

一种并网 BIPV 的储能容量优化 DFT 方法

李 滨¹, 陈 姝², 吴思缘¹

(1. 广西大学 广西电力系统最优化与节能技术重点实验室, 广西 南宁 530004;

2. 国网杭州供电公司, 浙江 杭州 310009)

摘要: 光电与建筑一体化(BIPV)将成为新能源和建筑节能的有效途径,对此提出了一种 BIPV 储能容量优化的频谱分析方法。在并网运行方式下,基于微电网平滑功率波动所需可控功率的频谱分析结果,确定用于补偿功率偏差的控制容量需求以及辅助设备和系统机组提供控制容量的能力。计算结果表明,所提方法配置的储能容量相对较小,且能够恰好地满足微电网联络线功率控制目标,并有效平抑 BIPV 系统发电输出和负荷用电功率波动。

关键词: 光电与建筑一体化; 储能; 光伏; 备用容量; 频谱分析; 离散傅里叶变换

中图分类号: TM 615

文献标识码: A

DOI: 10.16081/j.issn.1006-6047.2016.08.007

0 引言

随着分布式发电及其系统集成技术的日趋成熟和城市节能减排、绿色环保需求的日益增加,以光伏和风电为代表的可再生能源分布式发电技术得到越来越广泛的应用。光伏建筑一体化 BIPV (Building Integrated with PhotoVoltaic)是一种可持续发展的生态整合设计策略,其绿色环保的理念得到了世界各国的推崇,成为光伏分布式发电的新潮流。2012 年 7 月 7 日,国家能源局发布的《太阳能发电发展“十二五”规划》^[1]明确提出:至 2015 年,重点在中东部地区城镇工业园区、经济开发区、大型公共设施等建筑屋顶相对集中的区域,建设并网光伏发电系统,规模达到 10^7 kW。

政策支持大力推动着我国屋顶光伏产业的发展。2012 年,广西玉柴集团建成 30 MW 全国装机容量最大且已正常运行的屋顶光伏发电项目,2013 年实际发电量为 2.55×10^7 kW·h;同时,居民用户光伏发电也是方兴未艾,容量均在 2~10 kW。但从电力系统角度分析,以下方面仍不尽完善:BIPV 发电系统的输出功率受外界环境的影响较大,光伏系统输出波动大且不稳定;随着光电渗透率的提升,BIPV 光伏系统并网运行时,需采用有效技术减小其对并网系统的冲击。在符合输出要求的情况下,选取合适的储能容量和机组备用,可以将微电网与外部电网联络线功率控制在恒定值附近,减小光伏系统并网微电网联络线功率的波动性,以抵消高可再生能源渗透率对电网的不利影响。

目前,越来越多国家开始致力于 BIPV 光伏系统的研究^[2-3];美国能源部已经制定了 BIPV 光伏系统发展战略,至 2020 年实现家庭建筑物零能耗,至 2025 年实现商业建筑物零能耗;英国能源和气候变化部启动了低碳建筑物计划来促进 BIPV 光伏系统的发展;在我国,京沪高铁上海虹桥站太阳能电站已于 2010 年正式并网发电,其总装机容量 6.688 MW,是目前世界上最大的单体 BIPV 项目。除此之外,有关储能系统容量配置的方法也已取得相应研究成果^[4-10]。文献^[5-9]考虑了微电网经济性最优的储能容量优化方法,但这些方法并不完全针对微电网内储能容量的优化,且忽视了含可再生能源发电系统的功率实时平衡要求。文献^[4, 11]从频谱分析角度确定储能系统最小容量,其中文献^[4]基于微电网平滑联络线功率所需可控功率输出的频谱分析结果,提出了用于控制联络线功率输出的储能容量优化方法,但所提方法均未考虑在不同的时间范围内,无论是储能系统还是系统备用都应采取不同的控制机制,并调用不同类型的控制容量补偿功率偏差。

针对以上问题,本文提出了一种基于频谱分析的储能容量优化方法,考虑 BIPV 光伏系统并网运行方式下,在已知光伏输出功率、并网系统额定功率、负荷以及联络线功率控制目标的前提下,利用离散傅里叶变换 DFT(Discrete Fourier Transform)对微电网功率需求进行频谱分析,直观各类型控制容量需求,调用相应不同类型的控制容量实现联络线功率的有效控制,确定用于补偿功率偏差的控制容量需求以及辅助设备和系统机组提供控制容量的能力。

