

团 体 标 准

T/CES XXX-XXXX

高压直流输电系统对电网谐波/间谐波影响评估技术导则

Guidelines for Assessing the Impact of High Voltage Direct Current  
Transmission Systems on Grid Harmonics and Interharmonics

XXXX-XX-XX 发布

XXXX-XX-XX 实施

中国电工技术学会 发布

## 目 次

目 次 .....	II
前 言 .....	IV
1 范围 .....	1
2 规范性引用文件 .....	1
3 术语和定义 .....	1
4 基本要求 .....	2
4.1 评估对象 .....	2
4.2 评估指标 .....	2
4.3 高压直流输电系统对电网谐波/间谐波影响评估适用场景 .....	2
4.4 高压直流输电系统对电网谐波/间谐波影响评估应遵循科学性、系统性和专业性原则 .....	2
5 高压直流输电系统对电网谐波/间谐波影响评估流程 .....	2
6 高压直流输电系统对电网谐波/间谐波影响评估方法 .....	3
6.1 评估目的 .....	3
6.2 评估范围 .....	3
6.3 收集评估信息 .....	4
6.3.1 电网侧信息 .....	4
6.3.2 高压直流输电系统侧信息 .....	4
6.4 谐波/间谐波影响评估分析建模等值方法 .....	4
6.4.1 单个高压直流输电系统对电网公共连接点谐波/间谐波影响评估分析电路 .....	4
6.4.2 多个高压直流输电系统对电网公共连接点谐波/间谐波影响评估分析电路 .....	4
6.5 评估步骤 .....	4
6.5.1 单个高压直流输电系统对电网公共连接点谐波/间谐波影响评估步骤 .....	4
6.5.2 多个高压直流输电系统对电网公共连接点谐波/间谐波影响评估步骤 .....	5
6.6 评估结果判断 .....	5
6.6.1 高压直流输电系统对电网谐波影响评估结果判断 .....	5
6.6.2 高压直流输电系统对电网间谐波影响评估结果判断 .....	5
7 评估报告编制要求 .....	5
附 录 A .....	6
附 录 B .....	8

附录 C .....	9
参考文献 .....	11

## 前　　言

本文件按照 GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》给出的规则起草。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利，本文件的发布机构不承担识别这些专利的责任。

本文件由中国电工技术学会提出。

本文件由中国电工技术学会标准工作委员会×××(\*\*专业\*\*)工作组归口。

本文件起草单位：广东电网有限公司汕头供电局、四川大学、山东泰开电力电子有限公司、桂林电力电容器有限责任公司、苏州爱科赛博电源技术有限责任公司、山东华天电气有限公司。

本文件主要起草人：陈昕、徐伟生、汪颖、赵劲帅、宋坤、许航亚、申宁、张勇、姜晓、李东浩、秦华忠、翟宏平、吴永利、李育春、闫荣、杜迎虎、迟恩先、王建等。

本文件为首次发布。

# 高压直流输电系统对电网谐波/间谐波影响评估技术导则

## 1 范围

本文件规定了高压直流输电系统运行过程中电网谐波/间谐波影响评估方法。  
本文件适用于交流额定频率为 50Hz，标称电压 500kV 及以下的电网。

## 2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；凡是不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

GB/T 14549—93 电能质量 公用电网谐波  
IEEE 519—2014  
IEC 61000—3—2: 2019

## 3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

### 3.1 高压直流输电系统公共连接点 point of common coupling

高压直流输电系统接入公用电网的连接处。

### 3.2 关注母线 bus of concern

电网中畸变严重，等开展谐波/间谐波评估的母线。

### 3.3 谐波/间谐波测量点 harmonic measurement points

对电网和高压直流输电系统的谐波/间谐波进行测量之处。

### 3.4 基波分量 fundamental component

对周期性交流量进行傅里叶级数分解，得到的频率与工频相同的分量。

### 3.5 谐波分量 harmonic component

对周期性交流量进行傅里叶级数分解，得到频率为基波频率大 1 整数倍的分量。

### 3.6 间谐波分量 interharmonic component

频率不等于电力系统基波频率整数倍的电流或电压分量。

### 3.7 谐波/间谐波次数 (h) harmonic/interharmonic order (h)

谐波/间谐波频率与基波频率的整数比。

### 3.8 电压或电流谐波含量 harmonic content for voltage or current

从周期性交流量中减去基波分量后所得的量。

### 3.9 谐波含有率 harmonic ratio (HR)

周期性交流量中含有的第  $h$  次谐波分量的方均根值与基波分量的方均根值之比（用百分数表示）。第  $h$  次谐波电压含有率以  $HRU_h$  表示，第  $h$  次谐波电流含有率以  $HRU_i$  表示。

