

# 智能化技术下对柔性交流输电电力系统潮流研究

## Research on Power Flow of Flexible AC Transmission Systems under Intelligent Technology

林恒洋 焦鹤伟

Hengyang Lin Hewei Jiao

国网呼伦贝尔供电公司满洲里输变电工区 中国·内蒙古 呼伦贝尔 021400

State Grid Hulunbuir Power Supply Company Manzhouli Transmission and Transformation Electrical Area, Hulunbuir, Inner Mongolia, 021400, China

**摘要:** 柔性交流输电技术在电力系统中发挥着越来越重要的作用, 而统一潮流控制器则能够对电压进行有效控制, 因此统一潮流控制器是一种非常优良的柔性交流输电技术装置。基于此, 论文在智能化技术下根据统一潮流控制器功率交换特征, 从而提出一种全新且简化的含有统一潮流控制器装置的电力系统潮流, 可以更好地推动电力系统的运行。

**Abstract:** Flexible AC transmission systems is playing an increasingly important role in the power system, and the unified power flow controller can effectively control voltage, so the unified power flow controller is a very excellent flexible AC transmission systems device. Based on this, this paper proposes a new and simplified power system flow with a unified power flow controller device based on the power exchange characteristics of the unified power flow controller under intelligent technology, which can better promote the operation of the power system.

**关键词:** 柔性交流输电技术; 智能化; 电力系统; 统一潮流控制器

**Keywords:** flexible AC transmission systems; intelligence; power system; unified power flow controller

**DOI:** 10.12346/peti.v5i4.8816

## 1 引言

在电力系统中应用柔性交流输电技术, 能够实现对输电电能、质能、可靠性的提升, 在以往的电力输配电中, 受到电子设备的发展限制, 柔性交流输电技术在实际应用的优势不够明显, 但随着科技水平的不断进步, 当前将柔性交流输电技术应用在输配电系统中具有非常好的应用前景。在这个过程中, 将统一潮流控制器作为柔性交流输电系统电压的控制方式, 具有非常好的使用效果。

## 2 柔性交流输电技术与统一潮流控制器概述

### 2.1 柔性交流输电技术

柔性交流输电技术 (Flexible AC Transmission Systems, FACTS) 是一种用于电力系统的高级电力电子设备和技术, 它的主要目标是提高电力系统的稳定性、可靠性和效率。柔

性交流输电技术可以通过调节电力系统的输电线路电压、电流和阻抗等参数, 来控制电力流动和改善功率传输能力。这些技术包括以下几种主要设备。首先, 静态无功补偿器 (Static Var Compensator, SVC), SVC 通过控制电抗器和可变电容器的补偿电流, 以快速补偿电力系统中的无功功率, 调节电压和电力因素, 并提高系统的稳定性。其次, 静态同步补偿器 (Static Synchronous Compensator, STATCOM), STATCOM 是一种基于电力电子装置的无功补偿设备, 它能够根据电网的需要迅速调整无功功率和电压, 提高电力系统的稳定性和响应能力<sup>[1]</sup>。再次, 静态相位调节器 (Static Phase Shifter, SPS), SPS 可以通过调整输电线路上的电流相位差, 实现电力流自动控制和配电系统的优化。最后, 静态串补器 (Static Synchronous Series Compensator, SSSC), SSSC 通过控制串补变流器的输出电压和电流来调节交流输电线路上的电压和阻抗, 提高电力系统的稳定性和传输能

【作者简介】林恒洋 (1986-), 男, 中国吉林长春人, 本科, 工程师, 从事高压输电线路研究。

力。总之，柔性交流输电技术是一种利用电力电子设备和控制方法来优化电力系统运行的先进技术，具有重要的经济、环境和运营优势。

### 2.2 统一潮流控制器

统一潮流控制器（Unified Power Flow Controller，简称 UPFC）是一种灵活的交流电力传输和分配设备，采用高性能的功率电子器件和控制算法，用于控制电力系统中的潮流分布，并解决电力系统中的潮流阻塞、潮流不平衡等问题。UPFC 可以在电力系统中实时控制电压、有功功率和无功功率的流动，提高电力系统的稳定性、可靠性和可调度性。UPFC 由三部分组成，静止无功补偿器（Static Var Compensator, SVC）、相位移整流器（Phase Shifting Transformer, PST）和串联补偿器（Series Voltage Compensator, SVC）。静止无功补偿器用于调节电网的无功功率，相位移整流器用于控制电网的相位差，串联补偿器则通过改变电网的电压来控制电网的有功功率。UPFC 能够实现无功功率的调节、有功功率的控制、相位差的调整和电压的稳定控制。UPFC 通过调节其各个部分的参数和控制策略，可以实现对电力系统中线路的有源电压控制、无功功率的调节、电压和潮流的分布控制等功能。

