

一种基于神经网络的多能源共直流母线混合供电控制策略

李继方^{1,2}, 高明远², 陈杰³, 任海波³

(1. 上海海事大学, 上海 200135; 2. 开封大学, 河南 开封 475004; 3. 许继电气股份有限公司, 河南 许昌 461000)

摘要: 在分析太阳能、风能、海洋能、地热能等能源特点的基础上, 提出了多能源混合供电的系统结构, 建立了基于神经网络的控制模型, 提出了多能源混合供电控制策略。在对神经网络训练时采用 Levenberg-Marquaret 算法, 并引入动量因子 α , 加快了收敛速度和防止了振荡。仿真结果表明该策略是有效的, 在最大限度地使用可再生能源的前提下, 交流微网输出电压持续、稳定、不间断, 能够满足交流微网内用户用电需要。

关键词: 神经网络; 多能源; 混合供电; 共直流母线

A control strategy for multi-energy hybrid power supply based on neural network

LI Ji-fang^{1,2}, GAO Ming-yuan², CHEN Jie³, REN Hai-bo³

(1. Shanghai Maritime University, Shanghai 200135, China; 2. Kaifeng University, Kaifeng 475004, China;
3. XJ Electric Co., Ltd, Xuchang 461000, China)

Abstract: A system structure of multi-energy hybrid power supply is proposed by analyzing the characteristics of solar energy, wind energy, ocean energy and geothermal energy. The control model based on neural network is established, and the control strategy for multi-energy hybrid power supply is proposed. In order to accelerate the convergence and to prevent oscillation. Levenberg-Marquaret algorithm is used and the momentum factor α is introduced in the training. Simulation shows that this strategy can make the voltage sustained, stable and continuous in the maximum use of renewable energy, which can satisfy customers' electricity need.

This work is supported by National Natural Science Foundation of China (No.60804026).

Key words: neural network; multi-energy; hybrid power supply; common DC bus

中图分类号: TM734 文献标识码: A 文章编号: 1674-3415(2010)20-0141-04

0 引言

电是人们生活和生产中最常用的动力来源, 随着人们生活水平的不断提高和技术进步, 人们对电的依赖越来越强。目前人们使用的电能主要来自于火力发电, 也就是说通过煤炭或其他物质产生电能, 这不但使煤炭等矿物质能源日益短缺, 而且还带来了很大的环境污染。太阳能、风能、海洋能、地热能等均属于过程性能源, 由这些能源发电不仅可以再生, 且清洁无污染, 蕴藏量巨大。因此, 国内外将风力发电、太阳能电池等作为当前电气工程重要的研究领域和发展方向, 并且已取得了重要的进展和成果, 但是风电、光电的开发和利用仍存在许多问题需要研究和解决^[1]。

人们在生活和生产上需要持续、稳定、不间断的电源^[2]。由于风资源的不确定性和太阳能的非连续性, 风力发电机和太阳能电池板输出的电能功率是脉动的和非持续的, 不加以控制, 无法直接用于人们的生产和生活, 采用单一能源或某两种能源供电, 无法保障人们正常的生产和生活用电的需要, 因此必需采用多能源混合供电。文章对多能源混合供电系统进行了研究, 提出了多能源供电系统结构, 为保障人们正常的生产和生活用电的需要, 最大限度地使用风电、光电等可再生性能源, 建立了多能源供电系统神经网络控制策略模型, 给出神经网络学习算法, 并进行了仿真研究。

1 系统结构

采用多能源供电方式组成的集成系统供电是未来新能源发展的方向^[3]。文章提出的多能源供电系统结构如图1所示。系统采用风力发电与太阳能电

基金项目: 国家自然科学基金项目(60804026); 上海海事大学博士生创新基金项目(yc2009104)

