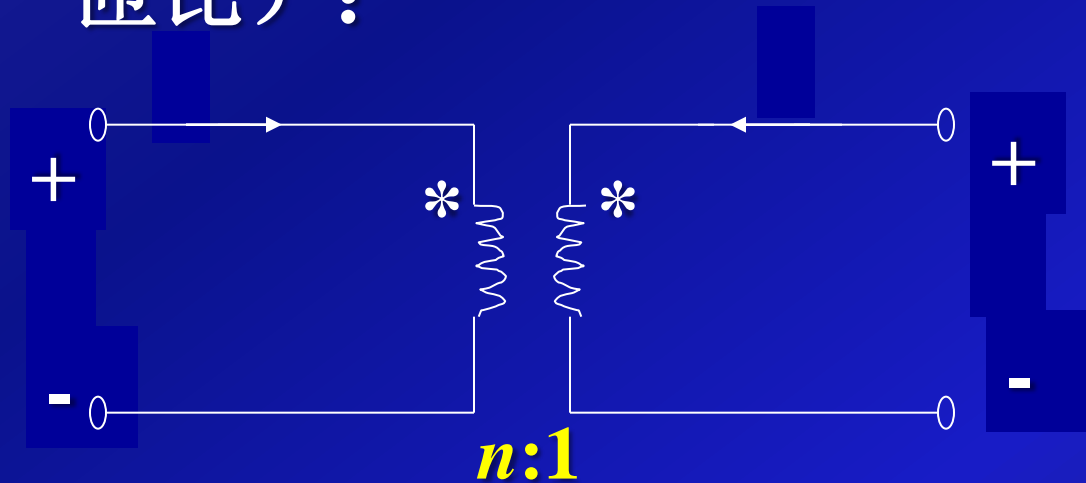




● 理想变压器和全耦合变压器

理想变压器是一种特殊的无损耗的全耦合元件，是实际变压器在理想条件下的电路模型。

理想变压器的电路符号如下图；理想变压器的唯一参数是电压(电流)变换比—变比（或匝比）：

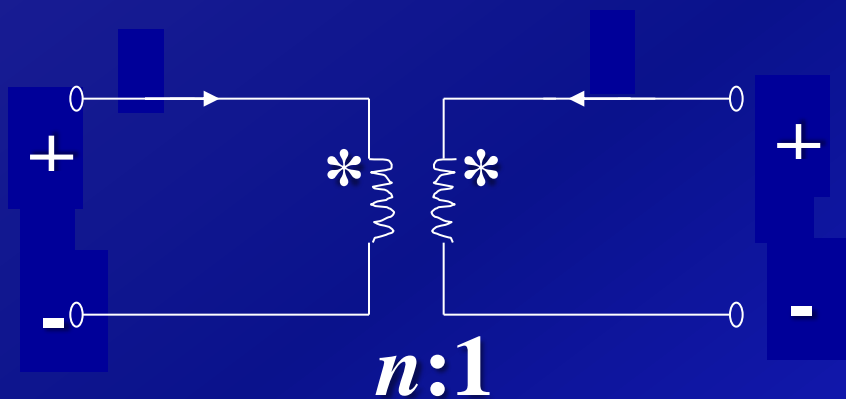


$$n = \frac{N_1}{N_2} = \sqrt{\frac{L_1}{L_2}}$$

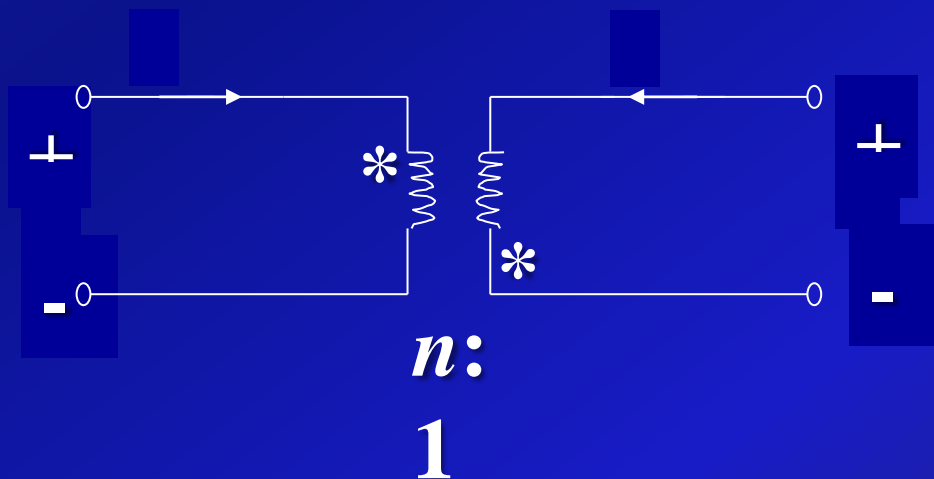


● 理想变压器的伏安关系

当线圈的电压、电流参考方向关联时



$$\left. \begin{aligned} \frac{u_1}{u_2} &= n \\ \frac{i_1}{i_2} &= -\frac{1}{n} \end{aligned} \right\}$$



$$\left. \begin{aligned} \frac{u_1}{u_2} &= -n \\ \frac{i_1}{i_2} &= \frac{1}{n} \end{aligned} \right\}$$



● 理想条件

(1) 耦合电感无损耗，即线圈是理想的；

(2) 耦合系数 $k=1$ ，即为全耦合 $M = \sqrt{L_1 L_2}$ ；

（满足以上条件的是全耦合变压器）

(3) 自感系数 L_1 和 L_2 及互感系数 M 均为无限大，但 L_1 / L_2 等于常数。





● 理想变压器的伏安关系推导

当线圈的电压、电流参考方向**关联**时：

$$u_1 = \frac{d\varphi_1}{dt} = \frac{d\varphi_{11}}{dt} \pm \frac{d\varphi_{12}}{dt} = u_{L1} \pm u_{M1} = L_1 \frac{di_1}{dt} \pm M \frac{di_2}{dt}$$

$$u_2 = \frac{d\varphi_2}{dt} = \frac{d\varphi_{22}}{dt} \pm \frac{d\varphi_{21}}{dt} = u_{L2} \pm u_{M2} = L_2 \frac{di_2}{dt} \pm M \frac{di_1}{dt}$$

