电力系统三相短路的实用计算

摘要

本文针对典型电力系统三相短路问题，系统地推导了各元件的标么参数、等值电路，并详细计算了节点K三相短路的起始暂态电流和冲击电流。通过统一基准值，将所有发电机、变压器、线路和负荷阻抗折算为标么值，构建等值阻抗网络，最后以节点电压法计算短路电流。结果表明，系统关键设备的阻抗对短路电流水平影响显著，为电力系统安全设计与运行提供了理论依据。

关键词：三相短路；标么计算；等值电路；短路电流；冲击电流

一、引言

三相短路电流的准确计算对于电力系统设备选型、继电保护定值及系统稳定性分析至关重要。本文以给定的典型电力系统为例，详细演示了各设备阻抗的标么折算方法、等值网络构建及短路电流的精确求解过程。通过逐步推导、公式分解和结果分析，展示了三相短路分析的工程实践价值。

二、基础参数与标么值折算

2.1 基准值选择

全系统选用基准容量 $S\_{base}=100 MVA$，基准电压以各母线额定电压为准。

2.2 元件参数标么化

（1）发电机G1（100MW/10kV）

已知$X″\_{d1}=0.183$（以自身100MVA为基准，无需换算） G2（50MW/10kV）：$X″\_{d2}=0.163$（按100MVA基准折算）

$$X″\_{d2,pu}=X″\_{d2,原}×\frac{S\_{base}}{S\_{G2}}=0.163×\frac{100}{50}=0.326$$

（2）变压器

T1（150MVA）：$u\_{k\left(1−2\right)}\%=6.6$

$$X\_{T1,pu}=\frac{u\_{k\%}}{100}×\frac{S\_{base}}{S\_{T1}}=0.066×\frac{100}{150}=0.044$$

T2（60MVA）：$u\_{k\left(2−3\right)}\%=9.45$

$$X\_{T2,pu}=0.0945×\frac{100}{60}=0.1575$$

（3）线路

$X\_{L1}=0.3 Ω/km×160 km=48 Ω$ $X\_{L2}=0.417 Ω/km×120 km=50.04 Ω$ $X\_{L3}=0.4 Ω/km×80 km=32 Ω$

需折算为标么值。以220kV侧为基准，基准阻抗

$$Z\_{base,220kV}=\frac{\left(220×10^{3}\right)^{2}}{100×10^{6}}=484 Ω$$

则

$$X\_{L1,pu}=\frac{48}{484}=0.099$$

$$X\_{L2,pu}=\frac{50.04}{484}≈0.103$$

$$X\_{L3,pu}=\frac{32}{484}≈0.066$$

（4）负荷视为可忽略

三、系统等值网络构建

3.1 等值网络绘制

各元件以标么值串联，节点K处三相短路等效为：

左侧：G1, T1, L1, L2 串联 右侧：G2, T2, L3 串联 两侧在K点并联

网络图如下（简化为两支路并联）：

$$左支路总阻抗 Z\_{left}=X″\_{d1}+X\_{T1}+X\_{L1}+X\_{L2}$$

$$右支路总阻抗 Z\_{right}=X″\_{d2}+X\_{T2}+X\_{L3}$$

3.2 数值合成

$$Z\_{left}=0.183+0.044+0.099+0.103=0.429$$

$$Z\_{right}=0.326+0.1575+0.066=0.5495$$

两支路并联后，节点K的等效阻抗：

$$Z\_{K,eq}=\frac{Z\_{left}×Z\_{right}}{Z\_{left}+Z\_{right}}=\frac{0.429×0.5495}{0.429+0.5495}=\frac{0.2356}{0.9785}≈0.241$$

四、起始暂态电流与冲击电流计算

4.1 三相短路起始电流

系统基准电流（以220kV侧为例）：

$$I\_{base}=\frac{S\_{base}}{\sqrt{3} U\_{base}}=\frac{100×10^{6}}{\sqrt{3}×220×10^{3}}≈262.4 A$$

节点K短路起始电流（忽略系统阻尼）：

$$I\_{K,sc}=\frac{1}{Z\_{K,eq}} I\_{base}=\frac{1}{0.241}×262.4≈1088 A$$

也可直接按标么基准

$$I\_{K,sc}=\frac{U\_{base}}{\sqrt{3} Z\_{K,eq} I\_{base}}=\frac{1.0}{Z\_{K,eq}}$$

（如用标幺制，则短路电流为 $\frac{1}{Z\_{K,eq}}$标么值，乘以基准电流即为实值）

4.2 冲击电流

冲击系数 $k\_{imp}$ 通常取1.8~2.0（具体取决于暂态分量），一般取1.8：

$$I\_{K,imp}=k\_{imp}×I\_{K,sc}=1.8×1088=1958.4 A$$

五、分析与结论

5.1 结果分析

节点K三相短路电流为1088A，冲击电流约为1958A，短路容量非常大，系统设备需具备相应的承受能力。 各元件阻抗对短路电流水平有显著影响，尤其是发电机、变压器和线路阻抗。 合理选择元件容量与阻抗，可有效降低系统短路电流，提高系统安全性。

准确的短路电流计算对于断路器选择、继电保护设定、系统稳定分析和设备投资具有重要工程价值。 通过标么法可实现多电压等级、大型系统的统一分析与快速估算。