## 3 智能化技术下对柔性交流输电电力系统潮流研究分析

### 3.1 含统一潮流控制器的电力系统潮流计算

在输电线路中，将统一潮流控制器作为等效双电压模型，如图 1 所示，将其串联部分作为提供副值和和相角连接的补偿电压时，通过调节电压源的幅值可以阿迪达奥控制线路潮流的最终目的<sup>[2]</sup>。同时作为调节所入母线的电压，还能为其提供有功功率的通道，有利于更好地保障统一潮流控制器内部功能实现平衡的目的。对于电力系统运行而言，统一潮流控制器装置通常具有较为良好的控制输电线路有功功率，并将其维持在并联接入点母线电压的稳定功能中，在稳态潮流计算下，可以将统一潮流控制器作为电源对待，随后向两侧注入功率。如果不考虑统一潮流控制器自身的损害时，那么统一潮流控制器装置不消耗有功功率，对应德尔电容电压不变、直流电容器储能也不变。

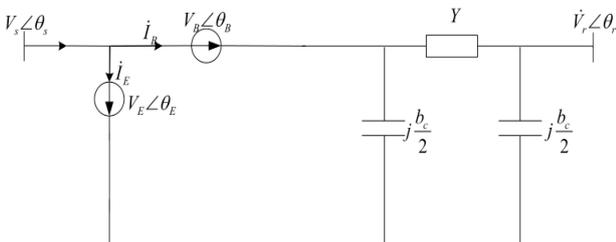


图 1 含统一潮流控制器的线路等效电路图

而将统一潮流控制器有控制线路功率的作用下，对应的节点  $M$  是统一潮流控制器串联的侧入节点，可以将其视为

$PQ$  节点。统一潮流控制器可以对并联接入点进行电压的控制，使节点  $K$  能够为统一潮流控制器并联接入到节点，对该节点可以视为  $PV$  节点。从图 2 中可以获得等值电压，其中对应的  $P_m=P, Q_m=Q$ ，而  $P$  和  $Q$  都是线路潮流的设定值， $P_k=P=P_m, V_k=V$ ，对应的  $V$  是节点  $K$  的设定电压，因此在使用该方法对统一潮流控制器进行等效处理时，通常只需要对传统的潮流计算程序进行矩阵修改，就能实现对程序的有效设计。

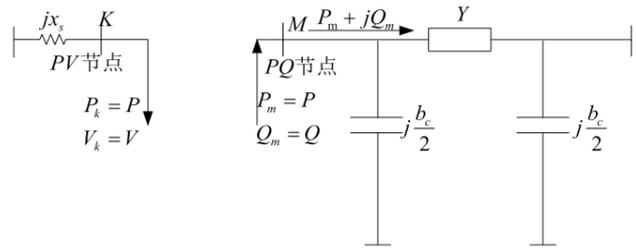


图 2 统一潮流控制器潮流计算模型

### 3.2 统一潮流控制器内部状态变量计算

基于智能化技术下进行完潮流计算后，需要根据潮流的结果计算出统一潮流控制器内部的电气量，随后将并联换流器吸为有功和无功的串联电压下，可以根据图 2 和统一潮流控制器内部结构的方式，从而得出图 3 所示的电路<sup>[3]</sup>。在图 3 中， $V_k, V_m$  和  $\theta_k, \theta_m$  作为相应的节点电压幅值与相角时， $V_B, V_E$  和  $\theta_B, \theta_E$  则是串联电压源和并联电压源之间的电压幅值和相角。

