

泰

中等专业学校教学用书

电 力 网

下 册

苏联 A.Я. 利亚布柯夫著

TM 727

水利电力出版社

內 容 提 要

本书共計十四章，分上下兩册出版。下册包括第八章至第十四章，主要講述区域电力网及輸电綫路的电气計算，电力网調压及电力网架空綫路的机械部分等。

书中的理論用大量計算例題作了闡明。

本书为中等动力专科学校的教科书，但也可作为高等学校非电工或动力系的教材，同样也可作为初次参加电力网工作的工程师与技术員的参考书。

А.Я.РЯБКОВ

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СЕТИ

ГОСЭНЕРГОИЗДАТ МОСКВА 1955

电 力 网 下 册

根据苏联国立动力出版社1955年莫斯科增訂第3版翻譯

曹义讓 刘繼 杜星堂 顧秋心譯

顧 秋 心校訂

*

115D31

水利电力出版社出版（北京西便門外大街二里沟）

北京市书刊出版业营业登記出字第105号

水利电力出版社印刷厂印刷

新华书店北京科技发行所发行 各地新华书店經售

*

787×1092 $\frac{1}{32}$ 开本 * 9 $\frac{1}{32}$ 印張 * 178千字 * 定价(第9类)0.99元

1954年10月北京第1版 1957年4月北京第2版

1959年8月北京第3次印刷(16,301—18,070册)

目 录

第八章 高压输电线的电气计算	195
8-1. 概述	195
8-2. 负荷以电流表示时按 Π 形等值线路作输电线路计算	196
8-3. 电力网内的有功和无功功率	198
8-4. 环节始端和末端的电压及功率之间的关系	202
8-5. 电力网环节与变压器中的功率损耗	207
8-6. 负荷以功率表示时按 Π 形等值线路($G=0$)作输电线路计算	210
8-7. 负荷以功率表示时按包括变压器在内的等值线路作输电线路的计算	213
第九章 区域电力网的电气计算	225
9-1. 概述	225
9-2. 开式区域电力网的计算	228
9-3. 两端供电区域电力网的计算	232
9-4. 有一个或几个发电厂的环形区域电力网的计算	234
第十章 电力网的调压	243
10-1. 调压问题及其方法	243
10-2. 借发电厂电压的改变进行调压	243
10-3. 变压器分接头的选择与用带负荷调压变压器和感应调压器进行调压	245
10-4. 变更电力网参数以调整电压	248
10-5. 改变电力网中流过的无功功率值以调整电压	248
10-6. 同步补偿机与静电电容器及其比较	250
10-7. 在负荷以功率表示及输电线路始端条件已知的情况下决定同步补偿机容量的图解法	252
10-8. 在负荷以功率表示及输电线路始端条件已知的情况下决定同步补偿机容量的分析法	255
10-9. 静电电容器容量的决定	265
10-10. 电力网中各种调压设备的应用	265
10-11. 变更无功功率时输电系统的运行	267
10-12. 在非额定功率因数下发电机的运行	270
第十一章 电力网设计的概念	272
11-1. 概述	272

11-2.	電力網電壓的選擇	273
11-3.	電力網的結綫圖	274
11-4.	電力網中容許的電壓偏移及電壓損失	291
第十二章	電力系統運行中幾個問題的概念	295
12-1.	概述	295
12-2.	關於週波和有功功率調整的概念	296
12-3.	關於電力系統並列運行穩定性的概念	300
第十三章	交流遠距離輸電的概念	304
13-1.	概述	304
13-2.	電力傳輸結綫圖	305
13-3.	輸電系統的傳輸能力	307
第十四章	電力網架空綫路的機械部分	310
14-1.	概述	310
14-2.	導綫和架空地綫的機械荷載	311
14-3.	檔距和弛度的基本概念和關係	321
14-4.	導綫材料的應力	323
14-5.	檔距中的導綫狀態方程式	324
14-6.	臨界檔距	327
14-7.	最大弛度	330
14-8.	臨界溫度	330
14-9.	導綫機械計算所需的資料	332
14-10.	鋼芯鋁導綫的機械計算	339
14-11.	懸點高度不等時導綫的計算	352
14-12.	斷綫時綫路計算的初步概念	355
14-13.	使用懸式絕緣子和固定綫夾的綫路上斷綫時導綫拉力的確定	358
14-14.	應用釋放綫夾或滑動綫夾的綫路上斷綫時沿導綫的拉力	365
14-15.	導綫與架空地綫在電杆上的排列和架空綫路的限距	367
14-16.	電杆的機械計算	375
14-17.	直綫型木杆的鋼筋混凝土接腿的選擇	412
14-18.	沿輸電綫路綫路斷面圖佈置電杆	414