1 并网 BIPV 光伏系统特点和运行方式

BIPV 不是简单地将太阳能电池板和建筑物叠加,而是通过建筑和能源领域专业人士的共同协作,

收稿日期:2015-08-17;修回日期:2016-05-15

基金项目:国家重点基础研究计划(973 计划)项目(2013CB-228205);国家自然科学基金资助项目(51107011)

Project supported by the National Basic Research Program of China(973 Program)(2013CB228205) and the National Natural Science Foundation of China(51107011)

在达到绿色发电目标的同时,满足和实现建筑物本身的要求和功能。

BIPV 发电系统的输出功率受天气条件等因素的影响较大^[12],在常温(25℃)、不同光照情况下,光伏电池的伏瓦(电压-功率)特性如图 1 所示。由于 BIPV 自身的建筑装饰物、其他建筑物、树叶、积雪等障碍物的遮挡,BIPV 发电系统中的光伏电池板常存在阴影问题,这将使光伏电池无法均衡吸收太阳能,导致光伏系统输出波动增大且极不稳定。选择合理的储能容量可以有效平抑 BIPV 光伏系统的输出功率波动,提高光电转换效率。

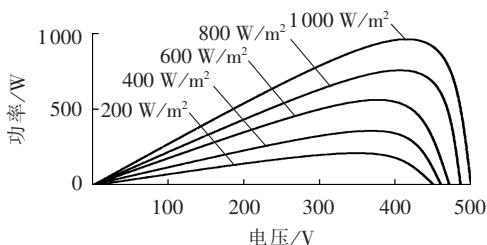


图 1 光伏电池伏瓦特性

Fig.1 Volt-watt characteristics of PV cell

并网 BIPV 系统通过微电网实现 BIPV 中大量分布式光伏电源的并网接入,如图 2 所示。为了减少对配电网安全运行产生的冲击,其含有蓄电池组作为储能环节,以削峰填谷且平滑公共连接点联络线功率波动。由此看来,储能系统起着至关重要的作用,但目前储能系统造价昂贵,合理选择储能容量将促进可再生能源被最大限度利用。

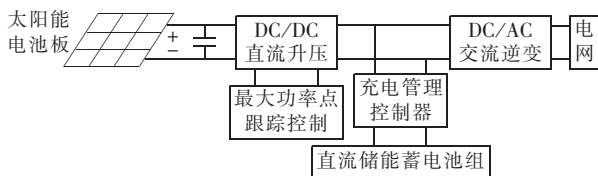


图 2 可调度式并网运行光伏发电系统

Fig.2 Schedulable grid-connected PV power generation system

微电网将可再生能源供电系统、并网系统、储能系统、负荷等有机结合在一起,对可再生能源实施有效的管理。BIPV 光伏系统的管理亦是微电网实现,并对配电网的安全运行产生尽可能小的影响。从系统功率平衡的角度而言,通过储能系统的调节,尽可能减少联络线功率波动,达到控制目标的要求。

假设光伏系统、负荷、储能系统以及联络线功率相应输出功率分别为 P_{GV} 、 P_L 、 P_{ES} 和 P_T ,其中 P_{ES} 为正表示储能系统放电,为负表示充电; P_T 为正表示配电网向微电网注入功率,为负表示微电网向配电网输出功率。

当 BIPV 并网运行时,联络线和光伏系统共同

为负荷供电,功率约束如下:

$$P_{GV} - P_L + P_T \pm P_{ES} = 0 \quad (1)$$

令 P_{T0} 为微电网络络线功率计划值,实际值与控制目标之间的偏差 P_{DEV} 为:

$$P_{DEV} = P_T - P_{T0} = -P_{GV} + P_L \pm P_{ES} - P_{T0} \quad (2)$$

BIPV 应选择适合的储能系统,包括类型和容量,以使联络线功率控制偏差 P_{DEV} 最小,即:

$$\min |P_{DEV}| = \min |P_{GV} - P_L \pm P_{ES} + P_{T0}| \quad (3)$$

为了减少联络线功率波动情况,提高供电质量,亦可以用均方根误差(RMSE)来衡量供电情况的好坏^[13]。功率波动率是功率的标准差与功率均值之比,以百分数表示如下:

$$RMSE = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^n (P_{Ti} - P_{T0})^2}}{\max(P_T) \cdot \sqrt{n}} \times 100\% \quad (4)$$

