

电 度 表 接 线

DIANDUBIAO JIEXIAN

王 德 聪 编 著



机 械 工 业 出 版 社

33.4

前 言

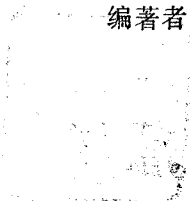
随着我国社会主义革命和社会主义建设的发展，电能越来越广泛地应用在工农业生产及日常生活中。为适应计划用电、节约用电、群众办电以及广大工农兵掌握电能计量技术的需要，特写了这本小册子。

遵照毛主席关于“**要认真总结经验**”的教导，在牡丹江电业局党委的关怀和支持下，依据手头的一些资料和自己的实践经验，首先编写了《交流感应式电度表的接线》一文，并于1974年《电测与仪表》杂志（2~5期）发表。这本小册子是在该文的基础上，根据读者提出的意见，作了修改和补充而写成的。本书较全面地介绍了电度表接线和电能计量方法，从电度表接线的向量表示法谈起，介绍了电度表与互感器的结构和工作原理、误差调整、使用方法、电度计算、接线向量图和接线校对等基本知识。

在写的过程中，曾得到哈尔滨电工仪表研究所、东北电力局、北京电力工业局和上海、广州、武汉、西安、长沙、成都各供电局等单位有关同志的热情帮助和鼓励，在此一并表示衷心感谢！

由于自己水平有限，书中一定会有不少缺点，甚至错误，殷切期望读者批评指正。

编著者



目 录

第一章 电度表接线的向量表示法	1
一、交流电的向量表示与加减法	1
二、单相电度表接线的向量表示	15
三、电压、电流、负荷、功率的对称条件	19
第二章 测量用互感器的结构、原理和接线	32
一、互感器的结构和原理	32
二、互感器的极性和组别	42
三、互感器的接线和容量	47
第三章 电度表的结构、原理与使用	74
一、电度表的结构和工作原理	74
二、电度表的调整装置和特性曲线	84
三、电度表的分类和使用说明	98
第四章 计量单相有功电能的电度表接线	109
一、常用的正确接线	109
二、不常用的正确接线	112
三、可能的几种误接线	117
第五章 计量三相三线有功电能的电度表接线	122
一、常用的正确接线	122
二、不常用的正确接线	129
三、可能的几种误接线	136
第六章 计量三相四线有功电能的电度表接线	143
一、常用的正确接线	143
二、不常用的正确接线	146
三、可能的几种误接线	154
第七章 计量三相四线无功电能的电度表接线	162

IV

一、常用的正确接线	162
二、不常用的正确接线	170
三、可能的几种误接线	173
第八章 计量三相三线无功电能的电度表接线	179
一、常用的正确接线	179
二、不常用的正确接线	189
三、可能的几种误接线	191
第九章 电度表的联合接线	196
一、联合接线的前提	196
二、在三相三线电路中的联合接线	197
三、在三相四线电路中的联合接线	199
第十章 电度表接线的校对	203
一、停电检查接线	204
二、带电检查接线	205
三、误接线更正系数	236
附录	247
一、部分国产电度表的电压线圈数据	247
二、部分国产电度表的电流线圈数据	249

第一章 电度表接线的向量表示法

一、交流电的向量表示与加减法

1. 交流电的向量表示

在电度表接线中常用向量来分析接线及其误差。

向量与数量的不同是向量不但表示量的大小而且还表示量的方向或时间的先后。例如，速度和力就是一种具有方向性的向量。在电工学里，交流电压、电流、磁通等量进行比较时，不但有大小，而且时间上有先后，也就是它们具有不同的相位关系，它们也是向量。用示波器可以看出，交流电是近似正弦曲线周期性地变化的。采用向量表示交流电压、电流，能很明显、直观地表示这种量的先后和大小关系。

