

2024

80教育供配电专业考试精讲课

第一讲 短路电流实用方法计算（重点难点）



供配电、发输变专业【新考生】复习策略

新考生第一轮复习方法：

【1】按章节学习“入门课”知识+精讲课内容，每章开始前先听入门课的知识。

【2】听完课，配套的习题章节知识题全部做完(案例题可以稍微放下)，这一轮知识题下来，你会对该章节覆盖的规范和手册有个全面了解.知识题配套有对应的视频讲解。

【3】习题知识题做完后，开始做《章节真题》的知识题+案例题，然后去听该章节的案例题视频讲解

【4】学有余力的同学开始《习题》的自编案例题的拔高训练

【5】咨询魏工 QQ: 8412872，郑工QQ: 543882143，风烛老师：984280171



2024年供配电、发输变专业【老考生】复习策略

- 【1】即日起，开始将“每日一题”认真完成，彻底弄懂理解。
- 【2】利用空余时间将22年课程进行回放，把自己不懂的知识点弄清楚。
- 【3】年份版真题按计划进行刷题，正确率达到95%，2小时一套题，17.18.21年真题除外。
- 【4】有80练习题的，请按章节完成，该习题难度大，不会的先听习题讲解，再不懂的，群内问老师解决。
- 【5】有80模拟题、密押题的。在真题和习题都达标以后，可以进行模拟题、密押题，学习方法跟习题一样。
- 【6】80供配电、发输变专业会推出规范通读，请务必去听，已经讲过的，可以听录播。
- 【7】利用一切空余时间多看手册，多看规范。不懂就在群内提出问题。

任何疑惑均可咨询魏工QQ: 8412872, 郑工QQ: 543882143, 风烛QQ:984280171, 潘工QQ:1137747321



做题顺序：习题知识题→分类真题知识题+案例题→习题案例题→年份版真题→模拟题》

80供配电、发输变专业做题策略

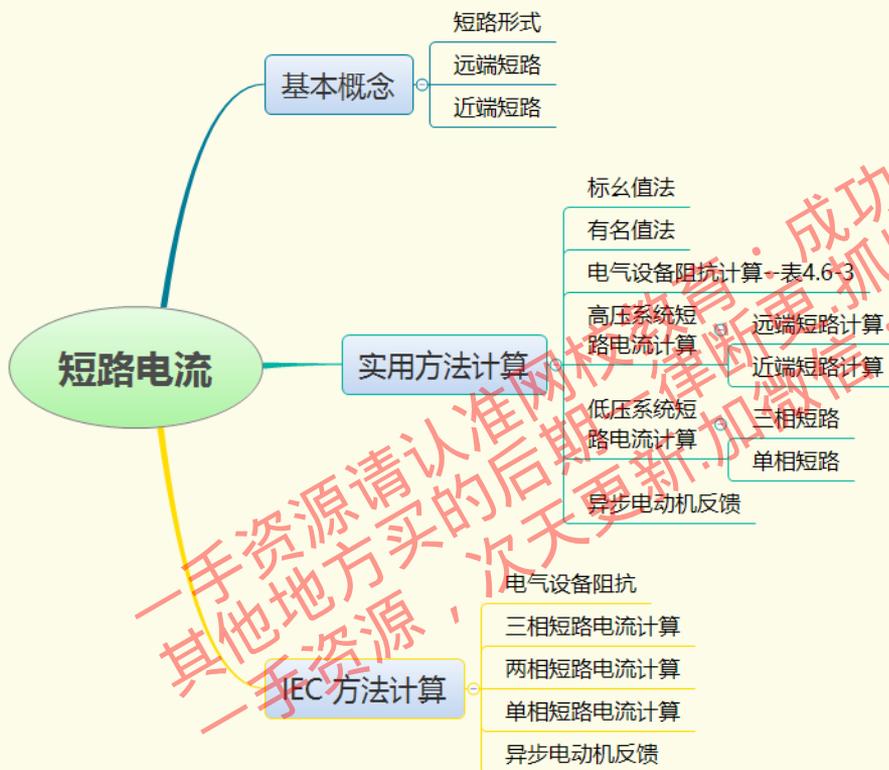
- ◆ **分类真题**：新生课后及时完成当前章节的06-14年分类真题，老生完成06-22年。务必具备一本按最新规范、手册编写的分类真题。不懂的及时看**分类真题**讲解视频。
- ◆ **做题方法**：做题时新生会碰到读题get不到考点，无须急躁。参照答案翻阅相关规范、手册解答出。然后再重新盖住答案自己进行解答。反复循序，后续就会非常顺利解答出。
- ◆ **80题库**：充分利用好“**80题库**”，即使做的是纸质的真题，也要去题库中把错题答案填一下，让题库帮你自动加入到专属于自己的“错题本”。真题在精讲阶段起码按章节做一遍，在提高班后，按章节做2遍。
- ◆ **年份真题**：7月份后，按**年份真题**做一遍。即真题起码要3遍以上，务必重视真题。在第3遍以后就不用全部刷真题，这时“**专属错题本**”就起作用了，重点刷错题本。平时也可以随时调出错题本研究下错题。根据以往考生亲身体会，会发现错题第二遍做还是一样的错法。
- ◆ **阶段测试题**：在精讲阶段中一定要发挥“**阶段测试题**”的作用，及时完成阶段测试题，
- ◆ **80练习题**：“**精讲阶段**”新生必须完成80习题的**配套知识题**，老生尽可能完成**知识题+案例题**，题目覆盖全部规范和手册。练习题广受好评。
- ◆ **80的模拟题**：模拟题阶段，认真研读，掌握《**80的模拟题**》，全部弄懂，考试无忧！
- ◆ 复习方法有任何疑问均可咨询魏工QQ：8412872，郑工QQ：543882143



短路电流涉及的主要规范和手册：

1. 《导体和电器选择设计技术规定》 DL/T5222-2021 附录A
2. 《工业与民用供配电设计手册》上册第4章
3. 《钢铁企业电力设计手册》上册 P186表

案例题特点：难理解、计算量大，尤其要重点掌握实用方法计算，IEC只要掌握例题1，例题2即可



一手资源请认准后期教育·成功者教育...
其他地方买的后期教育·抓紧退款退款
一手资源，次日更新！加微信：cgz368368



短路电流第一讲

01

短路类型

02

短路电流的基本概念（重点）

03

短路的计算方法

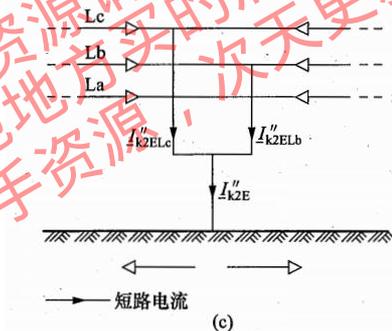
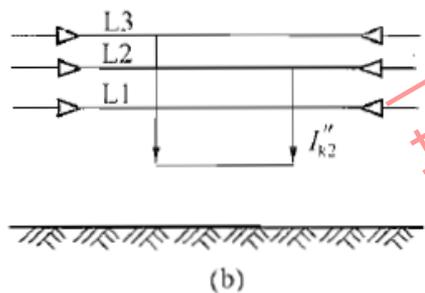
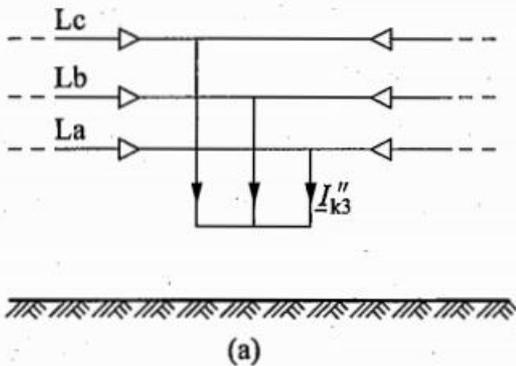
04

电气设备的阻抗计算（重点）

05

高压系统短路电流计算（重点）

1. 平衡短路：三相短路k⁽³⁾



2. 不平衡短路：

- 两相不对地短k⁽²⁾ 两相对地短路k^(1,1)
- 单相接地短路k⁽¹⁾

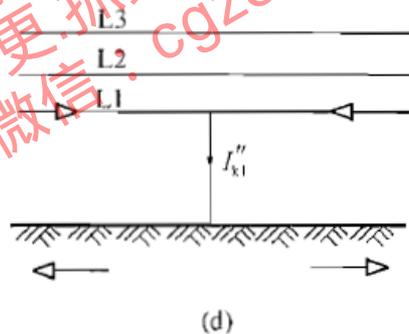


图4.1-3 短路的类型

- a) 三相短路 b) 两相短路
c) 两相接地短路 d) 单相相接地短路

● 短路的原因：

- 1) 电气设备载流部分的绝缘损坏
- 2) 人员误操作、鸟兽危害等

● 短路的后果：

- 1) 电流急剧增大，设备温度急剧上升，会使绝缘老化或损坏
- 2) 电动力会使设备载流部分变形或损坏
- 3) 短路电压骤降，影响其他设备的正常运行
- 4) 严重的短路会影响系统的稳定性
- 5) 短路还会造成停电
- 6) 不对称短路的短路电流会较强的不平衡交变磁场，对通信和电子设备等产生电磁干扰等



计算短路电流目的

- 正确选择和校验电气及其保护装置----三相对称短路电流初始值
- 继电保护装置的整定及灵敏系数校验---计算不对称短路的最小短路电流值
- 校验电气设备及载流导体的电动力稳定和热稳定 ----短路电流峰值、三相稳态电流
- 计算大中型电动机的起动电压降时，用到三相短路容量
- 验算接地装置的接触电压和跨步电压时-----用到单相对地短路电流

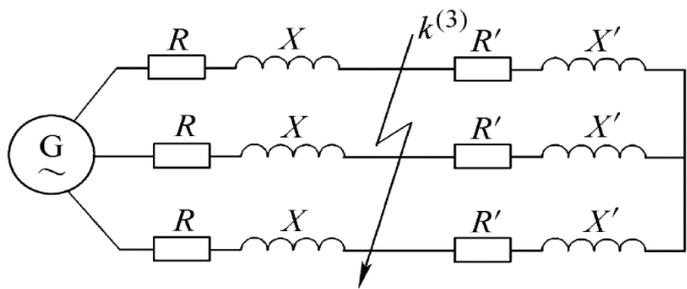


二、短路电流的基本概念

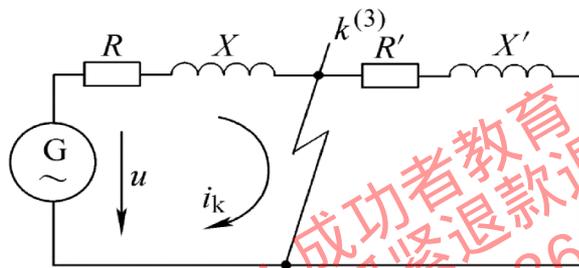
1. $I_k(I_\infty)$: 稳态短路电流有效值 (时间为无穷大时的周期分量有效值)
2. $I_k''(I'')$: 对称短路电流初始值或超瞬态电流有效值 (0秒时的周期分量有效值)
3. i_{dc} : 短路电流非周期分量 (直流分量), 从初始值衰减为0.
4. i_p : 短路冲击电流 (短路全电流最大瞬时值或短路电流峰值) 常用于计算高压电器动稳定
5. $I_{0.2}$: 短路后0.2秒的周期性分量有效值。对于远端短路, $I_{0.2}=I_k$
6. I_b : 对称开断电流 (开关电器的第一对触头分断瞬间, 短路电流对称周期分量的有效值)
7. 短路全电流: 短路电流周期分量与非周期分量之和。某一瞬时t的短路全电流有效值是以时间t为中点的一个周期内ik的有效值与 i_{dc} 在t的瞬时值的方均根值
8. 短路全电流最大有效值 I_p : 短路后第一个周期的短路电流有效值, 也叫短路冲击电流有效值。

$$I_p = I_k'' \sqrt{1 + 2(K_p - 1)^2}$$

◆ 无限大容量系统三相短路:



a) 三相电路



b) 等值单相电路

短路前:

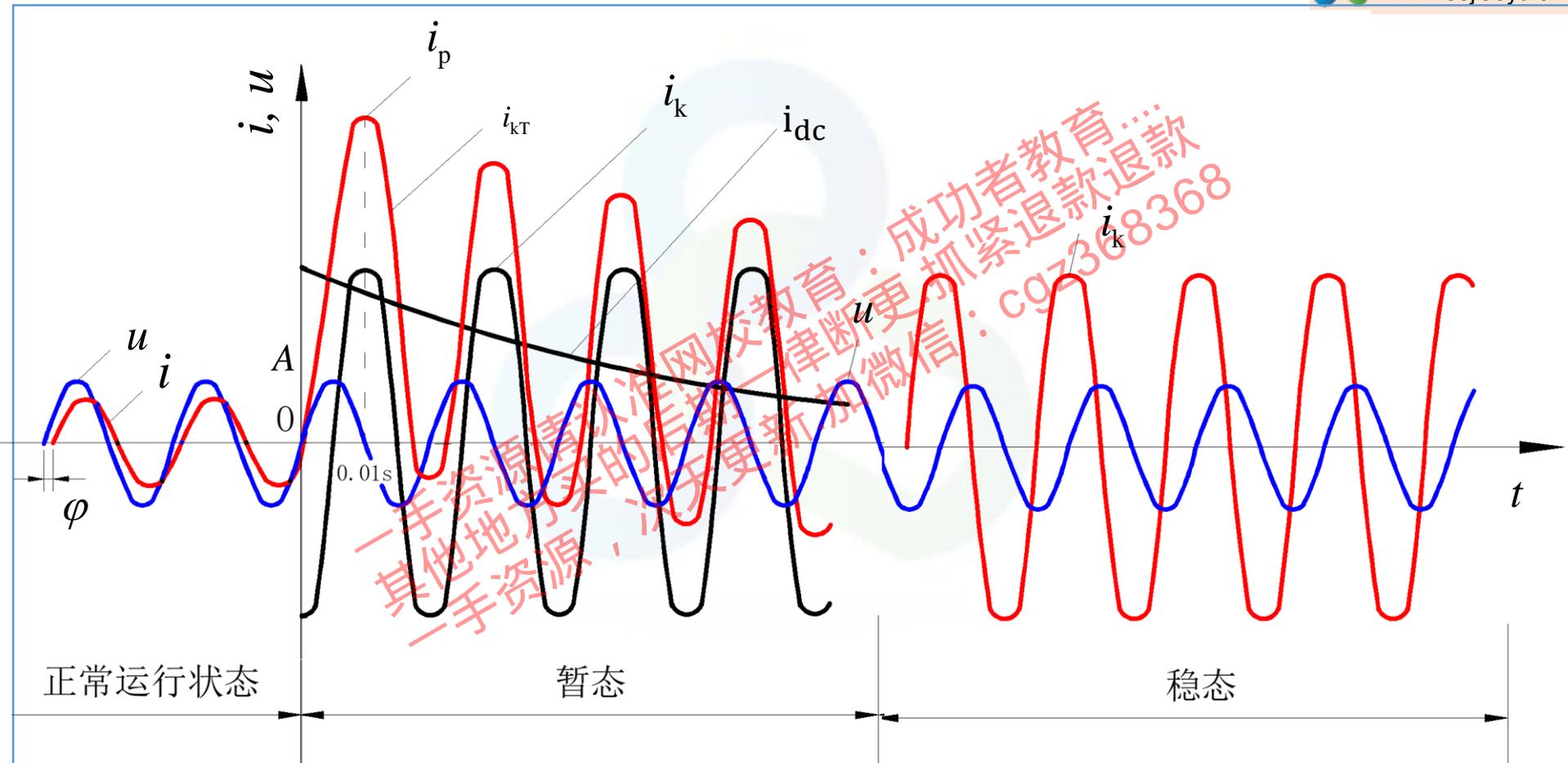
$$i = \frac{U}{\sqrt{(R + R')^2 + (X + X')^2}} \Rightarrow \text{短路后: } i' = \frac{U}{\sqrt{R^2 + X^2}}$$

