

串联补偿电容器的继电保护

(PRC—04型保护装置介绍)

广东省电力中心试验所 袁乃志

随着电力系统的发展,高压远距离输电线路不断增加,但往往由于静态或动态稳定条件的限制,使线路输送容量受到影响。采用串联电容来补偿线路电抗,是一种改善电压质量、提高稳定极限和送电能力的有效措施。近年来,我国已开始^在220千伏和330千伏线路上装设串联电容补偿装置,效果显著。但是串联电容器的继电保护装置,一直没有定型产品,是个空白点。目前已有不少单位正在研制光电传输保护设备,取得了很大进展,希望不久的将来研制成功。

我省某220千伏线路上加装了串联补偿电容器,该串补站于1978年四月投网运行,其继电保护装置系由芬兰电缆厂引进的成套设备,为了推广和使用串联电容补偿技术,根据厂家资料及我们实验体会,经过整理,将这套保护设备择要介绍以下几点,以供参考。

一、串补电容器继电保护的构成

PRC—04型配套保护设备,用来作为高压线路串联补偿电容器的继电保护装置,全部设备可分为三部分:

I、平台继电保护部分:包括PRC—04型继电器柜及测量变流器,这部分设备装于高压平台上,用来反应电容器的故障及不正常运行。

II、光电传递部分:采用STC—04型光电传递装置,与PRC—04型继电器柜配套使用,用来将平台继电保护的^{动作}传达到地面设备“讯号处理部分”。

III、讯号处理部分:讯号处理部分也就是PCL—04型控制柜,与STC—04光电传递装置及PRC—04继电器柜配套使用。

平台电容器,装有火花间隙、不平衡、平台故障、过电流、过负荷、线路断电等保护,以及反应平台电源故障的“信号故障”、“平台电源”两个保护信号。这些保护均装于平台上之继电器柜内,其动作状态在讯号处理部分反应出来。讯号处理部分的作用是将接受的讯号,经过判断,作出决定,向油开关发出投入或退除命令。它还能根据讯号的性质,决定经过多长时间去执行命令,向哪一相油开关发出操作命令。由于控制柜内采用集成电路,易于实现元件间的相互闭锁作用,效果较好。保护回路的构成见图1