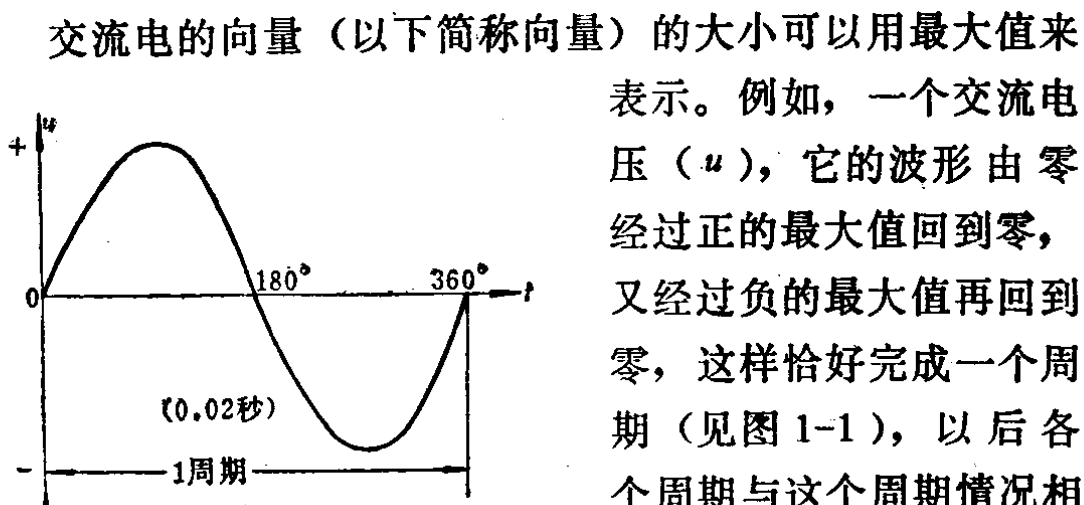


图1-1 频率为50周的交流电的一个周期示意图

表示。例如，一个交流电压 (u)，它的波形由零经过正的最大值回到零，又经过负的最大值再回到零，这样恰好完成一个周期（见图 1-1），以后各个周期与这个周期情况相同。如果交流电压的最大值是 310 伏，那么按适当的比例尺，用相应的长度，就可以画出一个向量，例如用 1 厘米代表 100 伏，则

度，就可以画出一个向量，例如用 1 厘米代表 100 伏，则

3.1 厘米就表示 310 伏。在电工学里已经知道，常用交流量是以有效值表示：

$$\text{有效值} = 0.707 \times \text{最大值} \quad (1-1)$$

例如，最大值为 310 伏，按 (1-1) 式即可计算出：

$$\text{有效值} = 0.707 \times 310 \text{ 伏} = 220 \text{ 伏}$$

常用的交流灯泡的额定电压是 220 伏，220 伏就是指有效值。

为了方便，在画向量时，不用最大值作向量的长度，而用有效值表示向量的长度。以后所述向量的大小，若不加说明，都是有效值。

当两个或两个以上的同频率交流电要进行比较时，这不但与它们的大小有关，而且与它们的时间先后有关，时间的先后之差在向量中就用相角差来表示。为了便于讨论，先用一个交流量作为参考向量，一般将参考向量画在横轴或纵轴上，再根据其他向量对这个向量的相角差即可画出各个向量。

例如有一个每秒 50 周的电压 u 和电流 i 需要比较，它们

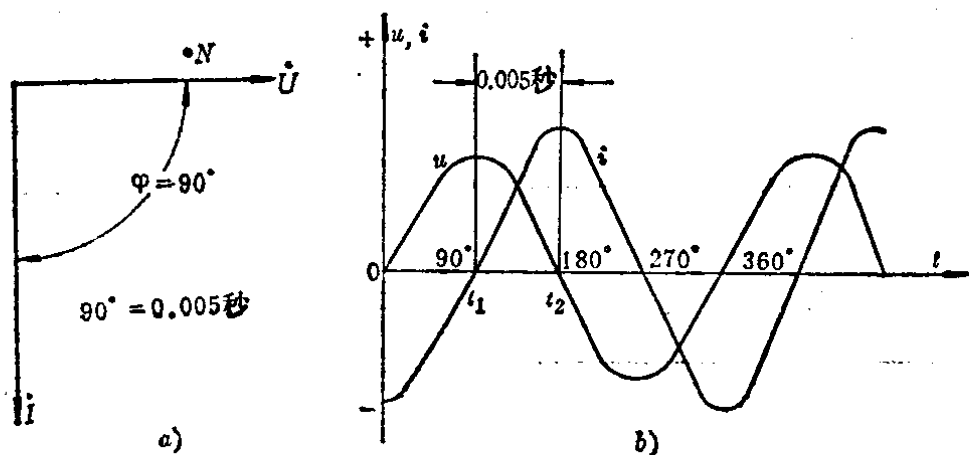


图1-2 每秒50周的正弦交流电压、电流
向量图和瞬时值图

a) 电压 $\dot{U}$ 与电流 $\dot{i}$ 的向量图 b) 电压 u 与电流 i 的瞬时值图

在时间上相差 0.005 秒，并且均按正弦曲线变化。如图 1-2 b) 所示， u 在 t_1 时达到最大值， i 在 t_2 时达到最大值， i 比 u 达到最大值迟 0.005 秒，我们称 u 超前 i 或称 i 滞后 u 。这时我们即可以画出 u 和 i 的向量 $\dot{U}$ 和 $\dot{I}$ 。先任意选一位置（如横轴）按比例尺作电压向量 $\dot{U}$ 。一个周期为 360° ，对于每秒 50 周波， 360° 等于 0.02 秒，电流滞后电压 0.005 秒，即相角差为 $360^\circ \times 50 \times 0.005 = 90^\circ$ ，这样以 $\dot{U}$ 为基准在依顺时针方向转 90° 的位置上按比例尺即可画出 $\dot{I}$ ，如图 1-2 a) 所示。从上面例子可以看出，对于每秒 f 周变化的两个正弦量 u 、 i ， u 在先， i 在后，如它们达到的最大值的时间相差为 t 秒，则在向量上它们的相角差 φ 可以用 (1-2) 式表示：

$$\varphi = 360^\circ f t \quad (1-2)$$

向量 $\dot{U}$ 、 $\dot{I}$ 的相角差 φ 即表明正弦变化的量 u 、 i 的时间差，本文以后都是以相角差来表示向量的先后，不再用时间差来表示向量的先后。

