

⑮ 相继暂态过程中故障迭加分量的提取方法

87-92

A NEW METHOD OF EXTRACTING FAULT SUPERPOSED COMPONENTS FROM CONSEQUENT TRANSIENT PROCESS

熊小伏

Xiong Xiaofu

叶一麟

Ye Yilin

(重庆大学电气工程系)

TM771

摘要 根据故障信号的特征,提出了准确获取故障迭加分量的方法,可克服反应故障分量快速保护在第二暂态中必须闭锁而导致不能反应相继故障的缺陷。数字仿真验证了前述问题的存在及所提解决方法的正确性。

关键词 暂态过程;故障分量;快速保护;微机应用;数字仿真

中国图书资料分类法分类号 TM771

继电保护

ABSTRACT This paper propose a new method of getting fault superposed components, with which the high speed relays can act correctly in the consequent transient process. Digital simulations have proved the existent problem with the normal method and the correctness of the new proposed method.

KEY WORDS transient process/fault component; high speed protection; micro-computer application; digital simulation

0 前言

数字技术及计算机技术的发展,已使计算机保护成为电力系统继电保护的发展趋势,也为实现原理复杂、功能完善的保护提供了可能。采用故障迭加分量构成的保护例如行波保护、超高速方向保护^[1-3]具有很优越的性能,这些保护在电力系统中发生第一次故障或某种冲击情况下具有明确的动作行为,但是若相继出现第二次或更多次故障冲击,则可能出现不正确动作,其原因在于按常规方法相继暂态过程中提取的故障迭加分量可能不真实。因此目前这些保护在第一次起动后必须待系统恢复到新的稳态后才能重新开放。这对于相继出现的第二次故障,例如区外转区内故障,就会失去保护能力,这成了这些保护的一大缺陷。要克服这一缺陷,关键在于第二暂态情况下故障迭加分量的正确提取。本文分析了按常规方法第二暂态中故障迭加分量不真实的原因,从理论上提出了正确求取其故障迭加分量的方法。

* 收文日期 1991-06-17

教委博士点基金资助课题

1 求取故障迭加分量常规方法的问题

众所周知,电力系统故障后故障信号中除基波分量外还含有衰减非周期分量和其它谐波分量,通常用下式表示

$$f(t) = Ae^{-\alpha t} + A_1 \sin(\omega_1 t + \varphi_1) + \sum_{i=2}^N A_i \sin(\omega_i t + \varphi_i) \quad (1)$$

事实上,若考虑同步机的暂态过程,基波分量也有一从暂态衰减到稳态的过程,但其衰减时间常数很大 ω_1 ,当电网故障时在一个周波内可近似认为不衰减;信号中的谐波分量也是衰减的,谐波分量经过低通滤波器后会被削掉一部分,所余谐波分量在一个周波内也可近似认为不衰减,因此上式又可重新写为:

$$f(t) = f_s(t) + f_p(t) \quad (2)$$

即故障信号中包含有非周期分量和周期分量,当不含分数次谐波时,周期分量的周期可依工频周期 $T = 2\pi/\omega_1$ 而定。

常规的提取故障迭加分量的方法为

$$D(t) = f(t) - f(t - T) \quad (3)$$

上式也可用图1网络表示, $D(t)$ 与故障迭加分量, $f(t)$ 为输入信号。

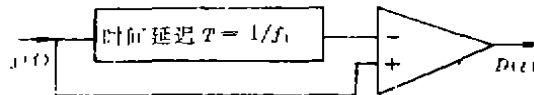


图1 求取故障分量网络

在第一次故障冲击发生后的第一个工频周期内, $f(t - T)$ 乃是故障前的信号,仅包含工频分量,设

$$f(t - T) = A_0 \sin(\omega_1 t + \varphi_{10}) \quad (4)$$

由(1)、(4)式可得:

$$\begin{aligned} D(t) &= f(t) - f(t - T) \\ &= Ae^{-\alpha t} + A_1 \sin(\omega_1 t + \varphi_1) + \sum_{i=2}^N A_i \sin(\omega_i t + \varphi_i) \end{aligned} \quad (5)$$

可见 $D(t)$ 中含有工频迭加分量及衰减非周期分量、谐波分量,这真实地反应了由故障冲击引起的各种分量。

设第一故障发生时刻 $t=0$ 秒,则在最初一个工频周期过后,即 $t > T$ 时,若无新的故障发生,由(1)、(3)可得:

$$\begin{aligned} D(t) &= Ae^{-\alpha t} + A_1 \sin(\omega_1 t + \varphi_1) + \sum_{i=2}^N A_i \sin(\omega_i t + \varphi_i) \\ &- [Ae^{-\alpha(t-T)} + A_1 \sin(\omega_1(t-T) + \varphi_1) + \sum_{i=2}^N A_i \sin(\omega_i(t-T) + \varphi_i)] \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} &= f_d(t) - f_d(t-T) + f_1(t) - f_1(t-T) \\ &= f_d(t) - f_d(t-T) \end{aligned} \quad (6)$$

