

## 清华大学本科生考试试题专用纸

考试课程《电力系统分析》(A 卷) 2005 年 6 月 15 日

班 姓名 \_\_\_\_\_ 学号 \_\_\_\_\_

请在答题本上写明班号、姓名、学号。是非、选择和填空题做在试题纸上, 选择题为单重。简述题和计算分析题做在答题本上, 正页答题, 反页草稿。不用抄题, 但须写明题号。试题纸与答题本一起交回。

一、(10 分) 是非题 (对:  $\sqrt{}$ ; 错:  $\times$ )

- 1、发电机、输电线路和继电保护都属于电力系统的一次系统。( )
- 2、频率为 50HZ 的单相交流系统中, 若瞬时功率存在无功分量, 则该无功分量的交变频率也为 50HZ。( )
- 3、日负荷曲线中, 峰谷差越大, 电力系统的运行难度越大。( )
- 4、变压器  $\Pi$  型等值电路中, 两个并联阻抗的符号相反, 负号出现在电压等级高的一侧。( )
- 5、电力系统越大, 系统频率越难稳定。( )
- 6、理想电机转子以额定转速  $\omega$  旋转, 定子绕组之间的互感以及定、转子绕组之间的互感都是时变的, 但前者周期为  $2\pi$  而后者周期为  $\pi$ 。( )
- 7、输电线路的零序电抗总是比其正序电抗大。( )
- 8、电力系统故障后通常忽略负序分量和零序分量对稳定性的影响, 因此负序网络和零序网络参数对稳定性的影响也可以忽略。( )
- 9、为了使单电源网络相间短路装设的一、二、三段过电流保护具有选择性, 所以第一段过电流保护不能保护线路的全长。( )
- 10、电力系统是非线性系统, 所以不能采用线性化的方法分析其静态稳定性。( )

二、(24 分) 选择题

- 1、(2 分) 以下关于交流输电线路导线分裂技术的优点, 错误的是 ( ) :  
A: 减少电晕损耗; B: 减少线路串联电抗。  
C: 减少线路并联电纳。
- 2、(3 分) 在双绕组变压器的等值参数中, 若以变压器额定值为标么基准值, 则空载电流的标么值在数值上等于 ( ); 短路损耗的标么值在数值上等于 ( )。  
A: 串联电阻的标么值  $R_{T*}$ ; B: 串联电抗的标么值  $X_{T*}$ ;  
C: 励磁电导的标么值  $G_{T*}$ ; D: 励磁电纳的标么值  $B_{T*}$ ; E: 不定。
- 3、(2 分) 关于节点导纳矩阵  $Y$ , 以下说法错误的是 ( ) :  
A: 是复数方阵; B: 一定存在与其对应的阻抗矩阵;  
C: 是稀疏阵; D: 既包含元件特性约束, 又包含网络拓扑约束。
- 4、(2 分) 在潮流计算机解法中, 与 N-R 法相比, 关于 PQ 分解法的错误说法是 ( )。  
A: 收敛性较差; B: 计算速度较快; C: 迭代次数较多; D: 收敛精度较差。
- 5、(3 分) 某高压架空线如下图所示, 电压幅值  $U_1 > U_2$ , 电压相角  $\theta_1 < \theta_2$ , 线路无功潮流最可能的流向为 ( ), 线路有功潮流最可能的流向为 ( )。

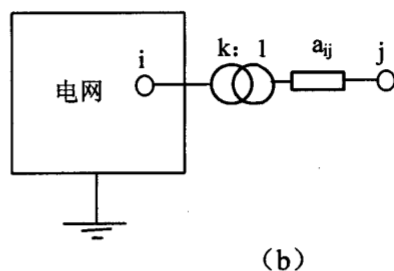
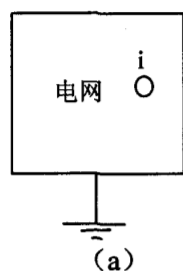


A: 从 1 流向 2; B: 从 1 流向大地; C: 从 2 流向 1; D: 从 2 流向大地。

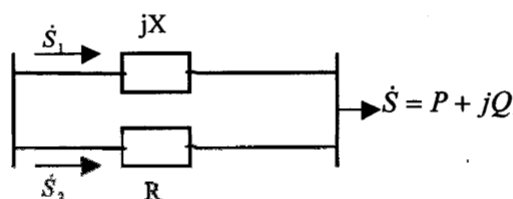
- 6、(2分)空载同步发电机机端三相短路后定子电流交流分量经历超瞬变过程、瞬变过程最后衰减到稳态,超瞬变过程的衰减时间常数主要由( )决定,瞬变过程的衰减时间常数主要由( )决定
- A、励磁绕组本身的时间常数;  
B、忽略阻尼绕组,定子绕组短路时励磁绕组的时间常数;  
C、励磁绕组、定子绕组均短路时阻尼绕组的时间常数;  
D、阻尼绕组、励磁绕组均短路时定子绕组的时间常数。
- 7、(2分)电力系统发生三相短路后,短路电流(周期分量与非周期分量之和)的最大值一般出现在短路后( )
- A、0秒; B、0.005秒; C、0.01秒; D、0.02秒。
- 8、(2分)通常从以下四个方面比较电力系统继电保护设计的好坏:( )
- A、选择性、快速性、经济性、可靠性; B、选择性、快速性、经济性、灵敏性;  
C、选择性、快速性、可靠性、灵敏性; D、选择性、可靠性、经济性、灵敏性。
- 9、(2分)下列关于对称分量法的说法正确的是( )
- A、对于对称的三相电力系统,注入负序电流时可能产生正序电压或零序电压;  
B、可以通过增加发电机或变压器中性点对地的电抗增加系统的零序电抗;  
C、同步发电机的正序电抗与负序电抗相等,而比零序电抗大得多;  
D、对于不对称的三相系统也可以采用对称分量法来简化其短路电流的计算。
- 10、(2分)下列关于短路容量的说法,错误的是( )
- A、电力系统某一点的短路容量越大则系统越强大,带负载能力越强;  
B、在电力系统中增加发电机会增加系统的短路容量;  
C、如果电力系统中两点的额定电压与短路容量都相同,则这两点三相短路、两相短路和单相接地短路的短路电流必然相等;  
D、在采用标幺值计算时,电力系统中某一点的短路容量等于该点到无穷大电源点的总阻抗标幺值的倒数。
- 11、(2分)单台发电机经双回线接入无穷大系统在同一点分别发生三相短路、单相接地短路、两相短路和两相短路接地故障,四种故障对应的临界切除时间分别为:  
 $t_{cr}^{(3)}, t_{cr}^{(1,1)}, t_{cr}^{(2)}, t_{cr}^{(2,1)}$ , 则其大小为( )
- A、 $t_{cr}^{(1,1)} < t_{cr}^{(2,1)} < t_{cr}^{(2)} < t_{cr}^{(3)}$ ;  
B、 $t_{cr}^{(1,1)} < t_{cr}^{(2,1)} < t_{cr}^{(3)} < t_{cr}^{(2)}$ ;  
C、 $t_{cr}^{(1,1)} < t_{cr}^{(2)} < t_{cr}^{(2,1)} < t_{cr}^{(3)}$ ;  
D、 $t_{cr}^{(1,1)} < t_{cr}^{(3)} < t_{cr}^{(2)} < t_{cr}^{(2,1)}$ 。

### 三、(20分) 填空题

- (2分) 电力系统运行的基本要求为：可靠性高、( )、( )。
- (2分) 挂接在 10kV 电网上的发电机的额定电压应为 ( ) kV，该电压等级的平均标称电压为 ( ) kV。
- (4分) 变化前的电力网络如图 (a) 所示，这时在节点阻抗阵中，i 节点的自阻抗元素为  $Z_{ii}$ 。若在 i 节点上接出变压器支路 ij，变化后的电力网络如图 (b) 所示，图中，k 为理想变比， $a_{ij}$  为支路阻抗，则在变化后的节点阻抗阵中，j 节点的自阻抗元素  $Z_{jj}$  为 ( )，互阻抗  $Z_{ij}$  为 ( )。