### 3.10 总谐波畸变率 total harmonic distortion (THD)

周期性交流量中的谐波含量折方均根值与其基波分量的方均根值之比（用百分数表示）。电压总谐波畸变率以  $THD_v$  表示，电流总谐波畸变率以  $THD_i$  表示。

## 4 基本要求

### 4.1 评估对象

高压直流输电系统对电网谐波/间谐波影响评估的评估对象是面向 10kV~500kV 电网系统，

### 4.2 评估指标

高压直流输电系统对电网谐波/间谐波影响评估的评估指标是，分析高压直流输电系统对公共连接点或电网中其他关注母线的谐波/间谐波责任。

### 4.3 高压直流输电系统对电网谐波/间谐波影响评估适用场景

(1) 结合《GB/T 14549-93 电能质量 公用电网谐波》或《IEEE 519-2014》或《IEC 61000-3-2: 2019》等国内外相关标准，评估高压直流输电系统对电网公共连接点谐波/间谐波影响；

(2) 结合《GB/T 14549-93 电能质量 公用电网谐波》或《IEEE 519-2014》或《IEC 61000-3-2: 2019》等国内外相关标准，评估高压直流输电系统对电网中与直流输电系统不直接相连的关注母线谐波/间谐波影响。

### 4.4 高压直流输电系统对电网谐波/间谐波影响评估应遵循科学性、系统性和专业性原则

(1) 科学性表现为揭示所分析系统的谐波/间谐波客观规律，全面反映谐波/间谐波现象。

(2) 系统性是指要对所分析的电网公共连接点、关注母线进行系统性的详细剖析，并结合实测数据，系统性建立待评估电网模型。

## 5 高压直流输电系统对电网谐波/间谐波影响评估流程

谐波谐振评估流程如图 1 所示。

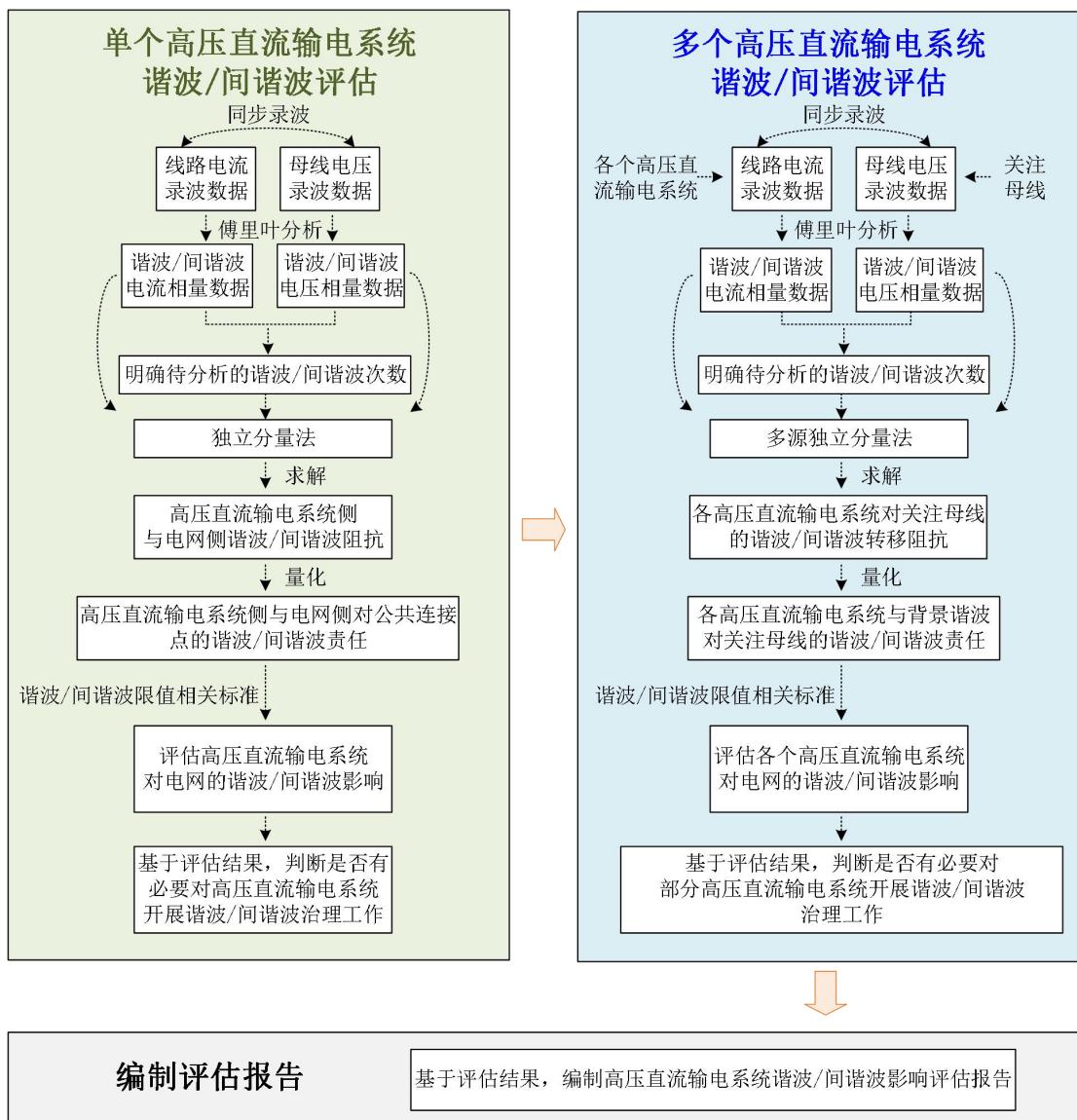


图 1 高压直流输电系统对电网谐波/间谐波影响评估流程