这里仅讨论第一种(相加的)情况，且当耦合系数 $k=1$ 时的情况。





则两线圈中的总磁链分别为:

$$\varphi_1 = \varphi_{11} + \varphi_{12} = N_1(\phi_{11} + \phi_{12}) = N_1(\phi_{11} + \phi_{22}) = N_1\phi$$

$$\varphi_2 = \varphi_{22} + \varphi_{21} = N_2(\phi_{21} + \phi_{22}) = N_2(\phi_{11} + \phi_{22}) = N_2\phi$$

式中, $\phi = \phi_{11} + \phi_{22}$ 称为**主磁通**, 由电磁感应定律, 初、次级电压分别为

$$\left. \begin{aligned} u_1 &= \frac{d\varphi_1}{dt} = N_1 \frac{d\phi}{dt} \\ u_2 &= \frac{d\varphi_2}{dt} = N_2 \frac{d\phi}{dt} \end{aligned} \right\} \Rightarrow \frac{u_1}{u_2} = \frac{N_1}{N_2} = n$$





由耦合电感VCR: $u_1 = L_1 \frac{di_1}{dt} + M \frac{di_2}{dt}$

对等式两边从 $-\infty$ 到 t 积分:

$$\int_{-\infty}^t u_1(\tau) d\tau = L_1 i_1 + M i_2 \Rightarrow i_1 = \frac{1}{L_1} \int_{-\infty}^t u_1(\tau) d\tau - \frac{M}{L_1} i_2$$

因为是全耦合 $k=1$, 即 $M = \sqrt{L_1 L_2}$, 故:

$$\frac{M}{L_1} = \frac{L_2}{M} = \sqrt{\frac{L_2}{L_1}} = \frac{N_2}{N_1} = \frac{1}{n} \Rightarrow i_1 = \frac{1}{L_1} \int_{-\infty}^t u_1(\tau) d\tau - \frac{1}{n} i_2$$

