

# 电站自动化译文集

上册

阿城电站设备自动化设计研究所

一九八五年六月

12





# 目 录

1. 评价线路保护数字式阻抗方法的判据……………〔英〕雷云山 (1)
2. 负序电压的数字式测量方法……………〔英〕展广连 (16)
3. 具有对远端输入线产生的故障电阻补偿视在电抗的精密故障测定器  
……………〔英〕展广连 (30)
4. 数字式电液调速器的开发……………〔日〕王子峰 (52)
5. 系统可靠性设计的一种新方法……………〔日〕王子峰 (68)
6. 采用功能组原理的火电机组自动化……………〔日〕王子峰 (85)
7. 水电站控制保护新技术……………〔日〕全炳浩 (100)
8. 大容量火电站的快速解列待机运行(FCB)方式……………〔日〕全炳浩 (117)
9. 日本相浦火电站新2号机快速解列待机运行方式(FCB)试验结果  
……………〔日〕全炳浩 (127)
10. 数字式多路光导纤维通道远方跳闸保护装置……………〔英〕孙曙光 (144)
11. 用于大型电站锅炉的燃烧工况监测和评价系统……………〔英〕孙曙光 (149)
12. 三相有功功率测量变换器 0.3MA—0.25PT……………〔俄〕孙曙光 (161)
13. 利用自适应调节器的同步发电机励磁控制(第I部分)……………〔英〕关平 (165)
14. 利用自适应调节器的同步发电机励磁控制(第II部分)……………〔英〕关平 (177)
15. 用于电力系统稳定控制的<sup>2</sup>最佳可变结构稳定控制器……………〔英〕李华 (190)
16. 电力变压器在线监视……………〔英〕王璞玉 (205)

# 评价线路保护数字式阻抗方法的判据

## IEEE电力系统继电保护委员会工作组报告

### 摘要

本文提出了推荐用于评价线路保护数字式阻抗技术的各种方法的判据。研究人员、制造厂和潜在的用户可以利用这一组判据评价线路保护各种数字式阻抗方法。已确定了标准判据，但因为各种方法采用的特殊定量测量方法之间差异很大，所以本文没作介绍。

### 1.0 绪言

数字计算机式线路保护工作组制定了用于描述数字式阻抗继电器性能的一组判据。

数字计算机式线路保护工作组确定的具体评价判据：速度（算法时间，总动作时间），选择性（故障位置，故障种类）和可靠性。应当考虑的其他重要特性：特殊的处理器技术要求、存储器技术要求、电源约束条件、与变电站中其他系统的兼容性、适应性、诊断性能、自检能力和人一机接口。

精度放在速度（3.1节）和选择性（3.2节）中讨论。

工作组长时间讨论了如下可能性：制定用于实际实验线路保护特定数字式阻抗算法的实验数据的可能性。得出的结论：取自适当模拟模型的特定实验波形可用于实验阻抗算法。

继电器必须在各种不同的信号情况下工作。某种数字式保护算法在某种特定的情况下可能工作良好，但在其它情况下工作不好。实验波形应当表示预定情况的全面关系，并尽可能详细地评价算法。本文不介绍具体的故障实验波形，只讨论波形的一般要求和能够产生适当故障实验波形的模型。

对上述性能判据的详细讨论，在下一节介绍。为提供背景材料，讨论了各种数字式阻抗保护方法的功能要求。再后面的一节详细介绍了性能判据。

### 2.0 数字式线路保护系统的性能

最近发表的大量有关数字式线路保护文献，专门论述了各种算法和动作方程的性能。但是，分析比较各种方法性能的论文很少。当把推荐的算法作为计算机程序执行时，它加工处理从线路测出的电压和电流信号，使其成为适于用来确定故障位置或作出相应跳闸判断的数值量。

这一节讨论对线路保护系统各种功能的总体要求。本报告的另一节提出了评价各种供选择方法相对速度和精度的特殊方法。通常，根据故障信号的暂态失真程度和算法输出的特定应用，讨论速度和精度之间的折衷选择问题。一般来说，在故障波形失真严重

的情况下，高速方法产生的误差大，而较低速方法由于暂态过程结束和滤掉了非工频分量能够达到较高的精度。某些继电保护功能可得益于如下算法：调节动作速度使其随故障性质变化的某种算法或几种算法的组合，从而对性能极限作出折衷选择。

用户应比较下一节所述有关每种算法予期动作速度、精度和输出种类方面的功能要求，以确认算法是否达到了予期的要求。

下面仅限于讨论不带通道距离保护和带通道方向比较式保护的功能元件。首先说明带通道保护的特别要求，然后说明不带通道保护方案的要求。最后，列举两种保护共同的考虑因素。

### 2.1 带通道方向比较式继电器保护系统中距离算法的功能要求

常规方向比较式保护方案，可以利用计算视在阻抗或与从继电器装设点到故障点距离有关测度的算法在计算上有效地编程。在线路的每端，把基于该算法作出的故障判断和通过通道从对端收到的判断结果综合起来判断，得出本端的跳闸/闭锁判断。

#### 2.1.1 不必要的测量

在采用最简单原理构成的这种保护中，要求测定从线路两侧看的故障方向。但是，为使继电器保护更安全可靠和选择性更好，大多数方案估算故障点相对于先规定边界的实际视在位置。

