

测量电网频率的新型继电器

许昌继电器研究所 刘家成

作为反映周率高低的元件，国内目前生产的有电磁型GDZ—1低周率继电器，半导体型BDZ—1，BDZ—2低周率继电器，这几种继电器的主要问题是频率整定值受温度影响，变化较大。如GDZ—1，技术条件规定，工作的环境温度从-5°C到+35°C时，动作频率误差不超过0.25HZ，实际上往往超过这一范围。而BDZ—2，技术条件规定，当环境温度从0°变化到+40°C时，动作频率误差不超过0.25HZ，为了满足这一条件，校验时要挑选温度系数较小的电容，花费较多的时间。实践表明，采用模拟量的低周率继电器，要提高其频率稳定度是比较困难的。

随着我国电子工业的发展，为解决这一问题创造了条件，中大规模集成电路的成批生产，使研制数字式的频率继电器有了可能，过去用分立元件难以实现的方案，现在采用集成电路则变得很容易实现了。

许昌继电器研究所研制的SP—1型数字式频率继电器，采用了上海元件五厂生产的PMOS集成电路，具有精度高，温度稳定性好，接线简单等特点，已在79年9月在广州流溪河水电厂的低频自启动回路中投入使用。成功地解决了过去电磁型，半导体型低周率继电器难以解决的问题。

继电器的外形尺寸、开孔图、背后接线如图1所示，原理接线图示于图19

一、工作原理

测量工频可采用近似替代法或倍频法（直接倍频，锁相倍频），但前者在偏离50HZ后误差急剧增加，后者线路复杂，不宜在继电器中使用。

本继电器采用测量周期的方法，来比较频率的高低。线路简单，可快速、高精度地进行。

我们知道，

$$f = \frac{1}{T}$$

频率为周期的倒数。

频率为50赫芝时，周期 $T = \frac{1}{50} = 20mS$ 。若把频率为100KHZ的计数脉冲，送到被测周期内进行计数，在20Ms内应有2000个脉冲。如果我们采用的计数器是可予置数的减法

计数器，予先把数2000存在计数器内，在被测频率低于50赫芝时（周期比20mS长），在一周期内能把计数器所存的数全部减完，计数器出现全“0”。若被测频率高于50赫芝（周期短于20mS）在一周期内不能把存数全部减完，计数器不会出现全“0”。这样利用计数器的全“0”出现与否，便可判定被测频率的高低。

