

高等学校教学参考书

# 电力系统中性点接地问题

赵智大 编



中国工业出版社



統一書號：  
K15165·4038(水电-531)

定 价：0.46 元



高等学校教学参考书

# 电力系统中性点接地问题

赵智大 编

中国工业出版社

本书論述电力系統的中性点接地問題。书中首先对各种中性点接地方式作一般性的介紹，然后分章詳細探討三种最常用的中性点接地方式（不接地、經消弧綫圈接地和有效接地）的运行特性，并将各种接地方式作了綜合比較，說明了中性点接地方式的选择原則，最后还介紹了发电机的中性点接地問題。

本书系高等工业学校“发电厂、电力网及电力系統”专业高年級学生在学习“电力系統专题”或有关課程时的教学参考书，对从事电力系統設計、运行和試驗研究的工程技术人员也有参考价值。

## 电力系統中性点接地問題

赵智大編

\*

水利电力部办公厅图书編輯部編輯（北京阜外月坛南营房）

中国工业出版社出版（北京佟麟阁路丙10号）

北京市书刊出版业营业许可证出字第110号

中国工业出版社第一印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·各地新华书店經售

\*

开本 $787 \times 1092^{1/32}$ ·印张 $4^{1/4}$ ·字数91,000

1965年8月北京第一版·1965年8月北京第一次印刷

印数0001—6,720·定价(科五)0.46元

\*

統一书号：K15165·4038(水电-531)

## 序

中性点接地问题是电力工业中最典型的综合性科学技术课题之一，它对于电力系统的設計、运行和发展都有多方面的重大影响。

在高等工业学校“发电厂电力网及电力系统”专业的若干专业课程中（例如发电厂电气部分，电力网及电力系统，电力系统继电保护，高电压技术，电力系统机电暂态过程等），分别从不同的角度对系统中性点接地问题进行了分析与探討，但是学生在学完这些课程以后，往往感到这个问题头绪纷繁，未能形成一个综合性的整体概念，因而影响到切实掌握这方面的知識。

为此，我們曾尝试在“电力系统专题”一課中列入这方面的内容，本书就是在編者讲授这一部分内容时所用讲稿的基础上編写成的。

有关中性点接地问题的参考资料浩如瀚海，但大多散见于各种期刊之中，专门探討中性点接地问题的論著，在国内外均不多見。R. Willheim与M. Waters合写的“高压输电系统的中性点接地”一书可謂这方面頗具代表性的专著，内容甚为丰富詳尽，但失之过于繁瑣，也欠实用；Ф.А.Лихачев所著的“消弧設備的选择、装設和运行”一书虽很实用，但内容局限于补偿电网的情况，因而編写这样一本教材是十分必要的。

本书主要是作为教学参考书而編写的，为了同可能的教

## IV

学时数相适应，贯彻“少而精”的原则，并尽可能避免同有关课程的内容发生不必要的重复，因而决定在本书中不包括更多的具体细节，而着重于进行综合论述和全面比较，以便使读者在掌握本书的内容以后，能够对电力系统的中性点接地问题形成一个比较有系统的整体概念。

