

36065



短路電流計算

苏联H. K. 阿爾赫依波夫著



295

7114

燃料工業出版社



585 電 248

定價 0.97 元

短 路 電 流 計 算

苏联 H. K. 阿爾赫依波夫著

第一机械工業部設計總局第三設計分局電氣組譯

燃 料 工 業 出 版 社

本書敘述了設計城市電力網和發電廠所必須的短絡電流計算，電器及其載流部分的選擇。

本書可供城市電力網和發電廠設計工作人員及運行工程師之參考。

本書全部譯稿由江紅生、徐承凱、汪海璋三同志進行校對整理，前六章由譚肇文同志詳細校閱。

Н. К. АРХИЛОВ

РАСЧЕТ ТОКОВ КОРОТКОГО ЗАМЫКАНИЯ

根據俄羅斯蘇維埃聯邦社會主義共和國公用事業部出版社1954年莫斯科版翻譯

書號585 電 248

短 路 電 流 計 算

第一機械工業部設計總局第三設計分局電氣組譯

燃料工業出版社出版 (北京府右街 26 號)

北京市書刊出版業登記證出字第912號

北京市印刷一廠排印 新華書店發行

編輯:廖美驥 校對:趙桂芬

850×1092 $\frac{1}{2}$ 開本 * 4 1/4 印張 * 102 千字 * 定價(9)九角七分

一九五五年十二月北京第一版第一次印刷(1—2,100冊)

原 序

在我國實現電氣化計劃的年代裏，對於發生在電力系統中的各種過程的研究，特別地引起了理論上和實踐上的興趣。

計劃中擬定利用當地燃料和水力是爲了擴充電廠的容量並將它們聯接成大型的動力系統。

爲了可靠地運行和控制這種系統，必須研究它的正常和事故的工作情況，其中包括對短路過程的研究。在這方面，某些蘇聯專家在很短的時期內完成了大量的工作。

在我國的文獻中，有大量研究電力系統中短路現象的著作。其中第一批遠在 1928 年就發表了。在分析和改善計算方法方面 Н. Н. 謝德林，Н. Ф. 馬爾戈林，С. А. 烏里揚諾夫，А. Б. 契爾寧，Б. И. 羅遜貝爾格等人均有卓越的貢獻。

1944 年，蘇聯電站部人民委員會技術司公佈了熱電站設計院編制的「短路電流計算和按照短路情況選擇高壓設備中電器和導體的導則」。該導則在實際計算方法的標準方面曾起了很大的作用。

現在教科書中應用最爲廣泛的就是 С. А. 烏里揚諾夫所著的「電力系統短路」自 1937 年起共發行了四版。

實踐證明，除了一些專門著作和教科書以外，還感到有必要編製一些用最簡單的方法來計算短路電流以供選擇電器及其載流部分的實用參考資料。

在設計和運行過程中，往往有必要很快地甚至是近似地確定電路中某一部分元件的短路電流。爲此，在本書中列有某些表格和曲線，它們能大大地簡化和加速短路電流的計算。

除了一般指示、必要的公式和表格外，在書中還編入了一些具體的、詳細的計算例題。

目 錄

原 序

第一章 短路電流計算的一般知識.....	4
1. 概 論	4
2. 短路電流變化过程及其各分量間的相互關係	5
3. 計算條件	8
第二章 基本關係和系統圖的變換.....	9
4. 計算值和基本值	9
5. 阻抗及其基本值的換算, 短路容量	10
6. 系統中各元件的阻抗	13
7. 系統圖的變換	16
第三章 三相短路電流週期分量的分析計算法	20
8. 由無限容量電源供電的電路內三相短路電流的計算	20
9. 按高壓斷路器的最大遮斷容量計算三相短路電流	21
10. 三相短路電流週期分量的分析計算法	23
11. 確定在變壓器副端、電抗器後側、電纜或架空綫路中三 相短路時的最大短路電流值	29
12. 利用輔助圖表和曲綫來計算在變壓器副端, 電抗器後側 或綫路中的三相短路電流	31
13. 三相短路電流週期分量起始值(次暫態電流)的確定	39
第四章 利用計算曲綫計算三相短路電流的週期分量	41
14. 按總變化計算	41
15. 按單獨變化計算	47
16. 根據計算曲綫計算短路電流的实例	51
第五章 短路電流非週期分量和全電流的計算、衝擊電流、 短路電流的熱效应	56
17. 單射綫和多射綫系統圖中非週期分量和全電流的計算	57
18. 在複雜環狀系統圖情況下非週期分量和全電流的計算	59
19. 短路電路中各元件的電阻和固有時間常數	59
20. 選擇速動斷路器時短路全電流的簡化計算	62