电路中存在电感，发生短路后，电流不能突变，有一个过渡过程即短路暂态过程。

所以短路电流包括了周期分量和非周期分量（直流分量）。如下式：

$$i_{kt} = i_k + i_{d.c}$$

无限大容量系统发生三相短路图



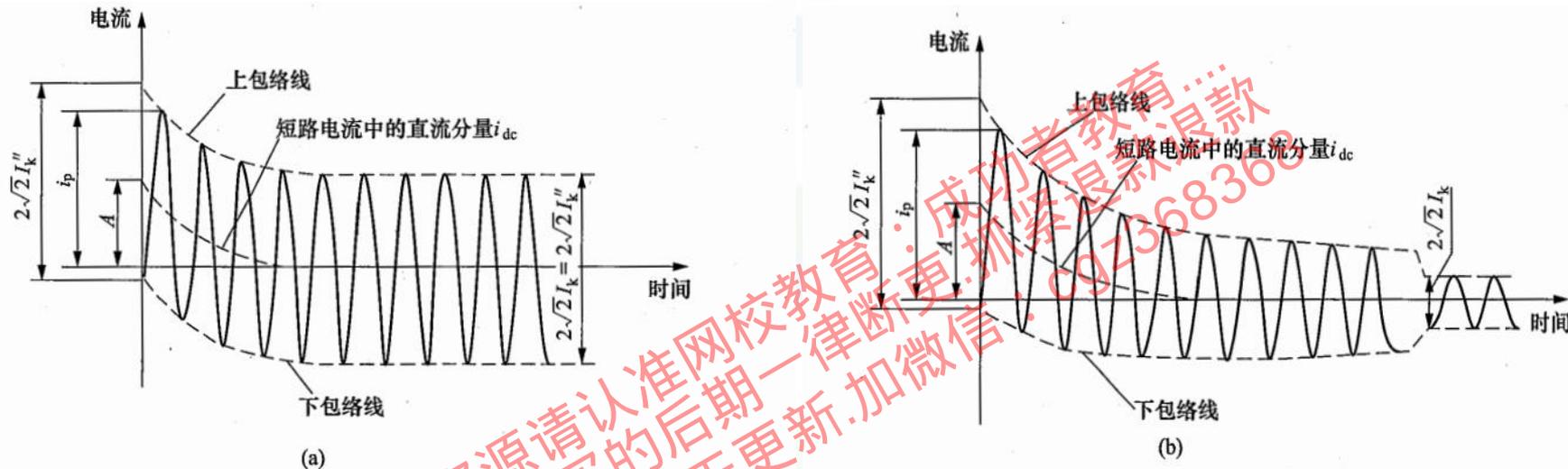


图 4.1-2 短路电流波形图

(a) 远端短路时的短路电流波形图；(b) 近端短路时的短路电流波形图

I_k'' —对称短路电流初始值； i_p —短路电流峰值； I_k —短路电流稳态值；

i_{dc} —短路电流的非周期（直流）分量； A —非周期分量初始值

三、短路电流计算方法

短路电流计算过程：绘出计算电路图、元件编号、绘等效电路、通过**网络变换**求得电源至短路点之间的等值总阻抗，最后按照公式或者运算曲线求出短路电流和短路容量。

实用短路电流计算法中的电参数可以用有名单位制表示，也可用标么制表示。

- 标么制：一般用于高压系统短路电流计算
- 有名单位制（欧姆制）：一般用于1000V以下的低压系统短路电流计算



有名值：用实际有各单位表示物理量的方法称为有各单位制。

标么值：有名值与基准值的比值

说明：

- ①用标么值进行计算时，各元件电抗必须换算为选定的基准容量下的标么值，才能进行串、并联或星—三角变换的化简计算
- ②用标么值进行计算时，基准电压采用元件所在级的平均电压 U_{av}
- ③用有名值进行计算时，必须把各电压级所在元件电抗的标么值或有名值，换算到短路计算点所在基准电压级内的有名值，才能进行串、并联或星—三角变化的化简计算
- ④标么值广泛地用于高压网络的短路电流计算
- ⑤有名值一般用于低压网络的短路电流计算

1、标么制

标么制是一种相对单位制，电参数的标么值为其有名制与基值之比，包括容量标么值、电压标么值、电流标么值和电抗标么值，计算式分别如下

任一物理量的标么值 $A_* = \frac{A}{A_b}$ (实际值与基准值之比)

容量标么值 $S_* = \frac{S}{S_b}$ $S_b = \sqrt{3}U_b I_b$ $S_b = 100\text{MVA}$ (可以任意选取，一般取100MVA)

电压标么值 $U_* = \frac{U}{U_b}$ $U_b = U_{av} = 1.05U_n$ (U_n 为系统标称电压)

电流标么值 $I_* = \frac{I}{I_b}$ $I_b = \frac{S_b}{\sqrt{3}U_b} = \frac{S_b}{\sqrt{3}U_{av}}$

电抗标么值 $X_* = \frac{X}{X_b}$ $X_b = \frac{U_b}{\sqrt{3}I_b} = \frac{U_{av}^2}{S_b}$

标幺制说明:

①用标幺值进行计算时,各元件电抗必须换算为选定的**基准容量**下的标幺值,才能进行串、并联或星-三角变换的化简计算

②用标幺值进行计算时,基准电压采用元件所在级的**平均电压 U_{av}**

确定标幺值的常用基准值见表 4.6-2。

表 4.6-2 常用基准值 ($S_b=100MVA$ $U_b=1.05U_n$)

系统标称电压 U_n (kV)	0.38	0.66	3	6	10	20	35	66	110
基准电压 U_b (kV)	0.40	0.69	3.15	6.30	10.5	21	37	69.3	115
基准电流 I_b (kA)	144.7	83.31	18.33	9.16	5.50	2.75	1.56	0.83	0.50

(2) 有名单位制

有名制:用实际有名单位表示物理量的方法称为有名单位制。

用有名单位制(欧姆制)计算短路电路的总阻抗时。必须把各电压等级所在元件阻抗的相对值和欧姆值,都归算到**短路点所在级平均电压下**的欧姆值,才能进行串、并联或星-三角变化的化简计算。

三.电气设备的阻抗计算（重点）

电路元件阻抗标么值和有名值的换算公式

序号	元件名称	标么值	有名值 (Ω)	符号说明
1	同步电机 (同步发电机 或电动机)	$X_d^* = \frac{x_d''\%}{100} \frac{S_b}{S_{NG}}$ $= x_d'' \frac{S_b}{S_{NG}}$	$X_d'' = \frac{x_d''\%}{100} \cdot \frac{U_{av}^2}{S_{NG}}$ $= x_d'' \frac{U_{av}^2}{S_{NG}}$	
2	双绕组变压器	$R_T^* = P_{krT} \frac{S_b}{S_{NT}^2} \times 10^{-3}$ $X_T^* = \sqrt{Z_T^{*2} - R_T^{*2}}$ $Z_T^* = \frac{u_{kN}\%}{100} \frac{S_b}{S_{NT}}$ <p>当电阻值允许忽略不计时</p> $X_T^* = \frac{u_{kN}\%}{100} \frac{S_b}{S_{NT}}$	$R_T = \frac{P_{krT}}{3I_{krT}^2} \times 10^{-3}$ $= \frac{P_{krT} U_b^2}{S_{NT}^2} \times 10^{-3}$ $X_T = \sqrt{Z_T^2 - R_T^2}$ $Z_T = \frac{u_{kN}\%}{100} \frac{U_b^2}{S_{NT}}$ <p>当电阻值允许忽略不计时</p> $X_T = \frac{u_{kN}\%}{100} \frac{U_b^2}{S_{NT}}$	<p>S_{NG}—同步电机的额定容量, MVA;</p> <p>S_{NT}—变压器的额定容量, MVA;</p> <p>x_d''—同步电动机的超瞬态电抗相对值;</p>



3	电抗器	$Z_R^* \approx X_R^*$ $= \frac{u_{kR}\%}{100} \frac{U_{NR}}{\sqrt{3}I_{NR}} \cdot \frac{S_b}{U_b^2}$ $= \frac{u_{kR}\%}{100} \frac{U_{NR}}{I_{NR}} \frac{I_b}{U_b}$	$Z_R \approx X_R = \frac{u_{kR}\%}{100} \frac{U_{NR}}{\sqrt{3}I_{NR}}$ $R_b \ll X_b$
4	线路	$X^* = X \frac{S_b}{U_b^2}$ $R^* = R \frac{S_b}{U_b^2}$	
5	电力系统 (已知短路容量 S_S^*)	$X_S^* = \frac{S_b}{S_S^*}$	$X_S = \frac{U_b^2}{S_S^*}$
6	基准电压相同, 从某一基准容量 S_{b1} 下的标幺值 X_1^* 换算到另一基准容量 S_b 下的标幺值 X^*	$X^* = X_1^* \cdot \frac{S_b}{S_{b1}}$	
7	将电压 U_{R1} 下的电抗值 X_1 换算到另一电压 U_{R2} 下的电抗值 X_2		$X_2 = X_1 \frac{U_{R2}^2}{U_{R1}^2}$

S_{NG} —同步电机的额定容量, MVA;

S_{NT} —变压器的额定容量, MVA;

x_d'' —同步电动机的超瞬态电抗相对值;

$x_d''\%$ —同步电动机的超瞬态电抗百分比;

$u_{kN}\%$ —变压器额定阻抗电压百分比;

$u_{kR}\%$ —电抗器额定阻抗电压百分比;

U_{NT} —变压器额定电压(指线电压), kV;

U_{NR} —电抗器额定电压(指线电压), kV;

I_{NT} —变压器额定电流, kA;

I_{NR} —电抗器额定电流, kA;

X, R —线路每相电抗值、电阻值, Ω ;

S_s'' —系统短路容量, MVA;

S_b —基准容量, MVA;

P_{kT} —变压器负载损耗, kW;

U_b —基准电压, kV, 对于发电机实际是设备电压。

一手资源请认准网校教育, 成功者教育退款
其他地方买的后期一律断更, 加微信: cg2368368
一手资源, 次日更新, 加微信

补充：三绕组变压器阻抗计算

三相三绕组电力变压器每个绕组的电抗百分值按下列公式计算

$$\left. \begin{aligned} x_1\% &= \frac{1}{2}(u_{k12}\% + u_{k13}\% - u_{k23}\%) \\ x_2\% &= \frac{1}{2}(u_{k12}\% + u_{k23}\% - u_{k13}\%) \\ x_3\% &= \frac{1}{2}(u_{k13}\% + u_{k23}\% - u_{k12}\%) \end{aligned} \right\}$$

(4-11)

式中 $u_{k12}\%$ 、 $u_{k13}\%$ 、 $u_{k23}\%$ —— 每对绕组的阻抗电压百分值，其间相互关系见图 4-3。



图 4-3 三相三绕组变压器等值变换

将 $X_1\%$ 、 $X_2\%$ 、 $X_3\%$ 代入此公式计算 $R_T^* = P_{kT} \frac{S_b}{S_{NT}^2} \times 10^{-3}$ 出标么值。

$$X_T^* = \sqrt{Z_T^{*2} - R_T^{*2}}$$

$$Z_T^* = \frac{u_{kN}\%}{100} \frac{S_b}{S_{NT}}$$

当电阻值允许忽略不计时

$$X_T^* = \frac{u_{kN}\%}{100} \frac{S_b}{S_{NT}}$$

$x_2\%$ 计算出来可能是 0，甚至负值，计算出何值就用何值计算。公式中的 S_{NT} 是用三绕组变压器最大绕组容量。

总结:

1.基准容量的选择,原则上可任意选择,但是为了计算简便

1) 一般取 $S_b = 100\text{MVA}$ 2) 如果是有限容量系统,取发电机额定容量 $S_b = S_r G$;

2.基准电压的选择,基准电压取**各电压级平均电压** U_{av} ,即 $U_b = U_{av} = 1.05U_n$ (U_n 为系统标称电压)。

3.常用的基准值,因为 $S_b = 100\text{MVA}$,所以根据元件所在电压等级 U_b ,直接查表得到电流基准值。

4.相电压与线电压标么值相同;单相功率与三相功率标么值相同,电流标么值与容量标么值相同。

$$I_K^{(3)*} = \frac{I_K^{(3)}}{I_d} = \frac{U_C / \sqrt{3} X_\Sigma}{S_d / \sqrt{3} U_C} = \frac{U_C^2}{S_d X_\Sigma} = \frac{1}{X_\Sigma^*}$$

$$I_K^{(3)} = I_K^{(3)*} I_d = \frac{I_d}{X_\Sigma^*}$$

【06-1-P-12】已知一条50公里长的110kV架空线路，其架空导线每公里电抗为0.409Ω。若计算基准容量为100MVA，改线路电抗标么值是多少？

- (A) 0.155 (B) 0.169 (C) 0.204 (D) 0.003

答案：【A】

解析：《工业与民用供配电设计手册》（第四版）P281 表4.6.3

$$X_* = X \frac{S_j}{U_j^2} = 50 \times 0.409 \frac{100}{115^2} = 0.155$$

【07-1-A-10】当基准容量为100MVA时，系统电抗标么值为0.02，若基准容量为1000MVA时系统电抗标么值应为下列哪项数值？

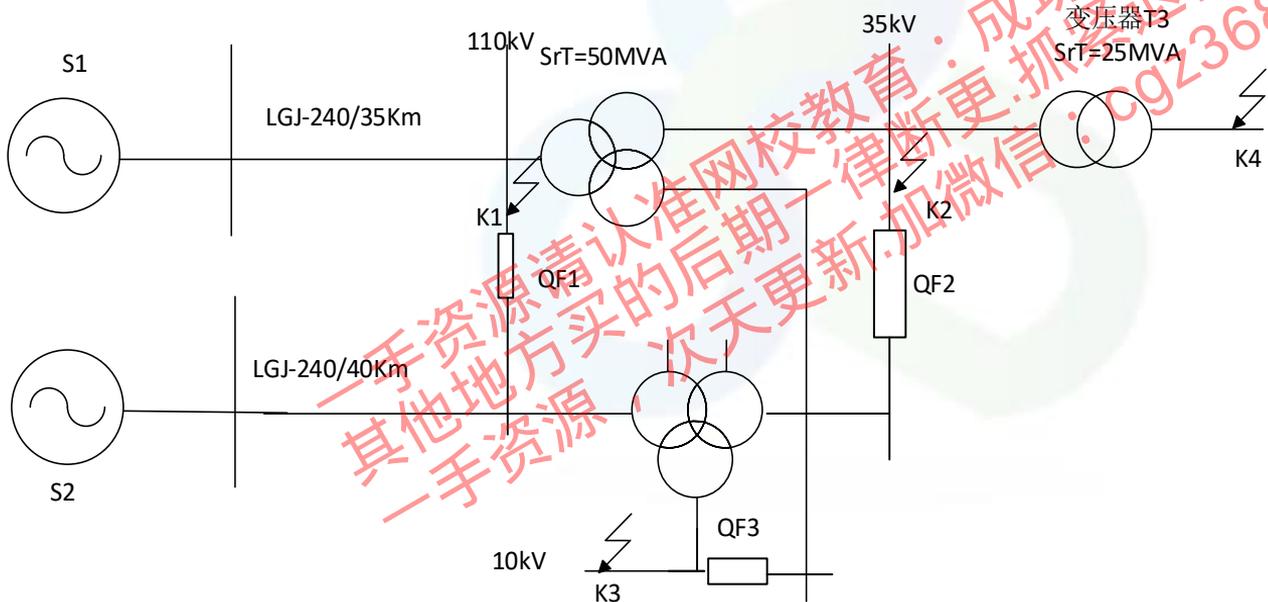
- (A) 5 (B) 20 (C) 0.002 (D) 0.2

答案：【D】

解析：《工业与民用供配电设计手册》（第四版）P281 表4.6.3，不同基准容量下的系统电抗计算公式， $X_{*b} =$

$$X_{*j1} \frac{S_b}{S_{b1}} = 0.02 \times \frac{1000}{100} = 0.2, \text{电抗标么值和系统容量成正比, 选D.}$$

题16-20: 某企业新建110/35/10kV变电所，设2台SSZ11-50000/110的变压器， $U_{k12\%}=10.5$ ， $U_{k13\%}=17$ ， $U_{k22\%}=6.5$ ，容量比为100/50/100，短路电流计算系统图如图所示。第一电源的最大短路容量 S_{1sd} 为4630MVA，最小短路容量 S_{1m} 为1120MVA；第二电源的最大短路容量 S_{2sd} 为3630MVA，最小短路容量 S_{2m} 为1310MVA。110kV线路的阻抗为 $0.4\Omega/km$ 。（各元件有效电阻值较小，不予考虑）请回答下列问题：



【16-2-A-16】.主变压器三侧绕组（高、中、低）以100MVA为基准容量的电抗标么值应为下列哪组数值？

- (A) 0.21, 0, 0.13 (B) 0.21, 0.13, 0.34
(C) 0.26, 0, 0.16 (D) 0.42, 0, 0.26

80教育答案：【A】QQ群：726445291

解答过程：根据《工业与民用供配电设计手册》（第四版）P281表4.6-3。

$$x_1 = \frac{1}{2} (10.5 + 17 - 6.5) = 10.5, x_2 = \frac{1}{2} (10.5 + 6.5 - 17) = 0$$

$$x_3 = \frac{1}{2} (17 + 6.5 - 10.5) = 6.5$$

$$X_1 = \frac{x_1 \% S_j}{100 S_{rT}} = \frac{10.5}{100} \times \frac{100}{50} = 0.21; X_2 = \frac{x_2 \% S_j}{100 S_{rT}} = 0$$

$$X_3 = \frac{x_3 \% S_j}{100 S_{rT}} = \frac{6.5}{100} \times \frac{100}{50} = 0.13$$

四.高压系统 远端短路电流计算（重点）

远端短路

以供电电源容量为基准，电源到短路点的等值总阻抗的标么值 ≥ 3

交流分量（周期分量）不衰减

直流分量衰减

近端短路

以供电电源容量为基准，电源到短路点的等值总阻抗的标么值 < 3

交流分量（周期分量）、直流分量都衰减

电源一般为发电机

考点1：远端短路判断

远端短路的单电源馈电的三相短路电流初始值 I_k'' 的计算：远离发电机端的（无限大容量）网络发生短路时，即以**电源容量为基准**的计算电抗 $X_{*c} \geq 3$ 时，短路电流交流分量在这个短路过程中不发生衰减

特点：①短路电流交流分量在这个短路过程中不发生衰减，即 $I_k'' = I_{0.2} = I_k$.

