

500KV输电线路的故障幅频特性

南京自动化研究所 夏期玉

内 容 提 要

本文分析了500KV输电线路发生各种短路故障时的幅频特性、指出了在这些情况下快速保护装置检测到的主要故障分量频率的分布状况,提出了应考虑保护装置感受故障分量频率的理由。

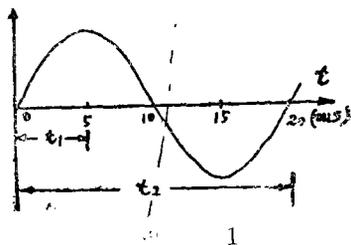
文献〔1〕指出,在超高压输电线路发生故障时,线路上实际存在的主杂音频率应由下式表示:

$$\text{正序: } f_1 = \frac{\gamma}{4l} \sim \frac{\gamma}{2l} \quad (1-1)$$

$$\text{零序: } f_0 = \frac{0.7\gamma}{4l} \sim \frac{0.7\gamma}{2l} \quad (1-2)$$

式中, γ 为光速, l 为线路实际长度, 这个结论, 与保护装置测量到的频率, 实际上是并不相干的。

首先, 对于一般保护, 在保护装置测量完毕之前, P.T (或 C.V.T) 和 C.T 都已有暂态或饱和现象产生, 保护测得的电量已不是线路上实际存在的电量, 其频率成分则因变成器的暂态或饱和现象发生了很大的变化。第二, 对于快速保护特别是特高速保护, 即令在保护装置检测完毕之前, 变成器只作线性变换, 而检测所用的时间的长短, 保护装置所感受到的频率也大相径庭, 很明显, 对于如图 1—1 所示的电量, 如果测量时域为 t_2 , 那么测到的是一个频率为 50Hz 的周期波, 如果测量的时域为 t_1 , 那么测到的便是一个非周期分量, 因而, 所谓故障时线路上存在的主杂音频率这个概念, 对保护装置的设计, 特别是对于反应故障分量的快速保护装置的设计, 是没有什么意义的。



为满足研制特高速保护装置的需要, 本文对故障状态下 5ms 内的电量的幅频特性进行了大量的计算分析, 揭示了其中的一些规律。

一、保护装置的感受频率

对于一个任意故障, 在其暂态过程中的波形, 都不是一个周期波形, 对各种类型和各种条件下的故障暂态过程的计算表明, 在快速保护中, 保护所测量到的仅仅是故障暂态波形的极少一部份。比如在故障后 3—5ms 这段时间内, 故障暂态电压和电流有两个

共同的特点^[2]：

1. 都是非周期分量

2. 在所检测的时域内，其波形总的变化趋势为上升或下降的指数形曲线。

所以幅频特性分析赖以上述两个特点或条件才能进行。考虑到分析的对象为非周期量，因而采用了解析延拓的方法进行计算^[3]。例如有一非周期函数，如图1—2所示： $F_a = f_a(t)$ ($t = 0 \sim \infty$)那么可以按考察时间 t_1 ，将其变成一种如图1—3所示的解析延拓函数，这样就可以得 $0 \sim t_1$ 之间的函数，表达成一个周期函数：

$$F = f(t) \quad (t = 0, t_1)$$

这样就可以在 $(0, t_1)$ 区间上，将 $f(t)$ 作富氏分析，即

$$f(t) = \frac{a_0}{2} + \sum_{n=1}^{\infty} (a_n \cos nt + b_n \sin nt)$$

应该指出，只有 $f(t)$ 中所包含的频率，才是保护检测系统感受到的频率 f_m 。

为了考察在各种条件下短路故障时快速保护装置所感受的频率 f_m ，本文对如图1—4所示的500KV电力系统的单相接地短路、两相短路及三相短路及两相接地短路逐点作了大量的计算，典型的幅频特性如图1—5~1—8所示。为便于观察，图中对各相采用了不同的单位。且只标出正频率部分。

