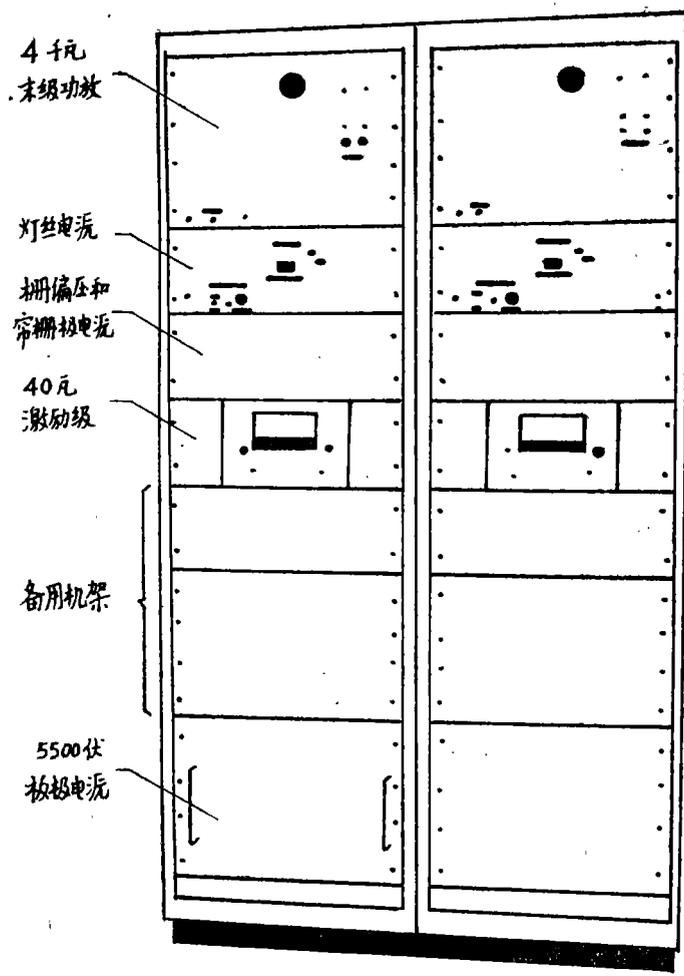


图4 非线性声试验台4瓦发射机

图5 非线性声纳试验台4瓦非线性放大器线路图

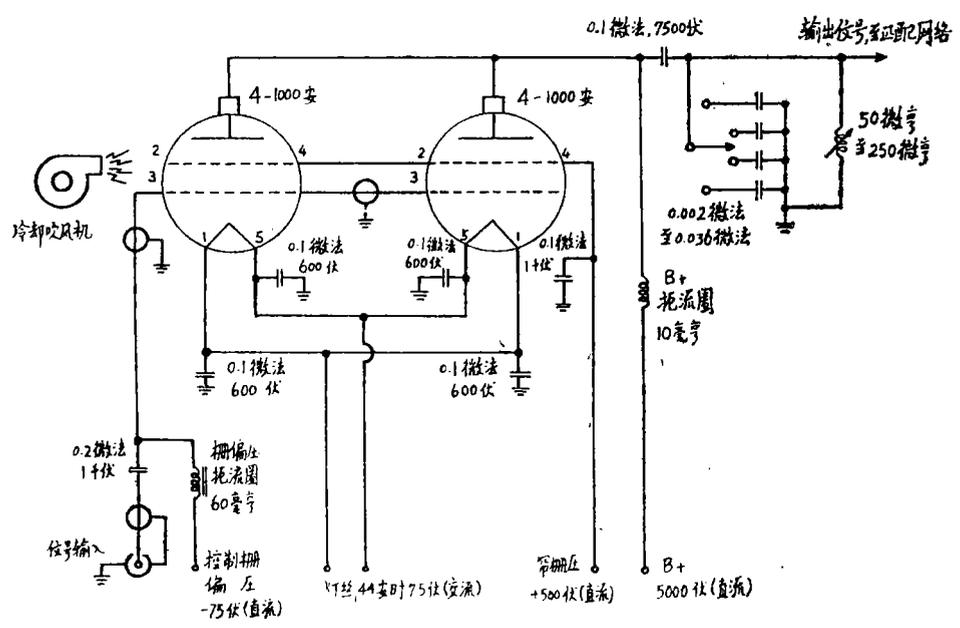
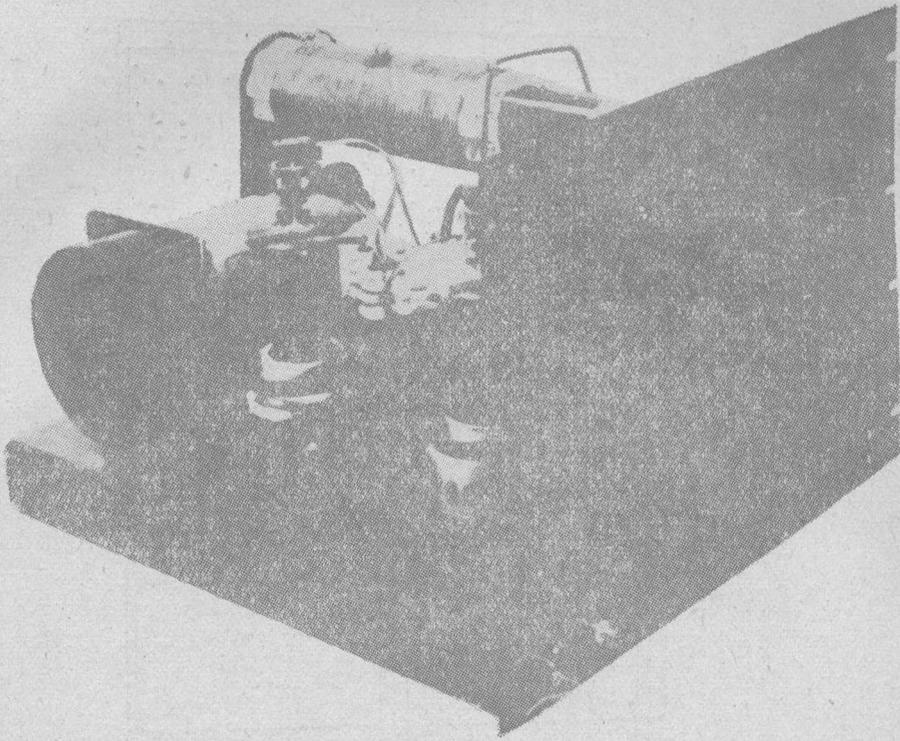