②直流分量从最大衰减为0

考点2：近端短路判断

近端短路：在工程计算中，至少有一台同步电机供给短路点的短路电流初始值超过这台发电机额定电流的两倍；或异步电动机反馈到短路点电流超过不接电动机时该点的短路电流初始值的5%时，则认为近端短路。预期短路电流由幅值衰减的交流分量和以初始值A衰减到零的直流分量组成。通常认为近端短路的稳态短路电流有效值 I_k 小于对称短路电流初始值 I 。

特点：①短路电流交流分量在这个短路过程中发生衰减，即 $I_k'' > I_k$ 。
②直流分量从最大衰减为0

<DL/T 5222-2021 附录A.1 知识题>

A.1 短路电流计算条件短路电流实用计算中，采用以下假设条件和原则：

A.1.1 正常工作时三相系统**对称**运行。

A.1.2 所有电源的电动势相位角相同。

A.1.3 系统中的同步和异步电动机均为理想电动机，**不考虑**电机磁饱和、磁滞、涡流及导体集肤效应等影响；转子结构完全对称；定子三相绕组结构完全相同，空间位置相差 120° 电气角度。

A.1.4 电气系统中各元件的磁路不饱和，即带铁心的电气设备电抗值不随电流大小发生变化。

A.1.5 电力系统中所有电源都在额定负荷下运行，其中50%负荷接在高压母线上。

A.1.6 同步电机都具有自动调整励磁装置（包括强行励磁）。

A.1.7 短路发生在**短路电流最大值**的瞬间。

A.1.8 **不考虑**短路点的电弧阻抗和变压器的励磁电流。

A.1.9 **除计算短路电流的衰减时间常数和低压网络的短路电流外，元件的电阻都略去不计。**

A.1.10 元件的计算参数均取其额定值，不考虑参数的误差和调整范围。

A.1.11 **输电线路的电容略去不计。** A.1.12 用概率统计法制定短路电流运算曲线。

考点4：远端短路计算步骤（重点）

三相远端短路步骤：配四P280-284

- 1.选 $S_b=100\text{MVA}$, U_b 按电气元件所在电压等级, 选取 $U_b=U_{av}=1.05U_n$
- 2.计算电气元件的标么值, 表4.6-3
- 3.网络变换, 得到电源到短路点的等值总电抗
- 4.短路电流计算, 式4.6-12, 式4.6-13, I_b 按照短路点电压等级计算

注：步骤3：用配四P282表4.6-4和钢铁上册P186-187进行网络化简, 得到电源到短路点间的等值总阻抗

1) 标么值计算。三相短路电流初始值 I_k'' 按下式计算：(P284 4.6-11, 4.6-12, 4.6-13)

$$I_{*k} = S_{*k} = \frac{1}{X_{*c}} \quad I_k'' = I_{*k} I_b = \frac{I_b}{X_{*c}} \quad S_k = S_{*k} S_b = I_{*k} S_b = \frac{S_b}{X_{*c}}$$

2) 有名值计算

$$I_k = I_k'' = \frac{U_{av}}{\sqrt{3}X_c}$$

$$\text{故, } I_k = I_k'' = \frac{U_{av}}{\sqrt{3}Z_c} = \frac{U_{av}}{\sqrt{3}\sqrt{R_c^2 + X_c^2}}$$

U_{av} - 短路点所在级网络平均电压 kV

Z_c - 短路电路总阻抗 Ω

R_c - 短路电路电阻抗 Ω

X_c - 短路电路总电抗 Ω



表 4.6-4

常用电抗网络变换公式 (忽略电阻值)

原网络	变换后的网络	变换公式
		$X = X_1 + X_2 + \dots + X_n$
		$X = \frac{1}{\frac{1}{X_1} + \frac{1}{X_2} + \dots + \frac{1}{X_n}}$ <p>当只有两个支路时</p> $X = \frac{X_1 X_2}{X_1 + X_2}$
		$X_1 = \frac{X_{12} X_{31}}{X_{12} + X_{23} + X_{31}}$ $X_2 = \frac{X_{12} X_{23}}{X_{12} + X_{23} + X_{31}}$ $X_3 = \frac{X_{23} X_{31}}{X_{12} + X_{23} + X_{31}}$
		$X_{12} = X_1 + X_2 + \frac{X_1 X_2}{X_3}$ $X_{23} = X_2 + X_3 + \frac{X_2 X_3}{X_1}$ $X_{31} = X_3 + X_1 + \frac{X_3 X_1}{X_2}$

一手资源，请认准网校教育，成功者教育...
 其他地方买的后期一律断更，抓紧退款退款
 一手资源，次日更新，加微信：cgz368368

● 网络中间节点消去法

钢铁上P186-187表4-6, 直接带入5,6,7项公式

序号	变换前的网络	变换后的网络	变换后网络元件的阻抗	适用结线图实例
6			$X_1' = X_1 + X + X_1 X \left(\frac{X_2 + X_3}{X_2 X_3} \right)$ $X_2' = X_2 + X + X_2 X \left(\frac{X_1 + X_3}{X_1 X_3} \right)$ $X_3' = X_3 + X + X_3 X \left(\frac{X_1 + X_2}{X_1 X_2} \right)$	通用结线图实例
5			$X_1' = X_1 + X + \frac{X_1 X}{X_2}$ $X_2' = X_2 + X + \frac{X_2 X}{X_1}$	该化简必须掌握, 尤其适用于S1, S2是不同性质电源时。距离短路点有公共阻抗X时务必用此方法化简。



考点5：近端短路计算（重点）

$$\text{汽轮发电机 } I_k'' = \frac{E''}{\sqrt{3}(X''_d + X_w)} = \frac{I_b}{X''_{*d} + X''_{*w}} \quad (4.6-16)$$

$$\text{水轮发电机 } I_k'' = \frac{KE''}{\sqrt{3}(X''_d + X_w)} = \frac{KI_b}{X''_{*d} + X''_{*w}} \quad (4.6-17)$$

表 4.6-5 水轮发电机的计算系数 K 值

发电机型式	$X''_d + X_w = X_c$ 为下列诸值时								
	0.2	0.27	0.3	0.4	0.5	0.75	1	1.5	≥ 2
无阻尼绕组		1.16	1.14	1.1	1.07	1.05	1.03	1.03	1
有阻尼绕组	1.11	1.07	1.07	1.05	1.03	1.03	1	1	1

式中 I_k'' ——对称短路电流初始值，kA； E'' ——发电机超瞬态电动势，kV；

X''_d ——发电机超瞬态电抗，Q； X_w ——自发电机出口至短路点间的短路电路电抗，Q；

I_b ——基准电流，kA； X''_{*d} 、 X''_{*w} ——以发电机额定总容量 S_s 为基准容量的 X''_d 和 X_w 的标么值；

K——考虑到水轮发电机的超瞬态电抗 X''_d 值比较大而引入的计算系数，见表4.6-5。

2) 按发电机运算曲线计算

三相近端短路计算步骤

- 1.选 $S_b=100\text{MVA}$, U_b 按电气元件所在电压等级, 选取 $U_b=U_{av}=1.05U_n$
- 2.计算电气元件的标么值, 表4.6-3
- 3.网络变换, 得到电源到短路点的等值计算用电抗 X_c
- 4.将 X_c 换算到以发电机容量 S_G 为基准的标么值, 表4.6-3.
- 5.据4的结果, 查对应发电机的运算曲线表, 得到对应短路 t 时刻的 I^*
- 6.计算短路点的短路电流 $I_k=I^* \times S_G/\sqrt{3} U_{av}$, U_{av} 为短路点的平均电压.

基准电压相同, 从某一基准容量 S_{b1} 下的标么值 X_1^* 换算到另一基准容量 S_b 下的标么值 X^*

$$X^* = X_1^* \cdot \frac{S_b}{S_{b1}}$$

注: 若1中基准容量选择了100MVA,那么这里要用表4.6-3的公式转换下, S_{b1} 取100, S_b 取发电机额定容量 S_{rG} ;若1中选了发电机额定容量 S_{rG} 为基准容量, 则第三步可省略。

5. 求得相应电源的基准电流, $I_{N \cdot b} = \frac{S_{rG}}{\sqrt{3} U_b}$ 用公式4.6-18得到该分支短路电流交流分量有名值。 $I''_{kt} = I^* I_{N \cdot b}$ 4.6-18

注: 此公式中的 U_b 为短路点所在电压等级的 U_{av} 。

6.各电源支路的短路电流交流分量相加即可得到短路点处总的短路电流。



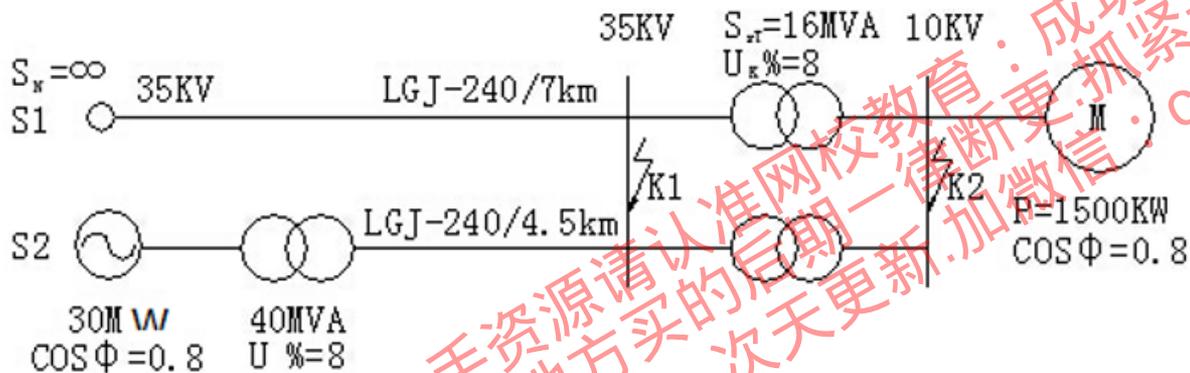
表 4.6-6

汽轮发电机运算曲线数字表

I_*	t (s)											
		0	0.01	0.06	0.1	0.2	0.4	0.5	0.6	1	2	4
X_c												
0.12		8.963	8.603	7.186	6.400	5.220	4.252	4.006	3.821	3.344	2.795	2.512
0.14		7.718	7.467	6.441	5.839	4.878	4.040	3.829	3.673	3.280	2.808	2.526
0.16		6.763	6.545	5.660	5.146	4.336	3.649	3.481	3.359	3.060	2.706	2.490
0.18		6.020	5.844	5.122	4.697	4.016	3.429	3.288	3.186	2.944	2.659	2.476
0.20		5.432	5.280	4.661	4.297	3.715	3.217	3.099	3.016	2.825	2.607	2.462
0.22		4.938	4.813	4.296	3.988	3.487	3.052	2.951	2.882	2.729	2.561	2.444
0.24		4.526	4.421	3.984	3.721	3.286	2.904	2.816	2.758	2.638	2.515	2.425
0.26		4.178	4.088	3.714	3.486	3.106	2.769	2.693	2.644	2.551	2.467	2.404
0.28		3.872	3.705	3.472	3.274	2.939	2.641	2.575	2.534	2.464	2.415	2.378
0.30		3.603	3.536	3.255	3.081	2.785	2.520	2.463	2.429	2.379	2.360	2.347
0.32		3.368	3.310	3.063	2.909	2.646	2.410	2.360	2.332	2.299	2.306	2.316



题 16-20：某企业新建 35/10kV 变电所，短路电流计算系统图如图所示，其已知参数均列在图上，一电源为无穷大容量，第二电源为汽轮发电机，额定容量 30MW，功率因数 0.8，超瞬态电抗值 $x_d''\%$ = 13.65，两路电源同时供电，两台降压变压器并列运行，10kV 母线上其中一回馈线给一台 1500kW 的电动机供电，电机效率 0.95，起动电流倍数为 6，电动机超瞬态电抗相对值 0.156。35kV 空线路阻抗 0.37Ω/km（短路电流计算，不计元件电阻）请回答下列问题：



【13-2-A-16】 k1点三相短路时，第一电源提供的短路电流和短路容量为下列哪组数值？

- (A) 2.65 kA, 264.6 MVA (B) 8.25 kA, 529.1 MVA
 (C) 8.72 kA, 529.2 MVA (D) 10.68 kA, 684.5 MVA



解答过程：依据《工业与民用供配电设计手册》第四版P281表4.6-3、P282表4.6-4、P284式(4.6-12)，设 $S_j = 100\text{MVA}$, $U_j = 37\text{kV}$, $I_j = 1.56\text{kA}$

$$1\text{号电源线路电抗标么值: } X_{*L1} = X_{L1} \cdot \frac{S_j}{U_{j1}^2} = 0.37 \times 7 \times \frac{100}{37^2} = 0.189$$

$$1\text{号电源提供的短路电流}(K_1\text{短路点}): I_{k1s1}'' = \frac{I_j}{X_{*L1}} = \frac{1.56}{0.189} = 8.248\text{kA}$$

$$1\text{号电源提供的短路容量}(K_1\text{短路点}): S_{k1s1} = \frac{S_j}{X_{*L1}} = \frac{100}{0.189} = 529.1\text{MVA}$$

解析：本题考查短路电流基本公式的应用，较为基础，不应丢分，需注意的地方是本题中的电源为无限容量电源。

【13-2-A-18】 k1点三相短路时(0s)，第二电源提供的短路电流和短路容量为下列哪组数值？

- (A) 0.4 kA, 25.54 MVA (B) 2.02 kA, 202 MVA
(C) 2.44 kA, 156.68 MVA (D) 24.93 kA, 309 MVA

解答过程：依据《工业与民用供配电设计手册》第四版P290 表4.6-6、P289 式4.6-18及按题目所给的汽轮发电机运算曲线数字表计算。 $S_j = 100MVA, U_j = 37kV, I_j = 1.56kA$

发电机升压变压器电抗标么值：

$$X_{*T2} = \frac{x_{T2}\%}{100} \cdot \frac{S_j}{S_{rT2}} = \frac{8}{100} \cdot \frac{100}{40} = 0.2$$

发电机等值电抗标么值： $X_{*G} = x_d \frac{S_j}{S_G} = 13.65\% \times \frac{100}{30/0.8} = 0.364$

