

# 互容的定义和模型——互感的对偶化\*

互感是电工理论中的一个基本关系。定义互容  $C_M$  为其对偶关系,即

$$i_1 = C_1 \frac{dv_1}{dt} \pm C_M \frac{dv_2}{dt},$$

$$i_2 = \pm C_M \frac{dv_1}{dt} + C_2 \frac{dv_2}{dt}.$$

在通常的低频电路中,其电场为似稳场,与静电场有着对应关系,故互容也可等价地写为

$$\begin{bmatrix} I_1 \\ I_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} SC_1 & \pm SC_M \\ \pm SC_M & SC_2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_1 \\ V_2 \end{bmatrix}$$

或

$$\begin{bmatrix} Q_1 \\ Q_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} C_1 & \pm C_M \\ \pm C_M & C_2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_1 \\ V_2 \end{bmatrix}$$

$Q_1$ 、 $Q_2$  分别为1板和3板上的净电荷,其余量的意义见图1。

一个可以实现的互容物理模型如图1所示。1至4板为可忽略厚度、面积为  $A$  的矩形导体板,其间距为  $d_1$ 、 $d_2$ 、 $d_3$ ,并且矩形之

$$\begin{bmatrix} Q_1 \\ Q_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\epsilon_0 A}{d_3 + \frac{d_1 d_2}{d_1 + d_2}} & -\frac{\epsilon_0 A d_2}{d_1 d_2 + d_2 d_3 + d_3 d_1} \\ -\frac{\epsilon_0 A d_2}{d_1 d_2 + d_2 d_3 + d_3 d_1} & \frac{\epsilon_0 A}{d_1 + \frac{d_2 d_3}{d_2 + d_3}} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_1 \\ V_2 \end{bmatrix}.$$

对比定义即可知  $C_1$ 、 $C_2$  和  $C_M$ ,显然  $C_1$ 、 $C_2$  总为正值;  $C_M$  可正可负,如图1定义则为负值,仅对调1、2板号或仅对调3、4板号,  $C_M$  则取正。

本文定义的互容,与一般电磁场理论中的部分电容(有时作“互容”和“自容”)<sup>[2]</sup> 的定义根本不同。部分电容反映了任意孤立导体系的静电制约关系,本文定义的互容则是约束条件下的孤立导体系的静电制约关系。尽管部分电容与本文定义的互容表达式均为  $Q$ 、 $V$  关系,但无论是  $Q$  还是  $V$ ,在两种关系中均有完全不同的定义,不能直接类比。本文定义的互容侧重于从电路理论的角度理解

长、宽远远大于各间距。在静电场中,约束1、2板及3、4板分别带有等值反号电荷,由

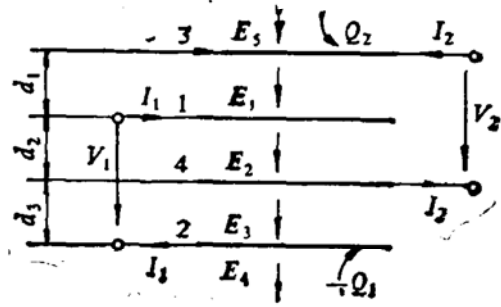


图1 互容的物理模型

1、2、3、4 分别表示4片面积为  $A$  的薄导体板;  $d_1$ 、 $d_2$ 、 $d_3$  表示各板间距;  $E_1$ 、 $E_2$ 、 $E_3$ 、 $E_4$ 、 $E$  表示电场强度;  $Q_1$ 、 $Q_2$  分别为1板和3板上的净电荷

静电场的叠加原理,  $E_1 - E_2 = 0$ , 各相邻板间电场为均匀电场,电场几乎全部约束在3板和2板间<sup>[1]</sup>。应用高斯通量定理和电压的定义,经计算得

问题。研究表明,互容在电网络分析及综合等领域有着普遍意义,又所给的模型可分立或可集成化实现,故在一般应用上,互容远好于蔡少棠的忆阻器<sup>[3]</sup>。

## 参 考 文 献

- [1] 毕德显,电磁场理论,电子工业出版社,1985,132,547.
- [2] Smythe, W. R., *Static and Dynamic Electricity*, McGraw-Hill, 1968.
- [3] Chua, L. O., *IEEE Trans. on Circuit Theory*, CT-18 (1971), 5: 507-519.

杨正瓴

(天津大学自动化系,天津 300072)