



华中科技大学

Huazhong University of
Science and Technology

2013-2014学年度第一学期

2013.10.27—2014.01.11

《电力系统分析》 (I)

主讲教师：王丹

E-mail: wangdan@mail.hust.edu.cn

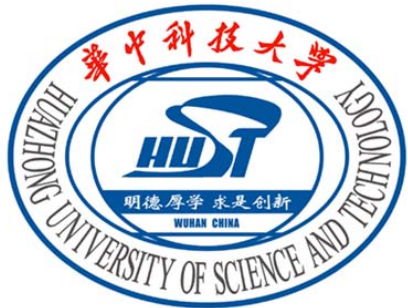
【教材】

何仰赞，温增银. 电力系统分析（上册）（第三版）. 武汉：华中科技大学出版社，2002.

5-1 短路的一般概念

2. 短路计算的目的是(意义)

- (1) 校验设备电动力稳定度——冲击电流
如选择断路器、互感器、瓷瓶、母线、电缆等设备时
- (2) 校验设备热稳定度——短路电流周期分量
如选择断路器、互感器、瓷瓶、母线、电缆等设备时
- (3) 设备容量校验——短路电流有效值
如电网规划设计时选择断路器
- (4) 指导继电保护和自动装置整定——短路电流周期分量
- (5) 判断输电线路对通信的干扰——零序电流分量



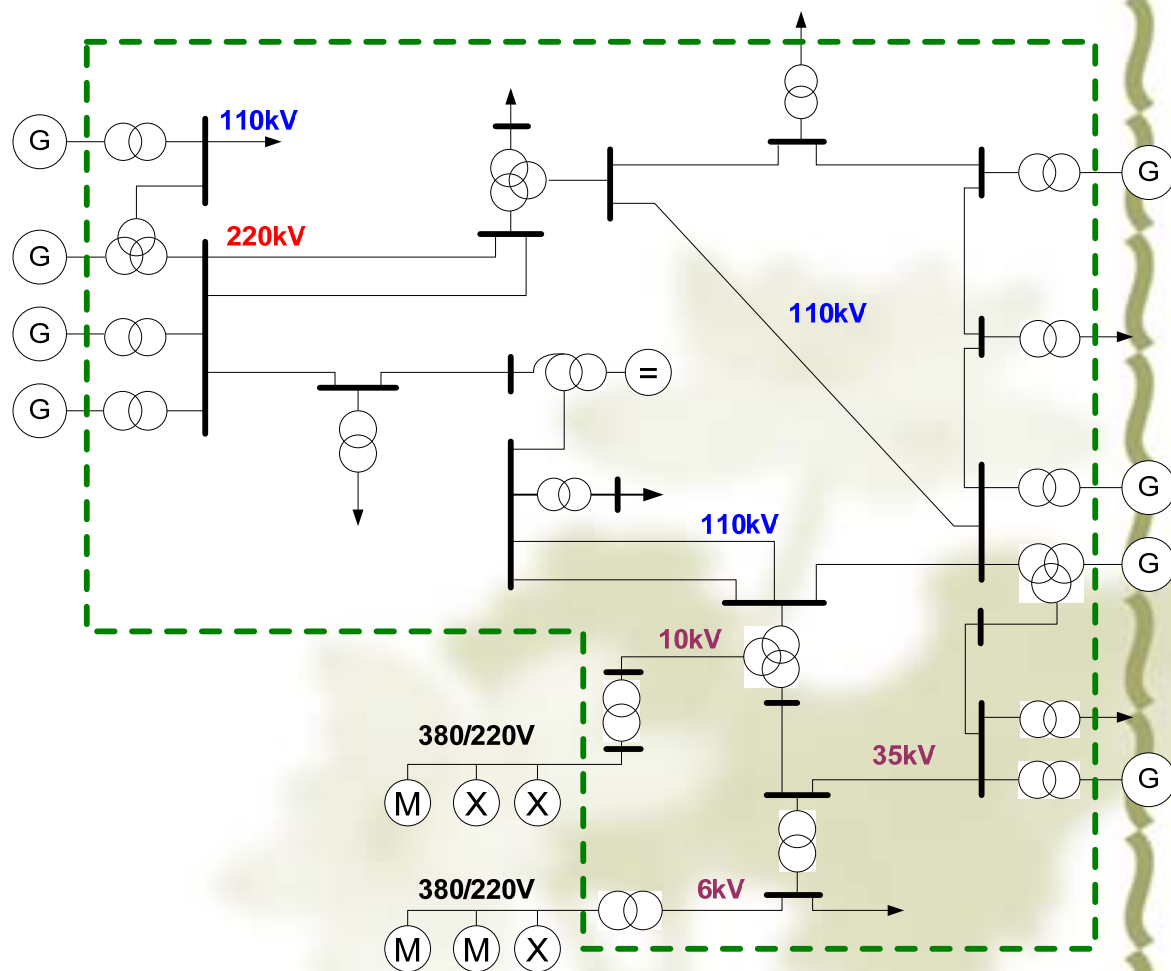
华中科技大学

Huazhong University of
Science and Technology

第六章

电力系统三相短路电流 的实用计算

如果没有计算机辅助，含有
多台发电机的电力系统短路
计算如何进行？



第六章 电力系统三相短路电流的实用计算

本章主要内容

电力系统三相短路计算主要是**短路电流周期（基频）分量**的计算。

计算内容包括：

- (1) 起始次暂态电流（**短路电流周期分量的起始值**）的实用计算；
- (2) 短路冲击电流的计算（**系统电势源和负荷提供的冲击电流**）；
- (3) 短路发生后不同时刻短路电流周期分量的计算；

基本原理
和方法：

(1) 利用节点阻抗矩阵计算； (2) 利用转移阻抗的概念计算； (3) 近似计算方法

第六章 电力系统三相短路电流的实用计算

6-1 短路电流计算的基本原理和方法

6-2 起始次暂态电流和冲击电流的实用计算

6-3 短路电流计算曲线及其应用

6-4 短路电流周期分量的近似计算

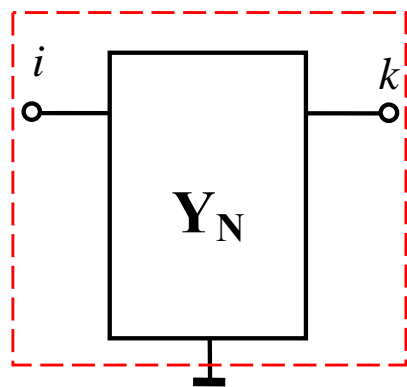
6-1 短路电流计算的基本原理和方法

(一) 基于节点方程的三相短路计算

1. 电力系统节点方程的建立——等值电路的制定

1) 首先根据给定的电力系统运行方式制订系统的等值电路，并进行各元件标么值参数计算；

2) 然后利用变压器和线路的参数形成不含发电机和负荷的节点导纳矩阵 Y_N ；



❖ 输电线路：PI型等值电路， R ， X ， B

❖ 变压器： $G_T - jB_T$ ， $R_T + jX_T$ ， k_T

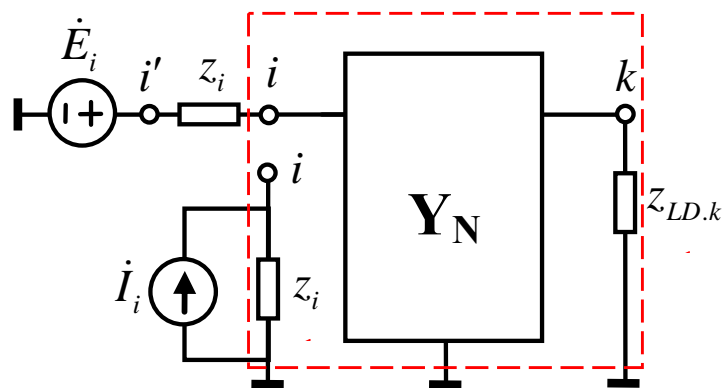
6-1 短路电流计算的基本原理和方法

(一) 基于节点方程的三相短路计算

1. 电力系统节点方程的建立——等值电路的制定

3) 发电机作为含源支路接于发电机端节点 i 和零电位点之间，电势源施加点 i' 称为电势源节点；(根据需要，可将电势源支路转成电流源支路)

4) 节点负荷作为节点接地支路并用恒定阻抗表示。



❖ 发电机：电势源支路 → 电流源支路

❖ 一般负荷：恒定阻抗， $Z_{LD.k}$

$$Z_{LD.k} = V_k^2 / S_{LD.k}^*$$

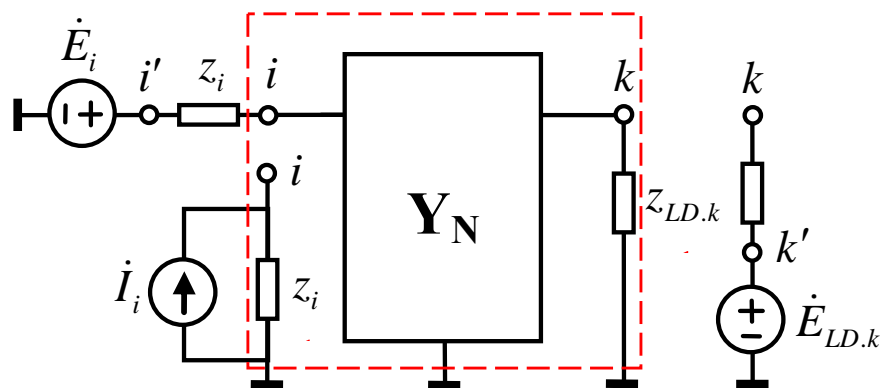
6-1 短路电流计算的基本原理和方法

(一) 基于节点方程的三相短路计算

1. 电力系统节点方程的建立——等值电路的制定

3) 发电机作为含源支路接于发电机端节点 i 和零电位点之间，电势源施加点 i' 称为电势源节点；(根据需要，可将电势源支路转成电流源支路)

4) 节点负荷作为节点接地支路并用恒定阻抗表示。



❖ 同步调相机：按发电机处理

❖ 电动机负荷：电势源支路 → 电流源支路

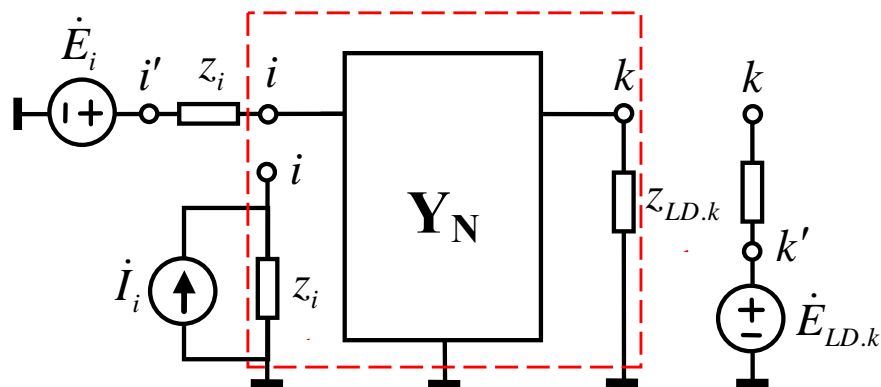
(同步电动机、感应电动机、以电动机为主的综合负荷)