在向量图上我们以这样方法来定向量的超前和滞后：固定一位置 N （见图 1-2 a），使向量图反时针旋转，我们说先经过 N 位置的向量为超前，后经过 N 位置的向量为滞后，它们之间的夹角即为相角差。如图 1-2 a），当向量图反时针旋转时， $\dot{U}$ 先经过 N 位置再经过 90° 后 $\dot{I}$ 经过 N 位置，所以说 $\dot{U}$ 超前 $\dot{I}$ 为 90° ，或称 $\dot{I}$ 滞后 $\dot{U}$ 为 90° 。记住超前和滞后的意义，对于了解和掌握向量的画法很必要。

2. 向量的写法与画法

为了便于说明问题，并使向量与数量有明显的区别，这里用字母上加一点的符号来表示向量，例如，交流电压的向量写成 $\dot{U}$ ，电流的向量写成 $\dot{I}$ 。若只取向量的大小，不考虑

向量的相位角，则去掉向量字母上的一点，例如，交流灯泡电压为 220 伏，写成 $U = 220$ 伏，不应写成 $\dot{U} = 220$ 伏。如果在一个电路或三相系统中，有几个电压或电流存在，为了表示它们的向量关系，常用字母上加一点并在字母的右下脚加脚标来表示。例如三相四线系统的三个相电压的向量，分别写成 $\dot{U}_{AN}$ 、 $\dot{U}_{BN}$ 、 $\dot{U}_{CN}$ ，其中第一个脚标字母（A、B、C）规定为首端，第二个脚标字母（N）规定为尾端。对应向量图，首端与带箭头线段的头相应，尾端与带箭头线段的尾相应。当对换向量脚标的位置时，就意味着向量反转 180° ，例如 $\dot{U}_{AN}$ 与 $\dot{U}_{NA}$ 相差 180° ，在写法上， $\dot{U}_{NA} = -\dot{U}_{AN}$ 为了方便，在能说明各个向量关系的前提下，例如，尾端是 N 的向量，也可以略去向量脚标的尾端符号，例如 $\dot{U}_{AN}$ 、 $\dot{U}_{BN}$ 、 $\dot{U}_{CN}$ ，可分别写成 $\dot{U}_A$ 、 $\dot{U}_B$ 、 $\dot{U}_C$ 。

在画向量图时应注意：

（1）同频率的正弦变化的向量可以画在一个向量图中，不同频率的正弦变化量的向量不能画在一个向量图中，例如，每秒 50 周电压向量不能与每秒 60 周电压向量画在一个向量图中；

（2）正弦变化的量能用向量图表示，非正弦变化的量不能用向量图表示；

（3）同频率的各个向量之间的角度不随时间而改变；

（4）在一个向量图中，同单位量的比例尺应相同，若同单位量的比例尺不同，例如，用 1 厘米代表某个电压的 100 伏，又用 1 厘米代表另一个电压的 50 伏，则画出的向量图是错误的；

（5）一般要先假设某一个向量为参考向量，然后再画出各向量与参考向量的角度；

(6) 向量可以平移而其相位与性质无变化，在向量图中任意不同相位的两个向量都有个夹角，采用不大于 180° 的相应角度表示它们的相角差，不采用大于 180° 的夹角表示相角差（这样便于讨论向量角度）；

(7) 当几个向量同相位（比如电压向量 $\dot{U}_1$ 、 $\dot{U}_2$ 、 $\dot{U}_3$ 、 $\dot{U}_4$ 同相），可用某一条水平线为参考线画出相应的几条带箭头的平行线段来表示这几个向量，见图 1-3；也可以在同一条线段上用共同的尾端而取相应的长度（带箭头）来表示几个向量，见图 1-4。前者的画法，意义比较明确，但有时线

