

基于现代工程意识教育理念的电路原理课程建设

胡岩

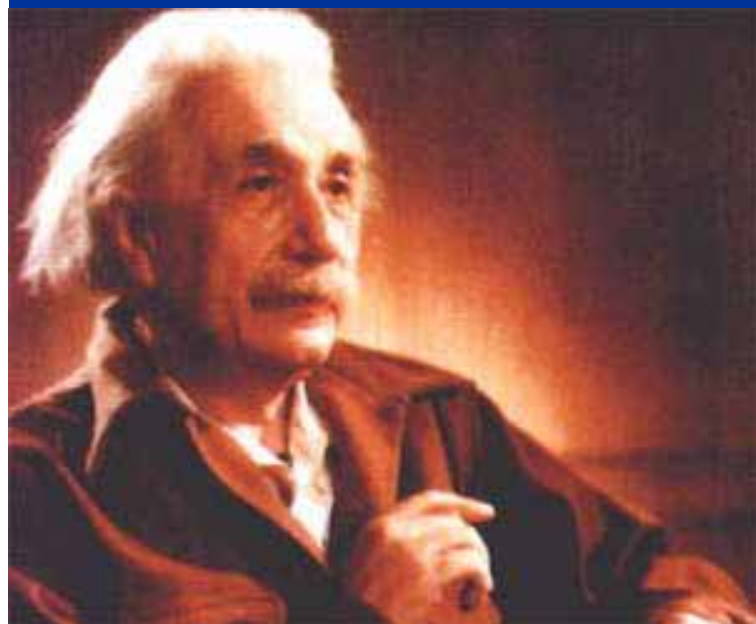
沈阳工业大学电气工程学院

huyansy@163.com

主要内容

- 一、名人谈创新
- 二、名人谈教育
- 三、教学的本质
- 四、知识、思想、方法在工程意识中的体现
 - 1、电阻元件
 - 2、电压源元件
 - 3、功率
 - 4、戴维宁定理
 - 5、一阶电路
 - 6、二阶电路
 - 7、正弦稳态电路
 - 8、谐振电路
 - 9、互感电路
 - 10、三相电路
 - 11、非正弦周期电流电路
- 五、师资队伍建设
- 六、课程设置
- 七、结论

一、名人谈创新



温家宝总理

- 从国内外的比较看，中国培养的学生往往书本知识掌握得很好，但是实践能力和创造精神还比较缺乏。这应该引起我们深入的思考，也就是说我们在过去相当长的一段时间里比较重视认知教育和应试的教学方法，而相对忽视对学生独立思考 and 创造能力的培养。

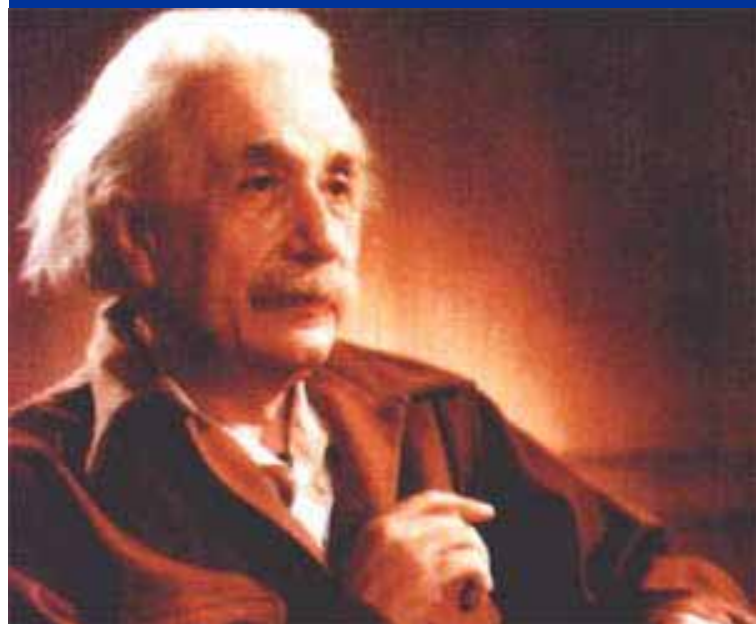
钱学森

- 科技创新人才的培养问题。我认为这是我们国家长远发展的一个大问题。
- 今天，党和国家都很重视科技创新问题，投了不少钱搞什么“创新工程”、“创新计划”等等，这是必要的。但我觉得更重要的是要具有创新思想的人才。

爱因斯坦

- 想象力比知识重要。有想象力的人才能进行创造性劳动。
- 发展独立思考和独立判断的一般能力，应当始终放在首位，而不应当把获得专业知识放在首位。

二、名人谈教育



温家宝总理

- 我们早就看到了这些问题，并且一直在强调素质教育。但是为什么成效还不够明显？我觉得要培养全面发展的优秀人才，必须树立先进的教育理念，敢于冲破传统观念的束缚，在办学体制、教学内容、教育方法、评价方式等方面进行大胆地探索和改革。

钱学森

- 加州理工学院的一个精神就是创新。在这里，你必须想别人没有想到的东西，说别人没有说过的话。
- 我们不能人云亦云，这不是科学精神，科学精神最重要的就是创新。

爱因斯坦

- 想象力和知识是天敌。人在获得知识的过程中，想象力会消失。因为知识符合逻辑，而想象力无章可循。
- 知识的本质是科学，想象力的特征是荒诞。

爱因斯坦

- 学校在现代教育中肩负着无可推卸的重担，学校的一举一动，都将关系着下一代的精神面貌。
- 作为教育者的教师，在整个教育过程中将扮演着非常关键的角色。教师以什么样的态度以及采取什么样的方法进行教育，可谓举足轻重。

爱因斯坦

- 每个人都渴望得到别人的赞许和尊重，它根深蒂固地存在于人的本性中，如果没有这种精神激励，人类合作将成为空谈，同时，这种精神激励也是社会对个人的最大约束力之一。

爱因斯坦

- 要求教师必须在其本职工作上成为一名颇具匠心的“艺术家”。
- 教师要善于引导学生，展示知识和科学的魅力，激发学生的兴趣、求知欲望和创造性的心理能力，而不是单纯灌输知识。

三、教学的本质

教学的本质

- “知识、能力、素质”不是教学的本质。
- “知识、思想、方法”才是教学的本质。
- 存在（知识）决定意识（思想），
意识（思想）支配行动（方法）。

思想与知识

- 思想是解释客观现象的原则
- 毛泽东在《人的正确思想从哪里来》一文中说：“感性认识的材料积累多了，就会产生一个飞跃，变成了理性认识，这就是思想。”
- 综合起来看，思想是认识的高级阶段，是事物本质的、高级抽象的概括的认识。

思想与知识

- 电路分析的思想：是电路分析中的理性认识，是电路分析知识的本质，是电路中的高度抽象、概括的内容，它蕴涵于运用电路分析方法分析、处理和解决电路问题的过程之中。

方法与知识

- 方法是人们用以研究问题，解决问题的手段、工具，这种手段、工具与人们的知识经验、理论水平密切相关，是指导人们行动的原则。
- 电路分析的方法：提出、分析、处理和解决电路问题的手段、工具。

四、知识、思想、方法 在教学中的体现-现代工 程意识教育理念

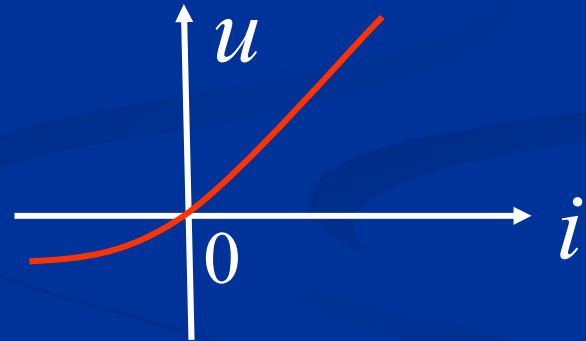
1、电阻元件

知识：电阻元件

电阻元件是指对电流呈现阻力并以热能形式损耗能量的元件。其特性可用 $u \sim i$ 平面上的一条曲线来描述：

$$f(u, i) = 0$$

伏安
特性

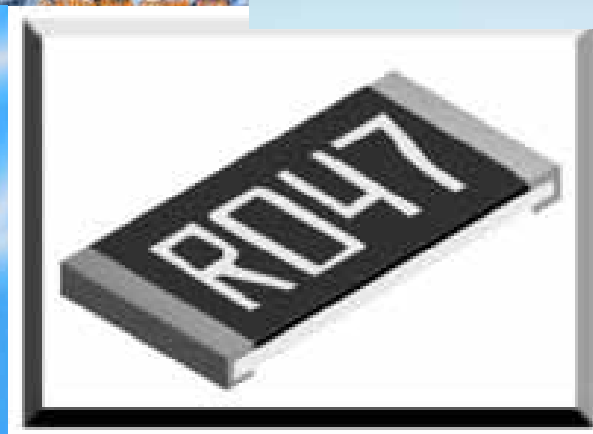


线性电阻元件：

任何时刻端电压与电流成正比的电阻元件。

电阻元件

知识：电阻元件



思想：电阻耗能

思想：电阻元件是损耗能量的元件。

白炽灯，钠灯，节能灯，LED灯。

电阻元件

白炽灯



白炽灯：电流通过灯丝（钨丝，熔点达3000多摄氏度）时产生热量，螺旋状的灯丝不断将热量聚集，使得灯丝的温度达2000摄氏度以上，灯丝在处于白炽状态时，就象烧红了的铁能发光一样而发出光来。白炽灯发光时，大量的电能将转化为热能，只有极少一部分，不到1%可以转化为有用的光能。

日光灯、节能灯、钠灯



日光灯是个密闭的气体放电管，靠着内部汞原子由气体放电过程释放出紫外光。灯管内表面的荧光物质吸收紫外光后释放出可见光。节能灯也是利用气体放电的原理工作。

由于不存在白炽灯那样的电流热效应，荧光粉的能量转换效率也很高，达到每瓦60流明以上。



电阻元件

节能灯的发明

土星系列



atobo.com



•节能灯系温州机电修造厂技术员谷崇权发明的。他于1968年开始研究，1979年10月开始研制，并于1980年4月研制成功。

电阻元件

钠灯



•钠灯是一种发光效率很高的新型电光源，其效率可高达 100lm/w 。在玻璃外壳内有一个特种玻璃制成的放电管，其管内充有适量的钠，汞滴和惰性氧化铝瓷球气体。低压钠灯幅射出柔和的黄色光，它分有直流和交流两种，其发光率比白炽灯高10倍以上，能穿透烟雾，适宜在烟雾较多的场所做照明用，

LED路灯



应用半导体 P-N 结发光原理制成的 LED 光源。
无有害金属汞，改变电流可以变色，发光二极管方便地通过化学修饰方法，调整材料的能带结构和带隙，实现红黄绿兰橙多色发光。

电阻元件

超导技术

- 1911年，荷兰科学家昂内斯用液氦冷却水银，当温度下降到 4.2 K 时发现水银的电阻完全消失，这种现象称为超导电性。
- 1933年，迈斯纳和奥克森菲尔德两位科学家发现，如果把超导体放在磁场中冷却，则在材料电阻消失的同时，磁感应线将从超导体中排出，不能通过超导体，这种现象称为抗磁性。
- 超导电性和抗磁性是超导体的两个重要特性。

超导技术

- 1987年2 月，美国华裔科学家朱经武和中国科学家赵忠贤相继在钇—钡—铜—氧系材料上把临界超导温度提高到90K 以上。
- 1987年底，铊—钡—钙—铜—氧系材料又把临界超导温度的记录提高到125K。
- 从1986—1987年的短短一年多的时间里，临界超导温度竟然提高了100K以上。
- 高温超导材料的不断问世，为超导材料从实验室走向应用铺平了道路。

超导技术

2009年10月10日,美国科学家合成物质 $(\text{Tl4Ba})\text{Ba2Ca2Cu7O13+}$, 将超导温度提高到254K, 距离冰点仅 19°C , 对于推广超导的实际应用具有极大的意义.

目前, 我国超导临界温度已提高到零下 120°C 即153K左右。

超导技术的应用

- 超导材料最诱人的应用是发电、输电和储能。
- 由于超导材料在超导状态下具有零电阻和完全的抗磁性，因此只需消耗极少的电能，就可以获得10万高斯以上的稳态强磁场。而用常规导体做磁体，要产生这么大的磁场，需要消耗3.5 兆瓦的电能及大量的冷却水，投资巨大。
- 超导磁体可用于制作交流超导发电机、磁流体发电机和超导输电线路等。

超导输电的优点



超导材料用于制作超导线和超导变压器，从而把电力几乎无损耗地输送给用户。据统计，目前铜导线输电，约有15%的电能损耗在输电线路路上，在中国，每年的电力损失即达1000多亿度。若改为超导输电，节省的电能相当于新建数十个大型发电厂。

电阻元件

超导电缆

1996年 改进高温超导电线的研究工作取得进展，制成了第一条地下输电电缆。欧洲电缆巨头皮雷利电缆公司、美国超导体公司和旧金山的电力研究所的工人，共同把6000米长的铋、锿、钙、铜和氧制成的线缠绕到一根保持超导温度的液氮的空管子上。

超导导线

2001年4月，340米铋系高温超导线在清华大学应用超导研究中心研制成功，并于年末建成第一条铋系高温线材生产线。

2001年5月，北京有色金属研究总院采用自行设计研制的设备，成功地制备出国内最大面积的高质量双面钇钡铜氧超导薄膜，达到国际同类材料的先进水平。

2001年7月，香港科技大学宣布成功开发出全球最细的纳米超导线。

超导电动车

日本住友电器推出世界首款超导电动车。使用普通汽车车体，发动机使用超导材料铋。采用液态氮冷却，以维持零下200摄氏度的超低温状态，依靠蓄电池电力运转。



电阻元件

超导采暖



超导采暖是用超导液代替水。只须30度即可开始传温，而水的传递温度必须超过或达到100度，水升温很慢，传递更慢。它的传递速度是水暖的几十倍，每分钟可传递20米。

电阻元件

2、电压源元件

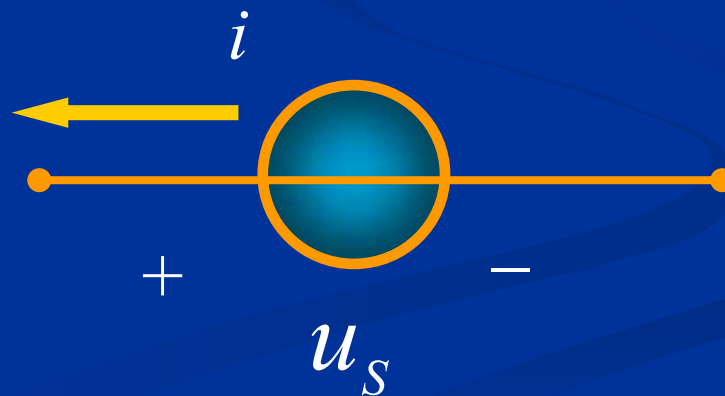
知识：电压源元件

理想电压源

●定义

→ 其两端电压总能保持定值或一定的时间函数，其值与流过它的电流 i 无关的元件叫理想电压源。

●电路符号

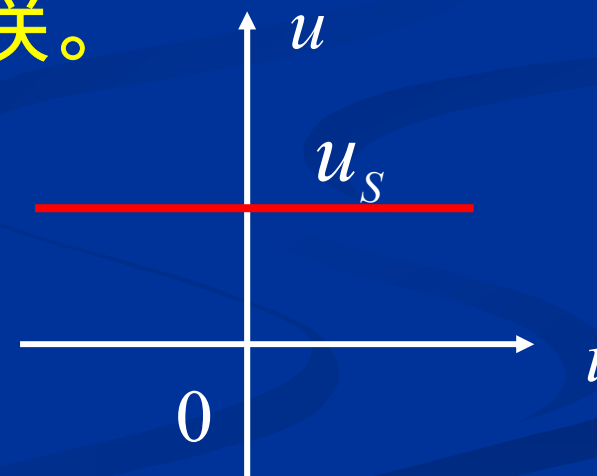


电压源

知识：电压源元件

●理想电压源的电压、电流关系

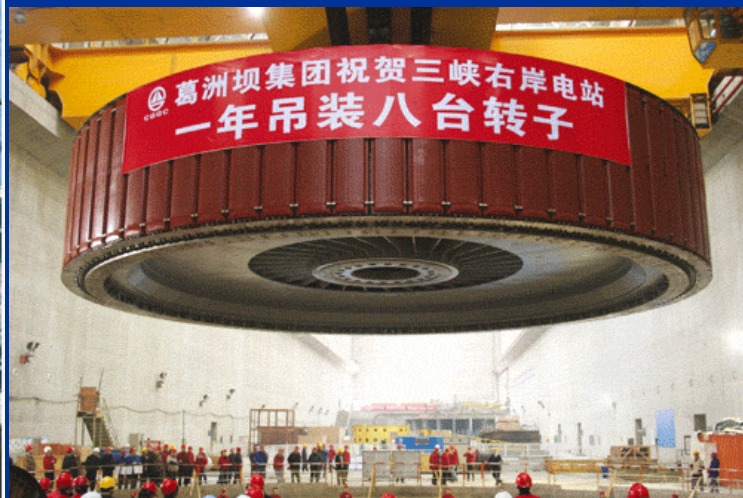
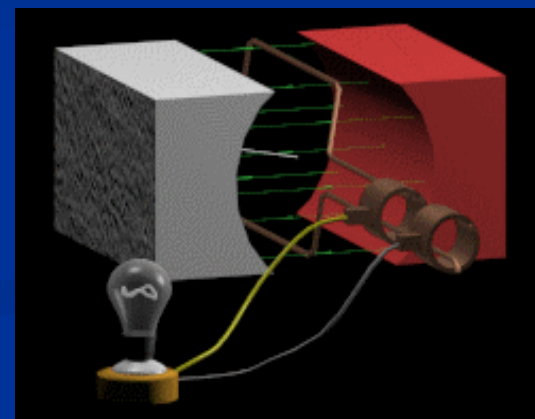
- ①电源两端电压由电源本身决定，与外电路无关；
与流经它的电流方向、大小无关。
- ②通过电压源的电流由电源及
外电路共同决定。



