



МК0700041

## МОДЕЛ НА ВЕТЕРНА ЕЛЕКТРИЧНА ЦЕНТРАЛА NORDEX N-60 ВО ПРОГРАМСКИОТ ПАКЕТ DIGSILENT POWER FACTORY

Љубиша МЛАДЕНОВСКИ

Атанас ИЛИЕВ

Вангел ФУШТИК

Универзитет "Св. Кирил и Методиј"

Електротехнички факултет - Скопје

МАКЕДОНИЈА

### АБСТРАКТ

Во овој труд е прикажана постапката за моделирање на ветерна електрична централа NORDEX N-60 во програмскиот пакет Digsilent Power factory. При креирањето на моделот на централата е користена дедуктивната метода.

На почетокот од трудот се дадени основните карактеристики на употребениот програмски пакет, како и на самата ветерна електрична централа. Потоа, извршено е моделирање на делот од електроенергетскиот систем каде ќе се изврши приклучување на електричната централа со системот. Моделирањето на турбинскиот и генераторскиот дел на ветерната електрична централа е извршено со блокови, кои, од своја страна, го сочинуваат машинскиот блок од композитниот модел на централата. Резултатите од извршените практично ориентирани симулации се прикажани во графичка форма.

Проектирањето на моделот на ветерната електрична централа NORDEX N-60 е извршено на Електротехничкиот факултет при Универзитетот во Росток, СР Германија, како дел од меѓународниот проект DYSIMAC.

### ABSTRACT

This paper presents a method for creating a model of the wind power plant NORDEX N-60 in the Digsilent Power factory software.

At the beginning, the characteristics of the wind power plant and the used software are shortly described. The next step is modeling the part of the power system where the wind power plant will be connected to the grid. The modeling of the turbine part and the generator part of the wind power plant is made with blocks, which are part of the machine block of the composite model. Finally, the results obtained from performed practically oriented simulations are presented in graphical form. Design of the model of the wind power plant NORDEX N-60 was performed at the Faculty of Electrical Engineering, at the University of Rostock, Germany, as a part of the DYSIMAC project.

## 1. ВОВЕД

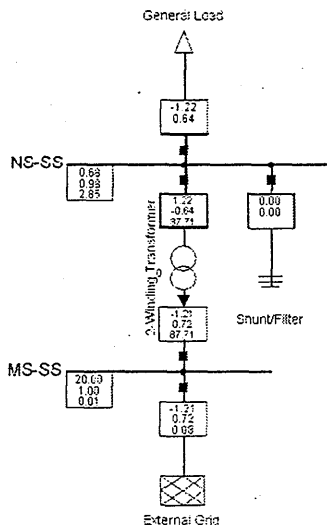
NORDEX N-60 е ветерна електрична централа со дијаметар на работното коло (роторот) од 60 m, и номинална моќност од 1300 kW/250 kW. Роторот има 3 елиси со хоризонтално дизајнирана осовина, поставени челно во однос на насоката на струење на ветерот. Електричната централа започнува со работа при брзини на ветерот поголеми од 2,5 m/s. Номиналната моќност ја постигнува при брзина на ветерот од 15 m/s, а запира со работа кога ветерот ќе достигне брзина од 25 m/s. При брзини помали од 5 m/s, во работа се пушта генераторот со моќност од 250 kW (6 полен генератор), додека при брзини на ветерот поголеми од 5 m/s, моќноста на NORDEX N-60 е 1300 kW (4 полен генератор). Дијапазонот на амбиентната работна температура се движи од -20°C до +40°C. Очекуваниот пресметковен период на експлоатација е 20 години [5,6]. Цената на чинење на оваа ветерна електрична централа е околу еден милион евра.

Програмскиот пакет *DigSILENT (Digital Simulation and Electrical NeTwork)* е напреден, интегриран и интерактивен софтверски пакет, наменет за моделирање на електроенергетските системи со цел да се постигне квалитетно управување, планирање, како и оперативна оптимизација на електроенергетскиот систем (ЕЕС). Со други зборови, овој софтверски пакет претставува инженерска алатка за анализа на погонот на електричните централи, индустриските и комерцијални дистрибутивни системи како и за големите преносни електрични мрежи. Помеѓу другото овој софтвер овозможува: анализа на распределба на моќност, пресметка на струите на куса врска (триполна, двоуполна, двоуполна со земја и едноуполна во AC/DC мрежите според стандардите DIN VDE 0102 и IEC 909), анализа на нисконапонската мрежа, оптимизација во дистрибутивната мрежа, IEC димензионирање на кабли, динамичка симулација, анализа на хармоници, проверка на стабилност на електроенергетскиот систем итн. Производ е на германската фирма DigSILENT GmbH, а се продава во пет верзии: стандард, индустриал, дистрибутион, трансмисион и ентерприсе [1,2].