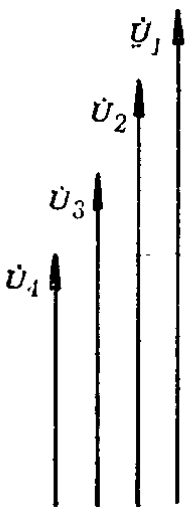


图1-3 几个同相位向量
表示法之一

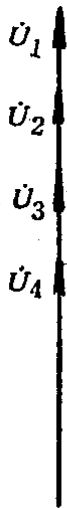


图1-4 几个同相位向量
表示法之二

条过多，显得复杂。后者的画法线条较少，简单明了，但在一个向量图中，有几个同相位的向量相加，还有与它们同相位的异单位向量存在，则容易引起错觉。因此应根据具体情况选用画法，有时也可以同时采用两种画法。

3. 交流电向量的加减法

(1) 向量的加法

如图 1-5 所示，如需对两个相同频率的正弦变化的量 A 、

B 相加, 这可用作图法来求得: 沿横轴分若干点作垂线与 A 、 B 两曲线相交, 将各相交点对纵轴的相应值, 按作垂线的顺序依次相加得若干点, 将相对应的若干点相加后所得之点连接起来, 即可得一条曲线 C , 可见曲线 C 是与 A 、 B 频率相同的正弦曲线。由于 A 、 B 、 C 都为同频率的正弦变化的量, 所以可用向量来表示。如图 1-6 所示, 向量 $\dot{A}$ 、

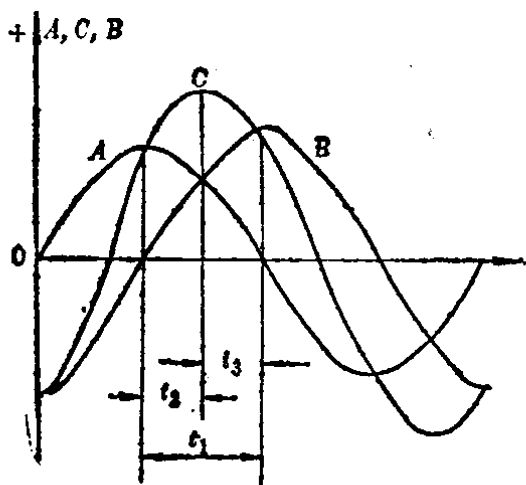


图1-5 正弦变化量相加的示意图

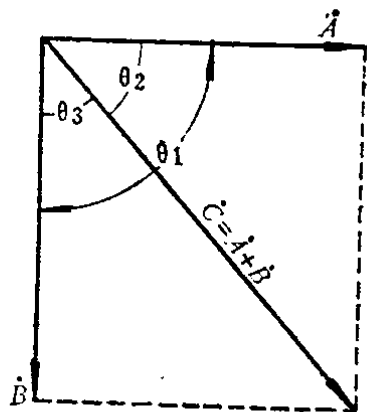


图1-6 向量相加的平行四边形法

$\dot{B}$ 、 $\dot{C}$ 的长度表示正弦变化的量 A 、 B 、 C 的大小, 而它们之间的相角差, 则表示了正弦变化量之间的时间关系。在图 1-6 中以 $\dot{A}$ 作为参考向量, 从图 1-5 可看出, 曲线 B 比 A 落后 t_1 , t_1 相当于 $1/4$ 周期 (即 $\theta_1 = 90^\circ$), 因此以 $\dot{A}$ 为参考向量顺时针转 90° 即得 $\dot{B}$; 曲线 C 达到最大值的时刻比 A 落后 t_2 , 根据已知的 t_2 , 由 (1-2) 式也可换算成一个相角差 θ_2 , 因此即可画出 $\dot{C}$; 同时 C 比 B 超前时间 t_3 , 因此 $\dot{C}$ 与 $\dot{B}$ 的夹角 θ_3 应与时间 t_3 相对应。

用图 1-5 作图法求正弦变化量之和是很繁琐的, 而用图 1-6 求向量和 $\dot{C}$ 的方法却很简单。从图 1-6 可看出, 将向量

$\vec{A}$ 、 $\vec{B}$ 的尾端画在一点上，然后以向量 $\vec{A}$ 、 $\vec{B}$ 为邻边画一个平行四边形，它的对角线就是 $\vec{A}$ 、 $\vec{B}$ 相加的向量和 $\vec{C}$ ，这个方法叫做平行四边形法。

也可以用如下的平移连接法求向量和。如图 1-7 所示， θ_1 为 $\vec{A}$ 与 $\vec{B}$ 的相角差，以第一个向量 $\vec{A}$ 的首端为起点，画出向量 $\vec{B}$ ， $\vec{A}$ 的尾端与 $\vec{B}$ 的首端连成的向量 $\vec{C}$ ，就是 $\vec{A}$ 与 $\vec{B}$ 相加的向量和。这个方法叫做平移连接法。这里说明一点：向量相加的结果与相加的顺序无关，这是因为 $\vec{C}$ 等于 $\vec{A}$ 加 $\vec{B}$ ，也等于 $\vec{B}$ 加 $\vec{A}$ 。

