



新疆大学

Xinjiang University

电力系统分析

课题组

电气工程学院

电气工程及其自动化专业



◆ 教材:

陈珩. 电力系统稳态分析. 中国电力出版社

李光琦. 电力系统暂态分析. 中国水利电力出版社

◆ 参考书:

➤ 何仰赞. 电力系统分析 (上、下). 华中科技大学出版社

➤ 夏道止. 电力系统分析. 中国电力出版社



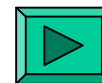


1、课程的性质和目的：

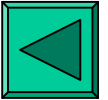
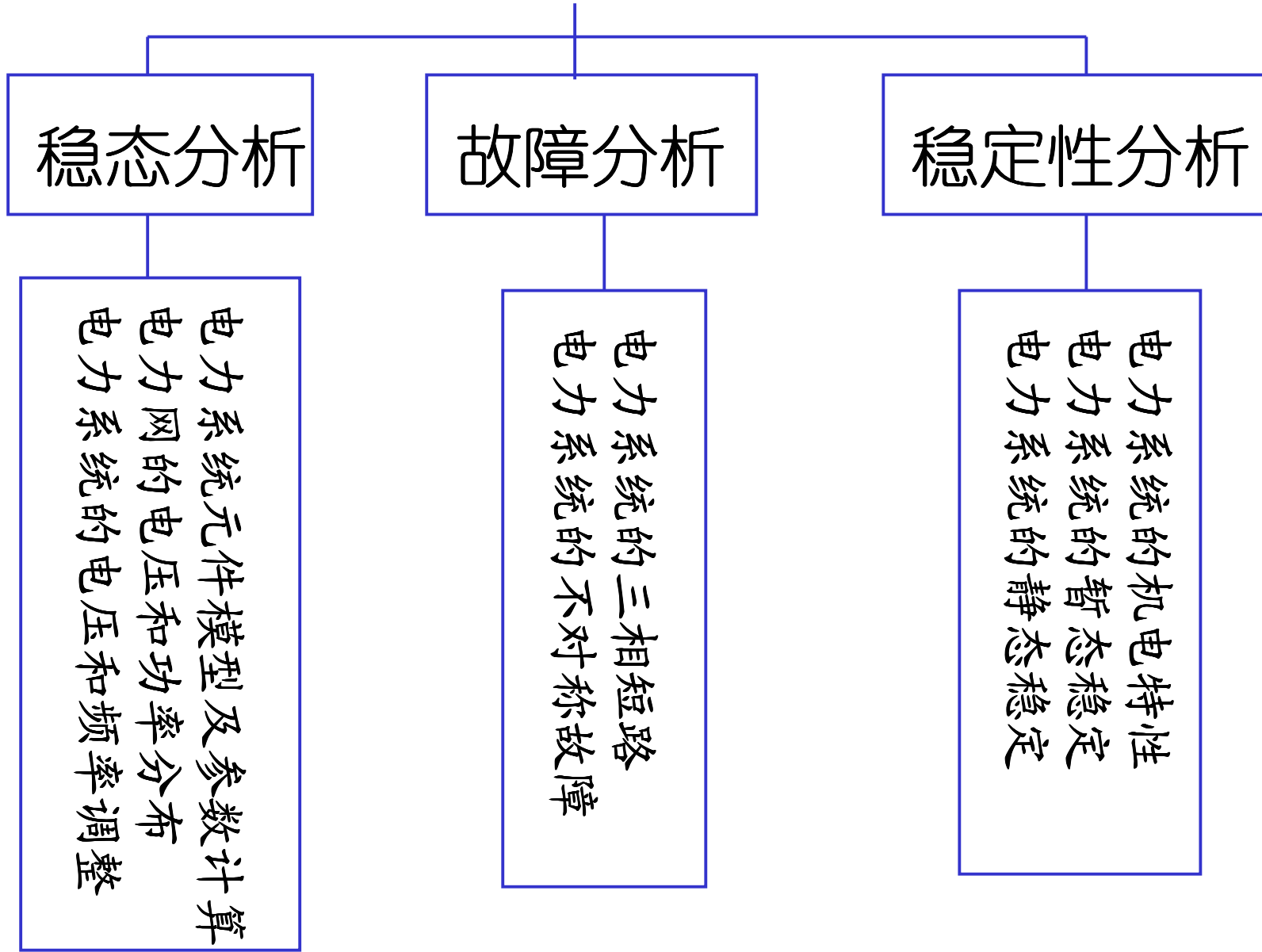
本课程是电气工程及其自动化专业的主要专业课程之一，是一门理论性和实践性都很强的课程。

通过本课程的学习，使学生对电力系统的组成、运行特点、分析方法有全面的了解；熟悉电力系统各元件的特点、数学模型和相互间的关系，理解并掌握电力系统稳态和暂态分析分析的物理概念、原理和方法；并在工程分析计算和解决实际问题的能力上得到训练和培养，为今后进一步的学习和在实际中的应用打下一定的基础。

2、课程主要内容



电力系统分析





第一章 电力系统的基本概念

- ◆ 电力系统的组成
- ◆ 对电力系统运行的基本要求
- ◆ 电力系统的负荷和负荷曲线
- ◆ 电力系统的额定电压、电力输送中电压与输送容量的关系
- ◆ 电力传输的接线方式

1-1 电力系统及其发展

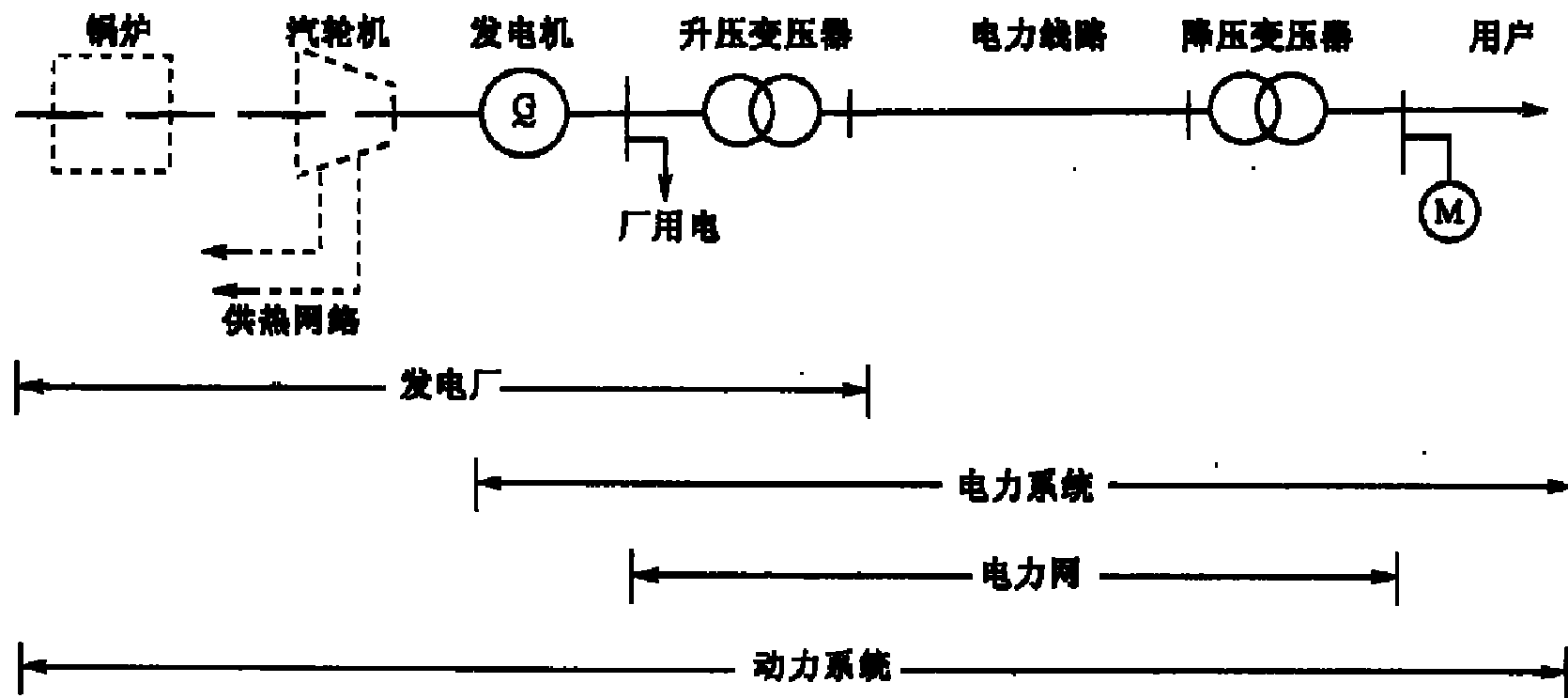
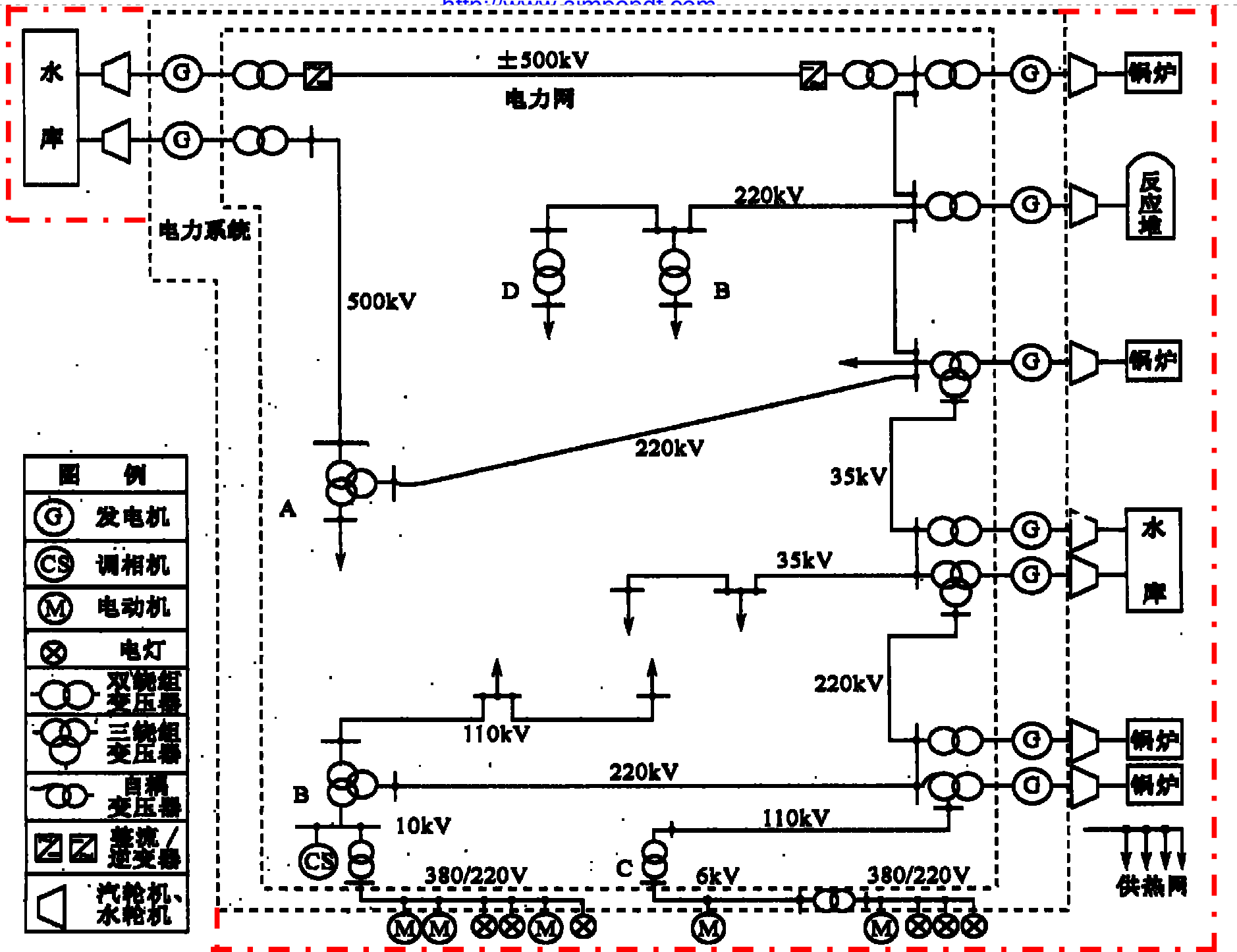