讯号处理部分方块图。

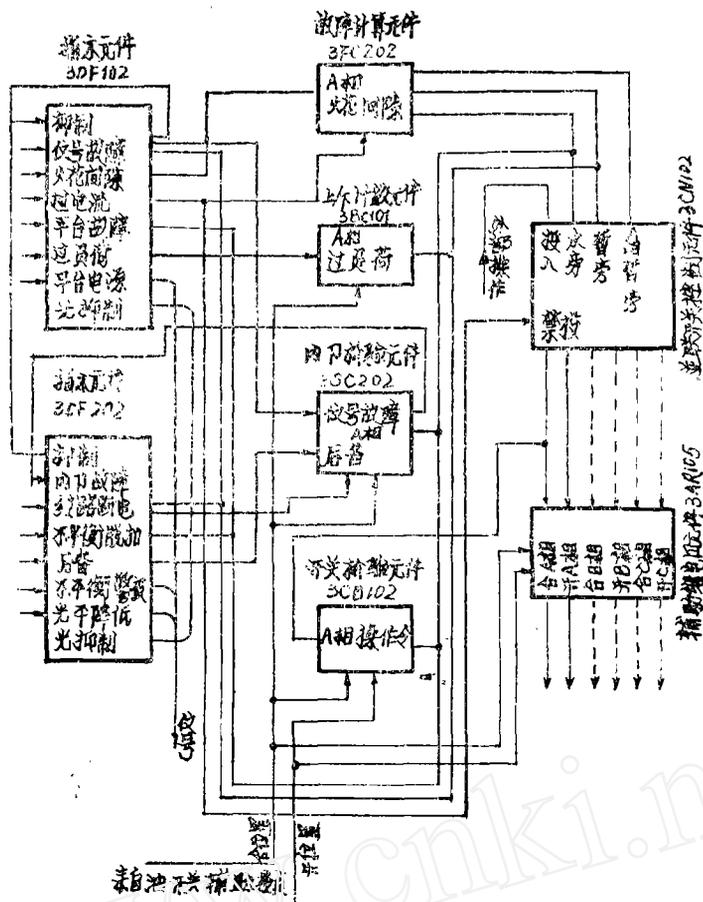


图1 讯号处理部分PCL—04方块图

讯号处理部分的输入讯号，首先进入光导管30I。此元件的输入与输出之间没有电气联系，采用光耦合方式，有11个光导管回路。（图上未画出）从光导管出来的讯号送指示元件3DF102及3DF202。指示元件的作用，是将输入的讯号经过延时后再送出去。3DF102有6个输入讯号回路，其中火花间隙、过电流、平台故障回路延时 5ms 动作，信号故障回路延时 3.5ms 动作，以实现当平台电源消失时，信号故障的信息总是先于其他讯号被送出去，并将指示元件的其他回路全部闭锁，以防其他保护误动作。“平台电源”的输出作用于信号，其延时为 11s 。指示元件3DF202的动作延时全部为 5ms 。“光平降低”也作用于信号。“光抑制”本身无输出信号，当任一保护动作时，均首先通过“光抑制”来闭锁“光平降低”，以免误发信号。

控制柜内各元件的输入电平与输出电平全部保持一致关系。指示元件输出的“信号故障”和“线路断电”并联，直接送至并联开关控制元件3CN102暂旁。所谓暂旁，即

当3 CN102之暂旁端子为0态时,则输出回路使三相油开关同时合闸;而当该端子再变为1态时,则三相油开关又自动断开(电容器自动投入)。指示元件的“平台故障”和“不平衡脱扣”,输出直接送至3 CN102永旁。所谓永旁,即3 CN102之永旁端子变为0态时,该元件输出回路使三相油开关同时旁路,而此端子再变为1态时,电容器不再自动投入。在此情况下,欲重投电容器,必须由外部操作,使3 CN102投入端子变0态。指示元件“过电流”输出至两个地方,一是闭锁故障计算元件,以防线路电流过大情况下火花间隙灭弧时电容器重投入;另一个是去3 CN102之禁投端子,以防其他保护动作时电容器重投入。

指示元件之“火花间隙”输出送至“故障计算元件3 FC202”,此元件有以下作用:
(1)正常运行时,输入为1态,输出也为1态,电容器处于投运状态;当某相火花间隙击穿时,输入为0态,则输出也为0态,使对应相电容器被旁路。当火花间隙电弧熄灭且输入信号变为1态时,本元件经过一定时间输出1态,使对应相电容器重投入。此重投时间从3 FC202输入端子变为1态瞬间算起,整定范围为 $400\text{ms}\sim 600\text{ms}$ 。
(2)如果单相旁路时间过长(例如由于某种原因系统保护不能按预先整定时间切除单相故障),则给出三相暂旁命令。此时限整定范围为 $0.5\text{s}\sim 1.5\text{s}$ 。
(3)计算火花间隙相继动作次数。当火花间隙相继击穿达三次时,则实现永旁,3 CN102发出永旁令。每次相继动作的时间间隔如大于预定值,则复归为重新计数,此时间整定范围为 $20\text{s}\sim 100\text{s}$ 。

指示元件的“过负荷”输出至上/下计数元件3 BC101,任一相过负荷都发出暂旁(三相)命令。3 BC101收到过负荷继电器动作信息后,延时发出暂旁命令。过负荷继电器1 TR302返回后(见后面),3 BC101再经半小时返回,即消除暂旁命令,电容器自动投入。

“后备”讯号在3 SC202内经过 450ms 延时输出至3 CN102永旁命令,由于后备保护往往与主保护同时动作,为了区分起见,经过此延时是必要的。后备回路的动作,受油开关辅助接点闭锁,主保护动作后,在 450ms 时间以内,如果油开关已合上,则此后备回路不能动作。

由于平台电源故障“信号故障”动作时,“线路断电”保护也动作,所以在控制柜内设计了此两种保护的互相闭锁回路。如果“信号故障”先于“线路断电”保护动作,则3 CN102只发永旁命令,不能同时再发暂旁命令。

