[电网]

低压合环转供电方案设计与仿真分析

文/广州供电局有限公司　廖拥军
华南理工大学广州学院　陈丽丹
广州供电局有限公司　方兵华　邓泽航

城市用户对连续、安全供电需求不断提升，如何进一步提高供电可靠性成为一个迫切需要解决的问题。供电部门一直在探索新的送电和转供电模式，其中10 kV配网转供电一般按“逢停必转，能转必转”原则工作，但0.4 kV低压自动合环操作领域一片空白，为提高其运行方式灵活性及负荷转供能力，介绍了低压配电网现有供电方式，探讨了低压配电网环形供电方式的可行性，设计了低压母联、线路首端和末端合环等几种合环供电模式，采用PSCAD/EMTDC软件建立低压合环模型，对合环电流进行仿真分析，并提出低压合环智能装置开发的技术要求，为低压配电网开展合环操作提供一定的理论基础。

经过几十年发展，中压合环供电技术日益成熟，其中世界上相关技术比较发达的主要集中在欧洲、新加坡、日本以及香港等国家和地区。我国2014年用户供电可靠率为99.940%，城市用户平均停电时间2.59 h；2013年广州市的城市用户年平均停电时间为1.47 h，距离发达国家和地区的水平存在一定的差距。相关单位部门的关注侧重点仍是针对中压网架为主，低压配电网甚少。以广州地区为例，目前低压配电网采用放射型、树干型及混合型接线方式为主，当配电网发生故障、检修或工程改造时常引起低压电力用户停电，从而引发客户投诉。同时，由于配变停电，低压负荷无法转供电已成为城市用户供电可靠性及客户满意度提升的瓶颈。至目前10 kV转供电的发挥余地已经有限，由于低压配电网运行直接关系着对用户的服务，影响着供电可靠性，在国内0.4 kV低压系统低压自动合环操作领域一片空白。因此，通过积极探索0.4 kV侧合环转供电的方案，并建立合环供电模型对操作电流进行仿真分析，为实现0.4 kV低压线路先合环再断开相应断路器的低压合环转供电提供理论依据。

低压合环转供电方案设计

1．低压配电网供电方式现状

香港中压配电网采用全电缆、户内全密封开关柜及容量为1 500 kV·A 及以下油浸变压器，全部设备按照正常负载的50%设计，并配置自动化采集装置，低压配电网为环网设计开环运行，要求每一个客户至少有两路低压电源供电，供电可靠性达到99.998%以上。新加坡低压配电网方面，由电力公司规划部门统一管理，制定典型接线，通常在低压母线处设置联络点，并且低压母线预留发电车专用接口，减少了低压配电网故障或停电影响。我国南方电网公司低压配电网典型接线有放射式、树干式和混合式等几种形式。

2．低压合环供电方案设计

1）对双公变配电室，在配变低压母线之间设置联络点，其联络方式如图1所示。该种联络形式，可应用在有足够空间加柜的配电房。

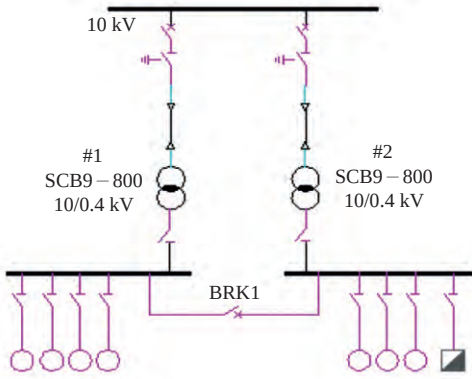

图1　双公变房低压母联方式

2）对非双公变配置的台区，考虑与邻近台区的联络，如其相邻配变距离在150 m范围内（非直线距离，按联络所需要的电缆长度计算），可采用专门的低压出线与另一台区母线联络，其联络方式如图2所示；与相邻配变距离超过150 m，暂不考虑在低压母线间设置联络。

