

船舶電力系統过渡过程

А. Я. ГОЗИН 等著

中国人民解放军军事工程学院

船舶電力系統過渡過程

А. Я. Г о з и н
 Б. А. Розенмая
 М. Я. Файнштейн
 Л. С. Шахнович

著
 譯校
 朗 鄧
 典 艷
 陳 朱



中国人民解放军军事工程学院

一九五八年五月

本書系根据苏联造船工业出版社(Судпромгиз) 1956 年出版的电气按装工手册第四册(Справочник электромонтажника, том IV)中第二十八章“Переходные процессы в судовых электрических системах”譯出,該章由 А. Я. Гозин, Б. А. Розенман, М. Я. Файнштейн, Л. С. Шахнович 等合著。

0294/05

А. Я. Гозин, Б. А. Розенман
М. Я. Файнштейн, Л. С. Шахнович

**ПЕРЕХОДНЫЕ ПРОЦЕССЫ
В СУДОВЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ**
СУДПРОМГИЗ-1956.

船舶电力系统过渡过程

陈朗 译 朱典鄞 校

中国人民解放军军事工程学院出版

军事工程学院印刷厂印刷

• 3223102 •

787 × 1092 $\frac{1}{25}$ $4\frac{3}{25}$ 印張 87,696 字数

1958.8. 第一版 印数 1—539 册

目 录

序 言

第一章 短路电流

船舶交流电力装置中短路电流计算..... 5

1. 短路种类, 2. 短路电流的变化过程, 3. 需求量, 4. 以计算曲线法计算短路电流的步骤, 5. 短路计算点, 6. 计算线路图与等效线路图, 7. 电量的标么值, 8. 短路电路各元件的阻抗, 9. 计算阻抗, 10. 计算曲线, 11. 藉计算曲线计算三相短路电流, 12. i_y 与 I_y 的简化算法, 13. 各发电机支路短路电流的计算, 14. 短路电流的近似算法, 15. 二相短路电流之计算, 16. 计算异步电动机对短路电流的影响。

船舶交流电力装置中按短路电流校验电气设备.....23

17. 校验种类, 18. 假想时间, 19. 校验汇流条及电缆的热稳定, 20. 检验电流互感器, 21. 校验保险器, 22. 校验自动断路器, 23. 校验汇流条的电动力稳定。

船舶直流电力装置短路电流计算.....30

24. 计算步骤, 25. 短路计算点, 26. 计算线路图及等效线路图, 27. 计算总计算电阻及短路电流。

按短路电流校验船舶直流电力装置中的电气设备.....33

28. 保护电器的校验, 29. 校验汇流条及电缆的热稳定, 30. 校验汇流条的电动力稳定。

第二章 船舶电力系统中发电机的电压跌落

船用交流发电机电压跌落的计算方法.....36

31. 概述, 32. 交流发电机电压跌落现象的物理本质, 33. 计算电压跌落的条件, 34. 电压跌落的计算, 35. 电压跌落的算例, 36. 影响发电机电压跌落的因素, 37. 船用交流发电机的电压跌落表。

发电机电压跌落时异步电动机的行为.....51

38. 发电机电压跌落时异步电动机转速的降低, 39. 发电机电压跌落时从发电机吸取的无功功率的增大。

第三章 船舶电力系统稳定

概述.....56

40. 定义, 41. 船舶电力系统动态稳定的物理本质。

电力系统动稳定的计算方法.....59

42. 动稳定的计算条件, 43. 过渡状态中转子运动方程式, 44. 以隐极机代替凸极机,

动稳定计算步骤.....63

45. 作电力系统等效线路图, 46. 求正常状态下的参数, 47. 求事故状态线路图中的参数 (三相短路时)。48. 求事故消除后的参数, 49. 用分段计算法求事故状态及事故消除后的参数变化。

负荷的动态特性.....70

50. 概述, 51. 计算异步机滑差率随时间及电压的变化, 52. $S = f(\tau)$ 曲线的计算步骤, 53. 拖动装置的阻力矩, 54. 计算异步电动机参数 $R_s = f(s)$ 及 $X_s = f(s)$, 55. 考虑负荷的动态特性。

提高动稳定的方法.....77

56. 发电机参数选择, 57. 并联运行发电机连接方法的选择, 58. 短路板掉, 59. 极限励磁及自动调压系统的选择, 60. 原动机调速器, 61. 对异步负荷保护装置的要求, 62. 机械量的单位, 63. 计算举例。