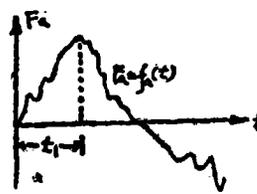


图 1—2

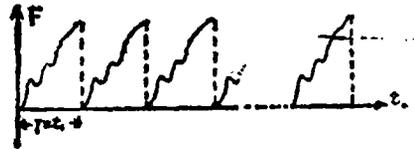


图 1—3



图 1—4

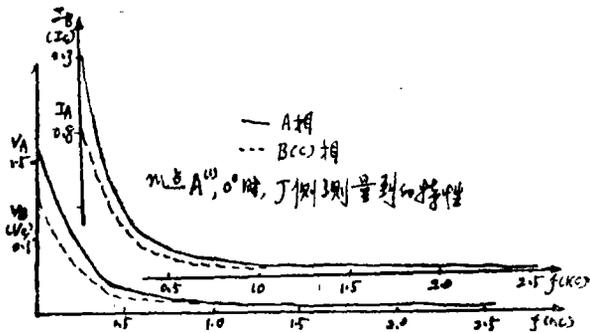


图 1—5

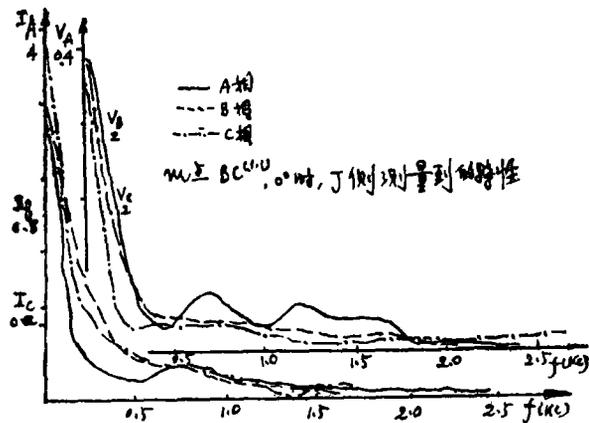


图 1—6

二、故障条件对 f_m 的影响

1. 故障类型和故障相位

图1—5和图1—6, 分别在线路中点(m) 0° 和 90° 单相接地短路时在J侧检测到的幅频特性, 两者对比可见, 除了幅值不同而外, 无论是故障分量电压还是故障分量电流的幅频特性, 它们之间的差别, 都是很微小的。对于描述 90° 时两相短路的图1—10, 若与图1—8相比较, 可见其差别甚微, 不同的只是500Hz以上的高频部分。与上述两种情况相类似的情况, 还可以从对比描述 0° 和 90° 时的两相接地短路的图1—6和图1—11中发现, 尽管B相在过零前 30° (即A相 90°) 发生三相短路时, 其故障分量电压的幅频特性在500Hz以下有激烈的变化, 但是其余两相的幅频特性变化, 对故障相位的反应仍然是不灵敏的。(见图1—12)

2. 故障地点(或电源阻抗)