附 錄 (見本書上冊附錄)

第八章 高压输电线的电气计算

8-1. 概 述

为了將大量电力輸送到远方，并分配給相隔很远的大电力用戶，就要求大大地提高發電电压：35、110 及 400 千伏。

随着輸电电压的提高，当輸送同样的功率时，导綫的費用減小了，电能的損失也降低了，可是綫路本身和变电站中高压设备的絕緣費用却增加了。

輸电电压的选择是根据技术及經濟双方面来考虑的。当其他条件已定时，輸电电压的选择是根据各方案的投資及年运行費的比较，同时考虑到有色金属消耗量的問題。

例如，要輸送30兆瓦左右的功率到距离約为 100 公里的地方，就選擇 110 千伏电压。但如果要輸送 100 兆瓦左右的功率到距离 250 公里或更远的地方时，則 220 千伏的电压就显得更为合适。

当輸电綫的运行电压远远高于地方电力網的較低級的电压时，就出現了一些在地方电力網中几乎不出現的現象，这些現象随着运行电压的提高而愈显得突出。

这些現象是由两种原因造成的，即：

- 1) 在高压輸电綫中有大量的电容电流；
- 2) 在高压导綫周圍的介質中有有功功率的損失。

因此，高压輸电綫的計算方法就与地方电力網不同，因为在这里除了考虑綫路的电阻和电抗外，还要考虑电納，甚至有时还要考虑电导。

对于电压不高于 110—220 千伏的綫路(其計算方法將在本課程中研究)，可以假定導綫电容集中在綫路兩端，即可以採用 Π 形等值綫路(見 § 3-1)，其結果非常接近于真實情况。这时，負

荷既可以用电流，也可以用功率表示。但因为后者具有一系列的优点，所以被認為更恰当。

8-2. 负荷以电流表示时按 Π 形等值线路作输电线计算

假定线路末端的电压、电流和功率因数已知，要求根据 Π 形等值线路确定线路始端的电压、电流及功率因数，则线路电导可以忽略(圖 8-1)。

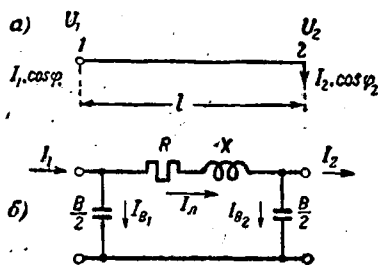


圖 8-1 輸電線的 Π 形等值线路

知道了线路(架空线或电缆线)的结构、导线截面、导线排列法及线间距离，就可以根据相应的公式或附表求出线路每公里的电阻 r_0 、电抗 x_0 及电纳 b_0 。

对于全线路则得：

$$R = r_0 l \text{ 欧}; \quad X = x_0 l \text{ 欧}; \quad B = b_0 l \text{ 西門}.$$

如果所研究的线路按其长度要求精确的解法，则在使用 Π 形等值线路时，应在所得的阻抗及电纳的数值上乘以修正系数。这时，全线路的计算用阻抗和电纳将为：

$$R = k_r r_0 l \text{ 欧}; \quad X = k_x x_0 l \text{ 欧}; \quad B = k_b b_0 l \text{ 西門}.$$

