

У ДК 621.311.24.044.13

А.И. Даниленко, г.л. инженер Сакской ВЭС

Эксплуатационно-техническое управление «Воденергоремналадка»

Ул. Внешняя, 14а, г. Симферополь, Украина, 95493

etu@sf.ukrtel.net

АНАЛИЗ ПЕРЕТОКОВ РЕАКТИВНОЙ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ НА ПРОМЫШЛЕННОЙ ВЕТРОВОЙ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ С АСИНХРОННЫМИ ГЕНЕРАТОРАМИ

Анализируются объемы перетоков реактивной электроэнергии на промышленной ветроэлектростанции, рассматриваются проблемы и схемотехнические решения компенсации реактивной электроэнергии.

За последние 2...3 года установленная мощность каждой из четырех крупнейших ветроэлектрических станций (ВЭС) Украины превысила 10 МВт, а на Сакской ВЭС достигла 19 МВт. Промышленные ВЭС построены на основе серийных ветроэлектрических установок (ВЭУ) USW 56-100 с асинхронными генераторами АГВ280М4ОМ2 с короткозамкнутым ротором. В состав ВЭУ входят две конденсаторные батареи мощностью 40 и 20 квар для компенсации реактивной мощности генератора. Система управления ВЭУ коммутирует батареи в зависимости от вырабатываемой активной энергии генератором (1-я ступень – 40 квар включается сразу при включении генератора в сеть, а 2-я – через 4,5 минуты после достижения активной мощности генератора 40 кВт). До настоящего времени проектные решения электрической части ВЭС не предусматривали установку компенсации реактивной электроэнергии для станции в целом, однако опыт эксплуатации ветроэлектрических станций свидетельствует о значительных объемах потребления реактивной электроэнергии (таблица 1).

Таблица 1 – Объемы перетоков активной и реактивной электроэнергии на шинах Сакской ВЭС за 2002...2004 годы

Год установленная мощность, МВт	Переток активной электроэнергии, кВт•ч		Переток реактивной электроэнергии, квар•ч	
	Выработка, А+	Потребление, А-	Выработка, R+	Потребление, R-
2002 год, 9,8	6610045	288250	19928	4962652
2003 год, 14,3	9631823	421286	29926	8707658
2004 год, 17,3	9761553	487887	27020	5219844

Выполним анализ причин значительного потребления реактивной мощности с помощью векторной диаграммы асинхронного генератора в двигательном и генераторном режимах, построенной согласно [1] в относительных единицах по данным [2] (рисунок 1).

Как видно, изменение знака составляющей активной тока статора при переходе в генераторный режим означает, что механическая мощность преобразуется в электрическую и отдается в сеть. Из той же диаграммы следует, что реактивная составляющая тока статора (I_{1p}) и реактивная мощность (Q_1) при таком переходе сохраняют свои знаки, поскольку

$$\left. \begin{aligned} I_{1p} &= I_1 \sin \varphi_1 > 0 \\ Q_1 &= m U_1 I_1 \sin \varphi_1 > 0 \end{aligned} \right\} \text{при } \varphi_1 > 90^\circ, \text{ и при } \varphi_1 < 90^\circ$$

Таким образом, асинхронная машина при работе в двигательном и генераторном режимах потребляет из сети реактивную мощность и индуктивный ток, которые ей необходимы для создания вращающего магнитного поля.

Параллельная работа ВЭС при функционировании в условиях энергорынка регулируется нормами качества электроэнергии согласно ГОСТ 13109-97 [3], правилами проектирования ВЭС (ГКД 341.003.001.002-2000) [4] и техническими условиями (ТУ) на присоединение ВЭС к энергосистеме. В соответствии с этими документами при работе ВЭС необходимо обеспечивать непрерывную компенсацию реактивной мощности при генерировании активной мощности в полном диапазоне изменения скорости ветра, при соблюдении условий обеспечения $\cos \varphi = 1$ на шинах ВЭС в режиме 40% использования рабочей мощности [4].

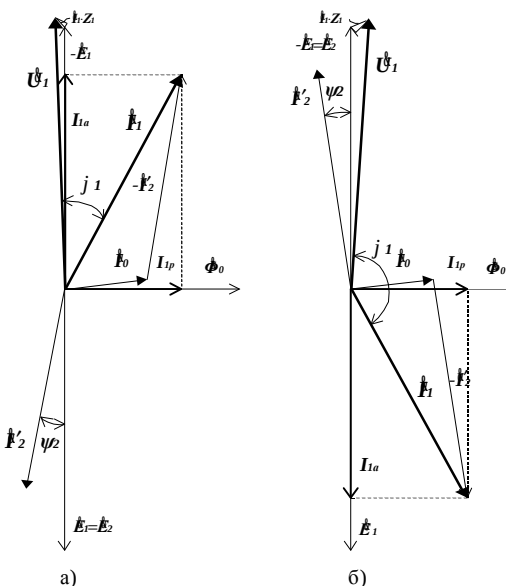
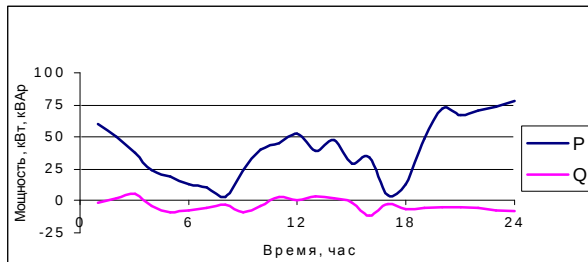
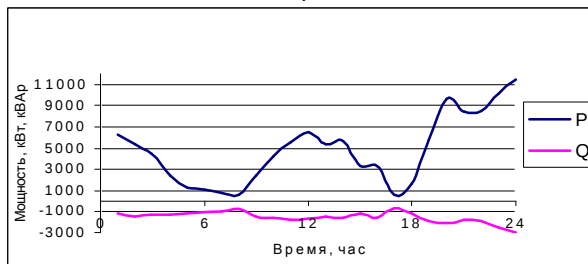


