电学基础讲座　第四册

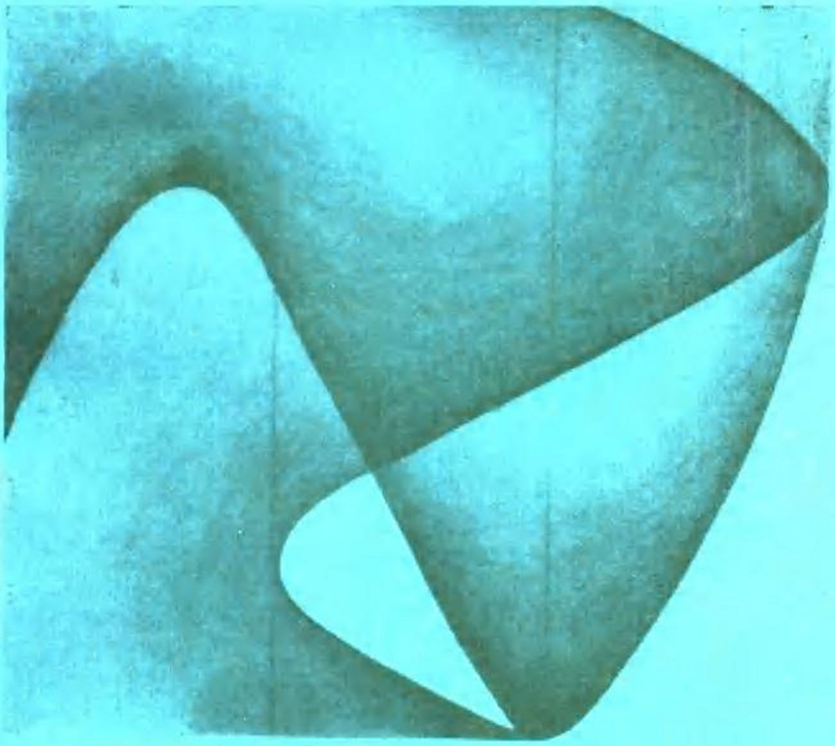
程序式学习法

基础电工学

电　路

〔日〕末武国弘　主编

松下电器工学院　编著



机械工业出版社

本书是日本松下电器产业有限公司培训机构——松下电器工学院对公司人员进行电学基础知识教育的教材，这套《电学基础讲座》共六册（书目附后），这是第四册《电路》。内容讲述相量的复数表示法、交流电路的计算、交流电桥电路、迭加定理、戴维南定理、谐振电路、等效电源的变换、过渡过程、匹配及从发电厂到用户等方面的基本概念、具体计算及实际运用。每章附有练习题并附解答，书末附有考核试题及答案。

本书是采用当前世界流行的程序式学习法进行编写的，深入浅出、形象喻比、引人入胜、通俗易懂；内容由浅入深、有问有答、概念清晰、便于自学。特别适合作为工矿企业职工培训教材和工人、干部及中学生自学读物，也可作为技工学校和职业中学教学参考用书。

電気基礎講座　4
プログラム学習による
基礎電気工学〔電気回路編〕
監修　末　武　国　弘
編著　松下電器工学院
発行　松下電器産業株式会社
昭和52年2月21日初版発行
昭和56年7月6日12刷発行
＊　＊　＊
程序式学习法
电学基础讲座　第四册
基础电工学　电　路
〔日〕末武国弘　主编
松下电器工学院　编著
纪钢城　译
樊宝泉　校
＊
责任编辑　董保申
＊
机械工业出版社出版（北京阜成门外百万庄南里一号）
（北京市书刊出版业营业许可证出字第117号）
机械工业出版社印刷厂印刷
新华书店北京发行所发行・新华书店经售
＊
开本 850×1168 1/32・印张 8 3/8・字数 282 千字
1987年1月北京第一版・1987年1月北京第一次印刷
印数 0,001—4,250・定价 2.15 元
＊
统一书号：15033・6399

主编者的话

有这样的成语："明珠暗投"或"马耳东风"。这就是说，无论给谁多么好的东西，总要对方对那件东西感兴趣才行；如果他本人不喜欢，就会无动于衷。前面的成语所比喻的最能表明这种情况。学习也是如此。如果学习者对所学习的不感兴趣，即使内容再精彩，也是枉然。

就是说，无论谁如果没有学习的欲望，而是漫不经心地学习，必然会毫无成效。

如果，学习者从一开始就具有学习的欲望，那当然最好；但也有这种情况，就是在学习开始以后才产生兴趣的。对于学校教学的情况，从其效果来看就与后者相当。所以，教师就应千方百计地想办法来激发学生的学习积极性。

程序式学习法的课本是以自学自习为主的，对于没有学习欲望的人本来是不适用的；但是，现在我们从教育工程学的角度对以往的程序式学习法的课本加以研讨，并对它进行了改革，从而编写成这套世界上少有的新程序式学习法的课本。我们把这种形式命名为：

"模仿家庭教师形式"

这种形式与传统的程序式学习法的课本基本上相同，所不同的只是它的解答栏。

在解答栏中，除了普通的答案之外，还加上了模仿"家庭教师的批语"：有时提问，有时提示，有时评论，有时鼓励；根据情况，从学习者的角度出发有问有答，从而使人产生一种感觉，宛如在学习者的身边有老师和同学在一起上课似的。