图解法就是用一定的比例根据所用的等值线路作出相电压及相电流的向量图(圖 8-2)。

使线路末端相电压 $U_{\phi 2}$ 的向量与实轴相重合。自 O 点画线路末端电流 I_2 的向量，使其与电压 $U_{\phi 2}$ 的向量相交成 φ_2 角，再自 O 点画线路末端电容电流 I_{B2} 的向量，使其在超前方向垂直于 $U_{\phi 2}$ 的向量， I_{B2} 的大小是：

$$I_{B2} = U_{\phi 2} \frac{B}{2}.$$

电流 I_2 和 I_{B2} 的向量和就是流经阻抗 R 和 X 的电流 I_1 ，在

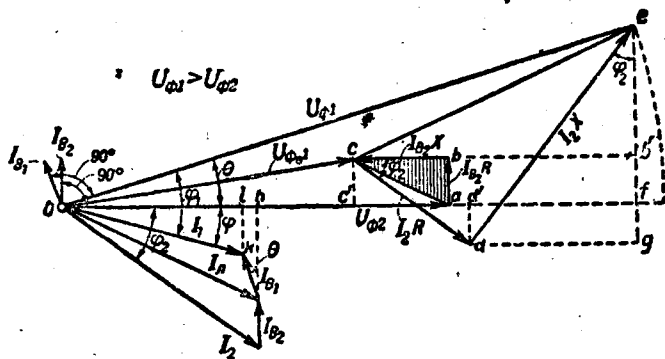


圖 8-2 全負荷時輸電綫的向量圖

电压 $U_{\phi 2}$ 的向量末端画由电流 I_{B2} 在綫路阻抗 R 及 X 中所造成的电压降三角形。

这样就得到了所求的空載時綫路始端电压 $U_{\phi 01}$ 的向量。在这向量的末端放上由負荷电流 I_2 在 R 和 X 中所造成的电压降三角形，就得到綫路始端电压的向量 $\dot{U}_{\phi 1}$ 。所求的綫路始端电流等于电流向量 $\dot{I}_1$ 与綫路始端电容电流 $I_{B1} = U_{\phi 1} \frac{B}{2}$ 向量的向量和，后者是画在电压 $U_{\phi 1}$ 向量的垂直方向。所求的电压 $U_{\phi 1}$ 和电流 I_1 向量間的相角差 φ_1 如圖上所示。

这样，所有我們感兴趣的数值都能直接从向量圖上量出来。

現在我們来分析电容电流对綫路始端电压变化的影响。

从圖 8-2 的向量圖中可以看出，电容电流 I_{B2} 使綫路电压降落中的縱分量减小，而横分量增加，結果是使电压損失减小，而綫路始末端电压間的、相位差增大。

如果在这条輸電綫上將負荷从最大值(相当于圖 8-2

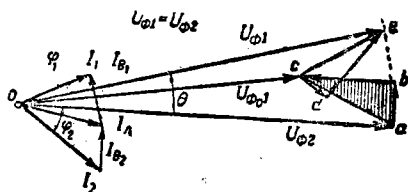


圖 8-3 小負荷時輸電綫的向量圖

的情况)逐渐降低到零,则在某一不大的负荷下可能达到这种情况,即线路中的电压损失等于零(圖 8-3),因为原有的电压损失将被电容电流所引起的反向电压损失所抵消。如果将负荷继续降低,则在线路中将只有反向的电压损失;也就是,线路始端的电压将低于线路末端的电压(圖 8-4)。