其中, P_{Ti} 为 i 时刻的联络线功率实际值; P_{T0} 为 i 时刻的联络线功率计划值; n 为所有数据记录个数,即取样个数; $i-1$ 为取样编号。

2 备用容量分类及储能特性分析

并网运行的 BIPV 光伏系统,功率的偏差主要来自光伏输出功率和负荷的波动性,其将导致联络线功率频繁波动。在不同的时间范围内,调用不同类型的储能容量以补偿功率缺额,使频率恢复至额定值或平滑联络线功率波动。然而,仅从时域角度对备用进行分类,无法直观填补功率缺额所需要的备用类型和容量。由此,本文分别从时域和频域的角度,根据储能系统和备用机组的响应速度和响应容量,将备用分成 6 类,分别定义为 30 s 响应备用、瞬时响应备用 AGC、10 min 旋转备用、30 min 运行备用、60 min 运行备用和冷备用,上升时间分别为 30 s、180 s、600 s、1800 s 和 3600 s,考虑到在正弦信号中,上升时间为总时段的 $1/4$ ^[14],即各类型备用的实际分类时隙分别为 120 s、720 s、2400 s、7200 s 和 14400 s,通过时频转换,得到各类型备用的频率区间:30 s 响应备用(<30 s)为 $1/120$ Hz~无穷大;瞬时响应备用 AGC(>30 s, <3 min)为 $1/720 \sim 1/120$ Hz;10 min 旋转备用(>3 min, <10 min)为 $1/2400 \sim 1/720$ Hz;30 min 运行备用(>10 min, <30 min)为 $1/7200 \sim 1/2400$ Hz;60 min 运行备用(>30 min, <60 min)为 $1/14400 \sim 1/7200$ Hz;冷备用(>60 min)为 $0 \sim 1/14400$ Hz。

储能在电力系统中可以看成是具有不同时间尺度灵活响应特性的备用电源,根据储能充放电时间响应特性,可将储能划分为功率型和能量型。功率型储能具有响应快(快速充放电)、容量小、寿命长等特点,适合补偿分钟级功率波动,如超级电容器、铅酸电池、锂离子电池等^[15],类同于备用类型中的 30 s 响

应备用、瞬时响应备用 AGC 和 10 min 旋转备用;能量型储能具有响应慢、容量大等特点,适合补偿小时级功率波动,如液流电池等,类同于备用类型中的 30 min 运行备用、60 min 运行备用和冷备用。储能设备提供备用容量的时间取决于储能设备的技术参数和设备使用者的策略。

3 DFT 方法

频谱分析是利用傅里叶变换的方法对振动的信号进行分解,并按频率顺序展开,使其成为频率的函数,进而在频域中对信号进行研究和处理的一种过程。

在实际情况下,时域信号通常由离散的时间测量数据组成,需用 DFT 对原始数据进行时频转换。假设在时间段 NT_s 内对连续时间信号 $y(t)$ 进行取样,每 T_s 秒取样 1 次,样本个数 N ,样本编号 $k=0,1,2,\dots,N-1$, $y(k)=y(kT_s)$, DFT 定义为:

$$Y(n)=\sum_{k=0}^{N-1} y(k) e^{-2\pi jnk/N} \quad (5)$$

上式中共有 N 个傅里叶分量, $n=0,1,2,\dots,N-1$, n 和频域信号的频率 f 具有如下关系:

$$f=\frac{nf_s}{N}=\frac{n}{NT_s} \quad (6)$$

其中, T_s 为相邻采样点间的时间间隔,即采样周期(s); $f_s=1/T_s$ 为样本数据的采样频率(Hz)。

帕塞瓦尔定理(Parsevals' theorem)规定,信号能量等于傅里叶分量的能量密度之和^[14]。因此,频带 $[f_1, f_2]$ 内的信号能量分量可由下式得到:

