脉冲继电器与中央信号装置

许昌继电器研究所　陈爱钦

中央信号系统是发电厂，变电站以及其它电气系统二次接线的重要组成部分，一切事故和故障均须通过中央信号系统才能发出声光报警信号，它对电气设备的安全可靠运行有着重要的作用，本文提出了新型脉冲继电器的构成原理以及中央信号的新型接线，动作原理及特性。

一、概　　述

发电厂，变电站以及其它电气系统的中央信号，是监视各电气设备安全运行的重要组成部分，当设备发生事故或发生故障时，中央信号应能可靠地分别发出相应的声光信号。例如在设备事故跳闸时，应发出蜂鸣器音响，停电钟记录事故发生的时刻，同时使相应的跳闸位置指示灯闪光；在需要送出遥信事故信号时，能够送出遥讯脉冲，经远动装置发送出遥讯信号至调度端，以便调度及时处理由事故造成的影响。在设备发生一般性故障(如回路断线等)以及其它预告信号(如过负荷等)，通过光字牌显示预告信号的性质，经中央信号装置发出警铃音响。根据予告信号的不同性质，予告信号又可分为瞬时予告信号和延时予告信号二种，延时予告信号可以使某些短暂的信号不要发出报警音响。在光字牌显示预告信号的性质时，灯光最好具有闪光特性，即报警的那个光字牌进行闪光，以便引起值班人员的注意，在多个光字牌已亮的情况下，更显得有必要，在按下灯光复归按钮时，如果信号已消失，则光字牌即复归，如果信号还存在，则光字牌转为平光信号，国外一些中央信号装置具有此功能，国内目前使用的中央信号尚未有此功能。

我国常用的中央信号接线采用的是信号电流叠加，用脉冲继电器反应电流增量微分脉冲动作的方式。这种接线方式具有接线简单的特点，因此得到广泛的应用。其信号电流的产生，对于事故信号通常用信号继电器接点接通一个电阻，该电阻上的电流通过脉冲继电器而使继电器动作；对于预告信号，该电流即来自光字牌的电流。但由于该接线过于简单而且长期以来没有得到改进，在不断发展的电力工业的运行中，越来越感到它的不足之处亟须解决。其主要缺点如下：

1. 由于脉冲继电器反应的是电流增量的微分脉冲，它不反应电流的绝对值大小，因此在延时预告信号中，若有一个或几个长信号和一个或几个短信号重叠，则长信号会被短信号“抹掉”而发不出音响信号。例如在图 *1* 中，有一个长信号和一个短信号重叠及一般的脉冲继电器的动作情况，可见由于短信号的返回使脉冲继电器返回，因而虽然长信号已达预告信号的延时时间，但仍不能发出预告音响信号。

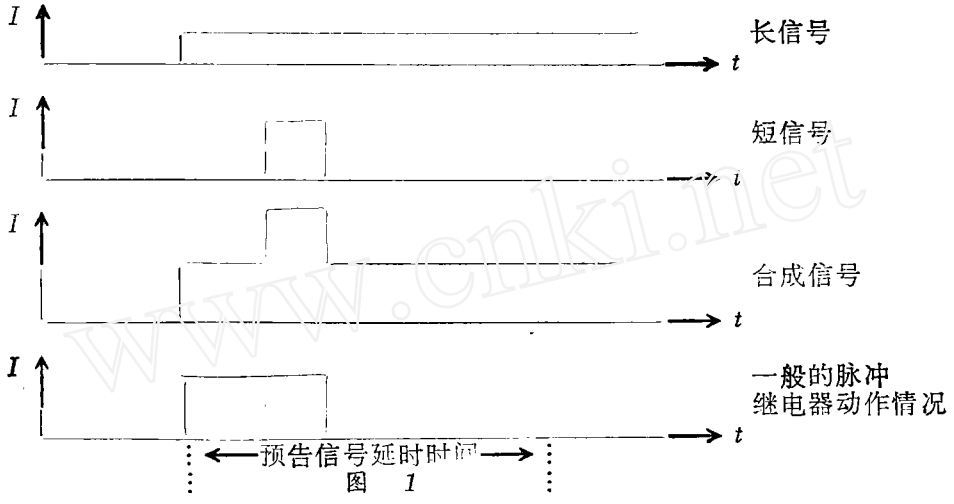


图 1

2. 在延时预告信号中，在一个长信号的延时过程中，若有另一个已报过警的信号返回，则该长信号也同样发不出延时预告信号，见图 2 。因为脉冲继电器反应的是总电流的变化，不能区分那一付接点的动作与返回。

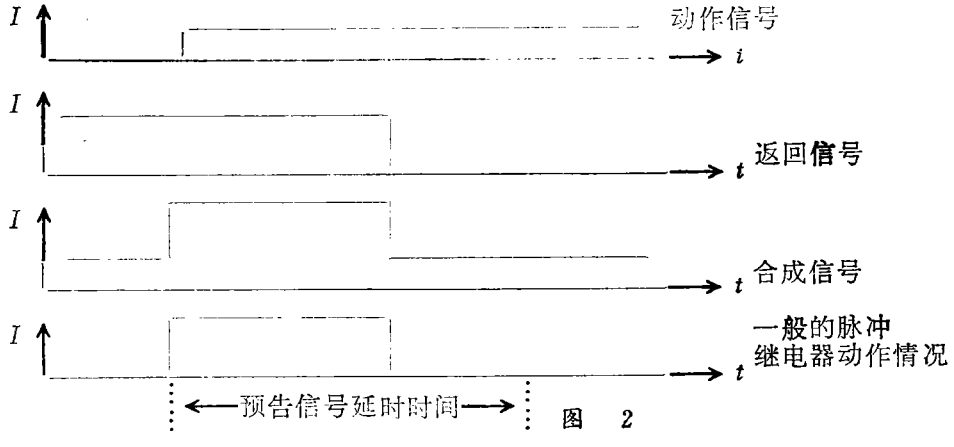


图 2

3. 不能实现光字牌信号的闪光指示。

4. 由于目前中央信号是由单个继电器散装组成，占用盘面较多。

5. 闪光电源容量太小，通常采用普通中间继电器和电容电阻构成，其接点容量较小，在某些情况下，例如母线故障时连接在该母线上的断路器同时跳闸时，多个信号灯闪光，电流较大，其闪光中间继电器接点可能断不开电弧而烧毁；此外通常的闪光中间继电器动作返回时间不均匀，灯光明灭就很不均匀。

近代国外中央信号装置大多采用具有独立的报警测量单元的综合信号装置，在一个中央信号柜内，安装了多个报警点组件，一个组件只对应一个报警信号，再加上一些辅助电路，包括闪光电源，放大器、接收和复归回路，音响控制电路等，另外还要配以直流稳压电源供装置的直流。因为装置采用静态继电器构成，应用了大量的晶体管电路，

