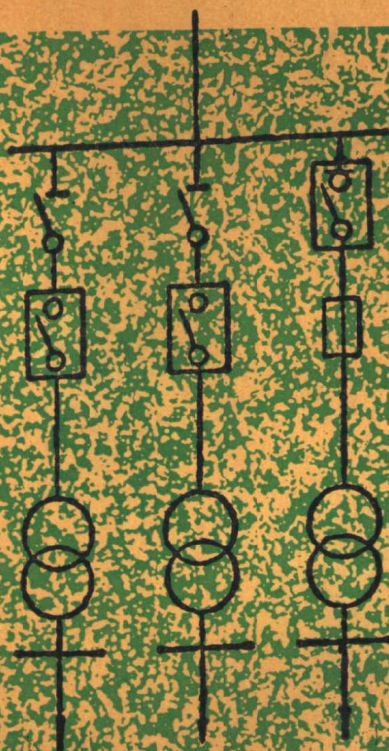


实用电工计算丛书

输配电计算



天津科学技术出版社

实用电工计算丛书

输 配 电 计 算

陈琴生 编译

天津科学技术出版社

实用电工计算丛书

输配电计算

陈琴生 编译

•

天津科学技术出版社出版

天津市赤峰道130号

天津新华印刷四厂印刷

新华书店天津发行所发行

•

开本787×1092毫米 1/32 印张3.5 字数72 000

1988年2月第1版

1988年2月第1次印刷

印数:1—11 800

ISBN 7-5308-0239-9/TM·5 定价1.15元

前 言

随着我国经济体制改革的逐步深入，社会主义现代化建设的不断发展，面临一个重要问题，就是人才不足，人员素质不高。笔者根据多年实践经验和从事电工业余教育的体会，深感当前各工厂企业的青年电工和初级技术人员计算能力明显不足。在掌握一定理论基础之后，计算能力是解决实际问题的关键。为此，笔者选译了日本有关电气技术刊物上的各类计算题，编成这套《实用电工计算》丛书，包括《电工基础计算》《电动机计算》《变压器计算》《电力应用计算》和《输配电计算》等五个分册。为了使具有中等文化程度的读者易于看懂，学了会用，书中尽量不涉及高等数学，着重概念分析和计算方法，通过例题说明理论应用。

《输配电计算》主要介绍配电线路的电压、电流及损耗等参数，电容器与功率因数，短路阻抗与短路电流，开关遮断容量及有关电缆的参数等计算方法。同时对输电线的挠度，线杆的受力和配电等计算方法也作了简要介绍。

由于笔者水平有限，错误和疏漏之处在所难免，恳请广大读者给予指正。

陈琴生

1987年4月

目 录

1	配电线路的电压、电流和线路损耗计算·····	(1)
2	改善配电线路功率因数的计算·····	(11)
3	kV·A及kW一定时, 功率因数的计算及 编制计算程序·····	(21)
4	短路电流计算·····	(32)
5	阻抗百分数Z%和短路电流计算的 关系·····	(39)
6	短路电流和开关的遮断容量计算·····	(50)
7	配电线路总损耗计算·····	(61)
8	电缆的电容量, 充电电流及充电容量的 计算·····	(73)
9	应用需要率、不等率及负荷率的配电计算·····	(81)
10	作用于电杆和拉线的力的图解计算·····	(92)
11	输电线的挠度和长度计算·····	(99)

1 配电线路的电压、电流和线路损耗计算

一、配电线路的电压降落

当配电线路中流过负荷电流 I 时，由于线路本身的电阻 R 及电抗 X ，线路上就会产生电压降落。如图1-1所示的配电线路中，设送电端的电压为 U_s ，受电端的电压为 U_R ，负荷的功率因数为 $\cos\varphi$ ，则根据图1-1画出的电压向量图1-2中的 σ 就表示 U_s 和 U_R 之间的相位差。图中的送电端电压 U_s 可用下式表示：

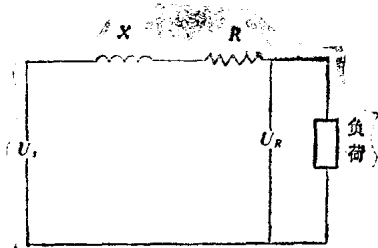


图 1-1

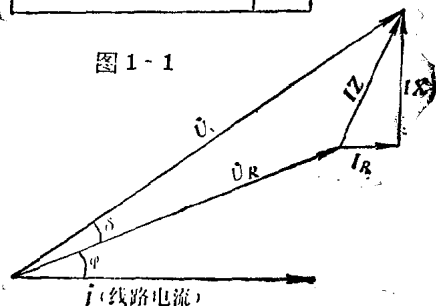


图 1-2

$$U_s = \sqrt{(U_R + IR\cos\varphi + IX\sin\varphi)^2 + (IX\cos\varphi - IR\sin\varphi)^2} \quad (1-1)$$