$$E(f_1, f_2)=\sum_{f=f_1}^{f_2} |Y(f)|^2 \quad (7)$$

根据指定的频率范围 f_1 和 f_2 定义控制容量类型,每一类控制容量的能量分量等于 $E(f_1, f_2)$ 。

$$P(f_1, f_2)=\sqrt{\sum_{f=f_1}^{f_2} |Y(f)|^2} \quad (8)$$

$P(f_1, f_2)$ 即为定义在频率范围 $[f_1, f_2]$ 内的控制容量类型的功率值。

4 BIPV 系统储能容量优化 DFT 方法

对并网 BIPV 系统可控功率输出之和 P_{DEV} 进行频谱分析,以确定备用结果。

样本数据的采样点数 N 、采样周期 T_s 和采样频率 f_s 等参数直接与拟研究的具体问题相关,选取时域信号相邻 2 个采样点之间的时间间隔作为采样周期 T_s ,采样总时段 T 与采样点数和采样周期/采样频率之间满足以下关系式: $T=NT_s=N/f_s$ 。本文以光伏系统输出功率的典型样本数据为基础,选取数据的采样点数 N 为 21600,采样总时间 T 为 24 h,采样周期 T_s 为 4s,采样频率 f_s 为 1/4 Hz。

利用 DFT 对控制功率需求进行时频转换, DFT

将时域中的一个序列 $y(k)$ 变换成频域中的另一个序列 $Y(n)$, k 和 n 都是整数,分别对应于时间轴和频率轴,表示序列 $y(k)$ 和 $Y(n)$ 中采样值的序号,但其没有说明 $y(k)$ 和 $Y(n)$ 中采样值的实际时间和实际频率。确定实际时间轴和实际频率轴的关键在于得到采样周期 T_s 或采样频率 f_s ,离散时间轴上任意点 k 所对应的实际时间为 $t=kT_s$,频谱图形中离散频率轴上任意点 n 所对应的实际频率为 $f=(f_s/N)n$ 。

由采样定理和 DFT 数据的对称性可知,频谱图形以 Nyquist 频率 $f_s/2$,即 $k=N/2$ 所对应的频率为对称轴,两侧对称的复序列互为共轭,模相等^[10],故频谱分析过程只需要考虑 0 至 Nyquist 频率范围的幅频特性。

$Y(n)$ 的模 $|Y(n)|$ 表示第 n 个频谱分量的幅值,并非原信号的实际幅值 $|Y(n)|_{\text{real}}$,利用式 (9) 和式 (10) 可得到频谱分量的实际幅值^[10]。

当 N 为奇数时,有:

$$|Y(n)|_{\text{real}}=\begin{cases} \frac{|Y(n)|}{N} & n=0 \\ 2\frac{|Y(n)|}{N} & n=1,\dots,\left[\frac{N}{2}\right] \end{cases} \quad (9)$$

当 N 为偶数时,有:

$$|Y(n)|_{\text{real}}=\begin{cases} \frac{|Y(n)|}{N} & n=0,\frac{N}{2} \\ 2\frac{|Y(n)|}{N} & n=1,\dots,\frac{N}{2}-1 \end{cases} \quad (10)$$

其中, $\left[\frac{N}{2}\right]$ 表示取 $\frac{N}{2}$ 的整数部分。

由此得到横纵坐标均为实际值的频谱图形。

BIPV 系统储能容量优化 DFT 方法的具体步骤如下:

(1) 确定 BIPV 所构微电网中光电输出、负荷以及联络线功率的时域特性;

(2) 对 BIPV 并网运行方式下的控制功率需求执行一次 DFT,使控制功率时域信号转换成为频域信号;

(3) 分析信号的频谱,其中 Nyquist 采样频率对应于 $Y(n)$ 频谱的中点,且由于 $Y(0)$ 对应于时域信号中的直流偏移,故 $Y(0)$ 不放入频谱分析中;

(4) 根据备用的分类准则将频谱进行分段,得到各类型备用容量对应于 $Y(n)$ 频谱的范围;

(5) 根据各类型备用的具体频谱内容,得到备用能量值和功率值;

(6) 评估验证得到 BIPV 并网运行方式下的最优储能系统容量和系统备用容量。

5 算例分析

为了验证所提方法的有效性,本研究进行了广泛的仿真和测试。以某个额定装机容量为 200 kW 的

BIPV 光伏系统为例,在晴天和多云 2 种天气状况下,取其典型发电输出、负荷用电和联络线功率,分别对其进行储能容量优化配置。

5.1 晴天情况

图 3 为晴天并网运行时 BIPV 光伏系统一天 24 h 的实测输出和预测输出,其预测均方根误差为 4.22%。图 4 为一天 24 h 的实测负荷和预测负荷,其预测均方根误差为 5.65%。