- (2分) 如下图系统，X、R、 $\dot{S}$  均已知，则基本功率分布  $\dot{S}_1 =$  \_\_\_\_\_；  
 $\dot{S}_2 =$  \_\_\_\_\_。



- (2分) 理想同步电机由 \_\_\_\_\_ 个绕组构成，数学模型共有 \_\_\_\_\_ 个未知数。
- (2分) 举出两种提高电力系统静态稳定的措施：  
(1) \_\_\_\_\_；  
(2) \_\_\_\_\_。
- (2分) 假定变压器为 Y0/Δ 接法，如果在 Y0 侧的中性点与地之间串联电抗  $X_n$ ，则其零序阻抗会增加 ( )，而如果在 Δ 侧绕组中串联电抗  $X_n$ ，则其零序阻抗会增加 ( )。
- (2分) 发电机转子的惯性时间常数  $T_J$  的物理意义为 \_\_\_\_\_。
- (2分) 单电源网络相间短路一般装设一、二、三段过电流保护，其中第二段电流保护整定的原则为：\_\_\_\_\_。

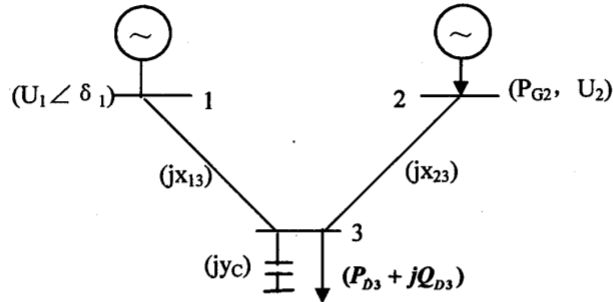
### 四、简述题 (16分, 4分/题)

- 试述远距离输电采用高电压的原因。
- 试比较并联无功补偿与串联无功补偿的特点。
- 什么是派克变换？试简述派克变换的作用与意义。
- 利用单机无穷大系统解释等面积定则。

### 五、计算分析题

1、(5 分) 假定两机系统的发电成本曲线分别为  $C_1(P_{G1})=1000+20P_{G1}+0.1P_{G1}^2$  (¥/h) 和  $C_2(P_{G2})=800+26P_{G2}+0.04P_{G2}^2$  (¥/h)，出力限制分别为  $25\text{MW}\leq P_{G1}\leq 150\text{MW}$  和  $10\text{MW}\leq P_{G2}\leq 90\text{MW}$ ，若总负荷为  $200\text{MW}$ ，忽略网损，求两机的最优经济出力和总成本。

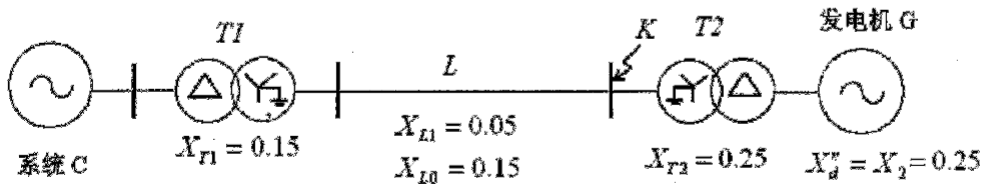
2、(10 分) 如下图，3 节点电力网络，1 号和 2 号节点上分别挂有发电机，3 号节点上挂有负荷和电容器，各节点和支路的已知数据（标么值）已在对应的括号内标出，忽略线路的串联电阻和充电容纳。



- (1) 写出节点导纳矩阵  $Y$ ;
- (2) 指出各节点的类型;
- (3) 在极坐标形式的 N-R 法中，试写出所有参与迭代的潮流方程（用已知数据量代入，化简）;
- (4) 写出极坐标形式的 N-R 法的 Jacobian 阵各元素的表达式（用已知量代入，化简）;
- (5) 简述极坐标形式的 N-R 法的迭代格式。

3、(15 分) 如图所示发电机  $G$ ，变压器  $T1$ 、 $T2$  以及线路  $L$  的电抗参数都以统一基值的标么值给出，系统  $C$  的电抗值是未知的，但已知其正序电抗等于负序电抗。在  $K$  点发生  $a$  相直接接地短路故障，测得  $K$  点短路后三相电压分别为  $\dot{U}_a = 0, \dot{U}_b = 1\angle -120^\circ, \dot{U}_c = 1\angle 120^\circ$ 。试求：

- (1) 系统  $C$  的正序电抗；(8 分)
- (2)  $K$  点发生  $bc$  两相接地短路时故障点电流 (3 分)；
- (3)  $K$  点发生  $bc$  两相接地短路时发电机和系统  $C$  分别提供的故障电流（假设故障前线路电流中没有电流）。(4 分)



## 清华大学本科生考试试题专用纸

考试课程《电力系统分析》(B 卷) 2005 年 6 月 15 日

班 姓名\_\_\_\_\_ 学号\_\_\_\_\_

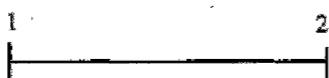
请在答题本上写明班号、姓名、学号。是非、选择和填空题做在试题纸上, 选择题为单重。简述题和计算分析题做在答题本上, 正页答题, 反页草稿。不用抄题, 但须写明题号。试题纸与答题本一起交回。

### 一、(10 分) 是非题 (对: $\sqrt{}$ ; 错: $\times$ )

- 1、日负荷曲线中, 峰谷差越大, 电力系统的运行难度越大。( )
- 2、发电机、输电线路和继电保护都属于电力系统的一次系统。( )
- 3、频率为 50HZ 的单相交流系统中, 若瞬时功率存在无功分量, 则该无功分量的交变频率也为 50HZ。( )
- 4、电力系统越大, 系统频率越难稳定。( )
- 5、变压器 II 型等值电路中, 两个并联阻抗的符号相反, 负号出现在电压等级高的一侧。( )
- 6、输电线路的零序电抗总是比其正序电抗大。( )
- 7、理想电机转子以额定转速  $\omega$  旋转, 定子绕组之间的互感以及定、转子绕组之间的互感都是时变的, 但前者周期为  $2\pi$  而后者周期为  $\pi$ 。( )
- 8、电力系统是非线性系统, 所以不能采用线性化的方法分析其静态稳定性。( )
- 9、为了使单电源网络相间短路装设的一、二、三段过电流保护具有选择性, 所以第一段过电流保护不能保护线路的全长。( )
- 10、电力系统故障后通常忽略负序分量和零序分量对稳定性的影响, 因此负序网络和零序网络参数对稳定性的影响也可以忽略。( )

### 二、(24 分) 选择题

- 1、(2 分) 以下关于交流输电线路导线分裂技术的优点, 错误的是 ( ) :  
A: 减少电晕损耗; B: 减少线路并联电纳;  
C: 减少线路串联电抗。
- 2、(3 分) 在双绕组变压器的等值参数中, 若以变压器额定值为标么基准值, 则空载电流的标么值在数值上等于 ( ); 短路损耗的标么值在数值上等于 ( )。  
A: 串联电抗的标么值  $X_{T*}$ ; B: 串联电阻的标么值  $R_{T*}$ ;  
C: 励磁电纳的标么值  $B_{T*}$ ; D: 励磁电导的标么值  $G_{T*}$ ; E: 不定。
- 3、(2 分) 关于节点导纳矩阵  $Y$ , 以下说法错误的是 ( ) :  
A: 是复数方阵; B: 既包含元件特性约束, 又包含网络拓扑约束;  
C: 一定存在与其对应的阻抗矩阵; D: 是稀疏阵。
- 4、(2 分) 在潮流计算机解法中, 与 N-R 法相比, 关于 PQ 分解法的错误说法是 ( )。  
A: 收敛精度较差; B: 计算速度较快; C: 迭代次数较多; D: 收敛性较差。
- 5、(3 分) 某高压架空线如下图所示, 电压幅值  $U_1 > U_2$ , 电压相角  $\theta_1 < \theta_2$ , 线路无功潮流最可能的流向为 ( ), 线路有功潮流最可能的流向为 ( )。