除了测定方向和距离外，继电器可能还必须测量象线路电压和电流这样的交流参数，以进行必要的逻辑运算。

广泛采用的方案包括：计算视在阻抗[1,2,3]；计算故障线路的实际参数，如电抗和电阻[4,5,6]；根据象对称分量关系这样的其它电力系统现象，计算相对距离指数[7]。

图1示出了应用最广泛的带通道高频方向比较式保护方案的动作区。另一种表示方法是把这些跳闸区示于阻抗平面上。后一种表示方法以继电保护工程师最熟悉的方式提供了测量元件应当反应并动作的故障、对接地故障电阻的适应能力和对振荡的响应情况。利用这种图示方法，可以直接表示计算视在阻抗或实际参数的数字式保护稳态特性。其它故障位置表示形式不能明显地确定保护对故障电阻的适应能力或对应用中不可预料变量的敏感性。因此，用户可能要求获得具体保护方案在各种系统运行情况下的不同技术规范。

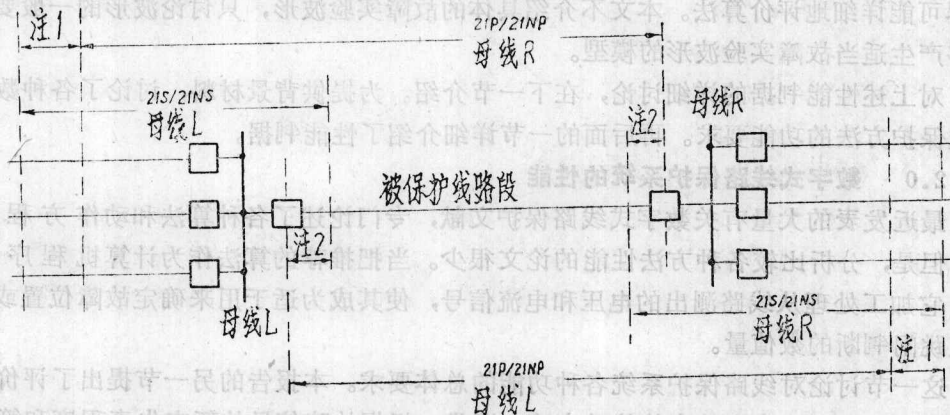


图1 高频闭锁保护的保护区



注1. 对于所有外部故障来说,反向载波启动功能范围 $21S/21NS$ 必须超过对端跳闸功能范围 $21P/21NP$ 。

注2. 在常规带通道保护逻辑中, $21S/21NS$ 可伸向正向保护区内任何部位,而由就地 $21P/21NP$ 提供方向性和跳闸。

最后,用户应当了解两种确定故障点相对于动作区边界相对位置的方法之间的差别。介绍阻抗测量用计算机算法的大多数技术论文提出的算法,首先计算代表故障点位置的数值,然后把该数值和阻抗平面上的动作区边界相比较。这种方案为使保护安全性和精度最佳化选择动作区形状提供了广泛的余地。然而,这种方案可能需要在计算中改变动作区形状的软件,并且因而可能需要比较高级的处理器硬件。另一种方案是直接计算处理电压和电流信号,这样使算法的输出不是算量或向量实测值,而是区分故障种类的二进制信号;例如用“1”表示所要求保护区的内部故障,而用“0”表示故障发生在保护区外。后一种方法和基于电流与电压相互关系得出所要求动作特性的机电式阻抗继电器所采用方法类似。这种方式可能使保护失掉在某些性能方面的改善,但因其简单使得能够利用成本低的处理器。过去使用常规继电器的经验证明,对于不是极为重要的应用场合来说,这种简单的动作特性是能令人接受的。

### 2.1.2 速度——精度

带通道继电器保护装置用作为高速线路保护。由于在被保护区两端之间具有通道,因而不再要求保护算法精确地测定给定故障的位置。这使设计师在速度和精度之间进行折衷选择作出有利速度的选择。

利用载波闭锁、非闭锁和允许超范围传送跳闸命令方案构成的反应正向故障距离保护,整定为超范围方式,其动作范围总裕度超过线路对端约50%。唯一的要求:甚至在算法误差和电力系统影响综合影响产生最坏欠范围动作情况下,也应正确反应发生在线路对端处的故障。对于传送允许跳闸命令或直接传输跳闸命令的欠范围方案中的阻抗元件来说,甚至在算法误差和电力系统影响的最不利综合作用情况下,算法的保护区也必须能够超过被保护线路的中心,但不得超范围越过线路的对端。闭锁方案中的反向范围载波启动功能的范围只必须至少超过对端正向功能范围的50%,以闭锁外部故障时的跳闸。响应更远处的故障是不利的。

从这些放宽的精度要求来看,短窗口高速算法适于在带通道保护中用于测量距离。继电器能达到的动作时间,取决于在最坏情况下予计的波形失真性质和程度以及判断逻辑对交流信号量的动态适应能力。

