

# 基于案例驱动的线上线下相混合教学模式探索与实践——以“电力系统暂态分析”为例

张威<sup>1</sup>, 王丛佼<sup>1</sup>, 迟长春<sup>1</sup>, 孙兵<sup>2</sup>

<sup>1</sup>上海电机学院电气工程系, 上海

<sup>2</sup>上海海事大学物流工程学院, 上海

收稿日期: 2023年3月29日; 录用日期: 2023年6月5日; 发布日期: 2023年6月14日

## 摘要

针对“电力系统暂态分析”教学过程存在理论性强和教学方式单一的问题, 教学团队探索基于案例驱动的线上线下相混合教学模式。教学过程中, 以典型案例为知识载体, 激发学生的学习兴趣; 充分发挥线上优质教学资源优势, 丰富教学方法; 线下教学中以问题为导向, 发挥教师和学生主体地位, 培养学生的创造性思维, 提高学生解决复杂工程问题的能力。

## 关键词

案例驱动教学, 线上线下相混合, 教学实践, 电力系统暂态分析

## Exploration and Practice on Case-Driven Online and Offline Hybrid Teaching Mode: Taking “Power System Transient Analysis” as an Example

Wei Zhang<sup>1</sup>, Congjiao Wang<sup>1</sup>, Changchun Chi<sup>1</sup>, Bing Sun<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Department of Electrical Engineer, Shanghai Dianji University, Shanghai

<sup>2</sup>Logistics Engineering College, Shanghai Maritime University, Shanghai

Received: Mar. 29<sup>th</sup>, 2023; accepted: Jun. 5<sup>th</sup>, 2023; published: Jun. 14<sup>th</sup>, 2023

## Abstract

In response to the problems of strong theoretical nature and single teaching methods in the

文章引用: 张威, 王丛佼, 迟长春, 孙兵. 基于案例驱动的线上线下相混合教学模式探索与实践——以“电力系统暂态分析”为例[J]. 创新教育研究, 2023, 11(6): 1344-1349. DOI: 10.12677/ces.2023.116205

teaching process of “Power System Transient Analysis”, the teaching team explored a case-driven online and offline blended teaching mode. In the teaching process, typical cases were used as knowledge carriers to stimulate students’ learning interests; the advantages of high-quality online teaching resources were fully utilized to enrich teaching methods; in offline teaching, problems were taken as a guide to give full play to the role of teachers and students, cultivate students’ creative thinking, and improve their ability to solve complex engineering problems.

## Keywords

Case-Driven Teaching, Online and Offline Hybrid Teaching Mode, Practical Teaching, Power System Transient Analysis

Copyright © 2023 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

近年来,各高校基于教育平台打造出了一系列精品课程,提供了丰富优质的线上教学资源,线上教学存在学习体验效果差、师生之间的互动反馈不足、学生的学习效果难以衡量,不利于学生团队协作能力的培养。课程团队,针对《电力系统暂态分析》这门课程传统教学中存在,教学理论性强和教学方式单一的问题,探索基于案例驱动的线上线下相混合教学模式,以充分发挥线上优质教学资源与线下教学的优势,提升学生学习积极性主动性,培养学生创造性思维,引导学生思考问题解决问题。

《电力系统暂态分析》是一门面向电气工程及其自动化专业大学四年级学生的专业选修课,旨在让学生掌握电力系统故障分析知识,培养学生解决复杂工程问题的能力[1]。课程采用案例驱动教学,以典型案例为知识载体,激发学生的主动性、创造性和团队合作能力。该课程还利用线上线下相混合教学,结合在线平台资源和线下问题导向教学,发挥教师和学生的主体地位,突出知识重点和难点。

## 2. 基于案例驱动的线上线下相混合教学模式

案例驱动教学是指在教学过程中,以典型案例为知识的载体,帮助学生学习和理解相关概念和知识[2]。案例驱动教学实施过程中,教师引导学生交流与探讨,提高学生学习的主动性;教学中通过案例教学,提高学生应用专业基础知识解决实际问题的分析能力,有助于提高学生解决复杂工程问题的能力,能够激发学生的创造性;在案例驱动教学中,学生通常需要进行团队合作,有助于培养学生的团队合作能力和沟通能力。线上线下相混合教学是指利用在线教学平台资源的丰富性与灵活性[3],教师和学生可以随时随地进行教学和学习;线下教学中发挥教师的主体地位,以问题为导向,采用案例驱动的教学模式,对知识的重点和难点进行案例讲解与分析。