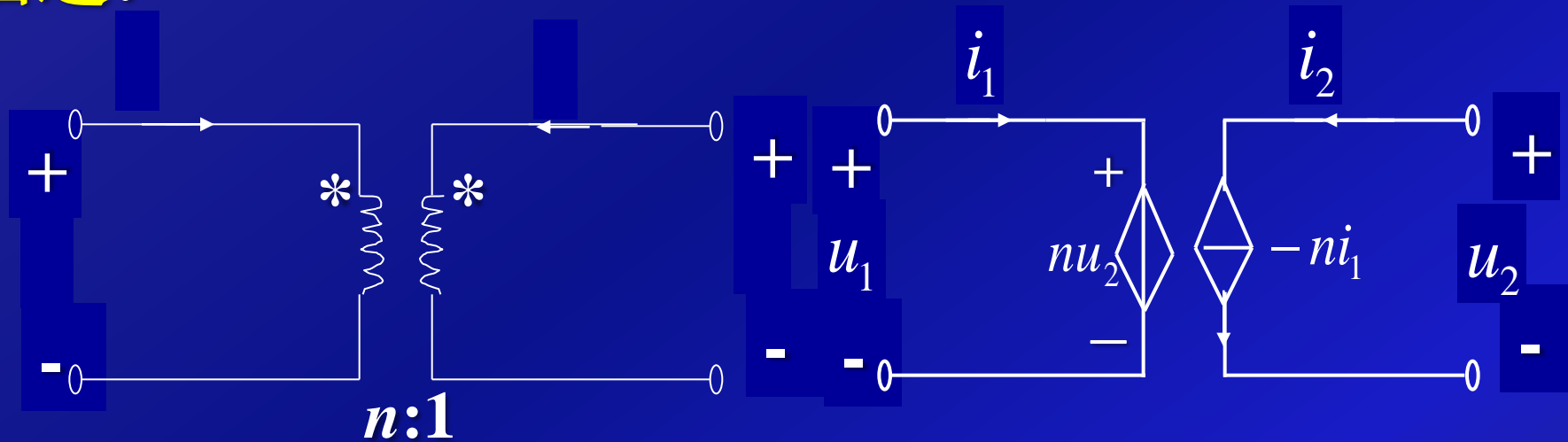
由于当 $L_1 \rightarrow \infty$, $\sqrt{\frac{L_1}{L_2}} = n$ 保持不变, 故: $i_1 = -\frac{1}{n} i_2$

同此类推, 可得出同名端不同的另一种情况。





故，理想变压器的电路模型也可以用受控源描述：



$$\left. \begin{aligned} \frac{u_1}{u_2} &= n \\ \frac{i_1}{i_2} &= -\frac{1}{n} \end{aligned} \right\}$$

