

集成电路式通用型反时限保护

能源部南京自动化研究所 杨仪松 合肥工业大学 姚晴林
南京电力自动化设备厂 艾德胜

摘要: 本文论述一种集成电路式通用型反时限保护装置。本装置可用于发电机、电动机、变压器及线路保护。与传统的反时限保护相比,本装置有如下主要创新之处。

[1] 本装置的通用部分可以应用于各种反时限保护:诸如可应用于反时限过电流保护、反时限负序电流保护、反时限过电压保护以及反时限转子过电流保护等一切反时限保护中。通用性强是本装置的主要特点及优点之一,这对继电保护制造厂家及电力用户非常方便。

[2] 本装置的反时限回路不采用传统的“平方——积分器”式的反时限元件回路,而是采用“平方器——压频变换器——计数器”式的反时限元件回路,用计数器的加计数来模拟发电机的热积累过程,用计数器的减计数来模拟发电机的散热过程,而且还可以根据发电机的环境条件来选择散热系数。这和以往采用大电容充放电来模拟发热散热的的方法有很大的不同。本装置的反时限元件回路的精度高、可靠性强是本装置的另一特点及优点。

此外,本装置还采用了双重允通型回路,使保护的可靠性进一步提高;保护的延时回路摒弃了电容充放电式的延时方法,而采用计数器计数脉冲的方法来实现延时,从而提高了延时的精度。

本装置已通过鉴定,已批量生产,并已正式投入发电厂运行。

随着现代技术的发展,发电机的单机容量越来越大,但是其体积并不是随容量成正比地增加,这使得发电机的定子和转子的材料利用率提高,从而使发电机的热容量与铜损、铁损之比显著下降,因此其热时间常数也较小。为了防止发电机受到过流的侵害,大型同步发电机都要装设反映定子绕组和励磁绕组的平均发热状况的过流保护装置。

统扩展和完善,显示直观、操作方便,通过模拟试验控制功能和调节特性得到了验证,并可进一步提高和完善,从而把微机用于HVDC的控制,向工程实用方向推进了一步。

研制结果证实了8031单片机构成单极6脉冲换流器的阀组控制是可行的,考虑今后发展为双极更复杂系统,控制系统要划分为主控制、极控制和阀组控制三级分层控制,必需用并行高速,多微机系统来构成,直流输电控制系统研制将面临更多、更复杂的问题,我们做的研制工作、范围还很有有限,不足之处,请批评指正。

电力系统中发生不对称短路或三相负载不对称时，发电机定子绕组中就有负序电流。这个电流在发电机气隙中产生相对于转子两倍同步转速的反向旋转磁场，因此在转子部件中出现倍频电流，该电流使得转子上电流密度很大的某些部位局部烧伤，严重时可使护环受热松脱，给发电机造成很大的损坏。而且，负序气隙的旋转磁场与转子电流之间和正序气隙旋转磁场与定子负序电流之间所产生的倍频交变电磁力矩，将作用在转子大轴和定子机座上，引起倍频振动。因此发电机要装设反映负序电流的过热保护装置。

对配电线路以及电动机来说，超载或电动机堵转等因素都会引起电流的突然增加。为了防止配电线路及电动机受到过流的损坏，也要装设过电流保护装置。

为了充分发挥被保护元件的效率，而又不致于受到长时间的电流侵害引起的过热使元件损坏，以往的定时限保护已远不能满足实际的需要，这种定时限保护要么是过早地切除被保护元件，要么就使元件早已损坏方才动作。因此必须装设具有反时限特性的过电流保护装置。

反时限过电流保护装置具有反时限的电流特性。在这种特性下，故障的电流越大，跳闸的时间越短。

另外，对于各种原因引起的过电压，也不能沿用传统的定时限保护，取而代之的是具有反时限特性的过电压保护装置。

总结上面各种因素，我们找到一种通用的反时限特性的继电器，这就是本文的中心内容。

这种反时限特性我们用下面的式子来表达，即：

$$T = \frac{K}{X^2 - a}$$

式中的K值有很宽的范围，一般在4~60之间。X是通用量。对于负序反时限来说 $X = I_2$ ；对于过电流反时限来说 $X = I_*$ ；对于过电压反时限来说 $X = U_*$ 。a是一常数。对于负序及时限来说 $a = I_{20}^2$ ；对于过电流反时限来说 $a = 1$ ；而且a值还可以为0。式(1)所示的反时限特性见图1。

