

ANALIZA MODELOV VETRNIH ELEKTRARN V PROGRAMSKEM OKOLJU

Klement KRALJ

POVZETEK

Namen je analiza Simulinkovih programskih modelov vetrnih elektrarn. Predstavljeni so različni modeli vetrnih elektrarn, od generatorja s kratkostično kletko, sinhronskega pa do dvojno napajanega asinhronskega generatorja. Najprej smo preučili parameter posameznega modela ter ugotovili kdaj ga lahko uporabimo. Zatem smo izvedli simulacije različnih obratovalnih stanj. Bila je izvedena podrobna analiza fazorskega in dinamičnega modela dvojno napajanega asinhronskega generatorja ter izpostavljene razlike med njima.

ABSTRACT

The purpose of this paper is to analyze Simulink's program models of wind power stations. We propose to examine different types of wind farms, from squirrel cage induction generator, synchronous generator and moreover doubly fed induction generator. Firstly we have studied the parameters of each model and discovered when it can be used. Therefore we have used them for simulation of various operating states. The detailed analysis of DFIG, including phasor type and dynamic model has been conducted, while pointing out their differences.

1. UVOD

Potrebe po energiji nenehno naraščajo, izziv za prihodnost je zagotoviti kakovostno električno energijo z povzročitvijo čim manj negativnih eksternalij, saj lahko le tako zagotovimo trajnosti razvoj družbe. Če pa želimo doseči zastavljene cilje, moramo začeti pridobivati energijo iz obnovljivih virov, med katere spada tudi vetrna energija.

Danes z uporabo različnih tipov vetrnih turbin, ki poganjajo generatorje (asinhronske, asinhronske z dvojnimi napajanjem, sinhronske za večje elektrarne) pretvarjamo kinetično energijo vetra v električno.

V okviru diplomskega dela bom analiziral –Simulinkove programske modele različnih tipov vetrnih elektrarn, opisal bom njihove parametre ter uporabo, nadaljnje bom z njimi simuliral delovanje vetrnih elektrarn ob različnih obratovalnih pogojih, ki jih posamezen model omogoča. Posebej se bom osredotočil na primerjavo fazorskega modela z dvojno napajanim asinhronskim generatorjem, ki ga bom primerjal z modelom z ekvivalentnimi parametri, ki pa omogoča dinamično analizo delovanja vetrne elektrarne.

2. VETRNE ELEKTRARNE

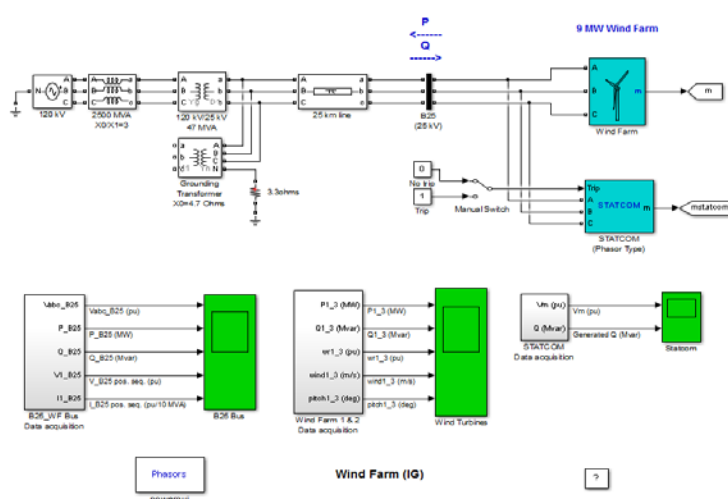
2.1 Turbine

Osnovna razdelitev deli turbine na turbine s horizontalno in vertikalno osjo. Po Betzu lahko rotor vetrne turbine izrabi največ 60% energije zračnih mas, v praksi po izgubah pa to znaša okoli 45%. V nasprotju z vodnimi turbinami, kjer podajamo izkoristek turbine, tukaj govorimo o koeficientu zmogljivosti c_p .