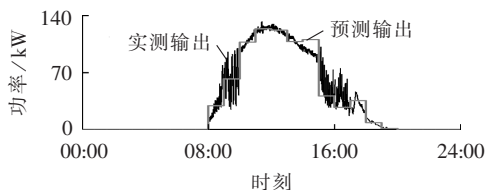


图 3 晴朗天气 BIPV 系统实测输出及预测输出曲线
Fig.3 Measured and predicted outputs of BIPV system in sunny day

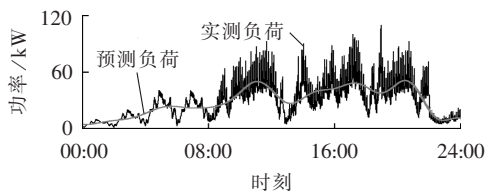


图 4 晴朗天气 BIPV 系统实测负荷及预测负荷曲线
Fig.4 Measured and predicted loads of BIPV system in sunny day

不计储能出力,由式(1)和预测输出及预测负荷之间的差值得到 BIPV 并网情况下的联络线功率计划值 P_{T0} ,如图 5 所示。图 5 为一天 24 h 的发电输出、负荷用电预测值及联络线功率计划值 P_{T0} 。

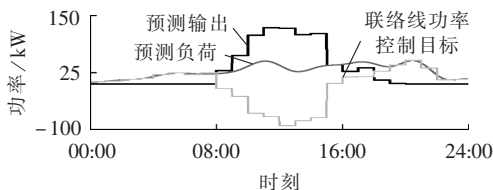


图 5 晴朗天气 BIPV 系统输出、负荷及联络线功率 P_{T0} 曲线
Fig.5 Output,load and tie-line power P_{T0} of BIPV system in sunny day

如果不计储能出力,联络线功率的波动情况如图 6 所示,其均方根误差为 12.66%,对系统而言,将是不小的冲击。

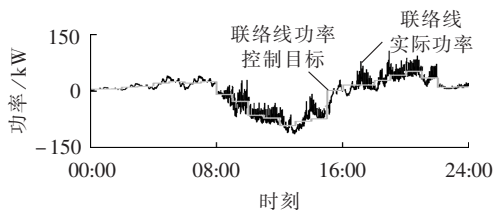


图 6 晴朗天气联络线功率 P_{T0} 及 P_T 曲线
Fig.6 Tie-line power P_{T0} and P_T in sunny day

由式(1)可得储能控制功率需求量如下式所示:

$$\pm P_{ES}=P_L-P_{GV}-P_{T0} \quad (11)$$

晴朗天气 BIPV 系统控制功率需求曲线如图 7 所示。利用 DFT 对该曲线进行时频转换,得到控制功率需求的频谱,如图 8 所示。

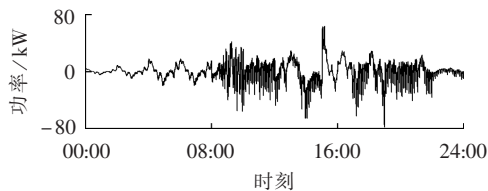


图 7 晴朗天气 BIPV 系统控制功率需求曲线
Fig.7 Required control power of BIPV system in sunny day

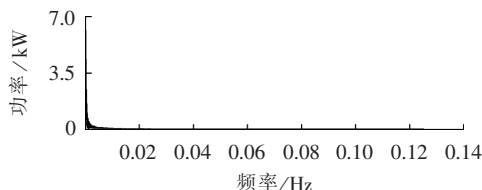


图 8 控制功率需求频谱
Fig.8 Spectrum of control power required

基于频谱分析结果可确定晴天时平抑 BIPV 系统输出波动所需的各类型控制容量值,见表 1,储能系统设计容量为 23.4573 kW,取整后为 24 kW。储能系统额定容量为 24 kW·h,荷电状态的比例为 0~1。

表 1 晴朗天气 BIPV 系统并网运行控制容量需求
Table 1 Required control capacity of grid-connected BIPV system in sunny day