## 6 高压直流输电系统对电网谐波/间谐波影响评估方法

### 6.1 评估目的

高压直流输电系统在运行过程中, 会向电网注入谐波/间谐波, 劣化电能质量。高压直流输电系统与电网公共连接点, 以及电网中其他关注母线的各次谐波电压, 并非仅由单个高压直流输电系统产生, 而是由高压直流输电系统与电网中的复杂多样的谐波/间谐波源共同作用产生, 当公共连接点或关注母线某次谐波电压含量超过现有相关标准限值时, 有必要对高压直流输电系统与电网侧各自的谐波/间谐波源进行谐波责任量化, 进而评估高压直流输电系统对电网谐波/间谐波影响。

### 6.2 评估范围

本标准适用于指导高压直流输电系统运行过程对电网谐波/间谐波影响的评估工作, 当公共连接点或电网中其他关注母线的某次谐波电压超过相关标准允许限值时, 可量化高压直流输电系统对公共连接点或关注母线的谐波/间谐波电压责任。

### 6.3 收集评估信息

#### 6.3.1 电网侧信息

- (1) 各高压直流输电系统与电网公共连接点处的谐波电压录波数据, 要求录波时长不低于 1 分钟。
- (2) 电网中关注母线的谐波电压录波数据, 要求录波时长不低于 1 分钟。

#### 6.3.2 高压直流输电系统侧信息

- (1) 各高压直流输电系统与电网公共连接点处的谐波电压录波数据, 要求录波时长不低于 1 分钟。
- (2) 各高压直流输电系统与电网公共线路上流过的谐波电流录波数据, 要求录波时长不低于 1 分钟。

注: 上述各电压、电流录波数据要求同步录波, 且采样频率不低于 5kHz。

### 6.4 谐波/间谐波影响评估分析建模等值方法

#### 6.4.1 单个高压直流输电系统对电网公共连接点谐波/间谐波影响评估分析电路

高压直流输电系统对电网公共连接点谐波/间谐波影响评估模型如图 2 所示。从公共连接点, 将电网划分为高压直流输电系统侧与电网侧。单个高压直流输电系统对电网公共连接点谐波/间谐波影响具体评估原理详见附录 A。