2.2 Generatorji

Vrsta generatorja, ki ga bomo uporabili pri izbrani elektrarni je odvisna od več parametrov, glavni so predvsem moč, velikost pretvornika ter možnost regulacije. Pri manjši moči prevladujejo asinhronski generatorji s kratkostično kletko, ti ne potrebujejo naprav za regulacijo, so pa tudi enostavne izvedbe in finančno ugodni. Sistem AS s kratkostično kletko je uporaben za manjše hitrosti vrtenja, pa tudi krivulje moči za različne hitrosti morajo biti blizu skupaj, izkoriščenost same turbine pa je relativno slaba. Pri asinhronskem generatorju z navitim dvojno napajanim rotorjem gre za dosti naprednejši sistem, ki je tudi veliko dražji, omogoča pa dvosmerni pretok energije rotorskega tokokroga. Rotor tako lahko oddaja ali sprejema energijo: v podsinhronskem področju rotor porablja energijo, v nadsinhronskem pa rotor in stator oddata energijo v omrežje, te energije je veliko več kot pri navadni izvedbi asinhronskega generatorja.

3. MODEL VETRNE ELEKTRARNE Z ASINHRONSKIM GENERATORJEM S KRATKOSTIČNO KLETKO



This example uses an initial state vector to start the simulation from steady-state. When you make changes to the model (add, delete, rename blocks, etc.), the initial state vector needs to be regenerated or disabled, otherwise Simulink signals an error when the simulation is started. To disable the use of initial state vector for this model, go to the Data Import/Export section of the Model Configuration Parameters tool and uncheck the 'Initial state' option under the 'Load from workspace' section. To regenerate the initial state vector after a change to the model, follow the instructions given in the initialization file for this model. Type open('init_power_wind_ig') at the MATLAB prompt to view this file.

Sl 1: Blokovna shema vetrne elektrarne v Simulinku

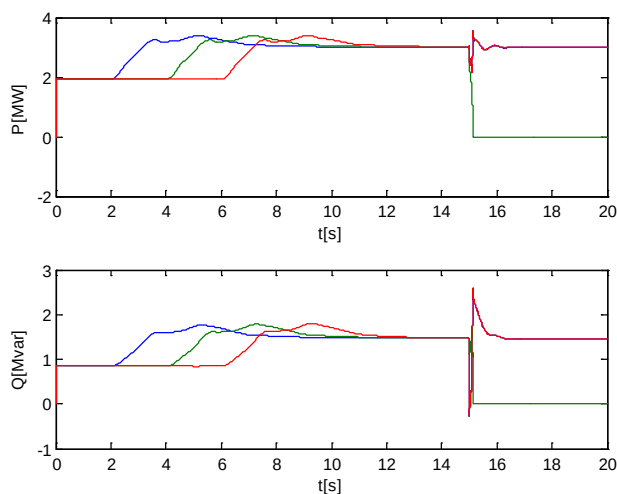
3.1 Asinhronski generator

Asinhronski generator lahko proizvaja le delovno (vatno) moč: $P_w = m_s U_s I_s \cos \varphi$, jalovo moč $P_j = m_s U_s I_s \sin \varphi$ pa moramo pridobiti iz omrežja, ki ima izvore jalove moči (kondenzator, sinhronski generator), kar je ena izmed njegovih največjih slabosti. Frekvenco in napetost takemu generatorju vsili togo omrežje na katero je priključen. Asinhronski generator lahko uporabimo tudi v otočnem obratovanju, kjer pa je potrebno samovzbujanje, na pasivno omrežje mora biti priključena kondenzatorska baterija.

Asinhronski generator s kratkostično kletko je veljal in je še vedno najpogostejši tip generatorja, uporabljen pri vetrnih turbinah. Ne potrebuje regulacije, saj ni vezan na konstantno število vrtljajev, ker se mu z povečanjem obremenitve poveča tudi število vrtljajev, seveda do maksimalne vrednosti, ki znaša $n=2n_s$. Da te vrednosti ne prekoračimo poskrbimo z regulacijo vetrne turbine, ki poganja asinhronski generator. [5]

3.2 Rezultati simulacije

Spodnja slika 2, nam prikazuje kako prične delovna moč naraščati, ko veter hitreje piha, kar se dogaja do dosega nazivne moči 3 MW. Poleg normalnih obratovalnih pogojev je na turbini 2, ki je prikazana z zeleno simuliran KS, zaščita odreagira in generator izklopi, vidimo da delovna moč P pade na 0.