原理方框图如图3所示。

波形图如图2所示。

一、整形

采用硅PNP管3CK3作整形，当输入的正弦波为负半波时，管子导通，输入的正弦波为正半波时管子截止。

二、分频

采用5G622双JK触发器，其真值表和管脚排列如图4所示。

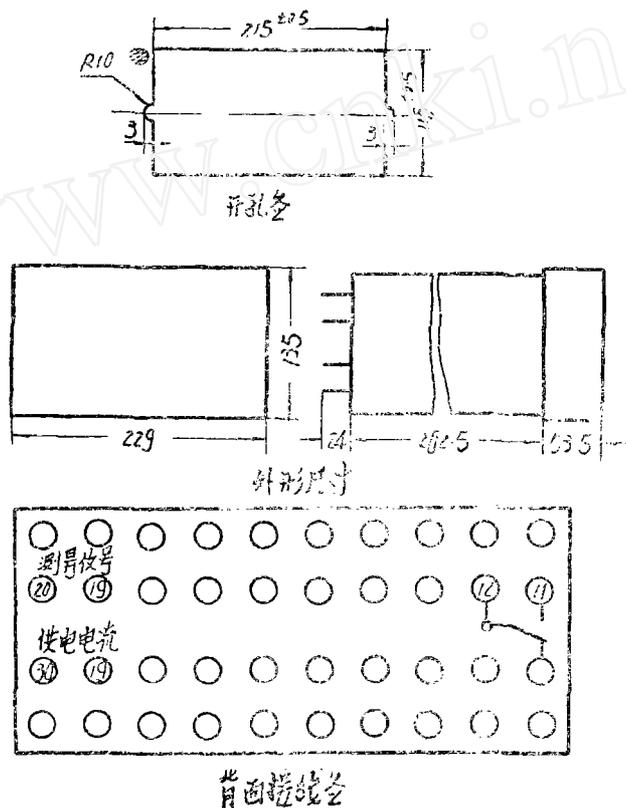


图 1

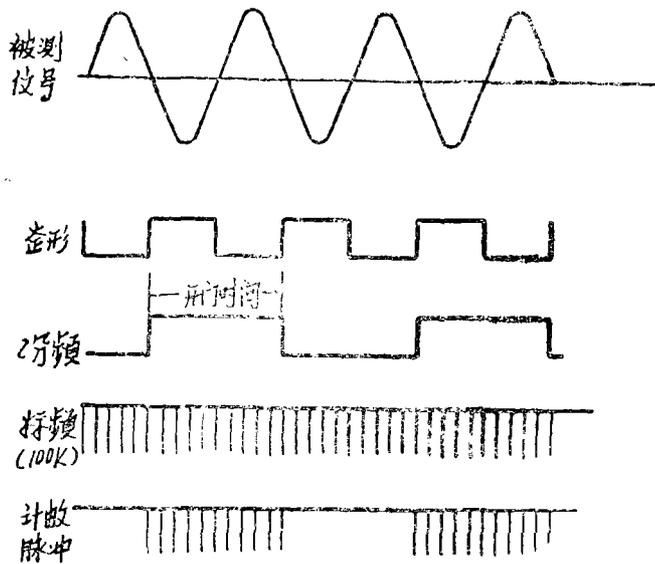


图2 周期测量波形图

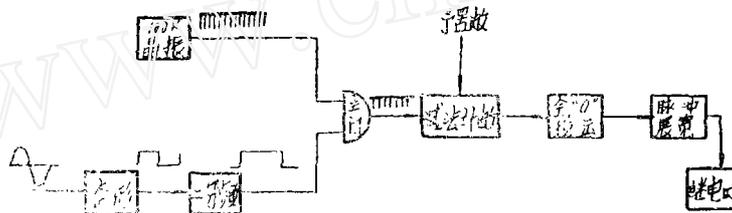
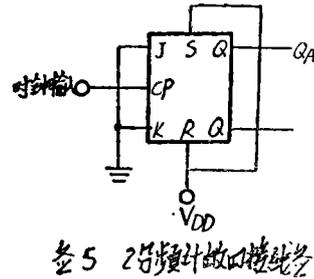
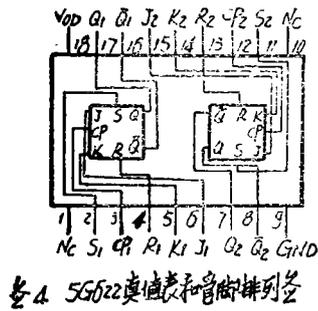


图3 周期测量原理框图

		t_{n-1} 输入					t_n 输出	
CP^n	J	K	S	R	Q	Q	Q	
✓	1	×	0	0	0	1	0	
✓	×	0	0	0	1	1	0	
✓	0	×	0	0	0	0	1	
✓	×	1	0	0	1	0	1	
✓	×	×	0	0	×		不改变状态	
×	×	×	1	0	×	1	0	
×	×	×	0	1	×	0	1	
×	×	×	1	1	×	*	*	

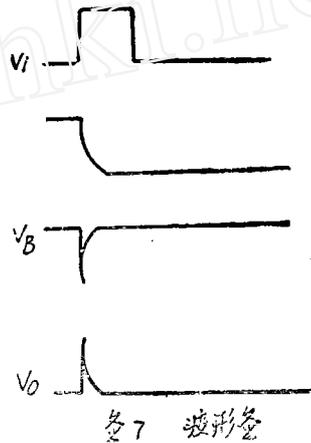
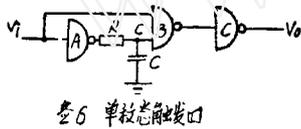
Δ —电平变化
 \times —任意状态
 $*$ —不确定状态
 t_{n-1} —指正时钟脉冲跳变以前的时刻
 t_n —指正时钟脉冲跳变以后的时刻