池组合，形成互补式电源系统，并设置储能装置，以调节风力发电和太阳能电池的电

用市电网作为后备电源后以保证给用户提

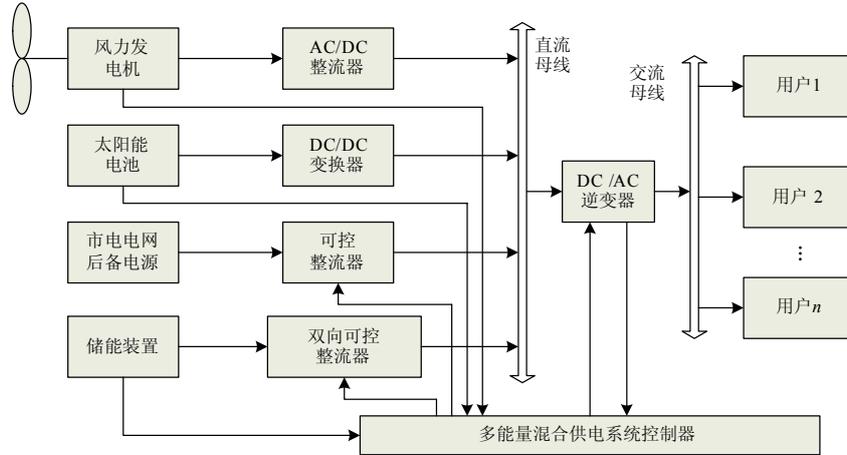


图1 多能源供电系统结构图

Fig.1 Structure of the multi-energy hybrid power supply system

系统没有采用交流直接并网，而是采用交流小网的形式给用户供电，主要原因有：（1）风资源和太阳光资源的不确定性，风力发电机和太阳能电池输出的功率是波动的，可能影响电网的电能质量，如电压偏差、电压波动和闪变、谐波等^[4]。（2）目前并网风电和太阳能电池的装机容量还比较小，在电力系统保护配置和整定计算时往往没有考虑风电场的影响，而是简单地将风电场认为是一个负荷，不考虑其提供短路电流^[5]。然而，当大规模的风电场接入系统后，在电网发生故障时风力发电机组将向短路点提供一定的短路电流，在此情况下如果系统保护配置和整定仍不考虑风电场的影响是不合理的，实际运行时可能导致保护的误动，不利于大规模推广^[6]。

2 控制策略建模

多能源混合供电控制器的控制策略比较复杂，既要根据风速、风向和太阳光强弱估算出风力发电机和太阳能电池最佳输出功率，还要计算用户实际消耗功率，考虑转换效率，当风电和光电最佳输出功率大于实际消耗功率时，启动储能装置的双向可控功率变换器，存储多余的电能；当风电和光电最佳输出功率小于实际消耗功率时，控制双向可控功率变换器，释放存储的电能补充功率差额，储能装置内的电能释放结束时，启动市电可控功率整流装置补充功率差额。控制策略既要使风力发电机和太阳能电池达到最佳输出功率和最佳运行状态，保证风力发电机和太阳能电池安全、可靠、稳定地运行，又要给用户提

2.1 网络结构的确定

为满足控制策略的需要，神经网络结构如图2所示。系统采用三层网络结构，有五个输入节点，分别表示风速、太阳光强、储能、逆变器输出电压、电流等；四个输出节点，分别控制风力发电机、太阳能电池、后备电源、储能装置的变换器。

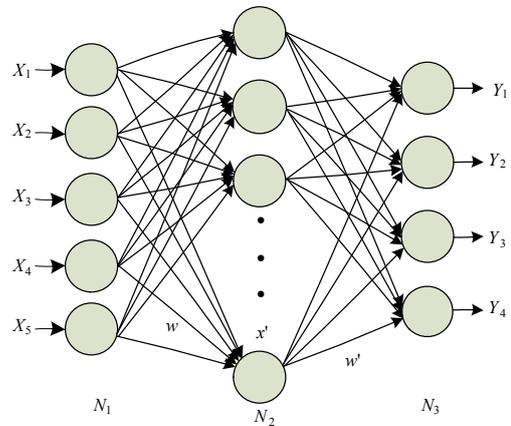


图2 神经网络结构图

Fig.2 Structure of neural network

由于风、光的不确定性很大，网络必须有很好的容错性能，保障交流微网的稳定性，因此用 $f(x) = \frac{1}{1+e^x}$ 作为网络传递函数，还可以合理地分配风、光、储能、后备能源的供电，最大限度地利用可再生能源；用线性函数作输出函数^[7-8]；则有：