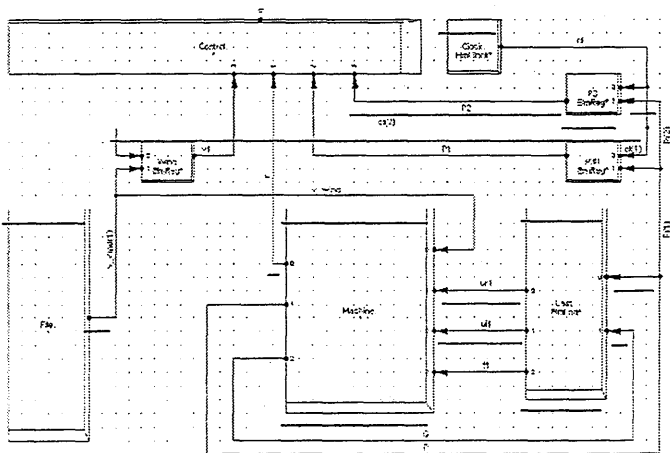
## 2. МОДЕЛИРАЊЕ НА ДЕЛОТ ОД ЕЕС

Создавањето на моделот започнува со моделирање на делот од електроенергетскиот систем на кој ќе биде вклучена ветерната електрична централа. На сл.1 можат да се воочат следните елементи: дистрибутивен трансформатор, собирнички систем, кондензаторска батерија, електроенергетски систем (External Grid) и објектот (General Load) во кој се интегрирани: асинхронниот генератор на ветерната централа и сопствената потрошувачка. Правоаголните елементи кои се наоѓаат до секој елемент од сликата претставуваат места каде се испишуваат резултатите од симулациите. Кои големи ќе бидат претставени во правоаголните елементи зависи од изборот на проектантот или од моменталните потреби на симулациите. Исто така, на сликата може да се забележи стрелка под трансформаторот, која ја прикажува насоката на течење на моќноста. Доколку трансформаторот има можност за промена на регулационата преклопка под товар, моменталната положба на преклопката ќе биде прикажана веднаш до трансформаторот (на сликата се

гледа бројот 0). Црните мали квадрати ги претставуваат прекинувачите кои мануално (со двојклик) можат да се исклучуваат или вклучуваат. Доколку има потреба, за повеќекратно исклучување и вклучување на еден ист прекинувач во една симулација, тогаш се користи опцијата Edit Simulation Events од главното мени на програмот.



Слика 1. Дел од ЕЕС на кој се приклучува ветерната електрична централа



Слика 2. Композитен модел на ветерна електрична централа

Следен чекор во моделирањето е креирање на делот од електроенергетскиот систем на кој ќе биде вклучена ветерната електричната, но во DSL (DSL-DIGSILENT Simulation Language). Треба да се напомене дека при креирање-

то на моделот во DSL се среќаваат елементи кои не се наоѓаат насл.1, но се од витално значење за функционирање на моделот. Можат да се детектираат следниве елементи кои ќе треба да бидат програмирани (претставени во блоковски систем):

- блок кој ја симулира брзината на ветерот;
- блок кој ја симулира работата на ЕЕС;
- машински блок (ветерна турбина + генератор);
- блокови за добивање на средни вредности на излезните големини од блоковите;

На сл.2 е прикажан композитниот модел (Composite model) на ветерната електрична централа.