6-1 短路电流计算的基本原理和方法

(一) 基于节点方程的三相短路计算

1. 电力系统节点方程的建立——等值电路的制定

- ❖ 发电机：电势源支路支路 → 电流源支路（含同步调相机）
- ❖ 输电线路：PI型等值电路， R , X , B
- ❖ 变压器： $G_T - jB_T$, $R_T + jX_T$, k_T
- ❖ 一般负荷：恒定阻抗， $Z_{LD.k}$
- ❖ 电动机负荷：电势源支路支路 → 电流源支路（同步电动机、感应电动机、以电动机为主的综合负荷，涉及起始次暂态电流计算）



$$\dot{\mathbf{I}} = \mathbf{Y} \dot{\mathbf{V}}$$

$$\mathbf{Y}_N + z_i, z_{LD.k} \Rightarrow \mathbf{Y}$$

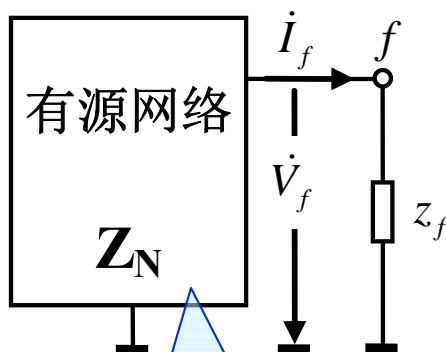
6-1 短路电流计算的基本原理和方法

(一) 基于节点方程的三相短路计算

2. 利用节点阻抗矩阵计算短路电流——基本原理

假定：系统中节点 f 经过渡阻抗 z_f 发生短路。

过渡阻抗 z_f 不参与形成网络节点导纳或阻抗矩阵，因此有源网络即代表系统正常状态的等值网络。



有源网络代表系统正常状态的等值网络

如果保持故障处边界条件不变，把网络的原有部分同故障支路分开。因此，对正常状态网络而言，发生短路相当于故障节点 f 增加注入电流 $-I_f$ 。

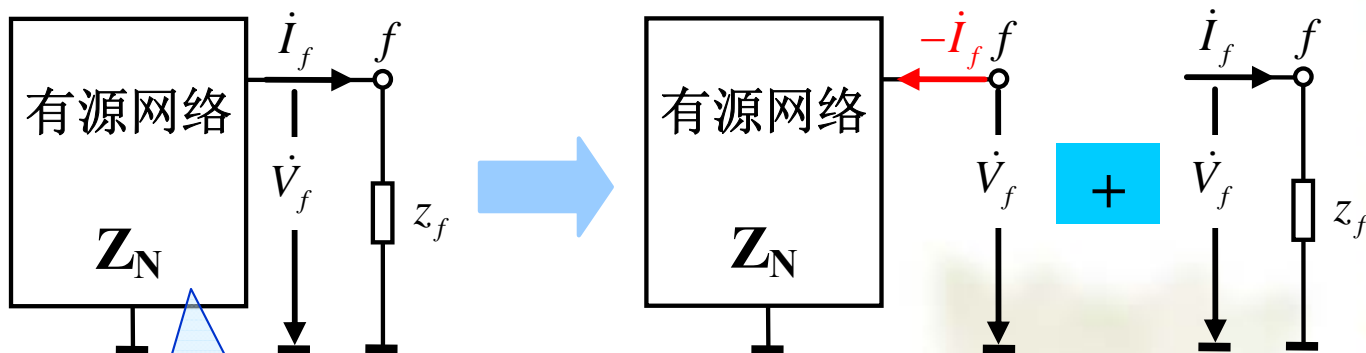
6-1 短路电流计算的基本原理和方法

(一) 基于节点方程的三相短路计算

2. 利用节点阻抗矩阵计算短路电流——基本原理

假定：系统中节点 f 经过渡阻抗 z_f 发生短路。

过渡阻抗 z_f 不参与形成网络节点导纳或阻抗矩阵，因此有源网络即代表系统正常状态的等值网络。



有源网络代表系统正常状态的等值网络

如果保持故障处边界条件不变，把网络的原有部分同故障支路分开。因此，对正常状态网络而言，发生短路相当于故障节点 f 增加注入电流 $-I_f$ 。

6-1 短路电流计算的基本原理和方法

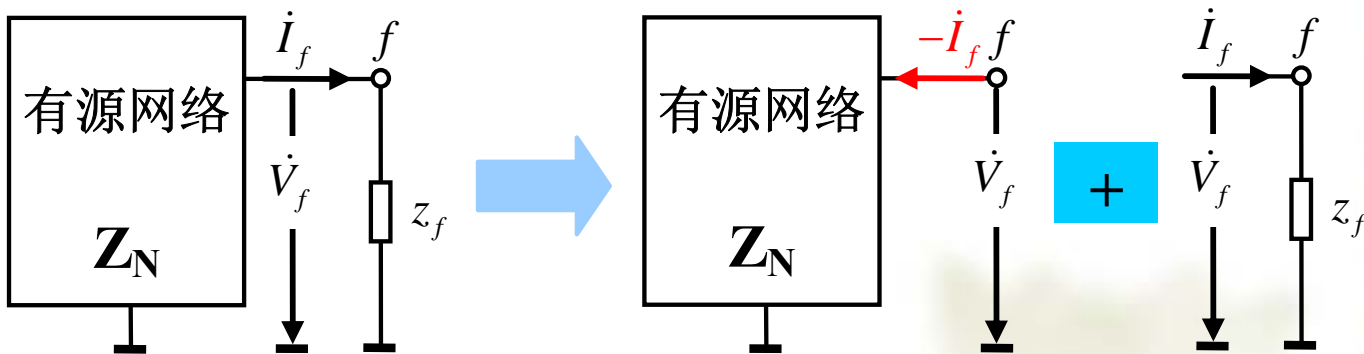
(一) 基于节点方程的三相短路计算

2. 利用节点阻抗矩阵计算短路电流——基本原理

短路后任一节点*i*的电压可看成是由两部分作用叠加：

1) 由有源网络单独作用时，在节点*i*产生的电压（即短路前瞬间正常运行电压）——电压正常分量；

2) 仅由短路电流*I_f*作用时在节点*i*产生的电压——电压故障分量。



电压正常分量：

$$\dot{V}_i^{(0)} = \sum_{j \in G} Z_{ij} \dot{I}_j, \quad (G \text{ 表示有源节点集合})$$

电压故障分量：

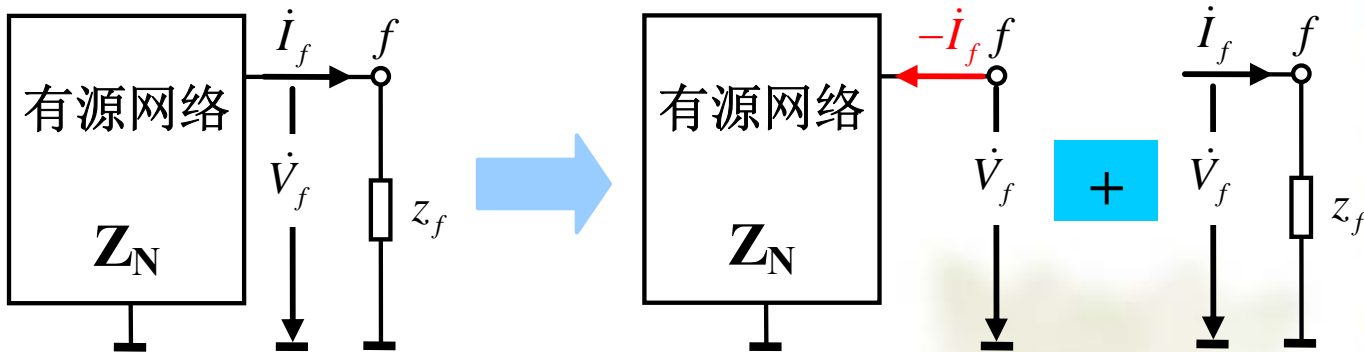
$$-Z_{if} \dot{I}_f$$

$$\begin{aligned} \dot{V}_i &= \sum_{j \in G} Z_{ij} \dot{I}_j - Z_{if} \dot{I}_f \\ &= \dot{V}_i^{(0)} - Z_{if} \dot{I}_f \end{aligned}$$

6-1 短路电流计算的基本原理和方法

(一) 基于节点方程的三相短路计算

2. 利用节点阻抗矩阵计算短路电流——基本原理

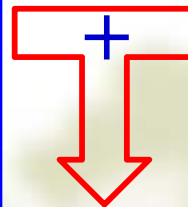


电压正常分量:

$$\dot{V}_i^{(0)} = \sum_{j \in G} Z_{ij} \dot{I}_j \quad (G \text{ 表示有源节点集合})$$

电压故障分量:

$$-Z_{if} \dot{I}_f$$



$$\dot{I}_f = \frac{\dot{V}_f^{(0)}}{Z_{ff} + z_f}$$

$$\dot{V}_f = \dot{V}_f^{(0)} - Z_{ff} \dot{I}_f \quad \text{lf: } i = f$$

$$\begin{aligned} \dot{V}_i &= \sum_{j \in G} Z_{ij} \dot{I}_j - Z_{if} \dot{I}_f \\ &= \dot{V}_i^{(0)} - Z_{if} \dot{I}_f \end{aligned}$$

$$\dot{V}_f^{(0)} = \sum_{j \in G} Z_{ff} \dot{I}_j$$

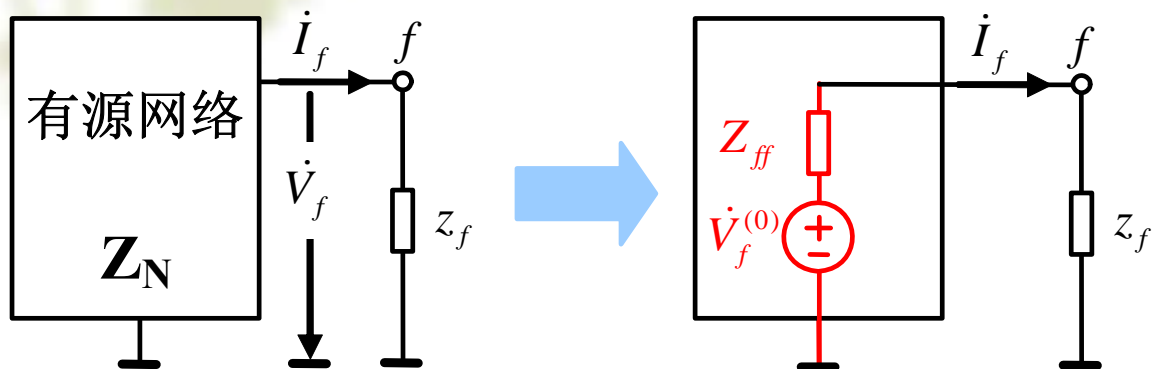
边界条件: $\dot{V}_f = z_f \dot{I}_f$

6-1 短路电流计算的基本原理和方法

(一) 基于节点方程的三相短路计算

2. 利用节点阻抗矩阵计算短路电流——基本原理

可利用戴维南定理直接推导



(1) 故障点电流:

$$\dot{I}_f = \frac{\dot{V}_f^{(0)}}{Z_{ff} + z_f}$$

$$(2) \text{任一节点 } i \text{ 电压: } \dot{V}_i = \dot{V}_i^{(0)} - Z_{if} \dot{I}_f = \dot{V}_i^{(0)} - \frac{Z_{if}}{Z_{ff} + z_f} \dot{V}_f^{(0)}$$

阻抗阵元素都带有列标 f , 也就是说如果网络正常状态下节点电压已知, 进行短路计算时, 只需要利用阻抗阵中与故障点 f 对应的一列元素。因此, 短路的实际计算中, 一般只需要形成网络节点导纳阵, 用第四章方法求出阻抗阵中某一系列或几列元素即可。

