

高等學校教學用書

短路計算習題集

苏联 H. H. 謝德林 C. A. 烏里揚諾夫著

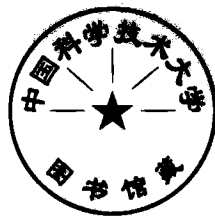
電力工業出版社

高等学校教学用书

短路計算習題集

苏联 H. H. 謝德林 C. A. 烏里揚諾夫著

張鍾俊譯



電力工業出版社

內 容 提 要

本書是一本短路計算的習題集，共有 293 道習題，每題都有答案。計算這些習題所根據的基本理論問題，書中也作了簡要的指示。書中的一部分習題(53道習題)已作出了詳細的解答。

本書可作為高等動力學院和電工學院的教材，對電力工程方面的技術人員的實際工作也有所裨益。

Н. Н. ЩЕДРИН С. А. УЛЬЯНОВ

ЗАДАЧИ ПО РАСЧЕТУ КОРОТКИХ ЗАМЫКАНИЙ

根據蘇聯國立動力出版社1955年莫斯科版翻譯

短 路 計 算 習 題 集

張 鍾 俊 譯

*

369D133

電力工業出版社出版(北京府右街26號)

北京市書刊出版業營業許可證出字第082號

北京市印刷一廠排印 新華書店發行

*

編輯:陳惟清 校對:趙迦南

787×1092 $\frac{1}{32}$ 開本*9張印張*19千字*定價(第10類)1.40元

1956年8月北京第1版

1956年8月北京第1次印刷(1—5,600冊)

序 言

本習題集是根据“电力系统短路”課程的教学大綱而編寫的。对动力学院和电工学院“发电厂、电力網及电力系统”專業的学生，这是一門必修的課程。

在每章的前面，对解題时所需的基本理論材料，作了簡短的指示。但这些叙述並不表明讀者已不可能从有关的教本和教材中对这种材料作更詳細的研究。

在每章中，習題是約略按照难易程度排列的。某些習題解答中的結果，在解答后面習題时要用到。除了求得具体的数字結果外，在一系列的習題中，要求作出解析的推演或确定几个被研究量間的关系。

在本書中，我們非常重視不对称短路的計算，特別是复式短路的計算，因为现在这种短路的討論，已具有很大的实用意义。

習題採用三位数字排列法。第一位数字表明章数，后面的兩位数字表明該章中習題的次序。圖的号碼与習題的号碼相对应。在解答和答数部分中，在圖的这些号碼前，分別加注字母 P (在解答部分中) 和 O (在答数部分中)。除了答数外还具有解答的習題，号碼后都标上了星号(*)。对某些習題的解答，並作了簡短的提示。

解習題时所需的輔助曲綫，須查閱有关的教本和教材(參閱本書中列出的参考書目)。

著者希望，这本習題集不但对学生有用，而且对工作中需要作短路計算的技術人員，也同样地有用。

附錄中所列的是对某些理論問題的补充材料，由 M. M. 謝德林所編寫。其他部分的材料則由兩位著者所共同編寫。

著者懇請將对本書的所有批評和建議，寄至莫斯科水閘河岸街 10 号國立动力出版社。

著 者

目 錄

序 言

第一編 对称短路

第一章 一般部分	4
§ 1-1. 簡短的指示	4
§ 1-2. 有名單位制和标么制	6
§ 1-3. 等效網絡的制作	7
§ 1-4. 計算初步	9
§ 1-5. 由無限大功率电源供电电路中的短路	12
第二章 短路的穩定状态	15
§ 2-1. 簡短的指示	15
§ 2-2. 圖解法	18
§ 2-3. 解析法	20
第三章 短路暫态过程的一般特性及电流起始值	22
§ 3-1. 簡短的指示	22
§ 3-2. 短路电流曲綫分成分量	27
§ 3-3. 起始电流的决定	28
§ 3-4. 受电器的冲击影响	31
第四章 短路暫态过程中电流週期分量的决定	33
§ 4-1. 簡短的指示	33
§ 4-2. 用直接計算法决定暫态电流和次暫态电流	42
§ 4-3. 直綫化特性法	44
§ 4-4. 运算曲綫法	49
§ 4-5. 考慮发电机搖擺时的計算	54

