

基于虚拟故障端口法的变结构电力系统故障计算方法

曹国臣¹, 陈 崑²

(1. 东北电力学院, 吉林 吉林 132012; 2. 吉林供电公司, 吉林 吉林 132001)

摘要: 在变结构电力系统中创建网络操作端口和虚拟故障端口,向网络操作端口追加一对称网络模拟网络操作,向虚拟故障端口追加一组对称或不对称的简单网络模拟故障,在序坐标下建立起变结构电力系统故障计算模型;以网络操作端口和虚拟故障端口为边界端口将变结构故障电力系统分解成模拟网络操作的对称网络部分、无故障对称网络部分和描述故障的简单网络部分,基于补偿法和叠加原理,提出了一种变结构电力系统故障计算的新方法。这种方法具有: 可自动适应电力系统网络结构的变化; 无需形成复合序网; 简单故障与复杂故障计算方法统一; 互感支路故障与非互感支路故障模拟方法相同; 模拟故障的网络结构十分简单,易于利用计算机形成其数学模型等特点。

关键词: 电力系统; 网络操作端口; 虚拟故障端口; 对称网络; 故障计算

中图分类号: TM744 **文献标识码:** A **文章编号:** 1003-4897(2003)11-0001-06

1 引言

在电力系统设计、事故分析、继电保护整定计算及其动作行为分析过程中,需要进行电力系统故障计算。由于故障电气量随着电力系统运行方式的变化而变化,为获得故障电气量的最大值或最小值,在故障计算中需要计及网络操作的影响。这种计及网络操作影响的电力系统故障计算简称为变结构电力系统故障计算。变结构电力系统故障可根据网络操作信息采用修改原始数据重新形成网络节点参数矩阵法或修改原网节点参数矩阵法进行计算。由于每进行一次网络操作均需要重新形成或修改网络节点参数矩阵,计算量很大,尤其是当电力系统发生多次网络操作时,问题尤为突出。为提高变结构电力系统故障计算的速度,文献[1~3]在基于对称分量法的常规故障计算方法的基础上,采用向原网追加相应的支路阻抗来模拟网络操作,根据补偿法和叠加原理,提出了可适应电力系统网络结构变化的变结构电力系统故障计算方法。这种方法与常规基于对称分量法的故障计算方法存在着同样的问题,即计算变结构电力系统复杂故障必须引入理想变压器,结果造成序网连接复杂、通用性差。针对这种情况,文献[4,5]将复杂故障处理成网络结构的变化,采用先从变结构电力系统中切除故障支路然后再接入一组不对称网络的方法来模拟复杂故障,基于对称分量法和相序参数变换技术提出了一种无需形成

复合序网、可适应电力系统网络结构变化的变结构电力系统复杂故障计算方法。遗憾的是,这种模拟复杂故障的方法带来了新的问题:(1)当故障涉及到某互感组中的任意一条或几条支路时,必须先切除整组互感支路然后再接入描述故障的不对称互感网络,造成互感支路故障模拟方法复杂化,特别是当故障涉及到多组互感支路时情况尤为严重;(2)模拟故障所需的网络往往是无规律可循的不对称复杂网络,很难利用计算机自动形成不对称网络的数学模型。为解决这些问题,本文研究了基于虚拟故障端口法的变结构电力系统故障计算方法。

2 故障的模拟

2.1 断相故障的模拟

设电力系统中互感支路 $i-j$ 的 i 节点侧发生了断相故障,断相端口为 i, t 。首先在节点 i 接入一条阻抗为 -1.0 的虚拟支路 if ,然后在节点 f, t 之间接入一条阻抗为 1.0 的虚拟支路,即可创建虚拟断相端口 P ,见图1。由图1可见,在虚拟断相端口 P 追加表1所示的简单网络即可模拟支路 $i-j$ 上的各种断相故障。