4-3 节点阻抗矩阵

□ 由线性代数方程 $\mathbf{YZ}=\mathbf{I}$ 计算 \mathbf{Z} 阵

$$\begin{bmatrix} Y_{11} & Y_{12} & \cdots & Y_{1n} \\ Y_{21} & Y_{22} & \cdots & Y_{2n} \\ \vdots & \vdots & \cdots & \vdots \\ Y_{n1} & Y_{n2} & \cdots & Y_{nn} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} Z_{11} & Z_{12} & \cdots & Z_{1n} \\ Z_{21} & Z_{22} & \cdots & Z_{2n} \\ \vdots & \vdots & \cdots & \vdots \\ Z_{n1} & Z_{n2} & \cdots & Z_{nn} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & \cdots & 0 \\ 0 & 1 & \cdots & 0 \\ \vdots & \vdots & \cdots & \vdots \\ 0 & 0 & \cdots & 1 \end{bmatrix}$$

$$\mathbf{Y} [\mathbf{Z}_1 \ \mathbf{Z}_2 \ \cdots \ \mathbf{Z}_n] = [\mathbf{e}_1 \ \mathbf{e}_2 \ \cdots \ \mathbf{e}_n]$$

$$\mathbf{Z}_j = [Z_{1j} \ Z_{2j} \ \cdots \ Z_{nj}]^T$$

$$\mathbf{YZ}_j = \mathbf{e}_j, (j = 1, 2, \cdots, n)$$

$$\mathbf{e}_j = [0 \ \cdots \ 1 \ \cdots \ 0]^T$$

第 j 列

4-3 节点阻抗矩阵

□ 由线性代数方程 $YZ=I$ 计算 Z 阵

$$\begin{bmatrix} Y_{11} & \cdots & Y_{1j} & \cdots & Y_{1n} \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ Y_{j1} & \cdots & Y_{jj} & \cdots & Y_{jn} \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ Y_{n1} & \cdots & Y_{nj} & \cdots & Y_{nn} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} Z_{1j} \\ \vdots \\ Z_{jj} \\ \vdots \\ Z_{nj} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ \vdots \\ 1 \\ \vdots \\ 0 \end{bmatrix}$$

$$YZ_j = e_j \quad LDUZ_j = e_j$$

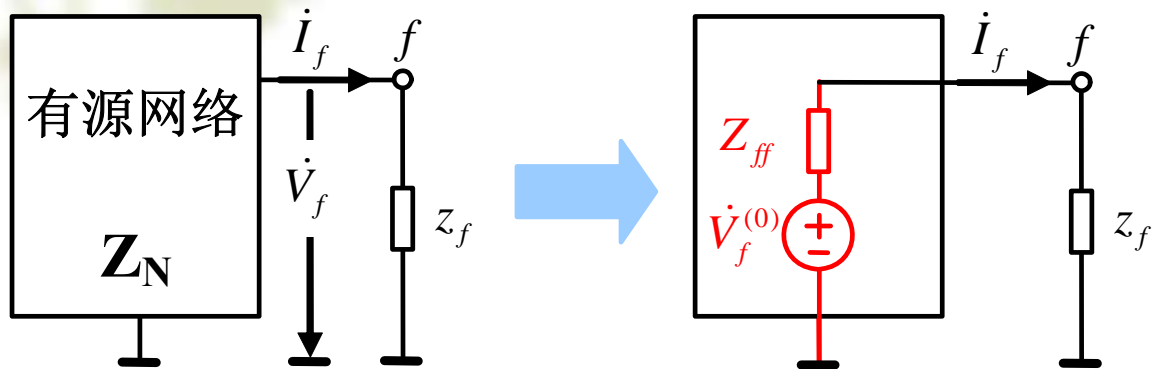
$$Y = LDU$$

$$\begin{bmatrix} Y_{11} & \cdots & Y_{1j} & \cdots & Y_{1n} \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ Y_{j1} & \cdots & Y_{jj} & \cdots & Y_{jn} \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ Y_{n1} & \cdots & Y_{nj} & \cdots & Y_{nn} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & & & & \\ l_{21} & 1 & & & \\ l_{31} & l_{32} & 1 & & \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \\ l_{n1} & l_{n2} & l_{n3} & \cdots & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} d_{11} & & & & \\ & d_{22} & & & \\ & & d_{33} & & \\ & & & \ddots & \\ & & & & d_{nn} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & u_{12} & u_{13} & \cdots & u_{1n} \\ & 1 & u_{23} & \cdots & u_{2n} \\ & & 1 & \cdots & u_{3n} \\ & & & \ddots & \vdots \\ & & & & 1 \end{bmatrix}$$

6-1 短路电流计算的基本原理和方法

(一) 基于节点方程的三相短路计算

2. 利用节点阻抗矩阵计算短路电流——基本原理

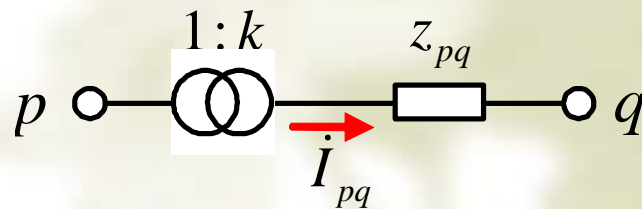


(1) 故障点电流:

$$\dot{I}_f = \frac{\dot{V}_f^{(0)}}{Z_{ff} + z_f}$$

$$(2) \text{ 任一节点 } i \text{ 电压: } \dot{V}_i = \dot{V}_i^{(0)} - Z_{if} \dot{I}_f = \dot{V}_i^{(0)} - \frac{Z_{if}}{Z_{ff} + z_f} \dot{V}_f^{(0)}$$

$$(3) \text{ 任一支路电流: } \dot{I}_{pq} = \frac{k\dot{V}_p - \dot{V}_q}{z_{pq}}$$

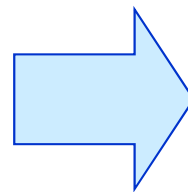


6-1 短路电流计算的基本原理和方法

(一) 基于节点方程的三相短路计算

2. 利用节点阻抗矩阵计算短路电流——忽略负荷电流

不要求精确计算时，可以不计负荷电流的影响，即短路前空载，各节点电压标么值： $\dot{V}_i^{(0)} = 1$



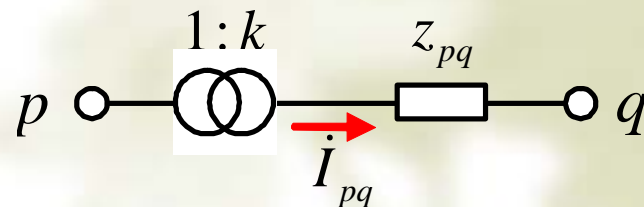
(1) 故障点电流：

$$\dot{I}_f = \frac{1}{Z_{ff} + z_f}$$

金属性短路时 $z_f = 0$ 。

$$(2) \text{ 任一节点 } i \text{ 电压: } \dot{V}_i = \dot{V}_i^{(0)} - Z_{if} \dot{I}_f = 1 - \frac{Z_{if}}{Z_{ff} + z_f}$$

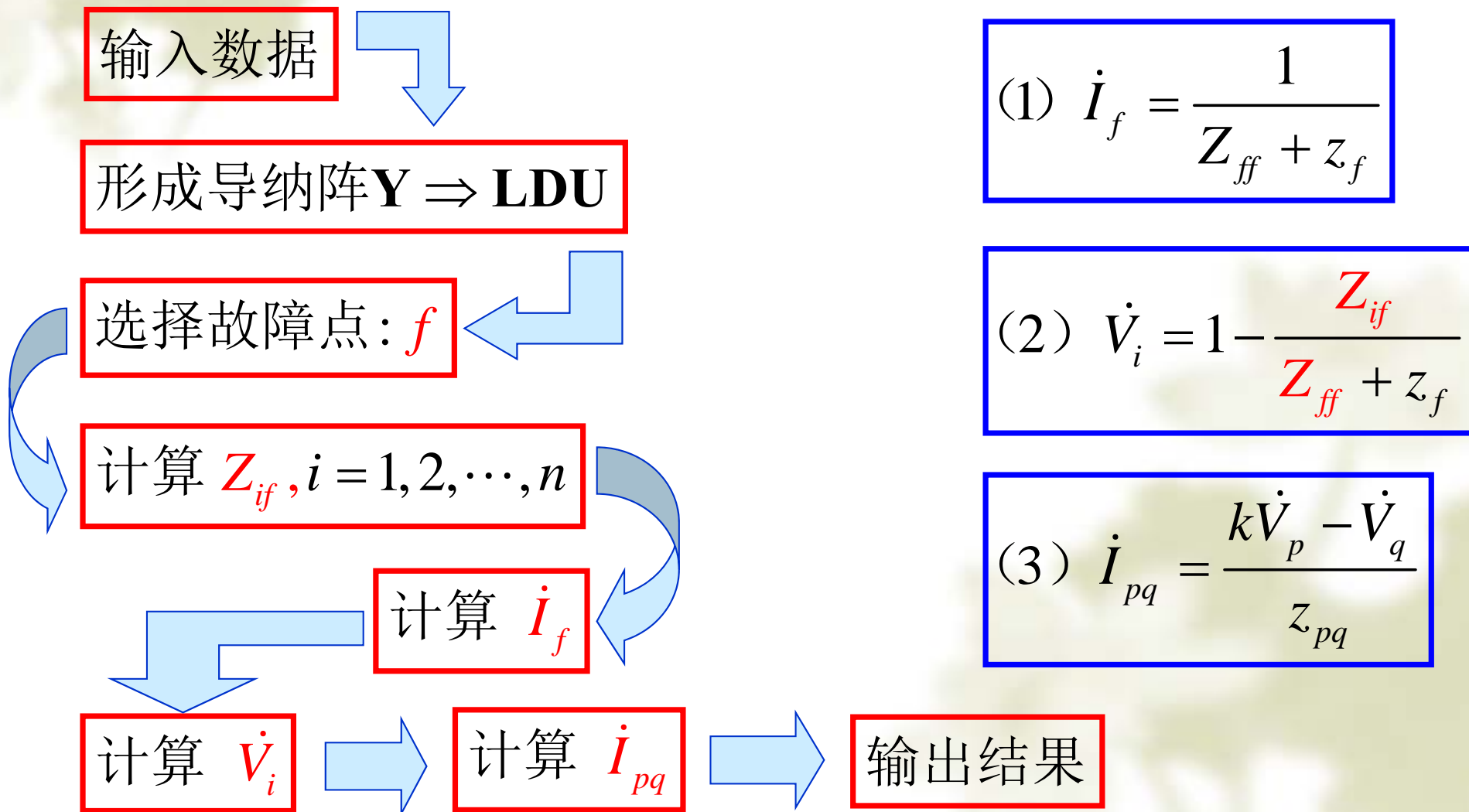
$$(3) \text{ 任一支路电流: } \dot{I}_{pq} = \frac{k\dot{V}_p - \dot{V}_q}{z_{pq}}$$