1号电源线路电抗标么值：

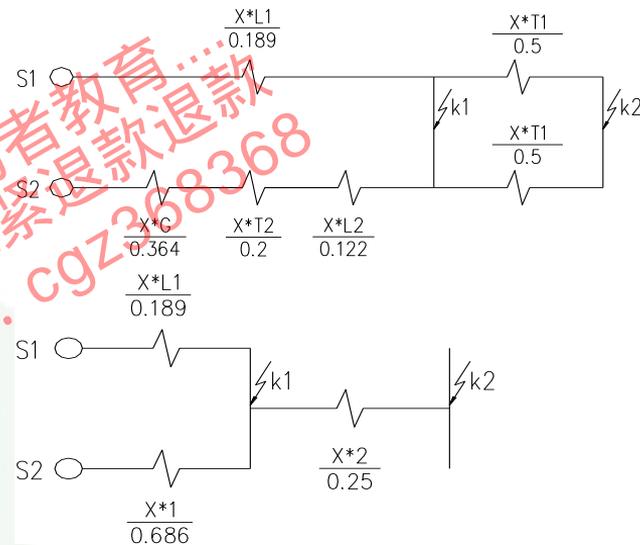
$$X_{*L1} = X_{L1} \cdot \frac{S_j}{U_{j1}^2} = 0.37 \times 7 \times \frac{100}{37^2} = 0.189$$

2号电源线路电抗标么值：

$$X_{*L2} = X_{L2} \cdot \frac{S_j}{U_{j1}^2} = 0.37 \times 4.5 \times \frac{100}{37^2} = 0.122$$

$$X_{*1} = X_{*T2} + X_{*L2} + X_{*G} = 0.2 + 0.122 + 0.364 = 0.686$$

发电机的额定容量： $S_G = \frac{P_G}{\cos \varphi} = \frac{30}{0.8} = 37.5MVA$





各电源对短路点的等值电抗归算到以本电源等值发电机的额定容量为基准的标么值：

$$X_{c1} = X_{*1} \frac{S_G}{S_j} = 0.686 \times \frac{37.5}{100} = 0.26$$

查表得到： $I_{*1} = 4.178$

电源基准电流（由等值发电机的额定容量和相应的平均额定电压求的）：

$$I_{rG1} = \frac{P_G}{\sqrt{3}U_{j1} \cos \varphi} = \frac{30}{\sqrt{3} \times 37 \times 0.8} = 0.585 \text{ kA}$$

2号电源提供的短路电流(k1短路点)： $I_{0K1} = I_{*1} I_{rG1} = 4.178 \times 0.585 = 2.444 \text{ kA}$

2号电源提供的短路容量(k1短路点)： $S_{0K1} = \sqrt{3} I_{0K1} U_j = \sqrt{3} \times 2.444 \times 37 = 156.68 \text{ MVA}$

解析：本题中，由于第二电源为有限容量电源，需要折算到以发电机容量为基准的标么值，然后查给定的表（配电设计手册第四版4.6-6）；注意第二电源给的是MW，需按功率因数换算为kVA。

【13-2-A-17】k2点三相短路时，第一电源提供的短路电流和短路容量为下列哪组数值？

(A) 7.58 kA, 139.7 MVA (B) 10.83 kA, 196.85 MVA

(C) 11.3 kA, 187.3 MVA (D) 12.60 kA, 229.15 MVA

80教育答案：【B】QQ群：726445291

解答过程：依据《工业与民用供配电设计手册第四版》P281表4.6-3、P282表4.6-4、P284式(4.6-12)，阻抗化简如图所示： $S_j = 100MVA, U_j = 10.5kV, I_j = 5.5kA$

发电机升压变压器电抗标么值：

$$X_{*T2} = \frac{x_{T2}\%}{100} \cdot \frac{S_j}{S_{rT2}} = \frac{8}{100} \cdot \frac{100}{40} = 0.2$$

发电机等值电抗标么值：

$$X_{*G} = x_d \frac{S_j}{S_G} = 13.65\% \times \frac{100}{30/0.8} = 0.364$$

1号电源线路电抗标么值： $X_{*L1} = X_{L1} \cdot \frac{S_j}{U_{j1}^2} = 0.37 \times 7 \times \frac{100}{37^2} = 0.189$

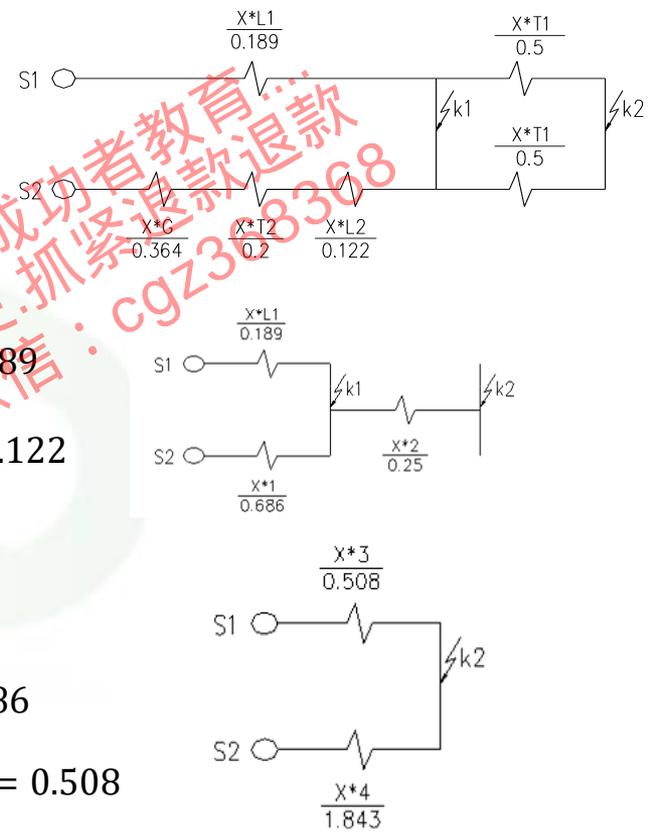
2号电源线路电抗标么值： $X_{*L2} = X_{L2} \cdot \frac{S_j}{U_{j1}^2} = 0.37 \times 4.5 \times \frac{100}{37^2} = 0.122$

35/10kV变压器电抗标么值： $X_{*T1} = \frac{x_{T1}\%}{100} \cdot \frac{S_j}{S_{rT1}} = \frac{8}{100} \cdot \frac{100}{16} = 0.5$

一次变换： $X_{*2} = \frac{X_{*T1}}{2} = \frac{0.5}{2} = 0.25$

$$X_{*1} = X_{*T2} + X_{*L2} + X_{*G} = 0.2 + 0.122 + 0.364 = 0.686$$

$$X_{*3} = X_{*L1} + X_{*2} + \frac{X_{*L1}X_{*2}}{X_{*1}} = 0.189 + 0.25 + \frac{0.189 \times 0.25}{0.686} = 0.508$$



1号电源提供的短路电流(K_2 短路点): $I''_{k1s1} = \frac{I_j}{X_{*L1}} = \frac{5.5}{0.508} = 10.83kA$

1号电源提供的短路容量(K_2 短路点): $S_{k1s1} = \frac{S_j}{X_{*L1}} = \frac{100}{0.508} = 196.85MVA$

【13-2-A-19】 k_2 点三相短路时(0s), 计算第二电源提供的短路电流和短路容量为下列哪组数值?

- (A) 2.32 kA, 41.8 MVA (B) 3.03 kA, 55.11 MVA
(C) 4.14 kA, 75.3 MVA (D) 6.16 kA, 112 MVA

依据《工业与民用供配电设计手册》第四版P290表4.6-6、P289式4.6-18及按题目所给的汽轮发电机运算曲线数字表计算。 $S_j = 100MVA, U_j = 10.5kV, I_j = 5.5kA$

利用17题计算结果, $X_{*4} = X_{*1} + X_{*2} + \frac{X_{*1}X_{*2}}{X_{*L1}} = 0.686 + 0.25 + \frac{0.686 \times 0.25}{0.189} = 1.843$

发电机的额定容量: $S_G = \frac{P_G}{\cos \varphi} = \frac{30}{0.8} = 37.5MVA$

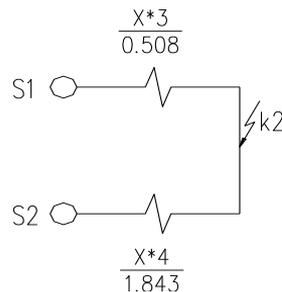
各电源对短路点的等值电抗归算到以本电源等值发电机的额定容量为基准的标么值:

$$X_{c2} = X_{*4} \frac{S_G}{S_j} = 1.843 \times \frac{37.5}{100} = 0.691$$

查表得到 $I_{*2} = 1.492$, 发电机基准电流: $I_{rG2} = \frac{P_G}{\sqrt{3}U_{j2} \cos \varphi} = \frac{30}{\sqrt{3} \times 10.5 \times 0.8} = 2.062kA$

2号电源提供的短路电流(K_2 短路点): $I_{0K2} = I_{*2} I_{rG2} = 1.492 \times 2.062 = 3.07kA$

2号电源提供的短路容量(K_2 短路点): $S_{0K2} = \sqrt{3} I_{0K2} U_{j2} = \sqrt{3} \times 3.07 \times 10.5 = 55.95MVA$





考点6：最大短路电流运行方式选取

【08-1-P-16】某110/10kV变电所，其二台主变压器分列运行，二路电源进线引自不同的电源，判断下列哪项说法是正确的？

- (A) 两台变压器中容量大的变压器提供给10kV母线的短路电流大
- (B) 变电所的对端电源侧短路阻抗大，其10kV母线的短路电流比较大
- (C) 哪条线路导线的截面积大，哪条线路对应的10kV母线的短路电流比较大
- (D) 从系统计算到10kV母线的综合短路阻抗越小的，其对应的10kV母线短路电流越大

80教育答案：【D】 QQ群：726445291

解析：《工业与民用供电设计手册》第四版P177，P299 短路电流的计算。

计算短路电流时先计算出电源到短路点的总阻抗，然后通过公式计算出短路电流，阻抗越小，短路电流越大。



题6-10：某新建110/10kV变电站设有两台主变。110kV采用内桥接线方式，10kV采用单母线分段接线方式。110kV进线及10kV母线均分列运行，系统接线如图所示。电源1最大运行方式下三相短路电流为25kA，最小运行方式下三相短路电流为20kA。电源2容量为无限大。电源进线L1及L2均采用110kV架空线路。变电站基本情况如下：

(1) 主变压器参数如下：

容量：50000kVA；电压比：110 ± 8 × 1.25%/10.5kV

短路阻抗： $U_k = 12\%$ ；空载电流为： $I_0 = 1\%$

接线组别：YN，d11；变压器允许长期过载1.3倍。

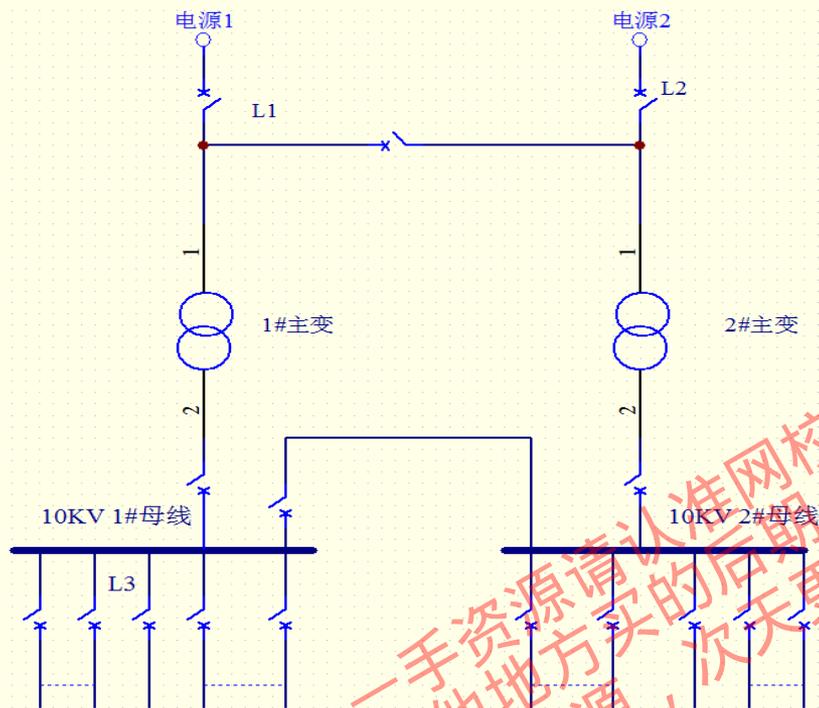
(2) 每回110kV电源架空线长度约为40km；

导线采用LGJ-300/25，单位电抗取0.4Ω/km。

(3) 10kV馈电缆线路均为电缆出线，单位电抗为0.1Ω/km

请回答下列问题，并列解答过程。

一手资源，请认准网校教育·成功者教育...
其他地方买的后期一律断更，抓紧退款退款
一手资源，次日更新，加微信：cgz368368



【17-2-P-6】请计算1#10kV母线发生最大三相短路时，其短路电流为下列哪项数值？

A. 15.23kA B. 17.16kA C. 18.30kA D. 35.59kA

80教育答案：【A】QQ群：726445291

解答过程：根据《工业与民用配电设计手册》（第四版）P281表4.6-3

假设 $S_j = 100\text{MVA}$

架空线电抗标么值 $X_{*L} = 0.4 \times 4 \times \frac{100}{115^2} = 0.121$

变压器电抗标么值： $X_{*T} = \frac{12}{100} \times \frac{100}{50} = 0.24$

式(4-13) $I_K = \frac{I_j}{X_*} = \frac{1}{0.121+0.24} \times \frac{100}{\sqrt{3} \times 10.5} = 15.23\text{KA}$

解析：题目中说明是分列运行，所以电源侧和10kV母线不会出现并列，找一个回路阻抗最小的短路电流才最大，所以选择电源2的回路。



本节小结：见思维导图：实用方法计算短路电流

三相远端短路步骤：配四P280-284

- 1.选 $S_b=100\text{MVA}$, U_b 按电气元件所在电压等级, 选取 $U_b=U_{av}=1.05U_n$
- 2.计算电气元件的标幺值, 表4.6-3
- 3.网络变换, 得到电源到短路点的等值总电抗
- 4.短路电流计算, 式4.6-12, 式4.6-13, I_b 按照短路点电压等级计算

三相近端短路极端步骤

- 1.选 $S_b=100\text{MVA}$, U_b 按电气元件所在电压等级, 选取 $U_b=U_{av}=1.05U_n$
- 2.计算电气元件的标幺值, 表4.6-3
- 3.网络变换, 得到电源到短路点的等值计算用电抗 X_c
- 4.将 X_c 换算到以发电机容量 S_G 为基准的标幺值, 表4.6-3.
- 5.据4的结果, 查对应发电机的运算曲线表, 得到对应短路 t 时刻的 I^*
- 6.计算短路点的短路电流 $I_k=I^* \times S_G/\sqrt{3} U_{av}$, U_{av} 为短路点的平均电压。

有远端、有发电机电源的计算

- 1.选 $S_b=100\text{MVA}$, U_b 按电气元件所在电压等级, 选取 $U_b=U_{av}=1.05U_n$
- 2.计算电气元件的标幺值, 表4.6-3
- 3.网络变换, 钢铁上册P186表, 分别得到远端电源、发电机到短路点的等值总电抗。
- 4.远端短路电流计算按远端的步骤4, 近端的按近端短路的步骤4,5,6,计算。最后2个电流相加得到短路点的短路电流

本节小结：见思维导图：实用方法计算短路电流

短路电流计算第一节课后作业：

案例题：【11-2-A-12】 【12-2-A-16】 【13-2-A-16】 【13-2-A-17】 【13-2-A-18】 【14-2-A-11】 【14-2-A-12】
【14-2-A-13】 【16-2-A-16】 【16-2-A-17】 【16-2-A-18】 【16-2-A-19】
【17-2-P-6】 【18-2-A-6】 【18-2-A-7】 . 【18-2-A-7】 .