上式中因周期分量之差为零,所以 $D(t)$ 为非周期分量之差。令

$$\begin{aligned} R(t) &= f_d(t) - f_d(t-T) \\ &= Ae^{-t/\tau} - Ae^{-(t-T)/\tau} = Ae^{-t/\tau}(1 - e^{T/\tau}) \end{aligned} \quad (7)$$

理论上,故障第一个周期后若无新的故障,故障迭加分量应为零。但从上式可见由于非周期分量的作用使 $D(t)$ 不为零而有一个残余值 $R(t)$ 。按上述常规提取故障分量方法,这个不为零的分量必然要反应到随之而来的第二次故障后的 $D(t)$ 中。

注意到 $R(t)$ 具有衰减性,因此两次故障冲击相隔愈远,所受影响就愈小,反之所受影响越大。

2 相继暂态中故障迭加分量的准确提取方法

在电力系统遭受连续二次或多次故障冲击情况下,故障分量保护要反应故障且维持正确动作,必须在获得正确的故障迭加分量基础上才能得到保证。

所谓迭加分量,是指电力系统在前一状态基础上所产生的新的电气量。设后一状态相对于前一状态的迭加分量或突变量为 $d(t)$,第一状态的电气量为 $f_1(t)$,第二状态的电气量为 $f_2(t)$,则

$$f_2(t) = f_1(t) + d(t) \quad (8)$$

即

$$d(t) = f_2(t) - f_1(t) \quad (9)$$

上式说明要获得故障迭加分量必须知道前一状态电气量的变化规律。电力系统在遭受第一次故障冲击之前处于稳态运行,其电气量为正弦周期变化,因此可用直接减去故障的前一周波数据来获取故障分量,此时按(3)式所求是正确的。

当电力系统遭受第二次以上相继故障冲击时(设时间间隔大于 T),由于前一状态故障信号为非周期信号,因此 $f_1(t) \neq f_1(t-T)$,此时若用(3)式获取故障分量将会如二所述有一残余分量出现,导致保护不正确反应故障。

如(2)式所示, $f_1(t)$ 可用下式表示

$$f_1(t) = Ae^{-t/\tau} + f_{1s}(t) \quad (10)$$

上式中 $f_{1s}(t)$ 为基波和各次谐波之和,是一周期信号,即有 $f_{1s}(t) = f_{1s}(t-T)$,所以只要知道 A 和 τ 即可在第二暂态迭加分量中剔除第一暂态非周期分量的影响。设已知 A 和 τ ,则

$$\begin{aligned} d(t) &= f_2(t) - f_1(t) = f_2(t) - [f_{1s}(t) + Ae^{-t/\tau}] \\ &= f_2(t) - [Ae^{-t/\tau} + f_{1s}(t-T)] \\ &= f_2(t) - [Ae^{-t/\tau} + f_1(t-T) - Ae^{-(t-T)/\tau}] \\ &= f_2(t) - f_1(t-T) - Ae^{-t/\tau}(1 - e^{T/\tau}) \\ &= f_2(t) - f_1(t-T) - R(t) \end{aligned} \quad (11)$$

设 A_0 为前 T 秒时的非周期分量值,则有 $Ae^{-t/\tau} = Ae^{-(t-T)/\tau} \cdot e^{-T/\tau} = A_0 e^{-T/\tau}$,所以上式又可写为

$$d(t) = f_2(t) - f_1(t-T) - A_0(e^{-T/\tau} - 1) \quad (12)$$

当两次故障冲击间隔大于 T 秒时,可利用第一次故障后 $N+1$ 个数据(N 为每周采样点数)推导出 A_0, τ 的计算公式如下:

设

$$S_1 = f_1(t_0) + f_1(t_0 + \Delta t) + \dots + f_1(t_0 + (N-1)\Delta t)$$

则

$$S_1 = Ae^{-t_0/\tau} \frac{1 - e^{-N\Delta t/\tau}}{1 - e^{-\Delta t/\tau}} \quad (13)$$

同样, $S_2 = f_1(t_0 + \Delta t) + f_1(t_0 + 2\Delta t) + \dots + f_1(t_0 + N\Delta t)$

$$= Ae^{-t_0/\tau} \cdot e^{-\Delta t/\tau} \cdot \frac{1 - e^{-N\Delta t/\tau}}{1 - e^{-\Delta t/\tau}} \quad (14)$$