基于案例驱动的线上线下相混合教学模式实施中,我们推广线上智慧树教学的同时,特别重视基于案例驱动的线下课堂教学作用的发挥,取长补短,充分发挥各自优势,具体方案和步骤如图1所示。

如图1所示,基于案例驱动的线上线下相混合教学模式实践中,强调线上教学中,课前教师发布视频学习任务[4][5]、设计随堂知识点测试以及章节习题,使同学能够按照课程进度登录学习平台自主学习并完成学习任务,教师可以查看学情数据,了解学生对线上学习内容的掌握情况。线下教学中,以案例为载体,以教师为主导,以学生为学习主体,重点讲授知识的重点和难点,通过交流讨论,引导学生运用所学知识对典型案例进行分析,以提高学习效果,培养学生解决复杂工程问题的能力。

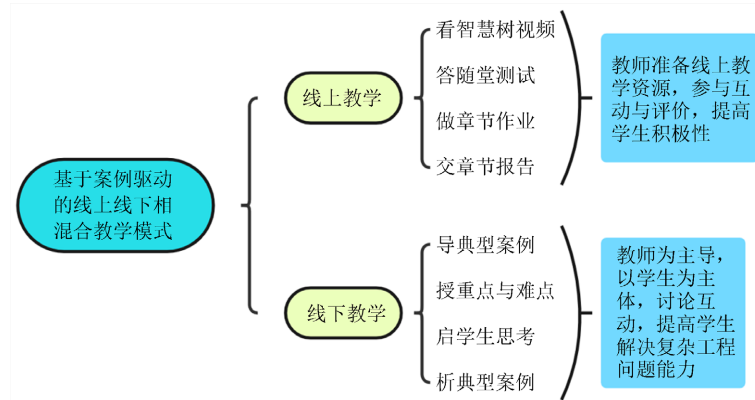


Figure 1. Case-driven online and offline hybrid teaching mode  
图 1. 基于案例驱动的线上线下相混合教学模式

### 3. 基于案例驱动的线上线下相混合教学实践

基于案例驱动的线上线下相混合教学模式实践，我们以“各种不对称短路时故障处的短路电流和电压”这节的教学实施为例进行。线上教学过程中，我们将充分利用智慧树平台上优秀的网络教学资源，课前发布视频学习任务、随堂知识点测试题；教师可在线下教学前通过查看学情数据，了解学生对线上学习内容的掌握情况。线下教学中，以“基于故障录波器的微电网故障特征分析”这一案例为载体，进行线上线下相混合教学模式探索与实践。

针对“各种不对称短路时故障处的短路电流和电压”这节线下教学过程实施和教学方法如图 2 所示。如图 2 所示，该章节的教学过程实施主要包括典型案例导入引出授课内容、讲授知识的重点与难点、通过对典型案例的剖析启发学生思考以及课堂总结三个环节，教学方法主要包括以问题为导向的案例导入，以案例驱动为载体知识重点和难点的讲授，以及最后案例驱动下的总结与反馈。