6-1 短路电流计算的基本原理和方法

(一) 基于节点方程的三相短路计算

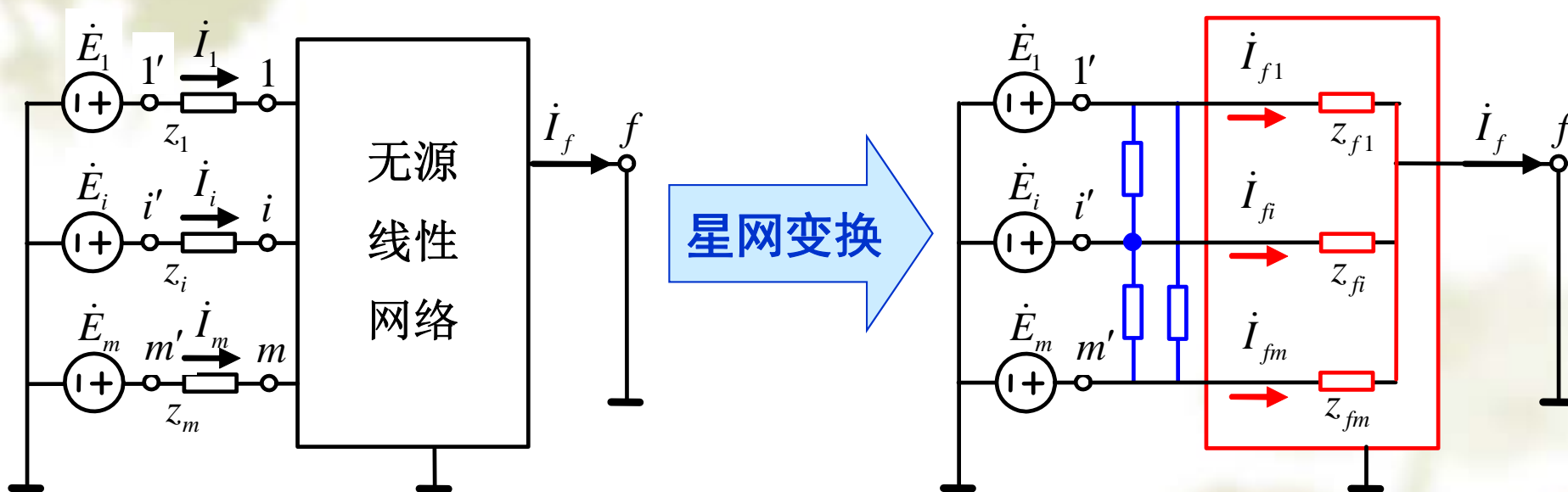
2. 利用节点阻抗矩阵计算短路电流——计算原理框图



6-1 短路电流计算的基本原理和方法

(二) 利用电势源对短路点的转移阻抗计算短路电流

(1) 电势源对短路点的转移阻抗的定义



线性网络叠加原理:
$$I_f = \sum_{i \in G} I_{fi} = \sum_{i \in G} \dot{E}_i / z_{fi}$$

$$z_{fi} = \dot{E}_i / I_{fi}$$
 : 电势源 \dot{E}_i 对短路点 f 的转移阻抗

$$I_{fi} = \dot{E}_i / z_{fi}$$
 : 电势源 \dot{E}_i 单独作用时在短路点 f 产生的短路电流

6-1 短路电流计算的基本原理和方法

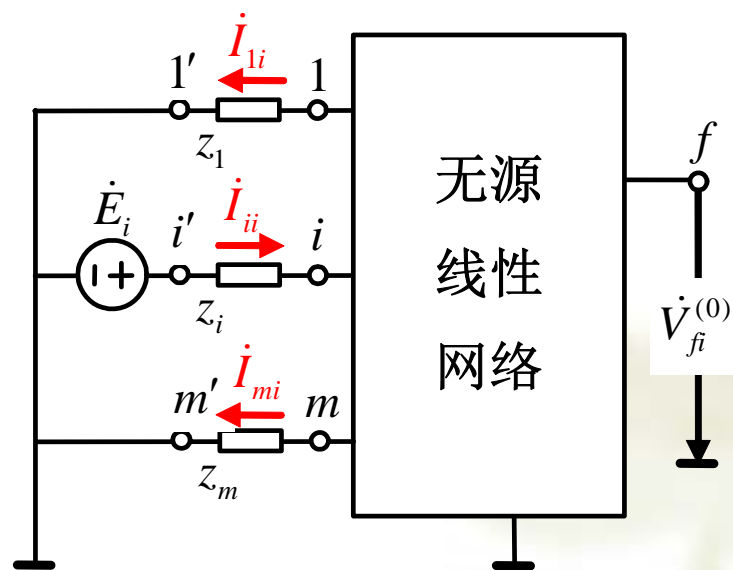
(二) 利用电势源对短路点的转移阻抗计算短路电流

(2) 利用节点阻抗矩阵求电势源对短路点的转移阻抗

电势源 \dot{E}_i 单独作用，对网络注入电流： $\dot{I}_{ii} = \dot{E}_i / z_i$

正常状态下，在 f 点产生

$$\dot{V}_{fi}^{(0)} = Z_{fi} \dot{I}_{ii} = \frac{Z_{fi}}{z_i} \dot{E}_i$$



6-1 短路电流计算的基本原理和方法

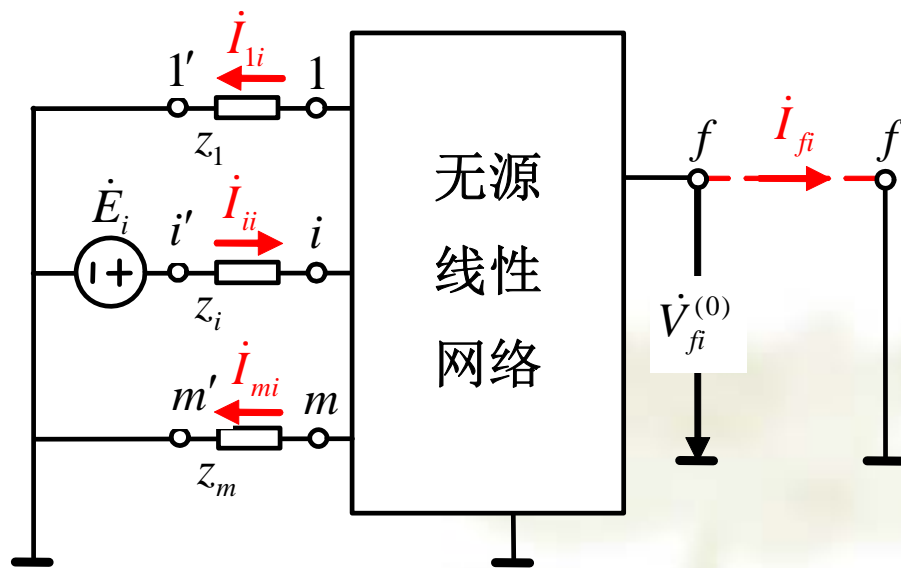
(二) 利用电势源对短路点的转移阻抗计算短路电流

(2) 利用节点阻抗矩阵求电势源对短路点的转移阻抗

电势源 \dot{E}_i 单独作用，对网络注入电流： $\dot{I}_{ii} = \dot{E}_i / z_i$

正常状态下，在 f 点产生

$$\text{电压: } \dot{V}_{fi}^{(0)} = Z_{fi} \dot{I}_{ii} = \frac{Z_{fi}}{z_i} \dot{E}_i$$



$$f \text{ 点短路电流: } \dot{I}_{fi} = \frac{\dot{V}_{fi}^{(0)}}{Z_{ff}} = \frac{Z_{fi}}{Z_{ff} z_i} \dot{E}_i = \frac{\dot{E}_i}{z_{fi}}$$

$$z_{fi} = \frac{\dot{E}_i}{\dot{I}_{fi}} = \frac{Z_{ff}}{Z_{fi}} z_i$$

6-1 短路电流计算的基本原理和方法

(二) 利用电势源对短路点的转移阻抗计算短路电流

(3) 经过渡阻抗接地的情况

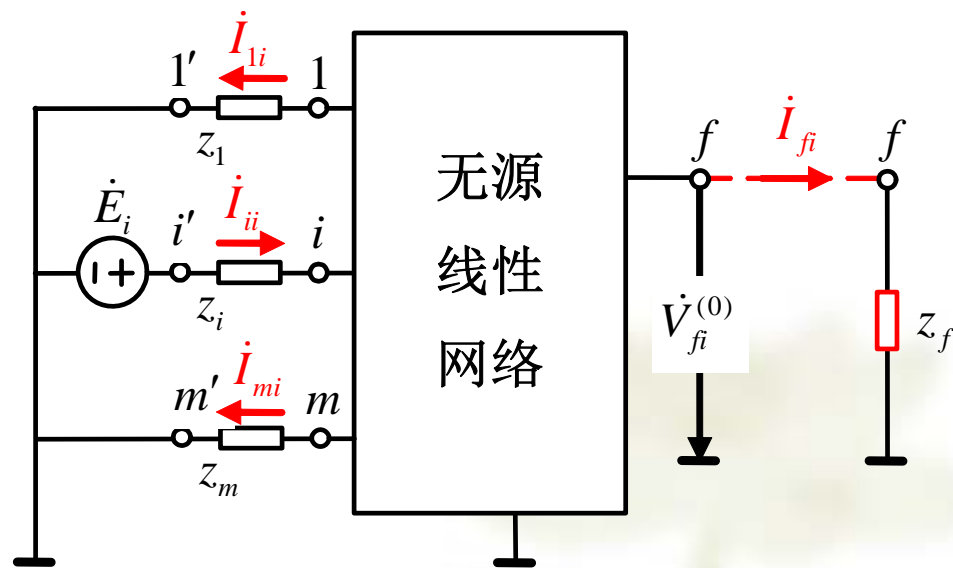
电势源 \dot{E}_i 单独作用，对网络注入电流： $\dot{I}_{ii} = \dot{E}_i / z_i$

正常状态下，在 f 点产生

$$\text{电压: } \dot{V}_{fi}^{(0)} = Z_{fi} \dot{I}_{ii} = \frac{Z_{fi}}{z_i} \dot{E}_i$$

$$f \text{ 点短路电流: } \dot{I}_{fi} = \frac{\dot{V}_{fi}^{(0)}}{Z_{ff} + z_f} = \frac{Z_{fi}}{(Z_{ff} + z_f) z_i} \dot{E}_i$$

$$Z_{fi} = \frac{\dot{E}_i}{\dot{I}_{fi}} = \frac{Z_{ff} + z_f}{Z_{fi}} z_i$$



6-1 短路电流计算的基本原理和方法

(二) 利用电势源对短路点的转移阻抗计算短路电流

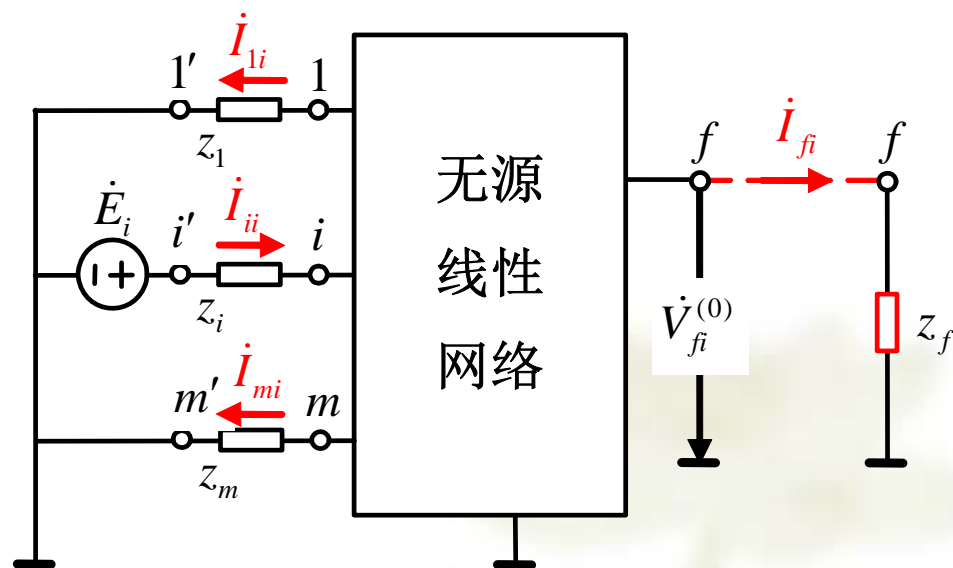
(4) 电势源节点间的转移阻抗

电势源 \dot{E}_i 单独作用，对网络注入电流： $\dot{I}_{ii} = \dot{E}_i / z_i$

正常状态下，在 m 点产生

$$\dot{V}_{mi}^{(0)} = Z_{mi} \dot{I}_{ii} = \frac{Z_{mi}}{z_i} \dot{E}_i$$

$$m' \text{点入地电流: } \dot{I}_{mi} = \frac{\dot{V}_{mi}^{(0)}}{z_m} = \frac{Z_{mi}}{z_m z_i} \dot{E}_i$$