需要较好的直流电源。由于装置采用独立的测量单元，因此各报警点均互不影响，而且接线原理的设计，可以实现光字牌的闪光指示，因此没有上述1—3项缺点，但是由于装置比较复杂，调试、运行维护工作量较大，占有空间面积也较大，而且根据国外不同型号产品的不同设计，功能也各有不同，例如某些国家产品只有瞬时预告信号，没有延时预告信号，因此国外产品也不一定都能满足我国运行的需要。因此根据我国的具体情况，参考国内外设备的最佳功能，研制一台新型的中央信号装置是非常必要的。总之，在研制新型中央信号装置时，应希望满足以下基本功能：

1. 当断路器事故跳闸时或严重报警时，蜂鸣器应及时发出音响，并使相应的位置指示灯发出闪光或用红色光字牌显示严重报警的性质。

2. 当需要遥信的事故信号时，在发出事故声光信号的同时，发出遥信脉冲。

3. 在事故发生的同时，停电钟，记录事故发生的时刻。

4. 当二次元件发生故障或继电器动作时（即普通报警），对应的光字牌发出闪光信号，瞬时或延时发出警铃音响信号。

5. 在发出音响信号后，经延时能自动复归音响或按下音响复归按扭，音响可立即停止，而灯光信号继续保留。

6. 在按下灯光复归按钮后，若故障已消除，则灯光熄灭；若故障尚未消除，则闪光信号转为平光信号显示，在后一种情况下，当故障消除后灯光能自动熄灭。

7. 事故信号，预告信号以及光字牌均设有试验按钮或开关，用以检查是否完好，在试验事故信号时应保证不发出遥信脉冲以及不停电钟。

8. 在延时预告信号中，若有长信号与短信号重叠，或在延时过程中有一个已报过警的信号返回，装置仍应可靠发出预告音响信号。

脉冲继电器是中央信号系统中的最关键元件，中央音响信号系统运行的好坏在很大程度上取决于脉冲继电器是否可靠动作，以往的脉冲继电器均采用电流微分的原理构成，例如CJ—1型，ZC—20系列型，BC—3型等继电器，这些继电器在运行中发现不很可靠，其主要表现在以下方面：

1. 在延时预告信号中的脉冲继电器，在光字牌接通时，其光字牌电流通过脉冲继电器，由于光字牌灯泡冷态电阻与热态电阻变化很大，光字牌电流呈脉冲状，经微分后产生反向电流，使得脉冲继电器动作后又返回。

2. 在稳态电流较大时，由于电源纹波或电源波动的影响，使在音响复归后脉冲继电器又误起动；或在延时预告信号的延时过程中，尽管光字牌没有减少，而产生脉冲继电器误返回，从而不能可靠发出延时预告信号。

3. 在延时预告信号中的脉冲继电器，在信号继电器接点接通时的接点抖动，使脉冲继电器不能可靠动作，引起误返回。

4. 前述中央信号的缺点1也即是脉冲继电器本身的缺点，即在长短信号重叠的情况下，脉冲继电器不能正确动作。

5. 其它缺点，如采用脉冲变流器的继电器，因有铁芯饱和的问题，冲击动作电流随铁芯饱和而变化，冲击的路数受稳定电流的限制，此外某些继电器还存在接点粘住等

问题，干扰误动或误返回问题等等。

二、脉冲继电器不正确动作的原因分析

过去常用的脉冲继电器都是按照电流微分的原理工作的，即利用接通一个信号回路的电流阶跃变化，经脉冲变流器微分，变成一个尖脉冲，去推动执行元件（如极化继电器，干簧继电器或晶体管触发器）动作。下面进一步从理论上分析采用脉冲变流器的电流微分原理的脉冲继电器所存在的缺点：

采用脉冲变流器的脉冲继电器其等效电路可用图3和图4来描述，当执行元件为纯电阻性时则用图3，当执行元件为感性时则用图4，图中L_1为脉冲变流器折合到初级侧的电感，R_H为折合到初级侧的执行元件电阻；在图4中L_2为折合到初级侧的执行元件电感。

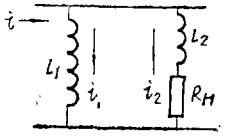


图 3

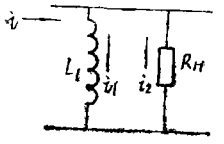


图 4

对于图3和图4可写出下述微分方程式（1）和（2）

$$L_1\frac{di_1}{dt}=i_2R_H \cdots\cdots (1)$$

$$L_1\frac{di_1}{dt}=L_2\frac{di_2}{dt}+R_Hi_2 \cdots\cdots (2)$$

用拉氏变换可以求得图3和图4电路的传递函数为式（3）和式（4）

$$G_1(S)=\frac{I_2(S)}{I(S)}=\frac{S}{S+\frac{R_H}{L_1}} \cdots\cdots (3)$$

$$G_2(S)=\frac{I_2(S)}{I(S)}=\frac{\frac{L_1}{L_1+L_2}S}{S+\frac{R_H}{L_1+L_2}} \cdots\cdots (4)$$

由式（3）和式（4）可见，此是一个在0处有一个零点和在$-R_H/L_1$或$-R_H/(L_1+L_2)$有一个极点的一阶系统。

1. 对光字牌电流的反应：

文献（1）已推导出光字牌电流的关系式（5）：

$$i=\frac{U}{R_e-(R_e-R_0)e^{-t/T_1}} \cdots\cdots (5)$$

式中R_e是灯丝的额定电阻，即白炽灯在额定条件下运行时的灯丝电阻；R_0是在室温时（未通电时）的冷态电阻；T_1是灯丝发热的时间常数。

将i进行拉氏变换求得象函数为$I(S)$，则流过执行元件的电流的象函数为$I_2(S)$

$$I_2(S)=G_1(S)I(S) \text{或} I_2(S)=G_2(S)I(S) \cdots\cdots (6)$$

将式（6）进行反拉氏变换即可得到流过执行元件的电流表达式。为了方便分析和近似计算，式（5）可用另一近似式（7）来表达：

$$i=\frac{U}{R_e}+\left(\frac{U}{R_\theta}-\frac{U}{R_e}\right)e^{-\frac{t}{T_2}} \quad \cdots\cdots (7)$$

式中T_2为电流i的等效衰减时间常数。式（7）的拉氏变换式为：

$$I(S)=\frac{U}{R_e S}+\frac{\frac{U}{R_\theta}-\frac{U}{R_e}}{S+\frac{1}{T_2}} \quad \cdots\cdots (8)$$

则：$$I_2(S)=G_1(S)I(S)=\frac{U}{R_e\left(S+\frac{R_H}{L_1}\right)}+\frac{\left(\frac{U}{R_\theta}-\frac{U}{R_e}\right)S}{\left(S+\frac{1}{T_2}\right)\left(S+\frac{R_H}{L_1}\right)} \quad \cdots\cdots (9)$$

或：$$I_2(S)=G_2(S)I(S)=\frac{\frac{L_1}{L_1+L_2}U}{R_e\left(S+\frac{R_H}{L_1+L_2}\right)}+\frac{\frac{L_1}{L_1+L_2}\left(\frac{U}{R_\theta}-\frac{U}{R_e}\right)S}{\left(S+\frac{1}{T_2}\right)\left(S+\frac{R_H}{L_1+L_2}\right)} \quad \cdots\cdots (10)$$

