



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 107732905 B

(45)授权公告日 2020.09.08

(21)申请号 201710980600.2

(51)Int.Cl.

(22)申请日 2017.10.19

H02J 3/00(2006.01)

H02H 7/28(2006.01)

(65)同一申请的已公布的文献号

申请公布号 CN 107732905 A

审查员 刘勇

(43)申请公布日 2018.02.23

(73)专利权人 国家电网公司

地址 100031 北京市西城区西长安街86号

专利权人 国网陕西省电力公司电力科学研究院

(72)发明人 刘健 张志华 同向前 张小庆

周倩 张钰声 豆敏娜

(74)专利代理机构 西安通大专利代理有限责任公司
61200

代理人 田洲

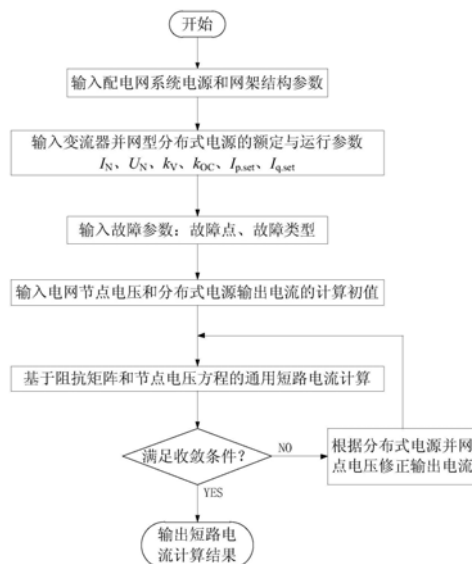
权利要求书2页 说明书6页 附图3页

(54)发明名称

变流器并网型分布式电源的短路电流计算方法

(57)摘要

本发明公开一种变流器并网型分布式电源的短路电流计算方法,包括:1)给定配电网系统电源和网架结构参数;2)给定变流器并网型分布式电源的额定与运行参数;3)给定故障参数;4)设定电网节点电压和分布式电源输出电流的初值;5)基于所建立的阻抗矩阵和节点电压方程进行短路电流计算;6)判断步骤5)所计算短路电流是否满足收敛条件;如果收敛转入步骤8)输出短路电流计算结果;如果不收敛转入步骤7);7)根据分布式电源并网点电压修正输出电流并转入步骤5);8)输出短路电流计算结果。本发明综合考虑了分布式电源的工作模式和低电压时的无功支撑特性,可以更加真实地反映变流器并网型分布式电源在配电网故障期间输出的短路电流。



1. 变流器并网型分布式电源的短路电流计算方法,其特征在于,包括以下步骤:

- 1) 给定配电网系统电源和网架结构参数;
- 2) 给定变流器并网型分布式电源的额定与运行参数;
- 3) 给定故障参数:故障点和故障类型;
- 4) 设定配电网节点电压和分布式电源输出电流的初值;
- 5) 建立配电网的阻抗矩阵和节点电压方程,基于此方程进行短路电流计算;
- 6) 判断步骤5) 所计算短路电流是否满足收敛条件;如果收敛转入步骤8) 输出短路电流计算结果;如果不收敛转入步骤7);
- 7) 根据分布式电源并网点电压修正输出电流并转入步骤5);
- 8) 输出短路电流计算结果;

步骤2) 中变流器并网型分布式电源的额定与运行参数包括:分布式电源的额定电流 I_N ,分布式电源接入点电网的额定电压 U_N ,分布式电源输出无功电流的电压调整率 k_V ,分布式电源过电流系数 k_{OC} ,与分布式电源工作模式相对应的有功电流设定值 $I_{p.set}$,与分布式电源工作模式相对应的无功电流设定值 $I_{q.set}$;

分布式电源能够输出的最大电流为并网变流器的过电流限值:

$$I_{lim} = k_{OC} I_N \quad (1)$$

分布式电源输出电流的无功分量是其接入点电网电压的函数,其特性用式(2)来表示:

$$I_{q,V} = k_V \left(1 - \frac{U}{U_N} \right) I_N \quad (2)$$

式中, U 为分布式电源接入点的当前实际电压;

分布式电源输出电流的无功分量还受到定无功功率控制设定值和分布式电源过电流限值的限制,如式(3)所示:

$$I_q = \begin{cases} I_{q.set}, & I_{q,V} < I_{q.set} \\ I_{q,V}, & I_{q.set} \leq I_{q,V} \leq I_{lim} \\ I_{lim}, & I_{q,V} > I_{lim} \end{cases} \quad (3)$$