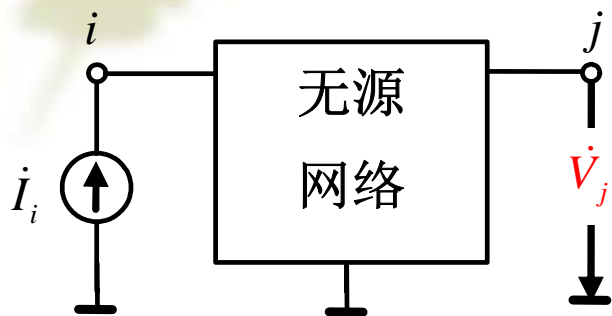


$$z_{im} = \frac{\dot{E}_i}{\dot{I}_{mi}} = \frac{z_i z_m}{Z_{im}}$$

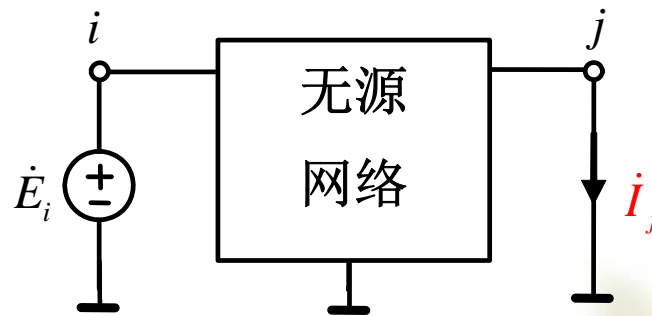
6-1 短路电流计算的基本原理和方法

(二) 利用电势源对短路点的转移阻抗计算短路电流

(5) 节点间的转移阻抗和互阻抗的比较



节点 ij 间互阻抗: $Z_{ji} = \dot{V}_j / \dot{I}_i$
节点 i 注入电流与其在节点 j
产生的电压之比



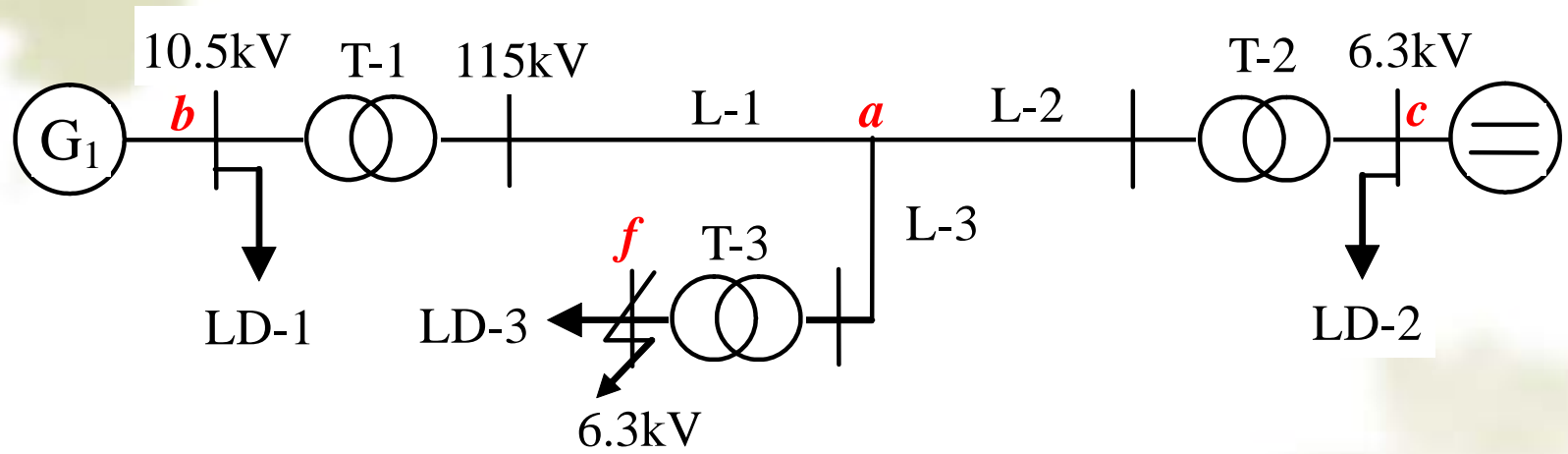
节点 ij 间转移阻抗: $z_{ji} = \dot{E}_i / \dot{I}_j$
节点 i 施加电势与其在节点 j
产生的短路电流之比

任何一对节点之间均有定义

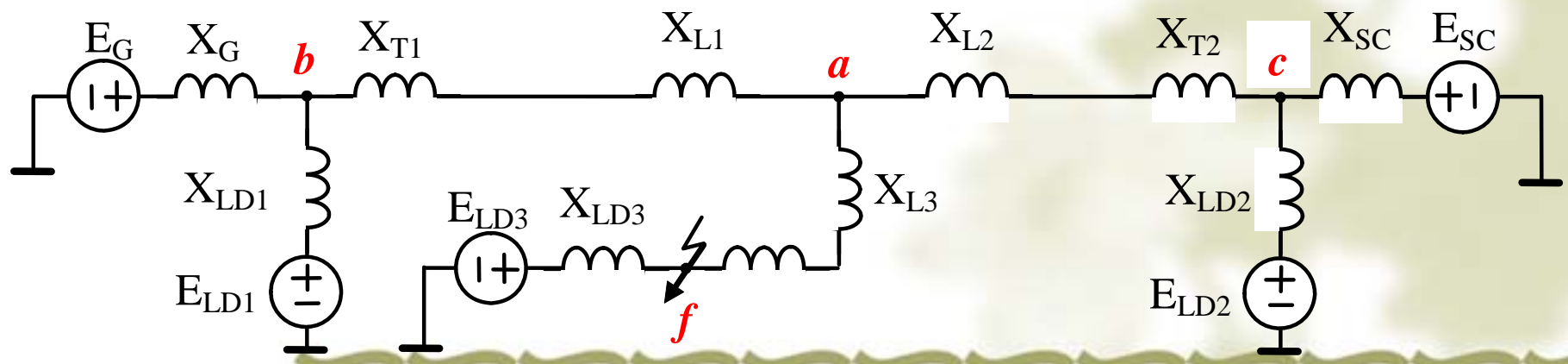
仅对电势源和短路点或电势源
节点之间定义才有意义

6-2 起始次暂态电流和冲击电流的实用计算

算例： f 点发生三相短路时的短路计算



(1) 制定等值电路，确定计算条件；



6-2 起始次暂态电流和冲击电流的实用计算

1. 实用计算的近似简化处理方法

- ❖ 发电机：所有电势源同相位
- ❖ 输电线路： $R=0$ ， X ， $B=0$
- ❖ 变压器： $G_T + jB_T = 0$ ， $R_T = 0$ ， jX_T ， $k_T \approx 1.0$

❖ 简化计算： E ， jX ，(直流计算台)

❖ 用于短路计算，满足工程要求

起始次暂态电流是短路电流周期分量（指基频）的初值，把系统所有元件都用次暂态参数代表，次暂态电流计算就同稳态电流的计算一样。（注：静止元件次暂态参数与其稳态参数相同）

6-2 起始次暂态电流和冲击电流的实用计算

2. 计算条件的建立—发电机和电动机电势源模型

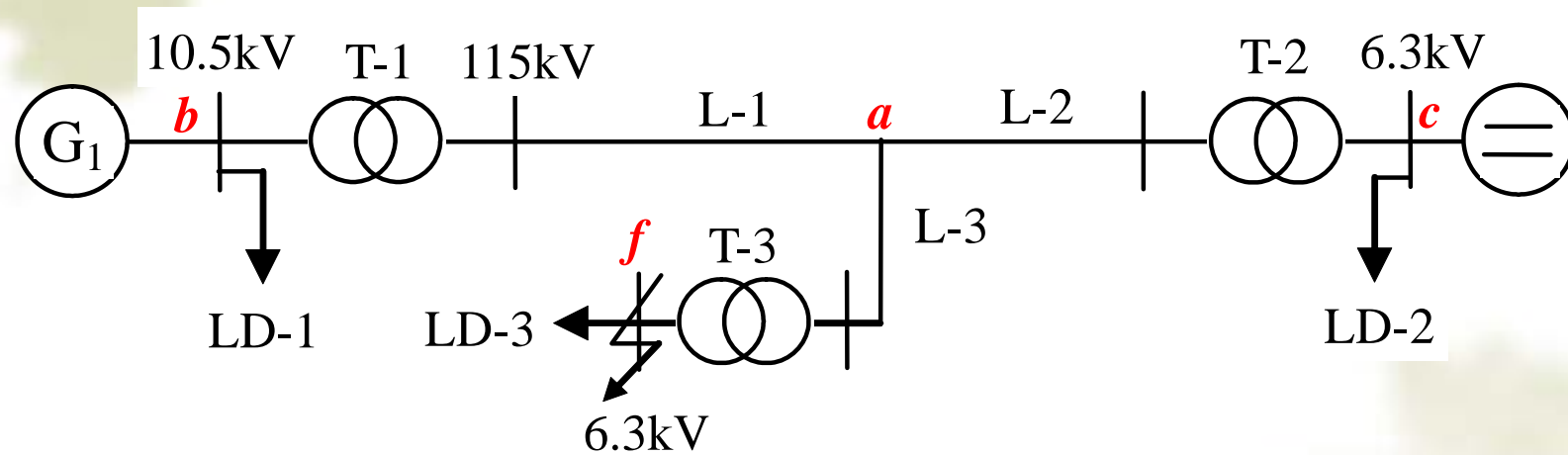
发电机模型	同步调相机	同步电动机	异步电动机	综合负荷
$E''_0 \approx V_{[0]} + x'' I_{[0]} \sin \varphi_{[0]}$	$E''_0 \approx V_{[0]} + x'' I_{[0]}$	$E''_0 \approx V_{[0]} - x'' I_{[0]} \sin \varphi_{[0]}$	$E''_0 \approx V_{[0]} - x'' I_{[0]} \sin \varphi_{[0]}$	$E''_0 \approx V_{[0]} - x'' I_{[0]} \sin \varphi_{[0]}$
$x'' = 0.13 \sim 0.2$ $E''_0 = 1.05 \sim 1.1^*$	$E''_0 = 1.2, x'' = 0.2$		$E''_0 = 0.8, x'' = 0.2$	$x'' = 0.2 + 0.15^{**}$ $E''_0 = 0.8$