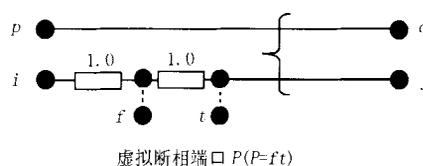


图1 虚拟断相端口的创建

Fig. 1 Creation of virtual port for open phase fault

基金项目: 教育部高等学校骨干教师资助计划项目(GG-0808-10188-1039)

表 1 模拟断相故障的简单网络

Tab.1 Simple network for simulating open phase fault

单相断相 (以 a 相断相为例)	两相断相 (以 ab 两相断相为例)	三相断相
f_a ● $\xrightarrow{-1.0}$ ● t_a f_b ● ● t_b f_c ● ● t_c	f_a ● $\xrightarrow{-1.0}$ ● t_a f_b ● $\xrightarrow{-1.0}$ ● t_b f_c ● ● t_c	f_a ● $\xrightarrow{-1.0}$ ● t_a f_b ● $\xrightarrow{-1.0}$ ● t_b f_c ● $\xrightarrow{-1.0}$ ● t_c

2.2 短路故障的模拟

设电力系统中互感支路 ij 上距节点 i 侧 百分点处的 d' 点发生了短路故障,实际短路端口为 d' 和参考节点 O 。在短路点 d' 处接入一条阻抗为 -1.0 的虚拟支路 $d'-d$,即可创建虚拟短路端口 d, O ,见图 2。由图 2 可见,在虚拟短路端口 d, O 追加表 2 所示的简单网络即可模拟支路 ij 上的各种短路故障。

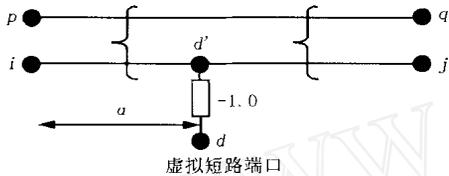


图 2 虚拟短路端口的创建

Fig.2 Creation of virtual port for short circuit fault

表 2 模拟短路故障的简单网络

Tab.2 Simple network for simulating short circuit fault

单相接地短路 (以 a 相接地为例)	两相短路 (以 ab 短路为例)
d_a ● d_b ● d_c ● ΔZ_f \downarrow ● 0	d_a ● d_b ● d_c ● ΔZ_f \downarrow ● ΔZ_f \downarrow ● 0
两相接地短路 (以 bc 接地为例)	三相短路
d_a ● d_b ● d_c ● ΔZ_f \downarrow ● ΔZ_f \downarrow ● 0	d_a ● d_b ● d_c ● ΔZ_f \downarrow ● ΔZ_f \downarrow ● ΔZ_f \downarrow ● 0

注:当发生金属性短路时,取 $Z_f = 1.0$,否则取 $Z_f = 1.0 +$ 短路点过渡电阻 R_f (对单相接地短路、两相接地短路、三相短路)或取 $Z_f = 1.0 +$ 短路点过渡电阻 R_f 的一半(对两相短路)。

2.3 复杂故障的模拟

根据复杂故障信息,将 2.1 条和 2.2 条所介绍的方法进行适当组合即可创建复杂故障的虚拟故障端口完成对复杂故障的模拟。

3 故障计算原理

设在变结构电力系统中发生了 n 重故障(其中, m_1 重断相故障, m_2 重短路故障)。将系统内的发电机用电源 I_{g012} 来表示;根据故障信息,采用 2.1 条和 2.2 条的方法创建虚拟故障端口 p 和 d ,接入描述断相故障和短路故障所需的简单网络;根据网络操作信息,采用文献[1]介绍的方法模拟网络操作,接入描述网络操作所需的对称网络;以虚拟故障端口和网络操作端口为边界,将故障电力系统分解成模拟网络操作的对称网络部分、无故障对称网络部分和描述故障的简单网络部分,便建立起故障计算模型,见图 3。

