

АДАПТИВНО УПРАВЛЕНИЕ НА ВЕТРОГЕНЕРАТОРНА СИСТЕМА

Петко Костадинов, Васил Димитров, Мартин Златков, Ирена Божичкова
petko_kostadinov@abv.bg, vdimitroff@abv.bg, dj_marti79@mail.bg, millennium_26@abv.bg

***Висше транспортно училище „Тодор Каблешков“
1574 София, ул. „Гео Милев“ № 158
БЪЛГАРИЯ***

Ключови думи: Ветрогенератор, адаптивно управление, PLC, енергийна ефективност, TSR

Резюме: Използването на енергийни ресурси, предоставени от възобновяеми източници на енергия, е средство за достигане на устойчиво енергийно развитие и минимизиране на вредните въздействия върху околната среда. В тази насока използването на вятърната енергия е въпрос с голямо значение. Все по-широко приложение намират различни ветрогенераторни системи, като една такава е проектирана и изградена във ВТУ „Тодор Каблешков“. Проектиран и разработен е ветрогенератор с променлив ъгъл на атака на витлата. В доклада е представен начин за реализиране на този вид конструкция, както и особеностите на автоматиката при управление на електрозадвижващите механизми чрез PLC. Систематизирани са основните фактори, влияещи върху ефективността на ветрогенератора. Усложнената конструкция на пропелера поставя по-високи изисквания към системата за управление, но дава възможност за адекватно приспособяване на турбината към непостоянната скорост на вятъра и постигане на максимална ефективност на съоръжението, а също така и за намаляване на механичните претоварвания при скорости на вятъра, превишаващи значително възможностите на съоръжението. Функционирането на системата, от една страна, води до икономия на електрическа енергия, а същевременно са създадени условия за провеждане на научни изследвания и експерименти от докторанти и преподаватели, както и на лабораторни упражнения със студенти от специалности „ЕЕЕО“, „Автоматика, електроника и компютърно управление в електрическия транспорт“, „ЕЕВЕИ“ и „Електромобили“.

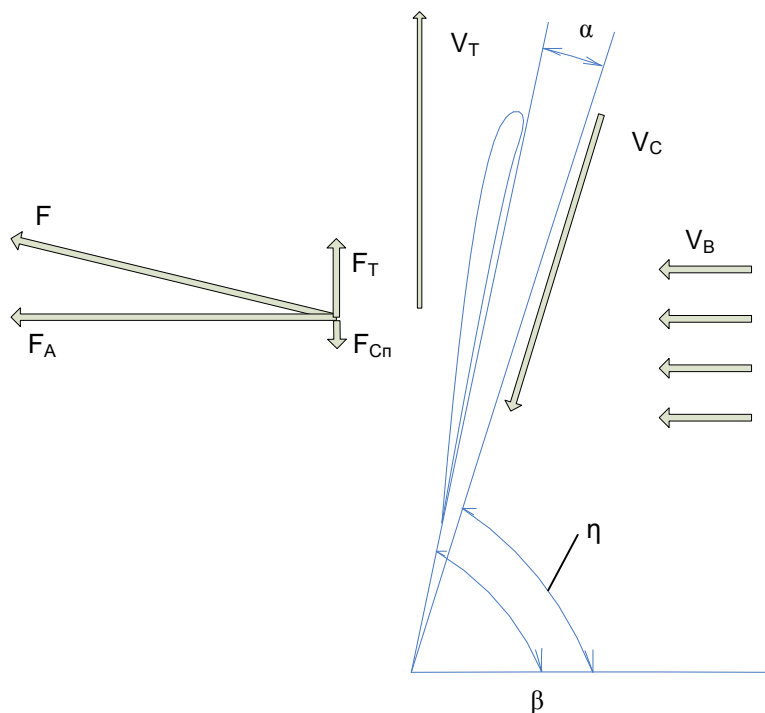
ВЪВЕДЕНИЕ

Използването на максималния ресурс от инсталирана мощност на ветрогенераторите е един от начините за оползотворяването на максимална част от пренасяната от вятъра енергия и е от съществено значение за постигането на максимална енергийна ефективност на съоръжението и ниска себестойност на произведената електроенергия. В изградената ветрогенераторна система е вградена