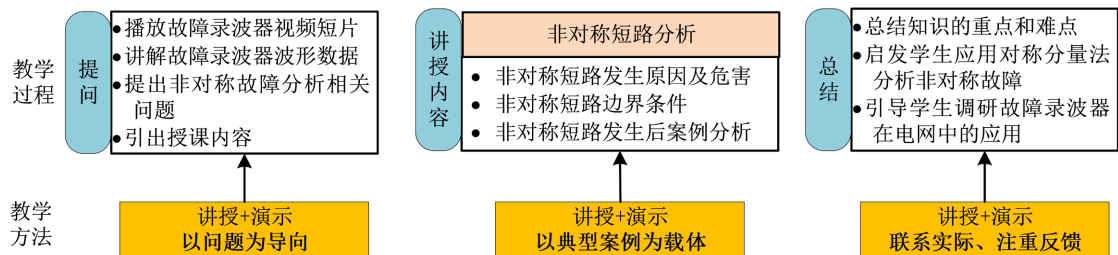


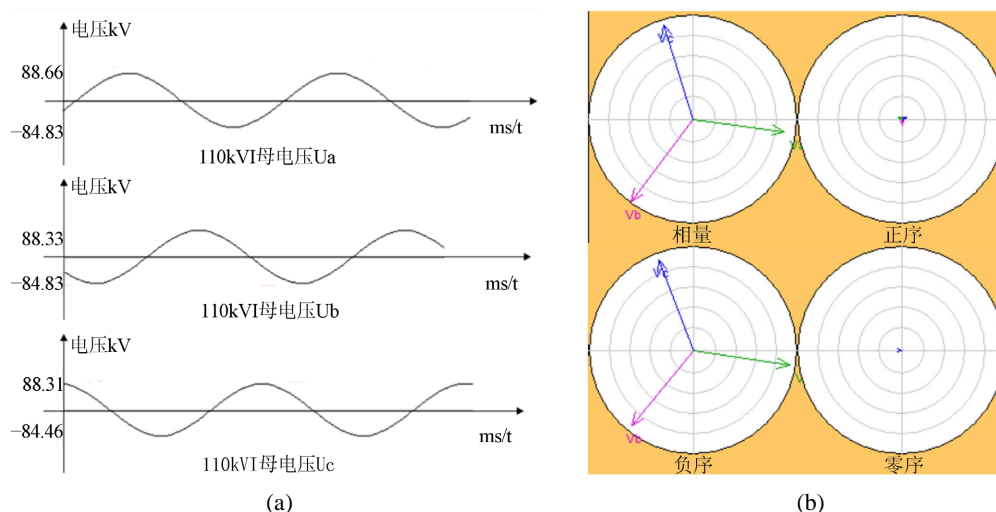
Figure 2. Teaching process and methods  
图 2. 教学过程和教学方法

#### 1) 典型案例问题导入

如图 2 所示的教学实施中，我们将以典型案例 3 基于故障录波器的微电网故障特征分析为载体，教学过程中通过播放故障录波器工作视频短片，引导学生对比分析正常工况和故障工况下故障录波器电压波形及其序分量特征(分别如图 3 和图 4 所示)，使学生对正常工况和故障工况下的电压向量及其序分量有个直观的了解。

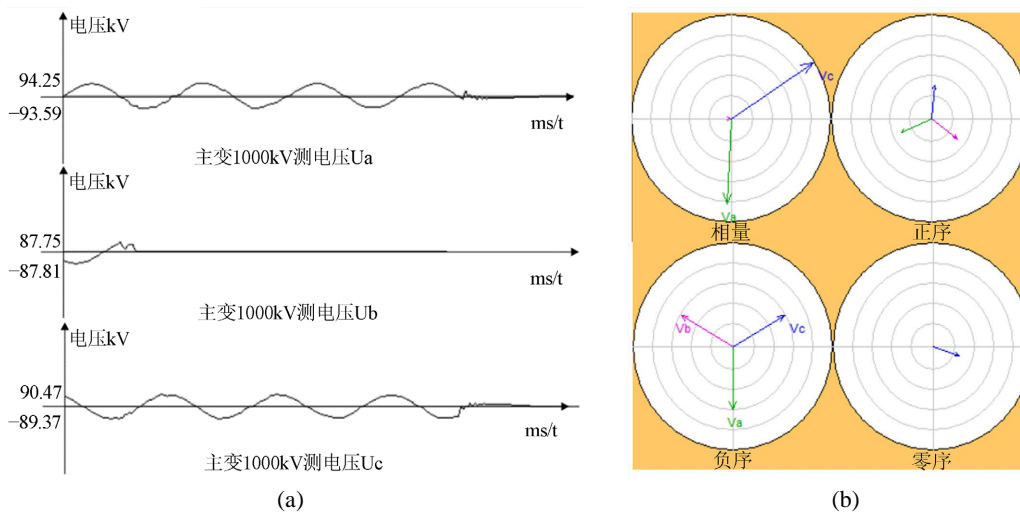
由如图 3 所示正常工况电压波形及其序分量，可知，正常工况下三相电压波形的幅值和频率相等，三相对称相差  $120^\circ$ ， $\dot{U}_a$ 、 $\dot{U}_b$  和  $\dot{U}_c$  的向量三相对称，无正序和零序分量，即  $\dot{U}_{fa} = \dot{U}_{fa(2)}$ ， $\dot{U}_{fb} = \dot{U}_{fb(2)}$ ， $\dot{U}_{fc} = \dot{U}_{fc(2)}$ 。

