

基于开关元件通用模型的配网可靠性评估研究

文/云南电网有限责任公司 赵付湘

有统计资料显示,大约有80%的停电事故由配电系统故障所造成,因此配电系统可靠性的研究对保障用户电力供应具有极其重要的意义,目前,可靠性评估已经成为配电系统规划决策中一项常规工作。

本文提出一种“广义开关”的模型对复杂配电网进行等值简化,并且把分段开关和故障指示器的优化配置,将元件归于开关,使系统简化成开关的串并联形式,进而可以比较容易地求得简化后系统的可靠性指标,进而提高配电系统的可靠性水平。

等值参数和优化配置

1. 广义开关的定义

以开关为始端,从电源处开关(断路器)开始向下游搜索,遇到下一个开关或者线路末端时停止搜索,将搜索范围内的元件归于此开关,并称之为广义开关。

通过上述定义,配电网的广义开关主要包含三类:广义断路器、广义隔离开关和广义熔断器。

在实际工程当中,对已经建设好的网架有时要求不改变原来网架上分段开关的数量,只要求对其位置进行优化配置。这样像上面提到的简单分段法、随机优化类算法

和动态规划法等不能实现这样的要求,它们求解开关优化问题时,分段开关的数量和位置都是未知的,这就需要我们考虑用其他的方法来求解这类问题。本文中采用了一维组合算法对分段开关的位置进行了优化。优化流程如图1所示。

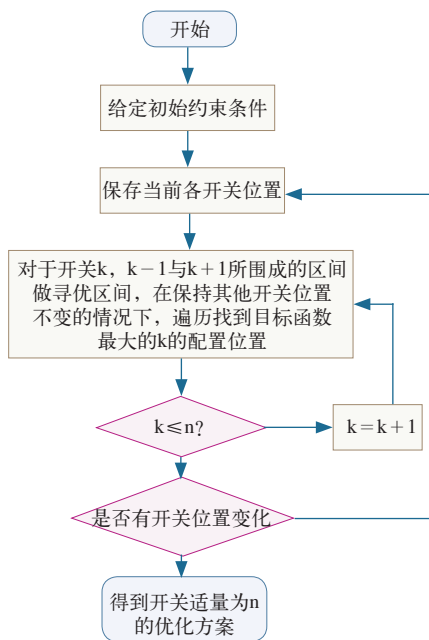


图1 分段开关优化配置应用流程图

由于故障指示器的配置能够大大减少故障定位时间,我们在对故障指示器进行优化配置的时候应该能体现优化配置方案在减少故障时间方面的优越性,所以我们以系统平均停电持续时间SAIDI最小为目

标,对故障指示器进行配置。该优化方案的目标函数为

$$F = \min SAIDI \quad (1)$$

若不同的方案其SAIDI相同时,则考虑取用系统用户失电损失相对较小的方案。

在上述定义中,须注意两点:①广义熔断器只含有熔断器、变压器和负荷,有时甚至只含熔断器和负荷;②联络开关连接的是备用电源,在正向搜索时联络开关没有下游,所以广义开关中不包含广义联络开关。

利用广义开关的定义,可以将复杂的配电网简化为三类广义开关的串并联形式。如图2所示为一简单配电网,此配电网含4个开关,其中1个断路器,2个隔离开关,1个熔断器,有备用电源AS,联络开关此处未画出。通过上述定义和说明,可将此网络进行分块形成广义开关:支路0-1和支路1-5划分到断路器a,支路1-2、支路2-3和支路3-7划分到隔离开关b,以此类推得到如图3所示,将网络划分成4部分,每一部分将等效成一个广义开关A-D,原网络也简化成有广义开关A-D串并联构成如图4所示。

2. 广义开关网络的等值参数计算

按照第2节的方法进行广义开关

的分块等效之后,广义开关具有整体性,其内部元件故障后果一致,因此广义开关的等值故障率采用内部多元件串联的公式计算:

