

CS2—6A型动态电阻应变仪

杨冲威

为了比較合理地設計各种机械零件和建筑构件,使它既能滿足技术要求,又能合理地使用材料,即符合又好又省的精神,必需知道它們的应力分布情况。对于大型的器件來說,这更具有特別重大的意义。但外形复杂的零件用理論計算的方法是很难解决的,因此必需依靠实验的方法。实验应力分析方法种类很多,各具有优缺点。而近来,由于电工学、电子学的发展,用电的方法測量非电量正得到广泛的应用。按不同的物理现象将非电量变换成电磁量的变换器有各种不同的形式,如弦式、压电石英式、电容式、感应式及电阻式等。利用电阻絲应变片将机械量变为电磁量是其中的一种。应变电阻轉变器即电阻应变仪来測量机械零件和建筑結構的应力和其他力的参数有极其广泛的应用,在頗大程度上是通用的,几乎可以代替其他一切方法,而且所得到的結果也比較可靠^[1]。用电阻絲应变片可以在模型上或者在运轉机器上測出应力、內力、压力、位移、振动加速度与其他很多的参数。例如用它測量飞机在飞行时机翼上的应力分布及起飞与降落时各杆件的应力;桥梁在列車通过时各杆的应力;在桥梁工程中管柱震动下沉时管内鋼筋与砼中应力分布情况;水輪机在运轉条件下各部件如主軸、工作輪叶片的应变測定。归結起来,它具有如下一些主要优点^[1],^[2]:

1.能測出很小应力所引起的变化,及能測出內力与超出弹性极限大約百分之几的巨大变形;

2.质量小,慣性极微,能反映出宽頻率波段內 0 ~ 40000 周/秒的变形过程,而誤差不超过 1.5;

3.尺寸小(2 ~ 100 毫米),因此測量基础很小,在应力分布不均匀时,特別有利于測量精确度的保持;

4.容易与零件固定,具有較大的通用性;

5.用电阻片測量应变(应力),当仪器滿足要求时,誤差不超过 1 ~ 2 %。

我們在建立实验室过程中,进行試制应变仪的工作。在参考北京鋼鉄学院的“鋼机 4—58A 型四綫电阻应变仪”^[2]的基础上进行試制。除了由于一些材料及仪器缺乏而不能再进行总的測定之外,在主要的部件上我們达到了要求。现将一些情况介紹于下。

I、基本原理和結構^[2],^[3]。

我們知道,当机械力不超过材料的弹性限度时,导体和半导体的电阻隨其变形或所受的力而异。当我們將应变电阻絲胶合在构件上,則电阻絲与构件一起产生变形,使工

作电阻片的电阻 R 发生 ΔR 的变化, 即有关系

$$\frac{\Delta R}{R} = \varepsilon S.$$

其中, S 为电阻丝的灵敏系数, ε 为相对形变 ($\varepsilon = \frac{\Delta l}{l}$)。

这样, 使机械参量的变化转换成电气参量的变化。由于微小的电阻变化很难测量和记录, 故需再转换成其他电气参量。一般用电桥线路 (图 1)。利用工作电阻片 R 电阻的变化引起不平衡, 其产生电位差而加以放大, 便于测量记录。对于电阻应变仪, 电桥的四臂中, 工作电阻片 R 是胶合在构件上, 另一个同是电阻片作温度补偿电阻 K , 其他二电阻装在应变仪中, 作平衡装置。

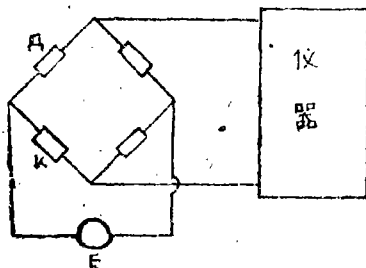


图 1

由于电桥输出功率太小, 因此必须应用相应的放大装置 (电压及功率放大) 后才能记录。由于测量的信号频率范围在 $0 \sim 1000$ 周/秒 (视测量对象而异), 其中包括有低频成分, 这对交流放大器来说是一个难题 (直流放大器的性能不易稳定; 目前一般不采用), 因此, 采用载波放大原理, 即用高频电源 (振荡器) 供给电桥, 使和工作信号混合 (调幅) 再送入放大器加以放大 [3]。为了记录工作信号变化, 再将其载波成分除去 (相敏检波), 用电表或电磁示波器记录。动态电阻应变仪结构如下方框图所示。