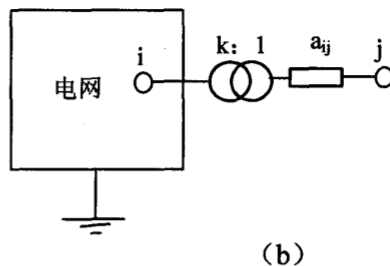
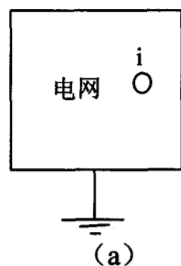


A: 从 2 流向 1; B: 从 1 流向大地; C: 从 1 流向 2; D: 从 2 流向大地。

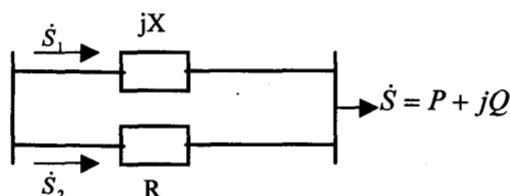
- 6、(2分)空载同步发电机机端三相短路后定子电流交流分量经历超瞬变过程、瞬变过程最后衰减到稳态,超瞬变过程的衰减时间常数主要由( )决定,瞬变过程的衰减时间常数主要由( )决定
- A、阻尼绕组、励磁绕组均短路时定子绕组的时间常数;  
B、励磁绕组、定子绕组均短路时阻尼绕组的时间常数;  
C、忽略阻尼绕组,定子绕组短路时励磁绕组的时间常数;  
D、励磁绕组本身的时间常数。
- 7、(2分)电力系统发生三相短路后,短路电流(周期分量与非周期分量之和)的最大值一般出现在短路后( )
- A、0.005秒; B、0秒; C、0.02秒; D、0.01秒。
- 8、(2分)通常从以下四个方面比较电力系统继电保护设计的好坏:( )
- A、选择性、快速性、经济性、灵敏性; B、选择性、快速性、经济性、可靠性;  
C、选择性、可靠性、经济性、灵敏性; D、选择性、快速性、可靠性、灵敏性。
- 9、(2分)下列关于对称分量法的说法正确的是( )
- A、可以通过增加发电机或变压器中性点对地的电抗增加系统的零序电抗;  
B、对于对称的三相电力系统,注入负序电流时可能产生正序电压或零序电压;  
C、对于不对称的三相系统也可以采用对称分量法来简化其短路电流的计算;  
D、同步发电机的正序电抗与负序电抗相等,而比零序电抗大得多。
- 10、(2分)下列关于短路容量的说法,错误的是( )
- A、在电力系统中增加发电机会增加系统的短路容量;  
B、电力系统某一点的短路容量越大则系统越强大,带负载能力越强;  
C、在采用标幺值计算时,电力系统中某一点的短路容量等于该点到无穷大电源点的总阻抗标幺值的倒数;  
D、如果电力系统中两点的额定电压与短路容量都相同,则这两点三相短路、两相短路和单相接地短路的短路电流必然相等。
- 11、(2分)单台发电机经双回线接入无穷大系统在同一点分别发生三相短路、单相接地短路、两相短路和两相短路接地故障,四种故障对应的临界切除时间分别为:  
 $t_{cr}^{(3)}, t_{cr}^{(1,1)}, t_{cr}^{(2)}, t_{cr}^{(2,1)}$ , 则其大小为( )
- A、 $t_{cr}^{(1,1)} < t_{cr}^{(2,1)} < t_{cr}^{(3)} < t_{cr}^{(2)}$ ;  
B、 $t_{cr}^{(1,1)} < t_{cr}^{(2,1)} < t_{cr}^{(2)} < t_{cr}^{(3)}$ ;  
C、 $t_{cr}^{(1,1)} < t_{cr}^{(3)} < t_{cr}^{(2)} < t_{cr}^{(2,1)}$ ;  
D、 $t_{cr}^{(1,1)} < t_{cr}^{(2)} < t_{cr}^{(2,1)} < t_{cr}^{(3)}$ 。

### 三、(20分) 填空题

- 1、(4分) 变化前的电力网络如图(a)所示, 这时在节点阻抗阵中,  $i$  节点的自阻抗元素为  $Z_{ii}$ 。若在  $i$  节点上接出变压器支路  $ij$ , 变化后的电力网络如图(b)所示, 图中,  $k$  为理想变比,  $a_{ij}$  为支路阻抗, 则在变化后的节点阻抗阵中,  $j$  节点的自阻抗元素  $Z_{jj}$  为 ( ), 互阻抗  $Z_{ij}$  为 ( )。



- 2、(2分) 电力系统运行的基本要求为: 可靠性高、( )、( )。
- 3、(2分) 如下图系统,  $X$ 、 $R$ 、 $\dot{S}$  均已知, 则基本功率分布  $\dot{S}_1 =$  ;  $\dot{S}_2 =$  。



- 4、(2分) 挂接在 10kV 电网上的发电机的额定电压应为 ( ) kV, 该电压等级的平均标称电压为 ( ) kV。
- 5、(2分) 假定变压器为 Y0/Δ 接法, 如果在 Y0 侧的中性点与地之间串联电抗  $X_n$ , 则其零序阻抗会增加 ( ), 而如果在 Δ 侧绕组中串联电抗  $X_n$ , 则其零序阻抗会增加 ( )。
- 6、(2分) 举出两种提高电力系统静态稳定的措施:  
(1) \_\_\_\_\_;  
(2) \_\_\_\_\_。
- 7、(2分) 理想同步电机由 \_\_\_\_\_ 个绕组构成, 数学模型共有 \_\_\_\_\_ 个未知数。
- 8、(2分) 单电源网络相间短路一般装设一、二、三段过电流保护, 其中第二段电流保护整定的原则为: \_\_\_\_\_。
- 9、(2分) 发电机转子的惯性时间常数  $T_J$  的物理意义为 \_\_\_\_\_。

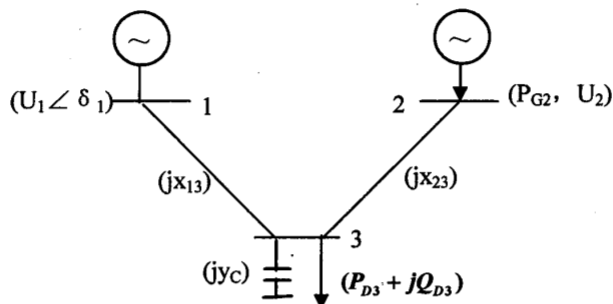
### 四、简述题 (16分, 4分/题)

- 试述远距离输电采用高电压的原因。
- 试比较并联无功补偿与串联无功补偿的特点。
- 什么是派克变换? 试简述派克变换的作用与意义。
- 利用单机无穷大系统解释等面积定则。

### 五、计算分析题

1、(5 分) 假定两机系统的发电成本曲线分别为  $C_1(P_{G1})=1000+20P_{G1}+0.1P_{G1}^2$  (¥/h) 和  $C_2(P_{G2})=800+26P_{G2}+0.04P_{G2}^2$  (¥/h)，出力限制分别为  $25\text{MW} \leq P_{G1} \leq 150\text{MW}$  和  $10\text{MW} \leq P_{G2} \leq 90\text{MW}$ ，若总负荷为  $200\text{MW}$ ，忽略网损，求两机的最优经济出力和总成本。