参考文献

序 言

現代船舶電力系統功率之增大對整個系統電氣設備之工作可靠性，提出了更高的要求。在普遍採用交流電情況下，要保證這一要求，必須在設計、檢驗及調整過程中，不僅仔細研究電力系統的穩定工作狀態，而且要研究其過渡過程。

這種研究可以由各種計算結果完成，這些計算首先是：

- a) 短路電流計算；
- б) 動穩定計算；
- в) 發電機電壓跌落計算。

短路電流計算需用於：

- a) 總匯流條上並列運行發電機總功率之選擇；
- б) 校驗開關電器及保護電器之電動力穩定與熱穩定，以及遮斷能力；

в) 配電綫路圖之正確設計。

動穩定之計算需用於：

- a) 按保證發電機並列運行時所需可靠性之條件，選擇發電機及原動機之參數；

б) 按事故消除後恢復的條件，決定短路時不從發電機斷開的異步負荷量；

в) 按事故消除後恢復及系統動穩定之條件，決定選擇系統各級的延時量；

г) 由保證發電機必需的無功功率儲備之條件，選擇勵磁機的極限勵磁；

д) 事故狀態及事故消除後負荷動穩定之決定。

发电机电压跌落計算用于:

a) 按实现鼠籠式異步机直接启动之条件, 选择电动机及发电机的单机功率;

б) 发电机电磁系統及自动电压調整器 (APH) 之选择;

в) 选择功率較大的鼠籠式異步机之启动方法;

如此, 比較重要的电力系统参数都可从相应的过渡过程計算結果中决定。

考虑到船舶电力系统与一般工业电力系统有不同的特点, 也即:

a) 运行于总汇流条上发电机的功率有限;

б) 異步电动机的启动功率与发电机单机功率相仿;

в) 經常有有功及无功負載合閘或卸去, 工作状态繁重;

г) 有电纜網路, 其特点为有功損耗大;

д) 电气設備在震动冲击潮湿等很不利的条件下工作。

且因迄今尙无有关船舶电力系统过渡过程計算的系統教材, 介紹本篇中所述过渡过程的計算方法是适宜的。

手册的篇幅有限, 只能闡明船舶电力系统过渡过程无数問題中最重要的几个。

照顧到广大的中級技術人員要利用本手册, 本篇資料写成淺鮮易懂的体裁。

第一章 短路电流

計算短路电流有各种不同方法。在本章中，对船舶交流电力装置短路电流計算系用計算曲綫法，在直流电力装置中則用假想电阻法。

船舶交流电力装置中短路电流計算

§ 1. 短路种类 交流系統中分下列几种短路。

- a) 三相短路，这时三相綫間經很小电阻相互連結；
- б) 二相短路，这时二相綫間經很小电阻相互連結；
- в) 单相短路，这时如中性綫接地，一相經地与发电机中性綫連結，或在四綫制中經零綫連接。

在苏联船舶电力装置中，只可能有三相或二相短路，因为在这些装置中不採用中性綫接地及四綫制。因此，下面只討論三相及二相短路电流的計算方法，前者在校驗多数电气設備时用到，后者則有时用以校驗电气設備的热穩定。此后，如无特別申明，都是指三相短路而言。

§ 2. 短路电流的变化过程 短路时，自其形成瞬間起就进行电流变化的过渡过程。图 1 之曲綫表示电路中短路电流变化的大致形状，該电路系由具有自动电压調整器 (APH) 的发电机供电。如在不稳定状态过程中，短路段尚未断开，則短路电路中的电流将由短路瞬間流过电路的正常电流值 i_n 变到穩定值 i_{∞} 。由于发电机电压降低，最初激增的电流有效值会減少，以后因 APH 的作用而使电压升高的結果，电流又增大而达到穩定值。

短路全电流瞬时值 i_t 是两个分量之和，週期分量 i_n 及非週

期分量 i_a 。

i_a 的衰減時間取決於短路電路中電阻與感抗之比。比值愈大，衰減過程進行得愈快。

短路全電流瞬時值的最大值稱為短路沖擊電流，它大約發生在短路形成瞬間後半週期，即經過 0.01 秒。

任意瞬間短路電流的有效值等於電流峯值包線的縱坐標除以 $\sqrt{2}$ 。圖 1 中虛線表示短路全電流的有效值 I_t 及週期分量有效值 I_n 。穩定狀態時 $I_t = I_n$ 。