并联开关控制元件3 CN102、辅助继电器元件3 AR105,是讯号处理部分的操作输出回路。“投入”和“永旁”端子还用于油开关的外部(手动)操作。

并联开关检验元件3 CB102用来监视油开关操作回路或机构的故障,当操作回路发出命令后,经 450ms 如果油开关位置与命令不一致,则3 CB102再发出永旁命令。

二、不平衡保护

图2为不平衡保护回路示意图, CT_1 为线路变流器, CT_2 为不平衡变流器, CT_3 、 CT_4 为辅助变流器, R_{FH1} 、 R_{FH2} 为负荷电阻。如果取消 CT_1 、 CT_3 构成的制动回路(继

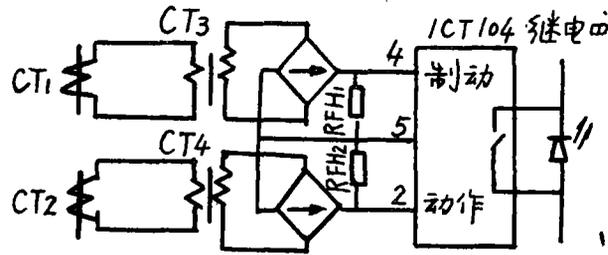


图2 不平衡保护示意图

电器内部也取消参考电压），则不平衡继电器的动作像一个普通的电流继电器，动作特性如图3曲线1所示。这种继电器构成的不平衡保护，整定值须考虑能躲开最大负荷时由于电容器组不对称而产生的不平衡电流以及外部故障电容器流过最大短路电流时产生的不平衡电流。由于后者数值较大，不平衡保护的灵敏度往往要降低，甚至在线路低负荷运行时，电容器的局部故障也不能动作。为了解决这个问题，将线路电流经全波整流后引入继电器（端子4）使继电器的动作值 I_{DZ} 随着线路电流 I_{XD} 成正比变化，其动作特性如图3曲线2所示。由于继电器具有制动特性，从而大大提高了不平衡保护的灵敏度。

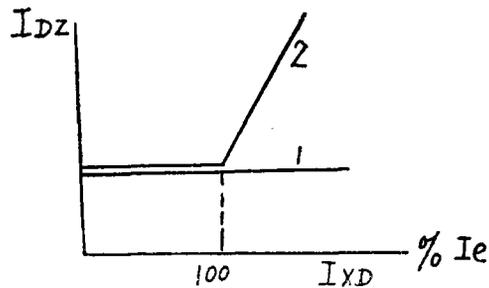


图3 不平衡继电器动作特性

I_{XD} ——线路电流
 I_{DZ} ——继电器动作电流

本保护之1CT104型不平衡继电器，正是具有这种制动特性。曲线的起始值、拐点及斜率均可调整。不平衡继电器动作后，其接点旁路发光二极管，通过光传递，向讯号处理部分输入0态电平，用来旁路电容器。

图4为1CT104型不平衡继电器的内部接线图。运算放大器 I_{C1} 的反相输入端与输出端联接，无放大作用，只起阻抗变换作用。 R_1 、 R_2 、 R_3 为放大器的输入电阻。 I_{C2} 为比较器，这里按其用途称峰值比较器。一般比较器的基本回路是差动放大器， I_{C2} 翻转与否由两个输入量比较决定。正相输入量大时，输出与输入同相；反相输入量大时，输出与输入反相。本继电器之 I_{C2} ，如正相输入量较大，输出为13V（1态）；反相输入量大，输出0V（0态）。图4上面部分，令 I_{C2} 输出端子1为1态时为正常状态，而此点电位为0态时为继电器动作。 Rt_3 滑动头的整定电压 U'_{ZD} 为参考电压，对继电器起制动作用。正常运行时，可认为继电器端子2无输入电压，端子4输入经全波整流的脉动电压，其大小随路线电流而变化，当线路电流达到电容器额定电流 I_c 时，其峰值为

