

交直流混合输电系统可靠性指标的灵敏度分析

任 震, 梁振升, 黄雯莹

(华南理工大学电力学院, 广东省广州市 510640)

摘要: 针对电力系统可靠性原始参数的变化, 根据原始参数对电力系统可靠性的影响程度不同, 提出了可靠性原始参数的关键重要度的概念及其确定方法。这种算法在分析元件故障率和修复率对其可靠性原始参数的灵敏度的基础上, 进行系统可靠性指标对元件可靠性原始参数的灵敏度分析, 从而推导出确定原始参数的关键重要度的计算公式。通过获得元件可靠性原始参数的关键重要度信息, 快速、有效地确定系统的薄弱环节, 并确定系统的增强性措施以进行可靠性优化。利用提出的算法对 500 kV 交直流混合输电系统进行了分析, 结果验证了算法的实用性和有效性。

关键词: 电力系统; 可靠性原始参数; 灵敏度分析; 增强性措施

中图分类号: TM711

0 引言

电力系统的根本任务是尽可能安全、经济、可靠地向用户提供电能。可靠性是指一个元件、设备或系统在预定时间内、规定条件下完成规定功能的能力。电力系统可靠性评估就是根据已经统计整理了元件可靠性原始参数, 运用 Monte Carlo-FD 混合法对系统进行评估。

随着电力系统规模的增大, 系统元件数目和系统状态数呈指数增长, 系统中各元件原始参数的变化对系统可靠性指标的影响程度不同。因此, 如何快速、准确地判断对系统可靠性影响最大的元件及其可靠性原始参数极为重要。

本文在对实际交直流混合输电系统进行可靠性评估时, 提出了通过系统可靠性指标对元件原始参数的灵敏度分析, 指出可靠性原始参数和元件的关键重要度。根据所获得的关键重要度信息, 可以迅速、准确地确定系统的增强性措施及可靠性优化。

1 Monte Carlo-FD 混合法的算法研究

Monte Carlo-FD 混合法着眼于系统的状态而不是系统的元件, 它的基本思想是将可靠性评估建立在对系统状态及其转移过程的随机模拟的基础上。它的优点是在能用解析法的地方充分利用解析法, 而在模拟过程中, 尽可能地利用解析法所提供的信息, 以降低计算量, 缩短计算时间。

设系统中任一元件 i , x_i 是它的一个运行状态,

则 x_i 的概率函数 $P(x_i)$ 为:

$$P(x_i) = \begin{cases} \frac{\mu}{\mu + \lambda} & x_i = 0, \text{元件工作} \\ \frac{\lambda}{\mu + \lambda} & x_i = 1, \text{元件故障} \end{cases} \quad (1)$$

式中: μ 为元件的修复率; λ 为元件的故障率。

一个由 m 个元件组成的系统, 其运行状态为 $x = \{x_1, x_2, \dots, x_m\}$ 。对状态空间中的所有样本进行抽样, 则系统运行状态的联合概率分布函数为:

$$P(x) = \prod_{i=1}^m P(x_i) \quad (2)$$

可靠性指标函数^[1]为:

$$E(F) = \sum_{x \in X} F(x) P(x) \quad (3)$$

式中: X 为系统的所有可能运行状态; $F(x)$ 可以是故障停运标志(取 0 和 1)或失负荷量等。

在实际抽样中, 由于抽样次数 N 的限制, 得到的只是 $E(F)$ 的估计值:

$$\hat{E}(F) = \frac{1}{N} \sum_{x=1}^N F(x_i) \quad (4)$$

容易证明, $\hat{E}(F)$ 是 $E(F)$ 的一个无偏估计。

根据以上 Monte Carlo 模拟法的基本原理, 结合 FD 解析法, 在模拟过程中, 用 FD 法解析计算确定性事件(如计划检修)和随机事件(如元件故障)发生后状态的期望持续时间, 并以此代替状态持续时间的抽样值, 由此引起的对系统后续状态转移过程的影响, 则通过递推的条件分布来考虑^[2]。