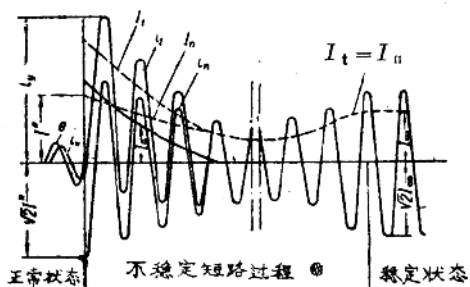


圖1 由具有APH發電機供電電路中短路電流之變化

§ 3. 需求量 為了校驗電氣設備而計算短路電流時，要求下列諸值：

I'' ——短路電流週期分量的初始有效值（次暫態短路電流的初始值）；

i_y ——短路沖擊電流；

I_y ——短路全電流的最大有效值；

I_∞ ——穩定短路電流的有效值；

I_t ——指定瞬間短路電流的有效值。

§ 4. 用計算曲線法計算短路電流的步驟 建議按下列步驟進行計算：

a) 選擇短路計算點及作完整的計算稜路圖；

6) 尽量使线路图简化并将所有元件用阻抗代替，画成计算等效线路图；

Б) 求出所有等效线路图的合成阻抗及计算阻抗；

Г) 利用计算曲线及相应的公式求出短路支路中的短路电流，必要时并求出各发电机支路的电流。

§ 5. 短路计算点 短路计算点应取短路情况对被校验设备来说，最为严重之点。但是，这并不应认为要使计算情况严重化，而将短路点取在极少发生故障的地方。

短路状态应在短路处无任何接触电阻的条件下进行讨论。

应予计算线路中发电机连接变换的情况，根据发电站最繁重的工作状态，画计算线路图。计算线路图中，应连接所有在正常状态下并列运行的发电机，只允许短时并列运行的（如转移负荷时）发电机，当作是分别运行的。

校验由主配电板引出的馈线上电气设备之短路电流时，建议将短路计算点取在离汇流条 10 公尺处。

校验次级或分组配电板上电气设备之短路电流时，建议将短路计算点取在离汇流条 5 至 10 公尺处。电力装置功率较小的船，应取较短的距离。

校验并列运行中一台发电机馈线上电气设备之短路电流时，建议将短路点取在另一台并列运行的发电机端。（如果这时所得短路电流值，大于由主配电板引出馈线上短路时的值）。

发电机单独运行时，建议将短路计算点取在离主配电板 10 公尺的最大截面馈线处，（或电站间的联络线上）。

§ 6. 计算线路图及等效线路图 连接供电给短路处的电源及其所有与短路处连接的元件（电缆，电器等）之简化单线图称为计算线路图。在船舶交流电力装置中，短路时的电源系发电机及异步电动机。但用计算曲线法求计算线路图中的短路电流时，应不包括异步电动机，它所供给的电流应另外计算（参看 § 16）。

要画出等效线路图，须将计算线路图中所有元件代以相应的

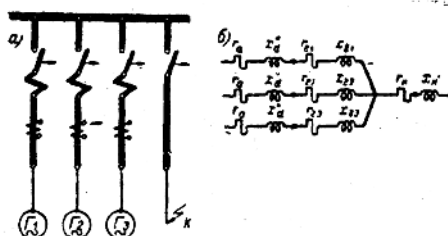


图2 有三台交流发电机的计算线路图及其等效线路图举例

a—计算线路图, b—等效线路图。

电阻和电抗。图2系有三台发电机的计算线路图及其等效线路图。建议在计算线路图中标出电缆及汇流条的长度及截面，每一电路元件旁边标以次序数码。

在等效线路图中，每台发电机代以定子每相的阻抗：电阻 r_g 及直轴次过渡电抗 X_d'' 。连接发电机与主配电板及短路处之间的一段电路，用这段中每相总电阻与总电抗代替。