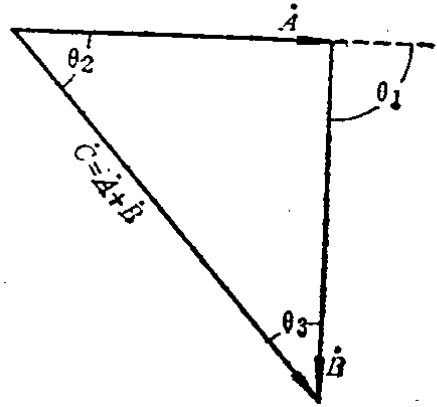


图1-7 向量相加的
平移连接法

平行四边形法和平移连接法，可以推广到若干个向量相加，它们在互感器和电度表的接线分析中应用是很普遍的（见第二章和第十章）。平移连接法常用来表示几个向量相加，它的推广用法是：先把第二个向量的尾端接到第一个向量的首端，再把第三个向量的尾端接到第二个向量的首端，这样将几个向量按顺序连接起来，最后一个向量的首端跟第一个向量的尾端连接的向量，就是这几个向量相加的和。如图 1-8 b 所示。它们的向量方程式见公式（1-3）：

$$\vec{U} = \vec{U}_1 + \vec{U}_2 + \vec{U}_3 + \vec{U}_4 \quad (1-3)$$

应用平行四边形法和平移连接法求向量之和需要注意：

1) 已知向量的大小和方向，不可改变，否则结果就错了，

2) 同单位向量可以相加，异单位向量不能相加，例如，电压向量不能和电流向量相加，

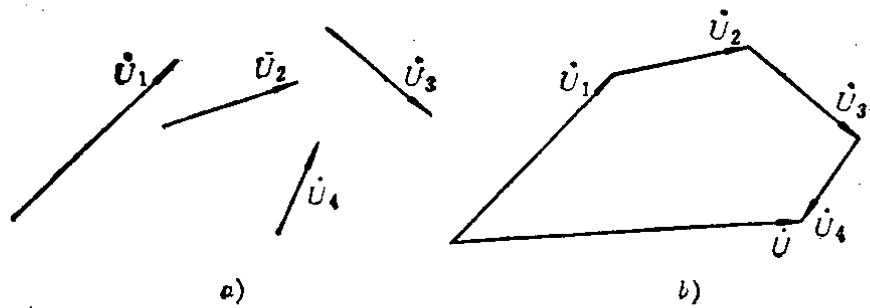


图1-8 用平移连接法画出几个向量相加的示意图

a) 已知四个电压向量 b) 四个电压向量相加的向量和

3) 当两个向量同相位 (即相角差为零), 则两个向量相加的大小等于它们的大小之和, 向量之和的方向跟它们的方向相同;

4) 当两个向量的相角差等于 180° , 向量和等于它们的大小之差, 向量和的方向跟其中较大的一个向量的方向相同。

根据上述的向量相加可以看出, 两个或两个以上的向量之和, 是两个或两个以上的向量相加的结果。因此, 一个向量可以分解为任意两个及两个以上的向量。如图 1-9 的 a)

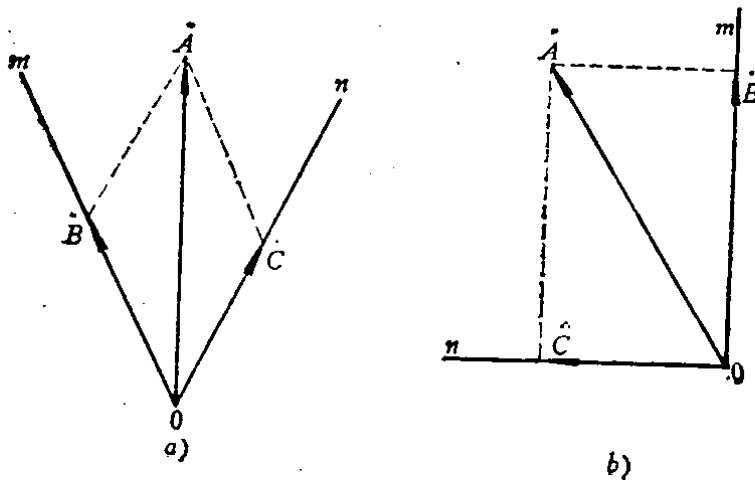


图1-9 向量 $\dot{A}$ 分解成向量 $\dot{B}$ 、 $\dot{C}$ 的示意图

或 b), 向量 $\dot{A}$ 可以沿线段 m 、 n 分解成 $\dot{B}$ 、 $\dot{C}$ 两个向量, 由上述可知向量 $\dot{B}$ 、 $\dot{C}$ 可由平行四边形作图法得到, 这时只