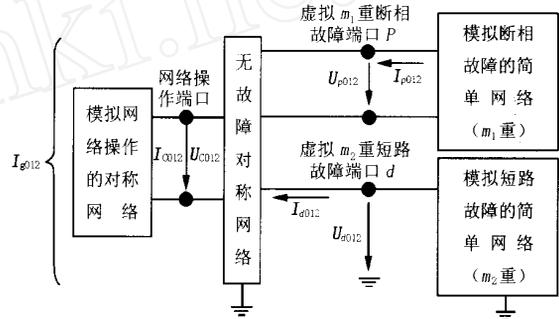


图 3 故障计算模型

Fig.3 Model for fault calculations

根据迭加原理,图 3 中无故障对称网络的节点电压应等于发电机节点注入电流 I_{g012} 产生的节点电压、虚拟故障端口注入电流 I_{p012} 和 I_{d012} 产生的节点电压和网络操作端口注入电流 I_{c012} 产生的节点电压之和。对具体的电力系统来讲,发电机节点注入电流 I_{g012} 已给定,因此,故障计算的关键在于如何计算无故障对称网络虚拟故障端口注入电流 I_{p012} 、 I_{d012} 和网络操作端口注入电流 I_{c012} 。

4 无故障对称网络端口注入电流的计算

计算无故障对称网络端口注入电流 I_{p012} 、 I_{d012} 和 I_{c012} 的具体步骤为:(1)形成模拟故障的简单网络虚拟故障端口导纳矩阵;(2)形成模拟网络操作的对称网络支路阻抗矩阵;(3)形成无故障对称网络虚拟故障端口和网络操作端口的阻抗矩阵和开路电压矩阵;(4)列出计算模型中各端口边界方程,联立解出虚拟故障

端口注入电流和网络操作端口注入电流。

4.1 模拟故障的简单网络虚拟故障端口导纳矩阵的形成

根据故障类型分别从表1和表2中找出 m_1 个模拟断相故障所需的简单网络和 m_2 个模拟短路故障所需的简单网络,在 abc 坐标下逐个形成简单网络的虚拟故障端口导纳矩阵,经相序参数变换可求得简单网络在 012 坐标下的虚拟故障端口导纳矩阵,相应的变换公式为:

$$y_{m012,k} = T^{-1} y_{mabc,k} T \quad (m = p, k = 1, 2, \dots, m_1; \text{或}: m = d, k = 1, 2, \dots, m_2) \quad (1)$$

式(1)中: T 为对称分量变换矩阵。

由于各个简单网络间无电磁耦合关系,利用每个简单网络在 012 坐标下的虚拟故障端口导纳矩阵构成对角矩阵,便形成了模拟断相故障和短路故障所需的虚拟故障端口导纳矩阵 Y_{p012} 和 Y_{d012} 。

4.2 模拟网络操作的对称网络支路阻抗矩阵的形成

根据网络操作信息和文献[6],可形成模拟网络操作所需的支路阻抗阵 Z_{c012} 。

4.3 无故障对称网络端口阻抗矩阵的形成

根据故障信息和网络操作信息,在无故障对称网络中创建出虚拟故障端口和网络操作端口,计算出各端口的阻抗参数,即可形成无故障对称网络的端口阻抗矩阵。

4.3.1 虚拟故障端口阻抗参数的计算

设电力系统中发生 m_1 重断相故障和 m_2 重短路故障,采用第2.1条和第2.2条所介绍的方法对实际断相端口和短路端口进行处理,便得到虚拟断相端口和虚拟短路端口,如图4所示。应注意,在图4中除新增节点 $f_i, t_i, \dots, f_p, t_p; d_i, d_i, \dots, d_p, d_p$ 以外,对原网节点来讲网络结构已恢复到无故障状态,因此,如果不计量纲关系,在节点 i 注入单位电流时在节点 m 产生的电压就等于原网节点阻抗矩阵中第 i 行第 m 列元素 Z_{im} 。

