某电力系统的两相接地短路计算

摘要

本文针对典型双端供电电力系统，采用对称分量法和标幺法，详细推导了BC相接地短路时的故障序网络，并系统计算了短路点和发电机端各相电流及电压的有效值。研究表明，两相接地短路故障涉及正序、负序和零序网络的并联，短路电流比两相短路更大，系统零序阻抗配置对结果有明显影响。结论对继电保护与设备选型具有现实意义。

关键词：两相接地短路；对称分量法；序网络；短路电流；电压分布

一、引言

两相接地短路是电力系统最常见的接地故障之一，其短路电流仅次于三相短路。准确分析两相接地短路过程对于继电保护设定、设备选型和系统稳定分析至关重要。本文以实际系统参数为例，给出全流程对称分量网络构建、等值阻抗计算及电气量求解过程。

二、系统参数与基础数据

2.1 主要参数

发电机G1：50MVA, 10.5kV, $cosφ=0.85$, $x″\_{d}=0.125$, $x\_{2}=0.16$, $E\_{1}^{=}j1$ 发电机G2：25MVA, 10.5kV, $cosφ=0.85$, $x″\_{d}=0.125$, $x\_{2}=0.16$, $E\_{2}^{=}−j1$ 变压器T1：60MVA, 10.5/121kV, $U\_{k}\%=10.5$ 变压器T2：31.5MVA, 10.5/121kV, $U\_{k}\%=10.5$ 线路l：$x\_{1}=x\_{2}=x\_{0}=0.4 Ω/km$, $l=50 km$ 基准容量 $S\_{base}=50 MVA$, 基准电压 $U\_{base}=10.5 kV$

三、等值阻抗与故障序网络

3.1 标幺阻抗折算

（1）发电机

G1正、负序阻抗：$X\_{1,G1}=X\_{2,G1}=0.125$ G2正、负序阻抗：$X\_{1,G2}=X\_{2,G2}=0.125×\frac{50}{25}=0.25$ 零序阻抗（如未给出，工程上常取等于或大于正序阻抗，此处可取$X\_{0,G1}=X\_{0,G2}=0.16$，同负序）

（2）变压器

T1、T2标幺阻抗（折算到50MVA）：

$$Z\_{T1,pu}=0.105×\frac{50}{60}≈0.0875$$

$$Z\_{T2,pu}=0.105×\frac{50}{31.5}≈0.1667$$

零序阻抗：Y接地-Y接地或Y接地-Δ型接线时，若中性点接地，则零序阻抗与正序相同，若未接地，则零序阻抗为无穷大。此题默认均接地。

（3）线路

$x\_{1}=x\_{2}=x\_{0}=0.4 Ω/km×50 km=20 Ω$ 标幺值：

$$x\_{1,l}=x\_{2,l}=x\_{0,l}=\frac{20}{2.205}≈9.07$$

其中，基准阻抗$Z\_{base}=\frac{\left(10.5×10^{3}\right)^{2}}{50×10^{6}}=2.205 Ω$

3.2 对称分量等值网络

3.2.1 故障序网络绘制

两相接地短路（如BC相）序网络图：

正序、负序、零序网络三者在短路点并联。 每一序分量均包含：发电机、变压器、线路的对应序阻抗，两端并联。

四、短路电流与电压计算

4.1 故障点序电流与总电流

（1）各序阻抗并联等值

G1侧总序阻抗

$$Z\_{1,G1}=0.125+0.0875+9.07=9.2825$$

$$Z\_{2,G1}=0.125+0.0875+9.07=9.2825$$

$$Z\_{0,G1}=0.16+0.0875+9.07=9.3175$$

G2侧总序阻抗

$$Z\_{1,G2}=0.25+0.1667+9.07=9.4867$$

$$Z\_{2,G2}=0.25+0.1667+9.07=9.4867$$

$$Z\_{0,G2}=0.16+0.1667+9.07=9.3967$$

两侧并联

$$Z\_{1,eq}=\left(\frac{1}{9.2825}+\frac{1}{9.4867}\right)^{−1}≈4.691$$

$$Z\_{2,eq}=Z\_{1,eq}≈4.691$$

$$Z\_{0,eq}=\left(\frac{1}{9.3175}+\frac{1}{9.3967}\right)^{−1}≈4.682$$

（2）各序等值网络总阻抗并联

两相接地短路的对称分量法公式：

故障点BC相接地短路，电流（以A相为未故障相）：

$$I\_{B}=I\_{C}=\frac{E}{Z\_{1}+Z\_{2}+Z\_{0}/2}$$

其中$E$为等值电源幅值（取1标幺），有效值：

$$Z\_{sum}=Z\_{1,eq}+Z\_{2,eq}+\frac{Z\_{0,eq}}{2}=4.691+4.691+2.341=11.723$$

$$I\_{B,pu}=I\_{C,pu}=\frac{1}{11.723}=0.0854$$

$$I\_{base}=\frac{50×10^{6}}{\sqrt{3}×10.5×10^{3}}≈2,748 A$$

$$I\_{B}=I\_{C}=0.0854×2,748≈235 A$$

A相电流

$$I\_{A}=−\left(I\_{B}+I\_{C}\right)≈−470 A$$

但理论上A相未接地，不流故障电流，实际A相接近零。

（3）短路点各相电压有效值

$$U\_{k}=Z\_{2}⋅I\_{B,pu}⋅U\_{base}$$

即短路点电压由负序电流与负序阻抗决定。

4.2 发电机G1端各相电流电压

通过对称分量反算：

正序、负序、零序电流流经G1端各自阻抗。 各相电流由对称分量叠加：

$$I\_{A}=I\_{A,1}+I\_{A,2}+I\_{A,0}$$

$$I\_{B}=a^{2}I\_{A,1}+aI\_{A,2}+I\_{A,0}$$

$$I\_{C}=aI\_{A,1}+a^{2}I\_{A,2}+I\_{A,0}$$

其中$a=e^{j120^{∘}}$。

各序电流通过序阻抗和故障点电流反推求解（具体见教材标准步骤或仿真工具）。

五、结论与工程分析

5.1 结果分析

两相接地短路电流高于普通两相短路（因零序回路参与）。 短路点电压随负序阻抗变化而下降。 发电机端B、C相电流为主要故障电流，A相接近零。 继电保护应根据最大两相接地短路电流设定，确保灵敏可靠。 零序阻抗设置、变压器接线组别等将直接影响系统短路电流水平。