这种形式，从教育工程学上说，就是给予学习者一种有效信息的反馈方法，或者叫做效果认识法（Knowledge of Results），使学习者随时获悉学习所得成果。

发行前言

这套讲座是松下电器产业有限公司的教育训练机构——松下电器工学院用作对公司人员进行电学基础知识教育的教材，它一方面参考了中等工业学校及各职业训练学校的教学大纲，一方面参照历来的学校教科书与程序式学习法的课本，但不拘泥于以往的教学方法，而是根据教学体会以新程序式学习法的形式编写而成的。

因此，本书可望适用于下列目的：

1．可供中等工业学校、中等职业训练学校，其它各类技术学校及企业内教育机构用作电学基础课的教科书或参考书。

2．对于机械、化工、经营管理等非电类专业的技职人员，为了适应在现代社会活动中对知识的需要，可用作学习有关电工、电子技术知识的读物。

3．对于从事高级电器产品、自动化装置、自动车床及工业测量仪表操作的技术工人，为了理解所操作的设备，可作为学习必要的电学基础知识的读物。

4．可用作电化教育设备的软件。

5．可用作通俗的自学读物。

本书是《电学基础讲座》的第四册——《电路》，是为初学电学知识的人编写的。它讲述了矢量的复数表示法、交流电路的计算、交流电桥电路、迭加定理、戴维南定理、谐振电路、等效电源的变换、过渡过程、匹配及从发电厂到用户等方面的内容，书中结合实际、引用人们身边常见现象进行解说，使学者能系统地获得电学的基础知识和进行计算的能力。

本书的缺点，如蒙读者批评指正，则不胜荣幸！

编著者代表

本书的特色和目的

1 本书各章由下列几部分构成：

① 学习目标

② 内容提要

③ 学习内容

④ 练习题

⑤ 试题（及格测验）

2 在“学习目标”中，简单地叙述了该章进行学习的目标。

3 在“内容提要”中，对该章的学习内容进行归纳，并作出简要的概括，也可用作学习的小结。

4 在“学习内容”中，学习的内容以新程序式学习的教学方法展开；在解答栏中给出了答案；还采用了效果认识法（Knowledge of Results），并加上模仿“家庭教师的批语”，这是教育工程学上用以提高读者学习积极性和随时获悉学习所得成果的一种新的方法。

5 “练习题”是为了使读者充分掌握学习内容中所学到的概念、定律以及提高计算能力而选择的，并附有详细解答。

6 “试题”可用作检查学习者对各章学习成效的测验题目。每章出10题，100分为满分。

7 曾在学校里学过的人，在走向社会后若获得再受教育的机会、打算再一次学习时，如嫌本书学习内容过分详细，则可采取以内容提要为主和做练习题入手进行学习的方法。

8 在集体教学的单位采用本书作为教材时，可根据内容提要进行讲授。

9 若把试题的内容选取一些给与学习者作为测验题目就可以对学习者学习成果作出评价。

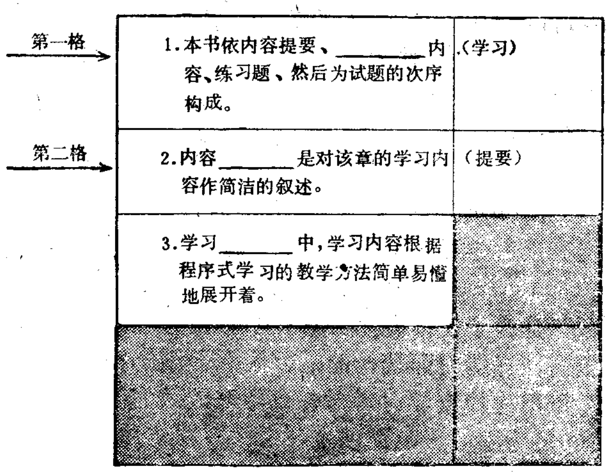
10 在企业内的教育培训机构中，举办在职培训、短期集训函授教育及组织自学等而采用本书进行教学时，可根据内容提要讲授，并可把试题作为及格测验和汇报学习成果的试题。

本书的使用方法

1 初学电学知识的人请从“学习内容”开始学习。

2 “学习内容”是根据新程序式学习的教学方法与教师的讲授一样地展开的。

先用一块特别配制的盖板（如下图粗线隐格所示）把解答栏掩盖起来，这样，读者先不看答案，仔细阅读内容，认真思考，并在________处填空。



3 仔细阅读每格的内容，如果弄清了应填入________中的答案，就把它记在笔记本上。

4 如对自己思考出来的解答有把握了，就挪一挪盖板，与解答栏中的答案对照，判定是否正确。

5 如对自己思考的解答正确，就进行到下一格；如果错了，就再仔细阅读一遍，直至掌握并理解正确解答时为止。

不必追求速度，最重要的是一格一格地充分理解并稳步前进。

6 最后，请对书后所附的“试题”作出解答，以便检验学习的成效。

目　录

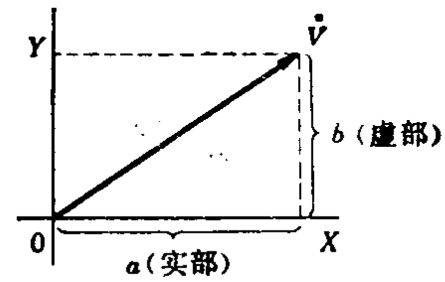
第一章　相量的复数表示法

学 习 目 标

1. 会把以极形式表示的相量用复数式（正交形式）表示出来。
2. 会把复数式（正交形式）表示的相量用极形式表示出来。
3. 会求出以复数式表示的相量之和、差、积、商，并能计算其各自的绝对值与辐角。