Рисунок 1 – Векторная диаграмма асинхронного генератора АГВ280М4ОМ2 ВЭУ USW 56-100 в двигательном (а) и генераторном (б) режимах



а)



за 19 ноября 2004 года

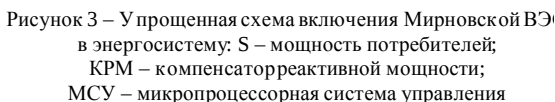
Рисунок 2 – Графики нагрузки активной и реактивной мощности на Мирновской ВЭС:

а) одной ВЭУ USW56-100 №107; б) ВЭС в целом из группы ВЭУ – 155 шт.

Ветроэлектрическая установка с подключением конденсаторных батарей согласно штатному алгоритму управления при генерации активной мощности (P_{a+}) в диапазоне 0...40 кВт потребляет реактивную мощность величиной 8...12 квар (условно назовем эту зону №1). В диапазоне $P_{a+} = 40...70$ кВт – генерирует реактивную мощность величиной 0...8 квар (зона №2), а при генерации активной мощности свыше 70 кВт снова потребляет реактивную мощность в диапазоне 0...34 квар (зона №3). На рисунке 2 изображен график нагрузки для одной и для 155 ВЭУ, входящих в состав станции. График синхронизирован по времени и интегрирован по часовым промежуткам времени. Рассматривая его можно увидеть все зоны, в которых происходит переток реактивной энергии.

Анализируя данные таблицы 1 и графики нагрузки на рисунке 2, можно сделать вывод, что основная причина заключается в

генератора, а компенсацию остальной реактивной мощности осуществлять конденсаторными батареями, включенными на входных шинах станции. Такой способ с технической точки зрения является наиболее рациональным, так как помимо достижения полной компенсации перетока реактивной мощности на шинах ВЭС, будет уменьшена величина перенапряжения на ВЭУ, что в свою очередь приведет к повышению надежности эксплуатации. Схемотехническое решение данного способа предложено институтом "Укрэнергопроект" (г. Харьков) и показано на рисунке 3. Недостатком этого решения является его дороговизна. Инвесторская стоимость внедрения его на Мирновской ВЭС (входящей в состав Сакской ВЭС) составляет 3,0 млн. грн. (в ценах 2002 г.). Причем, стоимость самого компенсатора, системы управления и программного обеспечения составляет всего 0,62 млн.



грн., а остальные затраты приходятся на строительство трансформаторной подстанции и здания для размещения компенсатора. Снижение затрат на реализацию схемы компенсации реактивной энергии ВЭС можно осуществить путем использования существующего электрооборудования повышающих трансформаторных подстанций 0,4/35 кВ и электропомещений РУ-0,4 кВ для размещения модулей компенсаторов.

На рисунке 4 изображена схема включения модульного компенсатора реактивной мощности на одной из существующих трансформаторной подстанции Мирновской ВЭС. Схема позволяет добиться нулевого перетока реактивной электроэнергии на высокой стороне повышающих подстанций группы ВЭУ, а при реализации его на всех подстанциях ВЭС – нулевого перетока на шинах выдачи мощности ветровой электростанции в целом.

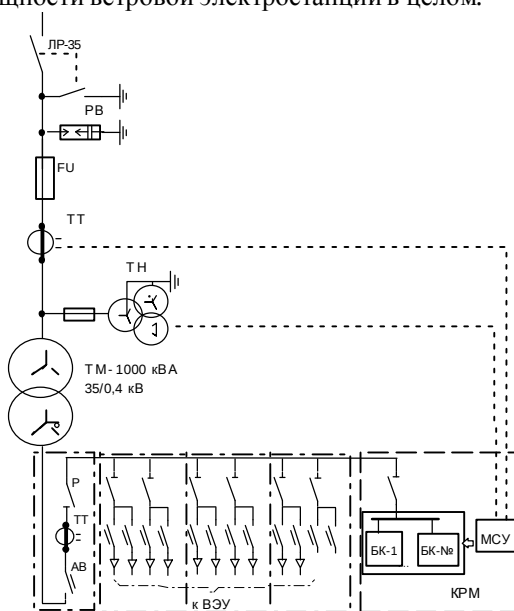


Рисунок 4 – Схема включения модульного компенсатора реактивной мощности в схему существующей трансформаторной подстанции Мирновской ВЭС

и реализации постепенного снижения потребления реактивной мощности ВЭС.