电压源

思想：电压源元件

思想：电源元件是发出能量的元件。



电压源元件

汽轮机发电

为了利用煤或者石油这样的燃料来发电，必须先燃烧煤或者石油。它们燃烧时产生的能量可以对水加热而使之变成蒸汽，蒸汽则可以用来使涡轮发电机在磁场中旋转。

我们是把燃料的化学能转变为热能，然后把热能转换为电能。

在这种双转换的过程中，许多原来的化学能浪费掉了。然而，燃料非常便宜，虽有这种浪费，也不妨碍我们生产大量的电力，而无需昂贵的费用。

电压源元件

风力发电



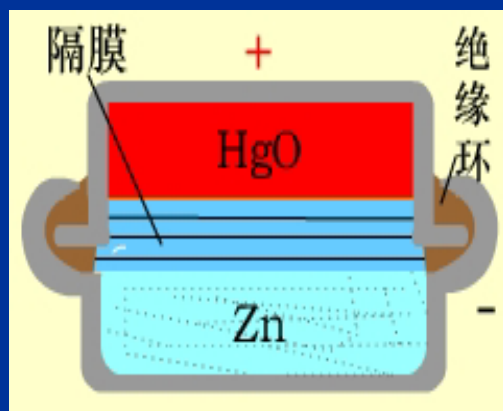
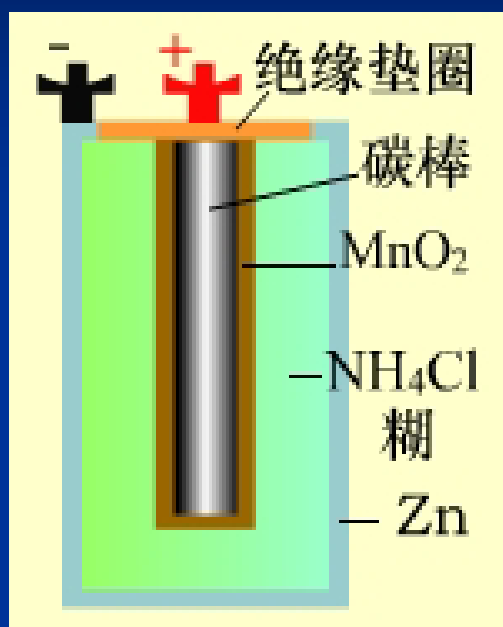
电压源元件

直流稳压电源



电压源元件

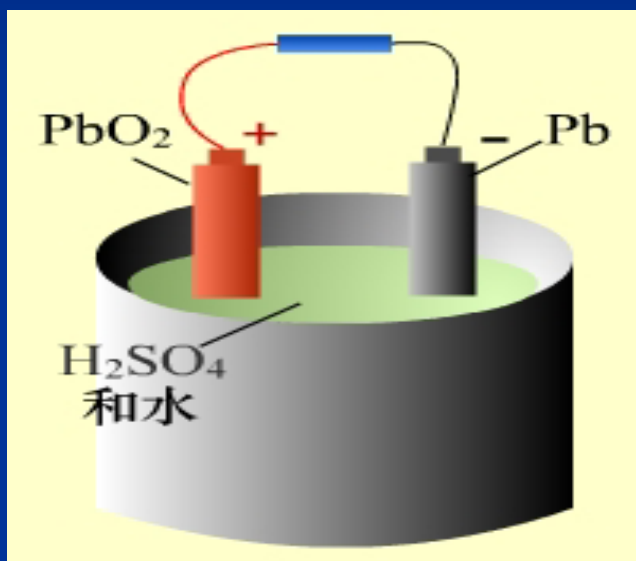
干电池和钮扣电池



仅取决于内部糊状或固体化学材料，其大小决定储存的能量，化学反应不可逆。在一个电池里，浪费的化学能要少得多，因为其中只通过一个步骤就将化学能转变为电能。然而，电池中的化学物质或金属是昂贵的。

电压源元件

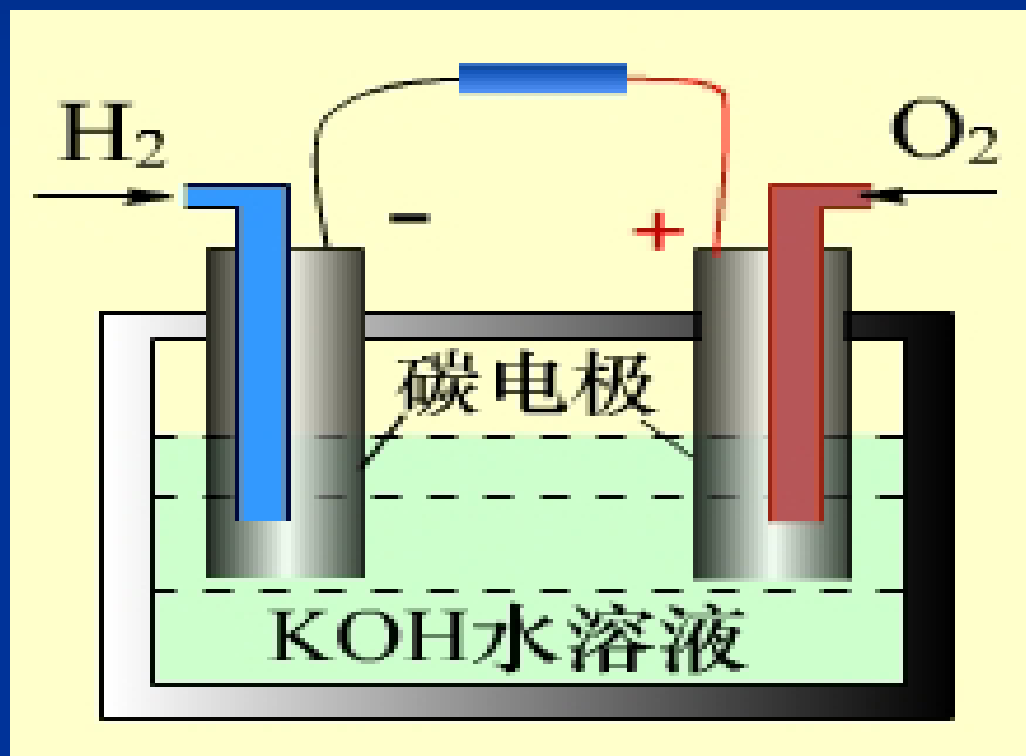
蓄电池



电池放电，当电解液浓度小于一定值时，电动势降低，常要充电，化学反应可逆。

电压源元件

燃料电池



以氢、氧作为燃料。约 40-45% 的化学能转变为电能。实验阶段加燃料可继续工作。

电压源元件

燃料电池



燃料电池是一种把燃料和电池两种概念结合在一起的装置。它是一种电池，但不需用昂贵的金属而只用便宜的燃料来进行化学反应。这些燃料的化学能也通过一个步骤就变为电能，比通常通过两步方式的能量损失少得多。

电压源元件

燃料电池

简单地说，燃料电池(Fuel Cell)是一种将存在于燃料与氧化剂中的化学能直接转化为电能的发电装置。燃料和空气分别送进燃料电池，电就被奇妙地生产出来。它从外表上看有正负极和电解质等，像一个蓄电池，但实质上它不能“储电”而是一个“发电厂”。燃料电池的概念是1839年G.R.Grove提出的，至今已有大约160年的历史。

3、功率

知识：功率

1. 电功率 → 单位时间内电场力所做的功。

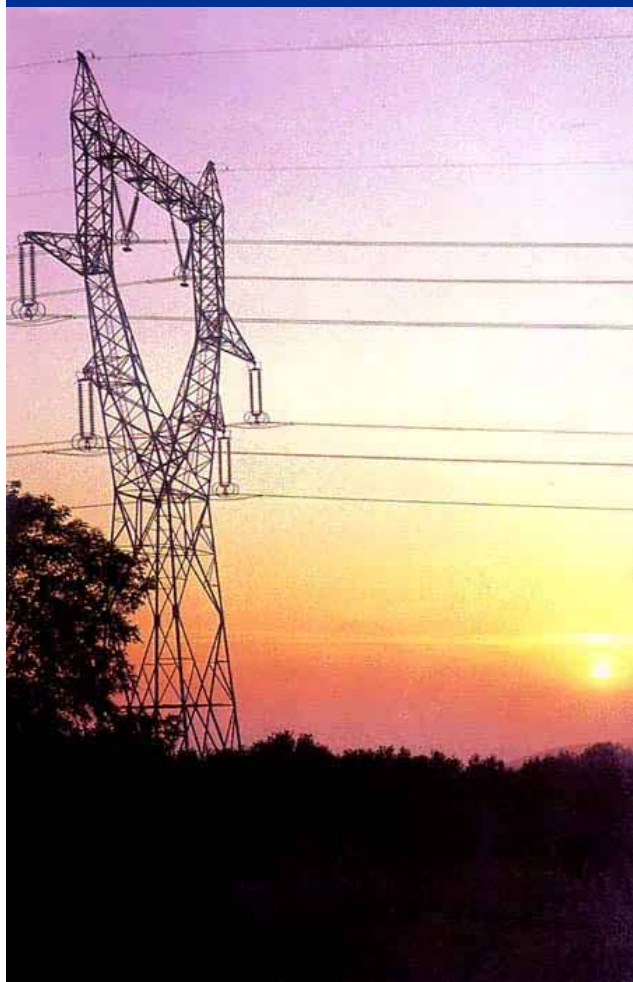
$$p = \frac{dW}{dt} \quad u = \frac{dW}{dq} \quad i = \frac{dq}{dt}$$

$$p = \frac{dW}{dt} = \frac{dW}{dq} \frac{dq}{dt} = ui$$

功率的单位：W（瓦）（Watt，瓦特）

思想：功率=电压×电流

功率一定：电压越高，电流越小。线损耗小，传输距离长。



功率

高压输电

电能从生产到消费：发电、输电、配电和用电四个环节。

发电环节是在发电厂完成的。由于发电机绝缘条件的限制，发电机的最高电压一般在22kV及以下。

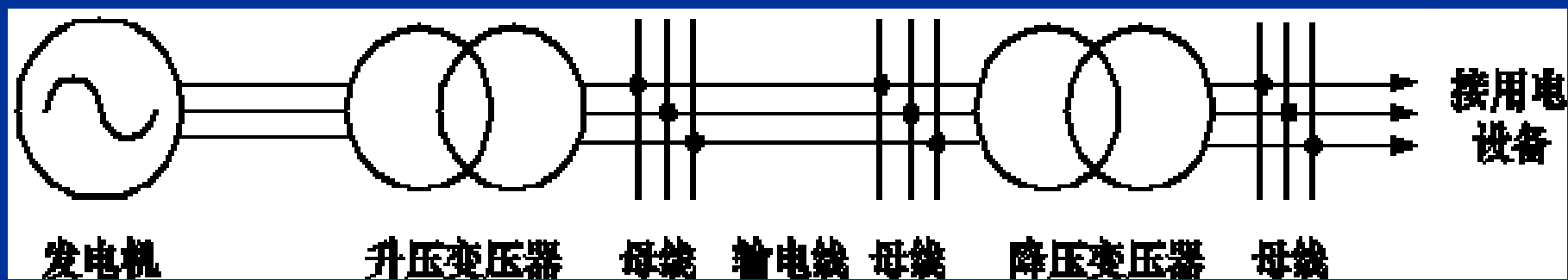
输电环节，输电系统是将发电厂发出的电能输送到消费电能的地区。为了降低线路的电能损耗、增大电能输送的距离，发电厂发出的电能通常需要通过升高电压才能接入不同电压等级的输电系统。

配电环节，配电系统就是将来自高压电网的电能以不同的供电电压分配给各个电力用户。

用电环节，电力用户根据不同的能量需求通常采用中、低压供电和消费。

功率

高压输电



功率

高压输电

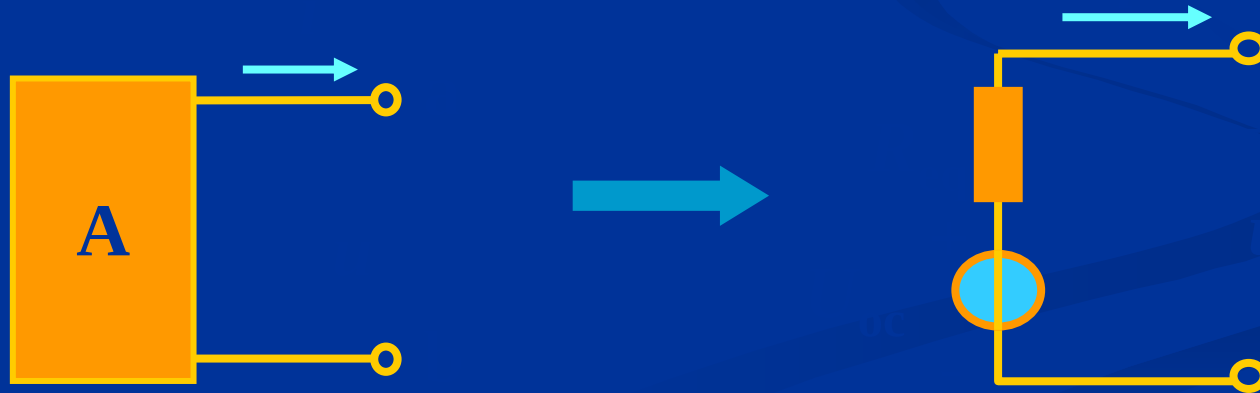
输电电压 (kV)	输送容量 (MW)	输送距离 (km)
110	10 ~ 50	50 ~ 150
220	100 ~ 500	100 ~ 300
330	200 ~ 800	200 ~ 600
500	1000 ~ 1500	150 ~ 850
765	2000 ~ 2500	500 以上

功率

4、戴维宁定理

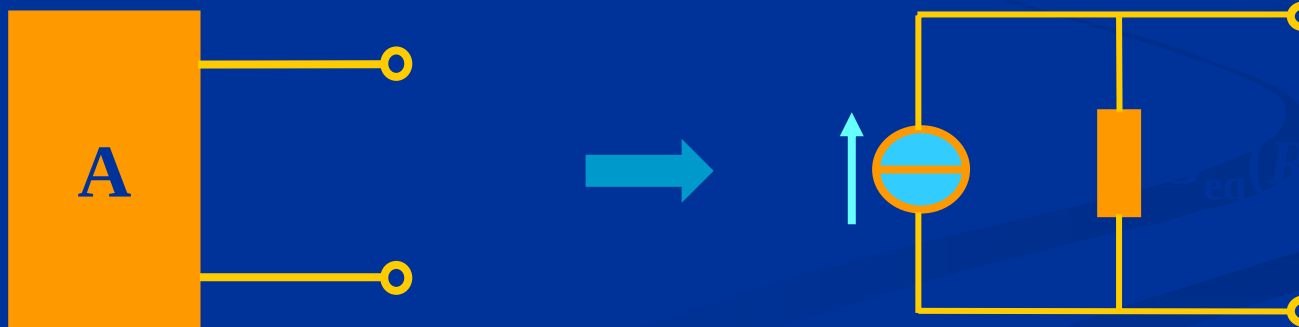
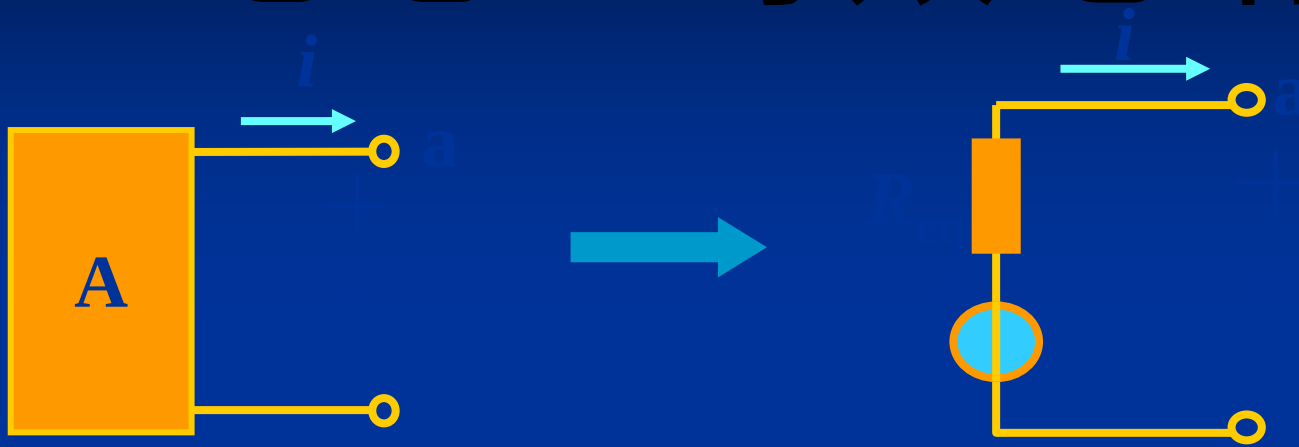
知识：戴维宁定理