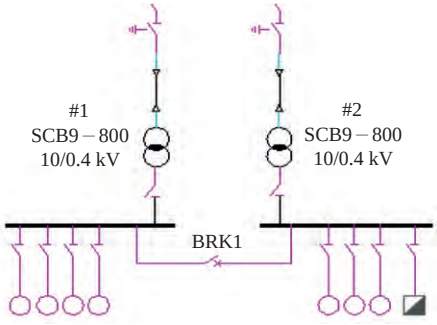

图2　邻近台区低压母联方式

3）干线末端联络方式：对于单台配变独立供电的台区，可在邻近的不同台区配变供电负荷末端设置联络点，原理接线如图3所示。

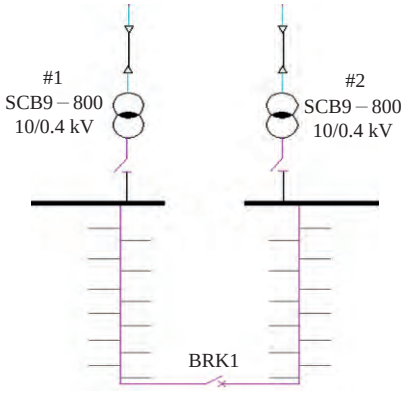

图3　低压干线末端联络方式

正常情况下两台配变负责供应各自的负荷，各路出线的联络点开环运行，必要时，可通过安装在干线末端的智能环网自投装置投合联络开关将一个电源点的部分负荷转移至另一电源点供电。

4）负荷中间端联络，即手拉手联络方式：由两条来自同一配电变压器但不同相的线路实现，如图4所示。

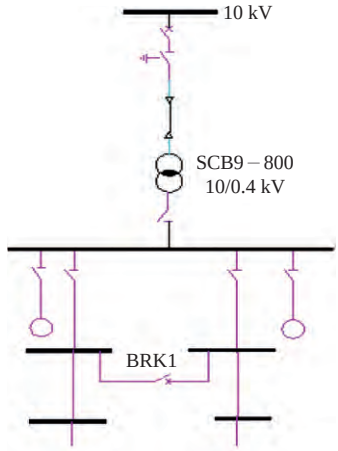

图4　负荷中间端联络

对于0.4 kV 网络来说，当一条线路发生故障或者其中任一相停电时，可进行手拉手连接，通过操作联络开关使另一回线路(线径截面积足够)接收停电线路的全部负荷，使线路及时恢复供电。设置手拉手线路时，以最不利运行条件来确定拉手位置，即低压环网柜的安装位置。

5）首、末端双重联络的环网供电方式，即前述1）和3）两种联络的综合体，首末端均设置联络点，采用该种供电方式，其负荷转供灵活，供电可靠性高，但一次投资加大，较适用于大型住宅区、繁华商业区等对供电可靠性要求较高的地方。

6）三回路系统联络实现环网拓扑：该种方案为不同台区之间的相互联络，在干线邻近处设置联络点，从而形成环网方式。平时联络点常开，故障或检修时，视情况进行联络，该方案会增加运行方式的复杂性（图5）。

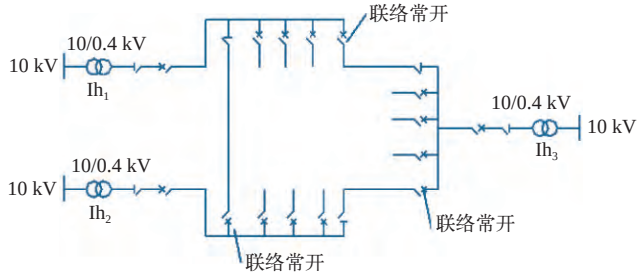

图5　三回路系统低压环网供电方式

基于PSCAD/EMTDC软件的仿真分析

1．合环模式的分类

由上述设计的低压合环供电方案，根据上级电源、联络开关位置的不同，选取以下三种典型

低压合环模式进行分析。

1）同一配电房不同配电变压器的低压母线合环，如图1所示。

2）相邻台区的配电变压器低压母线合环，如两个10 kV配电站的0.4 kV母线间联络，如图2所示。

3）低压侧主干线合环，如图3和图4所示。

2．**仿真模型**

假设10 kV侧为无穷大系统，视为等效电源点，图6为上级两台配变上级电源为取自同一馈线的低压母线合环仿真模型。10 kV线路及其以上系统用一个电压源来进行等效，仿真时设定此电压源的电压幅值为10 kV，相角为0，变压器模型采用PSCAD/EMTDC软件中原有双绕组变压器模型，需要的参数为短路损耗、铁损、铜损、电压等级以及变压比。左侧变压器记为T1，右侧变压器记为T2，两台变压器变压比设置为10/0.4 kV，负荷采用软件中的恒功率负荷模型。