Недостатком данной схемы является повышение перенапряжения на шинах ВЭУ при включении конденсаторов к

К преимуществам данного проектного решения можно отнести следующее:

- удешевление стоимости реализации полной компенсации потребления реактивной мощности ВЭС более чем в 3 раза;

- возможность поэтапного внедрения компенсаторов

шинам 0,4 кВ трансформаторной подстанции, и как следствие, ухудшение качества электроэнергии. Поэтому реализация этой схемы включения компенсатора реактивной мощности возможна при условии увеличения коэффициента трансформации силового трансформатора ТП по сравнению со стандартным еще на 5 %.

Рассмотрим также организационно-экономические аспекты проблемы перетока реактивной электроэнергии ВЭС. Оплата за переток реактивной электроэнергии регулируется соответствующей методикой, утвержденной приказом №19 Минтопэнерго Украины от 19.01.02 г. Смысл этой методики сводится к тому, чтобы компенсировать убытки энергопередающих организаций связанные с затратами активной электроэнергии на передачу реактивной. Сама плата за реактивную электроэнергию состоит из двух частей: основная плата, которая зависит от объема потребленной и генерированной электроэнергии и надбавка за недостающее оснащение электрической сети потребителя средствами компенсации, которая зависит от отношения потребленной реактивной электроэнергии к потребленной активной. Однако для ВЭС потребление реактивной электроэнергии и потребление активной электроэнергии происходит в разных временных отрезках. Если основное потребление реактивной электроэнергии происходит в период генерации активной, то потребление активной – происходит в период безветрия, когда реактивная электроэнергия потребляется только силовыми трансформаторами на холостом ходу.

В настоящее время для промышленной ветроэлектростанции, состоящей из серийных ВЭУ USW56-100, плата за переток реактивной электроэнергии составит 20...22 % от стоимости выработанной активной, если эту плату исчислять по вышеуказанной методике в том виде, как она есть. Если учитывать, что основное потребление реактивной электроэнергии происходит при генерации активной, т.е. при расчете надбавки за недостающее оснащение средствами КРМ, основанном на определении $\tan \varphi$, применять отношение потребленной реактивной электроэнергии к сумме генерируемой и потребленной активной электроэнергии, то плата за переток реактивной электроэнергии будет составлять 5,3...5,8 % от стоимости выработанной активной. Следовательно, методика исчисления платы за переток реактивной электроэнергии не учитывает особенностей работы промышленной ВЭС с асинхронными генераторами и нуждается в соответствующих доработках.

Выводы

1. Опыт эксплуатации промышленных ВЭС свидетельствует о значительном потреблении ими реактивной электроэнергии. При проектировании станций на основе серийных ВЭУ USW56-100 следует предусматривать применение компенсаторов реактивной мощности. Необходимая дополнительная мощность компенсатора составляет 12...14 квар на одну ВЭУ.

2. Для введенных в эксплуатацию промышленных ВЭС следует рекомендовать применение модульного компенсатора на группу ВЭУ, подключенных к шинам силового трансформатора с повышенным коэффициентом трансформации на 5 %.

3. Применение действующей методики расчетов за переток реактивной электроэнергии для промышленной ВЭС с асинхронными генераторами некорректно, так как основное потребление реактивной электроэнергии станцией происходит при генерации активной электроэнергии, а не при ее потреблении, как определено в методике.

4. Дальнейшая перспектива исследований проблемы перетоков реактивной электроэнергии на промышленных ветровых электростанциях заключается в исследовании воздействия потребления реактивной электроэнергии на энергосистему при генерации ветроэлектростанцией с асинхронными генераторами активной электроэнергии. По результатам этого исследования необходимо переработать существующую методику исчисления платы за переток реактивной электроэнергии применительно к ветровым электростанциям.

Библиографический список

1. Кривцов В.С. Неисчерпаемая энергия. Кн.1. Ветроэлектростанции / В.С. Кривцов, А.М. Олейников, А.И. Яковлев. Учеб. — Харьков: Изд-во Харьк. авиац. ин-та, 2003. — 400с.
2. Васько В.П. Аналіз процесів генерування активної та реактивної потужності вітроелектричною установкою з асинхронним генератором в складі промислових вітроелектростанцій / В.П. Васько // Технічна електродинаміка — 2002. — №5. — С. 64 – 67.
3. ГОСТ 13109-97. Электрическая энергия. Совместимость техническая электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения: Межгосударственный стандарт. — Взамен ГОСТ 13109-87; Введен с 01.01.2000. — К.: Госстандарт Украины, 1999. — 31 с. УДК 621.398:621.316. Гр. КНД 29.020.

4. ГКД 341.003.001.002–2000. Правила проектування вітрових електричних станцій. — Введен вперше від 01.08.2000. Термін перевірки. — 2004р. — К.: Мінпаливенерго України, 2001. — 52 с. УДК 621.311.22.

Поступила в редакцію 30.06.2005 г.