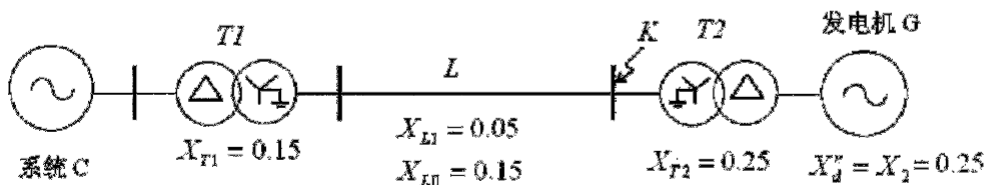
2、(10 分) 如下图，3 节点电力网络，1 号和 2 号节点上分别挂有发电机，3 号节点上挂有负荷和电容器，各节点和支路的已知数据（标么值）已在对应的括号内标出，忽略线路的串联电阻和充电容纳。



- (1) 写出节点导纳矩阵  $Y$ ;
- (2) 指出各节点的类型;
- (3) 在极坐标形式的 N-R 法中，试写出所有参与迭代的潮流方程（用已知数据量代入，化简）;
- (4) 写出极坐标形式的 N-R 法的 Jacobian 阵各元素的表达式（用已知量代入，化简）;
- (5) 简述极坐标形式的 N-R 法的迭代格式。

3、(15 分) 如图所示发电机  $G$ ，变压器  $T1$ 、 $T2$  以及线路  $L$  的电抗参数都以统一基值的标么值给出，系统  $C$  的电抗值是未知的，但已知其正序电抗等于负序电抗。在  $K$  点发生  $a$  相直接接地短路故障，测得  $K$  点短路后三相电压分别为  $\dot{U}_a = 0, \dot{U}_b = 1 \angle -120^\circ, \dot{U}_c = 1 \angle 120^\circ$ 。试求：

- (1) 系统  $C$  的正序电抗；(8 分)
- (2)  $K$  点发生  $bc$  两相接地短路时故障点电流 (3 分)；
- (3)  $K$  点发生  $bc$  两相接地短路时发电机和系统  $C$  分别提供的故障电流（假设故障前线路电流中没有电流）。(4 分)





## 2006 年清华大学《电力系统分析》(A 卷) 试题参考答案

考试时间: 2006 年 6 月 12 日

一、(10 分) 是非题 (对:  $\sqrt{}$ ; 错:  $\times$ )

- 1、( $\times$ ); 2、( $\times$ ); 3、( $\sqrt{}$ ); 4、( $\sqrt{}$ ); 5、( $\times$ ); 6、( $\times$ ); 7、( $\times$ ); 8、( $\times$ ); 9、( $\sqrt{}$ ); 10、( $\times$ )

二、(24 分) 选择题

- 1、(C); 2、(D) (A); 3、(B); 4、(D); 5、(A) (C); 6、(C) (B); 7、(C); 8、(C); 9、(B); 10、(C); 11、(C)

三、(20 分) 填空题

1、(电能质量高) (经济性好);

2、(10.5) (10.5);

3、( $a_{ij} + \frac{Z_{ii}}{k^2}$ ) ( $\frac{Z_{ii}}{k}$ );

4、( $\frac{R}{R-jX}(P+jQ)$ ) ( $-\frac{jX}{R-jX}(P+jQ)$ );

5、(6) (18);

6、(采用先进的励磁控制措施) (降低线路的阻抗);

7、( $3X_n$ ) ( $1/3 X_n$ );

8、(在发电机转子上施加单位转矩使转子加速, 转子由静止到额定转速所需的时间);

9、(其下一线路保护的 I 段电流保护区末端短路时不动作)

四、(16 分) 简述题

1、答: 远距离大容量输电时, 采用高电压可以使: (1) 压降小; (2) 损耗低; (3) 稳定性高。

2、答: 在等容量情况下, 并补的降损效果较强, 串补的调压效果较强。

3、答: 派克变换表示如下:

$$\begin{bmatrix} f_d \\ f_q \\ f_0 \end{bmatrix} = \frac{2}{3} \begin{bmatrix} \cos \theta_a & \cos \theta_b & \cos \theta_c \\ -\sin \theta_a & -\sin \theta_b & -\sin \theta_c \\ 1/2 & 1/2 & 1/2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} f_a \\ f_b \\ f_c \end{bmatrix}$$

其中  $\theta_a = \omega t + \theta_0$ ,  $\theta_b = \theta_a - 2\pi/3$ ,  $\theta_c = \theta_a + 2\pi/3$

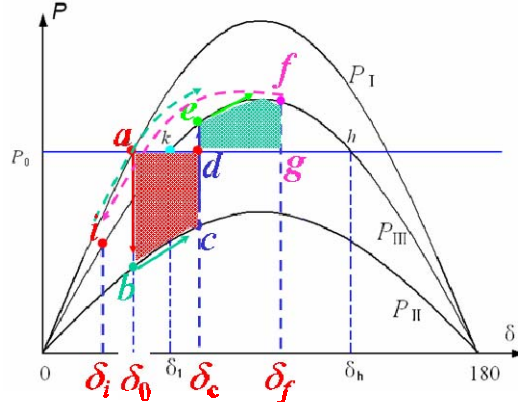
逆变换为:

$$\begin{bmatrix} f_a \\ f_b \\ f_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \theta_a & -\sin \theta_b & 1 \\ \cos \theta_b & -\sin \theta_c & 1 \\ \cos \theta_c & -\sin \theta_a & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} f_d \\ f_q \\ f_0 \end{bmatrix} = \bar{C}^{-1} \begin{bmatrix} f_d \\ f_q \\ f_0 \end{bmatrix}$$

派克变换是一种线性变换, 将定子 abc 坐标变换到与转子同步旋转的 dq0 坐标。

在d、q、0坐标系中，磁链方程成为常系数方程，从而使得同步电机的数学模型成为常系数方程，或者说将abc坐标下“理想电机”的时变数学模型转化为非时变数学模型。是电机模型取得的一次巨大的突破。

答：



单机无穷大系统中各种功率特性曲线

等面积定则是判断单机无穷大系统暂态稳定性的一种定量方法。如上图所示，单机无穷大系统发生大扰动后有三个阶段即大扰动发生前，此时系统的功角特性为PI，大扰动（故障）发生过程中，此时系统的功角特性为PII，扰动清除后，此时系统的功角特性为PIII。等面积定则将发电机功角特性曲线与原动机输出功率曲线之间所包围的面积与发电机转子所获得或释放的能量联系起来，从而得到发电机转子角摇摆的最大值并可据此判断发电机的暂态稳定性。具体解释如下：

对于单机无穷大系统，在大扰动发生后，发电机发出的电磁功率小于发电机的原动机功率，因此转子加速，转子在此过程中获得的动能为abcd所包围的面积称为加速面积即：

$$S_{abcd} = S_{\text{加速}} = \int_{\delta_0}^{\delta_c} (P_0 - P_{II}) d\delta = \frac{1}{2} T_J \Delta \omega_c^2$$

扰动消除后，发电机发出的电磁功率大于原动机功率，因此转子减速，转子在此过程中失去的动能为defg所包围的面积称为减速面积即：

$$S_{defg} = S_{\text{减速}} = \int_{\delta_c}^{\delta_f} (P_{III} - P_0) d\delta = \frac{1}{2} T_J \Delta \omega_c^2$$

因转子在b点、f点转速均为1，转子在减速过程中动能的减少正好等于其加速过程中动能的增加。由能量守恒， $S_{\text{减速}} = S_{\text{加速}}$ ，即：

$$\int_{\delta_0}^{\delta_c} (P_0 - P_{II}) d\delta = \int_{\delta_c}^{\delta_f} (P_{III} - P_0) d\delta$$

上式即为等面积法则，当发电机的减速面积等于加速面积时，转子角速度能够恢复到同步速度，转子角达到其极值 $\delta_f$ 并开始减小，即单机无穷大系统在此干扰下能够保持暂态稳定，否则系统将失去稳定。

## 五、计算分析题

1、(5 分)