$$x'_j = f\left(\sum_{i=0}^4 w_{ij}x_i - \theta_j\right)$$

$$y_k = f\left(\sum_{i=0}^4 w'_{jk} x'_j - \theta_k\right)$$

$$w'_{jk}(n_0 + 1) = w'_{jk}(n_0) + \eta \sum_{P_1}^P \delta_{jk}^{P_1} x'^{P_1}_j$$

$$w_{ij}(n_0 + 1) = w_{ij}(n_0) + \eta \sum_{P_1=1}^P \delta_{ij}^{P_1} x'^{P_1}_j$$

其中:

$$\delta_{jk}^n = (t_k^n - y_k^n) y_k^n (1 - y_k^n)$$

$$\delta_{ij}^{P_1} = \sum_{k=0}^4 \delta_{jk}^{P_1} w'_{jk} x'^{P_1}_j (1 - x'^{P_1}_j)$$

2.2 训练样本集的确定

风力发电裸机最优额定输出功率为:

$$P = \frac{1}{2} C_p \eta A \rho v^3$$

其中: C_p 为风能利用系数; η 为风力发电机功率输出综合效率; A 为风轮机掠过的面积 $A = \pi R^2$; ρ 是空气密度; v 为风速^[9]。

太阳能电池最优额输出率为:

$$P = P_{AS} S \frac{H_A}{G_S} K$$

其中: P_{AS} 是标准状态下太阳能电池阵列的输出功率; H_A 为某一时期的电池阵列所得到的日照量 (kW/m^2); G_S 是标准状态下的日照强度 kW/m^2 , K 是综合设计系数; S 为太阳能电池板面积^[10]。

自然界风速一般为 0~20 m/s, 日照强度为 0~2 kW/m^2 。为使系统具有广泛的适用性和训练后系统的健壮性, 制定训练样本集时, 风速取 2~20, 间隔为 2 的 10 个数; 日照强度取 0.2~2, 间隔为 0.2 的

表 1 部分训练样本集

Tab.1 Part of the training sample set

序号	风速	日照强度	储电状态	电压	电流	风电控制量	光电控制量	后备电源控制量	储能装置控制量
1	0.5	0.1	0.14	220	9.5	1	1	0	0.988
2	0.5	0.1	0.14	220	8.5	1	1	0	0.880 2
3	0.5	0.1	0.14	220	7.5	1	1	0	0.772 3
4	0.5	0.1	0.14	220	6.5	1	1	0	0.664 5
5	0.5	0.1	0.14	220	5.5	1	1	0	0.556 7
6	0.5	0.1	0.14	220	4.5	1	1	0	0.448 8
7	0.5	0.1	0.14	220	3.5	1	1	0	0.341
8	0.5	0.1	0.14	220	2.5	1	1	0	0.233 1
9	0.5	0.1	0.14	220	1.5	1	1	0	0.125 3
10	0.5	0.1	0.14	220	0.5	1	1	0	0.017 4

10 个数, 储能装置的储能状态取 0.1~1, 间隔为 0.1 的 10 个数; 电压取 204~240, 间隔为 4 的 10 个数; 电流取 1~10, 间隔为 1 的 10 数; 排列组合共 10 万组输入样本。为最大限度地使用可再生能源, 只有在风能、光能供电不足, 而储能状态小于 0.05 时, 才由后备电源供电, 并使输出电压稳定在 220 V。部分训练样本集如表 1 所示。

3 仿真

采用 10 万组训练样本集训练系统 2 000 次, 为了加速收敛和防止振荡, 训练时采用 Levenberg-Marquaret 算法, 并引入动量因子 α 。仿真输入样本集的输出值, 并与样本集输出值比较, 对风力发电机、太阳能电池、后备电源和储能装置的变换器控制量误差如图 3 所示, 图 3 (a) 为风电控制量误差, 图 3 (b) 为光电控制量误差, 图 3 (c) 为后备电源控制量误差, 图 3 (d) 为储能装置控制量误差。交流微网输出电压理论值和仿真值误差如图 4 所示, 图 4 (a) 为交流微网输出电压理论误差, 图 4 (b) 为交流微网输出电压仿真误差。