图 1-1 动力系统、电力系统和电力网示意图





电力系统的组成

- (1) 电力系统：生产、输送、分配与消费电能的系统。包括：发电机、电力网和用电设备组成。
- (2) 电力网：电力系统中输送与分配电能的部分。
- (3) 动力系统：动力部分与电力系统组成的整体。



电力工业发展概况

1. 电力系统的发展简史
2. 我国的电力系统

1. 高压输电的发展历程 (1)

(1) 高压输电的出现与电压等级的提高

- ◆1890年，英国从Deptford到伦敦45km的10kV线路
- ◆1891年，德国从Lauffen到法兰克福170km的15kV线路
- ◆远距离大容量输电是提高输电电压的动力。

表 1 交流输电各电压等级首次出现的时间

电压等级 / kV	10	50	110	220	287	380	525	735	1150
首次出现年份	1890	1907	1912	1926	1936	1952	1959	1965	1985

表 2 交流输电各电压等级下输电线路的波阻抗与输送容量

系统电压 U / kV	220	330	500	750	1000	2000
波阻抗 / Ω	400	303	278	256	250	250
输送容量 P / MW	121	360	900	2200	4000	16000

1. 高压输电的发展历程 (2)

(2) 特高压 (1000kV以上) 输电的出现与展望

- ◆习惯上, 1~100kV为高压, 100~1000kV为超高压, 1000kV以上为特高压。
- ◆20世纪60年代国际上开始特高压输电的研究
- ◆1985年苏联1228km的1150kV, 但至今运行于500kV
- ◆20世纪90年代日本300km的1000kV, 但至今运行于500kV
- ◆目前国际上实际投运的最高电压等级750kV(加、美、俄、巴西、南非等国)
- ◆我国西北建设750kV

1. 高压输电的发展历程 (3)

(3) 直流输电、紧凑型输电和灵活交流输电

- ◆直流输电在远距离输电中具有优越性，我国已有多条 $\pm 500\text{kV}$ 输电线路。

表 3 直流输电电压与输送容量

电压 $\pm U/\text{kV}$	± 400	± 500	± 600	± 700	± 800
双极容量 P/MW	500~1000	1000~3000	2500~4000	4000~6000	6000~9000
电流 I/A	600~1250	1000~3000	2100~3300	2150~4300	2800~5600

1. 高压输电的发展历程（4）

- ◆高自然功率的紧凑型输电线路（俄罗斯、巴西），我国500kV紧凑型输电线路北京昌平到房山。
- ◆灵活输电又称柔性输电可以跟灵活的调节电网功率，国外已有较广泛应用。
- ◆其他：超导输电、低温输电、多相输电。

2. 中国电力工业的现状与展望

(3) 电压等级、输电线路长度与变电设备容量

◆除西北地区以外:

交流 : 500kV,220kV,110kV,35kV,10kV
直流: $\pm 500\text{kV}$

◆西 北 地 区 :

750kV,330kV,220kV,10kV,35kV,10kV

表 8 1999 年我国 35 kV 及以上电压等级输电线路长度及变电设备容量

电压等级 / kV	35	66	110	220	330	500	总 计
线路长度 / km	281884	60574	190961	121790	7949	22927	686084
变电容量 / MVA	178540	42280	324060	280270	12480	80120	917750

2. 中国电力工业的现状与展望

(4) 缺电问题与城乡电网改造 (第二次课开始)

1970年以来出现缺电问题

1998年低用电水平下的电力平衡。

电力工业跟不上国民经济的发展速度是造成缺电的重要原因

表9 我国国内生产总值(GDP)及发电量年增长率情况比较

年份	1980—1985	1986—1990	1991—1995	1996—2000	2001	2002
年增长率						
GDP年增长率/%	10.71	7.87	12.0	8.28	7.3	8
发电量年增长率/%	6.4	8.6	10.1	6.3	5.8	≈12

2. 中国电力工业的现状与展望

- ◆我国在发电、输电、配电各方面投资比例失调是缺电的另一个方面原因。发电、输电、配电比例
- ◆美国 1:0.43:0.7 日本 1:0.47:0.68 英国 1:0.45:0.78
我国 1:0.21:0.12
- ◆我国居民用电比例较低

表 10 近 15 年我国用电构成情况

%

年份	各行业用电构成					
	重工业	轻工业	农业	交通通信	市政商业	城乡居民生活
1987 年	64.5	16.5	7.1	1.6	4.8	5.5
1991 年	61.8	16.0	6.9	1.7	5.6	8.5
1995 年	59.8	15.0	6.2	1.8	6.9	10.2
1999 年	57.5	14.4	5.75	1.96	8.2	12.2

2. 中国电力工业的现状与展望

- ◆我国人均电力消费极低，中国电力工业有很大的发展空间

表 11 1994 年中国及各主要发达国家年人均电量

国 家	加拿大	美 国	法 国	俄罗斯	英 国	日 本	德 国	意大利	中 国
kW·h/人年	15580	11890	6250	6130	6070	5920	5750	4160	640