内 容 提 要

1 相量的复数表示式（正交形式）



（1） X 轴分量用数值表示为 a

（2） Y 轴分量冠以符号 j 而表示为 jb

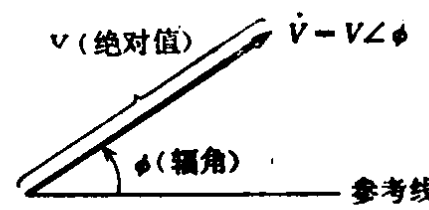
（3） 将上述两个分量用相加形式表示，即得到一个相量为 $\dot{V}=a+jb$

（4） 这样的相量表示法称为正交形式（即直角坐标表示式）。

（5） 象 $a+jb$ 这样的数，具有实数 a 和虚数 jb，我们称之为复数，并可把相量作为复数来处理。

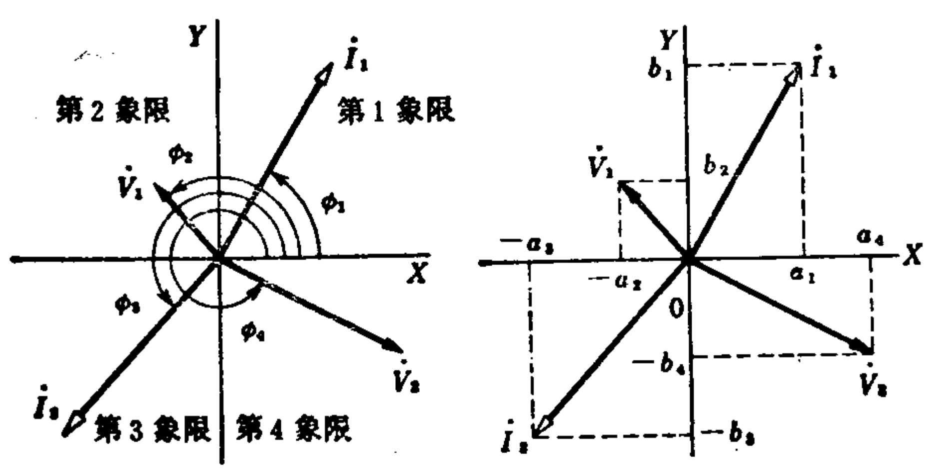
这时，分量 a 称为实部，分量 b 称为虚部。

2 与正交形式相对而言，我们把用绝对值（大小）和辐角（相位角）表示相量的方法称为极形式（即极坐标表示式）。



3 如果把一个正弦交流量表示成相量图，则根据其辐角（相位角）ϕ 的大小，可以分别表示在四个区域内（图 a）。

我们把这四个区域称为象限，相量作复数表示时，实部与虚部的符号根据相量所在的象限而不同（图 b）。



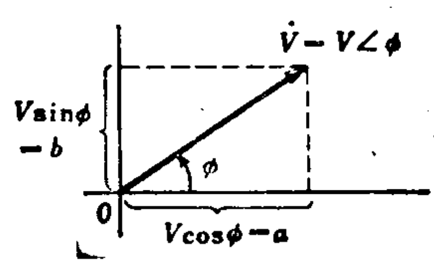
$$\dot{I}_1=a_1+jb_1$$
$$\dot{V}_1=-a_2+jb_2$$
$$\dot{I}_2=-a_3-jb_3$$
$$\dot{V}_2=a_4-jb_4$$

a)　　　　b)

4 从相量图（极形式）向复数表示式（正交形式）的变换

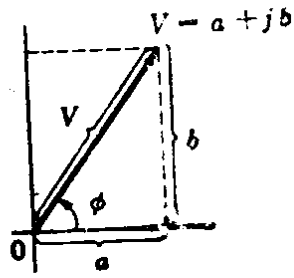
若知道一个相量的绝对值和辐角，就可把它变换成复数表示式。

$$\dot{V}=V\angle\phi$$
$$=V\cos\phi+jV\sin\phi$$
$$=a+jb$$



5　从复数表示式（正交形式）向相量图（极形式）的变换

相量 $\dot{V}$ 的绝对值和辐角可按如下求得。



$$\text{绝对值：}\quad \sqrt{(\text{实部})^2+(\text{虚部})^2}$$

$$=\sqrt{a^2+b^2}=V$$

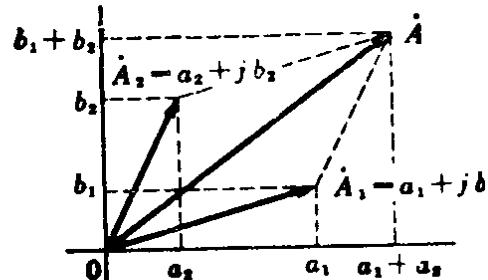
$$\text{辐角：}\quad \mathrm{tg}\,\phi=\text{虚部}/\text{实部}=b/a$$