第二編 不对称短路

第五章 一般原理和一般問題	58
§ 5-1. 簡短的指示	58

§ 5-2. 电流系統和电压系統的分解	62
§ 5-3. 电流变换和电压变换	63
§ 5-4. 电流不对称时对称电路中电压的决定	64
§ 5-5. 輸电綫路的零序参数	65
§ 5-6. 零序網絡	67
§ 5-7. 逆序参数和逆序網絡	70
第六章 簡單不对称短路	72
§ 6-1. 簡短的指示	72
§ 6-2. 不对称短路的边界条件	74
§ 6-3. 順序等值定則。各序电流間的关系。复合序網	75
§ 6-4. 簡單不对称短路时电压的决定	76
§ 6-5. 簡單不对称短路的計算	77
第七章 复式不对称短路	86
§ 7-1. 簡短的指示	86
§ 7-2. 中性点不接地系統中兩处同时接地	93
§ 7-3. 中性点接地系統中兩处同时短路	100
§ 7-4. 具有断綫的不对称短路	102
解 答	109
答 数	194
附 錄	230
§ II-1. 網絡变换和电流分佈計算的基本公式	230
§ II-2. 标准型苏联發電机的参数	232
§ II-3. 当遙远发电厂联接到电压和頻率不变的母綫上运行时 暫态电势 E'_d 的微分方程	232
§ II-4. 具有架空地綫双回路三相輸电綫路的零序电抗及回路 間的零序互感抗	234
§ II-5. 具有断綫的單相短路	236
§ II-6. 按重疊原理兩步計算法	238
参考文献	243

第一編 对称短路

第一章 一般部分

§ 1-1. 簡短的指示

如果在發生三相短路时，每相迴路中的阻抗相同，那末所發生的是对称的三相短路。例如，当各相間發生金屬性(直接)短路时，当短路点各相間所形成的中間电阻(电弧等)都相等时。

在具有电感和电阻的电路中，短路电流可以分解成週期分量和非週期分量。非週期分量的起始值，由短路前电流瞬时值与短路瞬間週期分量之差所决定。非週期分量衰減的时间常数，等於該电路中总电感对总电阻的比值。週期分量相当准确地遵守交流电的定律，因而可以根据这些定律來進行計算。

在計算时，可以採用有名單位制也可以採用标么制。在后一情形中，須把網絡中的所有元件归算到选定的基准条件下。当網絡中具有变压器时，为了簡化計算起見，宜於先組成等效網絡。这一等效網絡可以准确地組成，即採用各变压器的实际变换系数；也可以近似地組成，即在同一电压級中，所有元件的額定电压都当做相同，並当做該电压級的电压值等於下列表中的某一平均額定电压：

230、115、37、15.75、10.5、6.3、3.15、0.525 千伏。

在很多实用的短路計算中(例如电器選擇等的計算中)，等效網絡可以近似地組成；这大大地減少了計算的工作量。

当網絡中作用的电势值已知並且所有網絡元件的参数值不变

时，短路电流的週期分量可以应用綫性电路的任一种計算法來進行計算，即可以应用重疊原理的各种形式。在大多数实用計算中，以应用網絡变换法最为相宜。这时可逐步將網絡簡化到最簡單的形式，即決定出对短路点的組合电势和組合阻抗(往往是組合电抗)，俟后就不难按欧姆定律求得短路点的电流。必須指出，这里的組合电势，与沒有發生短路而網絡中具有电势和負荷时故障点的电压相等。再將網絡逐步还原，便不难应用熟悉的公式求出網絡中的电流分佈。在某些情形中，以先求出分佈系数(即網絡各支路中电流对短路点电流的比值)較為方便。