*不计负载影响取 $E''_0 = 1.0$

**降压变及馈线电抗0.15

6-2 起始次暂态电流和冲击电流的实用计算

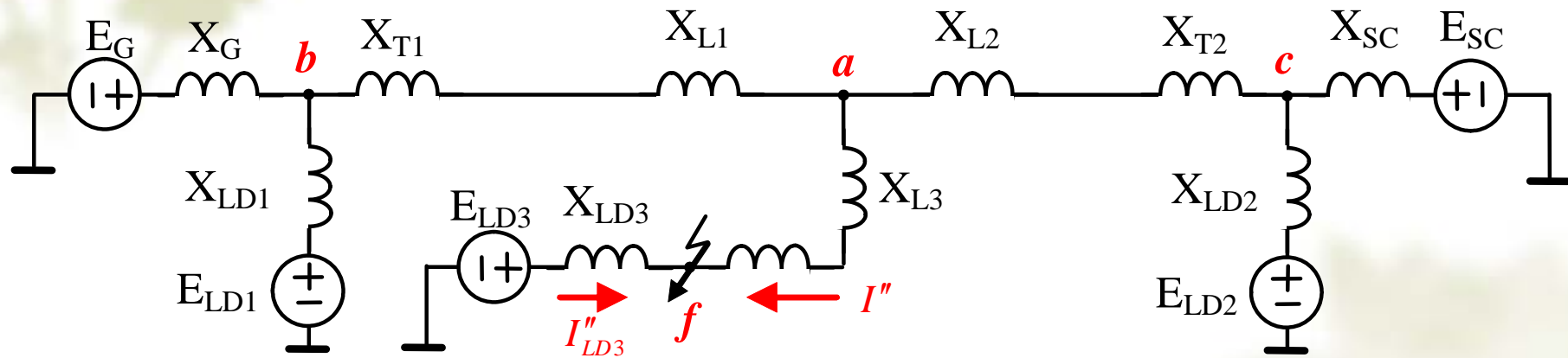
算例： f 点发生三相短路时的短路计算



1. 制定等值电路，确定计算条件；
2. 选取基准值，计算等值电路标么参数；
3. 计算 f 点发生三相短路时的起始次暂态电流；

6-2 起始次暂态电流和冲击电流的实用计算

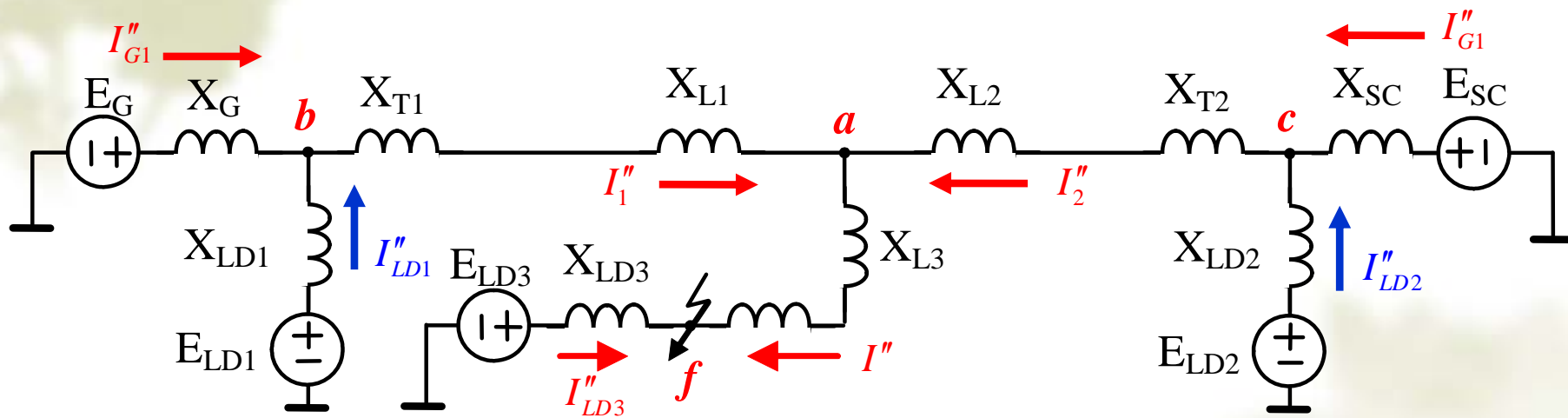
算例： f 点发生三相短路时的短路计算



1. 制定等值电路，确定计算条件；
2. 选取基准值，计算等值电路标么参数；
3. 计算 f 点发生三相短路时的起始次暂态电流；

6-2 起始次暂态电流和冲击电流的实用计算

算例： f 点发生三相短路时的短路计算



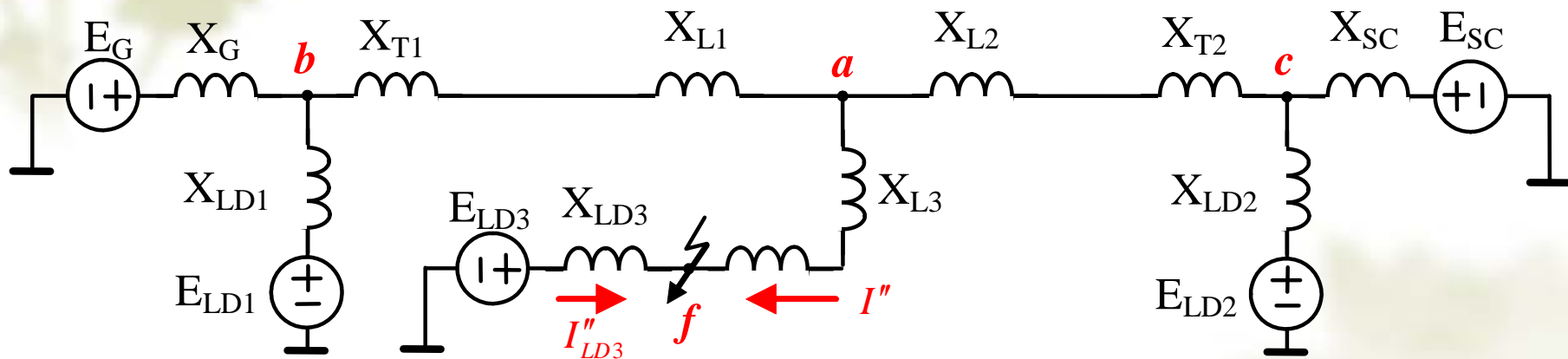
4. 计算 f 点发生三相短路时的短路冲击电流

(1) 验算负荷节点残余电压，判断负荷是否提供短路冲击电流

(2) 选取冲击系数，计算冲击电流：
$$i_{im} = k_{im} \sqrt{2} I'' + k_{im \cdot LD} \sqrt{2} I''_{LD}$$

6-2 起始次暂态电流和冲击电流的实用计算

算例： f 点发生三相短路时的短路计算

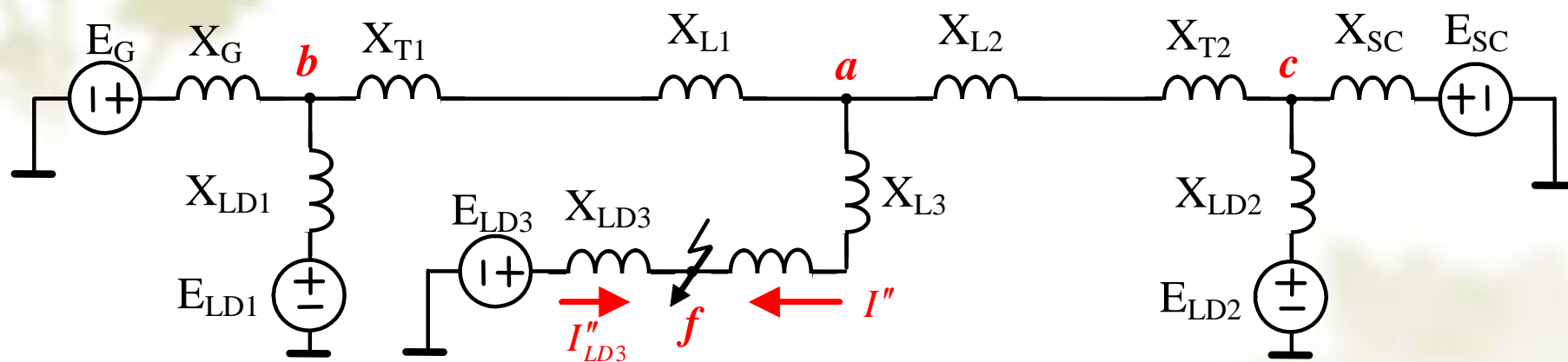


异步电动机负荷冲击系数选取原则

综合负荷	200kW~500kW	500kW~1000kW	>1000kW
$k_{im \bullet LD} = 1.0$	$k_{im \bullet LD} = 1.3 \sim 1.5$	$k_{im \bullet LD} = 1.5 \sim 1.7$	$k_{im \bullet LD} = 1.7 \sim 1.8$

6-2 起始次暂态电流和冲击电流的实用计算

算例： f 点发生三相短路时的短路计算



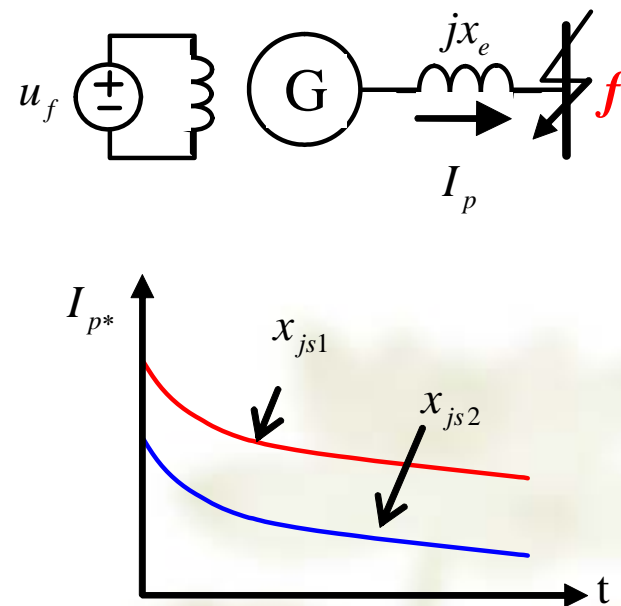
同步发电机、同步调相机、同步电动机冲击系数选取原则

机端短路	发电厂高压母线	其他地点
$k_{im} = 1.9$	$k_{im} = 1.85$	$k_{im} = 1.8$

6-3 短路电流计算曲线及其应用

1. 计算曲线的概念——求短路后指定时刻短路电流周期分量

$$I_{p \cdot d} = \frac{E_{q[0]}}{x_d} + \left(\frac{E'_{q[0]}}{x'_d} - \frac{E_{q[0]}}{x_d} \right) \exp\left(-\frac{t}{T'_d}\right) + \left(\frac{E''_{q0}}{x''_d} - \frac{E'_{q[0]}}{x'_d} \right) \exp\left(-\frac{t}{T''_d}\right) + \frac{x_{ad} \Delta u_{fm}}{x_d r_f} F(t)$$
$$I_{p \cdot q} = -\frac{E''_{d0}}{x''_q} \exp\left(-\frac{t}{T''_q}\right)$$



给定发电机参数和初始状态时：

$$I_{p*} = \sqrt{I_{p \cdot d}^2 + I_{p \cdot q}^2} = f(x''_d + x_e, t) = f(x_{js}, t)$$