(5) 中国电力工业展望

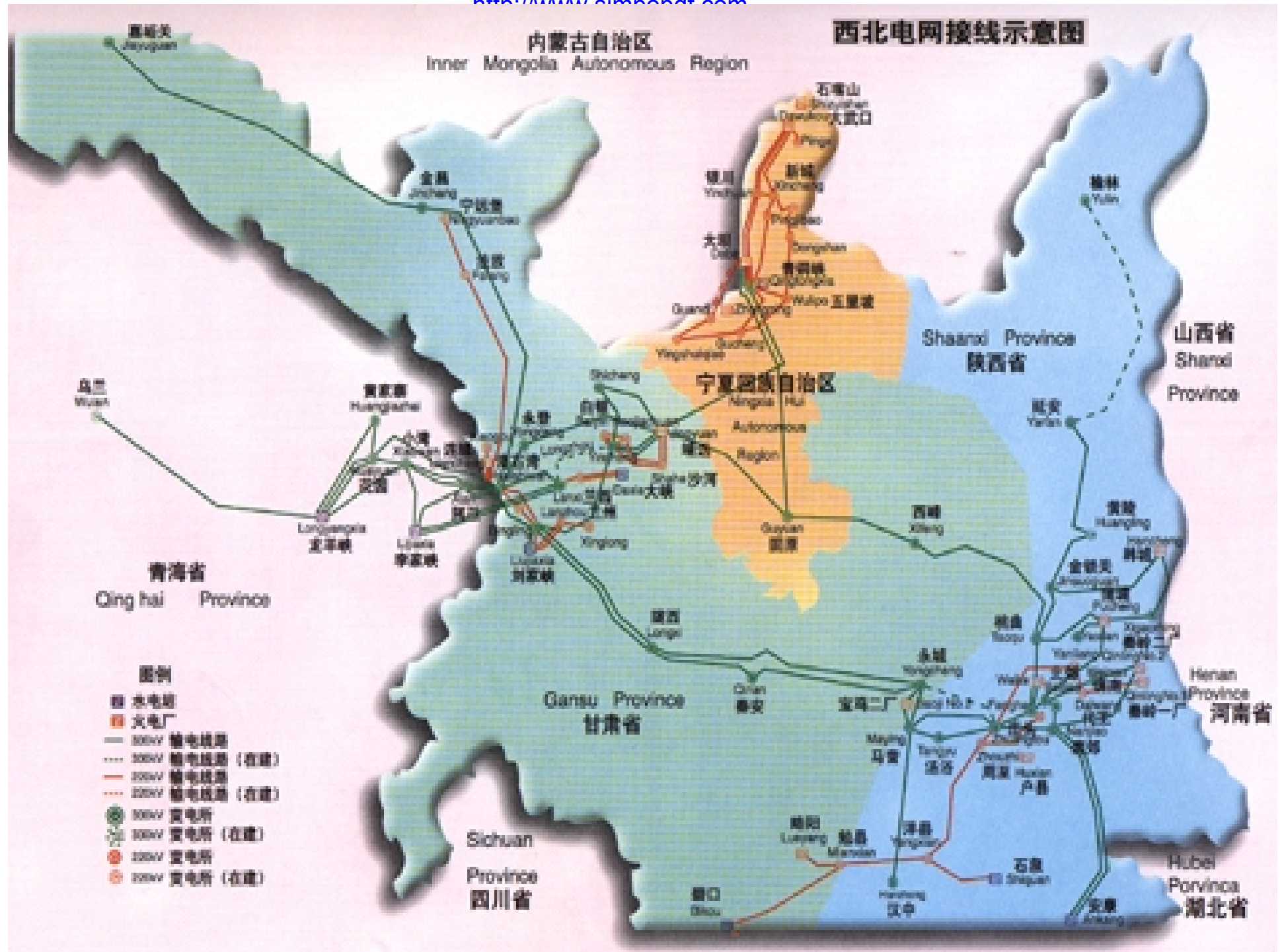
- ◆“十五”期间，GDP年增长率7%~8%，电力增长率将达6%以上。
- ◆2010年，25000亿kW.h

2. 中国电力工业的现状与展望

- ◆2015年，30000亿kW.h
- ◆2020年，36000亿kW.h
- ◆高压远距离输电是我国面临的主要问题（水电、火电），必须出现新的电压等级。
- ◆电能质量问题是我国电力发展必须面临的又一个问题。



西北电网接线示意图





对电力系统运行的基本要求

1. 电力系统的运行特点

- 电能不能大量的存贮
- 电力系统的暂态过程非常短促
- 与各行业和人民生活密切相关

2. 对电力系统运行的基本要求

- 提供充足的电能
- 保证安全可靠的供电
- 保证良好的电能质量
- 良好的经济性
- 环保问题

1-2 电力系统的负荷和负荷曲线

一. 电力系统的负荷

- 1、**负荷**：系统中所有电力用户的用电设备所消耗的电功率总和。也称**电力系统的综合用电负荷**。是所有用户的负荷总加。
- 2、**负荷分类（按负荷性质分类）**：工业、农业、交通运输业、商业、生活等。
- 3、**电力系统的供电负荷**：综合用电负荷加上电力网的功率损耗。
- 4、**电力系统的发电负荷**：供电负荷加上发电厂厂用电消耗的功率。

1-2 电力系统的负荷和负荷曲线

二. 负荷曲线: 用曲线描述某一时间段内负荷随时间变化的规律

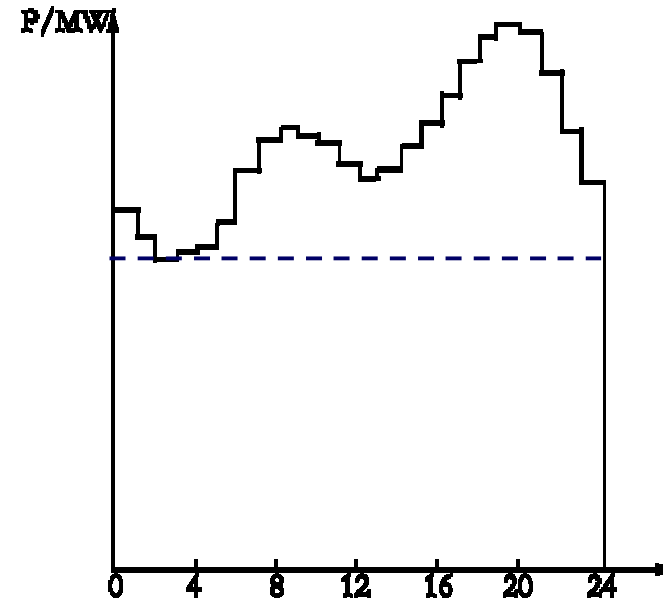
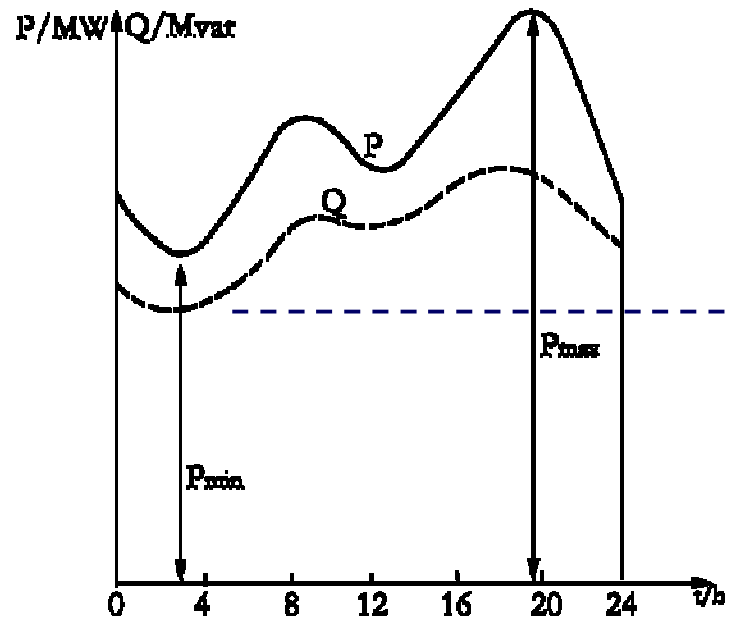
1. 日负荷曲线