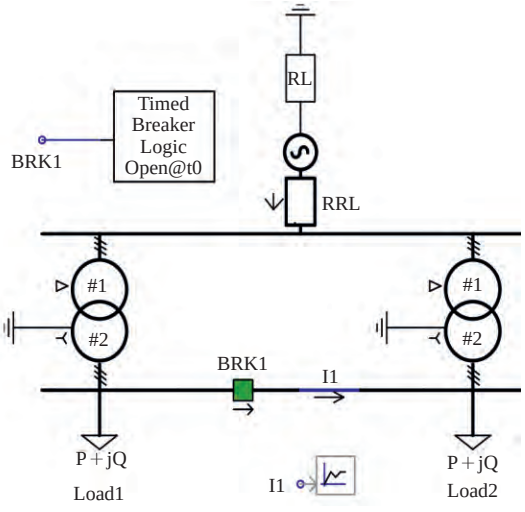

图6　上级电源为同一馈线低压母线合环仿真模型

当两台配变的上级电源取自不同10 kV馈线时，两条馈线间会存在电压差和相角差，影响合环电流的大小。此处仿真会通过设置两台配电变压器调压不一致，使得幅值存在差异。由于低压侧规程规定配电压幅值应在370～410 V范围内，仿真时其中一台变压器低压侧出线取370 V，另一台取410 V。此处10 kV系统电压仍取10 kV，但由于10 kV馈线不同使得合环点两侧电压的相角也不同，仿真时按两侧电源引起的角差分0°、5°、10°、20°进行仿真。仿真模型如图7所示。

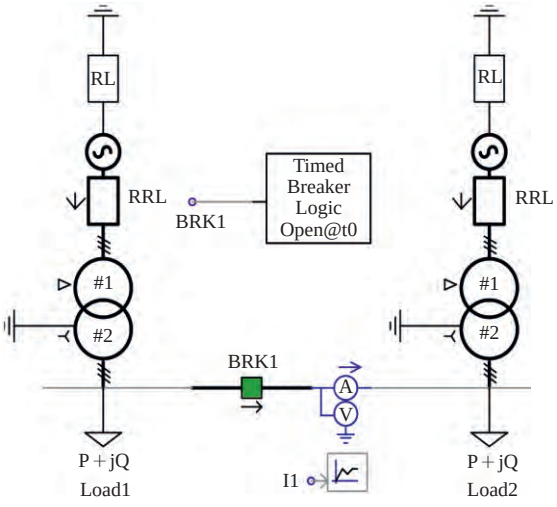

图7　上级电源来自不同馈线低压母线合环模型

联络开关在$t=1.0$ s时合上，$t=1.05$ s时断开，配变参数一致，容量均为800 kV·A时，仿真结果见表1和表2。

表1　电动机与变压器匹配

相角差/（°）	0	5	10	20
合环电流/A	0	250.3	500.2	996.4

表2　有幅值差、有相角差时不带负荷合环的计算结果

相角差/（°）	0	5	10	20
合环电流/A	290.7	379.5	569.9	1020.2

可知，在不带负荷的情况下，当上级电源的两条馈线无幅差、无相角差时，合环电流为零；但只要存在幅值差或相角差，合环电流就不为零；合环电流会随着相角差的增大而增大。当上级电源同时存在幅值差和相角差时，合环电流最大。根据上述规律，在下一节中仅取合环后可能出现的最坏情况，即在有幅值差和相角差的情况下进行仿真分析，观察合环后电流大小是否超出线路允许的载流量。