## 2.2 不带通道距离保护的功能要求

为保护不十分重要的输电线路或下一电压等级的输电线路,采用不带通道的距离保护或反时限距离保护作为主保护。在采用带通道保护作为主保护的线路上,也采用不带通道距离保护作为多段后备保护。对不带通道保护方案中的继电器的要求,不同于对带通道保护方案中的继电器要求。

### 2.2.1 必要的测量

重要线路的带通道保护系统常常包括一段就地后备继电器,它是不带通道的欠范围距离测量元件。在带通道保护失灵或退出运行时,这些后备保护线路的大部分,还包括



接地和相间距离直接跳闸能力。其稳态动作范围类似于在带通道方案中使用的范围，但整定值不同。这些保护和类似的保护元件也用于单独保护不太重要的线路。

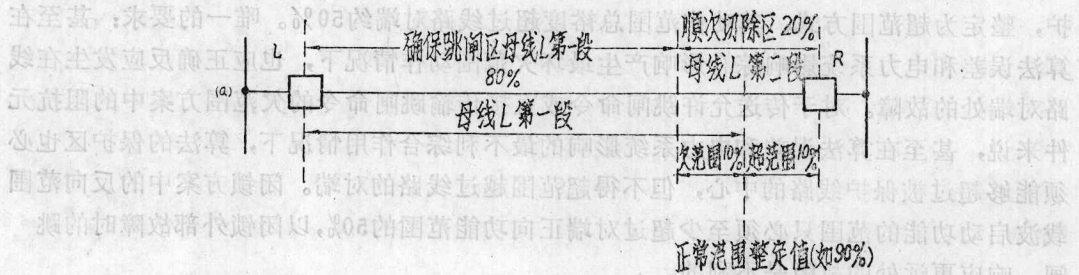
可以编程构成距离保护的附加保护段，用于经过适当延时后不借助通道信号直接跳闸，从而为母线、变压器或线路保护提供远方后备。带通道保护中的各段或范围整定值通常带有附加延时跳闸输出。但是，为此目的可以增加扩充的一段或几段保护区。在把计算的距离数值和范围极限进行比较的计算机式保护方案中，为使其包括附加段，只需把计算出的阻抗数值和对应于附加保护段的整定值相比较〔9〕〔10〕。

下一级输电线路可以采用反时限距离保护。保护的跳闸时间正比于从保护装设点到故障点的距离。每个保护自然地成为相邻线路上另一保护的后备保护。当主保护或开关失灵时，该后备保护经过较长的延时跳闸。

最后，为在出口处故障或开关合闸于故障线路或变压器时快速跳闸，可把不带方向的附加过流测量包括在内。

### 2.2.2 速度和精度：第一段继电器

不带通道的就地后备保护功能，应具有比与其对应带通道主保护继电器高的动作范围精度。因为就地后备继电器不接收来自对端监测信号，所以即使在算法误差和电力系统使继电器超范围动作的最不利综合影响下，也不得超范围到超过线路的对端。图2(a)表明，标称动作范围必须短于被保护线路长度，以提供超范围安全裕度。因为误差既可能引起超范围动作，也可能引起欠范围动作，所以确保第一段显著短于线路的100%。图2(b)表明，最坏情况下的误差要求范围整定值更短，而且确保动作的线路范围的缩量为整定值减小量的二倍。



注：由母线L侧保护的第一段提供类似的保护范围。仅当故障发生在中部附近时，两侧的保护才同时高速跳闸。

图2 a 范围误差适中的情况

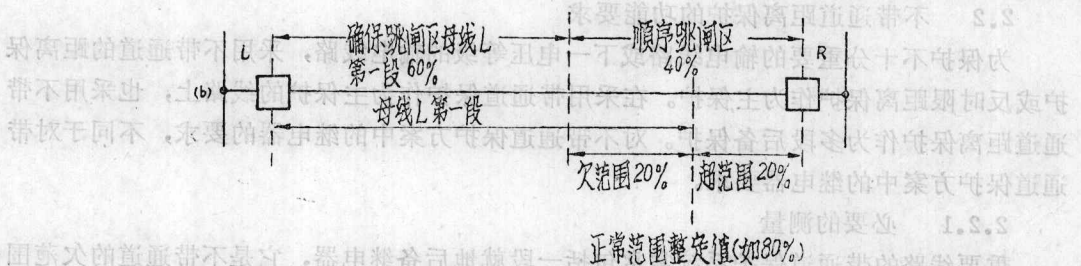


图2 b 范围误差较严重的情况



和电力系统现象有关的范围误差部分，反映在工频电压和电流的改变上。这将使任何型式的阻抗继电器（不管是数字式的还是常规型式的阻抗继电器）产生可比拟的动作范围误差。（见第2.2.6节）。然而，也因处理方法或算法对附加暂态频率分量的响应而产生某种范围误差。

如果第一段采用测量阻抗的快速短窗口算法，那么这些处理误差比较大，并且要求采用较短的范围整定值。超出该整定范围的故障，将在对端后备的长延时后顺次地被切除。这样，速度方面的优点因许多故障只能极慢地顺次切除而被抵消了。

具有良好干扰滤除性能的最精确长窗口算法，在近端故障情况下跳闸时间较长，但和较远处故障时顺次切除时间的差别不大。因为精度的改善使得能把动作范围整定到接近对端母线，所以线路的大部分上发生的故障都能由速度较快的直接跳闸动作切除。因此，对于大多数多段不带通道的应用场合来说，精确但比较慢的长窗口算法的整体性能较好，并且沿整条线路比较一致。