一天的总耗电量

$$A_d = \int_0^{24} P dt$$

日平均负荷

$$P_{av} = \frac{A_d}{24} = \frac{1}{24} \int_0^{24} P dt$$



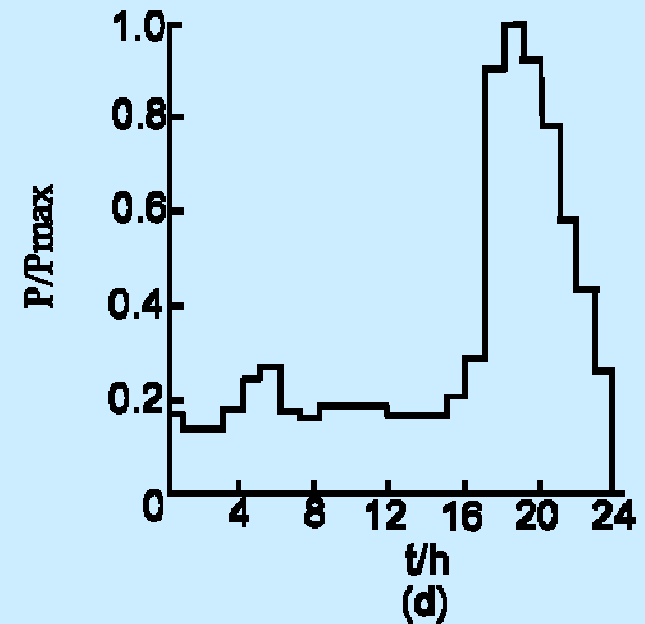
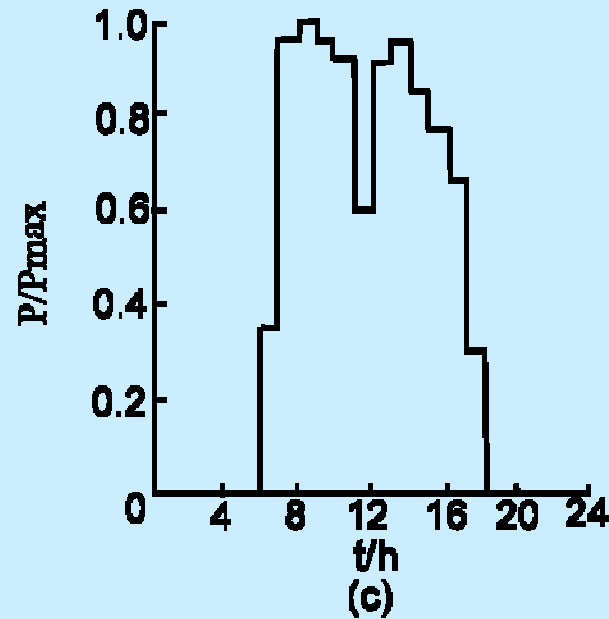
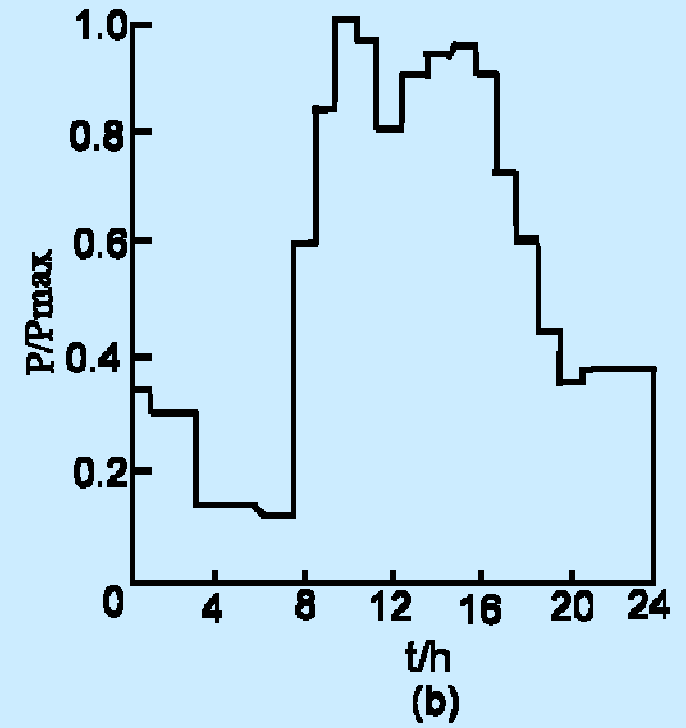
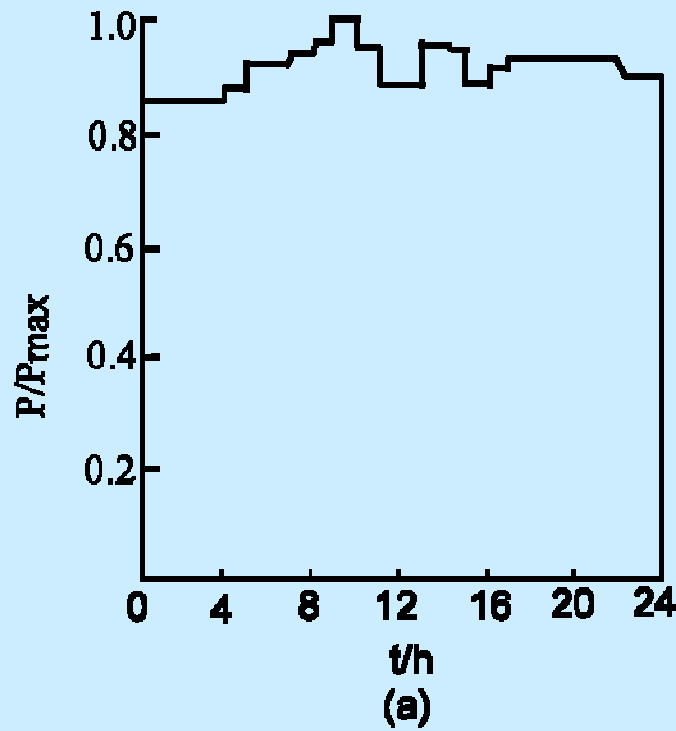
负荷率 k_m

$$k_m = \frac{P_{av}}{P_{\max}}$$

最小负荷系数 α

$$\alpha = \frac{P_{\min}}{P_{\max}}$$

- (a)
钢铁工业负荷;
- (b)
食品工业负荷;
- (c)
农村加工负荷;
- (d)
市政生活负荷



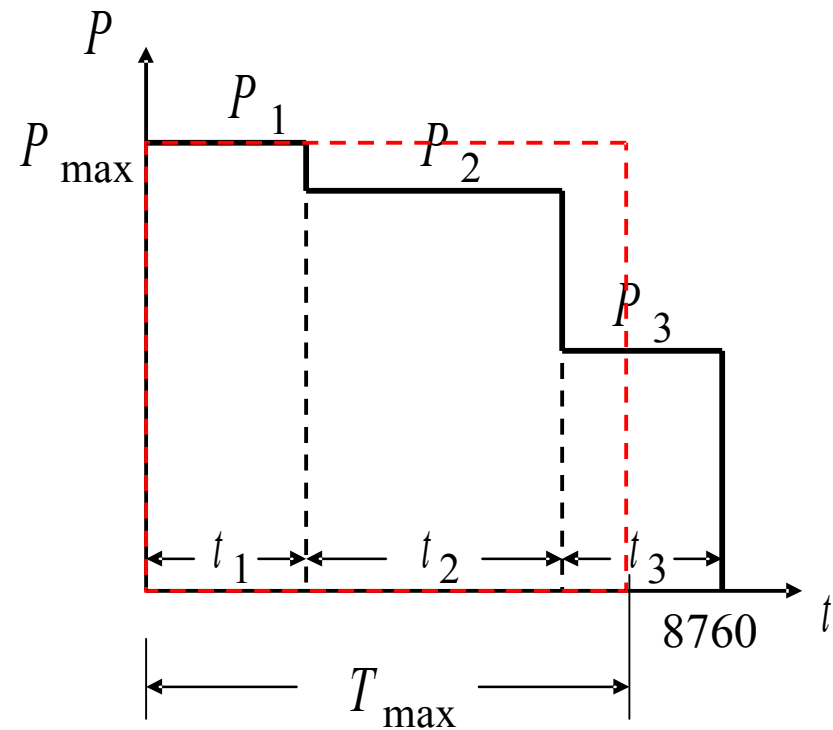
2. 年最大负荷曲线：描述一年内每月（或每日）最大有功功率负荷变化的情况
3. 年持续负荷曲线：按一年中系统负荷的数值大小及其持续小时数顺序排列绘制而成

全年耗电量

$$A = \int_0^{8760} P dt$$

最大负荷利用小时数 T_{\max}

$$T_{\max} = \frac{A}{P_{\max}} = \frac{1}{P_{\max}} \int_0^{8760} P dt$$



年最大负荷曲线

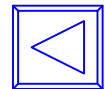
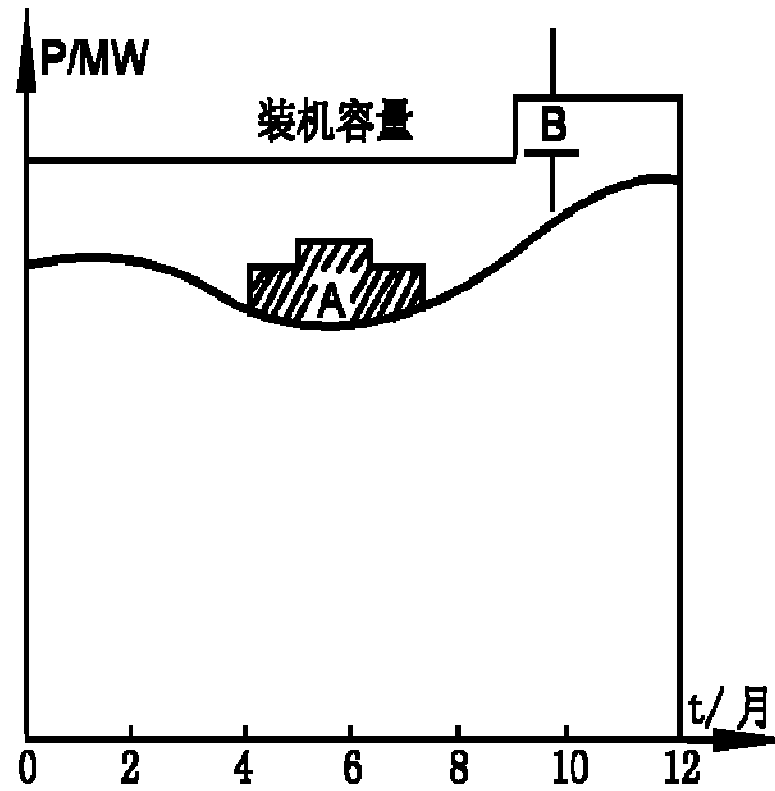


表1-2 各类用户的年最大负荷利用小时数

负 荷 类 型	T_{\max}/h
户内照明及生活用电	2000~3000
一班制企业用电	1500~2200
二班制企业用电	3000~4500
三班制企业用电	6000~7000
农 灌 用 电	1000~1500

$$A = P_{\max} T_{\max}$$



1-3 电力系统的额定电压和额定频率

1. 额定电压和额定频率(50HZ)
2. 标准额定电压
3. 电气设备的额定电压(发电机,变压器,线路)
4. 电力输送中电压与输送容量的关系

$$S = \sqrt{3}UI$$

- ◆额定电压和额定频率：当设备在该电压和频率下运行具有最好的技术性能和经济效果。
- ◆系统与用电设备的额定电压 (表1-3)
- ◆电力网中的电压分布。
- ◆额定频率：50Hz。