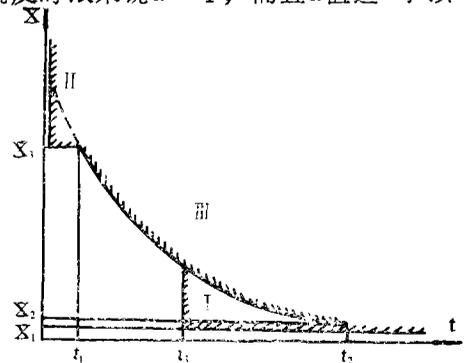
从图1可以看出，当检测输入量到达整定值 X_1 时，延时七秒发报警信号；当到达整定值 X_2 时，便启动反时限部分，以反时限特性跳闸；当到达整定值 X_3 时，保护便以无延时跳闸，迅速切除故障。

本文研制的反时限保护装置共分两大部分：

转换部分和通用部分。

一 转换部分

这一部分就是把各种形式的输入量经过一定变换之后，变成一个标准通用的值，以



I 区域：信号报警动作区〔整定值 X_1 〕

II 区域：速断跳闸区〔整定值 X_2 〕

III 区域：反时限跳闸区〔整定值 X_3 〕

图1 反时限动作区域及特性

便和通用部分的连接。下面我们以前序电流输入量、电流输入量、电压输入量以及直流电流输入量为例来说明这一部分的原理。

1. 负序电流输入量

图 2 示出了负序电流输入量转换部分框图。设电流电压转换系数为 K_{zA} ，整流滤波的衰减系数为 K_{1z} ，放大器的放大倍数为 K_{fd} 。则：

$$\begin{aligned} \dot{U}_a &= K_{zA} \cdot \dot{I}_A \\ \dot{U}_b &= K_{zA} \cdot \dot{I}_B \end{aligned} \quad (2)$$

$$\dot{U}_c = K_{zA} \cdot \dot{I}_C$$

经过负序滤波器（移相及求和两环节）之后，对于正序和零序输入量来说，其输出皆为零，只有负序量输入时，才有一个成比例的电压值。

正序电流输入时

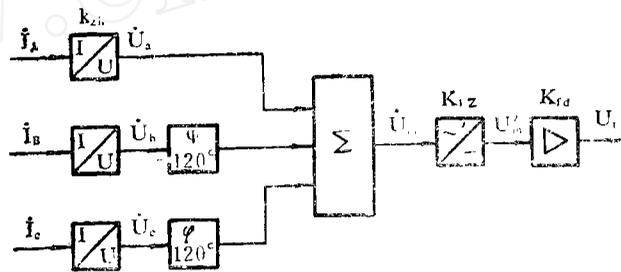
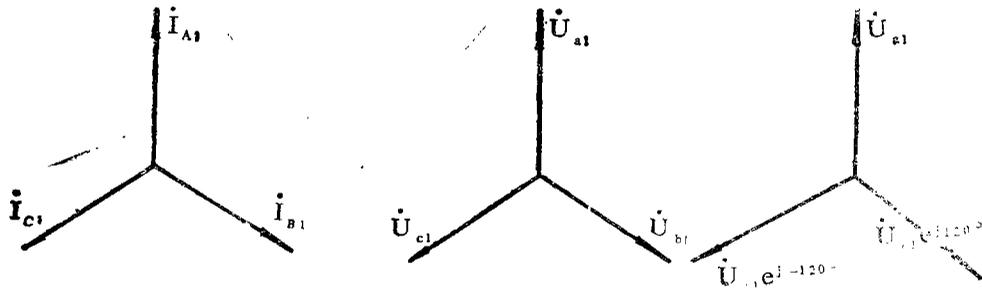
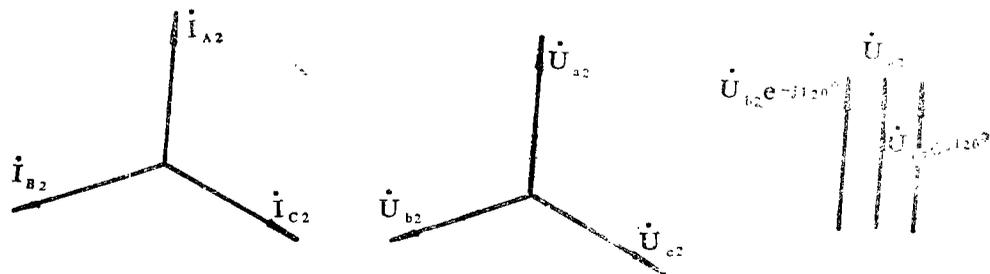


