安徽电气工程职业技术学院

2020 至 2021 学年第 1 学期

《电力网技术》课程

教

案

总学时 / 周学时：80 / 6

开课时间：2020 年 9 月 15 日

授课年级、专业、班级：2019 级供电 1 班/秋季 2 班

使用教材：《电力网技术》合肥工业大学出版社

授课教师：冯 春 祥

系 部：电 力 工 程 系

<table>
<tr><td>课程名称</td><td colspan="3">电力网技术</td><td>总计：80学时</td></tr>
<tr><td>课程类别</td><td>职业技术课</td><td>考核性质</td><td>考试</td><td rowspan="2">讲课：80学时
实训：0学时
复习：2学时
考试：0学时</td></tr>
<tr><td>任课教师</td><td>冯春祥</td><td>职称</td><td>讲师</td></tr>
<tr><td>授课对象</td><td colspan="4">专业班级：19级供电1班/供电秋季2班</td></tr>
<tr><td>教材和主要参考资料</td><td colspan="4">教材：《电力网技术》曹小玲编　合肥工业大学出版社
参考教材：1.《供用电系统》王晓文主编　中国电力出版社
2.《工厂供电》刘介才主编　机械工业出版社</td></tr>
<tr><td>教学目的和要求</td><td colspan="4">1、建立起电力系统的基本概念，了解供配电网络的接线方式；
2、掌握供配电网络参数、潮流计算、电压降落、功率损耗的计算的方法；
3、掌握电力系统无功平衡和电压调整的方法；
4、了解工业企业供配电系统的组成及负荷统计的方法；
5、掌握供配电系统短路电流计算方法。
6、了解电力系统稳定相关观念</td></tr>
<tr><td>教学重点及难点</td><td colspan="4">重点：
1.电力系统组成、电力系统运行的基本要求；电力系统的额定电压等级及适用范围；供配电系统的接地。
2.配电网的接线方式、架空输电线路的参数和等值电路、变压器的参数和等值电路。
3.配电网络元件的电压降落和功率损耗、开式网络的电压和功率分布计算。
4.供配电系统的无功功率平衡；供配电系统的电压调整；无功功率补偿。
5.负荷曲线；计算负荷；按需用系数法确定计算负荷；计算负荷的确定；工业企业功率因数的提高。
6.三相短路过程的简化分析；无限大容量系统三相短路电流计算；三相短路电流实用计算；短路电流效应。
难点：
1.电力系统额定电压的确定。
2高压、中压配电网接线，供配电网络的等值电路。
3.电力网的功率损耗和电能损耗。
4.改变变压器变比调压；利用无功功率补偿调压。
5.按需用系数法确定计算负荷。
6、标幺值；短路电流热效应。</td></tr>
</table>

课次	1	班级	19 级供电 1 班/供电秋季 2 班	时间	2020.9.15
授课方式	理论课√□　讨论课□　习题课□　实验课□　实训课□　其他□				

授课题目：　项目一　供配电网络基本知识

任务一、电力系统的组成及特点　　任务二、确定系统元件的额定电压

教学目的、要求：

1．建立电力系统和电力网的概念，了解电力系统的特点和要求；

2．掌握额定电压的意义，学会确定系统元件的额定电压。

教学重点：电力系统组成、电力系统运行的基本要求；电力系统的额定电压等级及适用范围；

教学难点：电力系统额定电压的确定

教　学　过　程	时间
课程简介　（简要介绍本课程性质和任务、课程的要求、课程的内容及教学安排）	10min
引入新课	
项目一　供配电网络基本知识	
任务一、电力系统的组成及特点	
一、电力系统的形成和发展	5min
简介电力工业的发展史	
二、电力系统的组成	10min
电力系统、电力网、及动力系统的概念	
三、电力系统的基本参量	5min
1、总装机容量 2、年发电量 3、最大负荷　　4、最高电压等级	
四、我国的电力系统的发展	5min
1、能源状况　2、中国电力发展史	
五、联合电力系统的特点	5min
六、对电力系统的基本要求	10min
1、电力系统的特点　　2、对电力系统的基本要求	
任务二、确定系统元件的额定电压	
一、额定电压	10min
1、额定电压概念　　2、电力系统的额定电压等级	
二、线路、发电机、变压器、用电设备额定电压的确定	15min
1、、线路的额定电压=电力网额定电	
2、用电设备的额定电压=线路额定电压	
3、发电机的额定电压=105%线路额定电压	

4、变压器的额定电压： 一次侧：$U_N = 1.05U_{lN}$（升压变）　　$U_N = U_{lN}$（降压变） 二次侧：$U_N = 1.1U_{lN}$ 例题讲解 小结	10min 5min
作业、讨论题、思考题：1，4，6，7	
课后小结：	

++

课次	2	班级	19级供电1班/供电秋季2班	时间	2020.9.17
授课方式	理论课√□　讨论课□　习题课□　实验课□　实训课□　其他□				

授课题目：　项目一　供配电网络基本知识

任务三　电力线路的的结构　任务四　供配电系统的接地

教学目的、要求：

1. 了解电力线路分类，熟悉架空线路和电缆线路的结构；
2. 了解配电系统的接地的种类。

教学重点：架空线路的结构 配电系统的接地形式

教学难点：架空线路各组成元件的作用及电缆线路的结构

教　学　过　程	时间
复习引入新课:电力系统➞电力线路	5min
任务三　电力线路的的结构	
一、架空线路	40min
简述架空线路的结构组成	
1、导线和避雷线	
(1)导线---简述作用、材料及基本要求	
1）分类　2）导线规格与型号	
（2）避雷线——简述作用、材料及基本要求	
2、杆塔	
（1）杆塔作用　（2）杆塔分类——简介各类杆塔的用途	
3、绝缘子　（1）作用　（2）分类—简介各类绝缘子	
4、金具　简介金具作用及种类	
二、电缆线路	10min
1、电缆的结构　（1）导体　（2）绝缘层　（3）保护层	
2、电缆附件	
任务四　供配电系统的接地	
一、工作接地——电力系统中性点接地方式	20min
1.中性点直接接地系统　2.中性点不接地系统　3.中性点经消弧线圈接地系统	
二、保护接地	
1.保护接地的作用　2.对接地装置接地电阻的要求	10min
3.接触电压和跨步电压　4.保护接零	
本章小结	5min

作业、讨论题、思考题：　电力系统中性点有哪几种运行方式？各自特点及适用范围？

课后小结：

<table>
<tr><td>课次</td><td>3</td><td>班级</td><td>19级供电1班/供电秋季2班</td><td>时间</td><td>2020.9.22</td></tr>
<tr><td>授课方式</td><td colspan="5">理论课√□　讨论课□　习题课□　实验课□　实训课□　其他□</td></tr>
<tr><td colspan="6">授课题目：　项目二　供配电系统接线
任务一、　供配电网接线方式</td></tr>
<tr><td colspan="6">教学目的、要求：
了解电气接线方式，熟悉高压、中压及低压配电网接线方式；</td></tr>
<tr><td colspan="6">教学重点：高压、中压及低压配电网接线方式；
教学难点：高压、中压及低压配电网接线方式</td></tr>
<tr><td colspan="5">教　学　过　程</td><td>时间</td></tr>
<tr><td colspan="5">复习引入新课:
项目二　供配电系统接线
任务一、　供配电网接线方式
概述:电网的接线概念、分类及组成
一、电气接线的方式:
1.无备用式接线：1）定义，2）特点　2.有备用式接线：1）定义，2）特点
二、配电网接线方式
1.概述：1）定义　2）中、低压配电网
2.配电网接线方式:
1）高压配电网的接线方式：　构成、特点及接线举例
2）中压配电网的接线方式：构成、主要接线方式讲解
3）低压配电网的接线方式：构成特点、主要接线方式讲解
本章小结</td><td>5min

5min
10min

65min

5min</td></tr>
<tr><td colspan="6">作业、讨论题、思考题：电气接线有哪几种形式？</td></tr>
<tr><td colspan="6">课后小结：</td></tr>
</table>

++

<table>
<tr><td>课次</td><td>4</td><td>班级</td><td>19 级供电 1 班/供电秋季 2 班</td><td>时间</td><td>2020.9.24</td></tr>
<tr><td>授课方式</td><td colspan="5">理论课√□　讨论课□　习题课□　实验课□　实训课□　其他□</td></tr>
<tr><td colspan="6">授课题目：　项目二　供配电系统接线
任务二、工厂供配电系统一次接线</td></tr>
<tr><td colspan="6">教学目的、要求：
掌握工厂供配电系统组成，熟悉工厂变电所常用的主接线。</td></tr>
<tr><td colspan="6">教学重点：工厂供配电系统的一次接线
教学难点：工厂供配电系统的一次接线</td></tr>
<tr><td colspan="5">教　学　过　程</td><td>时间</td></tr>
<tr><td colspan="5">复习引入新课:复习主接线的基本要求

任务二、工厂供配电系统一次接线
一、工厂配电系统的组成
1. 工厂配电系统示意图　　2.组成
二、工厂变配电所常用的主接线
1.工厂总降压变电所的主接线
1)总降压变电所主接线的特点
2）总降压变电所高压侧接线方式
（1）桥式接线 分析　（2）高压侧无母线的主接线
2.总配电所的主接线
1）配电所的作用　2）单母线接线　3）单母线分段接线
3. 车间变电所的主接线
1）高压侧无母线接线　　2）高压侧单母线的主接线
3）双电源车间的变电所低压母线分段方式
本章小结</td><td>5min

15min

65min

5min</td></tr>
<tr><td colspan="6">作业、讨论题、思考题：　工厂配电系统有哪几部分组成？</td></tr>
<tr><td colspan="6">课后小结：</td></tr>
</table>

课次	5	班级	19级供电1班/供电秋季2班	时间	2020.9.29
授课方式	理论课√□　讨论课□　习题课□　实验课□　实训课□　其他□				

授课题目：　项目三　**供配电网络的等值电路**

任务一、 电力线路的等值电路和参数

教学目的、要求：

1. 熟悉电力线路等值电路中各参数的物理意义
2. 能绘制电力线路的等值电路

教学重点：电力线路的等值电路

教学难点：电力线路等值电路中各参数的物理意义

教　学　过　程	时间
复习引入新课:	5min
项目三　**供配电网络的等值电路** 任务一、 电力线路的等值电路和参数一、 一、架空线路的参数 1、电阻　1）物理意义　　2）每相导线单位长度电阻 $r_1=\rho/s$ 3）工程计算值偏大的原因　4）温度对电阻的影响 $r_t=r_{20}[1+\alpha(t-20)]$ 2、电导 1）物理意义　2）每相导线单位长度电导 $g_1=\frac{\Delta P_y}{U^2}\times10^{-3}$ S/km 3) 电晕临界电压及影响因素 3、电抗 1）物理意义 2）每相导线单位长度电抗 $x_1=0.1445\lg\frac{D_{eq}}{r_{eq}}+\frac{0.0157}{n}$ Ω/km 3）几何均距 $D'=\sqrt[3]{D_{ab}D_{bc}D_{ca}}$ 4、电纳　1）物理意义　2）每相导线单位长度电纳 $b_1=\frac{7.58}{\lg\frac{D'}{r}}\times10^{-6}$ S/km	55min
二、输电线路的等值电路 当线路长度为 l 时，线路参数为 $R=r_1l\ X=x_1l\ G=g_1l\ B=b_1l$	25min
1.短距离输电线路（一字形）　2.中距离输电线路（π型或T型） 小结	5min

作业、讨论题、思考题： 2-6，2-14，

课后小结：

++5

课次	6	班级	19级供电1班/供电秋季2班	时间	2020.9.16
授课方式	理论课√□　讨论课□　习题课□　实验课□　实训课□　其他□				

授课题目：　项目三　供配电网络的等值电路

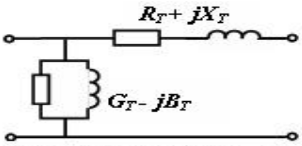
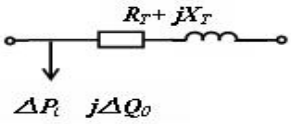
任务二　变压器的等值电路和参数

教学目的、要求：

1. 熟悉配电系统计算的变压器等值电路；
2. 掌握变压器等值电路中各参数的计算方法。

教学重点：变压器的等值电路及参数计算

教学难点：三绕组变压器的参数计算

教　学　过　程	时间
复习引入新课：配电网线路等值电路	5min
项目三　供配电网络的等值电路 任务二　变压器的等值电路和参数	30min
一、双绕组变压器 1.等值电路(简介T形等值电路和Γ形等值电路)  变压器Γ型等值电路  变压器T型等值电路 2.变压器参数： (1) 电阻：$R_T=\Delta P_k\frac{U_N^2}{S_N^2}\times 10^3\ \Omega$　(2) 电抗：$X_T=U_K\%\frac{U_N^2}{S_N}\times 10\ \Omega$ (3) 电导：$G_T=\frac{\Delta P_0}{U_N^2}\times 10^{-3}$ (S)　(4) 电纳：$B_T=\frac{I\%S_N}{U_N^2}\times 10^{-5}$ (S)	
二、三绕组变压器 1.三绕组变压器的等值电路(Γ—星形等值电路，励磁回路用导纳或功率表示) 2.参数计算 (1) 电阻(注意短路损耗的折算) (2) 电抗(注意短路电压的折算)(3) 电导和电纳(与双绕组变压器方法一致)	45min
例题分析讲解	5min
三、自耦变压器 自耦变压器的等值电路和参数计算与普通三绕组变压器相同。 小结	5min

作业、讨论题、思考题：　2-，2-，2 -

课后小结：

+6

课次	7	班级	19级供电1班/供电秋季2班	时间	2020.9.18
授课方式	理论课√□　讨论课□　习题课□　实验课□　实训课□　其他□				

授课题目：　项目三　供配电网络的等值电路

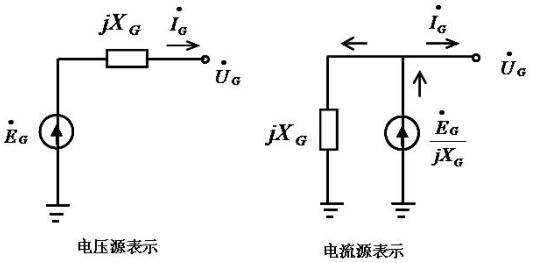
任务三、发电机及负荷的等值电路

教学目的、要求：

1. 掌握负荷的复功率表达式　2. 能计算发电机的电势、电抗等值参数；3. 能画出发电机及负荷的等值电路；

教学重点：发电机的参数及等值电路 ；

教学难点：发电机的参数及等值电路 。

教　学　过　程	时间
复习引入新课：复习变压器的等值电路	5min
项目三　供配电网络的等值电路 任务三、发电机及负荷的等值电路 一、发电机的参数及等值电路 1、发电机参数 $X_G\% = \frac{\sqrt{3}I_N X_G}{U_N}\times 100$　　$X_G = \frac{X_G\%}{100}\frac{U_N}{\sqrt{3}I_N} = \frac{X_G\%}{100}\frac{U_N^2}{S_N} = \frac{X_G\%}{100}\frac{U_N^2\cos\varphi_N}{P_N}(\Omega)$ 2、发电机等值电路 发电机的等值电路的表达形式  发电机电势：　$\dot{E}_G = \dot{U}_G + jX_G\dot{I}_G$	40min
二、电力负荷的参数及等值电路 1、用恒定的复功率形式表示 $\tilde{S}_L = \dot{U}_L I_L^* = S_L(\cos\varphi_L + j\sin\varphi_L) = P_L + jQ_L$ $\tilde{S}_L = U_L^*\dot{I}_L = S_L(\cos\varphi_L - j\sin\varphi_L) = P_L - jQ_L$ 2、用恒定的阻抗或导纳的形式表示 $Z_L = \frac{\dot{U}_L}{\dot{I}_L} = \frac{U_L^2}{\overset{*}{S}_L} = R_L + jX_L$　　$Y_L = \frac{\dot{I}_L}{\dot{U}_L} = \frac{\overset{*}{S}_L}{U_L^2} = G_L - jB_L$	40min
小结	5min

作业、讨论题、思考题：　2-，2-，2 -

课后小结：

课次	8	班级	19级供电1班/供电秋季2班	时间	2020.9.20
授课方式	理论课√□　讨论课□　习题课□　实验课□　实训课□　其他□				

授课题目：　项目三　供配电网络的等值电路

任务四、电力系统等值电路

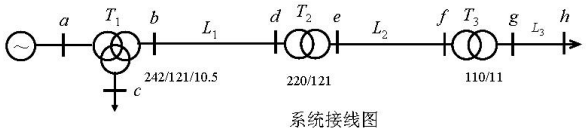
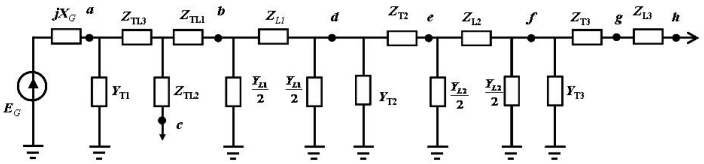
教学目的、要求：

1．了解标幺值的概念，学会使用标幺值计算的方法

2．能画出电力系统的等值电路。

教学重点：标幺值计算；

教学难点：电力系统等值电路及参数计算。

教　学　过　程	时间
复习引入新课：复习电力线路和变压器的等值电路	5min
任务四、电力系统等值电路	
一、标幺值	30min
1、标幺值的概念	
标幺值的定义式：$\text{标幺值}=\dfrac{\text{实际有名值(任意单位)}}{\text{基准值(与实际有名直通单位)}}$	
2、基准值的选择	
3、标幺值的换算	
原则：换算前后的物理量的有名值保持不变。	
步骤：（1）将额定标幺值还原为有名值	
（2）计算统一基准值下的标幺值	
4、标幺值的特点	
结论：三相对称系统中，不管是Y接线还是Δ接线，任何一点的线电压（或线电流）的标幺值与该点的相电压（或相电流）的标幺值相等，且三相总功率的标幺值与每相的功率标幺值相等。故：采用标幺制时，对称三相电路完全可以用单相电路计算。	
二、电力系统的等值电路	
1、电力系统等值电路及电压归算概念	15min
 系统接线图	
 等值电路	
计算步骤（归算方法）	
（1）折算将各设备的电气参数归算到规定的电压等级。	
$k=\dfrac{U_1\text{（基准侧）}}{U_2\text{（待归算侧）}}$	