任何一个线性含源一端口网络，对外电路来说，总可以用一个电压源和电阻的串联组合来等效置换；此电压源的电压等于外电路断开时端口处的开路电压 u_{oc} ，而电阻等于一端口的输入电阻（或等效电阻 R_{eq} ）。



戴维宁定理

思想：等效电路



戴维宁定理

永磁体的等效磁路

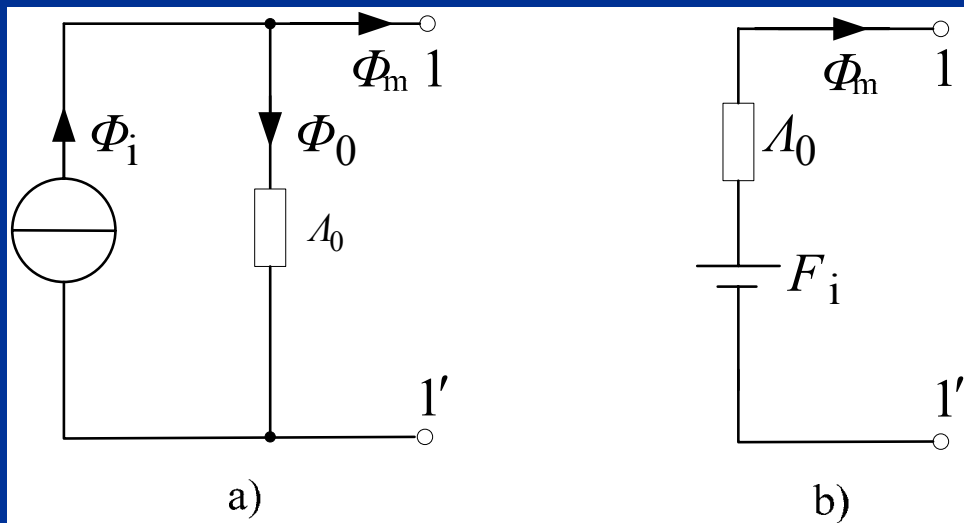
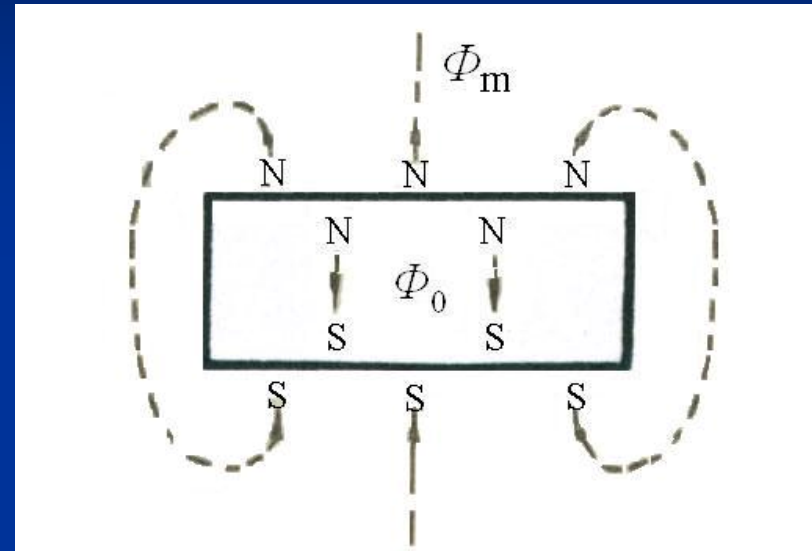


图8-12 永磁体等效磁路

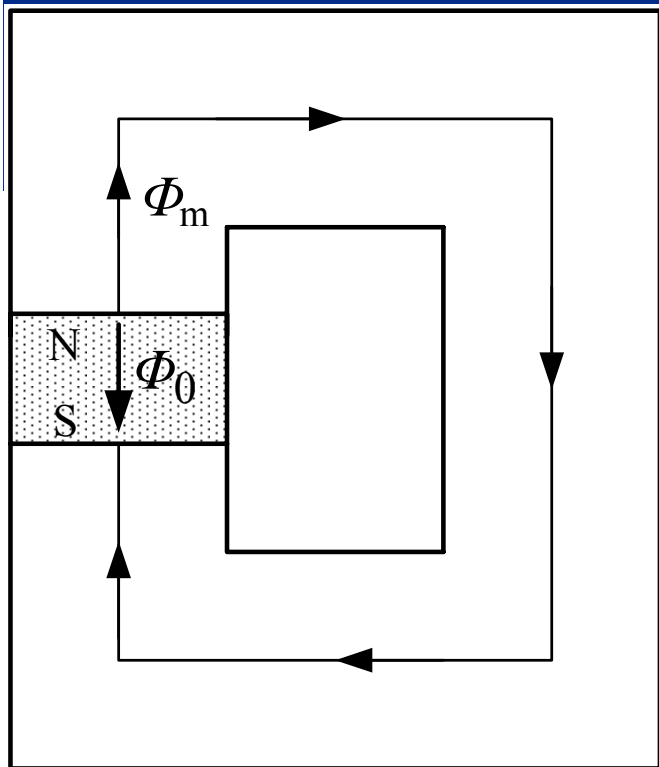
a) 等效磁通源

b) 等效磁动势源

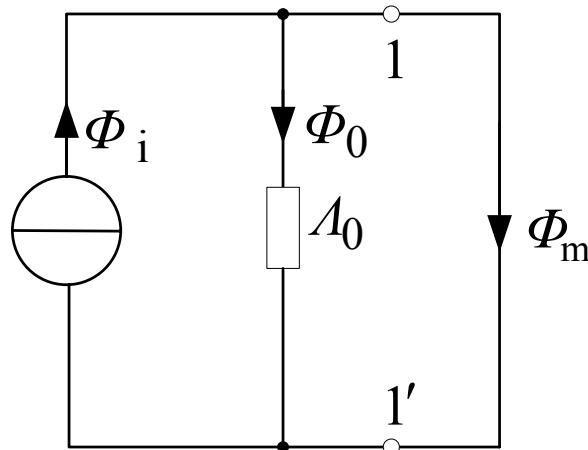


戴维宁定理

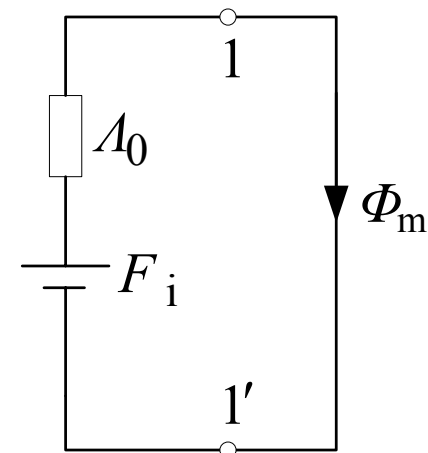
永磁体的等效磁路



a)



b)



c)

图8-13 短路工作状态的永磁磁路和等效磁路

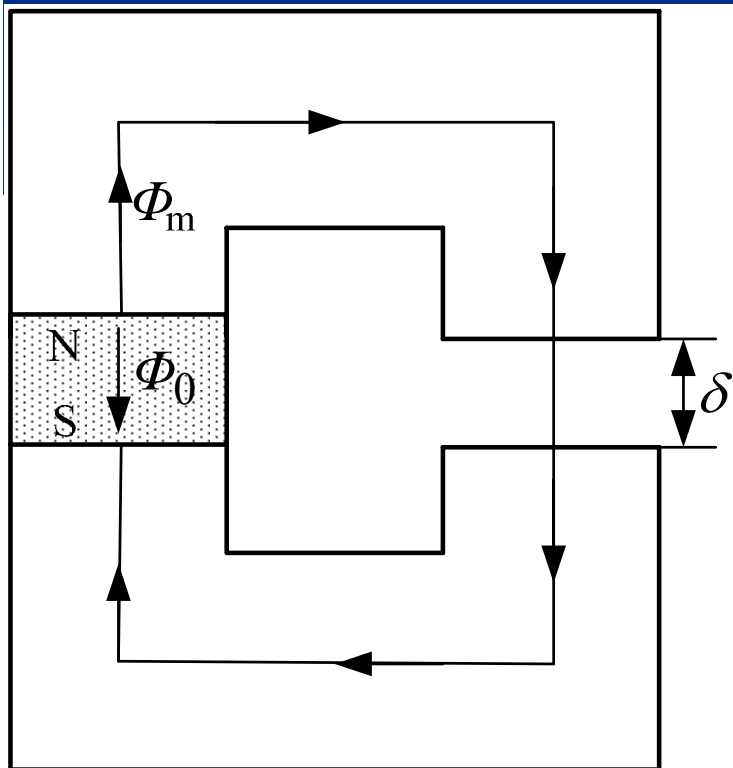
a) 永磁磁路

b) 磁通源等效磁路

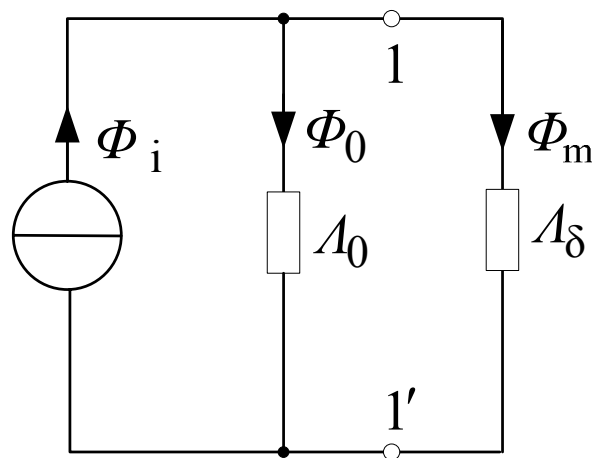
b) 磁通源等

戴维宁定理

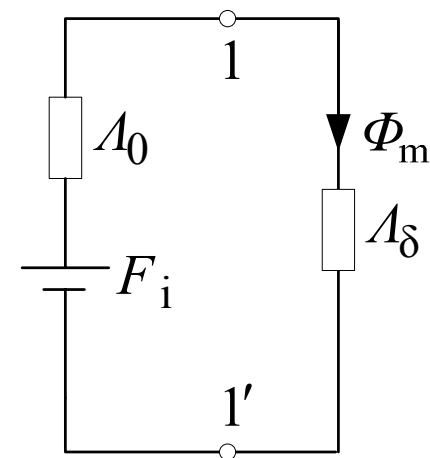
永磁体的等效磁路



a)



b)



c)

图8-14 开路工作状态的永磁磁路和等效磁路

a) 永磁磁路

b) 磁通源等效磁路

c) 磁动势源等效磁路

戴维宁定理

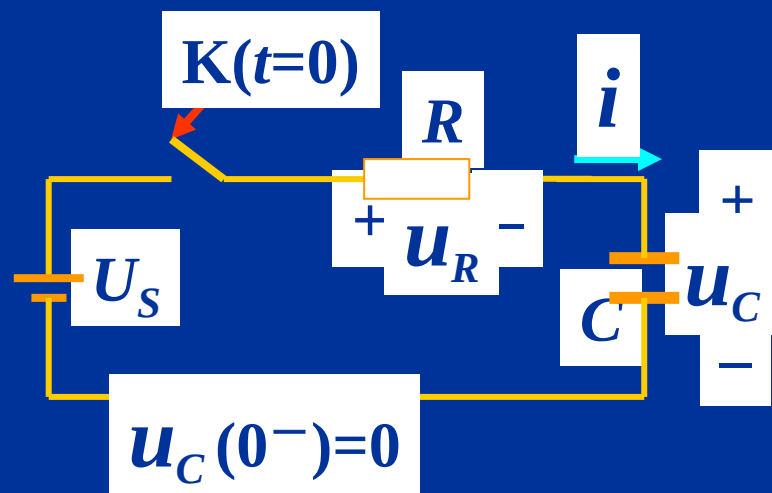
5、一阶动态电路

知识：一阶动态电路

零状态响应

→ 动态元件初始能量为零，由 $t > 0$ 电路中外加输入激励作用所产生的响应。

1. RC电路的零状态响应



列方程：

$$RC \frac{du_C}{dt} + u_C = U_S$$

非齐次线性常微分方程

解答形式为：

$$u_c = u'_c + u''_c$$

齐次方程通解

非齐次方程特解

一阶动态电路

知识：一阶动态电路

u_C''

特解（强制分量，稳态分量）

$$RC \frac{du_C}{dt} + u_C = U_s$$

的特解



$$u_C'' = U_s$$

与输入激励的变化规律有关，为电路的稳态解

u_C'

通解（自由分量，暂态分量）

$$RC \frac{du_C}{dt} + u_C = 0$$

的通解



$$u_C' = Ae^{-\frac{t}{RC}}$$

一阶动态电路

知识：一阶动态电路

变化规律由电路参数和结构决定

全解

$$u_C(t) = u'_C + u''_C = U_S + Ae^{-\frac{t}{RC}}$$

由初始条件

定积分常数 A

$$u_C(0^+) = A + U_S = 0$$



$$A = -U_S$$

$$u_c = U_S - U_S e^{-\frac{t}{RC}} = U_S (1 - e^{-\frac{t}{RC}}) \quad (t \geq 0)$$

一阶动态电路

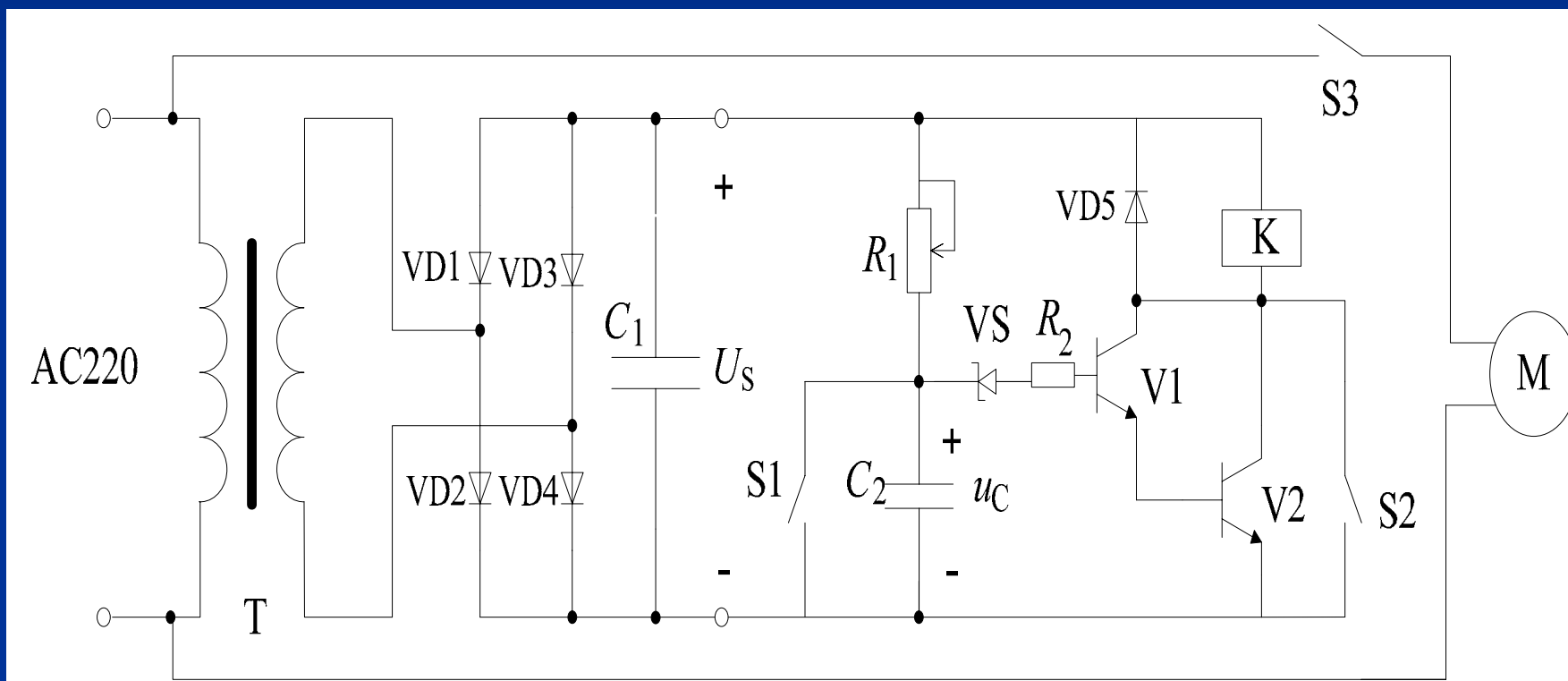
冰箱保护器延时电路

压缩机是制冷系统的核心，它从吸气管吸入低温低压的制冷剂气体，通过电机运转带动活塞对其进行压缩后，向排气管排出高温高压的制冷剂气体，为制冷循环提供动力，从而实现压缩→冷凝→膨胀→蒸发(吸热)的制冷循环。压缩机一般由壳体、电动机、缸体、活塞、控制设备(启动器和热保护器)及冷却系统组成。