由上面二式可得

$$\tau = -\Delta t / \ln \left(\frac{S_2}{S_1} \right) \quad (15)$$

又

$$Ae^{-t_0/\tau} = A_0$$

由(13)式:

$$A_0 = S_1 \frac{1 - e^{-N\Delta t/\tau}}{1 - e^{-\Delta t/\tau}} \quad (16)$$

在系统第一次故障冲击后的最初几毫秒,由保护确定其动作状态。这以后保护即有较充足的时间来计算 τ, A_0 , 而且计算机要进行上面求 τ, A_0 的计算也是不难的。

利用第一次故障期间的 $N+1$ 个数据求知 τ 和 A_0 后,即可用此求以后的故障迭加分量。如图2所示,类似(12)式可得

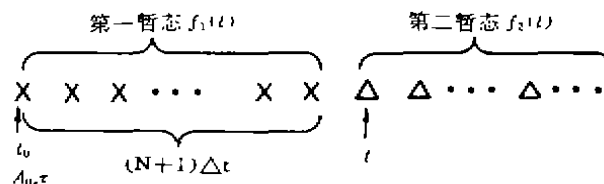


图2 求取第二暂态迭加分量示意图

$$\begin{aligned} d(t) &= d(t_0 + \Delta t + T) \\ &= f_2(t) - f_1(t_0 + (N+1)\Delta t) \\ &= f_2(t) - [f_1(t_0 + T + \Delta t) + Ae^{-(t_0+T+\Delta t)/\tau}] \\ &= f_2(t) - f_1(t_0 + \Delta t) - A_0e^{-\Delta t/\tau}(e^{-T/\tau} - 1) \\ &= f_2(t) - f_1(t - T) - A_0e^{-\Delta t/\tau}(e^{-T/\tau} - 1) \end{aligned} \quad (17)$$

上式是图2中 t 时刻的故障迭加分量。一般,用前 $(N+1)$ 个数所得的 τ, A_0 求任意时刻故障迭加分量可按式计算

$$d(t) = f(t) - f(t - T) - A_0e^{-(t-T-t_0)/\tau}(e^{-T/\tau} - 1) \quad (18)$$

同离散表达式可写为下式

$$d(k) = f(k) - f(k - N) - A_0e^{-m\Delta t/\tau}(e^{-T/\tau} - 1) \quad (19)$$

式中 m 为从 (t_0+T) 到 t 时刻的计算点数。

上面二式与(17)式的区别在于将 $f_2(t), f_1(t)$ 均用 $f(t)$ 表示, $f(t)$ 统一为输入信号。当第

一次故障发生 $t = T + \Delta t$ 秒后, 若无第二次故障冲击, 可以证明 $d(t) = 0$; 若发生第二次故障冲击, 则 $d(t)$ 为相对于第一暂态基础上新的故障迭加分量。(18)式可用为提取故障迭加分量的通用表达式, 第一状态中无非周期分量时, $A_0 = 0$, 它与(3)式相同。

由上可见, 只要两次故障相隔 $T + \Delta t$ 秒以上, 即可准确反应第二次的故障分量。实际上考虑到模拟低通滤波器对第一暂态的响应延时, 要求的这个间隔时间要稍长。

3 数字仿真试验

为了验证前述分析与计算方法, 假设在图3所示网络中发生故障, 用电磁暂态计算程序 EMTP 求解故障时的电气量, 然后分别用(3)式和(18)式进行故障迭加分量的计算。仿真所用为500KV 线路参数, 采用多 π 串联模型。故障信号经过了一截频为250Hz 的数字低通滤波器, 信号采样频率1.2kHz。

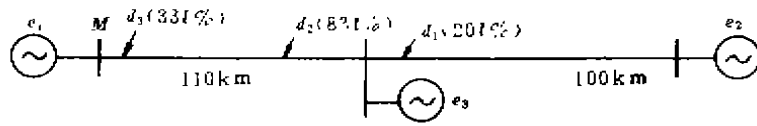


图 3 仿真用等值网络

$$\begin{aligned}
 z_1 = z_2 = 9.88 \angle 70^\circ \quad z_1 = 2.2 + j37.1 \quad z_1 = 2 + j33.78 \quad z_1 = z_2 = 33 \angle 75^\circ \\
 z_0 = 9.88 \angle 70^\circ \quad z_0 = 14.8 + j85.16 \quad z_0 = 13.5 + j77.42 \quad z_0 = 24.6 \angle 70^\circ \\
 c_1 = 0.001134 \mu\text{F}/\text{km} \quad c_1 = 0.0134 \mu\text{F}/\text{km} \quad c_0 = 0.0083 \mu\text{F}/\text{km} \\
 c_0 = 0.0083 \mu\text{F}/\text{km} \quad z_1 = z_2 = 142.8 \angle 80^\circ \quad z_0 = 35 \angle 60^\circ
 \end{aligned}$$