要使 $O B A C$ 成一个平行四边形就行。常遇到的是向量沿直角坐标（见图 1-9 b）分解为水平和垂直的两部分，这种分解后的向量，叫做某向量的分量。

（2）向量的减法

两个同频率的正弦变化的量也可以相减，与正弦变化的量相加（见图 1-5）相同，也可用作图法求得。

见图 1-10，将电流向量 i_A 和 i_B 的尾端画在同一点上，然后从向量 i_B 的首端与向量 i_A 的首端连接画出向量 i_D ， i_D 就等于 i_A 减 i_B 。因此 i_D 可用（1-4）式表示：

$$i_D = i_A + (-i_B) \quad (1-4)$$

（1-4）式表明，要减去一个向量，先把它反转 180° ，再进行加法就行了。这个方法，如图 1-11 所示，以向量 i_A 的首端为起点与向量 i_B 的反向量平行画出一个向量 $(-i_B)$ ， i_A 的尾端与 $(-i_B)$ 的首端连成的向量 i_D 就是 $i_A - i_B$ 。可见它们与向量的加法是一致的。

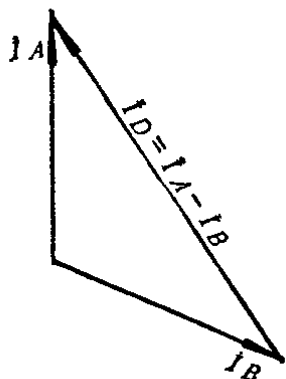


图1-10 两个向量直接相减的示意图

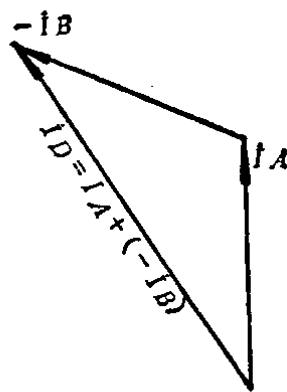


图1-11 两个向量相减变成相加的示意图

对比图 1-10 与图 1-11，可见两个图中 i_D 的大小和方向都相同，这也表明向量可以平移。这两种画法在第二章和

第十章的互感器和电度表的接线分析中应用较多。

4. 向量加减法在电路中的应用

从电工学中得知，用电压表量得的直流电压和量得同样大小的交流电压有效值，在电能的作用上是等效的。可是直流电压是均匀而且是定向的，而交流电压则是周期性正弦变化的。实验证明，在直流电路中，两个或几个直流电压串联对电路的作用结果是它们的代数和，而在交流电路中，两个或几个电压串联对电路的作用结果则是它们有效值的向量和。

两个直流电压 E_1 与 E_2 异极性相串联，则作用于电路的结果，电压 E_3 为 E_1 与 E_2 之和（见图 1-12）；两个直流

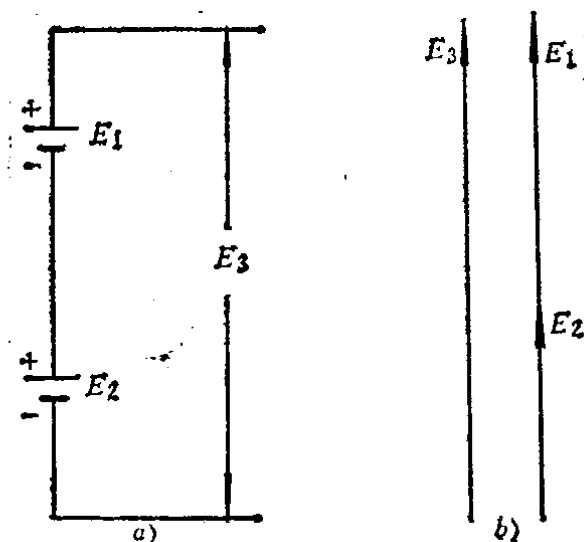


图1-12 直流电压串联相加的示意图

a) 电路图 b) 电压相加

电压 E_1 与 E_2 同极性对应串联，则 E_3 为 E_2 与 E_1 之差（见图 1-14）。

当 E_1 与 E_2 是两个交流电压时，必须对 E_1 与 E_2 进行向量的加减。例如图 1-13 a)，当两台单相变压器二次（即

输出端) 异性端对应串联, 那么作用于电路结果的 $\dot{E}_3$ 即为 $\dot{E}_1$ 与 $\dot{E}_2$ 的向量和, 若 $\dot{E}_1$ 与 $\dot{E}_2$ 同相位 (即 $\varphi = 0^\circ$), 则 $E_3 = E_1 + E_2$; 若 $\dot{E}_1$ 与 $\dot{E}_2$ 具有相角差 φ , 则 $\dot{E}_3 = \dot{E}_1 + \dot{E}_2$, 如图 1-13 b)。 $\dot{E}_3$ 的有效值 E_3 相当于图 1-13 b) 中 $\dot{E}_3$ 线段的长度。

