به نام خدا

تمرین شماره یک درس انرژی های نو

موضوع: تحلیل و شبیه سازی عملکرد توربین-ژنراتور سرعت ثابت

-یک توربین-ژنراتور سرعت ثابت ۶۶۰ کیلووات با مشخصات زیر مفروض است:

- مشخصات ژنراتور القایی۶۹۰ ولت، ۵۰ هرتز، ۶۶۰ کیلووات:

Generator type: Three phase asynchronous generator with wound rotor and Vestas rotor current control
Manufacturer and type : ABB M2CG 400 XL 4 B3 (code: -RXAVE007)
Fan type no. : CA40T/H431513
Building size : 400 Degree of protection : IP54
Insulation class (stator/rotor) : F/H
Winding connection (stator/rotor) : star/star Voltage : 690 V Frequency : 50 Hz
Number of poles : 4 Rated power output : 660 kW
Number of rotor systems : 1
Weight of Generator=2,980 kg
Moment of Inertia (J_G)=28 kg/m2

Equivalent diagram (stator side):
Rs= 0.0048 ohm Xls= 0.068 ohm R'r=0.0040 ohm X'lr=0.0897
X_m =2.81 ohm
Locked rotor voltage (phase-phase)=2464 V
Break down torque T_{max}/T_N : Generator=2.5 Motor= 2.4

- مشخصات توربین و جعبه دنده:

Moment of Inertia (Jt)=520000 kg/m2
Equivalent shaft stiffness (Ks-eq)=0.6 pu/elec.rad
Damping (Dtg)=1.5 pu
Gear ratio (n)=52.7
Rotor diameter (2R)=47 m

- مشخصات آیرودینامیک پره های توربین:

ضریب بازدهی توربین $C_P(\lambda,\beta)$ به صورت زیر تخمین زده می شود:

$$C_P(\lambda,\beta)=C_7\left(C_1\left(\frac{C_2}{\lambda_i}-C_3\beta-C_4\right)e^{-\frac{C_5}{\lambda_i}}+C_6\lambda\right)$$

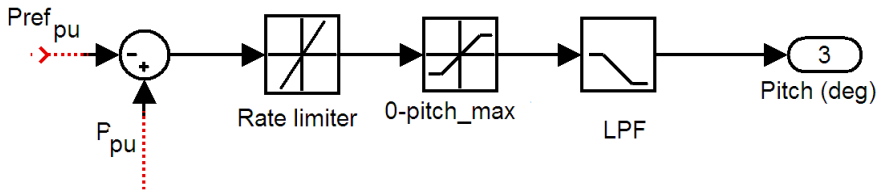
که در رابطه c_1 تا c_6 ضرایب ثابت بوده و λ_i و λ از روابط زیر بدست می آید:

$$\lambda=\frac{R\,\omega_t}{V_W} \qquad and \qquad \frac{1}{\lambda_i}=\frac{1}{\lambda+0.08\beta}-\frac{0.035}{\beta^3+1}$$

که R شعاع پره و ω_t سرعت توربین می باشد. ضرایب c_1 تا c_7 به مشخصات آیرودینامیکی توربین وابسته بوده و به صورت زیر است:

C1=0.5176 C2=116 C3=0.4 C4=5 C5=21 C6=0.0068 C7=0.9

- سیستم کنترل زاویه پره را بصورت زیر در نظر بگیرید:



Kp=5 , Ki=25 , Max pitch=40 deg, Rate limiter =40 deg/sec; Time constant=50 msec

---

خواسته های مساله:

چگالی هوا را $\rho = 1.225 Kg/m^3$ در نظر گرفته و به هر یک از بخش های اول و دوم پاسخ دهید.

بخش اول:

- ۱- توان خروجی ژنراتور، ضریب توان و گشتاور ژنراتور را در لغزشهای ۰/۲ درصد، ۰/۳ درصد، ۰/۴ درصد، ۰/۵ درصد، ۰/۶ درصد، ۰/۷ درصد و ۰/۸ درصد بدست آورید.

- ۲- در لغزش های ذکر شده در قسمت الف (به ازای زاویه پره صفر pitch angle=0 deg) سرعت باد و ضریب بازدهی توربین را بدست آورید. تلفات چرخشی را نادیده بگیرید.

- ۳- لغزش، سرعت، ضریب توان ژنراتور، جریان استاتور و جریان روتور (هم جریان واقعی روتور و هم جریان روتور ارجاع یافته به سمت استاتور) را در شرایط نامی بدست آورید. بانک خازنی با چه ظرفیتی لازم است تا ضریب توان ژنراتور در شرایط نامی به ۰/۹۷ ارتقا یابد. حداقل سرعت بادی که در آن توان نامی حاصل می شود چقدر است ؟

