

[控制系统]

基于BPA的电力系统潮流分析计算

文/东南大学 陈昕儒 吴奇珂 李扬
福建水发电集团有限公司 林祥逸

介绍了潮流计算的基本原理，并对算例进行了原始数据的处理，从而为潮流计算提供基础。然后利用BPA软件对电力系统的潮流进行计算，并得出了潮流计算结果。根据潮流计算结果，分析了电压损耗，功率损耗的原因；同时，分析无功补偿、变压比的变化分别对潮流计算的影响，即对节点电压和电网损耗的影响，从而得出了减少电压损耗和网络损耗的措施。

在电力系统规划过程中，通过潮流计算能科学准确地接入科学的规划电网、确定电力系统网络所需的电源容量、还有对系统无功的补偿方式，来保证电力系统稳定、可靠、安全地运行。电力系统网络在正常的维修检修中，利用潮流计算能满足电力网络负荷调整、线路、变压器稳定要求，根据分析潮流计算的结果，能够分析节点电压、支路功率及网络损耗等是否科学合理，调度中心可以根据此分析结果快速采取相应的调整措施，使电力网处于优化运行状态，从而提高了电力系统的安全性与可靠性，因此，潮流计算对电力系统的稳定安全运行有着十分重要的作用和意义。

潮流计算

电力系统网络中主要电气元件有发电机、变压器和输电线路等。当进行潮流计算时，可以对变压器、输电线路、电抗器及并联电容等元件进行等效，画出其等值电路，从而进行计算。因为能够形成相对应的导纳矩阵或者阻抗矩阵，所以由静止元件组成的等值电路在潮流计算中形成为线性网络。发电机出力、负荷消耗由于不是定量，在潮流计算中，它们是非线性元件。由此可知，潮流计算的主要任务就是求解一组非线性代

数方程组。潮流计算在电力网络分析中有着重要意义，因此对潮流算法有着很高的要求，基本要求是：计算时满足可靠收敛，对不同的系统和运行方式能够适应；方便调整与修正，能满足各种需求；潮流计算效率要高，求解的速度要快，计算所占的内存尽量少。

在电力系统中，发电机和负荷是非线性元件，在潮流计算中，节点的功率可用电流注入量来表示。所需的导纳矩阵或者阻抗矩阵由集中参数等效的串联或者并联等值支路进行模拟形成。为了计算的方便，还有电力系统的特点，一般采用节点电压法，得出节点电压与节点电流关系为

$$I = YV$$

式中， Y 是系统的导纳矩阵； V 是系统节点电压矢量。

BPA潮流计算步骤

1. BPA潮流计算步骤

BPA程序用到是潮流计算方法主要有三种，即牛顿法、P-Q分解法和改进型的牛顿法，而用什么方法和迭代的次数都由用户设置。为了提高潮流计算能够收敛得出结果，一般在编写程序时先采用P-Q分解法迭代，以获得合适的初值，之后再牛顿法求得潮流。

2. 程序常用控制语句

- 1) “(POWERFLOW, CASEID=文件名称,PROJECT=所建立的工程名称);”这是用于潮流文件开始的一级控制语句。
- 2) “/SOL_ITER,DECOUPLED=PQ迭代次数,NEWTON=牛顿法迭代次数\;”这是用于确定该计算所使用的潮流计算方式和最大迭代次数的控制语句。
- 3) “/P_INPUT_LIST, ZONES=ALL\;”这是用于指定的输入控制语句。
- 4) “/P_OUTPUT_LIST,ZONES=ALL\;”控制程序计算结果输出的语句。
- 5) “/RPT_SORT=ZONE\;”这是用于控制该程序计算结果输出顺序的语句。
- 6) “/NEW_BASE, FILE=文件名称\;”这是用于确定潮流计算结果二进制文件名的控制语句。
- 7) “/PF_MAP, FILE=文件名称\;”这是用于能够输出潮流结果图与地理接线图的结果文件控制语句。
- 8) “/NETWORK_DATA\;”这是来确定潮流计算所需网络数据的控制语句。
- 9) “/END\;”这是用于潮流程序结束的控制语句。