（2）归算到基准级的参数与归算前参数的关系如下： $R' = R(k_1k_2k_3\cdots\cdots)^2$　　$B' = B(\frac{1}{k_1k_2k_3\cdots\cdots})^2$ $X' = X(k_1k_2k_3\cdots\cdots)^2$ $G' = G(\frac{1}{k_1k_2k_3\cdots\cdots})^2$　　$U' = U(k_1k_2k_3\cdots\cdots)^2$ $I' = I(\frac{1}{k_1k_2k_3\cdots\cdots})^2$ **2、用有名值表示的等值电路** 【例 2-7】 讲解 **3、用标幺值表示的等值电路** 【例 2-8】 讲解 **4、近似计算时电力系统等值电路的简化** 小结	15min 15min 5min 5min
作业、讨论题、思考题： 2-，2-，2 -	
课后小结：	

++8

课次	9	班级	19级供电1班/供电秋季2班	时间	2020.9.23
授课方式	理论课√□　讨论课□　习题课□　实验课□　实训课□　其他□				

授课题目：　项目三　供配电网络的等值电路　**习题课**

教学目的、要求：

1．掌握电力系路、变压器及发电机等设备的等值参数计算

2．掌握电力系统的等值电路及参数计算。

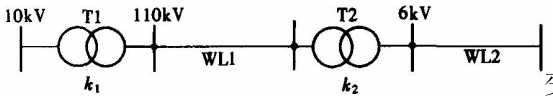
教学重点：电力系统等值电路及参数计算；

教学难点：电力系统等值电路及参数计算。

教　学　过　程	时间
复习引入新课：复习电力系统中元件的等值电路及参数	5min
项目三　供配电网络的等值电路　**习题课**	
1、有一条220kV架空输电线路，长为160km，每相采用双分裂导线架设，分裂导线为LGJ-185，分裂导线的分裂间距d=400mm，分裂导线的计算外径为19mm。三相导线以不等边三角形排列，Dab=8m，Dbc=7m，Dca=6m，求该线路的参数并画出等值电路图。 1）分析　2）解题过程讲解　3）小结 按照电晕条件所规定的导线最小外径	30min

额定电压(kV)	60以下	110	154	220	330		500
导线外径(mm)	不限制	9.6	13.7	21.3	33.2	2×21.3	4×23.7
相应导线型号		LGJ-50	LGJ-95	LGJ-240	LGJ-600	2×LGJ-240	4×LGJ-300

2、电力网接线如图所示。图中各元件技术参数见表2、3。试采用额定变比，作出归算到110kV侧和6kV侧的网络等值电路　50min



变压器技术数据

符号	名称	容量kvA	电压kv	U_k%	△P_k kw	I_0%	△P_0 kw
T_1	变压器	31500	10.5/121	10.5	190	3	32
T_2	变压器	20000	110/6.6	10.5	135	2.8	22

线路技术数据

符号	名称	型号	长度km	电压kv	电阻Ω/km	电抗Ω/km	电纳s/km
WL_1	架空线路	LGJ-185	50	10.5	0.17	0.38	3.15×10^{-5}
WL_2	架空线路	LGJ-300	5	10.5	0.105	0.383	

1）分析　2）解题过程讲解　3）小结　5min

小结

作业、讨论题、思考题：　2-，2-，2 -

课后小结：

课次	10	班级	19级供电1班/供电秋季2班	时间	2020.10.25
授课方式	理论课√□　讨论课□　习题课□　实验课□　实训课□　其他□				

授课题目：　**项目四　简单电力系统的潮流计算**

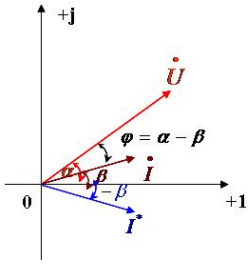
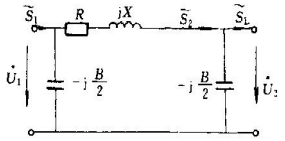
任务一、电力网的功率损耗及电压降落计算（一）

教学目的、要求：

1. 学会电力负荷的表示方法
2. 掌握电力线路、变压器功率损耗的计算方法；

教学重点：电力线路、变压器功率损耗的计算方法；

教学难点：电力线路、变压器功率损耗的计算方法。

教　学　过　程	时间
复习电力网电压计算引入新课：	5min
新课：　**项目四　简单电力系统的潮流计算** **任务一、电力网的功率损耗及电压降落计算（一）** 一、电力网负荷的表示方法 在进行电力网的潮流计算时，电力负荷通常用恒定的复功率的形式来表达  复功率定义式：$\tilde{S}=\dot{U}I^*$ **若负荷为感性时：** $\tilde{S}_P=U_PI_Pe^{j\varphi}=P_P+jQ_P$ **若负荷为容性时：** $\tilde{S}_P=U_PI_Pe^{j\varphi}=P_P-jQ_P$ **三相复功率为：** $\tilde{S}_L=3\tilde{S}_P=P_L+jQ_L$	20min
二、电力网的功率损耗 电力网的功率损耗和电能损耗主要产生在输电线路和变压器上。 变动损耗——与传输功率有关，固定损耗——仅与电压有关。 （一）线路功率损耗 1. 线路末端导纳中的功率损耗 $\Delta Q_{y2}=-\frac{B}{2}U_2^2$ 2. 阻抗上的功率损耗 $\Delta P_L=3I^2R$ (MW)，$\Delta Q_L=3I^2X$ (MVar)；  (b) 图 2-36　线路的π形等值电路 (a) 简单线路；(b) π形等值电路 1）已知流出阻抗的功率 $\tilde{S}_2$，则 $\Delta P_L=3\cdot(\frac{S_2}{\sqrt{3}U_2})^2\cdot R=\frac{P_2^2+Q_2^2}{U_2^2}\cdot R$ (MW)； $\Delta Q_L=3\cdot(\frac{S_2}{\sqrt{3}U_2})^2\cdot X=\frac{P_2^2+Q_2^2}{U_2^2}\cdot X$ (MVar)， 2) 已知流入阻抗的功率 $\tilde{S}_1$，则 $\Delta P_L=\frac{P_1^2+Q_1^2}{U_1^2}\cdot R$ (MW)；$\Delta Q_L=\frac{P_1^2+Q_1^2}{U_1^2}\cdot X$ (MVar)， 3. 线路首端导纳上的功率损耗 $\Delta Q_{y1}=-\frac{B}{2}U_1^2$ (MVar) 式中电压的单位为 KV，电纳的单位为 S。	30min

（二）变压器的功率损耗 30min

1．双绕组变压器

$$\Delta P_{TG}=U_1^2\cdot G_T \quad ; \quad \Delta Q_{TB}=U_1^2\cdot B_T$$

$$\Delta P_{TR}=\frac{P_2^2+Q_2^2}{U_2^2}\cdot R_T \qquad \Delta P_{TR}=\frac{P_1^2+Q_1^2}{U_1^2}\cdot R_T$$

$$\Delta Q_{TX}=\frac{P_2^2+Q_2^2}{U_2^2}\cdot X_T \quad 或 \quad \Delta Q_{TX}=\frac{P_1^2+Q_1^2}{U_1^2}\cdot X_T$$

2．三绕组变压器

$$\Delta\widetilde{S}_{T1}=\frac{P_1^2+Q_1^2}{U_1^2}\cdot R_{T1}+j\frac{P_1^2+Q_1^2}{U_1^2}\cdot X_{T1}$$

$$\Delta\widetilde{S}_{T2}=\frac{P_2^2+Q_2^2}{U_1^2}\cdot R_{T2}+j\frac{P_2^2+Q_2^2}{U_1^2}\cdot X_{T2}$$

$$\Delta\widetilde{S}_{T3}=\frac{P_3^2+Q_3^2}{U_1^2}\cdot R_{T3}+j\frac{P_3^2+Q_3^2}{U_1^2}\cdot X_{T3}$$

3．可根据变压器短路和空载试验数据计算功率损耗

$$\Delta P_{TR}=\Delta P_K\cdot(\frac{S}{S_N})^2 \quad ; \quad \Delta Q_{TR}=\frac{U_K\%}{100}\cdot S_N\cdot(\frac{S}{S_N})^2$$

$$\Delta P_{TG}=\Delta P_0 \quad ; \quad \Delta Q_{TB}=\frac{I_0\%}{100}S_N$$

有 n 台参数相同的变压器并列运行时：

$$\Delta P_{TR}=n\Delta P_K\cdot(\frac{S}{nS_N})^2 \quad ; \quad \Delta Q_{TR}=n\cdot\frac{U_K\%}{100}\cdot S_N\cdot(\frac{S}{nS_N})^2$$

$$\Delta P_{TG}=n\Delta P_0 \quad ; \quad \Delta Q_{TB}=n\cdot\frac{I_0\%}{100}S_N$$

小结 5min

作业、讨论题、思考题： 3-，3-，3 -

课后小结：

课次	11	班级	19级供电1班/供电秋季2班	时间	2020.9.28
授课方式	理论课√□　讨论课□　习题课□　实验课□　实训课□　其他□				

授课题目：　**项目四　简单电力系统的潮流计算**

任务一、电力网的功率损耗及电压降落计算（二）

教学目的、要求：

1．掌握电力网电压降落、电压损耗及电压偏移的概念；

2．掌握配电网络各元件的电压的计算方法。

教学重点：配电网络各元件的电压的计算；

教学难点：配电网络各元件的电压的计算。

教　学　过　程	时间
复习负荷的表示方式引入新课：	5min
新课：　**项目四　简单电力系统的潮流计算** **任务一、电力网的功率损耗及电压降落计算（二）** 三、电力网的电压降落 **1、电力网的电压概念** （1）电压降落——矢量。功率传输过程中，在元件首末端产生的电压相量差。 已知线路末端功率时：$\Delta U_2=\frac{P_2R+Q_2X}{U_2}$；$\delta U_2=\frac{P_2X-Q_2R}{U_2}$ 已知线路首端功率时：$\Delta U_1=\frac{P_1R+Q_1X}{U_1}$；$\delta U_1=\frac{P_1X-Q_1R}{U_1}$ 注意：代入同一公式的功率和电压必须是同一端的；且功率为流入或流出计算电压降落元件首端或末端的功率。 （2）电压损失　——标量。元件首末端电压的绝对值之差。 电压损失=U_1—U_2 。 即：$\sqrt{(U_2+\Delta U_2)^2+(\delta U_2)^2}-U_2$ 或 $U_1-\sqrt{(U_1-\Delta U_1)^2+(\delta U_1)^2}$ 110KV 及以下电网，电压降落横分量对电压绝对值影响很小，可忽略。 则：$U_1=U_2+\triangle U_2$ ；　$U_2=U_1-\triangle U_1$ ； 电压损失为 $\Delta U=\frac{PR+QX}{U}$ 。 分析：超高压电网中，因 X>>R,则无功功率数值 Q 对电压损失影响较大；电压不太高地区电网中，R 相对较大，则有功功率数值对电压损失影响较大。 注：以上关于电压降落和电压损失的计算公式，只要将线路阻抗换为变压器阻抗，同样适用于变压器。 （3）电压偏移 ——网络的实际电压与额定电压的数值之差，用百分数表示。 首端电压偏移（%）$=\frac{U_1-U_{1N}}{U_{1N}}\times100$　末端电压偏移（%）$=\frac{U_2-U_{2N}}{U_{2N}}\times100$	45min

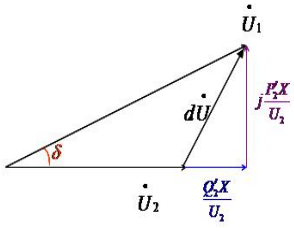
（4）电压调整——电压调整是线路末端空载时电压与负载时电压的数值差。

$$电压调整(\%)=\frac{U_{20}-U_2}{U_{20}}\times 100$$

2、电力网络中功率的方向 25min

$$\dot{U}_1=U_2+\frac{Q_2'X}{U_2}+j\frac{P_2'X}{U_2}$$

$$\sin\delta=\frac{P_2'X}{U_1U_2}$$



电压相量图

$$P_2'=\frac{U_1U_2}{X}\sin\delta$$

这说明电力网络中有功功率是从电压超前的一端输向滞后的一端。

$$\cos\delta=\frac{U_2^2+Q_2'X}{U_1U_2}\qquad Q_2'\approx\frac{U_1U_2-U_2^2}{X}$$

说明电网中感性无功功率是从电压高的一端输向电压低的一端。容性无功功率是从电压低的一端输向电压高的一端

3、运算功率和运算负荷 10min

(1)发电厂的运算功率等于发电机的功率减去变压器中的功率损耗和线路电纳功率

(2)变电所的运算负荷等于变电所的负荷加上变压器中的功率消耗和线路电纳功率 5min

小结

作业、讨论题、思考题： 3-，3-，3 -

课后小结：

++11

课次	12	班级	19级供电1班/供电秋季2班	时间	2020.09.29
授课方式	理论课√□　讨论课□　习题课□　实验课□　实训课□　其他□				

授课题目：　**项目四　简单电力系统的潮流计算**

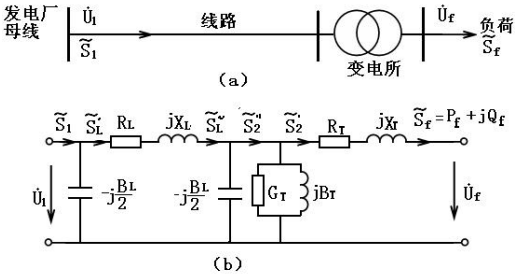
任务二、开式网潮流计算

教学目的、要求：

1. 掌握区域电力网潮流计算的方法；
2. 能够完成110kv及以上开式网电压和功率分布计算。

教学重点：开式电力网电压和功率分布计算；

教学难点：开式电力网电压和功率分布计算。

教　学　过　程	时间
复习电力网电能损耗计算引入新课：	5min
新课：　**项目四　简单电力系统的潮流计算** 任务二、开式网潮流计算（一） 一、开式区域网的潮流计算 根据已知条件的不同有两种基本的算法 **第一种已知条件**：已知同一点的功率和电压。 **第二种已知条件**：已知不同点的功率和电压。  图2-40　简单开式电力网及其等值电路 （a）简单开式电力网；（b）等值电路 <〈一〉已知 $\dot{U}_f$ 和 $\tilde{S}_f$，求 $\dot{U}_1$ 和 $\tilde{S}_1$ 计算步骤： 变压器阻抗上的功率损耗： $\Delta\tilde{S}_{TZ}=\frac{P_f^2+Q_f^2}{U_f^2}(R_T+jX_T)$；　$\tilde{S}_2'=\tilde{S}_f+\Delta\tilde{S}_{TZ}$ 变压器阻抗上的电压损失：$\Delta U_T=\frac{P_fR_T+Q_fX_T}{U_f}$；　$\dot{U}_2=\dot{U}_f+\Delta U_T$ 变压器导纳支路上的功率损耗：$\Delta\tilde{S}_{TY}=U_2^2(G_T+jB_T)$；　$\tilde{S}_2''=\tilde{S}_2'+\Delta\tilde{S}_{TY}$ 线路末端导纳支路上的功率损耗：$\Delta\tilde{S}_{LY2}=-jU_2^2\frac{B_l}{2}$；　$\tilde{S}_L''=\tilde{S}_2''+\Delta\tilde{S}_{LY2}$ 线路阻抗上的功率损耗：$\Delta\tilde{S}_{LZ}=\frac{P_L''^2+Q_L''^2}{U_2^2}(R_L+jX_L)$；　$\tilde{S}_L'=\tilde{S}_L''+\Delta\tilde{S}_{LZ}$ 线路阻抗上的电压损失：$\Delta U_L=\frac{P_L''R_L+Q_L''X_L}{U_2}$；　$\dot{U}_1=\dot{U}_2+\Delta U_L$ 线路首端导纳上的功率损耗：$\Delta\tilde{S}_{LY1}=-jU_1^2\frac{B_l}{2}$；　$\tilde{S}_1=\tilde{S}_L'+\Delta\tilde{S}_{LY1}$ 与上述过程类似，可由 $\dot{U}_1$ 和 $\tilde{S}_1$ 推出 $\tilde{S}_f$ 和 $\dot{U}_f$。	55min

〈二〉 已知首端电压$\dot{U}_1$和末端功率$\widetilde{S}_f$，求首端$\widetilde{S}_1$和$\dot{U}_f$ 1 迭代法 1）假定末端电压为$\dot{U}_f^{'}$（一般取该网络的额定电压） 2）根据$\dot{U}_f^{'}$、$\widetilde{S}_f$，逐级推算功率损耗和电压损耗，求得$\dot{U}_1^{'}$、$\widetilde{S}_1^{'}$。 3）根据$\widetilde{S}_1^{'}$和给定的$\dot{U}_1$，从首端向末端逐级推算，求得$\dot{U}_f^{''}$和$\widetilde{S}_f^{''}$ 4）若$\dot{U}_f^{''}$和假设的$\dot{U}_f^{'}$相近，则计算结束；否则用求得的$\dot{U}_f^{''}$和给定的$\widetilde{S}_f$重复第2)、3）步，直至推算的$\dot{U}_f^{(n)}$和前一次的迭代结果$\dot{U}_f^{(n-1)}$很接近为止。 该方法在实践中通常认为经过一次反复就可获得足够精确的结果。 2 简化计算法 1) 假设全网各节点电压为额定电压U_n。 2) 根据$\widetilde{S}_f$和U_N，从末端向首端逐级推算△$\widetilde{S}$，最终求得 $\widetilde{S}_1$ 。 根据推得的$\widetilde{S}_1$和已知的$\dot{U}_1$，从首端向末端逐级推算△U，求得$\dot{U}_f$。 例题讲解 小结	25min 5min
作业、讨论题、思考题： 3-，3-，3 -	
课后小结：	