随机产生 1 万组输入数据, 变换器控制量误差如图 5 所示, 图 5 (a) 为风电控制量误差, 图 5 (b) 光电控制量误差, 图 5 (c) 为后备电源控制量误差, 图 5 (d) 为储能装置控制量误差。交流微网输出电压理论值和仿真值如图 6 所示, 图 6 (a) 为交流微网输出电压理论误差, 图 6 (b) 为交流微网输出电压仿真误差。

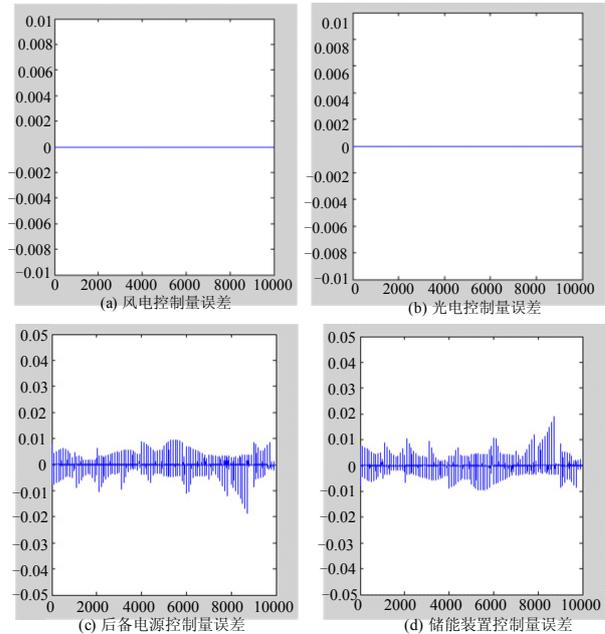


图 3 训练样本变换器控制量误差

Fig.3 Control error of converter on the training sample set

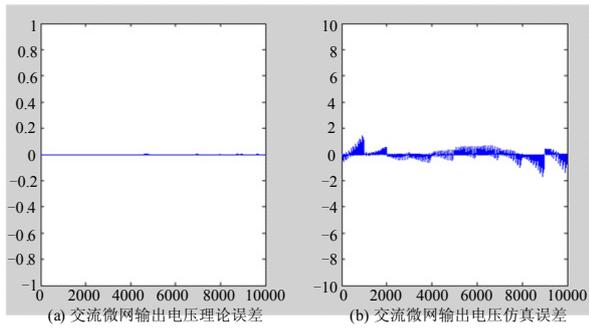


图 4 训练样本交流微网输出电压误差

Fig.4 Error of micro-grid output voltage on the training sample set

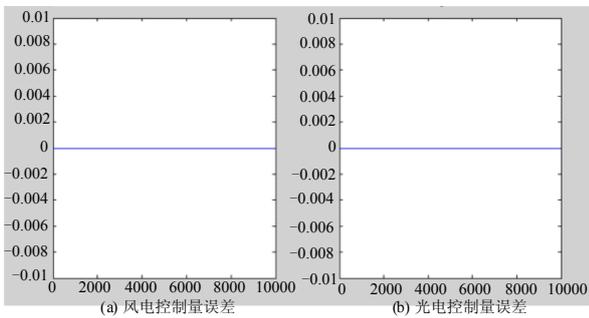


图 5 随机数据变换器控制量误差

Fig.5 Control error of converter on the random data

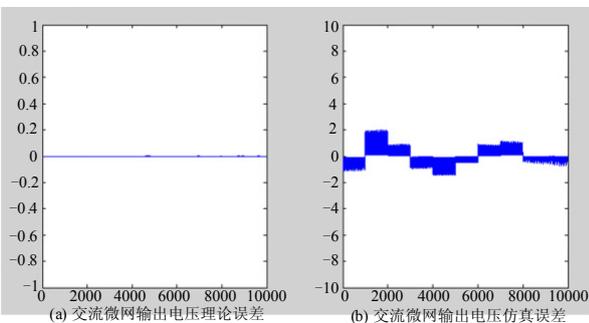
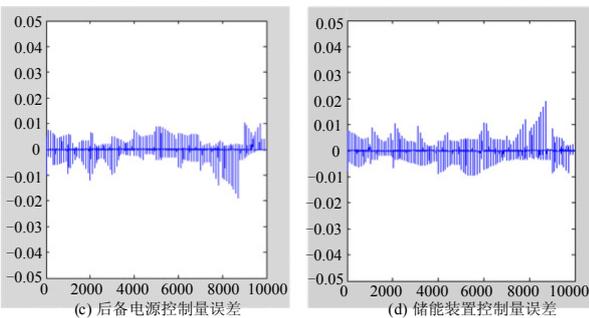