### 2.2.3 远方后备和带延时的距离保护跳闸

对于带延时远方后备距离保护来说，通常既不要求速度，也不要求高精度。因此，只需在现有带通道或不带通道保护测量功能的基础上增加延时就足够了。

反时限距离保护采用相互搭接的动作区，以获得相互配合的主保护和后备保护。这种继电器的最重要特性是精确地实现其公布的时间—距离关系曲线，在给定故障点的任何时间误差都将引起协调配合裕度的对应增大和后备保护切除故障时间的相应增长，并给整定多个相互搭接的动作区带来困难。

通常，跳闸时间长于算法窗口延时，因此，大窗口高精度算法能够在不明显牺牲动作速度的条件下工作得最好。

### 2.2.4 高定值过流跳闸

在源阻抗与线路阻抗可比拟或低于线路阻抗的情况下，允许采用不带方向的高速过流跳闸功能。这些不带通道的欠范围保护算法计算电流峰值，并要求对其速度和精度作折衷考虑，这正象距离保护方法所要求的那样。有效保护范围的完善性在很大程度上取决于算法的精度，这和第一段保护功能的情况相同。然而，高定值过流跳闸功能在加速切除威胁系统稳定性的近端故障方面的应用，多于在作为带通道保护的后备方面的应用。因此，强调其动作速度，但采用能够防止因算法误差而引起跳闸的高整定值。保护范围有限的快速短窗口算法是具有吸引力的，特别是当它反应非对称故障电流中直流分量时更是如此。

### 2.2.5 合闸于故障线路时的跳闸功能

该功能如同高定值过流跳闸功能一样，采用不带方向的过流检测技术，但在开关合闸后不久很快把它闭锁。除了可把该功能的整定值降低到能检测整条线路上的故障这一点外，对其要求和对于高定值过流跳闸功能的要求类似。因为线路合闸时其对端处于开路状态，所以允许这种功能具有某种程度的超范围。

### 2.2.6 电力系统影响的补偿

波形失真引起的算法误差只是误差问题的一个方面。不管算法的滤波能力多强，电力系统的影响都将引起动作范围变化。电力系统的突出影响因素如下：



一故障电阻和线路两端不同相电源之间的相互作用，它产生不真实的错误视在故障阻抗。

数字式处理器具有以常规方式或新方式处理这些现象的能力，但这种很强的能力还没有被人们探讨和利用。用户应当注意到这种潜在的能力，因为设计师可以利用这种能力改善不带通道保护功能的精度和/或速度〔8〕。

### 2.3 距离算法的其他功能要求

这一节介绍采用数字式处理器实现的带通道和不带通道距离保护算法。

#### 2.3.1 方向性

设计师不但关心快速和/或精确测定保护区对端边界附近的故障，而且还关心保护正确判别继电器装设点附近故障方向的能力。在继电器装设点附近发生故障时，由于电压突然降低到零和/或极化电压暂态失真，保护算法难于判定故障电流的方向。在这种场合，继电器程序利用试验—选择方法借助于取自健全相的电压信号，或者利用多相测量方法确定故障方向。对于使所有相电压消失的出口处三相短路故障，继电器程序可以利用从处理器存储器中故障前电压采样值得出的故障前电压相位角的“外延”测定方向，也可以采用类似于常规继电器的零序或负序极化方法。某些算法在测定方向时本能地考虑了故障前条件。

在某些逻辑方案中，象常规的闭锁逻辑，反向保护区可能对正向出口处故障作出响应。在大多数应用中，规定反应正向故障的元件判断出现矛盾时无效。因此，带通道保护方案的正向跳闸区必须具有可靠的方向判别能力。

#### 2.3.2 包括的故障种类

继电器程序处理所有十种相间和接地故障。为此，至少可采用如下三种办法：

(i) 故障种类处理选择程序，它选择最可能的故障种类，并调用接地或相间距离保护程序。对于单相接地故障，该距离算法利用故障相的相间电流和相对地电压。对于多相故障，它利用相间电流和电压信号，从计算的角度看，故障种类选择器程序这个方案是有效的，但必须在设计时特别注意，把错选故障种类和因而延迟跳闸判断的可能性降低到最低限度。对于两相接地故障，为达到最高精度，应采用相间距离计算处理程序。基于相间量的测量不受互相耦合或其他残留电流的影响，并且故障回路的阻抗比相一地故障回路的阻抗低得多。

(ii) 同时执行涉及所有故障种类的一组距离程序或有关程序。这从性能的角度看肯定合适的，但要求处理器的处理能力强，因而导致成本提高。

(iii) 反应所有故障的一个或两个多相算法〔6〕。这种方案比第二种方案现实，但从计算的角度看，其计算量比第一种方案大。

只要设计师能够证明保护系统正确可靠地动作，上述三种方案中的任何一方都是适用的。

#### 2.2.3 单相跳闸能力

如果用户计划采用单相或分相跳闸方案，那么算法必须选择故障的一相或几相，以配合跳闸逻辑的动作。选相程序和反应所有各种故障的计算方法本能地选择故障相。应当检验多相方法，以确认利用包括在继电保护程序包中的某种计算能够利用这种方法得到的输出。