+12

课次	13	班级	19 级供电 1 班/供电秋季 2 班	时间	2020.9.30
授课方式	理论课√□　讨论课□　习题课□　实验课□　实训课□　其他□				

授课题目：　**项目四　简单电力系统的潮流计算**

任务二、开式网潮流计算

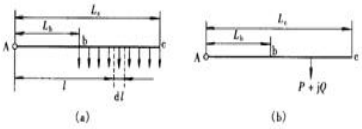
教学目的、要求：

1．掌握开式地方电力网潮流计算的方法；

2．能够完成 35kv 及以下开式网电压和功率分布计算。

教学重点：开式地方电力网电压和功率分布计算；

教学难点：开式地方电力网电压和功率分布计算；

教　学　过　程	时间
复习区域网潮流计算引入新课：	5min
新课：　**项目四　简单电力系统的潮流计算** 任务二、开式网潮流计算（二）	
二、开式地方电力网潮流计算	5min
1、地方网的特点：	10min
2、开式地方电力网潮流计算的简化措施： 1）忽略线路对地导纳及导纳中的功率损耗；2）不计阻抗上的功率损耗； 3）不计电压降落的横分量；4）用 U_N 代替实际电压进行电压损耗计算。	
3、开式地方电力网潮流计算 1）具有集中负荷的开式地方网（举例讲解） (1)画等值电路并求参数；(2)计算潮流分布；(3)计算电压损耗。	40min
2）具有均匀分布负荷的开式地方网 $\Delta U_{Ac}=\Delta U_{Ab}+\Delta U_{bc}=\frac{P\cdot r_1+Q\cdot x_1}{U_N}\cdot\frac{l_b+l_c}{2}$  图 4-12　[例 4-5] 题图 P、Q——线路上均匀分布负荷的总有功、总无功。 上式表明：可以用一个集中负荷来等值代替均匀分布负荷； 等值集中负荷大小为均匀负荷的总和；等值集中负荷位于 bc 段中点。	
例题讲解	25min
小结	5min

作业、讨论题、思考题：　3-，3-，3 -

课后小结：

++13

课次	14	班级	19级供电1班/供电秋季2班	时间	2020.10.09
授课方式	理论课□　讨论课□　习题课√□　实验课□　实训课□　其他□				

授课题目：　**项目四　简单电力系统的潮流计算**

习题课二

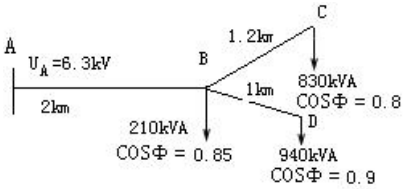
教学目的、要求：

1．通过习题讲解和练习进一步熟悉和掌握供配电系统电力网的潮流计算方法；

2．熟悉110kV及以下开式电力网电压和功率分布计算。

教学重点：开式电力网电压和功率分布计算；

教学难点：开式电力网电压和功率分布计算。

教　学　过　程	时间
复习开式电力网潮流计算知识引入新课： 新课：　**习 题 课 二**	5min
1、复习开式电力网潮流计算的方法及计算公式	5min
2、例题讲解： 1）某110kV双回输电线路，长140km，线路采用LJG-120，r=15.2mm，线间几何均距5m，线路末端接有负荷40+j30MVA，求：1）正常运行情况下，线路末端电压；2）当负荷侧断路器突然断开时，线路末端的电压；3）当期中一条线路断开，另一条线路单独运行，负荷仍为40+j30MVA时，线路末端电压。 讲解：1、分析题意 2、计算电路参数并绘制等值电路 3、分步计算（注重讲解计算思路）	40min
2）有一6kv三相配电系统，供电电源A电压为6.3kv，B、C、D均接有负荷如图所示，设线路单位长度阻抗为0.4+j0.4Ω/km，试求：B、C、D各点的电压并校验电压偏移是否合格。  讲解：1、分析题意 2、计算电路参数并绘制等值电路 3、分步计算（注重讲解计算思路）	35min
小结	5min

作业、讨论题、思考题：　3-，3-，3 -

课后小结：

++14

课次	15	班级	19级供电1班/供电秋季2班	时间	2020.10.09
授课方式	理论课□ √　讨论课□　习题课□　实验课□　实训课□　其他□				

授课题目：　**项目四　简单电力系统的潮流计算**

任务三、简单闭式网潮流计算(一)

教学目的、要求：

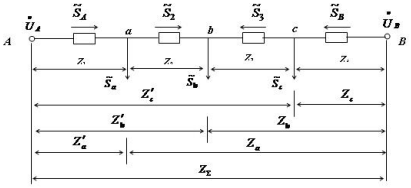
1．了解两端供电网的初步潮流分布

2．掌握两端供电网初步功率分布计算的方法。

3．掌握供载功率、循环功率、功率分点的意义；

教学重点：两端供电网初步功率分布计算的方法；

教学难点：两端供电网初步功率分布计算的方法。

教　学　过　程	时间
复习电力网结构引入新课： 新课：　**任务三、简单闭式网潮流计算(一)**	5min
一、两端供电网的初步潮流分布 简单闭式网潮流分布计算通常分两步： 第一步　初步潮流分布　　第二步 最终潮流分布 1、初步潮流分布——不计电力网阻抗和导纳中功率损耗的潮流分布。 2、初步潮流分布计算 分析：如图所示 若不计各段线路功率损耗， 根据 KCL 得：$\left.\begin{array}{l}\tilde{S}_A-\tilde{S}_a-\tilde{S}_2=0\\ \tilde{S}_2+\tilde{S}_3-\tilde{S}_b=0\\ \tilde{S}_B-\tilde{S}_3-\tilde{S}_c=0\end{array}\right\}$  两端供电网等值电路 根据 KVL 得：$d\dot{U}_{AB}=\dot{U}_A-\dot{U}_B=\sqrt{3}(\dot{I}_A Z_1+\dot{I}_2 Z_2-\dot{I}_3 Z_3-\dot{I}_B Z_4)$ 得：$\tilde{S}_A=\left[\dfrac{\dot{U}_A-\dot{U}_B}{Z_{AB}}\right]^* U_N+\dfrac{\sum\tilde{S}\dot{Z}^*}{Z_{AB}^*}$　　$\tilde{S}_B=\left[\dfrac{\dot{U}_B-\dot{U}_A}{Z_{AB}}\right]^* U_N+\dfrac{\sum\tilde{S}\dot{Z}'^*}{Z_{AB}^*}$ 电源 A 或 B 输出的功率包括两部分： 第一部分与电源两端电压的相量差有关而与负荷无关，称为**循环功率**（或称平衡功率）； 第二部分与各点电负荷及到另一电源的阻抗有关，为供给负荷的功率，称为**供载功率。** 在计算两端供电网初步潮流分布时，可利用叠加原理分别计算循环功率和供载功率。 先令两端电源电压相等，求出供载功率，再令节点运算负荷为零，求出循环功率。二者叠加得到初步功率分布	20min
二、均一网的供载功率计算 线路采用相同材料、相同截面、相同的几何均距，这种电力网称为均一网 因均一网各段线路单位长度阻抗相等，则：	10min

均一网供载功率计算式为： $P_A=\frac{\sum pL}{L_{AB}}$ $Q_A=\frac{\sum qL}{L_{AB}}$ 三、近似均一网的供载功率 在电力系统中，在同一额定电压等级情况下，往往各段线路采用相同材料，线间几何均距近似相等，导线截面相差不超过 2～3 标称截面等级，这种电力网称为近似均一网。 近似均一网可采用如下所述的网络拆开法公式计算潮流分布，计算公式为 ： $P_A=\frac{\sum pX}{X_{AB}}$ $Q_A=\frac{\sum qR}{R_{AB}}$ 网络拆开法的意义是：将具有复数阻抗输送复功率的电力网，拆开成两个电力网，其中一个只具有感抗输送有功功率；另一个只具有电阻输送无功功率，分别计算出潮流分布后再相叠加，这就大大简化了运算工作。 例题 3-4 讲解 介绍功率分点：闭式网络中，某点的功率是由两个方向流入的，该节点就称为功率分点。 有功分点 、无功分点 有功分点与无功分点可能重合时，用符号“▼” 表示。 不重合时，有功分点用符号“▼”表示， 无功分点用符号“▽”表示， 例题 3-5 讲解 小结	10min 25min 15min 5min
作业、讨论题、思考题：	
课后小结：	

+15

课次	16	班级	19 级供电 1 班/供电秋季 2 班	时间	2020.10.11
授课方式	理论课□ √　讨论课□　习题课□　实验课□　实训课□　其他□				

授课题目：　**项目四　简单电力系统的潮流计算**

任务三、简单闭式网潮流计算(二)

教学目的、要求：

1．学会两端电源供电网络最终潮流分布的计算方法；

2．会简单多电压等级环网功率分布的计算方法

教学重点：两端电源供电网络最终潮流分布的计算方法；

教学难点：多级电压环网的初步功率计算。

教　学　过　程	时间
复习初步潮流计算引入新课： 新课：　**任务三、简单闭式网潮流计算(二)**	5min
四、多级电压环网的初步功率潮流计算 多级环网：在电力系统中，由几个电压等级组成的环网，称为多级环网。 1、多级环网循环功率计算 如图所示：设已知电压为$\dot{U}_A$，环内变压器变比分别为 k1,k2,k3,开关 D 断开。 令供载功率为零，　则开关两触头间的电压： $$\dot{U}_{FE}=\dot{U}_F-\dot{U}_E=\frac{\dot{U}_A}{k_3}-\frac{k_2\dot{U}_A}{k_1}=\left(\frac{k_1}{k_2k_3}-1\right)\frac{k_2\dot{U}_A}{k_1}=\dot{U}_E\left(k_\Sigma-1\right)$$ k_Σ －等值变比 等值变比可以按下述方法确定：在环网中任选一环绕方向，按方向在环网中环形一周，遇到顺环绕方向起升压作用的变压器时，乘以变比；遇到起降压作用的变压器时，除以变比，即可求得等值变比 开关 D 闭合以后，环网内在 UEF 电压作用下产生循环电流和对应的循环功率，可以按下式计算： $$\tilde{S}_h=\left[\frac{\dot{U}_E\left(k_\Sigma-1\right)}{Z_\Sigma}\right]^*U_N\approx\left[\frac{k_\Sigma-1}{Z_\Sigma}\right]^*U_N^2$$ 2、例题 3-6 讲解	40min
五、两端供电区域网的最终潮流分布 对于两端供电区域网，在求出初步潮流分布之后，从功率分点处开始，分别向两侧电源逐段计算计及功率损耗的潮流分布，称为最终潮流分布。 若两端供电网初步潮流分布的有功、无功分点不重合，一般从无功分点处向两侧电源推算。 例题 3-7 讲解	40min
小结	5min

作业、讨论题、思考题： 3-10、3-11
课后小结：

+16

课次	17	班级	19级供电1班/供电秋季2班	时间	2020.10.14
授课方式	理论课□　讨论课□　习题课√□　实验课□　实训课□　其他□				

授课题目：　**项目四　简单电力系统的潮流计算**

习题课（三）

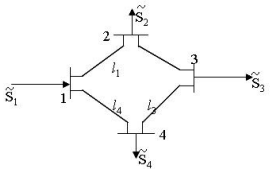
教学目的、要求：

1．通过习题讲解和练习进一步熟悉和掌握供区域电力网的潮流计算方法；

2．熟悉闭式电力网电压和功率分布计算。

教学重点：闭式电力网电压和功率分布计算；

教学难点：闭式电力网电压和功率分布计算。

教　学　过　程	时间
复习闭式电力网潮流计算知识引入新课：	5min
新课：　**习 题 课 三**	
1、复习闭式电力网潮流计算的方法及计算公式	5min
2、例题讲解：	
1）某110kv 变电站由两台双绕组降压变压器并列运行供电，已知变电站总供电负荷为50+j30（MVA），这两台主变的串联电阻及激磁支路参数可以忽略，归算到高压侧的电抗均为12.1 欧姆#1 主变的变比为110kv/10kv，#2 主变的变比为110kv/10.5kv，则下述哪个位置流过的无功潮流绝对值最大？（）A、#2 主变高压侧　B、#2 主变低压侧　C、#1 主变高压侧　D. #1 主变低压侧 讲解：1、分析题意 2、分步计算（注重讲解计算思路）	35min
2）对下图所示的环式等值网络进行潮流计算。图中各线路的阻抗为 Z_{l1}=10+j17.32(Ω)，Z_{l2}=20+j34.6(Ω)，Z_{l4}=25+j43.3(Ω)，Z_{l3}=10+j17.3(Ω)；各点的运算负荷为S2=90+j40（MVA），S3=50+j30（MVA），S4=40+j15（MVA），且U1=235（kV）。  讲解：1、分析题意 2、计算电路参数并绘制等值电路 3、分步计算（注重讲解计算思路）	40min
小结	5min

作业、讨论题、思考题：　补充题

课后小结：

+17

课次	18	班级	19级供电1班/供电秋季2班	时间	2020.10.16
授课方式	理论课√□　讨论课□　习题课□　实验课□　实训课□　其他□				

授课题目：　**项目五　电力系统的频率调整和电压调整**

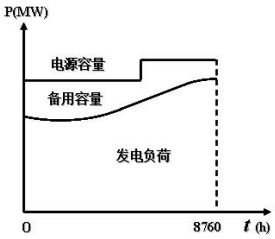
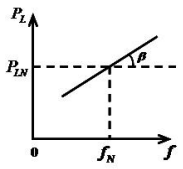
任务一、电力系统有功功率平衡

教学目的、要求：

1. 掌握电力系统频率偏移的质量标准；
2. 了解有功功率平衡与频率的关系；
3. 知道负荷、发电机组的有功功率与频率变化的特性关系。

教学重点：电力系统无功平衡；

教学难点：综合负荷的无功功率电压特性和电力系统无功平衡。

教　学　过　程	时间
回顾项目四内容引入新课：	5min
新课：　**项目五　电力系统的频率调整和电压调整** **任务一、电力系统有功功率平衡** 电能质量标准： 交流电压、电流：频率-50Hz、电压-额定值、波形：正弦波，我国对电能的质量标准规定了容许变动范围	10min
一、频率质量 电力系统频率是指电力系统中同步发电机产生的交流正弦波基波电压的频率。 我国电力系统额定频率：$f_N = 50 \pm (0.2 \sim 0.5)Hz$	
二、电力系统频率偏移的原因和影响 1、电力系统频率偏移的原因：有功功率不平衡 发电机总有功出力=总有功负荷➞频率保持不变 2、电力系统频率偏移的影响 （1）对用户影响　　（2）对发电厂和电力系统运行的影响	10min
三、电力系统有功功率平衡及备用 1、 电力系统有功平衡 电源发出的有功功率应满足负荷消耗和网络损耗的需要，即电力系统的有功功率要平衡。　$\sum P_G = \sum P_L + \sum P_\Sigma$ 2、备用容量 (1)系统总装机容量、 系统电源容量、系统的备用容量 （2）备用容量分类 按其作用分：负荷备用、事故备用、检修备用、国民经济备用（讲解） 按备用状态分：热备用、冷备用  系统的备用容量	15min
四、电力系统负荷及电源的频率静态特性 1、电力系统负荷的功率——频率静态特性 系统处于运行稳定时，系统中有功负荷（连接容量不变、电压等于额定值）随频率的变化特性称为负荷的静态频率特性。  有功负荷的频率静态特性	45min

根据负荷与频率的关系可将负荷分为：与频率无关、与频率的一次方成正比、与频率的二次方成正比、与频率的三次方成正比、与频率的高次方成正比

系统负荷的频率特性：

$$P_L = \alpha_0 P_{LN} + \alpha_1 P_{LN}(\frac{f}{f_N}) + \alpha_2 P_{LN}(\frac{f}{f_N})^2 + \cdots + \alpha_n P_{LN}(\frac{f}{f_N})^n$$

在电力系统运行中，频率的允许变化范围很小，因此，系统综合负荷的频率静态特性曲线近似为一条直线。

$K_L = tg\beta = \frac{\Delta P_L}{\Delta f}$ 用标幺值表示为： $K_{L*} = \frac{\Delta P_L / P_{LN}}{\Delta f / f_N} = \frac{\Delta P_{L*}}{\Delta f_*}$

KL（*KL**）：负荷频率调节效应系数（频率调节效应）

*KL** =1～3（频率下降 *1* %，负荷有功功率变化 *1～3* %）

2、发电机组的功率——频率静态特性

发电机组的有功功率与频率之间的关系，称为发电机组的有功功率一频率静态特性。

（1）调速系统的工作原理（离心式机械液压调速系统）

（2）发电机组的功率——频率静态特性（发电机组的静态调差系数（调差率））

发电机静态频率特性：系统处于运行稳态时发电机有功功率与频率的变化关系

机组的静态调差系数（调差率）δ：$\delta = -\frac{f_2 - f_1}{P_2 - P_1} = -\frac{\Delta f}{\Delta P}$ $\delta_* = - = \delta \frac{P_{GN}}{f_N}$

机组单位调节功率 *KG*，*f* 发生单位变化时，发电机组输出功率的变化量。

（也称发电机组功频静态特性系数）$K_G = \frac{1}{\delta} = -\frac{\Delta P_G}{\Delta f}$

$$K_{G*} = \frac{1}{\delta_*} = \frac{1}{\delta}\frac{f_N}{P_{GN}} = K_G \frac{f_N}{P_{GN}}$$