21. 短路全電流的衝擊值和最大有效值的計算	62
22. 確定衝擊電流時感應電動機的計算	64
23. 短路電流的熱效應	65
24. 假想時間數值的確定	66
第六章 不对称短路	67
25. 基本概念	67
26. 各对称分量的計算	69
27. 对称三相電路中对称分量作用的獨立性	72
28. 各序系統圖	73
29. 變壓器的零序阻抗	74
30. 合成阻抗	77
31. 不对称短路電流的計算	77
32. 二相短路電流週期分量的近似計算法	79
33. 系統的計算	80
34. 電流分佈的確定	82
35. 剩餘電壓的確定	83
第七章 電壓在 1 仟伏以下的設備的短路電流計算	92
36. 電壓在 230—525 伏設備短路電流計算的特徵	92
37. 短路電路各元件的阻抗	93
38. 等效系統圖	96
39. 短路電流週期分量的計算	97
40. 衝擊電流和全電流的最大有效值	98
第八章 電器和載流部分的選擇	100
41. 概 論	100
42. 斷路器的選擇	103
43. 隔離開關的選擇	105
44. 電抗器的選擇	105
45. 電流互感器的選擇	111
46. 按短路時的機械強度來選擇母綫和瓷瓶	112
47. 按照短路電流的發熱條件選擇導體	118
附 錄	121
I. 符号說明	121
II. 數 值	122

第一章 短路電流計算的一般知識

1. 概 論

電路中短路電流的發生，是由於不同相之間導體碰連在一起或經較小的阻抗與大地相聯，這一阻抗在大多數情況下都取它等於零。

短路電流的大小決定於：

- a) 供電至短路點的電源容量；
- б) 短路點距電源的電的距離，也就是電源至短路點間所接入的電路各元件阻抗的大小；

в) 短路類型(三相的、單相的等)；

г) 短路的時間。

短路可分成下列類型：

- 1) 三相短路，三相均聯接在一起(圖 1, a)；
- 2) 二相短路，二相相互聯接但未接地(圖 1, б)；

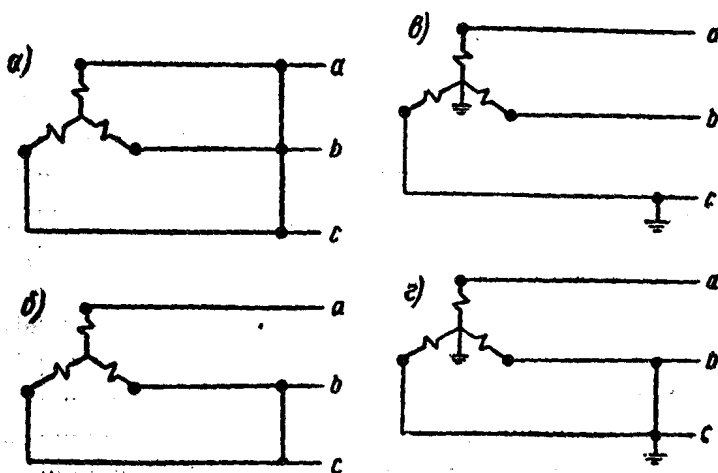


圖1 短路類型

3) 單相短路，一相經大地與電源的中性點联接(圖 1, 6);

4) 二相接地短路，二相相互联接而且接地(圖 1, 2)。

單相短路僅可能發生在中性點固定接地的系統中。在中性點不接地系統中，單根導綫與地相联祇稱為接地。在中性點不接地系統中，二相接地短路與二相短路的作用一樣。

表 1 中載有各種類型短路的代表符号及其相對或然率。

各種短路的代表符号及其相對或然率

表 1

短 路 類 型	代 表 符 号	短路相對或然率, %
三 相 短 路	$K^{(3)}$	5
二 相 短 路	$K^{(2)}$	10
二 相 接 地	$K^{(1,1)}$	20
單 相 短 路	$K^{(1)}$	65