(1-1) 式中, $(IX\cos\varphi - IR\sin\varphi)^2$ 数值很小, 一般可略去不计, 所以可简化为

$$U_s = U_R + I(R\cos\varphi + X\sin\varphi)$$

这样, 配电线路的电压降落 ΔU 为

$$\begin{aligned} \Delta U &= U_s - U_r \\ &= I(R\cos\varphi + X\sin\varphi) \end{aligned} \quad (1-2)$$

若设线路每千米的阻抗为 z_0 , 且 $Z_0 = I(R\cos\varphi + X\sin\varphi)$, 当线路总长为 l 时, 线路的电压降落 ΔU 为

$$\Delta U = KI l Z_0 \quad (1-3)$$

式中, K 是由配电方式决定的常数, 其值如下:

$$\text{三相三线式 } K = \sqrt{3}$$

$$\text{三相四线式 } K = 1$$

$$\text{单相二线式 } K = 2$$

上述计算公式是表示末端为集中负荷的情况。通常, 负荷不仅不是集中的, 而且是沿着线路分散的, 因此, 计算将变得很复杂。为了简化计算, 可将负荷的功率视作相同, 并沿线路均匀分布, 同时将总的合成负荷视作集中于线路中点的集中负荷。这样, 式 (1-3) 可改写成

$$\Delta U = KI \frac{l}{2} Z_0 \quad (1-4)$$

二、线路损耗

由于配电线路的电阻, 使得线路产生损耗。如果单根导线的损耗为 P_L , 则

$$P' = I^2 Rl$$

式中 l ——导线总长，单位为千米；

R ——每千米的导线电阻。

这样，三相三线式配电线路的损耗为

$$P = 3I^2 Rl \quad (1-5)$$

但是对于带有分散负荷的配电线路，上式不适用。因此，特引入根据负荷的分散状况而定的分散损耗系数 h 用于计算，由此，线路损耗 P 为

$$P = hI^2 Rl \quad (1-6)$$

式中， I 为送电端输出电流； l 为线路总长； h 根据负荷状况而定：负荷为末端集中时， $h = 1$ ；负荷如图1-3那样分布时， $h = \frac{1}{2}$ 。

三、提高功率因数，降低电压降落，减少线路损耗

为了减低线路的电压降落，减少线路损耗，通常采用提高系统(线路)功率因数的办法，主要措施是使用电容器来进行并联补偿。其基本原理如图1-4向量图所示。图中， I_1 为

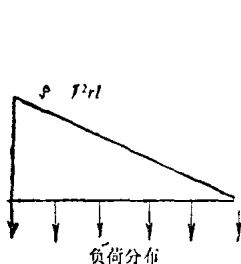


图 1-3

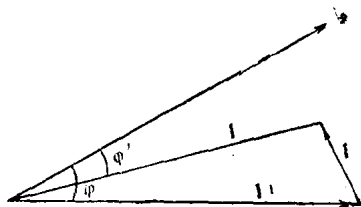


图 1-4

提高功率因数前的负荷电流, I 为并联电容器后的负荷电流, φ 及 φ' 分别为并联电容器前后的功率因数角。由图1-4可知, 功率因数提高后, 负荷电流减少, 线路电压降落及线路损耗都得到降低。其中, 电压降落降低的数值可根据 I_c 和 I 之差求出, 而线路损耗的减少部分 ΔP 可根据下式求出:

$$\Delta P = I_1^2 R - I^2 R = R [I^2 - I_1^2]$$

根据任意三角形的余弦定律可得

$$\begin{aligned} \Delta P &= R [I_1^2 - (I_1^2 + I_c^2 - 2I_1 I_c \sin \varphi)] \\ &= R I_c (2I_1 \sin \varphi - I_c) \end{aligned} \quad (1-7)$$

【例题1】如图1-5所示, 有一条三相三线式配电线路。所带负荷为250千瓦, 功率因数为80% (滞后) 的三相对称负荷。为了保证受电端的电压为6600伏, 问送电端的电压应