机组调差系数 δ，或相应的单位调节功率 *KG*，是可以整定的。而负荷的 *KL*（*KL**）则不行。调差系数的大小对频率偏移的影响很大，调差系数愈小（即单位调节功率愈大），频率偏移亦愈小。但是因受机组调速机构的限制，调差系数的调整范围是有限的。

汽轮发电机组： $\delta_* = 0.03 \sim 0.05$， $K_{G*} = 33.3 \sim 20;$

水轮发电机组： $\delta_* = 0.02 \sim 0.04$， $K_{G*} = 50 \sim 25;$

小结 5min

作业、讨论题、思考题： 补充思考题

课后小结：

+18

课次	19	班级	19级供电1班/供电秋季2班	时间	2020.10.18
授课方式	理论课√□　讨论课□　习题课□　实验课□　实训课□　其他□				

授课题目：　**项目五　电力系统的频率调整和电压调整**

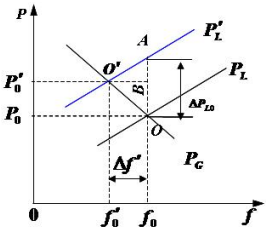
任务二、电力系统频率的调整过程

教学目的、要求：

1．了解电力系统一次调频、二次调频过程

教学重点：**电力系统一次调频、二次调频过程；**

教学难点：综合负荷的无功功率电压特性和电力系统无功平衡。

教　学　过　程	时间
复习上节内容引入新课：	5min
新课：　**项目五　电力系统的频率调整和电压调整** **任务二、电力系统频率的调整过程**	
概述：系统负荷PΣ可以看作由以下三种具有不同变化规律的负荷组成： (1) P_1变化快（变动周期小于10s），变化幅度小。小操作、线路摇摆 调速器——频率一次调整 (2) P_2变化较慢（变动周期在10s-180s），变化幅度较大。大电机、电炉、液压机械、电力机车启停。 调频器——频率二次调整 （3）P_3变化最慢（变动周期最大）。气象、生产、生活规律变化等 电力系统的经济运行调度（发电计划）——频率三次调整	5min
一、频率的一次调整（有差调频） 以一台机、一个综合负荷的系统为例，分析频率的一次调整。P_L与P_G的交点0点是原始运行点，系统频率为f_0。P_L增加——f 下降，此时调速器动作，发电机功率增加，负荷功率降低，最终稳定在O'点。  频率一次调整 经过一次调整后，发电机增发了功率$\Delta P_G = P_0' - P_0$ 而系统的频率偏差为$\Delta f' = f_0' - f_0$。 当 n 台装有调速器的机组并联运行时，可以根据各机组的调差系数和单位调节功率计算出等值调差系数$\delta(\delta_*)$和等值单位调节功率 $K_G(K_{G*})$。 当系统频率变化Δf时，第 i 台机组的输出功率增量，$\Delta P_{Gi} = -K_{Gi}\Delta f$ n 台机组输出功率总增量：$\Delta P_G = \sum_{i=1}^{n}\Delta P_{Gi} = -\sum_{i=1}^{n}K_{Gi}\Delta f = -K_G\Delta f$ 等值单位调节功率：$K_G = \sum_{i=1}^{n}K_{Gi} = \sum_{i=1}^{n}K_{Gi*}\frac{P_{GiN}}{f_N}$ 在 ΔPG 相同的条件下，多台机组并列运行时的频率变化比一台机组运行时的要小。 若把 n 台机组用一台等值机来代表， 等值单位调节功率标幺值为：	40min

$$K_{G*}=\frac{\sum_{i=1}^{n}K_{Gi*}P_{GiN}}{P_{GN}}$$ 。 等值调差系数为：$\delta_*=\frac{1}{K_{G*}}=\frac{P_{GN}}{\sum_{i=1}^{n}\frac{P_{GiN}}{\delta_{i*}}}$

单台等值机组和系统负荷的一次调频：

$$\Delta P_{Gi}=-K_{Gi}\Delta f=-\frac{\Delta f}{\delta_{i*}}\times\frac{P_{GiN}}{f_N}\text{或}\frac{\Delta P_{Gi}}{P_{GiN}}=-\frac{\Delta f_*}{\delta_{i*}}$$

45min

依靠调速器进行频率的一次调整，只能限制那些周期较短、幅度较小的负荷变动而引起的频率偏移。当负荷变动的周期较长、幅度较大时，仅靠一次调整不一定能够保证频率偏移在允许的波动范围之内，所以调频任务需要由调频器进行频率的二次调整来完成。

二、频率的二次调整

1、频率二次调整： 通过操作调频器，使发电机组的频率特性平行的移动，从而使负荷变动引起的频率偏移缩小在允许范围内。

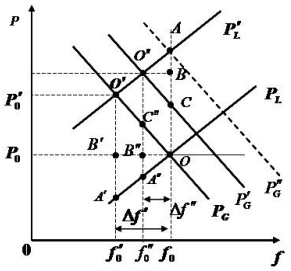
承担二次调频任务的电厂称为调频厂（主调频厂和辅助调频厂）

选择主调频厂的条件：(1)具有足够的调频容量和调频范围。(2)能比较迅速地调整发电厂的出力。(3)调整出力时应符合安全及经济原则。

2、频率二次调整过程

如图分析

（过程略）



频率二次调整

二次调频并不能改变系统的单位调节功率，但能减小系统频率的偏移。

二次调频可以实现无差调节，一次调频肯定是有差调节。

二次调频实现频率无差调节的前提是系统具有充足的备用容量。

二次调频提高了发电机的发电功率，缩小了频率偏差，因而，二次调频是调频的主要手段。二次调整时，系统负荷的增量基本上由主调频厂（机组）承担。如一台调频机组（或电厂）不足以承担负荷增量时，就要增选一台机组（或电厂）参加二次调整。这时二次调频总的增发功率为各调频机组（或调频厂）增发功率之和。

5min

小结

作业、讨论题、思考题： 4-1、4-4

课后小结：

+19

课次	20	班级	19 级供电 1 班/供电秋季 2 班	时间	2020.10.28
授课方式	理论课√□　讨论课□　习题课□　实验课□　实训课□　其他□				

授课题目：　**项目五　电力系统的频率调整和电压调整**

任务三、电力系统的无功功率平衡(一)

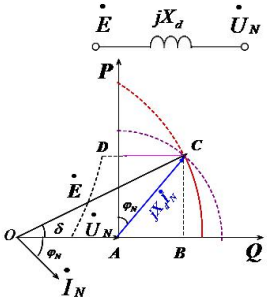
教学目的、要求：

1．了解电压偏移对用电设备的影响和电压偏移的标准；

2．了解电力系统的主要无功电源特点

教学重点：电力系统的主要无功电源特点；

教学难点：电力系统的主要无功电源特点。

教　学　过　程	时间
复习上节教学内容引入新课：	5min
新课：　**项目五　电力系统的频率调整和电压调整** 任务三、电力系统的无功功率平衡(一) 一、电力系统电压的质量标准 电压是衡量电能质量的一个重要指标。 质量合格的电压应该在供电电压偏移，电压波动和闪变，电网谐波和三相不对称程度这四个方面都能满足有关国家标准规定的要求 （1）35kv 及以上：正、负偏差绝对值之和不超过 10%；　（2）10kv 及以下：≦±7%；（3）220v 单相：　+7%～－10%；	15min
二、电力系统电压偏移的原因和影响 1、电力系统电压偏移的原因 （1）设备及线路压降；（2）负荷波动；（3）运行方式改变；（4）无功不足或过剩 电力系统无功功率不平衡是系统电压偏离电压标称值得根本原因。	10min
2、电力系统电压偏移的影响 1）对用电设备的影响　（异步电动机、白炽灯 、电热器具、精密仪器加工业） 2）对电力系统本身	15min
三、电力系统的无功功率电源 电力系统无功电源：发电机、同步调相机、 静电电容器、、静止无功补偿器 1、　发电机 发电机既是惟一的有功功率电源，又是最基本的无功功率电源。　$Q_{GN}=S_{GN}\sin\varphi_N=P_{GN}tg\varphi_N$ 分析发电机—P-Q 极限图 发电机只有在额定电压、额定电流和额定功率因数（即运行点 C）下运行时视在功率才能达到额定值，使其容量得到最充分的利用。  发电机—P-Q极限	40min

2、同步调相机 **同步调相机相当于空载运行的同步电动机。** 同步调相机原理、特点及应用 3、静电电容器 静电电容器只能向系统供给无功功率，而不能吸收无功功率 特点及应用 4、静止补偿器 静止补偿器的型式 :直流助磁饱和电抗器、可控硅控制电抗器、自饱和电抗器、、可控硅控制电抗器和可控硅投切电容器组合型 讲解各类静止补偿器原理、特点 小结	5min
作业、讨论题、思考题：补充思考题	
课后小结：	

+20

课次	21	班级	19 级供电 1 班/供电秋季 2 班	时间	2020.10.30
授课方式	理论课√□　讨论课□　习题课□　实验课□　实训课□　其他□				

授课题目：　**项目五　电力系统的频率调整和电压调整**

任务三、电力系统的无功功率平衡(二)

教学目的、要求：

1．掌握系统无功功率平衡与电压调整的关系

2．掌握电力系统电压管理的措施

教学重点：系统无功功率平衡与电压调整的关系；

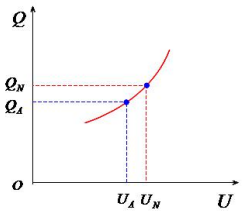
教学难点：系统无功功率平衡与电压调整的关系。

教　学　过　程	时间
回顾第四章内容引入新课：	5min
新课：　项目五　电力系统的频率调整和电压调整 任务三、电力系统的无功功率平衡(二)	
四、电力系统无功功率平衡与电压水平	30min

1、无功功率负荷和无功功率损耗

（1）无功功率负荷

当系统频率一定时，负荷功率(包括有功功率和无功功率)随电压变化的关系称为负荷的电压静态特性。

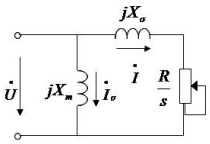


负荷的电压静态特性

异步电动机是电力系统主要的无功负荷，系统无功负荷的电压特性主要由异步电动机决定

异步电动机的无功功率和有功功率：

$$Q_M = Q_m + Q_\sigma = \frac{U^2}{X_m} + I^2 X_\sigma \qquad P_M = \frac{I^2 R}{s}(1-s)$$



异步电动机的简化等值电路

（2）变压器的无功功率损耗

$$Q_{LT} = \Delta Q_0 + \Delta Q_T = U^2 B_T + (\frac{S}{U})^2 X_T \approx \frac{I_0\%}{100} S_N + \frac{U_K\% S^2}{100 S_N}(\frac{U_N}{U})^2$$

（3）电力线路上的无功功率损耗

$$\Delta Q_L = \frac{P_2^2 + Q_2^2}{U_2^2} X - \frac{B}{2}(U_1^2 + U_2^2)$$

2、无功功率的平衡

电力系统无功功率平衡的基本要求：系统中的无功电源可能发出的无功功率应该大于或至少等于负荷所需的无功功率和网络中的无功损耗。且具有一定无功功率备用。

无功功率的平衡关系式：$\sum Q_{GC} = \sum Q_L + \Delta Q_\Sigma$

五、电力系统的电压管理　35min

1、中枢点的概念

电压中枢点是指电力系统中监视、控制和调整电压的点（母线）。

2、中枢点的选择：

一般可选择下列母线作为电压中枢点：(1)大型发电厂的高压母线。(2)枢纽变电所的二次母线。(3)有大量地方性负荷的发电厂母线。

3、中枢点电压调整方式

(1)逆调压

大负荷时，线路电压损耗大，提高中枢点电压，使负荷点电压不至太低；

小负荷时，线路电压损耗小，降低中枢点电压，使负荷点电压不至太高；

考虑发电机电压一定，大负荷时中枢点电压会低一些，小负荷时则高一些，因此，逆调压要求较高，较难实现；　　适用于：线路长，负荷变动大的场合

(2) 顺调压

大负荷时，允许中枢点电压低一些，但不低于线路额定电压的102.5%；

小负荷时，允许中枢点电压高一些，但不高于线路额定电压的107.5%；

适用于：某些供电距离较近，或者负荷变动不大的变电所

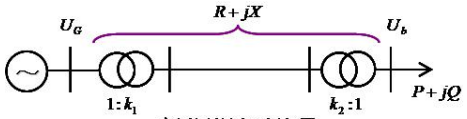
(3)常调压

任何情况下，维持中枢点电压大约恒定，一般较线路额定电压高2%~5%；

适用于：线路短，负荷变动较小的场合

15min

六、电力系统的电压调整



电压调整原理解释图

$$U_b=\left(U_Gk_1-\Delta U\right)/k_2=\left(U_Gk_1-\frac{PR+QX}{U_N}\right)/k_2$$

(1)调节励磁电流以改变发电机端电压U_G.

(2)适当选择变压器的变比k_1、k_2

(3)改变无功功率的分布，使电压损耗ΔU减小。

(4)改变网络参数R+jX，减小电压损耗ΔU。

小结

5min

作业、讨论题、思考题：

4-8、4-9、4-10

课后小结：

21++

课次	22	班级	19 级供电 1 班/供电秋季 2 班	时间	2020.11.01
授课方式	理论课√□　讨论课□　习题课□　实验课□　实训课□　其他□				

授课题目：　**项目五　电力系统的频率调整和电压调整**

任务四、电力系统电压调整措施的应用（一）

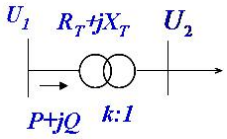
教学目的、要求：

1．掌握电压调整的基本原理；

2．能根据调压要求进行变压器分接头电压调整的计算；

教学重点：变压器分接头电压调整的计算；

教学难点：有载调压；

教　学　过　程	时间
复习上节内容引入新课：	5min
新课：　任务四、电力系统电压调整措施的应用（一）	
一、改变发电机端电压调压 1、改变发电机的励磁电流，可以改变发电机的电势和端电压。 调压方式为：逆调压　　发电机机端电压调整范围为±5% 2．在小型电力系统中，特别是孤立运行的发电机或发电厂中，改变发电机励磁调压是一种既简单、经济又行之有效的最常用的调压方法。 3、在大型电力系统中，改变发电机励磁调节端电压只是一种辅助的调压措施。	15min
二、改变变压器变比调压 改变变压器变比可以升高或降低次级绕组的电压。改变变压器的变比调压实际上就是根据调压要求适当选择分接头 1、普通变压器（不具有带负荷切换装置）分接头的选择 （1）降压变压器分接头选择 最大负荷时：$U_{jt\max}=\dfrac{(U_{j1\max}-\Delta U_{jt.\max})\cdot U_{j2N}}{U_{j2.\max}}$  最小负荷时：$U_{jt\min}=\dfrac{(U_{j1.\min}-\Delta U_{jt.\min})\cdot U_{j2N}}{U_{j2.\min}}$ 若为无载调压，则变压器分接头应取：$U_{jt}=\dfrac{U_{jt.\max}+U_{jt.\min}}{2}$ 根据计算得出的 U_{jt} 选择与之最接近的分接头，然后校验所选的分接头能否使 T_j 的低压侧母线电压满足调压要求。 （2）升压变压器分接头选择 $U_{it.\max}=\dfrac{(U_{i1\max}+\Delta U_{it.\max}).U_{i2N}}{U_{i2.\max}}$　$U_{it.\min}=\dfrac{(U_{i1.\min}+\Delta U_{it.\min})\cdot U_{i2N}}{U_{i2.\min}}$　$U_{it}=\dfrac{U_{it.\max}+U_{it.\min}}{2}$ 以上为无载调压；若为有载调压，则可分别选择最大、最小负荷时应选择的分接头，	45min

不必取平均。

例题讲解

（3）三绕组变压器分接头的选择

① 将高低绕组看作双绕组，确定高绕组分接头

② 将高中绕组看作双绕组，确定中绕组分接头

注意：功率分布 20min

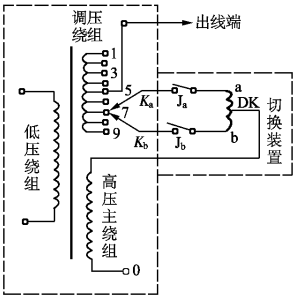
2、利用有载调压变压器调压

采用有载调压方式，可根据负荷状态确定合适分接头。

可用于有载调压的有：有载调压变压器和加压调压变压器；

（1）有载调压变压器：

本身具有调压绕组的有载调压变压器。可带负载调节分接头，分接头调节范围比较大；如图。



讲解调压操作

（2）加压调压器变压器：

带有附加调压器，与主变压器配合使用，相当于有载调压变压器；

主变压器分接头调节时需要停电，加压变压器分接头调节时可以不停电

适用于季节性和经常性调压，调节范围较大。

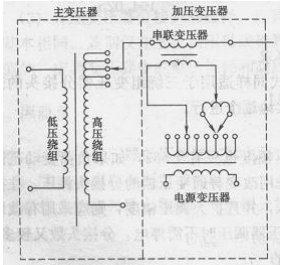


图 4-17 具有加压变压器的调压变压器

小结 5min

作业、讨论题、思考题：补充思考题

课后小结：

++22

课次	23	班级	19级供电1班/供电秋季2班	时间	2020.11.04
授课方式	理论课√□　讨论课□　习题课□　实验课□　实训课□　其他□				

授课题目：　**项目五　电力系统的频率调整和电压调整**

任务四、电力系统电压调整措施的应用（二）

教学目的、要求：

1．能根据调压要求进行无功补偿容量的计算；

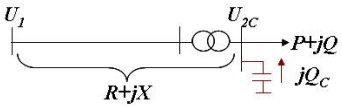
2．掌握改变输电线路参数来调压的原理；熟悉电力网各类调压措施的应用。

教学重点：**无功补偿容量的计算**

教学难点：调压措施的应用；

教　学　过　程	时间
复习上节内容引入新课：	5min
新课：　任务四、电力系统电压调整措施的应用（二）	
三、改变电力网的无功功率分布调压	40min

原理：$\Delta U=\frac{PR+QX}{U}$　改变电力网无功分布的具体做法：在输电线路末端靠近负荷处装设并联电容器或调相机。



1、确定无功功率补偿容量的基本原理

例：如图所示　令：补偿前后 U_G 不变。分析：　未装无功补偿设备时：

$U_1=U_2+\frac{PR+QX}{U_2}$，装无功补偿设备后：$U_1=U_{2C}+\frac{PR+(Q-Q_C)X}{U_{2C}}$

则：$Q_C=\frac{kU'_{2C}}{X}(kU'_{2C}-U_2)=\frac{k^2U'_{2C}}{X}(U'_{2C}-\frac{U_2}{k})$ 由上式可见，若要确定 Q_C，则应先确定变压器变比K，而K的确定与补偿设备的类型有关