解：根据等微增率准则和总负荷约束，有：

$$\begin{cases} 20 + 0.2P_{G1} = 26 + 0.08P_{G2} \\ P_{G1} + P_{G2} = 200 \end{cases}$$

$$\text{得：} \begin{cases} P_{G1} = 78.6(\text{MW}) \\ P_{G2} = 121.4(\text{MW}) \end{cases}$$

$$\text{进一步，由出力限制，得两机最优出力为：} \begin{cases} P_{G1} = 110(\text{MW}) \\ P_{G2} = 90(\text{MW}) \end{cases}$$

代入发电成本曲线，得总成本  $C_{\Sigma} = C_1 + C_2 = 7874$  (¥/h)

2、(10 分)

解：

$$(1)、Y = \begin{bmatrix} -j\frac{1}{x_{13}} & 0 & j\frac{1}{x_{13}} \\ 0 & -j\frac{1}{x_{23}} & j\frac{1}{x_{23}} \\ j\frac{1}{x_{13}} & j\frac{1}{x_{23}} & -j\frac{1}{x_{13}} - j\frac{1}{x_{23}} + jy_C \end{bmatrix}$$

(2)、1 节点为 V  $\delta$  节点；2 节点为 PV 节点；3 节点为 PQ 节点

(3)、参与迭代的方程为：

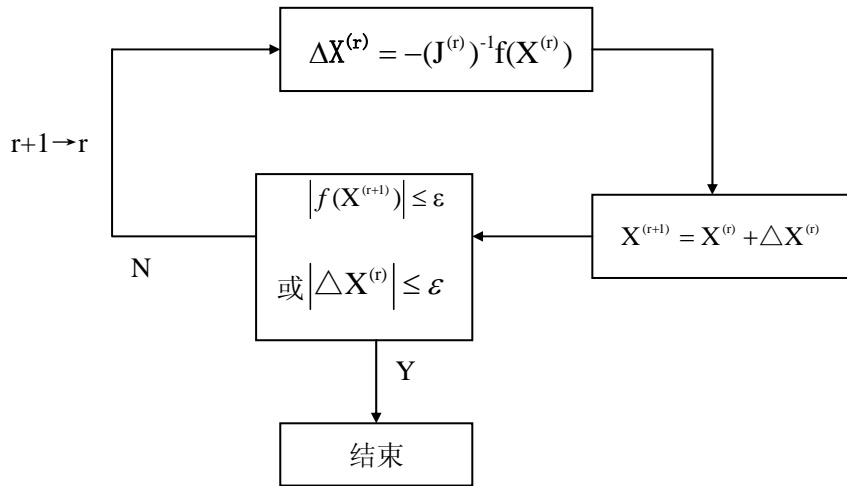
$$\begin{cases} \Delta P_2 = P_{G2} - \frac{1}{x_{23}} U_2 U_3 \sin(\delta_2 - \delta_3) = 0 \\ \Delta P_3 = P_{D3} + \frac{1}{x_{23}} U_3 U_2 \sin(\delta_3 - \delta_2) + \frac{1}{x_{13}} U_3 U_1 \sin(\delta_3 - \delta_1) = 0 \\ \Delta Q_3 = Q_{D3} + \left(\frac{1}{x_{23}} + \frac{1}{x_{13}} - y_C\right) U_3^2 - \frac{1}{x_{23}} U_3 U_2 \cos(\delta_3 - \delta_2) - \frac{1}{x_{13}} U_3 U_1 \cos(\delta_3 - \delta_1) = 0 \end{cases}$$

(4)

$$J = \frac{\partial(\Delta P_2, \Delta P_3, \Delta Q_3)}{\partial(\delta_2, \delta_3, U_3)} =$$

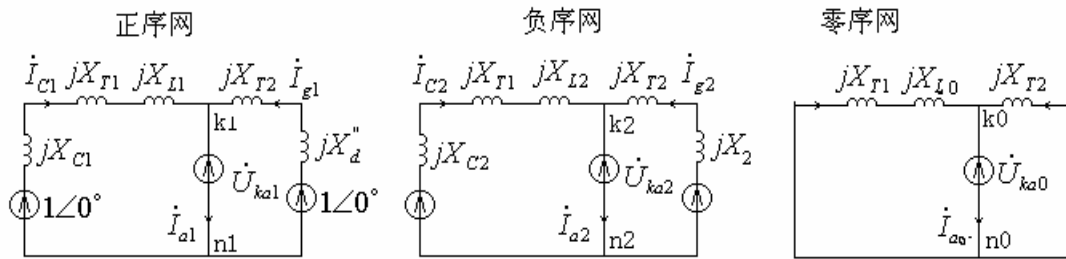
$$\begin{bmatrix} -\frac{1}{x_{23}} U_2 U_3 \cos(\delta_2 - \delta_3) & \frac{1}{x_{23}} U_2 U_3 \cos(\delta_2 - \delta_3) & -\frac{1}{x_{23}} U_2 \sin(\delta_2 - \delta_3) \\ -\frac{1}{x_{23}} U_3 U_2 \cos(\delta_3 - \delta_2) & \frac{1}{x_{23}} U_3 U_2 \cos(\delta_3 - \delta_2) + \frac{1}{x_{13}} U_3 U_1 \cos(\delta_3 - \delta_1) & \frac{1}{x_{23}} U_2 \sin(\delta_3 - \delta_2) + \frac{1}{x_{13}} U_1 \sin(\delta_3 - \delta_1) \\ -\frac{1}{x_{23}} U_3 U_2 \sin(\delta_3 - \delta_2) & \frac{1}{x_{23}} U_3 U_2 \sin(\delta_3 - \delta_2) + \frac{1}{x_{13}} U_3 U_1 \sin(\delta_3 - \delta_1) & 2\left(\frac{1}{x_{23}} + \frac{1}{x_{13}} - y_C\right) U_3 - \frac{1}{x_{23}} U_2 \cos(\delta_3 - \delta_2) - \frac{1}{x_{13}} U_1 \cos(\delta_3 - \delta_1) \end{bmatrix}$$

(5)、极坐标形式的 N-R 法迭代格式为：



### 3. 解

1) 各序网如下:



$$\begin{bmatrix} \dot{U}_{ka0} \\ \dot{U}_{ka1} \\ \dot{U}_{ka2} \end{bmatrix} = \frac{1}{3} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & \alpha & \alpha^2 \\ 1 & \alpha^2 & \alpha \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 \\ 1\angle-120^\circ \\ 1\angle120^\circ \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -1/3 \\ 2/3 \\ -1/3 \end{bmatrix}$$

由零序网可得:

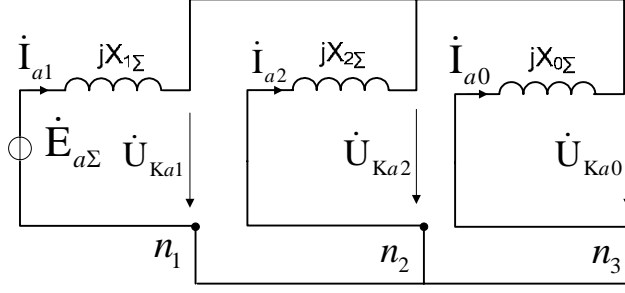
$$\dot{I}_{a0} = \frac{0 - \dot{U}_{ka0}}{j(X_{T1} + X_{L0}) // X_{T2}} = \frac{0 - (-\frac{1}{3})}{j(0.15 + 0.15) // 0.25} = -j2.444$$

$\because$  是  $F^{(1)}$  故障  $\therefore \dot{I}_{a0} = \dot{I}_{a1} = \dot{I}_{a2} = -j2.444$  且  $\dot{I}_a = 3\dot{I}_{a0} = -j7.332$

在正序网中  $\dot{I}_{a1} = \frac{1 - \dot{U}_{ka1}}{j(X_{c1} + X_{T1} + X_{L1}) // (X_{T2} + X_d)}$ , 可得  $X_{c1} = X_{c2} = -0.0125$