допълнителна система в пропелера, даваща възможност за изменение ъгъла на атака на витлата с цел постигане на максимален въртящ момент, респективно по-висока ефективност на пропелера и на системата като цяло. Основните фактори, влияещи върху ъгъла на витлата, са скорост на вятъра и ъглова скорост на пропелера, а косвени са генерирано напрежение от генератора, вътрешно съпротивление на генератора, напрежение в акумулаторните батерии (АБ) и др. [1]. В доклада е представен начин за реализиране на адаптивно управление на ветрогенератора в зависимост от скоростта на вятъра, напрежението на АБ и редица други фактори, разгледани са особеностите на автоматиката при управление на електрозадвижващите механизми чрез PLC. Адаптивното управление намира приложение, когато е необходимо да се изменят параметрите на системата в зависимост от условията на експлоатация, тя се коригира (адаптира) към изменението на параметрите на околната среда.

ОСНОВНИ ФАКТОРИ, ВЛИЯЕЦИ ВЪРХУ ЕФЕКТИВНОСТТА НА ВЕТРО-ГЕНЕРАТОРА

На фиг. 1 са показани скоростите на вятъра и витлото и силите, действащи върху него, като се разглежда сечението, намиращо се в най-отдалечената от оста на въртене точка. Линейната скорост на върха на витлото V_T е значително по-голяма от скоростта на вятъра V_B , а векторната сума от двете скорости V_C се явява действителната скорост и посока на въздушния поток спрямо разглежданото сечение на профила. Наличието на ъгъла на атака α води до генериране на подезната сила F и след разлагането ѝ се получават силите F_A (аксиална, действаща успоредно на оста на генератора) и F_T (генерираща полезния въртящ момент). Ето защо, докато при нарастването на първия основен фактор – скоростта на вятъра, следствието е нарастване на генерираната мощност, то нарастването на ъгловата скорост на пропелера води до нарастване на челното аеродинамично съпротивление на профила и на $F_{Cп}$. Следователно, като краен резултат се получава намаляване на вятърия момент и генерираната полезна мощност.



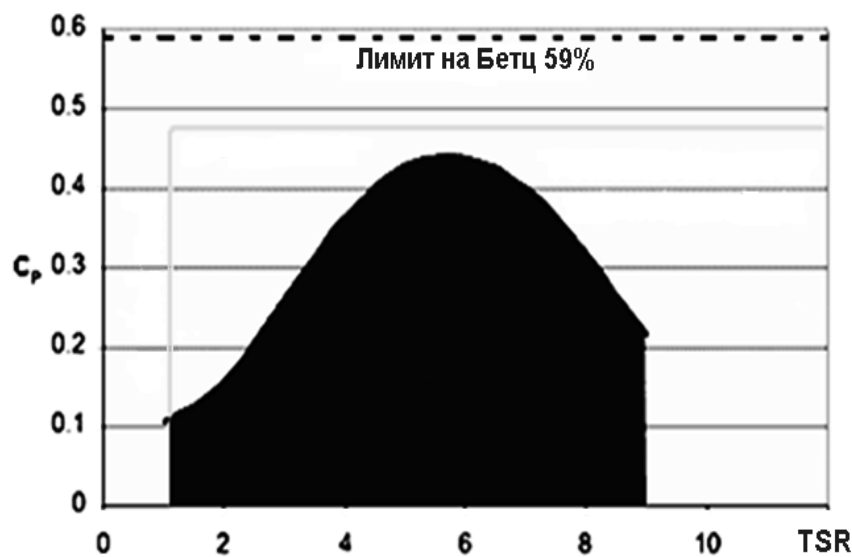
Фиг.1 Схема на скоростите и силите, действащи на сечението на върха на витлото

Обратният ефект, предизвикан от прекаленото понижаване на скоростта на пропелера, е пропускане на част от работния флуид и съответно водещ отново до загуба на въртящ момент и мощност. Поради изброените причини е необходимо да се поддържа оптимално съотношение между тангенциалната и ветровата скорост, наричано коефициент на бързоходност или TSR (tip speed ratio) с цел получаване на максимална полезна мощност [1, 4, 5]:

$$(1) \quad \text{TSR} = \frac{V_T}{V_B}$$

Ефективността C_p на пропелер с три витла в зависимост от коефициента на бързоходност TSR е показана на фиг. 2 [1, 4, 5].

Наблюдава се максимум при стойност на TSR, близка до 6, както и приемливи стойности (над 90% от максималната ефективност) в диапазона от 4,5 до 7,2.