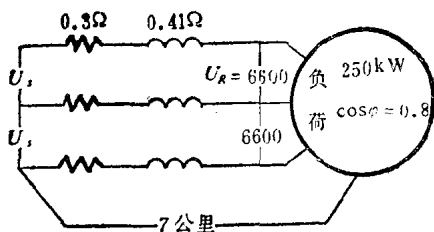


图 1-5

为多少。设单根导线每千米的电阻是0.30欧, 每千米电抗是0.41欧, 线路总长为7千米。

解 按题意, 负荷侧线电流 I 为

$$I = \frac{P}{\sqrt{3} U_R \cos \varphi} = \frac{250 \times 10^3}{\sqrt{3} \times 6600 \times 0.8}$$

$$= 27.3 \text{ [A]}$$

按公式 (1-2)，线路电压降落 ΔU 为

$$\begin{aligned}\Delta U &= U_s - U_R = \sqrt{3} I l (R \cos \varphi - X \sin \varphi) \\ &= \sqrt{3} \times 27.3 \times 7 (0.3 \times 0.8 - 0.41 \times 0.6) \\ &= 161 \text{ [V]}\end{aligned}$$

式中, $\sin \varphi = \sqrt{1 - \cos^2 \varphi} = \sqrt{1 - 0.8^2} = 0.6$

因此, 送电端电压 U_s 为

$$U_s = 6600 + 161 = 6761 \text{ [V]}$$

【例题2】 图1-6所示为三相三线式送电线路, $\overline{SA}$ 长2公里, $\overline{AE}$ 长3公里, 在 $\overline{AE}$ 段沿线路带有均匀分布的, 功率因数为0.95的负荷。当送电端输出电流为100安, 送

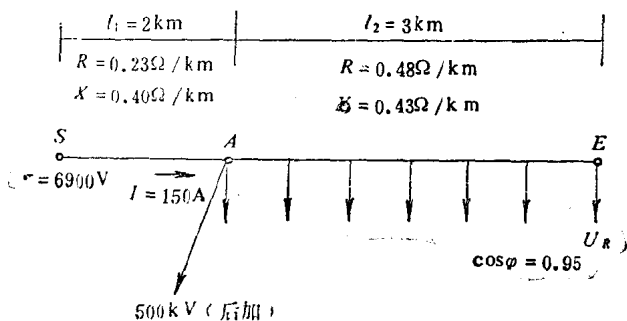


图 1-6

电端的电压为6900伏时, 求受电端的电压为多少。又, 如在A点新增一个功率为500千瓦, 功率因数为0.95的负荷时, 受电端的电压将变成多大。

解

(1) $\overline{SA}$ 段线路在电流流过时,将产生电压降落。 A 点的负荷可视作集中负荷,按式(1-2)并且考虑 $\overline{SA}$ 段的线路阻抗,得

$$\begin{aligned}\Delta U_{SA} &= \sqrt{3} I l_1 (0.23 \cos \varphi + 0.4 \sin \varphi) \\ &= \sqrt{3} \times 100 \times 2 (0.23 \times 0.95 + 0.4 \times 0.31) \\ &= 119 \text{ [V]}\end{aligned}$$

(2) $\overline{AE}$ 部分负荷为均布负荷。在 $\overline{AE}$ 段产生的电压降落 ΔU_{AE} 为

$$\begin{aligned}\Delta U_{AE} &= \sqrt{3} I \frac{l_2}{2} (0.48 \cos \varphi + 0.43 \sin \varphi) \\ &= \sqrt{3} \times 100 \times \frac{3}{2} (0.48 \times 0.95 + 0.43 \times 0.31) \\ &= 153 \text{ [V]}\end{aligned}$$

(3) 受电端电压(E 点的电压)应为

$$\begin{aligned}U_E &= U_s - \Delta U_{SA} - \Delta U_{AE} \\ &= 6900 - 119 - 153 \\ &= 6628 \text{ [V]}\end{aligned}$$

(4) 当在 A 点新增功率因数为0.95,功率为500千瓦负荷时,则负荷中流过的电流 i 为

$$i = \frac{500 \times 10^3}{\sqrt{3} U_a \cdot \cos \varphi_1}$$

上式中, U_a 为增加负荷后的 A 点电压。此时由送电端送出的电流 I' 为

$$I' = I + i = I + \frac{500 \times 10^3}{\sqrt{3} U_a \cos \varphi_1}$$

SA线路的电压降落 $\Delta U'_{SA}$ 为

$$\begin{aligned} \Delta U'_{SA} &= U_S - U_a \\ &= \sqrt{3} I' l (0.23 \cos \varphi + 0.4 \sin \varphi) \\ &= \sqrt{3} \left(I + \frac{500 \times 10^3}{\sqrt{3} U_a \times 0.95} \right) \\ &\quad (0.23 \times 0.95 + 0.4 \times 0.31) \end{aligned}$$