$$\therefore\quad \phi=\mathrm{tg}^{-1}b/a$$

$$\dot{V}=a+jb$$

$$=\sqrt{a^2+b^2}\angle\mathrm{tg}^{-1}b/a$$

6　用复数表示的两相量之和与差

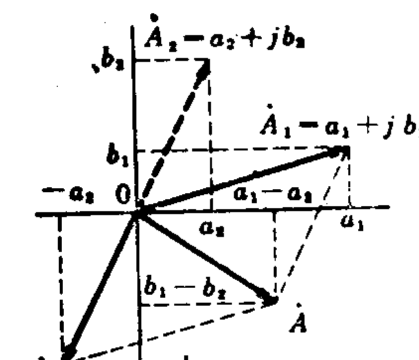


两相量之和

（1）两相量之和等于其实部及虚部分别（按其相同性质）相加而形成的复数所表示的相量，即

$$\dot{A}=\dot{A}_1+\dot{A}_2=(a_1+a_2)+j(b_1+b_2)$$

（2）两相量之差等于其实部及虚部分别（按其相同性质）相减而形成的复数所表示的相量，即

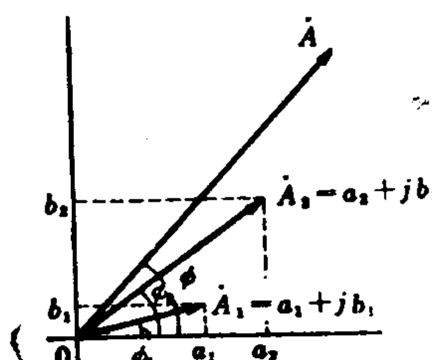


两相量之差

$$\dot{A}=\dot{A}_1-\dot{A}_2=\dot{A}_1+(-\dot{A}_2)$$

$$=(a_1-a_2)+j(b_1-b_2)$$

7　用复数表示的两相量之积与商



两相量的乘积

（1）两相量之积

$$\dot{A}=\dot{A}_1\cdot\dot{A}_2=(a_1+jb_1)\cdot(a_2+jb_2)$$

$$=(a_1a_2-b_1b_2)+j(a_1b_2+a_2b_1)$$

$$\text{绝对值：}|\dot{A}|=\sqrt{(a_1a_2-b_1b_2)^2+(a_1b_2+a_2b_1)^2}$$

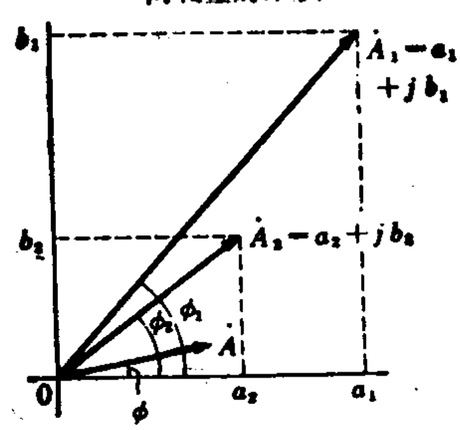
$$=\sqrt{a_1^2+b_1^2}\cdot\sqrt{a_2^2+b_2^2}$$

$$=|\dot{A}_1|\cdot|\dot{A}_2|$$

$$\text{辐角：}\quad \mathrm{tg}\,\phi=\mathrm{tg}(\phi_1+\phi_2)$$

$$\therefore\quad \phi=\phi_1+\phi_2$$

（2）两相量之商



两相量之商

$$\dot{A}=\frac{\dot{A}_1}{\dot{A}_2}=\frac{a_1+jb_1}{a_2+jb_2}=\frac{a_1a_2+b_1b_2}{a_2^2+b_2^2}$$

$$+j\,\frac{a_2b_1-a_1b_2}{a_2^2+b_2^2}$$

$$\text{绝对值：}|\dot{A}|=\frac{\sqrt{a_1^2+b_1^2}}{\sqrt{a_2^2+b_2^2}}=\frac{|\dot{A}_1|}{|\dot{A}_2|}$$

$$\text{辐角：}\quad \mathrm{tg}\,\phi=\mathrm{tg}(\phi_1-\phi_2)$$

$$\therefore\quad \phi=\phi_1-\phi_2$$

学习内容

1　关于正弦波交流的相量表示法，已在本丛书“电学基础讲座第三册《交流电》的“交流电的相量表示”一章中学过了。

把正弦波交流电用瞬时值的式子表示时，因为式中有 sin 和cos 的项，所以计算起来就比较麻烦。

于是，当计算、分析正弦波交流电时，在其波形和频率不变的情况下，就可采用相量表示法了。

$$\left.\begin{array}{ll} i=\sqrt{2}\,I\sin(\omega t+\phi) & \dot{I}=I\angle\phi \\ e=\sqrt{2}\,E\sin(\omega t-\phi) & \dot{E}=E\angle-\phi \end{array}\right\}$$
式中，设正弦波中的频率是固定的。

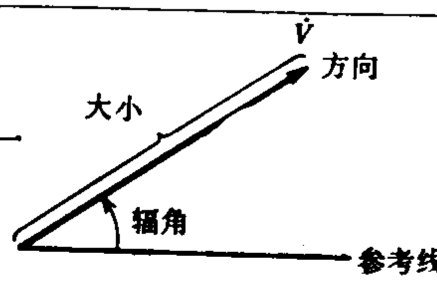
“交流电一书的学习结束了吧？”

是的，是的，好极了 ！

2　从现在起，我们要学习的相量复数表示式，是一种把相量作为数学式子表示的方法。因为这是把相量变成代数来处理的方法，所以，在进行复杂交流电路的计算时，确实是一种很方便的方法。并且，它是专门学电的人以后学习高深课程的基础，因而是非常重要的学习内容。