2 元件原始参数灵敏度及其计算公式

2.1 元件转移率的灵敏度

元件的可靠性原始参数包括故障率 λ 、维修时

收稿日期: 2003-11-07; 修回日期: 2004-02-05。
国家自然科学基金资助项目(50337010)。

间 r 或修复率 μ 。

大型复杂交流网络系统可靠性评估时,元件的可靠性模型一般采用 2 种状态,即正常状态和故障状态。

考虑到实际运行情况,在对交流网络系统可靠性评估计算中计及变电站主接线元件故障的影响,即评估所研究的对象不仅包括交流线路,而且包含变电站内主变高压侧的断路器、隔离开关和母线这 3 种元件,4 种元件之间是串、并联关系。尽管由于变电站主接线形式和出线数目的不同而造成各变电站内元件相互间的串、并联关系很不一样,但根据连通性的概念,结合最小割集的思想^[8],可将站内各元件之间的连接关系转化为可靠性逻辑串、并联关系,并最终将站内的各元件简化为一个等效元件,利用计算转移率的串、并联公式,可以求得等效元件的转移率。

对于串联系统,有

$$\lambda = \sum_{i=1}^n \lambda_i \quad (5)$$

$$\mu = \sum_{i=1}^n \lambda_i \left(\sum_{i=1}^n \frac{\lambda_i}{\mu_i} \right)^{-1} \quad (6)$$

对于并联系统,有

$$\lambda = \left(\prod_{i=1}^n \frac{\lambda_i}{\mu_i} \right) \sum_{i=1}^n \mu_i \quad (7)$$

$$\mu = \sum_{i=1}^n \mu_i \quad (8)$$

式中: λ_i 为元件 i 的故障率; μ_i 为元件 i 的修复率(平均修复时间的倒数)。

等效转移率 λ_T 可统一写成函数形式:

$$\lambda_T = \lambda_T(\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_m, \mu_1, \mu_2, \dots, \mu_m)$$

令元件原始参数为 $a = (a_1, a_2, \dots, a_k)$, 则 λ_T 可改写为 $\lambda_T = \lambda_T(a_1, a_2, \dots, a_k)$ 。等效转移率 λ_T 分别对各原始参数求偏导数,可得 λ_T 对元件参数 a_i 的灵敏度:

$$\frac{\partial \lambda_T}{\partial a_i} = \lambda_T \left(0, \dots, 0, A \frac{\partial a_i}{\partial a_i}, 0, \dots, 0 \right) \quad (9)$$

这里只需确定 λ_T 中 a_i 的系数 A , 即 $a_j (j \neq i)$ 的线性组合,就可求得 λ_T 对元件参数的变化率。

直流输电系统通常用等效模型^[1]来表示,需要解决的是等效转移率(故障率和修复率)对元件原始参数的灵敏度。设 2 个累计状态 $M = (1, 2, \dots, m)$ 和 $N = (1', 2', \dots, n')$, 则它们的转移频率为:

$$f_{MN} = \sum_{i_1=1}^m \sum_{i_2=1'}^{n'} (p_{i_1} a_{i_1 i_2}) = \sum_{i_1=1}^m p_{i_1} \lambda_{MN} \quad (10)$$

等效转移率为:

$$\lambda_{MN} = \frac{\sum_{i_1=1}^m \sum_{i_2=1'}^{n'} (p_{i_1} a_{i_1 i_2})}{\sum_{i_1=1}^m p_{i_1}} = \frac{\sum_{i_1=1}^m (p_{i_1} \sum_{i_2=1'}^{n'} a_{i_1 i_2})}{\sum_{i_1=1}^m p_{i_1}} \quad (11)$$