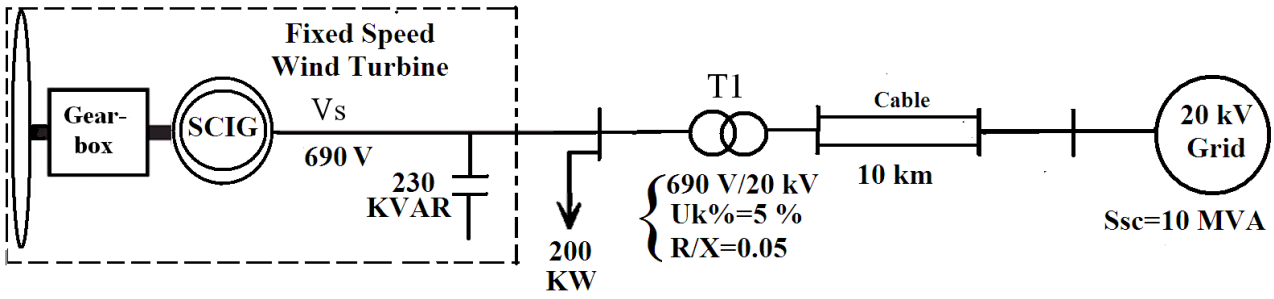
- ۴- مشخصه Cp-Lambda را در زاویه پره صفر (برای بازه تغییرات Lambda=1,2,3,4,5,6,7,8,9,10) رسم کنید و مشخص کنید که ماکزیمم ضریب بازدهی حدودا در چه سرعت بادی اتفاق می افتد.

- ۵- اگر یک مقاومت خارجی ۰/۴ اهم به روتور اضافه کنیم، توان نامی ژنراتور در چه لغزش و سرعتی حاصل می شود. گشتاور ژنراتور در این شرایط چقدر است: اضافه کردن مقاومت خارجی به روتور و کنترل آن چه مزایایی برای عملکرد توربین-ژنراتور در بردارد.

- ۶- مقادیر پریونیت ژنراتور و ثابت اینرسی توربین و ژنراتور را در مبنای Sb=660 KVA استخراج نمایید.

بخش دوم: شبیه سازی

- **ژنراتور را به صورت شکل زیر به شبکه ۲۰ KV وصل نمایید.**



Cable Parameters:
- Positive and zero sequence resistances: 0.1153 , 0.413 ohm/km
- Positive and zero sequence inductances: 1.05, 3.32 mH/km
- Positive and zero sequence capacitances: 0.1153 , 0.413 nF/km

- ۷- سرعت باد را ۱۲ متر بر ثانیه قرار دهید و ژنراتور را در حالی که دارای سرعت ۱ پریونیت است به شبکه وصل کنید و شکل موج های مربوط به گذراهای جریان استاتور، گشتاور و توان خروجی ژنراتور را تا مادامی که بصورت کامل میرا شود نشان دهید. (در این حالت مدل مکانیکی را تک جرمه در نظر بگیرید.)
- ۸- قسمت ۶-۱ را تکرار کنید با این فرض که مدل مکانیکی دو جرمه باشد.
- ۹- توان خروجی ژنراتور در حالت ماندگار به ازای سرعت های باد برابر با ۷، ۸، ۹، ۱۰، ۱۱، ۱۲، ۱۳،۱۴، ۱۵ متر بر ثانیه در شبیه سازی چقدر است؟ در این سرعت های باد جریان استاتور چقدراست. ضریب بازدهی در کدامیک از سرعت های باد ذکر شده بیشتر است؟ سرعت ژنراتور به ازای سرعت های باد فوق چقدر است؟
- ۱۰- مقاومت ارجاع یافته روتور را برابر با ۰/۰۳ اهم قرار دهید و سرعت و توان خروجی ژنراتور را به ازای سرعت های باد قسمت ۶-۲ بدست آورید و نتایج را تفسیر کنید.
- ۱۱- سیستم را شبیه سازی کنید در شرایطی که سرعت باد از ۱۱ متر بر ثانیه، به ۱۳ متر بر ثانیه در ثانیه ۲۰ ام تغییر می کند. توان، سرعت، گشتاور الکتریکی و توان مکانیکی را نمایش دهید. (یکبار با مدل تک جرمه و بار دیگر با مدل دو جرمه)
- ۱۲- سرعت باد را ۱۲ متر بر ثانیه در نظر بگیرید. در حالت کار ماندگار سیستم یک خطای سه فاز با افتادگی ۷۰ درصد ولتاژ به مدت ۵۰۰ میلی ثانیه اعمال کنید (مکان خطا وسط یکی از کابل های انتقال توان) و شکل موج های جریان استاتور، توان ژنراتور، گشتاور الکتریکی، سرعت ژنراتور، سرعت توربین و گشتاور پیچشی را نمایش دهید. (یکبار سیستم را تک جرمه در نظر بگیرید و بار دیگر دو جرمه لحاظ کنید.) به ازای خطا با چه مدت زمان سیستم در هر یک از حالتهای تک جرمه و دو جرمه ناپایدار می شود.
- ۱۳- می خواهیم اثر سایه برج را شبیه سازی کنیم. یک توان نوسانی با فرکانس سه برابر چرخش توربین با دامنه ۱۰ درصد توان حالت ماندگار توربین در سرعت باد ۱۲ متر بر ثانیه به توان توربین اضافه کنید و شکل موج های توان الکتریکی، گشتاور الکتریکی، سرعت ژنراتور و ولتاژ استاتور را در حالت ماندگار در سرعت باد ۱۲ متر بر ثانیه نمایش دهید. تغییرات ولتاژ استاتور محسوس است یا نه ؟ چرا ؟