由真值表可以看到，当 J,K 端接“1”， R,S 端接“0”，在 CP 端输入正脉冲，在上跳到来时，触发器翻转，这样便得一2分频计数器，其接线如图5所示。



三、单稳态电路：

这是一种积分型单稳态电路，由5G601组成，其原理线路如图6所示，波形图如图7所示。



在稳态时， V_1 为“0”电平，非门 A,B 输出均为“1”电平， C 门输出为“0”电平。

当输入正脉冲来到时，门 A 输出马上由“1”变到“0”，但由于 RC 积分回路的存在，电容上的电位不能马上由“1”变到“0”故门 B 的两个输入端均为“1”， B 门输出“0”， C 门输出“1”，暂稳态开始，电容通过 R 放电， V_c 点电位由“1”向“0”变化， V_c 点电位低于 B 门的关门电平时，暂稳态结束，门 B 输出为“1”，门 C 输出为“0”，也就是说这个单稳态电路在正跳变作用下，输出一个脉冲，脉冲的宽度取决于 R,C 时间常数。

在线路中，当2分频后的 $20mS$ 方波下跳到来时，单稳1输出一个脉冲，用来给减法计数器“清0”，当这正脉冲的下跳到来时，单稳2输出一负脉冲给减法计数器予置

数。

单稳 1 和单稳 2 分别由两片 5G601, 4×3 与非门组成。

5G601 的管腿排列如图 8 所示。

四、石英晶体振荡器：

振荡器是由具有压电效应的石英晶体和与非门 5G601 组成，频率稳定度很高，可达 $10^{-6} \sim 10^{-7}$ 。振荡器的线路如图 9 所示。

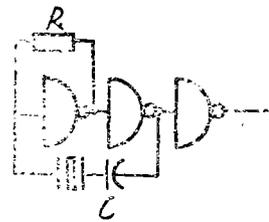
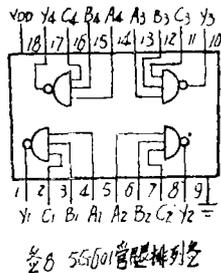


图 9 石英晶体振荡器

电容 C 为微调电容，调整 C ，可使输出频率为标准的 100KHz。

R 为反馈电阻，调整 R ，可使输出为方波。

五、减法计数器：

采用 5G654 可予置数 2--10 进制可逆同步计数器组成。

2--10 进制码是由四个 2 进制数表示一个 10 进制数如表 1 所示，也称为 8421 码或 BCD 码

表 1 BCD 码

2 进制数	8421 (BCD) 码
0000	0
0001	1
0010	2
0011	3
0100	4
0101	5
0110	6
0111	7
1000	8
1001	9
1010	禁止项
1011	
1100	
1101	
1110	
1111	

这是一种有权码，从2进制数到等效的10进制数可以进行直接的数学变换如

$$2 \text{ 进制数} = 1001$$

$$\cdot \text{权码} = 8421$$

$$\text{等效}10 \text{ 进制数} = 8 \times 1 + 4 \times 0 + 2 \times 0 + 1 \times 1 = 9$$

5G654是一种可逆计数器，可进行加法计数或减法计数，加减法计数各有各的时钟通道，在置数选通为“0”态时，计数器对输入的数据并行置数，在清0端输入“1”态时，计数器清0，置数和清0均与计数输入无关。在进行加法计数时，减法计数输入端必须为“1”，在进行减法计数时，加法计数输入端也必须为“1”。