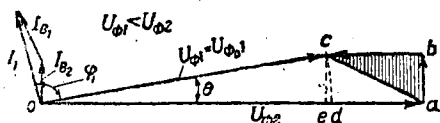


圖 8-4 空載時輸電綫的向量圖

由此可知,电容电流在大负荷或中等负荷时,是一个有利因素,而在小负荷和空載时,则可能表

现不良影响,因为对于电压高于 220 千伏的輸电綫,其末端电压的升高能超过正常設計輸电綫及电器的絕緣时所考虑的范围。

上述根据等值綫路計算輸电綫的圖解法,明显地表示出綫路电容电流对綫路运行的影响,以及綫路始端电压、电流和功率因数随綫路末端负荷变化的关系。

如果根据綫路末端在 0—100% 范围内变化的几种负荷作向量圖,就能得到与这些负荷相应的 U_1, I_1 和 $\cos \varphi_1$ 。

以后就能計算出輸电綫始端的功率

$$P_1 = \sqrt{3} U_1 I_1 \cos \varphi_1$$

及輸电綫效率

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} \cdot 100.$$

根据所得的数据,就能在座标軸內画出 $U_1, I_1, \cos \varphi_1, P_1$ 及 η 随负荷 P_2 变化的关系曲线。

这些数值也能从相应的公式求出,这些公式能从上述的向量圖中推导出来。

8-3. 电力網內的有功和無功功率

电能用户——电动机、照明设备、电热设备以及变压器——为了本身的工作在不同程度上需要有功率和無功率。

有功功率在电动机中变为机械工作，在照明设备中变为光，在电热设备中变为热。

无功功率被用户接受后产生出必要的电磁场（例如对异步电动机工作所需要的电磁场），其消耗量对于不同性质的用户各不相同。

例如，对于异步电动机，其运行的功率因数是0.7—0.9，无功功率为进入电动机的有功功率的100—50%；对于白炽灯，所需的无功功率实际上是等于零。

在向用户输送有功功率及无功功率的同时，在输电系统，即升压变压器、输电线和降压变压器中，也造成了这两种功率的损失。

在输电时，有功功率消耗在输电线的导线、变压器的线卷及铁心的发热上。

需要无功功率是为了维持因交流电的通过而在电力网的导线和变压器的线卷中所产生的电磁场和电场。

电力网中无功功率的损失与维持电力网及变压器中的交流电磁场及电场相关。这样，在无功功率的总需要量里面就多了这一项损失的量。

但是，维持无功功率并不消耗电能，不像有功功率的损失是与电能损失发生关系的，所以无功功率的损失并不会给发电厂的原动机增加额外负担。

与维持电磁场及电场有关的无功功率反映在发电机与用户间互换无功功率的振荡过程中。这样的功率并不要从发电机吸取电能。

因此，产生电磁场和电场不会引起像有功功率损失那样意义的无功功率损失，因为为了抵偿有功功率的损失是需要消耗原动机的能量的。

产生电磁场的无功功率有这样一个特点，就是一旦出现，它

就始終在發電機和用戶間作振盪式運動。

如果將在設備中循環的全部無功功率作為 100%，則在輸電系統中各環節間的分佈，以 110 千伏的輸電系統為例，大略如下：

異步電動機.....	65—75%
變壓器.....	15—30%
架空綫.....	5—10%

所以發電廠中發電機的任务除了供給負荷所要的有功和無功功率外，還要抵償在輸送這些功率時在輸電設備中所造成的有功損失（真正的損失）及無功損失（假設的名稱），以及由有功功率損失所引起的電能損失。

· 隨同有功功率從發電廠的發電機向用戶輸送的無功功率愈多，則輸電系統中的電壓降愈大，綫路的導綫及變壓器發熱也愈厲害。導綫的發熱決定於通過的全電流，全電流可以假想是由相當於有功及無功功率的有功及無功電流組成的。

從電工學中知道：全功率是由電流復數乘上電壓的共扼復數，或電壓復數乘上電流的共扼復數而得。

從這兩個公式所得的最終結果是相同的。

採用第一個公式，則當電流滯後於電壓時，即

$$\dot{i} = I_a - jI_r,$$

可得三相功率為：

$$\begin{aligned}\dot{W} &= \sqrt{3} \dot{U} \dot{i} = \sqrt{3} U I \cos \varphi - j \sqrt{3} U I \sin \varphi = W \cos \varphi - j W \sin \varphi \\ &= P - jQ,\end{aligned}$$