保护器延时电路

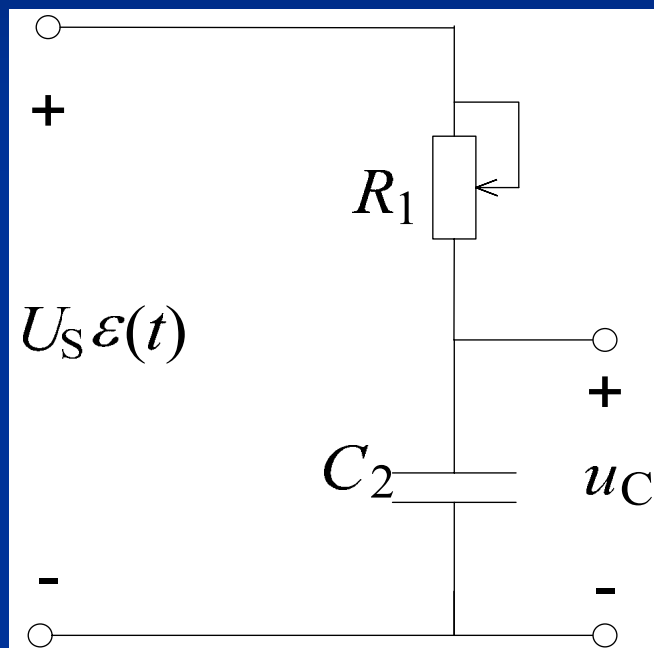
家用电冰箱在断电后5min内又复通电时，压缩机会因系统内压力过大而出现起动困难，严重时烧毁压缩机，影响电冰箱的使用寿命。电冰箱延时保护器，能在停电后又恢复供电时，自动延时5-8min后再接通电源，达到保护压缩机的目的。

冰箱保护器延时电路



一阶动态电路

冰箱保护器延时电路



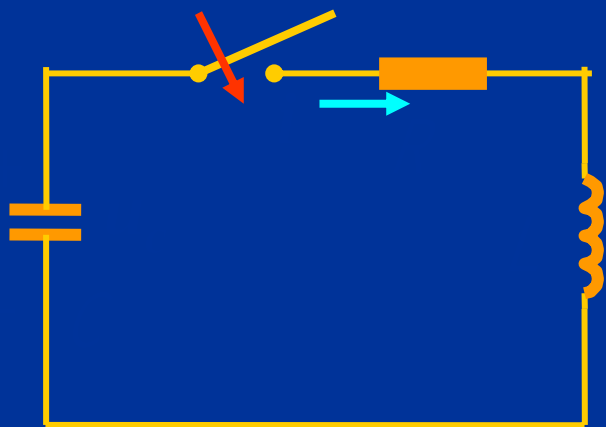
$$u_C = U_S \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau}} \right)$$

一阶动态电路

6、二阶动态电路

知识：二阶动态电路

二阶电路的零输入响应



$$LC \frac{d^2 u_C}{dt} + RC \frac{du_C}{dt} + u_C = 0$$

二阶动态电路

知识：二阶动态电路

2. 零状态响应的三种情况

$$R > 2\sqrt{\frac{L}{C}}$$

二个不等负实根

过阻尼

$$R = 2\sqrt{\frac{L}{C}}$$

二个相等负实根

临界阻尼

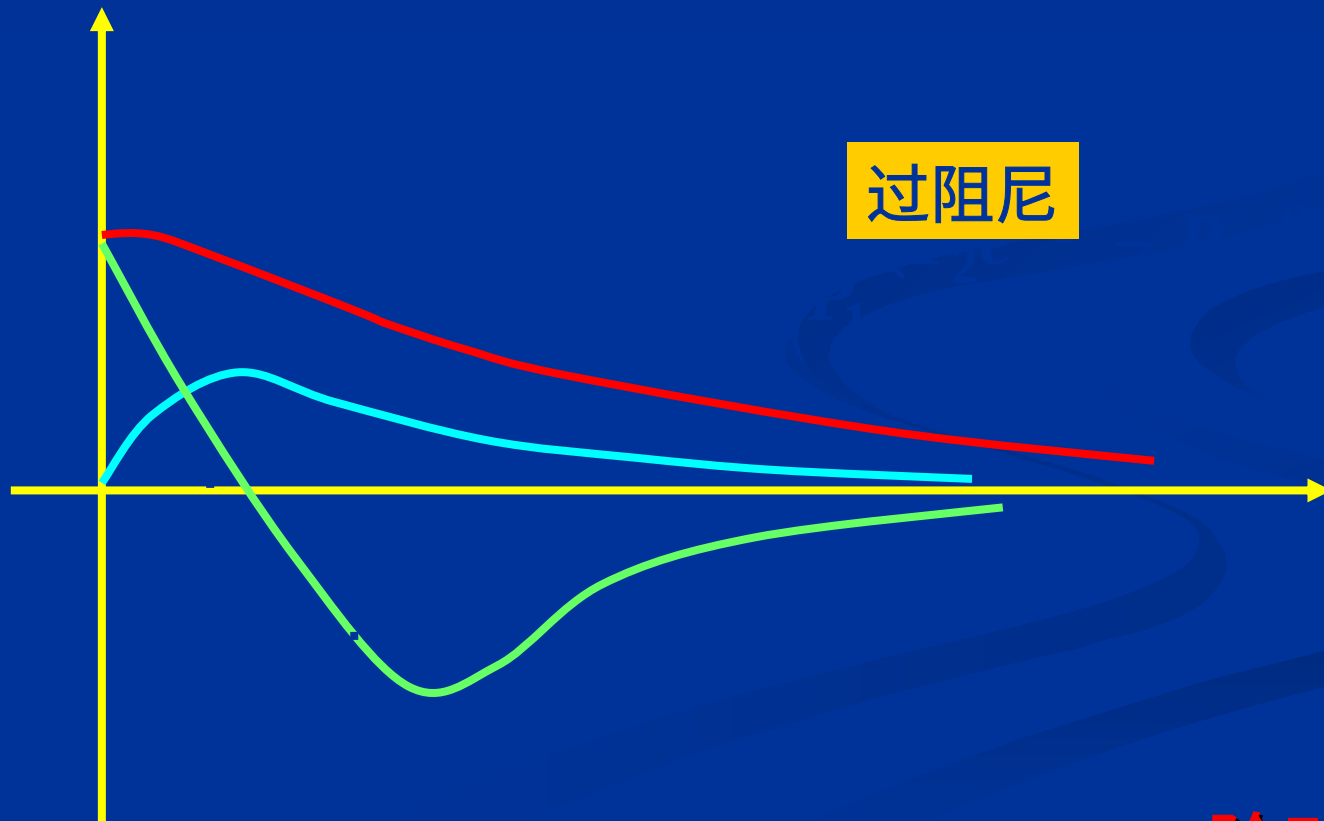
$$R < 2\sqrt{\frac{L}{C}}$$

二个共轭复根

欠阻尼

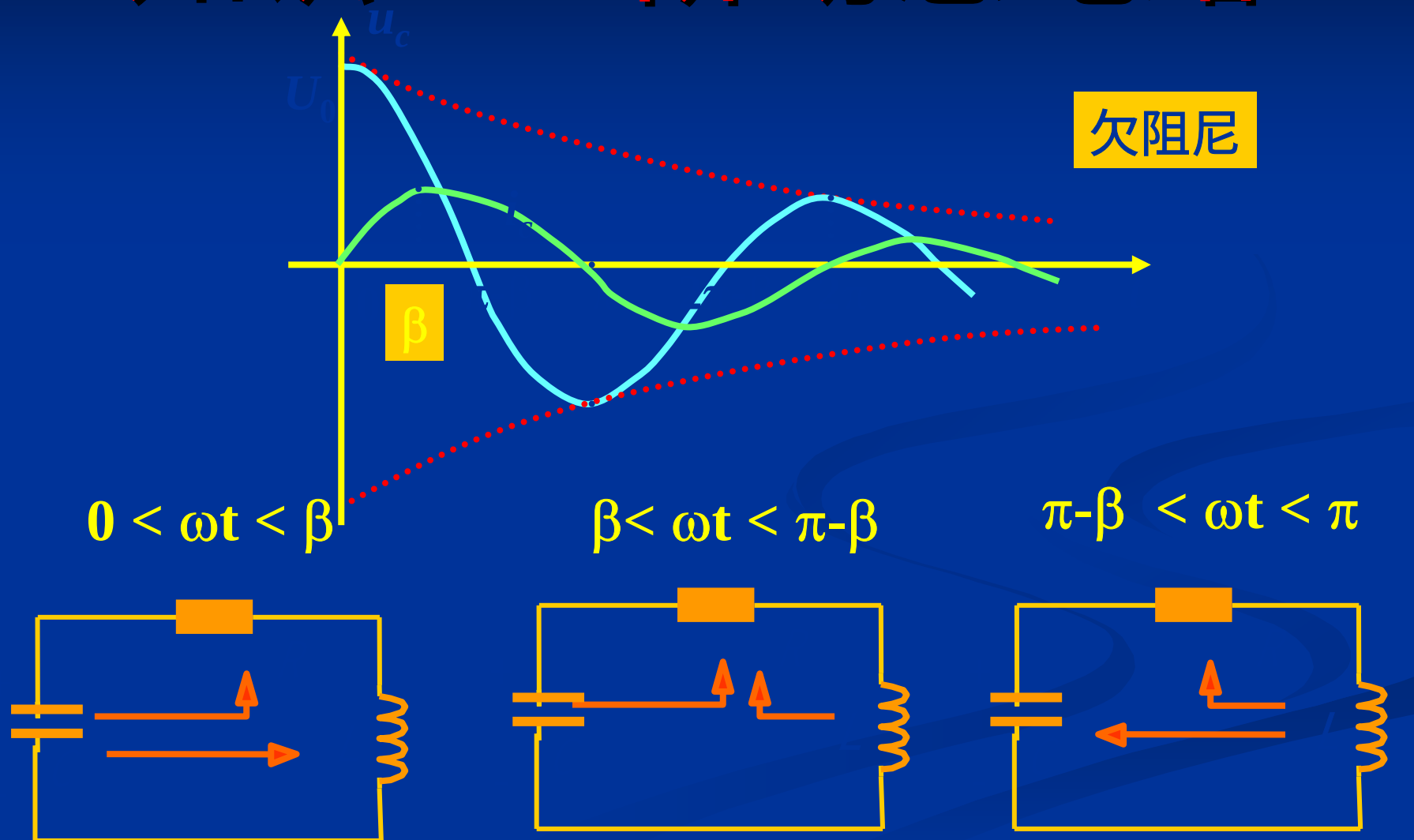
二阶动态电路

知识：二阶动态电路



二阶动态电路

知识：二阶动态电路



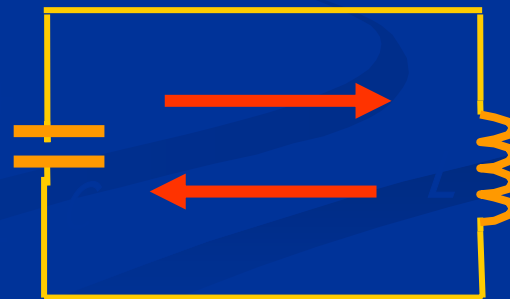
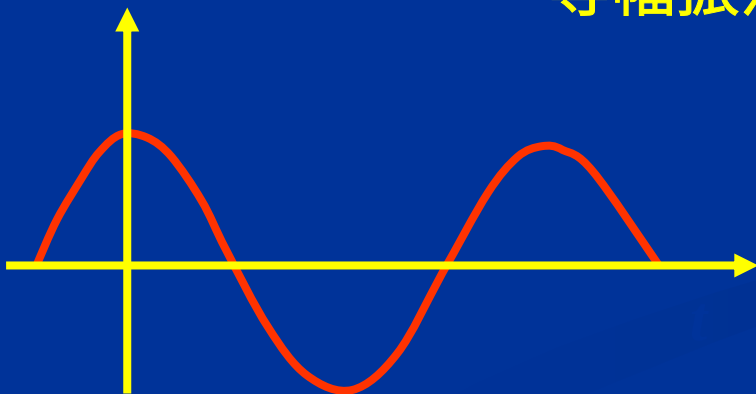
二阶动态电路

思想：LC正弦波产生电路

特例：R=0时

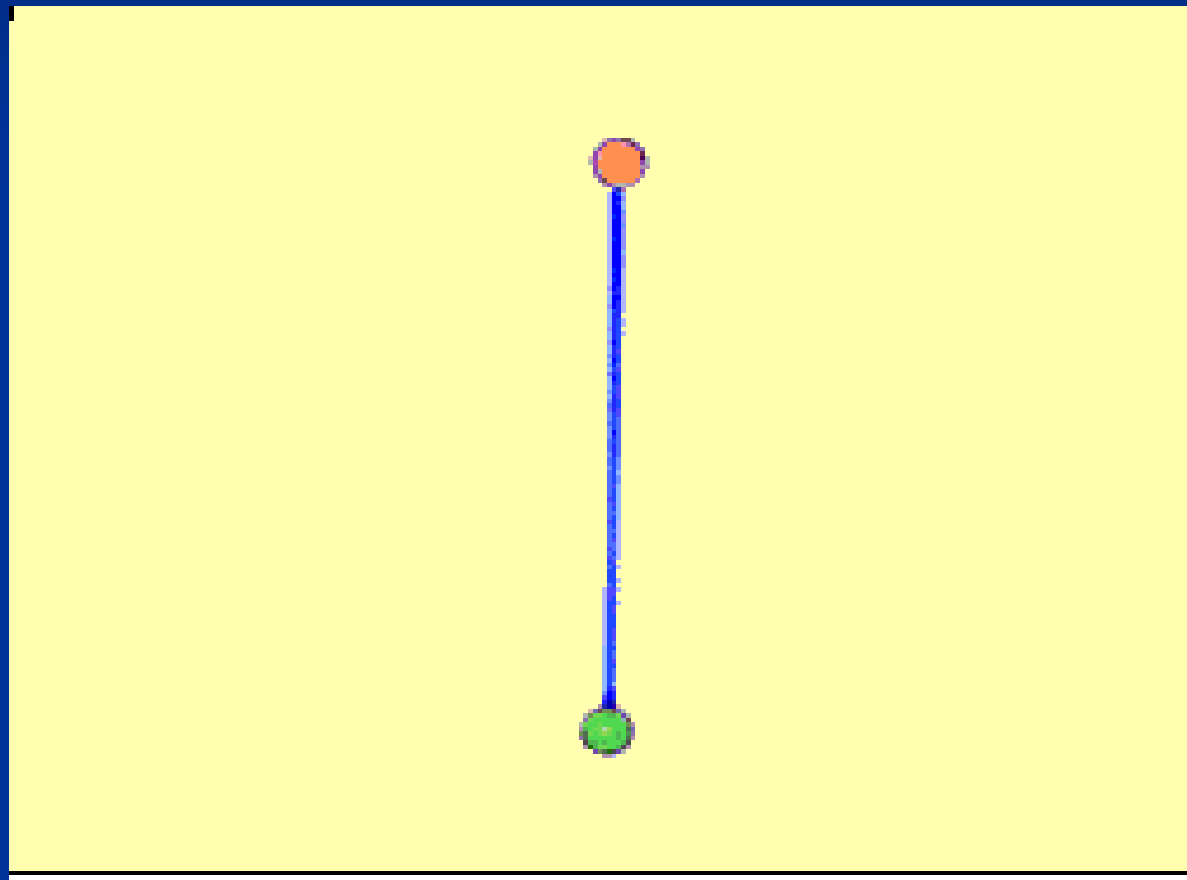
$$\text{则 } \delta = 0, \quad \omega = \omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}, \quad \beta = \frac{\pi}{2}$$

