

72-1
CQZ

07101—089031

功率因数知识

陳啓增編寫



湖北人民出版社

功率因數知識

陳啟增編寫

湖北人民出版社

1959年·武漢

內 容 提 要

本書較有系統的介紹關於功率因數的產生、測量計算及如何提高功率因數等各項問題，特別對功率因數基本知識方面作了系統的說明。內容實際，從一般到具體，沒有高深複雜的數學計算。文字比較通俗，可供電業部門及工礦企業從事電氣工作的技術工人、管理干部的使用和參考。

功 率 因 數 知 識

陳 啓 增 編 寫

湖北人民出版社出版（武漢解放大道332號）

武漢市書刊出版業營業許可證新出字第1號

湖北省新華書店發行

江漢印刷廠印刷

787×1092 1/32 · 1 5/8 印張 · 35,000 字

1959年4月第 1 版

1959年4月第1次印刷

印數：1—4,800

統一書號：15106 · 150

定 價：(10) 0.16 元

前 言

在党的建設社会主义的总路綫光輝照耀下，1958年我国工农业生产以及其他各項事业都获得了飞跃的发展。鋼的产量达到了1100万吨以上，粮食的产量达到了7500亿斤左右。1959年是苦战三年的有决定性的一年，党的八届六中全会已經給全党全民提出了1959年国民經济发展的更加宏偉的指标，在1959年我們將实现比1958年更大、更好、更全面的跃进。为了坚决完成和超額完成党的八届六中全会所指示的指标和迎接今年更大的跃进，电力工业必須大大发展，因为它对保証任务胜利完成起着非常重要的作用。除了認真执行全民办电和两条腿走路的方針外；还必须大大的挖掘现有电力设备的潜力和节约用电。这就要大大提高电力设备的功率因数。因此进一步的来学习和掌握电工技术知識就显得更加重要了。这本书是專門为电力部門和各工业企业部門从事电气技术工作的同志写的，希望能供这些同志参考和应用。

功率因数低了，必然使电力设备的利用率下降和无功电能損耗增大。这样就不能使发电厂的发电设备的潜力进一步發揮出来；同时企业部門因用电设备的功率因数降低，也不能使设备得到很好的使用和發揮应有的效能。在1959年工农业生产更大跃进和对电力需要大大的增长下，提高現有设备的潜力，减少无功电能損失，已成为极其重要的工作了。

本書內容除了尽可能有系統的介紹提高电力设备的功率因数、發揮设备的潜力的方法和功率因数的各种測量及計算外；还从基本的方面講解了功率因数的产生。这样使讀者能有一个較全面的了解，就是一般初学电工的同志，也不致感到有太多

11/36/11

的困难。

本書內容上不妥的地方，還希望讀者提出寶貴的意見，以便今後補充修正。

作 者

目 录

第一章 什么是功率因数	1
第一节 为什么要学习和掌握功率因数知识	1
第二节 交流电路中相位关系	2
第三节 功率因数与交流电的关系	5
第二章 功率因数的产生	6
第一节 交流电路中产生相位的原因	6
第二节 交流电路中不同负载所产生的相位关系	7
第三节 电阻和电感负载串联在交流电路中各负载间的电 压降和电流间的向量关系	9
第四节 电阻、电感和电容负载串联在交流电路中各负载 间的电压降和电流间的向量关系	10
第五节 视在电功率、有功电功率、无功电功率及功率 因数	11
第三章 功率因数测量与计算	19
第一节 用直接法测量功率因数	19
第二节 用间接法测量功率因数	21
第四章 功率因数的改善	31
第一节 功率因数降低所产生的后果	31
第二节 自然提高功率因数	31
第三节 人工提高功率因数	34
第四节 静电电容器的安装和使用	36
附 录	
(一) 静电电容器的技术数据	38
(二) 三相互特计的接线图	40
(三) 不通过互感器接入线路的三相电度表(旺小时计)接线图	41
(四) 通过互感器接入线路的三相电度表(旺小时计)接线图	42