图4为B相发生短路工况下电压波形及其序分量图,由该图可知,单相短路故障发生后,B相电压降为零( $\dot{U}_b=0$ ), $\dot{U}_a$ 、 $\dot{U}_b$ 和 $\dot{U}_c$ 的向量三相不对称,出现了零序分量,即: $\dot{U}_{fa(0)}=\dot{U}_{fb(0)}=\dot{U}_{fc(0)}\neq 0$ ,且各相的正序和负序分量差 $120^\circ$ 。故障发生后,各相电压如公式(1)所示。



**Figure 3.** Voltage waveform and its sequence component for normal working condition. (a) Voltage waveform of each phase; (b) Voltage vector and its sequence component

**图 3.** 正常工况电压波形及其序分量。(a) 各相电压波形; (b) 电压向量及其序分量



**Figure 4.** Voltage waveform and its sequence component under single-phase short circuit condition. (a) Voltage waveform of each phase; (b) Voltage vector and its sequence component

**图 4.** 单相短路工况下电压波形及其序分量。(a) 各相电压波形; (b) 电压向量及其序分量

$$\begin{cases} \dot{U}_{fa} = \dot{U}_{fa(1)} + \dot{U}_{fa(2)} + \dot{U}_{fa(0)} \\ \dot{U}_{fb} = \dot{U}_{fb(1)} + \dot{U}_{fb(2)} + \dot{U}_{fb(0)} \\ \dot{U}_{fc} = \dot{U}_{fc(1)} + \dot{U}_{fc(2)} + \dot{U}_{fc(0)} \end{cases} \quad (1)$$

式(1)中, $\dot{U}_{fa}$ 、 $\dot{U}_{fb}$ 和 $\dot{U}_{fc}$ 分别为B相短路故障发生后各相电压, $\dot{U}_{fa(1)}$ 、 $\dot{U}_{fb(2)}$ 和 $\dot{U}_{fb(0)}$ 分别为B相正序、负序和零序电压分量。

## 2) 基于典型案例讲授知识的重点与难点

本次授课的内容的重点和难点是电力系统发生不对称短路时故障处的电流和电压，难点是单相短路故障发生后故障处的短路电压。针对非对称短路故障分析这一主题，引导学生复习非对称短路发生的原因及危害，讲授非对称短路边界条件，根据故障录波器电压波形及其序分量特征，考虑短路边界条件，推导故障相和非故障相的电压和电流数学模型。

基于图4重点讲授单相短路发生后，故障处的电压。如图4所示B相短路发生后，b相接地时的边界条件(略去下标b)：

$$\begin{cases} \dot{U}_{f(1)} + \dot{U}_{f(2)} + \dot{U}_{f(0)} = 0 \\ \dot{I}_{f(1)} = \dot{I}_{f(2)} = \dot{I}_{f(0)} \end{cases} \quad (2)$$

式(2)中， $\dot{U}_{f(1)}$ 、 $\dot{U}_{f(2)}$ 和 $\dot{U}_{f(0)}$ 分别为B相正序、负序和零序电压分量， $\dot{I}_{f(1)}$ 、 $\dot{I}_{f(2)}$ 和 $\dot{I}_{f(0)}$ 分别为B相正序、负序和零序电流分量。

根据B相短路的边界条件，如何得到各相的故障电压 $\dot{U}_{fa}$ 、 $\dot{U}_{fb}$ 和 $\dot{U}_{fc}$ 呢？接下来我们讲授两种方法：数学分析方法和复合序网法。