另外 $\Delta U'_{SA} = 6900 - U_a$

$$U_a = 6900 - \Delta U'_{SA}$$

代入上式得

$$(\Delta U'_{SA})^2 - 6781 \Delta U'_{SA} + 117886 = 0$$

解得

$$\Delta U'_{SA} = 179 \text{ [V]}$$

由A至E点的电压降落没有变化，因此，当A点新增500千瓦负荷后，受电端的电压将变成

$$\begin{aligned} U'_R &= U_S - \Delta U'_{SA} - \Delta U_{AB} \\ &= 6900 - 179 - 153 \\ &= 6568 \text{ [V]} \end{aligned}$$

【例题3】有一条带有均布负荷的三相三线式配电线路。每公里线路电阻及电抗分别为0.3欧及0.43欧，线路全长为4公里。送电端电压为6800伏，线路末端电压为6550伏。试求配电线路的线路损耗。设负荷的功率因数为0.9。

解 按题意，首先求线路的电压降落。由于线路带均布负荷，按式(13)，即

$$\begin{aligned}\Delta U &= \frac{\sqrt{3}}{2} I l (R \cos \varphi + X \sin \varphi) \\ &= \frac{\sqrt{3}}{2} \times I \times 4 (0.3 \times 0.9 + 0.43 \times 0.44) \\ &= 1.59 I\end{aligned}$$

因为 $\Delta U = U_s - U_R = 6800 - 6550 = 250 \text{ [V]}$

所以 $I = \frac{\Delta U}{1.59} = \frac{250}{1.59}$

$$= 157.2 \text{ [A]}$$

线路损耗 P 可由式 (1-5) 及式 (1-6) 求出

$$\begin{aligned}P &= 3 I^2 R l \\ &= 3 \times \frac{1}{3} (157.2)^2 \times 4 \times 0.3 \\ &= 30000 \text{ [W]} \\ &= 30 \text{ [kW]}\end{aligned}$$

【例题 4】有一条全长为 4 公里的三相三线式配电线路。在线路末端接有功率因数为 0.8 的集中负荷，负荷电压为 6600 伏，负荷功率为 1200 千瓦，求线路的压降及线路损耗。此外，为了提高功率因数，在末端并联了一组 500 千乏的电容器。问功率因数将提高多少，线路压降及线路损耗将得到多大的改善。设每公里线路的电阻和电抗分别为 0.38 欧和 0.46 欧，

解 (1) 未装电容器前，流入负荷的电流 I 为

$$I = \frac{P}{\sqrt{3} U \cos \varphi} = \frac{1200 \times 10^3}{\sqrt{3} \times 6600 \times 0.8}$$

$$= 131.2 \text{ [A]}$$

线路压降 ΔU 为

$$\begin{aligned}\Delta U &= \sqrt{3} I l (R \cos \varphi + X \sin \varphi) \\ &= \sqrt{3} \times 131.2 \times 4 (0.38 \times 0.8 + 0.46 \times 0.6) \\ &= 527 \text{ [V]}\end{aligned}$$

线路损耗 ΔP 为

$$\begin{aligned}\Delta P &= 3 I^2 R l = 3 \times (131.2)^2 \times 0.38 \times 4 \\ &= 78000 \text{ [W]} = 78 \text{ [kW]}\end{aligned}$$

线路供给负荷的无功功率 Q 为

$$\begin{aligned}Q &= P \cdot \tan \varphi = P \cdot \frac{\sin \varphi}{\cos \varphi} \\ &= 1200 \times \frac{0.6}{0.8} = 900 \text{ [kvar]}\end{aligned}$$

(2) 装电容器后, 线路供给负荷的无功功率 Q' 变为
 $Q' = 900 - 500 = 400 \text{ [kvar]}$

(3) 装电容器后, 线路供给的视在功率 S' 为

$$\begin{aligned}S' &= \sqrt{P^2 + Q'^2} = \sqrt{1200^2 + 400^2} \\ &= 1265 \text{ [kV} \cdot \text{A]}\end{aligned}$$