等幅振荡



二阶动态电路

电偶极子天线



二阶动态电路

7：正弦稳态电路

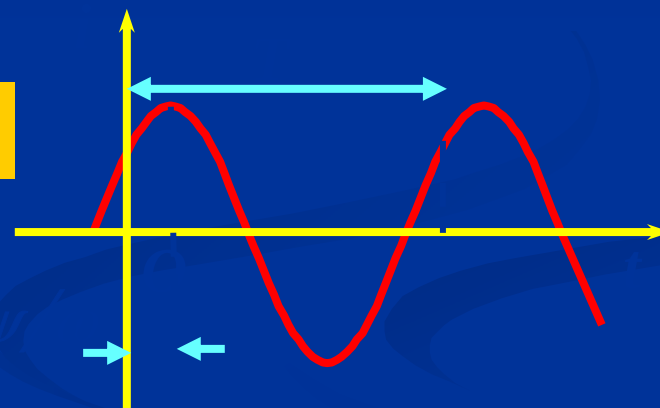
知识：正弦稳态电路

正弦量

瞬时值表达式：

$$i(t) = I_m \cos(\omega t + \psi)$$

波形：



正弦稳态电路

知识：正弦稳态电路

● 正弦电流电路 → 激励和响应均为正弦量的电路
(正弦稳态电路) 称为正弦电路
或交流电路。

● 研究正弦电路的意义：

(1) 正弦稳态电路在电力系统和电子技术领域占有十分重要的地位。

优点：

- 1) 正弦函数是周期函数，其加、减、求导、积分运算后仍是同频率的正弦函数
- 2) 正弦信号容易产生、传送和使用。

正弦稳态电路

交流输电

取代直流输电的原因

- 当初爱迪生发明直流输电的年代，电气绝缘等级，开关拉断能力等很多下游技术决定了用相对较低电压传送电能的可能性。
- 交流输电有三相，同比能传送更多电能，这是主要原因。
- 交流输电的变电站数量更少，减少了很多成本。
- 由于美国的一次世博会中，交流输电项目的巨大成功。最终，在特斯拉和爱迪生的DC/AC论战中，特斯拉所代表的西屋电气把GE的前身，爱迪生开的直流输电公司打败。
- 这样导致100年来我们所认识的输电，基本就是交流输电。
- 当然现在随着电压等级升高，大系统互联等等原因，直流输电也越来越红火了。

正弦稳态电路

交流输电 与直流输电的优缺点

交流输电线路中，除了有导线的电阻损耗外还有交流感抗的损耗。为了解决交流输电电阻的损耗，采用高压和超高压输电来减小电流来减小损耗，但是交流电感损耗不能减小，因此交流输电不能做太远距离输电。如果线路过长输送的电能就会全部消耗在输电线路路上。交流输电并网还要考虑相位的一致，如果相位不一致两组发电机并网会互相抵消。

正弦稳态电路

交流输电 与直流输电的优缺点

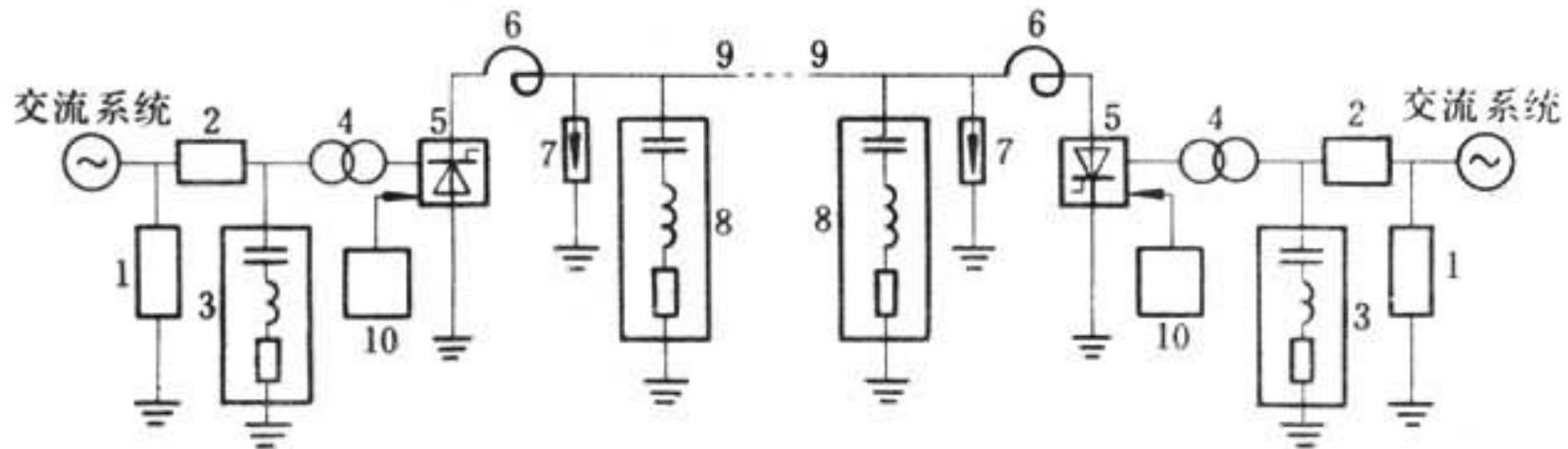
直流输电是电力系统中近年来迅速发展的一项新技术。直流输电克服了上述电感的损耗。只有导线电阻的损耗。主要应用于远距离大容量输电、电力系统联网、远距离海底电缆或大城市地下电缆送电、配电网络的轻型直流输电等方面。

交流输电 与直流输电的优缺点

直流 输电与交流输电相互配合，构成现代电力传输系统。随着电力系统技术经济需求的不断增长和提高，直流输电受到广泛的注意并得到不断的发展。与直流输电相关的技术，如电力电子、微电子、计算机控制、绝缘新材料、光纤、超导、仿真以及电力系统运行、控制和规划等的发展为直流输电开辟了广阔的应用前景。

正弦稳态电路

直流输电系统



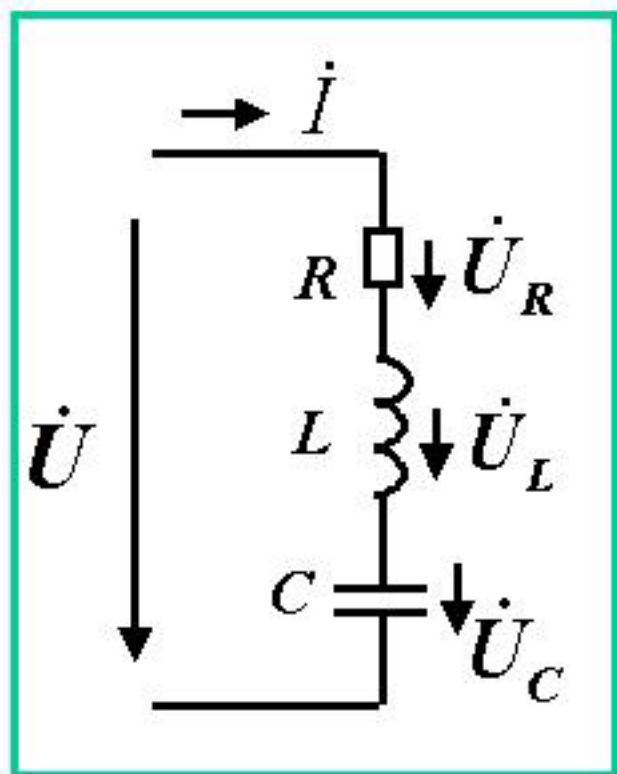
直流输电系统的基本构成

- 1 无功补偿装置 2 交流断路器 3 交流滤波器 4 换流变压器
5 换流装置 6 平波电抗器 7 避雷器 8 直流滤波器 9 直流输电线 10 保护和控制

8、谐振电路

一、串联谐振

1. 串联谐振的条件



$$Z = R + j(X_L - X_C)$$

$$= \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2} \angle \tan^{-1} \frac{X_L - X_C}{R}$$

$$= |Z| \angle \varphi$$

$$\text{若令: } X_L = X_C$$

$$\text{则: } \varphi = 0 \Rightarrow \dot{U}, \dot{i} \text{ 同相}$$

$$\Rightarrow \text{谐振}$$

$\therefore$ 串联谐振的条件是:

$$X_L = X_C$$

谐振电路

$$X_L = \omega L = 2\pi fL \quad X_C = \frac{1}{\omega C} = \frac{1}{2\pi fC}$$

$$\boxed{X_L = X_C} \quad \Rightarrow \quad \boxed{\omega_0 L = \frac{1}{\omega_0 C}}$$

$$\Rightarrow \quad \boxed{\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}} \quad \boxed{f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}}$$

谐振电路

2. 串联谐振的特点

(1) $\dot{U}$ 、 $\dot{i}$ 同相 $\varphi = \operatorname{tg}^{-1} \frac{X_L - X_C}{R} = 0$

电路表现为纯阻性，电源只提供有功功率。电感和电容的无功功率完全互相补偿，不与电源进行能量交换。

(2) $X_L = X_C$

$$|Z| = |Z|_{\min} = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2} = R$$

(3) 当电源电压一定时： $I = I_0 = I_{\max} = \frac{U}{R}$

谐振电路

(4) 当 $X_L = X_C \gg R$ 时

$$U_L = I_0 X_L = U_C = I_0 X_C \gg U = I_0 R$$

即 L 、 C 上的电压可能远大于电源电压。

谐振时: $I_0 = \frac{U}{R}$ 、 $X_L = X_C$

$$U_L = I_0 X_L = \frac{U}{R} X_L = \frac{X_L}{R} U$$

$$U_C = I_0 X_C = \frac{U}{R} X_C = \frac{X_C}{R} U$$

当 $X_L > R$, $X_C > R$ 时, $U_L = U_C > U$

注: 串联谐振也被称为**电压谐振**。

谐振电路

3.品质因数 - Q 值

定义：串联谐振电路的品质因数：

$$Q = \frac{U_L}{U} = \frac{U_C}{U}$$

其中： U_L 、 U_C 分别为谐振时电感、电容两端的电压

$$\text{谐振时: } \begin{cases} U_L = \frac{X_L}{R} U = \frac{\omega_0 L}{R} U \\ U_C = \frac{X_C}{R} U = \frac{1}{\omega_0 C R} U \end{cases}$$

$$\therefore Q = \frac{U_L}{U} = \frac{U_C}{U} = \frac{\omega_0 L}{R} = \frac{1}{\omega_0 R C}$$

含义：在谐振时， U_L 和 U_C 是电源电压的 Q 倍。

谐振电路

交流耐压试验

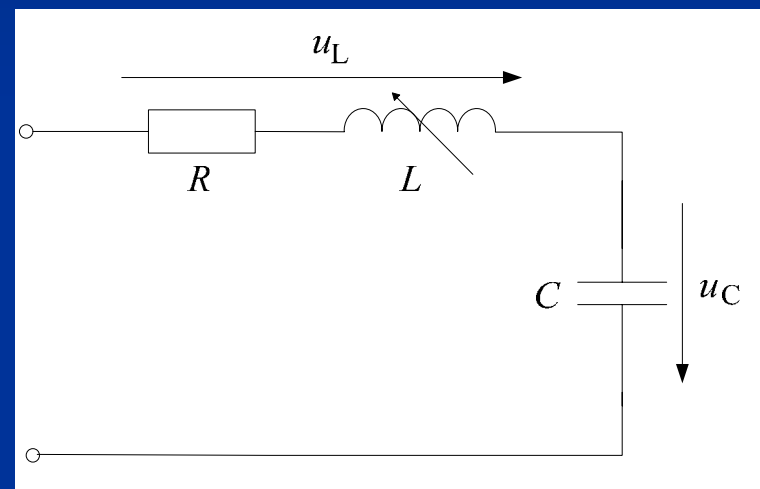
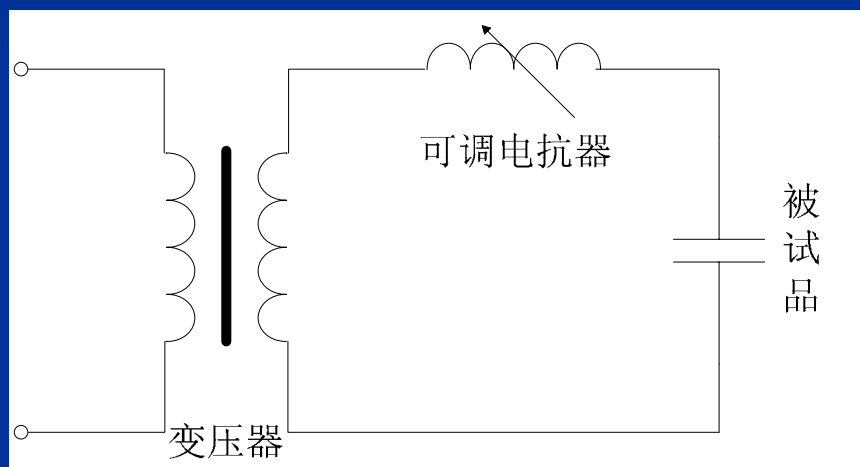
交流耐压试验是判断电气设备绝缘强度的最有效和最直接的方法, 它可以考验电气设备绝缘强度耐受长时间工频电压的作用和工频电压升高的能力。迄今为止电力行业一直沿用工频耐压试验来等效地考核绝缘耐受内过电压的能力, 以保证电气设备的绝缘水平, 从而作为决定电气设备能否出厂或投入运行的重要依据。

交流耐压试验

但是有些电气设备,如输电线、电缆、大型发电机及高压气体绝缘组合电器(GIS)等电容量很大的被试品的交流耐压试验,常常需要很大容量的试验设备和电源,一般现场往往不具备这些条件。对于变压器等被试品,在交流耐压试验时的等值阻抗呈容性,被试品的电容量越大试验回路的电流越大。所需的试验电源不仅要有较高的电压而且要有较大的容量,以满足工频耐压试验的需要。

谐振电路

交流耐压试验

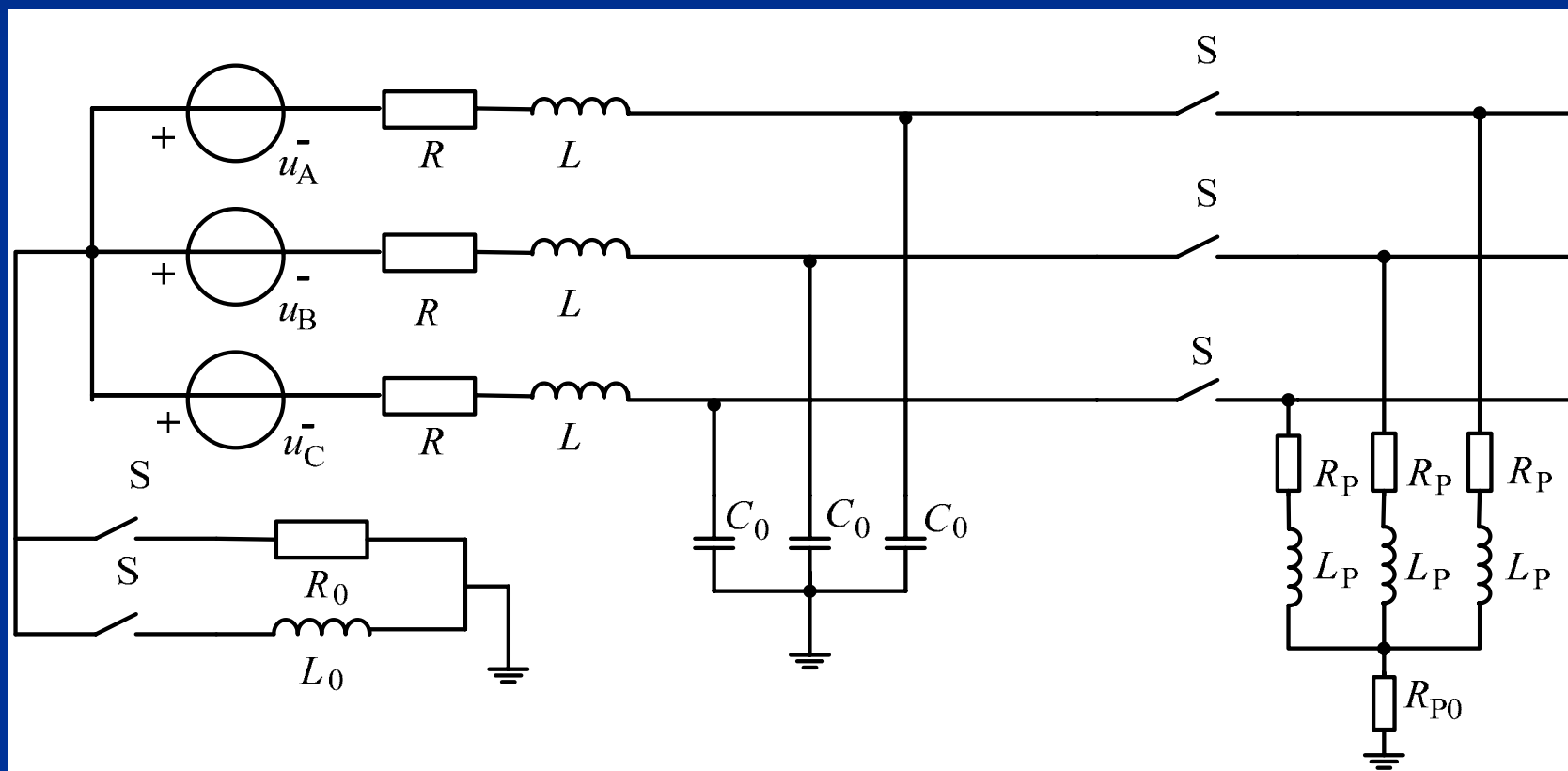


谐振电路

电压互感器铁磁谐振现象

铁磁谐振过电压是一种常见的过电压现象。当系统进行某些操作导致系统参数突变时,如系统出现单相接地故障,补偿电容器的投切,空载线路突然合闸等使电压互感器铁心饱和有可能产生铁磁谐振过电压。铁磁谐振过电压引起高压熔断器熔断,造成互感器绝缘击穿、甚至烧毁爆炸等,严重地危害电力系统的安全运行。