Принципот на работа на композитниот модел е следниот: блокот кој ја симулира брзината на ветерот (на сликата претставен со File blok) испраќа сигнал до машинскиот блок (Machine) и контролниот блок (Control). Во контролниот блок влезната информација се проверува дали ги задоволува поставените барања, со цел да се донесе правилна одлука. На пример, доколку брзината на ветерот е поголема од максимално дозволената, тогаш контролниот блок издава наредба за зацирање на работата на централата. Истото може да се случи и ако брзината на ветерот е помала од минимално дозволената. Доколку пак, брзината на ветерот се наоѓа во пропишаните граници, тогаш се врши дополнителна проверка со цел да се донесе одлука дали ќе работи генераторот со номинална моќност од 250 kW, или генераторот со моќност од 1300 kW. Во машинскиот блок влезната големина се користи за добивање на неопходните големини кои се карактеристични за производните единици (активна и реактивна моќност). Исто така, во машинскиот блок влегуваат уште и сигналите од блокот кој го симулира електроенергетскиот систем. Тоа се: фреквенцијата и напонот (поделен на реален и имагинарен дел). Треба да се напомене дека обликот на прикажаните големините со кои се работи, зависи исклучиво од програмерот. Блоковите за средна вредност служат единствено за контрола на излезните големини од блоковите. Откако ќе се добие средна вредност од излезната големина, истата информација се праќа до контролниот блок, кој повторно донесува соодветни одлуки. Машинскиот блок и блокот кој ја симулира брзината на ветерот се посебно креирани и осмислени, додека останатите блокови се земени од библиотеката на софтверскиот пакет DigSILENT.

### 3. КРЕИРАЊЕ НА МАШИНСКИОТ БЛОК

Машинскиот блок во себе ги содржи турбинскиот и генераторскиот дел. Секој од овие делови е засебно проектиран, за да потоа се обединет во една целина.

#### 3.1. Моделирање на генераторскиот дел

Главната идеја е да се изврши разделување на магнетниот флукс во статорот и роторот во асинхронниот генератор на два дела: реален и имагинарен дел. Потоа, со соодветна комбинација на реалниот дел на магнетниот флукс во статорот, реалната и имагинарната компонента на напонот како и на реалниот

и имагинарниот дел на струјата во статорот се добиваат излезните големини од овој блок: активната и реактивната моќност, како и на електричниот момент кој е неопходен за определување на брзината на генераторот. За "Т" заменска шема на генераторот за q и d оската важат следните равенки:

$$U_{qs} = R_S \cdot i_{qs} + \frac{d\psi_{qs}}{dt} + \omega \cdot \psi_{ds} \quad (1)$$

$$U_{ds} = R_S \cdot i_{ds} + \frac{d\psi_{ds}}{dt} - \omega \cdot \psi_{qs} \quad (2)$$

$$U'_{qr} = R'_{qr} \cdot i'_{qr} + \frac{d\psi'_{qr}}{dt} + (\omega - \omega_r) \cdot \psi'_{dr} \quad (3)$$

$$U'_{dr} = R'_{dr} \cdot i'_{dr} + \frac{d\psi'_{dr}}{dt} - (\omega - \omega_r) \cdot \psi'_{qr} \quad (4)$$

$$T_e = 1,5 \cdot p \cdot (\psi_{ds} \cdot i_{qs} - \psi_{qs} \cdot i_{ds}) \quad (5)$$

каде:  $U_{qs}$ ,  $U_{ds}$  и  $U_{qr}$ ,  $U_{dr}$  се соодветно напонот на статорот по q-оската и d-оската, односно напонот на роторот по q и d - оската,  $\psi_{qs}$  и  $\psi_{ds}$  се магнетните флуковски на статорот по q и d оската,  $\psi_{qr}$  и  $\psi_{dr}$  се магнетните флуковски на роторот по q и d оската,  $i_{qs}$ ,  $i_{ds}$  и  $i'_{qr}$ ,  $i'_{dr}$  се соодветно струјата низ статорот по q и d оската, односно струјата низ роторот по q и d оската.  $R_S$  е активната отпорност на статорската намотка,  $R_r$  е сведен активен отпор на роторската намотка кон статорската намотка. Како дополнување може да се додаде и следниов систем равенки:

$$\psi_{qs} = L_S \cdot i_{qs} + L_m \cdot i'_{qr} \quad (6)$$

$$\psi_{ds} = L_S \cdot i_{ds} + L_m \cdot i'_{dr} \quad (7)$$

$$\psi'_{qr} = L'_r \cdot i'_{qr} + L_m \cdot i_{qs} \quad (8)$$

$$\psi'_{dr} = L'_r \cdot i'_{dr} + L_m \cdot i_{ds} \quad (9)$$

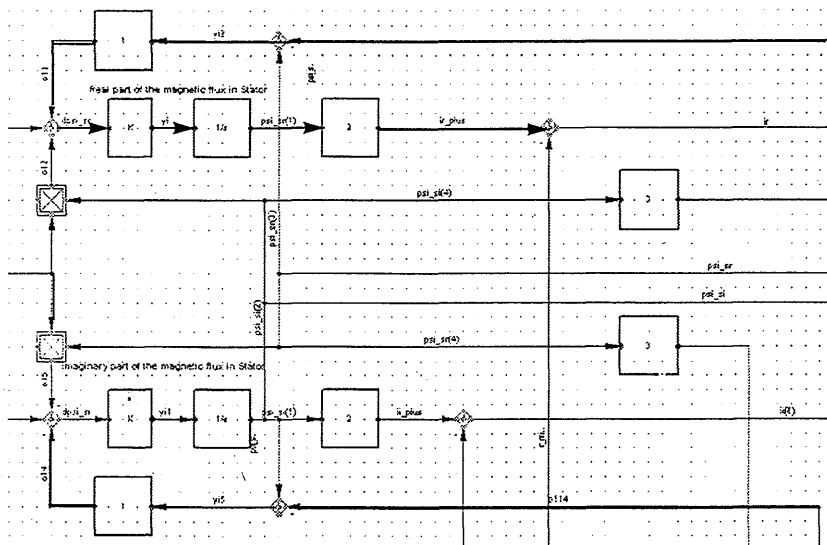
Бидејќи во ветерната електрична централа е инсталиран асинхрон генератор со кафезен ротор, напонот на роторот е 0, односно  $U_{qr} = 0$  и  $U_{dr} = 0$ . Моделот на генераторот е прикажан на сл.3.

### 3.2. Моделирање на турбинскиот дел

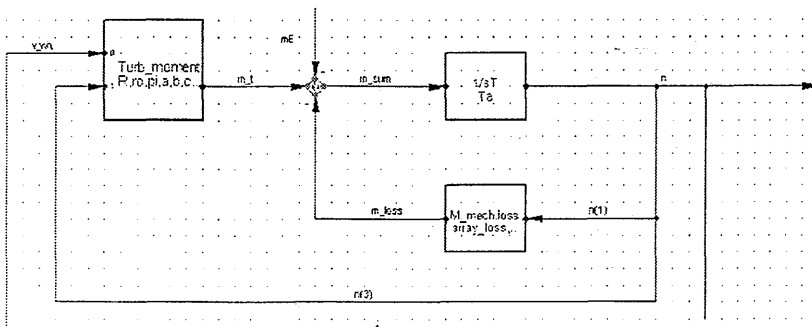
Турбинскиот дел се состои од три засебни блокови кои функционираат во една целина. Првиот блок е турбински блок, односно блокот кој ја симули-

ра работата на ветерната турбина. Влезна големина во овој блок е брзината на ветерот додека излезна големина е моментот на роторот. Вториот блок е блокот преку кој се симулираат механичките загуби. Како влез на големина на овој блок е брзината на роторот, а излезна големина е моментот на загуби. Сигналите од овие два блока заедно со електричниот момент се проследуваат до точката за сумирање, а од таму се испраќаат до третиот блок од оваа целина, а тоа е интеграторот со чија помош се добива брзината на роторот. Оттаму оваа информација се испраќа до точката за сумирање која се наоѓа во генераторскиот модел, во делот каде што се определуваат влезните големина за роторот.

На сл. 4 е даден турбинскиот дел на ветерната електрична централа.



Слика 3. Модел на генераторот на ветерната централа



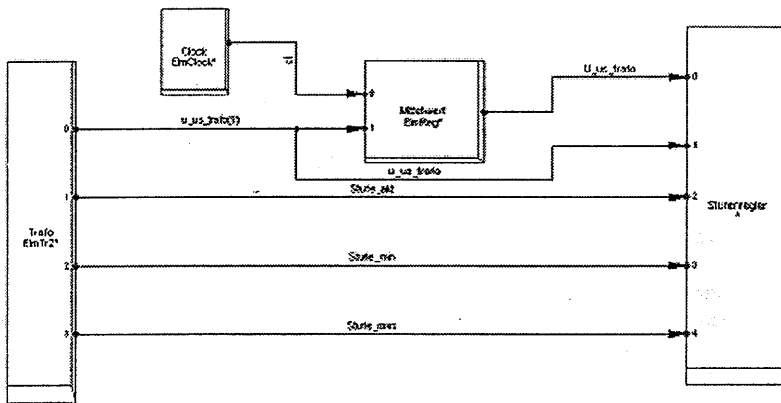
Слика 4. Турбински дел од ветерната електрична централа

