110kV简单环形网络的潮流计算

摘要

本文针对110kV环形输电网络，详细推导了节点潮流方程，分别在忽略和计入线路损耗的条件下，对节点功率分布与电压水平进行潮流分析。结果显示，计入线路损耗后各节点电压水平下降，且环网中功率分布因线路阻抗影响发生转移，潮流分布更趋合理。所用方法和步骤对工程环网电力系统分析具有实际指导意义。

关键词：环网潮流计算；节点电压；功率分布；线路损耗

一、引言

110kV环形网络广泛用于中高压配电与区域输电系统。其并联结构提高了供电可靠性和网络灵活性，但也带来了潮流分布的复杂性。准确计算环网潮流，有助于评估各节点运行状态、指导运维和设备选型。本文以三节点单环结构为例，推导全流程节点电压与潮流计算公式，并对比讨论计与不计线路损耗两种情形下的功率分布和电压变化。

二、系统参数与网络建模

2.1 系统参数

导线型号：LGJ-95 单位长度阻抗：$x\_{1}=0.429 Ω/km$ 单位长度对地电纳：$b\_{1}=2.65×10^{−6} S/km$ 各段长度：AB段40km，AC段30km，BC段30km 变电所负荷：

B点：$S\_{B}=20+j 15 MVA$ C点：$S\_{C}=10+j 10 MVA$ 电源A端电压：$U\_{A}=115 kV$（已知）

2.2 等值参数与节点定义

节点A（电源），B、C（负荷） 三条线路阻抗分别为：

$$Z\_{AB}=j x\_{1}⋅l\_{AB}=j 0.429×40=j 17.16 Ω$$

$$Z\_{AC}=j 0.429×30=j 12.87 Ω$$

$$Z\_{BC}=j 0.429×30=j 12.87 Ω$$

三、节点潮流方程推导

3.1 节点电压与电流关系

定义三节点电压分别为 $U\_{A}$、$U\_{B}$、$U\_{C}$，三节点注入电流为 $I\_{A}$、$I\_{B}$、$I\_{C}$。

节点导纳矩阵为：

$$\left[\begin{matrix}I\_{A}\\I\_{B}\\I\_{C}\end{matrix}\right]=\left[\begin{matrix}Y\_{AA}&Y\_{AB}&Y\_{AC}\\Y\_{BA}&Y\_{BB}&Y\_{BC}\\Y\_{CA}&Y\_{CB}&Y\_{CC}\end{matrix}\right]\left[\begin{matrix}U\_{A}\\U\_{B}\\U\_{C}\end{matrix}\right]$$

各节点自导纳与互导纳（均为纯感性）：

$$Y\_{AB}=Y\_{BA}=−\frac{1}{j 17.16}=j 0.0583 S$$

$$Y\_{AC}=Y\_{CA}=−\frac{1}{j 12.87}=j 0.0777 S$$

$$Y\_{BC}=Y\_{CB}=−\frac{1}{j 12.87}=j 0.0777 S$$

$$Y\_{AA}=−\left(Y\_{AB}+Y\_{AC}\right)=−j \left(0.0583+0.0777\right)=−j 0.1360 S$$

$$Y\_{BB}=−\left(Y\_{AB}+Y\_{BC}\right)=−j \left(0.0583+0.0777\right)=−j 0.1360 S$$

$$Y\_{CC}=−\left(Y\_{AC}+Y\_{BC}\right)=−j \left(0.0777+0.0777\right)=−j 0.1554 S$$

3.2 负荷等效电流

负荷节点B、C的复功率分别为：

$$S\_{B}=P\_{B}+jQ\_{B}=20+j 15 MVA$$

$$S\_{C}=P\_{C}+jQ\_{C}=10+j 10 MVA$$

节点电流为

$$
I\_B^ = \frac{S\_B^}{\sqrt{3}\, U\_B}
$$

$$
I\_C^ = \frac{S\_C^}{\sqrt{3}\, U\_C}
$$

由于 $U\_{B}$ 和 $U\_{C}$ 未知，采用牛顿-拉夫森法（或逐步近似法）求解。下文先以不计功率损耗简化分析（第一步）。

四、不计线路损耗的潮流分布与节点电压

4.1 潮流分布假设

环网三节点，假定所有线路无功率损耗，则A点供电全部传递至B、C两负荷节点。

网络总负荷：

$$S\_{Σ}=S\_{B}+S\_{C}=\left(20+10\right)+j \left(15+10\right)=30+j 25 MVA$$

电源节点A供出总有功、无功即分别为30MW、25MVAr。

4.2 潮流分配原理

三节点环形网络不计损耗时，任一段潮流仅与环内各负荷分布有关。

记$S\_{AB}$为AB段功率流向B，$S\_{AC}$为AC段功率流向C，$S\_{BC}$为BC段功率流向C。 以对称潮流分配，通常假设从A向B、C分别供给其各自负荷，B、C间通过BC线平衡少量功率差。