从下面的波形图可以看出5G654的工作状况。

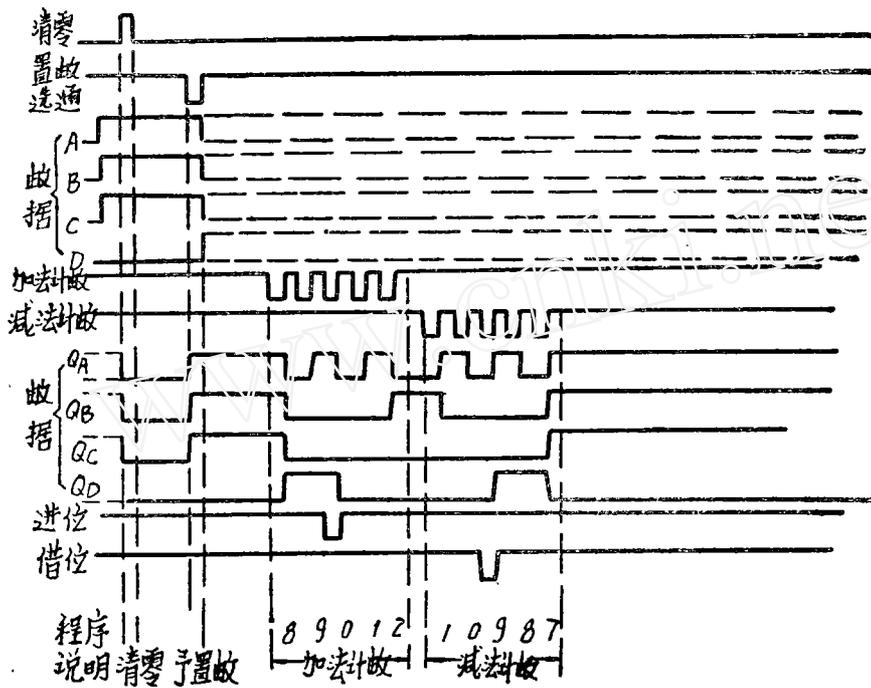


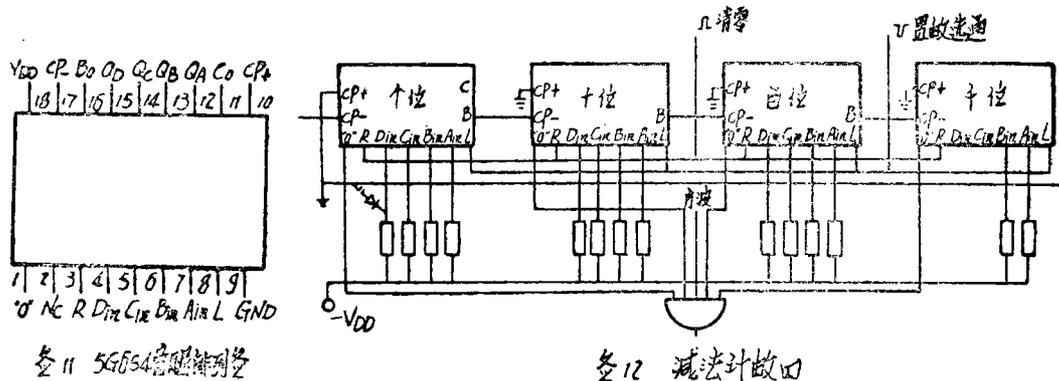
图10 5G654工作波形图

上列波形图是按以下程序进行的

1. 输出清零
2. 予置到2—10进制数8
3. 加法计数到8, 9, 进位, 0, 1和2
4. 减法计数到1, 0, 借位9, 8和7

5G654的管腿排列如图11所示

由4片5G654组成千位的串行计数的减法计数器，如图12所示。



经2分频后的方波下跳到来时，计数器清零，清零后再予置数，予置数输入端在平时均通过电阻接到 $-V_{DD}$ 上，也就是全部输入端均置“0”需置某数时，只需把整定堵塞插在该数对应的插孔内便可，也就是置“1”

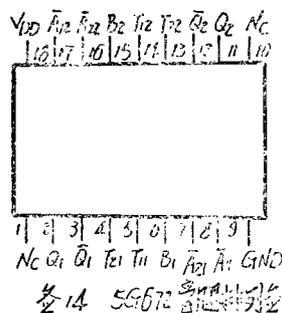
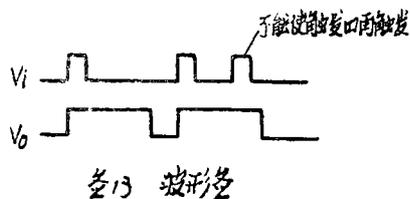
5G654有全“0”输出端，当计数器的数为0时，“0”输出端输出高电平若减法计数器的4位数均为0时，与门输出一高电平。

六：脉冲展宽：

采用5G672，这是一种脉冲整形型单稳态多谐振荡器，输出脉冲宽度与输入脉冲宽度无关，输出脉冲宽度 $t_{PW} = R_T \cdot C_T \ln 2$ （秒）。具有一定的可能的占空比（脉冲宽度和周期之比称为占空比）若第一个输出脉冲未完了，第二个输入脉冲到达，则第二个输入脉冲不能使单稳态多谐振荡器再次触发，如图13所示。

由5G672的真值表看出，当B输入为高电平，A输入为负跳变触发脉冲或A输入为低电平，B输入为正跳变触发脉冲时，单稳态多谐振荡器输出具有一定宽度的延迟脉冲我们采用A输入低电平，B输入正跳变这一触发方式。