将式（9）式（10）进行反拉氏变换得到i_2的表达式为：

$$i_2(t)=\frac{U}{R_e}e^{-\frac{R_H}{L_1}t}-\frac{U(R_e-R_\theta)}{R_eR_\theta(L_1-R_HT_2)}e^{-\frac{R_H}{L_1}t}+\frac{U(R_e-R_\theta)}{R_eR_\theta(L_1-R_HT_2)}e^{-\frac{1}{T_2}t} \quad \cdots\cdots (11)$$

或：

$$i_2(t)=\frac{UL_1e^{-\frac{R_H}{L_1}t}}{L_1R_e+L_2R_e}-\frac{U(R_e-R_\theta)L_1e^{-\frac{R_H}{L_1+L_2}}}{R_eR_\theta(L_1-R_HT_2)(L_1+L_2)}+\frac{U(R_e-R_\theta)L_1e^{-\frac{t}{T_2}}}{R_eR_\theta(L_1-R_HT_2)(L_1+L_2)} \quad \cdots\cdots (12)$$

由式（11）和式（12）可见，$i_2(t)$由三项组成，第一项和第二项是由电流微分环节所决定衰减时间常数的指数衰减函数，第三项是由光字牌灯丝冷热电阻变化所决定衰减时间常数的指数衰减函数。由于第一项为正，第二项为负，故前两项之和可正可负，取决于设计的参数，第三项是正的。如果第二项大于第一项，则前面两项之和为负，而且一般时间常数L_1/R_H或$(L_1+L_2)/R_H$要比T_2要大，故在某一段时间里i_2为负，如果负电流足够大，则可能引起脉冲继电器误返回，如果参数设计得当，使第一项大于第二项，则不可能产生负电流，因此从式（11）式（12）可得：

$$L_1\geqslant\frac{R_e-R_\theta}{R_\theta}+R_HT_2 \quad \cdots\cdots (13)$$

只要满足式（13）条件，执行元件上就保证没有负电流，脉冲继电器可靠动作不会误返回，因此某些采用脉冲变流器方式的脉冲继电器在光字牌冷热态灯丝电阻不同而引起继电器的误返回。

2. 对电源纹波的反应。

在直流电源设备中，采用蓄电池供电并用交流电整流浮充，其电源纹波较小，对于硅整流器三相桥式整流的供电方式，其纹波系数可达4.6%，这是普通整流方式中纹波最小的一种，其最低次谐波分量为六次谐波，其六次谐波的峰值占直流分量的4.13%，其它次谐波为12次、18次等占的分量很小，所以首先研究对六次谐波的反应。

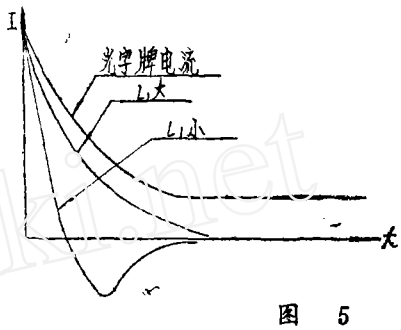


图 5

对于传递函数式（3）和式（4），将S用$j\omega$来代替，即可得到图3和图4，电路的频率响应函数式（14）及式（15），并可画出对数幅频特性曲线（伯氏图）见图6。

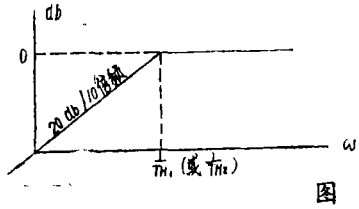


图 6

$$G(j\omega)=\frac{j\omega T_{H1}}{j\omega T_{H1}+1} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (14)$$

式 $$G(j\omega)=\frac{j\omega T_{H1}}{j\omega T_{H2}+1} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (15)$$

式中$T_{H1}=\frac{L_1}{R_H}$，$T_{H2}=\frac{L_1+L_2}{R_H}$

图6曲线的渐近线为两条直线，其交点为：

$$\omega_{01}=\frac{1}{T_{H1}}, \qquad \omega_{02}=\frac{1}{T_{H2}}$$

其斜线的斜率为20db/10倍频。由于设计参数的ω_{01}或ω_{02}比三相桥式整流的六次谐波$\omega_6=2\pi f\cdot 300$要小得多，所以六次谐波以及六次以上的所有谐波均完全通过，当脉冲继电器稳态电流较大时，其稳态电流中的谐波分量就会对继电器产生不良影响，例如误动或不能冲击自动复归等。如果采用其它的整流电源，例如单相桥式整流电源等，纹波系数更大，则对脉冲继电器的影响更严重。

3. 对接点抖动的反应：对于信号继电器接点抖动对脉冲继电器的影响，可以把接点抖动理解为一个负阶跃输入脉冲和经一定时间间隔后一个正阶跃输入脉冲的叠加，假设在$t=0$时接点闭合，在$t=a$时接点断开，在$t=b$时接点又闭合这样的抖动情况；如果忽略光字牌冷丝冷热电阻的变化，则输入函数可写为：

$$i(t)=\frac{U}{R_e}[1(t)-1(t-a)+1(t-a-b)] \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (16)$$

根据式（3）和式（4）传递函数，可得输出函数的拉氏变换式：

$$I_2(s)=\frac{U}{R_e}\cdot\frac{1}{s}G_1(s)=\frac{U}{R_e}\cdot\frac{1}{p+\frac{R_H}{L_1}} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (17)$$

或：$$I_2(s)=\frac{U}{R_e}\cdot\frac{1}{s}\cdot G_2(s)=\frac{U}{R_e}\cdot\frac{\frac{L_1}{L_1+L_2}}{p+\frac{R_H}{L_1+L_2}} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (18)$$

经拉氏反变换可求得流过执行元件电流对阶跃函数响应的表达式：

$$i_2(t)=\frac{U}{Re}\cdot e^{-\frac{R_H}{L_1}t} \qquad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (19)$$

或 $$i_2(t)=\frac{UL_1}{R_e(L_1+L_2)}\,e^{-\frac{R_H}{L_1+L_2}t} \qquad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (20)$$

由式（19）和式（20）可见，图4（a）和图4（b）电路的阶跃函数响应是一指数衰减曲线，因此对式（16）函数的响应为：

$$i_2(t)=\left[\frac{U}{R_e}e^{-\frac{R_H}{L_1}t}\right]_{0<t<a}+\left[\frac{U}{R_e}e^{-\frac{R_H}{L_1}(t-a)}\right]_{a<t<b}+$$

$$+\left[\frac{U}{R_e}e^{-\frac{R_H}{L_1}(t-a-b)}\right]_{t>b} \qquad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (21)$$

