

ЛАБОРАТОРЕН СТЕНД „ВЯТЪРЕН ГЕНЕРАТОР” – СИСТЕМА ЗА УПРАВЛЕНИЕ, ЕТАП 1

LABORATORY BENCH “WIND GENERATOR” – CONTROL SYSTEM, STAGE 1

G. Ruzhekov, I. Tiyanov
Г. Ружеков, И. Тиянов

Технически Университет - София, Бул. Св. Климент Охридски 8, 1756 София
E-mail: ruzhekov@hotmail.com

Abstract: The developed control system for laboratory bench – “Wind Generator”, stage 1 is presented in this paper. The system is based on Siemens S7-1200 programmable controller and Siemens WinCC Advanced SCADA system. Used an existing laboratory bench at the Laboratory “Hydropower and hydraulic turbo machine” at the department of Hydroaerodynamics and Hydraulic Machines, Faculty of Power Engineering and Power Machines, Technical University of Sofia.

Key words: PLC-based Control, Wind Generator, SCADA

ВЪВЕДЕНИЕ

Известни са многото проблеми, свързани с възобновяемите енергийни източници (ВЕИ). Те са политически, икономически, технически, научни и др., но развитието им продължава независимо от тези проблеми. Голяма част от тези проблеми могат да се решат с развитието на технологиите в тази област. Тук е представен начален етап на разработване на лабораторен стенд „Вятърен генератор”. Поставената цел е създаване на лабораторен модел на ветрогенератор, който да е подходящ за провеждане на изследвания, свързани с тестване на различни алгоритми за управление и на различни по форма лопати на работното колело. Използван е част от съществуващ стенд в лаборатория „Хидроенергетика и хидравлични турбомашини” с ръководител проф. д-р. Валентин Обретенов, към който се разработва система за управление. Финансирането на реализацията на системата за управление се осъществява по договор 132ПД0016-08 за научен проект в помощ на докторанти към ТУ-София. Проектът включва проектиране на електрически схеми, монтаж на табло за управление, разработване на софтуер и SCADA система за управление на ветрогенератора. Тази система е предназначение за управление на следните елементи от стенда:

- Скоростта на въртене на осовия вентилатор, с който се генерира въздушен поток (имитация на вятър).
- Измерване на скоростта на въздушния поток.
- Измерване на оборотите на турбината на генератора.
- Измерване на генерирания въртящ момент и механична мощност.
- Система за промяна на натоварването на генератора и измерване на генерираното напрежение, ток и електрическа мощност.
- Предвидено е да се разработи система за управление на ъгъла на атака на лопатите на турбината (на втория етап от договора).
- Разработва се програмно осигуряване за системата за управление, което включва управление на изброените по-горе подсистеми.

Системата за управление е базирана на програмируем логически контролер на Siemens S7-1200 CPU 1215 и допълнителни сигнални модули, Ethernet комуникационен интерфейс за програмиране на контролера и SCADA системата. Програмното осигуряване се разработва в среда на TIA Portal V12 [1]. Софтуерът за контролера се разработва на език SCL, който позволява разработването на сложни алгоритми и математически изчисления. За SCADA се използва WinCC Advanced V12, като допълнителната функционалност на системата се осигурява с макроси на VBS (Visual Basic Scripting).

ЛАБОРАТОРЕН СТЕНД

Функционалната схема на стенда е показана на фиг. 1 и се състои от:

Система за генериране на въздушен поток – осов вентилатор (2) с диаметър 1 м., който се задвижва от асинхронен двигател (1). Вентилаторът е монтиран в аеродинамична тръба (3). Скоростта на въртене на двигателя и вентилатора може да се изменя в широки граници, с което се променя и скоростта на въздушния поток. Промяната на скоростта на въртене на двигателя се осъществява от честотен инвертор (4). Максималната скорост на въздушния поток е 10 м/с при честота на инвертора 60Hz. Скоростта му се измерва с анемометър (5) (изходен сигнал импулсна поредица) и диференциален трансмитер за налягане (6) (изходен сигнал 4-20 mA). Тези прибори са монтирани върху направляващи, с което се дава възможност за измерване на скоростта на вятъра в произволна точка.