假设广义开关中包含 n 个元素,第 i 个元件的故障率为 λ_i ,则广义开关的等值故障率

$$\lambda_X = \sum_{i \in X} \lambda_i \quad (2)$$

例如广义开关A的等值故障率

$$\lambda_A = \lambda_1 + \lambda_4 \quad (3)$$

负荷点的停运时间根据故障点的类型不同而不同。故障的类型可以被分为三类:第一类故障是只需断开隔离开关即可隔离故障点保证负荷点的正常运作;第二类故障是必须完全修复此次故障才能使负荷点正常运作;第三类故障是故障被隔离开关隔离断开之后,必须通过联络开关将备用电源接入网络才能使负荷点正常运作。负荷点 i 的年故障停运时间为

$$ui = ui_a + ui_b + ui_c \quad (4)$$

开关通用模型

邻接矩阵是基于图论方法用于描述网络节点间连接关系的矩阵,记 A ,这是一个 n 阶方阵(n 为网络的节点数),其对角元素取固定值0。本文采用节点间邻接矩阵来描述配电网中节点的连接关系和开关的位置。

$$a_{ij} = \begin{cases} 0 & \text{节点 } i, j \text{ 无连接关系} \\ 1 & \text{支路 } i-j \text{ 在 } i \text{ 端配置有开关} \\ 2 & \text{支路 } i-j \text{ 在 } i \text{ 端未配置有开关} \end{cases} \quad (5)$$

由式(4)可以形成图1网络的节点邻接矩阵

$$A = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 2 & 0 & 1 & 0 & 0 & 2 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 2 & 0 & 2 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 2 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 2 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 2 & 0 & 0 & 0 & 0 & 2 \\ 0 & 2 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 2 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 2 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 2 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (6)$$

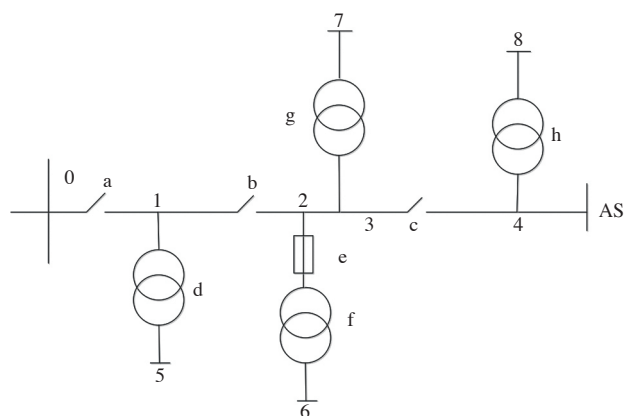


图2 简单配网初始结构图

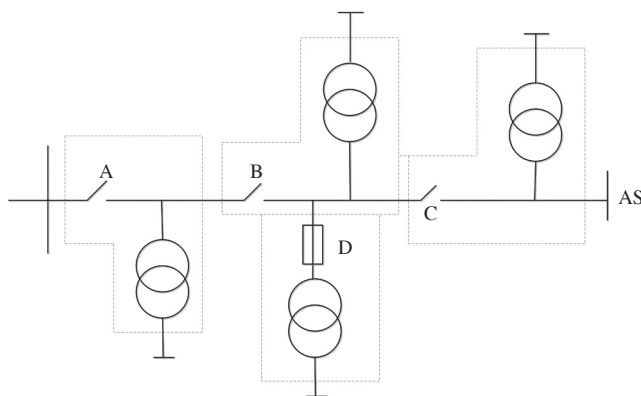


图3 广义开关的分块实现与元件合并

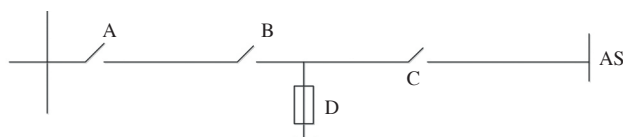


图4 最终广义开关的串并联模型

将配电网结构信息形成节点邻接矩阵之后,按照下述算法对邻接矩阵进行搜索,可以将配电网等效成广义开关串并联的形式。具体算法如下:

(1) 令行 $i=0$,列 $j=0$,广义开关编号 $s=1$;

(2) 搜索第 i 行的元素,若 $=1$,则将该支路划到当前广义开关 s ,跳转到(3);若第 i 行没有1元素,则 $i=i+1$, $j=0$,开始搜索下一行中的1元素;

(3) 若 $=1$,则表明该广义开关已经形成,令 $j=j+1$, $s=s+1$,跳转到(2);若 $=2$,则继续搜索 j

行的2元素,若该行没有其他2元素表明该广义开关已经形成,如有则记录这些2元素所在的列号,当搜索完 j 行后,采用相同的方法搜索这些列号对应的行,直到此广义开关形成,令 $j=j+1$, $s=s+1$,跳转到(2)。

(4) 当 $i=n$, $j=n$,则搜索结束。

对于图1的配电网经过上述算法搜索后被等效为4个广义开关的串并联:支路0-1和支路1-5与断路器a等效为广义开关A,支路1-2、支路2-3和支路3-7和隔离开关b等效为B,支路3-4、支路4-8和隔离开关c等效为C,支路2-6和熔断器e等效为D。EA