或：

$$i_2(t)=\left[\frac{UL_1}{R_e(L_1+L_2)}e^{-\frac{R_H}{L_1+L_2}t}\right]_{0<a<t<b}+$$

$$+\left[\frac{UL_1}{R_e(L_1+L_2)}e^{-\frac{R_H}{L_1+L_2}(t-a)}\right]_{a<t<b}+$$

$$+\left[\frac{UL_1}{R_e(L_1+L_2)}e^{-\frac{R_H}{L_1+L_2}(t-a-b)}\right]_{t>b} \qquad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (22)$$

图7（a）和图7（b）为二种不同时间常数对接点抖动的反应波形曲线。由图可见，当时间常数小时，对接点抖动影响很严重，如时间常数足够大，接点抖动时产生的反向电流幅值较小，使不足以执行元件动作，可以防止接点抖动引起误返回。

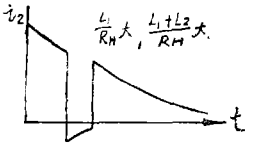


图7（a）

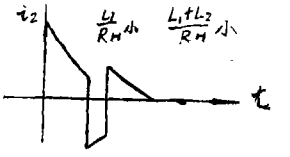


图7（b）

根据以上分析，对于采用脉冲变流器的电流微分原理的脉冲继电器的动作行为可作以下简要结论：

1. 对光字牌灯丝冷热态电阻变化引起的电流变化，如果参数设计不当，会引起动作后误返回，增加变流器的电感量，可防止误返回（当然要增大变流器的尺寸）。

2. 对电源纹波影响很严重，各次谐波均能顺利通过执行元件，可能产生误动或不能冲击自动复归。

3. 如果继电器参数设计不当，继电器对接点抖动的影响是严重的，为了改善性能，也需要增大变流器的电感量。

由于变流器存在饱和问题以及铁芯不可能选得很大很重，故电感值不可能做得很大，因此继电器的性能就很难得到大的改善。

三、新型脉冲继电器的理论及特性分析

新型脉冲继电器，例如JC—2型冲击继电器以及本文将要介绍的ZYX—2型中央信号装置中的脉冲元件，它的动作原理与通常采用的电流微分原理有所不同。根据前述，电流微分原理的脉冲继电器的等值电路可用一个一阶微分方程来描述，而新型脉冲继电器其等值电路可由图8来表示，该等值电路可由一个二阶微分方程来描述，从而使电器的特性得到很大的改善。根据等值电路图8，可写出方程式如下：

$$\begin{cases} i_1 + i_2 = i \\ \dfrac{1}{C}\displaystyle\int i_2 dt + L\dfrac{di_2}{dt} + R_2 i_2 = i_1 R_1 \end{cases} \qquad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (26)$$

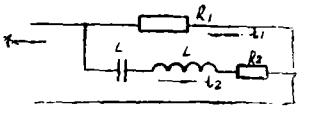


图 8

继经拉氏变换后可求得该电路的传递函数为：

$$G_3(s) = \frac{\dfrac{R_1}{L}s}{s^2 + \dfrac{R_1+R_2}{L}s + \dfrac{1}{L_c}} \qquad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (27)$$

式（27）是一个二阶系统的传递函数，它有一个零点和二个极点，因此可改写为：

$$G_3(s) = \frac{s}{T_3(s-s_1)(s-s_2)} \qquad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (28)$$

式中： $T_3 = \dfrac{L}{R_1}$ $s_1 = -\alpha + \beta$，$s_2 = -\alpha - \beta$

而： $\alpha = \dfrac{R_1+R_2}{2L}$， $\beta = \sqrt{\alpha^2 - \dfrac{1}{Lc}}$

1. 对光字牌电流的反应：

根据式（8）和式（28）可得：

$$I_2(s) = I(s)G_3(s) = \frac{U}{R_c T_3(s-s_1)(s-s_2)} + \frac{\left(\dfrac{U}{R_\theta} - \dfrac{U}{R_c}\right)s}{T_3(s-s_1)(s-s_2)\left(s+\dfrac{1}{T_2}\right)} \qquad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (29)$$

式（29）的反拉氏变换即为流过脉冲继电器执行元件电流的表达式。

$$i_2(t) = \frac{U}{2R_c T_3 \beta} e^{-\alpha t}(e^{\beta t} - e^{-\beta t}) + \frac{\left(\dfrac{U}{R_\theta} - \dfrac{U}{R_c}\right)(-\alpha+\beta)}{2\beta T_3\left(\dfrac{1}{T_2} - \alpha + \beta\right)} - e^{(-\alpha+\beta)t} - \frac{\left(\dfrac{U}{R_\theta} - \dfrac{U}{R_c}\right)(-\alpha-\beta)}{2\beta T_3\left(\dfrac{1}{T_2} - \alpha - \beta\right)} e^{(-\alpha-\beta)t}$$

$$-\frac{\left(\frac{U}{R_\theta}-\frac{U}{R_c}\right)}{T_2T_3\left(\frac{1}{T_2}-\alpha+\beta\right)\left(\frac{1}{T_2}-\alpha-\beta\right)}e^{-\frac{1}{T_2}t} \qquad \cdots\cdots\cdots(30)$$

由式（30）可见，$i_2(t)$由五项组成，第一项是由$G_3(s)$阶跃响应所决定的电流，即当灯丝电阻为不变的情况下的电流，第二第三项是由灯丝冷热电阻差异而引起的由系统传递函数决定衰减常数的电流，第四项是由灯丝冷热电阻差异而引起的而由冷热电阻本身变化速度所决定衰减常数的电流。注意当$t=0$时，第一项为0，第二项第三项和第四项合起来等于0，因此当$t=0$时，$i_2(t)=0$

上式均假设 $\alpha^2>\frac{1}{Lc}$，就是$R_1+R_2>2\sqrt{\frac{L}{C}}$假若$R_1+R_2<2\sqrt{\frac{L}{C}}$，则$\beta$为虚数，因而式（30）要变换，在这种情况下引用标志：

$$\omega=\sqrt{\frac{1}{Lc}-\alpha^2} \qquad 则 \qquad \beta=\sqrt{\alpha^2-\frac{1}{Lc}}=j\omega$$

则式（30）可写成：

$$i_2(t)=\frac{U}{R_cT_3\omega}e^{-\alpha t}Sin\,\omega t+$$

$$+\frac{\frac{U}{R_\theta}-\frac{U}{R_c}}{2\omega T_3}e^{-\alpha t}$$

$$\left[\frac{\omega\cos\omega t-\alpha\sin\omega t+j(\alpha\cos\omega t+\omega\sin\omega t)}{\frac{1}{T_2}-\alpha+j\omega}\right.$$

$$\left.+\frac{\omega\cos\omega t-\alpha\sin\omega t-j(\alpha\cos\omega t+\omega\sin\omega t)}{\frac{1}{T_2}-\alpha-j\omega}\right]$$

$$-\frac{\frac{U}{R_\theta}-\frac{U}{R_c}}{T_2T_3\left[\left(\frac{1}{T_2}-\alpha\right)^2+\omega^2\right]}e^{-\frac{1}{T_2}t} \qquad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(31)$$

