

ZZQ—5 型自动准同期装置

许昌继电器研究所 肖培榕 刘家成

(73) 一机电联字1348号 (73) 水电技字54号, 一机部水电部文; (74) 一机电字241文给我所下达了为国产60万千瓦汽轮发电机和2.3万千瓦燃汽轮发电机组研制一套新型自动准同期装置的任务。我们分析了国内生产的ZZQ—1~4型准同期装置的原理接线, 运行情况、存在问题。对国外同类型产品也本着“洋为中用”的原则进行了研究。制订出ZZQ—5型准同期装置的方案, 经过一年多的时间, 首批产品于75年9月试制成功。

一、工作原理

众所周知, 为使同步发电机与系统按准同期方式并列, 必须满足下面三个条件:

1. 发电机电压与系统电压的频率差应小于允许值;
2. 发电机电压与系统电压的幅值差应小于允许值;
3. 在并列的断路器主触头闭合的瞬间, 发电机电压与系统电压的相位差应小于允许值。

为实现条件1、装置设有自动调频部分, 能实现发电机的频率对系统频率自动追踪。为实现条件2、装置设有自动调压部分, 能实现发电机电压对系统电压的自动追踪。为满足条件3、装置设有恒定导前时间的控制部分, 导前时间的整定值可以根据并列的断路器合闸时间的长短来整定, 当导前时间的整定值与断路器的合闸时间(包括所有辅助元件的动作时间在内)相等时, 装置就能保证断路器主触头闭合的瞬间, 被投入的发电机电压与系统电压的相位差小于允许值。

1. 合闸部分(原理图见图1)

合闸部分的主要作用是判明发电机与系统的同步情况如何, 在频差与电压差均满足要求时, 提前一定时间发出合闸指令。

若发电机与系统的频率相差较多, 发出合闸指令就需要提前一个较大的相角, 我们不希望在频差太大时并网, 在所需的提前相角大于某一整定值时, 装置就自动闭锁。可以根据所需的导前时间, 容许的最大频差, 计算出所需的导前相角, 也可以由图表直接查出所需的导前相角。

合闸部分的原理方框图如图2所示:

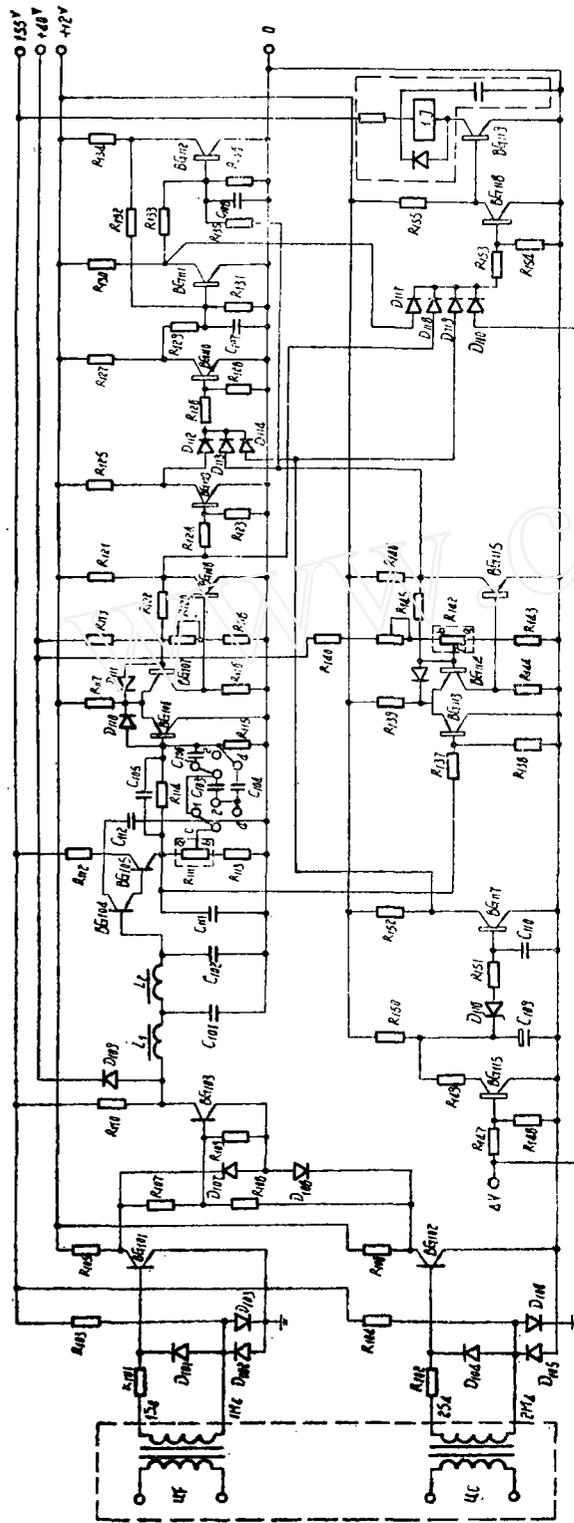


图 1 合同部分原理图

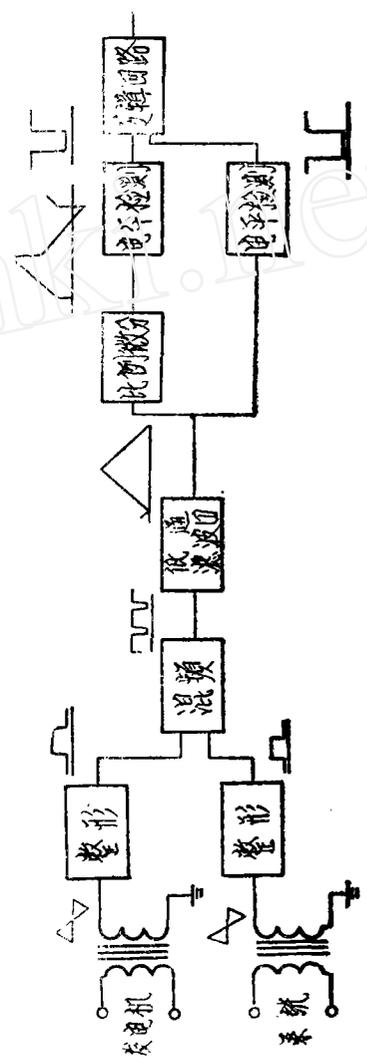


图 2 合同部分原理方框图

为了准确的反映发电机电压 u_F 和系统电压 u_c 的相位关系,我们通过整形、混频、滤波得到一个三角波。当 u_F 与 u_c 相位重合时,三角波达到最大值,当 u_F 与 u_c 相位相差 180° 时,三角波达最小值。从 0° 到 180° , 180° 到 360° ,三角波的变化是线性的,其幅值不随 u_F 、 u_c 变化。