改变两台配变所带负荷，当配变参数一致，容量均取800 kV·A，负载率各自取为50%，两台配变两端存在幅值差、相角差时合环计算结果见表3。

表3　有幅值差、相角差，带负荷合环的计算结果

相角差/（°）	0	5	10	20
合环电流/A	257.3	370	562.6	998.3

建立配变低压主干出线联络的仿真模型，如图8和图9所示。

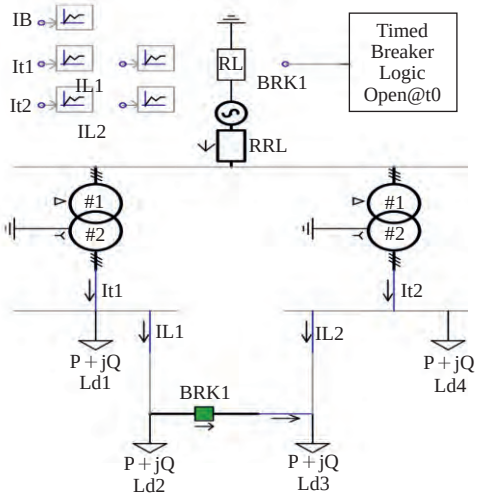

图8　上级电源来自同一馈线的负荷末端合环

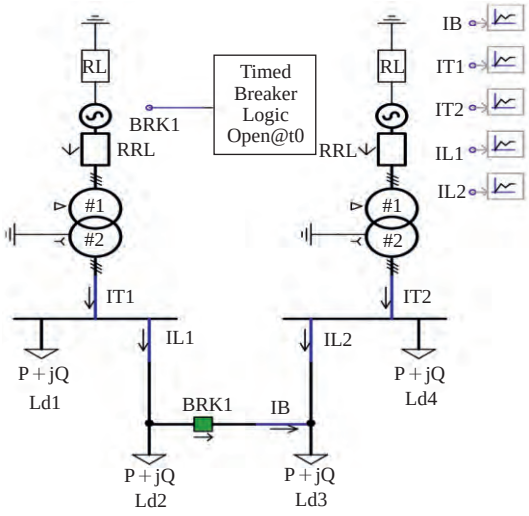

图9　上级电源来自不同馈线的负荷末端合环

假设T1配变高压侧电压为10.5 kV，相角5°；T2配变高压侧电压为10.5 kV，相角0°，在$t=1.0$ s时，联络开关合上，$t=1.1$ s时断开。如图10为上级电源来自同一馈线的干线联络仿真曲线。

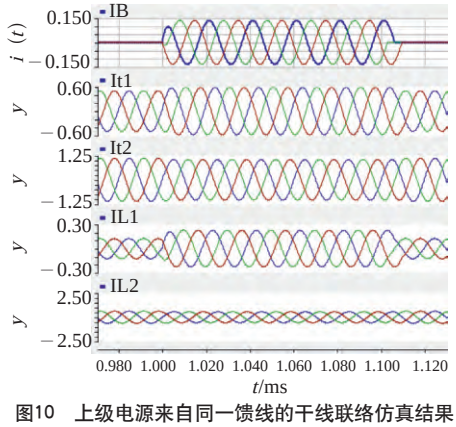

图10　上级电源来自同一馈线的干线联络仿真结果

查看仿真曲线数据，合环开关处通过稳态电流约为134.7 A，T1变压器低压侧电流约由497 A增加到了580.7 A，T2变压器低压侧电流由合环前1 114.8 A减少到1 033.2 A；线路L1电流由122.2 A增加到214.6 A，线路L2电流由608.6 A减少到563.8 A。说明线路L2上部分负荷转移到了L1上，同时也说明有循环电流的存在，将产生一定的消耗，对经济运行不利。

图11为上级电源来自不同馈线的干线联络仿真曲线变化图。

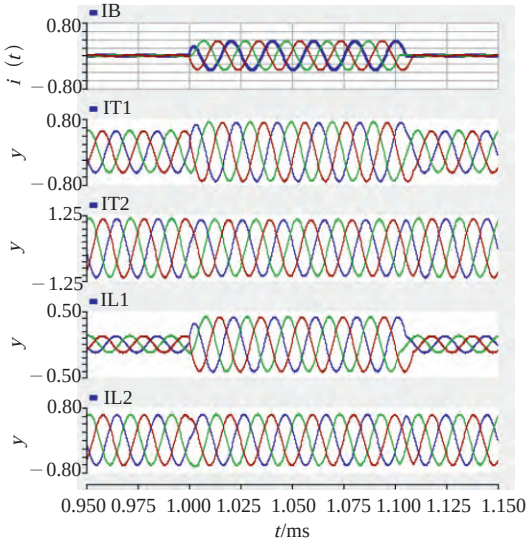

图11　上级电源来自不同馈线的干线联络仿真结果

由图11可看出，在模型已知参数下，当低压线路L1和L2联络开关BRK1合上后，联络开关流经的稳态电流约为352.8 A，无冲击波形。T1变压器低压侧电流由合环前的498 A增加到707.8 A；T2变压器低压侧电流由合环前的1 109.8 A减少到1 054.5 A；低压线路L1电流明显增大，由合环前的124.5 A变为411.7 A；低压线路L2的电流几乎没变化，但在合环瞬间曲线有波动。分析两台配变高压侧数据和低压负荷情况可知，T1变压器电压相角较大，所带负荷较小，而T2变压器所带负荷较重，线路L2负荷电流接近低压线路本身的载流量，此时，采取合环操作，负载较重的线路L2部分将转移至线路L1，T1变压器负载增大，T2变压器负载减小，线路L2负载率降低，起到了良好的转负荷作用。