式中 U ——綫電壓；

I ——導綫中的全電流；

I_a 及 I_r ——電流的有功及無功分量；

φ ——相電壓與電流間的相角差；

W ——三相全功率；

P 及 Q ——三相功率的有功及無功分量。

無功功率和無功电流符号的一致使我們能在以后的电气計算中采用結構相同的公式，免去多余的用共扼复数的計算手續。

这样，如电力網某环节中的有功和無功功率方向一致，这对于綫路圖中的發電部分相当于向电力網輸出有功和無功功率，而对于受电器，則相当于取用有功和無功功率，这时全功率表示如下：

$$\dot{W} = P - jQ = \sqrt{3} UI \cos \varphi - j \sqrt{3} UI \sin \varphi. \quad (8-1)$$

如果在电力網某环节中有功和無功功率方向相反，則全功率表示如下：

$$\dot{W} = P + jQ = \sqrt{3} UI \cos \varphi + j \sqrt{3} UI \sin \varphi. \quad (8-2)$$

在电力網接綫圖上标註功率时，一般情况下以箭头方向表示有功功率的方向。如果無功功率的方向与有功功率一致，則在箭头附近註上 $P - jQ$ ；如果相反，則註 $P + jQ$ 。

在进行輸电綫和区域电力網的电气計算时，將負荷以有功和無功功率表示，并用这样表示的負荷进行計算，这样有以下优点：

1. 用戶和变电站的負荷以及發電厂、發电机、电动机、变压器、同步补偿机等的能力通常是用功率表示，將这些功率先換算成电流，以后又換回功率，这就增加了不必要的运算手續。

2. 將負荷从功率換算成电流，通常都假定是按額定电压，而不是按各点的实际电压計算，因为这些电压正是要求的，在計算开始时尚屬未知量。

3. 在沿綫有数个負荷的电力網中，为求始端綫段中的总电流而將各負荷的电流向量用分析法相加时，必須考虑到各負荷电压向量間的相位差。这就是要將那些依各自的座标軸表示的电流向

量相加，而這些座標軸又因為各電壓向量的方向不同而互相相差一定角度。這種分析法在負荷數目很多時是一項要求高度細心的工作。

為了簡便起見，如果假定所有負荷的電壓向量相位都相同，則在電力網計算中將引入一定的誤差，這時地方電力網的計算是完全允許的，而對區域電力網的計算則不一定允許。

如果電力網的計算是根據負荷的有功和無功功率，則復數全功率的組成部分可以在同一組座標軸內相加。這是因為，從(8-1)及(8-2)二式中可以看出，復數全功率只與電流及電壓向量間的角度差有關，而與電流及電壓向量對各自的座標軸所交成的角無關。

所以，沿綫各點負荷的有功及無功分量可以在同一個座標軸內相加，與這些點的電壓向量間的角度差並無關係。

8-4. 環節始端和末端的電壓及功率之間的關係

負荷的功率已知時，輸電綫的電氣計算是根據一定的電力網等值綫路按環節逐段進行的。

環節就是綫路圖中的一段，在該段長度內電流的大小不變，例如，綫路圖中兩個分枝負荷之間或兩個導納之間的一段就是。

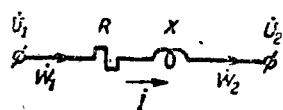


圖 8-5 電力網環節的等值綫路

現在我們研究一個由電阻及電抗組成的電力網環節的等值綫路，其負荷是最常見的電感性負荷(圖 8-5)。

採用以下符號：

$\dot{U}_{\phi 1}$ 及 $\dot{U}_{\phi 2}$ ——環節始端及末端的相電壓；

壓；

$\dot{W}_{\phi 1} = P_{\phi 1} - jQ_{\phi 1}$ 及 $\dot{W}_{\phi 2} = P_{\phi 2} - jQ_{\phi 2}$ ——環節始端及末端一相的功率；