如图3所示,发电机与系统的正弦波电压通过开关三极管 BG_{101} 、 BG_{102} 分别整形为方波,这两个方波通过电阻 R_{107} 、 R_{108} 加在 BG_{103} 的基极上,通过二极管 D_{107} 、 D_{108} 加在 BG_{103} 的发射极上。如果 BG_{101} 、 BG_{102} 均处于“1”态(高电位)则 D_{107} 、 D_{108} 截止, BG_{103} 也截止。如果 BG_{101} 、 BG_{102} 均处于“0”态(低电位),则 BG_{103} 由于没有基极电流供给,也处于截止。如果 BG_{101} 、 BG_{102} 一个处于“1”态一个处于“0”态,则 BG_{103} 基极有电流供给,发射极接零,因而处于导通,这样我们就可以得到一系列随 u_F 、 u_c 相位改变而改变的方波,这一系列方波经两节LC组成的低通滤波器把高次谐波滤掉以后便得一三角波,其各点的波形如图4所示:

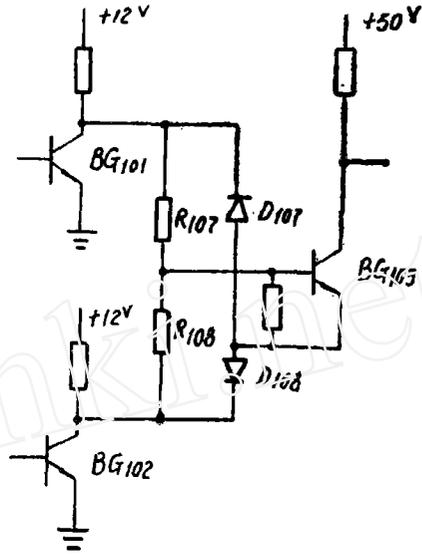


图3 相敏环节原理图

BG_{104} 、 BG_{105} 组成一复合管,作射极跟随器,用以降低输出阻抗,增加负载能力。

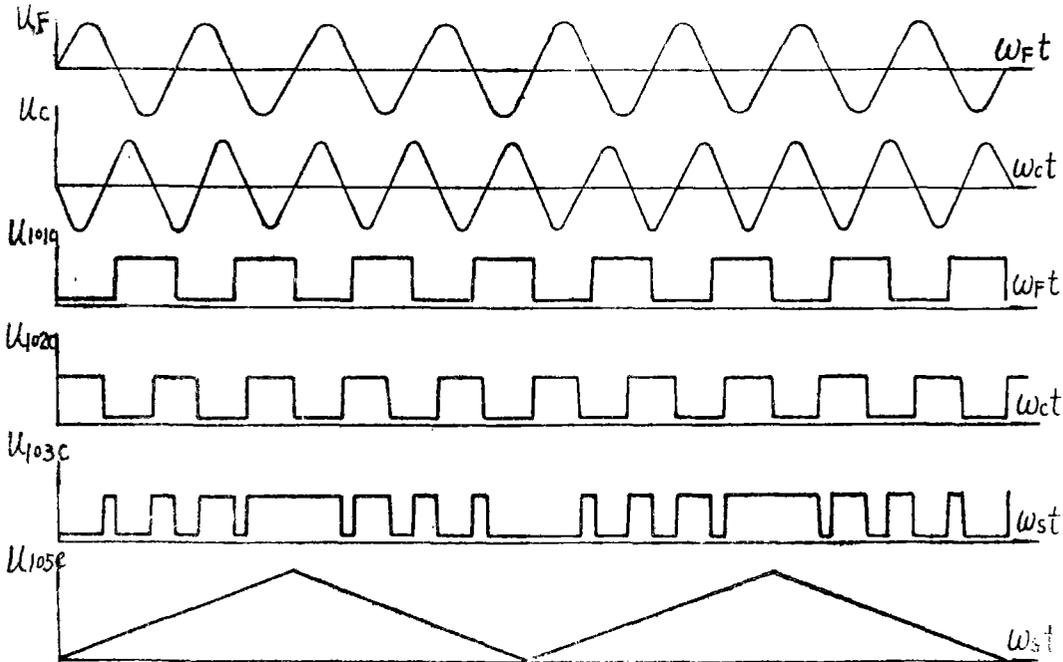


图4 相敏环节各点波形图

恒定导前时间是依靠一个由电阻电容组成的比例微分环节来获得的，它简化后的原理图如图 5 所示：

我们认为，比例微分环节的输出电压 u_3 ，近似的等于比例电压 u_1 和微分电压 u_2 之和，比例电压 u_1 是由电阻分压而得到的，波形仍为一三角波，只是幅值减小了，微分电压是微分电流 $C \frac{du_c}{dt}$ 在电阻上的压降。

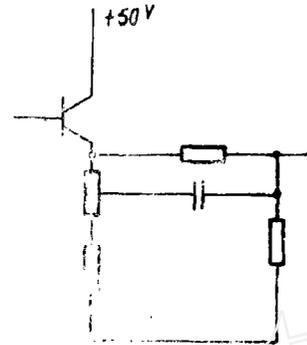


图 5 比例微分环节

假设 BG_{105} 输出的三角波顶点的幅值为 H ，则其上升部分直线的斜率 $\frac{H}{\frac{T_s}{2}}$ 为一常数，（ T_s 为频差周期）当 T_s 增