式（31）可见，当$\alpha^2<\frac{1}{Lc}$时，回路出现由回路参数决定的角频率为ω的衰减振荡电流。对式（31）同样有$t=0$时，$i_2(t)=0$。

如果$\alpha^2=\frac{1}{Lc}$，则$\beta=0$为临界情况，则：

$$G_3(s)=\frac{s}{T_3(s+\alpha)^2} \qquad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(32)$$

式（32）传递函数具有一个零点和一个二重极点，其响应函数为：

$$I_2(s)=I(s)G_3(S)=\frac{U}{R_cT_3(s+\alpha)^2}+$$

$$+\frac{\left(\frac{U}{R_\theta}-\frac{U}{R_c}\right)s}{T_3(s+\alpha)^2\left(s+\frac{1}{T_2}\right)} \qquad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(33)$$

经拉氏反变换得：

使频率特性变坏，谐波抑制差，对接点抖动影响也不利，因此通常取临界情况即 $\alpha^2=\frac{1}{Lc}$ 或 α^2 略大于 $\frac{1}{Lc}$ 较为有利。根据式（35）可作出继电器的对数幅频特性（伯氏图）见图9。

图 9

图中 ω_1，ω_2 为转折频率。

$$\omega_1=\alpha-\beta,\quad \omega_2=\alpha+\beta$$

如取临界情况，则 $\omega_0=\omega_1=\omega_2=\alpha$

实际参数选定，很接近于临界情况，代入具体数据如下：

$$R_1=1\ \Omega,\ R_2=3\ \Omega,\ L=0.035H$$

则：
$$\omega_1=\alpha=\frac{R_1+R_2}{2L}=\frac{1+3}{2\times0.035}=57$$

对于六次谐波 $\omega_6=1884$，对六次谐波的衰减是：

$$N=-20\log(1884-57)=-65.3db$$

对于三相桥式整流波形，经富氏级数展开后可得：

$$f(\omega t)=\frac{6A}{\pi}\left(\frac{1}{2}-\frac{1}{7.5}\cos6\omega t+\frac{1}{13.11}\cos12\omega t\cdots\cdots\right)$$

在三相桥式整流波形中，六次谐波幅值与直流分量的比值为：

$$20\log\frac{\frac{1}{35}}{\frac{1}{2}}=20\log\frac{2}{35}=-24.84db$$

当继电器流过三相桥式整流电流2A时，流过继电器执行元件的六次谐波电流为：

$$2A\times\log^{-1}\frac{-65.3-24.84}{20}=0.062mA$$

继电器的动作电流为7 mA，故继电器不会误动作。通过计算或实验证明，继电器适用在纹波系数很大的直流电源，例如略加滤波的单相全波整流电源或其它整流电源，在纹波系数达20%时也不会误动作或误返回。

3. 对接点抖动的反应：

对接点抖动的反应，目前，只要研究电路对阶跃函数的响应。

$$F_2(s)=\frac{1}{s}G_3(S)=\frac{\frac{R_1}{L}}{s^2+\frac{R_1+R_2}{L}s+\frac{1}{Lc}}\qquad\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(36)$$

$$i_2(t)=\frac{U}{R_cT_3}te^{-\alpha t}-\frac{\frac{U}{R_g}-\frac{U}{R_c}}{T_2T_3\left(\frac{1}{T_2}-\alpha\right)^2}e^{-\frac{1}{T_2}t}+$$

$$+\frac{\frac{U}{R_0}-\frac{U}{Re}\left[\frac{\frac{1}{T_2}+\left(\alpha-\frac{1}{T_2}\right)\alpha t}{\left(\frac{1}{T_2}-\alpha\right)^2}\right]e^{-\alpha t}}{T_3} \qquad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (34)$$

式（34）同样有$i_2(o)=0$ 。

图10为在各种不同参数的情况下，继电器对光字牌电流的反应电流波形曲线。

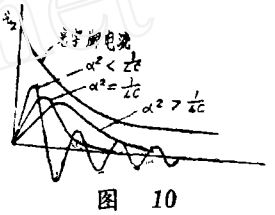


图 10

2. 对电源纹波的反应：

将传递函数的变数 s 以 $j\omega$ 置换，即得到继电器的频率响应函数：

$$G(j\omega)=\frac{\frac{R_1}{L}(j\omega)}{(j\omega)^2+\frac{R_1+R_2}{L}(j\omega)+\frac{1}{Lc}} \qquad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (35)$$

由于在实际工程设计中，往往取$\alpha^2\geqslant\frac{1}{Lc}$，如果$\alpha^2<\frac{1}{Lc}$，则出现振荡波，对执行元件工作是不利的，而取$\alpha^2$比$\frac{1}{Lc}$大很多也是不好的，当$\alpha^2>\frac{1}{Lc}$时：

$$i_2(t)=\frac{U}{R_eT_3\beta}e^{-\alpha t}sh\beta t \qquad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (37)$$

当$\alpha^2<\frac{1}{Lc}$时：

$$i_2(t)=\frac{U}{R_eT_3\omega}e^{-\alpha t}\sin\omega t \qquad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (38)$$

当$\alpha^2=\frac{1}{Lc}$时

$$i_2(t)=\frac{U}{ReT_3}te^{-\alpha t} \qquad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (39)$$

假设接点在 $t=0$ 时接通，在 $t=a$ 时断开，在 $t=a+b$ 时接点又闭合这样的抖动情况，则继电器的反应为：

当$\alpha^2>\frac{1}{Lc}$时：

$$\begin{aligned}i_2(t)=&\frac{U}{R_eT_3\beta}e^{-\alpha t}sh\beta t\Big|_{0<t<a}+\\&+\frac{U}{R_eT_3\beta}e^{-\alpha(t-a)}sh\beta(t-a)\Big|_{a<t<b}+\\&+\frac{U}{R_eT_3\beta}e^{-\alpha(t-a-b)}sh\beta(t-a-b)\Big|_{b<t<\infty}\end{aligned} \qquad \cdots\cdots\cdots (40)$$

当$\alpha^2<\frac{1}{Lc}$时：

$$i_2(t)=\frac{U}{R_eT_3\omega}e^{-\alpha t}\sin\omega t\Big|_{0<t<a}+$$

$$+\frac{U}{R_eT_3\omega}e^{-\alpha(t-a)}\sin\omega(t-a)\Big|_{a<t<b}+$$

$$+\frac{U}{ReT_3\omega}e^{-\alpha(t-a-b)}\sin\omega(t-a-b)\Big|_{b<t<\infty} \qquad \cdots\cdots(41)$$

当 $\alpha^2=\frac{1}{Lc}$ 时：

$$i_2(t)=\frac{U}{R_eT_3}te^{-\alpha t}\Big|_{0<t<a}$$

$$+\frac{U}{R_eT_3}(t-a)e^{-\alpha(t-a)}\Big|_{a<t<b}$$

$$+\frac{U}{R_eT_3}(t-a-b)e^{-\alpha(t-a-b)}\Big|_{b<t<\infty} \qquad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(42)$$