#### 4. ДОПОЛНИТЕЛНИ ПОМОШНИ МОДЕЛИ

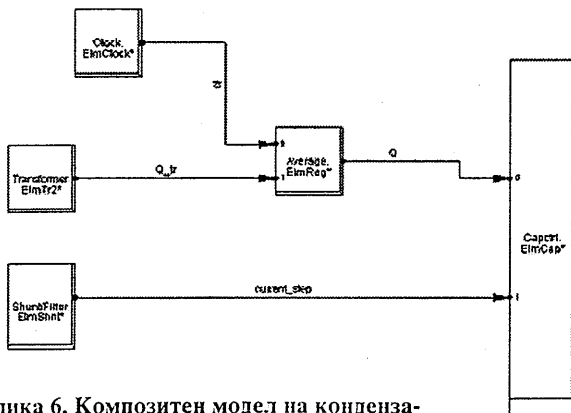
Во моделот на ветерната електрична централа се вградени уште два модела, кои исто така се изработени во DigSILENT Power factory, а имаат за цел да ја подобрат работата на моделот на ветерната централа. Тоа се моделот на енергетски трансформатор и моделот на кондензаторска батерија [4].

Моделот на енергетски трансформатор ја симулира работата на реален енергетски трансформатор со точно определени параметри. Во конкретниов случај станува збор за нисконапонски трансформатор без можност за регулација под товар. Композитниот модел на енергетскиот трансформатор е прикажан на сл. 5.

Слика 5. Композитен модел на енергетски трансформатор



Составни елементи на композитниот модел на енергетски трансформатор се: блок кој ја симулира работата на трансформаторот, блок кој ја симулира работата на ЕЕС, временски блок и блок за добивање на средна вредности.



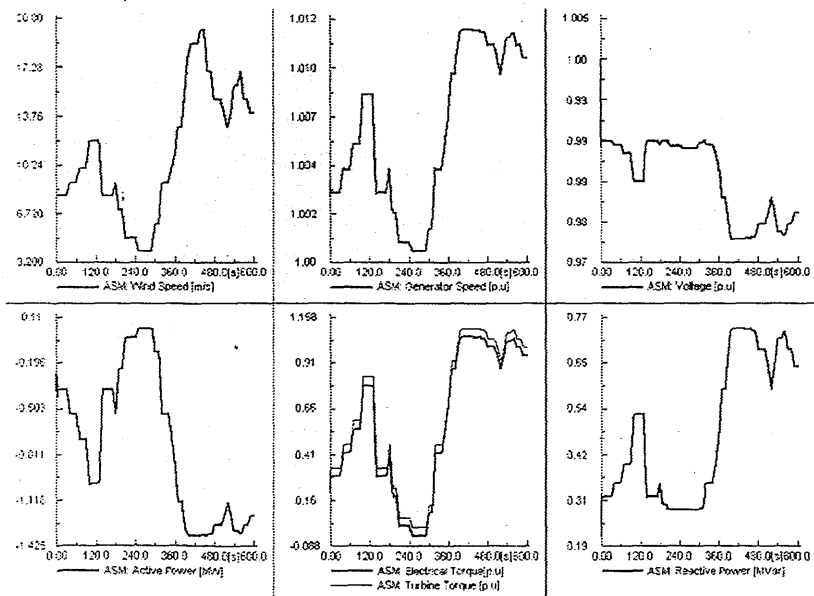
Слика 6. Композитен модел на кондензаторска батерија

Моделот на кондензаторска батерија е претставен на сл.6. Кондензаторската батерија содржи 10 степени, секој со моќност од 10 kVar (вкупна моќност на кондензаторската батерија е 10x50 kVar).