При използване на анемометър скоростта на въздушния поток се изчислява на базата на честотата на постъпващите импулси и константата му. Формулата, описваща зависимостта е:

$$V = k \cdot f, \text{ където:}$$

V е скоростта на въздушния поток, m/s.

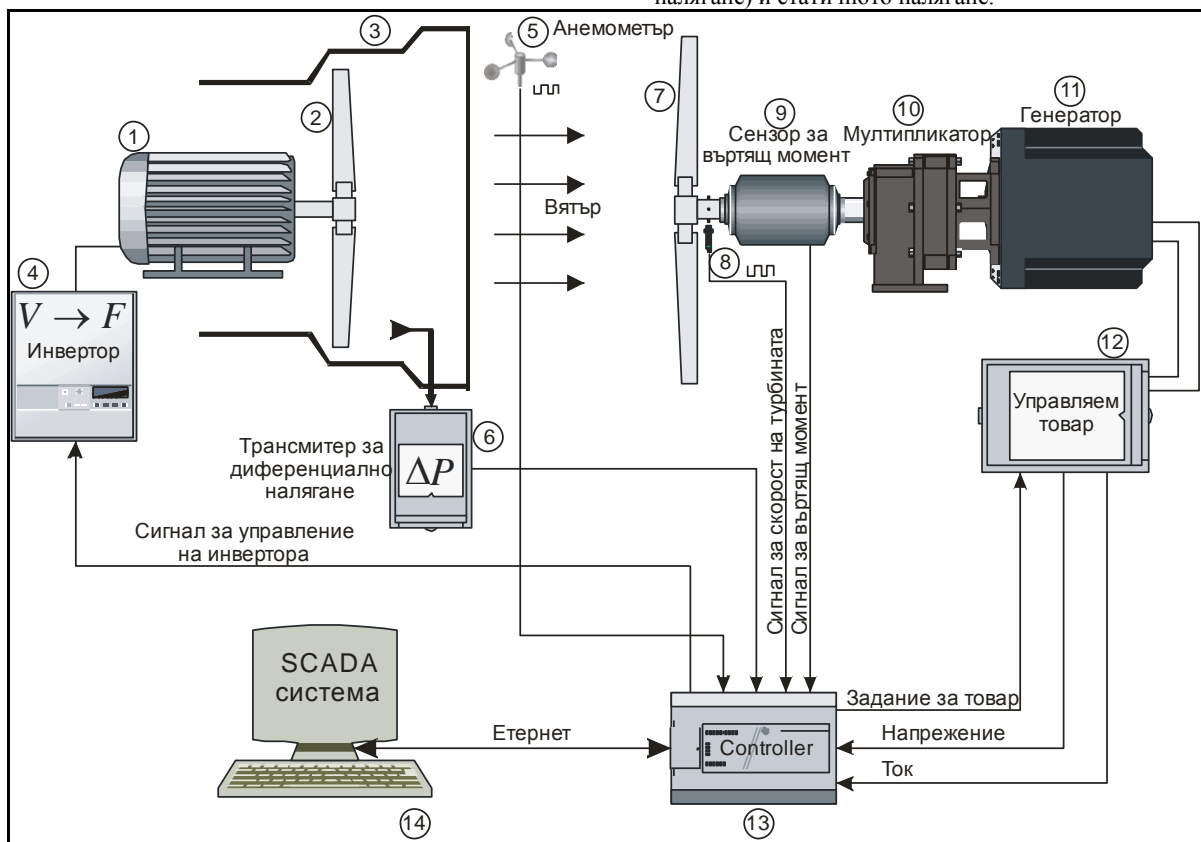
f е честотата на импулсната поредица от анемометъра.

k - константа на анемометъра.

Тази зависимост е валидна при:

Когато скоростта на въздушния поток е в зададените от производителя граници (минимална – максимална);
 Когато посоката на въздушния поток е перпендикулярна на оста на анемометъра;
 Липса на завихряния на въздушния поток.