式中, I_q 为综合考虑分布式电源的低电压无功支撑特性和工作模式后分布式电源应该输出的无功电流; $I_{q.set}$ 为与分布式电源工作模式相对应的无功电流设定值,如下式所示:

$$I_{q.set} = \begin{cases} \frac{P_0}{\sqrt{3}U_N} \tan \varphi, & \text{定功率因数模式} \\ \frac{Q_{set}}{\sqrt{3}U_N}, & \text{定无功功率模式} \end{cases} \quad (4)$$

式中, P_0 为电网发生故障前时刻分布式电源输出的有功功率, $\tan \varphi$ 为定功率因数控制模式下的功率因数角的正切值; Q_{set} 为分布式电源工作于定无功功率控制模式下的上级调度设定值;

分布式电源输出电流的有功分量受到分布式电源过电流限值的限制,如式(5)所示:

$$I_{p.lim} = \sqrt{I_{lim}^2 - I_q^2} \quad (5)$$

分布式电源输出电流的有功分量应为:

$$I_p = \begin{cases} I_{p.set}, & I_{p.set} < I_{p.lim} \\ I_{p.lim}, & I_{p.set} \geq I_{p.lim} \end{cases} \quad (6)$$

式中, I_p 为综合考虑分布式电源的低电压无功支撑特性和工作模式后分布式电源应该输出的有功电流; $I_{p.set}$ 为与分布式电源工作模式相对应的有功电流设定值, 即分布式电源工作于最大功率点跟踪模式下的最大功率点电流, 或分布式电源工作于定有功功率模式下的上级调度设定值;

变流器并网型分布式电源在电网故障期间的短路输出电流为:

$$\dot{I}_{DG} = I_p + jI_q \quad (7)$$

在一次短路电流计算完成之后, 根据新的分布式电源接入点电压对分布式电源的输出电流进行修正, 用修正后的电流源参数再次进行短路电流计算, 直到前后两次迭代运算所得到的分布式电源并网点电压之差小于设定阈值, 即满足收敛条件再输出短路电流计算的最终结果。

变流器并网型分布式电源的短路电流计算方法

技术领域

[0001] 本发明属于电气工程领域,涉及一种变流器并网型分布式电源的短路电流计算方法。

背景技术

[0002] 配电网在运行过程中难免发生故障,其中最严重的故障就是配电网发生短路现象。短路故障的直接结果就是配电网中流过极大的短路电流,而短路电流的热效应和力效应将可能损坏配电网中的电力设备,譬如变压器、线路和开关等,使得供电系统难以及时修复并恢复正常供电,不仅造成设备损失,还严重影响正常工业生产和人民生活。

[0003] 为了避免短路故障的危害和减小损失,一方面在选择配电网设备时,要考虑到设备应具有一定的短时耐受短路电流的能力,另一方面要合理配置继电保护装置,在故障发生时能够及时将故障点从电网中切除。这两个方面的电气设计是否合理,严重依赖于短路电流数值的准确性。因此,短路电流计算是配电网设计的一项重要内容。

[0004] 传统配电网的短路电流计算是相对简单的。传统配电网的设备属性和特征参数都是固定的,譬如电源、变压器、线路、开关、电抗器和补偿电容器等。电源认为是一个理想的电压源,变压器、线路、开关电抗器和补偿电容器都可以等值为一个线性的无源RLC阻抗网络,当系统发生短路,只是改变了配电网的网络结构而已,网络元件的特征参数没有变化,可以利用电路理论直接计算短路电流。

[0005] 以风光等可再生能源发电为主的分布式电源在近年来得到快速发展,分布式电源在未来必将大量接入配电网。分布式电源接入配电网使得配电网由原来的单一电源配电网变为多电源配电网,分布式电源必将影响到配电网的短路电流的大小,因此,在含分布式电源的配电网的短路电流计算中,分布式电源如何处理是关键问题。

[0006] 由于分布式电源容量小,尤其是分布式电源是一个根据外部应用条件可控的有源元件,在配电网短路电流计算中不可能等值为一个理想的电压源。由于风光分布式电源一般都是通过电力电子变流器并网,分布式电源并网变流器具有实时限流作用,因此目前的计算均将分布式电源看作一个恒流源来对待,短路电流取为分布式电源额定电流的一定倍数。