#### 2.3.4 对串联补偿电容器的耐受能力

相邻线路上的电容器有时使母线电压反相，这导致方向判断错误，并因而引起误动作。如果这种电容器用于预定的保护装设点处，那么继电保护算法必须能够检出“反相”现象，并调用“故障前存储器极化”程序。

为可靠地保护在保护区内带有串联补偿电容的超高压线路，采用如下措施非常重要：采用针对应用情况特殊设计并利用方向比较测量的交流信号特殊处理方法，或者利用对电压或阻抗异常现象不敏感的相位比较保护程序。

某些串联补偿电容器给保护算法提出了另一个严格要求。这就是要求保护能够在具有高幅值次工频电流情况下工作。必须估算最坏情况下预期的该电流幅值和频率范围，并根据所采用算法的频率响应特性检验分析其误差产生的影响。

### 3.0 其他性能指标

这一节讨论第一节列出的特殊性能判据

#### 3.1 速度

这个特性关系到基于数字式计算机构成的距离保护的速度定义。可以很简单地定义速度，但已认识到阻抗继电器系统在不同动作工况下具有不同的动作速度。因此，这一节用于识别出能够影响继电器动作时间工况，并帮助读者正确理解数字式距离保护的動作速度。

##### 1) 继电保护功能

距离保护实现许多功能，通常和各功能有关的动作时间不同。因此，对每一动作速度要求必须指出对应的功能。建议的功能范围如下：

- a) 第一段直接跳闸功能
- b) 载波启动和停止功能
- c) 开关失灵保护功能
- d) 过流保护功能
- e) 远方传输跳闸命令的功能
- f) 其他功能

##### 2) 精度

阻抗继电器的动作速度和精度紧密相关。实际上，继电器动作速度和功能有关的原因，正是因为每一种所要求的精度不同。因此，在规定继电器特定功能的动作时间时，指出这种功能的动作精度是极为重要的。

##### 3) 继电器系统的元件

假设图3所示功能方框图代表典型的数字式继电器系统。

取自输电线路的电流和电压信号，在被采样和利用模/数转换器变换成数字量之前，利用模拟电路（例如变换器、浪涌抑制回路和滤波器）进行予处理。继电器保护算



法处理采样数据，以产生输出或在多数情况下产生几个输出。可以预料，利用图 1 所示功能方框图可以描述大多数的数字式距离保护系统。对于不符合该方框图的系统，可能必须采用不同的继电器动作时间描述技术。



图 3

#### 4) 继电保护动作时间

图 4 标出了有助于识别继电器动作时间的某些重要事件发生顺序



图 4

- a) № 1 事件：输电线路上发生故障。
- b) № 2 事件：在 A/D 转换器输入端出现故障信号。
- c) № 3 事件：转换继电保护算法判定处理所使用的最新数据。
- d) 执行完继电器保护程序，得出适当的数字式输出。

注意，需要对 № 2 事件作某些说明。图 5 表明推荐的 № 2 事件定义。假设整个正弦波在  $t_1$  时刻从其峰值降到零，则可把  $t_2$  时刻定义为发生 № 2 事件的时刻，在该时刻模拟系统的输出达到其稳态值  $\pm 10\%$  的带内。

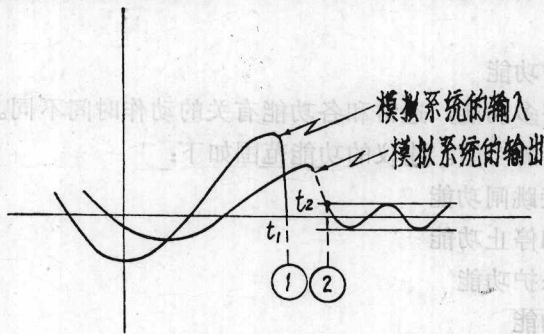


图 5

#### 5) 计算时间

表示数字式继电器性能的一个实用参数是其算法执行时间。该时间可用实验方法测量。或利用特殊实验方法估算。假设在  $t_2$  时刻已具备执行算法所必需的所有数据，而且  $t_2$  也符合其定义。（见图 4\*）。在这个条件下，继电器动作时刻就是算法执行时间的量度。

#### 6) 特殊要求

对于给定的算法，可能有特殊要求。例如，算法可能取决于采样速度，或者为了判定方向或识别故障相要求进行附加计算。应当明确提出这些特殊要求。

#### 7) 继电器的动作时间范围

已经认识到，继电器的动作时间可能取决于故障性质。在确定继电器的最长和高短动作时间时，建议考虑如下故障种类：

- a) 故障种类：接地，相间故障等。
- b) 故障发生时的角度。
- c) 记忆电压的必要性（例如，故障电压低于其正常值的5%）。
- d) 进展型故障。
- E) 故障电流低（例如，低于启动值的1.5倍）。

\* 原文此处误为图3……译注

8) 故障位置

建议提供保护在适当保护区边界内90%处故障情况下的动作时间。如果其他故障位置处的动作时间和继电器整定值90%处的动作时间明显不同，那么也应提供其他故障位置的动作时间数据。