$$U_{cF} = \sqrt{2} I_c \frac{R_{FH1}}{K_{CT3} K_{CT1}}$$

式中 K_{CT1} 、 K_{CT3} 分别为 CT_1 和 CT_3 的变流比；

I_c 为电容器额定电流。

一般参考电压整定为 $U'_{ZD} = U_{cF}$ 。

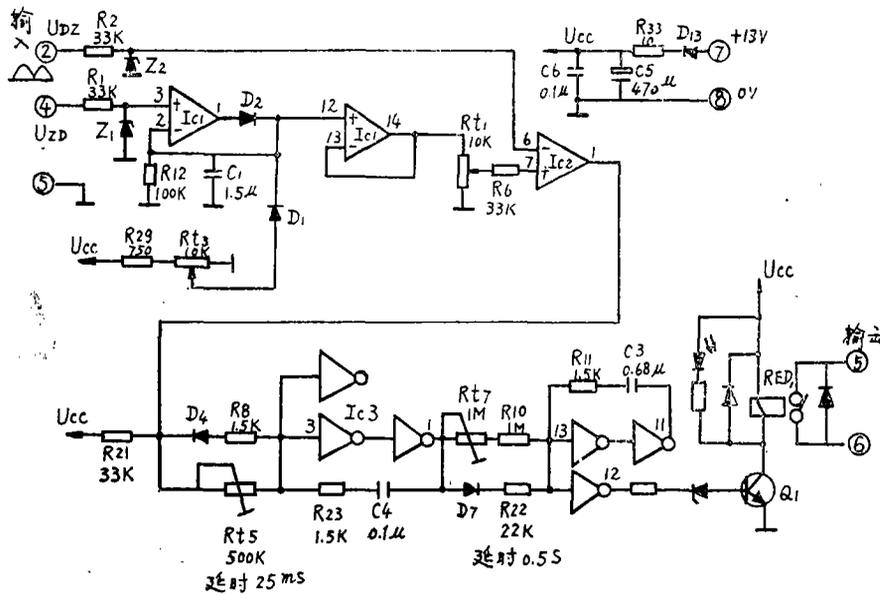


图4 1CT104不平衡继电器内部接线图

正常运行中, GT_3 向继电器输出的电压峰值总是低于参考电压 U'_{ZD} , 所以 D_2 截止, D_1 导通。设 Rt_1 滑动头置最大位置, 则 I_{C2} 正相输入端保持直流参考电压 U'_{ZD} 。如图5-(a)所示, $U_{XL} < U'_{ZD}$, U_{XL} 被 U_{ZD} 顶住不能送至 I_{C2} 。在这种情况下动作特性像一个普通的电流继电器, 只要端子2输入的电压大于 U'_{ZD} 即动作(图5-(a)之阴影部分)。动作条件为

$$I_{DZ} \geq \frac{U'_{ZD}}{\sqrt{2}} \cdot \frac{K_{CT4}}{R_{FH2}}$$

I_{DZ} ——继电器动作电流(电容器不平衡电流)。

I_{DZ} 是一常数, 如图3曲线2前段所示。

当线路电流大于额定负荷电流时, $U_{XL} > U'_{ZD}$, 如图5之b所示, D_2 间断导通, 端子2输入的电压峰值只大于 U'_{ZD} 还不能动作(图之b中虚线所示), 还必须大于 U_{XL} 才能动作(阴影部分)。由于 U_{XL} 随线路实际电流变化, 所以继电器动作电流为斜线, 临界动作条件为

$$U_{DZ} = U_{XD}$$

$$\text{即 } I_{DZ} R_{FH2} = I_{XL} R_{FH1}$$

曲线斜率

$$\text{tg } \theta = \frac{I_{DZ}}{I_{XL}} = \frac{R_{FH1}}{R_{FH2}}$$

调整负荷电阻 R_{FH1} 与 R_{FH2} 之比, 可得到不同的曲线斜率。

图4下面部分为继电器的延时输出回路。 D_4 、 R_8 、 Rt_5 、 R_{23} 、 C_4 构成继电器返回延时 25ms , D_7 、 R_{22} 、 R_{10} 、 Rt_7 、 R_{11} 、 C_3 构成动作延时 0.5s 。当 I_{C2} 输出1态时,