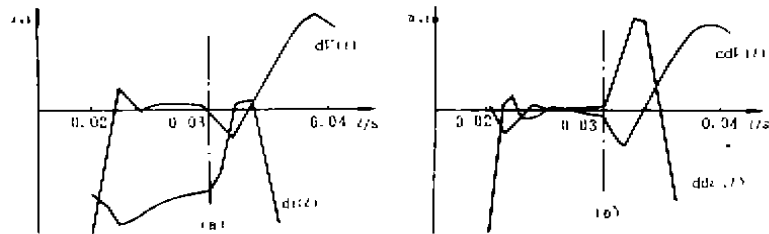


图 4 外部故障转内部故障

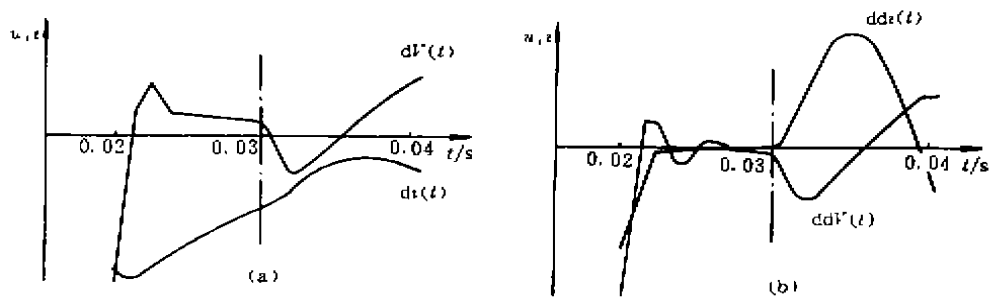


图 5 内部转换性故障

图1按前述仿真模型进行了各种外部故障转内部故障和内部转换性故障计算。下面仅给出所仿真的二种故障情况: 1) $t = 0$ 秒时 d_1 处发生 BC 二相短路, 经 0.03 秒后 d_2 点发生三相短

路; 2) $t=0$ 秒时 d3 处发生 BC 二相接地故障, 经 0.03 秒后转为三相短路。图 4、图 5 分别示出了上述二种情况下第二次故障发生前后 M 侧的故障分量电压和电流, 图中仅画出 B 相电压电流, $dV(t)$ 、 $di(t)$ 为按常规方法所求故障迭加分量; $ddV(t)$ 、 $ddi(t)$ 为按文中所述方法(18)式所求。由图对比二种故障迭加分量求取方法可见如下特点:

1. 第一次故障冲击一个周波后, 若无新的故障出现, 故障迭加分量应为零。但由图可见, 在 $t=0.02''\sim 0.03''$ 期间, 按常规方法所求 $di(t)$ 不为零, 且具有指数衰减性质, 电压分量中非周期分量较小, 所以 $dV(t)$ 很小。而按本文所述方法 $ddV(t)$ 、 $ddi(t)$ 都很快接近为零(起始部分不为零是由于低通滤波器的暂态响应所致), 这就使得保护能够快速恢复, 准确反应下次故障;

2. 对于反应故障分量的快速保护来说, 若采用按常规方法求取的故障迭加分量, 在第二次故障冲击下则可能出现不正确动作。例如对于行波极性判别式方向保护, 由图 4(a) 可见, 当正向外部故障转内部故障时, M 侧电压电流初始极性相同, 判别为反向故障会拒绝动作; 由图 5(a) 可见, 在内部转换性故障时, M 侧电压电流初始极性也相同, 而其背侧判为正向故障可能出现误动。若待第一暂态完全平息后才开放保护, 则对于第 1) 种情况保护可能不反应。由图 4、5(b) 可见, 采用文中所提方法, 二种情况下 $ddV(t)$ 与 $ddi(t)$ 之间都有正确的极性关系, 这说明按(18)式求取故障迭加分量能可靠地揭示再次故障的故障特征。

4 结 论

本文初步分析了在电力系统遭受相继暂态冲击情况下按常规方法求取故障实变量所存在的问题, 提出了一种新的求取故障迭加分量的方法, 这种方法有如下特点:

- 1) 对间隔一个工频周期以上的二次相继故障, 可用文中方法准确获取故障迭加分量;
- 2) 在采用文中方法基础上, 可克服反应故障分量保护按常规方法在第二暂态中必须闭锁从而不能反应故障的缺陷。

参 考 文 献

- 1 Chamia M, Liberman S. Ultra high speed relay for EHV/VHV transmission lines—development, design and applications. IEEE Trans, 1978, PAS-97, 2101~2116
- 2 Johns A T, Walker, E. P. Co-operative research into the engineering and design of a new digital directional comparison scheme. IEEE Proceedings, Pt. C 1988, 135, 334~368
- 3 熊小伏, 叶一麟. 超高速微机方向保护原理. 电力系统自动化, 1989, 13(2), 25~30
- 4 南京工学院编. 电力系统. 电力工业出版社, 1980