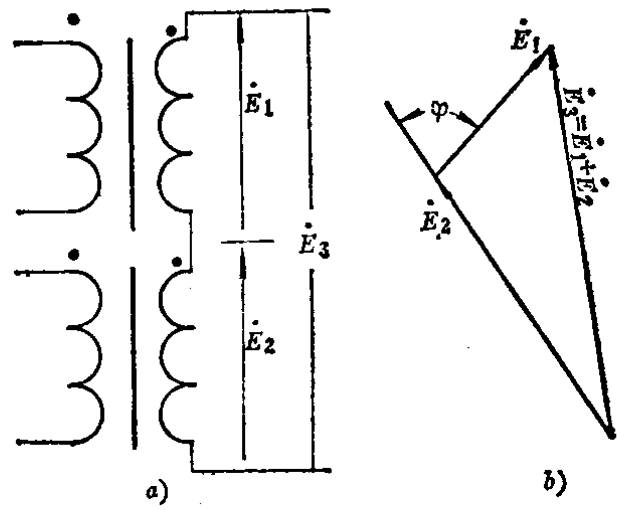


图1-13 交流电压串联相加的示意图
a) 电路图 b) 向量图

当两台单相变压器二次的同性端对应串联时, 如图 1-15 a), 则 $\dot{E}_1$ 与 $\dot{E}_2$ 两个交流电压串联对电路作用结果 $\dot{E}_3$ 是

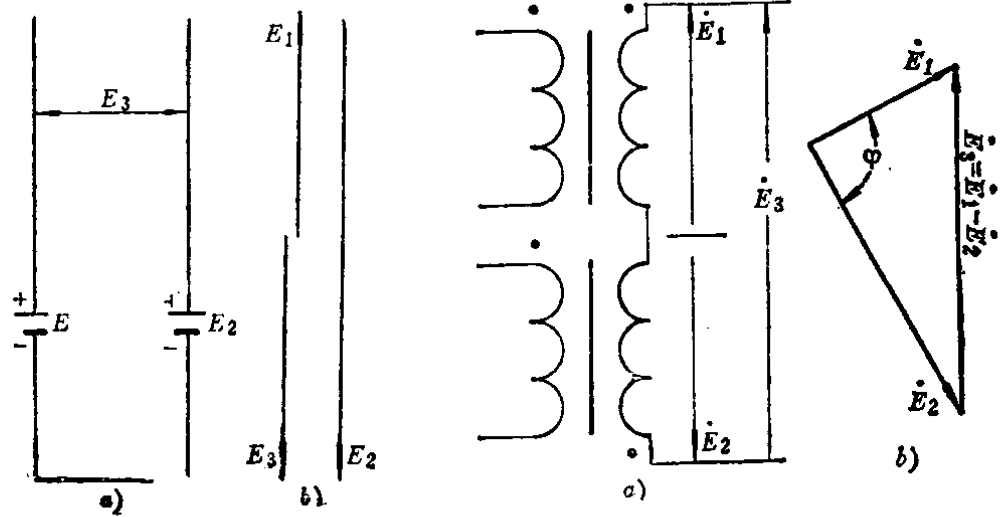


图1-14 直流电压串联相减的示意图
a) 电路图 b) 电压相减

图1-15 交流电压串联相减的示意图
a) 电路图 b) 向量图

$\dot{E}_1$ 与 $\dot{E}_2$ 的向量差, 参看图 1-15 b)。如果 $\dot{E}_1$ 与 $\dot{E}_2$ 的相角差 φ 是 180° , 则 $\dot{E}_3$ 的有效值 E_3 为 E_1 与 E_2 的算术差。若 $\dot{E}_1$ 与 $\dot{E}_2$ 的相角差 φ 大于 0° , 小于 180° , 则 $\dot{E}_3$ 的有效值 E_3 相当于图 1-15 b) 中 $\dot{E}_3$ 线段的长度。

对比图 1-13 与图 1-15, 可见当变压器二次异性端相接时, 和向量是分向量的向量和; 当二次同性端相连时, 和向量为分向量的向量差, 当然这时也要注意一次同性端的接法。在一般情况下, 两个电压向量的大小和方向, 应根据电路各部分的具体情况来确定。

克希荷夫第二定律表明: 在一个闭合电路里, 所有电压之和为零。不同相位的电压向量在闭合电路里, 头尾互相连接, 成为一个闭合形状, 这表示电压向量相加的结果为零。如图 1-16 所示, 三相变压器的三个线圈接成三角形的闭合电路, 根据电路中电压的相互关系可画出电压向量 $\dot{U}_{AB}$ 、 $\dot{U}_{BC}$ 、 $\dot{U}_{CA}$, 如图 1-17 所示, 闭合三角形 ABC 中 $\dot{U}_{AB}$ 、 $\dot{U}_{BC}$ 、