фиг. 2 Влияние на TSR върху ефективността на пропелера

Тъй като синхронният генератор през токоизправителен блок осъществява заряд на акумулаторни батерии, то при генерирано напрежение по-ниско от напрежението на акумулаторните батерии, TSR ще зависи единствено от геометричния ъгъл β на витлата (фиг. 1), но ако генерираното напрежение е по-високо от напрежението на акумулаторните батерии, основни фактори, оказващи влияние върху TSR, са вътрешните съпротивления на синхронния генератор, токоизправителния блок и акумулаторните батерии. Следващото повишаване на скоростта на вятъра ще предизвика незначително повишаване на скоростта на въртене на пропелера, водещо до занижаване на коефициента TSR. Поради тази причина е необходимо да се осъществи управление на изходящата мощност от генератора, като единият начин е чрез електронен конвертор да се ограничава изходния ток на синхронния генератор, а другият – да се регулира генерираното напрежение. Единственият начин за регулиране на напрежението, генерирано от синхронен генератор с постоянни магнити при зададена скорост на въртене, е с превключване на намотките в генератора [2, 3] и тъй като съотношението между максималната и минималната стойност на TSR при приемлива минимална ефективност на пропелера се приближава до $\sqrt{3}$, то в случая се оказва, че удачен вариант за превключване на намотките е от звезда в триъгълник и обратно.

РЕАЛИЗАЦИЯ НА УПРАВЛЕНИЕТО

Управлението на системата се извършва с PLC LOGO 0BA8.Standart, който разполага с четири аналогови входа, четири цифрови входа и четири релейни изхода [6]. Четирите релейни изхода е предвидено да се използват, както следва:

- Q1 увеличаване ъгъла на витлата;
- Q2 намаляване ъгъла на витлата;
- Q3 задействане на спирачната система;
- Q4 изключване на спирачната система.

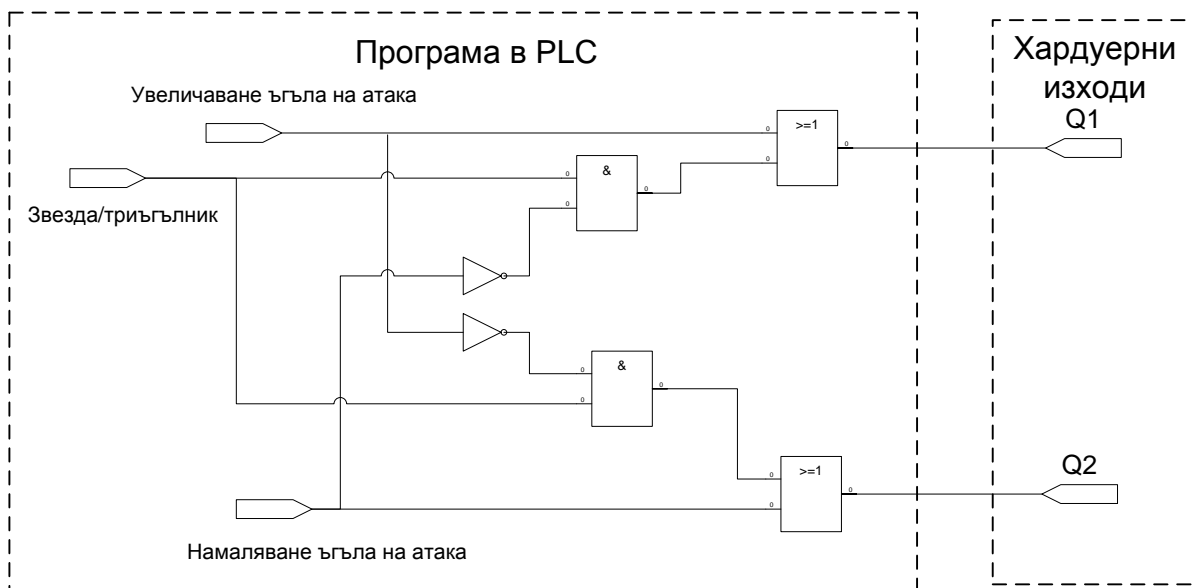
Налага се създаването на пети логически изход от PLC за превключване на намотките на генератора от звезда в триъгълник и обратно. Създаването на такъв изход е реализирано чрез логическа зависимост между изработените команди за управление в програмата в PLC и хардуерните му изходи, което се вижда на фиг. 3 и таблица на истинност (фиг. 4). Спестява се включването на разширителен модул към PLC.