低压自投、自复、合环及保护装置技术要求

低压合环智能装置的开发需满足以下功能及

技术要求。

1）既要有备自投功能，又要有继电保护功能，还需要有合环操作功能；备自投失压动作时，既要能判断电压，又要能判断电流。

2）装置具有自动合环操作功能，合环操作时既要能判断电压，也要能判断方向；继电保护动作时既要能判断幅值，又要能判断方向；保护动作后既要有故障记录功能，也要有故障录波功能。

3）因低压系统多数情况并没上自动化监控系统，也就不能对装置进行对时，所以要求装置具有高精度实时时钟系统。为了装置能准确记录各种动作情况，要求装置内部时钟每天的误差不能超过0.5 s。

4）因低压没有直流电源，在外部电源进行切换时，要求装置即使断电或者复位后仍然不影响动作逻辑的执行；因部分低压控制电缆较长且没有屏蔽，为提高装置抗干扰能力，确保开入稳定可靠，要求装置开关量输入采用强电开入。

5）具有带光电隔离及接口保护的RS485通信功能，标准通信规约，总线上的设备数量不低于50台，通信距离不低于800 m。

6）因低压柜没有专门的仪表室，开关柜强弱电从安装空间上并没有严格分开，要求产品抗干扰能力强，运行稳定可靠；因低压开关柜均比较紧凑，没有专门的仪表室，安装在低压柜上时，要求装置体积小巧，印制电路板及接线端子均采用插拔式结构，方便安装、更换和维修。

结束语

低压配电网的供电新技术将会推动电网事业的发展，也是提升供电可靠性的保障，低压配电网的合环供电方式将会成为电网发展的未来趋势。低压合环转供电方式对减小停电范围，减少停电次数，降低用户投诉，提高供电可靠性，提升客户满意度等都十分有好处。为尽量减少用户的停电次数和时间，低压合环转供电操作将成为电力系统运行操作中必不可少的环节，在电网低压系统内具有推广和应用价值。EA

（收稿日期：2015.12.18）
（编辑：刘群点）

西门子H级燃气轮机运行时间突破20万小时

截至2016年1月，西门子高效的H级燃气轮机在全球项目中累计的运行时间超过20万小时。目前共有19台SGT－8000H系列燃气轮机投入商业运营，并在效率、可靠性和可用性方面树立了新的标准。截止目前，西门子在全球共售出76台H级燃气轮机，这使其成为全球市场上这个效率级别中最成功的燃气轮机。

西门子于2010年向市场推出SGT－8000H型燃气轮机，此后在50赫兹（Hz）市场共售出了39台。其中最大的一份订单来自埃及，共计24台H级燃气轮机将被安装在贝尼苏韦夫市、布如勒斯市以及新首都的三个电厂项目中。在60 Hz市场，共售出37台，最新的订单是2016年1月来自墨西哥国家电力公司Empalme二期联合循环电厂。SGT-8000H燃气轮机在德国柏林和美国夏洛特生产，之后运送到世界各地的项目现场。

首台SGT5－8000H燃气轮机于2011年在德国因戈尔施塔特附近的伊士尔京电厂投入商业运营。其后在2013年，针对60Hz市场的SGT6－8000H燃气轮机在美国佛罗里达州卡纳维拉尔角电厂以及韩国唐津三期电厂相继投入运营。西门子在这累计20万小时的运行时间（或相当于大约23年）里，不断积累经验并将这些专业经验应用到H级燃气轮机的研发之中。

“SGT－8000H型燃气轮机具有高效、启动时间短和快速响应负载变化的优点。”西门子发电与天然气集团大型燃气轮机和发电机业务部总经理Theo Maas表示，“累计运行时间超过20万小时充分证明了SGT-8000H型燃气轮机在电厂日常运行良好：该燃气轮机的可靠性超过99%，可用性超过96%。”

安装有SGT－8000H燃气轮机的联合循环电厂实现了超过60%的效率水平。位于德国杜塞尔多夫港口区劳斯瓦德的联合循环电厂创造了三项新的世界纪录：以SGT5－8000H燃气轮机为关键组件的该电厂实现了大约61.5%净效率，最大出力达603.8兆瓦。该电厂还能为杜塞尔多夫的区域供热系统提供大约300兆瓦的热能。事实证明，在这类热电联产（CHP）电厂中安装H级燃气轮机是将燃料转化成可用能源最高效的方式之一。电厂的高燃料效率在满足经济要求以及降低环境影响方面都起到了重要作用。