(五) 三相四线制电度表(配小时计)的接线图.....	43
(六) 接在三相四线制中的三个单相电度表(配小时计)接线图.....	44
(七) 三相无功电度表(配小时计)的接线图.....	45
(八) 三角回路表.....	46

第一章 什么是功率因数

第一节 为什么要学习和掌握功率因数知識

功率因数这个名詞对电气工作者來說，并不是陌生的，例如我們常見电动机、变压器及其他一些电气设备上都刻有功率因数的数值。我們也知道，电气设备的功率因数高就說明设备的利用效率高；功率因数低就說明设备的利用效率低。又比方工厂企业的用电功率因数低到一定数值时，就会遭到供电部門的罰款；功率因数高到一定数值时，供电部門要給予奖励。这是为什么呢？这也是因为用戶的电气设备的功率因数低了就要大大的降低电气设备所能發揮的作用，供电部門为了鼓励我們提高功率因数，就采取了上面所說的一种措施。

例如，发电厂有一台1 000仟伏安的发电机供給各工厂企业用电，假設工厂企业用电设备（电动机、变压器等）的功率因数为0.7，那么，这台发电机实际只供应700仟伏安的容量。如果能将工厂企业的电气设备的功率因数提高到1，那么，这台发电机就能将1 000仟伏安的发电能力全部供应出来了。因为电气设备的功率因数降低时，发电厂仍然以同样的设备能力来供电，可是就因为用戶设备的功率因数低了，电能不能充分的發揮，这就造成了很大的浪費。如果我們能够讓这些电能充分發揮出来，比方用来炼鋼和制造机器，一定能提高很多的产量。

因此，功率因数对设备的利用率的提高和節約电能都有着十分重要的关系，功率因数知識也就成为每一个从事电气工

作的人都必須掌握的技术知識了。

那么功率因数究竟是什么呢？怎样产生的呢？如何去测量和計算呢？在什么情况下功率因数会降低和用什么方法来提高功率因数呢？这些問題，我們将在下面分別来談一談。

第二节 交流电路中相位关系

我們要想弄清楚功率因数，得先从交流电路中的相位关系来談一談：如果发电机的磁通密度、导綫长度和电樞(轉子)速度保持不变，那么，我們知道发电机所产生的感应电势的大小是随着导綫切割磁力綫的角度变化而变动的。下面举个例子(看图1)：

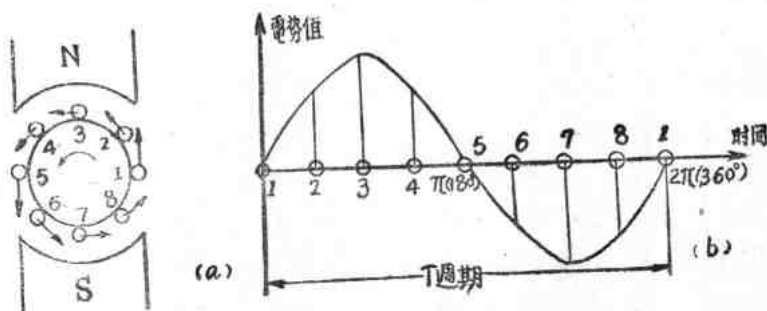


图1 交流电的产生

設导綫在图1 a上1的位置时，由于导綫运动的方向与磁力綫平行，导綫沒有切割磁力綫，因此不产生感应电势。但是，当导綫在2的位置时，由于导綫以傾斜的方向切割磁力綫，所以产生的感应电势也比較小。当导綫在3的位置时，由于导綫运动的方向和磁力綫垂直，切割的磁力綫最多，所以产生的感应电势也最大。导綫經過4的位置以后，由于导綫切割磁力綫的方向又产生了傾斜，因此感应电势也重新变小；直到5的位