设元件参数为 $a = (a_1, a_2, \dots, a_k)$, 则:

$$\frac{\partial \lambda_{MN}}{\partial a_i} = \frac{\frac{\partial}{\partial a_i} \left[\sum_{i_1=1}^m \left(p_{i_1} \sum_{i_2=1'}^{n'} a_{i_1 i_2} \right) \right] \sum_{i_1=1}^m p_{i_1} - \sum_{i_1=1}^m \left(p_{i_1} \sum_{i_2=1'}^{n'} a_{i_1 i_2} \right) \sum_{i_1=1}^m p_{i_1}}{\left(\sum_{i_1=1}^m p_{i_1} \right)^2} \quad (12)$$

式中: p_{i_1} 为状态 i_1 的稳态概率; $a_{i_1 i_2}$ 为状态 i_1 到状态 i_2 的转移率; $p_{q_1} = \partial p_{i_1} / \partial a_i$;

$$\frac{\partial}{\partial a_i} \left[\sum_{i_1=1}^m \left(p_{i_1} \sum_{i_2=1'}^{n'} a_{i_1 i_2} \right) \right] = \sum_{i_1=1}^m \left(p_{q_1} \sum_{i_2=1'}^{n'} a_{i_1 i_2} + p_{i_1} \sum_{i_2=1'}^{n'} \frac{\partial a_{i_1 i_2}}{\partial a_i} \right)$$

在 Monte Carlo-FD 混合法中,首先通过 FD 解析法求得各状态的稳态概率 p_{i_1} 与状态之间的转移率 $a_{i_1 i_2}$ 。同样,直流系统元件等效转移率 λ_{MN} 对原始参数的灵敏度可通过求状态 i 时元件参数 a_i 的系数得到,即 p_{i_1} 和 $a_{i_1 i_2}$ 。等效转移率对元件参数的变化率为 p_{i_1} 和 $a_{i_1 i_2}$ 的线性组合。

2.2 可靠性指标的灵敏度

电力系统可靠性指标通常有故障停运概率 P 、故障总等值停运时间 (TEOT—total equivalent outage times, 以 T_{TEOT} 表示)、年电量不足期望值 (EENS—expected energy not supplied, 以 E_{EENS} 表示)、能量可用率 (EA—energy availability, 以 K_{EA} 表示)、能量不可用率 (EU—energy unavailability, 以 K_{EU} 表示) 等。

各指标的表达式如下:

$$T_{TEOT} = \frac{8760}{P_s} \sum_{x_i \in X} P(x_i) \Delta L_i \quad (13)$$

$$E_{EENS} = 8760 \sum_{x_i \in X} P(x_i) \Delta L_i' \quad (14)$$

$$K_{EU} = \frac{\sum_{x_i \in X} P(x_i) \Delta L_i'}{8760 P_s} \times 100\% \quad (15)$$

$$K_{EA} = 1 - K_{EU} \quad (16)$$

式中: $P(x_i)$ 为系统发生故障停运的概率; ΔL_i 为系统累计失负荷量; $\Delta L_i'$ 为系统某故障状态的失负荷量; P_s 为系统额定容量。

式(1)中,令 $p_i = \lambda / (\mu + \lambda)$, $\Delta P(x_i) / P(x) =$

$\left[\prod_{k=1}^m p_k (p_i + \Delta p_i) - \prod_{k=1}^m p_k \right] / \prod_{k=1}^m p_k = \partial P(x) / \partial p_i$, 则可靠性指标对等效转移率 λ_T 的灵敏度为:

$$\begin{aligned} \frac{\partial E(F)}{\partial \lambda_T} &= \sum_{x \in X} \left[F(x) \frac{\partial P(x)}{\partial \lambda_T} \right] = \\ &= \sum_{x \in X} \left[F(x) \frac{\partial P(x)}{\partial p_i} \frac{\partial p_i}{\partial \lambda_T} \right] = \\ &= \sum_{x \in X} \left[F(x) \frac{\partial P(x)}{P(x) \partial p_i} \right] P(x) \frac{\partial p_i}{\partial \lambda_T} = \\ &= \sum_{x \in X} \frac{F(x)}{p_i} P(x) \frac{\partial p_i}{\partial \lambda_T} \end{aligned} \quad (17)$$