在图4中,支路 $p-q$ 代表着一组与支路 $i-j$ 有零序互感的支路,故障前的分块支路导纳矩阵为:

$$\begin{bmatrix} I_{ij} \\ I_{pq} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} y_{ij-ij} & y_{ij-pq} \\ y_{pq-ij} & y_{pq-pq} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{U}_{ij} \\ \dot{U}_{pq} \end{bmatrix}$$

4.3.1.1 自阻抗参数的计算

根据端口自阻抗参数的物理意义,由图4可求得各端口的自阻抗参数。

(1) 虚拟断相端口的自阻抗

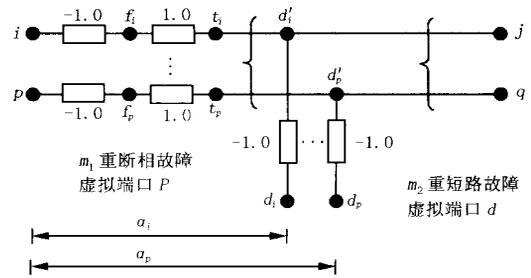


图4 虚拟故障端口示意图

Fig.4 Sketch of virtual fault port

当断相故障发生在互感支路 $i-j$ 时:

$$Z_{f_{iti}-f_{ipi}} = \dot{U}_{f_{iti}}^{(f_{iti})} = y_{ij-ij} (\dot{U}_{f_{iti}}^{(f_{iti})} - 1.0) + y_{ij-pq} \dot{U}_{pq}^{(f_{iti})} + 1.0 \quad (2)$$

在端口 $f_i t_i$ 注入单位电流时,原网节点 i, j, p, q 的电压可由原网节点阻抗参数求得,即:

$$\dot{U}_m^{(f_{iti})} = \dot{U}_{f_{iti}}^{(m)} = y_{ij-ij} \dot{U}_{ij}^{(m)} + y_{ij-pq} \dot{U}_{pq}^{(m)} \quad (m = i, j, p, q) \quad (3)$$

当断相故障发生在互感支路 $p-q$ 时,虚拟断相端口自阻抗 $Z_{f_{ptp}-f_{pjp}}$ 的计算方法与 $Z_{f_{iti}-f_{ipi}}$ 基本相同。

(2) 虚拟短路端口的自阻抗

当短路故障发生在互感支路 $i-j$ 时:

$$Z_{d_i-d_i} = \dot{U}_{d_i}^{(d_i)} = i \dot{U}_j^{(d_i)} + (1-i) \dot{U}_i^{(d_i)} + i(1-i) Z_{ij-ij} - 1.0 \quad (4)$$

式(4)中 Z_{ij-ij} 为支路 $i-j$ 的支路阻抗。

在节点 d_i 注入单位电流时,原网节点 i, j 的电压可由原网节点阻抗参数求得,即:

$$\dot{U}_m^{(d_i)} = i \dot{U}_j^{(m)} + (1-i) \dot{U}_i^{(m)} \quad (m = i, j) \quad (5)$$

当短路故障发生在互感支路 $p-q$ 时,虚拟短路端口自阻抗 $Z_{d_p-d_p}$ 的计算方法与 $Z_{d_i-d_i}$ 基本相同。

4.3.1.2 互阻抗参数的计算

根据端口互阻抗参数的物理意义,由图4可求得各端口间的互阻抗参数。

(1) 虚拟断相端口间的互阻抗

$$Z_{f_{iti}-f_{pjp}} = \dot{U}_{f_{iti}}^{(f_{pjp})} = y_{pq-ij} \dot{U}_{ij}^{(f_{pjp})} + y_{pq-pq} \dot{U}_{pq}^{(f_{pjp})} \quad (6)$$

式(6)中 $\dot{U}_m^{(f_{pjp})}$ ($m = i, j, p, q$) 可由式(3)求得。

(2) 虚拟短路端口间的互阻抗

$$Z_{d_i-d_p} = \dot{U}_{d_i}^{(d_p)} = p (i \dot{U}_j^{(d_p)} + (1-i) \dot{U}_i^{(d_p)}) + (1-p) (i \dot{U}_j^{(p)} + (1-i) \dot{U}_i^{(p)}) \quad (7)$$