上述讨论得出继电器动作时间技术规范的如下可能形式：

继电器动作时间	时间	精度
最短动作时间（在规定条件下）		
最长动作时间（在规定条件下）		
模拟系统的响应时间（A/D转换器之前的时间）		
算法时间		
继电器功能		
特殊要求		
选相和方向判别所需的附加计算		

本文假设：采用ANSI标准规定的CT精度技术规范。

3.2 选择性

选择性可如下定义：当为切除故障或其他异常现象而切除的电力设备最少时，就获得了良好的选择性（ANSIC37、100）。

选择性以两种方式利用如下因素评价：

- 1) 故障位置（在几个特定位置评价）
  - a) 范围
  - b) 方向性
  - c) 动作边界
- 2) 故障种类
  - a) 故障相的识别（本能地识别还是要增加故障种类识别）
  - b) 进展型故障（确定故障种类可能变化的能力）。



确定故障位置的选择性是指继电器确定故障发生在预定保护区内还是区外的能力。

确定故障是否在跳闸区内的一个重要方面，是确定方向性。算法本能地提供性方向判别，还是必须附加方向判别功能？在某些场合，方向判别可能和故障判别计算所需的时间一样长。另一个考虑因素是在出口处故障情况下可能失去方向性。继电器的范围可考虑为在其正向的选择性。

线路保护用阻抗继电器测定故障位置的选择性，利用它正确计算从保护装设点到故障点之间实际距离的能力，特别是故障点靠近预定保护区末端或发生在保护区末端情况下的这种能力衡量。因此，阻抗继电器测定故障位置的选择性是衡量其测量精度的参数，而且为评价精度而制定的判据也适用于评价测定故障位置的选择性。

选择性判据按其本身定义还可包括评价如下继电器能力的评价参数：鉴别线路故障和其他能使继电器端子上呈现同样故障电流与电压信号的异常工况（象失步或线路过负荷）；在要求单相跳闸场合，区分各种不同线路故障的能力。典型评价判据可由一组能从阻抗继电器功能技术要求中得出的评价参数构成。

为确定选择性，可评价如下判据：

#### 选择性

	是	否
距离计算是否具有方向性？		
对于出口处故障是否具有保持方向性的措施？		
距离计算能否识别出故障相？		
故障种类变化是否影响选择性？		
故障种类变化是否影响动作时间？		
继电器能否把故障和其他异常工况区分开？		
用于短线路是否有问题？		

故障位置测定	精度
第一段故障位置测定	
第二段故障位置测定	
第三段故障位置测定	
高整定值故障位置测定	
闭锁区定位精度	

### 3.3 可靠性

为分析数字式继电器的可靠性，需要分析几个项目。首先，将介绍适用于继电器保护的一般可靠性原理。然后，还将论及数字式继电器的某些特殊考虑因素。

通常，可靠性系指某一产品在规定条件下完成要求功能历时规定时间的能力。这个定义常常推广到装置能在无故障条件下工作历时规定时间的概率。这些条件可归纳为正确完成功能或无故障工作的概率。作为这方面的一个简单例子，可分析报时钟在一年内每天早上报时的能力。这也可以规定为一年内每天早上报时的概率。对于继电保护来说，还引入了一些附加概念。

对于继电保护来说，可靠性系指继电保护系统正确动作的肯定程度。这意味着正确动作的肯定程度和确保不因外部原因而不正确动作的肯定程度。对于报时钟来说，只是每天早上报时是不够的；还必须肯定它不会在半夜报时。从两个方面对可靠性提出的要求，为继电保护系统的可靠性引入了两个新的术语。

“动作可靠性”——表征可靠性的一个方面，它与继电器系统能够正确动作的肯定性有关。

“安全性”——表征可靠性的另一个方面，它和继电器系统不会不正确动作的肯定性有关。

这些附加考虑因素，来源于继电保护系统的动作性质。继电保护系统的误动作（或不正确动作）也如同拒动一样，对系统产生危害。数字式继电保护系统的可靠性必须包括有关动作可靠性和安全性的这些考虑因素。

可靠性的定义是重要和必需的，但需要具有继电保护系统性能的实际数据。很不幸，收集继电保护性能数据是一项困难的工作，并且这些数据反映与继电保护有关的各种不同问题。在参考文献（11）中，对继电器五年动作情况的总结涉及了保护继电器的性能。从1969年到1973年，继电器共动作了5260次。其中，4555次（即87%）为正确动作，而705次（即13%）为不正确动作。在705次不正确动作中，有3次为拒动，其余702次为误动作。利用这些数据分析可靠性时，可能产生误会。在这五年期间，肯定有许多其他继电器没有遇到动作的机会。在这些继电器中，某些继电器可能已处于故障状态，或者已失去动作能力。在继电器的例行维护中，可能已检查出失去动作能力这种故障情况。可能已积累了其他数据，这些数据把动作次数、拒动次数或失去动作能力（但没遇到动作机会）和继电器总数联系起来。这可能使我们了解与这些情况有关的概率。在这个领域中，工作已开展起来，并且正在继续作工作，但可供电力公司利用的已公布论文不多。