可靠性指标对可靠性原始参数的灵敏度的表达式为:

$$\frac{\partial E(F)}{\partial a_i} = \frac{\partial E(F)}{\partial \lambda_T} \frac{\partial \lambda_T}{\partial a_i} \quad (18)$$

将式(9)或式(12)和式(17)分别代入式(18), 可以求出可靠性指标的灵敏度。系统可靠性指标 P , T_{TEOT} , E_{EENS} 和 K_{EU} (K_{EA}) 对可靠性原始参数的灵敏度可直接由式(18)得出, 只是 $F(x)$ 的取值不同^[4] (取故障停运标志或失负荷量)。与文献[5]提出的元件故障率的敏感度指标不同, 本文提出了元件转移率和系统可靠性指标对元件原始参数的灵敏度分析。这样, 在可靠性灵敏度分析时, 可直接关注到元件的原始参数的灵敏度。

2.3 元件原始参数的关键重要度

元件原始参数的关键重要度^[6] 定义为原始参数变化引起可靠性指标变化的程度, 其表达式为:

$$I_{sa_i} = \frac{\partial E(F)}{\partial a_i} \frac{a_i}{E(F)} \quad (19)$$

2.4 关键重要度分析的算法改进

由于交直流混合输电系统结构复杂, 系统庞大, 尽管采用 Monte Carlo-FD 混合法对系统进行模拟, 元件原始参数关键重要度的分析工作量仍然很大。在系统状态模拟前, 首先统计出元件的转移率, 并对转移率进行灵敏度分析, 其工作量相对来说是很少的。根据分析结果对元件原始参数进行初始的关键重要度排序。然后, 根据原始参数初始的关键重要度信息, 对可靠性指标进行灵敏度分析和原始参数的关键重要度排序。这样, 可以减少工作量, 避免不必要的重复。

3 算例及分析

本文采用《广东省 1998 主网可靠性评估研究报告》(华南理工大学电力研究所, 广东电力试验研究院, 1998) 中的某 500 kV 交直流混合输电系统为研究对象, 其接线如图 1 所示, 共有 15 条 500 kV 线路、8 条 220 kV 线路、双极 500 kV 直流线路、变电

站 10 母线和水电站 3 母线间的联络变压器。在不考虑 2 条以上线路同时发生故障的情况下, 总的故障组合不会超过 1 500 个。本文根据 Monte Carlo-FD 混合法原理编写了交直流混合输电系统的可靠性评估实用软件。为达到计算精度、减少算法误差, 系统模拟抽样次数为 1 万次。

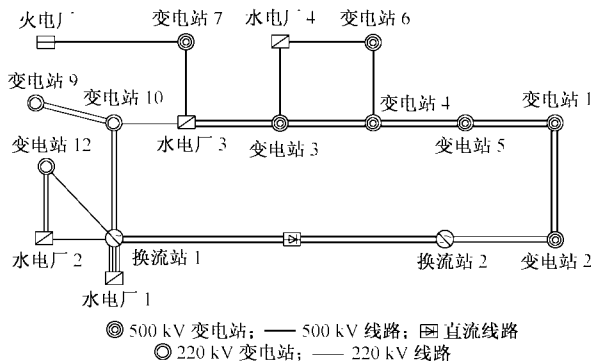


图 1 500 kV 交直流混合输电系统接线
Fig. 1 Wiring diagram of 500 kV AC/DC hybrid transmission system

系统可靠性原始参数包括交流系统中的线路、断路器、母线、隔离开关、变压器的故障率和维修时间, 以及直流系统中的阀臂、换流变压器、直流线路、极设备、交流滤波器、控制及保护的故障率和维修时间。本文采用的元件原始参数为该评估研究报告给出的推荐值。为不失一般性, 这里只进行 500 kV 交流输电系统原始参数对系统可靠性指标的灵敏度分析和关键重要度排序, 其元件原始参数如表 1 所示。系统可靠性指标为: $P=0.049\ 349\ 27$, $T_{TEOT}=44.378\ 013\ 61$, $E_{EENS}=201\ 833\ 680.000\ 000\ 00$, $K_{EU}=0.506\ 789\ 51$ 。

