

Study on the working principle and troubleshooting of a low frequency signal generator

Li Xiang

Nanjing Electronic Devices Institute, Nanjing

Abstract: This paper briefly introduces the working principle, fault reasons and troubleshooting methods of a precise low frequency signal generator.

Key words: Signal generator; Instruments; Troubleshooting

Received: 2019-07-12 ; Accepted: 2019-08-01 ; Published: 2019-08-04

某低频信号发生器的工作原理及 故障检修研究

李 响

南京电子器件研究所, 南京

邮箱: xiang.li02@gmail.com

摘 要: 本文扼要介绍某型精密低频信号发生器的工作原理、故障原因及其排除方法。

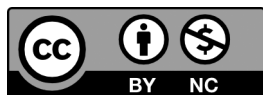
关键词: 信号发生器; 仪器; 故障排除

收稿日期: 2019-07-12; 录用日期: 2019-08-01; 发表日期: 2019-08-04

Copyright © 2019 by author(s) and SciScan Publishing Limited

This article is licensed under a [Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/).

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>



1 引言

某精密低频信号发生器是 RC 移相式低频 / 超低频信号发生器, 采用精心设计的 ACC 电路和宽带精密运算放大器, 对输出幅度进行快速精确的反馈控制, 可同时输出 0.001Hz 至 100kHz 的正弦、余弦、方波、脉冲信号, 具有正弦信号谐波失真低、幅度稳定、频响平坦、瞬态响应快、使用方便等特点, 应用于军品生产线上, 发挥着重要的作用。该仪器由稳压电源、RC 移相电路、两个高增益差分放大器、方波 / 脉冲发生器和 1 个特殊设计的自动幅度控制电路组成。

2 原理分析

该信号发生器由两级移相放大器、1 个自动幅度控制电路组成, 其结构如图 1 所示。

反相端输入电阻与反馈电阻相等时, 相位超前放大器 A_1 , 即 $W=W_0=1/(R_1C_1)$ 时, $AVC=1$, $\phi=+90^\circ$ 。

反相端输入电阻与反馈电阻相等时, 相位滞后放大器 A_2 , 即 $W=W_0=1/(R_2C_2)$

时, $AVC=1$, $\phi=-90^\circ$ 。

在图1中, 相位超前放大器 A_1 与相位滞后放大器 A_2 级联接成闭环反馈, 一个闭环反馈电路如满足两个条件就产生振荡, 在振荡频率上, 整个环路的净相移为 0 , 环路增益精确地等于 1 。参考图2的说明, 在图1中, 两个放大器及与之相关的两个移相网路 R_1C_1 和 $R_2R_3C_2$ 在振荡频率上相移为 0 , 增益为 10 频率: $\omega_0=1/(R_1C_1)=1/(R_2R_3C_2)$ 。由这两个放大器引出的信号 E_2 和 E_1 , 其振荡频率幅度相等, 相位差 90° , E_2 落后 $E_1 90^\circ$ 。

以上只是在理想条件下对电路如何能形成振荡的原理性介绍。在实际电路中, 由于元件参数、工作环境及电源电压的变化, 各种外来因素都会使环路偏离相移 $= 0$ 、增益 $= 1$ 这两个条件, 结果, 电路不是增幅振荡至饱和限幅就是衰减振荡至停振, 为了解决这一问题, 引进了 AVC (自动幅度控制) 电路。