算例分析

1. 算例介绍

以下是某地区配电网网络接线图，具体参数如图1所示，系统等值阻抗化为标么值为0.03 + j0.08。

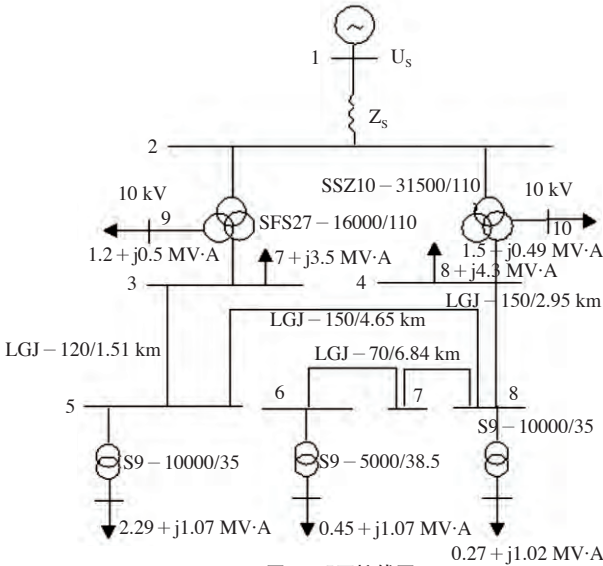


图1 配网接线图

本文首先对算例中的原始数据进行处理，然后利用BPA计算得出潮流结果，同时分析不同节点增加无功补偿设备、变压比的设置以及平衡节点电压的设置分别对全网其他节点电压和网损的影响。最后再计算检测30节点潮流结果。

2. 原始数据处理

本系统中只有节点1是平衡节点，其余14个节点是PQ节点。经过计算得出如下配电网等值电路如图2所示。

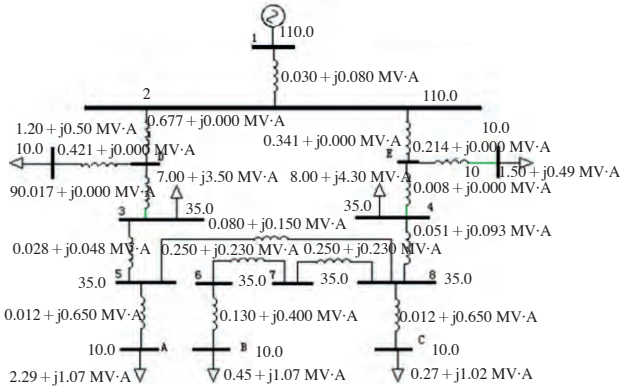


图2 配电网等值电路

3. 计算结果分析

利用BPA软件得出潮流计算结果如下。

表1 各节点电压

节点名称	输出电压值 (pu)	节点名称	输出电压值 (pu)
母线1	1.010	母线9	0.959
母线2	0.994	母线0	0.967
母线3	0.959	母线A	0.951
母线4	0.966	母线B	0.955
母线5	0.959	母线C	0.962
母线6	0.959	母线D	0.962
母线7	0.961	母线E	0.969
母线8	0.963	母线9	0.959

表2 线路功率

	线路有功 /MW	线路无功 /Mvar	有功损耗 /MW	无功损耗 /Mvar
母线1—2	21.0	12.2	0.173	0.46
母线5—3	0.6	0.0	0.0	0.0
母线4—8	3.6	1.5	0.008	0.02
母线8—5	2.9	1.1	0.008	0.02
母线7—6	0.5	0.3	0.001	0.0
母线8—7	0.5	30	0.001	0.0

表3 变压器支路功率

	线路有功 /MW	线路无功 /Mvar	有功损耗 /MW	无功损耗 /Mvar
母线2-D	7.7	4.6	0.03	0.55
母线D-3	6.4	3.5	0.022	0.01
母线D-9	1.2	0.5	0.001	0.01
母线2-E	13.1	6.4	0.036	0.78
母线E-0	1.5	0.5	0.0	0.01
母线E-4	11.6	5.9	0.029	0.02
母线5-A	2.3	1.1	0.001	0.05
母线6-B	0.5	0.3	0.0	0.0
母线8-C	0.3	0.1	0.0	0.0