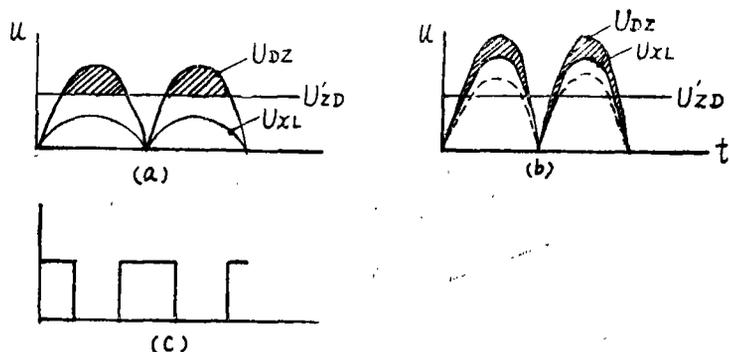


图5 峰值比较器 I_{C2} 输入及输出端波形图

U_{DZ} ——不平衡电流产生的电压

U'_{ZD} ——直流参考电压

U_{XL} ——线路电流产生的电压

D_2 受反向电压,经 $25ms$ 延时, $I_{C3}/_1$ 翻转为1态, D_7 受正向电压, $I_{C3}/_{12}$ 即时翻转为0态,三极管 θ_1 截止,中间继电器 RED_1 返回。当 I_{C2} 输出0态时, D_4 受正向电压, $I_{C3}/_1$ 即时变为0态, D_7 受反向电压, $I_{C3}/_{12}$ 经 $0.5s$ 翻转为1态, θ_1 导通, RED_1 动作,其接点将发光二极管旁路。

设置返回延时的必要性: I_{C2} 的翻转速度非常快,它反映于100周脉动波的瞬时值,如果没有延时电路,不平衡电流大于整定值时之 I_{C2} 输出波形如图5—(c)所示,中间继电器将以100周抖动,整套保护将来不及作用于油开关。加了返回延时后,中间继电器不致抖动,一动作就被固定下来。从图中可看出,此延时空半周波就够。

三、过负荷保护

过负荷保护由1TR302型过负荷继电器及3BC101型上/下计数元件构成。前者装于平台上,其作用为根据负荷电流的变化输出不同频率的脉冲;后者装于地面讯号处理部分(控制柜内),其作用是根据过负荷继电器输出的脉冲的频率,经过相应延时动作。

1. 1TR302型过负荷继电器。

1TR302型过负荷继电器的内部接线如图6所示,图上画出的设备,除变流器 CT_1 外,其他元件均在继电器插件内部。 I_{C1} 、 I_{C4} 、 I_{C7} 、 I_{C10} 为四运算放大器。 $I_{C1}/_7$ 的作用是输出动作电压 U_{DZ} ,一般整定为当线路额定电流时,调整电压转换电位器 Rt_1 ,使 $I_{C1}/_7$ 输出电压为5伏。 $I_{C1}/_8$ 的作用是输出恒定的制动电压 U_{ZB} ,此电压可用调整其反馈电阻 Rt_2 来满足为10伏。 $I_{C4}/_1$ 、 $I_{C4}/_7$ 、 $I_{C4}/_8$ 、 $I_{C4}/_{14}$ ……分别用来操作电子开关 I_{C2} 、 I_{C3} 及 I_{C6} 。(图虚线表示尚有未画出的相同回路)。 I_{C5} 为14级二进制行波计数器,本继电器采用从11级输出,计数2048。 I_{C11} 为振荡器,改变其外接电容、电阻可改