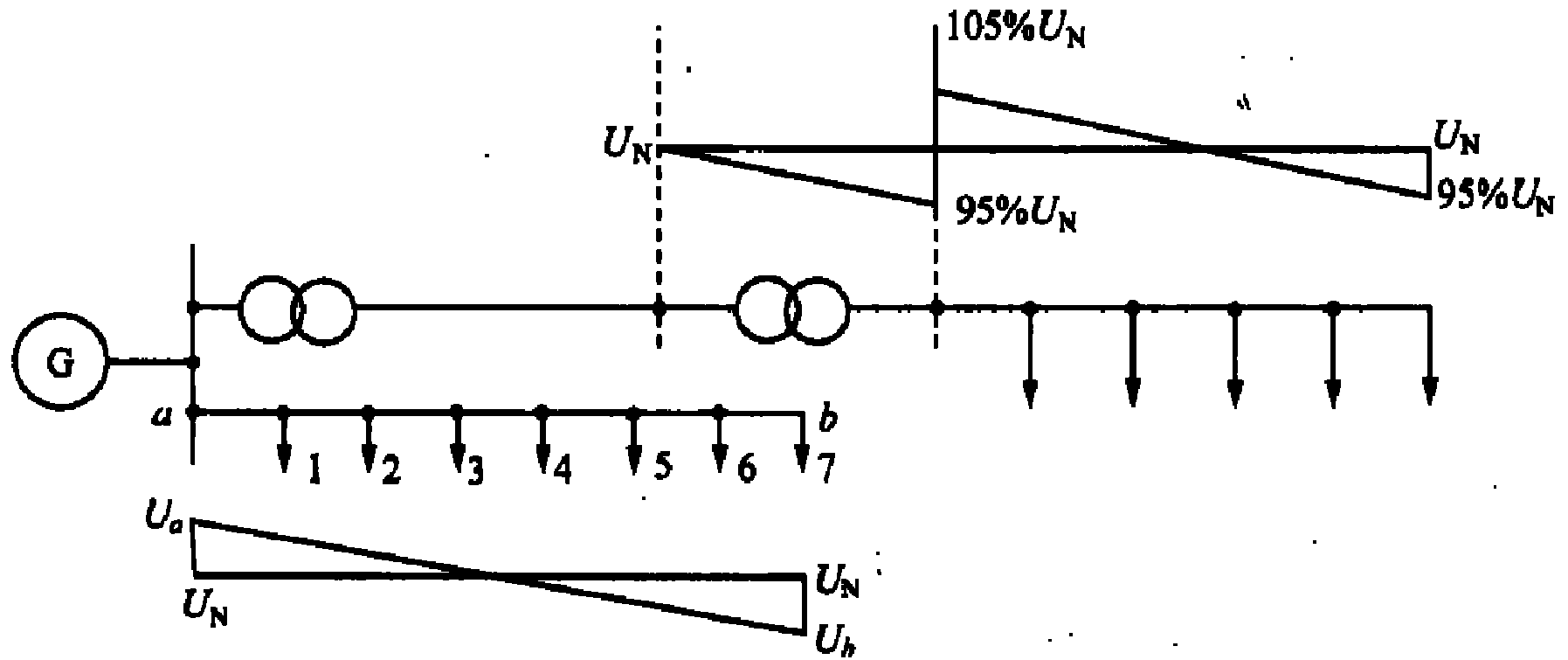


图 1-8 电力网络中的电压分布

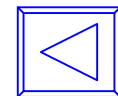


表 1-3 1000V 以上的额定电压

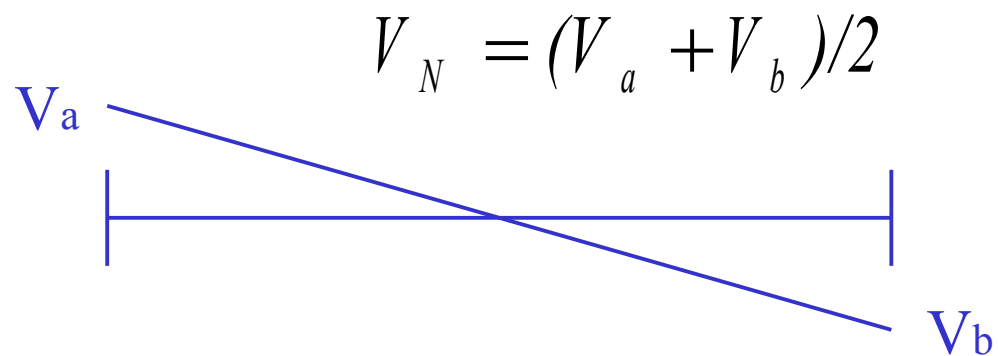
用电设备额定线电压/kV 系统的额定电压	交流发电机额定线电压/kV	变压器额定线电压/kV	
		一次绕组	二次绕组
3	3.15	3 及 3.5	3.15 及 3.3
6	6.3	6 及 6.3	6.3 及 6.6
10	10.5	10 及 10.5	10.5 及 11
13.8	13.8	13.8	—
15.75	15.75	15.75	—
18	18	18	—
20	20	20	—
35	—	35	38.5
(60)	—	(60)	(66)
110	—	110	121
(154)	—	(154)	(169)
220	—	220	242
330	—	330	363
500	—	500	—

注：括号内为将要淘汰的电压级



电气设备的额定电压

1. 线路: 等于系统的额定电压

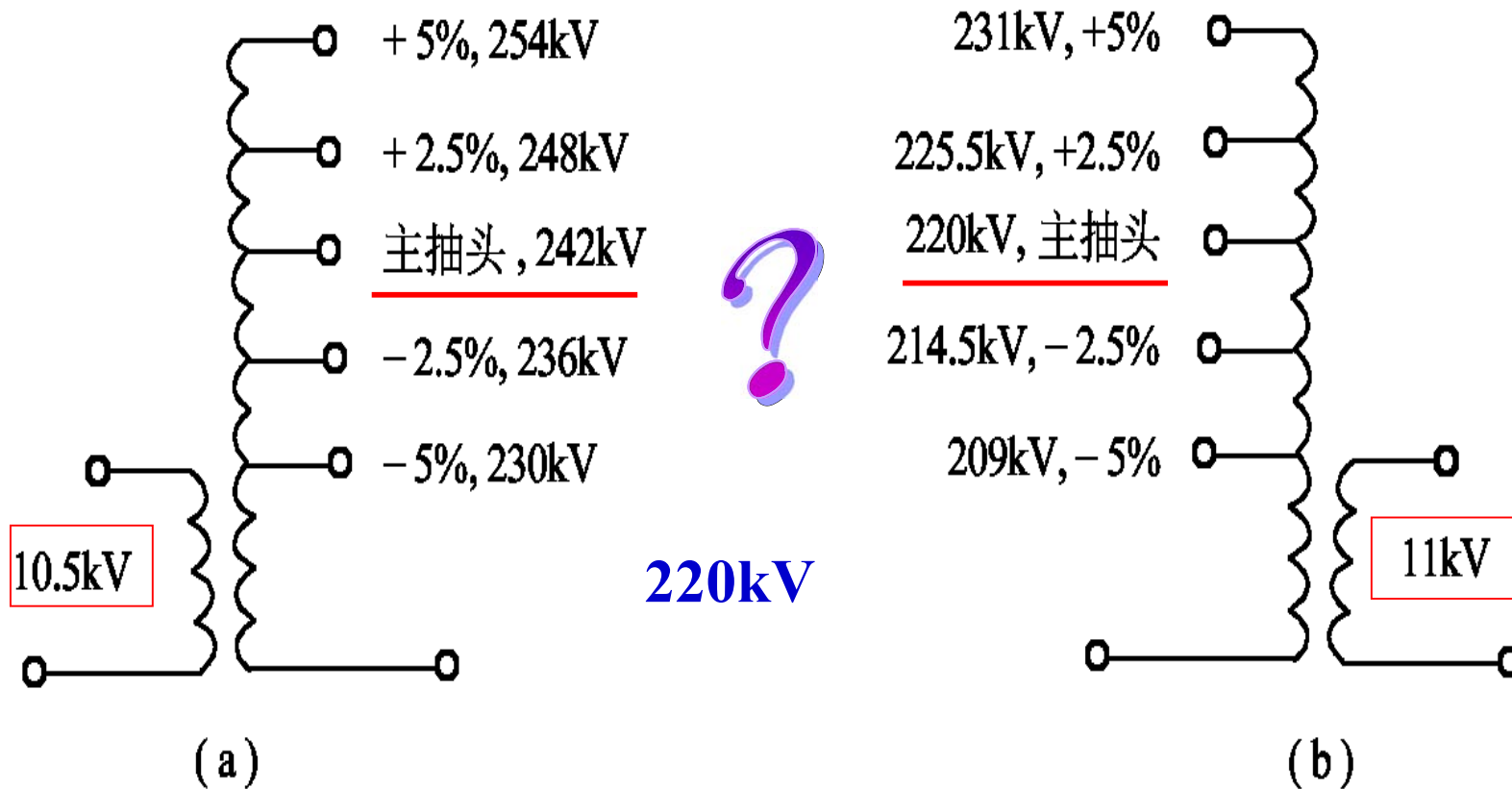


2. 发电机: 规定比系统的额定电压高5%

3. 变压器

- ▶ **一次侧**：相当于用电设备，其额定电压与系统相同；与发电机直接相连时，则与发电机相同
- ▶ **二次侧**：相当于电源，其额定电压应比系统高5%，考虑变压器内部的电压损耗（5%），实际应定为比线路高10%。