置时，导线的感应电势减少到零。经过5的位置以后，导线就转入另一个磁极影响下。因此所产生的感应电势与前半部方向相反，而变化的情况和前半部相同，由零变到相反方向的最大值，最后再变到零。

把导线在圆周施转的位置展开在平面上，以横坐标代表导线的位置，纵坐标代表这个位置所产生的感应电势的大小，如果规定上半部的感应电势为正值，下半部为负值，那么这个感应电势的形状就是图1b所示的波形曲线，这也就是我们所说的正弦曲线。

导线从1施转到5的位置时，在空间经过了 180° （弧度 π ）的角度；再从5施转到1的位置时，已经在空间施转了一转，即 360° （弧度 2π ）的角度。从0到 2π 称为一个周期，用字母T来代表。所谓频率50周/秒，就是一秒钟里要往复回轉50个循环，往复一个循环所需要的时间只 $1/50$ （0.02）秒。频率用字母f来代表。

如果一台发电机绕有2个圈数相同的线圈，但是它们之间的位置相差 90° ，那么，这2个线圈所产生的感应电势就大小相等而方向相差 90° ，象图2所示的那样。由于这2个线圈同在一

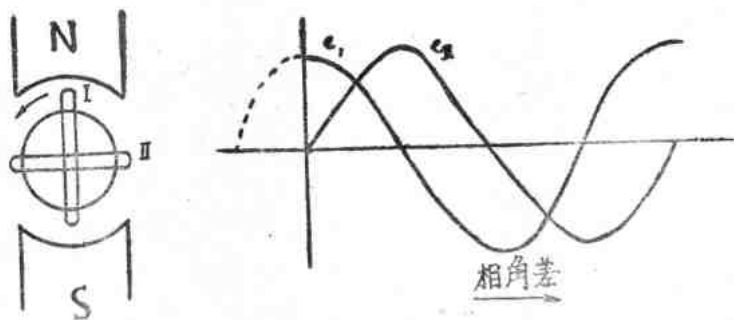


图2 二个不同位置的线圈所产生的感应电势

个电枢上以同一速度旋轉着，所以产生的感应电势 e_r 和 e_n 之間的相对位置是不变的。旋轉到任何角度或任何時間，它們之間的位置总保持着 90° 之差，这也就是交流电路中的相位差。

由这可知：交流电路中的电势和电流，可以用同一頻率 $f=50$ 周/秒而交变，可以自同一時間經過零值而开始变化，这叫做同相，象图 3 a 所示的那样；但也可以自不同的時刻經過零值而开始变化，就是說电势可以比电流先通过零值一个時間而开始变化，这叫做异相，象图 3 b 所示的那样。异相就是电势和电势、电流和电流或电流和电势之間保持着一个相位差，即一个時間之差。

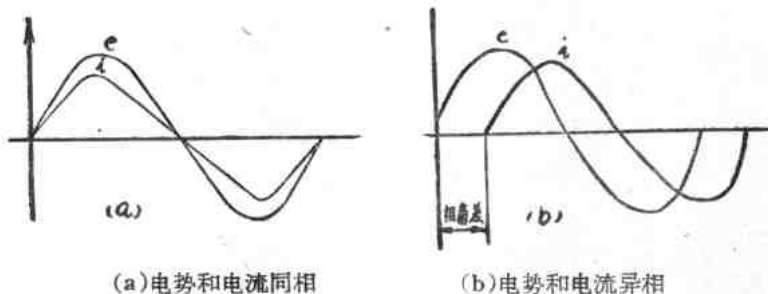


图 3

这就好比有 2 輛自行車，以同一方向、同一速度和同一起点同时出发，因此在任何時間里都在同一相互位置上。如果这 2 輛自行車的出发時間不同，甲車比乙車先行 4 分鐘，那么，在任何瞬間，乙車都落后于甲車 4 分鐘的路程。換一句話說，甲車經過某地时，乙車須 4 分鐘后才經過該地；乙車到达終点时，甲車早在 4 分鐘前已到达終点了。