加一倍，其上升部分直线的斜率减小一倍，如图 6 所示，微分电压 u_2 也将减小一倍，由图 6 很清楚的看出，导前时间 t_D 不随频差改变而改变。

由于电源电压较高（55V）比例微分后的电压也较高，可以不经放大直接驱动触发器。

在合闸部分中作电平检测用的是一种差分式斯密特触发器，其原理图如图 7 所示。

这种斯密特触发器输入阻抗高，动作速度快，动作点稳定，温度稳定性好，作为电平检测用是一个较理想的元件。

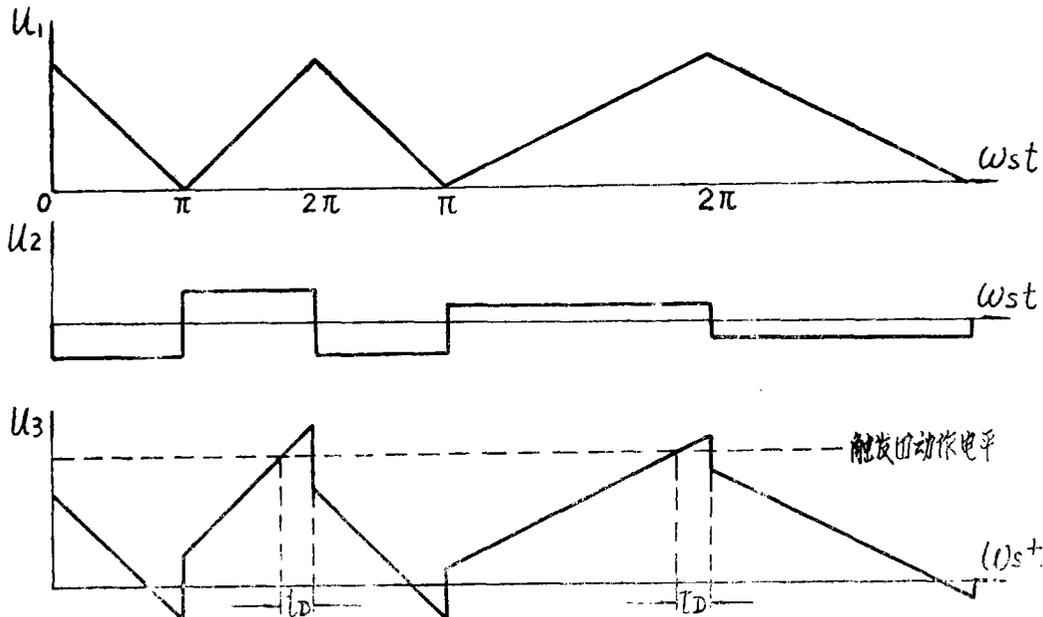


图 6 获得恒定导前时间的波形图

BG₁₀₆与BG₁₀₇组成一个电流型开关, 它的输出控制BG₁₀₈。BG₁₀₆工作在射极跟随状态, 所以具有较高的输入阻抗, BG₁₀₆与BG₁₀₇接成差分型式, 对温度变化引起 I_{c0} 、 U_{be} 的变化, 具有较好的补偿, 故其温度稳定性较一般的斯密特触发器好。

当输入电平较低时, BG₁₀₆导通, BG₁₀₇、BG₁₀₈截止。当输入电平高于BG₁₀₇的基极电位时, BG₁₀₆截止, BG₁₀₇、BG₁₀₈导通, 电阻R₁₂₂是正反馈电阻, 加快了整个翻转过程, 调整电位器R₁₂₀阻值的大小, 便可改变触发器的动作电平。

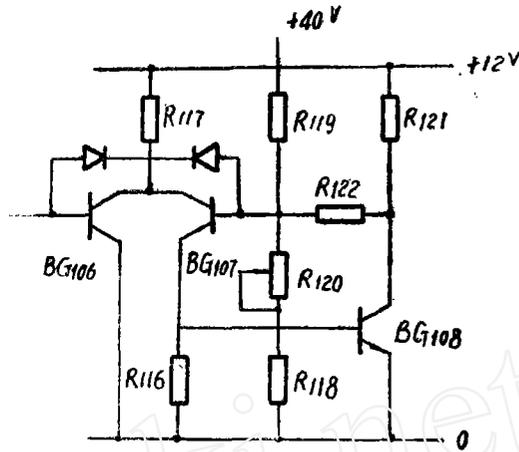


图7 差分式斯密特触发器

BG₁₀₆~BG₁₀₈组成的电平检测器, 用来获得恒定导前时间, BG₁₁₃~BG₁₁₅组成的电平检测器用来获得一个恒定导前相角, 其逻辑线路如图8所示。

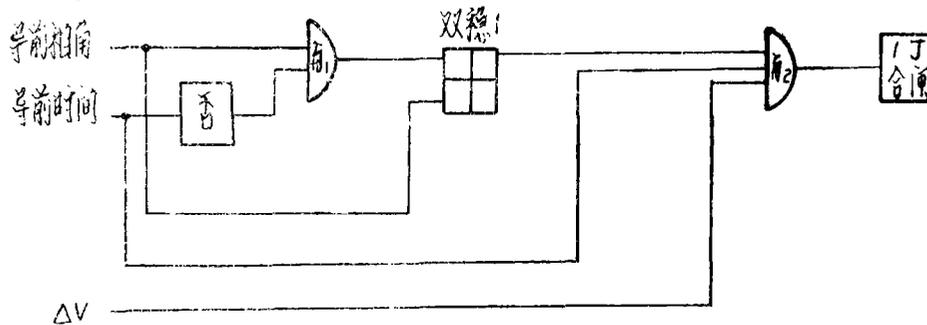


图8 合闸部分逻辑线路图

在频差较大时, (频差周期 T_s 太短), 导前时间电平检测器的“0”态输出先于超前相角电平检测器的“0”态输出, 由D₁₁₂、D₁₁₃组成的“与门₁”条件不能满足(假定D₁₁₄输入为“0”)BG₁₁₀仍然导通。双稳1不翻转, BG₁₁₁截止, “与门₂”的D₁₁₇仍为“1”态, 合闸回路闭锁, 不发出合闸指令。

在频率差较小, 满足合闸要求时, 超前相角电平检测器的“0”态输出先于导前时间电平检测器的“0”态输出, “与门₁”的两个条件满足, BG₁₁₀变为截止, 双稳₁翻转, BG₁₁₁导通, “与门₂”的D₁₁₇输入为“0”态, 为合闸准备了条件, 当导前时间电平检测器输出为“0”态时, 就发出合闸指令(假定D₁₁₉~D₁₂₀输入均为“0”态)。