为求电路各元件阻抗之和，及进一步计算整个电路的计算阻抗，须将所有阻抗用欧姆表示，或用归算到同一条件的标么值表示。

§7. 电量的标么值 电压、功率、电流及阻抗通常用有名单位值表示（伏、瓦、安、欧）。有些场合，特别是短路电流计算时，这些量用标么值表示更为方便，有时甚至是必需的，也即以某些作为单位度量的基准值的分值表示之。四个基准值可任意设定两个。通常设定基准功率 S_0 及基准电压 u_0 。这时基准电流 I_0 及基准阻抗 Z_0 可由下式求得：

$$I_0 = \frac{S_0}{\sqrt{3} u_0}, \quad (1)$$

$$Z_0 = \frac{u_0}{\sqrt{3} I_0} = \frac{u_0^2}{S_0}. \quad (2)$$

由以有单位表示的量，可按下列公式求其基准标么值（归算

到基准情况)：

$$Z_{*6} = \frac{Z}{Z_6}; \quad r_{*6} = \frac{r}{Z_6}; \quad X_{*6} = \frac{X}{Z_6}; \quad (3)$$

$$U_{*6} = \frac{U}{U_6}; \quad I_{*6} = \frac{I}{I_6}; \quad (4)$$

$$S_{*6} = \frac{S}{S_6}; \quad P_{*6} = \frac{P}{S_6}; \quad Q_{*6} = \frac{Q}{S_6}. \quad (5)$$

式中： Z, r, X ——分别为阻抗，电阻及电抗，欧；

U ——电压，伏；

S ——全功率，伏安；

P ——有功功率，瓦；

Q ——无功功率，乏；

I ——电流，安；星标(*)表示用标么值表示的

量；标注6表示基准值或已归算到基准情况。

工厂数据中，有时表明相对额定标么电阻 r_{*H}, X_{*H} ，也即额定功率 S_H 及额定电压 U_H 时的电阻标么值。用欧姆表示的阻抗与额定标么阻抗间的关系可由下式求得：

$$Z = Z_{*H} \frac{U_H^2}{S_H}; \quad r = r_{*H} \frac{U_H^2}{S_H}; \quad X = X_{*H} \frac{U_H^2}{S_H}. \quad (6)$$

应用公式(3)及(6)，有时将阻抗以毫欧表示，而功率以千伏安表示较为方便。

如基准电压取作等于短路处供电发电机的额定电压，则额定标么值与基本标么值间的关系可由下式求之：

$$Z_{*6} = Z_{*H} \frac{S_6}{S_H}; \quad r_{*6} = r_{*H} \frac{S_6}{S_H}; \quad X_{*6} = X_{*H} \frac{S_6}{S_H}. \quad (7)$$

有时额定标么阻抗用百分值表示：

$$Z\% = Z_{*H} \cdot 100; \quad r\% = r_{*H} \cdot 100; \quad X\% = X_{*H} \cdot 100.$$

§ 8. 短路电路各元件的阻抗 计算阻抗时应考虑：电纜，汇流条，电器的线圈，电器触头及电纜端子，电流互感器，电力

变压器（在变压器后短路时），发电机。

电缆电线的电阻及电抗可按附表1採用。

汇流条的阻抗可按下式求得：

$$\text{电阻: } r = \frac{\rho}{q} \cdot 10^3 \text{ 毫欧/公尺,} \quad (8)$$

$$\text{电抗: } X = 0.145 \lg \frac{4a_{cp}}{h} \text{ 毫欧/公尺,} \quad (9)$$

式中 q ——汇流条的截面，公厘²；

ρ ——电阻系数， $\frac{\text{欧} \cdot \text{公厘}^2}{\text{公尺}}$ （温度 65°C

时，铜的电阻系数 $\rho = 0.0217$ ）；

h ——汇流条的高，公厘；

$a_{cp} = \sqrt[3]{a_{12} \cdot a_{23} \cdot a_{31}}$ ——汇流条间的几何平均距离，公厘；

a_{12}, a_{23}, a_{31} ——汇流条间的距离，公厘。

通常 $a_{12} = a_{23} = a$ 及 $a_{31} = 2a$ 。这时 $a_{cp} = 1.26a$ 。由公式 (8)(9) 求得的汇流条阻抗如表 1 所示。

扇形汇流条的阻抗

表 1

汇流条截面 公 厘	阻 抗 毫欧/公尺				
	65°C时电阻 (铜汇流条)	感抗，相间几何平均距为下列值时，公厘			
		50	75	100	150
25×3	0.290	0.131	0.157	0.175	0.200
30×3	0.242	0.120	0.145	0.163	0.188
30×4	0.181	0.120	0.145	0.163	0.188
40×4	0.135	0.102	0.127	0.145	0.170
40×5	0.109	0.102	0.127	0.145	0.170
50×5	0.087	0.087	0.113	0.131	0.157
50×6	0.072	0.087	0.113	0.131	0.157
60×6	0.060	0.076	0.102	0.120	0.145
60×8	0.045	0.076	0.102	0.120	0.145
80×8	0.034	0.058	0.083	0.102	0.127
80×10	0.027	0.058	0.083	0.102	0.127
100×10	0.022	0.044	0.069	0.087	0.113