網絡变换和电流分佈計算的基本公式，見附錄 § II-1。

当电源的电压和頻率可以当做恒定不变时(無限大功率的电源)，电路中的短路歷程最为簡單。在这种情形中，电流週期分量的幅值在整个过程中保持不变^①，因而短路电流的衰減只由其非週期分量的衰減所引起。当短路点的电的距离相当远时，实际上可以採用上述的假設。

在实用的短路計算中，电力系统往往近似地來考慮。在缺乏电力系统資料的情形中，电力系统可以当做是一个無限大功率电源，它所供給的一部分短路电流，只被它与短路点間元件(綫路、变压器、电抗器等)的阻抗所限制。如果在系統的任一結点發生三相短路时的电流(或功率)值是已知的，那末就不难按这一电流決定对该結点的系統电抗。这一电抗也可由裝置在(或計劃裝置在)該結点的断路器的極限应用条件近似地估計，即当做在这断路器后發生三相短路时其短路电流(或功率)等於对该电压級的額定切断电流(或功率)。决定了系統的电抗，便可当做：在这一电抗后連接着一个無限大功率的电源。

① 如果將短路电流加热所致的电阻增大略去不計。当 $r \geq \frac{1}{3}x$ 时，这一影响頗大。

§ 1-2. 有名單位制和標么制

101. 某一輸電綫路長 100 公里， $x=0.4$ 歐/公里。試根據下列基準條件：

a) $S_6=100$ 兆伏安 和 $U_6=115$ 仟伏，

6) $S_6=1000$ 兆伏安 和 $U_6=230$ 仟伏，

求出這一輸電綫路電抗的標么值。

102. 某電路由一台 $x=4\%$ ($I_n=300$ 安和 $U_n=6$ 仟伏) 的電抗器和一條長度為 2.5 公里的電纜串聯而成。電纜的電抗和電阻分別為 $x=0.076$ 歐/公里和 $r=0.153$ 歐/公里。試決定該電路的電阻、電抗及阻抗值：

a) 用有名單位制來表明；

6) 以電抗器額定條件作為基準條件的標么制來表明。

103. 發電機 $T-1$ 和 $T-2$ 具有相同的容量，它們的額定電壓分別為 6.3 仟伏和 10.5 仟伏。如果這兩台發電機電抗的標么值，以它們的額定條件作為基準條件是相等的，問這兩個電抗的歐姆數的比值是多少？

104. 發電機 $T-1$ 和 $T-2$ 具有相同的額定電壓，它們的容量分別為 S 和 nS 。如果這兩台發電機電抗的標么值，以它們的額定條件作為基準條件是相等的，問這兩個電抗的歐姆數的比值是多少？

105. 在某一電路內，安裝着一台 $x=5\%$ ($I_n=150$ 安和 $U_n=6$ 仟伏) 的電抗器。設現在這一電抗器將用 $I_n=300$ 安的電抗器來代替。如果電路的電抗須保持不變，問後一電抗器電抗的百分值應該是多少？其額定電壓為：a) 6 仟伏；6) 10 仟伏。

106. 在額定電流時，某一發電機靜子繞組電阻中的有功功率損耗為發電機額定有功功率的 $P\%$ 。如果採用發電機的額定容量和額定電壓作為基準量，問靜子繞組電阻的標么值是多少？

107. 功率因数为 $\cos \varphi_N$ 的負荷的阻抗为 $Z_N = r_N + jx_N$ 。如果採用負荷的額定電流和額定電壓作為基準量，問 Z_N 、 r_N 和 x_N 的標幺值是多少？

108. 功率因数为 $\cos \varphi_N$ 的負荷的阻抗为 $Z_N = r'_N \parallel jx'_N$ 。如果採用負荷的額定電流和額定電壓作為基準量，問 r'_N 和 x'_N 的標幺值是多少？