表 1 500 kV 交流系统可靠性原始参数
Table 1 Original reliability parameters of 500 kV AC system

元件	故障率/ 年 ⁻¹	维修时 间/h	计划检修 率/年 ⁻¹	计划检修 时间/h
线路	0.400	14	1.0	200
断路器	0.010	15		
母线	0.001	10		
隔离开关	0.005	5		
变压器	0.020	100	0.8	110

注: 线路原始参数是指每 100 km 线路的平均参数。

根据本文提出的算法改进思想, 首先统计出元件的转移率, 并对其进行灵敏度分析和关键重要度排序。可以发现, 线路的故障率和维修时间对转移率的变化影响最大。

从表 1 可以发现, 线路的故障率比其他的原始参数大很多。从电力系统网络的物理结构看, 根据

连通性的概念,结合最小割集的思想,变电站元件主要由断路器、母线、隔离开关、变压器串并联后作为等效元件出现,而线路作为一个独立的元件与等效元件串联。因此,其他元件的原始参数对系统可靠性指标的变化影响可能较小。在可靠性灵敏度分析时,可能出现误差湮没灵敏度计算结果的现象。由于这里研究的是元件原始参数的关键重要度,并以此为依据对系统进行优化,我们要的只是对系统的可靠性指标影响较大的那些元件原始参数,对可靠性指标影响较小的原始参数可以减少重视,这不会对关键重要度的排序结果产生根本的影响,对确定最关键重要因素没有影响。

500 kV 交流输电系统原始参数的关键重要度如表 2 所示。

表 2 500 kV 交流输电系统原始参数
增加 50% 时的关键重要度

Table 2 Importance of original reliability parameters with
50% increment in 500 kV AC transmission system

原始参数变化量	$\frac{\Delta P}{\Delta a_P} \frac{a_P}{P}$	$\frac{\Delta T_{TEOT}}{\Delta a_{TEOT}} \frac{a_{TEOT}}{T_{TEOT}}$	$\frac{\Delta E_{EENS}}{\Delta a_{EENS}} \frac{a_{EENS}}{E_{EENS}}$	$\frac{\Delta K_{EU}}{\Delta a_{EU}} \frac{a_{EU}}{K_{EU}}$
线路故障率	0.532 321 15	0.136 901 84	0.136 376 68	0.136 376 78
线路维修时间	0.439 752 64	0.152 351 46	0.152 545 09	0.152 545 15
断路器故障率	0.006 220 96	0.020 696 22	0.021 266 30	0.021 266 19
断路器维修时间	0.002 115 53	0.022 240 04	0.022 899 65	0.022 899 60
隔离开关故障率	0.018 692 07	0.002 746 22	0.003 153 49	0.003 153 42
隔离开关维修时间	0.005 468 77	0.006 613 18	0.007 365 11	0.007 365 15
母线故障率	0.003 259 99	0.001 065 27	0.001 124 86	0.001 124 79
母线维修时间	0.027 963 25	0.004 467 31	0.005 087 25	0.005 087 20
变压器故障率	0.032 342 52	0.026 584 94	0.026 578 40	0.026 578 45
变压器维修时间	0.013 302 73	0.008 775 40	0.009 405 13	0.009 405 25

由表 2 可以看出,计算值与原始参数的初始关键重要度排序的分析结果一致,线路的故障率和维修时间对系统的可靠性指标的变化影响最大,为最关键重要因素;其次是变压器和断路器,但对可靠性指标的影响相对很小。由理论分析可知,线路的故障率比其他元件的原始参数大,在整个系统中,线路作为其中的一个主要部分,其故障率和修复率比其他元件的大,因此对系统的可靠性影响会较大,与本文的计算结果一致。