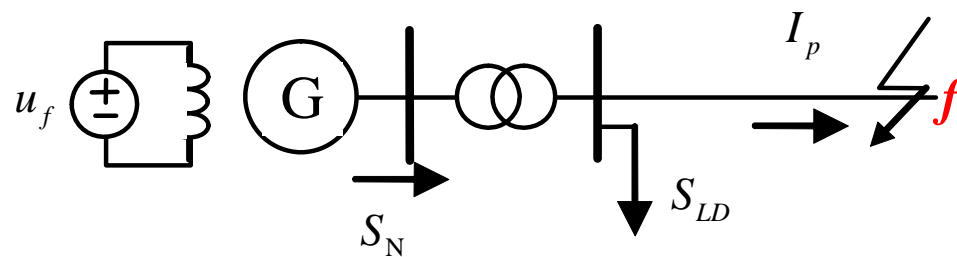
$x_{js} = x''_d + x_e$ — 计算电抗

标么值基值： $S_B = S_{GN}, V_B = V_{av}$

反映该函数关系的一组曲线称为计算曲线

6-3 短路电流计算曲线及其应用

2. 计算曲线的制作



20世纪80年代根据电力系统实际绘制的计算曲线，采用右图典型接线。

(1) 短路前发电机额定满载运行；

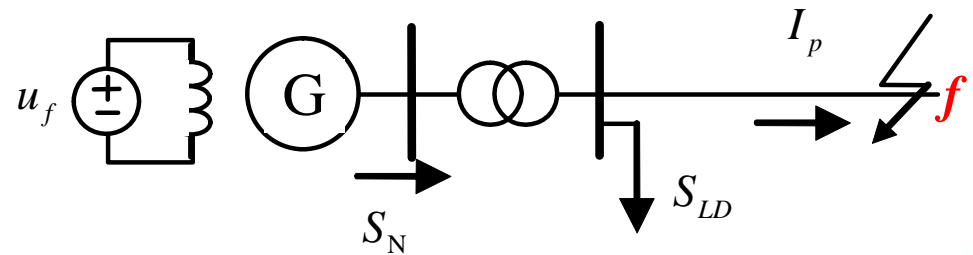
(2) 50% 负荷接于发电厂高压母线，其余功率外送； $S_{LD} = 0.5S_N$

(3) 短路过程中负荷采用恒定阻抗； $z_{LD} = \frac{V^2}{S_{LD}}(\cos \varphi + j \sin \varphi)$, $V = 1$, $\cos \varphi = 0.9$

(4) 发电机强励顶值为额定运行状态下的励磁电压的1.8倍，励磁系统等值时间常数 T_e 取0.25s（汽轮机）或0.02s（水轮机）；

6-3 短路电流计算曲线及其应用

2. 计算曲线的制作



(5) 选取额定功率从12MW—200MW共18种型号汽轮发电机

计算 $I_{p*} = f(x_{js}, t)$, 取算术平均值, 作为在给定 x_{js} 、 t 下汽轮发电机的短路周期电流值, 并绘制计算曲线;

(6) 选取额定功率从12.5MW—225MW共17种型号水轮发电机

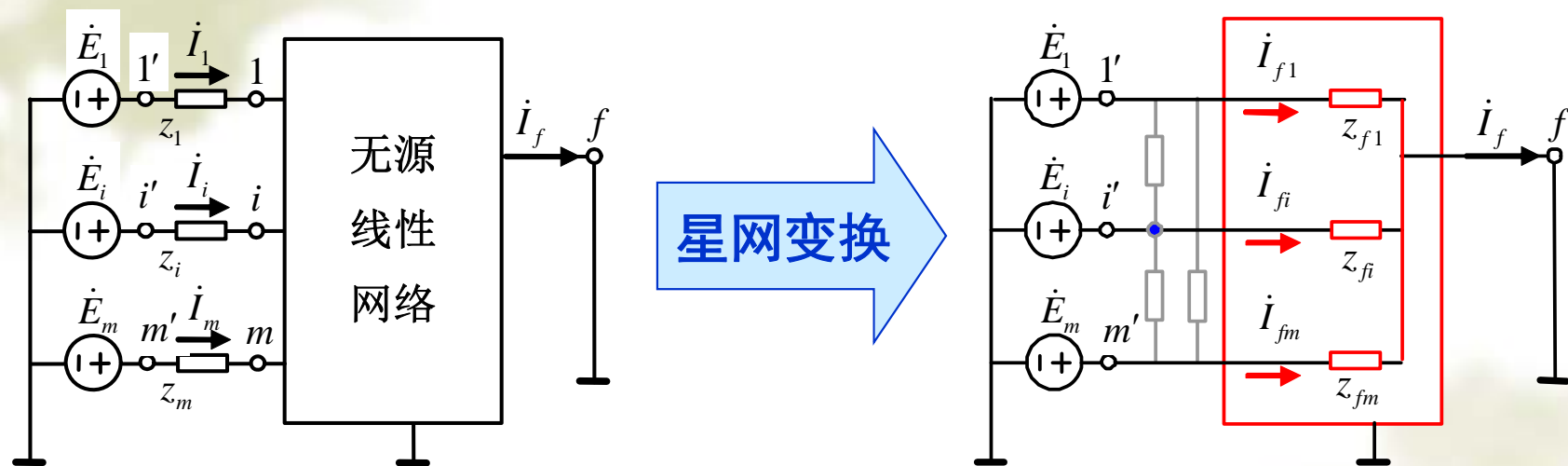
计算 $I_{p*} = f(x_{js}, t)$, 取算术平均值, 作为在给定 x_{js} 、 t 下水轮发电机的短路周期电流值, 并绘制计算曲线;

(7) 当 $x_{js} \geq 3.45$ 时, 近似认为短路周期电流幅值不随时间变化,

短路电流直接计算 $I_{p*} = 1/x_{js}$

6-3 短路电流计算曲线及其应用

3. 计算曲线的应用——计算指定时刻短路周期电流



主要思路:

1. 系统所有发电机表示为等值电势源，绘制等值电路；
2. 星网变换，各电势源节点与短路点之间构成星形电路；
3. 对星形网络的每个发电机电势源支路应用计算曲线；

6-3 短路电流计算曲线及其应用

3. 计算曲线的应用——计算步骤

1. 绘制等值电路

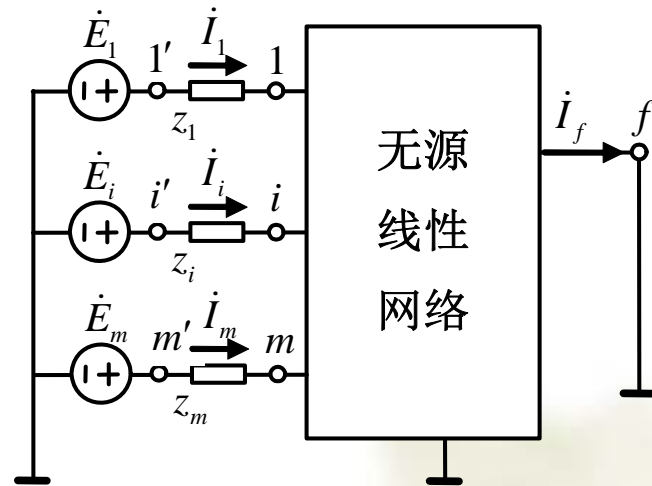
(1) 选取基准功率 S_B 和基准电压 $V_B = V_{av}$

(2) 发电机表示为等值电势源支路，并作适当简化合并；

(3) 略去网络各元件电阻、输电线路电容和变压器励磁支路；

(4) 无限大功率电源内阻抗为零；

(5) 略去负荷。



6-3 短路电流计算曲线及其应用

3. 计算曲线的应用——计算步骤

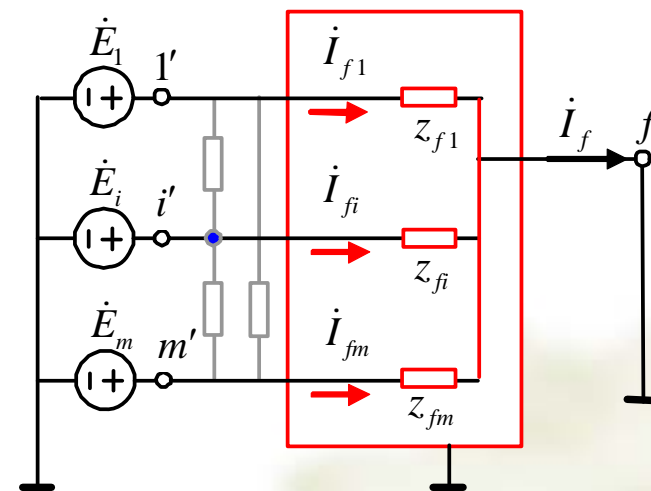
2. 星网变换

(1) 计算等值发电机对短路点的转移阻抗

抗 $x_{fi} (i=1, 2, \dots, g)$;

(2) 计算无限大功率电源对短路点的转移阻抗

抗 x_{fs} ;



3. 对每个发电机支路应用计算曲线

(1) 各发电机对短路点的计算电抗: $x_{jsi} = x_{fi} \frac{S_{Ni}}{S_B} \quad (i=1, 2, \dots, g)$

$$I_{p*} = f(x_{js}, t), \quad x_{js} = x_d'' + x_e \text{ — 计算电抗, 标么值} \quad S_B = S_{GN}, V_B = V_{av}$$

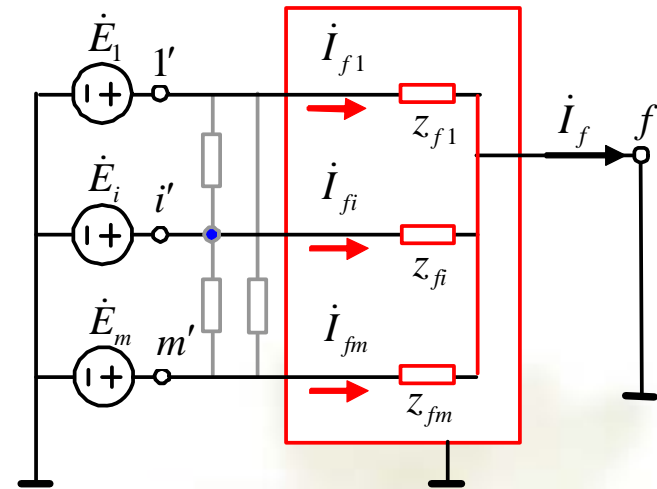
6-3 短路电流计算曲线及其应用

3. 计算曲线的应用——计算步骤

3. 对每个发电机支路应用计算曲线

(2) 由 (x_{jsi}, t) 查计算曲线得到相应的 $I_{pt-i}^{(*)}$;

(3) 无限大功率电源提供短路电流: $I_{pS}^{(*)} = \frac{1}{x_{fS}}$



4. 计算短路电流有名值

(1) 第i台等值发电机提供的短路电流: $I_{pt-i} = I_{pt-i}^{(*)} I_{Ni} = I_{pt-i}^{(*)} \frac{S_{Ni}}{\sqrt{3}V_{av}}$

(2) 无限大功率电源提供短路电流: $I_{pS} = I_{pS}^{(*)} I_{Bi} = I_{pS}^{(*)} \frac{S_B}{\sqrt{3}V_{av}}$

6-4 短路电流周期分量的近似计算

1. 近似简化处理方法

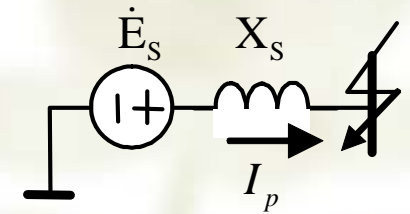
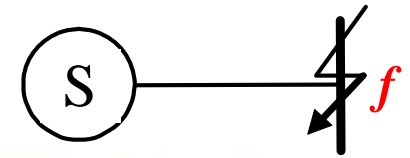
- ❖ 系统电势源恒定：短路电流周期分量幅值不衰减；
- ❖ 选取 S_B , $V_B = V_{av}$
- ❖ 忽略负荷的影响： $E_{S^*} = 1.0$;

$$I_{p^*} = E_{S^*} / X_{S^*} = 1 / X_{S^*}$$

$$\text{有名值: } I_p = I_{p^*} I_B$$

$$\text{短路功率: } S = \sqrt{3} V_{av} I_p = \sqrt{3} V_{av} I_{p^*} I_B = S_B I_{p^*}$$