图 2 高压直流输电系统对电网公共连接点谐波/间谐波影响评估模型

#### 6.4.2 多个高压直流输电系统对电网公共连接点谐波/间谐波影响评估分析电路

多高压直流输电系统对电网关注母线谐波/间谐波影响评估模型如图 3 所示。各高压直流输电系统与电网中的关注母线并未直接相连。在各高压直流输电系统谐波/间谐波源产生的谐波/间谐波以及电网中其余谐波/间谐波源产生的背景谐波/间谐波共同作用下, 关注母线出现电压畸变。即关注母线上的谐波/间谐波电压由各高压直流输电系统谐波/间谐波源以及背景谐波/间谐波共同产生。多个高压直流输电系统对电网公共连接点谐波/间谐波影响评具体评估原理详见附录 B。

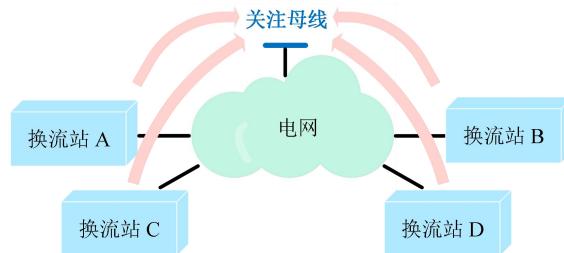


图 3 多高压直流输电系统对电网关注母线谐波/间谐波影响评估等值模型

### 6.5 评估步骤

#### 6.5.1 单个高压直流输电系统对电网公共连接点谐波/间谐波影响评估步骤

谐波/间谐波责任量化一般分为两步来进行: 首先在公共连接点测得的谐波/间谐波电压以及公共线

路测得的谐波/间谐波电流基础上,计算电网侧与用户侧各自的谐波/间谐波阻抗;其次再采用求得的谐波/间谐波阻抗进一步量化两侧谐波/间谐波责任。高压直流输电系统对电网公共连接点谐波/间谐波影响评估流程如图 7 所示,具体如下:

- 1) 对高压直流输电系统与电网的公共线路电流录波数据进行傅里叶分析,得到各次谐波/间谐波电流的幅值与相角;
- 2) 同时对高压直流输电系统与电网的公共连接点电压录波数据进行傅里叶分析,得到各次谐波/间谐波电压的幅值与相角,明确待分析的谐波/间谐波次数;
- 3) 将整个系统从公共连接点划分为高压直流输电系统侧与电网侧;
- 4) 基于电压电流录波数据,通过独立分量法等算法,求解高压直流输电系统侧与电网侧在待分析的谐波/间谐波次数下的谐波/间谐波阻抗;
- 5) 量化高压直流输电系统侧与电网侧对公共连接点的谐波/间谐波责任;

## 6.5.2 多个高压直流输电系统对电网公共连接点谐波/间谐波影响评估步骤

含有多个高压直流输电系统的电网,具有多谐波/间谐波源渗透的特点。当关注母线上某次谐波/间谐波电压超标后,对应谐波/间谐波电压是这些高压直流输电系统谐波/间谐波源交互影响、共同作用下的结果。从而有必要同时评估多个高压直流输电系统谐波/间谐波源在关注母线上的谐波/间谐波责任。

多高压直流输电系统对电网关注母线谐波/间谐波影响评估流程如图 8 所示,具体如下:

- 1) 对各个高压直流输电系统与电网的公共线路电流录波数据进行傅里叶分析,得到各次谐波/间谐波电流的幅值与相角;
- 2) 同时对电网中关注母线电压录波数据进行傅里叶分析,得到各次谐波/间谐波电压的幅值与相角,明确待分析的谐波/间谐波次数;
- 3) 基于电压电流录波数据,通过多源独立分量法等算法,求解各高压直流输电系统与关注母线之间在待分析的谐波/间谐波次数下的谐波/间谐波转移阻抗;
- 4) 量化各高压直流输电系统以及背景谐波/间谐波对关注母线的谐波/间谐波责任;