图 2 负序电流输入量转换部分框图



$$\dot{U}_{A1} = \dot{U}_{a1} + \dot{U}_{b1} e^{-j120^\circ} + \dot{U}_{c1} e^{j120^\circ} = 0$$

负序电流输入时



$$\dot{U}_{A2} = \dot{U}_{a2} + \dot{U}_{b2} e^{-j120^\circ} + \dot{U}_{c2} e^{j120^\circ} = 3 \dot{U}_{a2}$$

零序电流输入时

$$\dot{U}_{A0} = \dot{U}_{a0} + \dot{U}_{b0} e^{-j120^\circ} + \dot{U}_{c0} e^{j120^\circ} = 0$$

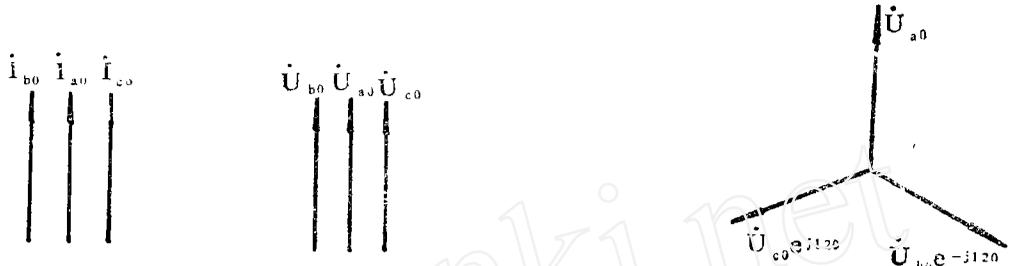


图3 负序滤波器的向量分析图

$$\dot{U}_m = 3 \dot{U}_{\beta 2} = 3 K_{Zk} \cdot \dot{I}_{A2} \quad (3)$$

经过整流滤波之后, 得到电压 U'_m :

$$U'_m = K_{Iz} \cdot U_m = 3 K_{Zk} \cdot K_{Iz} \cdot I_2 \quad (4)$$

为了使后面的电压具有通用性, 特设置一放大环节。

$$U_i = -K_{Iz} \cdot U'_m$$

把式(4)代入上式得:

$$U_i = -3 K_{Zk} \cdot K_{Iz} \cdot K_{Iz} \cdot I_2 \quad (5)$$

令 $3 K_{Zk} \cdot K_{Iz} \cdot K_{Iz} = 1$, 即:

$$K_{Iz} = \frac{1}{3 K_{Zk} \cdot K_{Iz}} \quad (6)$$

那么式(5)变成了:

$$U_i = -I_2 \quad (7)$$

这就是说, 当负序电流输入时, 经过这个转换部分之后, 输出电压的伏特值就等于负序电流的安培值。

2. 电流输入量

三相电流输入经过电流电压变换之后, 进行整流滤波, 进入最大值选择回路。设置此环节是为了能够反映三相不对称过电流的情况, 把最大一相的电流作为本装置的动作依据。另外为了适应各种不同的额定值发电机的需要, 特设一个额定值调节环节。

见图4所示。

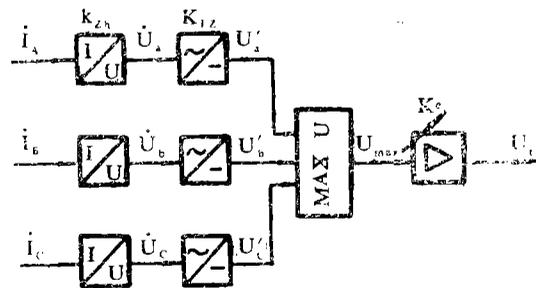


图4 电流输入量转换部分框图

$$\begin{aligned} U'_a &= K_{Zk} \cdot K_{Lz} \cdot I_A \\ U'_b &= K_{Zk} \cdot K_{Lz} \cdot I_B \\ U'_c &= K_{Zk} \cdot K_{Lz} \cdot I_C \end{aligned} \quad (8)$$

最大值选择之后的电压为:

$$\begin{aligned} U_{max} &= \text{MAX} [U'_a, U'_b, U'_c] \\ &= K_{Zk} \cdot K_{Lz} \cdot \text{MAX} [I_A, I_B, I_C] \\ &= K_{Zk} \cdot K_{Lz} \cdot I \end{aligned} \quad (9)$$