图6 非线性声纳试验台4吨发射机前视图



发射机
控制和
联接部分

± 250 伏(直流)
偏置电流

板极高压
控制

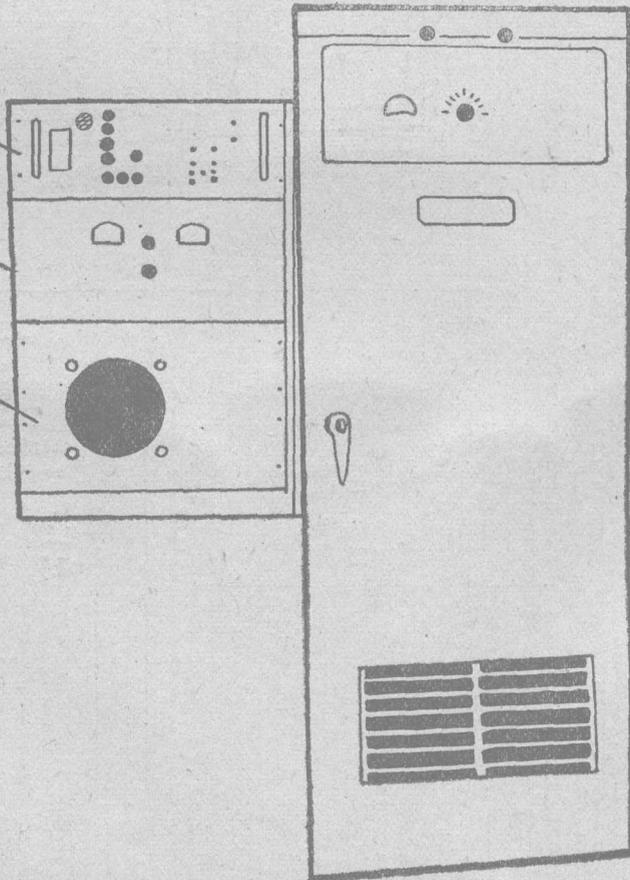


图7 非线性声纳试验台15吨发射机和控制联接部分

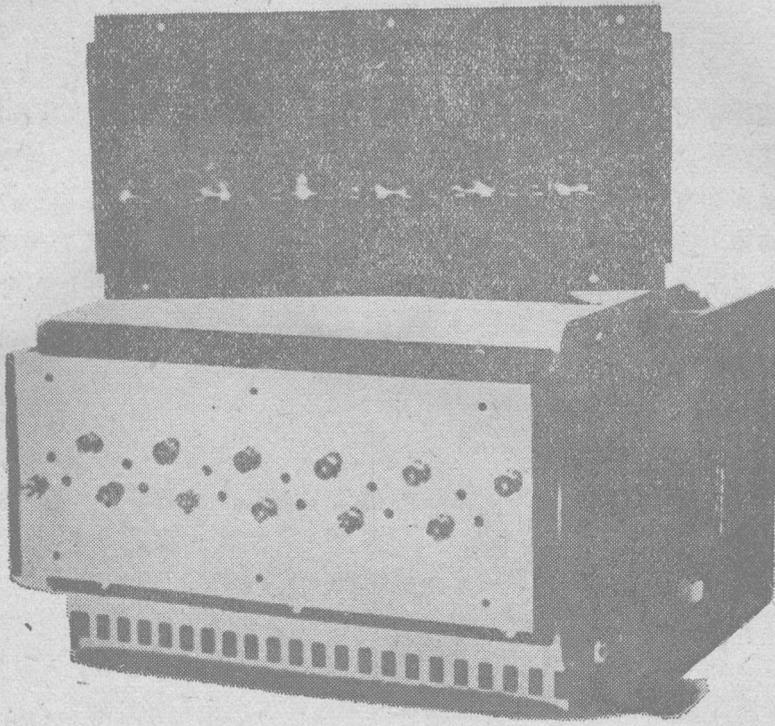


图8 固态功率放大器组体样机

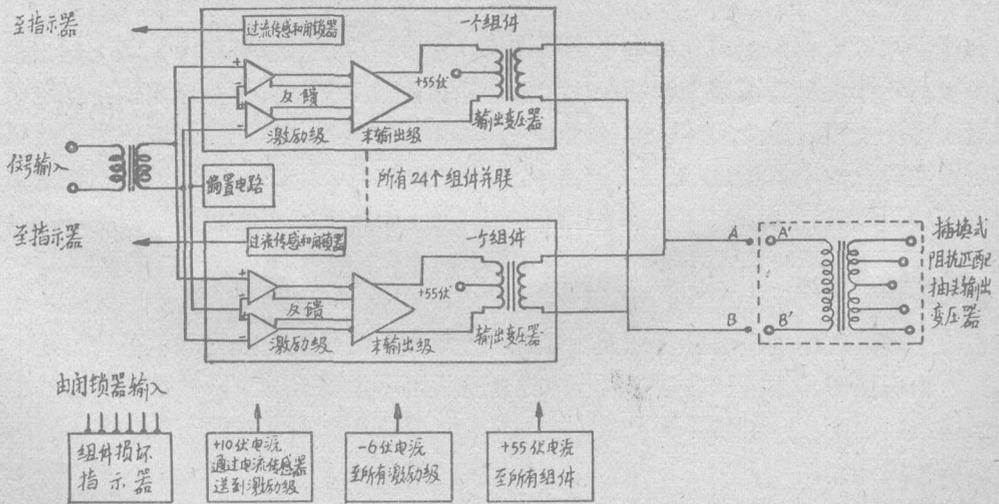


图9 非线性声纳试验台固态发射机方框图

三、发 射 机

在做非线性发射阵实验中,常常需要利用高功率、高频率的发射机(功率放大器)。基于非线性试验台发射机的可以预料得到的用途,我们系统地研究了输出功率、信号通用性、失真、噪声和有关的各个方面(半机动性,功率利用率,实验环境)。研究结果表明,试验台的第I部分已达到了下列工作性能和设计要求。本章从第1节到第5节,将详细介绍功率输出电平、输出阻抗、信号类型、信号质量和对于装在试验台内的发射机单元的性能监视。固态功率放大器设计的进展情况、宽带传输线变压器、以及用于阻抗匹配的变换方程和网络解,则在第6节到第9节中介绍。

1. 发射机(功率放大器,二个通道中的一个)

表I中介绍的发射机参数,为了叙述的连续性,这里再重复写一下,并且加上了占空比能力。

1. 40瓦连续波固态宽带功率放大器激励级(图4)
2. 4 瓦调谐式频段可选的电子管功率放大器,占空比为20%时发4千瓦,连续功率发1瓦(图4,5,6)
3. 15瓦调谐式频段可选的电子管功率放大器,占空比为20%时发15瓦,连续功率发15瓦*(图7)
4. 10瓦频段可选的固态功率放大器;由40个250瓦组件构成,它们可以单独运用;占空比为50%时发10瓦(图8)

2. 输出阻抗

每个功率放大器的输出功率电平是可调的,至少可以从负载匹配时的最大输出值下降30分贝。功率放大器激励级和功率放大器的输出阻抗分别调到下列额定值,激励级为50欧姆,每个4瓦单元为100欧姆,每个15瓦单元为30欧姆,10瓦固态组件为50欧姆。调节每台发射机的电抗负载,可使之产生相移高达30度。如果需要的话,可以改变这些输出阻抗,以同具体换能器相匹配。然而,目前这些数值已能满足多数应用场合了。

3. 信号类型

在整个频率范围内,当输出最大功率时,发射机要求最大输入信号电平为5伏(有效值);由合成器、振荡器和波形发生电路所产生的各类信号如下:

1. 连续波
2. 脉冲式连续波
3. 调频波(向上,向下,尖顶)
4. 调幅连续波

* 此值可能有误。——译注

5. 调幅连续波脉冲

6. 连续随机噪声

7. 脉冲式随机噪声

每台发射机的频率范围是从5千赫到大于1兆赫。为了在这样大的频率范围内提供宽的阻抗范围，应当选择阻抗匹配变压器网络，以与下列具体工作频段相适应。

1. A 频段 5千赫—50千赫
2. B 频段 40千赫—300千赫
3. C 频段 250千赫—600千赫
4. D 频段 400千赫—1兆赫

4. 信号质量

每台发射机的输出信号质量，取决于放大器的失真大小和输入信号中噪声含量的多少。通过对于基本功率放大器设计的研究，和对于非线性声纳试验台及其他系统的高功率、高频率功率放大器实际结构的研究，结果表明，使总的失真量低至1%到5%是切实可能的。由测量得知，在满功率输出时，谐波失真量一般要比基波低30分贝以上。当低于最大功率电平工作时，并在实验中对发射机的输入和输出信号进行“窄带过滤”，则总的失真量大大减小，约为0.1%到1%。

5. 性能监视

每台完整的发射机（功率放大器）中都设有采样输出电流和电压的变压器，以观察电流和电压波形及其相位关系，并由每个通道的发射波形计算输出功率。其次，如果需要的话，发射波形形成电路中的每一部分波形都能以数字读出或用模拟示波器显示。

6. 固态功率放大器设计

在本报告期间，应用研究实验室已对固态高功率、高频率功率放大器的工艺作了改进。其中改进了激励级和末级功放的机械布局设计；简化和改进了激励级的设计；调研了末级放大器功率晶体管，用作输出功率变换器、混合式功率组合和分配器以及在高频大功率时和整个宽带内阻抗匹配的宽带传输线变压器。

在前面第二章中与表 I 一起介绍的图 9，以及下面要介绍的图10、图11，分别画出了为非线性试验台研制的固态发射机方框图、功率放大器激励级和功率放大器组件的线路图。示于图 8 中的固态发射机功率放大器组件样机，当各部件到齐后即可装配，与其他40个这样的组件一起完工。按照海军海洋系统司令部合同 N00024-74-C-1069 第 0006 款，此项工程正在转入下一阶段的工作，开始了非线性试验台的其他设备——包括换能器柱和声束图案记录——的研制。