## 6.6 评估结果判断

### 6.6.1 高压直流输电系统对电网谐波影响评估结果判断

- 1) 结合《GB/T 14549-93 电能质量 公用电网谐波》,评估各个高压直流输电系统对电网的谐波影响,判断各个高压直流输电系统对公共连接点或关注母线产生的谐波电压是否超过《GB/T 14549-93 电能质量 公用电网谐波》允许限值。
- 2) 基于评估结果,判断是否有必要对部分高压直流输电系统开展谐波治理工作。

### 6.6.2 高压直流输电系统对电网间谐波影响评估结果判断

- 1) 结合《GB/T 24337-2009》、《IEC 61000-4-7》、《IEC 61000-3-6》等标准,评估各个高压直流输电系统对电网的间谐波影响,判断各个高压直流输电系统对公共连接点或关注母线产生的间谐波电压是否超过相关标准允许限值。
- 2) 基于评估结果,判断是否有必要对部分高压直流输电系统开展间谐波治理工作。

## 7 评估报告编制要求

高压直流输电系统对电网谐波/间谐波影响评估报告宜包含以下信息:

- (1) 含高压直流输电系统的电网拓扑;
- (2) 给出高压直流输电系统与电网的公共连接点母线名称,或电网中关注母线名称;
- (3) 基于电压录波数据,给出采样频率,并通过离散傅里叶变换,对公共连接点或关注母线电压进行频率扫描,以柱状图的形式,给出公共连接点或关注母线的各次谐波/间谐波电压含量;
- (4) 给出待分析谐波/间谐波次数;
- (5) 求解公共连接点电网侧与高压直流输电系统侧在待分析谐波/间谐波次数下的谐波/间谐波阻

抗；求解各高压直流输电系统对关注母线在待分析谐波/间谐波次数下的的谐波/间谐波阻抗；以幅值与阻抗角的形式，给出对应谐波/间谐波阻抗求得结果。

（7）基于求得的谐波/间谐波阻抗，量化各高压直流输电系统对公共连接点或关注母线的谐波/间谐波责任，并给出谐波/间谐波责任量化结果；

（8）结合谐波/间谐波限值相关标准，评估各个高压直流输电系统对电网的谐波/间谐波影响，给出结论，是否有必要对部分高压直流输电系统开展谐波/间谐波治理；

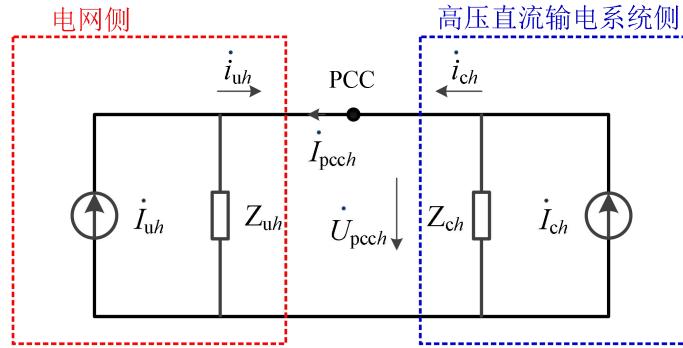
（9）针对性地给出谐波/间谐波治理相关建议。



## 附录 A

## 单个高压直流输电系统对电网公共连接点谐波/间谐波影响评估原理

在  $h$  次谐波下开展单个高压直流输电系统对电网公共连接点谐波/间谐波影响评估, 可用图 4 所示的等值电路量化高压直流输电系统侧与电网侧对公共连接点的谐波/间谐波责任。

图 4  $h$  次谐波/间谐波下的诺顿等值电路

基于叠加原理有:

$$\begin{cases} \dot{U}_{\text{pcc}} = \frac{Z_u Z_c}{Z_u + Z_c} (\dot{I}_u + \dot{I}_c) \\ \dot{I}_{\text{pcc}} = \frac{Z_c}{Z_u + Z_c} \dot{I}_c - \frac{Z_u}{Z_u + Z_c} \dot{I}_u \end{cases} \quad (1)$$