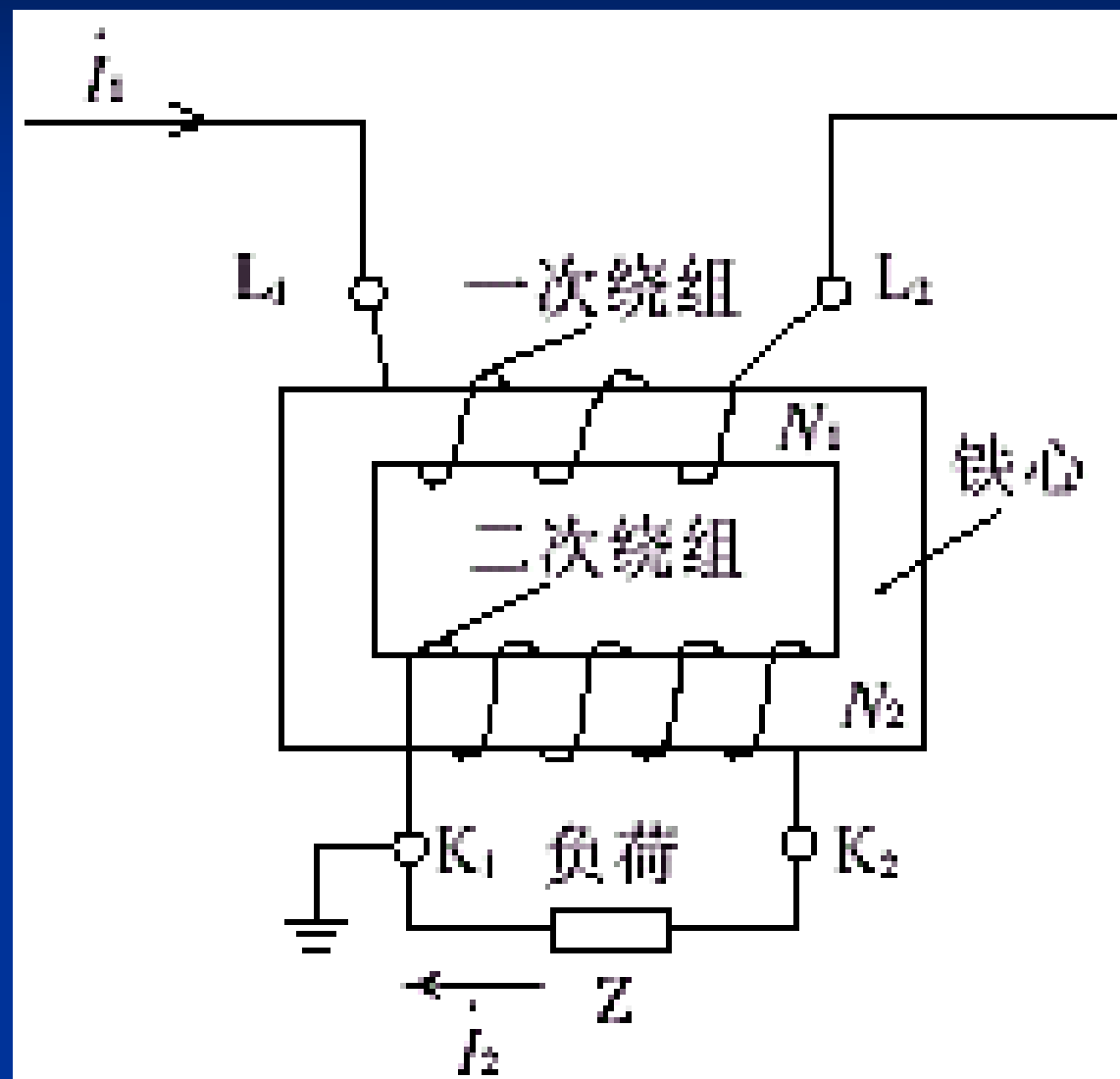
电压互感器铁磁谐振现象



谐振电路

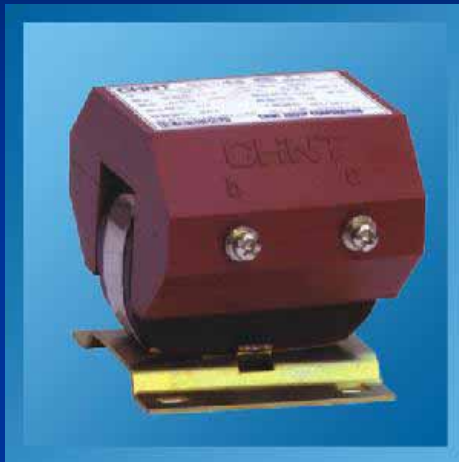
9、互感电路

互感器原理



互感电路

互感器

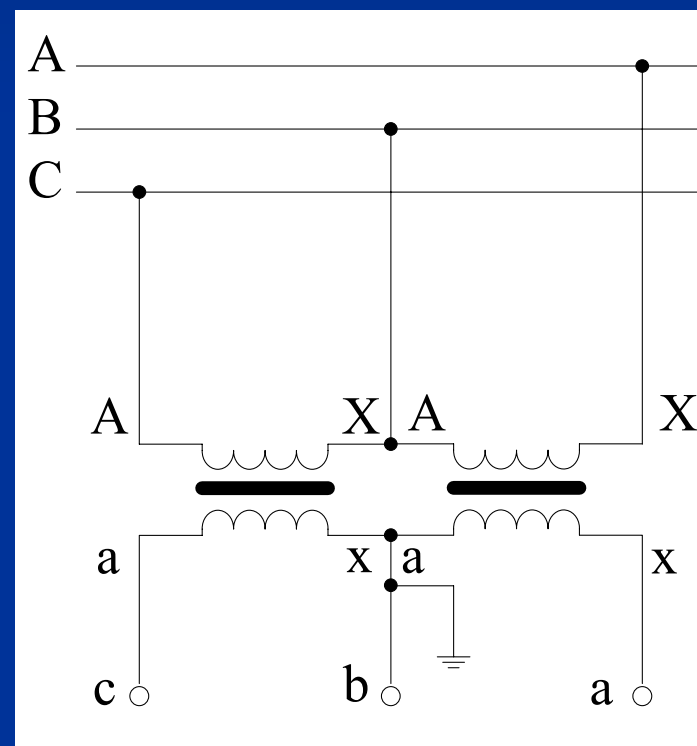


互感电路

10、三相电路

互感器V型接法

在中性点非直接接地的
高压（35kV及以下）三
相电路中，通常利用两
台单相电压互感器（非
接地型）接成V/V接线，
来测量线电压和取得配
电室内的仪表、保护装
置和操作所需要的电压。



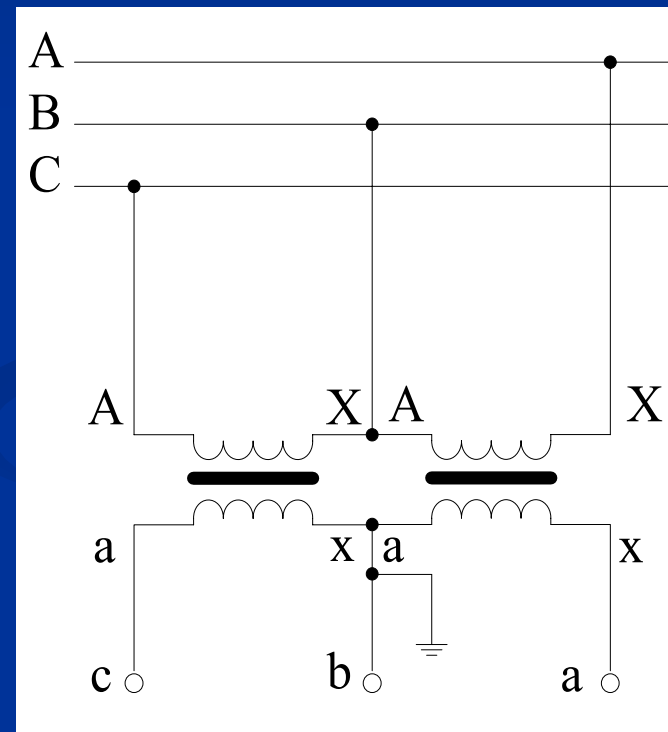
三相电路

互感器V型接法

$$\dot{U}_{ab} = U_1 \angle 0^\circ$$

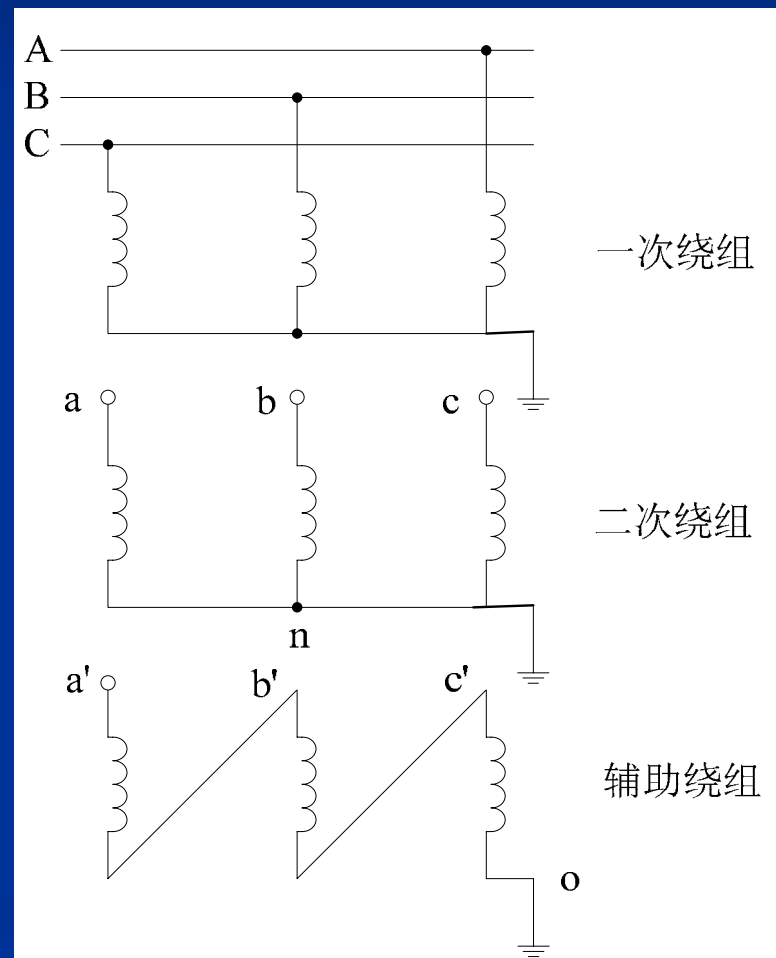
$$\dot{U}_{bc} = U_1 \angle -120^\circ$$

$$\dot{U}_{ca} = -\dot{U}_{ab} - \dot{U}_{bc} = U_1 \angle 120^\circ$$



互感器△型开口接法

三套绕组的三相互感器，一次、二次侧均Y为接，辅助绕组为△型开口接法。这种接法通常用在35kV及以下三相电路中，供电压、电能和功率测量以及继电保护用。



三相电路

互感器△型开口接法

二次侧绕组提供100V电压供测量用。辅助绕组提供100V电压供继电保护用。当互感器正常工作时，辅助绕组三相电压对称，这时

$$\dot{U}_{a'o} = \dot{U}_{a'b'} + \dot{U}_{b'c'} + \dot{U}_{c'o} = 100\angle 0^\circ + 100\angle -120^\circ + 100\angle 120^\circ = 0$$

继电器不动作。

互感器△型开口接法

而当线路发生单相接地事故时，辅助绕组三相电压中的一相电压为零，例如：

$$U_{c'o} = 0$$

$$\dot{U}_{a'o} = \dot{U}_{a'b'} + \dot{U}_{b'c'} = 100\angle 0^\circ + 100\angle -120^\circ = 100\angle -60^\circ \text{V}$$

继电器得到100V电压，开始动作，进行继电保护。

11、非正弦周期电流电路

非正弦周期电流电路

生产实际中不完全是正弦电路，经常会遇到非正弦周期电流电路。在电子技术、自动控制、计算机和无线电技术等方面，电压和电流往往都是周期性的非正弦波形。

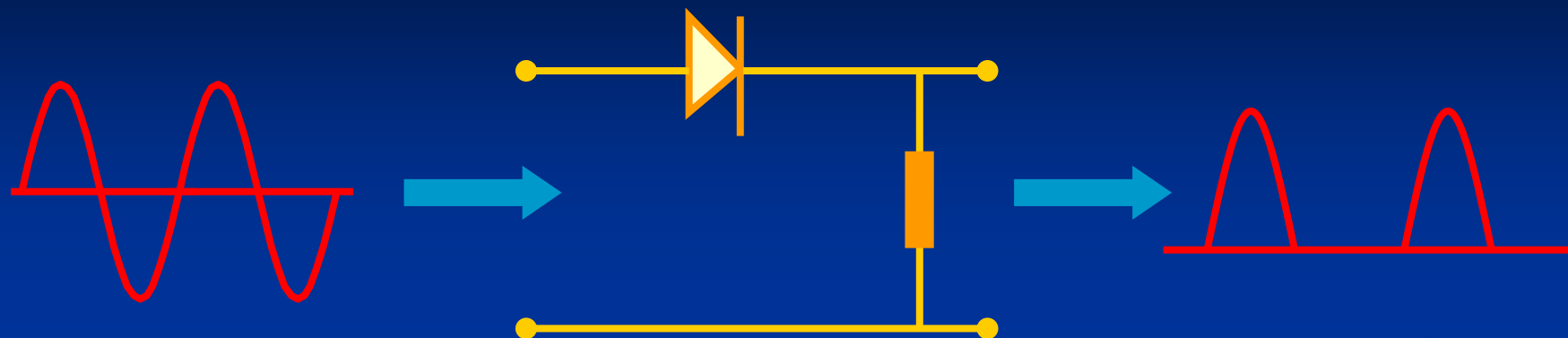
- 非正弦周期交流信号的特点

- (1) 不是正弦波
- (2) 按周期规律变化

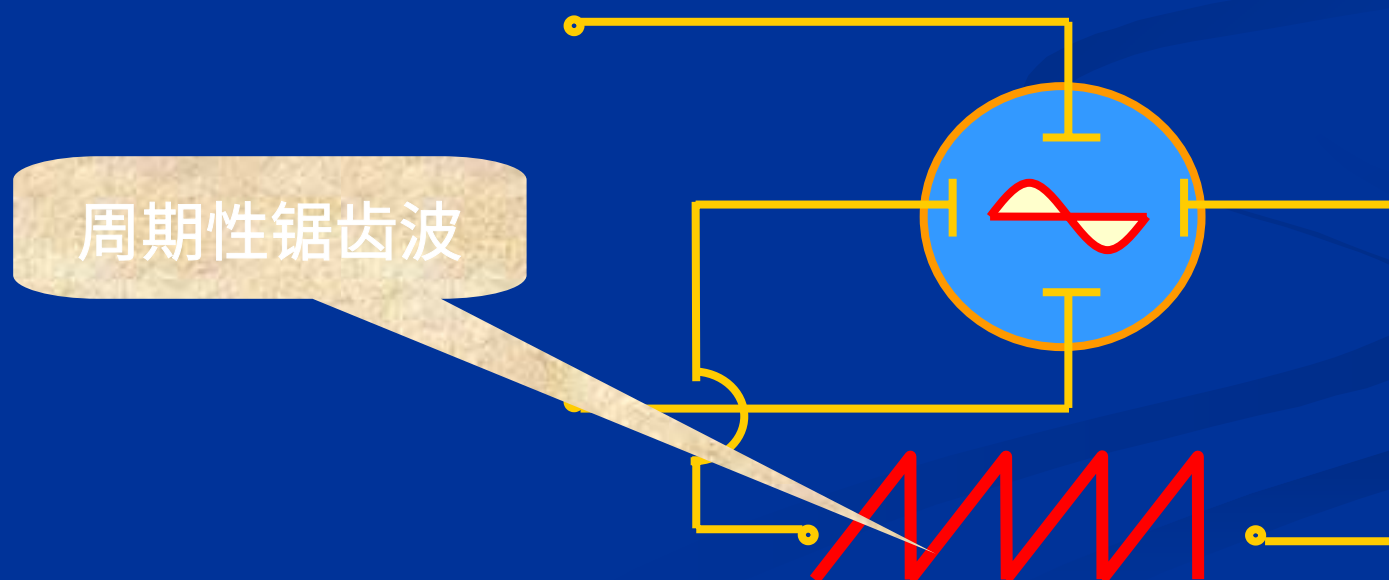
电力电子装置-最主要的谐波源

- 非线性负荷是个谐波源，它引起电网电压畸变，使电压中带有整数倍基波频率的分量。
- 作为最主要的谐波源的电力电子装置主要为各种交直流变流装置（整流器、逆变器、斩波器、变频器）以及双向晶闸管可控开关设备等，
- 另外还有电力系统内部的变流设备，如直流输电的整流阀和逆变阀等。