自动断路器电流线圈的阻抗应按工厂数据取用。表 2 中列有可作近似计算时用的数据。

自动断路器电流线圈的阻抗

表 2

自动开关线圈的额定电流, 安	50	70	100	140	200	400	600
感抗, 毫欧	2.7	1.3	0.86	0.55	0.28	0.1	0.094
65°C 时电阻, 毫欧	5.5	2.35	1.3	0.74	0.36	0.15	0.12

触头及电缆端子的接触电阻只能由测量得到。表 3 及表 4 是这些电阻的近似值。

电缆端子的接触电阻

表 3

电缆及电缆端子的截面 公厘 ²	用电缆端子连接的电缆 与汇流条间的接触电阻 毫欧	电缆及电缆端子的截面 公厘 ²	用电缆端子连接的电缆 与汇流条间的接触电阻 毫欧
1	1.4	70	0.11
1.5	0.9	95	0.087
2.5	0.71	120	0.075
4	0.56	150	0.064
6	0.43	185	0.055
10	0.32	240	0.045
16	0.25	300	0.039
25	0.19	350	0.035
35	0.16	400	0.033
50	0.13		

电流互感器的阻抗采用工厂数据。如并非三相都接有互感器, 则在计算短路电流时, 不考虑其阻抗。

电力变压器的阻抗按下列公式计算:

$$Z_{*T} = \frac{u_k\%}{100}; \tau_{*T} = \frac{P_m\%}{100}; X_{*T} = \sqrt{Z_{*T}^2 - \tau_{*T}^2}$$

電器触头的接触电阻

表 4

額定电流 安	正常发热 60°C 以下时每极触头的接触电阻, 毫欧				
	自动开关		開刀及保 險器	分流器	
	按 裝	万 能		75毫伏	45毫伏
50	1.3	—	—	1.4	—
100	0.75	—	0.5	0.9	0.6
225	0.65	—	—	—	—
200	—	0.6	0.4	0.45	0.3
400	—	0.4	0.2	0.25	0.2
600	—	0.25	0.15	0.18	0.13
1000	—	0.10	0.08	0.12	0.09
2000	—	0.07	0.04	0.08	0.07
3000	—	0.05	0.03	0.07	0.06
5000	—	0.03	0.02	0.05	0.04

式中 Z_{*T} , r_{*T} 及 X_{*T} ——分别为額定情况下的阻抗电阻及电抗。

$P_M\%$ ——短路损耗, %;

$u_K\%$ ——短路电压, %。

$P_M\%$ 及 $u_K\%$ 值应按工厂数据选取。附表二及三列出几种类型变压器的 $P_M\%$ 及 $u_K\%$ 值。

发电机阻抗 (r_g 及 X_g') 按工厂数据选取。功率为 250—1000 瓩的 MC 型发电机阻抗值见表 10。

在短路电流计算的精确度并不重要的场合, 例如草图设计时, 则应只计算发电机及电缆的阻抗, 而忽略汇流条及电器的阻抗。

§ 9. 计算阻抗 计算线路的总等效阻抗用欧姆或归算到任意基准情况的标么值表示时称为合成阻抗。用归算到特定基准情况的标么值表示的合成阻抗称为计算阻抗。

为了计算类似图 2 的等效线路之合成阻抗, 必须: a) 求每一发电机支路的电阻及电抗的总和, b) 求出所有 (并联的) 发电机支路的等效电阻及电抗, 并与短路支路的阻抗值相加。

并联发电机支路的等效阻抗 r_g 及 X_g 可按下列式计算:

$$\tau_g = \frac{\Sigma g}{(\Sigma g)^2 + (\Sigma b)^2}; \quad X_g = \frac{\Sigma b}{(\Sigma g)^2 + (\Sigma b)^2}, \quad (10)$$

式中 Σg ——所有并联支路电导之和;