7. 宽带传输线变压器

传输线变压器最有效的用途列举如下：

1. 单端信号发生器可用倒相变压器去激励推挽放大器；

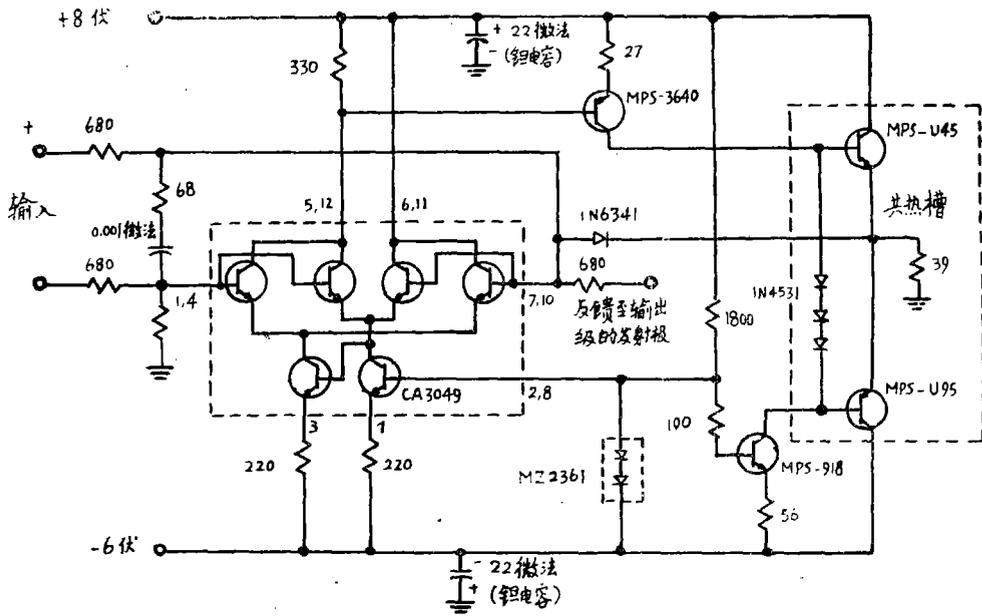


图10 非线性声纳试验台功率放大激励级线路图

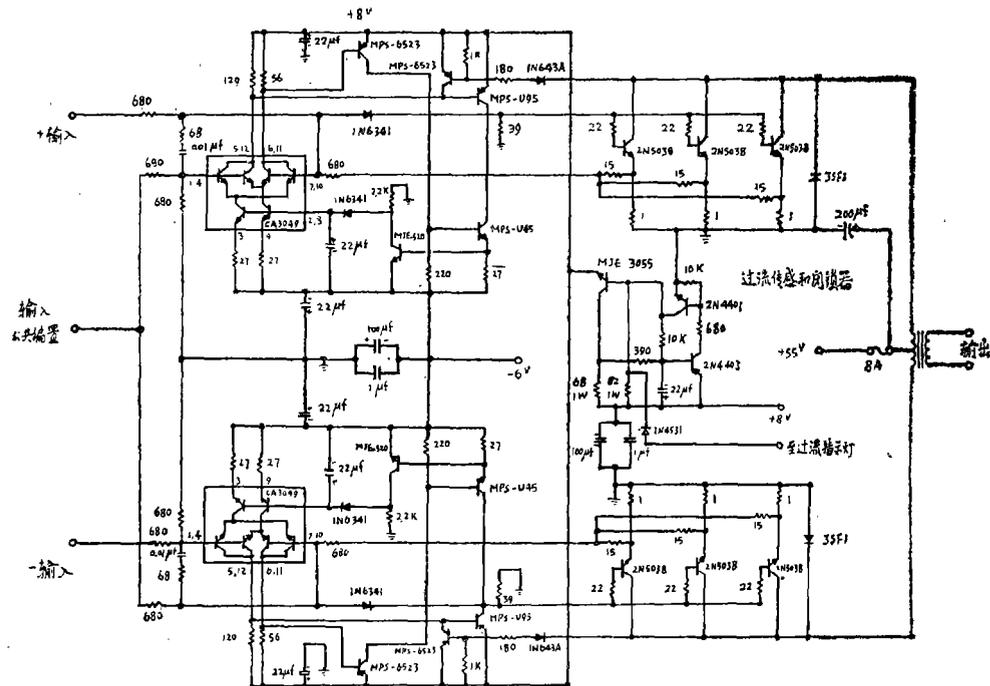


图11 非线性试验台功率放大器组件线路图

2. 在宽带放大器中间级和输出级中，可用阻抗变压器来变换阻抗；
3. 在功率放大器输出级，可用混合型传输线变压器作为功率分配器或组合器；
4. 用混合型推挽功率变压器可使输出中的偶次谐波分量大大减小。

为了变换阻抗，在晶体管放大器的输入端、级间和输出端需要插入某些装置；对输出端来说，则是为了使负载阻抗与末级工作负载线相匹配。通常窄带放大器的设计是利用诸如 π 型、 L 型或 T 型电抗调谐网络来完成阻抗匹配的。当带宽超过一个倍频程时，电抗元件就不能维持原来的阻抗变换了；而非线性试验台则要求复盖六个倍频程以上。这样大的带宽肯定超过了电抗匹配网络的能力；除非做成这样：用几个可以选择的匹配网络，其中每一个复盖一小段。这种分段复盖法对于复式固态放大器来说，可能是不切实际的；然而，用于电子管射频放大器中则是相当成功。

所以，对于阻抗匹配来说，变压器是一种最有效的元件；然而，由于匝间电容和漏感引起的低通滤波作用，严重地限制了普通变压器的高频响应。

一种适用于高频和大功率的特殊的变压器是*G. Guanella*在“射频电路中阻抗匹配的新方法”一文中介绍的传输线变压器。（见“*Brown Boveri Rev.*”，第31卷，327页，1944年）。在这种变压器中，线圈是这样排列的，使得匝间电容是传输线特性阻抗的一部分；因此，就不会形成谐振而严重地限制带宽。这种变压器绕组之间的排列可以十分紧密，以保持良好的耦合。变压器是由一条绕在一个高导磁率的铁芯上的传输线（一对绞合线）构成的。铁芯在所用的频带内损耗较低。

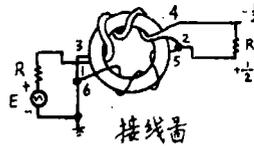
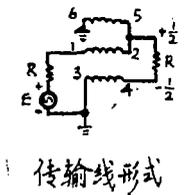
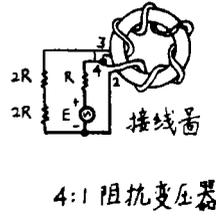
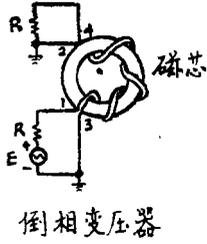
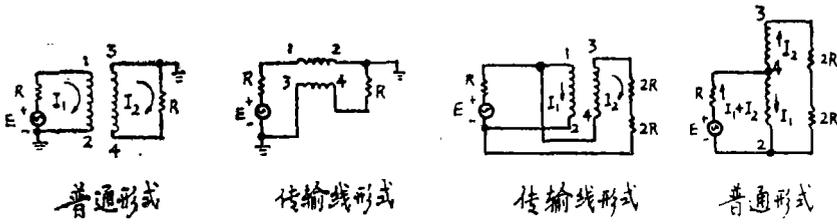
图12画出了普通变压器和传输线变压器。一般说来，初级绕组的电感决定了低频响应。对于某一给定的低频响应，铁芯的导磁率越大，则所需要的圈数越少，总的频带越宽。环形铁氧体和玻莫合金是常用的典型铁芯材料。某些铁氧体的导磁率在低频时非常高，而在高频时则下跌。当频率增加时，导磁率下跌了；但是，由于频率的增加，使得电抗保持不变。这样，在一个很宽的频率范围内，仍可获得良好的响应。

使用传输线变压器时，只能实现像4:1、9:1、16:1、25:1这些离散的阻抗变换。然而，可以把多级变压器串接起来，以获得较高的圈数比和阻抗变换。图12中所画的倒相变压器，是由绕在一个合适的环形铁芯上的单个双线绕组构成的，它是所有传输线变压器的基本结构部件。图12也画出了电流的极性，以说明极性是反向的。由于线圈电抗的作用，负载电阻的两端是与地绝缘的。然而，负载电阻的任何一个端点都可以接地，这取决于所需要的输出极性。如果将电阻的中心接地（即每一端到地都是 $1/2R$ ），则输出是平衡的。

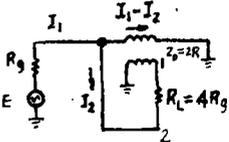
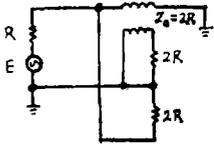
在高频时，可以认为这种变压器是一种理想的倒相变压器，只是加上了一个传输线的长度。如果传输线的特性阻抗与终端阻抗相等，那末传输就是宽带的。如果两者不相等，则在传输线的长度为 $1/4$ 波长的频率上的响应将有一个凹坑，凹坑的深度是终端阻抗与传输线阻抗的比值的函数，这个比值是很容易计算的。

图12和图13画出了各种传输线变压器的普通形式和接线图。这些变压器有几种类型：不平衡—平衡的变压器，4:1阻抗变压器，4:1阻抗变压器（不平衡—对称型的），平衡—不平衡式的4:1阻抗变压器，基本混合式，共轭阻抗相等的非对称混合式，共轭阻抗相等且每臂是单端的混合式，以及混合型功率组合器。

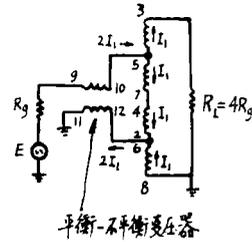
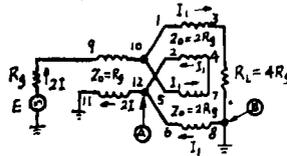
虽然用传输线变压器作为阻抗匹配器件有许多优点，但是，在有些情况下，使用串



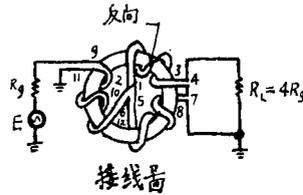
不平衡-平衡变压器



平衡-不平衡式的4:1阻抗变压器



平衡-不平衡变压器



4:1 阻抗变压器 (不平衡-对称式)

普通形式

图12 传输线变压器

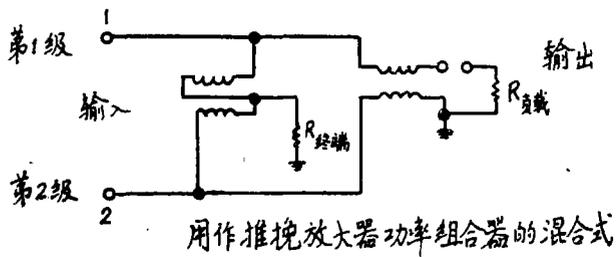
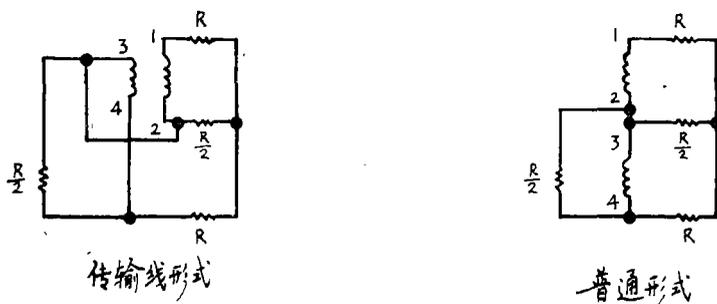
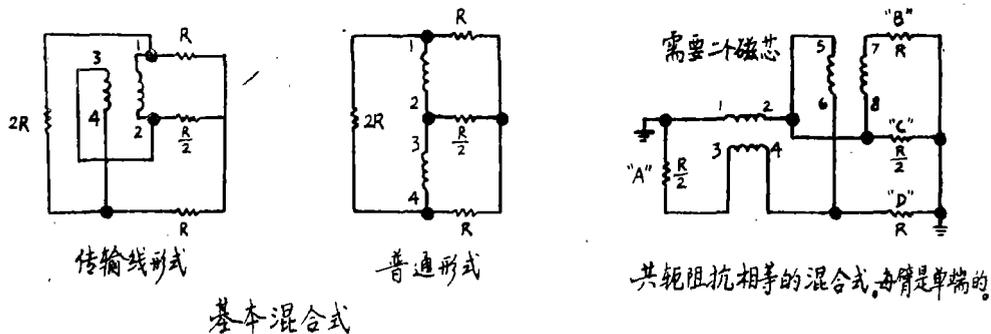