2. 短路電流變化過程及其各分量間的相互關係

一旦發生短路後電力系統即由正常工作狀態過渡到短路狀態。進入穩定狀態以前的過渡過程約延續數秒鐘(3—5 秒)，電路中的電流將由電路短路以前的正常電流值過渡到短路電流的穩定值，短路電流的變化特徵由供電給短路點的發電機有無自動電壓調整器(APH)來決定。沒有自動電壓調整器的發電機在短路一開始電流就迅速地增至最大值，然後逐漸衰減至短路電流的穩定值。

當發電機具有自動電壓調整器時，短路電流的變化過程就可能不同了。圖 2 表示一具有自動電壓調整器的發電機所供電的電網中，在很遠的一點發生短路時的情景。短路電流的週期分量在一開始就衰減了，以後由於電壓調整器的作用發電機電動勢上升，短路電流的週期分量又重新增大。實際上短路發生後自動電壓調整器經過 0.2—0.3 秒後才發生作用。當短路點很近時短路電流的變化特徵就與發電機無自動電壓調整器時一樣。當短路點

很遠時，具有自動電壓調整器的發電機輸出電流要比無自動電壓調整器時為大，而且在短路過程中，電流的差別也增大了。

短路全電流的最大瞬時值稱為短路衝擊電流，衝擊電流是指發生在約經過半個週期即 0.01 秒後的短路電流振幅值，而不是有效值。

衝擊電流的大小首先決定於發電機轉子有無阻尼繞捲，阻尼系統的裝設會引起短路電流的增大。汽輪發電機由於轉子中具有大容量的阻尼系統，短路電流達到額定值的 18—19 倍，即衝擊電流為額定值的 18—19 倍。水輪發電機在許多情況下是沒有阻尼系統的，衝擊電流達到額定值的 5—8 倍。在單相短路時，短路衝擊電流可能比三相短路大 30—40%，而二相短路則比三相小些。發電機併車不正確時在接入的瞬間，衝擊電流可能達到 30 倍。

短路電流的瞬時值可以分解為二個分量(見圖 2)：

a) 非週期分量 i_{at} ，其方向不變；

6) 週期分量 i_{nt} 。

因此，在任何瞬間 t 短路全電流等於：

瞬時值

$$i_t = i_{nt} + i_{at} = \sqrt{2} I_{nt} \cos \omega t + I_{at}; \quad (2-1)$$

有效值

$$I_t = \sqrt{I_{nt}^2 + I_{at}^2}, \quad (2-2)$$

式中 i_{nt} 和 I_{nt} ——在瞬間 t 時短路電流週期分量的瞬時值和有效值；

i_{at} 和 I_{at} ——短路電流非週期分量的瞬時值和有效值。

在一個週期中的非週期分量的有效值取為相當於在該週期中點的瞬時值，即 $i_{at} = I_{at}$

實際上非週期分量在短路發生後經過 0.15 秒就已經降至零了，因此在 $t \geq 0.15$ 秒短路電流週期分量同時也就是短路全電流了。在大容量發電機的端點處短路時，非週期分量衰減得慢些，要經過時間 $t > 0.2$ 秒後才消失。

公式(2-2)可以用來確定整個週期的全電流，但是該公式却不能用來確定第一週期的全電流。

3. 計 算 條 件

計算短路電流所需的精確度，依計算的用途而定。在大多數情況下，爲了選擇系統圖和限制短路電流的對策，以及爲了根據短路電流來選擇和校驗電器及其載流部分均可用近似的計算法，這在實用上它的精確度已經足夠了。作爲計算根據的數據和條件不夠精確時，同樣也可以採用近似計算法。按正常工作情況選擇的電器和導體應該用短路發生時的工作條件來校驗。

因此應儘量使那些按照正常工作情況選擇的導線和電纜的截面也能滿足於短路情況下工作。爲此可採取下列方法：縮短保護的動作時間、合併供電綫及幹綫的負荷，以便採用大截面導線、裝置電抗器、將供電電源及配電裝置的母綫分段等。