由于系统中性点接地问题所涉及的知识面较广，而编者学识寡陋，编写时间也较仓促，疏漏谬误在所难免，深望读者不吝指教，以期在今后得以订正与提高。

編 者 1964年12月于浙江大学

# 目 录

序

|                                   |    |
|-----------------------------------|----|
| 緒論 .....                          | 1  |
| 第一章 電力系統中性點的各種接地方式概述 .....        | 4  |
| 1-1. 中性點不接地（絕緣）系統 .....           | 5  |
| 1-2. 中性點經電阻接地的系統 .....            | 7  |
| 1-3. 中性點直接接地的系統和有效接地系統 .....      | 8  |
| 1-4. 中性點經電抗接地的系統 .....            | 9  |
| 1-5. 中性點經消弧線圈接地的系統 .....          | 11 |
| 第二章 中性點不接地（絕緣）系統 .....            | 14 |
| 2-1. 概述 .....                     | 14 |
| 2-2. 中性點不接地系統正常运行時的中性點位移 .....    | 15 |
| 2-3. 中性點不接地系統中的單相接地故障 .....       | 22 |
| 2-4. 電網的電容電流 .....                | 25 |
| 第三章 中性點經消弧線圈接地系統 .....            | 30 |
| 3-1. 消弧線圈概述 .....                 | 30 |
| 3-2. 補償電網正常运行時的中性點位移 .....        | 38 |
| 3-3. 補償電網在各種故障情況下的中性點位移 .....     | 44 |
| 3-4. 過補償與欠補償運行特性的比較 .....         | 57 |
| 3-5. 補償電網中接地電弧的熄滅和應用消弧線圈的限制 ..... | 61 |
| 3-6. 消弧線圈的選擇、配置與運行 .....          | 68 |
| 3-7. 消弧線圈在長線上的運行 .....            | 74 |
| 第四章 中性點有效接地系統 .....               | 77 |
| 4-1. 概述 .....                     | 77 |
| 4-2. 有效接地系統的基本運行特性 .....          | 80 |



## VI

|      |                                     |     |
|------|-------------------------------------|-----|
| 4-3. | 中性点接地程度对动态电压升高的影响 .....             | 86  |
| 第五章  | 各种中性点接地方式的綜合比較和中性点<br>接地方式的选择 ..... | 92  |
| 5-1. | 各种中性点接地方式的綜合比較 .....                | 92  |
| 5-2. | 系統中性点接地方式的选择 .....                  | 106 |
| 第六章  | 发电机的中性点接地問題 .....                   | 111 |
| 附录一  | 有关线路換位的計算 .....                     | 121 |
| 附录二  | 选择补偿电网調諧值的算例 .....                  | 125 |



## 緒 論

解放以來，我國的電力工業有了很大的發展，已經形成一些具有多種額定電壓等級的大型電力系統。為了保證整個系統及其各個組成部分的安全經濟運行，就必須正確地解決系統的中性點接地問題。

電力系統的中性點接地是一種工作接地，它保證了系統在正常及故障情況下具有適當的運行條件，保證了電力設備絕緣所需的工作條件，和繼電自動裝置及過電壓保護裝置的正確動作。

中性點接地問題是一個涉及電力系統許多方面的綜合性技術課題，它對於電力系統的設計與運行均有多方面的影響。在選擇中性點接地方式時必須考慮一系列因素，其中最主要的是：

- ( 1 ) 供電可靠性與故障範圍；
- ( 2 ) 內部過電壓的倍數；
- ( 3 ) 大氣過電壓的防護（避雷器的工作條件與保護特性）；
- ( 4 ) 電力系統的絕緣水平與絕緣配合；
- ( 5 ) 繼電保護的要求；
- ( 6 ) 對通訊與信號系統的干擾影響；
- ( 7 ) 系統穩定的要求；
- ( 8 ) 斷路器的工作條件（對斷路容量的影響等）。

從發展的歷史來看，在電力系統發展的初期，絕大多數

系統都是以中性点不接地（絕緣）的方式运行的。这一情况可以說是很自然的，因为把中性点和地联接起来对于传输电力并无作用，而不接地却有一个很大的好处，即单相絕緣故障可容許存在一段相当长的時間，以便找到故障修复故障；由于当时大多数线路都是单回路的，因而减少停电次数是必須着重考虑的首要因素。另一个重要原因是，当时实际上还没有什么继电保护装置，因而中性点不接地运行可以免除許多长期停电事故。

以后，随着系統的扩大、线路长度的增加和額定电压的提高，中性点不接地运行的缺点显得严重起来。电容电流的增大，使愈来愈多的瞬时接地故障不能自动消除，而断續电弧接地会在系統中引起很高的过电压，絕緣遭到严重的威胁。再加上当时的輸电线大多不装避雷线，线路絕緣常常在雷击所造成的大气过电压作用下发生閃絡，因而系統中頻繁地出現断續电弧接地过电压所造成的絕緣损坏事故。

到1920年左右，为了解决这个問題，当时两个电力工业比較发达的国家（德国与美国）选择了两条不同的途径：德国及其他西欧国家改用中性点經消弧线圈接地，而美国的大多数系統則改用中性点直接接地或經小电阻接地。这一情况，对于美国和西欧各国的电力系統在此后一段很长时期內的发展，起了深远的影响。