图1—13是在J侧出口(a、c)和线路1/4长(b)处 90° 单相接地短路时在J侧检测到的故障分量幅频特性, 与图1—5相比, 可见

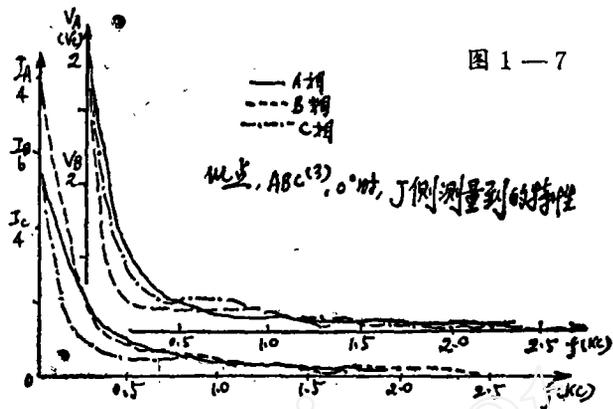


图1—7

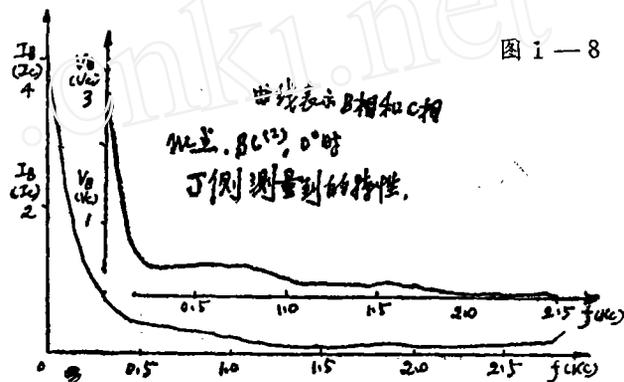


图1—8

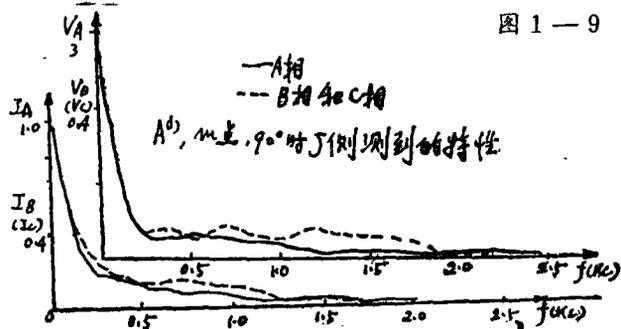


图1—9

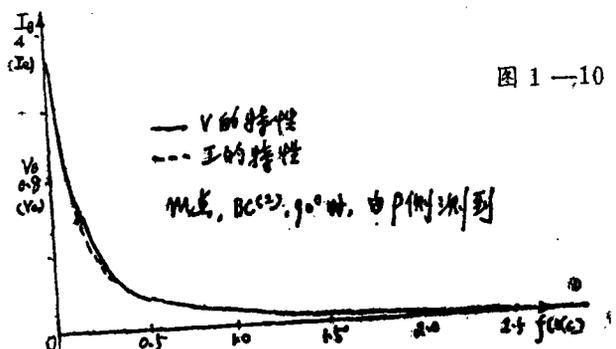


图1—10

除了幅值不同而外, 500Hz以下的特性基本相同, 在500Hz以上的频域里, 远处故障明显地使故障相的故障分量电压的高频分量增多, 而出口短路故障相的幅频特性, 则极为接近一条指数型曲线, 这里需要指出的是: 上述频率并非故障时系统实际存在的频率, 而是保护装置感受到的频率。