3　**相量的复数表示**

要把图示的相量$\dot{V}$用一个数学式子来表示，该如何办呢？

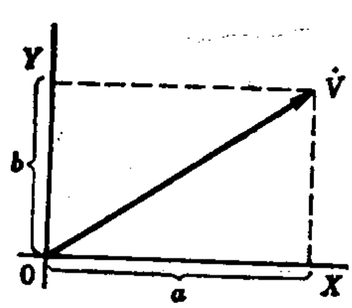


“$\dot{V}=V\angle\phi$ 的表示法已经知道吧！”

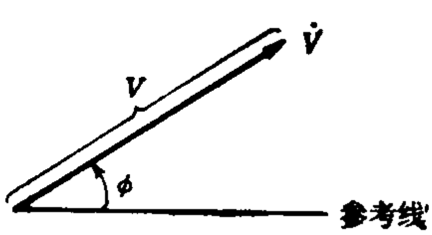
4　要把相量$\dot{V}$ 用一个数学式子来表示，有下列两种方法：

（1）如图a所示，它是把$\dot{V}$分解成X轴（横轴）上的分量a与Y轴（纵轴）上的分量b来表示的方法。

（2）如图 b 所示，它是由角度ϕ与大小V来表示的方法。



a）

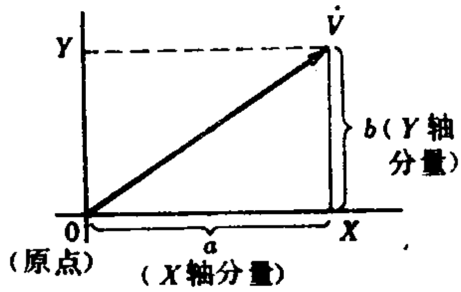


b）

“在交流电一书中学过的是第（2）种方法吧！”

“是的！”

5　例如，图中所示的相量$\dot{V}$，就是通过把从原点0沿X轴方向取大小a，再沿Y轴方向取大小b所确定的坐标点与原点0联结的线段来表示的。这就是把相量分解成X轴与Y轴的分量来表示的方法。



的确如此，意思是向右前进a〔m〕然后向上前进b〔m〕取得一个点吧？

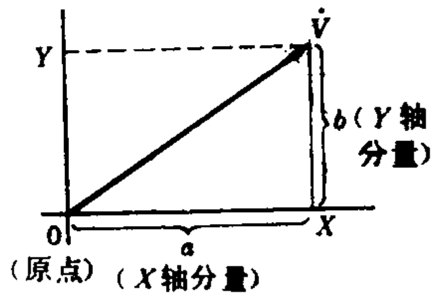
6　可是，在实际上用数学式子来表示时，为了区别X轴分量a与Y轴分量b，习惯上按下列的规定来表示。

（1）X轴分量a用原样的数值表示。

（2）Y轴分量b冠以符号j，使它与X轴分量a相区别。

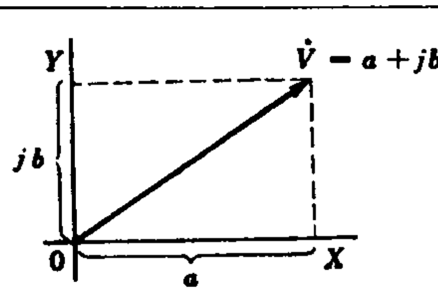
（3）把这两个分量用加号结合起来，就得到$\dot{V}$的数学表示式，即

$$\underbrace{\dot{V}=a}_{X\text{轴分量}} + \underbrace{jb}_{\text{在}Y\text{轴分量上冠以符号}j}$$



“务请遵守规定呀！”

7　这样，我们把相量$\dot{V}$分解成为X轴分量与Y轴分量、并表示为$\dot{V}=a+jb$的方法，称为**正交形式即直角坐标表示式**。

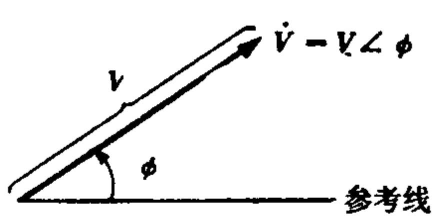


是因为用直角坐标来表示相量的缘故吧！

8　并且，在《交流电》一册中已经学过，相量$\dot{V}$亦可用绝对值（大小）V与辐角ϕ来表示。

$$\underbrace{\dot{V}=V}_{\text{大小}}\ \underbrace{\angle\ \phi}_{\text{辐角}}$$

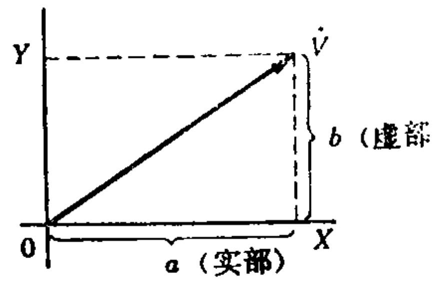
这种方法就是在与参考线所成角度ϕ的方向上取大小V来表示$\dot{V}$。



在《交流电》一册中曾把这种方法简单地称为相量表示法，但为了与正交形式相对应，故称它为极形式即极坐标表示式。

9 用正交形式来表示相量，是把 Y 轴上的分量，即冠以 j 的数称为虚数；而把 X 轴上的分量称为实数。

象 $a+jb$ 这样由实数 a 与虚数 jb 构成的数称为复数，并把用 $\dot{V}=a+jb$ 这样的复数来表示相量的方法称为相量的复数表示法（正交形式）。