電器及導體的選擇應根據最嚴重的短路情況且考慮到系統今後的發展，而對於僅在操作切換時才並聯的備用機組和綫路，在計算短路時不予考慮。

短路電流計算應根據供電給短路點的所有發電機和補償器均具有自動電壓調整器來進行計算。

長距離電纜綫路的截面應按綫路各段進行校驗，使電纜有可能隨其長度而分級減小截面。

在所有情況下，電纜首端一段的截面在校驗時其阻抗可不予考慮。

作爲附加電源的感應電動機，僅對衝擊電流有較爲顯著的影響，而且感應電動機祇有在它們離短路點很近且在一點的總容量大於 1000 仟伏安的情況下才予考慮。

同期補償器和同期電動機在一點的總容量大於 1000 仟伏安而且離短路點很近時才把它當作附加電源考慮。

第二章 基本關係和系統圖的變換

4. 計算值和基本值

在一般情況下，由電阻和電抗所組成的短路電路阻抗，可以用歐姆、相對單位或百分數來表示。計算短路時，所有的計算可以祇按一相來進行，因此各部分的阻抗也是根據一相來確定的。

短路電路所有阻抗均用換算至基本條件的相對單位表示，這在進行計算時是非常方便的。

為用相對單位來表示阻抗、電流、電壓或容量，首先應選擇基本單位即選擇作為量度的單位。

如果將電流、綫電壓、容量和阻抗的基本值相應地用 I_6 , U_6 , S_6 和 x_6 來表示，那麼對於純感性短路電路可以寫出下列二式：

$$x_6 = \frac{U_6}{\sqrt{3} I_6}; \quad (4-1)$$

$$S_6 = \sqrt{3} I_6 U_6. \quad (4-2)$$

換算至基本值的電流、電壓、容量、阻抗的相對值(用星號表示)^①，可按下列很明顯的關係來確定：

$$I_6^* = \frac{I}{I_6}; \quad (4-3)$$

$$U_6^* = \frac{U}{U_6}; \quad (4-4)$$

$$S_6^* = \frac{S}{S_6}; \quad (4-5)$$

$$x_6^* = \frac{x}{x_6}. \quad (4-6)$$

① 在某些不致引起誤會的情況下，用來表示相對單位的星形可以不用。

根據基本關係式(4-1)和(4-6), x_{*6} 值的意義就確定了 [詳見下節(5-1,2)]。

基本容量的數值取爲十的倍數, 例如 100 或 1000 兆伏安, 一般是比較方便的。有時重複地採用該系統中供電電源的額定容量或總容量。

基本電壓 U_6 一般均取爲計算短路電流那一級的平均計算電壓 (U_{cp})。

選定 S_6 和 U_6 以後, I_6 的值就可按下式計算:

$$I_6 = \frac{S_6}{\sqrt{3} U_6} \quad (4-7)$$

式中 若 S_6 ——用仟伏安表示, U_6 ——用仟伏表示, 則得到的電流 I_6 爲安; 若 S_6 爲兆伏安, U_6 爲仟伏, 則 I_6 爲仟安。

計算電壓 (U_{cp})。對於作爲每一級計算的電壓是取下列平均操作綫電壓的數值, 用仟伏表示: 0.23; 0.4; 0.525; 3.15; 6.3; 10.5; 15.75; 37; 115; 162; 230。

在計算時, 我們將計算系統中所有元件(電抗器除外)的額定電壓取爲在數值上等於上面所列出的計算電壓。例如, 變壓器的變壓比是根據相適應級的計算綫電壓的比來確定的。

5. 阻抗及其基本值的換算, 短路容量

以歐姆表示的電路元件阻抗 (x), 換算至基值的相對值 (x_{*6}) 可根據下式進行:

$$x_{*6} = x \frac{\sqrt{3} I_6}{U_{cp}}, \quad (5-1)$$

式中 I_6 ——基本電流, 仟安;

U_{cp} ——計算電壓, 仟伏。

或

$$x_{*6} = x \frac{S_6}{U_{cp}^2} \quad (5-2)$$

式中 S_0 ——基本容量，兆伏安。

如果我們將相對阻抗看成一相中基本電流通過時所產生的電壓降換算至計算相電壓的相對單位，那麼上面所推導出的關係式(5-1)和(5-2)就可以直接根據這個定義得出一相中電壓降 xI_0 的伏特數等於相電壓 $\frac{U_{cp}}{\sqrt{3}}$ 乘以 x_0^* ，即：

$$xI_0 = x_0^* \frac{U_{cp}}{\sqrt{3}}.$$

將相對單位表示的阻抗換算至基本值 假若用相對單位表示的阻抗(電機、變壓器) x_n^* 為已知，而 $S_n \neq S_0$ ，電壓與基本電壓相同，此時我們得：

$$x_0^* = x_n^* \frac{S_0}{S_n}, \quad (5-3)$$

式中 x_0^* ——換算至基本容量 S_0 的發電機或變壓器相對阻抗；
 x_n^* ——同上，但換算至額定容量 S_n ；
 S_n ——發電機或變壓器的額定容量。