在有关继电器的动作方面，已具有某些可以利用的数据，但可靠性目标并没有被人们广泛接受。这种目标的一般提法是含糊的：“使其与现有设备同样好，或者更好”。所要求要能够接受的平均故障间隔时间（MTBF）或平均修理间隔时间（MTTR）多长呢？这个问题的答案可能取决于现行的维护制度。数字式系统正是在这方面能发挥其长处。如果维修计划周期为两年，那么要求在这段时期内不发生故障。还希望能够在例行维修过程中发现和排除故障。在这方面，数字式系统的自试验能力可以发挥作用。因此，看来平均故障间隔时间两年是最低目标，而5年可能是人们更希望的目标。

对于具有处理能力的数字式继电器系统来说，存在进行自试验和自诊断的可能性。利用这些附加功能，数字式继电器系统能够检查其自身的故障，并向运行人员报警。这



使得能够在实际发生故障之前发现故障并排除。这样，能够避免不成功的动作。整个自试验原理代表了数字式继电器系统可靠性考虑的另一个方面。下面归纳了数字式继电器系统的可靠性考虑因素：首先，数字式继电器必须满足动作可靠性和安全性的传统原理；第二，虽然没有足够的证明性资料，但认为现有继电器系统的可靠性是令人满意的，数字式继电器必须在此基础上提高一倍。平均故障间隔时间应当约为5年，以便和维修计算相适应。最后，数字式继电器系统还应当利用其自试验能力提高可靠性。

#### 4.0 故障波形的技术要求

评价数字式阻抗算法的一个重要方面，是使继电器实际承受性能实验。研究制定一组标准的故障实验波形，能够作到这一点。需要作一组基本实验，以便能够方便地比较基于数字技术构成的各种距离保护方案。不过，这不是本文的课题，这种实验条件也适用于评价非数字式继电器。基本实验可认为是标准实验。

表征实验条件的波形应当逼真，并且还应当易于利用软件和硬件产生出来。进一步说，实验波形必须代表继电器保护系统的输入，而不代表直接输入到算法的采样波形数据。也就是说，应当把波形数据的前置滤波包括在继电器系统的实验中。

在讨论故障波形技术要求之前，可能需要回顾一下故障波形的各种构成分量[12]。故障波形由几个分量构成。不同的算法利用故障波形的不同分量。某种故障判定技术中利用的某一分量，在用于另一种故障判定技术中时可能遇到严重的问题。故障波形由工频（60HZ或50HZ）稳态分量，按指数规律衰减的直流偏移分量和高频分量构成。高频分量由两种现象产生。一种高频分量主要因连接于线路两端的设备产生，这种高频分量的频率在150~600HZ之间。另一种高频分量是由于故障产生浪涌的传播和顺次反射而产生的。这种现象产生频率相当高的高频分量。这些高频电压和电流之间的关系并不取决于线路阻抗（ $R + j\omega L$ ）。大多数的数字式阻抗算法能够成功地滤掉因故障浪涌而引起的高频分量。但是，比较难滤掉的低频分量（150~600HZ）可能给算法带来问题。因此，规定的实验波形应当包括这些分量。算法要求的任何滤波措施，都将使信号产生延时和相移。因此，把要求的滤波也包括在评价实验中是很重要的。

#### 4.1 模型

##### 1. 系统的行波模型

由帮乃维尔电力管理局研制的电磁暂态程序（EMTP），就是这种模型中的一种[13]。这种模型足以用于产生实验波形，但由于实验考虑的继电器方案只限于包括基于阻抗技术的继电器，所以未必须采用这种模型。合适的作法是考虑利用对应一组故障条件和系统构成的这种程序包产生波形数据。可把这种数据存贮在磁带上，并用于供重复实验用。采用EMTP模型的优点包括：这种实验波形数据适用于行波继电器和常规型式的继电器；这种模型可能是最好的，而且越来越被人们接受。其缺点如下：获取数据不方便，而且费用高；存在计算机系统之间的格式兼容性问题；为产生和提高这种数据而必需具备人员和机样方面的保证；利用数字式的数据产生模拟数据有一定困难。

##### 2. 稳态模型

这种最简单的模型忽略了故障产生的所有暂态过程。易于利用硬件和软件得出这种

模型产生的波形。稳态模型可用于对继电器保护作初级评价。而且，易于根据故障阻抗、故障种类、故障发生角度和故障位置规定这种模型的参数。

### 3. 集中参考模型

如果模型由代表源阻抗、线路阻抗和负荷阻抗的串联 R—L 构成，那么系统响应中含有稳态和暂态分量。暂态分量由单一负的实数本征值和故障发生间刻决定。它代表所谓的“直流偏移”或  $e^{-\lambda t}$  项。如果把线路模拟为一个或几个串联 R—L 和并电容 C 的网络，那么将产生多本征值响应，该响应中包括有高频分量，特别是在电压波形中更是如此。

已拟定了多本征值系统响应的一般化方程，它包括高频分量，特别是在电压波形中。多本征值模型的一般化方程不难写出，但很重要的问题是确定各本值的适当数值及其相对幅值与相位，但这是困难的。