Sl 2: Potek delovne in jalove moči ob spremembi hitrosti vetra

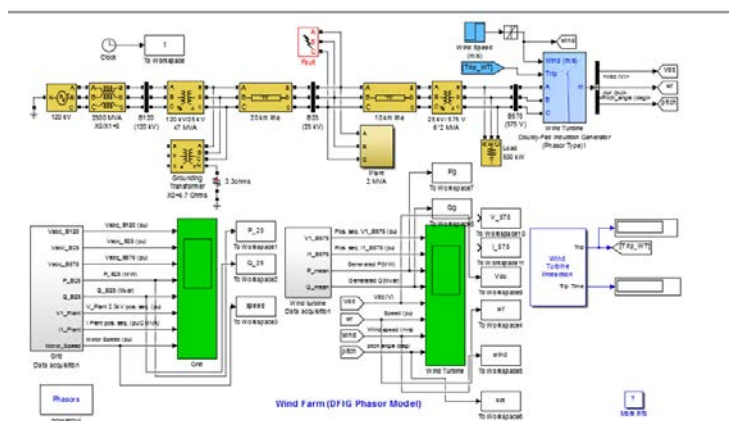
4. MODEL VETRNE ELEKTRARNE Z ASINHRONSKIM GENERATORJEM Z DVOJNIM NAPAJANJEM

4.1 Asinhronski generator z dvojn timer napajanjem

Tukaj bo simulacija izvedena z asinhronskim generatorjem z dvojn timer napajanjem, kjer je na omrežje poleg statorja preko AC/DC/AC pretvornika priključen tudi rotor. S tem lahko pri isti hitrosti vetra dosežemo boljši izkoristek, DFIG obratuje v optimalni točki krivulje obratovanja. Dvojno napajanje asinhronski generator z navitim rotorjem za uporabo pri vetrni elektrarni je sicer dosti dražji od tistega s kratkostično kletko, vendar pa nam omogoča regulacijo proizvedene delovne in jalove moči posredno preko regulacije hitrosti Proizvodnja energije se lahko poveča od 3-28% odvisno od lokacije in same implementacije vetre elektrarne. Vodenje asinhronskega generatorja z dvojn timer napajanjem (DFIG) je bolj kompleksno od navadnega, kot bo razvidno tudi iz modela v nadaljevanju Pri dvojno napajanjem asinhronskem generatorju lahko napetost rotorja U_R spreminjamo, da dobimo želen slip ali navor. Smer pretoka energije rotor se tako spreminja, odvisno od vrednosti slipa, ta deluje kot porabnik ali vir energije. Stator pa je povezan z mrežo direktno, tako je fluks v njem odvisen od mrežne napetosti in frekvence. Imamo dva osnovna načina obratovanja, ki sta posledica obratovalne karakteristike: podsinhronsko in nadsinhronsko, v prvem poteka pretok energije iz statorja v rotor-rotor je torej porabnik (pozitivna moč rotorja P_R). V drugem delu obratovalne karakteristike (nadsinhronsko področje) pa se energija oddaja v omrežje tudi preko rotorja.

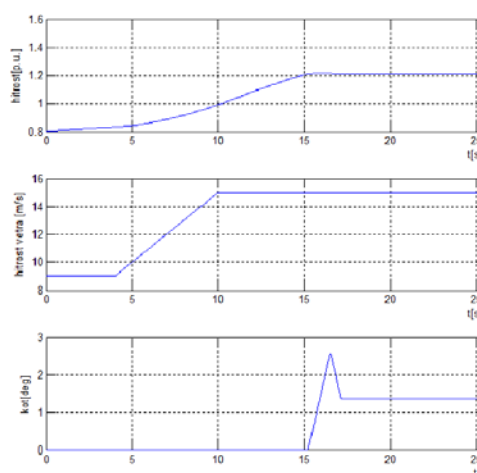
4.2 Opis modela

Model predstavlja vetrno elektrarno moči 9 MW, ki jo sestavlja 6 turbin, vsaka ima nazivno moč 1,5 MW, povezane so z distribucijskim omrežjem, kot je razvidno iz slike zgoraj, to pa z visokonapetostnim omrežjem 120 Kv. Podan model je fazorski. Omejeni smo le na preučevanje sprememb temenskih vrednosti in faz vseh napetosti in tokov sistema. Glavna prednost je da takšna simulacija poteka bistveno hitreje, saj nam ni potrebno reševati sistemov diferencialnih enačb, temveč procesor rešuje algebrajske enačbe napetostnih in tokovnih fazorjev. [2]