§ 1-3. 等效網絡的制作

109. 兩元件由一台變壓器聯在一起。變壓器繞組的額定電壓為 110 仟伏和 11 仟伏。如果在公共的基準條件下這兩個元件的阻抗具有相同的標幺值，問它們的歐姆數應成怎樣的比列？

110. 現有兩台變壓器，一台繞組的額定電壓為 121 仟伏和 6.3 仟伏，另一台繞組的額定電壓為 110 仟伏和 6.6 仟伏。在這兩台變壓器的低壓邊，接有歐姆數相同的電抗。問在公共的基準條件下，這兩個電抗的標幺值的比值是多少？

111*. 系統的三點由一台三繞組變壓器相聯，其額定數據如下：

$$S_N = 31 \text{ 兆伏安}, U_{\text{NI}} = 110 \text{ 仟伏},$$

$$U_{\text{NII}} = 11 \text{ 仟伏}, U_{\text{NIII}} = 6.6 \text{ 仟伏},$$

$$u_{\text{KI-II}} = 17\%, u_{\text{KI-III}} = 10.5\%,$$

$$u_{\text{KI-III}} = 6\%.$$

問在 11 仟伏和 6.6 仟伏繞組的電路

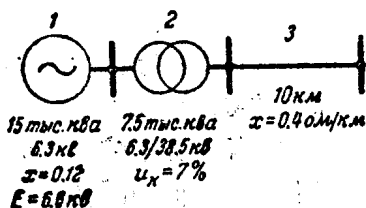


圖 112

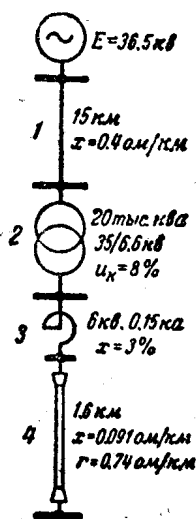


圖 114

中，应分别接入多少欧姆的电抗，才可使系统的这三点間具有相同的电抗？

112*. 对圖 112 所示的網絡，組成它的等效網絡，其中元件的电抗和电势，

a) 用高压級的有名單位來表明；

6) 以發电机額定容量和額定电压作为基准量的标么值來表明。

113. 决定上題網絡中發电机电抗和电势的标么值，基准功率与上題相同，但高压边的基准电压 $U_0 = 30$ 仟伏。

114. 对圖 114 所示的網絡，組成它的等效網絡，其中元件的参数，分別以 a) 高压級和 6) 低压級的有名單位來表明。

115. 將上題等效網絡中元件的参数，用标么值來表明。採用变压器的額定容量和額定电压作为基准量。

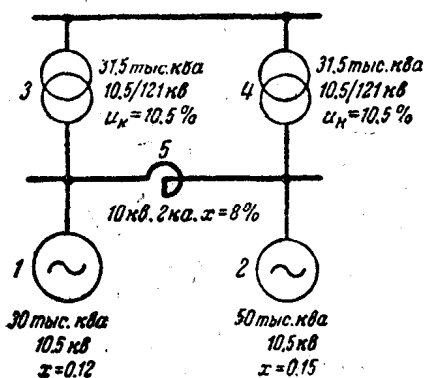


圖 116

116. 对圖 116 所示的網絡，决定其等效網絡中各元件的电抗，

a) 用高压边的欧姆数來表明；

6) 用标么值來表明，所取的基准功率为 $S_0 = 80$ 兆伏安，基准电压为高压級电压 $U_0 = 115$ 仟伏。

117*. 近似地解答上題，即当做網絡中元件的額定电压等於对应电压級的平均額定电压。在用标么值來表明时，採用的基准条件与上題同。

118. 对圖 118 所示的網絡，决定其等效網絡中各元件的标么值，採用的基准功率为 $S_0 = 100$ 兆伏安，基准电压为降压变压器 T-2 和 T-3 低压边的电压 $U_0 = 6.3$ 仟伏。T-2 和 T-3 具有相同

