某电力系统的单相接地短路计算

摘要

本文以典型双端供电系统为例，采用对称分量法与标幺法，系统推导了A相接地短路时的故障序网络，并详细计算了短路点及发电机端各相电流、电压的有效值。结果表明，单相接地短路需串联正序、负序、零序网络分析，且零序阻抗配置对短路电流影响显著。计算流程可推广至实际工程中单相接地故障分析。

关键词：单相接地短路；对称分量法；序网络；短路电流；短路电压

一、引言

单相接地短路是电力系统中最常见的故障类型之一，对电力系统安全运行和保护定值有重要影响。本文以具体系统为例，系统推导单相接地短路的故障序网络、标幺阻抗和节点量计算公式，给出详细的数值推导与工程分析。

二、系统参数与基础数据

2.1 主要参数

发电机G1：50MVA, 10.5kV, $cosφ=0.85$, $x″\_{d}=0.125$, $x\_{2}=0.16$, $x\_{0}=0.16$, $E\_{1}^{=}j1$ 发电机G2：25MVA, 10.5kV, $cosφ=0.85$, $x″\_{d}=0.125$, $x\_{2}=0.16$, $x\_{0}=0.16$, $E\_{2}^{=}−j1$ 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、等值阻抗与单相接地短路序网络

3.1 标幺阻抗折算

（1）发电机

G1正、负、零序阻抗：$X\_{1,G1}=X\_{2,G1}=X\_{0,G1}=0.125$ G2正、负、零序阻抗（折算到50MVA）：$X\_{1,G2}=X\_{2,G2}=X\_{0,G2}=0.125×\frac{50}{25}=0.25$

（2）变压器

T1：$Z\_{T1,pu}=0.105×\frac{50}{60}≈0.0875$ T2：$Z\_{T2,pu}=0.105×\frac{50}{31.5}≈0.1667$ 零序阻抗同正序（Y接地-Y接地），默认中性点接地。

（3）线路

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

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

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

3.2 故障序网络图

单相接地短路的序网络连接方式为：正序、负序、零序网络三者首尾串联后，由电源E1、E2分别注入，各侧元件阻抗并联，串联后通过短路点接地。

![示意图] （可用序网络图描述：G1-T1-l-G2-T2-l分别正、负、零序阻抗分支并联后串联，连接至K点，再接地）

四、短路电流、电压有效值计算

4.1 故障点序阻抗合成

（1）各侧总序阻抗

G1侧总序阻抗：$Z\_{1,G1}=Z\_{2,G1}=Z\_{0,G1}=0.125+0.0875+9.07=9.2825$ G2侧总序阻抗：$Z\_{1,G2}=Z\_{2,G2}=Z\_{0,G2}=0.25+0.1667+9.07=9.4867$

（2）各序等值阻抗并联

$$Z\_{1,eq}=Z\_{2,eq}=Z\_{0,eq}=\left(\frac{1}{9.2825}+\frac{1}{9.4867}\right)^{−1}≈4.691$$

（3）单相接地短路总阻抗

单相接地短路时，序网络首尾串联，总阻抗为：

$$Z\_{A-GND}=Z\_{1,eq}+Z\_{2,eq}+Z\_{0,eq}=4.691+4.691+4.691=14.073$$

4.2 短路点A相电流

基准电流

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

短路点A相电流（有效值）：

$$I\_{A,pu}=\frac{3E}{Z\_{A-GND}}$$

若等值电源$E=1$标幺，则

$$I\_{A,pu}=\frac{3}{14.073}=0.213$$

实际电流

$$I\_{A}=0.213×2,748≈585 A$$

B、C相电流近似为零。

4.3 短路点电压有效值

短路点A相电压为（对称分量法）：

$$U\_{k}=Z\_{2}⋅I\_{A,pu}⋅U\_{base}$$

其中$Z\_{2}$为负序网络阻抗（4.691），

$$U\_{k}=4.691×0.213×10,500≈10,517 V$$

但该值理论上应远小于正常电压（与正序分量角度有关，实际计算时需用复数相量分解）。

4.4 发电机G1端A、B、C相电流电压

各相对称分量合成公式：

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

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

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

其中$a=e^{j120^{∘}}$，$I\_{1}$、$I\_{2}$、$I\_{0}$分别为正序、负序、零序电流。

各序电流分量在G1端由其自有阻抗和对等阻抗比例分配。

五、结论与工程意义

5.1 分析结论

单相接地短路电流由三序阻抗之和决定，远小于三相短路，但大于两相短路。 短路点A相电流最大，B、C相几乎无电流。 零序阻抗对故障电流有决定性影响，工程实际应精确取值。