近20余年来，由于运行經驗日益丰富，情况已逐步有所改变，有愈来愈多的西欧国家的高压系統开始采用直接接地的方式，而消弧线圈在美国也被日益广泛地应用。

本书将在对各种中性点接地方式作一般性的介紹之后，分章詳細探討目前实际采用最多的三种接地方式，即不接地、經消弧线圈接地和直接接地。鉴于消弧线圈的重要性的

补偿电网运行的复杂性，在本书中对这种接地方式作了較多的闡述。在分章討論上述三种接地方式的基础上，在第五章中，从各个方面将各种接地方式加以綜合比較，并从而得出中性点接地方式的选择原則。由于发电机的中性点接地問題有其特殊的条件与要求，所以在第六章中单独进行介紹。

應該說明，为了避免不必要的重复和尽可能压縮本书的篇幅，編者删除了某些有关的内容。例如，不同接地方式电网中各种內部过电压的发展机制，一般均放在“高电压技术”課程中讲解；小接地电流系統的接地保护問題，在“电力系统继电保护”課程中也已有过詳尽的介紹，因而本书就不再作具体分析了。

# 第一章 電力系統中性點的各種 接地方式概述

電力系統和電力設備的中性點接地方式有：不接地（絕緣）、經電阻接地、經電抗接地、經消弧線圈接地（共振接地）、直接接地等幾種。

就主要運行特征而言，可將各種接地方式歸納為兩大類：一類是所謂大接地電流系統或有效接地系統，包括中性點直接接地與經小阻抗接地；另一類是所謂小接地電流系統，包括中性點不接地與經消弧線圈接地，以及那些中性點經大阻抗接地、因而接地電流被限制到較小數值的系統。但是，阻抗或接地電流的大小顯然是相對的，因而需要用一个確切的指標來加以表示。目前通用的是以系統的零序電抗 $x_0$ 和正序電抗 $x_1$ 的比值 $\frac{x_0}{x_1}$ ，作為劃分的標準。我國規定，

凡是 $\frac{x_0}{x_1} \leq 4 \sim 5$ 的系統屬於大接地電流系統， $\frac{x_0}{x_1} > 4 \sim 5$ 的系統則屬於小接地電流系統；也有些國家（例如美國與某些西歐國家）規定， $\frac{x_0}{x_1} > 3.0$ 的系統為小接地電流系統。大、小接地電流系統之間的運行特征是差別很大的，而同一類系統各種接地方式之間則差別不大。

為了後面分析的方便，在本章中先對各種中性點接地方式的主要運行特征，作一般性的介紹。

### 1-1. 中性点不接地（絕緣）系統

如果電力系統的中性點不接地（對地絕緣），則它的對地電位就不會是固定的，而可能等於各種數值。

假如電力系統中的各個元件都沒有對地電容，那麼在中性點不接地系統中，單相接地電流將等於零。但是實際上輸電線路的導線和電機電器的導電部分，各相對地和各相之間都存在着分布電容。這些電容將引起附加電流，在正常運行時，附加電流和負荷電流一起在各相之間流動，而在發生單相接地故障時，附加電流還將流過大地。

正常負荷電流和接地電流，在導線和繞組中所引起的壓降是很小的，一般可忽略不計，因而各條線路或整個電網的分布電容就可以用集中電容來代替，圖1-1(a)就是一個簡單的中性點不接地系統的等效電路，其中相間電容對於系統的接地特性影響很小，一般亦可不予考慮。

當線路經過完善的換位時，各相導線的對地電容是相等的，因而平衡三相電壓作用在電網上的時候，各相電容上流過的電流將相等，並彼此相差 $120^\circ$ ，所以，每一支路上的電壓也必然相等並彼此相差 $120^\circ$ 。這樣一來，變壓器的中性點和電容組的中性點之間就不會有電位差，而電容組的中性點是接地的，所以變壓器的中性點亦具有地的電位。

如果線路不換位或換位不善，特別是在導線垂直排列的情況下，變壓器的中性點在正常運行時也會具有某一對地電位。

當一相（例如  $a$  相）發生接地故障時，這一相的對地電容上就不再有利電流流過，該相的對地電位變為零，而另外兩相的對地電位將升高到線電壓，它們之間的相位也不再是相