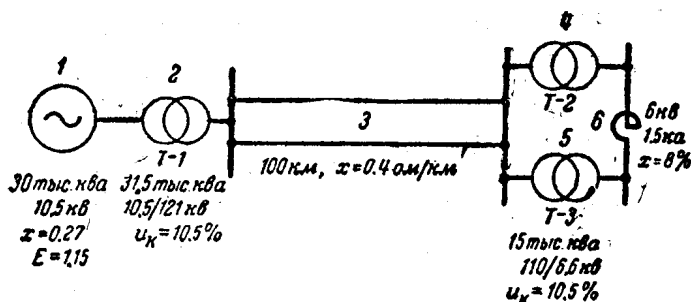


圖 118

的参数。在解題時，

a) 須考慮各元件給定的額定电压；

6) 只須近似地解答，即当做每一电压級与对应的平均額定电压相等。

119. 在上題各变压器的高压繞組上，分接头位置如下：在变压器 $T-1$ 上为 $+5\%$ ，在变压器 $T-2$ 和 $T-3$ 上为 -5% 。試在上題的基准条件下，决定發机电电势、發机电电抗和綫路电抗的标么值。

§ 1-4. 計算初步

120. 当电抗 $x_L=0.035$ 、 $x_M=0.025$ 和 $x_N=0.05$ 接成星形时，流过各支的电流为 $I_L=2.4$ 、 $I_M=-4$ 和 $I_N=1.6$ 。流向星形中心的方向作为正的电流方向。試决定其等效三角形網絡中的电流。以順时針运动方向作为正的电流方向。

121*. 三角形網絡 LMN 由电抗 $x_{LM}=0.08$ 、 $x_{LN}=0.16$ 和 $x_{MN}=0.12$ 所組成。流入頂点 L 和 N 的电流分别为 $I_L=2.6$ 和 $I_N=1.5$ ，由頂点 M 流出的电流为 $I_M=4.1$ 。試用重疊原理求出三角形網絡各支中的电流。以順时針运动方向作为正的电流方向。

122. 兩有源支路中的電勢和電抗分別為 $E_1=1.39$ 和 $E_2=1.5$, $x_1=0.45$ 和 $x_2=0.62$ 。這兩有源支路與具有電抗 $x_n=3.2$ 的一個負荷聯接到同一結點。所有上述各值是在同一基準條件下的標幺值。問等值有源支路的電勢和電抗是多少？

123*. 在圖 123 所示的網絡中，各元件參數在同一基準條件下的標幺值如下： $E_1=1.44$, $E_2=1.54$, $x_1=0.67$, $x_2=0.53$, $x_3=0.25$, $x_4=0.2$, $x_n=2.4$ 。試求出對點 K 的組合電勢和組合電抗。

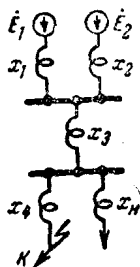


圖 123

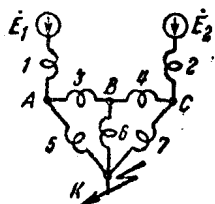


圖 124

124. 當上題點 K 處發生短路時，試求通過兩有源支路中的電流。如果短路點的電流保持同一數值，電勢 E_1 和 E_2 應多大才可使通過這兩有源支路的電流具有相同的數值？

125. 在圖 125 所示網絡中，點 K 處發生了短路。試列出支路 5 中電流與其電抗 x_5 間的關係。網絡其他支路中的電勢和電抗在同一基準條件下的標幺值如下：