$\dot{I}$ ——整個環節長度內的電流；

$Z = R + jX$ ——环节的阻抗。

如果已知环节末端的情况，也就是环节末端的功率和电压，则环节始端的电压等于环节末端的电压加上环节中的电压降，就是：

$$\dot{U}_{\phi 1} = \dot{U}_{\phi 2} + \dot{I}Z.$$

因为根据以前所講的：

$$\dot{W}_{\phi 2} = \dot{U}_{\phi 2} \dot{I}, \quad \text{則} \quad \dot{I} = \frac{\dot{W}_{\phi 2}}{\dot{U}_{\phi 2}} = \frac{P_{\phi 2} - jQ_{\phi 2}}{\hat{U}_{\phi 2}}.$$

$$\begin{aligned} \text{于是得:} \quad \hat{U}_{\phi 1} &= \hat{U}_{\phi 2} + \frac{P_{\phi 2} - jQ_{\phi 2}}{\hat{U}_{\phi 2}}(R + jX) = \hat{U}_{\phi 2} \\ &+ \frac{P_{\phi 2}R - jQ_{\phi 2}R + jP_{\phi 2}X + Q_{\phi 2}X}{\hat{U}_{\phi 2}}. \end{aligned}$$

使已知电压 $U_{\phi 2}$ 的向量与实轴的正方向重合，則得：

$$\dot{U}_{\phi 1} = U_{\phi 2} + \frac{P_{\phi 2}R + Q_{\phi 2}X}{U_{\phi 2}} + j \frac{P_{\phi 2}X - Q_{\phi 2}R}{U_{\phi 2}}.$$

同样，根据环节始端的条件，即假定已知环节始端的电压 $\dot{U}_{\phi 1}$ 及功率 $\dot{W}_{\phi 1}$ ，則可以写出：

$$\dot{U}_{\phi 2} = \dot{U}_{\phi 1} - \dot{I}Z.$$

但是环节始端的功率等于： $\dot{W}_{\phi 1} = \hat{U}_{\phi 1} \dot{I}$ ，

則电流(在环节的始末端是同一值)在这里可以写成：

$$\dot{I} = \frac{\dot{W}_{\phi 1}}{\hat{U}_{\phi 1}} = \frac{P_{\phi 1} - jQ_{\phi 1}}{\hat{U}_{\phi 1}}.$$

$$\begin{aligned} \text{这时} \quad \dot{U}_{\phi 2} &= \dot{U}_{\phi 1} - \frac{P_{\phi 1} - jQ_{\phi 1}}{\hat{U}_{\phi 1}}(R + jX) = \dot{U}_{\phi 1} \\ &- \frac{P_{\phi 1}R - jQ_{\phi 1}R + jP_{\phi 1}X + Q_{\phi 1}X}{\hat{U}_{\phi 1}}. \end{aligned}$$

在这情况下，使已知电压向量 $\dot{U}_{\phi 1}$ 与实轴的正方向重合，則得：

$$\dot{U}_{\phi 2} = U_{\phi 1} - \frac{P_{\phi 1}R + Q_{\phi 1}X}{U_{\phi 1}} - j \frac{P_{\phi 1}X - Q_{\phi 1}R}{U_{\phi 1}}.$$

如果將以上所得的确定 $\dot{U}_{\phi 1}$ 和 $\dot{U}_{\phi 2}$ 的公式二边各乘以 $\sqrt{3}$, 就能适用于綫电压和三相功率, 其形式如下:

$$\dot{U}_1 = U_2 + \frac{P_2R + Q_2X}{U_2} + j \frac{P_2X - Q_2R}{U_2}, \quad (8-3)$$