[0007] 实际中,分布式电源是一个可控电源,具有不同的工作模式和要求,譬如单位功率因数模式、定功率模式、低电压无功支撑要求等,这些都将影响到分布式电源在配电网发生短路时的输出电流响应特性,此外分布式电源的当前出力也会影响到短路电流。对此,目前尚无相应的处理方法。

发明内容

[0008] 本发明的目的是提供一种变流器并网型分布式电源的短路电流计算方法,解决现有技术中存在的未能综合考虑分布式电源并网变流器的工作模式和无功支撑要求、进而导致短路电流计算结果不够精确的问题。

[0009] 为了实现上述目的,本发明采用如下技术方案:

[0010] 变流器并网型分布式电源的短路电流计算方法,包括以下步骤:

[0011] 1) 给定配电网系统电源和网架结构参数;

[0012] 2) 给定变流器并网型分布式电源的额定与运行参数;

[0013] 3) 给定故障参数:故障点和故障类型;

[0014] 4) 设定配电网节点电压和分布式电源输出电流的初值;

[0015] 5) 建立配电网阻抗矩阵和节点电压方程,并基于此方程进行短路电流计算;

[0016] 6) 判断步骤5) 所计算短路电流是否满足收敛条件;如果收敛转入步骤8) 输出短路电流计算结果;如果不收敛转入步骤7) ;

[0017] 7) 根据分布式电源并网点电压修正输出电流并转入步骤5) ;

[0018] 8) 输出短路电流计算结果。

[0019] 进一步的,步骤2) 中变流器并网型分布式电源的额定与运行参数包括:分布式电源的额定电流 I_N ,分布式电源接入点电网的额定电压 U_N ,分布式电源输出无功电流的电压调整率 k_V ,分布式电源过电流系数 k_{OC} ,与分布式电源工作模式相对应的有功电流设定值 $I_{p.set}$,与分布式电源工作模式相对应的无功电流设定值 $I_{q.set}$ 。

[0020] 进一步的,分布式电源能够输出的最大电流为并网变流器的过电流限值:

[0021] $I_{lim} = k_{OC} I_N$ (1)。

[0022] 进一步的,分布式电源输出电流的无功分量是其接入点电网电压的函数,其特性用式(2)来表示:

$$[0023] \quad I_{q,V} = k_V \left(1 - \frac{U}{U_N} \right) I_N \quad (2)$$

[0024] 式中, U 为分布式电源接入点的当前实际电压。

[0025] 进一步的,分布式电源输出电流的无功分量还受到定无功功率控制设定值和分布式电源过电流限值的限制,如式(3)所示:

$$[0026] \quad I_q = \begin{cases} I_{q.set}, & I_{q,V} < I_{q.set} \\ I_{q,V}, & I_{q.set} \leq I_{q,V} \leq I_{lim} \\ I_{lim}, & I_{q,V} > I_{lim} \end{cases} \quad (3)$$

[0027] 式中, I_q 为综合考虑分布式电源的低电压无功支撑特性和工作模式后分布式电源应该输出的无功电流; $I_{q.set}$ 为与分布式电源工作模式相对应的无功电流设定值,如下式所示:

$$[0028] \quad I_{q.set} = \begin{cases} \frac{P_0}{\sqrt{3}U_N} \tan \varphi, & \text{定功率因数模式} \\ \frac{Q_{set}}{\sqrt{3}U_N}, & \text{定无功功率模式} \end{cases} \quad (4)$$

[0029] 式中, P_0 为电网发生故障前时刻分布式电源输出的有功功率, $\tan \varphi$ 为定功率因数控制模式下的功率因数角的正切值; Q_{set} 为分布式电源工作于定无功功率控制模式下的上级调度设定值。

[0030] 进一步的,分布式电源输出电流的有功分量受到分布式电源过电流限值的限制,如式(5)所示:

$$[0031] \quad I_{p.\text{lim}} = \sqrt{I_{\text{lim}}^2 - I_q^2} \quad (5)。$$

[0032] 进一步的,分布式电源输出电流的有功分量应为:

$$[0033] \quad I_p = \begin{cases} I_{p.\text{set}}, & I_{p.\text{set}} < I_{p.\text{lim}} \\ I_{p.\text{lim}}, & I_{p.\text{set}} \geq I_{p.\text{lim}} \end{cases} \quad (6)$$