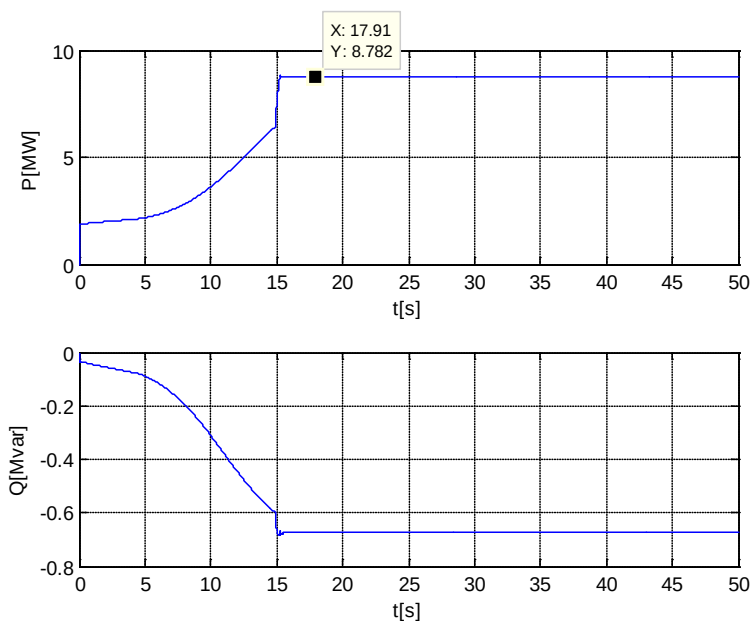
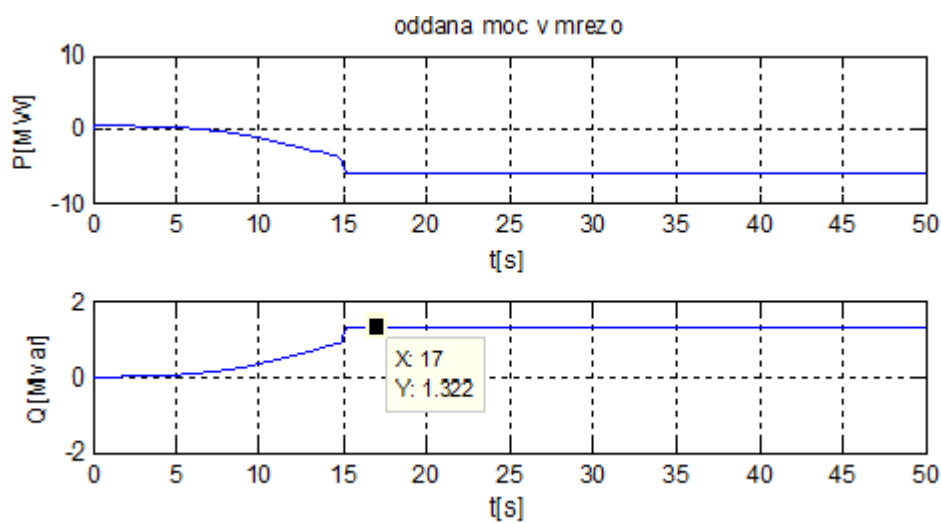