或

$$\dot{U}_1 = U_2 + \Delta U_2 + j\delta U_2$$

及

$$\dot{U}_2 = U_1 - \frac{P_1R + Q_1X}{U_1} - j \frac{P_1X - Q_1R}{U_1} \quad (8-4)$$

或

$$\dot{U}_2 = U_1 - \Delta U_1 - j\delta U_1,$$

式中

$$\Delta U_2 = \frac{P_2R + Q_2X}{U_2}$$

及

$$\Delta U_1 = \frac{P_1R + Q_1X}{U_1}$$

——是根据环节末端及始端的已知条件計算时电压降复数中的縱

分量, 而 $\delta U_2 = \frac{P_2X - Q_2R}{U_2}$ 及 $\delta U_1 = \frac{P_1X - Q_1R}{U_1}$

——是根据环节末端及始端的已知条件計算时电压降复数中的橫分量。

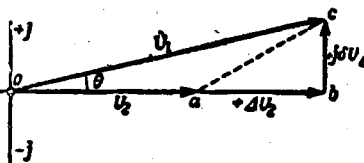


圖 8-6 已知電力網环节末端条件时环节的电压向量圖

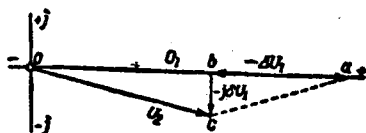


圖 8-7 已知電力網环节始端条件时环节的电压向量圖

复数电压降的縱分量及橫分量的名称是从圖 8-6 及 8-7, 即根据公式(8-3)及(8-4)在直角坐标軸內画的电压向量圖得来的。

如果对同一环节，按同一负荷情况，但分别把根据始端已知条件及末端已知条件所作的两个电压向量图(圖 8-6 及 8-7) 相叠起来，使其相应的电压向量重合，則得到如圖 8-8 所示的向量圖。从圖上可以清楚地看出，根据始端已知条件計算时，电压降的縱分量和橫分量同根据末端已知条件計算时不一样。

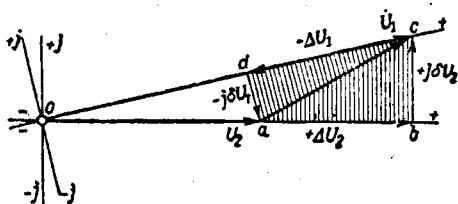


圖 8-8 环节的电压向量重叠圖

$$\text{实际上, } \Delta U_2 = \frac{P_2 R + Q_2 X}{U_2} \text{ 不等于 } \Delta U_1 = \frac{P_1 R + Q_1 X}{U_1}$$

$$\text{并且 } \delta U_2 = \frac{P_2 X - Q_2 R}{U_2} \text{ 不等于 } \delta U_1 = \frac{P_1 X - Q_1 R}{U_1},$$

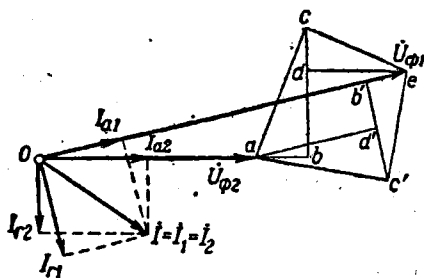


圖 8-9 电压降三角形的对照

$$\text{因为 } I_{a2} = \frac{P_2}{\sqrt{3} U_2} \text{ 大于 } I_{a1} = \frac{P_1}{\sqrt{3} U_1},$$

$$\text{而 } I_{r2} = \frac{Q_2}{\sqrt{3} U_2} \text{ 小于 } I_{r1} = \frac{Q_1}{\sqrt{3} U_1},$$

这从圖 8-9 可以清楚地看出。从这圖上看到，三角形 abc 大于三角形 $eb'c'$ ，因为：

$$I_{a2} > I_{a1},$$

而三角 cde 小于三角形 $c'd'a$ ，因为：

$$I_{r2} < I_{r1}.$$

圖 8-6 及 8-7 的电压向量圖，不能明显地分別表示出环节始端或末端的有功及無功功率对环节始末端电压的影响，把公式 (8-3) 及 (8-4) 写成：

$$\dot{U}_1 = U_2 + \frac{P_2 R}{U_2} + j \frac{P_2 X}{U_2} - j \frac{Q_2 R}{U_2} + \frac{Q_2 X}{U_2} \quad (8-5)$$