在装置刚投入的1秒钟内, BG₁₁₇是截止的, “与门₁”的D₁₁₄处于“1”态

“与门2”的 D_{117} 为“1”态， D_{118} 为“1”态，合闸回路闭锁，保证了在装置刚投入的1秒钟内不发出合闸指令。

“与门2”的 D_{120} 接到调压部分的输出 ΔV 上，当电压差超过整定值时， ΔV 为“1”态，合闸回路闭锁。

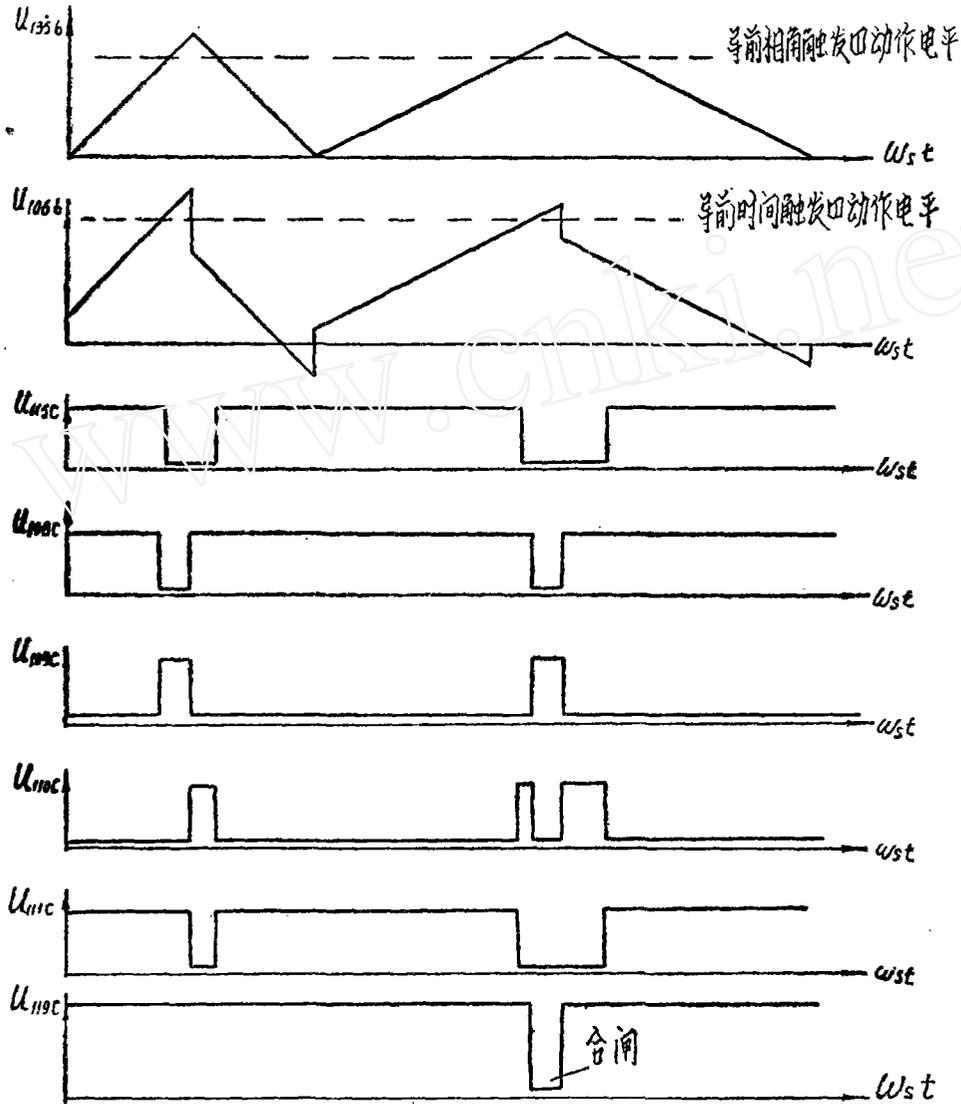


图9 合闸部分各点波形图

2. 调频部分：（原理图见图10）

调频部分的主要作用是判别发电机电压的频率是高于或低于系统电压的频率，从而发出减速或增速指令，作用于发电机的调速器，调整发电机电压频率，使之逐步趋近系统电压频率。

当发电机与系统间的频差很小，（小于 0.05Hz ）装置能自动发出一个增速脉冲，这样就避免了发电机与系统同步不同相无法合闸的情况出现，加快了整个合闸过程。

其原理方框图如图11所示。

发电机与系统间的相位关系可以由图12清楚地看出，在相位重合后到 180° 的区间内，如果发电机较快，它对系统应超前一个角度，如果发电机较慢，它对系统应滞后一个角度。在 180° 到 360° 的区间内，它们的相位关系正好跟上述相反。

因此，我们在大于 0° 小于 180° 的区间内，只要确定发电机与系统这两个电压哪一个超前，便可确定发电机与系统的速度谁快谁慢。

发电机与系统电压经整形后，由正弦波变换为方波，分别经电容 C_{201} 、 C_{203} 微分，加在 BG_{201} 、 BG_{202} 基极上，当方波由“1”态变为“0”态时，产生一负脉冲，使 BG_{201} 、 BG_{202} 截止，如果此时箱位二极管 D_{102} 、 D_{104} 的负极为“1”态，则可输出一正脉冲。

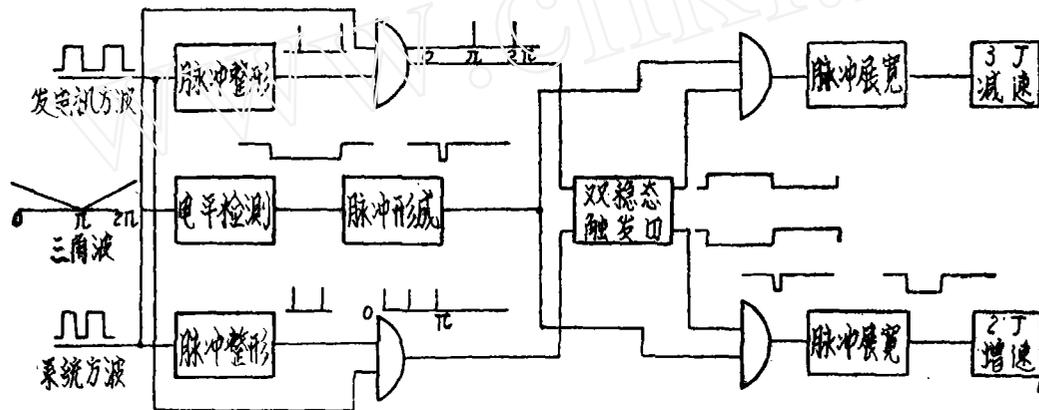


图11 调频部分原理方框图

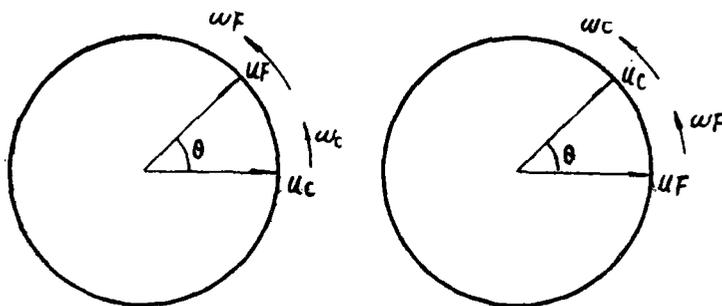


图12 发电机与系统电压间的相位关系

假设 $f_r < f_c$ ，发电机速度低于系统速度，由图13可见，在 0° 到 180° 区间内当系统方波由“1”态变为“0”态时，发电机方波为“1”态，故 BG_{202} 输出一系列正脉冲。而发电机方波由“1”态变为“0”态时，系统方波为“0”态， BG_{201} 没有输出。在 180° 到 360° 区间内，情况正好相反， BG_{201} 输出一系列正脉冲， BG_{202} 没有输出。