变振荡频率。OI₁为充偶波导管，当其二极管导通时，其三极管集—射极也导通。

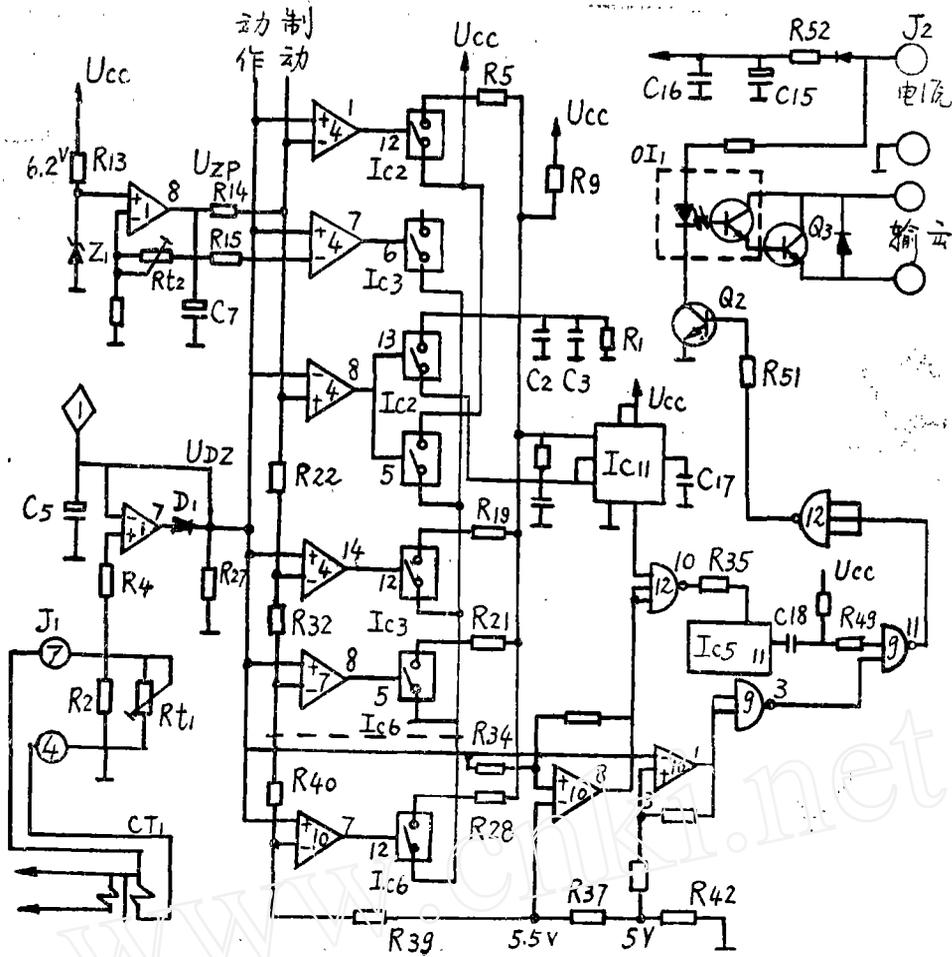


图6 过负荷继电器1TR302内部接线图

正常运行时， $U_{ZD} = 10$ 伏， $U_{DZ} < 5$ 伏，除 $I_{C4/8}$ 外各放大器 I_{C4} 、 I_{C7} 、 I_{C10} 输入端制动电压均大于动作电压，电子开关 $I_{C2/13}$ 和 $I_{C2/5}$ 闭合，其他电子开关均断开。由于 $I_{C10/8}$ 输出0态，门 I_{C12} 关闭，振荡器脉冲波不能输出。又由于 $I_{C10/1}$ 输出1态， $I_{C9/11}$ 关闭， θ_2 截止， θ_3 截止，“过负荷”光纤维的发光二极管通入延常电流，光纤维接受端的光导管保持着正常光强度。讯号处理部分输入端对应的过负荷讯号也为1态。

在制动电压线上， R_{14} 、 R_{22} 、 R_{32} 、 R_{40} 、 R_{39} 、 R_{37} 、 R_{42} 组成分压电路，放大器的制动电压分别从此分压器各点引出。从图6可看出， $I_{C10/8}$ 制动电压最低， $I_{C10/9}$ 次之，以此类推。所以当线路电流逐渐增加时， $I_{C10/1}$ 最先动作， $I_{C10/8}$ 制动电压为5伏，即 $1I$ 时翻转； $I_{C10/9}$ 制动电压为5.5伏， $1.11I$ 时动作。若 $I_{C10/1}$ 翻转，打开门 $I_{C9/11}$ ，计数器 I_{C5} 具有输出条件， θ_2 、 θ_3 导通，发光二极管被边路，“过负荷”光纤维无光线通过，继电器输出相当于图7之 a b 段。当线路电流达到 $1.11I$ 时， $I_{C1/7}$ 输