$$\dot{V}=(\text{实部})+j(\text{虚部})$$
$$=\quad a\quad +jb$$

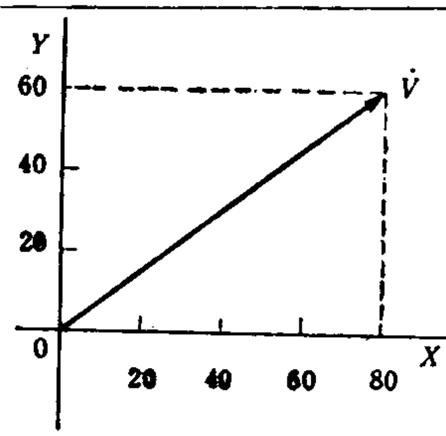
这时，X 轴上的分量 a 称为实部，Y 轴上的分量 b 称为虚部。

“在数学中，对虚数采用 i 的符号吧！”

“在电工学中，为了与电流（i）相区别，采用了符号 j”。

10 关于相量的复数表示法，我们用具体的数值例子再来学习一下吧！

若将如图所示的相量 $\dot{V}$ 用复数表示该是什么样呢？



因为相量 $\dot{V}$ 的实部（X 轴分量）是（a）________，虚部（Y 轴分量）是（b）________，故 $\dot{V}$ 可表示如下：

$$\dot{V}=80+j60$$

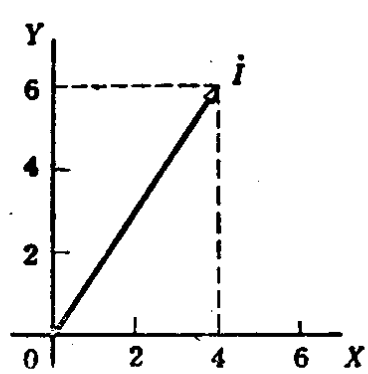
（a）〔80〕

（b）〔60〕

〔 〕中表示的内容是左格问题中的答案“怎么样，很简单吧！”

11 试对图中所示的相量 $\dot{I}$ 作复数表示吧。

$\dot{I}=$________



Y 轴分量应冠以符号 j 来表示……

“是的！”

〔$4+j6$〕

12 因此，要把相量用复数表示，就要求出相量的 X 轴分量与 Y 轴分量，并把这两个分量用加号联结成为一个式子。

为了把 Y 轴分量与 X 轴分量区别开来，在 Y 轴分量的前面冠以符号（a）________。

就是说，把相量用复数表示时，其 X 轴分量就等于（b）________部，Y 轴分量等于（c）________部。

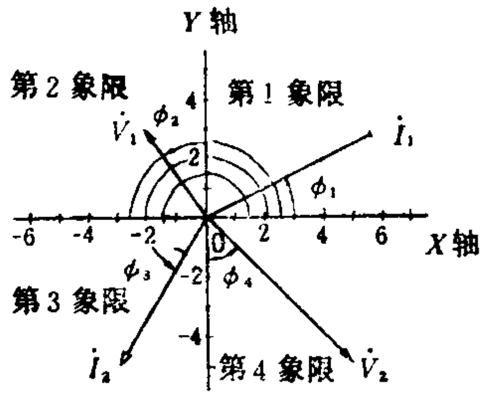
（a）〔j〕

（b）〔实〕

（c）〔虚〕

13 若把正弦波交流电表示在相量图上，则根据辐角ϕ（相位角）的大小不同，相量的位置如图所示分别被表示在由X轴与Y轴所划分的四个区域内。

这四个区域称为象限，且分别称为第1、第2、第3及第4象限。



相量$\dot{I}_1$位于第1象限中，$\dot{V}_1$位于第(a)______象限中，$\dot{I}_2$位于第(b)______象限，而$\dot{V}_2$位于第(c)______象限。

当把这种情况下的相量用正交形式作复数表示时，将是怎样呢？

“不要急，请学下一格！”

(a)〔2〕

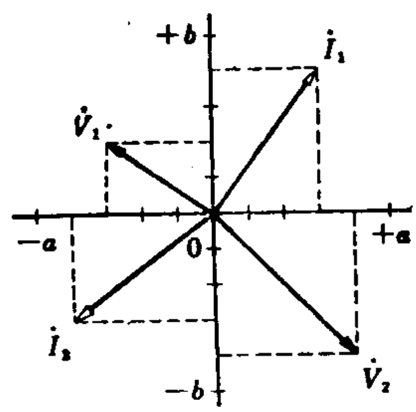
(b)〔3〕

(c)〔4〕

14 可是，若根据辐角的大小把分别表示在四个象限中的相量用复数表示时，将怎样来表示呢？

事实上，把相量用复数表示时，实部a与虚部b的符号根据所处象限的不同而各不相同。

因此，根据实部a与虚部b的符号，就可知道究竟相量位于哪一个象限之中。



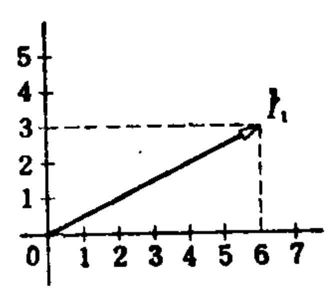
相量	相量位置	实部符号	虚部符号
$\dot{I}_1$	第1象限	+	+
$\dot{V}_1$	第2象限	−	+
$\dot{I}_2$	第3象限	−	−
$\dot{V}_2$	第4象限	+	−