式中:  $\dot{U}_{\text{pcc}}$  与  $\dot{I}_{\text{pcc}}$  分别表示公共连接点测得的  $h$  次谐波/间谐波电压以及公共线路上测得的  $h$  次谐波/间谐波电流;  $\dot{I}_c$ 、 $\dot{I}_u$  以及  $Z_c$ 、 $Z_u$  分别表示高压直流输电系统侧与电网侧的等效  $h$  次谐波/间谐波电流以及等效  $h$  次谐波阻抗。

谐波/间谐波责任量化的前提, 是明确高压直流输电系统侧与电网侧谐波/间谐波源各自单独作用时, 在公共连接点产生的谐波/间谐波电压:

$$\begin{cases} \dot{U}_{\text{pcc-c}} = \frac{Z_u Z_c}{Z_u + Z_c} \left( \frac{\dot{U}_{\text{pcc}}}{Z_c} + \dot{I}_{\text{pcc}} \right) \\ \dot{U}_{\text{pcc-u}} = \dot{U}_{\text{pcc}} - \dot{U}_{\text{pcc-c}} \end{cases} \quad (2)$$

式中:  $\dot{U}_{\text{pcc-c}}$  与  $\dot{U}_{\text{pcc-u}}$  分别表示高压直流输电系统侧与电网侧各自单独作用时, 在公共连接点产生的谐波/间谐波电压。其中,  $\dot{U}_{\text{pcc-c}}$  为  $\dot{I}_c$  单独作用时在 PCC 点产生的谐波/间谐波电压;  $\dot{U}_{\text{pcc-c}}$  为  $\dot{I}_u$  单独作用时在 PCC 点产生的谐波/间谐波电压。

根据高压直流输电系统侧与电网侧单独作用时在公共连接点处各自产生的谐波/间谐波电压相位, 可分为两侧谐波/间谐波作用助增与谐波/间谐波作用相消两种情况。如图 5 所示,  $\dot{U}_{\text{pcc}}$ 、 $\dot{U}_{\text{pcc-u}}$  与  $\dot{U}_{\text{pcc-c}}$  分别表示公共连接点测得谐波/间谐波电压以及电网侧与高压直流输电系统侧谐波/间谐波源单独作用时在 PCC 点产生的谐波/间谐波电压。 $U_{\text{uf}}$  与  $U_{\text{cf}}$  分别为  $\dot{U}_{\text{pcc-u}}$  与  $\dot{U}_{\text{pcc-c}}$  在  $\dot{U}_{\text{pcc}}$  上的投影。当两侧谐波/间谐波作用助增时, 各侧谐波/间谐波责任均为正且均小于 100%; 当两侧谐波/间谐波作用相消时, 一侧谐波/间谐波责任为正且大于 100%, 另一侧谐波责任为负, 但两侧谐波/间谐波责任之和仍为 100%。

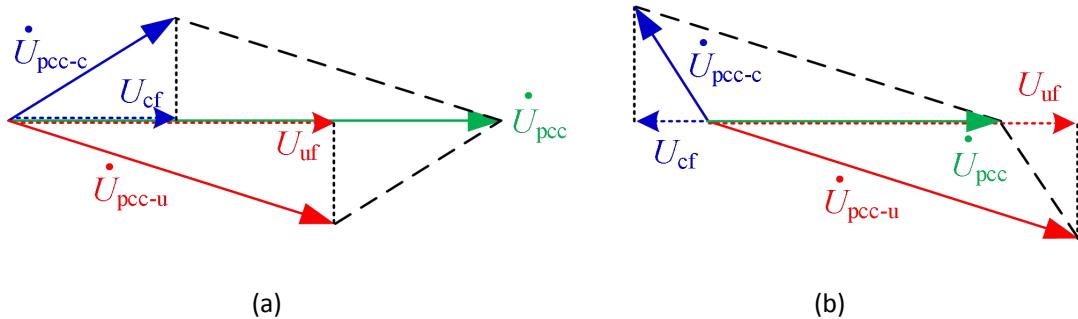


图 5 高压直流输电系统对电网公共连接点谐波/间谐波责任量化指标。 a) 助增 b) 相消

## 附录 B

## 多个高压直流输电系统对电网公共连接点谐波/间谐波影响评估原理

基于各高压直流输电系统谐波/间谐波源向电网注入的谐波/间谐波电流, 以及各高压直流输电系统谐波/间谐波源对关注母线的谐波/间谐波转移阻抗, 可建立多高压直流输电系统对电网关注母线谐波/间谐波影响评估模型:

$$\begin{bmatrix} \dot{U}_x \\ \dot{I}_{c,1} \\ \dot{I}_{c,2} \\ \vdots \\ \dot{I}_{N-1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Z_{x,1} & Z_{x,2} & \cdots & Z_{x,N-1} & 1 \\ 1 & 0 & \cdots & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & \cdots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots \\ 0 & 0 & \cdots & 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{I}_{c,1} \\ \dot{I}_{c,2} \\ \vdots \\ \dot{I}_{N-1} \\ \dot{U}_0 \end{bmatrix} \quad (3)$$

式中:  $\dot{I}_{c,i}$  为第  $i$  个高压直流输电系统谐波/间谐波源向电网注入的谐波/间谐波电流,  $\dot{U}_x$  与  $\dot{U}_0$  分别表示关注母线测得谐波/间谐波电压以及背景谐波/间谐波电压;  $Z_{x,i}$  表示第  $h$  次谐波/间谐波下谐波/间谐波源  $i$  与关注母线  $X$  之间的谐波/间谐波转移阻抗。

在第  $h$  次谐波/间谐波下, 各高压直流输电系统谐波/间谐波源在关注母线上的谐波/间谐波责任, 可通过各谐波/间谐波源单独作用时产生的谐波/间谐波电压在关注母线测得谐波/间谐波电压上的投影来描述, 如图 6 与式 (4) 所示。

$$\begin{cases} \dot{U}_x = \dot{U}_0 + \sum_{i=1}^{N-1} \dot{U}_i \\ \dot{U}_i = \dot{I}_{c,i} Z_{x,i} \end{cases} \quad (4)$$

式中:  $\dot{U}_x$  与  $\dot{U}_0$  分别表示关注母线测得谐波/间谐波电压以及背景谐波/间谐波电压;  $\dot{I}_i$  表示在第  $i$  个高压直流输电系统谐波/间谐波/间谐波源与电网之间的公共连接线路上测得的谐波/间谐波电流;  $Z_{x,i}$  表示第  $h$  次谐波/间谐波下高压直流输电系统谐波/间谐波源  $i$  与关注母线  $X$  之间的谐波/间谐波转移阻抗;  $N-1$  表示高压直流输电系统谐波/间谐波源个数。

通过将  $\dot{U}_i$  投影到  $\dot{U}_x$  上, 可得高压直流输电系统谐波/间谐波源  $i$  对关注母线的谐波/间谐波责任为

$$\sigma_{x,i} = \frac{|\dot{U}_i| \cdot \cos(\theta_i)}{|\dot{U}_x|} \times 100\% \quad (5)$$

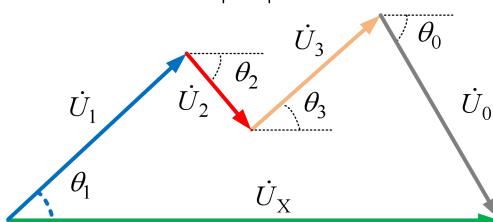


图 6 关注母线谐波/间谐波电压的构成

## 附录 C

## 高压直流输电系统对电网谐波影响评估案例

## C.1 案例基本信息

采用 IEEE-14 节点系统，以 5 次谐波为例进行评估分析。将母线 6 设为关注母线，并在母线 13、14 处设置高压直流输电系统谐波源如图 7 所示。同时将背景谐波电压注入关注母线。

根据 IEEE-14 节点系统的网络参数，可求得各谐波源电网侧谐波阻抗分别为  $Z_{u,A} = 0.1747 + 0.7313j$  p.u. 与  $Z_{u,B} = 0.2708 + 1.0004j$  p.u.。同时，设各谐波源侧的谐波阻抗分别为  $Z_{c,A} = 0.5 + 2j$  p.u. 与  $Z_{c,B} = 2 + 11j$  p.u.。