由于在工程设计中通常取 $\alpha^2\geqslant\frac{1}{Lc}$，因此只用式（40）和式（42）。图11为继电器对接点抖动的反应电流波形。

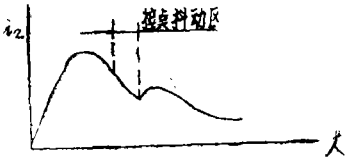


图 11

由式（40）和式（42）以及图9可见，继电器对接点抖动反应是很迟钝的，即在接点抖动时继电器执行元件电流只发生微小变化，况且接点抖动时间是很短的，在图9中已夸大接点抖动的时间，但未有使继电器返回的反向电流产生。实际上由于在接点抖动时，光字牌电流未达到稳态值，实际的正向电流比式（40）式（42）要大一些，使更可靠不误返回。

根据以上分析，对于新型的脉冲继电器的动作行为可作以下简要结论：

1. 对光字牌灯丝冷热态电阻变化的影响，继电器只要选择 $\alpha^2\geqslant\frac{1}{Lc}$ 保证无反向的返回电流，保证继电器可靠动作。

2. 对电源纹波的影响很小，可用在电源纹波较大的直流电源中。

3. 对接点抖动的影响很小，继电器可靠动作不误返回。

四、具有记忆作用的新型脉冲继电器

在概述中提到的在一般的延时预告信号回路中，若有一个或几个长信号和一个或几个短信号重叠，则长信号会被短信号“抹掉”而发不出音响信号，为此要研制新型的脉冲继电器来克服这缺点。

新型脉冲继电器的一种方案是采用脉冲记数的方法，如果有一电流增量脉冲则记数器加1若有一个减量脉冲则记数器减1。在多个脉冲重叠的情况下，若增量脉冲数和减量脉冲数相等，则表示光字牌电流恢复到原来的值，则不应报警；如增量脉冲数大于减量脉冲数，则表示光字牌电流比第一个脉冲前的值来得大，则经延时报警，继电器的方框图见图12，其动作情况见图13。

采用可逆记数器记录脉冲数的方案，在重叠脉冲的前沿和后沿保证不同时的情况下，可以正确动作，但如果二个脉冲前沿或后沿同时，则记数器只能记一个数，就有可能产生不正确动作，因此该方案仍有一定的缺点。

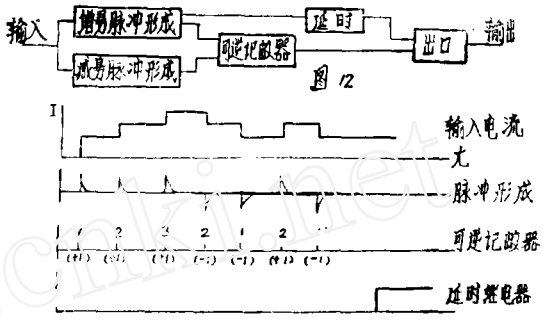


图 12

如果继电器能记忆光字牌电流的幅值，在多个脉冲重叠的情况下，能够在第一个脉冲发示后，当有返回脉冲时，能比较返回脉冲后的电流幅值与第一个脉冲前的电流幅值的大小，若其幅值相等，则表示信号已返回，光字牌电流回到原来的值，则不报警；若其幅值大于第一个脉冲前的电流幅值，则表示信号未返回，经延时应报警。

新研制成功的脉冲继电器具有幅值记忆特性，其简化方块图见图13。瞬时元件反应

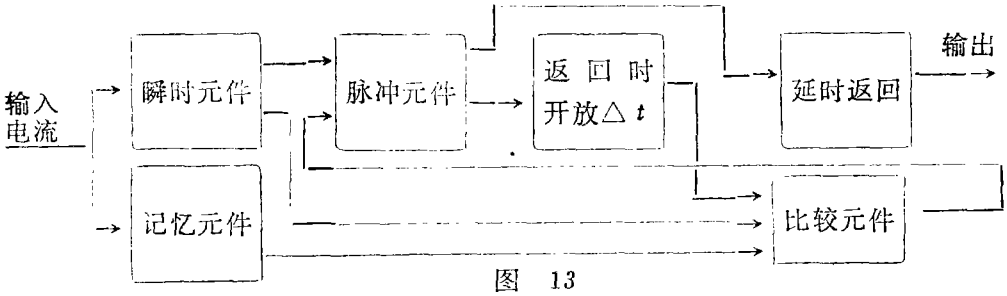


图 13

输入电流的瞬时幅值，记忆元件反应输入电流增量脉冲前的稳态电流幅值；脉冲元件当输入增量电流脉冲时动作，当输入减量脉冲时返回。在脉冲元件返回时产生一开放时间△t，在△t时间内，比较元件比较瞬时元件与记忆元件反应量的幅值；如果在报警前预告信号接点已返回，即光字牌电流已回到原来的值，则瞬时元件与记忆元件反应量的幅值相等，比较回路没有输出，脉冲元件返回后，输出则经延时返回元件而返回。如果有长信号与短信号重叠，则当短信号返回时，脉冲元件返回，在△t时间内，比较元件进行比较，由于长信号未返回，瞬时元件反应量的幅值比记忆元件反应量的幅值大，比较元件动作，再次起动脉冲元件，经延时返回元件保证输出连续的动作信号，其动作过程见图14。由于该继电器中的脉冲元件，采用上述讨论的新型脉冲继电器的原理，因此该继电器对光字牌灯丝电阻的冷热变化，电源纹波的影响以及接点抖动的影响均与上述一样。

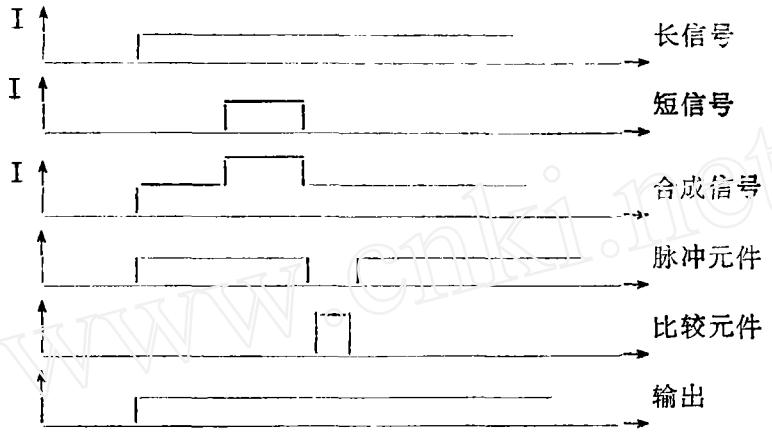


图 14

五、已报警信号在延时中复归问题以及光字牌闪光问题

在概述中提到，在延时预告信号回路中，若有一个长信号在延时过程中，有另一个已报过警的信号复归，则该长信号仍然不能发出报警信号，见图15中，如XJ_1已接通并报过已警，在XJ_2接通时，脉冲继电器动作并起动延时继电器，若在延时过程中XJ_1返回，则脉冲继电器返回，因为脉冲继电器反应的是光字牌的总电流，不能区分XJ_1接点还是XJ_2接点，对于这个缺点，要靠接线来解决。另外，为了做到光字牌在报警时能够闪光，也需要有新的接线来解决。