图13 混合式传输线变压器

联或并联形式的电抗性网络也能获得所需要的阻抗匹配、谐波衰减或带宽，并可使用大小实用的元件。

8. 变换方程和网络解

由于终端阻抗必须是 $50 + j0$ 欧姆，所以本报告中的网络解是有限的。这些网络通常用于匹配那些信号源（内阻）或负载为50欧姆的晶体管射频功率放大电路。当被匹配的信号源或负载中有一端不是50欧姆时，求解这种网络（已在图14中画出）的数学过程，可以按照网络的标名A, B, C₁, C₂, 和D, 在图15中找到。

9. 阻抗匹配网络

图14所示的五种网络，每一种都有一些局限性，所以，需要从能得到实用的元件值这一点来加以选用。

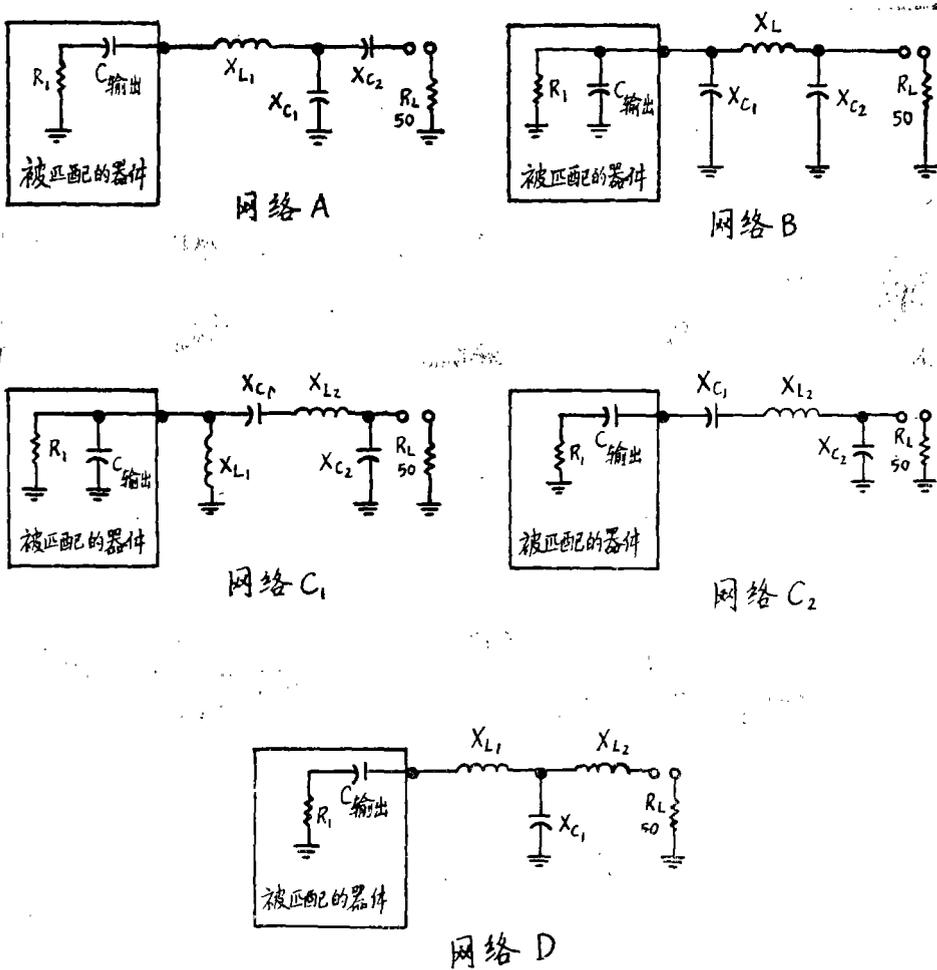


图14 阻抗匹配网络

在高频时，元件的选择成了一个问题，此时对于匹配网络的计算会是没有意义的，除非在其工作频率上可以得到和测量网络的实用元件值。当然，对于下述这一点是不能过份强调的：在1千赫时满足技术要求的元件，用于500千赫到1兆赫甚至更高的频率时，其数值必定相差很大。

在图14中，标有“被匹配的器件”方块里的电阻和电容，表示晶体管的复输入阻抗或复输出阻抗。在一些情况下以串接形式表示这些复阻抗，在另一些情况下以并联形式表示，根据在网络计算中用哪一种形式方便而定。当网络接有 $50 + j0$ 欧姆负载时，其合成阻抗必须等于方框中阻抗的共轭值。

网络A（图14）仅适用于“被匹配的器件”具有小于50欧姆的串接实阻抗的情况。

把一个并联的电阻和电抗组合转化为串联的：

$$R_s = \frac{R_p}{1 + (R_p/X_p)^2}$$

$$X_s = R_s \frac{R_p}{X_p}$$

把一个串联的电阻和电抗组合转化为并联的：

$$R_p = R_s [1 + (X_s/R_s)^2]$$

$$X_p = \frac{R_p}{X_s/R_s}$$

解网络A：

1. 选择一个Q值

$$X_{L1} = QR_1 + X_{C \text{ 输出}}$$

$$X_{C2} = AR_L$$

$$X_{C1} = \frac{(B/A)(B/Q)}{(B/A) - (B/Q)} = \frac{B}{Q - A}$$

式中 $A = \sqrt{\left[\frac{R_1(1+Q^2)}{R_L} \right] - 1}$

$$B = R_1(1+Q^2)$$

解网络B：

1. 选择一个Q值

$$X_{C1} = R_1/Q$$

$$X_{C2} = R_L \sqrt{\frac{R_1/R_L}{(Q^2+1) - (R_1/R_L)}}$$

$$X_L = \frac{QR_1 + (R_1 R_L / X_{C2})}{Q^2 + 1}$$

解网络C₁：

1. 选择一个Q值

$$X_{L1} = X_{O\text{输出}}$$

$$X_{C1} = QR_1$$

$$X_{C2} = R_L \sqrt{\frac{R_1}{R_L - R_1}}$$

$$X_{L2} = X_{C1} + \left(\frac{R_1 R_L}{X_{C2}}\right)$$

介网络C₂

1. 选择一个Q值

2. 在此网络中不用L₁

$$X_{C1} = QR_1$$

$$X_{C2} = R_L \sqrt{\frac{R_1}{R_L - R_1}}$$

$$X_{L2} = X_{C1} + \left(\frac{R_1 R_L}{X_{C2}}\right) + X_{O\text{输出}}$$

介网络D₁

1. 选择一个Q值

$$X_{L1} = (R_1 Q) + X_{O\text{输出}}$$

$$X_{L2} = R_L B$$

$$X_{C1} \frac{(A/Q)(A/B)}{(A/Q) + (A/B)} = \frac{A}{Q + B}$$

式中 $A = R_1(1 + Q^2)$

$$B = \sqrt{\left(\frac{A}{R_L}\right) - 1}$$

图15. 变换方程和网络解

当串接实阻抗接近于50欧姆时，C的电抗接近无穷大。然而，在射频功率放大器中，输入和输出的串接实阻抗一般都小于50欧姆，这就使得这种匹配网络能适用于大多数的功率放大级。

网络B（图14）是在真空管发射机中广泛使用的π型网络。当R₁比较小时，一般不能用这种网络。当R₁ < 50欧姆时，L会小得不切实际，而C₁和C₂则非常大。如果必须使用π型网络来匹配低阻抗，通常就用两节π型网络。在两节π型网络中，第一节Q值很低，因此，可以得到尺寸实用的元件。

网络C（图14）以两种形式表示。这两种形式都有局限性，即R₁必须小于50欧姆。所以，在要求匹配低R值的地方，用这两种结构通常可以得出最实用的元件。

网络D是用于匹配阻抗小于或大于50欧姆的T形网络。用这种网络匹配晶体管功率放大输出级时，可以获得非常高的集电极效率。

这些网络适用于满足网络局限性的任何电路。

10. 小 结

对于第 I 部分非线性声纳试验台的基本要求是，提供一种多用途的双通道高频大功率发射机和一种由前置放大器、滤波器、采样电压表以及一个示波器组成的简单接收系统。如在本章中所描述的那样，研究和制作工作中的很大一部分是集中在发射机（功率放大器）方面。工作的结果是，已经研制出了四对发射机（功率放大器），其频率范围从 5 千赫到大于 1 兆赫，输出功率为 40 瓦到 15 千瓦。信号的形式可以有很多种，而输出信号中的谐波失真均可望很小。