2、并联静电电容器——静电电容器补偿容量选择

（1）根据调压要求，按最小负荷时没有补偿确定变压器变比

（2）按最大负荷时的调压要求选择补偿容量

（3）校验实际电压是否满足要求

3、装设同步调相机——同步调相机补偿容量选择

最大负荷时发出 Q_{CN}：$Q_{CN}=\frac{U_{2C\max}}{X}(U_{2C\max}-U_{2\max})$

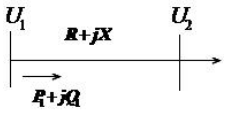
最小负荷时吸收 $0.5Q_{CN}$：$-\alpha\ Q_{CN}=\frac{U_{2C\min}}{X}(U_{2C\min}-U_{2\min})$

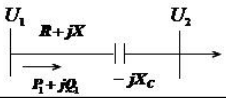
计算k和 Q_{CN} 并进行校验

结合例题讲解

四、改变电力网的参数调压　　30min

1、　根据调压要求选择串补 *XC*





未串联 X_C 时，$\Delta U = \dfrac{P_1 R + Q_1 X}{U_1}$

串联 X_C 后，$\Delta U_C = \dfrac{P_1 R + Q_1 (X - X_C)}{U_1} \rightarrow \Delta U - \Delta U_C = \dfrac{Q_1 X_C}{U_1}$

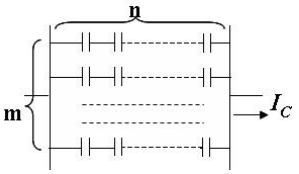
$$X_C = \frac{U_1(\Delta U - \Delta U_C)}{Q_1}$$

2、确定串联电容器台数及总容量

电流 $mI_{NC} \geq I_{C\max}$

电压 $nU_{NC} \geq I_{C\max} X_C$

容量 $Q_C = 3mnQ_{NC} = 3mnU_{NC} I_{NC}$



10min

五、调压措施的比较

发电机调压不需增加费用，是发电机直接供电的小系统的主要调压手段；

多机系统中，调节任一台发电机励磁电流，会引起发电机间无功功率重新分配，应根据发电机与系统连接方式和承担有功功率情况，合理确定调压整定值；

系统无功电源充足时，可通过改变变压器变比进行调压，电压变化幅度较大或要求逆调压时，宜采用变压器有载调压方式；

系统无功不足时，不宜采用改变变压器变比的方式调压；

并联电容器和串联电容器补偿的作用在于减少电压损耗的 *QX/V* 分量；只有该分量占比重较大时，调压效果才明显；

并联电容补偿和串联电容补偿需要增加设备费用，并联补偿可以减小网损；

5min

小结

作业、讨论题、思考题：

课后小结：

++23

课次	24	班级	19级供电1班/供电秋季2班	时间	2020.11.06
授课方式	理论课√□　讨论课□　习题课□　实验课□　实训课□　其他□				

授课题目：　**项目五　电力系统的频率调整和电压调整**

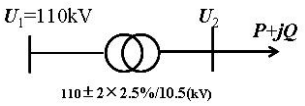
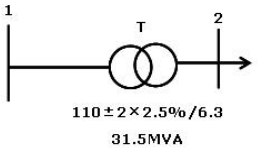
习题课四

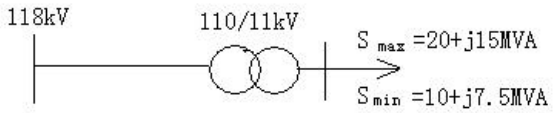
教学目的、要求：

1．通过习题讲解和练习进一步熟悉和掌握电力系统调压的计算方法；

教学重点：电压调整计算方法；

教学难点：电压调整计算方法；

教　学　过　程	时间
复习上节内容引入新课： 新课：　习题课四	5min
一、系统调频： 1、电网一次调频是由发电机调速系统的（ ）特性引起的频率调整作用。 A. 频率静态 B. 频率动态 C. 频率暂态 D. 其他三个选项都不是 2、有关电力系统调频叙述正确的是（　　） A 、频率的二次调整一定是有差调节； B、 频率的二次调整一定是无差调节； C 、频率的一次调整一定是有差调节； D 、频率的一次调整一定是无差调节 3、电力系统的各用容量按用途可分为( )。 A 、负荷备用； B、 事故备用　C 、检修备用 ；D 、国民经济备用 学生做答，教师分析讲解	20min
二、系统调压 1、关于顺调压电压调整方式的描述,错误的是（　　） A、高峰时允许中枢点电压略低；B、低谷时允许中枢点电压略低； C、适用于用户对电压要求不高的场合；D、适合于供电线路不长的场合。 学生作答，教师分析讲解	5min
2、某 110kV 变电所接线如下图所示：已知该变电所的大负荷为 30＋ｊ10ＭＶＡ最小负荷为 0＋ｊ0ＭＶＡ忽略变压串联电阻及激磁支路.变压器归算至高压侧的电抗为 12.1 欧姆，假设变电站高压侧电压保持不变，要求变电所 10kV 母线电压变化范围不超出 10.0~10.5kV,则该变压器的最佳分接头位置为（ ）  A、+2.5% B、-2.5% C、-5% D、0%　？ 学生做答，教师分析讲解	15min
3、如图所示为一降压变压器，归算至高压侧的阻抗为 2.5+j38Ω，最大负荷和最小负荷时，通过变压器的功率为 *Smax*=32+j16MVA,*Smin*=12+j6MVA,高压侧电压 *Umax*=108kV,*Umin*=112kV，要求低压采用逆调压，即 *Umax*=6.3kV ，*Umin*=6kV,试求变压器分接头。  题意分析　解题步骤 小结	20min

4、简单系统接线如下图所示，线路和变压器归算至高压侧的总阻抗为 Z=26+j130Ω，变压器变比为 110kV±2×2.5%/11 kV，供电端电压保持 118kV 不变，其他参数见下图所示，降压变电所低压侧要求恒调压方式，保持为 10.5kV 不变。若不计网络功率损耗，试确定变压器分接头电压和采用并联电容器补偿时的补偿容量。  题意分析　解题步骤 小结 小结	20min 5min
作业、讨论题、思考题：	
课后小结：	

++++24

课次	25	班级	19级供电1班/供电秋季2班	时间	2020.11.8
授课方式	理论课√□　讨论课□　习题课□　实验课□　实训课□　其他□				

授课题目：　**项目六 电力网经济运行及企业供电负荷计算**

任务一、电力网的电能损耗计算(一)

教学目的、要求：

1．了解电力系统负荷组成和负荷曲线；

2．了解均方根电流法计算电能损耗方法。

教学重点：负荷曲线及负荷相关系数；

教学难点：均方根电流法计算电能损耗方法。

教　学　过　程	时间
回顾项目五内容引入新课：	5min
新课：　任务一、电力网的电能损耗计算(一) 概述：1、电力网的电能损耗：不变损耗(固定损耗)占20%；可变损耗占80%。 2、线损、线损电量、线损率概念 3、电力系统负荷的组成： 1）电力系统的总负荷：2）综合用电负荷：　3）供电负荷：4）发电负荷：	15min
一、　负荷曲线 1.日负荷曲线：　2.年最大负荷曲线： 3.年负荷持续曲线：4、最大负荷利用时间 Tmax 5、　负荷曲线的特征参数 （1）最大负荷 P_{max}：　（2）最小负荷 P_{min}： （3）全年的电能 $A=\int_0^{8760} pdt$　全日的电能 $A=\int_0^{24} pdt$ （4）年最大负荷利用小时数 T_{max}，$T_{max}=\frac{A}{P_{max}}=\frac{\int_0^{8760} pdt}{P_{max}}$ （5）平均负荷 $P_{av}=\frac{A_Y}{8760}=\frac{A_D}{24}$ （6）负荷率：　有功负荷率α：$\alpha=\frac{P_{av}}{P_{max}}$ 或 $P_{av}=\alpha\cdot P_{max}$； 无功负荷率 β：$\beta=\frac{Q_{av}}{Q_{max}}$ 或者 $Q_{av}=\beta\cdot Q_{max}$，	35min
二、均方根电流法计算电能损耗（等值功率法） 1、当负荷电流或功率在一段时间内不变时 t时间内所损耗为：$\Delta A=\Delta P\times t=3I^2Rt\times10^{-3}=\left(\frac{S}{U}\right)^2R\times t\times10^{-3}(kW\cdot h)$	30min

2、当负荷电流或功率随时间变动时

t 时间内所损耗为：$\Delta A = 3R \times 10^{-3} \int_0^t I^2 dt = R \times 10^{-3} \int_0^t \left(\frac{S}{U}\right)^2 dt \ \ (kWh)$

3、均方根电流法计算电能损耗

代表日线路中的电能损耗为 ：$\Delta A = 3I_{jf}^2 R \times 24 \times 10^{-3} (kWh)$

$$I_{jf} = \sqrt{\frac{I_1^2 + I_2^2 + \cdots + I_{24}^2}{24}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{24} I_i^2}{24}}$$

若实测的负荷数据是功率值或电度数时，$I_{jf} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{24}\left(P_i^2 + Q_i^2\right)}{3 \times 24 U_{av}^2}}$

一个月的电力网电能损耗公式

$$\Delta A_{月} = \left[代表日固定线损电量 + 代表日可变线损电量 \left(\frac{全月供电量}{代表日供电量 \times 全月实际天数}\right)^2\right] \times 全月实际天数$$

如果代表日选择得比较典型，则计算的结果就比较精确。

小结 5min

作业、讨论题、思考题：补充思考题

课后小结：

++25

课次	26	班级	19 级供电 1 班/供电秋季 2 班	时间	2020.11.11
授课方式	理论课 √□　讨论课□　习题课□　实验课□　实训课□　其他□				

授课题目：　**项目六 电力网经济运行及企业供电负荷计算**

任务一、电力网的电能损耗计算(二)

任务二 降低电力网电能损耗的技术措施

教学目的、要求：

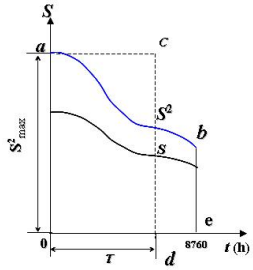
1．了解最大功率损耗时间法计算电能损耗；

2．掌握电力网主要降低电能损耗的措施

教学重点：最大功率损耗时间法计算电能损耗；

教学难点：掌握电力网主要降低电能损耗的措施。

教　学　过　程	时间
回顾上节教学内容引入新课：	5min
新课：　任务一、电力网的电能损耗计算(二)	
三、最大功率损耗时间法计算电能损耗	35min



最大功率损耗时间 τ 的意义

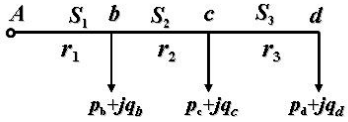
1、最大功率损耗时间法

线路中一年的电能损耗

$$\Delta A=\int_0^{8760}\Delta P dt=R\times10^{-3}\int_0^{8760}\left(\frac{S}{U}\right)^2 dt$$

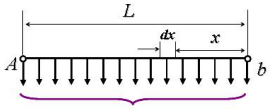
$$\Delta A=\frac{R\times10^{-3}}{U^2}\int_0^{8760}S^2 dt=\frac{R\times10^{-3}}{U^2}\times S_{\max}^2\tau$$

τ 的物理意义和几何意义：



2、线路上有几个集中负荷时电能损耗的计算

$$\Delta A=\left(\frac{S_3}{U_d}\right)^2\times r_3\tau_3+\left(\frac{S_2}{U_c}\right)^2\times r_2\tau_2+\left(\frac{S_1}{U_b}\right)^2\times r_1\tau_1$$



均匀分布负荷的线路

3、沿线路有均匀分布负荷时电能损耗的计算

则全线路的有功功率损耗为

$$\Delta P=\frac{1}{3}\times\frac{R\times10^{-3}}{U_N^2\cos^2\varphi}P^2(kW)$$

全年线路的电能损耗 $\Delta A=\Delta P_{\max}\times\tau=\frac{1}{3}\times\frac{R\times10^{-3}}{U_N^2\cos^2\varphi}P_{\max}^2\times\tau(kWh)$

4、变压器中的电能损耗的计算

变压器中的电能损耗计算式： $\Delta A=3I_{\max}^2R_T\tau\times10^{-3}+\Delta P_0 t$

$$\Delta A=\Delta P_k\left(\frac{S_{\max}}{S_N}\right)^2\tau+\Delta P_0 t$$

n 台同容量的变压器运行时，则电能损耗计算式为

$$\Delta A=\frac{\Delta P_k}{n}\left(\frac{S_{\max}}{S_N}\right)^2\tau+n\times\Delta P_0 t$$

例题 5-1 讲解

任务二 降低电力网电能损耗的技术措施

一、运行性措施

25min

1、合理调整电力网的运行电压水平

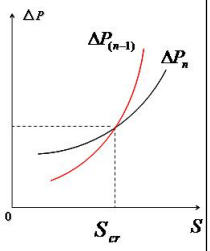
分析电压变化对固定损耗和变动损耗的影响

（1）10kV 及以下的配电网 ，宜降低电压运行。

（2）35～220kV 的电力网 ，应适当提高运行电压水平。

（3）330kV 级以上超高压电力网 ，由于电晕和绝缘泄漏较大，可能大于变动耗，所以这类电网的运行电压高低对线损的影响是随负荷的变化和气象条件的变化而变化的。

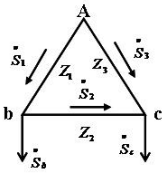
2、合理投入变压器的运行台数



临界负荷 $S_{cr}=S_N\sqrt{n(n-1)\frac{\Delta P_0}{\Delta P_k}}$ $S>S_{cr}$ 运行 n 台，$S<S_{cr}$ 运行 n-1 台

3、合理调整负荷提高负荷率

4、闭式网中功率按经济分布



闭式网的功率分布

闭式网的潮流是按各段线路的阻抗分配的，这样的功率分布称为自然功率分布。自然功率分布不一定符合能耗最小的要求。

分析-推导-结论

在闭式网中，当功率按电阻反比例分配时，其功率损耗为最小，这种功率分布分布称为经济功率分布。

20min

二、建设性措施

1、提高负荷功率因数 --减少线路输送的无功功率

2、对原有电网进行技术改造； 3、高压直接引入负荷中心

4、按经济电流密度选择导线截面

小结

5min

作业、讨论题、思考题：5-1、5-2、5-3

课后小结：

+26

课次	27	班级	19 级供电 1 班/供电秋季 2 班	时间	2020.11.13
授课方式	理论课√□　讨论课□　习题课□　实验课□　实训课□　其他□				

授课题目：　**项目六 电力网经济运行及企业供电负荷计算**

任务三、工厂供配电系统供电负荷的计算（一）

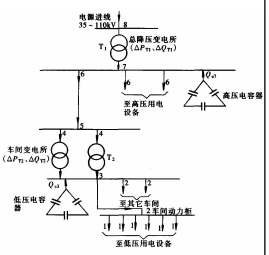
教学目的、要求：

1．需用系数法确定计算负荷；

2．需用系数法确定计算负荷。

教学重点:；

教学难点:。

教　学　过　程	时间
回顾上节教学内容引入新课： 新课：　**任务三、工厂供配电系统供电负荷的计算（一）**	5min
一、计算负荷及有关系数 （一）计算负荷的意义 1、计算负荷是按发热条件选择电气设备的一个假定负荷，“计算负荷”产生的热效应应该和实际变动负荷产生的最大热效应相等。 2、通常把半小时平均负荷曲线上的“最大负荷”称为计算负荷 3、0.5 小时平均负荷曲线：将每间隔 0.5h 读取有功电能表的读数，除以 30min，求得有功平均值，然在以纵轴为有功、横轴为时间的直角坐标系中逐点描绘而成。 4、取 0.5h 平均负荷的原因 （二） 确定计算负荷的系数 1．需要系数 K_d　$K_d=\frac{P_{\max}}{P_N}$　2．利用系数 K_u　$K_u=\frac{P_{av}}{P_N}$ 3．同时系数 K_Σ　功同时系数 $K_{\Sigma P}=\frac{P_c}{\sum_{i-1}^{m}P_{ci}}$　无功同时系数 $K_{\Sigma Q}=\frac{Q_c}{\sum_{i-1}^{m}Q_{ci}}$ **二、按需要系数法确定计算负荷** 需用系数法多用于确定车间变电所负荷和全厂负荷。 计算时从负荷端开始，逐级上推，到电源进线结束。 （一）单台用电设备的设备容量 P'_N 和计算负荷  图 8－4　负荷计算用供电系统	15min 65min