知识题：【06-1-A-19】 【06-1-P-12】 【06-1-P-14】 【07-1-A-6】 【07-1-A-8】 【07-1-A-9】 【07-1-A-10】
【07-1-P-17】 【08-1-A-16】 【08-1-P-15】 【08-1-P-16】 【09-1-A-14】 【10-1-A-14】 【10-1-P-15】 【12-1-
A-9】 【13-1-P-11】 【16-1-P-15】 【18-1-A-5】 . 【18-1-A-35】 【18-1-P-7】 【07-1-A-45】 【07-1-A-46】
【07-1-A-48】 【07-1-A-49】 【08-1-A-51】 . 【09-1-P-51】 【08-1-P-48】 【08-1-P-49】 【11-1-A-52】 【18-1-
A-42】

第一讲回顾：见思维导图

短路电流第二讲

01

峰值电流计算

02

电动机反馈电流计算

03

单相接地电容电流计算

04

低压系统短路电流计算（重点）

05

短路电流限制措施



一.峰值电流计算

考点7: 峰值电流

配四P299-300

<峰值电流计算> (4) 三相短路电流峰值 i_p (即短路全电流最大瞬时值) 的计算: 根据短路电流变化可知, i_p 包含有交流分量 i_{AC} 和直流分量 i_{DC} 。短路电流直流分量的起始值 $A = \sqrt{2}I_k''$, i_p 出现在短路发生后的半周期 (0.01s) 内的瞬间, 其值可按下式计算

<峰值电流计算>
$$i_p = k_p \sqrt{2}I_k'' \quad (4.6-21)$$

其中 $k_p = 1 + e^{-\frac{0.01}{T_f}}$ T_a ——衰减时间常数, $T_a = \frac{X_\Sigma}{R_\Sigma}$

其中

式中 k_p ——短路电流峰值系数;

<直流分量衰减时间常数有单位时用配四的4.6-21计算, 如果没有带单位S, 用DL/T 5222-2021 附录A.3>

 T_f ——短路电流直流分量衰减时间常数, s, 当电网频率为 50Hz 时, $T_f = \frac{X_\Sigma}{314R_\Sigma}$; X_Σ ——短路电路总电抗, Ω ; R_Σ ——短路电路总电阻, Ω 。如果电路只有电抗, 则 $T_f = \infty$, $k_p = 2$; 如果电路只有电阻, 则 $T_f = 0$, $k_p = 1$; 可见

$$2 \geq k_p \geq 1。$$



DL/T 5222

附录A.4

$$i_{ch} = \sqrt{2}K_{ch}I'' \quad (\text{A.4.1-1})$$

$$K_{ch} = 1 + e^{-\frac{0.01\omega}{T_a}} \quad (\text{A.4.1-2})$$

式中:

K_{ch} ——冲击系数,可按表 A.4.1 选用。

表 A.4.1 不同短路点的冲击系数推荐值

短路点	推荐值
发电机端	1.90
发电厂高压侧母线及发电机电压互感器后	1.85
远离发电厂的地点	1.80

在工程设计中 k_p 的取值以及 i_p 的计算值如下: <工程估算>

1) 当短路发生在发电机端时,取 $k_p=1.9$, $i_p=2.69I''_k$ 。

2) 当短路发生在发电厂高压侧母线时取 $k_p=1.85$, $i_p=2.62I''_k$ 。

3) 当短路点远离发电厂,短路电路的总电阻较小,总电抗较大($R_\Sigma \leq \frac{1}{3}X_\Sigma$)时, $T_f \approx 0.05\text{s}$,取 $k_p=1.8$, $i_p=2.55I''_k$ 。

4) 在电阻较大($R_\Sigma > \frac{1}{3}X_\Sigma$)的电路中,发生短路时,短路电流非周期分量衰减较快,可取 $k_p=1.3$, $i_p=1.84I''_k$ 。

A.3 三相短路电流非周期分量

A.3.1 基本公式

一个支路的短路电流非周期分量可按下式计算。

起始值:

$$i_{f0} = -\sqrt{2}I'' \quad (\text{A.3.1-1})$$

ts 值:

$$i_{ft} = -\sqrt{2}I''e^{-\frac{\omega t}{T_a}} \quad (\text{A.3.1-2})$$

式中:

ω ——角频率, $\omega=2\pi f=314.16$

T_a ——衰减时间常数, $T_a = \frac{X_\Sigma}{R_\Sigma}$ 。

A.4 三相短路电流的冲击电流和全电流计算

A.4.1 冲击电流

冲击电流 i_{ch} 按式 (A.4.1-1) 计算:

$$i_{ch} = \sqrt{2}K_{ch}I'' \quad (\text{A.4.1-1})$$

$$K_{ch} = 1 + e^{-\frac{0.01\omega}{T_a}} \quad (\text{A.4.1-2})$$

式中:

K_{ch} ——冲击系数, 可按表 A.4.1 选用。

表 A.4.1 不同短路点的冲击系数推荐值

短路点	推荐值
发电机端	1.90
发电厂高压侧母线及发电机电压互感器后	1.85
远离发电厂的地点	1.80

A.4.2 全电流

短路电流全电流最大有效值 I_{ch} 按式 (A.4.2) 计算:

$$I_{ch} = I''\sqrt{1+2(K_{ch}-1)^2} \quad (\text{A.4.2})$$



A.3.3 衰减时间常数 T_a

在进行各个支路衰减时间常数计算时，其电抗应取归并到短路点的等值电抗（归并时，假定各元件的电抗为零），其电阻应取归并到短路点的等值电阻（归并时，假定各元件的电抗为零）。

若需要计算短路点的综合的等效时间常数 T_a ，可将由式 (A.3.2-2) 所算出的 i_{ft} 代入式 (A.3.1-2) 中求算。在做粗略计算时， T_a 可直接选用表 A.3.3-1 中推荐的数值。

表 A.3.3-1 不同短路点等效时间常数的推荐值

短路点	T_a	短路点	T_a
汽轮发电机端	80	高压母线侧[主变压器在 (10~100) MVA 之间]	35
水轮发电机端	60	远离发电厂的短路点	15
高压侧母线 (主变压器在 100MVA 以上)	40	发电机在出线电抗器之后	40



二.电动机反馈电流计算

考点8：异步电动机的反馈电流计算

高压异步电动机：

在靠近短路点处接有高压异步电动机时，要将它们作为附加电源来考虑。但它们提供的短路电流衰减很快，在 $t > 0.01$ 秒时即可忽略不计，故只在计算冲击电流和短路最大有效值时才考虑。在下列情况下，可不考虑其助增影响。

- (1) 异步电动机与短路点的连接已相隔一个变压器；
- (2) 计算不对称短路电流时

低压异步电动机：

GB50054-2011 3.1.2 验算电器在短路条件下的接通能力和分断能力应采用接通或分断时安装处预期短路电流，当短路点附近所接电动机额定电流之和超过短路电流的1%时，应计入电动机反馈电流的影响。

3. 异步电动机提供的反馈电流的计算

$$I''_M = \sum_{i=1}^n K_{st} I_{NM} \times 10^{-3} \text{式4.6-23}$$

a. 由一台异步电动机提供的反馈电流周期分量初始值按下式计算

$$I''_M = K_{stM} I_{NM} \times 10^{-3} \quad I''_M = K_{stM} I_{NM} \times 10^{-3} \text{(4.6-22)}$$

b. 由 n 台异步电动机提供的反馈电流周期分量初始值按下式计算

$$I''_M = \sum_{i=1}^n K_{stMi} I_{NM} \times 10^{-3} \text{(4.6-23)}$$

c. 由 n 台异步电动机提供的反馈电流峰值电流按下式计算

$$i_{pM} = K \sqrt{2} \sum_{i=1}^n K_{pMi} K_{stMi} I_{NMi} \times 10^{-3} \text{(4.6-24)}$$

式中 I''_M ——电动机反馈电流交流分量初始值（方均根值），kA；

K_{stM} ——电动机反馈电流倍数，可取其启动电流倍数；

K_{stMi} ——第 i 台电动机的反馈电流倍数，可取其启动电流倍数；

I_{NM} ——电动机额定电流；

I_{NMi} ——第 i 台电动机额定电流；

K_{pMi} ——第 i 台电动机反馈电流峰值系数；

K ——不同形式电动机的修正系数，异步电动机取 1.1。

$$i_{pM} = K \sqrt{2} \sum_{i=1}^n K_{pMi} K_{stMi} I_{NMi} \times 10^{-3}$$



3) 计入反馈电流后的异步电动机的短路计算：三相短路电流交流分量初始值

$$I''_k = I''_s + I''_M \quad (4.6-25)$$

短路电流峰值

$$i_p = i_{ps} + i_{pM} = \sqrt{2}(K_{ps}I''_s + KK_{pM}I''_M) \quad (4.6-26)$$

式中 I''_s ——由系统送到短路点的三相短路电流初始值；

I''_M ——由短路点附近的异步电动机反馈电流初始值；

i_{ps} ——由系统送到短路点的短路电流峰值；

i_{pM} ——由短路点附近的电动机反馈的短路峰值电流；

K_{ps} ——由系统馈送的短路电流峰值系数；

K_{pM} ——由异步电动机馈送的短路电流峰值系数，一般可取 1.4~1.7，准确数据可查图 4.6-10；

K ——不同类型电动机的修正系数，6、10kV 异步电动机取 1.1，低压异步电动机取 0.9，同步电动机取 1.1。

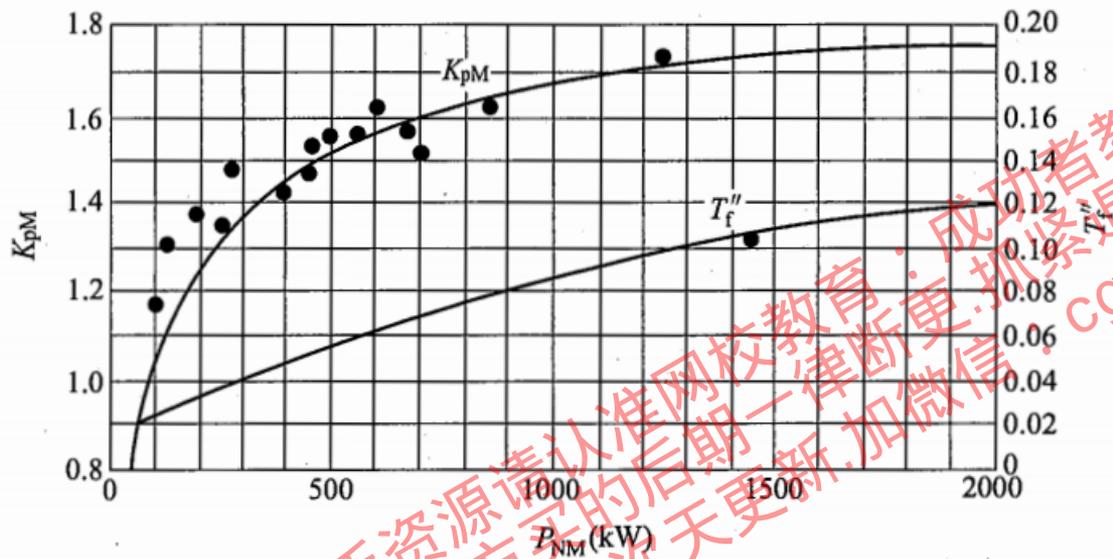
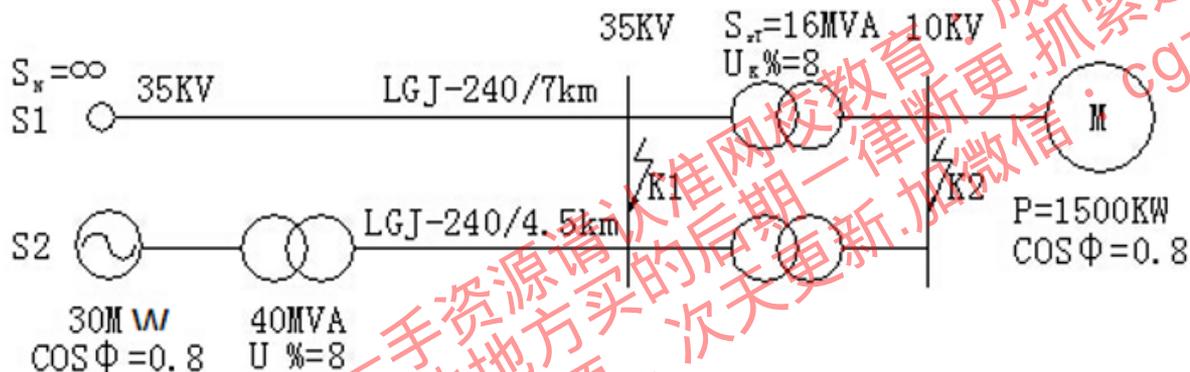


图 4.6-10 异步电动机额定容量 P_{NM} 与冲击系数 K_{pM} 的关系
 T_f'' —反馈电流周期分量衰减时间常数



题 16-20：某企业新建 35/10kV 变电所，短路电流计算系统图如图所示，其已知参数均列在图上，一电源为无穷大容量，第二电源为汽轮发电机，额定容量 30MW，功率因数 0.8，超瞬态电抗值 $x_d''\% = 13.65$ ，两路电源同时供电，两台降压变压器并列运行，10kV 母线上其中一回馈线给一台 1500kW 的电动机供电，电机效率 0.95，起动电流倍数为 6，电动机超瞬态电抗相对值 0.156。35kV 空线路阻抗 $0.37\Omega/\text{km}$ （短路电流计算，不计元件电阻）请回答下列问题：



【13-2-A-20】假设短路点 k_2 在电动机附近，计算异步电动机反馈给 k_2 点的短路峰值电流为下列哪组数值？（异步电动机反馈的短路电流峰值系数取 1.5）

- (A) 0.99 A (B) 1.13 kA (C) 1.31 kA (D) 1.74 kA



$$\text{电动机额定电流: } I_{ed} = \frac{P_M}{\sqrt{3}U_M\eta\cos\varphi} = \frac{1.5}{\sqrt{3}\times 10\times 0.8\times 0.95} = 0.114\text{kA}$$

方法一：依据《钢铁企业电力设计手册上册》P219 式 4-46、4-47。

电动机反馈冲击电流：

$$i_{chd} = \sqrt{2} \frac{E''_{*d}}{X''_{*d}} K_{ch} I_{ed} = \sqrt{2} \times \frac{0.9}{1/6} \times 1.5 \times 0.114 = 1.31\text{kA}$$

方法二：依据《工业与民用供配电设计手册》第四版 P300 式 4.6-24。

$$i_{PM} = K\sqrt{2}K_{PM}K_{stM}I_{NM} = 0.9 \times 1.5 \times 6 \times \sqrt{2} \times 0.114 = 1.31\text{kA}$$

解析：本题是专家根据老配三出的题目，K 值取 0.9，结果刚好是 1.31kA。配四改版后对 K 值的取值给了规定，但是还是很混乱。另 IEC 法电动机的反馈电流计算也要掌握，尤其是 μ ， q 的取值。



考点9:两相不接地短路电流计算

(6) 两相不接地短路电流的计算: 两相不接地短路电流初始值 I''_{k2} 的计算公式如下, 对于汽轮发电机

$$I''_{k2} = \frac{E'}{2(X''_d + X_w)} \quad (4.6-27)$$

<①公式法
②用跟三相短路电流关系计算>

对于水轮发电机

$$I''_{k2} = \frac{KE''}{2(X''_d + X_w)} \quad (4.6-28)$$

将两相短路短路超瞬态电流计算公式与三相短路短路超瞬态电流计算公式相除, 得

$$\frac{I''_{k2}}{I''_{k3}} = \frac{\sqrt{3}}{2} = 0.866 \quad (4.6-29)$$

<远端、近端短路, 超瞬态的两相短路电流
=0.866 三相短路电流>

两相短路稳态电流 I_{k2} 与三相短路稳态电流 I_{k3} 的比值关系, 视短路点与电源的距离远近而定:

1) 在发电机出口处发生短路时

$$I_{k2} = 1.5I_{k3} \quad (4.6-30)$$

2) 在远距离点短路时, 即 $X_c > 3$ 时, 因 $I_k = I''_k$, 故

$$I_{k2} = 0.866I_{k3} \quad (4.6-31)$$

<远端短路>

3) 一般可这样估算

$$\left. \begin{aligned} X_{*c} > 0.6 \text{ 时, } I_{k2} < I_{k3} \\ X_{*c} \approx 0.6 \text{ 时, } I_{k2} = I_{k3} \\ X_{*c} < 0.6 \text{ 时, } I_{k2} > I_{k3} \end{aligned} \right\} \quad (4.6-32)$$

$$I''_{k2} = \frac{\sqrt{3}}{2} I''_k$$



考点10:单相接地电容电流计算

(7) 单相接地电容电流的计算: 电网中的单相接地电容电流由电力线路和电力设备(同步发电机、大容量同步电动机及变压器等)两部分的电容电流组成。变电站电力设备增加的接地电容电流百分数见表 4.6-10。