Измерването на скоростта на въздушния поток в аеродинамичната тръба на вентилатора се измерва със скоростомерна тръба. Използва се диференциален трнсмитер за налягане, с който се измерва разликата в налягането между предната част на тръбата (пълното налягане) и статичното налягане.



Фигура 1 – функционална схема на лабораторния стенд

Изчисляването на скоростта се извършва съгласно формулата:

$$V = \sqrt{\frac{2 \cdot \Delta P}{\rho}}, \text{ където:}$$

V е скоростта на въздушния поток, m/s

ΔP е диференциалното налягане, Pa

ρ - плътност на въздуха, $\rho = 1.225, \text{ kg/m}^3$

Ветрогенератор, който се състои от работно колело (7) с лопатите, индуктивен сензор за измерване на оборотите (8) – на всеки оборот на вала на турбината се генерират по 6 импулса, сензор за измерване на въртящ момент (9) (в интервала $\pm 2.5 \text{ Nm}$), мултипликатор (10), с който оборотите на вала на турбината трябва да се повишат до номиналните обороти на генератора и постояннотоков генератор (11) – 24V, 800W. Модулът за управление на натоварването (12) представлява управляем товар, върху който се отдава генерираната мощност и измерва напрежението и тока на генератора. Натоварването на генератора се задава с изходен сигнал от контролера. На този етап от проекта не се предвижда система за управление на ъгъла на атака на лопатите на работното колело. Такава система би трябвало да се разработва и изпълнява на следващия етап от проекта.

Система за управление е базирана на промишлен контролер (13) на Siemens CPU 1215 и сигнални модули. Към него постъпват сигналите от анемометъра (импулсна поредица), диференциалния трансмитер за налягане –

аналогов сигнал ток (4 – 20 mA), сигнал за скорост на въртене на турбината (импулсна поредица), сигнал от сензора за въртящ момент – напрежение ($\pm 4.5V \div \pm 2.5Nm$), генерираното напрежение и тока през товара (измерва се напрежение върху шунтов резистор). Изходните сигнали са за управление на скоростта на двигателя на вентилатора – задание към честотния инвертор (0 – 10V) и задание към модула за управление на натоварването на генератора.

Основни характеристики на контролера CPU1215C:

- Дискретни входове – 14;
- Дискретни изходи – 10;
- Аналогови входове – 2 бр. 0 – 10V, 10 bits;
- Аналогови изходи – 2 бр. 0 – 20 mA., 10 bits;
- Работна памет 100 kB;
- Комуникация – Ethernet.
- Сигнален модул аналогови входове – 4 входа, $\pm 10V, \pm 5V, \pm 2.5V, \pm 1.25V, 0/4 - 20 \text{ mA.}, 13 \text{ bits.}$
- Сигнален модул аналогови изходи – 2 изхода, $\pm 10V, 0 - 20 \text{ mA.}, 13 \text{ bits.}$

Снимка на контролера, монтиран в таблото за управление, е показана на фиг. 2.

SCADA система – осигурява графичен интерфейс, с който се визуализира работния процес, измерените величини, осигурява възможност за задаване на скорост на въздушния поток и натоварването на генератора. Разработва се в програмната среда WinCC Advanced.

Системата записва данните от проведените експерименти, които могат да бъдат обработени на по-късен етап.

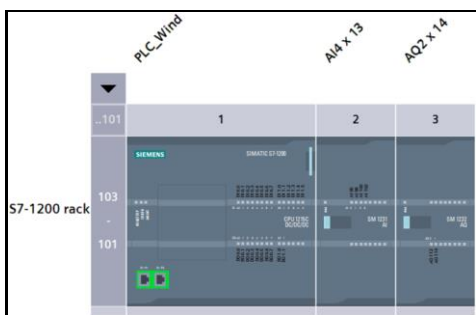
РАЗРАБОТВАНЕ НА БАЗОВО ПРОГРАМНОТО ОСИГУРЯВАНЕ

Програмното осигуряване се разработва в програмната среда TIA Portal – Totally Integrated Automation Portal на няколко етапа:



Фигура 2 – Контролер и сигнални модули (снимка)

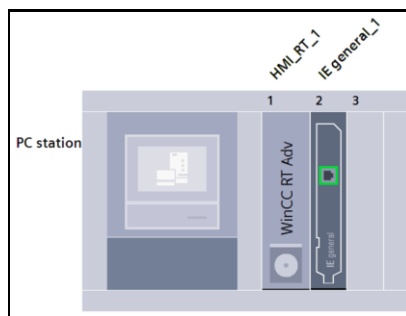
1. Първата стъпка е конфигурирането на контролера – фиг. 3. На тази стъпка се подреждат използваните модули – процесор и сигнални модули и се задават техните параметри.



Фигура 3 – Конфигуриране на контролера

2. Конфигурират се комуникационните мрежи, с което се осигурява предаването на информация между контролера и SCADA системата. При използването на Ethernet комуникация е необходимо само да се зададат IP адресите на контролера и на компютъра.
3. Следва създаване и конфигуриране на системата за визуализация – стандартна компютърна конфигурация, на която се инсталира WinCC Flexible RT – фиг. 4.
4. Разработване на базов софтуер за управление на аналоговите входове – получаване на данни от АЦП, скалиране във физически величини и проверка за грешки. По този начин се получава информация за напрежението и тока на генератора, за диференциалното налягане, от което се изчислява скоростта на генерирания въздушен поток (вятър) и реалната скорост на двигателя на осовия вентилатор (използва се аналогов изход от инвертора).
5. Измерване на честотата на импулсни поредици – определяне на скоростта на въртене на турбината на генератора и скорост на въртене на анемометъра, от който се изчислява скоростта на въздушния поток. За определяне на честотата на импулсните поредици се използват вградени в PLC броячи, от който на всяка секунда се прочитат получения брой импулси.

Извършва се скалиране – превръщане в дименсия обороти за минута (min^{-1}) или за скорост на вятъра (m/s). При ниски обороти броят на получените импулси е твърде малък, което води до силно вариращи стойности на тези измерени величини. Поради тази причина е разработена функция за филтрация на данните с филтър от тип пълзяща средна стойност, като прозорецът, в който се осреднява е 10 s.



Фигура 4 - Конфигуриране на системата за визуализация

6. Разработване на базов софтуер за управление на аналоговите изходи – извеждане на сигнали за управление на честотата на инвертора и натоварването на генератора.
7. Осигуряване на синхронизация между изброените по-горе задачи, с което се осигурява базова функционалност и управление в ръчен режим на стенда.
8. Добавено е и включване на инвертора с ключ, както и задаване на скоростта на двигателя на вентилатора с потенциометър, което дава възможност за използване на генерирания въздушен поток и за други експерименти, които не са свързани с ветрогенератора.
9. Разработена е система за анализ на аварийни ситуации, като при постъпване на такъв сигнал, стендът се изключва.
10. Разработване на базова функционалност на системата за визуализация – на дисплея на компютъра са показани основните елементи на стенда:
 - двигателят с вентилатор и системата за задаване на скоростта на двигателя – слайдер за задаване на скоростта (честотата на инвертора), ключ за включване на захранването му и включване и изключване на двигателя. По този начин се осигурява ръчният режим на управление на вентилатора.
 - анемометър – визуализира се честотата на импулсите и изчислената скорост на въздушния поток.
 - диференциалният трансмитер за налягане и стойността на диференциалното налягане и изчислената скорост на въздушния поток.
 - турбината и сензора за въртящ момент и получените данни за скоростта на турбината, въртящия момент и получената механична мощност.
 - генератор: ток, напрежение и електрическа мощност, както и слайдер за задаване на натоварването на генератора.

С описаното програмно осигуряване се реализира началния етап от управлението на ветрогенератора – ръчният режим. Този режим се използва за тестване и настройка на всички елементи от системата – пускане и

задаване на скорост на двигателя на вентилатора, измерване на скоростта на въздушния поток, измерване на скоростта на въртене на турбината на генератора, получения въртящ момент и механична мощност. Позволява управление на натоварването на генератора – измерване на напрежението, тока и изчисляване на генерираната електрическа мощност. С негова помощ могат да се получат записи на реакцията на отделните подсистеми при подаване на определени въздействия за получаване на математически модели.