及
$$\dot{U}_2 = U_1 - \frac{P_1 R}{U_1} - j \frac{P_1 X}{U_1} + j \frac{Q_1 R}{U_1} - \frac{Q_1 X}{U_1}, \quad (8-6)$$

作出相应的电压向量圖(圖 8-10 及 8-11)，并将圖上包含有功功率 P 的部分以一定的标记划出来，然后再用相当的标记將包含無功功率 Q 的部分划出来，这样就得到一張明显的圖，表示出功率的組成部分对电压的影响。

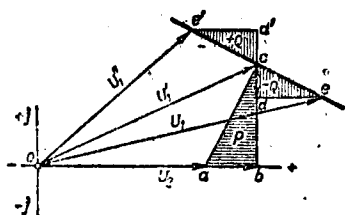


圖 8-10 展开的向量圖
(对圖 8-6)

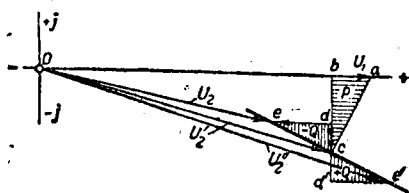


圖 8-11 展开的向量圖
(对圖 8-7)

例如，从圖 8-10 可以看出，当 $U_2 = \text{const}$ 及 $Q_2 = 0$ (c 点)，环节始端的电压要比有电感性無功功率时 (e 点) 低。如果环节末端發生無功功率，也就是說，存在着电容性無功功率，則环节始端的电压將更低。不难看出，当环节末端的無功功率大小和方向改变时，环节始端的电压向量終端的軌跡是 $e'ce$ 直綫。

对于圖 8-11 的向量圖也可以进行类似的分析。

环节始末端功率間的联系可以这样写出：

在环节始端的功率

$$\dot{W}_1 = P_1 - jQ_1$$

显然, 环节末端的功率将等于: $W_2 = P_2 - jQ_2$
 加以阻抗 R 及 X 中的功率损失 $\Delta W = \Delta P - j\Delta Q$,
 也就是:

$$W_1 = W_2 + \Delta W = P_2 - jQ_2 + \Delta P - j\Delta Q = (P_2 + \Delta P) - j(Q_2 + \Delta Q).$$

8-5. 电力网环节与变压器中的功率损耗

当电能由发电厂的发电机经过升压变电站、输电线或区域电力网而送到用户时, 正如上面已经说到的那样, 在任何一给定的瞬间, 应当存在着发电厂功率与用户功率(包括输电时的功率损失)间的平衡。这种功率的平衡不管是对于有功功率, 还是对于无功功率, 都应该存在, 也就是:

$$P_1 = P_2 + \Sigma \Delta P;$$

$$Q_1 = Q_2 + \Sigma \Delta Q;$$

这里 P_1 及 Q_1 ——发电厂发电机的有功及无功功率;

P_2 及 Q_2 ——用户的有功及无功功率;

$\Sigma \Delta P$ 及 $\Sigma \Delta Q$ ——输电时在电力网各环节中有功及无功功率的总损失。

根据上述情况电力网环节中有功及无功功率的损失等于:

$$\Delta P = 3 I^2 R$$

及
$$\Delta Q = 3 I^2 X.$$

但是因为
$$I = \frac{W}{\sqrt{3} U},$$

所以
$$\Delta P = 3 \left(\frac{W}{\sqrt{3} U} \right)^2 R = \frac{W^2}{U^2} R,$$

同理
$$\Delta Q = \frac{W^2}{U^2} X,$$

代入
$$W^2 = P^2 + Q^2,$$