差 $120^\circ$ ，而是相差 $60^\circ$ 了（图1-2）。

中性点不接地系统中发生一相接地时，流过故障点的接

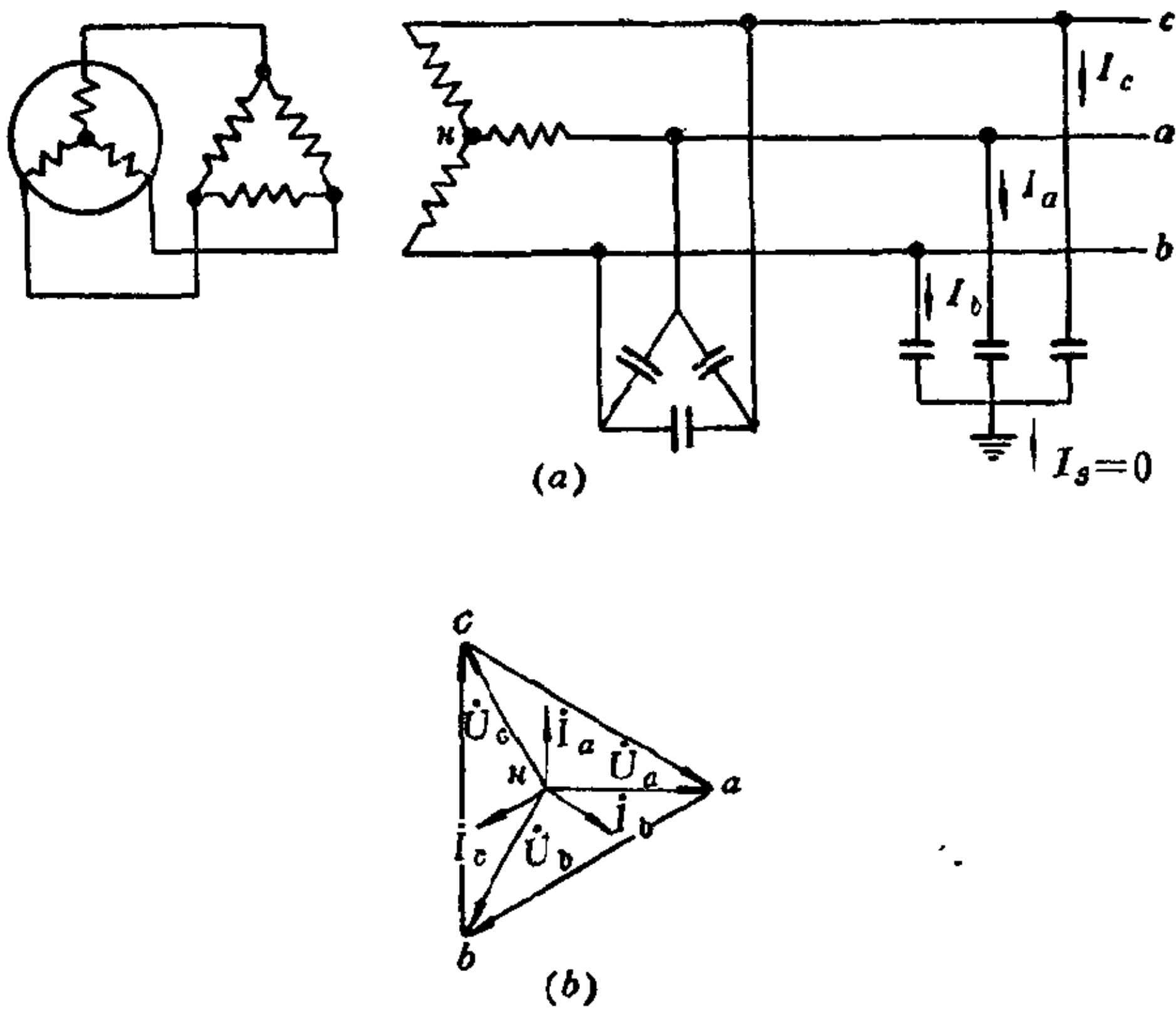


图 1-1 简单的中性点不接地系统的等效电路 (a) 和正常运行时的矢量图 (b)