1) 电力线路的单相接地电容电流按下式计算, 6kV 电缆线路

$$I_c = \frac{95 + 2.84S}{2200 + 6S} U_n l \quad (4.6-33)$$

10kV 电缆线路

$$I_c = \frac{95 + 1.44S}{2200 + 0.23S} U_n l \quad (4.6-34)$$

电缆线路的单相接地电容电流还可以按下式计算

$$I_c = 0.1 U_n l \quad (4.6-35)$$

2) 架空线路单相接地电容电流按下式计算, 无架空地线单回路

$$I_c = 2.7 U_n l \times 10^{-3} \quad (4.6-36)$$

有架空地线单回路

$$I_c = 3.3 U_n l \times 10^{-3} \quad (4.6-37)$$

架空线路的单相接地电容电流还可以按下式计算

$$I_c = \frac{U_l l}{350} \quad (4.6-38)$$

以上式中

S—电缆芯线的标称截面, mm²;

U_n—线路标称电压, kV;

l—线路长度, km;

I_c—接地电容电流, A。

架空线路和电缆线路每千米单相接地电容电流的平均值见表4.6-9。变电站增加的接地电容电流百分数见表4.6-10。

表 4.6-10 变电站电力设备增加的接地电容电流百分数

标称电压 (kV)	6	10	15	35	66	110
附加值 (%)	18	16	15	13	12	10

表 4.6-9 架空线路和电缆线路每千米单相接地电容电流的平均值 A/km

电压 (kV)	电缆线路, 当芯线截面积为下列诸值时 (mm ²)											架空线路	
	10	16	25	35	50	70	95	120	150	185	240	单回路	双回路
6	0.33	0.37	0.46	0.52	0.59	0.71	0.82	0.89	1.10	1.20	1.30	0.013	0.017
10	0.46	0.52	0.62	0.69	0.77	0.90	1.00	1.10	1.30	1.40	1.60	0.025 6	0.035
35	—	—	—	—	—	3.70	4.10	4.40	4.80	5.20	—	0.078/ 0.091	0.102/ 0.110
												(0.091)	(0.110)

注 分母数字用于有架空地线的架空线路。

四.低压系统短路电流计算（重点）

考点11：低压系统短路电流计算条件

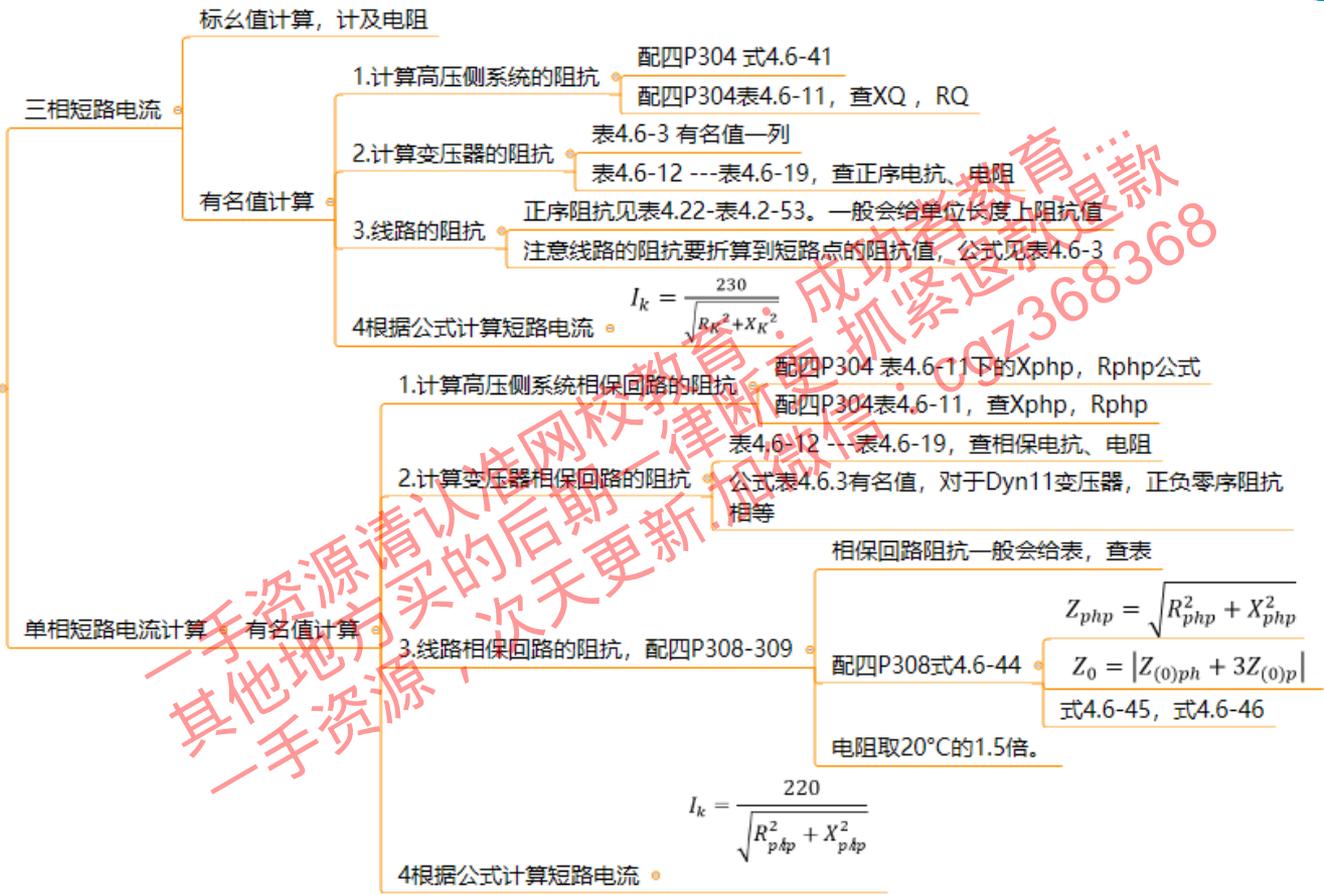
考点12：低压系统三相短路、两相短路电流计算

考点13：低压系统单相短路电流计算（难点）

一手资源请认准网校教育：成功者教育...
其他地方买的后期一律断更.抓紧退款退款
一手资源，次日更新.加微信：cgz368368



低压短路电流计算



4.6.4 低压网络短路电流计算

(1) **计算条件:** 高压系统短路电流的计算条件同样适用于低压网络短路电流的计算, 但低压网络还有如下一些特点:

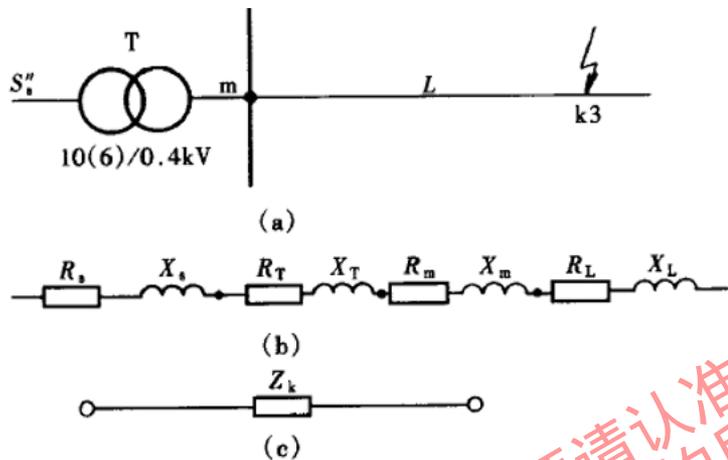
- 1) 一般用电单位的电源来自地区大中型电力系统, 配电用的变压器的容量远小于系统的容量, 因此短路电流可按远离发电机端, 即无限大电源容量的网络短路进行计算, 短路电流周期分量不衰减。<①认为是远端短路>
- 2) 计入短路电路各元件的有效电阻, 但短路点的电弧电阻、导线连接点、开关设备和电器的接触电阻可忽略不计。<②计入电阻>
- 3) 当电路电阻较大, 短路电流直流分量衰减较快, 一般可不考虑直流分量。只有在离配电变压器低压侧很近处, 如低压侧20m以内大截面线路上或低压配电屏内部发生短路时, 才需要计算直流分量。<③不考虑直流分量>
- 4) 单位长度有效电阻的计算温度不同, 在计算三相最大短路电流时, 导体计算温度取为20°C; 在计算单相短路电流时, 假设的计算温度升高, 电阻值增大, 其值一般为20°C时电阻的1.5倍。

<④单相短路 $R \times 1.5$, 三相短路不 \times , 电抗不 \times >

5) 计算过程采用有名单位制, 电压用V, 电流用kA, 容量用kVA, 电阻用mΩ.

6) 计算220/380V网络三相短路电流时, 计算电压 cU_n 取电压系数 c 为1.05 (单相接地故障电流时, c 取1.0, U_n 为系统标称电压 (线电压) 380V。<反映在单相、三相短路计算公式上>

低压网络电路元件的阻抗



低压压短路电流计算以下元件的电阻和电抗：

1. 高压系统的阻抗（需要折算到变压器低压侧） S''_s, R_s, X_s
2. 变压器 R_T, X_T
3. 低压母线 R_m, X_m （一般忽略不计）
4. 配电线路 R_L, X_L
5. 异步电动机（若有影响）

阻抗计算：①公式法②查表法

- 1、三相短路时只需要计算正序阻抗，也就是平时说的阻抗。
- 2、单相接地短路时需要计算正序、负序、零序阻抗。使用相保回路阻抗。



考点12：低压系统三相短路电流计算

1. 高压系统阻抗：配四P304

①公式法

1) 高压侧系统阻抗：在计算 220/380V 网络三相短路电流时，变压器高压侧系统阻抗需要计入。若已知高压侧系统短路容量 S''_Q ，则归算到变压器低压侧的高压系统阻抗可按下式计算

$$\text{①公式计算 } Z_Q = \frac{(cU_n)^2}{S''_Q} \times 10^3 = 160/S''_Q \text{ 单位是m}\Omega \quad (4.6-41)$$

公式中的c按实用法应该是放在平方里，相当于平均电压，建议考试按标注计算>

如不知道其电阻 R_Q 和电抗 X_Q 的确切值，可以认为

$$R_Q = 0.1X_Q, X_Q = 0.995Z_Q$$

以上式中 U_n ——变压器低压侧标称电压，0.38kV；

c ——电压系数，计算三相短路电流时取 1.05；

S''_Q ——变压器高压侧系统短路容量，MVA；

R_Q 、 X_Q 、 Z_Q ——归算到变压器低压侧的高压系统电阻、电抗、阻抗，m Ω 。

②查表法—表4.6-11 中的 Z_Q, R_Q, X_Q -----配四P304

表 4.6-11 10/0.4kV 变压器高压侧短路容量与高压侧阻抗、相保阻抗

<②查表>

(归算至 400V) 的数值关系 <红笔的数据是41次及以后数据>

mΩ

高压侧短路容量 S_Q^c (MVA)		100	200	300	500	800
三相短路 电流计算 查这3个	Z_Q^c	1.60 1.52	0.80 0.76	0.53 0.507	0.32 0.304	0
	R_Q^c	0.16 0.152	0.08 0.076	0.05 0.051	0.03 0.030	0
	X_Q^c	1.59 1.512	0.80 0.756	0.53 0.054	0.32 0.052	0
单相短路 电流计算 查	$R_{ph.p}^c$	0.11 0.101	0.05 0.051	0.04 0.034	0.02 0.020	0
	$X_{ph.p}^c$	1.06 1.007	0.53 0.504	0.35 0.336	0.21 0.201	0

表格中的红字是41次及以后手册数据

<41及以后手册已经去掉注①>

① 系统阻抗 $Z_Q = \frac{160}{S_Q^c} \frac{1}{t_N^2} \times 10^3 = \frac{160}{S_Q^c} (U_{nQ}$ 为变压器高压侧系统标称电压, t_N 为变压器的变比)。

② 系统电抗 $X_Q = 0.995Z_Q$, 系统电阻 $R_Q = 0.1X_Q$ 。

③ 对于 Dyn11 或 Yyn0 联结组别的变压器, 零序电流不能在高压侧流通, 故不计入高压侧的零序阻抗 $R_{(0)Q}$ 、 $X_{(0)Q}$, 即相保电阻 $R_{ph.p}$ 和相保电抗 $X_{ph.p}$ 计算式如下

<单相短路
相保回路电阻、
电抗计算>

$$R_{ph.p} = \frac{1}{3} [R_{(1)Q} + R_{(2)Q} + R_{(0)Q}] = \frac{2R_{(1)Q}}{3} = \frac{2R_Q}{3} \text{ m}\Omega$$

$$X_{ph.p} = \frac{1}{3} [X_{(1)Q} + X_{(2)Q} + X_{(0)Q}] = \frac{2X_{(1)Q}}{3} = \frac{2X_Q}{3} \text{ m}\Omega$$

在作零序网络时, 首先须查明有无零序电流的闭合回路存在, 这种回路至少在短路点联接的回路中有一个接地中性点时才能形成。

2. 变压器阻抗

①公式法：

1) 变压器绕组的电阻、电抗 表4.6-3 有名值计算公式

$$R_T = \frac{P_{krT}}{3I_{NT}^2} \times 10^{-3} = \frac{P_{krT}U_b^2}{S_{NT}^2} \times 10^{-3}$$

$$X_T = \sqrt{Z_T^2 - R_T^2} \quad Z_T = \frac{U_{kN}\%}{100} \frac{U_N^2}{S_{NT}}$$

②查表法：三相短路查：表格中的正序电阻、正序电抗—配四P305~P307

2) 10（6）/0.4kV三相双绕组变压器的阻抗：配电变压器的正序阻抗可按照表4.6-3中有关公式计算，变压器的负序阻抗等于正序阻抗。Yyn0联结组别的变压器的零序阻抗比正序阻抗大得多，其值由制造厂通过测试提供；Dyn11联结组别的变压器的零序阻抗如果没有测试数据时，可取其值等于正序阻抗值，即相阻抗。

a. 10/0.4kV型变压器阻抗平均值（归算至400V侧），详见表4.6-12~表4.6-15。

b. 20/0.4kV型变压器阻抗平均值（归算至400V侧），见表4.6-16、表4.6-17（20kV电压等级非晶合金的油浸与干式变压器为非标产品）。

c. 35/0.4kV型变压器阻抗平均值（归算至400V侧），见表4.6-18、表4.6-19（35kV电压等级非晶合金的油浸与干式变压器为非标产品）。



三相短路查：表格中的正序电阻、正序电抗
单相短路查：表格中的相保电阻，相保电抗

表 4.6-13 SCB11 型环氧树脂浇注干式变压器阻抗平均值 (归算至 400V 侧)

电 压	10/0.4kV															
	容量 (kVA)	200	250	315	400	500	630	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	1600	2000
变压器阻抗电压 (%)	4								6				8			
负载损耗 (kW)	2530	2760	3470	3990	4880	5880	5960	6960	8130	9690	11 730	14 450	17 170	12 960	15 960	18 890
正负序电阻 (mΩ)	10.12	7.07	5.60	3.99	3.12	2.37	2.40	1.74	1.3	0.9	0.73	0.58	0.44	0.81	0.64	0.48
零序电阻 (mΩ)	10.12	7.07	5.60	3.99	3.12	2.37	2.40	1.74	1.3	0.9	0.73	0.58	0.44	0.81	0.64	0.48
相保电阻 (mΩ)	10.12	7.07	5.60	3.99	3.12	2.3	2.40	1.74	1.3	0.9	0.73	0.58	0.44	0.81	0.64	0.48
正负序电抗 (mΩ)	30.36	24.6	19.5	15.4	12.4	9.8	15.0	11.8	9.5	7.6	5.96	4.77	3.81	7.96	6.37	5.10
零序电抗 (mΩ)	27.51	22.3	17.7	14.1	11.4	9.1	13.9	11.0	8.9	7.2	5.74	4.67	3.81	7.67	6.24	5.10
相保电抗 (mΩ)	29.41	23.8	18.9	15.0	12.0	9.6	14.6	11.6	9.3	7.4	5.88	4.73	3.81	7.86	6.32	5.10