對於三繞卷變壓器 S_n 應取最大的繞卷額定容量，而與其他各個繞卷間的額定容量無關。

如果已知電抗器阻抗的相對單位 x_{np}^* 和電抗器電流 I_{np} ，但它在額定電壓 U_{np} 和電流 I_{np} 情況下與基本值不等，可根據下式換算至基本值，

$$x_0^* = x_{np}^* \frac{I_0}{I_{np}} \cdot \frac{U_{np}}{U_{cp}}. \quad (5-4)$$

基本電阻相對單位的確定可以按照同樣的公式祇須將對應的 x 換成 r 。

百分阻抗 $x\%$ 和相對單位阻抗 x^* 間有下列簡單關係：

$$x\% = 100x^*.$$

阻抗歐姆數 x 可以根據已知的相對阻抗或百分阻抗按下式確定：

一般形式

$$x = x_{\sigma}^* \frac{U_{cp}}{\sqrt{3} I_{\sigma}}; \quad (5-5)$$

$$x = x_{\sigma}^* \frac{U_{cp}^2}{S_{\sigma}}. \quad (5-6)$$

變壓器阻抗 x

$$x = \frac{u_k \% U_{cp}^2}{100 S_H} \quad (5-7)$$

式中 U_{cp} ——計算短路電流那一級的平均(計算)綫電壓，仟伏；

S_H ——變壓器的額定容量，兆伏安；

$u_k \%$ ——變壓器的短路電壓，%

電抗器電抗 x

$$x = \frac{x \% U_{np}}{100 \sqrt{3} I_{np}} \quad (5-8)$$

式中 U_{np} ——電抗器的額定電壓，根據產品目錄，仟伏；

I_{np} ——電抗器的額定電流，仟安^①；

$x \%$ ——電抗器的電抗百分數%(從產品目錄中查得)。

電抗器阻抗的歐姆數也可以根據下式計算：

$$x = \omega L_N \times 10^{-3} \text{歐}, \quad (5-9)$$

式中 $\omega = 2\pi f = 314.2$ (當 $f = 50$ 赫芝時)；

L_N ——額定電感，根據製造廠所提供的數據，毫亨(千分亨利)。

將用歐姆表示的電抗換算至同一級的計算基本電壓 所有以歐姆表示的不同級計算電壓的阻抗在它們相加以前應按下式換算成同一級的(計算)電壓：

$$x_1 = x_2 \frac{U_1^2}{U_2^2}, \quad (5-10)$$

① I_{np} ，電抗器的額定電流通常以安作為單位來表示。——譯者

式中 x_1 ——換算至計算電壓 U_1 的電抗，歐；

x_2 ——換算至電壓 U_2 的電抗，歐。

計算電壓可以是 U_1 ，也可以是 U_2 ，要看在那一級計算而定。

短 路 容 量

在任一瞬間的短路容量 S_{kt} 可按下式確定：

$$S_{kt} = \sqrt{3} U_{cp} I_{kt}, \quad (5-11)$$

式中 I_{kt} ——任一瞬間 t 的短路電流；

U_{cp} ——計算短路電流那一級的平均操作(計算)電壓。

這個短路容量是用來根據額定遮斷容量($S_{н.омкА}$)或額定遮斷電流 $I_{н.омкА}$ 來選擇和校驗斷路器用的，斷路器的遮斷容量按下式確定：

$$S_{н.омкА} = \sqrt{3} U_{cp} I_{н.омкА} \quad (5-12)$$

6. 系統中各元件的阻抗

發 電 機

用近似的方法計算三相和二相短路時，祇須知道發電機的次暫態電抗 x_d'' 就可够了。在比較精確的計算二相短路時還必須知道負序電抗 x_2 ，除此以外，當二相接地或一相短路時，還必須知道零序電抗 x_0 。

當缺乏該項電抗的數據時，可以採用表 2 中所列的平均值。

發電機平均電抗的相對單位

表 2

名 稱	x_d''	x_2	x_0
汽輪發電機	0.125	0.14	0.05
有阻尼繞樑的水輪發電機	0.20	0.45	0.07
無阻尼繞樑的水輪發電機	0.27	0.45	0.07
大型同期電動機	0.20	0.20	0.08
同期補償器	0.19	0.20	0.08