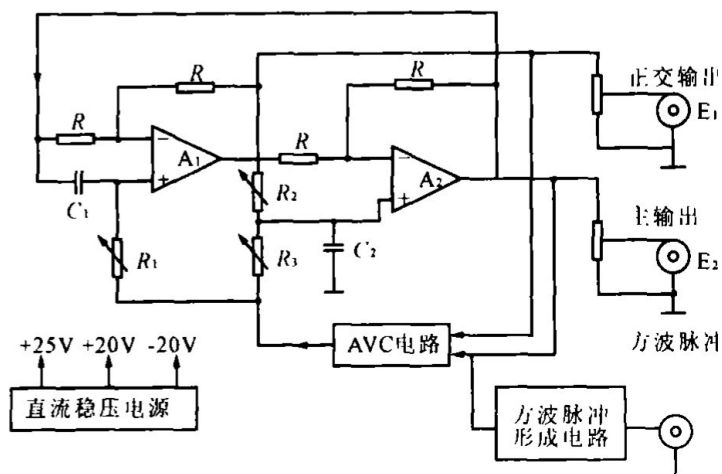


图1 RC移相式振荡器简化框图

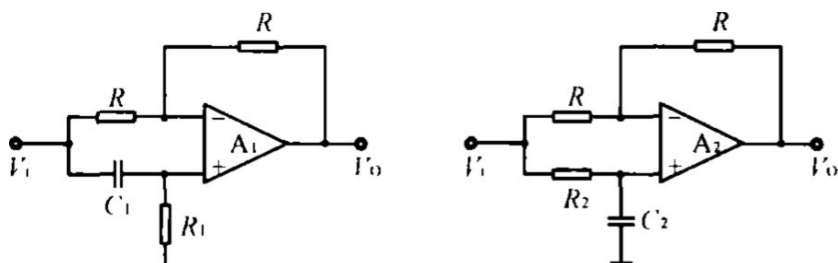


图2 原理图

AVC 电路是将主输出电压 E_2 取样 (在负峰值处), 让 E_2 与 1 个稳定的直流

参考电压相比较,产生 1 个控制信号,当输出电压 E_2 由于任何原因幅度改变时,这个控制信号可以维持环路总增益精确地等于 1,从而保持 E_2 幅度不变。由于被取样和被控制的是 E_2 ,因此 E_2 叫做主正弦波输出, E_1 叫做正交(余弦)正弦波输出。

图 1 中的电容器 C_1 、 C_2 由一个频率倍乘开关切换,每一波段的 C_1 、 C_2 数值相同,由倍乘开关的两个刀同时切换,在倍乘开关设定某一频段后,电阻器 R_1 、 R_2 、 R_3 进而在这个频段内对频率进行 10 进制可进调整,与两个电阻网络并联的双联电位器则在最低位步进开关设定的频率之间连续细调,这就给出连续的频率覆盖,0.001 Hz ~ 0.01Hz 之间的频率是由细调电位器给出的。在图 1 中, A_1 、 A_2 是两个完全相同的放大器,放大器由 3 级放大,1 级射极跟随输出所组成。

AVC 电路有主 AVC 电路和参考 AVC 电路, AVC 电路的输出是方波,其幅度取决于主正弦波输出 E_2 偏离正确值的大小,与正交输出 E_1 的相位差是 0° 或 180° 取决于减小还是增加。AVC 电路如图 3 所示,其工作原理是:在存储电容器 C_3 上积存的电荷与主正弦波 E_2 的幅度有关, C_3 上的直流电位被控制开关调制成方波,再经平衡调制器输出。

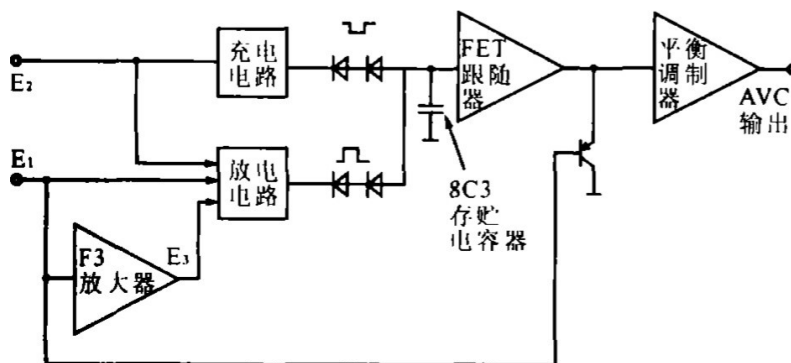


图 3 AVC 电路

方波和脉冲发生器由正弦波输出触发,由输入施密特触发器电路对正弦波整形,产生方波,进一步触发双稳态多谐振荡器电路。电源给出 +25v、+20v、-20v 这 3 种稳压电源输出。

该仪器还能同时给出相差 90° 的两路正弦波输出,输出幅度为 10 V_{rms},输出阻抗有 200Ω 或 600Ω 可供选用,同时提供方波和同步脉冲输出,脉冲宽度、极值、幅度均可调,是半导体生产线上不可缺少的理想的低频信号发生器