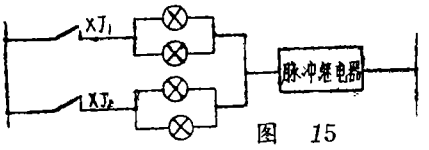


图 15

新研制成功的 $FX-4$ 型信号辅助装置，可实现光字牌在报警时闪光以及在延时过程中已报警信号返回不影响正常报警。图16为一个信号的辅助继电器接线图，当信号继电器XJ动作时，光字牌电流经J_1常闭接点使脉冲继电器MXJ动作，经延时后报警继电器BGJ动作发出警铃音响，BGJ接点并起动继电器J_1，J_1继电器经其本身的接点和灯光复归按钮AN_1自保持，J_1的一付转换接点使光字牌转入闪光电源，使光字牌闪光，当按下按钮AN时，继电器J_1复归，如XJ接点已返回，则光字牌也复归，如XJ接点未返回，则光字牌转为平光信号。在J_1动作后，其J_1接点起动继电器J_2，J_2经本身的接点自保持，只要XJ不返回，J_2也不返回，J_2的常闭接点断开J_1的BGJ起动回路，因此在下次

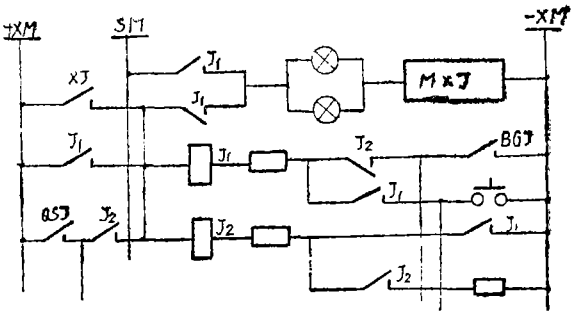


图 16

报警时不再起动J_1。J_2一付常开接点和起动延时的继电器QSJ接点串联后与XJ接点并联，在延时过程中，QSJ接点接通，如XJ接通已报过警，则J_2动作，故此时XJ返回也不起作用，只有当报警后QSJ返回J_2才返回，在延时过程中光字牌电流因QSJ和J_2接点接通而不产生变化，故XMJ也不返回，保证正常报警。

六、关于闪光电源

闪光电源是作为在事故跳闸时使相应的跳闸指示灯闪光；或在预告信号中，让报警的光字牌闪光。在以往的闪光电源接线中，存在一些缺点，主要是闪光明灭时间不够均匀，闪光电源输出容量小，在电源电压低的情况下不易实现等。在母线保护跳闸时，可能有较多的断路器跳闸，多个位置指示灯闪光，其闪光电流可达1 A以上，对于一般的闪光继电器接线方式，因接点容量不够，接点就要烧毁。

新研制的闪光电源，装在中央信号装置内，要求体积小，并要克服上述缺点，因此采用了一些特殊电路，改进闪光电源的性能，其动作原理仍然采用电容充放电带动继电器执行的原理，为了保证明灭均匀，继电器的动作和返回均有延时，为了扩大闪光电源的容量，采用了特殊的消弧措施，其接线图见图18。