表4 整个系统功率

	发电机出力	负荷	损耗
有功/MW	21.0	20.7	0.3
无功/Mvar	12.2	10.2	2.0

根据潮流计算结果得出：各节点电压均小于本身的基准值，这是由于在配电网中，电力系统线路在没有无功补偿的情况下，而且线路的导纳值很小，电能在线路上传递会造成线路损耗从而使电压降低。电流流过支路时由于支路存在阻抗，产生损耗，从而会使实际输出小于所发出的功率。而经过变压器传递功率时也会因为变压器支路存在阻抗而损耗小部分功率。通过潮流计算结果还得出如下规律，有功功率总是从功角大的地方流向功角小的地方，而无功功率总是从电压幅值大的地方流向幅值小的地方。

4. 分析增加无功补偿设备对电压和网损的影响

在电力系统中，节点母线电压可通过无功补偿来调整，从而让电力系统更加稳定。电力网络中输送的功率由两种组成：一种是有功功率，可转化为其他电能，比如热能、动能等，会消耗电能；另外一种是无功功率：不会消耗电能，只是以另一种形式的能表现电能，电力设备需要以这种功为基础才能工作。

对节点进行无功补偿时，可提高节点的电能质量以及减少系统的无功损耗。在无功补偿时要注意就地补偿，轻负荷时，要避免过补偿，因为无功功率会逆流，系统输送的功率越大，从而系统功率损耗将会增加，这样是不经济的。

不同节点无功补偿时的仿真各节点电压值如表5所示。

表5 节点电压

节点名称	各节点未 无功补偿时 电压 (pu)	对节点B 无功补偿3 Mvar 时各节点电压 (pu)	对节点2 无功补偿3 Mvar时 各节点电压 (pu)
母线1	1.010	1.010	1.010
母线2	0.994	0.997	0.997
母线3	0.959	0.968	0.961
母线4	0.966	0.976	0.969
母线5	0.959	0.969	0.961
母线6	0.959	0.985	0.962
母线7	0.961	0.980	0.964
母线8	0.963	0.975	0.965
母线9	0.959	0.969	0.961
母线0	0.967	0.977	0.970
母线A	0.951	0.962	0.954
母线B	0.955	1.024	0.957
母线C	0.962	0.974	0.965
母线D	0.962	0.971	0.964

当需要A节点电压标幺值为1.00左右时，通过计算时需要大约给A补偿5 Mvar左右的无功容量。下面根据计算验证其结果。对相同节点补偿不同无功补偿量时的仿真各节点电压结果如表6所示。

表6 节点电压

节点名称	各节点未 无功补偿时 电压 (pu)	对节点A 同时进行无功 补偿5 Mvar时各 节点电压 (pu)	对节点A 同时进行无功补 偿8 Mvar时各 节点电压 (pu)
母线1	1.010	1.010	1.010
母线2	0.994	0.998	1.001
母线3	0.959	0.979	0.993
母线4	0.966	0.981	0.990
母线5	0.959	0.980	0.994
母线6	0.959	0.976	0.988
母线7	0.961	0.978	0.990
母线8	0.963	0.980	0.991
母线9	0.959	0.979	0.992
母线0	0.967	0.981	0.991
母线A	0.951	1.006	1.042
母线B	0.955	0.972	0.983
母线C	0.962	0.979	0.990
母线D	0.962	0.982	0.995

表7 系统无功损耗和出力

	各节点未 无功补偿时 系统无功出力 及损耗 /Mvar	对节点A 无功补偿 5 Mvar时 系统无功出力 及损耗 /Mvar	对节点A 无功补偿 8 Mvar时 系统无功出力 及损耗 /Mvar
系统 无功损耗	1.9	1.7	1.8
系统 无功出力	12.2	6.9	3.4

根据表6、表7可知：电力系统中，若出现线路电压过低可采取无功就地补偿，可以明显增加该节点电压，而采取异地补偿的话，电压升高不明显，对该点没有补偿效果。而当系统无功补偿越多时，系统的节点电压会越大。当对节点进行无功补偿时，流过该线路的无功功率将会减少，从而得到线路首末端的电压差变低，因此节点电压都升高。

当进行无功补偿时，需要先计算好需要补偿的无功容量，补偿时，系统无功损耗会减少，不过当无功补偿容量过多时，会产生功率逆流，从而功率损耗又会增加。当对节点无功补偿时，会造成减少线路所传递的无功功率，得到线路的无功功率减小。所以当对节点进行无功补偿时，系