所以线路功率因数 $\cos \varphi'$ 为

$$\cos \varphi' = \frac{P}{S} = \frac{1200}{1265} = 0.95$$

(4) 装电容器后, 供给负荷的电流 I' 为

$$I' = \frac{S'}{\sqrt{3} U} = \frac{1265 \times 10^3}{\sqrt{3} \times 6600} = 110.7 \text{ [A]}$$

所以
$$\begin{aligned}\Delta U' &= \sqrt{3} I_l (R \cos \varphi' + X \sin \varphi') \\ &= \sqrt{3} \times 110.7 \times 4 (0.38 \times 0.95 \\ &\quad + 0.46 \times 0.31) \\ &= 386 \text{ [V]}\end{aligned}$$

线路压降变化为

$$527 - 386 = 141 \text{ [V]}$$

即降低了141伏。

线路损耗变成

$$\begin{aligned}\Delta P' &= 3 I_l^2 R l = 3 \times (110.7)^2 \times 0.38 \times 4 \\ &= 56000 \text{ [W]} \\ &= 56 \text{ [kW]}\end{aligned}$$

线路损耗变化为

$$78 - 56 = 22 \text{ [kW]}$$

即降低了22千瓦。

2 改善配电线路功率因数的计算

配电线路的功率因数常常由于感应电动机负荷、配电变压器的励磁电流以及线路本身电感等影响而变低。功率因数的下降会导致线路的电压降落和功率损耗增加，所以常常需要在配电线路的中部或在负荷侧并联电容器，使流入电容器的进相电流和负荷中的感性电流相互补偿，以达到改善功率因数的目的。本文将介绍改善配电线路用电容器容量的计算方法。

一、利用电容器改善线路功率因数的基本原理

(1) 什么是功率因数 对某一交流负荷加上交流电压 U 时，在负荷中就流过电流 I ，由于负荷通常为感性。因此，在负荷中消耗的有功功率 P 总是小于负荷需要的视在功率，这二个功率的比值，即负荷的有功功率 P 和视在功率 S 之比值称为负荷的功率因数，用 $\cos\varphi$ 来表示。即

$$\cos\varphi = \frac{\text{有功功率}}{\text{视在功率}} = \frac{P}{S}$$

式中 φ ——负荷电流和电压之间的相位差，也称功率因数角；

P ——有功功率，等于 $U \cdot I \cdot \cos\varphi$ ，单位为 W 或 kW 表示；

S ——视在功率，等于 $U \cdot I$ ，单位用 $V \cdot A$ 或 $kV \cdot A$ 表示。

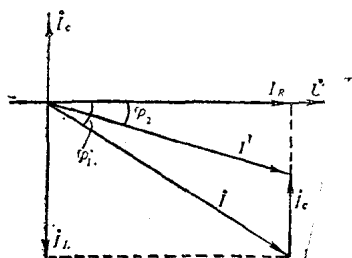


图 2-1

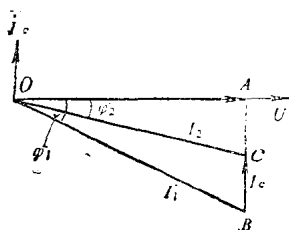


图 2-2

(2) 基本原理 如图2-1所示, 将负荷电流 I 分成有功电流 I_R 及无功(感性)电流 I_L 。并联电容器后产生的进相电流(电容电流) I_C 领先于电压 90° , 正好和 I_L 的方向相差 180° , 且在同一直线上, 所以 I_C 和 I_L 可以相互抵消一部分, 从而可使负荷电流由 I 减少为 I' , φ 由 φ_1 改变为 φ_2 , 功率因数则由 $\cos\varphi_1$ 提高到 $\cos\varphi_2$ 。

二、电容器容量计算

(1) 负荷功率保持不变 如图2-2所示, 设有一个电压为 U , 电流为 I_1 , 功率因数为 $\cos\varphi_1$ 的感性负荷, 当负荷的有功功率为一定时, 如想将功率因数由 $\cos\varphi_1$ 提高到 $\cos\varphi_2$, 这时, 在图2-2中就可看到 BC 段部分就是需要补偿的电流, 即电容器供给的进相电流, 这样就达到了将功率因数由 $\cos\varphi_1$ 提高到 $\cos\varphi_2$ 的目的。由于负荷的有功功率保持不变, 所以

$$UI_1 \cos\varphi_1 = UI_2 \cos\varphi_2$$

由此可得 I_2 为