已经研制出来的固态发射机，特别是其中的激励级和末放大级以及用作输出功率变换器的宽带传输线变压器（混合功率组合器型式），具有明显的先进性。

作为本计划的一部分，我们已经研究、发展和编制了用于匹配高频大功率宽带固态放大器的阻抗匹配技术、变换方程和网络解。

四、接 收 机

在第一章中已经介绍了非线性声纳试验台接收系统的第 I 部分测试设备（见图 2 的方框图和图 3 的照片）。接收机部分包括二个复盖预定频率范围（20 赫—2 兆赫）的标准水听器（ $H-23$ 和 $E-8$ ，没有画出），三个可变增益宽带前置放大器，一个缓冲放大器，一个可控增益波形发生器，二个带通滤波器，一个接收机选通门，一个定时发生器和选通门，一个存储示波器和一个采样数字电压表。

图 3 画出了非线性试验台的接收机部分。在这部分中，前面尚未介绍过的设备包括一个标准石英振荡器（它能产生频率为 100 千赫和 1 兆赫、幅度为有效值 1 伏的校准信号），几个冷却风扇以及一个交流电源的调节器和控制器。

1. 前置放大器和缓冲放大器

图 16 所示的前置放大器（图 17 是它的线路图）是由第二次报告期间制成的部件改进而成的。添加了一个增益选择开关，一档为 20 分贝，一档为 40 分贝，一档为 0 到 40 分贝连续可调（误差为 ± 0.5 分贝）。频率范围从 10 赫到大于 3 兆赫。输出阻抗在 100 千赫时约为 50 欧姆 $\pm 10\%$ ，在 1 兆周时约为 75 欧姆 $\pm 10\%$ 。经测定，该前置放大器具有 0.5 分贝的非常低的噪声指数；此测量是用一个在中心频率为 100 千赫时内阻为 2.2 千欧，带宽为 4 千赫的信号源做的。目前，由于用了孪生晶体管，线路的热稳定性很好。

如前面图 2 所示，接收机的“前端”已经扩展成包括一个增益为 1 的缓冲放大器和一个增益由波形发生器控制的 0 到 60 分贝的放大器。该波形发生器能提供 TVG （时变增益）、 AGC （自动增益控制）或某种特殊实验装置所需要的波形。如前置放大器那样（图 16），所有的接收机电路装在许多板上，并安装在前置放大器和信号处理板的机架上（图 3）。图 18 和图 20 分别画出了为了与接收机前放连用而制作的选通—可变增益放大器和可变增益放大器的接线图。放大器的电压增益与 AGC 电压、频率、负载电阻的关系的测试结果，如图 19 和图 21 的曲线所示。

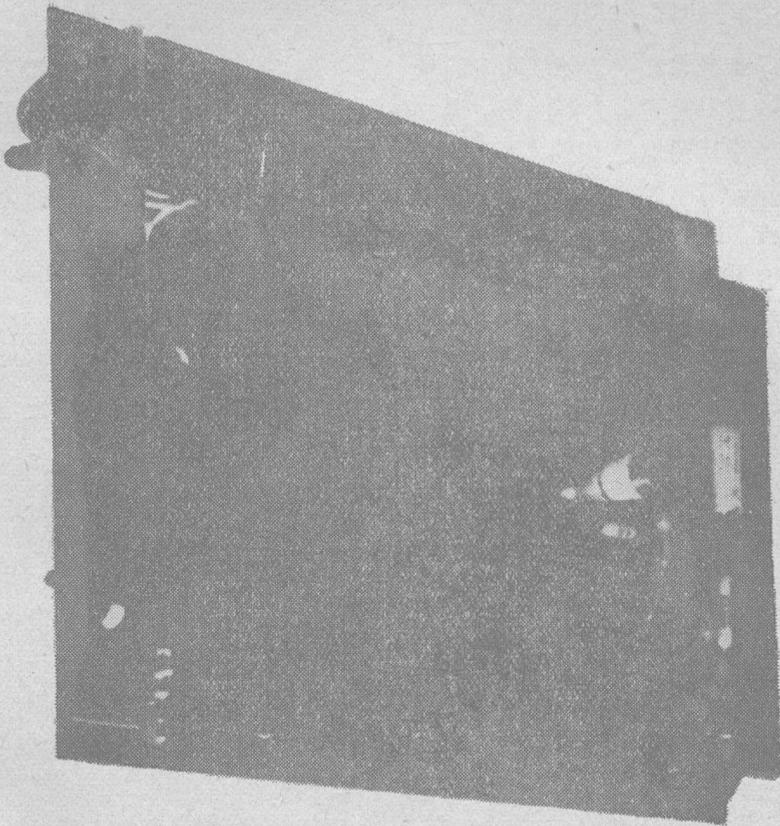


图16 宽带可变增益前置放大器

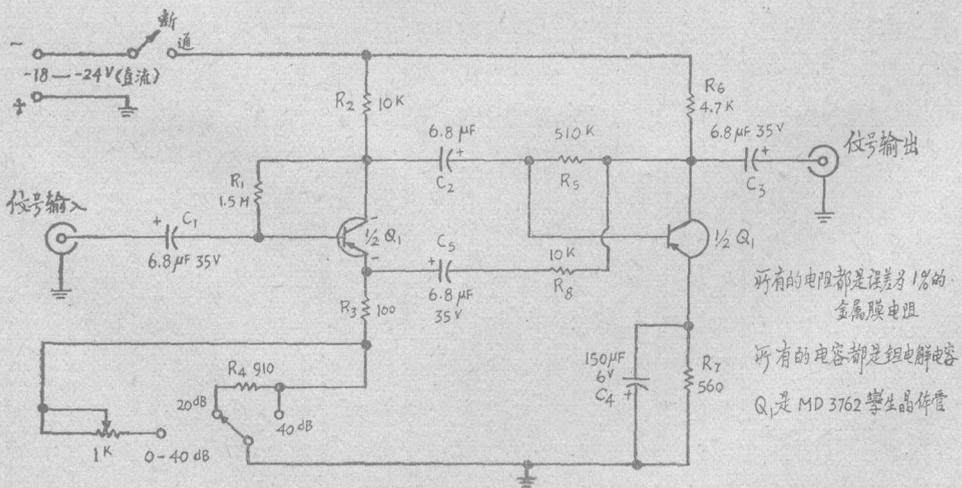


图17 非线性声纳试验台前置放大器线路图

2. 可变频率带通滤波器

在接收机和其他系统中使用的可变滤波器是 *Krohn-Hite* 公司的 3202R 型滤波器。这些双通道可变滤波器在 20 赫到 2 兆赫的频率范围内，可以用作低通、高通、带阻或带通滤波器。它们均是固态的，插入损耗为 0 分贝，交流声和噪声小于 100 微伏（有效值）。每一个通道的衰减斜率为每倍频程 24 分贝，最大衰减为 80 分贝，其响应特性是可以选择的，像四阶 *Butterworth* 滤波器或简单的四阶 RC 滤波器那样。

滤波器的输入特性表明，一直到 2 兆赫，它的最大输入幅度均为 3 伏（有效值），输入阻抗为 100 千欧与 50 微微法并联。此滤波器的输出特性表明，最大输出电压为 3 伏（有效值），内阻约 50 欧姆。

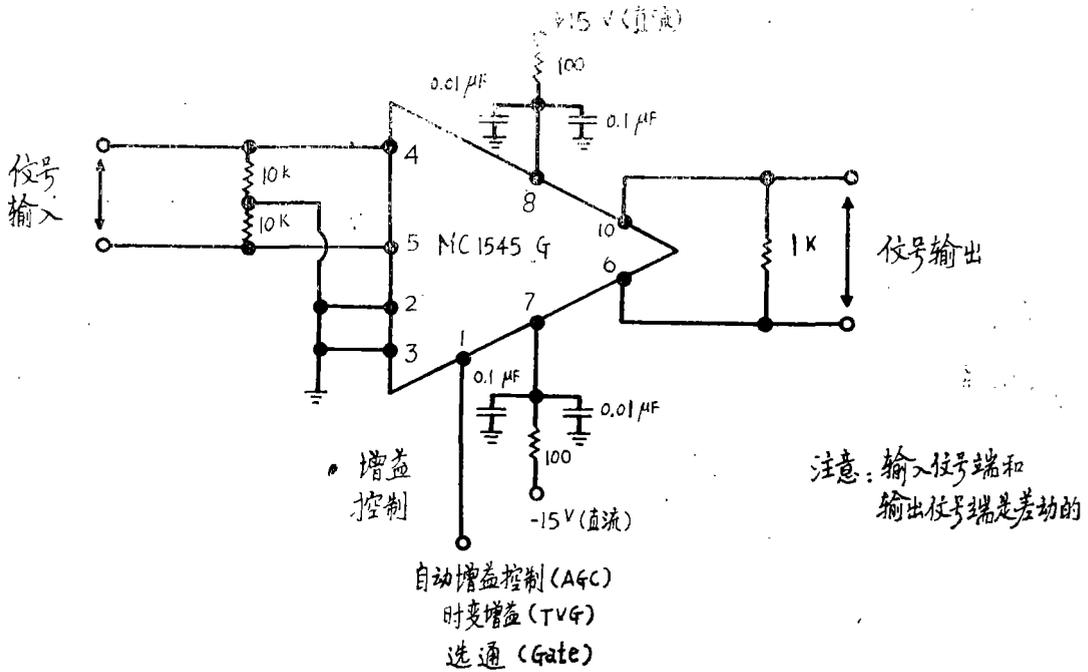
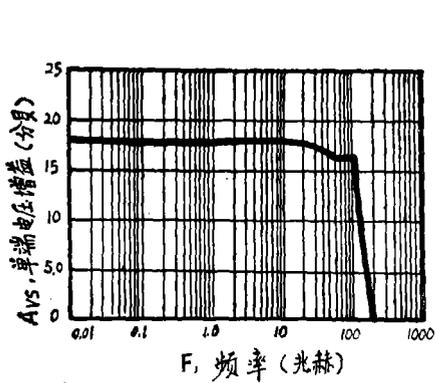
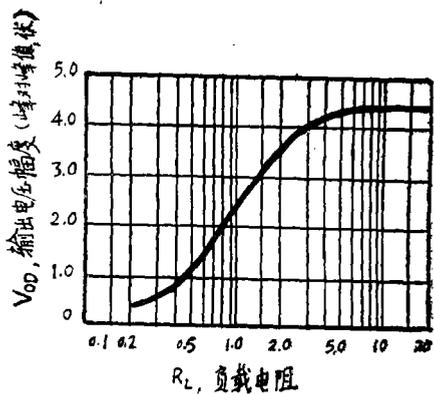