出, BG_{202} 与 BG_{201} 的输出分别接到 BG_{203} 、 BG_{207} 的基极。 BG_{207} 、 BG_{208} 组成一个双稳态触发器。 BG_{203} 、 BG_{204} 组成一个施密特触发器,作电平检测用,相位重合时,三角波处于峰值, BG_{203} 导通, BG_{204} 、 BG_{205} 截止,电容 C_{203} 通过 R_{217} 、 D_{206} 、 R_{218} 、 R_{215} 充电。在 50° 时, BG_{203} 截止, BG_{204} 、 BG_{205} 导通,由于电容上的电压不能突变,所以有一正24伏加在 BG_{206} 基极上,使 BG_{206} 截止,电容 C_{205} 通过 R_{218} 、 R_{218} 、 R_{215} 放电,当基极电位低于发射极电位时, BG_{206} 又变为导通。在 BG_{206} 截止时输出一个零讯号,与双稳态触发器 BG_{208} 输出的零讯号一起去驱动一个脉冲展宽环节,使增速继电器2J动作,发出增速指令。脉冲展宽环节由 BG_{211} 、 BG_{212} 组成,电容 C_{207} 充电, C_{207+} 为+55伏, C_{207-} 为+12伏,当“0”讯号到来时, BG_{211} 、 BG_{212} 导通,电容 C_{207} 上的电压不能突变,-38v加在 BG_{211} 基极上,当“0”讯号去掉后仍能使 BG_{211} 、 BG_{212} 保持导通,起到了脉冲展宽的作用。

在 BG_{206} 导通时, BG_{123} 、 BG_{124} 截止, C_{208} 通过 R_{247} 、 R_{248} 充电, BG_{106} 截止时, BG_{213} 、 BG_{214} 导通, C_{208} 通过 R_{246} 、 BG_{214} 放电,若频差周期超过20秒,则电容 C_{208} 上的电压可以充到单结晶体管 BT_{201} 的峰点电压 U_P 此时 C_{208} 通过发射极基极和电阻 R_{245} 放电,产生一正脉冲,使增速回路动作。

3. 调压部分: (原理图见图14)

调压部分的主要作用是比较发电机系统电压的高低,如果发电机电压太低,则发出一个升压指令,作用于电压调整器上,升高发电机电压,然后等待6秒钟,察看这一校正的效果,如果仍不在要求的电压差范围内,则再发出一个调压指令。在电压差满足要求时解除闭锁,允许合闸部分发出合闸指令。

其原理方框图如图15所示:

发电机电压的两个绕组,系统电压的两个绕组,经整流、滤波后进行相减,一组是 $u_F - u_c$,一组是 $u_c - u_F$ 这两个电压差分别加到差分放大器的两个输入端,和我们所整定的电压差进行比较,电位器 R_{314} 是用来整定电压差用的。如果发电机电压高于系统电压,并且电压差大于整定值,则 BG_{301} 、 BG_{304} 导通,只要 BG_{311} 截止,则“与门”的两个条件均满足, BG_{305} 导通,发出降压指令。同时 BG_{302} 、 BG_{303} 、 BG_{306} 截止,发出电压差闭锁指令,使合闸回路无法合闸。

BG_{311} 、 BG_{310} 组成一双稳触发器,单结晶体管 BT_{301} 组成一弛张振荡器,发出的正脉冲通过 R_{329} 、 D_{326} 、 R_{330} 、 D_{327} 组成的导向与门加在双稳态触发器截止管的基极上,若 BG_{311} 截止, BG_{310} 导通,则 D_{324} 截止,电容 C_{307} 通过 R_{335} 、 R_{336} 、 D_{326} 充电,当电容 C_{307} 上的电压充到单结晶体管 BT_{301} 的峰点电压 u_P 时, C_{307} 通过发射极基极和电阻 R_{337} 放电,产生一正脉冲加在 BG_{311} 基极上,使 BG_{311} 导通, BG_{310} 截止,电容 C_{307} 又通过 R_{333} 、 R_{334} 、 D_{324} 充电,当 C_{307} 的电压达到 u_P 时,产生一正脉冲,加在 BG_{310} 基极上,使 BG_{310} 导通, BG_{311} 截止,这样双稳态触发器不断地翻转, BG_{311} 截止的时间就是调压脉冲宽度,由 R_{335} 、 R_{336} 、 C_{307} 的大小决定。 BG_{310} 截止时间就是调压脉冲间隔时间,由 R_{333} 、 R_{334} 、 C_{307} 的大小决定。

如果发电机电压低于系统电压,并且电压差大于整定值,则 BG_{308} 、 BG_{309} 导

通，只要 BG_{311} 截止 BG_{307} 便发出升压指令， BG_{302} 、 BG_{303} 、 BG_{309} 截止，发出电压差闭锁指令。

如果发电机与系统间的电压差小于整定值，则 BG_{301} 、 BG_{303} 截止， BG_{302} 、 BG_{308} 、 BG_{309} 导通，允许合闸。