### 4.2 系统考虑

规定基本开发条件的三个重要考虑因素如下：

1. 应当由逼真的系统模型得出基本实验波形；
2. 较低电压系统的参数和较高电压系统的参数显著不同；
3. 必须考虑线路末端的接线情况（例如电源、负荷、电容器和电抗器）。

### 5.0 特殊硬件要求

这一节论述为实现线路阻抗算法数字计算机硬件系统必须具备的特殊能力。因为不同的算法可能对硬件提出不同的独特要求，所以这一节介绍必须采用的硬件情况。还给出了评价特殊硬件系统的一般导则。

#### 5.1 对存贮器的要求

在选择基于微处理器构成的适当系统时，应当评价各种不同继电保护算法对数据存贮的要求。所有的算法都要求数据存贮。基于采用的处理技术不同，数据存贮可能成为硬件选择中的一个重要考虑因素。

#### 5.2 变电站的环境要求

数字式处理硬件，必须在具有最低限度环境控制设备的条件下，耐受变电所环境中发生的温度和程度变化。还必须允许因灰尘而引起的污染。

如下需能判据可作为选择变电所用计算机继电保护系统的导则。

1. 允许的湿度积限（必须确定）。
2. 允许的温度极限（必须确定）。
3. 允许的污染等级。
4. 符合耐受浪涌和电磁干扰的标准工业实验要求。

#### 5.3 电源

为保证数字式继电保护系统的可靠性，采用良好屏蔽的不停电电源是很重要的。应当按满足如下性能判据的能力，评价这种电源：

1. 电源的可靠性（即电源不发生故障的概率）。
2. 对感应电压浪涌的响应和相应的保护措施。
3. 符合 SWC 要求。



4. 设计基础制造过程中的元件选择与质量控制。

#### 5.4 数据接口

应当用于评价基于计算机构成继电保护系统的一个重要功能，是其提供由其他设备现时供给或非现时供给信息的能力。下面的判据可用于按继电保护系统提供这种信息的能力对其作出评价。

1. 继电器是否提供下列各项信息：
  - A. 故障位置、种类和持续时间？
  - B. 线路负荷，MW，MVAR，A，U？
  - C. 报警和对象？
  - D. 故障过程中的软件事件？

除了上述判据外，可能还要求继电保护系统具有按继电器跳闸特性修改现有程序的能力。变电站运行人员应能够在不退出整套保护的条件下实现该功能。

因为某些或所有这些功能和数据采集系统的设备相接口，所以还必须考虑数据的输出方式。继电保护系统可按其提供信息的能力评价：

- A. 以图或表的形式提供信息。
- B. 按运行人员规定的频度频繁显示信息。

#### 6.0 其他评价判据

在评价线路保护用特定阻抗算法时，还应当考虑除性能判据外的其他因素。下列各项被认为是必须考虑的因素，虽然不能用特殊的实验定量测量方法规定它们。

1. 适应性
2. 诊断能力
3. 人一机接口

**适应性：**继电器必须适用于各种线路条件、输电方式、变电所设计和构成方式、变电所环境条件、二次保护方案和变电所中各种元件的保护方案。线路保护算法必须协调地和启动控制动作的其他保护算法一起工作。

**诊断能力：**在变电所装设计算机的一个突出优点，是通过软件进行自检，以确认系统是否处于正常工作状态。可按规定的正常时间间隔自检，以确定各种系统的情况。数字式系统可提供信息，这些信息不仅能反映误动作的故障，而且还能部分地诊断出其原因。变电站运行人员可利用每一次自诊断的结果，而且如存在误动作可能性可通知系统调度人员，以便委派维护人员检修。

数字式保护系统的每一个特定元件都可以定期地检查。必须检查的元件：测量元件、处理和A/D设备、CPU系统和软件程序。可如下评价自检能力：

1. 系统中是否存在自检和确认能力？
2. 检查和确认系统中的那一部分？
  - A. CPU。
  - B. 输入信号的真实性（那A/D转换器的精度）。
  - C. 输出信号的完好性。
  - D. 干扰噪声电平。

- E. 通信噪声/故障。
- F. 算法执行/逻辑性能。
- G. 电源噪声/故障。

人一机接口：变电所内的可靠、经济和简单的人—机接口应当简单到半熟练电站操作人员就足以操作，并确定必要的信息。该接口还必须在诊断问题和修理方面能够给维修人员提供帮助，并且能为工程评价提供信息。

参考文献（略）

雷云山译自：IEEE, Vol, PAS-104 No.1 1985

展广连校... 参考文献...  

$$V_a = V_b \cdot \frac{d}{c}$$

$$P = (I^2) \cdot R$$

$$T = M \cdot N$$

$$I = I_1 + I_2$$

$$P = P_1 + P_2$$

$$I = I_1 + I_2$$

$$P = P_1 + P_2$$

言 卷

空气中... 电力系统... 电压... 电流... 功率... 频率... 谐波... 噪声... 故障... 保护... 控制... 通信... 数据... 网络... 安全... 可靠... 经济... 简单... 人一机接口... 变电所... 操作人员... 维修人员... 工程评价... 诊断问题... 修理方面... 提供帮助... 提供信息... 参考文献... 展广连校... 雷云山译自... IEEE, Vol, PAS-104 No.1 1985