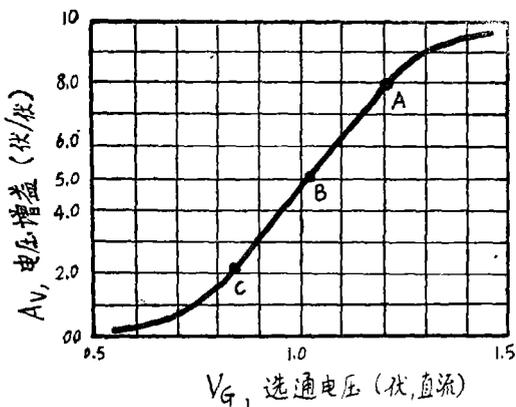
图 18 非线性试验台可变增益和（或）选通放大器



单端电压增益与频率的关系



输出电压幅度与负载电阻的关系



电压增益与选通电压的关系

图19 MC1545放大器测试结果

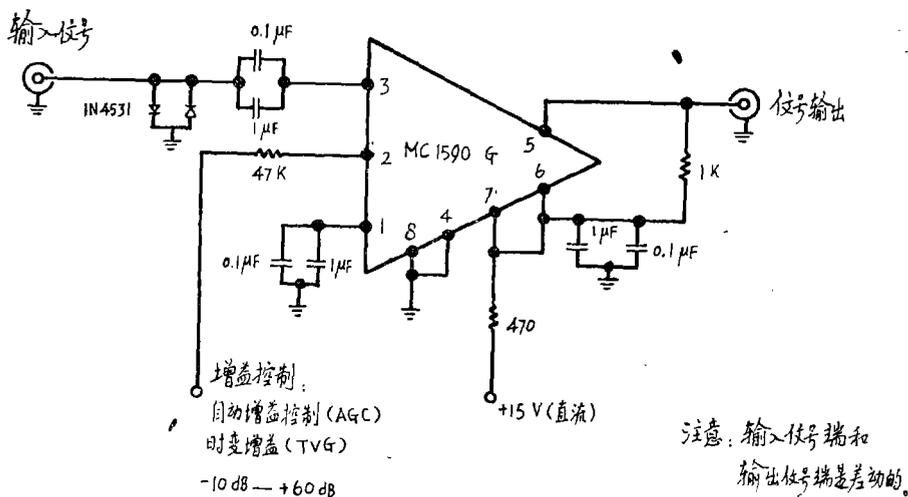


图20 非线性声纳试验台可变增益放大器

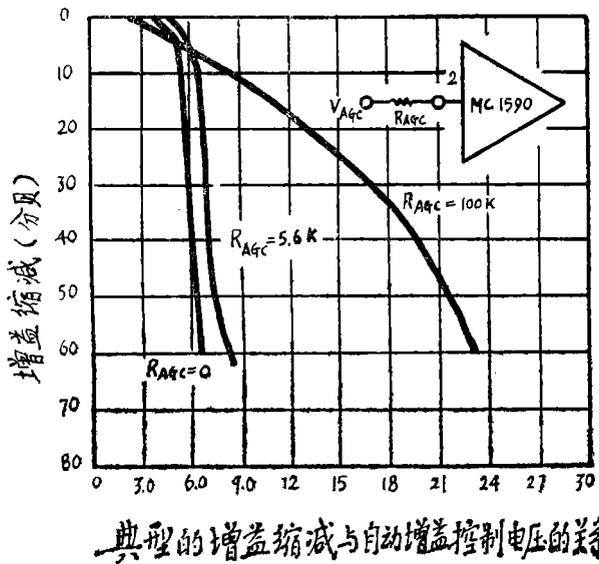
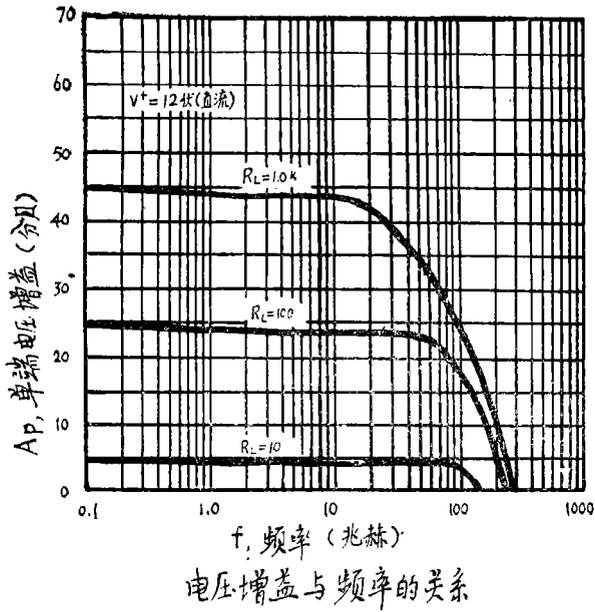


图21 MC1590放大器测试结果

3. 采样数字电压表

我们为系统的接收机部分选用了—个 *Dranetz 220A* 型采样数字电压表。此电压表是一种可编程序的、选通的、平均响应电压表，可以在某一短暂的采样时间内测量交流信号的幅度。它可以在任一预定时刻，以某一选定的采样长度去测量快速变化的连续信号、经过选通的交流信号（单频脉冲）或单个脉冲交流信号；所选定的采样长度可以像信号的一个周期那样短。

采样—保持输出电路与内部的对数变换结合起来，可以同时提供几个输出：一个从数字式面板表头直接读出的输出分贝数（以有效值 1 伏为 0 分贝），一个线性直流输出，二个对数直流输出和一个与数字式面板表头的读数相应的对数数字输出（*BCD* 编码，即二—十进制编码）。此电压表还备有一个插入外部直流信号的装置，可以同时进行数字显示和相应于其他对数参数的 *BCD* 输出，而不影响仪器的校准。

此电压表也附有内部的低通和高通滤波器，一个平均值检波器和对数换算装置，以保证宽的动态范围、高灵敏度、宽的频率范围、短的采样时间以及对噪声和信号畸变的低的敏感性。

由制造商提供的 *Dranetz 220A* 型采样电压表的详细说明可见表 I。

这个采样电压表的可编程序的特点，同非线性声纳试验台整个系统的概念是相符的（见图 3）。

表 I *Dranetz 220 A* 型数字采样电压表技术指标

项 目	技术指标
信号频率范围	100 赫—1 兆赫
精确度	至 200 千赫为 ± 0.3 分贝 200 千赫—1 兆赫为 ± 0.5 分贝
输入动态范围	-70—+14 分贝（以有效值 1 伏为 0 分贝）或 $V = 0.3$ 毫伏—5 伏（有效值）
信号输入阻抗	1 兆欧
输出指示	
数字式面板表头	-70—+14 分贝，用内部直流分度信号输入时，最大指示值为 ± 199.9 分贝
直流模拟输出， $Z_{\text{输出}} = 600$ 欧姆	对数：0.05 伏/分贝，+0.0—4.2 伏 对数：1 毫伏/分贝，-0 毫伏—+14 毫伏（0 伏直流输出参考于 1 伏有效值）；线性范围：+0.5—+5 伏
<i>BCD</i> 输出	12 路（8-4-2-1 <i>BCD</i> 码）； <i>TTL</i> （晶体管—晶体管逻辑电路）， <i>DTL</i> （二极管—晶体管逻辑电路）均可
重复速率	

内触发发生器， 外触发器：	约每秒采样10次 对模拟直流输出，两个样本之间需要 1—4毫秒，取决于采样时间；对于 数字显示和BCD输出，最小重复速 率为10毫秒
采样长度	约为50, 100, 300, 1000, 3000和10000 微秒，至少要求1个整周期
滤波器	低通：0.01, 0.1和1兆赫 高通：0.1, 1和10千赫
采样—保持装置	输出从一电平转换到另一电平时，无 放电现象；为了无限保持，可将数字 输出编制程序
(启动采样所需的) 触发输入	方波，脉冲或阶梯波，±5伏峰值， 上升时间<50微秒（由10%上升到 90%），变压器输入，不接地，输入 阻抗约等于5千欧
为掩蔽信号瞬变过程而设的延时控制	低于0.5兆赫时，可选择4—300周(循 环计数)；高于0.5兆赫时，可选择 8—600微秒(时间延迟)
监视器和控制输出	给外设备的同步脉冲 交流监视器输出；已滤波信号和未滤 波信号；后面板上的错误指示信号过 载，正确采样，采样长度，低通和高 通滤波器选择，不正确采样和信号输 入的损失
视觉指示器	
程序编制能力(后面的接线柱)	适合于DTL和TTL；用远距离的 触点闭合也可操作。滤波器选择，采样 长度，定时和其他作用也可编制程序