Составни елементи на композитниот модел на кондензаторската батерија се: блок кој ја симулира работа на трансформаторот, блок кој ја дава моменталната положба на преклопката на батеријата, временски блок и блок за добивање на средни вредности.

## 5. ГРАФИЧКА ПРЕЗЕНТАЦИЈА НА ДОБИЕНИТЕ РЕЗУЛТАТИ

На сл.7 се прикажани резултатите од извршената симулација на моделот. Како што може да се забележи од самата слика, применливоста на моделот е презентирана преку приказ на промената на шест големини и тоа: брзината на ветерот (m/s), активна моќност на генераторот (MW), брзина на вртење на генераторот (vrt/min), електричниот и турбинскиот момент (p.u.), напонот (p.u.) и реактивната моќност (MVar). Ординатите на граfiците одговараат на споменатите големини, додека на апсисите на сите шест граfiци е преставено времето изразено во секунди.



Слика 7. Графички приказ на добиените резултати од симулациите

Доколку се споредат граfiците на кои се претставени промените на брзината на ветерот и активната моќност на генераторот, веднаш се воочува дека со зголемување на брзината на ветерот, се зголемува и активната моќ-



ност. Речиси идентични заклучоци се добиваат доколку се компарираат графициите: брзина на генератор-моменти и напон-реактивна моќност. Знакот "-" пред моќноста потекнува од последиците на првиот Кирхофов закон. Во оваа симулација се разгледува нисконапонската собирница на која е приклучена ветерната централа. Моќност која ја испраќа електричната централа во ЕЕС излегува од нисконапонската собирница, и затоа има предзнак "-". На високонапонската собирница моќноста ќе го има предзнакот "+". Ова најдобро може да се забележи на сл.1. На истиот график може да се воочи дека моќноста во еден момент добива позитивен предзнак (време: приближно 250 секунди, моќност: приближно 0,09 р.у.), што би навело на помисла дека ветерната електрична централа зема електрична енергија од мрежа.

Констатацијата е точна, но тоа потекнува од фактот што во тој временски период брзината на ветерот е помала од 5 m/s, што е услов за стартување на "помалиот" генератор. Во овој симулациски модел тој генератор не е моделиран.

На графикот на кој е претставена промената на напонот во зависност од времето, може да се забележи дека вредностите на напонот се движат во границите од 0,975 р.у. до 1 р.у., односно од 585 V до 600 V.

## 6. ЗАКЛУЧОК

Во овој труд е прикажана постапката за креирање модел на ветерна електрична централа во програмскиот пакет DiGSILENT Power factory. Со помош на овој модел можат да се симулираат и да се анализираат сите појави во ЕЕС, како од електромеханички и електромагнетен карактер така и од економски карактер поврзани со ветерните електрични централи. Исто така, со помош на прикажаниот модел може да се врши споредба на неколку варијанти со различни генератори инсталирани во ветерната централа и да се избере најпогодното решение како од аспект на инвестиции, така и од аспект на производство на електрична енергија и загуби. Создадениот модел може да се замисли како универзален модел на ветерна електрична централа. Така, доволно е да се променат само карактеристиките на турбината (евентуално генераторот), и да се добие нов модел на ветерна централа со различни излезни големини од претходниот модел.

## 7. ЛИТЕРАТУРА

- [1] DiGSILENT-User Manual and Getting started, Digital simulation and network calculation Rev.10.3, Gomaringen, Germany, 1996.
- [2] DiGSILENT Power factory: Integrated Power System Analysis Software, Product Information, DiGSILENT GmbH, Gomaringen, Germany, 2002.
- [3] Hau, Erich: Windturbines, Fundamentals, Technologies, Application, Economics.-

Berlin, Springer, 1998.

[4] Љ. Младеновски, А. Илиев, И. Димова, В. Фуштик: Симулација на трансформаторска постројка VN/SN во софтверскиот пакет DigSILENT Power factory, VI Национална конференција ETAI 2003, Охрид, Македонија 17-20 септември, 2003.

[5] NORDEX and SÜDWIND, promotivno CD.

[6] [www.nordex.com](http://www.nordex.com)

**Љубиша МЛАДЕНОВСКИ**

**Атанас ИЛИЕВ**

**Вангел ФУШТИК**

*Универзитетот "Св. Кирил и Методиј"*

*Електротехнички факултет - Скопје*

**МАКЕДОНИЈА**