图 6 随机数据交流微网输出电压误差

Fig.6 Error of AC micro-grid output voltage on the random data

仿真结果显示,控制变换器输出量误差在±1.5%内,交流微网输出电压在±3 V波动。说明该系统在最大限度地使用可再生能源的前提下,能够保障交流微网输出电压的稳定性,为交流微网内用户提供持续、安全、稳定、不间断的电能。

4 结论

- (1) 提出了多能源混合供电系统结构模型。
- (2) 提出了多能源混合供电控制策略,并建立了基于神经网络的模型。
- (3) 仿真结果表明,在最大限度地使用可再生能源的前提下,交流微网输出电压持续、稳定、不间断,能够满足交流微网内用户用电需要。

参考文献

- [1] 汤天浩. 新能源与可再生能源的关键技术与发展趋势[J]. 电源技术应用, 2007, 10(2): 60-64.
TANG Tian-hao. Key technology and development trend of new energy source and reproducible energy source[J]. Power Supply Technologies and Applications, 2007, 10(2): 60-64.
- [2] Tanezaki S, Matsushima T, Muroyama S. Stand-alone hybrid power supply system composed of wind turbines and photovoltaic modules for powering radio relay stations[C]. //Telecommunications Energy Conference, 2003. INTELEC '03. The 25th International. 2003: 457-462.
- [3] Sachin Jain, Agarwal V. An integrated hybrid power supply for distributed generation applications fed by non-conventional energy sources[J]. IEEE Transaction on Energy Conversion, 2008, 23(2): 622-631.
- [4] 齐学义, 季炜, 董士奎, 等. 西部多能源互补利用的分布式能源系统方案探讨[J]. 节能技术, 2008(1).
QI Xue-yi, JI Wei, DONG Shi-kui, et al. Study on the distributed energy sources system with complementary application of multi-energy sources in west region[J]. Energy Conservation Technology, 2008(1).
- [5] 包能胜, 徐军平, 倪维斗. 以大型风电场为核心的多能源互补发电系统[J]. 中国能源, 2006(8).
BAO Neng-sheng, XU Jun-ping, NI Wei-dou. Multi-energies hybrid power systems centered on large-scale wind farm[J]. Energy of China, 2006(8).
- [6] 龙哲. 风光混合供电系统风光匹配性的研究[D]. 呼和浩特: 内蒙古大学, 2007.
LONG Zhe. Optimizes of wind-PV power supply system's research with wind and light[D]. Huhehaote: Journal of Inner Mongolia University, 2007.
- [7] 蔡良伟, 周俊人. 神经网络在混合电力系统短期预报中的应用[J]. 深圳大学学报:理工版, 1998(1).

(下转第 147 页 continued on page 147)

数及幅值比图 1 要强, 由此还可判断电机故障严重程度。

3 结论

通过理论及实验结果分析可知, 经过倒频谱分析后的故障信号的特征频率由许多单根的谱线组成, 更易于识别故障类型。将其与小波分解相结合后对故障电机单相定子电流进行处理, 可发挥各自的优势, 有效分离耦合故障和提取故障特征。该方法为电机复合故障诊断研究开辟了新的思路。