的确如此！

“请注意符号！”

15 那么，把第1象限的相量$\dot{I}_1$用复数表示的方法已经会了吧。这种情况，相量$\dot{I}_1$的辐角虽然不能用具体的数字读取出来，但从坐标图上可读取$\dot{I}_1$的实部与虚部，若将它用复数表示就可得：

$$\dot{I}_1=\underbrace{(a)\_\_\_\_\_\_}_{\text{实部}}+j\underbrace{(b)\_\_\_\_\_\_}_{\text{虚部}}$$



“位于第1象限内，相量的实部和虚部的符号均为(+)吧！”

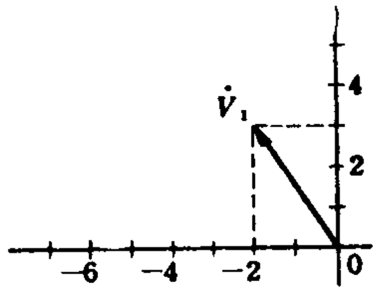
(a)〔6〕

(b)〔3〕

16 其次，试来考虑第2象限的相量$\dot{V}_1$的复数表示吧！$\dot{V}_1$的实部包含符号在内等于(a)________，虚部则等于(b)________。

因此，若把$\dot{V}$用复数表示，就得：

$\dot{V}_1$ = (c)________



"请注意实部和虚部的符号！"

在第2象限，实部当然为(−)！

(a)〔−2〕

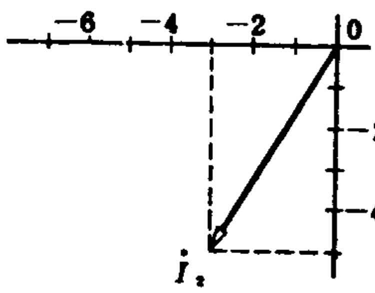
(b)〔3〕

(c)〔$-2+j3$〕

17 试按同样的方法，把第3象限的相量$\dot{I}_2$用复数表示吧。

因为相量$\dot{I}_2$的实部是(a)________，虚部是(b)________，若将它用复数表示，就可得：

$\dot{I}_2 = (-3) + j(-5)$



虽然这个表示式没有错，但是，如果是学过了代数的人，都会发觉这种情况最好改写成下式。

$$\dot{I}_2 = (-3) + j(-5) = -3 - j5$$

(a)〔−3〕

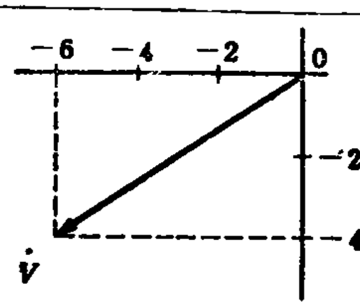
(b)〔−5〕

第3象限实部和虚部均为(−)吧！

"正是如此！"

18 那么，试把图中的相量$\dot{V}$用复数表示。

$\dot{V}$ = ________

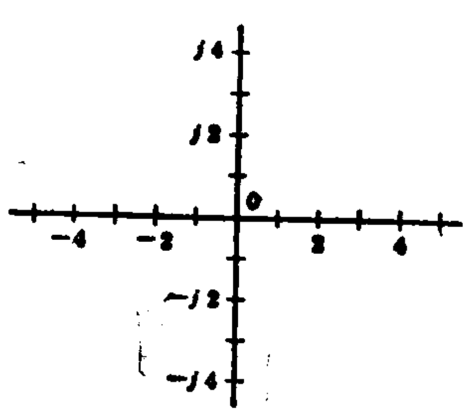


"应注意符号！"

〔$-6-j4$〕

19 显而易见，将相量用复数表示时，X轴的数与Y轴的数其性质是不同的。

因为Y轴与X轴的数性质不同，所以考虑相量的复数表示时，应在Y轴的数上冠以符号j，并规定按如图所示的数来考虑相量所在的象限。



"即使不一一考虑实部与虚部的符号也行吧？"

不行！

20 因此，$\dot{I}_2$的复数表示可得到如下：

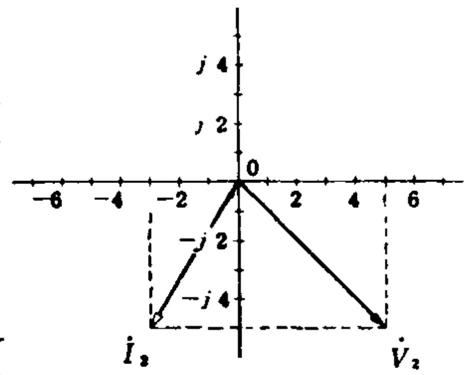
$$\dot{I}_2 = -3 + \underbrace{(-j5)}_{Y\text{轴分量}}$$

将式子加以整理就可得：

$\dot{I}_2 =$ (a)______

那么，试把相量$\dot{V}_2$用复数表示出来。

$\dot{V}_2 =$ (b)______



(a)〔$-3-j5$〕
(b)〔$5-j5$〕
“怎么样，很简单吧！”