Sl 3: Blokovni model DFIG modela v Simulinku

4.3 Rezultati simulacije

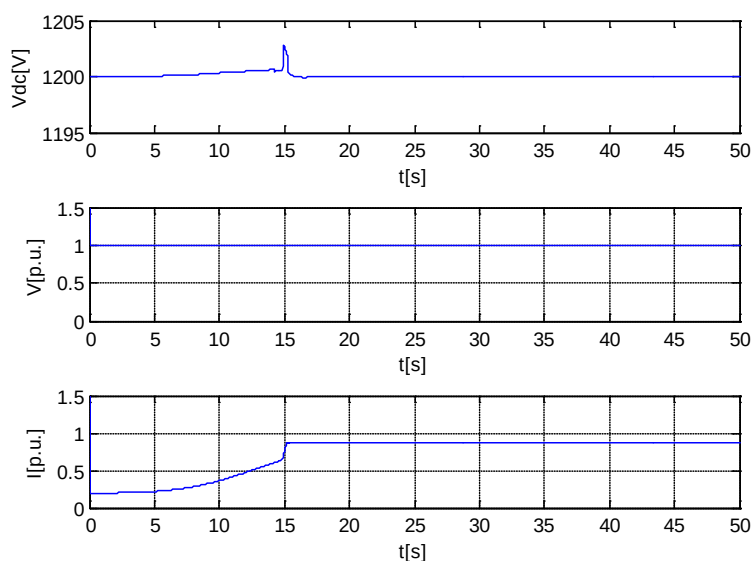


Sl 4: Odziv kotne hitrosti, sprememba kota lopatic pri spremembi hitrosti vetra iz 9 m/s na 15 m/s:

Sl 5: Moč elektrarne P , Q ob spremembi hitrosti vetra

Sl 6: Oddana moč v mrežo

Ob večanju hitrosti vetra, s hitrostjo narašča kinetična energija vetra, kar pomeni večjo mehansko moč na turbini, ki se pretvori v električno, ki se po 15 s simulacije približa nazivni moči ter znaša 8,782 MW. Regulacijo smo nastavili na reguliranje napetosti, ta se ohranja pri normirani vrednosti 1 pu, kar prikazuje sl 7. Jalovo moč jemljemo iz omrežja, potreba po njej se povečuje z večanjem delovne moči. Predznak moči vidimo, da je odvisen kako gledamo na sistem. Iz slike 6 vidimo, da gre delovna moč v mrežo, ta je negativna, jalova pa se iz mreže dovaja sklopu vetrnih elektrarn.



Sl 7: Enosmerna napetost na pretvorniku, napetost in tok v pu

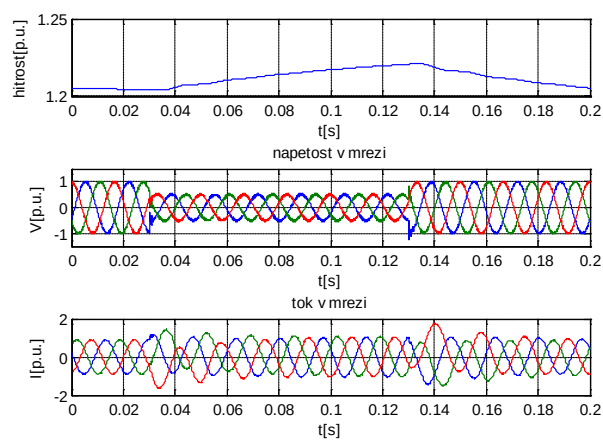
5. DINAMIČNI MODEL VETRNE ELEKTRARNE ROTORJA Z DVOJNIM NAPAJANJEM

5.1 Opis modela ter njegove uporabe

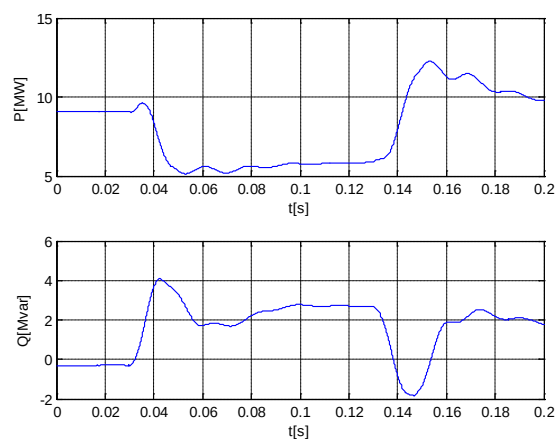
Simulacija vsebuje vetrne turbine, ki imajo za generator asinhronski generator s kratkostičnim rotorjem tako kot pri prejšnjem primeru, s to razliko, da imamo tukaj natančnejši model stroja kot tudi IGBT pretvornika AC/DC/AC. Prejšnji fazorski model lahko uporabimo za opazovanje relativno daljših časovnih intervalov obratovanja, kjer opazujemo spremembe temenskih vrednosti faz vseh napetosti in tokov sistema. Pri podrobnejšem modelu, ki ga obravnavam v tem poglavju pa lahko opazujemo višje harmonike in dinamično obratovanje v krajših časovnih intervalih.[1]