4 结论

a. 系统充裕度的可靠性评估中,可靠性指标只能反映整个输电系统的运行情况,不能充分了解系统的薄弱环节,存在着很大的缺陷。本文提出利用系统可靠性指标进行元件可靠性原始参数灵敏度分析,对元件可靠性原始参数进行关键重要度排序。

b. 根据本文提出的思想,首先针对元件可靠性原始参数的转移率灵敏度分析,进行初始的关键重

要度排序,并在此基础上进行系统可靠性指标的灵敏度分析和元件原始参数的关键重要度排序。从理论分析和实际计算的结果对比来看,用本文提出的方法得到的结果符合实际情况,可按此方法确定影响系统可靠性的最关键元件或影响整个系统可靠性的最关键因素,以确定增强性措施和可靠性优化方案。

c. 对元件可靠性原始参数进行关键重要度排序,其优点在于能够避免复杂的系统状态模拟流程,减少计算量,能够直接根据研究对象确定元件原始参数的关键重要度。从分析的一般性来看,可靠性原始参数对可靠性指标影响的关键重要度排序也可运用于单独的交流输电系统或直流输电系统。

参考文献

- 任震,黄雯莹,冉立(Ren Zhen, Huang Wenying, Ran Li). 高压直流输电系统可靠性评估(Reliability Evaluation of HVDC Transmission). 北京:中国电力出版社(Beijing: China Electric Power Press), 1996
- 任震,湛军,黄雯莹,等(Ren Zhen, Chen Jun, Huang Wenying, et al). 大型电力系统可靠性评估的模型及算法(Model and Algorithm of Reliability Evaluation for Large Power Systems). 电力系统自动化(Automation of Electric Power Systems), 1999, 23(5): 25~27, 34
- 郭永基(Guo Yongji). 电力系统可靠性原理和应用(上册)(Power System Reliability Principle and Application). 北京:清华大学出版社(Beijing: Tsinghua University Press), 1986
- Melo A C G, Licio R V, Araujo J L R, et al. Sensitivities of Multi-area Reliability Indices with Respect to Variations of Equipment Failure and Repair Rates—An Analytical Approach. Electrical Power & Energy System, 1998, 20(2): 153~159
- 吴开贵,吴中福(Wu Kaigui, Wu Zhongfu). 基于敏感度分析的电网可靠性算法(Reliability Evaluation Algorithm of Electrical Power Systems Using Sensitivity Analysis). 中国电机工程学报(Proceedings of the CSEE), 2003, 23(4): 53~56
- 金星,洪延姬,沈怀荣,等(Jin Xing, Hong Yanji, Shen Huairong, et al). 工程系统可靠性数值分析方法(Numerical Analysis Methods of Reliability for Engineering Systems). 北京:国防工业出版社(Beijing: National Defence Industry Press), 2002

任震(1938—),男,教授,博士生导师,从事电力系统可靠性与规划、小波分析及其在电力系统中的应用、高压直流输电、电源滤波、电力市场等领域的科研和教学工作。E-mail: epzhren@scut.edu.cn

梁振升(1980—),男,硕士研究生,研究方向为电力系统可靠性与规划。E-mail: taurusleung@hotmail.com

黄雯莹(1939—),女,教授,主要研究方向为可靠性数学、小波分析等。

(下转第 40 页 continued on page 40)