(3) 虚拟短路端口与虚拟断相端口间的互阻抗
当虚拟短路端口与虚拟断相端口在同一支路时:

$$Z_{d_i-f_{iti}} = \dot{U}_{f_{iti}}^{(d_i)} = y_{ij-ij} \dot{U}_{ij}^{(d_i)} + y_{ij-pq} \dot{U}_{pq}^{(d_i)} - (1-i) \quad (8)$$

式(8)中 $\dot{U}_m^{(d_i)}$ ($m = i, j, p, q$) 可由式(5)求得。

当虚拟短路端口与虚拟断相端口不在同一支路时:

$$Z_{di-fp} = \dot{U}_{fp}^{(di)} = y_{pq-ij} \dot{U}_{ij}^{(di)} + y_{pq-pq} U_{pq}^{(di)} \quad (9)$$

4.3.2 网络操作端口阻抗参数的计算

网络操作端口由原网相应节点构成,因此,网络操作端口阻抗参数可由原网节点阻抗参数直接求得。

4.3.2.1 自阻抗参数的计算

设第 $k(k=1, 2, \dots, s)$ 条网络操作支路的两侧节点为 i, j 。根据端口自阻抗参数的物理意义,网络操作端口 i, j 的自阻抗可由原网节点阻抗参数求得:

$$Z_{ij-ij} = \dot{U}_{ij}^{(ij)} = Z_{ii} - 2Z_{ij} + Z_{jj} \quad (10)$$

4.3.2.2 互阻抗参数的计算

设两条网络操作支路两侧的节点分别为 i, j 和 p, q 。根据端口互阻抗参数的物理意义,网络操作端口 i, j 与 p, q 之间的互阻抗可由原网节点阻抗参数求得:

$$Z_{ij-pq} = \dot{U}_{pq}^{(ij)} = (Z_{ip} - Z_{iq}) - (Z_{jp} - Z_{jq}) \quad (11)$$

4.3.3 虚拟故障端口与网络操作端口间互阻抗参数的计算

设虚拟断相端口为 f, t , 虚拟短路端口为 d, O , 网络操作端口为 r, s 。

4.3.3.1 虚拟断相端口与网络操作端口间的互阻抗参数的计算

根据端口互阻抗参数的物理意义和式(3),虚拟断相端口与网络操作端口之间的互阻抗可由原网节点阻抗参数求得:

$$Z_{ft-rs} = \dot{U}_{rs}^{(ft)} = y_{ij-ij} \dot{U}_{ij}^{(rs)} + y_{ij-pq} U_{pq}^{(rs)} \quad (12)$$

4.3.3.2 虚拟短路端口与网络操作端口间的互阻抗参数的计算

根据端口互阻抗参数的物理意义和式(5),虚拟短路端口与网络操作端口之间的互阻抗可由原网节点阻抗参数求得:

$$Z_{d-rs} = \dot{U}_{rs}^{(d)} = \dot{U}_j^{(rs)} + (1 -) U_i^{(rs)} \quad (13)$$

应指出,(1)在式(2)~(13)中令 i 和 $p=0$ 或 1,即得到节点短路时计算虚拟故障端口阻抗参数的公式;(2)令互导纳为零,即得到正负序网或零序互感支路故障时计算虚拟故障端口阻抗参数的公式。

4.3.4 无故障对称网络端口阻抗矩阵的形成

无故障对称网络端口阻抗参数全部求出后,利用各端口自阻抗参数和各端口之间的互阻抗参数可

形成虚拟断相端口等值阻抗矩阵 Z_{pp012} 、虚拟短路端口等值阻抗矩阵 Z_{dd012} 、网络操作端口等值阻抗矩阵 Z_{cc012} 、虚拟断相端口与虚拟短路端口阻抗矩阵 Z_{pd012} 和 Z_{dp012} 、虚拟断相端口与网络操作端口阻抗矩阵 Z_{pc012} 和 Z_{cp012} 、虚拟短路端口与网络操作端口阻抗矩阵 Z_{dc012} 和 Z_{cd012} 。