出为5.5伏电压,所以 $I_{C10}/8$ 翻转,打开门 $I_{C12}/10$,振荡器脉冲被送入 I_{C6} 。 I_{C6} 将振荡器频率减小2048倍后经门 $I_{C9}/11$ 送至 θ_2 , θ_2 的导通、截止随着此频率脉冲变化,发光二极管间断被旁路,相当于图7之**b—c**段。当线路电流增加至某一数值(例如 $I_{XL} \geq 1.13I_e$)时, $I_{10}/7$ 翻转, $I_{C6}/12$ 闭合,振荡器接入电阻 R_{28} ,振荡器频率变高,继电器输出频率也变高,相当于图7**c—d**段,若线路电流继续增加,相应的电子开关接通,继电器输出脉冲的频率正比的级进增大。当线路电流 $I_{XL} \geq 1.5I_e$ 时, $I_{C4}/8$ 翻转,振荡器频率到最大值,此后不再继续增加。

图7表示继电器输入电流与输出电压的关系,纵标的输出电压,也可视为光纤的光强度。

2. 3BC101上/下计数元件。

过负荷继电器的动作讯号,通过光电传输,送至控制柜的上/下计数元件3BC101。本元件的任务,就是根据输入脉冲频率的变化来选择自己的动作时间,发出开关操作命令,实现整套过负荷保护的电流—时间动作特性,此特性如图8所示。

图9为一相上/下计数元件内部接线图。实际设备为三套计数电路(每相一套)和一套共用的时钟脉冲发生器组成一个插件。每套计数回路可以从0至255计数,但仅在63到128范围使用。此元件以计数65为整定值,它本身动作与时间无关,但由于输入脉冲周期随线路电流变化,所以动作值与时间又有关。例如线路电流为 $1.5I_e$,输入3BC101脉冲周期为 9.2^s ,则动作时间为 $65 \times 9.2 \div 10$ 分钟。时钟脉冲由一个无稳态多谐振荡器和一个14级二进制计数器 I_{C12} 产生,用来实现向下计数,其脉冲周期是 28^s ,因此整套向下计数时间从128到63约30分钟。

现以A相电路为例(B、C相同),说明3BC101的动作过程。

正常运行状态。端子20输入1态;油开关在断开位置,端子18也输入1态。 $I_{C17}/8$ 输出0态,使计数器 $I_{C16}/10$ 和 $I_{C14}/10$ 输入0态, I_{C16} 和 I_{C14} 组成的计数器电路处于向下计数状态。所谓向下计数状态,即有输入脉冲时,计数向下退数。计数必定停止在