[0034] 式中, I_p 为综合考虑分布式电源的低电压无功支撑特性和工作模式后分布式电源应该输出的有功电流; $I_{p.\text{set}}$ 为与分布式电源工作模式相对应的有功电流设定值,即分布式电源工作于最大功率点跟踪模式下的最大功率点电流,或分布式电源工作于定有功功率模式下的上级调度设定值。

[0035] 进一步的,变流器并网型分布式电源在电网故障期间的短路输出电流为:

$$[0036] \quad \dot{I}_{\text{DG}} = I_p + jI_q \quad (7)。$$

[0037] 进一步的,在一次短路电流计算完成之后,根据新的分布式电源接入点电压对分布式电源的输出电流进行修正,用修正后的电流源参数再次进行短路电流计算,直到前后两次迭代运算所得到的分布式电源并网点电压之差小于设定阈值,即满足收敛条件再输出短路电流计算的最终结果。

[0038] 相对于现有技术,本发明具有以下有益效果:

[0039] 本发明在含分布式电源的配电网的短路电流计算中,综合考虑了分布式电源的工作模式和低电压时的无功支撑特性,可以更加真实地反映变流器并网型分布式电源在配电网故障期间输出的短路电流。

附图说明

[0040] 图1是变流器并网型分布式电源的短路电流计算等值电路模型。

[0041] 图2是考虑低电压无功支撑特性下分布式电源输出无功电流分量随接入点电网电压的变化曲线图;

[0042] 图3是再考虑当前工作模式下分布式电源输出无功电流分量随接入点电网电压的变化曲线图。

[0043] 图4是获取含分布式电源配电网的短路电流的流程图。

[0044] 图5是33节点配电网算例结构图。

具体实施方式

[0045] 下面结合附图和具体实施方式对本发明进行详细说明。

[0046] 在电网短路故障期间,分布式电源输出的有功电流和无功电流分别按照以下方法和步骤确定:

[0047] 1)、在短路电流计算中,分布式电源等值为一个三相对称的压控电流源,其输出电流与端口电压有关,并分解为有功电流分量 I_p 和无功电流分量 I_q 。

[0048] 2)、分布式电源可输出的最大电流为并网变流器的过电流限值,如式(1)所示:

[0049] $I_{lim} = k_{OC} I_N \quad (1)$

[0050] 式中, I_N 为分布式电源的额定电流, k_{OC} 为分布式电源过电流系数。

[0051] 3)、分布式电源输出电流的无功分量是其接入点电网电压的函数,服从图1所示曲线,接入点电网电压越低,输出无功电流越大,为电网提供一定的电压支撑,其特性可用式(2)来表示:

[0052]
$$I_{q,V} = k_V \left(1 - \frac{U}{U_N} \right) I_N \quad (2)$$

[0053] 式中, U 为分布式电源接入点的当前实际电压, U_N 为分布式电源接入点电网的额定电压, k_V 为分布式电源输出无功电流的电压调整率。

[0054] 4)、分布式电源输出电流的无功分量还受到定无功功率控制设定值和分布式电源过电流限值的限制,如式(3)所示:

[0055]
$$I_q = \begin{cases} I_{q,set}, & I_{q,V} < I_{q,set} \\ I_{q,V}, & I_{q,set} \leq I_{q,V} \leq I_{lim} \\ I_{lim}, & I_{q,V} > I_{lim} \end{cases} \quad (3)$$

[0056] 式中, I_q 为综合考虑分布式电源的低电压无功支撑特性和工作模式后分布式电源应该输出的无功电流; $I_{q,set}$ 为与分布式电源工作模式相对应的无功电流设定值,如下式所示:

[0057]
$$I_{q,set} = \begin{cases} \frac{P_0}{\sqrt{3}U_N} \tan \varphi, & \text{定功率因数模式} \\ \frac{Q_{set}}{\sqrt{3}U_N}, & \text{定无功功率模式} \end{cases} \quad (4)$$

[0058] 式中, P_0 为电网发生故障前时刻(以电压向下穿越 $0.9U_N$ 为界)分布式电源输出的有功功率, $\tan \varphi$ 为定功率因数控制模式下的功率因数角的正切值; Q_{set} 为分布式电源工作于定无功功率控制模式下的上级调度设定值。