用线电压表示的抽头额定电压



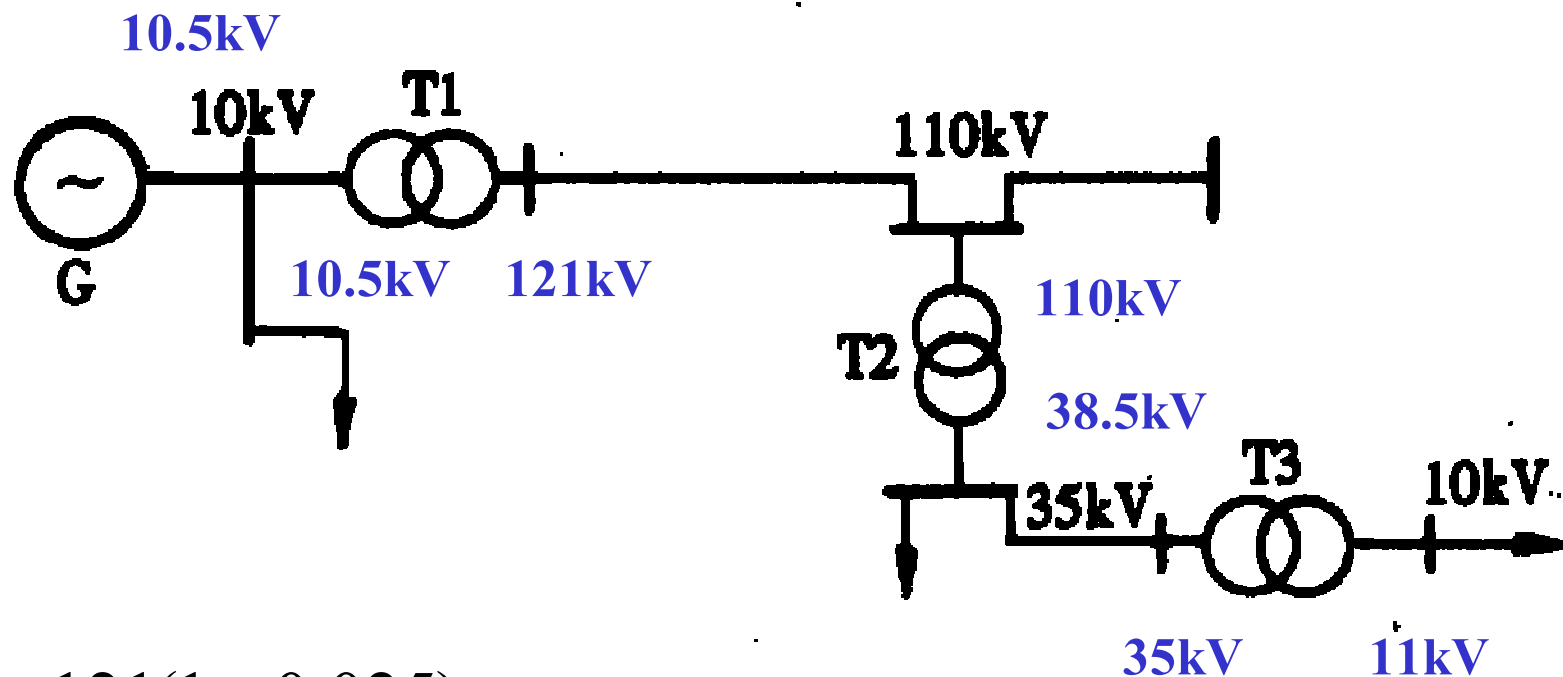
升压变压器

降压变压器

各级电压架空线路的输送能力

额定电 压 kV	输送容 量 MVA	输送距 离 km	额定电 压 kV	输送容 量 MVA	输送距 离 km
3	0.1-1.0	1-3	110	10-50	50-150
6	0.1-1.2	4-15	220	100-500	100-300
10	0.2-2.0	6-20	330	200-800	200-600
35	2-10	20-50	500	1000-1500	150-850
60	3.5-30	30-100	750	2000-2500	500 以上

典型例题：(1)确定各设备额定电压;(2)若T1工作于+2.5%抽头, T2工作于主抽头, T3工作于-5%抽头,求个变压器变比.



$$k_{T1} = \frac{121(1 + 0.025)}{10.5}$$

$$k_{T2} = \frac{110}{38.5}$$

$$k_{T3} = \frac{35(1 - 0.05)}{11}$$

1-4 电力系统的接线方式

一. 电力系统的电气连接方式

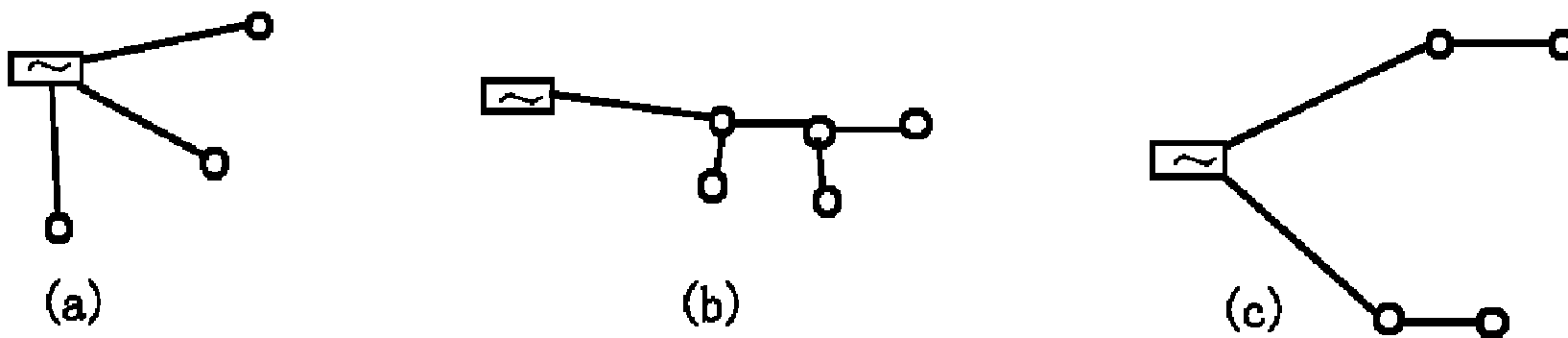


图1-9 无备用接线方式

(a) 放射式 (b) 干线式样 (c) 链式

有备用

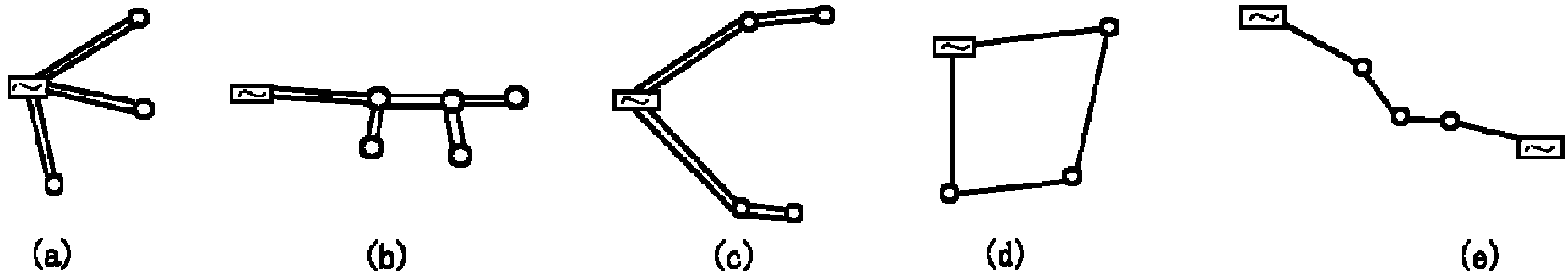


图1-10 有备用接线方式

- (a) 放射式样 (b) 干线式 (c) 链式
(d) 环式 (e) 两端供电网络

二. 三相电力系统中性点运行方式

◆ 发电机定子绕组Y联结的中性点:

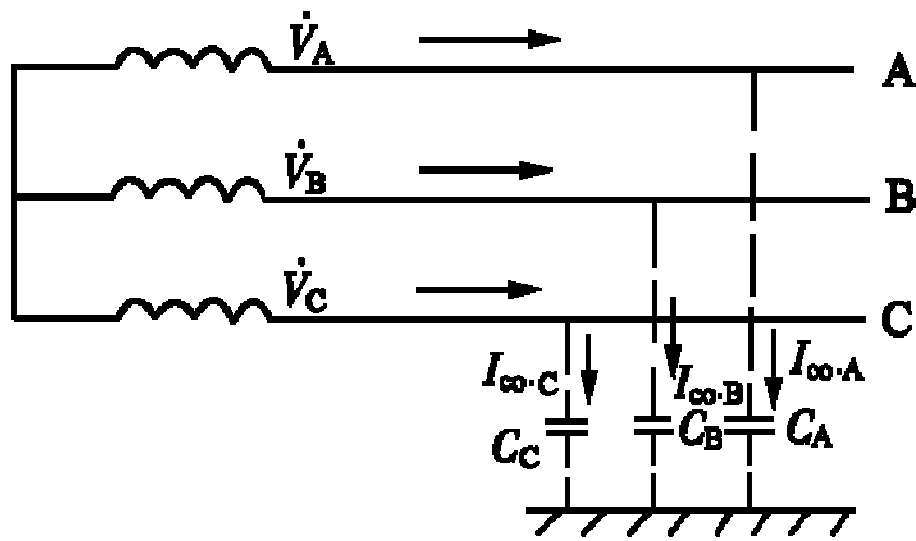
- ▶ 一种是不接地
- ▶ 另一种是为了防护定子绕组过电压而采用经过避雷器接地。避雷器内部有气隙，所以正常运行和不接地一样。