3、低压配电线路的阻抗

①公式法:

电阻: $R = \frac{\rho l}{S}$ 电缆的正序电抗计算公式, 见表4.2-1 架空线电抗: $X'_L = 0.0628 \left(\frac{1}{4} + \ln \frac{d}{r} \right)$

注: 一般题目中会给出单位长度上的电阻、电抗值, 直接乘以长度即可。

②查表法: 三相短路查: 表格中的正序电阻、正序电抗—配四P305~P307

3) 低压配电线路的阻抗: 各种型式的低压配电线路阻抗(正、负序)见表4.2-2~表4.2-53的正序电阻电抗。配四P307。(实用法一般不考察此表, 会根据题目给出具体的表格, 或者按照配三的表格查)

表 4-25 线路单位长度阻抗值 单位: mΩ/m

S (mm ²) [Ⓓ]	R' [Ⓓ]													
	185	150	120	95	70	50	35	25	16	10	6	4	2.5	1.5
铝	0.156	0.192	0.240	0.303	0.411	0.575	0.822	1.151	1.798	2.876	4.700	7.050	11.280	
铜	0.095	0.117	0.146	0.185	0.251	0.351	0.501	0.702	1.097	1.754	2.867	4.300	6.880	11.467

 X'

线 芯 S (mm^2)	185	150	120	95	70	50	35	25	16	10	6	4	2.5	1.5	
架 空 线 ^④	0.30	0.31	0.32	0.33	0.34	0.35	0.36	0.37	0.38	0.40					
绝 缘 子 布 线 ^⑤	$D = 150\text{mm}$	0.208	0.216	0.223	0.231	0.242	0.251	0.266	0.277	0.290	0.306	0.325	0.338	0.353	0.368
	$D = 100\text{mm}$	0.184						0.241	0.251	0.265	0.280	0.300	0.312	0.327	0.342
	$D = 70\text{mm}$	0.162										0.277	0.290	0.305	0.321
全 塑 电 缆	四 芯	0.076		0.079	0.078	0.079	0.080	0.082	0.087	0.094	0.100				
纸 绝 缘 电 缆	四 芯	0.068	0.070	0.069	0.070	0.073	0.082	0.088	0.093	0.098					
交 联 电 缆 (四 等 芯)		0.077	0.076	0.077	0.078	0.079	0.080	0.082	0.085	0.092	0.097				
管 子 布 线		0.08		0.09		0.10		0.11		0.12	0.13	0.14			
布 线 钢 管 的 零 序 电 抗 $X'_{(0)P}$	$\frac{0.6}{G80}$	$\frac{0.6}{G65}$		$\frac{0.8}{G50}$	$\frac{0.9}{G40}$	$\frac{1.0}{G32}$	$\frac{1.1}{G25}$	$\frac{1.3}{G20}$							
管 径 (mm)															

低压系统三相短路计算公式（补充到配四上）

在 220/380V 网络中，一般以三相短路电流为最大。一台变压器供电的低压网络三相短

路电流计算电路见图 4-19。

低压网络三相起始短路电流交流分量有效值按下式计算

$$I'' = \frac{cU_n / \sqrt{3}}{Z_k}$$

$$= \frac{1.05U_n \times \sqrt{3}}{\sqrt{R_k^2 + X_k^2}}$$

$$= \frac{230}{\sqrt{R_k^2 + X_k^2}} \quad \text{kA} \quad (4-54)$$

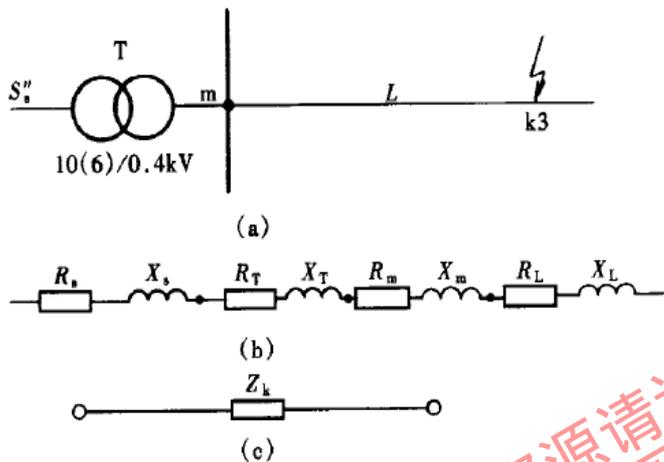


图 4-19 低压网络三相短路电流计算电路

(a) 系统图；(b) 等效电路图；(c) 用短路阻抗 Z_k 表示的等效电路

$$R_k = R_s + R_T + R_m + R_L$$

$$X_k = X_s + X_T + X_m + X_L$$

低压系统两相短路按照三相短路电流的0.866倍计算。

考点13: 低压系统单相短路计算

在计算单相短路（包括单相接地故障）电流时，则必须指出序阻抗和相保阻抗的概念。

在低压网络中发生不对称短路时，由于短路点离发电机较远，因此可以认为所有元件的负序阻抗等于正序阻抗，即等于相阻抗。

TN接地系统低压网络的零序阻抗等于相线的零序阻抗与3倍PE线的零序阻抗之和，即

$$\left. \begin{aligned} \underline{Z}_{(0)} &= \underline{Z}_{(0)\text{ph}} + 3\underline{Z}_{(0)\text{p}} \\ \underline{R}_{(0)} &= \underline{R}_{(0)\text{ph}} + 3\underline{R}_{(0)\text{p}} \\ \underline{X}_{(0)} &= \underline{X}_{(0)\text{ph}} + 3\underline{X}_{(0)\text{p}} \end{aligned} \right\} \quad (4.6-39)$$

TN 接地系统低压网络的相保阻抗与各相序阻抗的关系

$$\begin{aligned} Z_{\text{ph}\cdot\text{p}} &= \frac{Z_{(1)} + Z_{(2)} + Z_{(0)}}{3} \\ R_{\text{ph}\cdot\text{p}} &= \frac{R_{(1)} + R_{(2)} + R_{(0)}}{3} = \frac{2R_{(1)} + R_{(0)}}{3} \\ X_{\text{ph}\cdot\text{p}} &= \frac{X_{(1)} + X_{(2)} + X_{(0)}}{3} = \frac{2X_{(1)} + X_{(0)}}{3} \end{aligned} \quad (4.6-40)$$



高压系统阻抗相保阻抗

①公式法

- ③ 对于 Dyn11 或 Yyn0 联结组别的变压器，零序电流不能在高压侧流通，故不计入高压侧的零序阻抗 $R_{(0)Q}$ 、 $X_{(0)Q}$ ，即相保电阻 $R_{ph,p}$ 和相保电抗 $X_{ph,p}$ 计算式如下

<单相短路
相保回路电阻、
电抗计算>

$$R_{ph,p} = \frac{1}{3} [R_{(1)Q} + R_{(2)Q} + R_{(0)Q}] = \frac{2R_{(1)Q}}{3} = \frac{2R_Q}{3} \text{ m}\Omega$$

$$X_{ph,p} = \frac{1}{3} [X_{(1)Q} + X_{(2)Q} + X_{(0)Q}] = \frac{2X_{(1)Q}}{3} = \frac{2X_Q}{3} \text{ m}\Omega$$

表 4.6-11 10/0.4kV 变压器高压侧短路容量与高压侧阻抗、相保阻抗

<②查表>

(归算至 400V) 的数值关系

<红笔的数据是41次及以后数据>

mΩ

高压侧短路容量 S_Q° (MVA)	100	200	300	500	∞
三相短路 电流计算 查表3.2 Z_Q°	1.60 1.52	0.80 0.76	0.53 0.507	0.32 0.304	0
R_Q°	0.16 0.152	0.08 0.076	0.05 0.051	0.03 0.030	0
X_Q°	1.59 1.512	0.80 0.756	0.53 0.054	0.32 0.302	0
单相短路 电流计算 查 $R_{ph,p}^{\circ}$	0.11 0.101	0.05 0.051	0.04 0.034	0.02 0.020	0
$X_{ph,p}^{\circ}$	1.06 1.007	0.53 0.504	0.35 0.336	0.21 0.201	0

①查表法

2.变压器的相保阻抗

①公式法

$$R_{\text{php}} = \frac{R_1 + R_2 + R_0}{3} \quad X_{\text{php}} = \frac{X_1 + X_2 + X_0}{3}$$

已知 $R_{1T} = R_{2T} = R_T$, $X_{1T} = X_{2T} = X_T$, 对于Dyn11联结配电变压器, 由于零序电流可在高压侧三角形联结的绕组中流通, 因此 $R_{0T} = R_T$, $X_{0T} = X_T$ 。所以, Dyn11联结配电变压器的相-保护导体电阻、电抗分别为 $R_{L-PE} = R_T$, $X_{L-PE} = X_T$ 。

对于Yyn0联结配电变压器, 其 R_{0T} 、 X_{0T} 比正序阻抗大得多, 由制造厂家通过测试提供。Yyn0联结配电变压器的相-保护导体电阻、电抗按公式计算。

②查表法: 三相短路查: 表格中的相保回路的电阻、电抗—配四P305~P307

2) 10 (6) /0.4kV三相双绕组变压器的阻抗: 配电变压器的正序阻抗可按照表4.6-3中有关公式计算, 变压器的负序阻抗等于正序阻抗。Yyn0联结组别的变压器的零序阻抗比正序阻抗大得多, 其值由制造厂通过测试提供; Dyn11联结组别的变压器的零序阻抗如果没有测试数据时, 可取其值等于正序阻抗值, 即相阻抗。

a.10/0.4kV型变压器阻抗平均值(归算至400V侧), 详见表4.6-12~表4.6-15。

b.20/0.4kV型变压器阻抗平均值(归算至400V侧), 见表4.6-16、表4.6-17(20kV电压等级非晶合金的油浸与干式变压器为非标产品)。

c.35/0.4kV型变压器阻抗平均值(归算至400V侧), 见表4.6-18、表4.6-19(35kV电压等级非晶合金的油浸与干式变压器为非标产品)。



3、低压配电线路的相保回路阻抗

①公式法

$$R_{\text{php}} = \frac{R_1 + R_2 + R_0}{3} \quad X_{\text{php}} = \frac{X_1 + X_2 + X_0}{3}$$

b. 线路相保阻抗的计算：单相接地短路电路中任意元件的相保阻抗 $Z_{\text{ph}\cdot\text{p}}$ 计算公式为

$$Z_{\text{ph}\cdot\text{p}} = \sqrt{R_{\text{ph}\cdot\text{p}}^2 + X_{\text{ph}\cdot\text{p}}^2} \quad (4.6-44)$$

$$R_{\text{ph}\cdot\text{p}} = \frac{1}{3} [R_{(1)} + R_{(2)} + R_{(0)}] = \frac{1}{3} [R_{(1)} + R_{(2)} + R_{(0)\text{ph}} + 3R_{(0)\text{p}}] = R_{\text{ph}} + R_{\text{p}} \quad (4.6-45)$$

$$\begin{aligned} X_{\text{ph}\cdot\text{p}} &= \frac{1}{3} [X_{(1)} + X_{(2)} + X_{(0)}] = \frac{1}{3} [X_{(1)} + X_{(2)} + X_{(0)\text{ph}} + 3X_{(0)\text{p}}] \\ &= \frac{1}{3} [X_{(1)} + X_{(2)} + X_{(0)\text{ph}}] + X_{(0)\text{p}} \quad (4.6-46) \end{aligned}$$

电阻（正序=负序=零序）： $R = \frac{\rho l}{S}$ 注意 $\times 1.5$ 架空线正序、负序电抗： $X'_L = 0.0628 \left(\frac{1}{4} + \ln \frac{d}{r} \right)$

电缆的正序、负序、零序电抗计算公式，见表4.2-1



a. 线路零序阻抗的计算：各种型式的低压配电线路的零序阻抗 $Z_{(0)}$ 均可由下式计算

$$|Z_{(0)}| = |Z_{(0)ph} + 3Z_{(0)p}| = \sqrt{(R_{(0)ph} + 3R_{(0)p})^2 + (X_{(0)ph} + 3X_{(0)p})^2} \quad (4.6-42)$$

其中

$$Z_{(0)ph} = \sqrt{R_{(0)ph}^2 + X_{(0)ph}^2}$$

$$Z_{(0)p} = \sqrt{R_{(0)p}^2 + X_{(0)p}^2}$$

式中 $Z_{(0)ph}$ ——相线的零序阻抗, Ω ;

$Z_{(0)p}$ ——PE 线的零序阻抗, Ω ;

$R_{(0)ph}$ 、 $X_{(0)ph}$ ——相线的零序电阻和电抗, Ω ;

$R_{(0)p}$ 、 $X_{(0)p}$ ——PE 线的零序电阻和电抗, Ω 。

零序一般给出与正序的比值, 直接根据正序求出

相线、PE线的零序电阻和电抗的计算方法与正、负序电阻和电抗的计算方法相同, 但在计算相零序电抗 $X_{(0)ph}$ 和保护线零序电抗 $X_{(0)p}$ 时, 线路电抗计算公式中的几何均距 D_j 改用 D_0 代替, 其计算公式如下

$$D_0 = \sqrt{D_{1,1p} D_{1,2p} D_{1,3p}} \quad (4.6-43)$$

式中 $D_{1,1p}$ 、 $D_{1,2p}$ 、 $D_{1,3p}$ ——相导体 L1、L2、L3 中心至 PE 或 PEN 导体中心的距离, mm。

公式中的 d 用 D_0 代替: $X'_L = 0.0628 \left(\frac{1}{4} + \ln \frac{d}{r} \right)$

d ——导线间的几何均距或相应的导线的中心距离, mm;

注: 一般题目中会给出相保回路单位长度上的电阻、电抗值, 直接乘以长度即可。

①查表法

表 4-25

线路单位长度阻抗值

单位: mΩ/m

		$R'_{\text{①}}$													
S (mm ²) ^②		185	150	120	95	70	50	35	25	16	10	6	4	2.5	1.5
铝		0.156	0.192	0.240	0.303	0.411	0.575	0.822	1.151	1.798	2.876	4.700	7.050	11.280	
铜		0.095	0.117	0.146	0.185	0.251	0.351	0.501	0.702	1.097	1.754	2.867	4.300	6.880	11.467
		$R'_{\text{php}} = 1.5(R'_{\text{ph}} + R'_p)$ ^③													
$S_p = S$ (mm ²) ^④ 4 ×		185	150	120	95	70	50	35	25	16	10	6	4	2.5	1.5
铝		0.468	0.576	0.720	0.909	1.233	1.725	2.466	3.453	5.394	8.628	14.100	21.150	33.840	
铜		0.285	0.351	0.438	0.555	0.753	1.053	1.503	2.106	3.291	5.262	8.601	12.900	20.640	34.401
$S_p \approx S/2$ (mm ²)	3 ×	185	150	120	95	70	50	35	25	16	10	6	4		
	+ 1 ×	95	70	70	50	35	25	16	16	10	6	4	2.5		
铝		0.689	0.905	0.977	1.317	1.850	2.589	3.930	4.424	7.011	11.364	17.625	27.495		
铜		0.420	0.552	0.596	0.804	1.128	1.580	2.397	2.699	4.277	6.932	10.751	16.770		
电缆铅包电阻 $R'_{(0)p}$		1.1	1.3	1.5	1.7	2.0	2.4	2.9	3.1	4.0	5.0	5.5	6.4		
布线钢管电阻 $R'_{(0)p}$ 分母为管径 (mm)		$\frac{0.7}{G80}$		$\frac{0.7}{G65}$		$\frac{0.8}{G50}$	$\frac{0.9}{G40}$	$\frac{1.3}{G32}$	$\frac{1.5}{G25}$	$\frac{2.5}{G20}$					