非正弦周期电路

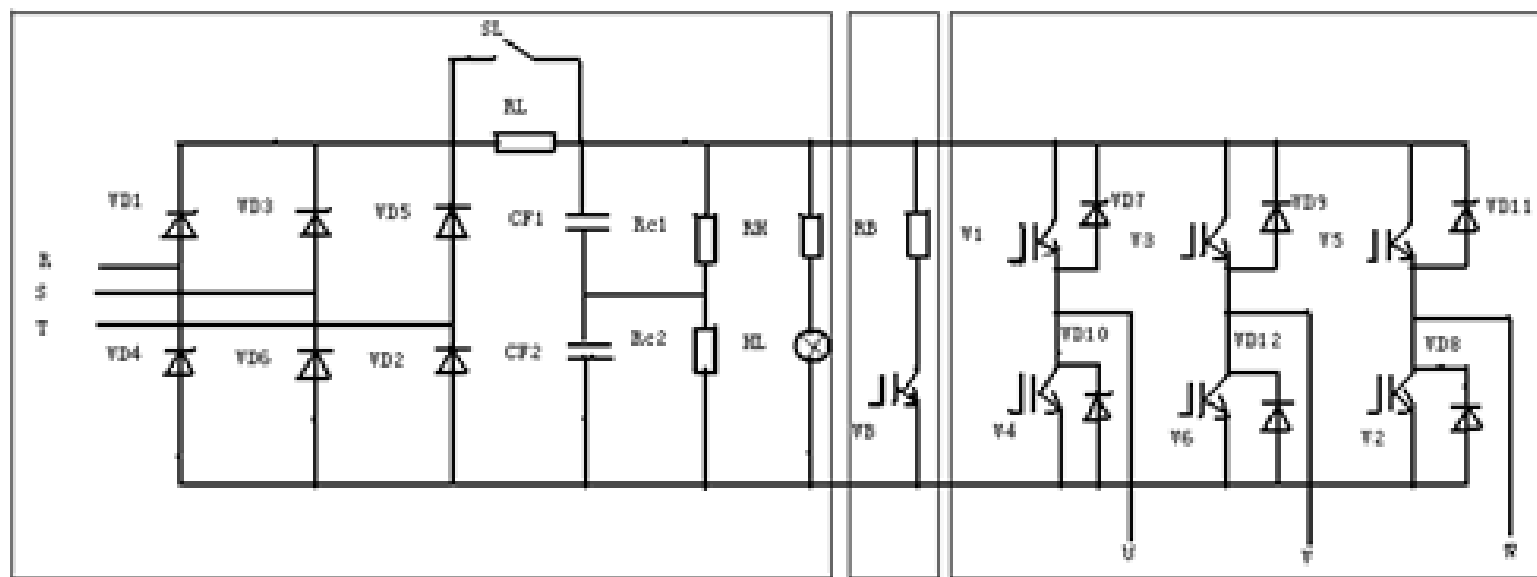


例2 示波器内的水平扫描电压



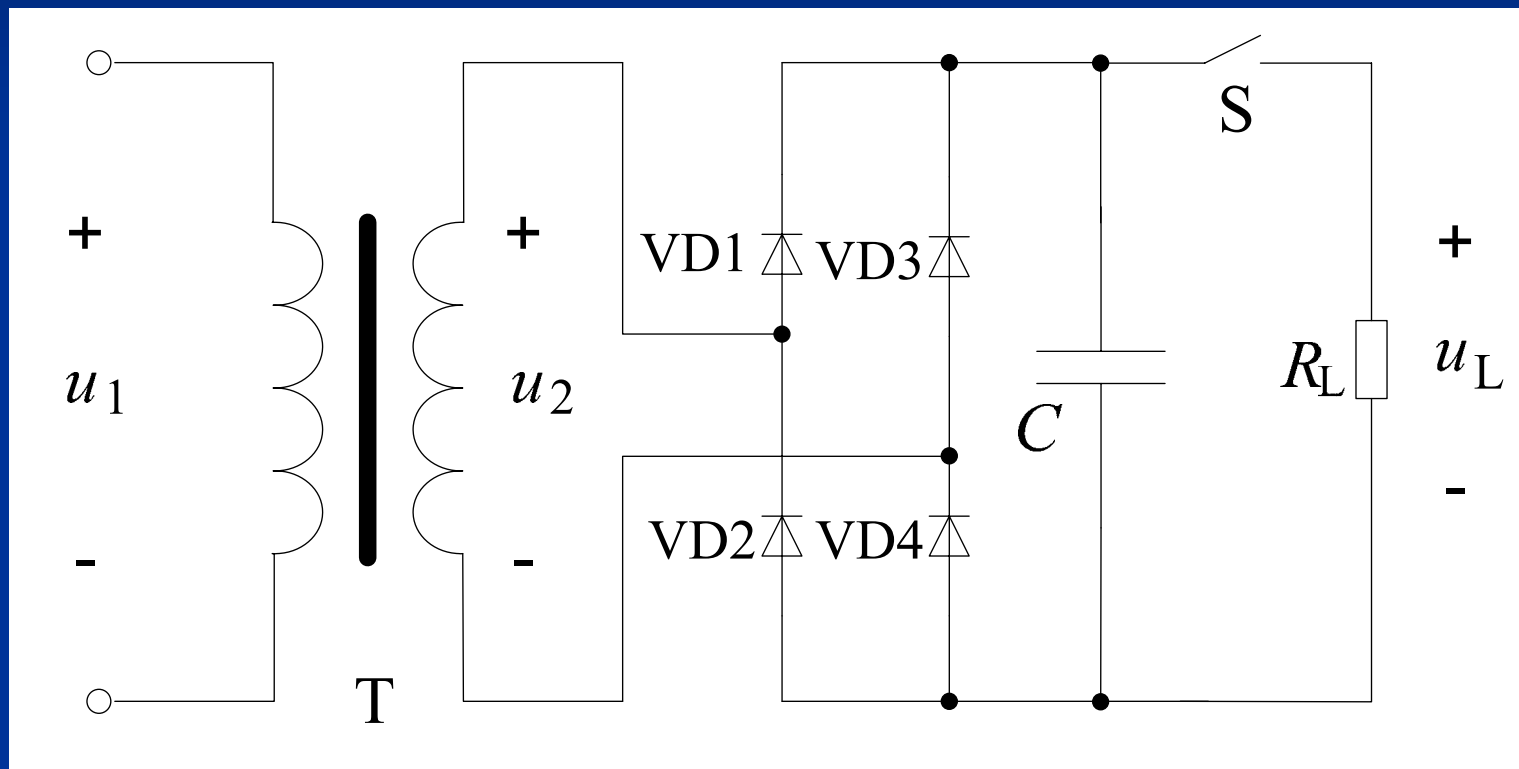
变频器原理

“交-直-交”变换电路



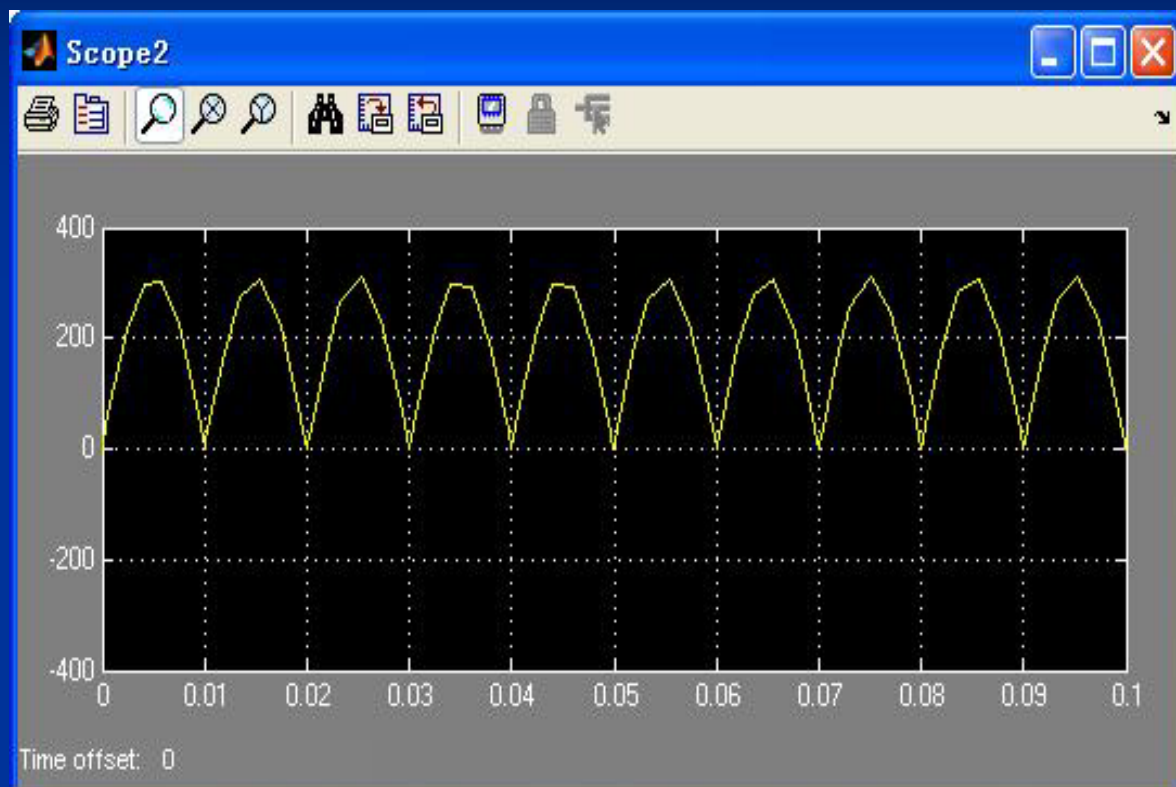
非正弦周期电路

整流滤波电路



非正弦周期电路

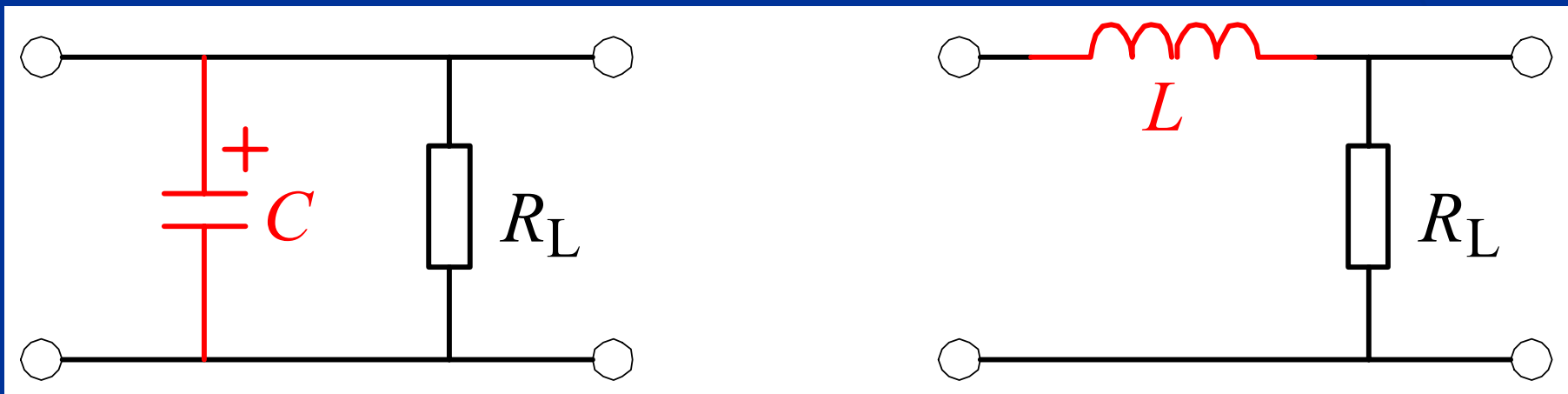
整流滤波电路



对于没有电容滤波的整流电路，其输出波形是非正弦波形， $u_L=0.9U$ 。

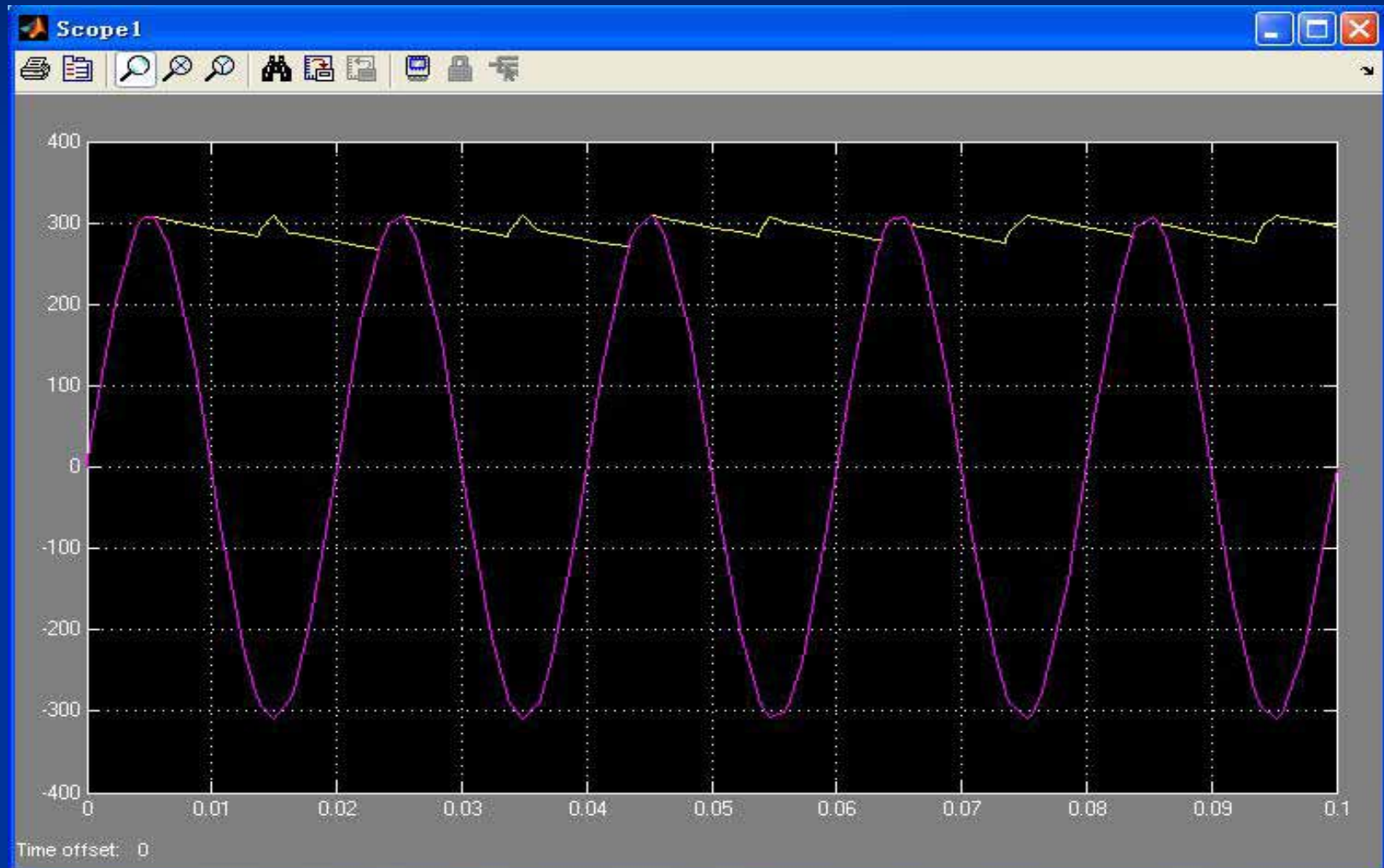
非正弦周期电路

整流滤波电路



非正弦周期电路

整流滤波电路



非正弦周期电路

整流滤波电路

电容滤波整流电路：

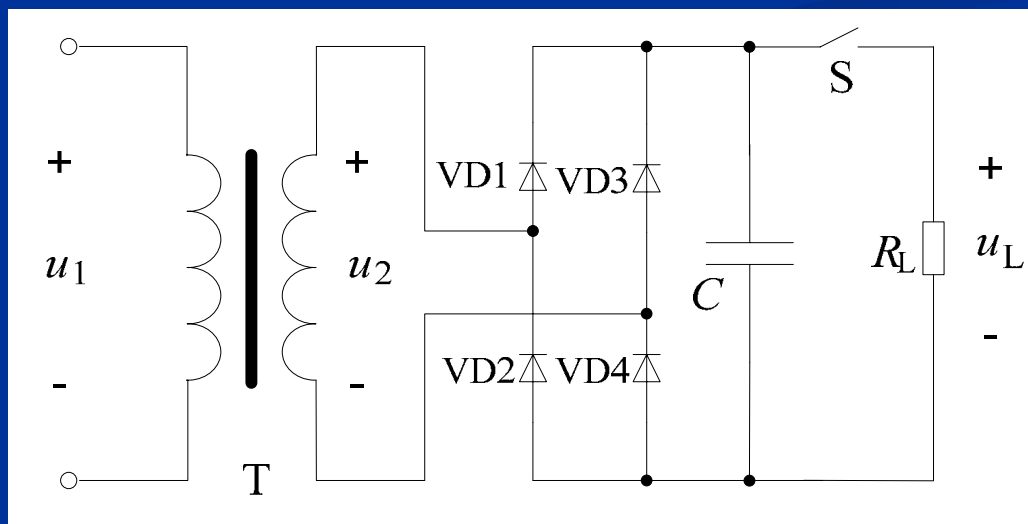
负载： $u_L = 0.9 \sqrt{2} U_2$

空载： $u_L = \sqrt{2} U_2$

非正弦周期电路

整流滤波电路

- **空载**： u_2 通过 D2、D3或者D1、D4向电容器C充电，**充电时间常数为：** $\tau_1 = R_{eq}C$
- R_{eq} 很小，电容器很快就充电到交流电压 u_2 的最大值 $\sqrt{2}U_2$ 电容器无放电回路，电压保持不变