◆ 变压器Y接法线圈的中性点:

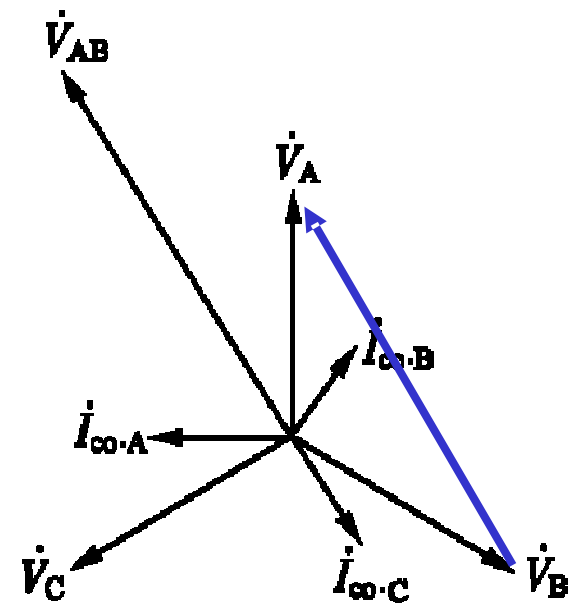
- ▶ **不接地**，10~35kV系统多属这类情况。
- ▶ 经过一个线性电抗线圈，即**消弧线圈接地**，10~63kV系统有这种方式。
- ▶ **直接接地**，110kV及以上电压系统和380 / 220V三相四线低压系统都属这类情况。

1. 中性点不接地系统

◆ 正常运行



(a)

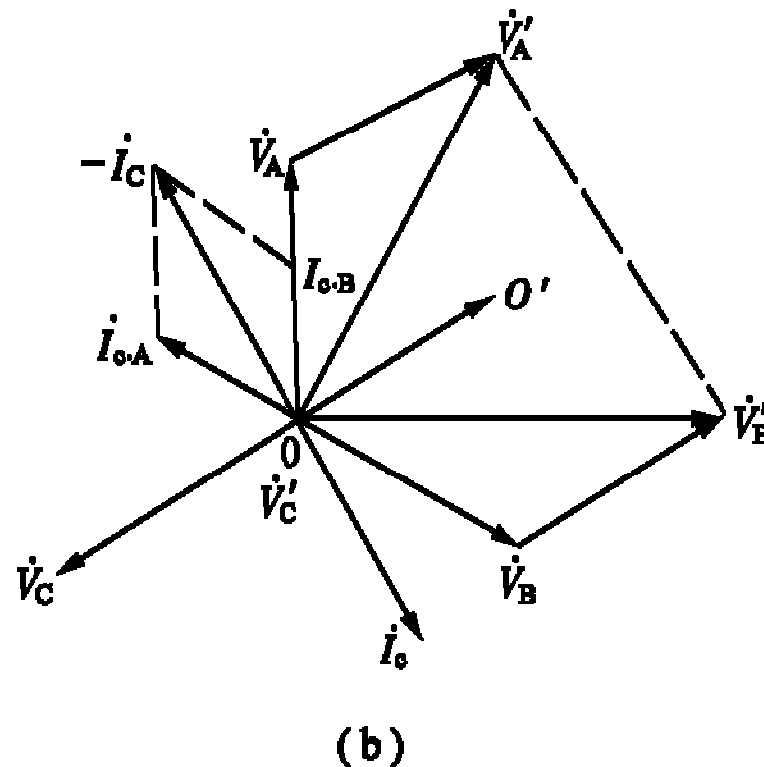
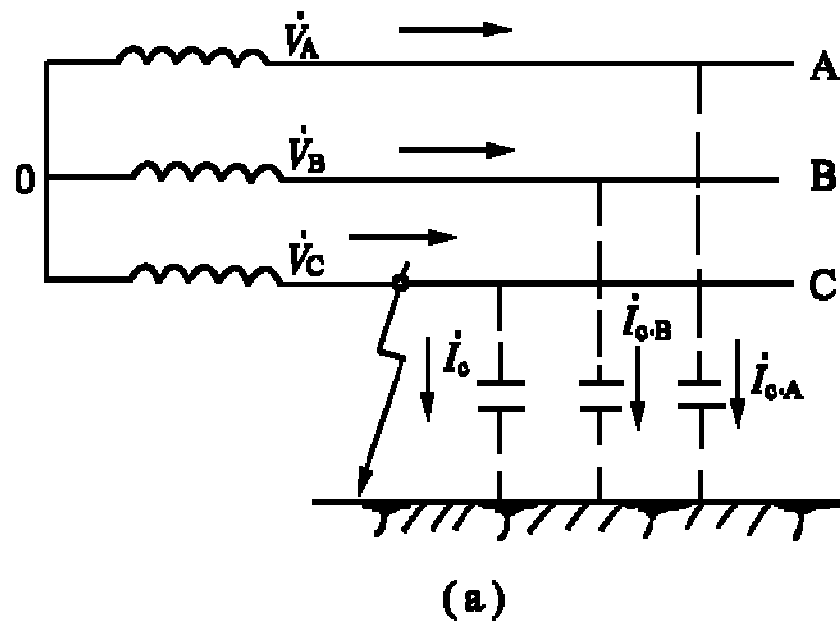


(b)