4.4 无故障对称网络端口开路电压矩阵的形成

根据开路电压的物理意义,在图3中,以虚拟故障端口、网络操作端口和发电机节点为边界可以作出计算无故障对称网络端口正序开路电压的等值电路,见图5。

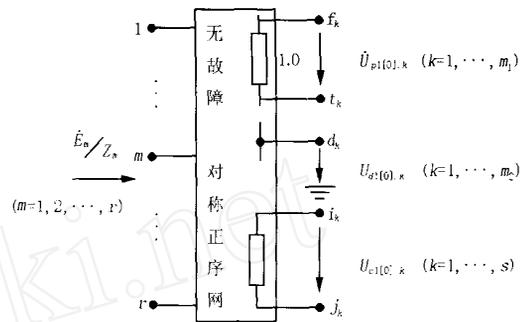


图5 无故障对称网络端口正序开路电压的计算

Fig. 5 Positive sequence open circuit voltage on symmetrical network port without fault

在图5中,端口 f_k, t_k 为第 k 个虚拟断相端口,端口 d_k 为第 k 个虚拟短路端口, i_k, j_k 为第 k 个网络操作端口,节点 $1, 2, \dots, r$ 为发电机节点, \dot{E}_m 和 Z_m 分别为第 m 台发电机的等值电势和等值内阻抗。应注意,图中对原网节点来讲网络结构已恢复到无故障状态,因此,如果不计量纲关系,在节点 m 注入单位电流时在节点 i 产生的电压就等于原网节点阻抗矩阵中第 m 行第 i 列元素 Z_{mi} 。

根据迭加原理,由图5可求得第 k 个虚拟断相端口、虚拟短路端口、网络操作端口的正序开路电压:

$$\dot{U}_{p1[0].k} = \sum_{m=1}^r \dot{U}_{fktk(1)}^{(m)} \frac{\dot{E}_m}{Z_m} \quad (k=1, 2, \dots, m_1) \quad (14)$$

$$\dot{U}_{d1[0].k} = \sum_{m=1}^r \dot{U}_{dk(1)}^{(m)} \frac{\dot{E}_m}{Z_m} \quad (k=1, 2, \dots, m_2) \quad (15)$$

$$\dot{U}_{c1[0].k} = \sum_{m=1}^r \dot{U}_{ikjk(1)}^{(m)} \frac{\dot{E}_m}{Z_m} \quad (k=1, 2, \dots, s) \quad (16)$$

式中 $\dot{U}_{fktk(1)}^{(m)}$ 和 $\dot{U}_{dk(1)}^{(m)}$ 可分别由式(3)和(5)求得。

考虑到故障计算中假设电源三相对称,所以,对称网络端口的负序和零序开路电压均为零。

计算出各端口开路电压之后,可形成虚拟断相

端口开路电压矩阵 $U_{p012/0j}$ 、虚拟短路端口开路电压矩阵 $U_{d012/0j}$ 、网络操作端口开路电压矩阵 $U_{c012/0j}$ 。

4.5 无故障对称网络端口注入电流的计算

由图 3, 可列出计算模型中各端口边界方程:

$$\begin{bmatrix} U_{p012} \\ U_{d012} \\ U_{c012} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} U_{p012/0j} \\ U_{d012/0j} \\ U_{c012/0j} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} Z_{pp012} & Z_{pd012} & Z_{pc012} \\ Z_{dp012} & Z_{dd012} & Z_{dc012} \\ Z_{cp012} & Z_{cd012} & Z_{cc012} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_{p012} \\ I_{d012} \\ I_{c012} \end{bmatrix} \quad (17)$$

$$\begin{bmatrix} U_{p012} \\ U_{d012} \end{bmatrix} = - \begin{bmatrix} Y_{p012} & 0 \\ 0 & Y_{d012} \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} I_{p012} \\ I_{d012} \end{bmatrix} \quad (18)$$

$$\begin{bmatrix} U_{c012} \end{bmatrix} = - \begin{bmatrix} Z_{c012} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_{c012} \end{bmatrix} \quad (19)$$