在交流电路中，电压和电压之間，电流和电流之間，或电压和电流之間，异相的情况不是用時間来表示，而是用角度来表示的。这个角度称为相角。每一周为 360° 。相角差 180° 即

异相 $1/2$ 周，相角差 90° 即异相 $1/4$ 周，依此类推。

在直流电路里，发电机经过整流装置后，所产生的电势和交流电路里完全不一样了。直流电势的波形是图4所示那样的不随时间交变的直线，因此直流电路中各量之间就不存在相位或时间的差别了。

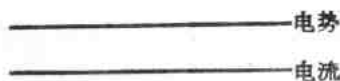


图4 直流电

第三节 功率因数与交流电的关系

我们知道了交流电路中电势和电流存在着相角和时间的关系，那么，就知道交流电路中的电功率不单单和电压及电流有关，而且还和它们之间的相位差有关。

在直流电路中，电功率的互特数等于电压的伏特数和电流安培数的乘积。

但是在交流电路中，电功率的计算就有一些不同了：电功率的互特数，并不一定等于电压的伏特数乘上电流的安培数。因此交流电路中的电压和电流的乘积不是实在电功率，而是视在电功率，用伏安为单位。至于实在电功率是用互特为单位的。

功率因数，就是实在电功率和视在电功率的比值，用式子来表示：

$$\cos \phi = \frac{P}{S} \quad S = \frac{P}{\cos \phi}$$

功率因数 = $\frac{\text{实在电功率}}{\text{视在电功率}}$

这时，要想知道实在电功率，除了把电压和电流相乘外，还需要乘上功率因数。

第二章 功率因数的产生

第一节 交流电路中产生相位的原因

构成电路的3个参数：电阻、电感(线圈感应)和电容(电容器)，在直流电路里只有电阻产生阻止电流通过的作用，电感和电容都不起作用。

可是在交流电路中，电阻、电感和电容都产生阻止电流通过的作用。这3个参数的值是由电路自身所决定的。它仅和构成电路的材料、几何形状、大小及周围媒介质有关。由于交流电路中的电压与电流都是随时间而改变的，当电压与电流的时变率不等于零时，电感和电容的作用就表现出来了。这等于力学里的质量反对物体的速度变化一样，造成了电压和电流间的相位不一致。

假定电路中作用的参数只有一个，这样的电路就叫作纯电路。只有电阻作用的电路，称为纯电阻电路；只有电感或电容作用的电路，称为纯电感或纯电容电路。如果在电路中作用的参数不止一个，例如电阻和电感一起在电路中作用着，我们称这样的电路为感性电路或感电路，象感应电动机和变压器等都是既有电阻又有电感一起作用的电路；再如电阻和电容一起在电路中作用着，我们又称这样的电路为容性电路或容电路，象电容器和其他性质类似的电路也都是既有电阻又有电容一起作用的电路。实际上纯电感及纯电容电路几乎是不可存在的，但是为了进一步来明确交流电路中电压与电流间的

相位关系，必須先从純电路的作用进行分析。

第二节 交流电路中不同負載所产生的相位关系

(一)純电阻負載的交流电路中电压与电流間的相位关系:

假定在一个电路中只有純电阻 R 作用着(看圖 5 a)，当有一个正弦变化的电压加在电阻上时，在任何时刻这个电路中的电压与电流都是在同一相位上。圖 5 b 及 5 c 說明电压与电流是在同一个時間經過零值而开始变化，它們之間沒有相角之差。电灯、电熨斗等都屬純电阻电路。