Във втория етап на разработване на задачата се предвижда да бъде разработен специализиран софтуер за реализация на следните изследвания:

- Изследване на динамиката на изменение на скоростта на генерирания въздушен поток (вятър) за определяне възможността за симулиране на вятър с променлива скорост и пориви на вятъра [2, 3, 5].
- Разработване на математически модел на ветрогенератора при различни режими на работа [4].
- Разработване и тестване на регулатори за:
 - ✓ Поддържане на скоростта на въртене на турбината при промяна на скоростта на въздушния поток.
 - ✓ Осигуряване на режим на работа по максимална мощност.

ПОЛУЧЕНИ РЕЗУЛТАТИ

В резултат от проведените експерименти са получени следните основни резултати:

- Скорост на въздушния поток при промяна на честотата на инвертора от 0 до 60 Hz – 0 – 10 m/s.
- Скорост на въртене на турбината при скорост на въздушния поток 9 m/s – около 400 min⁻¹;
- Генерирана мощност от турбината при скорост на въздушния поток 9 m/s и скорост на въртене на турбината 370 min⁻¹ – 104 W, от които 44 W електрическа (9.4 A, 4.7V), измерена от системата за натоварване на генератора.
- Разликата между генерираната от турбината мощност (104W) и получената електрическа мощност (44 W) представляват механични загуби – около 60 W или в този случай около 60% от получената мощност от турбината. Основно загубите се генерират в мултипликатора и малка част в лагерите.
- Полученият коефициент на полезно действие КПД ≈ 0.4, което е твърде малко (би трябвало да се постигне поне 0.8).
- Получената електрическа мощност е много малка. Това представлява сериозен проблем за реализация на система за управление на оборотите на турбината с използване на натоварването на генератора.

На фиг. 5 е показана снимка на генератора, а на фиг. 6. снимка от SCADA системата. На фиг. 7. е показан вентилатора, генериращ въздушен поток (вятър).

ИЗВОДИ

В статията е разгледан първият етап от разработена система за управление на реален лабораторен модел на ветрогенератор. Използвана е базата на лабораторията по „Хидроенергетика и хидравлични турбомашини“ с ръководител проф. д-р Валентин Обретенов при ТУ-София. Разработката е финансирана по договор 132ПД0016-08 за научен проект в помощ на докторанти към ТУ-София. Разработен е цялостен модел, включващ система за генериране и измерване на скоростта на въздушен поток,

умален модел на ветрогенератор и PLC базирана система за управление.



Фигура 5 – Снимка на ветрогенератора



Фигура 6 - снимка от монитора на SCADA системата



Фигура 7 – снимка на вентилатора

Получените до този момент резултати са много добри и дават основание за продължаване на научните изследвания. Като основен проблем могат да се отбележат големите механични загуби в системата (около 60% от получената мощност) при допустими не повече от 20%. Разглеждат се някои възможни решения за преодоляване на този проблем, включващи преработка на мултипликатора или подмяна на генератора с нискооборотен алтернатор. Работата може да продължи след решаване на този проблем.

ЛИТЕРАТУРА

1. Siemens, TIA Portal, <http://www.automation.siemens.com/mcmts/topics/en/tia/Pages/default.aspx>
2. Johnson K., Pao L, Balas M., Fingersh L., Control of Variable-Speed Wind Turbine, IEEE Control systems magazine, June 2006
3. World Wind Energy Association, <http://www.windea.org>
4. Bianchi F., Battista H., Mantz R., Wind Turbine Control Systems, Principles, Modelling and Gain Scheduling

Design, Springer-Verlag London Limited, Advances in Industrial Control series, 2007

5. Munteanu I., Bratcu A., Optimal Control of Wind Energy Systems, Springer-Verlag London, Advances in Industrial Control series, 2008