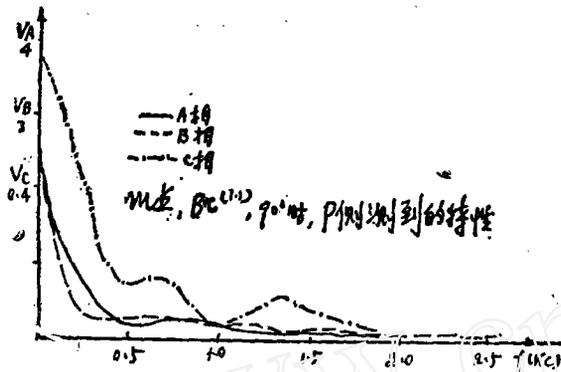


图 1—11

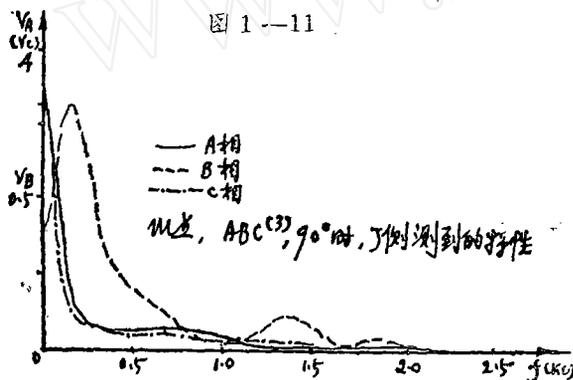


图 1—12

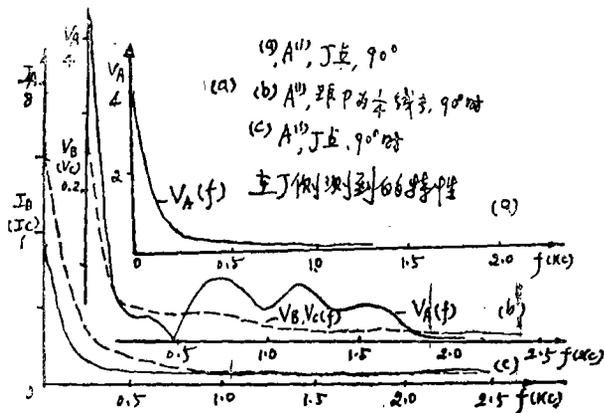


图 1—13

比较基准。

综观短路故障时的 f_m , 不难看出, 500Hz以下的谐波中, 二次谐波在66.5~91.3

3. 故障类型的转换

描述故障类型转换的故障分量, 也许是最为紊乱无章的, 但是由于它们的故障分量波形仍具有上一节所述的两个特点, 因此根据故障分量分析所得到的幅频特性, 也就不会十分离奇, 图 1—14便是这种故障状况的分析结果。从中可以看出, 500Hz以下的频率成分, 在幅频特性中仍占绝对优势, 500Hz以上的特性, 表面上显得波澜起伏, 其实其绝对值是很小的, 因为为方便起见, A、B、C相采用了不同的标度。

三、各种条件下短路时的 f_m

大量的计算表明, 当两侧装有电抗器的线路上发生短路故障时, 检测故障分量的保护装置在 5ms内几乎感受到了所有的频率。故障后5ms保护装置检测到的主要高次谐波即 100Hz、250Hz及500Hz的分布情况, 都列在表 1内, 为计算方便, 且能进行比较, 取故障时本相直流分量为100, 并以此作为与100Hz, 250Hz及500Hz谐波的幅值的

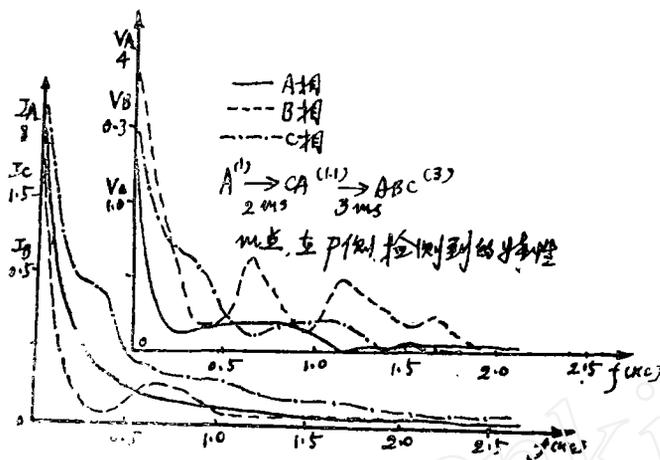


图 1-14

都在500Hz以下，而500Hz以上的幅值都是很小的。

四、结 论

1. 在设计反应故障分量的快速保护装置时，应顾及保护装置的感受频率。
2. 在短路故障后5ms以内，保护装置检测到的故障分量主要频率与故障条件无关，其分布状况是直流分量占主要地位，随着频率的增高，幅值急剧减小。

五、参考文献

- [1] G. Dienne; 《Transient Behavior of Instrument Transformers and Associated High-speed Distance and Directional Comparison protection》
ELECTRA N°72 October 1980
- [2] 夏期玉：《行波方向比较纵联保护暂态性能的分析与研究》，水电部南京自动化研究所研究生毕业论文，1982、6。
- [3] E.O. 布赖姆著：《快速富氏变换》、上海科技出版社、1979、3