1、用电设备的工作方式

1） 长期工作制：2）短暂工作制：

3）重复短暂工作制：暂截率：$Jc\%=\frac{t}{t+t_0}\times 100\%$，又称负荷持续率或接电率。

2、单个用电设备的设备容量 $P_N^{'}$

1）长期工作制的电动机：$P_N^{'}=P_N$（kW）

2）重复短暂工作制电动机：换算到 $Jc\%=25\%$ 下，$P_N^{'}=\sqrt{\frac{Jc\%}{Jc_{25}\%}}P_N=2P_N\sqrt{Jc\%}$

3）电焊机及电焊装置

统一换算 $Jc\%=100\%$ 下，（kW）$P_N^{'}=\sqrt{\frac{Jc\%}{Jc_{100}\%}}P_N=\sqrt{Jc\%}S_N\cos\varphi_N$

4）电炉变压器：$P_N^{'}=S_N\cos\varphi_N$（kW）

5）照明设备：照明设备的设备容量估算：$\frac{S\times A}{1000}(kW)$

6）不对称单相负荷，有多台单相用电设备时，应力求均匀分配到三相上。

①当单相设备总容量>15%三相用电设备总容量时，单相负荷 $P_{Nph}^{'}$ 接于相电压时 $P_N^{'}=3P_{Nph}^{'}$ 单相负荷 $P_{Nph}^{'}$ 接于线电压时 $P_N^{'}=\sqrt{3}P_{Nph}^{'}$

②否则按三相对称考虑

3、 单台用电设备的计算负荷 $P_{ca.1}$

（1）长期工作制：$P_{c1}=P_N^{'}$（2）计及效率的单台用电设备（如电动机）：$P_{c1}=P_N^{'}/\eta$

（二） 用电设备组的计算负荷 $P_{ca.2}$

将工艺性质相同的、且需要系数相近的用电设备合并成组

$$P_{c2}=K_d\cdot\sum P_N^{'}\quad Q_{c2}=P_{c2}\cdot tg\varphi\quad S_{c2}=\sqrt{P_{c2}^2+Q_{c2}^2}$$

（三） 车间配电干线或车间变电所低压母线上的计算负荷（$P_{ca.3}$）

$$P_{ca3}=K_p\cdot\sum P_{ca.2}\ (kW)\quad Q_{ca.3}=K_Q\sum Q_{ca.2}-Q_{c3}\ (kvar)$$

$$S_{ca.3}=\sqrt{P_{ca.3}^2+Q_{ca.3}^2}\ (kv\cdot A)$$

（四） 车间变电所变压器高压侧的计算负荷

$P_{ca4}=P_{ca3}+\Delta P_{T2}$（kW） $Q_{ca.4}=Q_{ca.3}+\Delta Q_{T2}$（kvar） $S_{ca.4}=\sqrt{P_{ca.4}^2+Q_{ca.4}^2}$（kV·A）

但因车间变的容量未定，故近似计算：$\Delta P_{T2}=2\%\cdot S_{ca3}$（kW）

$\Delta Q_{T2}=10\%\cdot S_{ca.3}$（kvar）

（五）车间变电所高压母线上的计算负荷（$P_{ca.5}$）

$P_{ca5}=\sum P_{ca.4}$（Kw） $Q_{ca.5}=\sum Q_{ca.4}$（Kvar） $S_{ca.5}=\sqrt{P_{ca5}^2+Q_{ca5}^2}$（KVA）

（六） 总降压变电所出线上的计算负荷（$P_{ca.6}$）

$P_{ca6}\approx P_{ca.5}$（Kw） $Q_{ca.6}\approx Q_{ca.5}$（Kvar） $S_{ca.6}\approx S_{ca.5}$（KVA）

（七）总降压变电所变压器低压侧母线上的计算负荷（$P_{ca.7}$） $P_{ca7}=K_p\cdot\sum P_{ca.6}$（Kw）$Q_{ca.7}=K_Q\sum Q_{ca.6}-Q_{c7}$（Kvar）$S_{ca.7}=\sqrt{P_{ca.7}^2+Q_{ca.7}^2}$（MVA） （八）全厂总计算负荷（$P_{ca.8}$） $P_{ca8}=P_{ca7}+\Delta P_{T1}$　$Q_{ca8}=Q_{ca7}+\Delta Q_{T1}$　$S_{ca.8}=\sqrt{P_{ca.8}^2+Q_{ca.8}^2}$ 此外：$\cos\varphi_8=P_{ca.8}/S_{ca.8}$，$K_{aca}=\dfrac{P_{ca.8}}{\sum P_N^{'}}$ 各种确定计算负荷的方法比较 1.需要系数法　缺点：　适用范围： 2、二项式系数法（结果偏大） 3、利用系数法（结果接近实际但计算复杂） 小结	5min
作业、讨论题、思考题：	
课后小结：	

+++27

课次	28	班级	19级供电1班/供电秋季2班	时间	2020.11.15
授课方式	理论课√□　讨论课□　习题课□　实验课□　实训课□　其他□				

授课题目：　项目六 电力网经济运行及企业供电负荷计算

任务三、工厂供配电系统供电负荷的计算（二）

教学目的、要求：

1．学会工程实际中，几种功率因数的计算。

2．掌握提高工业企业功率因数的方法。

教学重点：提高工业企业功率因数的方法；

教学难点：提高工业企业功率因数的方法。

教　学　过　程	时间
复习上节内容引入新课： 新课：　任务三、工厂供配电系统供电负荷的计算（二）	5min
三、 工业企业供配电系统功率因数的提高 （一）几种功率因数的计算 1、瞬时功率因数 (1)瞬时功率因数：根据功率因数表直接读出，或根据同一时刻的功率表、电压表和电流表的读数计算得来。 $\cos\varphi=\frac{P}{S}=\frac{P}{\sqrt{3}UI}$ (2)适用：了解工厂生产过程中功率因数的变化情况，以便采取无功补偿措施。 2、均权功率因数： (1) 均权功率因数：以有功电能和无功电能为参数计算得到的功率因数。 $\cos\varphi_{wav}=\frac{A}{\sqrt{A^2+W^2}}=\frac{1}{\sqrt{1+\left(\frac{W}{A}\right)^2}}$ 3、最大负荷时的功率因素 4、总平均功率因数	25min
（二）提高工业企业功率因数的方法 1、提高自然功率因数 （1）正确选用异步电动机的型号和容量。 （2）电力变压器不宜轻载运行。 （3）合理安排电气设备的运行状况，限制电动机等设备空转。 2、 采用无功补偿提高功率因数 1.采用同步电动机（过励运行） 2.用静电电容器 1)补偿容量 Q_c $Q_c=P_{av}(tg\varphi_1-tg\varphi_2)=\alpha P_{ca}(tg\varphi_1-tg\varphi_2)=\alpha P_{ca}\cdot q_c$ 2)根据实际运行电压对补偿用电容器容量和个数作修正	30min

①容量修正 $Q_N^{'} = Q_N \cdot \frac{U^2}{U_N^2}$ ②个数 $n = \frac{总容量Q_C}{单台容量}$ 对于单相电容器来说，个数应取 3 的倍数，以便三相平衡。 3)补偿方式 个别补偿：直接安装在用电设备附近。 优点： 缺点：适用于： 分组（分散）补偿：将电容器组分散安装在各车间配电母线上。 集中补偿：将电容器组集中安装在总降压变电所二次侧（6—10Kv）或变配电所的一次侧（6—10Kv）或二次侧 380V 侧。 一般，对于补偿容量相当大的工厂，宜采用高压侧集中补偿和低压侧分散补偿相结合的方法；对于用电负荷分散及补偿容量小的工厂一般仅用低压补偿。 企业计算负荷计算例题讲解 小结	30min 5min
作业、讨论题、思考题：	
课后小结：	

+++++28

课次	29	班级	19 级供电 1 班/供电秋季 2 班	时间	2020.11.25
授课方式	理论课√□　讨论课□　习题课□　实验课□　实训课□　其他□				

授课题目：　**项目七　短路电流计算**

任务一、电力系统三相短路暂态过程分析(一)

教学目的、要求：

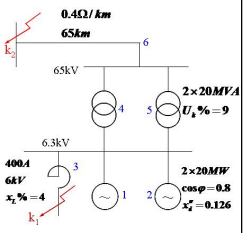
1．了解短路类型及其发生的原因和危害；了解计算短路电流的目的及假设。

2．掌握标幺值概念和电气元件阻抗标幺值的计算；掌握短路电流计算的方法。

教学重点：计算短路电流的目的；标幺值计算法

教学难点：标幺值计算法。

教　学　过　程	时间
复习上节内容引入新课：	5min
新课：　项目七　短路电流计算	
任务一、电力系统三相短路暂态过程分析（一）	
一、电力系统故障概述	10min
1、短路的概念和类型	
（1）短路：　（2）短路的类型：　基本形式：对称短路、不对称短路	10min
2、短路的原因及后果	
（1）短路原因：1）元件损坏，2）气象条件恶化，3)违规操作，4）其他原因	10min
（2）短路的危害后果：	
3、计算短路电流的目的：	
（1）选择电气设备的依据；　（2）继电保护的设计和整定； （3）电气主接线方案的比较和选择；（4）确定输电线路对通信的干扰； （5）确定分裂导线间隔棒的间距。	
（6）进行电力系统暂态稳定计算，研究短路对用户工作的影响；	10min
4、短路电流实用计算的基本假设	
(1)短路发生前，电力系统是对称的三相系统。(2)电力系统中所有发电机电势的相角在短路过程中都相同，频率与正常工作时相同。(3)变压器的励磁电流和电阻、架空线的电阻和对地电容均略去，都用纯电抗表示。(4)电力系统中各元件的磁路不饱和。(5)对负荷只作近似估计，近似计算中对离短路点较远的负荷忽略不计，只考虑接在短路点附近的大容量电动机对短路电流的影响。(6)短路故障是金属性短路，即短路点的阻抗为零。	25min
5、短路电流计算步骤(根据电路讲解)	
（1）确定计算条件，画计算电路图	
1）计算条件：　2）运行方式：	
（2）画等值电路，计算参数；	
（3）网络化简，分别求出短路点至各等值电源点之间的总电抗。	



1）角—星变换公式　　2）等值电源归算(电源合并)

（4）计算短路回路的总电抗。

（5）计算短路电流。

（复习）电力系统各元件电抗标幺值的计算

发电机：$X_{G*}=X_{NG*}\dfrac{S_B}{S_N}$　　变压器：$X_{T*}=X_{NT*}\dfrac{S_B}{S_N}=\dfrac{U_k\%}{100}\dfrac{S_B}{S_N}$

电抗器：

$$X_{L*}=\frac{X_L}{X_B}=\frac{X_L\%}{100}\frac{U_{NL}}{\sqrt{3}I_{NL}}\frac{S_B}{U_B^2}=\frac{X_L\%}{100}\frac{U_{NL}^2}{S_{NL}}\frac{S_B}{U_B^2}=X_{NL*}\frac{U_{NL}^2}{S_{NL}}\frac{S_B}{U_B^2}$$

输电线路：$X_{WL*}=\dfrac{X_{WL}}{X_B}=X_{WL}\dfrac{S_B}{U_B^2}$

有变压器联系的不同电压等级电网中各元件参数标幺值的计算

1. 先取某一电压级为基本电压级，并取基本电压级的基准电压U_B，将其他电压级下的电抗有名值归算到基本电压级下：

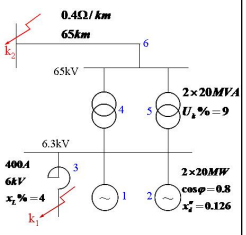
$$X_{(n)}=(K_1\cdot K_2\cdots\cdots)^2\cdot X$$

15min

2. 有变压器联系的网络标幺值计算的简化

条件：$U_B=U_{av}$，用U_{av}计算变比，并用U_{av}代替元件的U_N

例题:计算图所示电路中各点短路时,短路回路总阻抗.



分析讲解

5min

小结

作业、讨论题、思考题：

课后小结：

+29

课次	30	班级	19 级供电 1 班/供电秋季 2 班	时间	2020.11.27
授课方式	理论课 √□　讨论课□　习题课□　实验课□　实训课□　其他□				

授课题目：　**项目七　短路电流计算**

任务一、电力系统三相短路暂态过程分析（二）

教学目的、要求：

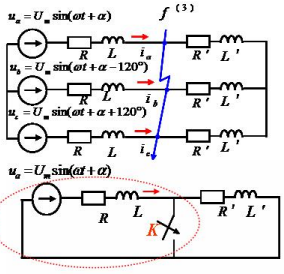
1．了解“无限大”电力系统的概念；

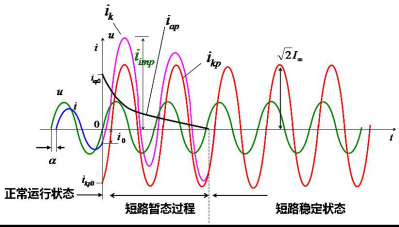
2．掌握供配电三相短路电流计算的方法和步骤。

教学重点：无限大容量系统三相短路电流计算

教学难点：供配电系统三相短路电流计算的方法

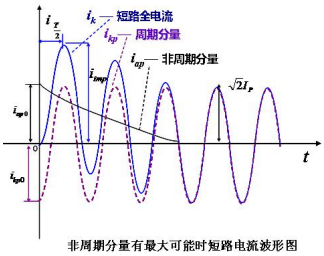
教　学　过　程	时间
复习引入新课：复习短路电流计算步骤	5min
新课：　　任务一、电力系统三相短路暂态过程分析（二） 二、无限大容量电源供电系统的三相短路 1、无限大容量电源的概念 （1）定义：系统的容量 S＝∞，系统的内阻抗 Z＝0（R＝0，X＝0）． “无限大”电力系统的特点：外电路电流变动时，其端口电压不变。	10min
（2）“无限大”系统的应用：　若系统阻抗不超过短路回路总阻抗的 15%，则系统看作“无限大系统”实用计算中，将配电网中的系统母线看作无限大容量系统。	20min
2、无限大容量电源供电系统发生三相短路的暂态过程 分析如图所示（a 相为例分析） $Ri_a + L\frac{di_a}{dt} = U_m \sin(\omega t + \alpha)$ $i_a = I_m \sin(\omega t + \alpha - \varphi) + Ce^{-\frac{t}{T_a}}$ t=0 代入得：（电感 L 电流不能突变） $C = I_{m[0]} \sin(\alpha - \varphi_{[0]}) - I_m \sin(\alpha - \varphi)$ 短路电流瞬时值得表达式为： $i_a = I_m \sin(\omega t + \alpha - \varphi) + [I_{m[0]} \sin(\alpha - \varphi_{[0]}) - I_m \sin(\alpha - \varphi)]e^{-\frac{t}{T_a}}$ 根据对称性原理可以得 b、c 相电流． 若短路前电路处于空载，则 $i_k = I_m \sin(\omega t + \alpha - \varphi) - I_m \sin(\alpha - \varphi)e^{-\frac{t}{T_a}} = i_{kp} + i_{ap}$ **无限大容量系统三相短路时短路电流波形图** **周期分量：**　$i_{kp} = I_m \sin(\omega t + \alpha - \varphi)$	





$$I_m = \frac{U_m}{Z} = \frac{U_m}{\sqrt{R^2 + (\omega L)^2}}$$

有效值：$I_{kP} = \frac{I_m}{\sqrt{2}} = \frac{U_m}{\sqrt{2}\sqrt{R^2 + (\omega L)^2}}$



非周期分量有最大可能时短路电流波形图

非周期分量：i_{ap} 大小与短路发生的时刻有关

当短路电流周期分量初始值等于负荷电流时，非周期分量为零。

非周期分量有最大可能时短路电流波形图

15min

3、短路冲击电流

短路电流最大可能的瞬时值． 即，在最严重短路情况下，三相短路电流的最大瞬时值称为冲击电流

i_{imp} 发生在短路后约半个周期（0.01s）

$$i_{imp} = I_m + I_m e^{-\frac{0.01}{T_a}} = I_m(1 + e^{-\frac{0.01}{T_a}}) = \sqrt{2} K_{imp} I_{kp}^{(3)}$$

Ki_{mp} 冲击系数，其大小取决于短路回路的参数。

短路全电流的有效值： $I_t = \sqrt{I_{kP}^2 + \left(I_{Pm} e^{-\frac{t}{T_a}}\right)^2}$

短路电流最大有效值：当 *t*=0.01s 时，*It* 就是短路电流最大有效值 *Iimp*。

5min

5min

$$I_{imp} = \sqrt{I_{kp}^2 + I_{ap(t=0.01)}^2} = \sqrt{I_{kp}{}^2 + (\sqrt{2} I_{kp} e^{-\frac{0.01}{T_a}})^2} = I_{kp}\sqrt{1 + 2(K_{imp} - 1)^2}$$

4、短路稳态电流： $I_\infty^{(3)} = I''^{(3)} = I_{kp}^{(3)}$

20min

5、短路容量：系统短路时，t 时刻的短路容量可用下式计算

5min

$$S_k = \sqrt{3} U_{av} I_k \qquad S_{k*} = \frac{\sqrt{3} U_{av} I_k}{\sqrt{3} U_B I_B} = \frac{I_k}{I_B} = I_{k*} = \frac{1}{X_{\Sigma*}}$$

例题讲解

（1题）

小结

作业、讨论题、思考题：6-1、6-2

课后小结：

++20

课次	31	班级	19级供电1班/供电秋季2班	时间	2020.11.29
授课方式	理论课√□　讨论课□　习题课□　实验课□　实训课□　其他□				

授课题目：　**项目七　短路电流计算**

任务二、电力系统三相短路电流的实用计算(一)

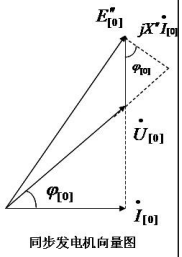
教学目的、要求：

1．了解起始次暂态电流I''和冲击电流i_{imp}的含义及使用计算方法；

2．了解异步电动机的短路反馈电流，熟悉网络变换方法和转移阻抗及等值系统的估算.