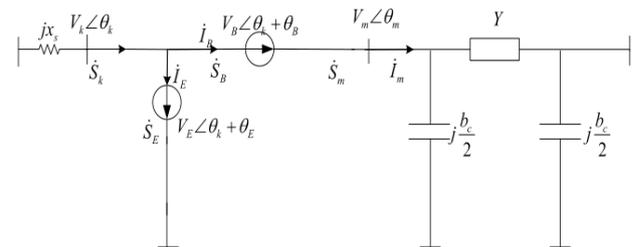


图 3 统一潮流控制器的温态等效电路图

因此，当输电线路中的串联支路电流  $I_B$  等于注入节点  $M$  的电流  $I_m$  时，对应的  $I_B=I_m$ 。同时随着统一潮流控制器串联注入电压所发生的改变情况下，输电线路对应的  $I_B$  流过串联电压源，则可以和系统发生有功功率和无功功率之间的有效叫交互，并根据统一潮流控制器中的稳态等效电路，可以得出对应的边界条件计算公式（1）：

$$\begin{cases} S_k = P_k + jQ_k \\ S_m = P_m + jQ_m \\ V_k = V_k \angle \theta_k \\ V_m = V_m \angle \theta_m \end{cases} \quad (1)$$

在对统一潮流控制器内部参数求取和推导时，针对控制参数的求取，可以根据图 3 中的  $V_B$  来统一潮流控制器串联侧电压，从而实现对串联侧变换器电流线路上的  $I_B$  获取，如计算公式（2）所示：

$$\begin{cases} S_m = V_m \times I_m \\ V_m = V_k + V_B \end{cases} \quad (2)$$

在对公式 (2) 的计算时候, 由于已知:

$$I_B = I_m = \left(\frac{S_m}{V_m}\right)^*$$

因此在传输到统一潮流控制器串联侧换流器, 可以计算出对应的功率公式:

$$S_B = V_k(I_B)^* \quad (3)$$

在并联控制参数的求取时, 根据图 3 可以得到  $V_E$  是统一潮流控制器并联侧电压, 而  $I_E$  为并联侧变换器的电流中, 统一潮流控制器并联侧换流器的输出功率则为  $S_E$ , 其计算公式如下:

$$\begin{cases} S_k = S_E + S_B \\ S_E = V_k \times I_E \end{cases} \quad (4)$$

根据公式 (4) 可以得到:

$$S_E = S_k - V_k(I_B)^*$$

当  $V_E=V_k$  时, 则可以计算出  $I_E$ :

$$I_E = \left(\frac{S_E}{V_k}\right)^*$$

在对系统节点的分析时, 对于没有统一潮流控制器分布进行计算, 如图 4 所示, 可以得到各节点的电压和相角参数, 其中基准值  $S_B=100\text{MVA}$ , 并在输电线路的 11~10 号线路侧安装统一潮流控制器, 节点 15 号作为统一潮流控制器的后辅助节点, 在没有安装统一潮流控制器线路的潮流值时, 选定统一潮流控制器的控制目标能够实现对各系统节点的电压变化和线路参数控制。

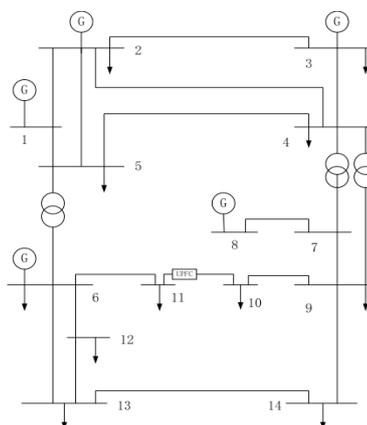


图 4 电气工程节点系统算例图

## 4 结语

论文通过对智能化技术下的统一潮流控制器基本原理和等效电路分析, 从而根据统一潮流控制器的交换特性, 提出了减半的统一潮流控制器装置电力系统潮流, 以此实现对智能化技术下对柔性交流输电电力系统的可行性计算。

## 参考文献

- [1] 张璐,李晨语,蔡永翔,等.考虑潮流越限风险的柔性交流配电网融冰优化策略[J].电力系统自动化,2022,46(16):160-169.
- [2] 周华,谢栋,宋美雅,等.基于统一潮流控制器的短路电流限制技术在浙江电网的应用研究[J].电力电容器与无功补偿,2021,42(5):168-172+179.
- [3] 高本锋,王晓,梁纪峰,等.混合型统一潮流控制器抑制风电次同步振荡控制策略[J].电力建设,2021,42(9):53-64.