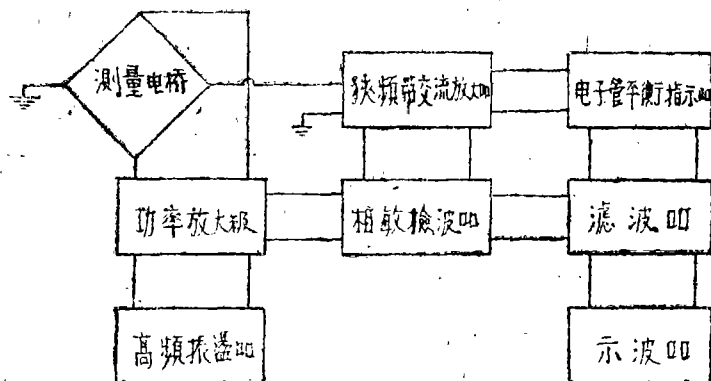


图 2

II、具体线路

1. 放大器。

放大器的线路我们是采用“钢机 4—58 A 型”的线路。 [2]

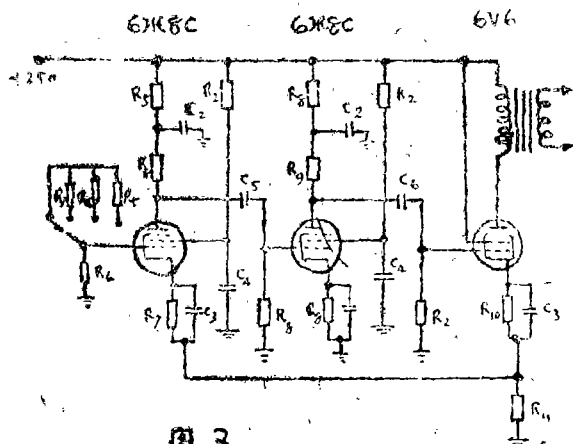


图 3

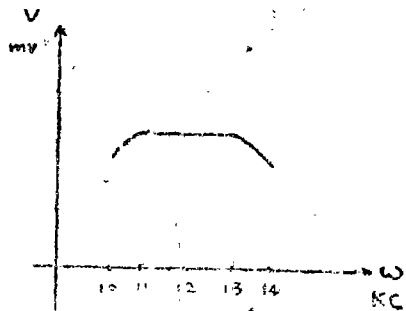


图 4

$R_2 = 1M$, $R_5 = 10K$, $R_6 = 30K$, $R_7 = 200\Omega$, $R_8 = 510K$, $R_9 = 1K$,
 $R_{10} = 300$, $R_{11} = 0.8$.

$C_2 = 8\mu f$, $C_3 = 25\mu f$, $C_4 = 0.1\mu f$, $C_5 = 220p f$, $C_6 = 0.01\mu f$.

我們所做的四部放大器，都能達到要求，具有一定的頻率特性、振幅特和放大率很穩定。在未加入衰減電阻 R_3 , R_4 ，而直接輸入標準正弦信號時，所得頻率特性如圖4所示。在11KC~13KC間當輸入信號振幅從3mv~10mv間時保持輸入與輸出的綫性關係，且波形無畸變；其放大率為200。

我們在調整過程中曾經走過一段彎路。由於在文章^[2]中沒有給出放大器工作範圍，我們在確定其頻率特性和振幅特性時花了許多時間。因為頻率特性與振幅特性相聯着。若輸入信號太大，不在放大器綫性工作範圍內，則無法確定其頻率特性。而放大器是整個儀器的心臟，只有找出了其頻率特性和振幅特性後，才能設計振蕩器，和放大器的輸入變壓器及確定放大器前的衰減電阻 R_3 , R_4 。

開始時，我們輸入正弦信號振幅很大，其振幅為160mv~90mv，始終不能得到預期的結果。後來我們接入 R_3 衰減電阻後（輸入仍為90mv，80mv）才得到頻率特性曲綫的平坦部分。接入不同的衰減電阻，得到同一平坦區域。這樣，我們就想到，由於 R_3 與 R_6 形成一分壓器，降低了放大器的實際輸入信號電壓。於是我們從直接輸入160mv逐漸降至50mv，而至現在確定的3mv~10mv的範圍。（輸入小於3mv時仍會保持其綫性）。

因此，我們認為適當控制放大器輸入信號電壓及配備衰減電阻是使放大器正常工作的主要關鍵。

為了使放大器工作穩定，作為電流負反饋元件 R_{11} 是不可少的。對 R_{11} 的大小沒有什麼限制。由於一時沒有找到小阻值的電阻，在調整時我們用四個阻值為11歐的炭膜電阻並聯起來作 R_{11} 。它穩定放大器的放大率。

在放大器的前二個放大管的板極負載中的 R_5 與 C_2 及 R_8 與 C_2 組成一退耦濾波器。在普通放大器中，這退耦濾波器還可起改善低頻部分的頻率特性作用。在我們的放大器