教学重点：网络变换方法和转移阻抗及等值系统的估算

教学难点：起始次暂态电流I''和冲击电流i_{imp}的含义

教　学　过　程	时间
复习引入新课：复习短路电流计算步骤 新课：　　任务二、电力系统三相短路电流的实用计算（一） 简介同步发电机发生三相突然短路分析	5min
一、起始次暂态电流I''和冲击电流i_{imp}的含义 1、起始次暂态电流就是短路电流周期分量的初值。 计算次暂态电流的关键在于确定系统各元件的次暂态参数。 2、冲击电流----短路全电流最大瞬时值 $i_{imp}=I_m+I_m e^{-\frac{0.01}{Ta}}=I_m(1+e^{-\frac{0.01}{Ta}})=K_{imp}I_m$ 发电机供给的短路电流计算 $i_{impG}=\sqrt{2}K_{impG}I_G''$	15min
二、起始次暂态电流I''和冲击电流i_{imp}的实用计算方法 静止元件的次暂态参数——次暂态电抗 = 稳态电抗$X''=X$ 同步发电机的次暂态参数——次暂态电抗和次暂态电势$X''=X_d''$、E'' 短路前的次暂态电势： $E_0''=E_{[0]}''=\sqrt{(U_{[0]}\cos\varphi)^2+(U_{[0]}\sin\varphi+I_{[0]})^2}$ $\approx U_{[0]}+I_{[0]}X''\sin\varphi_{[0]}$ 发电机的起始次暂态电流为：$I_G''=\dfrac{E''}{X_{Gf}''}$  同步发电机向量图 复杂网络中短路点的次暂态电流为：$I_f''=\dfrac{E_\Sigma''}{X_\Sigma''}$ 在实际工程中，往往设各电源的次暂态电势 $E''=1$，忽略负荷，近似计算起始次暂态电流，即 $I_f''=\dfrac{1}{X_\Sigma''}$	15min
三、异步电动机的短路反馈电流 1、异步电动机短路反馈电流的实用计算 （1）反馈电流周期分量初值计算：$I_M''=\dfrac{E_{M*}''}{X_{M*}''}I_{MN}$	15min

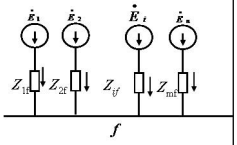
（2）短路冲击电流的计算： $i_{impM}=\sqrt{2}\dfrac{E''_{M*}}{X''_{M*}}K_{impM}I_{NM}=CK_{impM}I_{NM}$

四、网络变换和转移阻抗

35min

1、网络简化（结合电路图讲解）

（1）星角变换　（2）等值电源法　（3）对称性简化



2、转移阻抗

（1）定义：如图：

电源 *i* 对短路点 *f* 的转移阻抗 ： $Z_{if}=\dfrac{E_i}{I_i}$

短路点**的输入阻抗可表示为：**

$$Z_{\Sigma}=\frac{1}{\dfrac{1}{Z_{1f}}+\dfrac{1}{Z_{2f}}+\cdots+\dfrac{1}{Z_{mf}}}$$

（2）求转移阻抗的方法 ：（结合电路图讲解方法）

1）网络简化法　2）分布系数法　3)单位电流法

3、等值系统的估算

对于复杂的电力系统应该作如下处理；

1)对距离变电站电气距离小的发电厂应该详细画出实际的电气接线图，计算它对短路点提供的短路电流。

2)对距离变电站较远的系统其他部分，粗略地看作一个或者几个等值电源，这种等值电源就称为等值系统。

等值系统是用等值电势和等值电抗的串联电路表示。 $E=U_{av}$

等值电抗的确定：

(1)若已知母线发生三相短路时的 I''_{SA} **或** S''_{SA} **。** $X_{S*}=\dfrac{U_{av}^2}{S''_{SA}}/\dfrac{U_{av}^2}{S_B}=\dfrac{S_B}{S''_{SA}}$

2)当系统管理部门不能提供 I''_{SA} **或** S''_{SA} **。　可以从母线 A 上装设的开关设备的开断容量推算** $S_{CB}=S''_{SA}+S''_{GA}$　$X_{S*}=\dfrac{S_B}{S''_{SA}}=\dfrac{S_B}{(S_{CB}-S''_{GA})}$

5min

小结

作业、讨论题、思考题：补充思考题

课后小结：

课次	32	班级	19 级供电 1 班/供电秋季 2 班	时间	2020.12.02
授课方式	理论课√□　讨论课□　习题课□　实验课□　实训课□　其他□				

授课题目：　**项目七　短路电流计算**

任务二、电力系统三相短路电流的实用计算（二）

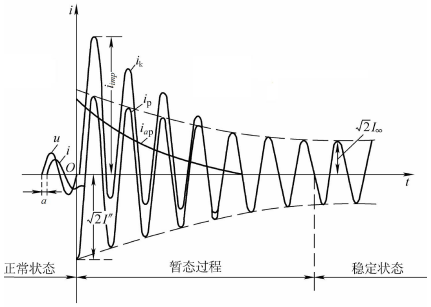
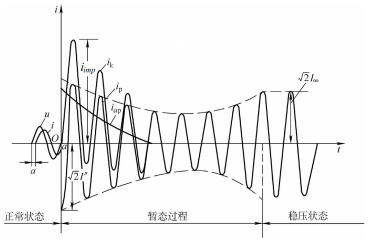
教学目的、要求：

1．了解有、无自动调节励磁装置的同步发电机三相短路电流变化及计算；

2．掌握运算曲线法计算短路电流的步骤与方法。

教学重点：由同步发电机供电的三相短路电流的变化及实用计算方法

教学难点：三相短路的实用计算

教　学　过　程	时间
复习引入新课：复习短路电流计算步骤	5min
新课：　　任务二、电力系统三相短路电流的实用计算（二） 五、运算曲线法的应用 （一）概述 1.有限大容量系统：（1）概念　（2）特点 2、影响短路电流周期分量的主要因素 （1）励磁自动调节装置的影响 1）发电机没有装设自动调节励磁装置： 认为整个短路过程中发电机的励磁电流不变，则感应电动势为常数。 短路电流变化曲线：如左图   2）发电机装有自动调节励磁装置： 自动调节励磁装置的作用：在发电机电压变动时，能自动调节励磁电流，维持发电机端电压在规定的范围内。短路电流变化曲线：如右图 （2）短路点到发电机间的电气距离的影响 电气距离愈大，发电机端电压下降得愈小，周期分量幅值的变化也愈小；反之则愈大。 电气距离的大小，可用计算电抗 *Xjs* 来衡量。计算电抗 *Xjs*，是把短路回路总电抗归算到电源总额定容量 *SN*∑ 下的标幺值，即 $X_{js*}=X_{\Sigma*}\dfrac{S_{N\Sigma}}{S_B}$	25min
（二）运算曲线法的应用 1、运算曲线概念：运算曲线法、运算曲线	55min

2、运算曲线的制作 3、运算曲线的运用（举例讲解） 1.绘制等值网络（忽略负荷，发电机以次暂态电抗x_d''代表）； 2．取S_B， $U_B = U_{av}$，计算各元件参数； 3．网络化简，求转移电抗； 4．求出个等值发电机对故障点的计算电抗：$X_{js*} = X_{nf*}\dfrac{S_{N\Sigma}}{S_B}$ 5．查曲线，求出I_{kp}。 6．短路点的短路电流： 例题讲解 小结	5min
作业、讨论题、思考题：6-3	
课后小结：	

++32

课次	33	班级	19 级供电 1 班/供电秋季 2 班	时间	2020.12.04
授课方式	理论课□　讨论课□　习题课□ √　实验课□　实训课□　其他□				

授课题目：　　**项目七　短路电流计算**

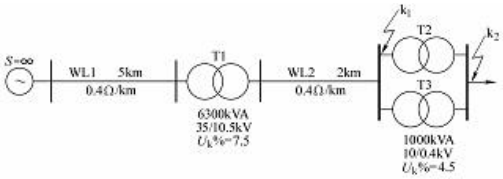
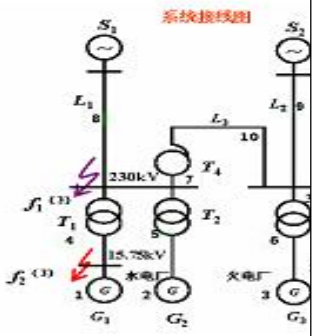
习题课(五)

教学目的、要求：

1．通过习题讲解和练习进一步熟悉和掌握电力系统三相短路的实用计算方法；

教学重点：三相短路的实用计算方法

教学难点：三相短路的实用计算方法

教　学　过　程	时间
复习引入新课：复习短路电流计算步骤	5min
新课：　　习题课(五) 1、计算右图 k_1点和 k_2点发生三相短路时的 I_k、i_{imp}、I_{imp}和 S_k 。 （1）分析题意 （2）选择基准值，计算电路参数并制作计算电路 （3）计算电源到各短路点的等值电抗， （4）计算三相断路时的各量值。　（5）小结  	30min
2、试计算下图所示系统在 f_1和 f_2 点三相短路时，0.2s 和 1s 时的短路电流。 各元件参数如下： G_1、G_2：2×257MVA，U_{GN}=15.75kV　$X_d''=0.2004$ G_3：412MVA，U_{GN}=20kV　$X_d''=0.296$ S_1、S_2均为无限大功率电源。 T_1、T_2：2×260MVA，U_K%=14.35 T_3：420MVA，U_K%=14.6 T_4：260MVA，U_K%=8 L_1：240km，X_0=0.411Ω/km  （1）分析题意 （2）选择基准值，作等值电路 ，计算元件参数标幺值 （3）网络化简　并计算转移电抗和计算电抗 (4)查运算曲的用求短路电流周期分量标幺值。 (5)计算短路电流有名值。	50min
小结	5min

作业、讨论题、思考题：6-4、6-5、6-6

课后小结：

++33

课次	34	班级	19级供电1班/供电秋季2班	时间	2020.12.09
授课方式	理论课√□　讨论课□　习题课□　实验课□　实训课□　其他□				

授课题目：　　任务三、电力系统不对称故障的分析计算

一、对称分量法的应用

教学目的、要求：

1. 熟悉对称分量法；
2. 掌握对称分量在不对称故障分析中的应用

教学重点：对称分量在不对称故障分析中的应用

教学难点：对称分量法

教　学　过　程	时间
复习引入新课：复习短路电流计算	5min
新课：　　任务三、电力系统不对称故障的分析计算（一） 一、对称分量法的应用 （一）对称分量法 1.对称分量法概念：（什么是对称分量法） 对称分量法的基本原理：任何一组不对称的三相系统的相量 $\dot{F}_a$、$\dot{F}_b$ 和 $\dot{F}_c$，都可分解成成三个对称的三相系统分量，即正序、负序和零序分量。 1）正序分量 $\dot{F}_{a1}$、$\dot{F}_{b1}$、$\dot{F}_{c1}$　　$\dot{F}_{b1}=\alpha^2\dot{F}_{a1}$，$\dot{F}_{c1}=\alpha^2\dot{F}_{b1}=\alpha\dot{F}_{a1}$ 2）负序分量 $\dot{F}_{a2}$、$\dot{F}_{b2}$、$\dot{F}_{c2}$　　$\dot{F}_{b2}=\alpha\dot{F}_{a2}$，$\dot{F}_{c2}=\alpha\dot{F}_{b2}=\alpha^2\dot{F}_{a2}$ 3）零序分量 $\dot{F}_{a0}$、$\dot{F}_{b0}$、$\dot{F}_{c0}$　　$\dot{F}_{b0}=\dot{F}_{c0}=\dot{F}_{a0}$，$\dot{F}_{c1}=\alpha^2\dot{F}_{b1}=\alpha\dot{F}_{a1}$ 三组对称量的关系： $\dot{F}_a=\dot{F}_{a1}+\dot{F}_{a2}+\dot{F}_{a0}$　　$\dot{F}_a=\dot{F}_{a1}+\dot{F}_{a2}+\dot{F}_{a0}$　　$\dot{F}_{a1}=\frac{1}{3}(\dot{F}_a+\alpha\dot{F}_b+\alpha^2\dot{F}_c)$ $\dot{F}_b=\dot{F}_{b1}+\dot{F}_{b2}+\dot{F}_{b0}$　　$\dot{F}_b=\alpha^2\dot{F}_{a1}+\alpha\dot{F}_{a2}+\dot{F}_{a0}$　　$\dot{F}_{a2}=\frac{1}{3}(\dot{F}_a+\alpha^2\dot{F}_b+\alpha\dot{F}_c)$ $\dot{F}_c=\dot{F}_{c1}+\dot{F}_{c2}+\dot{F}_{c0}$　　$\dot{F}_c=\alpha\dot{F}_{a1}+\alpha^2\dot{F}_{a2}+\dot{F}_{a0}$　　$\dot{F}_{a0}=\frac{1}{3}(\dot{F}_a+\dot{F}_b+\dot{F}_c)$ 2、对称分量性质： （1）正序分量的相量和为零，负序分量的相量和也为零，零序分量的相量不为零。 （2）若一组不对称三相系统的相量和为零，则该组不对称相量的不对称分量中，不包含有零序分量。 （3）在对称三相电路中，各序具有独立性。 $\Delta\dot{U}_1=Z_1\dot{I}_1$　$\Delta\dot{U}_2=Z_2\dot{I}_2$　$\Delta\dot{U}_0=Z_0\dot{I}_0$ 例题 7-1	35min
（二）对称分量在不对称故障分析中的应用 运用对称分量法应满足的条件：(1) 系统参数是线性的,(2)适用于原来三相阻抗对称，而只有故障点处发生三相不对称短路的电路。	45min

1、序阻抗的概念

正序阻抗：$Z_1=\dfrac{\Delta\dot{U}_1}{\dot{I}_1}$ 、负序阻抗：$Z_2=\dfrac{\Delta\dot{U}_2}{\dot{I}_2}$ 、零序阻抗：$Z_0=\dfrac{\Delta\dot{U}_0}{\dot{I}_0}$

电力系统元件序阻抗

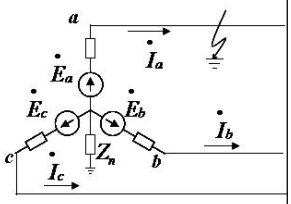
（1）静止元件——线路、变压器、电抗器等

任何静止元件正序阻抗与负序阻抗相等　　$Z_1=Z_2$

零序阻抗和正序（负序）阻抗不同　　$Z_0\neq Z_1$、$Z_0\neq Z_2$

（2）旋转元件——发电机和电动机等

旋转元件的正序、负序、零序阻抗互不相等。



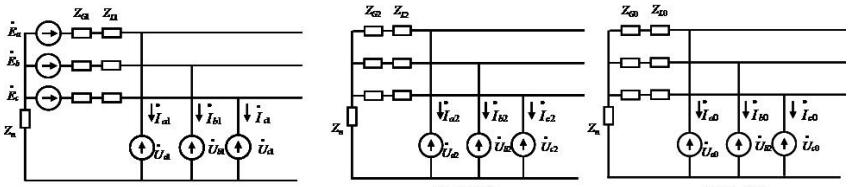
不对称短路系统图

2、对称分量法在不对称短路计算中的应用

以简单电力系统为例说明应用的原理

A 相短路，短路点出现不对称

$\dot{U}_a=0$ ，$\dot{U}_b\neq 0$ ，$\dot{U}_c\neq 0$



正序网络　　负序网络　　零序网络

$\dot{E}_\Sigma-\dot{I}_{a1}Z_{1\Sigma}=\dot{U}_{a1}$

$0-\dot{I}_{a2}Z_{2\Sigma}=\dot{U}_{a2}$　称为序网方程，该方程对各种不对称短路都适用。

$0-\dot{I}_{a0}Z_{0\Sigma}=\dot{U}_{a0}$

根据不对称短路的类型可以得到三个说明短路性质的补充条件，它们表示了各种不对称短路的特性，通常称为故障条件或边界条件。

小结　　5min

作业、讨论题、思考题：

课后小结：

+34

课次	35	班级	19 级供电 1 班/供电秋季 2 班	时间	2020.12.11
授课方式	理论课 √□　讨论课□　习题课□　实验课□　实训课□　其他□				

授课题目：　　任务三、电力系统不对称故障的分析计算（二）

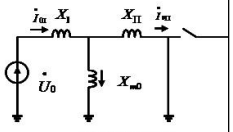
二、电力系统元件的序阻抗及等值电路

教学目的、要求：

1．学会确定电力系统各元件的序阻抗及等值电路；

教学重点：变压器的各序阻抗和等值电路

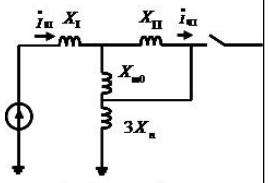
教学难点：变压器的各序阻抗和等值电路

教　学　过　程	时间
复习引入新课：复习短路电流计算	5min
新课：　　任务三、电力系统不对称故障的分析计算（二） 二、确定电力系统元件的序阻抗及等值电路 （一）同步发电机的各序电抗 1、同步发电机的正序电抗——正常对称运行时的电抗 2、同步发电机的负序电抗 3、同步发电机的零序电抗——与电机结构有关	5min
（二）异步电动机的各序电抗 正序电抗(在扰动瞬间时)　X''；负序电抗：$X_2 \approx X''$；零序电抗：$X_0 = \infty$	5min
（三）输电线路的各序阻抗 1、架空线的各序阻抗 线路的负序电抗等于正序电抗：　$X_1 = X_2$；　零序电抗 2、电缆线路 负序电抗等于正序电抗　电缆正序电抗小于架空线路的正序电抗 零序电抗：一般通过试验确定	15min
（四）变压器的各序阻抗和等值电路 1、概述： （1）正序电抗=负序电抗 （2）零序电抗与变压器的结构（磁路系统的结构）、联接组别以及中性点接地方式等都有密切关系。 （3）变压器零序电抗与铁心结构的关系 （4）变压器零序电抗与三相绕组接线方式的关系 2、变压器的各序阻抗和等值电路 （1）双绕组变压器的零序电抗和等值电路  零序等值电路	55min