2) 当K点发生两相接地短路  $F^{(1, 1)}$ , 边界条件为:

$\dot{I}_{a0} + \dot{I}_{a1} + \dot{I}_{a2} = 0 = \dot{I}_a$ ,  $\dot{U}_{ka0} = \dot{U}_{ka1} = \dot{U}_{ka2}$ , 简化后的复合序网如下图所示:



两相短路接地故障简化复合序网

图中  $X_{0\Sigma} = (X_{T1} + X_{L0}) // X_{T2} = 0.1364$

$$X_{1\Sigma} = (X_{c1} + X_{T1} + X_{L1}) // (X_{T2} + X_d'') = 0.1364$$

$$X_{2\Sigma} = (X_{c2} + X_{T1} + X_{L2}) // (X_{T2} + X_2) = 0.1364$$

由复合序网： 
$$i_{a1} = \frac{\dot{E}_{a\Sigma}}{j \left( X_{1\Sigma} + \frac{X_{2\Sigma} X_{0\Sigma}}{X_{2\Sigma} + X_{0\Sigma}} \right)} = -j4.888$$

则

$$i_b = i_{a1} \left( a^2 - \frac{X_{2\Sigma} + aX_{0\Sigma}}{X_{2\Sigma} + X_{0\Sigma}} \right) = -j4.888 \left( -\frac{1}{2} - j\frac{\sqrt{3}}{2} - \frac{0.1364 + \left( -\frac{1}{2} + j\frac{\sqrt{3}}{2} \right) \times 0.1364}{0.2728} \right)$$

$$= -j4.888(-0.75 - j1.299) = -6.35 + j3.67$$

$$i_c = i_{a1} \left( a - \frac{X_{2\Sigma} + a^2 X_{0\Sigma}}{X_{2\Sigma} + X_{0\Sigma}} \right) = -j4.888 \left( -\frac{1}{2} + j\frac{\sqrt{3}}{2} - \frac{0.1364 + \left( -\frac{1}{2} - j\frac{\sqrt{3}}{2} \right) \times 0.1364}{0.2728} \right)$$

$$= -j4.888(-0.75 + j1.299) = 6.35 + j3.67$$

$$3) \dot{U}_{Ka1} = \dot{E}_{a\Sigma} - \dot{I}_{a1} \cdot jX_{1\Sigma} = 1 - (-j4.888 \times j0.1364) = 0.333 = \dot{U}_{Ka2}$$

由正序网可得  $\dot{I}_{c1} = \frac{1 - \dot{U}_{Ka1}}{j(X_{c1} + X_{T1} + X_{L1})} = -j3.557$ ，可得  $\dot{I}_{g1} = \dot{I}_{a1} - \dot{I}_{c1} = -j1.331$

由负序网可得  $\dot{I}_{a2} = -\frac{\dot{U}_{Ka2}}{jX_{2\Sigma}} = -\frac{0.333}{j0.1364} = j2.442$

$$\dot{I}_{c2} = \frac{(X_{T2} + X_2)\dot{I}_{a2}}{X_{c2} + X_{T1} + X_{L1} + X_{T2} + X_2} = j1.775$$
，可得  $\dot{I}_{g2} = \dot{I}_{a2} - \dot{I}_{c2} = j0.667$

T<sub>1</sub> Δ 侧由系统C提供的三相故障电流大小为：

$$|\dot{I}_{C1} - \dot{I}_{C2}| = |-j3.557 - j1.775| = 5.33$$

$$|\alpha^2 \dot{I}_{C1} - \alpha \dot{I}_{C2}| = |-3.08 + j1.78 - (-1.54 - j0.89)| = |-1.54 + j2.67| = 3.08$$

$$|\alpha \dot{I}_{C1} - \alpha^2 \dot{I}_{C2}| = |3.08 + j1.78 - (1.54 - j0.89)| = |1.54 + j2.67| = 3.08$$

T<sub>2</sub> Δ 侧由发电机提供的三相故障电流大小为：

$$|\dot{I}_{g1} - \dot{I}_{g2}| = |-j1.331 - j0.667| = 2.0$$

$$|\alpha^2 \dot{I}_{g1} - \alpha \dot{I}_{g2}| = |-1.15 + j0.67 - (-0.58 - j0.33)| = 1.15$$

$$|\alpha \dot{I}_{g1} - \alpha^2 \dot{I}_{g2}| = |1.15 + j0.67 - (0.58 - j0.33)| = 1.15$$

## 2007

### 判断题

220KV 用于省际输电？

### 填空题

写出中外历史上两次大停电（看到这个题狂汗.....）

电力系统的三个要求

电力系统静态稳定性的两个方面

一道发电机组出力的线性规划的题目

电力系统继电保护的二段整定原则

回忆四道论述题如下：

- 1 关于中枢点电压控制.....。（顺调压、逆调压、恒调压）
- 2 关于一次调频、二次调频、三次调频.....
- 3 为什么电力系统不对称故障可以用对称分量法分析和计算。
- 3 关于电力系统暂态稳定的过程的描述.....

### 计算题

- 1 看图写出网络的阻抗矩阵。（其中有理想变压器）
- 2 看图写出网络的导纳矩阵、潮流方程（极坐标）、jacobbi 矩阵、PQ 分解的 B'B"阵。
- 3 一道关于单相接地故障的题（和一道作业题类似，用故障点的 abc 三相电压，会先用求出序分量）。求系统阻抗、变压器中性线电流（这个我不懂）、两相短路接地故障的话的断路电流。

## 2009

### 一、 判断题（10 个、10 分）

1. 在电力系统中，容性负荷一般看做无功负载。（ ）
2. 正常运行时，同步电机定子侧通入负序电流，转子侧会感应出直流分量。（ ）
3. 正序电压加在三相不对称网络中，在网络中会产生零序和负序电流。（ ）
4. 派克变换是一种非线性变换。（ ）
5. P-Q 分解法的收敛精度与 N-R 法相比较差。（ ）
6. 在母线上加并联电抗器，母线电压会升高。（ ）

### 二、 选择题（20 分）

1. 已知发电机额定电压为 10.5KV，线路 1 额定电压为 110KV，线路 2 额定电压为 10KV，升压变压器连接发电机与线路 1，降压变压器连接线路 1 与线路 2，给出升压变和降压变的额定电压。
2. 通常从以下四个方面比较电力系统继电保护设计的好坏。
3. 单台发电机经双回线接入无穷大系统在同一点分别发生三相短路、单相接地短路、两相短路和两相短路接地故障，四种故障对应的临界切除角分别为：

$\delta_{cr}^{(3)}, \delta_{cr}^{(1,1)}, \delta_{cr}^{(2)}, \delta_{cr}^{(2,1)}$ ，则其大小为：

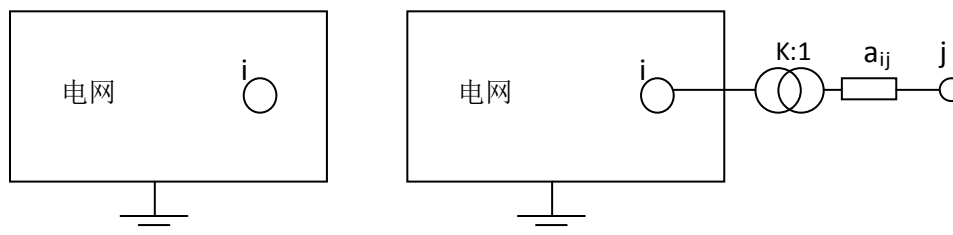
4. 双回输电线路原来的输电电压等级是 110KV，经过线路升级后，未换线，电压等级升高到 220KV，输电线路间距增大为原来的两倍，则线路电阻、电容、有功功率和充电容量怎样变化。
5. 假定变压器为 Y0/Δ 接法，如果在 Y0 侧的中性点和地之间串联电抗  $X_n$ ，则其零序阻抗会增加（ ）；如果在 Δ 侧绕组中串联电抗  $X_n$ ，其零序阻抗会增加（ ）。