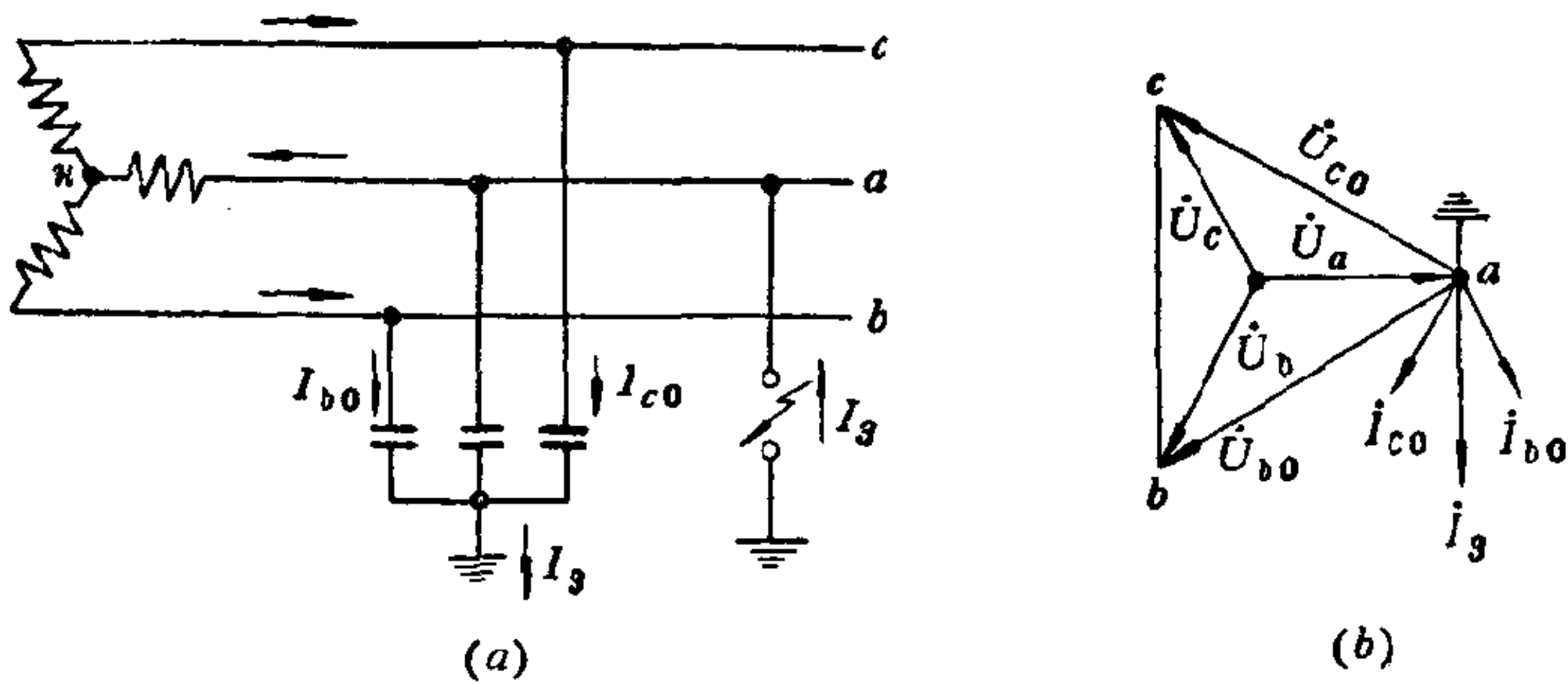


图 1-2 中性点不接地系统中发生单相接地故障

地电流主要是电容电流。当线路不太长时，接地电流的数值很小，不至于形成稳定的接地电弧，一般均能迅速自动熄灭。所以中性点不接地系统的首要优点就在于，它能自动清除单相接地故障，而无需跳闸。不过当线路长度很大时，电容电流也相当大，上述特性将起变化，接地电弧不能自动熄灭，上述优点也就没有了。在线路长度不大的情况下，不接地系统是各种中性点接地方式中跳闸次数最少的一种，因而在单回路辐射型供电系统中，它能较好地为用户服务。