分析： (1) 线电压与相电压关系； (2) 中性点电位； (3) 对地电容电流与相电压关系

1. 中性点不接地系统

◆ 单相 (C相) 接地



分析： (1) 中性点对地电位； (2) 非接地相对地电位； (3) 对地电容电流

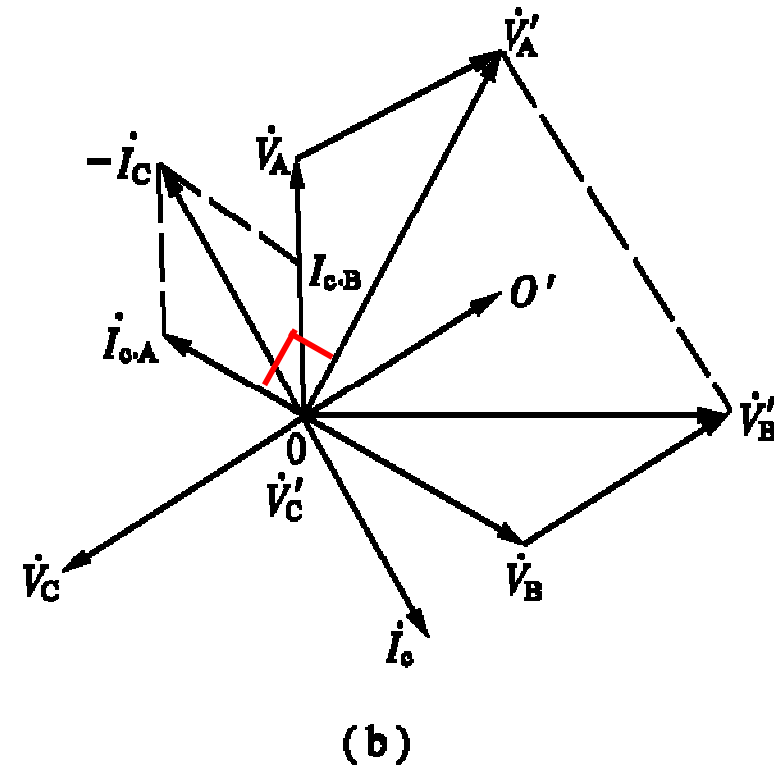
对地电容电流分析

$$I_{C.A} = \frac{V'_A}{X_C} = \frac{\sqrt{3}V_A}{X_C} = \sqrt{3}I_{CO}$$

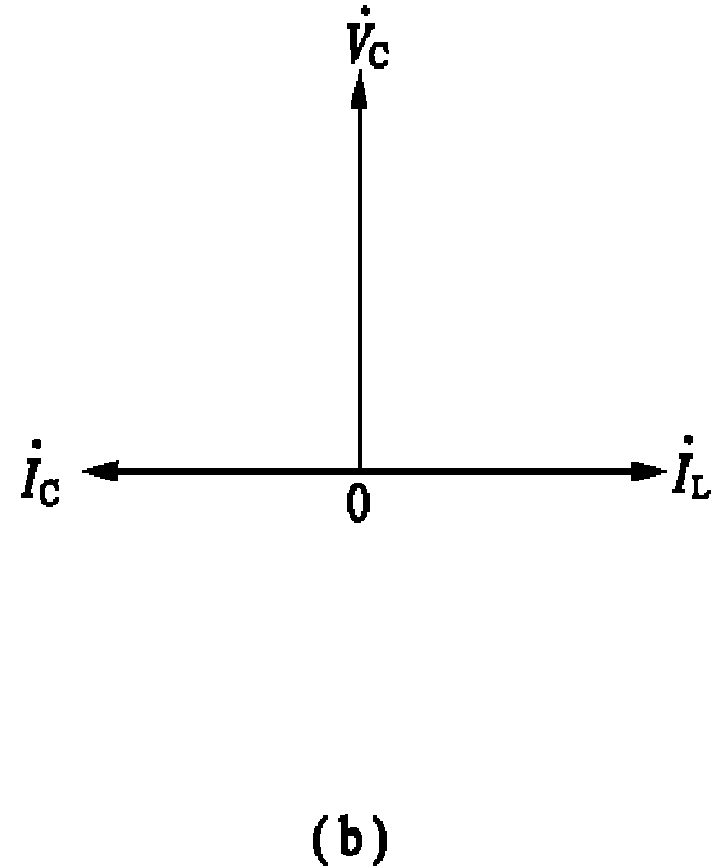
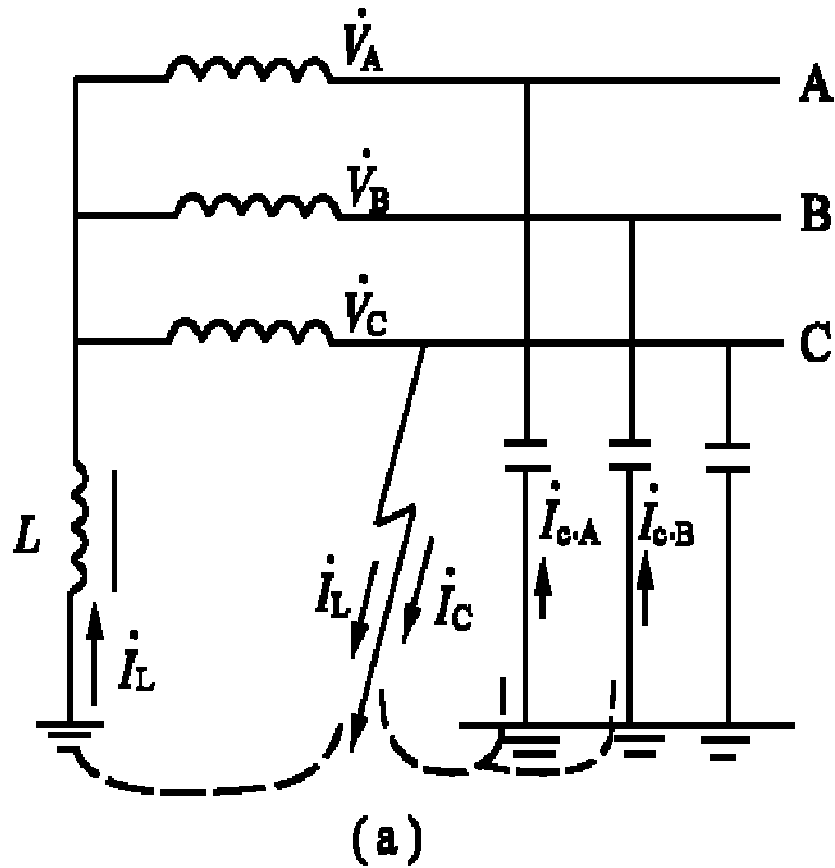
$$I_{C.B} = \sqrt{3}I_{CO}$$

$$\dot{I}_C = -(I_{C.A} + I_{C.B})$$

$$I_C = \sqrt{3}I_{C.A} = 3I_{CO}$$



2. 中性点经消弧线圈接地



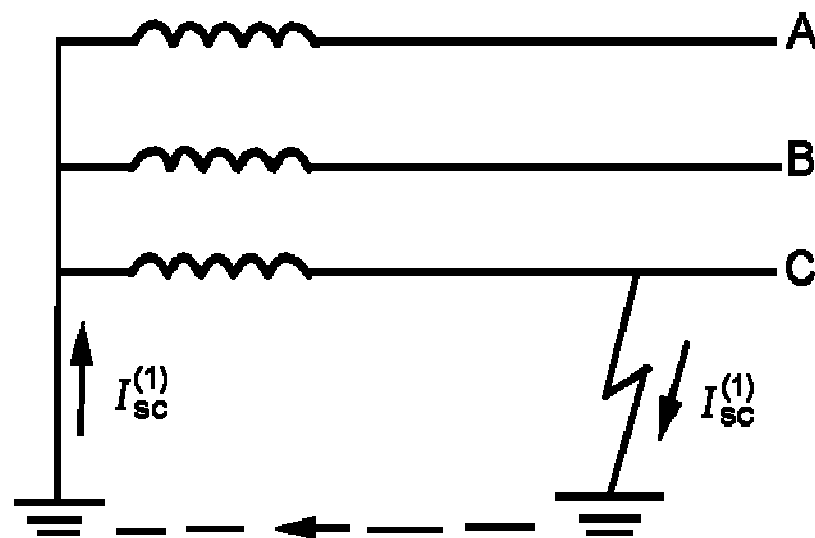
中性点经消弧线圈接地的应用

- ◆ 3~6kV 电力网 (接地电流 $> 30\text{A}$)
- ◆ 10kV 电力网 (接地电流 $> 20\text{A}$)
- ◆ 35~60kV 电力网 (接地电流 $> 10\text{A}$)

3.中性点直接接地系统

优点:非故障相电
压不变.

缺点:单相短路电
流大.



4.三相四线制系统

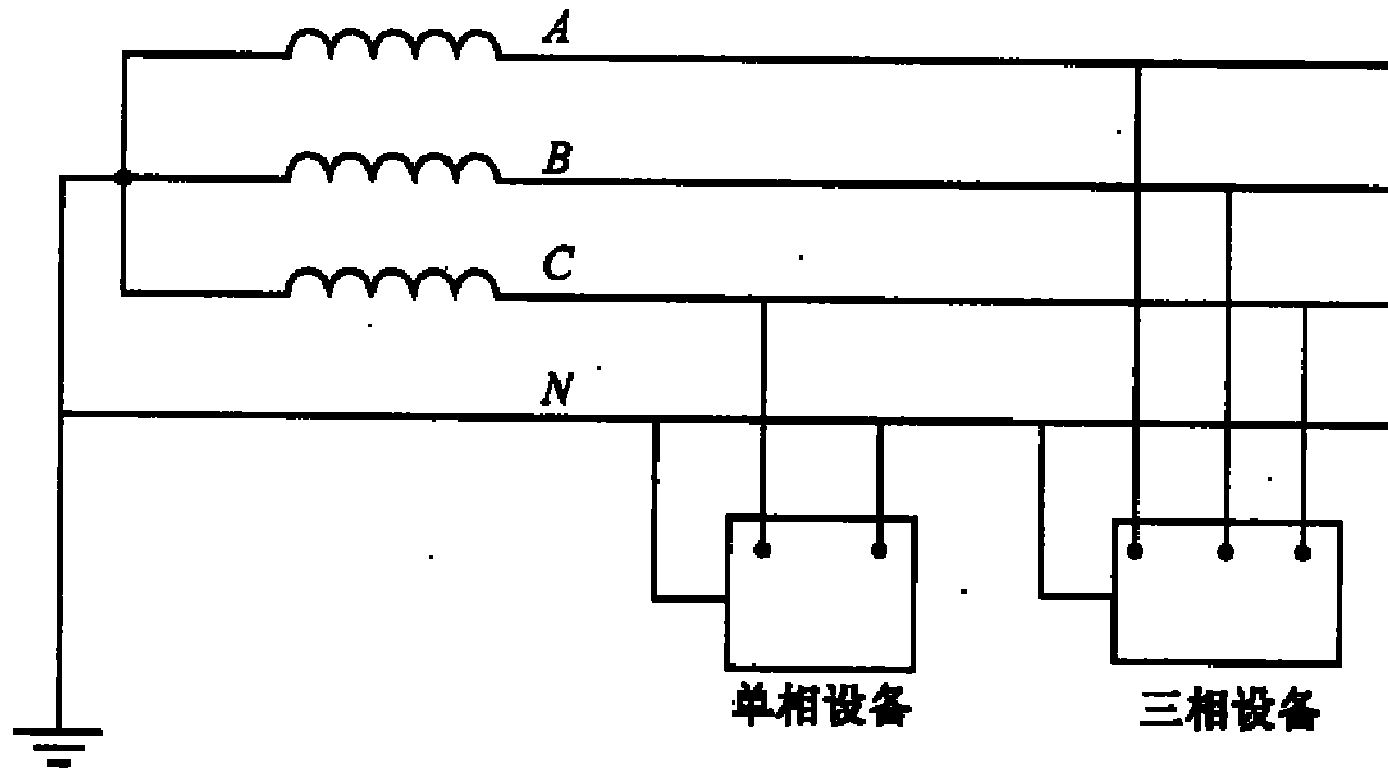


图 1-15 中性点接地的三相四线制电力系统

系统中一相接地的特点比较

	中性点不接地	中性点直接接地
电流	接地点的电容电流是正常运行时一相对地电容电流的3倍	故障相电流和流入故障点的电流很大
中性点电压	中性点电压升高为相电压	故障相和中性点电压为零
非故障相电压	非故障相对地电压升高为线电压	非故障相对地电压仍为相电压
线电压	三相之间的线电压保持与正常时相同	与故障相相关的线电压降低为相电压

经消弧线圈接地:适当选择线圈感抗,接地点电流可减小到很小,且熄灭接地电流产生的电弧。其他特点与不接地系统基本相同。