4. 单频定时脉冲发生器

*Dranetz 206A*型数字单频定时脉冲发生器是非线性声纳试验台第I部份的主选通控制器。由制造商提供的发生器的一般技术特性列于表Ⅲ。它选通一个交流信号源，可产生单一的或重复的单频脉冲，开和关的时刻与信号过零点相一致，以使过渡过程减小到最低值。可利用内触发或外触发来产生一个精确的脉冲系列，作下列用途，在它的第一个正向过零点，接通被选通的信号；在第一个负向*过零点，断开信号，紧接着是一个精确的时间间隔；在该时间间隔后选通检波器或接收器；触发示波器、采样电压表或其

* 原文误写成“正向”。——译注

他装置。为了定时控制，此发生器也可由并联的BCD输入远距离编制程序。

为声纳试验台发射信号发生部份而制作的ARL单频脉冲发生器选通门是图3中发射信号发生部份之一。这些单元的方块图和线路图分别见图22和23, 技术说明则列于表IV。

5. 存储示波器

Hewlett—Packard 公司181AR型可变余辉存储示波器内插有50兆赫双通道垂直放大器 and 水平时基，能模拟显示非线性声纳试验台系统的接收和（或）发射波形。其存储能力允许对所存储的图象进行单个信号的观察并接着照相。

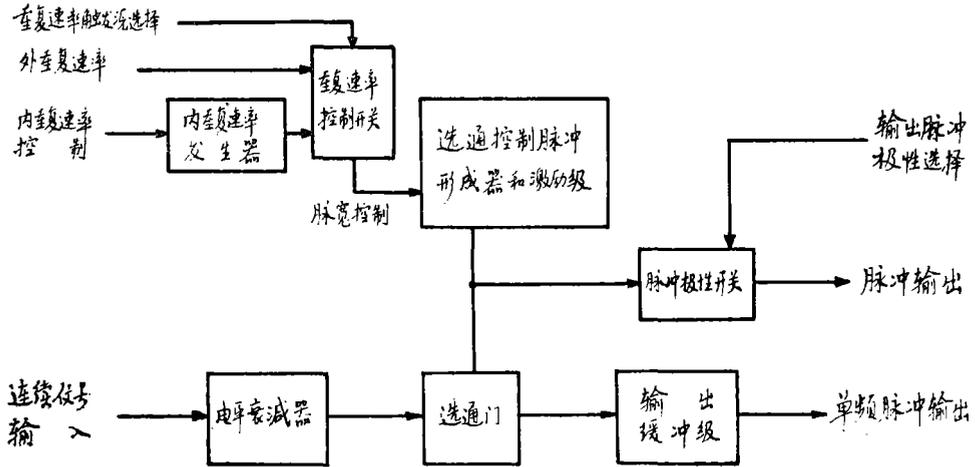


图22 ARL单频脉冲发生器—选通器方框图

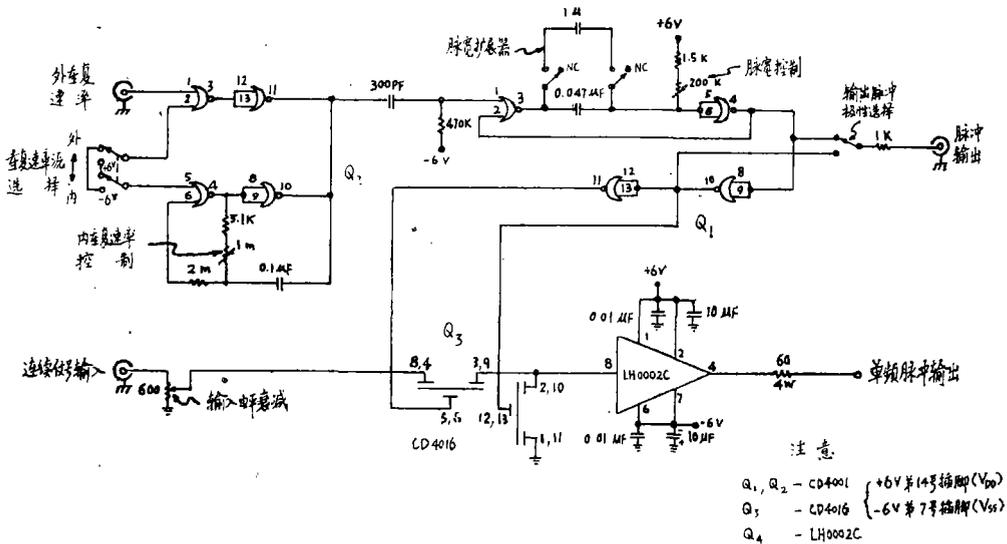


图23 ARL单频脉冲发生器—选通器线路图

表Ⅴ	Dranetz 206A型单频定时脉冲发生器技术性能	
类别	说明	
工作方式	<i>CW</i> (连续波) 内触发的单频重复脉冲 外触发的单频脉冲 单一的单频脉冲	
信号通道		
频率范围	50赫—3兆赫	
输入电平	正弦信号, 1伏(有效值) $\pm 10\%$	
输入阻抗	最大约为10千欧与100微微法并联	
输出电平	负载为75欧时(在整个频率范围内), 从0.1—1伏(有效值)可调 负载为10千欧时(频率至2兆赫), 从0.5—5伏(有效值)可调	
输出失真	从50赫—0.5兆赫小于0.5%, 频率低于3兆赫时小于1%	
输入与输出之间的隔离	频率低于0.5兆赫时大于60分贝; 噪声低于满刻度输出60分贝(典型值)	
选通类型(由操作者选择)	过零点接通和过零点断开, 其重合误差小于 1.5° 或25毫微秒(由操作者选择的60赫电源同步锁定); 非同步接通和断开	
定时控制		
重复周期	100微秒—99.99秒	
发射脉宽	10微秒—9.999秒	
瞬态延迟脉冲	10微秒—9.999秒	
接收机时延	10微秒—9.999秒	
接收机接通时间(选通宽度)	10微秒—9.999秒	

表Ⅵ	ARL单频脉冲发生器—选通器技术性能	
类别	说明	
工作方式	<i>CW</i> (连续波) 内触发的单频重复脉冲 外触发的单频脉冲 单一的单频脉冲	
信号通道		
频率范围	20赫—50兆赫	
输入电平	正弦波3.5伏(有效值) $\pm 10\%$, 可调	

输入阻抗	600欧(单端)
输出电压	负载50欧, 频率低于3兆赫时, 从0.1—3.5伏(有效值)可调; 频率至5兆赫时, 为1伏(有效值)
输出失真	频率低于1兆赫时小于1%, 至5兆赫时低于2%
输入与输出间的隔离	频率低于1兆赫时高于56分贝; 噪声低于满刻度输出60分贝(典型值)
选通类型	非同步接通和断开; 信号频率的 $\pm\frac{1}{2}$ 周期
定时控制	
重复周期	4.1毫秒—800毫秒
发射脉宽	30微秒—800毫秒
接收器选通门(接通时间)	30微秒—800毫秒

在本节中讨论的非线性声纳试验台接收部分完整的第I部分测试设备包括, 二只频率覆盖范围为20赫—2兆赫的标准水听器(H—23和E—8), 三只可变增益宽带放大器, 一只缓冲放大器, 一只可控增益的波形发生器, 二只可变频率带通滤波器, 一只带有选通接收门的数字采样电压表, 一只单频定时脉冲发生器, 二只发射信号的单脉冲发生器—选通器和一台可变余辉存储示波器。

五、联接系统(接口)

第I部分的接收机和发射机组件的简单联接设备已设计好了。然而, 整个非线性声纳测试台要包括一个完整的、可程序的半自动化系统, 如前面图1所示。目前, 正在把传递和控制数据的 *Hewlett—Packard USASCII* 母线系统用于整机设计之中。在联接链中, 任何一个已联接的仪器能够控制或发送信息到其他14个仪器。该系统的基本优点是:

1. 能够实行两个装置之间的非同步通讯;
2. 能够用适合于该装置的任何速度传送数据;
3. 能够以不同的输入和输出速度把设备互相联接起来;
4. 只需要15根线便能完成所有的功能和数据递送任务。

用一个3线系统控制“发讯器”(数据源)和一个或更多的“收听器”(数据转发器)之间的数据传送。三根标有“准备传送数据(RFD)**”的“摇手线”能够以任何一种装置的速度传送非同步数据, 而不影响速度较快的装置的工作。

为了传送按字节串行、按位平行的数据(*byte-serial, bit Parallel data*), 系统应用了1条8线数据母线。每个仪器有一个数字地址, 按照MRE(多重响应)**的逻辑

* 原文为 *ready-for-data*。——译注

** 原文为 *multiple response enable*。——译注

状态，可以写出某一单元的地址，或者提供信息。靠15根信号线传送按字节串行的信息的双向母线，可以在任何二个装置之间传递信号。图24画出了典型的仪器类型，如线路板读出器和信号发生器。