AB段潮流：主要流向B负荷 AC段潮流：主要流向C负荷 BC段潮流：实现B、C负荷功率平衡

4.3 节点电压估算

由于忽略线路阻抗压降，可初步近似：

$$U\_{B}≈U\_{C}≈U\_{A}=115 kV$$

（即A、B、C三点电压相等）

五、计及线路损耗的潮流计算

5.1 线路有功、无功损耗计算

每段线路电流按负荷和电压推算：

（1）B、C点负荷电流

$$\begin{matrix}I\_{B}=\frac{S\_{B}^{∗}}{\sqrt{3}U\_{B}}=\frac{\left(20−j15\right)×10^{6}}{\sqrt{3}×115×10^{3}}=100.6−j75.5A\\I\_{C}=\frac{S\_{C}^{∗}}{\sqrt{3}U\_{C}}=\frac{\left(10−j10\right)×10^{6}}{\sqrt{3}×115×10^{3}}=50.3−j50.3A\end{matrix}$$

假设初步 $U\_{B}≈U\_{C}≈115 kV$。

（2）线路电流与潮流分布

假设B、C间潮流均由A点两路分供，B、C间环流小，近似为：

AB段电流 $I\_{AB}≈I\_{B}$ AC段电流 $I\_{AC}≈I\_{C}$ BC段电流 $I\_{BC}$ 实现B、C功率平衡

（3）线路有功损耗

线路损耗（每相）：

$$ΔP=3⋅I^{2}⋅r$$

但本线路为纯感性（仅x1），实际损耗很小，压降以无功为主。

（4）各段电压压降

$$ΔU\_{AB}=I\_{AB}⋅jx\_{AB}=\left(100.6−j 75.5\right)⋅j 17.16$$

展开复数运算

$$I\_{AB}⋅j=\left(100.6−j 75.5\right)⋅j=100.6j−75.5j^{2}=100.6j+75.5$$

$$ΔU\_{AB}=\left(75.5+100.6j\right)⋅17.16=1295.58+1726.3j V$$

压降模值：

$$\left|ΔU\_{AB}\right|=\sqrt{1295.58^{2}+1726.3^{2}}≈2159.8 V$$

B点电压

$$U\_{B}=U\_{A}−\left|ΔU\_{AB}\right|=115,000−2,160=112,840 V=112.84 kV$$

同理，计算AC段：

$$I\_{AC}⋅j=\left(50.3−j 50.3\right)⋅j=50.3j−50.3j^{2}=50.3j+50.3$$

$$ΔU\_{AC}=\left(50.3+50.3j\right)⋅12.87=647.36+647.36j V$$

$$\left|ΔU\_{AC}\right|=\sqrt{647.36^{2}+647.36^{2}}≈915.84 V$$

C点电压

$$U\_{C}=U\_{A}−\left|ΔU\_{AC}\right|=115,000−915.84=114,084.16 V=114.08 kV$$

5.2 节点电压与潮流分布对比

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 节点 | 不计损耗时电压 (kV) | 计损耗时电压 (kV) |
| A | 115 | 115 |
| B | 115 | 112.84 |
| C | 115 | 114.08 |

B、C点电压均有下降，且B点电压降更大，因其负荷及线路阻抗更大。 BC段潮流为小量补偿潮流，由实际B、C负荷电流差及相位关系决定。

六、分析与结论

6.1 潮流与电压分析

不计损耗时，电源端A与负荷端B、C电压一致，潮流分配按各节点负荷直接分配。 计损耗时，线路阻抗导致电压损失，远离电源节点的B、C点电压均下降，且负荷越大或线路越长的节点，电压降越明显。

6.2 工程意义

实际工程设计必须充分计及线路压降，合理选择导线截面和节点电压水平。 环网结构在一定程度上可分担潮流，提高供电可靠性，但压降计算仍需精确推演。