之间，五次谐波在2.4~51.3之间(2.4极为个别，50以上通常少见)，而大多数在15~30之间，十次谐波的幅值更小，在13左右，经过统计处理，它们的平均值是：

直流	二次谐波	五次谐波
100	74.35	25.65
十次谐波	12.46	

这表明，在短路故障后5ms内，故障分量的主要频率

表1 各种短路故障时的频率分布(%)

故障类型	故障相位	频率(Hz)	由P侧测量						由J侧测量						统计处理
			V _A	V _B	V _C	I _A	I _B	I _C	V _A	V _B	V _C	I _A	I _B	I _C	
A ⁽¹⁾	0°	100	73.9	76.1	76.1	179.9	77.5	77.5	68.1	75.0	75.0	79.6	77.7	77.7	76.16
		250	25.9	29.4	29.4	36.8	32.8	32.8	26.7	13.5	13.5	36.2	32.9	32.9	28.57
		500	11.6	11.0	11.0	15.8	14.8	14.8	11.6	11.2	11.2	15.6	14.4	14.4	13.12
	90°	100	66.0	66.6	66.6	72.4	69.4	69.4	63.4	64.4	64.4	71.9	69.0	69.0	67.70
		250	12.3	13.8	13.8	23.2	17.5	17.5	12.3	9.3	9.3	22.3	17.4	17.4	15.59
		500	10.9	7.6	7.6	10.8	8.0	8.0	9.2	1.2	1.2	10.5	8.2	8.2	7.62
BC ^(1,1)	0°	100	68.4	71.6	64.4	67.5	77.2	73.6	66.3	72.0	65	67.1	16.8	73.2	70.25
		250	15.3	22.3	9.8	13.2	31.3	25.5	10.4	22.5	10.8	14.0	31.2	24.8	19.36
		500	9.9	9.3	9.4	7.0	13.6	11.7	4.0	9.4	8.6	6.8	13.7	11.4	9.57
	90°	100	69.1	66.8	89.1	72.5	72.0	68.8	67.7	66.5	93.5	72.1	80.0	68.6	73.89
		250	18.8	13.5	51.3	23.2	22.5	15.4	15.1	13.2	59.4	22.7	2.4	15.1	22.74
		500	7.1	9.8	17.8	10.3	10.4	6.15	5.1	8.7	21.4	10.5	11.3	6.0	10.38
ABC ⁽³⁾	0°	100	74.7	91.3	84.1	80.6	89.8	75.0	74.4	64.9	70.6	79.3	72.7	70.1	77.3
		250	27.9	66.5	35.4	38.7	64.1	25.1	26.7	10.6	19.6	35.7	23.8	19.0	32.76
		500	11.5	26.7	14.3	15.5	31.8	25.2	11.6	7.7	9.7	15.5	11.0	9.0	15.71
	90°	100	64.4	74.8	82.0	72.6	68.1	80.0	65.7	148	66.6	71.5	71.5	74.2	83.76
		250	10.0	21.9	82.2	23.9	11.7	43.4	11.6	157	13.4	21.7	18.8	26.6	36.8
		500	10.3	7.2	17.9	10.9	5.8	22.4	7.9	55.9	8.2	10.2	5.4	12.1	20.4
BC ⁽²⁾	0°	100	/	65.6	65.6	/	72.0	72.0	/	65.7	65.7	/	71.5	71.5	68.75
		250	/	11.5	11.5	/	22.5	22.5	/	16.0	16.0	/	21.8	21.8	17.95
		500	/	8.1	8.1	/	10.4	10.4	/	7.9	7.9	/	10.2	10.2	9.28
	90°	100	/	74.2	74.2	/	79.6	79.6	/	74.4	74.4	/	79.3	79.3	76.88
		250	/	26.4	26.4	/	36.3	36.3	/	26.7	26.7	/	35.8	35.8	31.3
		500	/	11.5	11.5	/	15.7	15.7	/	11.6	11.6	/	15.5	15.5	13.58