成功者教育...
 抓住断更...
 抓紧退款退款...
 加微信: cgz368368



		X'_{php}														
S (mm ²)		185	150	120	95	70	50	35	25	16	10	6	4	2.5	1.5	
架空线	$S_p = S$	0.57	0.59	0.61	0.63	0.65	0.67	0.69	0.71	0.75	0.77					
	$S_p \approx S/2$	0.60	0.62	0.63	0.65	0.67	0.69	0.72	0.73	0.767						
绝缘子布线	$D = 150\text{mm}$	$S_p = S$	0.448	0.464	0.478	0.493	0.517	0.537	0.563	0.583	0.611	0.643	0.681	0.707	0.737	0.767
		$S_p \approx S/2$	0.470	0.491	0.498	0.516	0.539	0.559	0.587	0.597	0.627					
	$D = 100\text{mm}$	$S_p = S$							0.513	0.533	0.561	0.591	0.631	0.655	0.685	0.716
		$S_p \approx S/2$							0.537	0.547	0.576					
	$D = 70\text{mm}$	$S_p = S$											0.585	0.611	0.645	0.673
	全塑电缆	$S_p = S$	0.152	0.152	0.152	0.158	0.156	0.158	0.160	0.164	0.174	0.188	0.200	0.200		
$S_p \approx S/2$		0.179	0.161	0.161	0.186	0.178	0.187	0.191	0.192	0.201	0.224	0.211	0.234			
纸绝缘电缆	$S_p = S$	0.136	0.136	0.140	0.138	0.138	0.140	0.146	0.146	0.164	0.176	0.186	0.196			
	$S_p \approx S/2$	0.155	0.155	0.153	0.163	0.163	0.177	0.179	0.182	0.198	0.219	0.219				
钢管布线	$S_p = S$		0.20	0.21	0.23	0.22	0.21	0.24	0.23	0.25	0.26	0.26	0.28	0.29	0.32	
	$S_p \approx S/2$		0.21	0.21	0.21	0.23	0.22	0.25	0.25	0.25						
	钢管作保护线		0.69	0.69	0.70	0.70	0.90	1.01	1.00	1.11	1.22	1.42	1.43	1.44	1.45	

〰



- ① R' 为导线 20℃ 时单位长度电阻值, $R' = C_j \frac{\rho_{20}}{S} \times 10^3$ (mΩ), 铝 $\rho_{20} = 2.82 \times 10^{-6} \Omega \cdot \text{cm}$, 铜 $\rho_{20} = 1.72 \times 10^{-6} \Omega \cdot \text{cm}$ 。
 C_j 为绞入系数, 导线截面 $\leq 6\text{mm}^2$ 时, C_j 取为 1.0; 导线截面 $> 6\text{mm}^2$ 时, C_j 取为 1.02。
- ② S 为相线线芯截面, S_p 为 PEN 线线芯截面。
- ③ R'_{php} 为计算单相对地短路电流用, 其值取导线 20℃ 时电阻的 1.5 倍。
- ④ 架空线水平排列, PEN 线在中间, 线间距离依次为 400、600、400mm。
- ⑤ 绝缘子布线水平排列, PEN 线在边位, D (mm) 为线间距离。

一手资源请认准网校教育: 成功者教育
其他地方买的后期一律不更新, 抓紧退款退款
一手资源, 次日更新, 加微信: cgz368368

三、单相短路（包括单相接地故障）电流的计算

1. 单相接地故障电流的计算

TN 接地系统的低压网络单相接地故障电流 I''_{k1} 可由下式计算

$$I''_{k1} = \frac{cU_n/\sqrt{3}}{\frac{|\dot{Z}_{(1)} + \dot{Z}_{(2)} + \dot{Z}_{(0)}|}{3}} = \frac{1.0 \times U_n/\sqrt{3}}{\sqrt{\left(\frac{R_{(1)} + R_{(2)} + R_{(0)}}{3}\right)^2 + \left(\frac{X_{(1)} + X_{(2)} + X_{(0)}}{3}\right)^2}}$$

$$= \frac{U_n/\sqrt{3}}{\sqrt{R_{\text{php}}^2 + X_{\text{php}}^2}} = \frac{220}{\sqrt{R_{\text{php}}^2 + X_{\text{php}}^2}} = \frac{220}{Z_{\text{php}}} \quad \text{kA} \quad (4-55)$$

$$\left. \begin{aligned} R_{\text{php}} &= \frac{R_{(1)} + R_{(2)} + R_{(0)}}{3} = R_{\text{php}\cdot\text{s}} + R_{\text{php}\cdot\text{T}} + R_{\text{php}\cdot\text{m}} + R_{\text{php}\cdot\text{L}} \\ X_{\text{php}} &= \frac{X_{(1)} + X_{(2)} + X_{(0)}}{3} = X_{\text{php}\cdot\text{s}} + X_{\text{php}\cdot\text{T}} + X_{\text{php}\cdot\text{m}} + X_{\text{php}\cdot\text{L}} \\ Z_{\text{php}} &= \sqrt{R_{\text{php}}^2 + X_{\text{php}}^2} \end{aligned} \right\} \quad (4-56)$$

$$R_{(1)} = R_{(1)\cdot\text{s}} + R_{(1)\cdot\text{T}} + R_{(1)\cdot\text{m}} + R_{(1)\cdot\text{L}}$$

$$R_{(2)} = R_{(2)\cdot\text{s}} + R_{(2)\cdot\text{T}} + R_{(2)\cdot\text{m}} + R_{(2)\cdot\text{L}}$$

$$R_{(0)} = R_{(0)\cdot\text{s}} + R_{(0)\cdot\text{T}} + R_{(0)\cdot\text{m}} + R_{(0)\cdot\text{L}}$$

$$X_{(1)} = X_{(1)\cdot\text{s}} + X_{(1)\cdot\text{T}} + X_{(1)\cdot\text{m}} + X_{(1)\cdot\text{L}}$$

$$X_{(2)} = X_{(2)\cdot\text{s}} + X_{(2)\cdot\text{T}} + X_{(2)\cdot\text{m}} + X_{(2)\cdot\text{L}}$$

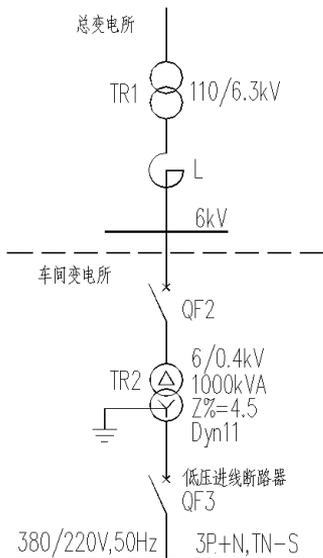
$$X_{(0)} = X_{(0)\cdot\text{s}} + X_{(0)\cdot\text{T}} + X_{(0)\cdot\text{m}} + X_{(0)\cdot\text{L}}$$

真题:

题16-20: 某企业总变电所设计中, 安装有变压器TR1及电抗器L, 并从总变电所6kV母线引一回路向车间变电所供电。供电系统如图所示。6kV侧为不接地系统, 380V系统为TN-S接地形式。请回答下列问题:

【10-2-A-17】 假设TR2变压器6kV侧短路容量为50MVA, 不计系统侧及变压器的电阻, 变压器的相保电抗等于正序电抗, 380V母线上A相对N线的短路电流为下列哪一项?

- (A) 6.33 kA (B) 21.2 kA (C) 23.7 kA (D) 30.6 kA



80 教育答案: 【 C 】 QQ 群: 726445291

解答过程: 依据《工业与民用供配电设计手册》第四版 P304 表 4.6-11、P281 表 4.6.3、P305

$$6\text{kV 系统的相保电抗: } Z_{Qt} = \frac{160}{50} = 3.2\text{m}\Omega, \quad X_{php-s} = \frac{3.2 \times 2}{3} = 2.13\text{m}\Omega$$

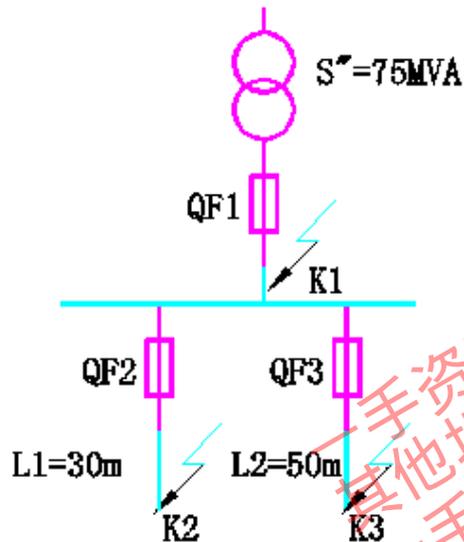
$$\text{变压器的相保电抗: } X_T = \frac{u_k\%}{100} \times \frac{U_T^2}{S_{rT}} = \frac{4.5}{100} \times \frac{0.4^2}{1} = 7.2\text{m}\Omega,$$

$$I_{k1} = I''_{k1} = \frac{220}{X_{php-s} + X_{php-T}} = \frac{220}{2.13 + 7.2} = 23.6\text{kA}$$

企业总变电所供电系统图



题21-25: 某车间10kV变电所, 设1台SCB9-2000/10的变压器, 10/0.4kV, Dyn11, $U_{k\%}=6$, 低压网络系统图如图所示, 变压器高压侧系统短路容量 $S_S=75\text{MVA}$, 低压配电线路L1选用铜芯电缆VV₂₂-3×35+1×16, 长度为30m, 电动机M额定功率为50kW, 额定电流 $I_r=90\text{A}$, 低压配电线路L₂所带负荷计算电流为410A, 其中最大一台电动机的额定电流为60A, 起动倍数为6, (忽略母线的阻抗)。请回答下列问题:



【16-2-P-21】 计算线路 L1 的相保阻抗值为下列哪项数值?

- (A) 45.34 mΩ (B) 61.06 mΩ (C) 72.13 mΩ (D) 100.96 mΩ

80 教育答案: 【C】QQ 群: 195343600

解答过程: 根据《工业与民用配电设计手册》第三版 P158 表 4-25。

$$R_{php} = 2.379\text{m}\Omega, X_{php} = 0.191\text{m}\Omega; Z_{php} = 30 \times \sqrt{2.379^2 + 0.191^2} = 72.13\text{m}\Omega$$

解析: 配四实用法精简了很多, 此题只能查配三。



【16-2-P-22】不计电动机反馈电流的影响，求 K1 点的三相短路电流应为下列哪项数值：

- (A) 23.1 kA (B) 33.2 kA (C) 47.99 kA (D) 108.66 kA

80 教育答案：【 B 】 QQ 群：195343600

解答过程：高压系统阻抗归算到变压器低压侧的阻抗为：

$$Z_Q = \frac{(cU_n)^2}{S_Q''} \times 10^3 = \frac{(1.05 \times 380)^2}{100} \times 10^3 = 2.13m\Omega$$

$$X_Q = 0.995 \times 2.13 = 2.12m\Omega, R_Q = 0.1 \times 2.12 = 0.21m\Omega$$

查 P305 表 4.6-13：查 SCB11 $X_T = 4.77m\Omega$, $R_T = 0.58m\Omega$

$$I = \frac{230}{\sqrt{(2.12 + 4.77)^2 + (0.21 + 0.58)^2}} = 33.16kA$$

【16-2-P-23】不计电动机反馈电流影响，求 K1 点的单相接地故障电流应为？

- (A) 24.5kA (B) 31.65kA (C) 33.27kA (D) 45.71kA

80 教育答案：【 C 】 QQ 群：195343600

解答过程：《工业与民用供配电设计手册》(第四版) P304。

$$Z_Q = \frac{(cU_n)^2}{S_Q''} \times 10^3 = \frac{(1.05 \times 380)^2}{75} \times 10^3 = 2.13m\Omega$$

$$X_Q = 0.995 \times 2.13 = 2.12m\Omega, R_Q = 0.1 \times 2.12 = 0.21m\Omega$$



$$X_{php.s} = \frac{2}{3}X_Q = 1.41m\Omega, R_{php.s} = \frac{2}{3}R_Q = 0.14m\Omega$$

查 P305 表 4.6 - 13, $X_{Tphp} = 4.73$, $R_{Tphp} = 0.58$

$$I''_{k1} = \frac{U_n/\sqrt{3}}{\sqrt{(X_{php.s}+X_{Tphp})^2 + (R_{php.s}+R_{Tphp})^2}} = \frac{220}{\sqrt{(1.41+4.73)^2 + (0.14+0.58)^2}} = 35.58kA, \text{ 因配四表}$$

格更改, 所以结果有所差异, 掌握方法。

【16-2-P-24】假设 K2 点的三相短路电流为 24.5kA, 且 L2 回路只带一台额定电流为 60A 的电动机, 关于 k1, k2 点短路电流是否计入电动机的影响, 下列说法中哪项是正确的?

- (A) k1 点的短路电流需计入电动机的影响, k2 点短路电流不考虑电动机的影响
- (B) k1 点短路电流不考虑电动机的影响, k2 点短路电流需考虑电动机的影响
- (C) k1, k2 点短路电流均不考虑电动机的影响
- (D) k1, k2 点短路电流均需计入电动机的影响

80 教育答案: 【C】 QQ 群: 195343600

解答过程: 根据《工业与民用配电设计手册》第四版 P225。

$$I_{rM} = 60 < 24500 \times 0.01 = 245A$$

$$I_{rM} = 90 < 24500 \times 0.01 = 245A$$

$$60+90 < 245A$$

仅当短路点附近所接电动机额定电流值和大于短路电流的 1% 时才考虑电动机反馈电流的影响, 故此题不需要考虑, 选择 C

解析: 异步电动机对短路电流的影响从 13 年开始出现, 16 年考了多次。大家可以关注新考点的连续性出现。

(1) 各级电压短路电流控制水平：当电力网络短路电流数值与系统运行或发展不适应时，应采取措施限制短路电流。我国目前对电力系统短路电流的控制水平见表 4.6-1。

表 4.6-1

各级电压短路电流控制水平

电压等级 (kV)	10	20	35	66	110	220	330	500
短路电流控制水平 (kA)	16/20	16/20	25	31.5	31.5/40	31.5/40	50	50

(2) 电力系统可采取的限流措施：①提高电力系统的电压等级；②直流输电；③在电力系统主网加强联系后，将次级电网解环运行；④在允许的范围内，增大系统的零序阻抗，如采用不带第三绕组或第三绕组为Y接线的全星形自耦变压器，减少变压器的接地点等；⑤采用电力电子型故障电流限制器；⑥采用限流电抗器。



(3) 发电厂和变电站中可采取的限流措施：①发电厂中，在发电机电压母线分段回路中安装电抗器；②变压器分列运行；③变电站中，在变压器回路中装设分裂电抗器或电抗器；④采用低压侧为分裂组的变压器；⑤出线上装设电抗器。

(4) 终端变电站中可采取的限流措施：①变压器分列运行；②采用高阻抗变压器；③在变压器回路中装设电抗器④采用小容量变压器

短路电流计算第二节课后作业：历年真题解析分类版的知识题，案例题都可以做。

课后小结:

- 三相短路峰值电流 ○ 配四P300,4.6-21 ○ $i_p = k_p \sqrt{2} I_k''$ ○ $K_p = 1 + e^{-0.01/T_f}$ ○ T如果单位是s, 公式见配四, 如果无单位, 见DL/T52--2005 附录F
- 三相短路峰值电流 ○ K_p 的经验取值, 配四P300
- 两相短路电流计算 ○ 初始值=0.866三相短路电流
- 稳态值 ○ 远端短路=0.866三相短路电流
- 近端短路 ○ 发电机出口处1.5Ik3
- 异步电动机反馈电流 ○ 一台异步电动机 ○ $I_M'' = K_{stM} I_{NM} \times 10^{-3}$
- n台异步电动机 ○ $I_M'' = \sum_{i=1}^n K_{stMi} I_{NMi} \times 10^{-3}$
- n台异步电动机峰值电流 ○ $i_{pM} = K \sqrt{2} \sum_{i=1}^n K_{PMi} K_{stMi} I_{NMi} \times 10^{-3}$
- 计及异步电动机的反馈电流计算 ○ 中高压电动机, 只要不隔变压器就可以直接计入
- 短路点的短路电流=系统短路电流+异步电动机反馈电流
- 低压电动机, 额定电流>1%Ik时, 计入
- 单相接地电容电流计算配四P306 ○ 电缆回路 ○ 式4.6-33~35
- 架空线线路 ○ 式4.6-36~38
- 考虑变电所附加 ○ 表4.6-10