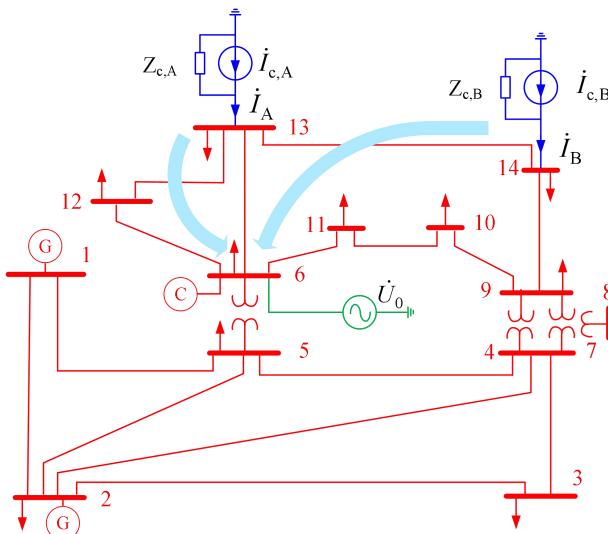


图 7 IEEE-14 节点系统拓扑

将图 8 所示谐波电压与电流注入上述 IEEE-14 节点系统的各谐波源。

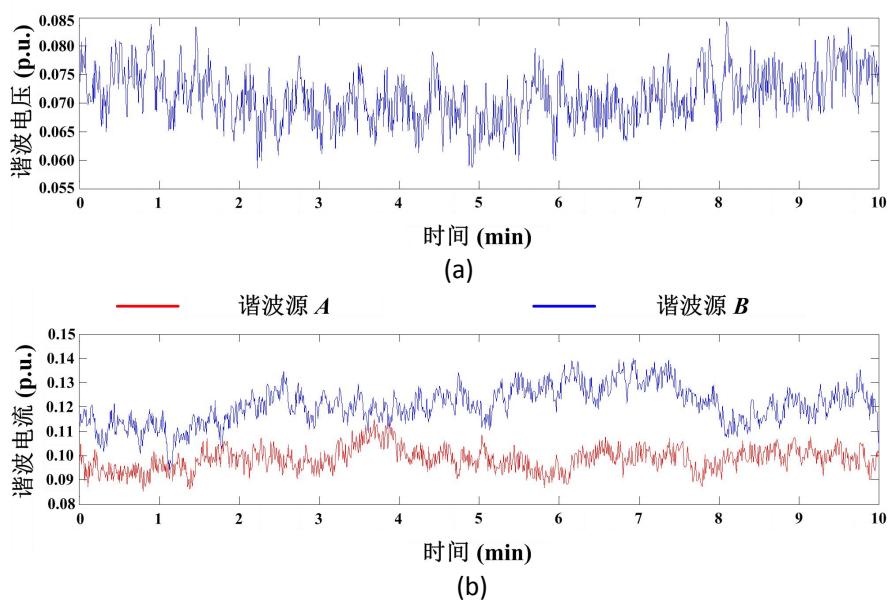


图 8 各谐波源注入的谐波电流。a) 背景谐波电压 b) 各谐波源注入的谐波电流

## C.2 评估结果

基于多源独立分量法, 求解 A、B 两高压直流输电系统与关注母线之间的 5 次谐波转移阻抗。进而求得各谐波源对关注母线的谐波责任如表 1 所示。

表 1 各谐波源对关注母线的谐波责任

谐波责任 (%)		
高压直流输电系统	高压直流输电系统	背景谐波
谐波源 A	谐波源 B	
48.32	21.47	30.21

基于表 1 结果可知, 高压直流输电系统 A 对关注母线的 5 次谐波电压负主要责任, 结合《GB/T 14549-93 电能质量 公用电网谐波》, 可进一步分析是否有必要对高压直流输电系统谐波源 A 开展谐波治理。

对于其他谐波次数以及间谐波的评估分析方法同上。

## 参 考 文 献

- [1] GB/T 14549-93. 电能质量 公用电网谐波[S]. 北京: 中国标准出版社, 1993.
  - [2] IEC 61000-3-2:2019. 电磁兼容性 (EMC) 第 3-2 部分: 限值-谐波电流发射限值 (每相输入电流≤16A 的设备) [S]. 日内瓦: 国际电工委员会, 2019.
  - [3] IEEE Std 519-2014. 电力系统中电压和电流谐波的控制推荐做法[S]. 美国: IEEE, 2014.
-