1）Yn，d 接线变压器：$X_0 = X_1 + \dfrac{X_{II}X_{m0}}{X_{II}+X_{m0}}$；

变压器 Yn 侧中性点经电抗 Xn 接地：

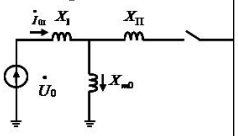
$$X_0 = X_1 + \frac{X_{II}X_{m0}}{X_{II}+X_{m0}} + 3X_n$$



2）Yn，y 接线变压器 ：$X_0 = X_1 + X_{m0}$

3）Yn，yn 接线变压器

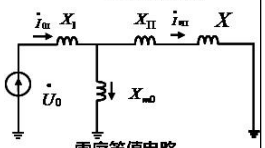
A、外接电路中性点不接地，无法构成零序电流通路，变压器二次侧无零序电流。$X_0 = X_1 + X_{m0}$



零序等值电路

B、外接电路中至少有一个接地中性点。

$$X_0 = X_1 + \frac{(X_{II}+X)X_{m0}}{X_{II}+X+X_{m0}}$$



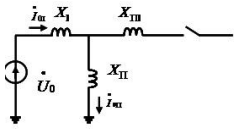
零序等值电路

（2）三绕组变压器的零序电抗和等值电路

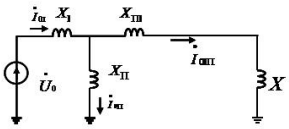
1）Yn,d,y 接线三绕组变压器 $X_0 = X_I + X_{II}$

2）Yn，d，yn 接线三绕组变压器 $X_0 = X_1 + \dfrac{X_{II}(X_{III}+X)}{X_{II}+X_{III}+X}$

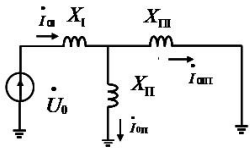
3）Yn，d，d 接线三绕组变压器 $X_0 = X_1 + \dfrac{X_{II}+X_{III}}{X_{II}+X_{III}}$



Yn，d，y零序等值电路



Yn，d，yn 零序等值电路



Yn，d，d 零序等值电路

小结

5min

作业、讨论题、思考题：

课后小结：

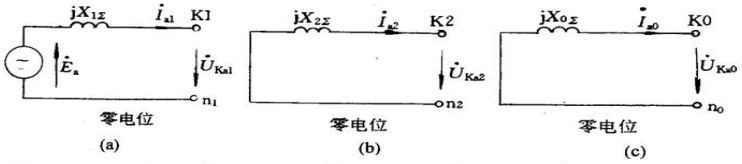
35+

课次	36	班级	19 级供电 1 班/供电秋季 2 班	时间	2020.12.13
授课方式	理论课 √□　讨论课□　习题课□　实验课□　实训课□　其他□				

授课题目：　任务三、电力系统不对称故障的分析计算（三）
三、电力系统简单不对称故障分析计算

教学目的、要求：
1．掌握配电网络不对称短路电流的计算方法。

教学重点：配电网络不对称短路电流的计算方法
教学难点：同上

教　学　过　程	时间
复习引入新课：复习短路电流计算步骤	5min
新课：任务三、电力系统不对称故障的分析计算（三） 三、电力系统简单不对称故障分析计算 用对称分量法计算电力系统的不对称故障的步骤： (1) 计算电力系统各元件的各序阻抗。 (2) 制定电力系统的各序网络。 (3) 由各序网络和故障条件列出对应方程。 (4) 从联立方程组解出故障点电流和电压的各序分量，将相应的各序分量相加，以求得故障点的各相电流和各相电压。 (5) 计算各序电流和各序电压在网络中的分布，进而求出各指定支路的各相电流和指定节点的各相电压。 不对称短路计算：1.不对称故障的序网图 1）正序：　2）负序：　3）零序：  $\dot{E}_A - j\dot{I}_{A1}X_{1\Sigma} = \dot{U}_{A1}$　$\dot{U}_{A2} = -j\dot{I}_{A2}X_{2\Sigma}$　$\dot{U}_{A0} = -j\dot{I}_{A0}X_{0\Sigma}$	10min 20min
（一）单相接地短路 1、故障条件：$\dot{U}_{Ka} = 0$　$\dot{I}_b = 0$　$\dot{I}_c = 0$ 2、边界条件：$\dot{U}_{Ka1} + \dot{U}_{Ka2} + \dot{U}_{Ka0} = 0$　$\dot{I}_{a1} = \dot{I}_{a2} = \dot{I}_{a0}$ 得：$\dot{I}_{a1} = \dfrac{\dot{E}_a}{jX_{1\Sigma} + j(X_{2\Sigma} + X_{0\Sigma})}$，短路电流为：$\dot{I}_K^{(1)} = \dfrac{3\dot{E}_a}{jX_{1\Sigma} + j(X_{2\Sigma} + X_{0\Sigma})}$	20min
（二）两相短路 1、故障条件：$\dot{U}_{Kb} = \dot{U}_{Kc}$　$\dot{I}_a = 0$　$\dot{I}_b = -\dot{I}_c$	20min

2、边界条件：$\dot{U}_{Ka1}=\dot{U}_{Ka2}$ $\dot{I}_{a1}=-\dot{I}_{a2}$ $\dot{I}_{a0}=0$ 得： $\dot{I}_{a1}=-\dot{I}_{a2}=\frac{\dot{E}_a}{jX_{1\Sigma}+jX_{2\Sigma}}$ 短路电流：$I_K^{(2)}=\frac{\sqrt{3}E_a}{X_{1\Sigma}+X_{2\Sigma}}$ （三）两相接地短路 1、故障条件：$\dot{I}_a=0$ $\dot{U}_b=\dot{U}_c=0$ 2、边界条件：$\dot{I}_{a1}+\dot{I}_{a2}+\dot{I}_{a0}=0$ $\dot{U}_{a1}=\dot{U}_{a2}=\dot{U}_{a0}=\frac{1}{3}\dot{U}_a$ （四） 正序定则 $I_{a1}^{(n)}=\frac{E_{a1\Sigma}}{X_{1\Sigma}+X_{\Delta}^{(n)}}$ 运用正序等效定则，计算不对称短路得步骤 1） 电力系统元件各序参数的计算。 （2）计算正常运行情况，求取各电源的次暂态电势或短路点的开路电压。 （3）根据短路类型，作出相应的等值序网络，并计算系统对短路点的正序、负序、零序及附加等效阻抗。 （4）计算短路点的正序电流。 （5）根据各序电流间的关系求取负序和零序电流，并求解各序电压 。 （6）用对称分量法，将短路点各序电流、序电压变换为短路点的不对称三相电流和三相电压 小结	20min 10min 5min
作业、讨论题、思考题：	
课后小结：	

+++36

课次	37	班级	19 级供电 1 班/供电秋季 2 班	时间	2020.12.16
授课方式	理论课☐ 讨论课☐ 习题课☐√ 实验课☐ 实训课☐ 其他☐				

授课题目：

项目七　短路电流计算

习题课(六)

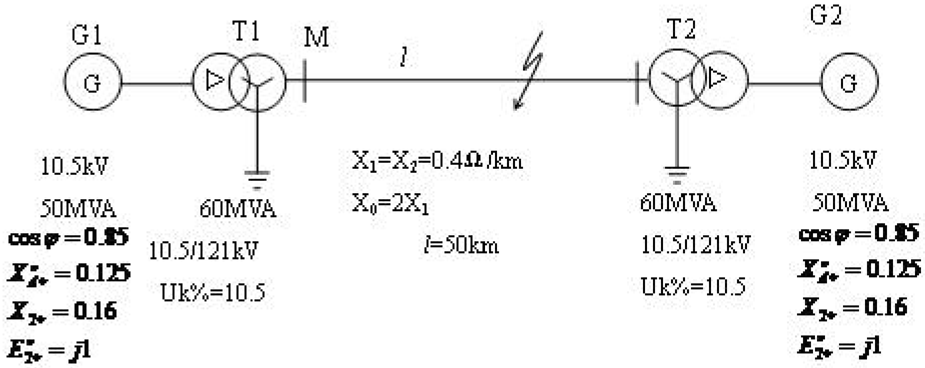
教学目的、要求：

1．通过习题讲解和练习进一步熟悉和掌握电力系统三相不对称短路的计算方法；

教学重点：三相不对称短路的计算方法

教学难点：同上

教　学　过　程	时间
复习引入新课：复习短路电流计算步骤	5min
新课：　习题课(六)	
1、已知某电力系统如图所示，各元件电抗均已知，当厂点发生不对称故障（a相短路；b、c两相短路；b、c两相接地短路）时，求短路点各序电流、电压及各相电流、电压。	60min



（1）分析题意

（2）选择基准值，计算电路参数

（3）以 a 相为基准相，做序网图，求等值电抗

（4）绘制 a 相短路、b、c 两相短路；b、c 两相接地短路时的复合序网图　（20min）

（5）求各序电流、电压及各相电流、电压。　。　（6）小结

2、试用正序定则计算上题中各故障点故障相短路电流的绝对值。

（1）分析题意

（2）计算各种故障时的附加电抗。

(5)计算短路电流。　（5min）

小结

作业、讨论题、思考题：6-4、6-5、6-6

课后小结：

+37

课次	38	班级	19 级供电 1 班/供电秋季 2 班	时间	2020.12.18
授课方式	理论课√□　讨论课□　习题课□　实验课□　实训课□　其他□				

授课题目：　项目八　电力系统运行稳定性

任务一、简单电力系统运行的静态稳定性

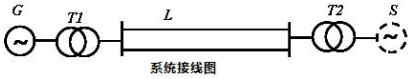
教学目的、要求：

1. 了解简单电力系统静态稳定性的概念 ；
2. 了解提高电力系统静态稳定性的措施。

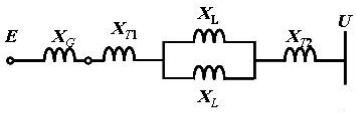
教学重点：提高电力系统静态稳定性的措施。

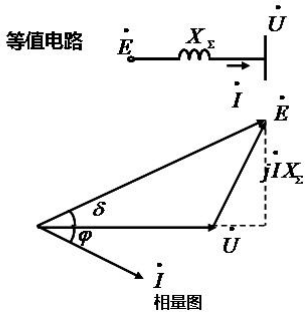
教学难点：同步发电机的机电特性。

教　学　过　程	时间
复习引入新课：复习不对称短路电流计算方法	5min
新课：　项目八　电力系统运行稳定性 任务一、简单电力系统运行的静态稳定性 概述：电力系统稳定问题的提出 一、电力系统运行稳定性的概念	15min
电力系统稳定性问题： 电力系统稳定分类：　静态稳定　暂态稳定 二、同步发电机的机电特性 同步发电机的功角特性 系统总阻抗： $X_\Sigma = X_d + X_{T1} + \frac{1}{2}X_L + X_{T2}$ 发电机输送到系统中去的有功功率 $P = \frac{EU}{X_\Sigma}\sin\delta$ δ 为功角或功率角 传输功率 P 与功角 δ 的关系，称为“功角特性”或“功率特性” 分析： 三、电力系统静态稳定 1、概念： a 点分析：正的 $\Delta\delta$ 干扰；负的 $\Delta\delta$ 干扰 A 点稳定 b 点分析：正的 $\Delta\delta$ 干扰；负的 $\Delta\delta$ 干扰 b 点不稳定 稳定极限功率	25min 20min

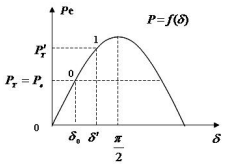


系统接线图

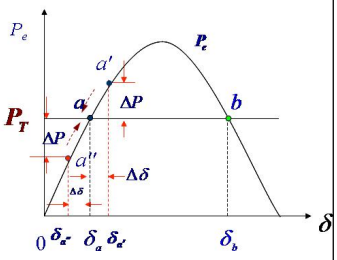




相量图



功角特性



2、电力系统静态稳定的实用判据 $\frac{dP}{d\delta}>0$ 静态稳定储备系数： $K_P=\frac{P_{s1}-P_0}{P_0}\times 100\%$ 3、负荷的静态稳定 四、提高系统静态稳定性的措施 1．采用自动调节励磁装置 2．减小元件的电抗 (1)采用分裂导线；(2)提高线路额定电压等级；(3)采用串联电容补偿。 3．改善系统的结构和采用中间补偿设备 (1)改善系统结构。 (2)采用中间补偿设备。	20min
小结	5min
作业、讨论题、思考题：补充思考题	
课后小结：	

++38

课次	39	班级	19 级供电 1 班/供电秋季 2 班	时间	2020.12.20
授课方式	理论课√□　讨论课□　习题课□　实验课□　实训课□　其他□				

授课题目：　项目八　电力系统运行稳定性

任务二、电力系统暂态稳定性

教学目的、要求：

1．了解简单电力系统暂态稳定性的概念 ；

2．了解提高电力系统暂态稳定性的措施。

教学重点：提高电力系统暂态稳定性的措施。

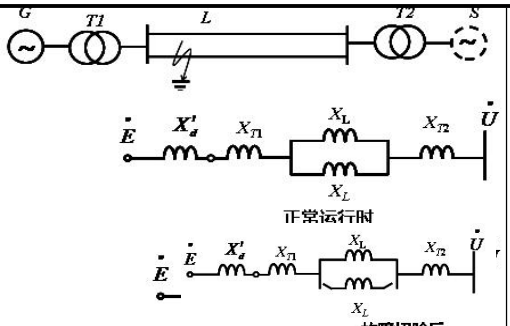
教学难点：同上。

教　学　过　程	时间
复习引入新课：复习不对称短路电流计算方法	5min
新课：　项目八　电力系统运行稳定性 任务二、电力系统暂态稳定性 一、暂态稳定分析计算的基本假设 1、电力系统机电暂态过程特点 引起电力系统大扰动的原因主要有： （1）负荷的突然变化，如投入或切除大容量的用户等。 （2）切除或投入系统的主要元件，如发电机、变压器及线路等。 （3）发生短路故障。 短路故障对暂态稳定的影响的严重程度顺序是： 三相短路最为严重、两相接地短路、两相短路、单相短路。 2、基本假设 (1)忽略发电机定子电流的非周期分量和与它相对应的转子电流的周期分量。 (2)发生不对称故障时，不计零序和负序电流对转子运动的影响。 (3)忽略暂态过程中发电机的附加损耗。 (4)不考虑频率变化对系统参数的影响。	20min
二、简单电力系统暂态稳定的分析计算 1．各种运行情况下的功率特性 正常运行时总阻抗： $X_{\Sigma} = X_d + X_{T1} + \frac{1}{2}X_L + X_{T2}$ 功率特性： $P_I = \frac{E_0 U_0}{X_1}\sin\delta = P_{m1}\sin\delta$	40min

发生短路时：

发电机与系统间的转移阻抗：

$$X_{II}=X_{I}+\frac{(X'_d+X_{T1})(\frac{1}{2}X_L+X_{T2})}{X_{\Delta}}$$



功率特性：

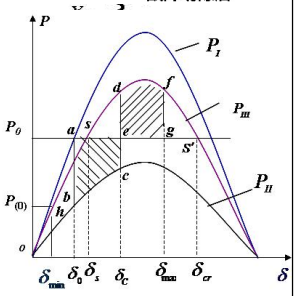
$$P_{II}=\frac{E_0U_0}{X_{II}}\sin\delta=P_{mII}\sin\delta$$

故障切除后：

总阻抗：

$$X_{III}=X'_d+X_{T1}+X_L+X_{T2}$$

$$P_{III}=\frac{E_0U_0}{X_{III}}\sin\delta=P_{mIII}\sin\delta$$



功角特性：

2、 大扰动后发电机转子的相对运动

结合图分析，δ 为功角或功率角

3．等面积定则

加速面积　减速面积

确定功角最大值 $\delta_{\max}$，

确定摇摆最小角度 $\delta_{\min}$

加速面积等于减速面积——等面积定则

20min

4．极限切除角

$$\delta_{c\cdot\lim}=\arccos\frac{P_0(\delta_{cr}-\delta_0)+P_{mIII}\cos\delta_{cr}-P_{mII}\cos\delta_0}{P_{mIII}-P_{mII}}$$

5．电力系统暂态稳定判断的比较法

$\delta_C<\delta_{C\cdot\lim}$

三、提高电力系统暂态稳定性的措施

1．故障的快速切除和自动重合闸装置的应用

2．提高发电机输出的电磁功率

(1)对发电机实行强行励磁。

(2)电气制动。(3)变压器中性点经小电阻接地。

3．减少原动机输出的机械功率

5min

小结

作业、讨论题、思考题：补充思考题

课后小结：

+39

<table>
<tr><td>课次</td><td>40</td><td>班级</td><td>19 级供电 1 班/供电秋季 2 班</td><td>时间</td><td>2020.12.30</td></tr>
<tr><td>授课方式</td><td colspan="5">理论课□　讨论课□　习题课√□　实验课□　实训课□　其他□</td></tr>
<tr><td colspan="6">授课题目：　**课程复习**</td></tr>
<tr><td colspan="6">教学目的、要求：
1. 掌握：基本理论、基本概念、基本计算。
2. 熟悉：基本理论、基本概念、基本计算。</td></tr>
<tr><td colspan="6">教学重点：
教学难点：短路电流效应计算应用。</td></tr>
<tr><td colspan="5">教　学　过　程</td><td>时间</td></tr>
<tr><td colspan="5">1、 课程章节内容梳理。
2、 典型例题讲解，
3、 答疑
4、 小结</td><td>40min
25min
20min
5min</td></tr>
<tr><td colspan="6">作业、讨论题、思考题：</td></tr>
<tr><td colspan="6">课后小结：</td></tr>
</table>

++40