След подаването на управляващите сигнали към ветрогенератора е необходимо те да бъдат обработени с цел обратно разделяне на командите. Декодирането се извършва чрез релейна схема (фиг. 5), реализирана в електрическо табло, монтирано в задния край на гондолата на ветрогенератора. Начинът на работа на схемата е следният:

При подаване на управляващ импулс от извода Q1 на PLC сработва релето RK1 и през контакта K1.1 подава захранване на задвижването за промяна ъгъла на атака в посока увеличаване.

При подаване на управляващ импулс от извода Q2 на PLC сработва релето RK2 и през контакта K2.1 подава захранване на задвижването за промяна ъгъла на атака в посока намаляване.

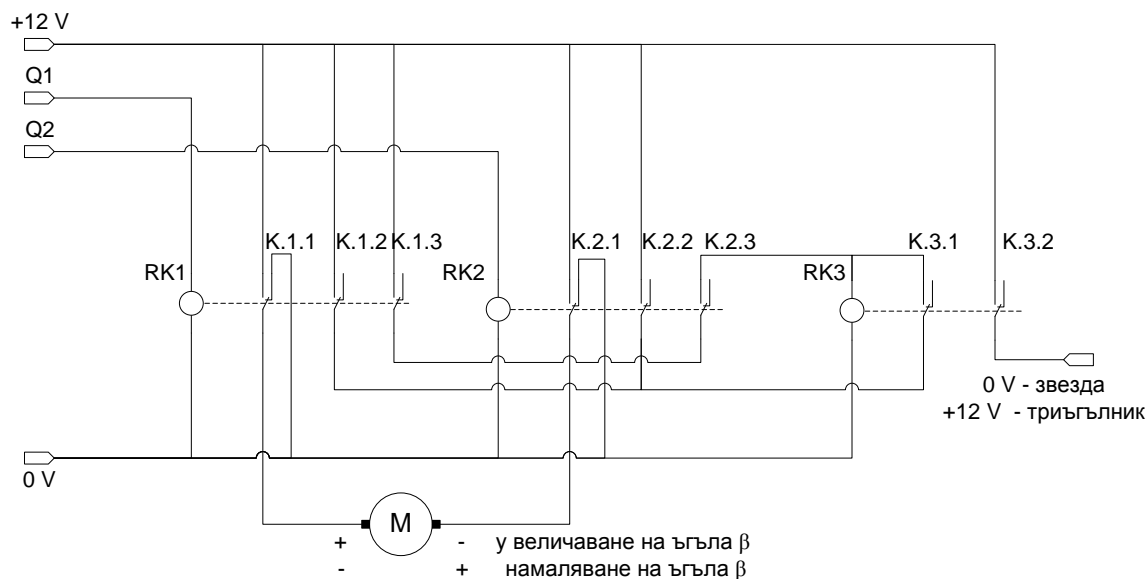
При подаване на управляващ импулс от изводите Q1 и Q2 на PLC сработват релетата RK1 и RK2 и през последователно свързаните контакти K1.3 и K2.3 получава захранване RK3 и затваря контактите си K3.1, които са захранени от паралелно свързаните контакти K1.2 и K2.2 и по този начин се самозадържа включено. Сработването на K3.2 подава управляващ сигнал за превключване от звезда в триъгълник [3].



Фиг. 3 Схема за осъществяване на логически изход

звезда – 1 триъгълник – 0	увеличаване ъгъла на витлата	намаляване ъгъла на витлата	Q1	Q2
0	0	0	0	0
0	1	0	1	0
0	0	1	0	1
1	0	0	1	1
1	1	0	1	0
1	0	1	0	1

Фиг. 4 Таблица на истинност



Фиг. 5 Приципна схема на декодера в електрическото табло на гондолата на ветрогенератора

Отпадането на управляващия сигнал на един от изводите Q1 или Q2 на PLC води съответно до намаляване или увеличаване на ъгъла на витлата β , но не и до изключване на RK3. До изключване на RK3 може да се стигне единствено чрез едновременно изключване на контактите K1.2 и K2.2, съответно чрез едновременно отпадане на управляващите импулси от изводите Q1 и Q2 на PLC.