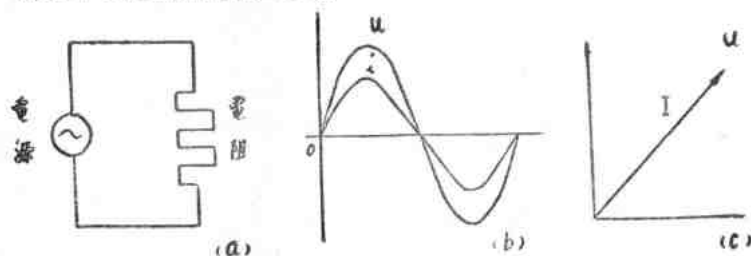
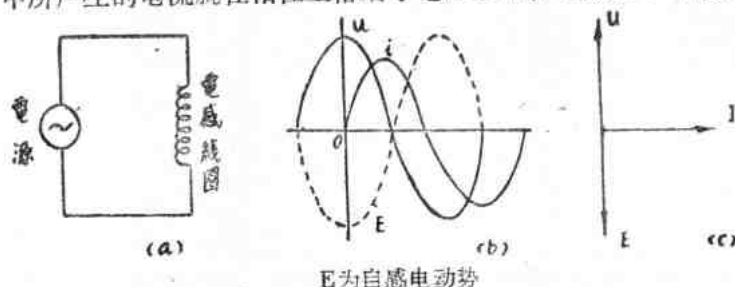


圖 5 純电阻电路电压与电流同相

(二)純电感負載的交流电路中电压与电流的相位关系: 当有一个正弦变化的电压加在一个具有純电感的线圈上时，电路中所产生的电流就在相位上落后于电压 90° 的角度。圖 6 中說明



E 为自感电动势

圖 6 純电感电路电压比电流早 $\frac{1}{4}$ 周(相角差 90°)开始变化

这个电路的电压比电流早 $\frac{1}{4}$ 周经过零值而开始变化。当电压为最大值时，电流才开始经过零值。由于电感线圈根据电磁感应所产生的自感电动势是起着限制电流通过作用的，线圈的圈数愈多，对电流限制作用也愈大。自感电动势的方向恰恰和外施电压方向相反。

(三) 纯电容负载的交流电路中电压与电流的相位关系：如果有一个电容器作用在电路中，当外施正弦变化的电压加在电容器两端时，电容器两极间所产生的电荷也随着变化，在电路中形成电流，但这个电流的相位是超前于电压 90° 角度的，恰恰和纯电感作用时相反。图7中说明这个电路的电流比电压早 $\frac{1}{4}$ 周经过零值而开始变化，当电流为最大值时，电压才开始经过零值。电容器在交流电路中产生的容抗对电流也起着限制作用，并且使电流相位超前于电压。

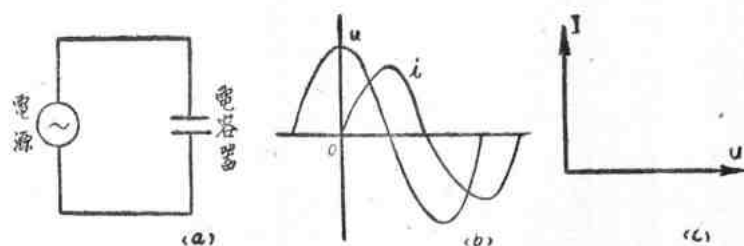


图7 纯电容电路电流比电压早 $\frac{1}{4}$ 周(相角差 90°)开始变化

总之，构成电路的3个参数，当有电感在电路作用时，电流就要落后电压一个相角；当有电容在电路作用时，电压就要落后电流一个相角；只有在纯电阻的作用下，电压与电流间才没有相角之差。

在纯电阻的电路里，电压的伏特数乘上电流的安培数才是实在(有效)电功率。如果在交流电路里存在着电感和电容的作

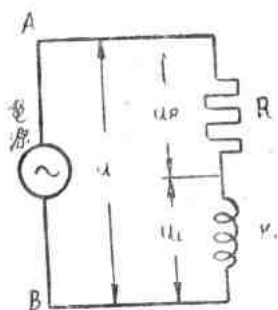
用，那么，电压的伏特数乘上电流的安倍数就不再是实在（有效）电功率，而是视在电功率了。