21 试将图中所示的各相量用复数表示出来。

$\dot{V}_1 =$ (a)______

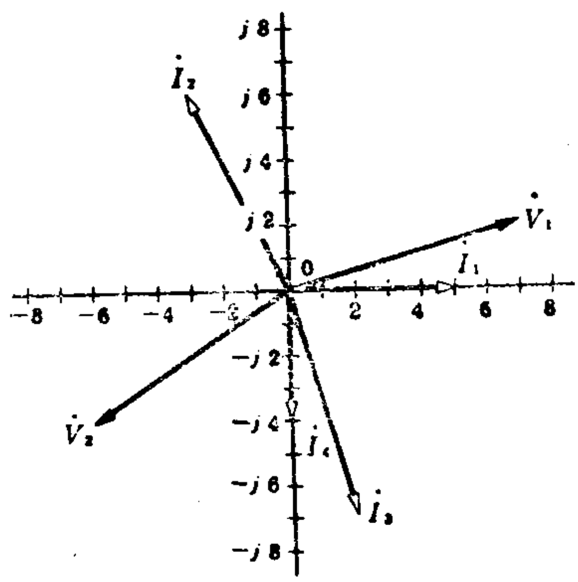
$\dot{I}_1 =$ (b)______

$\dot{I}_2 =$ (c)______

$\dot{V}_2 =$ (d)______

$\dot{I}_3 =$ (e)______

$\dot{I}_4 =$ (f)______



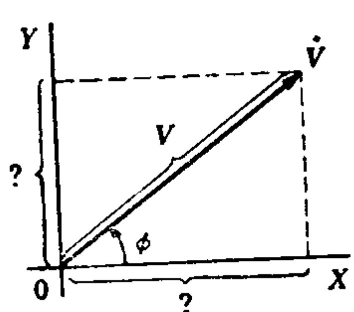
(a)〔$7+j2$〕
(b)〔5〕
(c)〔$-3+j6$〕
(d)〔$-6-j4$〕
(e)〔$2-j7$〕
(f)〔$-j4$〕

“因为$\dot{I}_1 = 5 + j0 = 5$吧！”

嗯！$\dot{I}_4 = 0 - j4 = -j4$吧！

22 至此，已经学习了用复数来表示相量的方法，但只看相量图，往往不能直接读取实部（X轴分量）与虚部（Y轴分量）。

例如，如图所示用极形式表示的相量绝对值（大小）与辐角为已知时，若不用复数表示就不能进行实际计算。

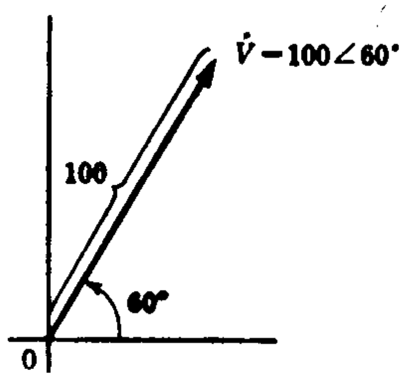


哎呀，严格起来啦！

“若做一做看，就会知道了。”

23　那么，若将如图所示用极形式表示的相量 $\dot{V}$（绝对值为100，辐角为60°）作复数表示（正交形式）时，该是怎样呢？我们就来学习吧！

为了把这个相量用复数表示，必须求出 $\dot{V}$ 的实部与虚部。



主要是将相量分解成 X 轴与 Y 轴的分量即可吧！

“是的！”

24　一看相量图就知道，$\dot{V}$ 的实部与虚部可用三角函数求出来。

实部为

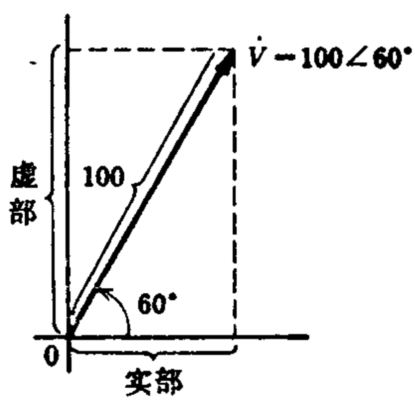
$100\cos60° = 50$

虚部为

$100\sin60° = 86.6$

因此，若把这个相量 $\dot{V}$ 用复数表示就可得：

$$\dot{V} = 100\angle60° = 50 + j\,86.6$$



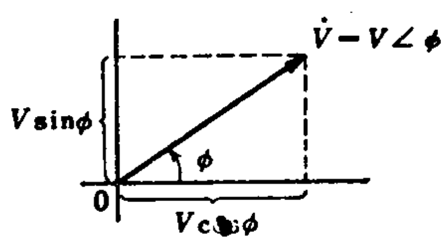
“在 Y 轴分量上应冠以符号 j 吧？”

是的，但符号的正负不能弄错。

25　这样，如果知道相量的绝对值与辐角，就可用三角函数计算其实部与虚部，从而可以表示成复数。

$$\dot{V} = V\angle\phi \to \dot{V}$$

$$= \underbrace{V\cos\phi}_{\text{实部 (a)}} + j\underbrace{V\sin\phi}_{\text{虚部 (b)}} = a + jb$$



“查三角函数表”

26　那么，试将下列用极形式（极坐标）表示的相量作复数表示（正交形式）。

$\dot{I} = 6\angle30° \to \dot{I} =$（a）________

$\dot{V} = 200\angle60° \to \dot{V} =$（b）________

$\dot{V} = 100\angle0 \to \dot{V} =$（c）________

（a）〔$5.2 + j\,3$〕

（b）〔$100 + j\,173.2$〕

（c）〔$100 + j\,0 = 100$〕