5G672管腿排列如图14所示。



七、施密特触发器：

当电网的频率比继电器整定频率低时，在计数器的“全0”输出端将有一系列宽度很窄的正脉冲出现，利用5G672将其展宽，通过 R_c 积分回路后，驱动一施密特触发器，此触发器由5G601与非门组成，门A，B构成一基本的R—S触发器

当输入电平 V_i 为高电平时,门B、C开启,门A关闭,即 R_D 为“0”, S_D 为“1”得
 $Q = 0, \bar{Q} = 1$,当 V_i 逐渐减小到某一电平时,门B、C关闭,即 R_D 为“0”, S_D 为“1”得
 $Q = 1, \bar{Q} = 0$,触发器翻转。

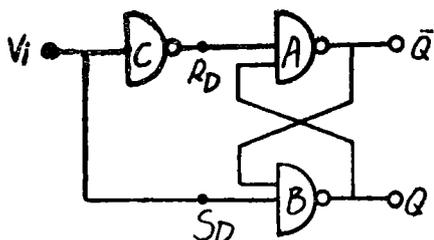


图15 施密特触发器

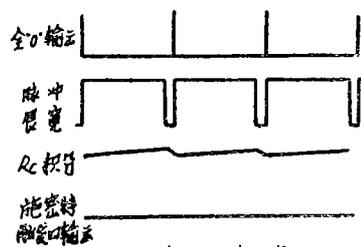


图16 波形图

出口继电器采用JZX—10MRJ4.553, 019—2 其内阻为4K,用4个模拟开关并联起来驱动,5G612,8模拟开关的管腿排列如图17所示

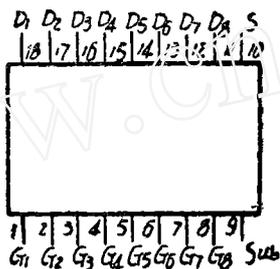


图17 管腿排列图

九、稳压电源:

这是一个串联型负反馈稳压电路,保证交流电源在60—120V之间变化时,直流电压仍为24V,它带有短路保护。

二、主要技术数据

1. 当测量信号在20~120伏间变化,供电电源在60~120伏间变化,动作频率误差:在45~50赫芝时小于0.025赫芝,在50~55赫芝时,小于0.03赫芝。
2. 在极限温度-10°C或+50°C时,动作频率误差允许增加,在45~50赫芝小于0.05赫芝,在50~55赫芝,小于0.06赫芝。
3. 在额定电压下:
测量信号的功率消耗不大于1伏安

供电电源的功率消耗不大于 8 伏安

4. 接点容量:

在电压不大于 220 伏及电流不大于 0.2 安的直流有感电路中 ($T = 5 \times 10^{-3}$ 秒), 断开容量不小于 10 瓦。

5. 动作延时为 2 秒。

6. 绝缘强度: 导电部分对外壳间应耐受工频 2000 伏, 交流电压历时 1 分钟。

三、使用说明

1. 继电器按周期整定, 频率与周期的对照关系可参阅表 2。

表 2 频率周期对照表

HZ	45	45.1	45.2	45.3	45.4	45.5	45.6	45.7	45.8	45.9
mS	22.22	22.17	22.12	22.07	22.02	21.97	21.92	21.88	21.83	21.78
HZ	46	46.1	46.2	46.3	46.4	46.5	46.6	46.7	46.8	46.9
mS	21.73	21.69	21.64	21.59	21.55	21.50	21.45	21.41	21.36	21.32
HZ	47	47.1	47.2	47.3	47.4	47.5	47.6	47.7	47.8	47.9
mS	21.27	21.23	21.18	21.14	21.09	21.05	21.00	20.96	20.92	20.87
HZ	48	48.1	48.2	48.3	48.4	48.5	48.6	48.7	48.8	48.9
mS	20.83	20.79	20.74	20.70	20.66	20.61	20.57	20.52	20.49	20.44
HZ	49	49.1	49.2	49.3	49.4	49.5	49.6	49.7	49.8	49.9
mS	20.40	20.36	20.32	20.28	20.24	20.20	20.16	20.12	20.08	20.04
HZ	50	50.1	50.2	50.3	50.4	50.5	50.6	50.7	50.8	50.9
mS	20.00	19.96	19.92	19.88	19.84	19.80	19.76	19.72	19.68	19.64
HZ	51	51.1	51.2	51.3	51.4	51.5	51.6	51.7	51.8	51.9
mS	19.60	19.56	19.53	19.49	19.45	19.41	19.37	19.34	19.30	19.26
HZ	52	52.1	52.2	52.3	52.4	52.5	52.6	52.7	52.8	52.9
mS	19.23	19.19	19.15	19.12	19.08	19.04	19.01	18.97	18.93	18.90
HZ	53	53.1	53.2	53.3	53.4	53.5	53.6	53.7	53.8	53.9
mS	18.36	18.33	18.29	18.26	18.22	18.19	18.15	18.12	18.08	18.05
HZ	54	54.1	54.2	54.3	54.4	54.5	54.6	54.7	54.8	54.9
mS	18.51	18.48	18.45	18.41	18.38	18.34	18.31	18.28	18.24	18.21