统的损耗将会减少，系统的有功功率的输送比例会更大。

5. 分析变比的设置对电压的影响

根据线路功率损耗公式，可知当变压比改变时，不仅会改变变压器一侧的电压，还对线路功率损耗有影响。定义配电网中的变压比就是高压侧与低压侧电压之比。

表8 同时改变3个35 kV变压器高压侧变压比时得出的数据

节点名称	高压侧都调为+5%各节点电压 (pu)	高压侧档位都为0时各节点电压 (pu)	高压侧都调为-5%各节点电压 (pu)
母线1	1.010	1.010	1.010
母线2	0.994	0.994	0.994
母线3	0.959	0.959	0.959
母线4	0.966	0.966	0.966
母线5	0.959	0.959	0.959
母线6	0.959	0.959	0.959
母线7	0.961	0.961	0.961
母线8	0.963	0.963	0.963
母线9	0.959	0.959	0.959
母线0	0.967	0.967	0.967
母线A	0.905	0.951	1.002
母线B	0.909	0.955	1.005
母线C	0.916	0.962	1.013
母线D	0.962	0.962	0.962
母线E	0.969	0.969	0.969

当高压侧档位为正值时，相当于变压器绕组高压侧匝数变多，此时由于高压侧的电压还是不变，而实际变压比却变大了，因此低压侧实际电压就变低了。同理，当高压侧档位为负值时，此时实际变压比变小了，因此低压侧电压相应就增加了。而对于系统网络损耗结果变化不大，不过可以知道当变压比减小时，低压侧有足够的电压，因此所需要的无功比较少，从而无功出力将会降低，同时由于电力系统有些节点电压升高了，从而导致电力网络损耗减少。

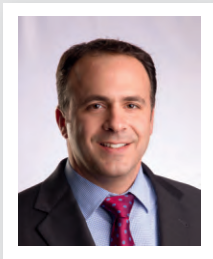
结束语

经过BPA软件计算出算例的潮流计算结果，通过分析得出以下几点：第一，当对电压较低的节点进行无功补偿时，不仅可以提高该点的电压水平还可以降低系统线路损耗，这是由于线路中的无功传递降低了，线路首末端的电压降就会下降，线路无功损耗也会减少。第二，当提高变压器变压比时，可以直接使低压侧电压降低，降低变压比时，可以使低压侧电压升高，这是由于实际变压比升了，而高压侧电压不变，所以低压侧电压降低，而当实际变压比降了，而高压侧电压也不变，所以低压侧电压升高。EA

(收稿日期：2016.04.23)

(编辑：杨得润)

红狮任命Ron Salerno为战略营销副总裁



2016年9月7日，全球工业自动化与网络领域的通信、监测和控制专家美国红狮控制公司宣布任命Ron Salerno为公司战略营销副总裁，主要负责公司产品管理和营销。Ron将在红狮公司的北美总部工作，作为领导团队的一员，直接向红狮总裁Mike Granby汇报。

加入红狮之前，Ron担任西门子过程仪表事业部的营销和业务拓展总监，职业生涯长达20年。在此岗位期间，他主要负责产品营销、业务拓展、垂直销售和工程支持工作。在职业生涯早期，他还在西门子各事业部担任过业务拓展、产品管理和工程师职务。

“Ron拥有20多年的丰富行业经验，是领导红狮产品管理和营销团队的最佳人选，” Granby表示。“红狮正不断发展壮大，我相信Ron的战略拓展经验将有助于确保我们的产品始终处于工业自动化和网络领域的最前沿。”

Ron持有维拉诺瓦大学 (Villanova University)的电气工程学士学位，以及拉萨尔大学 (LaSalle University) 的工商管理硕士学位。

“我非常荣幸能够加入红狮控制公司，红狮在帮助客户提高生产力方面拥有着极佳的行业声誉，” Ron Salerno表示。

“新角色有助于我在整个组织机构内部开展广泛的合作，以达成和公司目标的战略性统一，进一步实现红狮控制公司的总体业务目标并向客户和合作伙伴兑现‘客户至上’的承诺。”