Разбира се, съществува известно закъснение на превключването от звезда в триъгълник и обратно – докато трае импулсът за изменение ъгъла на витлата. Поради голямата инертност на пропелера с цел избягване на излишно пререгулиране е предвидена софтуерна „филтрация“ на управляващите импулси за ъгъла на витлата, като максималното времетраене на импулса е 3s. Това съответно се явява максималното възможно закъснение на превключването от звезда в триъгълник и обратно, което е пренебрежимо малко и не може да окаже съществено въздействие върху работата на ветрогенератора.

ИЗВОДИ

Проектираната и разработена във ВТУ „Годор Каблешков“ ветрогенераторна система е с променлив ъгъл на атака на витлата на ветрогенератора. Конструкцията на пропелера се усложнява, но дава възможност за адекватно приспособяване на турбината към непостоянната скорост на вятъра, а също така и за намаляване на механичните претоварвания при скорости на вятъра, превишаващи значително възможностите на съоръжението. В доклада е представен начин за реализиране на управлението на този вид конструкция чрез PLC, както и особеностите на автоматиката

за реализиране на превключване от звезда в триъгълник и обратно. Поради необходимостта от по-голям брой от наличните изходи на PLC е предложен вариант за приложение на декодер (релейна схема) и чрез реализирането му отпада необходимостта от закупуване на разширителен модул. Това предполага подобро съотношение между ефекта от изграденото съоръжение и размера на направената за него инвестиция.

Функционирането на системата, от една страна, води до икономия на електрическа енергия, а същевременно са създадени условия за провеждане на научни изследвания и експерименти от докторанти и преподаватели, както и на лабораторни упражнения със студенти от специалности „Електроенергетика и електрообзавеждане“, „Автоматика, електроника и компютърно управление в електрическия транспорт“, „Електроенергетика от ВЕИ“ и „Електромобили“.

ЛИТЕРАТУРА:

- [1] Ragheb M., A. M. Ragheb, Wind Turbines Theory - The Betz Equation and Optimal Rotor Tip Speed Ratio, Fundamental and Advanced Topics in Wind Power, ISBN 978-953-307-508-2, InTech, 2011
- [2] Българанов Л., И. Миленов, Г. Павлов, Ч. Джамбазки, Електрозадвижване, София, 2009
- [3] Златков М., Безотказно превключване „звезда-триъгълник“ при малки ветрогенератори, н. сп. „Механика, Транспорт, Комуникации“, ISSN 1312-3823, том 15, брой 3, статия № 1516
- [4] <http://www.reuk.co.uk/wordpress/wind/wind-turbine-tip-speed-ratio>
- [5] https://en.wikipedia.org/wiki/Tip-speed_ratio
- [6] Programmable Logic Controller LOGO! - Technical Data, Siemens AG, 2014

ADAPTIVE CONTROL OF THE WIND TURBINE SYSTEM

Petko Kostadinov, Vasil Dimitrov, Martin Zlatkov, Irena Bozhichkova

petko_kostadinov@abv.bg, vdimitroff@abv.bg, dj_marti79@mail.bg, millennium_26@abv.bg

***Todor Kableschkov University of Transport – Sofia, 158 Geo Milev Str., Sofia 1574
BULGARIA***

Key words: Wind turbine, adaptive control, PLC, energy efficiency, TSR

Abstract: The utilization of energy resources from renewable energy sources is a means of achieving sustainable energy development and minimizing harmful environmental impacts. In this direction, the use of wind energy is a matter of great importance. Various wind generators find wider application and one of them has been designed and built in the Todor Kableschkov University of Transport. A wind turbine with a variable angle of propeller attack has been designed and developed. The report presents a way of realizing this type of construction, as well as the special features of the automation in the control of the electrical drives by a programmable logic controller (PLC). Main factors influencing on the wind generator efficiency are systemized. Complicated propeller design puts higher demands on the control system but allows adequate adaptation of the turbine to unstable wind speeds and achieving maximum facility performance. It also allows for the reduction of mechanical overloads at wind speeds that significantly outweigh the facility's capabilities. The operation of the system leads to the saving of electricity, but also creates conditions for research and tests by PhD students and lecturers as well as training the students under the programmes Power Engineering and Electrical Equipment, Renewable Energy Sources, Electric vehicles, etc.