Σb ——所有并联支路电纳之和。

每一支路的导纳按下式计算:

$$g = \frac{\tau}{\tau^2 + X^2}; \quad b = \frac{X}{\tau^2 + X^2}. \quad (11)$$

短路回路多数元件的阻抗,通常系用有单位值表示。因此,建議將合成阻抗也化成有单位值阻抗用毫欧表示。

合成阻抗計算如下:

$$\tau_{\text{pec}} = \tau_g + \tau_k; \quad X_{\text{pec}} = X_g + X_k; \quad Z_{\text{pec}} = \sqrt{\tau_{\text{pec}}^2 + X_{\text{pec}}^2}. \quad (12)$$

为了求計算阻抗,应确定基准情况。

在本章中,按短路回路总計算阻抗討論短路电流的計算,系基于下列假定;即供給短路点的所有发电机的短路电流对称分量变化相同。可以認為,在船舶装置中通常恰好是这样一致变化的。这时,基准功率 S_0 取其恰好等于供給短路点的所有发电机功率之总和 ΣS_H 。基准电压 U_0 取作等于额定电压 U_H , 而基准电流 I_0 等于发电机额定电流之和 ΣI_H 。

在这种条件下,計算阻抗

$$Z_{\text{sp}} = Z_{\text{pec}} \frac{S_0}{U_0^2} = Z_{\text{pec}} \frac{\Sigma S_H}{U_H^2}. \quad (13)$$

举例:計算图2中等效线路的合成阻抗及計算阻抗,其参数如下:

每台发电机额定功率—— $S_H = 340$ 千伏安。

额定电压—— $U_H = 230$ 伏。

归算到额定情况的每台发电机定子每相阻抗标么值为:

$$\tau_{\text{дн}} = 0.013; \quad X_{\text{дн}} = 0.154.$$

总配电板至发电机一段的阻抗,毫欧:

$$\tau_{r1} = 2.1; \quad X_{r1} = 1.1;$$

$$r_{r2}=1.5; \quad X_{r2}=0.8;$$

$$r_{r3}=0.8; \quad X_{r3}=0.6.$$

短路支路阻抗, 毫欧;

$$r_K=0.9; \quad X_K=0.3.$$

解: 由公式(6), 定子每相阻抗的有名单位值:

$$r_a = r_{*an} \frac{U_H^2}{S_H} = 0.013 \times \frac{230^2}{340} = 2 \text{ 毫欧};$$

$$X_d'' = X_{dH}'' \frac{U_H^2}{S_H} = 0.154 \times \frac{230^2}{340} = 24 \text{ 毫欧}.$$

各发电机支路的总阻抗:

$$r_1 = r_{r1} + r_a = 2.1 + 2 = 4.1 \text{ 毫欧};$$

$$X_1 = X_{r1} + X_d'' = 1.1 + 24 = 25.1 \text{ 毫欧};$$

$$r_2 = r_{r2} + r_a = 1.5 + 2 = 3.5 \text{ 毫欧};$$

$$X_2 = X_{r2} + X_d'' = 0.8 + 24 = 24.8 \text{ 毫欧};$$

$$r_3 = r_{r3} + r_a = 0.8 + 2 = 2.8 \text{ 毫欧};$$

$$X_3 = X_{r3} + X_d'' = 0.6 + 24 = 24.6 \text{ 毫欧}.$$

由公式(11), 各并联支路的导纳:

$$g_1 = \frac{r_1}{r_1^2 + X_1^2} = \frac{4.1}{4.1^2 + 25.1^2} = 6.35 \cdot 10^{-3} \frac{1}{\text{毫欧}};$$

$$b_1 = \frac{X_1}{r_1^2 + X_1^2} = \frac{25.1}{4.1^2 + 25.1^2} = 38.8 \cdot 10^{-3} \frac{1}{\text{毫欧}};$$

$$g_2 = \frac{r_2}{r_2^2 + X_2^2} = \frac{3.5}{3.5^2 + 24.8^2} = 5.58 \cdot 10^{-3} \frac{1}{\text{毫欧}};$$

$$b_2 = \frac{X_2}{r_2^2 + X_2^2} = \frac{24.8}{3.5^2 + 24.8^2} = 39.6 \cdot 10^{-3} \frac{1}{\text{毫欧}};$$

$$g_3 = \frac{r_3}{r_3^2 + X_3^2} = \frac{2.8}{2.8^2 + 24.6^2} = 4.55 \cdot 10^{-3} \frac{1}{\text{毫欧}};$$

$$b_3 = \frac{X_3}{r_3^2 + X_3^2} = \frac{24.6}{2.8^2 + 24.6^2} = 40 \cdot 10^{-3} \frac{1}{\text{毫欧}}.$$