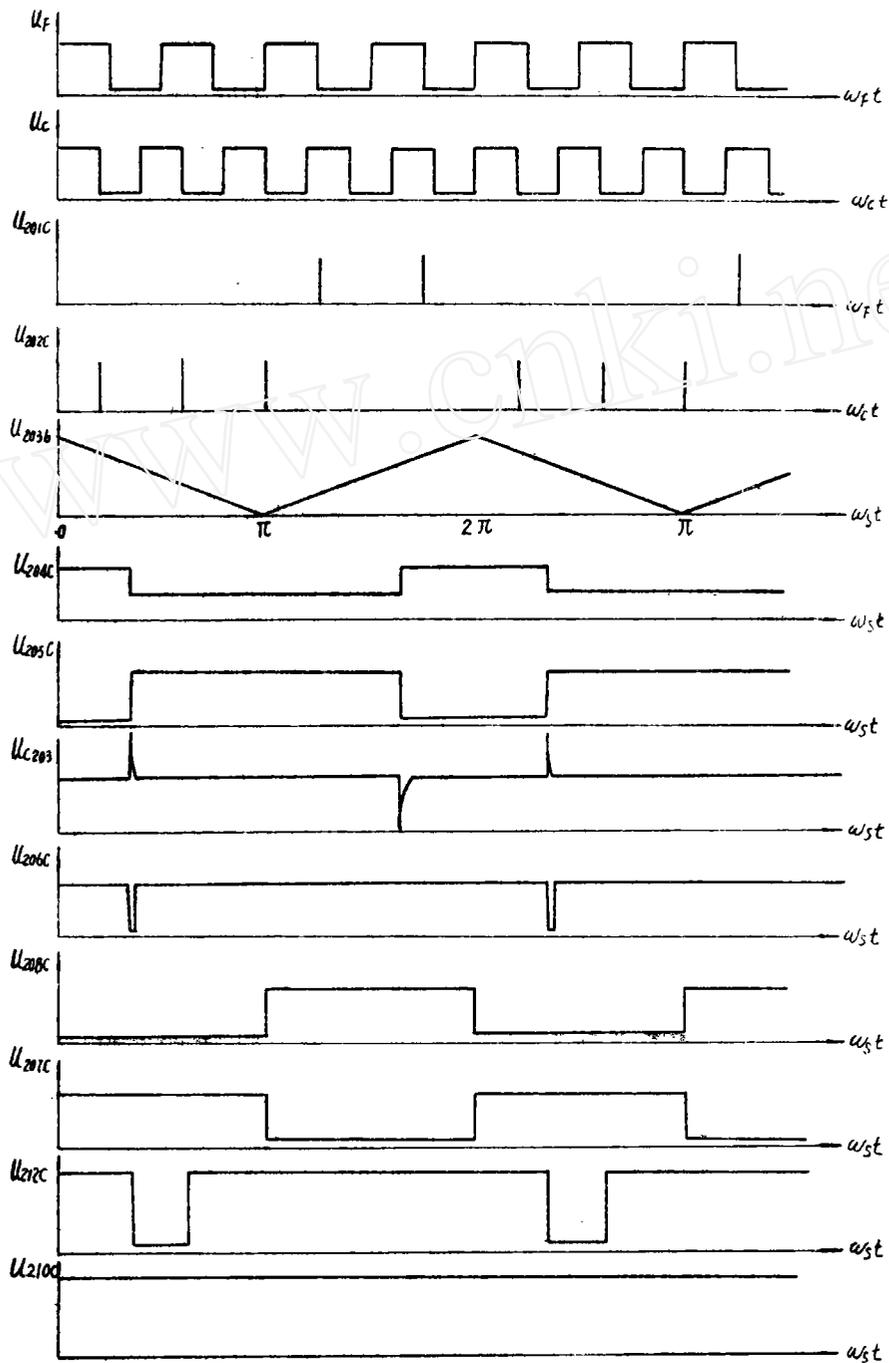


图13 调频部分波形图

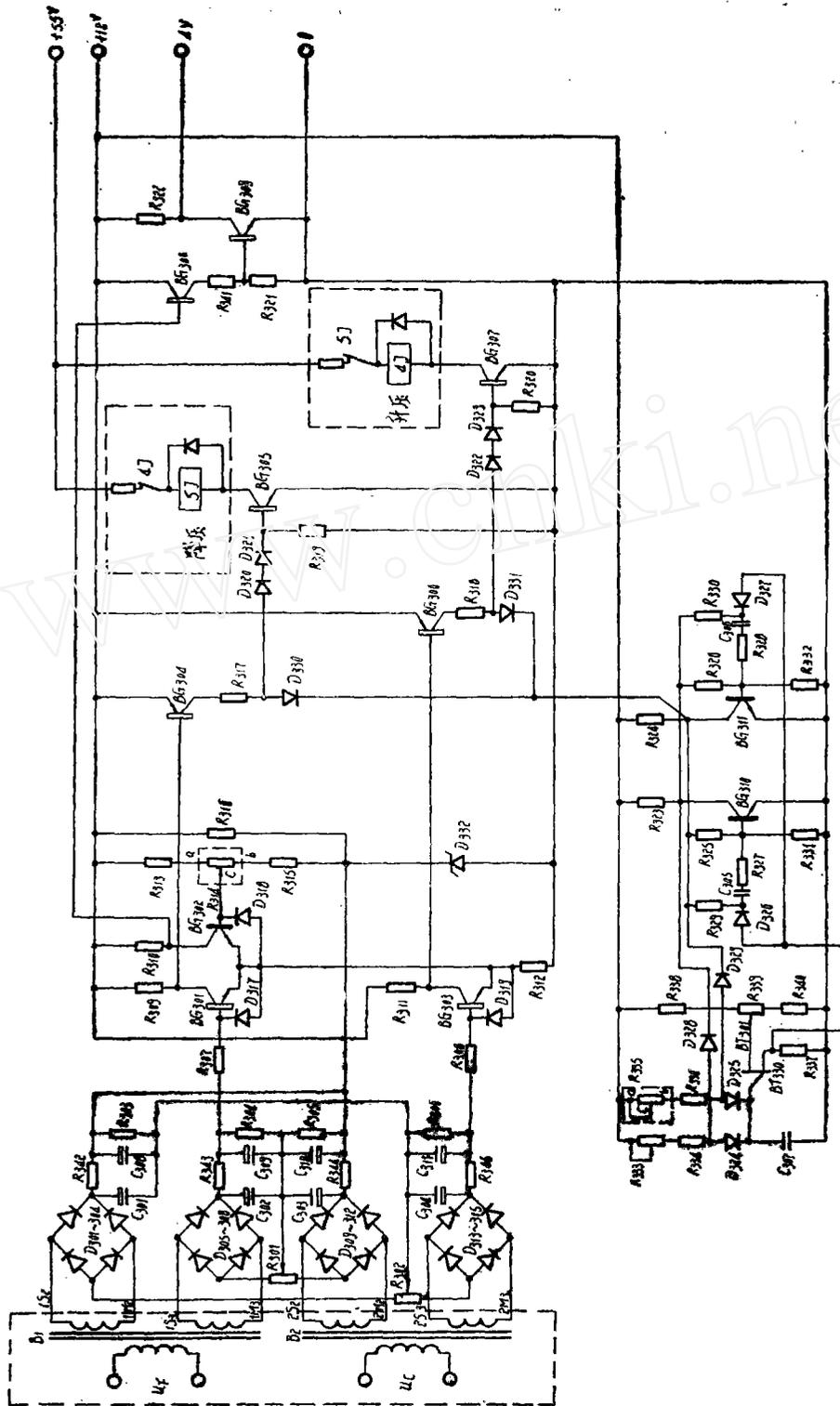


图14 调压部分原理图

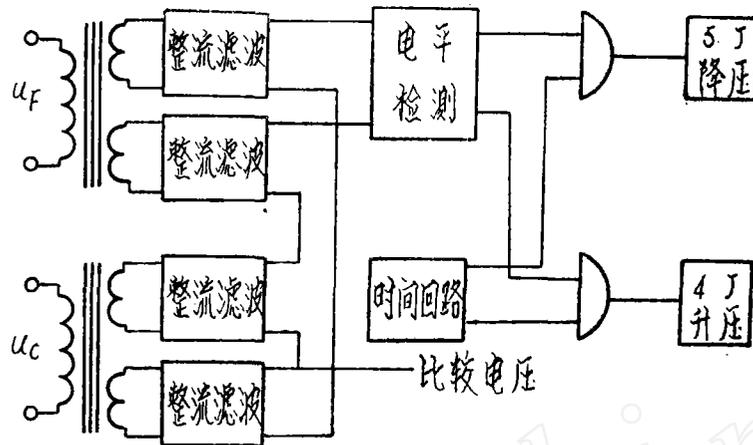


图15 调压部分原理方框图

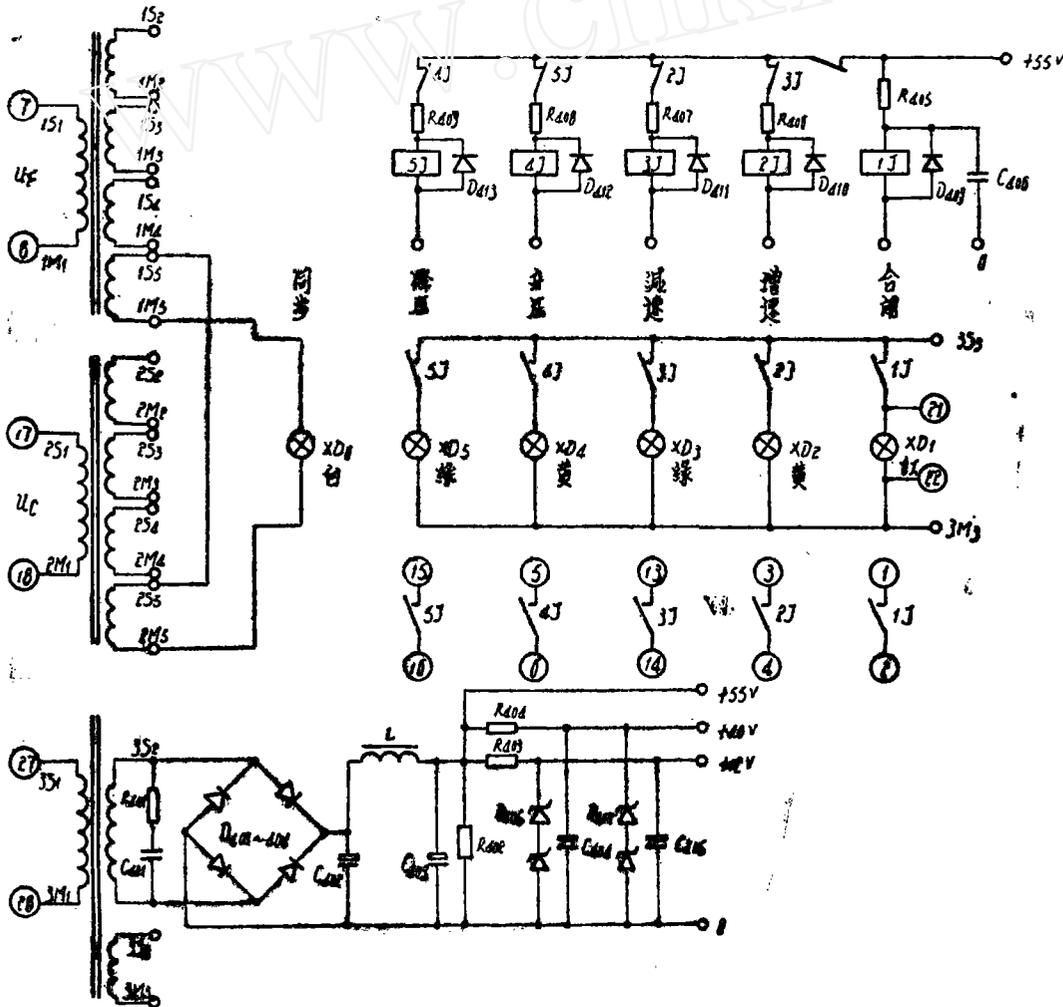


图16 电源出口部分原理图

4. 电源部分 (电源出口部份原理图见图16)

电源变压器B₃由系统侧电压互感器供电,若电压互感器容量不够时,B₃也可由别的辅助电源供电。

本装置的直流电源有三种,+55V是整流滤波后得到的,+40V,+12V采用参数式稳压电路。

二、主要技术数据

- 1.系统和发电机的额定电压为100V、50Hz,辅助电源的额定电压为100V50Hz;
- 2.ZZQ—51导前时间从0.05~0.4S,ZZQ—52导前时间从0.1~0.8秒,连续可调;
- 3.导前相角从0°~40°,连续可调;
- 4.调频脉冲宽度从0.1~0.4S,连续可调;
- 5.调压脉冲宽度从0.2~2S,连续可调;
- 6.允许发出合闸脉冲的最小频差周期为2S;
- 7.允许发出合闸脉冲的电压差为±3%~±8%,连续可调;
- 8.调频部分正常工作范围为50±3Hz;
- 9.在额定电压下,装置的功率消耗不大于下列数值:系统和发电机2VA,辅助电源15VA;
- 10.装置出口元件接点容量为交流127伏,8安,直流无感负荷22伏,10安。也可用在220伏回路中;
- 11.在额定电压下,装置允许长期工作,所有线圈温升均不超过60°C;
- 12.装置所有电路与外壳间,以及电气上无联系的各电路之间的绝缘电阻在温度为20±5°C,相对湿度为50~70%时,应不低于10MΩ;
- 13.装置所有强电端子(端子3、10、21、22、30除外)对外壳应耐受交流50Hz电压1750V,历时1分钟的试验而无击穿或闪络现象。