中性点不接地系统的主要缺点是，最大长期工作电压与过电压均较高，特别是存在电弧接地过电压的危险，过电压保护装置的费用较大、效果较差，整个系统的绝缘水平因而也较高；此外，实现灵敏而有选择性的接地保护实际上也比较困难。

### 1-2. 中性点经电阻接地的系统

中性点经电阻接地，可以直接消除上述不接地系统的两个严重缺点，使灵敏而有选择性的接地保护得以实现，并能减小电弧接地过电压的危险性。

另一方面，由于这种系统的接地电流要比直接接地系统小得多，所以对邻近通讯系统的感应干扰也就较弱。在某些场合下，这一优点在实际上也是相当重要的。

由于接地电阻器的欧姆值通常要比装电阻器处的系统电抗值大得多，所以接地故障电流主要受电阻器的限制，使它的数值远小于三相短路电流；从另一方面来看，也需要把电阻器的欧姆值取得大一些，以免电阻器中的功率损耗太大。由于这种系统的中性点在发生接地故障时的位移度很大，所以这种系统中的变压器不能采用分级绝缘（即中性点亦需采

用全絕緣)，所用的避雷器也必須是全電壓的（即適用於小接地電流系統的那種避雷器）。

除了某些個別情況（例如高壓線路很長，或系統中有很多電纜線路）以外，經電阻接地系統中的電容電流，通常都要比接地電流中的有功分量小得多，因而可以忽略。

接地電阻器實際的歐姆值，在很大的範圍內變化，它取決於線路電壓和系統容量。但是應該指出，這裡所說的經電阻接地系統，並不包括那些為了改善系統穩定而使中性點經小電阻接地的超高壓系統，後者系屬於下面就要介紹的“有效接地系統”的範疇。

經電阻接地系統的主要缺點是：（1）同小接地電流系統相似，它也要求有較高的絕緣水平；（2）同大接地電流系統一樣，在發生單相接地故障時，必須開斷線路；（3）電阻器的製造相當困難（功率損耗使電阻發熱，嚴重影響其機械強度），化在接地方面的投資也較大。

這種中間狀態的中性點接地方式，在早年曾流行一時，但目前在高壓電力系統中已很少採用，因為在某種程度上，它幾乎同時具有直接接地、不接地和經消弧線圈接地三種方式的主要缺點。

### 1-3. 中性點直接接地的系統和有效接地系統

從經濟觀點來看，中性點直接接地是一種投資最少的接地方式，其主要原因如下：（1）可以採用保護特性較好的閘型避雷器，因而設備的絕緣水平可取得低一些；（2）不需要任何附加的接地設備（例如電阻器、電抗器、消弧線圈等）；（3）在電壓為110千伏以上的系統中，這種接地方式容許採用分級絕緣的電力變壓器。

在这种系统中，一切故障（包括单相接地）都将引起断路器的跳闸，而且单相接地电流很大，有时会超过三相短路电流，因而要影响到断路器遮断能力的选择。此外，接地短路电流过大有时还会严重地烧坏导体和妨碍通讯系统的工作。

采用现代化的继电保护装置和快速动作的断路器，能够使上述大接地电流所产生的某些不利影响受到一定的限制，但仍应保证使断路器的遮断能力取决于三相短路时的要求。如单相接地电流过大，可以在中性点接入一只电感不大的电抗器来加以限制。只要单相接地电流还没有被限制到显著小于三相短路电流的数值，这个系统仍然可以和“直接接地系统”属于同一范畴。

应该指出，目前相当流行的“直接接地系统”一词的定义，是不大明确的。如所周知，最彻底的接地方式，应该是系统中全部变压器（包括升压的和降压的）的中性点都直接接地，但实际的情况往往是只有一部分变压器的中性点是直接接地的，其余的中性点则不接地；此外，象上面提到的经小电阻或小电抗接地的系统显然和直接接地系统属于同一类型，但如统称为“中性点直接接地系统”未免有些含糊，而采用“有效接地系统”的名称就比较合适。可以认为，直接接地系统是有效接地系统中的一种，而且是最常见的一种。

有效接地系统的运行特征，将在第四章再作专门的介绍，此处从略。

#### 1-4. 中性点经电抗接地的系统

中性点经电抗接地的主要目的是减小单相接地电流。经电抗接地是处于直接接地和经消弧线圈接地之间的一种中间