备用名称	备用容量值/kW	备用总量/kW
30 s 响应备用	4.048 5	23.457 3
瞬时响应备用 AGC	10.860 6	
10 min 旋转备用	8.548 2	19.145 9
30 min 运行备用	9.862 2	
60 min 运行备用	7.069 1	
冷备用	2.214 6	

5.2 多云情况

对于多云天气情况,利用相同方法、步骤求得其储能容量结果。图 9 为多云并网运行时 BIPV 光伏系统一天 24 h 的实测输出和预测输出,其预测均方根误差为 7.89%。图 10 为一天 24 h 的实测负荷和预测负荷,其预测均方根误差为 5.13%。图 11 为一

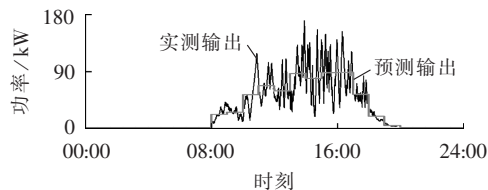


图 9 多云天气 BIPV 系统实测输出及预测输出曲线
Fig.9 Measured and predicted outputs of BIPV system in cloudy day

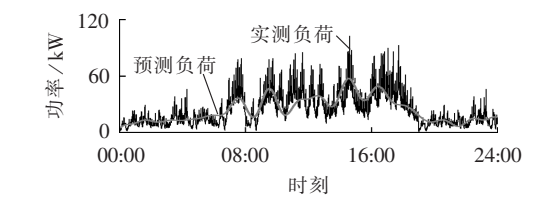


图 10 多云天气 BIPV 系统实测负荷及预测负荷曲线
Fig.10 Measured and predicted loads of BIPV system in cloudy day

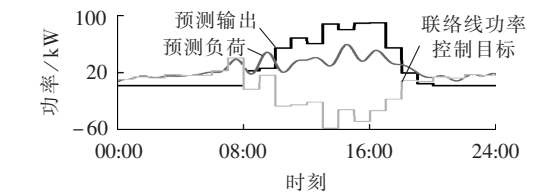


图 11 多云天气 BIPV 系统输出、负荷及联络线功率 P_{10} 曲线
Fig.11 Output,load and tie-line power P_{10} of BIPV system in cloudy day

天 24 h 的发电输出、负荷用电预测值及联络线功率计划值 P_{10} 。

如果不计储能出力,联络线功率的波动情况如图 12 所示,其均方根误差为 23.23 %,对系统而言,冲击很大。多云天气 BIPV 系统控制功率需求曲线如图 13 所示。

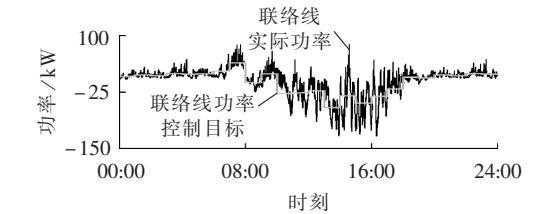


图 12 多云天气联络线功率 P_{10} 及 P_T 曲线
Fig.12 Tie-line power P_{10} and P_T in cloudy day

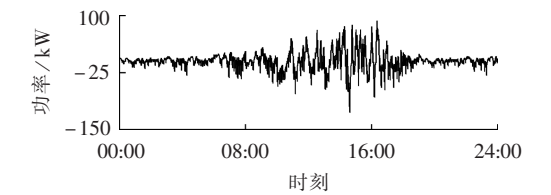


图 13 多云天气 BIPV 系统控制功率需求曲线
Fig.13 Required control power of BIPV system in cloudy day

基于频谱分析结果,可以确定多云时平抑 BIPV 系统输出波动所需的各类型控制容量值,见表 2,储能系统设计容量为 32.877 7 kW,取整后为 33 kW。储能系统额定容量为 33 kW·h,荷电状态的比例为 0~1。

综合晴天和多云 2 种天气状况,BIPV 系统并网运行时所需要的储能系统额定容量为 33 kW·h。

储能系统需求变化曲线如图 14 所示,其中,设计的储能系统可充电容量的上限为 33 kW·h,下限

表 2 多云天气 BIPV 系统并网运行控制容量需求
Table 2 Required control capacity of grid-connected BIPV system in cloudy day