3 故障原因的分析及排除

对两台有故障的该精密低频信号发生器进行维修,通过开机全面检查,发现几种故障

3.1 测正交输出时 $\times 1$ 、 $\times 0.1$ 、 $\times 0.01$ 正常,而 $\times 0.001$ 无输出

倍乘/细调在 $\times 0.01$ 、 $\times 0.1$ 、 $\times 1$ 、 $\times 10$ 都正常,但在 $\times 100$ 时无输出,通过对原理方框图进行分析,确定故障属于调谐网路。

因为某一倍乘波段或某一频率(Hz)选择开关上出现的问题通常是由调谐网络中一些问题引起的,如故障限于某一特定波段,失效元件可能是与此频段有关的调谐电容器,如故障仅限于某一特定频率开关设置,失效元件就是与此开关设置有关的电阻器,由此发现失效的电容器和电阻器,更换后恢复正常。

3.2 方波输出不正常

在查找故障前,首先分析主正弦波输出是否有问题,因为输出的方波和脉冲都来源于主正弦波输出。参阅方波/脉冲电原理图,发现输出端有方波,但波形畸变,所以,首先设置振荡器的有关参数,即频率为 1 kHz,方波幅度控制置于最大输出,功能开关置于方波位。用示波器检查各点波形,通过测各点波形,查找出故障点。测 A 点波形,此处信号应该是方波,峰-峰值幅度为 9 V, A 点波形正确,如图 4 所示。观察 B 点波形也应是方波,幅度为 $9 V_{p-p}$,但这是测得的 B 点波形发生了畸变,而且幅度不够 $9 V_{p-p}$,查找相关部位,发现 2BG9 和 2DK2B 两个半导体器件有问题,拆下来后,用图示仪测出晶体管特性曲线,证实三极管软击穿,如图 4(c) 所示更换三极管 2BG9 后, B 点波形正常,方波幅度恢复正常,方波输出端也正常。

3.3 电压不稳定并有漂移现象

校准时,在主输出幅度置于 10 v,仪器预热 30 min 后,出现这种情况。

首先将主输出幅度置于 9.99 v,频率为 1 kHz,测试主输出,调参考自动幅

度 AVC 板上的 6w1 电位器,使其精确到 10 v,然后频率调到 100 kHz,调参考 AVC 板上的微调电压为 10 v,正常情况下调校好后,不会出现漂移现象,而现在出现漂移及不稳定,调整后面板,主、正交正弦波直流电平,调不出正确电平,经分析,问题有可能出在两个放大板,两个电平偏离方向相同(都是正或负),故障可以就在 A_1 板(主自动幅度控制板),如两个电平偏离方向不同(一正一负),故障可能出现在 A_2 放大板,为确定故障点采用了号跟踪法,将外部信号源接人本机,这个信号源能向 $1\text{ k}\Omega$ 负载提供 1 kHz、10 V_{rms} 的正弦波输入。进一步寻找故障。将外部信号源接人本机,这个信号源能向 $1\text{ k}\Omega$ 负载提供 1 kHz、10 V_{rms} 的正弦波输入。将参考 AVC 板拔下,“AO”测试点接地,将外接信号源调到 8.1 V_{rms},检查正交输出电压,这时的正弦波幅度应当近似 10 V_{rms},经过检查,发现此信号不对,确定故障点在 A_1 板上,而且电平偏离方向相同,当确定为 A_1 板后,将另一放大板拔下,以便在寻查故障期间两块板互不影响,通过检测各测试点的电平,放大器的故外接信号源障排除,查出一只三极管开路。一旦正常的校正、调整作用被阻塞,必有失效元件,此元件会阻止调整和纠正作用。经过一系列的检查和维修,故障排除了,但要保证仪器精度,技术指标符合标准,对仪器进行必要的校准,然后送计量室进行计量,经过计量后即可投入使用,由于判断正确和及时,在较短的时间里解决了生产线急需的仪表。

参考文献

- [1] 高稳幅、低失真的低频信号发生器[J]. 计量学报, 1984(2): 13.
- [2] 吴彤,刘俭,徐信兰,等. JEM-1010型透射电镜气动操纵部分故障的检修[C] //第十二届全国电子显微学会议论文集. 2002.