$$E_1=1.46, E_2=1.4, x_1=0.3, x_2=0.4, x_3=0.15$$

$$x_4=0.15, x_5=0.25, x_7=0.2.$$

提示：將網絡在短路點拆開，然後對得到的輻射形網絡，依次求出聯接到結點 C 、 B 和 A 處的等值有源支路。

126. 對圖 125 所示的網絡，當點 K 處發生短路時，決定支路 1 和 2 中電流與電勢 E_1 及 E_2 間的關係。各支路的電抗值與上

題同；此外， $x_5=0.3$ 。

提示：像許多相似的問題一樣，這題可以用好多種不同的方法（網絡變換，重疊原理，結點方程法和迴路方程法）來解答。

127. 在上題的條件下，試求對點 K 的組合電勢與電勢 E_1 和 E_2 間的關係。

128. 應用習題 126 和 127 解答中的結果，試證明：當點 K 處發生短路時，圖 125 所示網絡支路 1 中的電流，為下列兩個電流分量之和：

a) 當做兩有源支路中的電勢值，等於沒有發生短路、在電勢 E_1 和 E_2 作用下，點 K 具有的電壓；在點 K 處發生短路時由這些有源支路中電勢的作用在支路 1 中產生的電流；

6) 點 K 處沒有短路、由電勢 E_1 和 E_2 的作用、在支路 1 中產生的電流。

附註：這題結果具有普遍的意義，是重疊原理的一個特殊形式。

129. 設在圖 123 所示的網絡中， $E_1=E_2$ ， $x_1=0.3$ ， $x_2=0.6$ ， $x_3=0.2$ ， $x_4=0.1$ ，負荷支已被除去。試決定對點 K 的組合電抗、對支路 1 和 2 的分佈係數、支路 1 和 2 對點 K 的轉移電抗 x_{1K} 和 x_{2K} 。

130*. 對圖 125 所示的網絡，決定支路 1 和 2 中的分佈係數、支路 1 和 2 對點 K 的轉移電抗 x_{1K} 和 x_{2K} 。設在這一網絡中， $E_1=E_2$ ， $x_1=0.2$ ， $x_2=0.3$ ， $x_3=0.1$ ， $x_4=0.2$ ， $x_5=0.2$ ， $x_6=0.3$ 和 $x_7=0.4$ 。

131. 由上題的條件和解答中的結果，決定對圖 125 網絡中支路 5、6 和 7 的分佈係數。

提示：應用上題解答中求得的支路 1 和 2 的分佈係數，可以按電流重疊原理很簡易的解出本題。

§ 1-5. 由無限大功率电源供电电路中的短路

132*. 某降压变压器的原繞組接到無限大功率电源。这一变压器的参数如下:

$$S_n = 180 \text{ 仟伏安}, U_n = 6/0.525 \text{ 仟伏},$$

$$\varphi_n = 5.5\%, \text{ 短路損耗 } p_n = 4 \text{ 瓩}.$$

試決定: 当变压器副繞組出綫端处發生短路时, 短路电流週期分量的幅值。設在發生短路前,

a) 变压器是空載的;

6) 变压器是滿載的, 負荷的功率因數 $\cos \varphi_n = 0.8$ 。

在上列的兩種情形中, 短路前副繞組出綫端的电压都等於 0.525 仟伏。

133. 从理論上証明並用上題的数据檢驗下列公式:

$$I_n^2 = 1 + I_{n0}^2 + 2I_{n0} \cos(\varphi_z - \varphi_n),$$

式中 I_n 和 I_{n0} ——变压器由無限大功率电源供电、在受載和無載情況下發生短路时, 短路电流週期分量的标么值;

φ_z ——变压器阻抗的幅角;

φ_n ——短路前負荷电流(取作基准电流)与副电路电压(在兩種情況下是相同的, 也取作基准电压)間的相角。

134. 在習題 132 的短路条件下, 決定电流非週期分量衰減的时间常数。

135. 在習題 132 的短路条件下, 決定电流非週期分量最大可能的起始值。

136. 仍用習題 132 的条件並設短路發生在使非週期分量最大的瞬間, 問經過了多大的時間段 τ 后, 非週期分量將与同符号的週期分量幅值相加?