参考文献

- [1] 刘振兴, 尹项根, 张 哲. 鼠笼式异步电动机转子故障在线监测与诊断方法[J]. 电力自动化设备, 2004, 24(1): 30-33.
LIU Zhen-xing, YIN Xiang-gen, ZHANG Zhe. On-line rotor fault monitoring and diagnosis for squirrel cage induction motors[J]. Electric Power Automation Equipment, 2004, 24(1): 30-33.
- [2] 崔玲丽, 高立新, 张建宇. 基于 EMD 的复合故障诊断方法[J]. 北京科技大学学报, 2008, 30(9): 1055-1060.
CUI Ling-li, GAO Li-xing, ZHANG Jian-yu. Composite fault diagnosis method based on empirical mode decomposition[J]. Journal of University of Science and Technology Beijing, 2008, 30(9): 1055-1060.
- [3] 葛哲学, 沙威. 小波分析理论与 Matlab R2007 实现[M]. 北京: 电子工业出版社, 2007.
GE Zhe-xue, SHA Wei. Wavelet analysis theory and matlab R2007 to achieve[M]. Beijing: Publishing House of Electronics Industry, 2007.
- [4] 李晓虎, 贾民平, 许飞云. 频谱分析法在齿轮箱故障诊断中的应用[J]. 振动、测试与诊断, 2003, 23 (3): 168-170.
LI Xiao-hu, JIA Min-ping, XU Fei-yun. Spectrum analysis and its application to gearbox fault diagnosis[J]. Journal of Vibration, Measurement & Diagnosis, 2003, 23(3): 168-170.
- [5] 汤武初, 杨彦利, 仇大俐. 倒频谱在压缩机故障诊断中的应用[J]. 噪声与振动控制, 2006 (2): 71-73.
TANG Wu-chu, YANG Yan-li, KANG Da-li. The application of cepstrum in compressor fault diagnosis[J]. Noise and Vibration Control, 2006 (2): 71-73.
- [6] 王铁, 张国忠, 侯荣涛. 基于倒谱和小波变换的驱动桥故障特征提取[J]. 计算机测量与控制, 2003, 11(8).
WANG Tie, ZHANG Guo-zhong, HOU Rong-tao. Drive-shaft's trouble character collection based on cepstrum and wavelets[J]. Computer Measurement & Control, 2003, 11 (8).
- [7] 沈标正. 电机故障诊断技术[M]. 北京: 机械工业出版社, 1996.
SHEN Biao-zheng. Fault diagnosis technology for motor [M]. Beijing: China Machine Press, 1996.
- 收稿日期: 2010-11-07; 修回日期: 2010-01-25
- 作者简介:
张雄希(1975-), 男, 讲师, 博士研究生, 主要从事设备故障诊断与信号处理方面的工作; E-mail: zxx417@sohu.com
刘振兴(1965-), 男, 教授, 博士生导师, 博士, 主要从事电机状态监测、电气传动、电力系统继电保护等方面工作。
- (上接第 144 页 continued from page 144)
- CAI Liang-wei, ZHANG Jun-ren. The application of neural network in the short term forecast of hybrid power systems[J]. Journal of Shenzhen University: Science & Engineering, 1998(1).
- [8] 张志刚, 沈毅, 王宪杰. 人工神经网络的混合电力补偿控制器设计[J]. 电机与控制学报, 2008(3).
ZHANG Zhi-gang, SHEN Yi, WANG Xian-jie. Design of controller based on neural networks in hybrid power compensation[J]. Electric Machines and Control, 2008(3).
- [9] 叶杭冶. 风力发电机组的控制技术[M]. 北京: 机械工业出版社, 2002.
YE Hang-ye. Wind turbine control technology[M]. Beijing: China Machine Press, 2002.
- [10] Zahran M, Dmowski A, Kras B. PV battery wind-turbine public-grid hybrid power supply for telecom-equipment, system management and control[C]. //Energy Conversion Engineering Conference and Exhibit, 2000. (IECEC) 35th Intersociety. 2000: 1252-1260.
- 收稿日期: 2009-11-24; 修回日期: 2010-02-11
- 作者简介:
李继方(1971-), 男, 博士研究生, 副教授, 研究方向为电力电子与智能信息处理; E-mail: ljf538@163.com
高明远(1965-), 男, 副教授, 主要从事电气自动化方向的教学和科研工作;
陈 杰(1967-), 男, 本科, 高级工程师, 从事电力系统继电保护及自动化的研发及工程工作。