[0059] 5)、分布式电源输出电流的有功分量受到分布式电源过电流限值的限制,如式(5)所示:

[0060]
$$I_{p,lim} = \sqrt{I_{lim}^2 - I_q^2} \quad (5)$$

[0061] 6)、分布式电源输出电流的有功分量应为:

[0062]
$$I_p = \begin{cases} I_{p,set}, & I_{p,set} < I_{p,lim} \\ I_{p,lim}, & I_{p,set} \geq I_{p,lim} \end{cases} \quad (6)$$

[0063] 式中, I_p 为综合考虑分布式电源的低电压无功支撑特性和工作模式后分布式电源应该输出的有功电流; $I_{p,set}$ 为与分布式电源工作模式相对应的有功电流设定值,即分布式电源工作于最大功率点跟踪模式下的最大功率点电流,或分布式电源工作于定有功功率模式下的上级调度设定值。

[0064] 7)、于是,变流器并网型分布式电源在电网故障期间的短路输出电流为:

[0065]
$$\dot{I}_{DG} = I_p + jI_q \quad (7)$$

[0066] 8)、正是由于变流器并网型分布式电源的输出电流是电压的函数,在配电网发生故障后,并网变流器输出的短路电流需要根据并网点电压值进行不断修正,直到输出电流值不再变化。图4为含变流器并网型分布式电源配电网的短路电流计算流程。在一次短路电流计算完成之后,必须根据新的分布式电源接入点电压对分布式电源的输出电流进行修正,用修正后的电流源参数再次进行短路电流计算,直到前后两次迭代运算所得到的分布式电源并网点电压之差足够小,即满足收敛条件才输出短路电流计算的最终结果。

[0067] 下面通过一个33节点算例来说明本方法的可行性及有益效果。

[0068] 所用33节点算例的网络结构如图5所示。该配电网电压等级为10kV,在节点11、17、28分别接有一个容量为0.5MW变流器并网型分布式电源(图5中的DG1、DG2、DG3),假设每个分布式电源都工作在单位功率因数下的最大功率点跟踪模式,且在故障前均为额定功率输出,每个分布式电源的过电流系数 k_{oc} 为1.5、输出电流的低电压调整率 k_v 为2.0。节点33接有一个电机并网型DG(图5中的DG4),其次暂态电抗标么值为0.2。本算例中采用的基准功率为100MVA,基准电压为10kV。

[0069] 三相接地短路和两相相间短路计算是配电网设计过程中应用最广泛的计算类型。采用本发明所提短路电流获取方法,分别计算不同故障位置下,配电网发生三相接地和两相相间短路时的短路电流和变流器并网型分布式电源的输出电流,并将短路电流的计算结果与在MATLAB/Simulink环境下搭建的仿真模型的计算结果进行对比。表1和表2分别为三相接地短路时短路点短路电流和变流器型分布式电源的输出电流值,表3和表4分别为AB两相相间短路时短路点的短路电流和变流器型分布式电源的输出电流。对于三相短路,ABC三相电流相同;对于AB相间短路,C相短路电流为0、A相和B相短路电流相同。故而,表中只列出A相的短路电流值。

[0070] 表1三相短路时短路点的短路电流(kA)

	短路点	仿真结果	计算结果	误差/%
[0071]	f1	4.30	4.38	1.9
	f2	1.39	1.38	0.7
	f3	0.66	0.65	0.8
	f4	7.37	7.36	0.1

[0072] 表2三相短路时变流器型分布式电源输出的短路电流(kA)

	短路点	f1	f2	f3	f4
[0073]	DG1	0.061	0.061	0.061	0.061
	DG2	0.061	0.061	0.061	0.061
	DG3	0.061	0.053	0.044	0.061

[0074] 表3两相相间短路时短路点的短路电流(kA)

	短路点	仿真结果	计算结果	误差/%
[0075]	f1	2.15	2.26	4.6
	f2	0.69	0.68	2.1
	f3	0.33	0.31	3.9
	f4	3.68	3.73	1.3

[0076] 表4两相短路时变流器型分布式电源输出的短路电流 (kA)

	短路点	f1	f2	f3	f4
[0077]	DG1	0.061	0.061	0.052	0.048
	DG2	0.061	0.061	0.061	0.045
	DG3	0.061	0.050	0.042	0.061