例如需要把频率整定在 49 赫芝, 查表得 49.1 赫芝的周期为 20.36mS。可把一插塞插在千位的 2 字中, 百位为零不用插, 拾位用两插塞分别插在 2 和 1 中, 个位用两插塞分别插在 4 和 2 中。

2. 继电器的输出接点容量小, 千万不可直接使用, 以免把接点烧坏。

四、误差分析

继电器的测频误差, 整定值跟实测值之间的误差, 取决于以下三个方面:

1. 标频精度 $\frac{\Delta f_0}{f_0}$

标频精度是一项相对误差，由下面几个误差来决定：

常温下校正的准确度 $\frac{\Delta f_{0.1}}{f_0}$ ，这与校验时仪表的精确，控制的偏差范围有关。本继电器

采用的标频为 100KHZ ，采用七位的数字频率计校验，可以使误差 $\frac{\Delta f_{0.1}}{f_0} \leq \pm 1 \times 10^{-7}$

温度、时间等因素也会引起频率波动 $\frac{\Delta f_{0.2}}{f_0} \leq 3 \times 10^{-6}$

以上二项的代数和，便是标频精度。

在本继电器中，当方波的上跳到来时，闸门开放，方波下跳到来时，闸门关闭，在闸门开放的时间内，通过的计数脉冲为 N

$$N = \text{闸门时间} \times \text{计数脉冲频率}$$

$$\text{闸门时间} = \text{周期} (T)$$

$$\therefore N = T \times f$$

各种因素影响引起 f_0 变化，引入误差 $\pm \Delta f_0$ ，此时计数误差

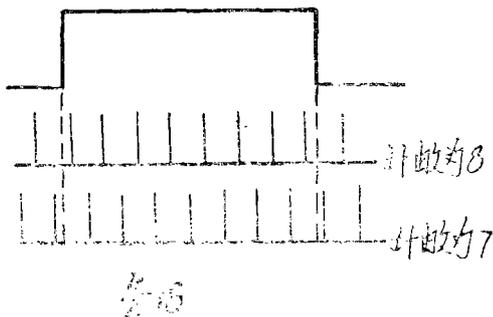
$$\Delta N = \pm T \times \Delta f_0$$

$$\therefore \frac{\Delta N}{N} = \frac{\Delta f_0}{f_0}$$

由此可见，计数误差等于标频误差

2. ± 1 个字

闸门开放时间与时计数脉冲信号是不同步的，随机的相位关系会带来 ± 1 个字的误差，这可由图18看到。



相对误差为 $\pm \frac{1}{N}$

要减小相对误差，在本继电器中，标频为 100KHZ 若被测频率为 50HZ 。

$$\text{则 } N = \frac{1}{50} \times 100\text{K}$$

$$= 2000$$

被测频率为 19HZ

$$\begin{aligned} \text{则 } N &= \frac{1}{49} \times 100K \\ &= 2040 \end{aligned}$$