其中I是有效值 I_A, I_B, I_C 三相电流中最大者。

经过额定值调节之后的电压:

$$\begin{aligned} U_i &= -K_e \cdot U_{rmax} \\ &= -K_{zh} \cdot K_{LZ} \cdot K_e \cdot I \\ &= -K_{zh} \cdot K_{LZ} \cdot K_e \cdot I_e \cdot \frac{1}{I_e} \end{aligned} \quad (10)$$

令 $K_e \cdot I_e = \frac{1}{K_{zh} \cdot K_{LZ}}$, 则式(10)变成:

$$U_i = -I_e$$

此式说明, 无论输入的电流是多少, 转换部分的输出电压的伏值总是导于输入电流的标么值, 即当输入电流为额定电流时, 输出电压的伏值总是 1 伏。

3. 电压输入量

这一部分的转换原理同电流输入量一样。所不同的是电流电压变换环节变成电压变换环节, 而且额定值调节回路也就是额定电压调节回路。结果输出的电压为:

$$U_i = -U_e$$

4. 直流电流输入量

直流电流输入量在进入保护装置之前必须经分流装置或直流互感器设备, 见图 5 虚线框内。

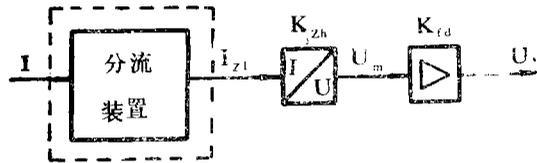


图 5 直流输入量转换部分框图

$$U_m = K_{zh} \cdot I_{zl} \quad (13)$$

$$\begin{aligned} U_i &= -K_{fd} \cdot U_m \\ &= -K_{zh} \cdot K_{fd} \cdot I_{zl} \end{aligned} \quad (14)$$

令式(14)中 $K_{fd} = \frac{1}{K_{zh}}$, 则式(14)变成

$$U_i = -I_{zl} \quad (15)$$

综上所述, 对于负序电流和直流电流输入量来说, 其输出电压 U_i 的伏值等于输入电流的安培值, 输出电压为负值。而对于其他任何输入量来说, 其输出电压 U_i 的伏值都等于输入量的标么值, 输出电压也为负。

二 通用部分

反时限通用部分包含四个回路: 信号报警回路、允通回路、速断回路及反时限实现回路。

1. 信号报警回路

由转换部分来的输入信号 $U_i = -X$ (X代表上面所讨论的输入量中任何一量) 经过报警信号的整定值调节环节进入比较器回路。如果输入信号超过其整定值, 比较器的输出电平信号 K_2 就启动延时回路, 经过一个可整定的延时时间之后, 而且与门条件满足, 使 J_1 继电器动作, 发报警信号。延时的时间回路采用计数器计脉冲数来完成的, 它是由一个石英晶体振荡器经脉冲整形之后变成一个固定频率的方波脉冲, 这作为计数器

的时钟脉冲输入，当计数到一定的脉冲总数时，发电平信号给触发回路。

2. 允通回路

这一回路是具有独立的整定值和比较器环节，其整定值一般都与信号报警回路的整定值 X_1 （见图1）一样。其比较器的输出 K_1 与 K_2 构成或门，或门的输出 K 作为报警信号、速断及反时限的实现回路的允通电平信号之用。这里采用 K_1 与 K_2 构成或门的目的是为了防正由于允通回路的损坏而造成保护拒动的现象发生，因为允通回路和报警信号的比较回路同时损坏的概率很小，不予考虑。这样使装置的可靠性大大提高了。