[0078] 从表1和表3的计算结果可以看出,利用本发明所提方法得到的短路电流值与仿真结果基本相同,误差也在工程允许范围内,说明了本方法的正确性。从表2和表4可以看出,电网不同地点发生不同类型的短路,分布式电源输出的短路电流也不同,有的分布式电源达到限流状态(本例限流值为0.061kA),有的分布式电源则未达到限流值,充分反映了并网变流器的故障响应特性。

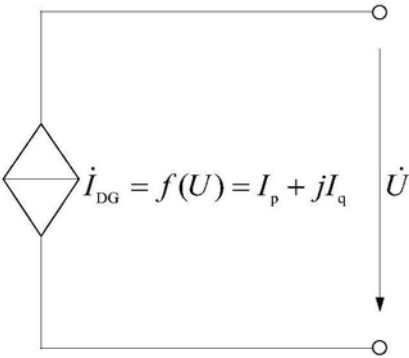


图1

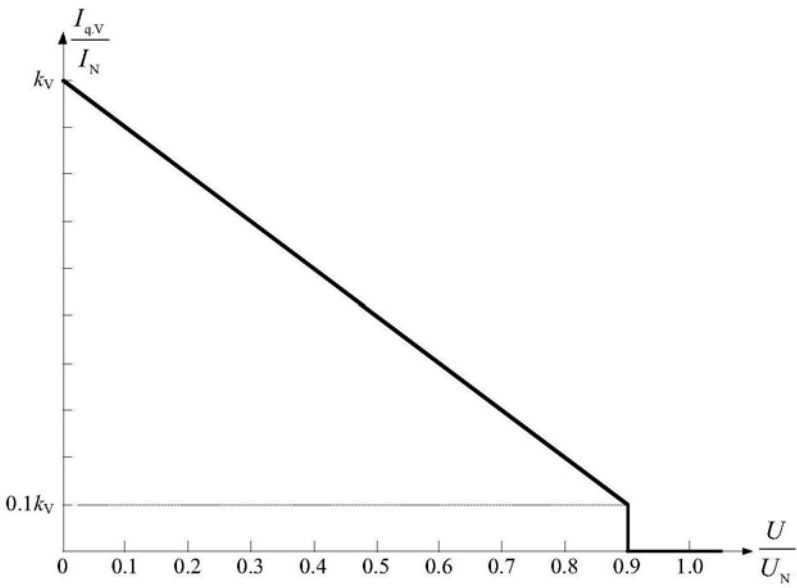


图2

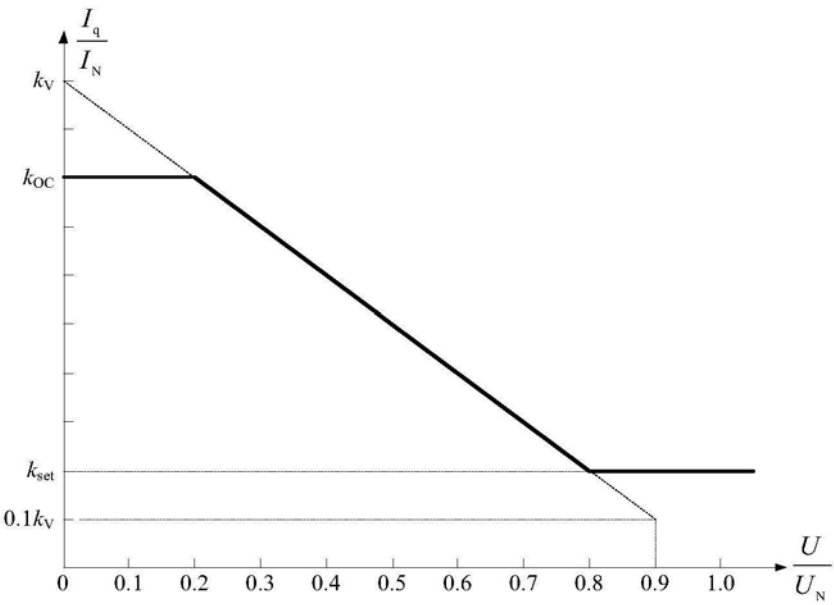


图3

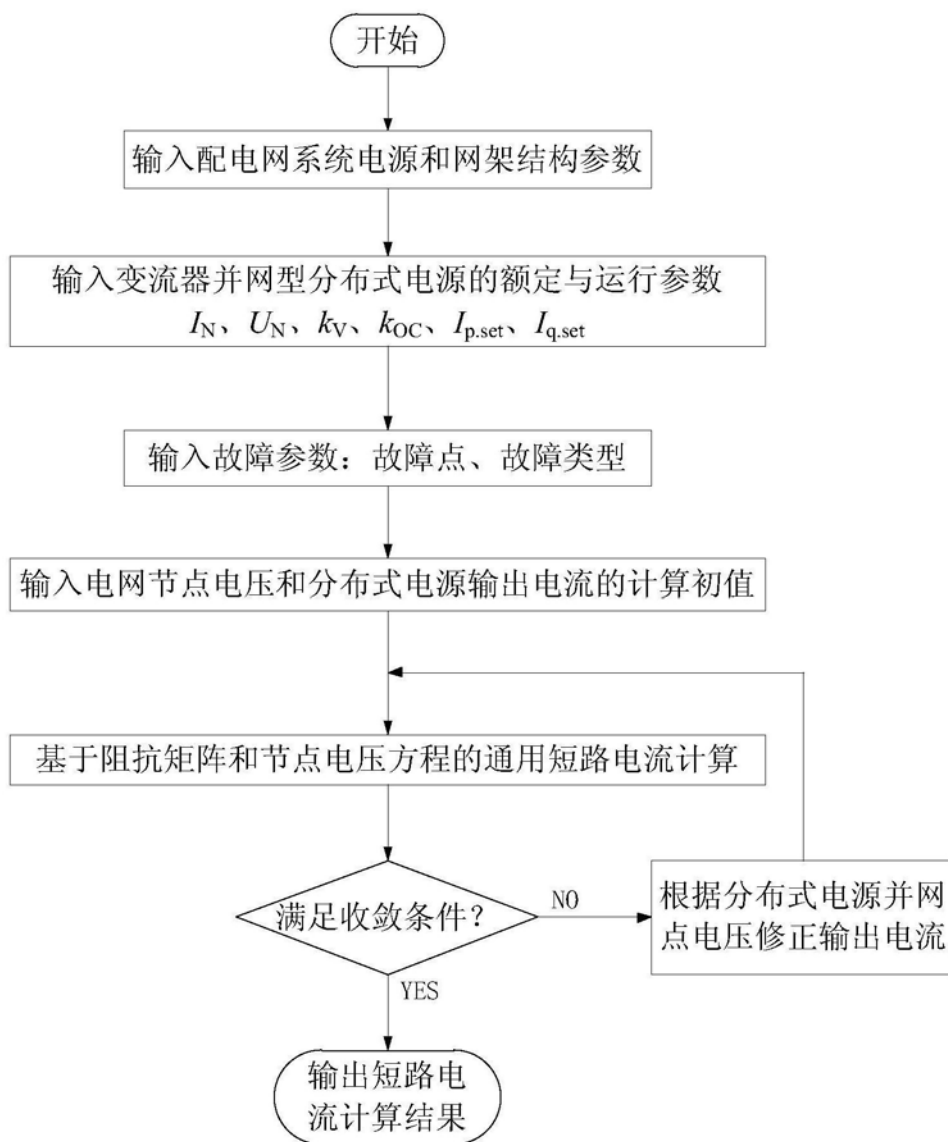


图4

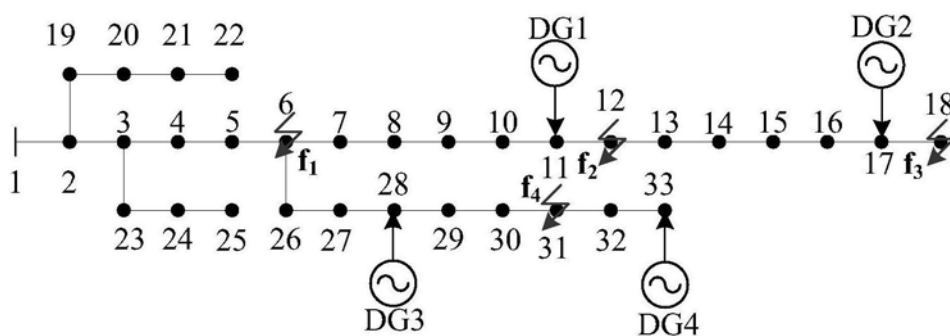


图5