6. 试比较下列四个电抗的大小： $X_d, X_d', X_d'', X$ 。

7. 环式网络潮流；
8. 派克变换对定子绕组自感、互感产生的影响，判断说法正误。
9. 并补和串补的分析和比较，判断说法正误。

### 三、 填空题（20 分）

1. 变化前的电力网络如图（a）所示，这是在节点阻抗阵中，i 节点的自阻抗元素为  $Z_{ii}$ 。若在 i 节点上接出变压器支路 ij，变化后的电力网络如图（b）所示，图中，K 为理想变比， $a_{ij}$  为支路阻抗，则在变化后的节点阻抗阵中，j 节点的自阻抗元素  $Z_{jj}$  为\_\_\_\_\_，互阻抗  $Z_{ij}$  为\_\_\_\_\_。



2. 我国首条投运的特高压交流输电线路的额定电压等级是\_\_\_\_\_，平均标称电压是\_\_\_\_\_。



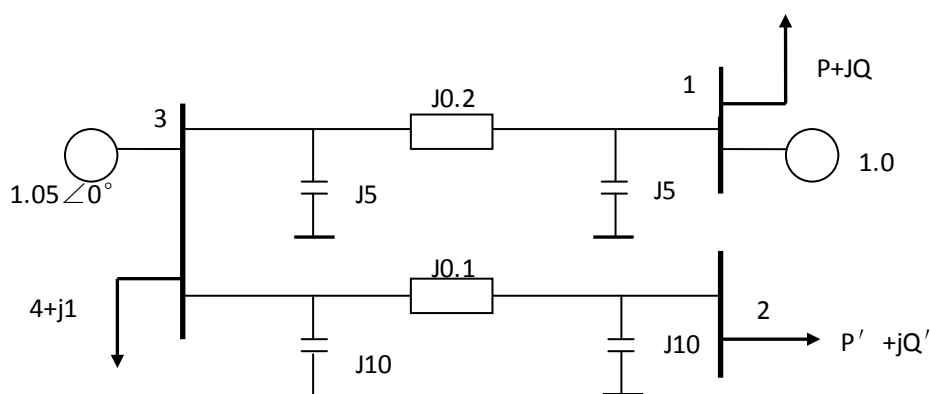
3. 电力系统运行特点的要求除了可靠、优质和经济之外，你认为还应该具备的基本要求有\_\_\_\_\_。
4. 中枢点电压控制方式有：\_\_\_\_\_、\_\_\_\_\_、\_\_\_\_\_。
5. 继电保护中二段保护的保护区是\_\_\_\_\_。
6. 电力系统稳定分析的两个要素是：\_\_\_\_\_、\_\_\_\_\_。
7. 空载同步发电机机端三相短路后定子电流分量历经\_\_\_\_\_、\_\_\_\_\_最后衰减到稳态，其中过程一的衰减时间常数主要由\_\_\_\_\_绕组的时间常数决定，过程二的衰减时间常数主要由\_\_\_\_\_绕组的时间常数决定。

#### 四、简答题（20 分）

1. 考虑电力系统的经济运行与控制，试简要证明传统 ED 的等微增率 IC 准则。
2. 考虑电力系统的频率控制，当系统负荷增加时，通过一次调频和二次调频，使得系统的频率上升，使用几何图解法进行说明。
3. 利用单机无穷大系统的功角特性解释等面积定则。
4. 解释为什么电力系统的三相不对称故障可以用对称分量法进行分析。

#### 五、计算题（30 分）

1. 潮流分析与计算（具体数值已被略去，15 分）：



如上图，3 节点电力网络，1 号节点上挂有同步调相机，3 号节点上挂有发电机，各节点和支路的已知数据（标幺值）以在图中对应标出，忽略线路的串联电阻和充电电纳。

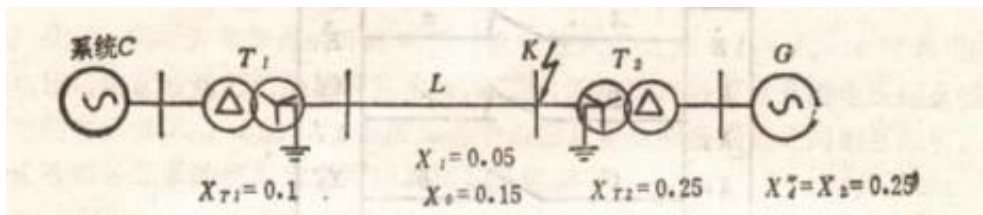
- (1) 写出节点导纳矩阵  $Y$ ；（1.5 分）
  - (2) 指出各节点的类型；（1.5 分）
  - (3) 在极坐标形式的 N-R 法中，试写出所有参与迭代的潮流方程；（3 分）
  - (4) 写出极坐标形式的 N-R 法的 Jacobian 阵各元素的表达式（用已知量带入，化简）；（3 分）
  - (5) 利用 P-Q 分解法，写出参与迭代的  $B'$  和  $B''$  矩阵表达式（用已知量带入，化简），并简要说明 P-Q 法的迭代格式；（3 分）
  - (6) 计算从节点 3 流向节点 1 的有功功率  $P$ ；（3 分）
2. 如图所示发电机 G，变压器 T1、T2 以及线路 L 的电抗参数都以统一基值的标幺值给出。系统 C 的电抗值是未知的，但已知其正序电抗等于负序电抗。在 K 点发生 a 相直接接地短路故障，测得 K 点短路后三相电压分别为

$$\dot{U}_a = 0, \dot{U}_b = 1 \angle -120^\circ, \dot{U}_c = 1 \angle 0^\circ。试求：$$

- (1) 系统 C 的正序电抗；（4 分）

(2) 变压器中线上的电流  $\dot{I}_{n1}$  ; (6 分)

(3) K 点发生 bc 两相接地短路时发电机和系统 C 分别提供的故障电流; (5 分)



(说明: 此图为书中例图, 实际考试时除  $X_{T1}$  改为 0.08 外, 其余参数均未修改)

整理 BY: AIKE.(2009 年 6 月 19 日)

## 2009 Spring

### 一、判断

不少在 2005 年卷出现过，其他均较基本，一题有争议：

- 某电力系统的两个母线，短路容量大者单相接地短路电流也大。（窃以为错，零序、负序电抗待斟酌）

### 二、选择

不少在 2005 年卷出现过，其他均较基本，两题略有猫腻：

- 给出了含横 / 纵向调压器的某电力系统单线图，问要减少某支路无功、增加其有功，变压器应工作在什么状态（不需要运用横 / 纵向调压器知识，只需按无功从电压高节点流向电压低节点、有功从相角超前节点流向相角滞后节点处理）
- 输电线经技术改造从 110kV 升压至 220kV 运行，导线不变，功率不变，导线间距变为原来 2 倍，问：线路电抗（变大），电容（变小），功率损耗（变小），充电无功功率（变大）