3. 速断回路

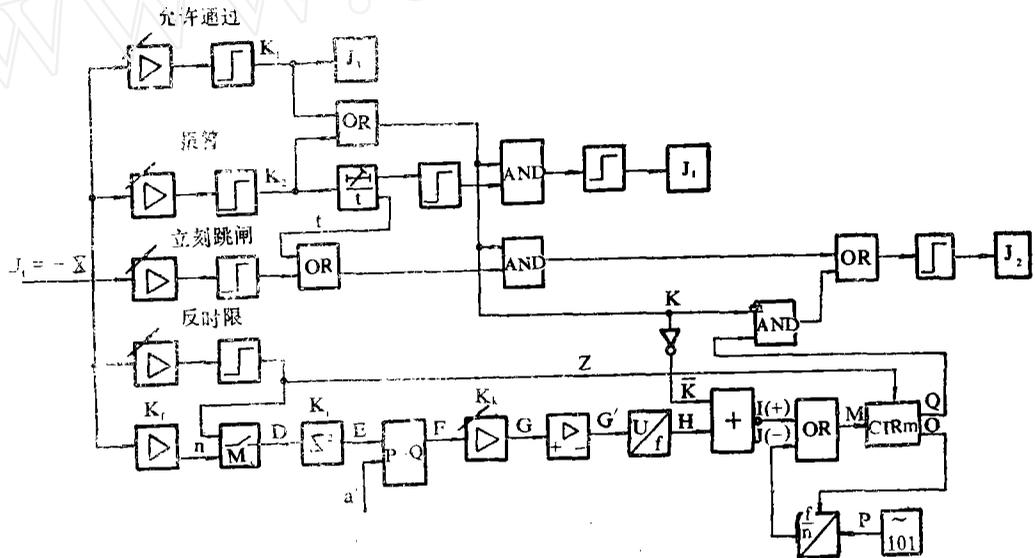


图6 反时限通用部分框图

对于过大的输入信号，如果还依据于反时限区域来动作，显然不能保护被保护的设各。因此，本装置设立了大输入信号的无延时跳闸回路。信号报警的长延时信号与速断的比较器输出信号构成或门。长延时跳闸时间具有多个可选择的等级。这对于过电流反时限来说，依据其反时限的整定值 X_2 来定：例如反时限的整定值 X_2 取 $1.05I_n$ ，那么由反时限公式（1）计算得到的时间389秒（在 $X = I_n = 1.05$ ， $a = 1$ ， $K = 40$ ），那么选取长延时时间为400秒；如果 X_2 取 $1.1I_n$ ，那么在上面条件下计算得到的时间是190.5秒（此时 $X = I_n = 1.1$ ）那么长延时时间就取200秒，而对于负序反时限来说，长延时时间一般取1000秒。为了防止速断回路及报警长延时回路的误动作，用允通回路的或门输出信号 K 作为它们出口回路的允许讯号。

4. 反时限实现回路

这一回路采用“模拟乘法器—压频变换器—计数器”式的实现方法，比以往采用的“平方—积分器”式的方法更精确，更易于调节，而且可靠性也大大提高了。尤其是用计数器的加减脉冲来模拟发电机的热积累过程和散热过程的方法是新颖而独特的。

反时限实现回路的比较环节的输出电平不仅作为模拟开关的控制电平，而且还用来控制计数器的加减控制端。当输入信号超过其整定值 X_2 时，比较器输出高电平信号使

模拟开关导通，允许转换部分来的信号进入乘法器环节。否则，模拟开关断开，反时限回路关闭。

转换部分来的电压 $U_1 = -X$ ，经过一个定值放大环节才进入模拟开关的输入端。设置这一环节的目的在于提高当 U_1 值很小时保护的精度。

假定定值放大环节的放大系数为 K_1 ，当输入信号超过反时限整定值 X_2 时，模拟开关导通，则有：

$$\begin{aligned} U_D = U_2 &= -K_1 \cdot U_1 \\ &= -K_1(-X) = K_1 \cdot X \end{aligned} \quad (16)$$

其中 X 可以是 I_0 ， I_{Z1} ， U_0 ， I_2 等。

经过平方器平方之后，设其比例系数为 K_2 ，则得到：

$$U_H = K_2 \cdot U_D^2$$

代入式(16)之后，变成：

$$U_H = K_2^2 \cdot K_1^2 \cdot X^2 \quad (17)$$

减法器环节是为了修正曲线上下移动位置，设减法器的放大系数为1，则得到：

$$\begin{aligned} U_Y &= -(U_H - a') \\ &= -(K_2^2 \cdot K_1^2 \cdot X^2 - a') \end{aligned} \quad (18)$$

令式(18)中的 $a' = K_2^2 \cdot K_1^2 \cdot a$ ，则式(18)变成：

$$U_Y = -K_2^2 \cdot K_1^2 \cdot (X^2 - a) \quad (19)$$

对于 K 值具有宽域的可调节性，因此设立了 K 值整定环节，设其放大系数为 K_3 ，则得：

$$\begin{aligned} U_G &= -K_3 \cdot U_Y \\ &= K_3^2 \cdot K_1^2 \cdot K_2^2 \cdot (X^2 - a) \end{aligned} \quad (20)$$

