

ABSTRACT

This thesis presents the controller design process on single machine three phase synchronous generator (SG). The controller is designed based on Feedback Linearization simulated in three configurations, when the SG is loaded by: i) constant resistance and inductance (RL-const), ii) single-machine infinite-bus (SMIB), iii) variable resistance and inductance (RL-vary). However, before designing the controller, firstly, the modeling process of both electrical and mechanical dynamics is conducted. There are fourth (f.o.m) and sixth-order model (s.o.m). The states of f.o.m are direct I_d and quadrature I_q axis stator winding current, field winding I_F current, and electrical angular frequency ω_e . So has s.o.m with adding direc I_D and quadrature I_Q axis damper winding current. Both has two inputs from field winding voltage v_F and mechanical torque τ_m , and two outputs which are magnitude of dq-transformed three-phase voltage of stator winding V_t , and ω_e .

The second process is to evaluate the global-exponential-stability (g.e.s) of the equilibrium point f.o.m in response to initial condition, without input, by determining appropriate Lyapunov function. The third process uses the g.e.s of f.o.m to evaluate the input-to-state stability of f.o.m in response to given input, which results in boundedness of all states for any given bounded input. The fourth process uses the boundedness of states to evaluate the input-output stability, which results in: i) if ω_e is maintained to be constant, the system is finite-gain \mathcal{L}_p stable for $p \in [0, \infty]$, ii) otherwise, the system is \mathcal{L}_∞ stable, which means that the system is bounded input bounded output (BIBO). The fourth process is feedback linearizing controller design of V_t and ω_e . In this section, there are two type of controller to be evaluate. The type 1 controller directly controls V_t which results in high discontinuities which implies the peaking phenomenon. The type 2 controller, it is enough to only control its quadrature-axis part of V_t which results in continuous controller and solve the problem of peaking phenomenon.

The stability of output-feedback linearizing controler is evaluated by evaluating the stability of internal dynamics of s.o.m. The resulted internal dynamics is in form Linear Time Varying system, if v_F controller is activated after ω_e has reached steady state condition. However, practically by simulation, which is need discretization, the region of attraction is limited by high time sampling. By using time sampling $T_s = 10^{-4}$ s, the maximum operation of the SG is on $\omega_e = 60\pi$ rad/s, for greater frequency, the system goes to be unstable because there are pole of discrete internal dynamics out from unit circle. This condition can be solved by setting $T_s = 10^{-5}$ s, which gives stability of internal dynamics until 200π rad/s. It is enough, because mostly-used electrical frequency in the world are 100π and 120π rad/s.

However, the stability of internal dynamics when v_F and τ_m controller are activated simultaneously, can not yet guranteed theoretically, because difficulty of solving time-varying lyapunov equation. Moreover, to show practical stability of this condition, the simulation is also conducted. The simulation results in the stability, although without theoretical guarantee.

Keyword: synchronous generator, output-feedback-linearization, global exponential stability, input-to-state stability, \mathcal{L} stability, internal dynamics

INTISARI

Dokumen tesis ini membahas proses perancangan pengendali mesin tunggal generator sinkron (GS). Metode kendali yang digunakan adalah *feedback-linearization* (FL) yang disimulasikan pada tiga konfigurasi yaitu saat beban pada GS berupa: i) resistansi dan induktansi konstan (RL-const), ii) *single-machine infinite-bus* (SMIB), iii) resistansi dan induktansi yang diubah (RL-vary). Namun, sebelum merancang pengendali, pertama, proses pemodelan pada dinamika listrik dan mekanis dilakukan. Model yang didesain ada dua, yaitu model orde empat (m.o.4) dan model orde enam (m.o.6). *State* pada m.o.4 meliputi komponen direct I_d dan quadrature I_q dari arus belitan stator, arus belitan medan I_F , dan frekuensi listrik ω_e . Kedua model tersebut memiliki dua input yang berasal dari tegangan belitan medan v_F dan torsi mekanik τ_m , serta memiliki dua output yaitu tegangan tiga fase setelah ditransformasi dq , dinotasikan V_t , serta frekuensi elektrik ω_e .

Proses kedua adalah mengevaluasi kestabilan *equilibrium point* pada m.o.4 sebagai respon terhadap keadaan awal tanpa input, dengan menentukan fungsi Lyapunov yang sesuai, sehingga diperoleh *globally exponentially stable* (g.e.s). Proses ketiga menggunakan informasi g.e.s dari m.o.4 untuk menentukan *input-to-state stability* (i.s.s) dari m.o.4 sebagai respon terhadap pemberian input, yang menghasilkan *boundedness* dari seluruh *state* pada setiap pemberian *input* yang *bounded*. Proses keempat menggunakan kondisi *boundedness* dari *state* tersebut untuk menentukan *input-to-output stability* (i.o.s), yang menghasilkan: i) jika ω_e dijaga konstan, maka sistem akan bersifat *finite-gain* \mathcal{L}_p stable untuk seluruh nilai $p \in [0, \infty]$, ii) jika tidak dijaga konstan, maka sistem nya mengalami kestabilan \mathcal{L}_∞ , yaitu output sistem akan selalu *bounded* pada setiap pemberian *input* yang *bounded* (BIBO). Proses kelima adalah perancangan kendali *feedback linearization* untuk mengendalikan V_t dan ω_e . Pada bagian ini, ada dua tipe kendali yang akan di evaluasi. Pengendali tipe I mengendalikan secara langsung V_t yang menghasilkan kediskontinyuan yang tinggi yang mengakibatkan terjadinya (*peaking phenomenon*). Sedangkan pengendali tipe 2 mengendalikan V_t dengan mengendalikan v_q , komponen quadrature nya saja, pengendali tersebut bersifat kontinyu dan menyelesaikan permasalahan *peaking phenomenon* ini.

Kestabilan pengendali *feedback-linearization* ini dievaluasi dengan mengevaluasi kestabilan dari *internal dynamics* dari m.o.6. Internal dynamics yang dihasilkan dalam bentuk sistem Linear Time Varying (LTV). jika pengendali v_F diaktifkan setelah ω_e sudah tunak. Namun secara praktiknya, dengan simulasi komputer, yang membutuhkan proses diskretisasi, *region of attraction* terbatas oleh nilai waktu cuplik. Dengan waktu cuplik $T_s = 10^{-4}$ detik, generator sinkron dibatasi untuk berkeja hanya pada frekuensi $\omega_e = 60\pi$ rad/detik, sedangkan untuk frekuensi yang lebih tinggi, mengakibatkan sistem tidak stabil, karena ada *pole* dari *discrete internal dynamics* yang keluar dari *unit circle*. Kondisi ini dapat diselesaikan dengan menggunakan waktu cuplik yang lebih rendah $T_s = 10^{-5}$ detik, sehingga *internal dynamics* stabil hingga 200π rad/s. Ini cukup karena frekuensi yang sering digunakan di dunia adalah 100π dan 120π rad/detik.

Namun kestabilan *internal dynamics* ketika v_F dan τ_m diaktifkan secara bersamaan belum dapat digaransi secara teoritis karena kesulitan menyelesaikan



persamaan Lyapunov untuk sistem LTV. Sehingga, untuk menunjukkan kestabilan secara praktikal, simulasi pada kondisi tersebut juga dilakukan, dan menghasilkan kestabilan walaupun tanpa garansi teoritis.

Keyword: generator sinkron, *output-feedback-linearization*, *global exponential stability*, *input-to-state stability*, \mathcal{L} *stability*, *internal dynamics*