每 1 HZ 有数 2040--2000 = 40 个

$$\text{每 1 个数代表 } \frac{1}{40} = 0.025 \text{ HZ}$$

也就是说 ± 1 个字的误差将引起 $\pm 0.025 \text{ HZ}$ 的误差。
随着被测频率的升高，每一个字引起的误差将会增加
如被测频率为 55 赫兹时。

$$\begin{aligned} N &= \frac{1}{55} \times 100K \\ &= 1818 \end{aligned}$$

被测频率为 54 赫兹时

$$\begin{aligned} N &= \frac{1}{54} \times 100K \\ &= 1851 \end{aligned}$$

每 1 HZ 有数

$$1851 - 1818 = 33 \text{ 个数}$$

$$\text{每一个数代表 } \frac{1}{33} = 0.03 \text{ HZ}$$

由此可见，随着被测频率增加，误差将会增加，尽管继电器可由 0.01 Ms 整定到 39.99 Ms 。但实际上在频率高的地方是没有使用价值的，误差太大了。

± 1 个字问题的提出，也说明了本继电器为何不采用比较频率的方法，而采用比较周期的方法。因被测量的是工频，例如 50 HZ ，闸门时间为 1 S 时，在 1 S 内有 50 个计数脉冲，因计数脉冲与闸门不同步，会带来 ± 1 个数的误差，每一个数代表 1 HZ ，显然误差太大，无法使用。要减小误差，一定要增加计数脉冲，一个方法是增加闸门时间，把闸门时间由 1 S 提高到 10 S ，那末在 10 S 内有 500 个计数脉冲，每一个表示 $\frac{1}{10} \text{ HZ}$ ，

虽然误差减小了，但测量时间过长，10 秒钟测量一回，此方法也是不大行的通的，要提高精度只有采取倍频的方法（锁相信频）把 50 HZ 倍频 1000 倍，这样精度便可大为提高，但锁相信频线路比较复杂，增加了继电器的成本。所以在本继电器中采用一种简单的比较周期长短的方法，来确定频率的高低。

3. 整形误差

把输入的正弦波整形为方波，这方波宽度的变化，直接引起计数结果发生变化。

起初我们采用稳压管双向限幅，5 G23 运算放大器整形，但结果很不理想，当测量信号从 60% 额定电压变化到 120% 额定电压时，引起方波的占空比改变，加上温度从 -10° C 变到 $+50^\circ \text{ C}$ ，这一变化更加厉害了，引起继电器的精度大大下降。

现在我们采用测量方波上跳之间的宽度，也就是二分频的方法，成功的解决了这一

问题,当电压变化,温度变化,引起方波的占空比改变,但方波两个上跳间的宽度是不变的。这样一来,当输量信号在10%~120%额定电压间变化也不会引起误差。整形回路也就变的很简单了,只需一个三极管便可。

为了减小被测信号迭加有干扰信号引起整形误差 ΔT_x ,继电器采用了提高测量信号电压,设置高频旁路电容...等措施。

在出口回路还设有积分环节,只有连续来动作信号,继电器才会动作,偶然来一两个动作信号,继电器是不动作的,这就提高了继电器的干扰性能。

五、小 结

把数字式频率继电器与电磁型半导体型的低周率继电器相比,可以看出数学式频率继电器有如下优点:

1. 工作温度范围宽。电磁型为 $-5^{\circ}\sim+35^{\circ}\text{C}$,半导体型为 $0^{\circ}\sim+40^{\circ}\text{C}$,动作频率误差为 0.25HZ ,而数字式为 $-10^{\circ}\sim+50^{\circ}\text{C}$,动作频率几乎不受温度影响。

2. 整定范围宽。电磁型及半导体型范围是从 $45\sim49\text{HZ}$,数字式从 $25\sim55\text{HZ}$ (频率可以整定的更高,误差稍有增大),可以作高周率,低周率继电器使用。

3. 动作频率误差小。电磁型及半导体型动作频率误差不超过 0.2HZ ,数字式的在被测频率为 $45\sim50\text{HZ}$ 时,小于 0.025HZ ,被测频率为 $50\sim55$ 频兹时,小于 0.03 赫兹。

4. 返回系数高。电磁型及半导体型系动作频率与返回频率之差不得超过 0.1HZ 。数字式的动作频率与返回频率之差不得超过一个数(0.03HZ)

缺点是与电磁相比,输出接点容量稍嫌小些,(与半导体相同),成本有所增加,但它从根本上解决了电磁型及半导体型长期存在的问题,是完全可以取代电磁型及半导体型产品的,它只要稍加改进,使可构成一个两轮,或三轮低周减载装置,这是一个很有前途的产品。