通过母线而相互作用的三种装置分别称之为发讯器，收听器和控制器。一旦控制器接上了通讯网络或数据路径，发讯器即能同时与二个或更多个收听器通讯（通讯路径是直接的）。

RFD, *DAV* (有效数据) *和*DAC* (接受数据) **这三根线用来调整数据的速度，确保每个接收器准备好接受数据并且有充分的时间存储所输入的数据。

在用这种系统接口(见图24)的情况下，像线路板读出器或程序计算器那样的单个装置就是发讯器，而另外的被写出地址的装置是收听器。若令*RFD*置“高电平”，收听器则指示准备接受数据；发讯器把一组二进制数据送到数据线上，然后使*DAV*置“低电平”。收听器把*DAV*的高电平存储起来后，便使*DAC*置高电平；一旦*DAC*变为低电平，即发送另一组二进制数据。15根线中余下的三根线，可使系统控制器通过标有*SRQ* (请求使用) ***的线去控制提出请求的仪器。用控制器可以完全地控制*EOP* (终端输出) ****线。当*REN* (遥控) *****线置于高电平时，经过各个仪器的前面板，由该线可以进行手控。

除了为系统的第I部分而制造的标准接口之外，还对*AN/SQQ-14*型发射机作了改进，并进行了操作试验。改进之处包括研制了操作者的控制接口和连接电缆(见图7)。

二台发射机放在一个机箱内，在35欧姆假负载情况下，输出功率可达15千瓦以上。没有发现二台发射机之间有交叉干扰，输出波形是清晰的正弦单频脉冲。发射机在其正常工作频率80千赫和350千赫上工作。现在已经对发射机的输入和输出级作了改进，使它们能适用于所选择的不同的频带。两只安装在杆上的15千伏安变压器是买来的，在2安培时可输出7200伏；把它们安装在永久性的*LTT S*非线性声纳试验台设备中，便可使发射机连续地工作。

六、总 结

非线性声纳测试第I部分的设计、制造和测试目的均已达到，这部分的测试设备方块图可见图2，实际装配情况则见图3，4，7。

表V中列出了第I部分的各个部件。40个固态功率放大器组件尚未完成，因此没有列入。

* 原文为*data valid*。——译注

** 原文为*data accepted*。——译注

*** 原文为*service request*。——译注

**** 原文为*end output*。——译注

***** 原文为*remote enable*。——译注

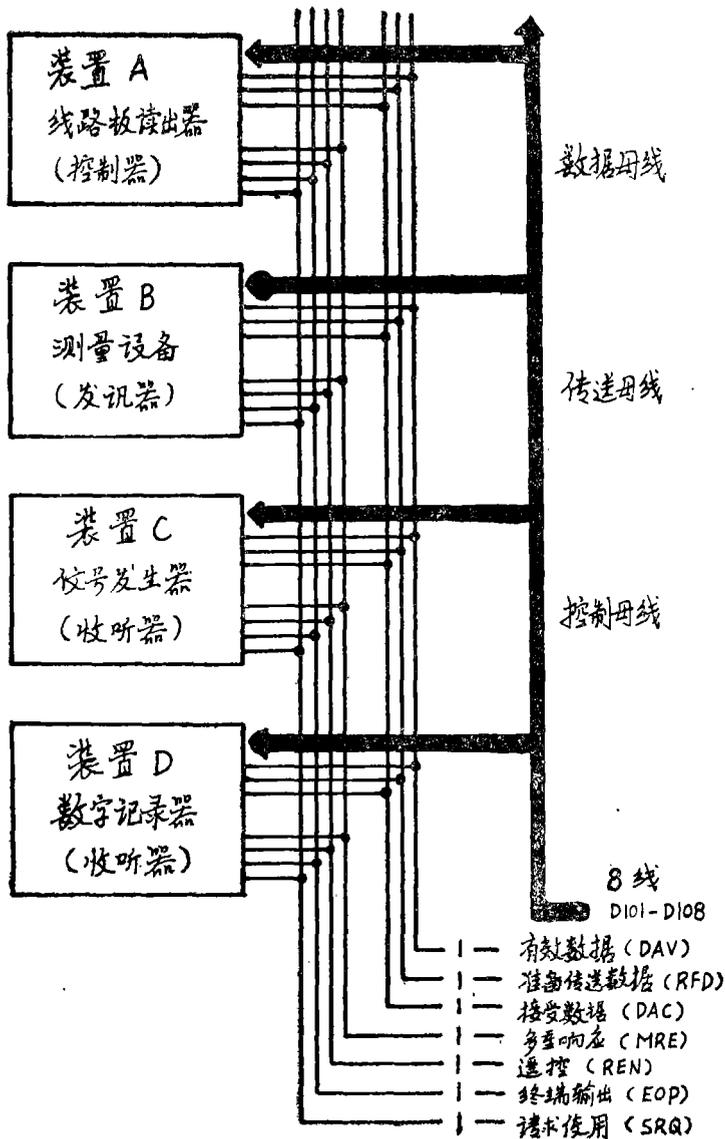


图24 USASCII联接系统

除了设计、制造、接口、采办和装配整个第 I 部分非线性声纳试验台以外，*ARL* 利用该系统做了二次非线性实验，并且准备做第三次。

该试验台在第一次使用时，发射功率为3.5千瓦（二个发射机中的每一个），试验并测量了声源级与 *AN/BQN-17(XN-2)* 换能器束宽变化的关系。该实验是于1973年12月13日的那个工作周在新伦敦海军水下系统中心 *Millstone* 设施的咸水中做的。

第二次试验是在 *ARL* 内进行的，测量了同轴电缆的埋设部分的目标特性和位置。具

体地说，测量了同轴电缆在自由场中的目标强度、位置以及与典型沉积层底面的区分；也测量了埋设的同轴电缆的目标特性，这是向声纳试验台提出的有关宽带目标特性的一个专题。

表 V

单 元	型 号	数 量
4 瓦功率放大器	ARL	2 个
15瓦功率放大器和控制接口	$4N / SQQ - 14 / ARL$	1 个单元, 2 个发射机
40瓦功率放大器 - 激励级	ENI - 240L	2 个
发射单频脉冲选通门	ARL	2 个
数字频率合成器	HP - 3330B	1 个
可变频率振荡器	HP - 204D	1 个
阻抗匹配网络	ARL	6 个
混频器	ARL	1 个
控制器 - 程序设计器	ARL	1 个
可变带通滤波器	Krohn - Hite3202R	3 个
采样数字电压表 - 接收机选通门	Dranetz 220A	1 个
数字单频定时脉冲发生器	Dranetz 206A	1 个
增益为 0 - 40分贝的前置放大器	ARL	3 个
增益为 1 的缓冲级	ARL	1 个
增益为 0 - 60分贝的放大器	ARL	1 个
可控增益波形发生器	ARL	1 个
存储示波器	HP - 181AR	1 个
标准接收和发射换能器	E - 8(NRL, USRD) H - 23(NRL, USRD)	1 个 1 个
电源		
+15伏, 6安	LAMBDA LXS - C - 15 - R	1 个
-15伏, 6安	LAMBDA LXS - C - 15 - R	1 个
+5伏, 9安	LAMBDA LXS - C - 5 - OV - R	1 个
+28伏, 4安	NJE QR - 36 - 4	1 个
±250伏, 0.13安	LAMBDA LPD - 425A - FM	1 个
500伏, 0.2安	ACOPIAN U500 Y20	2 个
200伏, 0.15安	ACOPIAN 200 UA15	2 个
5500伏, 0.68安	ARL	1 个
7200伏, 2安	ARL	1 个

非线性声纳试验台第Ⅱ部份正在研制中。按照完整的计划，这一部分所要开展的研制项目有：波束图案的直角座标 - 极坐标记录；整个系统的控制器 - 程序设计器 - 计算机；三个轴的位置可以控制和读出的、长度为30呎的换能器柱（安装架）；集成试验台的第Ⅲ部份和第Ⅱ部份所需要的全部接口。

参 考 文 献

(关于阻抗匹配问题)

O. Pitzalis, "Broadband Transformer Design for RF Transistor Power Amplifiers", Paper Presented at the 1968 Electronics Components Conference.

G. Grammer, "Simplified Design of Impedance - Matching Networks," QST March, April, and May 1957.

G. Guanella, "New Method of Impedance Matching in Radio Frequency Circuits," Brown Boveri Rev., Vol. 31, p. 327 (1944).

F. Davis, "Matching Network Design With Computer Solutions," Motorola, Inc., Application Note AN-267, Motorola, Inc., Phoenix, Arizona.

R. C. Hejall, "Solid-State Linear Power Amplifier Design," Motorola, Inc., Application Note AN-546, Motorola, Inc., Phoenix, Arizona.

H. Granberg, "Broadband Linear Power Amplifiers Using Push-Pull Transistors", Motorola, Inc., Application Note AN-593, Motorola, Inc., Phoenix, Arizona.

C. L. Ruthroff, "Some Broadband Transformers," Proc. IRE 47, pp.1337-1342, (August 1959).

O. Pitzalis, Horn, and Baranello, "Broadband 60-W HF Linear Amplifier," IEEE Trans. Solid State Circuits SC-6, June 1971.

E. W. Pappenfus, Bruene, and Schoenike, Single Sideband Principles and Circuits (Mc Graw-Hill Book Company, Inc., New York, 1964).

(本文译自 AD 787046)

陈克棠、毛汝良、胡嘉忠译
裘辛方校