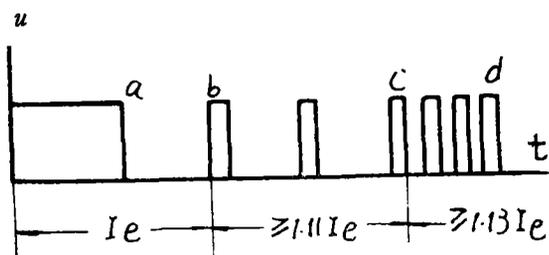


图7 1TR302型过负荷继电器输出波形示意图

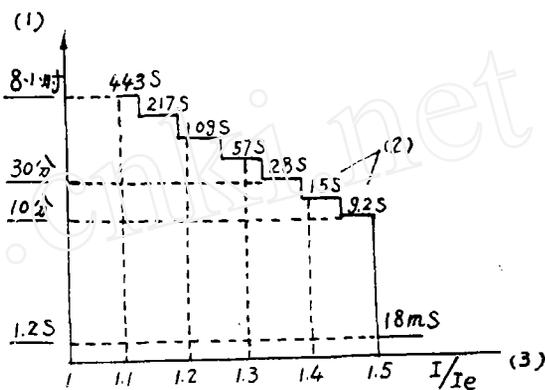


图8 过负荷保护动作特性

- (1) 过负荷保护整组动作时间
- (2) 1TR302过负荷继电器输出脉冲周期
- (3) 一次侧电流倍数

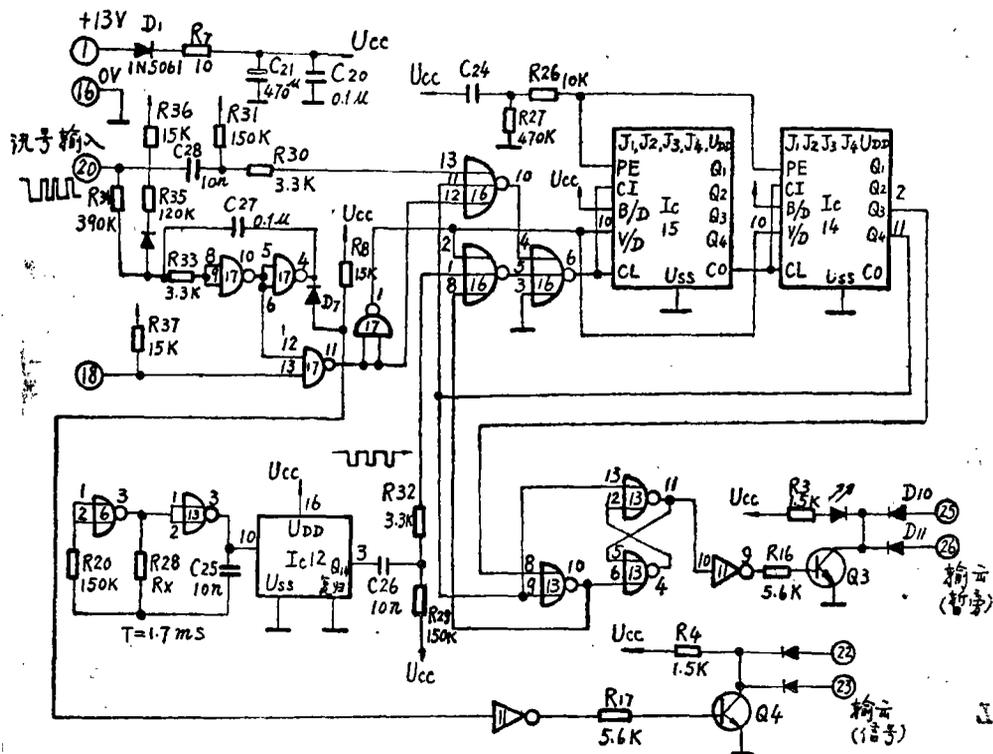


图9 3 BC101上/下计数元件内部接线图

$I_{C14}/11$ 位置。因为如果计数停止在 $I_{C14}/2$ 位置, 则 I_{C14} 输出 1 态, $I_{C13}/10$ 输出 0 态, $I_{C16}/2 \cdot 8$ 及 $I_{C16}/4 \cdot 3$ 均为 0 态, 时钟脉冲顺利通过 $I_{C16}/2$ 和 $I_{C16}/8$ 进入 I_{C15} , 使计数器继续向下计数, 数够 65 个波后, 使 $I_{C15}/10$ 输出变 1 态, 使 I_{C16} 被封死, 时钟脉冲停止通过。同时 I_{C14} 输出使 $I_{C13}/11$ 和 $I_{C13}/4$ 组成的触发器置 1, θ_3 截止, 电容器投运。

当线路过负荷时, 端子 20 输入为脉冲波, 第一个脉冲用来改变计数器的状态, 即使 $I_{C15}/10$ 变成 1 态, 为向上计数状态, 此后从端子 20 输入的讯号脉冲顺利通过 $I_{C16}/10$ 及 $I_{C16}/8$ 进入计数器, 计数器开始从 63 向上计数, 当计到 128 时, $I_{C16}/10$ 关闭, 停止向上计数, θ_3 导通, 电容器暂旁。同时 $I_{C13}/10$ 打开门 $I_{C16}/8$, 给向下计数准备了条件。油开关合上后 (或电容器不过负荷了), 计数器又处在向下计数状态, 经 65 个时钟脉冲 (30 分钟), 又停留在 63 上, 同时电容器又自动投入, 如果投入后仍在过负荷, 则又重复上述动作。