### 三、填空

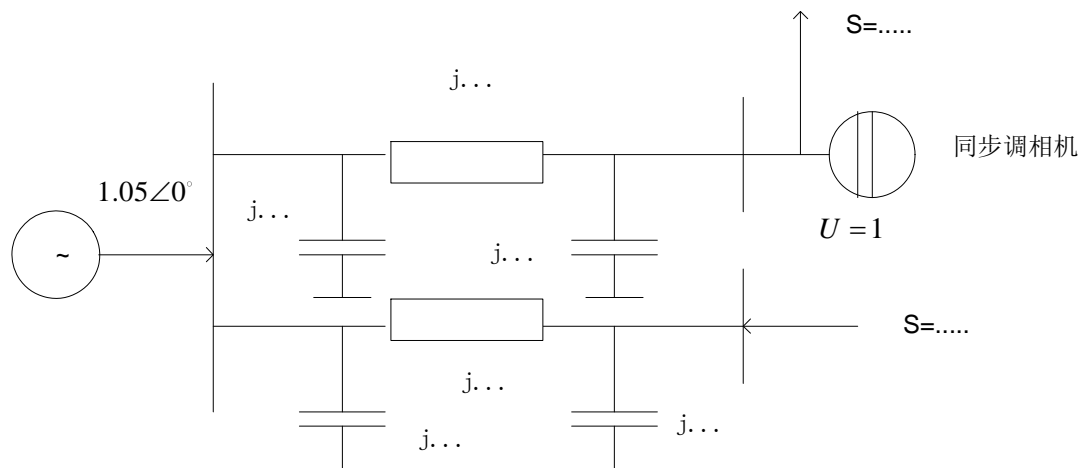
1. 我国首条投入商业运营的特高压线路电压等级（1 0 0 0 k V），平均标称电压（1 0 5 0 k V）
2. 电力系统运行要求除可靠、电能质量高、运行经济外，你认为最重要的要求是（见仁见智：智能化，电磁兼容、环境友好……）
3. 同步发电机机端三相短路，励磁绕组励磁电流或磁链不变时，分别对应什么电势不变，答中文全名（空载电势，暂态电势）
4.  $T_d''$ 、 $T_d'$  的物理意义？（定子绕组、励磁绕组、阻尼绕组短路时励磁绕组的时间常数；忽略阻尼绕组，定子绕组、励磁绕组短路时励磁绕组的时间常数）

### 四、简述

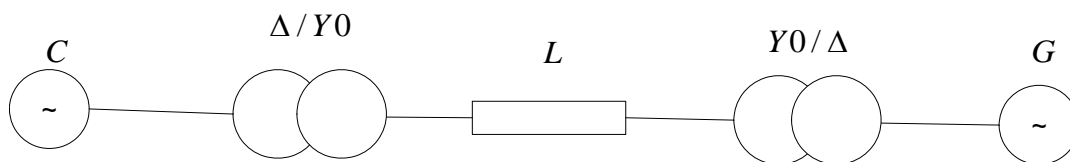
1. 利用单机无穷大系统功角曲线解释等面积定则。
2. 对称电力系统发生不对称故障时为什么可以用对称分量法分析？
3. 负荷增加，系统经过一、二次调频后，频率增加，图解说明之。
4. 简单证明等微增率准则。

### 五、计算

1. 已知某三节点电力系统



- (1) Y阵
  - (2) 节点类型
  - (3) 功率方程 (带入数据, 求出最终表达式)
  - (4) N-R方法中的J a c c o b i 矩阵
  - (5) P-Q分解法中的  $B'$ 、 $B''$  矩阵, 写出P-Q分解法迭代格式
  - (6) 求发电机有功出力  
(千万不要迭代……, 输电线只有感抗、容抗, 因此无损, 根据有功平衡, 加减法求之)
2. 发生故障, K处  $\dot{U}_a = 0$ ,  $\dot{U}_b = 1\angle 120^\circ$ ,  $\dot{U}_c = 1\angle -120^\circ$ , 系统C的  $X_{c1} = X_{c2}$ ,



已知变压器、线路、发电机G的参数, 求

- (1) 求  $X_{c1} = X_{c2}$
- (2) 求变压器 T1、T2 中性点对地电流
- (3) BC两相短路故障时, 求故障点电流

于文轩、梁大鹏、陈栩铭、郭文涛回忆

郭文涛整理

于文轩、梁大鹏、陈栩铭校对

STUDIO@204B

## 2010

判断题：

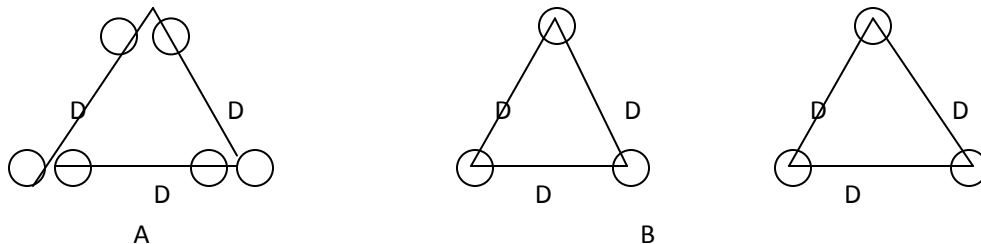
- 1、三相交流电路传送的复功率是交变的
- 2、等容量下并联电容补偿降损效果比并联补偿要强
- 3、系统中接地线串入一个阻抗，正序参数不变，负序和零序都变化
- 4、定子绕组自感和他们之间的互感都是随着定转子相对角度变化而变化的
- 5、发电机正序参量和零序参量不随定子旋转而变化，但是负序参量变化
- 6、电力系统能够运行在某个状态，这个点是静态稳定点

填空题：

- 1、一段电流保护整定原则
- 2、无功平衡包括哪两个层次
- 3、同 06 年试卷里 IC 题目
- 4、空载电势不变说明励磁绕组（ ）不变，暂态电势不变说明励磁绕组（ ）不变
- 5、超暂态过程时间常数由（ ）决定，暂态过程时间常数由（ ）决定
- 6、 $T_j$  的物理意义

选择题：

1. 同样的导线组成下面两种线路，左边为两分裂，右边为双回线路， $L \gg d$



问  $r_A$ ,  $r_B$  大小关系,  $x_A$ ,  $x_B$  大小关系,  $b_A$ ,  $b_B$  大小关系。

2. 频率控制中，二次调频后，频率大于原来系统运行的频率，问发电机输出功率增量  $> < = 0$ ？  
二次调频发电机功率增量  $> < = 0$ ？一次调频功率增量  $> < = 0$ ？负荷自身调节导致功率增量  $> < = 0$ ？

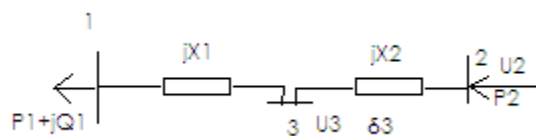
3. 发电机额定电压 10.5kV，线路 1 额定 220kV，线路 2 额定 10kV，变压器 1 连接发电机和线路 1，变压器 2 连接线路 1 和线路 2，两个变压器的额定电压？

简答题：

1. 中枢纽点电压控制有哪几种方式，各适用于什么范围
2. 为什么可以用对称分量法分析不对称系统短路故障
3. 电力系统为什么需要有功储备
4. 短路容量的概念和意义

计算题：

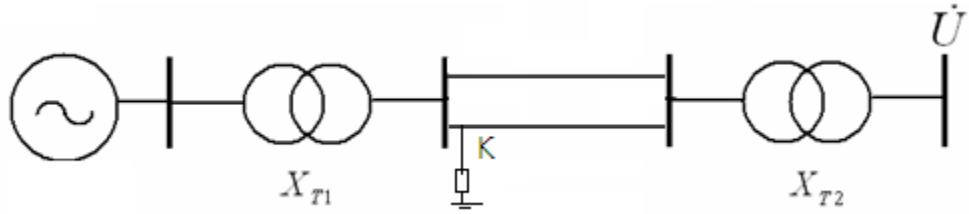
- 1、如下图



- 1) 写出导纳阵
- 2)  $N-R$  极坐标形式下潮流方程

- 3) N-R 极坐标形式下 J 行列式
- 4) PQ 分解法  $B'$  和  $B''$
- 5) 从 3 处输入的有功功率是多少?

2. 图中所示系统



$X_d=0.62, X_d'=0.3, X_q=0.58$

$E'=1.55 \angle 26^\circ$ . (度数的具体小数忘了)

$X_{T1}=0.1, X_{L1}=1.35, X_{L2}=4X_{L1}, X_{T2}=0.1$

$U=1 \angle 0^\circ$

- 1) 画出发电机的相量图
- 2) 故障发生前,  $E_q'$  不变, 功角特性方程
- 3) K 处发生两相短路接地故障,  $E'$  不变时的临界切除角