第三节 电阻和电感负载串联在交流电路中各负载间的电压降和电流间的向量关系

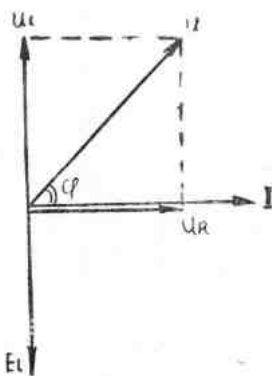
在电阻和电感的串联电路里（看图 8a），外电源所降落在整个线路中 AB 两端的电压降，必定等于消耗在电阻 R 上的一部分电压降（用向量 u_R 来表示，看图 8b）和消耗在电感抗 X_L 上的一部分电压降（用向量 u_L 来表示）之和。消耗在电感抗 X_L 上的电压降 u_L 是作为平衡线圈所产生的自感电势 E_L 之用的，自感电势的大小和电感抗电压降 u_L 相同，但方向和 u_L 相反。 例如抵消！

线路电压降应该等于线路中各别部门的电压降之和。

所以，在这一例中，加在线路两端的电压应等于降落在电阻 R 上的有效电压降和用来平衡线圈所产生的自感电势的电压降 u_L 的几何和。要得到这两种电压的几何和，就必须把向量 u_R 与 u_L 作一平行四边形，这四边形的对角线 u 就表示线路电压。



电阻和电感的串联线路图



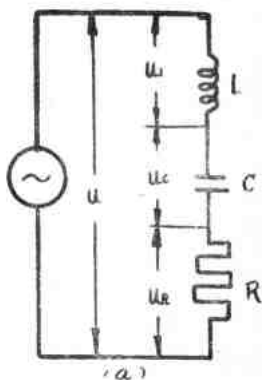
电阻和电感串联线路的向量图

图 8 电压比电流超前 φ 角度 ($\varphi < 90^\circ$)

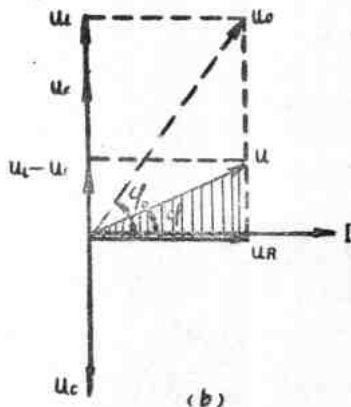
由图 8 b 中可以看出,电压向量 u 比电流向量 I 超前一个 φ 角度,这个角度是小于 90° 的,只有在线路中的电阻为零,电压向量才比电流向量超前一个 90° 的角度。如果线路中的电感抗为零,就是电路中没有线圈存在。那么,线路中的电流与外施电源的电压相位是一致的,就没有相角之差了。

第四节 电阻、电感和电容负载串联在交流电路中各负载间的电压降和电流间的向量关系

电阻 R 、电感 L 及电容 C 串联在电路中(看图 9a), 当有电流



(a) 电阻、电感和电容
串联线路图



(b) 电阻、电感和电容
串联线路的向量图

图 9 电压超前电流 φ 角度,比没有电容作用时的角度 φ_0 为小

I 在电路中通过时,在任何时刻里电路上的电压降都可分为 3 个: 降落在电阻 R 上的电压降 u_R , 和电流向量 I 是同相的(看图 9b), 没有相角之差; 降落在电感 L 上的电压降 u_L , 和电流向量 I 相差一个 90° 的角度, 是超前电流向量 I 的; 降落在电容 C 上的电压降 u_C 和电流向量 I 也相差一个 90° 的角度。由于电容电压降