三、工业试验情况

75年10月在广州流溪河水电厂1.3万千瓦水轮发电机上试验。武汉水电学院,湖南大学、水电部第八工程局、柘溪水电厂、广东水电局中试所,广州流溪河水电厂、许昌继电器研究所等七个单位参加了试验。由整个试验可以看出,由于装置的导前时间是连续可调的,能较好的和油开关配合,所以合闸的冲击电流较小,如下图所示;

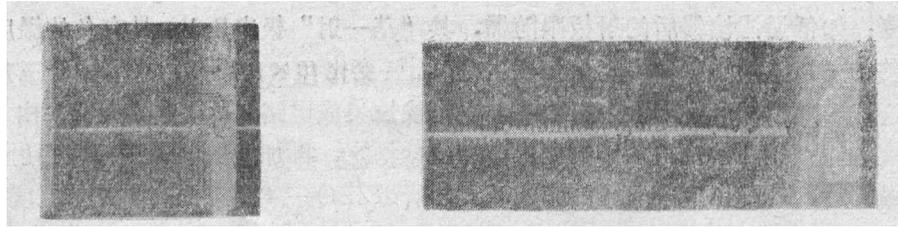


图17 额定电流722 A

图18 第一次合闸冲击电流

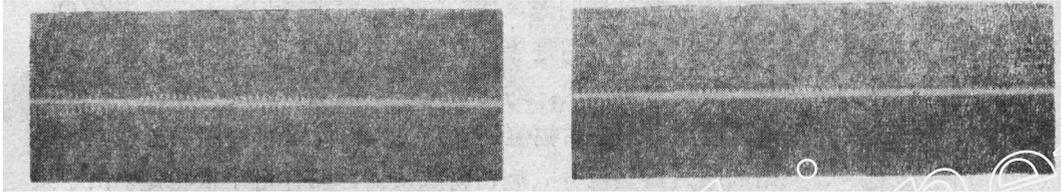


图19 第二次合闸冲击电流

图20 第三次合闸冲击电流

装置的调频部分与DT-100电液调速器的配合，调压部分与电压校正器的配合是良好的，能使机组在较短的时间并网。

76年1月在北京507电厂2.3万千瓦燃气轮发电机组试验。北京电力试验所，湖南440电厂，北京507电厂，许昌继电器研究所等四个单位参加了试验。结果表明，装置完全可以代替英国J、B公司的MMF型自动准同期装置。

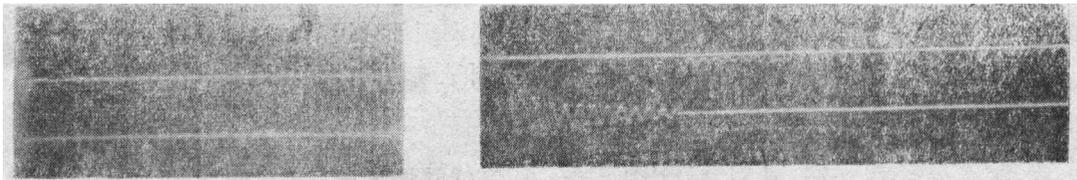


图21 额定电流1500 A

图22 合闸冲击电流

装置在试验结束后，已分别在上述两厂投入运行。

四、小 结

ZZQ—5与ZZQ—4相比较，有了较大的改进。

1. 原理接线简化。

ZZQ—5无论是合闸部分还是调频，调压部分，接线都比较简单，清晰。再加上采用了PNP管与NPN管相配合，使线路更加简化。

2. 稳定性提高。

ZZQ—4工作环境温度为 $+40^{\circ}\text{C} \sim 0^{\circ}\text{C}$ ，导前时间受温度影响较大，想要扩大其工作温度范围很困难，这有多方面的原因：ZZQ—4的工作电压较低，为12伏，采用的是“半波式”相敏回路，经低通滤波器滤波后得到的三角波幅值只有5伏多，比例微分后幅值不到1伏，一定要用放大器放大才能去驱动触发器，这样就引进了很多受温度影响

的因素：如低通滤波器后的射极跟随器，其“基—射”极电压 V_{be} 具有负的温度系数，硅管约为 $-1.8\text{mV}/\text{C}^\circ$ 温度变化 40° ，则 V_{be} 要变化 $40 \times 1.8 = 72\text{mV}$ ，由于三角波幅值不高，这一变化便很可观了。ZZQ—4采用线性集成电路5G922作放大器，由于温度变化引起的零点漂移，也直接影响到导前时间的稳定，再加上触发器是一般的射极耦合施密特触发器，其动作电平受温度影响较大，所以ZZQ—4要想提高其工作温度范围是比较困难的。

ZZQ—5的接线方案是力图克服这些问题，使装置的稳定性得以提高。首先ZZQ—5的相敏回路工作电压提高到55伏，采用的是“全波”式的相敏回路，用40伏钳位，通过低通滤波器后得出的三角波幅值为39.3伏，约为ZZQ—4的七倍，这样 V_{be} 的变化引起的影响便减小了，这三角波经比例微分后幅值还有10伏左右，可直接驱动触发器而不必放大。加上ZZQ—5采用的触发器是差分式施密特触发器，动作电平很稳定。由于采取了一系列措施，使ZZQ—5的稳定性大大提高，工作环境温度为 $-20^\circ\text{C} \sim +50^\circ\text{C}$ 。

3. 抗干扰能力增强，可靠性提高。

ZZQ—5的导前时间是用导前相角来闭锁的，在导前相角以外的所有区间，合闸回路均被一高电位闭锁，外来干扰不会引起合闸回路误动。如果导前时间部分损坏，误发合闸信号，最大的合闸角也只能在我们整定的导前相角范围内。因此我们可以根据同期合闸时允许的最大冲击电流来确定导前相角的大小

ZZQ—5的调频回路，在一个频差周期中，只是在 50° 瞬间解除闭锁，允许发出调频指令，在其余区间均被闭锁，干扰信号不会引起调频部分误动。

从工业试验和运行情况看来，ZZQ—5的研制是成功的，现在已投入小批生产。