5.2 Rezultati simulacije

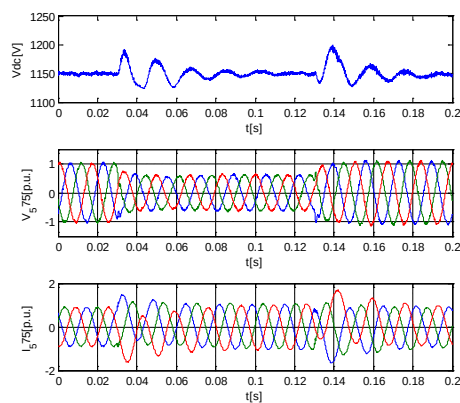
Prikazan je odziv dinamičnega modela Simulinkove knjižnice na padec napetosti v visokonapetostnem omrežju, ki je posledica okvare. . Iz rezultatov simulacije je razvidno, da pri času 0,03 s povzroči okvara padec napetosti mreže, kar vpliva na napetost na generatorju ter povzroči nihanje na pretvorniku. Zaradi tega pade tudi oddana delovna moč, sicer z zamikom v 0.04 s upade na 5 MW, pri 0.18 s pa elektrarna spet obratuje z nazivno močjo.



Sl 8: Hitrost turbine, napetost in tok v pu mreže-dinamični model DFIG



Sl 9: Delovna in jalova moč-dinamični model



Sl 10: Enosmerna napetost pretvornika, napetost in tok na generatorju v pu

6. ZAKLJUČEK

Fazorski model, ki je bil predstavljen prvi je enostavnejši, simulacija poteka hitreje, poenostavitev pa izhaja iz fazorske predstavitve tokov in napetosti, ki se pojavljajo v modelu. Sinusne napetosti in tokovi so pri fazorski simulaciji namreč predstavljeni z fazorskimi kazalci, ki je število v kompleksni ravnini za določeno nominalno frekvenco. Zaradi tega ne moremo analizirati višjih harmonikov ter prehodnih pojavov, saj je model omejen na tranzientna stabilna stanja. Ta model je primeren za simulacijo oscilacije pri nižjih frekvencah v daljših časovnih intervalih za razliko od podrobnejšega modela, ki je primeren za obravnavo sprememb tudi v časovnih intervalih, ki trajajo nekaj mikrosekund. Zaradi tega je v podrobnejšem modelu potrebna gostejša časovna diskretizacija, da dobimo natančne rezultate.

7. VIRI, LITERATURA

- [1] Gagnon R, Wind Farm-DFIG Detailed Model. Hydro-Quebec. Dostopno na: <http://www.mathworks.com/help/physmod/sps/examples/wind-farm-dfig-detailed-model.html> [15.4.15].
- [2] Gagnon R, Saulnier B, Forcione A. Wind Farm (DFIG Phasor Model). Hydro-Quebec. Dostopno na: <http://www.mathworks.com/help/physmod/sps/examples/wind-farm-dfig-phasor-model.html> [15.4.15]
- [3] Gagnon R. Wind Farm (IG) Hydro Quebec. [15.4.15] Dostopno na: <http://www.mathworks.com/help/physmod/sps/examples/wind-farm-ig.html> 15.4.15]
- [4] Siegfried Heier, Grid Integration of Wind Energy Conversion Systems, John Wiley & Sons, Ltd, Wiesbaden, 2003
- [5] Zagradišnik I, Slemnik B, Električni rotacijski stroji. FER Maribor, 2001.