基于数学分析的方法是根据短路发生后的边界条件，联立三序电压平衡方程，如式(3)所示。

$$\begin{cases} \dot{U}_{f|0|} - \dot{U}_{f(1)} = \dot{I}_{f(1)} z_{\Sigma(1)} \\ 0 - \dot{U}_{f(2)} = \dot{I}_{f(2)} z_{\Sigma(2)} \\ 0 - \dot{U}_{f(0)} = \dot{I}_{f(0)} z_{\Sigma(0)} \end{cases} \quad (3)$$

可解得故障处的三序电流为：

$$\dot{I}_{f(1)} = \dot{I}_{f(2)} = \dot{I}_{f(0)} = \frac{\dot{U}_{f|0|}}{z_{\Sigma(1)} + z_{\Sigma(2)} + z_{\Sigma(0)}} \quad (4)$$

故障相(B相)的短路电流为：

$$\dot{I}_f = \dot{I}_{f(1)} + \dot{I}_{f(2)} + \dot{I}_{f(0)} = \frac{3\dot{U}_{f|0|}}{z_{\Sigma(1)} + z_{\Sigma(2)} + z_{\Sigma(0)}} \quad (5)$$

复合序网法是根据电力系统发生B相短路，画出正序、负序和零序分量电路图，并按其之间的连接关系，绘制出复合序网络图，如图5所示。根据如图5所示的B相短路复合序网络图可知，正序、负序和零序网络呈现串联连接，可以推导出与公式(4)和(5)相同的结果。

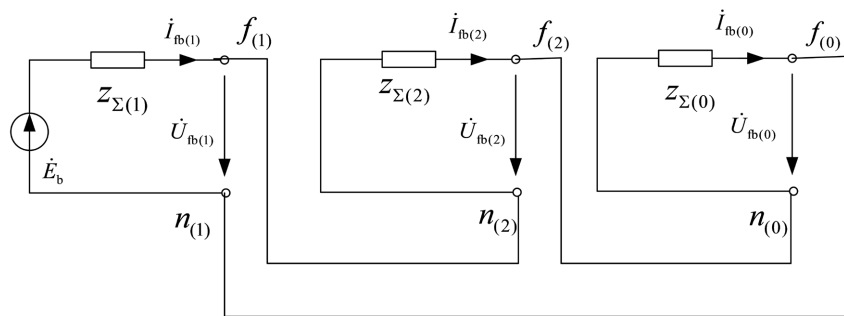


Figure 5. Composite sequence network diagram under B-phase short circuit condition  
图5. B相短路复合序网图

### 3) 小结

总结本次课程知识的重点和难点,启发学生应用对称分量法分析 C 相短路时,各相电压和电流特征,引导学生调研故障录波器在电网中的应用情况,撰写报告。

## 4. 总结

针对“电力系统暂态分析”课程教学中理论性强和教学方式单一的问题,提出采用案例驱动的线上线下相混合教学模式。在教学实施上,强调以典型教学案例为载体,充分发挥线上优质教学资源优势,强调线下教学中以问题为导向,以教师为主导,以学生为主体,在典型案例的分析与讨论中,讲授知识的重点和难点,培养学生创造性思维,引导学生应用专业知识分析工程问题,提高其解决工程复杂问题的能力。

## 参考文献

- [1] 张威,王从佼,迟长春,孙兵.《电力系统暂态分析》线上线下混合教学模式探索与实践[J].创新教育研究,2021,9(6):1658-1663. <https://doi.org/10.12677/CES.2021.96276>
- [2] 张利,黄一,计时鸣,等.基于案例驱动的《系统仿真》课程教学实践[J].教育现代化,2018,5(22):158-159.
- [3] 李晓歌,李骞.工科基础课线上线下融合教学研究与实践——以电路原理课程为例[J].河南教育学院学报(自然科学版),2021,30(4):59-61.
- [4] 贾海蓉,张雪英,徐野威,等.建设线上线下一流课程的方案探究——以“语音信号处理”课程的改革为例[J].系统科学学报,2023,31(1):50-54.
- [5] 孙凯,张芳芳,马凤英.基于项目驱动的《系统仿真》课程教学案例设计与实践[J].高教学刊,2019(21):101-103.