工作频率中, 我们觉得, 第一管的电容 C_2 起作用不太, 为了节约起见, 我们干脆将它除去; 第二管的电容 C_2 在频率增高时可以起一定的旁路作用, 使放大器输出减小, 改善高频特性。

在调整放大器过程中, 是在市电不正常的条件下进行的。市电电压不足, 特别是经常跳动 (跳动范围经常是 5 伏至 10 伏, 甚至 15 伏) 给工作带来许多麻烦, 特别是市电的瞬变的影响, 使测量仪器和放大器工作不正常等而使读数不精确, 我们全部用磁饱和稳压器来稳定市电电源, 其影响仍未能全部消除。

2. 振荡器

文章 [2] 所用的 LC 振荡器我们觉得其中尚缺乏数字, 一方面要确定及绕制线圈, 另一方面负反馈控制电压难以掌握, 一时难于实现产生振荡。后来我们用另一 RC 型的移相振荡线路, 也是由于较难控制所需的负反馈电压而没有得到实现。最后我们从其他仪器的线路中抽出现成的 RC 型桥式线路, 其负反馈电压容易控制, 因此易于产生振荡。将这振荡器输出电压再加以功率放大即可供测量电桥等应用。

其线路如图 5 所示。

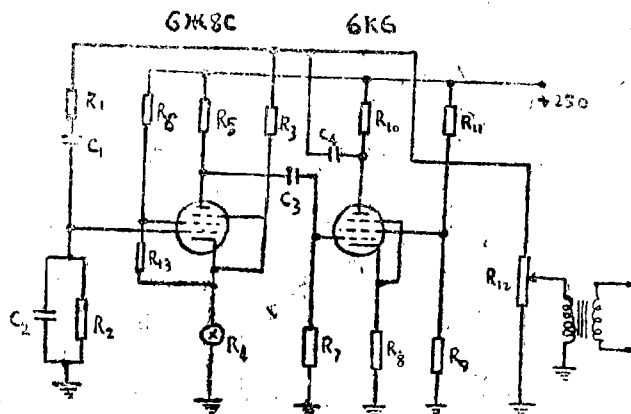


图 5

$R_1 = R_2 = 62\text{ K}$, $R_3 = 100\text{ K}$, $R_5 = 100\text{ K}$, $R_6 = 100\text{ K}$, $R_7 = 470\text{ K}$,
 $R_8 = 20$, $R_9 = 20\text{ K}$, $R_{10} = 10\text{ K}$, $R_{11} = 10\text{ K}$, $R_{12} = 75\text{ K}$, $R_{13} = 47\text{ K}$,
 R_4 为白炽灯。

$C_1 = C_2 = 200\text{ pf}$, $C_3 = 0.5\text{ }\mu\text{f}$, $C_4 = 8\text{ }\mu\text{f}$ 。

振荡频率为 11.25 kc , 波形良好, 且当电源电压稳定时, 输出稳定。

由一般的讨论我们知道, 为了使 RC 网络产生某一频率的正弦振荡, 必须建立正反馈使其仅在某一频率满足自激条件——相位平衡条件和振幅平衡条件。在本振荡器中, 其正反馈电压自 6K6 取得经电容 C_4 而加到第一电子管 6X8C 栅极上, 由于 C_4 较大, 其阻抗及相移可以忽略, 其相与初始电压相同。根据一般计算, 这类型振荡器为了满足振幅条件, 其放大倍数应是 $K = 3$ 。为此目的, 由 R_4 的负反馈电压来控制, 如果选取 R_3 的值比 $2R_4$ 大一些, 那末负反馈电压将比第二电子管的输出电压的 $\frac{1}{3}$ 小一些。在这条件下, 在第一电子管的栅极上的合成电压可以达到所需的数值。

在具体调整中, 我们将 R_4 用一可变电阻和小灯泡串接而成。这样就可以调节 R_4 的数值即相当于控制负反馈电压达到所需值, 而产生振荡。我们觉得, R_4 的作用应予以重视, 它一方面直接控制负反馈电压, 另一方面在产生振荡后, 再调 R_4 使负反馈过度时, 会使波形失真, 不是纯正弦波。调整时可将其输出端接示波器, 直接从示波器所示

[2]: 孙一康等: “钢机4—58A型四线动态电阻应变仪”, 仪器与实验技术, 1959年第10期。

[3]: 孙一康: 动态电阻应变仪的设计与计算, 仪器与实验技术, 1959年第11期。

附記: 由于其他原因, 我們在六月份后停了一段时期。最近又继续改进了一些, 放大器改用二个6AC7(6Ж4)的线路, 及相敏检波线路, 性能较好。(1960,10)

释題:

Цетирёхпроводный Проволочный Датчик Типа CS2—6A для Работы на частотах до 1000гц. ЯН ЧУН шЭН