非正弦周期电路

整流滤波电路

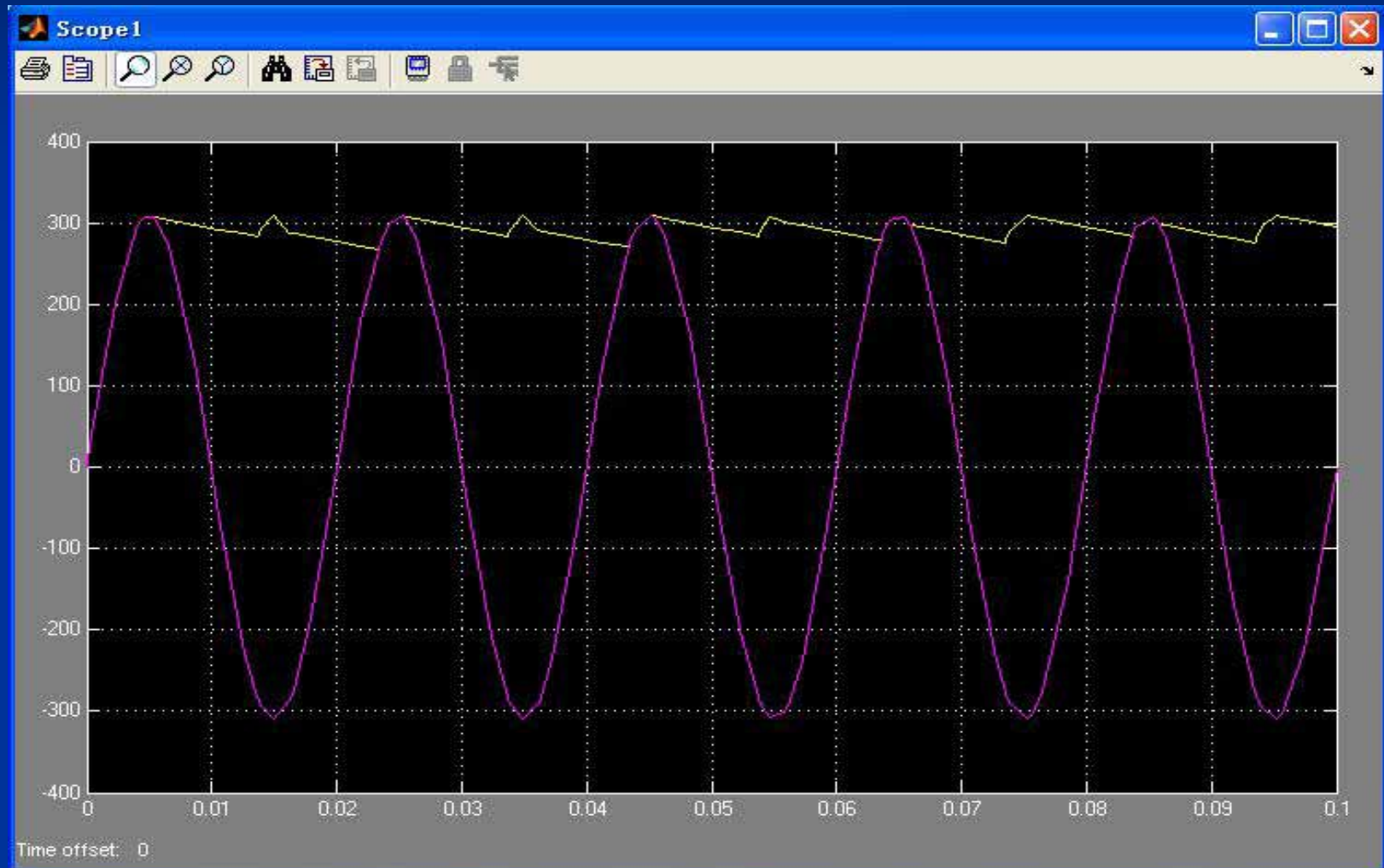
负载：由于电容器在负载接入前已充电，故刚负载接入时 $u_2 < u_L$ ，二极管承受反向电压而截止。 u_L 衰减到 $u_L < u_2$ 时，二极管受正向电压而导通， u_2 一方面向负载 R_L 提供电流，一方面向电容器 C 充电，直到 u_2 为正半周下降到 $u_L > u_2$ 时，二极管承受反向电压而截止，电容器 C 经过负载 R_L 放电。

放电时间常数： $\tau_2 = R_L C$

充电时间常数： $\tau_3 = (R_{eq} // R_L) C \approx R_{eq} C$

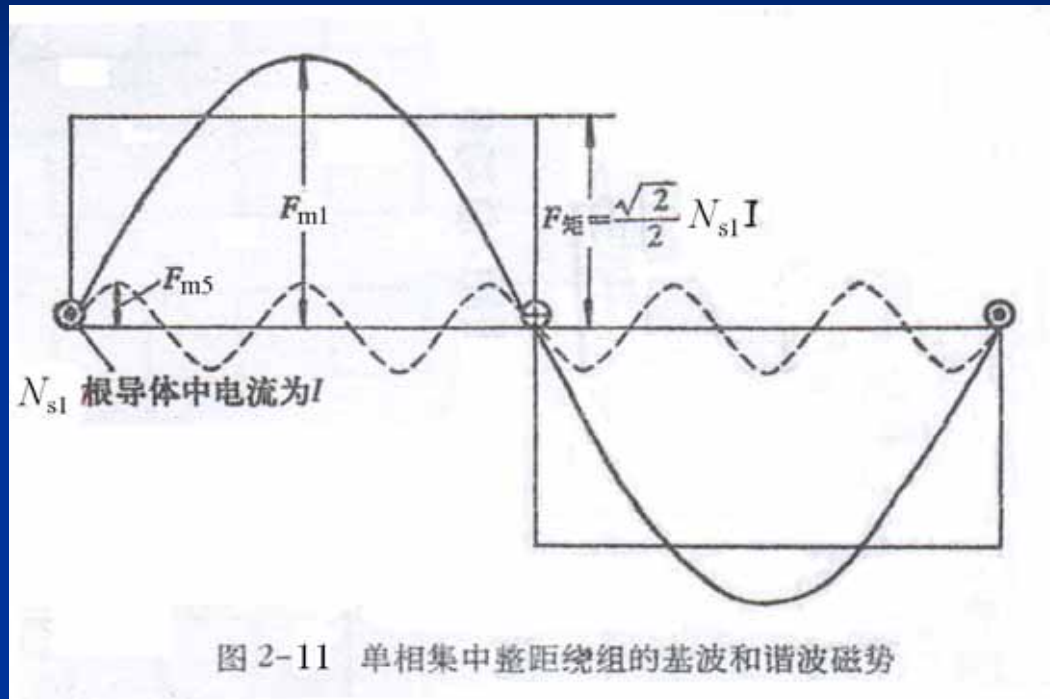
非正弦周期电路

整流滤波电路



非正弦周期电路

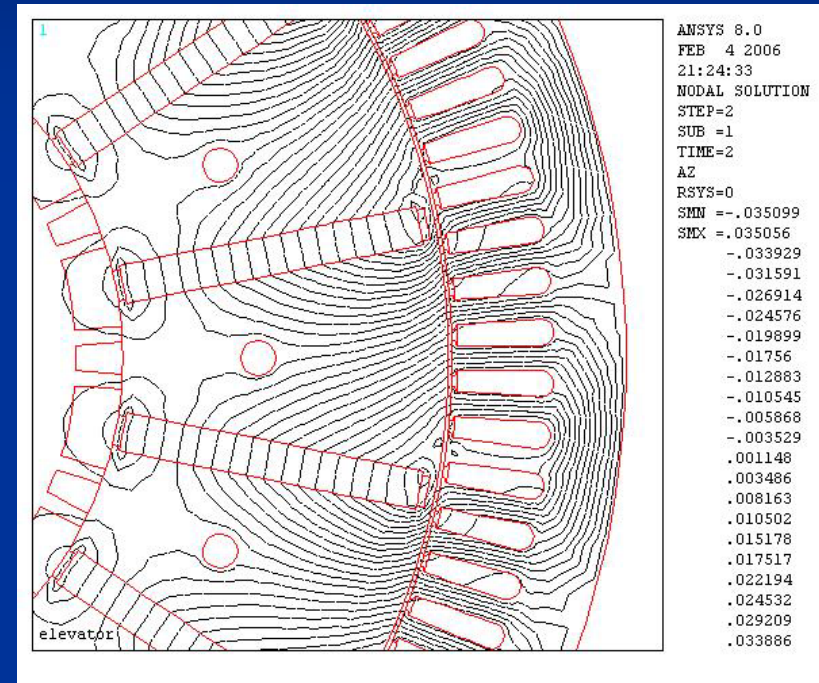
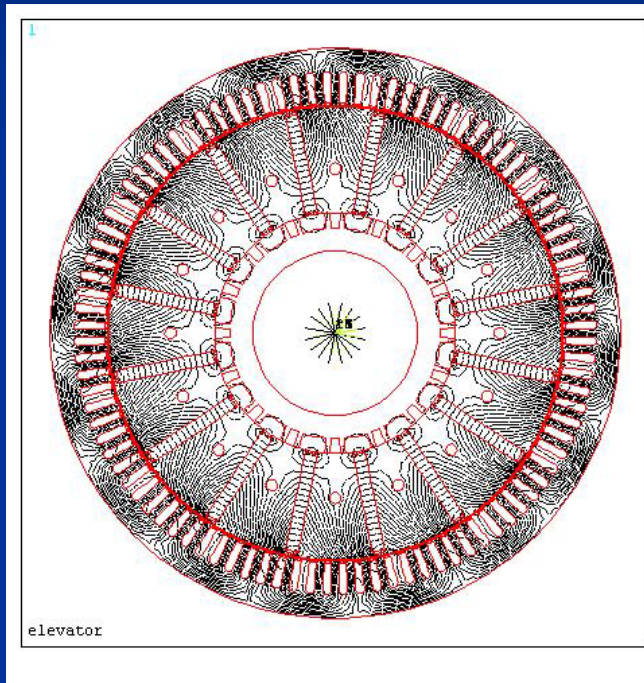
电机磁动势的分析



根据谐波分析，矩形波磁动势可分解为基波和一系列谐波磁动势

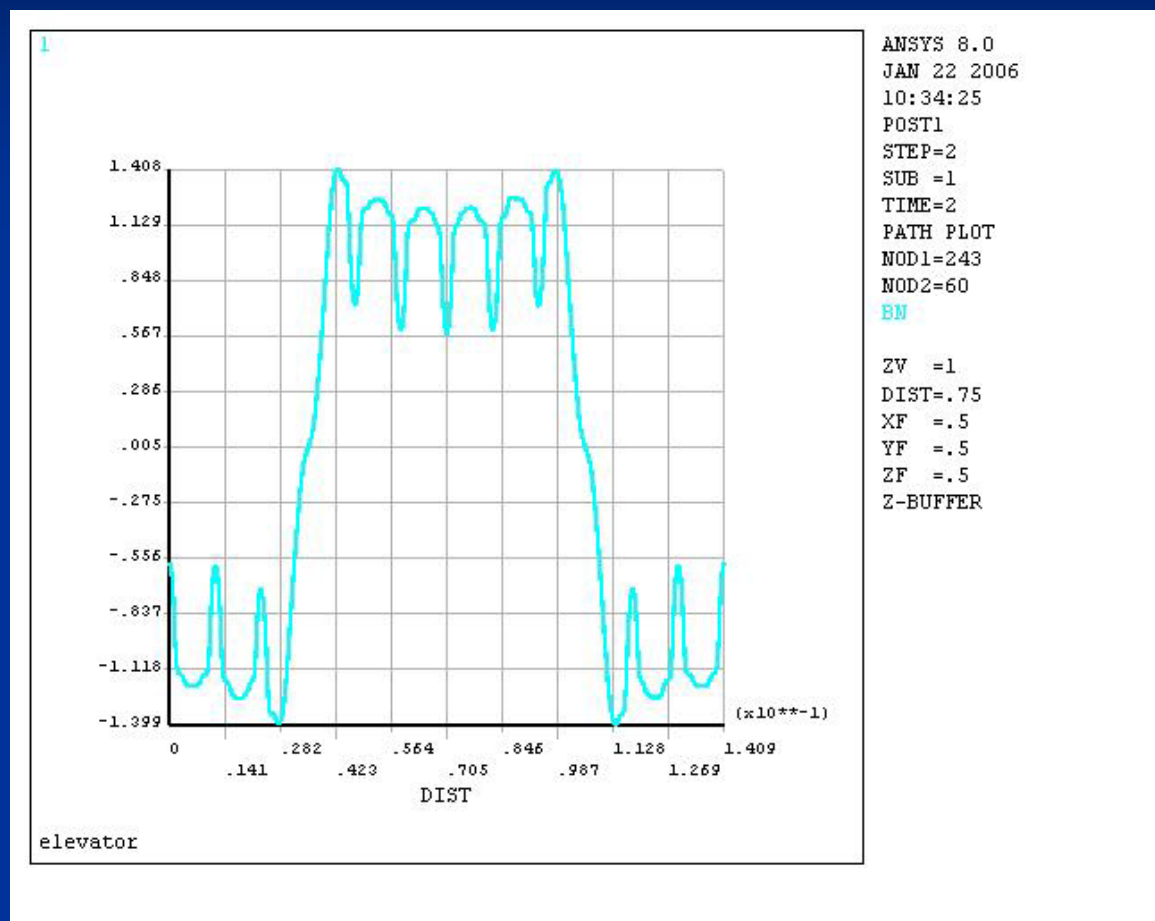
非正弦周期电路

永磁同步电机气隙磁密波形



非正弦周期电路

永磁同步电机气隙磁密波形



非正弦周期电路

五、师资队伍建设

师资队伍建设

★ 师资队伍：

▲ 具备深厚的学术造诣、严谨求实的学风的教师；

▲ “为人师表” —— 在教育事业上富有献身精神、强烈的责任感并执着追求的教师；

▲ 营造相对宽松的、充满学术氛围的空间与环境。

★ 依托学科：

▲ 教学和科研相结合，与“理论电工”、“电机与电器”和“自动控制”等学科相关联，学科建设与发展成为推动课程建设的强大推动力；

▲ 师资纳入学科队伍建设的规划，理论教学与科研队伍互通，核心骨干相对稳定、结构合理的高水平的教学、科研团队；

▲ 扎实的科研基础和成果积累，加强了与工业界的联系；

▲ 具备国际视野，进入教学、科研的国际交流平台。

师资队伍建设

- 课程组（职称）：教授3人，副教授1人，讲师2人，助教1人
- 课程组（学历）：博士3人，硕士3人，学士1人
- 课程组（研究方向）：电机与电器4人，自动控制1人，电工理论与新技术2人，

师资队伍建设

★ 加强实验教学环节：

▲ 电工测量独立设课

▲ 分层次（“基础型、应用型、综合型”）的实验教学体系；

▲ 丰富、完善具有工程应用背景的综合应用类实验项目；

▲ 构建虚拟仿真与硬件实验相结合的实验新方法等。

师资队伍建设

六、课程设置

电路原理课程设置

2006年辽宁省级精品课

电路基础和网络理论 (电路原理)

课程设置

电路原理课程设置

$$64+32+32=128\text{学时}$$

第3学期：

电路基础(64学时)+电工测量(16学时)

第4学期：

网络理论(32学时)+电工测量(16学时)

电路原理课程设置

电路基础(经典电路理论)：

直流电路分析

动态电路分析

正弦稳态电路分析

网络理论(现代电路理论)：

拉普拉斯变换

网络拓扑

课程设置

电路原理课程设置

$$96+24=120\text{学时}$$

第2学期：

电路原理1(48学时)+电工测量(12学时)

第3学期：

电路原理2(48学时)+电工测量(12学时)

课程设置

电路原理课程设置

电路原理1：

直流电路分析

正弦稳态电路分析

电路原理2：

动态电路分析

拉普拉斯变换

网络拓扑

课程设置

电路原理课程设置

- 总结科研成果
- 为电路理论教学积累工程应用的例子
- 具体体现在书中例题和课后习题中

七、结论

- (1) 教学中树立创新意识。
- (2) 认清教学的本质。
- (3) 正确处理想象力和知识的矛盾。
- (4) 掌握厚实的理论知识基础，从更深的层次去理解实践。
- (5) 激发学生学习的兴趣和想象力，提高学生发现问题、探索问题和解决问题的能力。
- (6) 重视师资队伍和课程设置建设。

谢谢！