备用名称	备用容量值/kW	备用总量/kW
30 s 响应备用	3.918 3	
瞬时响应备用 AGC	11.669 6	32.877 7
10 min 旋转备用	17.289 8	
30 min 运行备用	13.419 5	
60 min 运行备用	5.813 2	23.677 3
冷备用	4.444 6	

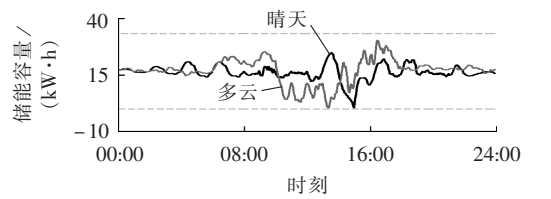


图 14 储能系统需求变化情况
Fig.14 Variation of required energy storage capacity

为 0 kW·h,为了满足其充放电的可能性,将充电限额区间的中间值作为充放电起始点,即从 16.5 kW·h 处开始启动。一天中,曲线呈上坡趋势时,储能系统进行充电,吸收 BIPV 多余的输出功率;呈下坡趋势时,储能系统进行放电,平抑 BIPV 的功率欠缺。

仿真结果表明,当 BIPV 并网运行时,在技术和经济范围内,配置容量为屋顶光伏发电装机容量 17% 的储能系统才能将 BIPV 系统输出功率的预测均方根误差控制得尽可能小,这样功率偏差对于系统的冲击也将尽可能小。从表 1、表 2 中可以看出,所设计的储能系统容量分担了大部分的备用需求,但并不能完全满足 BIPV 系统备用需求,仍有少量备用需求需要由常规备用机组承担,由备用需求的分摊情况来看,机组承担的备用将会非常小,不会增加系统调节压力,而对于还需要投入多少机组备用,本文将不再进行定量计算。

6 结论

本文提出了一种基于 DFT 算法的储能容量优化配置方法,对于系统中不同类型的功率扰动,利用 DFT 方法进行时频转换,直观扰动造成的频率偏移,根据各类型控制容量所对应的频率范围,采取不同的平衡机制实现功率补偿。

本文分别对晴天和多云时并网运行方式下的 BIPV 光伏系统进行分析,仿真结果表明,当 BIPV 并网运行时,所配置储能容量能恰好地满足微电网联络线功率控制目标,几乎能完全平抑发电输出和负荷用电功率波动,实现 BIPV 系统按照所要求的功率输出发电。

参考文献:

[1] 国家能源局. 国家能源局关于印发太阳能发电发展“十二五”规

- 划的通知[EB/OL]. (2012-07-07)[2014-09-04]. http://zfxgk.nea.gov.cn/auto87/201209/t20120912_1510.htm?keywords=太阳.
- [2] International Energy Agency Photovoltaic Power Systems Programme. An history of past editorials from the homepage of the IEA-PVPS website[EB/OL]. [2014-09-04]. [http://iea-pvps.org/index.php?id=267&no_cache=1&sword_list\[\]=power](http://iea-pvps.org/index.php?id=267&no_cache=1&sword_list[]=power).
- [3] 北极星太阳能光伏网. 小型光伏建筑受青睐[EB/OL]. (2011-07-06)[2014-09-04]. <http://guangfu.bjx.com.cn/news/20110706/293411.shtml>.
- [4] 王成山,于波,肖峻,等. 平滑微电网联络线功率波动的储能系统容量优化方法[J]. 电力系统自动化,2013,37(3):12-17.
WANG Chengshan,YU Bo,XIAO Jun,et al. An energy storage system capacity optimization method for microgrid tie-line power flow stabilization[J]. Automation of Electric Power Systems,2013,37(3):12-17.
- [5] CHEN S X,GOOI H B,WANG M Q. Sizing of energy storage for microgrids[J]. IEEE Transactions on Smart Grid,2012,3(1):142-151.
- [6] 李斌,宝海龙,郭力. 光储微电网孤岛系统的储能控制策略[J]. 电力自动化设备,2014,34(3):8-15.
LI Bin,BAO Hailong,GUO Li. Strategy of energy storage control for islanded microgrid with photovoltaic and energy storage system[J]. Electric Power Automation Equipment,2014,34(3):8-15.
- [7] MIZANI S,YAZDANI A. Optimal design and operation of a grid-connected microgrid[C]//Proceedings of Electrical Power and Energy Conference. Montreal,USA:[s.n.],2009:1-6.
- [8] 熊雄,杨仁刚,李建林. 多元复合储能系统在含微电网配电网中的容量配比[J]. 电力自动化设备,2014,34(10):40-47.
XIONG Xiong,YANG Rengang,LI Jianlin. Capacity configuration of multi-element composite energy storage system in distribution system with microgrid[J]. Electric Power Automation Equipment,2014,34(10):40-47.
- [9] 蒋玮,周赣,王晓东,等. 一种适用于微电网混合储能系统的功率分配策略[J]. 电力自动化设备,2015,35(4):38-43,52.
JIANG Wei,ZHOU Gan,WANG Xiaodong,et al. Bidirectional DC/DC converter based on PWM plus dual phase-shift control for microgrid storage system[J]. Electric Power Automation Equipment,2015,35(4):38-43,52.
- [10] 王成山,于波,肖峻,等. 平滑可再生能源发电系统输出波动的储能系统容量优化方法[J]. 中国电机工程学报,2012,32(16):1-8.
WANG Chengshan,YU Bo,XIAO Jun,et al. Sizing of energy storage system for output smoothing of renewable energy system[J]. Proceedings of the CSEE,2012,32(16):1-8.
- [11] 吴振威,蒋小平,马会萌,等. 用于混合储能平抑光伏波动的小波包-模糊控制[J]. 中国电机工程学报,2014,34(3):317-324.
WU Zhenwei,JIANG Xiaoping,MA Huimeng,et al. Wavelet packet-fuzzy control of hybrid energy storage systems for PV power smoothing[J]. Proceedings of the CSEE,2014,34(3):317-324.
- [12] 欧阳名三,余世杰,沈玉. 一种太阳能电池 MPPT 控制器实现及测试方法的研究[J]. 电子测量与仪器学报,2004,18(2):30-34.
OUYANG Mingsan,YU Shijie,SHEN Yu. Implementation of MPPT controller in photovoltaic array and research of testing method[J]. Journal of Electronic Measurement and Instrument,2004,18(2):30-34.
- [13] FRUNT J,KLING W L,MYRZIK J M A. Classification of reserve capacity in future power systems[C]//Proceedings of the 6th International Conference on the European Energy Market. Leuven,Belgium;IEEE,2009:1-6.
- [14] CARTWRIGHT M. Fourier methods for mathematicians,scientists and engineers[M]. Chichester, England:Ellis Horwood Limited,1990:77-220.
- [15] 王虹富. 并网风电场的有功功率补偿与稳定性控制[D]. 杭州:浙江大学,2010.
WANG Hongfu. Active power compensation and stability control for grid-connected wind farms[D]. Hangzhou:Zhejiang University,2010.

作者简介:



李 滨

李 滨(1975—),女,广西南宁人,副教授,博士,研究方向为电力系统最优化;

陈 姝(1988—),女,浙江杭州人,助理工程师,硕士,研究方向为电力系统最优化;

吴思缘(1990—),女,广西桂林人,硕士,研究方向为电力系统最优化(E-mail:506569575@qq.com)。

Energy storage capacity optimization based on DFT for BIPV

LI Bin¹,CHEN Shu²,WU Siyuan¹

(1. Guangxi Key Laboratory of Power System Optimization and Energy Technology,Guangxi University, Nanning 530004,China;2. State Grid Hangzhou Power Supply Company,Hangzhou 310009,China)

Abstract: BIPV(Building Integrated with PhotoVoltaic) will become an effective way to enhance the building energy efficiency,for which,a method of energy storage capacity optimization based on spectrum analysis is presented. The controllable power required to smooth the power fluctuation of microgrid in the grid-connecting operation mode is processed by spectrum analysis,the results of which are used to determine the control capacity required for power deviation compensation and the capability of unit and auxiliary devices to supply the control capacity. Calculation indicates that,the energy storage capacity configured by the proposed method is relatively smaller,which can just meet the power control target of microgrid tie-line and effectively smooth the power fluctuations of BIPV output and load.

Key words: building integrated with photovoltaic; energy storage; photovoltaic; reserve capacity; spectrum analysis; discrete Fourier transforms