由于本装置采用专门的集成压频变换器，它要求输入电压为负值，因此设立一个反相环节。设反相比例系数为1，则有：

$$\begin{aligned} U_G' &= -U_G \\ &= -K_3^2 \cdot K_1^2 \cdot K_2^2 \cdot (X^2 - a) \end{aligned} \quad (21)$$

压频变换器的输出频率与输入电压成正比，而且它具有快速跟踪反应能力，即时输入电压有一个小小的间隔，输出的频率也能立即反映出来。可以调节压频变换器的比例系数，使得输入电压为-1伏时，输出频率为1kHz。即有：

$$\begin{aligned} f &= -10^3 U_G' \\ &= 10^3 \cdot K_3^2 \cdot K_1^2 \cdot K_2^2 \cdot (X^2 - a) \end{aligned} \quad (22)$$

f 的单位是赫兹， U_G' 的单位是伏特。

压频变换器输出的是一串与 $(X^2 - a)$ 成正比的频率脉冲链信号。这个频率信号 H 与允通回路的或门输出 K 的反相 \overline{K} 构成允许环节。即 $I = \overline{\overline{K}} + H$ ，只有当允通回路动作之后， K 为高电平信号， \overline{K} 为低电平，则 $I = \overline{H}$ ， H 是一串频率脉冲，尽管反相，但其频率不变。这个频率才允许进入计数器环节。否则， K 为低电平， \overline{K} 为高电平，那

么 $I = 0$ 为低电平，无频率进入计数器。这样做的目的是为了防止由于反时限的误动，而使频率信号进入计数器，使计数器计数，造成发电机的“假发热”现象，很可能使保护装置过早地切除了发电机。

石英晶体振荡器经过脉冲整形之后，再进行分频，分频后的频率作为模拟发电机的散热而进行减法计数的频率脉冲信号。这个频率可以选择，视具体的发电机冷却方式、装设环境，散热系统而定。

在正常状态时，允通回路及报警信号回路都未动作，其或门出口输出电平 $K = 0$ ，闭锁了信号报警和速断的出口回路。反时限实现回路也未动作，压频变换器的输出 H 为高电平信号，无任何频率输出。进入计数器的 $I = \overline{K} + H = 0$ 。计数器不会进行加计数。同时计数器的检零回路输出高电平信号，锁住了分频器，使之也无频率输出，即 $J = 0$ 。计数器也不会进行减计数。整个电路处于正常状态。

当允通回路及信号报警动作时，反时限实现回路也动作时， K 为高电平信号， H 为频率脉冲， $I = \overline{K} + H = \overline{H}$ ， I 仍是与 H 相同频率的脉冲。计数器的检零回路把分频器锁住，使 J 为低电平信号，无频率输出。 $M = I + J$ ，这样压频变换器来的频率脉冲进入计数器，计数器就对这个频率脉冲进行加计数，当计数到一定的脉冲总数 N 时， Q 输出高电平信号，而此时 K 又为高电平，与门条件满足，启动出口继电器 J_2 。

在上述的条件下，计数器若未计到脉冲总数 N 时，反时限实现回路比较环节返回（输入信号低于整定值 X_2 ），这时压频变换器无频率输出， H 为高电平信号。 I 则为低电平信号。此时，由于计数器内有数字存在，检零回路发低电平信号给分频器，则 J 输出一个经过选择的频率脉冲信号。计数器将对此频率进行减法计数，一直减到零为止。如果计数器并未减到零时，输入信号又超过整定值 X_2 ，那么计数器将在原来的基础上累积加计数，此时分频器无频率信号输出。

当计数器计满到规定的总数 N 时，所需要的时间 T 为：

$$T = \frac{N}{f} \quad (23)$$

此式表明，频率越大，达到脉冲总数的时间就越短，而频率是和输入信号一致性增加或减少的。把式 (22) 代入式 (23) 之中得：

$$T = \frac{N}{10^3 \cdot K_f \cdot K_i \cdot K_t \cdot (X^2 - a)} \quad (24)$$

令式中的 $N = 10^3 \cdot K_f \cdot K_i \cdot K_t \cdot K$ ，那么式 (24) 变成：

$$T = \frac{K}{X^2 - a} \quad (25)$$

很显然式 (25) 与我们前面建模时的式 (1) 完全一样。这就是说，本通用部分中的反时限实现回路完全能够精确地做出式 (1) 的曲线特性。