$$\left. \begin{aligned} u_1 &= nu_2 \\ i_2 &= -ni_1 \end{aligned} \right\}$$



由理想变压器的伏安关系可以看出：理想变压器已经没有了电感或耦合电感的作用了，即理想变压器属于**静态元件**；

也就是说：理想变压器是一种**无记忆元件**，也称**即时元件**。

理想变压器的吸收功率为：

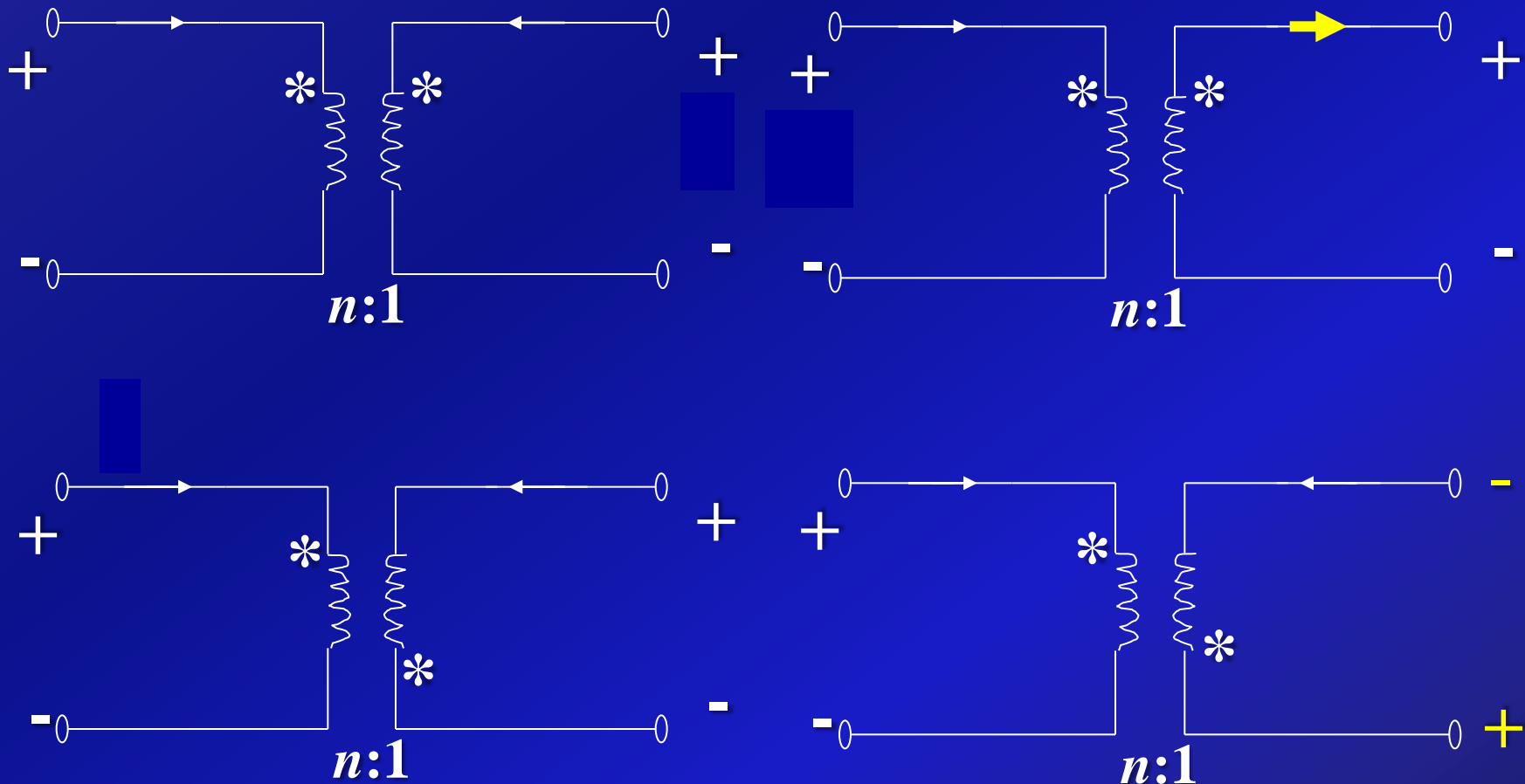
$$p = u_1 i_1 + u_2 i_2 = (nu_2) \left(-\frac{1}{n} i_2 \right) + u_2 i_2 = 0$$

故：理想变压器**既不耗能，也不储能**，是一**单纯的变换信号和传输能量的元件**。





为了方便，习惯上把由于同名端不同而引起的两种伏安关系合并成一种，且**不带负号**：





● 全耦合变压器的电路模型

实际铁芯变压器一般更易满足前两个条件，而不满足第三个条件，那就是**全耦合变压器**。

两线圈的电压关系同理想变压器，而电流关系有：

$$i_1 = \frac{1}{L_1} \int_{-\infty}^t u_1(\tau) d\tau - \frac{1}{n} i_2 = i_\phi + i_1'$$

全耦合变压器的初级电流有两部分组成，而 i_ϕ 称为**激磁电流**，其等效电路模型如图所示。