式(17)~(19)中 U_{p012} 、 U_{d012} 、 U_{c012} 为无故障对称网络虚拟断相端口、虚拟短路端口、网络操作端口电压矩阵; I_{p012} 、 I_{d012} 、 I_{c012} 为无故障对称网络虚拟断相端口、虚拟短路端口、网络操作端口注入电流矩阵。

将式(17)~(19)联立求解, 可求得无故障对称网络各端口注入电流, 即:

$$\begin{bmatrix} I_{p012} \\ I_{d012} \\ I_{c012} \end{bmatrix} = - \left\{ \begin{bmatrix} Z_{pp012} & Z_{pd012} & Z_{pc012} \\ Z_{dp012} & Z_{dd012} & Z_{dc012} \\ Z_{cp012} & Z_{cd012} & Z_{cc012} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \begin{bmatrix} Y_{p012} & 0 \\ 0 & Y_{d012} \end{bmatrix}^{-1} \\ Z_{c012} \end{bmatrix} \right\}^{-1} \begin{bmatrix} U_{p012/0j} \\ U_{d012/0j} \\ U_{c012/0j} \end{bmatrix} \quad (20)$$

5 任意节点电压的计算

求出无故障对称网络各端口注入电流以后, 根据线性网络的特点和迭加原理, 由图 3 可求得无故障对称网络中原网任意节点的电压:

$$U_{(r)} = Z_{(r)} (A_g I_{g(r)} + A_p I_{p(r)} + A_d I_{d(r)} + A_c I_{c(r)}) \quad (21)$$

式(21)中: $Z_{(r)}$ 为原网 r 序节点阻抗阵;

A_g 、 A_p 、 A_d 、 A_c 为相应的关联矩阵;

$I_{g(r)}$ 、 $I_{p(r)}$ 、 $I_{d(r)}$ 、 $I_{c(r)}$ 为无故障 r 序对称网络端口注入电流, 即补偿电流。

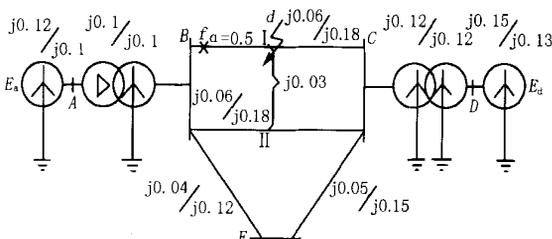


图 6 算例系统接线图

Fig. 6 Diagram of system connection

6 算例

系统如图 6, 图中参数为 $S_b = 100$ MVA 下的标么值, 分子上的数字为正(负)序电抗, 分母上的数字为零序电抗。试计算当 B-E 线路切除后, f 处 ab 两相断相加 d 处 b 相接地短路时, 各节点电压。

计算结果见表 3。

表 3 故障计算结果

Tab. 3 Calculation results on fault

节点编号	正序电压/p. u.	负序电压/p. u.	零序电压/p. u.
A	0.943 25°	0.111 - 47°	0
B	0.820 19°	0.203 - 47°	0.110 74°
C	0.742 17°	0.276 - 43°	0.211 77°
D	0.840 8°	0.154 - 43°	0.110 77°
E	0.7420 17°	0.276 - 43°	0.211 77°

7 结论

(1) 引入虚拟节点和虚拟支路可创建虚拟故障端口, 向虚拟故障端口追加简单的对称或不对称网络可方便地模拟无互感支路和互感支路上的各种故障, 且模拟方法相同;

(2) 基于虚拟故障端口法和网络操作模拟方法, 可在不修改原网数学模型的条件下完成变结构电力系统故障计算, 并具有复杂故障计算方法简单、易于计算机实现等特点。

参考文献:

- [1] 曹国臣, 任先文. 变结构与参数电力系统中互感线路非对称断相故障的快速计算[J]. 电力系统自动化, 1993, 17(6): 19-25.
- [2] 曹国臣. 变结构与参数电力系统中互感线路短路故障的快速计算[J]. 电力系统自动化, 1993, 17(11): 23-27.
- [3] 米麟书, 吕飞鹏, 等. 变结构电力系统短路故障的一种新算法[J]. 中国电机工程学报, 1994, 13(1): 19-23.
- [4] 曹国臣. 变结构电力系统任意复杂故障的快速计算[J]. 中国电机工程学报, 1995, 15(5): 18-22.
- [5] 曹国臣, 祝滨. 计及网络操作时电网任意复杂故障的简便计算方法[J]. 电力系统自动化, 2002, 26(16): 26-29.
- [6] 曹国臣. 参数保留法及其在复杂电网故障分析计算中的运用[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学博士学位论文, 1998.

收稿日期：2003-07-22

作者简介：

曹国臣(1954-),男,博士,教授,主要从事电力系统继电保护与安全监控方面的教学和研究工作;

陈 崑(1969-),女,硕士,工程师,主要从事电力系统继电保护运行、管理工作。

Method based on virtual fault ports to calculate faults in power system with network structure changes

CAO Guo-chen¹, CHEN Wei²

(1. Northeast China Institute of Electric Power Engineering, Jilin 132012, China;

2. Jilin Power Supply Bureau, Jilin 132001, China)

Abstract: After creating network operation ports and virtual fault ports in a power system with network structure changes, a symmetrical network is connected to the network operation ports to simulate network structure changes, some symmetrical or unsymmetrical networks are connected to the virtual fault ports to simulate power system faults, and a model for calculating faults in power system with network structure changes is developed in sequence domain. By taking the network operation ports and the virtual fault ports as boundary ports, a faulted power system with network structure changes is divided into a symmetrical network part to simulate network structure changes, a symmetrical network part without faults and a group of simple unsymmetrical networks to simulate power system faults. Based on the compensation method and the superposition principle, a new method to calculate faults in power system with network structure changes is presented. The method has many advantages, such as being adaptive to network structure changes, avoiding complicated connections among sequence networks, having a unified method to solve simple and complex faults, having the same method to simulate faults on the lines with or without mutual inductance, being easy to constitute the mathematical model of simulation fault networks by computer.

Key words: power system; network operation ports; virtual fault ports; symmetrical network; fault calculations

继往开来 再攀高峰

——《继电器》将从2004年起
由月刊改为半月刊

《继电器》遵循“关注学科发展,理论联系实际,面向应用,为科研、生产一线服务”的宗旨,为广大业内人士提供了一个活跃的学术交流园地。

《继电器》从1973年创刊以来,已取得了一系列令人瞩目的成就:多次被列为全国中文核心期刊、中国科技论文统计源期刊,“中国期刊方阵”双效期刊,被国际著名检索机构 英国科学文摘(SA)、俄罗斯文摘杂志(AJ)及美国剑桥科学文摘(CSA)收录,同时被国内知名的期刊网站中国期刊网、万方数据库等收录,在业界影响较大。

为了更及时、有效地反映学科发展,紧跟时代步伐,服务于科研、生产一线,进一步拓展国内外的交流与合作,《继电器》将从2004年起由月刊改为半月刊。

专业范围: 电力系统继电保护;电力系统分析与稳定控制;电力系统自动化;电力系统远动、通信及信息管理;电力市场;电力系统仿真;电力电子技术在电力系统中的应用等电力相关专业。

主要栏目: 理论分析与计算;应用研究;设计与开发;现场交流;专家论坛;综述;讨论园地;电力系统仿真等。

欢迎大家积极投稿、订阅、刊登广告,一如既往地支持《继电器》!