参考文献

- 1 Akagi H. New Trends in Active Filters for Power Conditioning. IEEE Trans on Industry Applications, 1996, 32(6): 1312~1322
- 2 胡 铭, 陈 珩(Hu Ming, Chen Heng). 有源滤波技术及其应用(Active Power Filter Technology and Its Application). 电力系统自动化(Automation of Electric Power Systems), 2000, 24(3): 66~70
- 3 Fujita H, Akagi H. The Unified Power Quality Conditioner: the Integration of Series- and Shunt-active Filters. IEEE Trans on Power Electronics, 1998, 13(2): 315~322
- 4 Akagi H, Kanazawa Y. Instantaneous Reactive Power Compensators Comprising Switching Devices Without Energy Storage Components. IEEE Trans on Industry Applications, 1984, 20(3): 625~630
- 5 李 承, 邹云屏(Li Cheng, Zou Yunping). 有源电力滤波器抑制谐波的机理分析(Active Power Filter to Suppress Harmonic Caused by Nonlinear Load). 电力系统自动化(Automation of Electric Power Systems), 2003, 27(20): 31~34
- 6 童 梅, 项 基(Tong Mei, Xiang Ji). 一种混合型电力滤波器的变结构控制(Variable Structure Control for a Hybrid Power Filter). 电工技术学报(Journal of Electric Engineering), 2002, 17(1): 59~63
- 7 卢 强, 孙元章(Lu Qiang, Sun Yuanzhang). 电力系统非线性控制(Nonlinear Control Theory in Power Systems). 北京: 科学出版社(Beijing: Science Press), 1993
- 8 陈伯时, 徐荫定(Chen Boshi, Xu Yinding). 电流滞环控制 PWM 逆变器异步电动机的非线性解耦控制系统(Nonlinear Decoupling Control of Hysteresis Band Current-controlled Induction Motor Drive Fed by PWM Inverter). 自动化学报(Acta Automatica Sinica), 1994, 20(1): 50~56

邹祖冰(1978—), 男, 讲师, 研究方向为系统建模、仿真与控制以及柔性交流输电系统。E-mail: mail-zzb@163.com

蔡丽娟(1949—), 女, 副教授, 研究方向为电力电子电路的建模与控制。

甘辉霞(1974—), 女, 工程师, 研究方向为电力系统继电保护。

RESEARCH ON NONLINEAR DECOUPLING CONTROL OF THE ACTIVE POWER FILTER

Zou Zubing¹, Cai Lijuan¹, Gan Huixia²

(1. South China University of Technology, Guangzhou 510640, China)

(2. Gezhouba Group Co, Yichang 443000, China)

Abstract: An active power filter is a nonlinear multivariable system with strong coupling. It is quite difficult to modify the power filter by use of the precise model. This paper adopts theory of the nonlinear transformation and nonlinear feedback, creates the nonlinear model of the power filter, and deduces its feedback linearization equation. Consequently, the active and reactive current decoupling control strategy is proposed. Simulation and experimental results confirm the decoupling control strategy for the power filter. It has preferable dynamic characteristics and robust quality.

This work is supported by Key Scientific Fund of Guangdong Province (No. A1050202) and SCUT 100-Step Program (No. CB05272).

Key words: active power filter; nonlinear system; decoupling control; feedback linearization; robustness control

(上接第 36 页 continued from page 36)

SENSITIVITY ANALYSIS OF AC/DC HYBRID TRANSMISSION SYSTEM RELIABILITY INDICES

Ren Zhen, Liang Zhensheng, Huang Wenyong

(South China University of Technology, Guangzhou 510640, China)

Abstract: The definition of the importance of original reliability parameters and the associated algorithm are presented. This algorithm focuses on variations in original reliability parameters, and the original reliability parameters influences to the reliability of power systems. The algorithm analyzes the sensitivity of component failure and repair rates with respect to variations in original reliability parameters, and the sensitivity of reliability indices with respect to variations in original reliability parameters. Then the importance of original reliability parameters is calculated. By using the information of the importance of original reliability parameters, the weakness links of the system can be easily found, and the reinforcement and reliability optimizations of power systems can be determined accordingly. Finally, a 500 kV AC/DC hybrid transmission system is presented to validate the application of the proposed method. The results demonstrate that the method is practical and effective.

This work is supported by National Natural Science Foundation of China (No. 50337010).

Key words: power systems; original reliability parameter; sensitivity analysis; reinforcement measures