137. 某变压器由無限大功率电源供电。当变压器無載和滿載时，副电路出綫端發生了短路。在兩种情形中，变压器的原电压是相等的。試求这两种情形下电流非週期分量最大起始值間的比值。

提示：在所有情形中，非週期分量的最大值等於副电压幅值除以变压器阻抗所得之商。因之，当原电压不变而負荷变化时，非週期分量最大值随着副电压而变化。

138. 在習題 132 的短路条件下，决定冲击电流和短路电流的最大有效值。

139. 在 10 仟伏恒定电压的母綫上，接着一台無載的变压器，其参数如下： $S_N = 560$ 仟伏安， $U_N = 10/0.525$ 仟伏， $z = 5.5\%$ ，和 $r = 1.68\%$ 。当相 a 的电压具有正值並且等於它的幅值的一半时，变压器副繞組的出綫端發生了短路。决定各相中电流非週期分量的起始值。

140*. 在上題的短路条件下，决定当非週期分量与短路电流週期分量幅值疊加瞬間每一相中的非週期分量值。

141. 容量 560 仟伏安、电压为 10/0.525 仟伏的变压器由 10

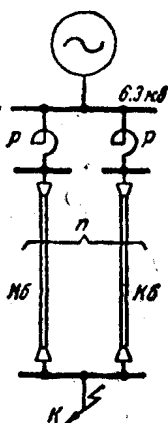


圖 142

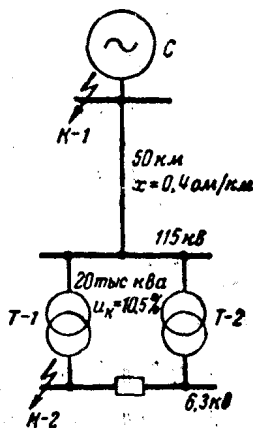


圖 144

仟伏恒定电压的母綫供电。在这一变压器上, 接有长度为 100 公尺的電纜。变压器的短路电压 $u_k=5.5\%$, 短路損耗 $p_k=9.4$ 瓩。電纜的电阻 $r=0.6$ 欧/公里, 其电抗可以略去不計。决定当電纜終端發生短路时短路电流週期分量的有效值、冲击系数和冲击电流。

142*. 在圖 142 所示的網絡中, 母綫电压是不变的, 等於 6.3 仟伏。設在点 K 發生短路时, 冲击电流不得超过 20 仟安, 問容許並联的最多電纜数是多少? 每一綫路的参数如下:

电抗器: 6 仟伏, 200 安, $x=4\%$, $p_k=1.68$ 瓩/相;

電纜: 1250 公尺, $x=0.083$ 欧/公里, $r=0.37$ 欧/公里。

143. 电力系统电抗的标么值及联接到电力系统上变压器电抗的标么值, 当归算到它們的額定容量 S_C 和 S_T 时, 分别为 0.25 和 0.105。問 $n = \frac{S_C}{S_T}$ 应多大才可在变压器后發生短路时, 略去了电力系統的电抗不致使电流中的誤差超过 5%?

144. 当短路發生在圖 144 所示網絡中的点 $K-1$ 时, 短路功率 $S_k=500$ 兆伏安。問当短路發生在点 $K-2$ 时, 在下列两种情形中的短路功率应多大?

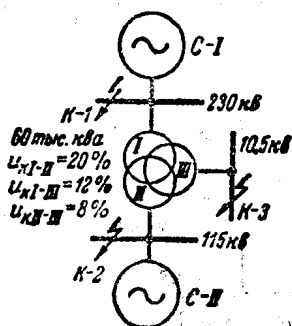


圖 145

a) 兩台变压器在 6.3 仟伏母綫上分段运行;

6) 兩台变压器在 6.3 仟伏母綫上並联运行。

145*. 对圖 145 所示的網絡, 已知当短路發生在:

点 $K-1$ 时, 短路功率 $S_k=1500$ 兆伏安;

点 $K-2$ 时, 短路功率 $S_k=1000$ 兆伏安;

問当 10.5 仟伏母綫上(点 $K-3$)短路时, 短路功率是多少?