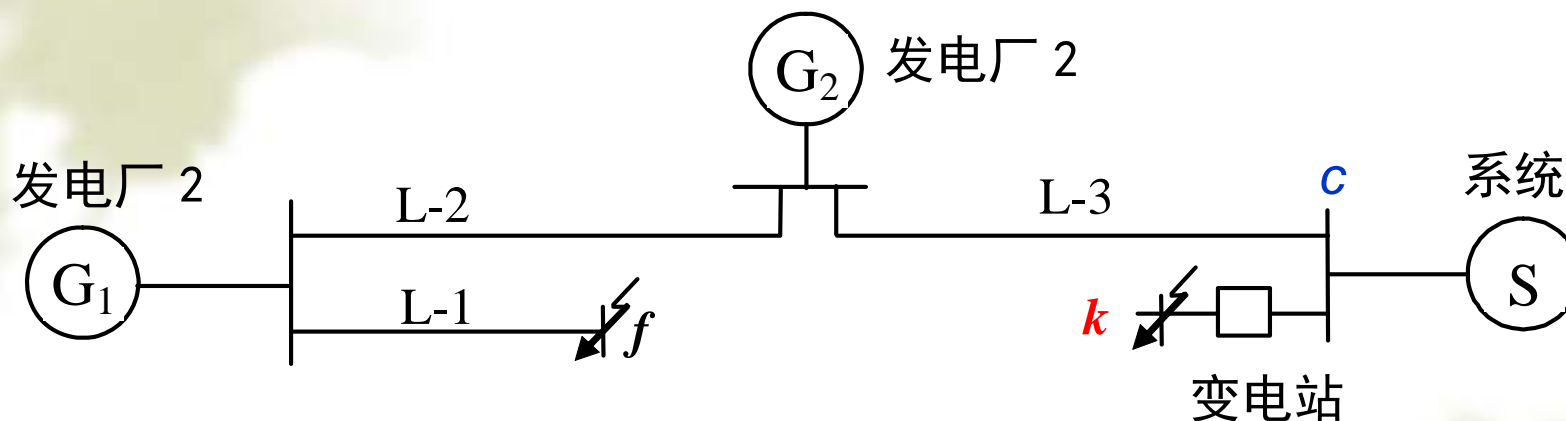
$$\text{短路功率标么值: } S_* = S / S_B = I_{p^*} = 1 / X_{S^*}$$



计算出的短路电流要比实际大些；该方法可对短路电流最大可能值作出近似估计。

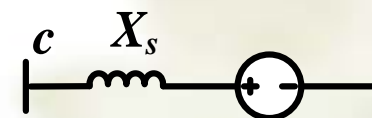
6-4 短路电流周期分量的近似计算

2. 根据短路容量估算未知系统内电抗 X_S



Case: 母线C右侧系统的相关数据未知。

方法: 母线C右侧系统视为无限大功率电源经一定电抗 X_S 接入C点。

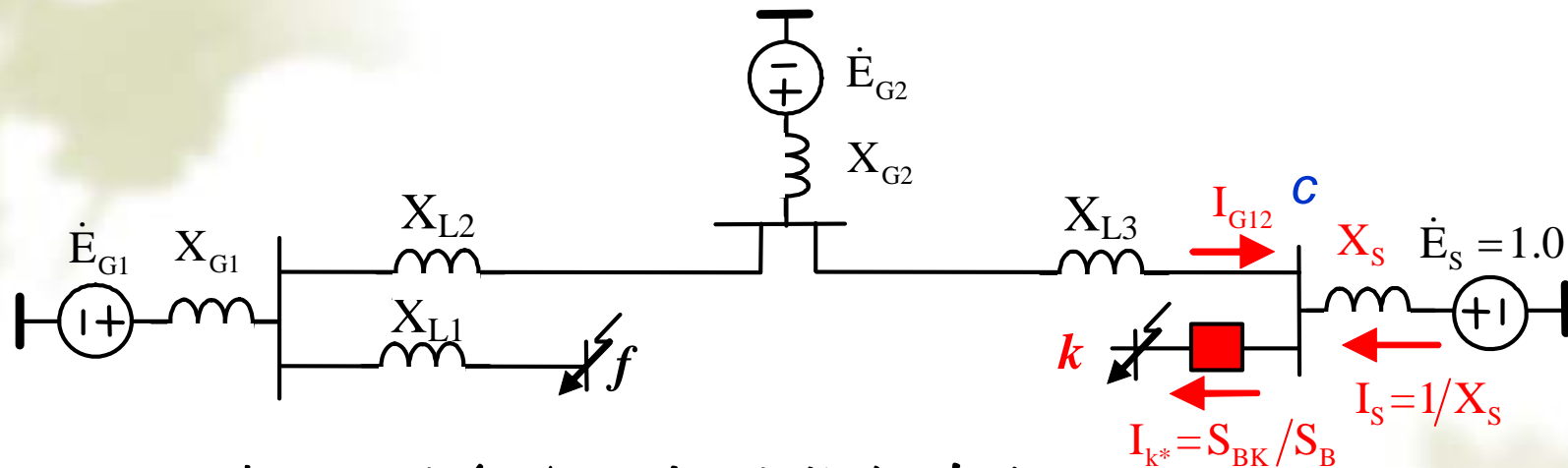


➤ 如果母线C发生三相短路, 右侧系统提供的短路电流 I_S 或短路功率 S_S 已知, 则可以推算出电抗 X_S :

$$X_{S^*} = I_B / I_S = S_B / S_S$$

6-4 短路电流周期分量的近似计算

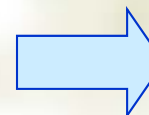
2. 根据短路容量估算未知系统内电抗 X_S



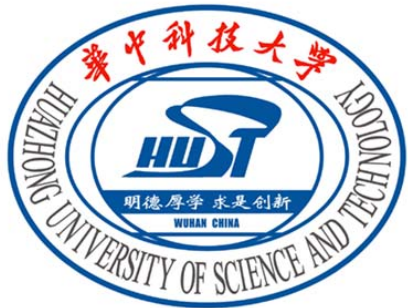
Case: 母线c右侧系统的相关数据未知。

➤ 如果右侧系统短路电流数值未知，可根据与该部分系统连接的变电所装设的断路器容量得到极限利用的条件来近似的算出电抗 X_S ：

$$\text{短路功率标么值: } S_* = S_{BK} / S_B = I_{k^*}$$



$$X_{S^*} = S_B / S_{S^*} = 1 / I_{S^*}$$



华中科技大学

Huazhong University of
Science and Technology

本章小结

本章着重讨论了短路电流周期分量计算的原理和方法，介绍了基于节点阻抗矩阵的算法和利用转移阻抗的算法。它们对于简单系统和复杂系统都适用。

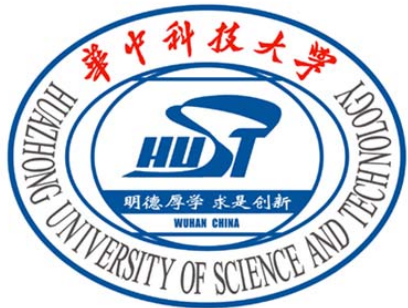


华中科技大学

Huazhong University of
Science and Technology

本章小结

- ❖ 短路计算中各元件的模型；
- ❖ 利用 Z 阵计算短路电流的方法和计算流程；
- ❖ 节点间转移阻抗的概念；
- ❖ 起始次暂态电流的概念和计算；
- ❖ 短路冲击电流的计算，负荷提供冲击电流与否的校验和冲击系数的确定；
- ❖ 短路电流计算曲线的概念和作用；
- ❖ 利用短路容量估算未知系统电抗。



华中科技大学

Huazhong University of
Science and Technology

习题

Ex 6-5(f_2), 6-7, 6-9, 6-11



华中科技大学

Huazhong University of
Science and Technology

附录

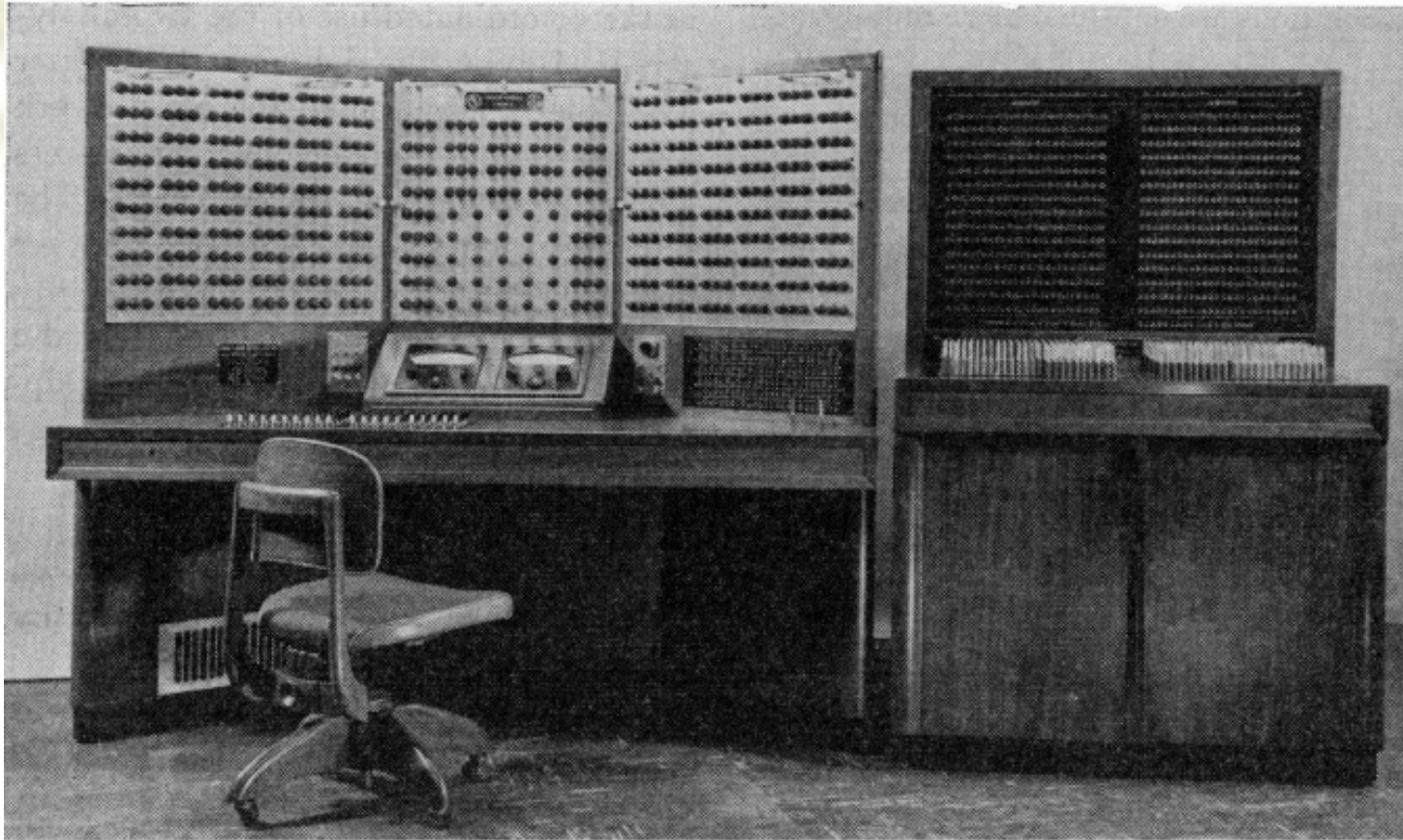


Fig. 1. One section of d-c network analyzer showing master console and connection unit



华中科技大学

Huazhong University of
Science and Technology



To Be Continued