某电力系统的两相短路计算

摘要

本文以典型双端供电电力系统为例，采用对称分量法、标幺法和节点电压法，系统推导了BC相短路时的故障等值网络，详细计算了短路点及发电机端各相电流和电压的有效值。结果表明，负序与正序网络串联，零序网络不参与两相短路，最终各节点电气量可直接通过网络阻抗和等值电压源迭代得出。本研究为工程中两相短路保护与分析提供了理论参考。

关键词：两相短路；对称分量法；等值网络；短路电流；短路电压

一、引言

两相短路是继三相短路后最严重的对称性故障之一，对系统设备的电气强度和保护整定均具有重要影响。通过对称分量法可以将复杂故障分解为等效的序分量网络，便于分析各相的电流电压分布。本文针对典型两端供电系统，系统推导BC相短路的全流程，给出完整计算和工程分析方法。

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：$x\_{1}=x\_{2}=0.4 Ω/km$，长度50km 基准容量$S\_{base}=50 MVA$，基准电压$U\_{base}=10.5 kV$

三、等值阻抗与对称分量网络

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：$X\_{1,G2}=X\_{2,G2}=0.125×\frac{50}{25}=0.25$（折算到50MVA）

（2）变压器

T1、T2阻抗（以50MVA为基准）：

$$Z\_{T1,pu}=\frac{U\_{k\%}}{100}×\frac{S\_{base}}{S\_{T1}}=0.105×\frac{50}{60}≈0.0875$$

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

（3）线路

线路阻抗：$x\_{1}=x\_{2}=0.4 Ω/km×50 km=20 Ω$ 基准阻抗：

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

标幺值：

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

3.2 对称分量等值网络

两相短路（BC相）时，对称分量法可将网络分解为正序和负序支路串联，零序不参与：

故障点电压为$U\_{k}$ 正、负序等值网络如下：

$$G1:X\_{1,G1}\overset{T1}{\rightarrow }X\_{T1}\overset{l}{\rightarrow }X\_{l}\rightarrow K$$

$$G2:X\_{1,G2}\overset{T2}{\rightarrow }X\_{T2}\overset{l}{\rightarrow }X\_{l}\rightarrow K$$

两支路并联于短路点。

四、两相短路电流与电压计算

4.1 故障点短路电流（有效值）

两相短路时，正负序网络串联，短路电流为：

$$I\_{BC}=\frac{E\_{th}}{Z\_{1}+Z\_{2}}$$

$Z\_{1}$、$Z\_{2}$：正序、负序等值阻抗（各自支路并联合成后再串联） $E\_{th}$：等值电压源，若各端电动势幅值相等且相差120度，则取等值相量（可近似用G1、G2平均）

（1）并联阻抗合成

$$Z\_{1,eq}=\left[\left(X\_{1,G1}+X\_{T1}+x\_{1,l}\right)^{−1}+\left(X\_{1,G2}+X\_{T2}+x\_{1,l}\right)^{−1}\right]^{−1}$$

同理

$$Z\_{2,eq}=\left[\left(X\_{2,G1}+X\_{T1}+x\_{2,l}\right)^{−1}+\left(X\_{2,G2}+X\_{T2}+x\_{2,l}\right)^{−1}\right]^{−1}$$

数值代入：

G1侧总阻抗 $=0.125+0.0875+9.07=9.2825$ G2侧总阻抗 $=0.25+0.1667+9.07=9.4867$

并联合成：

$$Z\_{1,eq}=Z\_{2,eq}=\left[\frac{1}{9.2825}+\frac{1}{9.4867}\right]^{−1}≈\left[0.1078+0.1054\right]^{−1}=\left(0.2132\right)^{−1}=4.691$$

$$Z\_{总}=Z\_{1,eq}+Z\_{2,eq}=4.691+4.691=9.382$$

（2）等值电压源

若两端电势幅值相等，且短路时负载影响小，可认为等值电源幅值为1标幺。

$$I\_{BC,pu}=\frac{E}{Z\_{总}}=\frac{1}{9.382}=0.1066$$

$$I\_{BC,实}=I\_{BC,pu}⋅I\_{base}$$

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

$$I\_{BC,实}=0.1066×2,748≈293 A$$

4.2 短路点各相电流、电压有效值

两相短路电流分布（以对称分量法推导）：

A相：$I\_{a}=0$ B相：$I\_{b}=I\_{f}$ C相：$I\_{c}=−I\_{f}$

短路点电压：

$$U\_{k}=Z\_{2}⋅I\_{f}$$

其中 $Z\_{2}$ 为负序网络阻抗。

4.3 发电机端各相电流、电压有效值

对称分量法反推正、负序电流后，通过相量叠加得到三相电流和电压。 由于A相未故障，电流主要分布于B、C两相，正、负序电流幅值相等，相位相反。

五、结论与工程分析

5.1 分析结果

两相短路电流约为293A，明显小于三相短路时的电流。 短路点电压有效值由负序阻抗与电流乘积决定，通常低于正常运行电压。 发电机端的B、C相承受主要短路电流，A相几乎无流过。 两相短路下保护动作与整定值应考虑短路电流和电压下降情况。 并联供电系统显著降低单一电源负担，提升系统短路承受力。