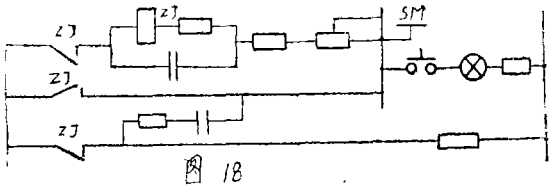


图 18

七、中央信号装置的构成

中央信号装置由以下几部分所构成：

1. 就地事故信号部分
2. 遥信事故信号部分
3. 打电钟回路
4. 瞬时预告信号部分
5. 延时预告信号部分
6. 闪光电源部分
7. 辅助信号部分

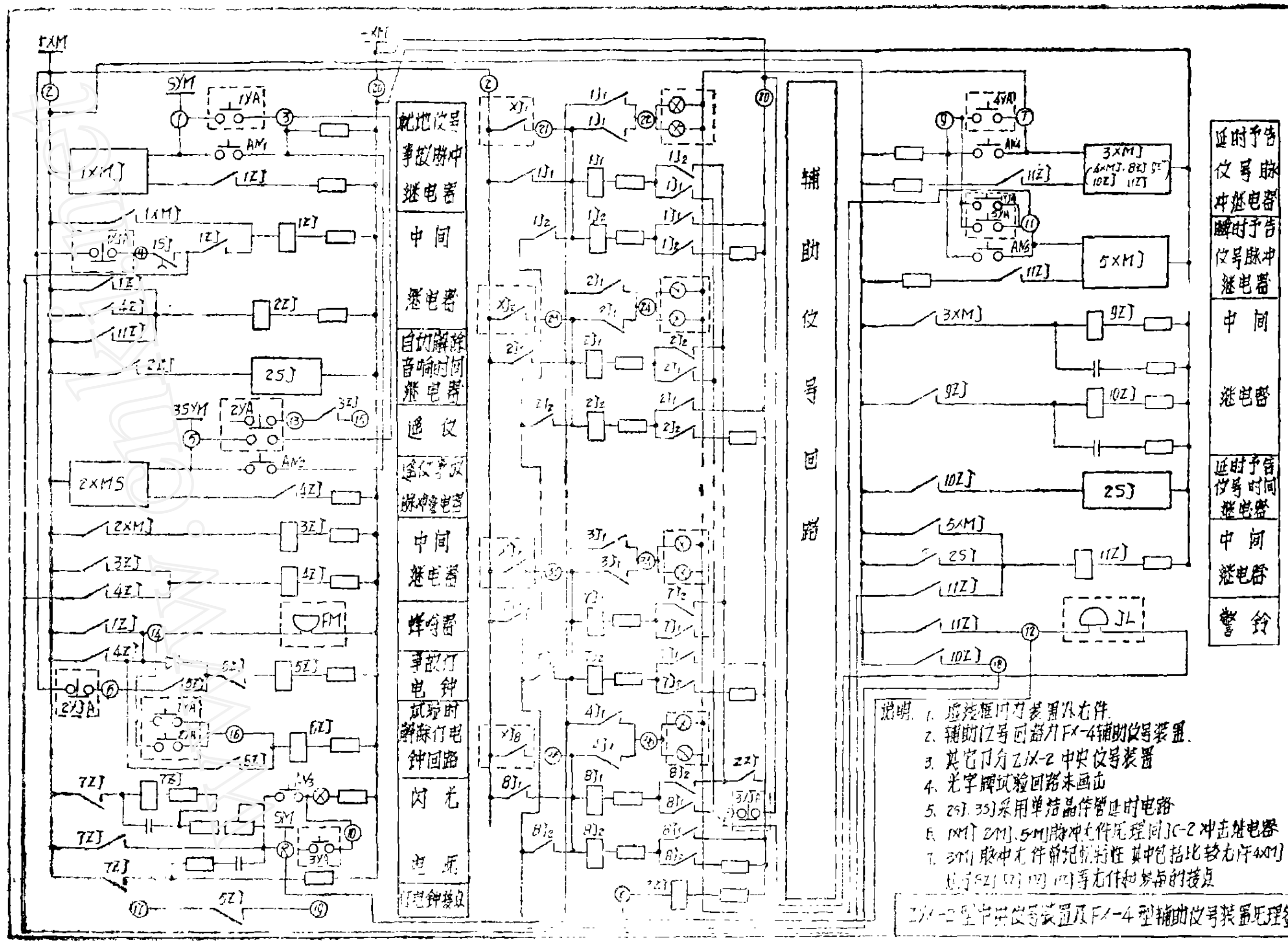
其中第一至第六部分安装在一个壳体内，第七部分另安装在一个壳体内。

ZYX—2型中央信号装置的所有元件安装在一个尺寸为224×124×318的外壳内，同一机芯可适用于一般嵌入式A33K和拼块嵌入式A33P，FX—4型辅助信号装置全部元件安装在一个尺寸为224×124×218的外壳内，同一机芯可适用于一般嵌入式A32K，拼块嵌入式A32P，凸出式前接线方式A32Q和凸出式后接线方式A32H。为了减少连接电缆，FX—3辅助信号装置建议安装在与被控制的光字牌同一个盘上，一

个$FX-4$型装置可与8个光字牌相配合，如容量不够可增加装置的数量。$FX-4$型装置也可以不用，当不用时则中央信号没有光字牌闪光功能以及存在延时过程中已报警信号返回而拒绝报警的缺点。$FX-4$型装置在内部有损坏等情况下均不会影响中央信号的常规报警，在该装置拔出检修时因有自动短路端子将J_1常闭接点的两端子接通，因而也不影响中央信号的常规报警。图19为$ZYX-2$型中央信号装置及$FX-4$型辅助信号装置的原理接线及系统接线图。

参 考 文 献

1. 电子静电式报警系统《天津大港电厂，天津大学电力及自动化系编，1976、12》
2. 新型冲击继电器$BC-4$介绍。《湖南水电设计院，湘潭市继电器厂，1979、8》
3. 运算微积分学和电路中的不稳定现象。《MN康托罗维奇著》



蜂鸣器
辅助信号回路
延时预告信号脉冲继电器
瞬时预告信号脉冲继电器
中间继电器
延时预告信号时间继电器
中间继电器
警铃
说明：1. 虚线框内为装置外元件.
2. 辅助信号回路为FX-4辅助信号装置.
3. 其它均为ZJX-2中央信号装置
4. 光字牌试验回路未画出
5. 2SJ、3SJ采用单结晶体管延时电路
6. 1XMJ、2XMJ、5XMJ脉冲元件原理同JC-2冲击继电器
7. 3XMJ脉冲元件有记忆特性 其中包括比较元件4XMJ
ZJX-2型中央信号装置及FX-4型辅助信号装置原理图

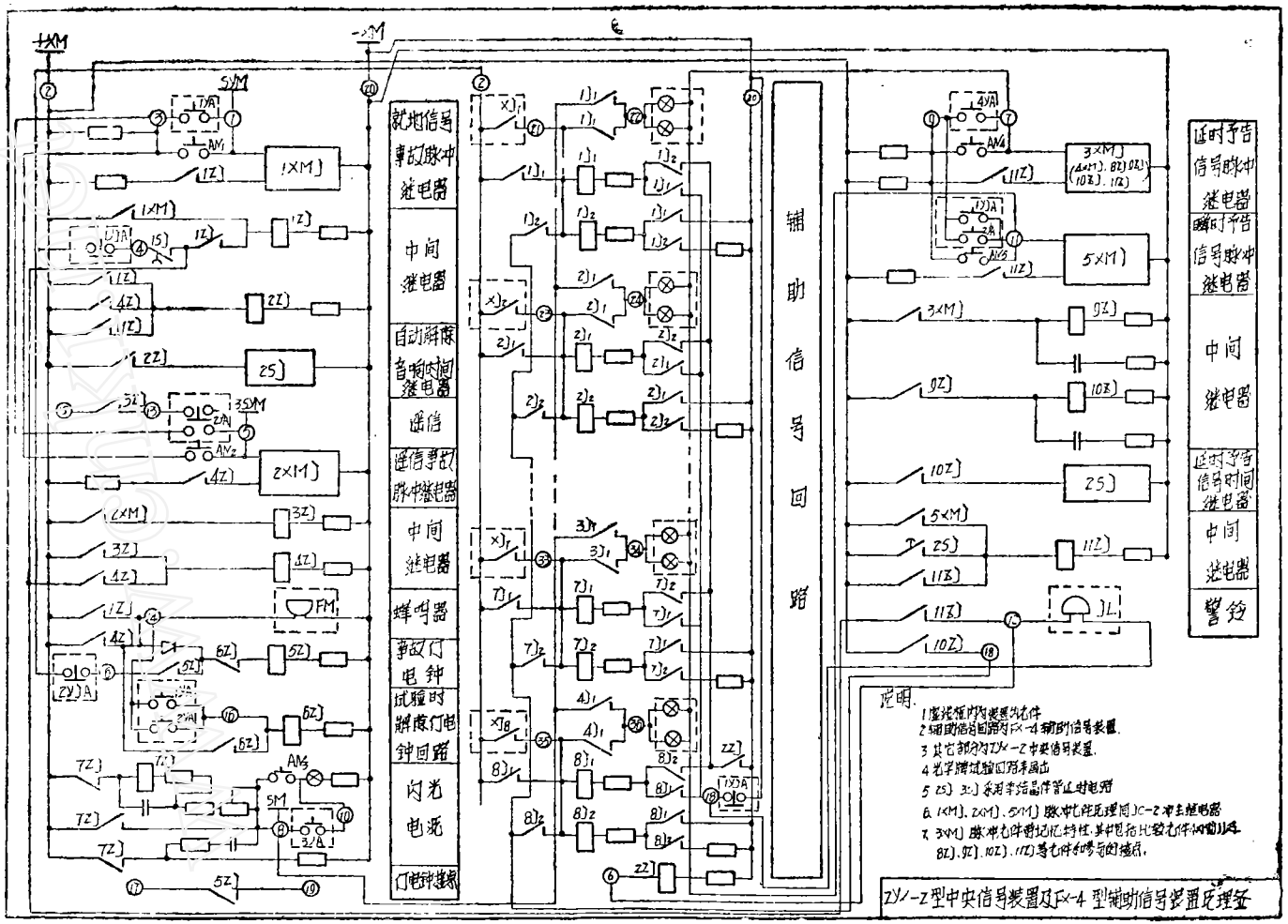


图19.b（适合于水电站典型接线等）