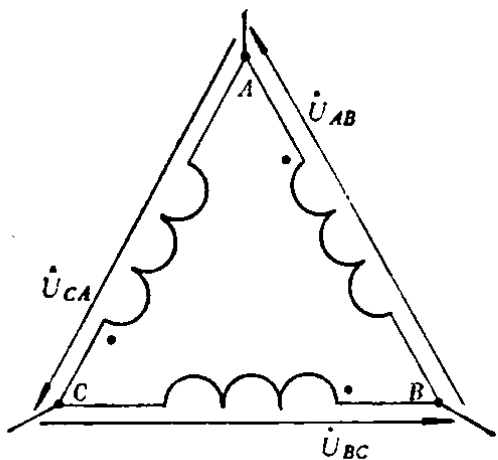


图1-16 三相变压器的三角形接线示意图

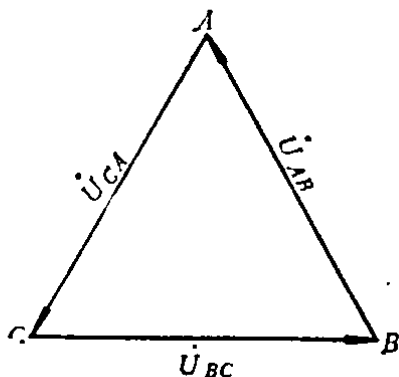


图1-17 图1-16的电压向量和成闭合三角形

$\dot{U}_{CA}$ 三个线电压之和为零。这和通常所说, 不论三相的三个线电压是否对称, 其和为零是一致的。根据向量可以平移,

将图 1-17 改画成图 1-18 的星形，但这时三个线电压之和为零的性质不因为向量的画法不同而改变。

根据克希荷夫第二定律，当一个电路中的其余电压向量都已知，而只有一个电压向量未知，则可求出这个向量。如图 1-19 中，若已知 $\dot{E}_1$ 、 $\dot{E}_2$ 和 $\dot{U}_1$ ，则可求 $\dot{U}_2$ ，由克希荷夫

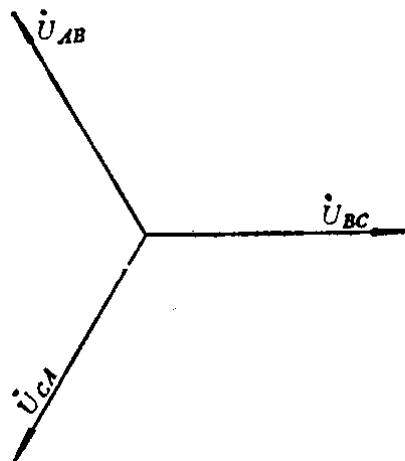


图1-18 图1-17向量
平移成星形

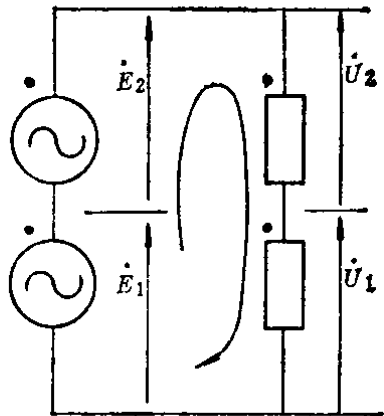


图1-19 一组交流电源向一组串
联负荷供电的示意图

第二定律得：

$$\dot{E}_1 + \dot{E}_2 + (-\dot{U}_1) + (-\dot{U}_2) = 0 \tag{1-5}$$

$$\dot{U}_2 = \dot{E}_1 + \dot{E}_2 + (-\dot{U}_1) \tag{1-6}$$

根据已知的 $\dot{E}_1$ 、 $\dot{E}_2$ 和 $\dot{U}_1$ ，用向量平移连接法即可求得 $\dot{U}_2$ ，见图 1-20。

公式 (1-5) 中向量的正、负号是这样规定的，先假定一个电流的流向(如图 1-19 曲线所示)，对于电源，当此流向与向量箭头指向同性端的方向

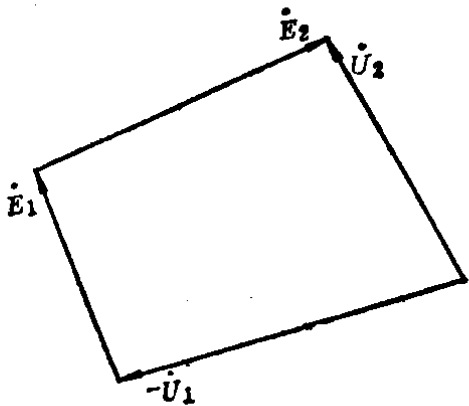


图1-20 已知 $\dot{E}_1$ 、 $\dot{E}_2$ 、
 $\dot{U}_1$ 求 $\dot{U}_2$ 的向量图