

БЫСТРОДЕЙСТВУЮЩИЕ СИСТЕМЫ СТАБИЛИЗАЦИИ НАПРЯЖЕНИЯ ГЕНЕРАТОРОВ С РАЗЛИЧНЫМИ ОБРАТНЫМИ СВЯЗЯМИ

Дж. Н. Дочвири

Грузинский технический университет

Аннотация. В докладе представлены результаты исследования динамических режимов систем управления стабилизации напряжения генераторов как постоянного, так и переменного токов с использованием регуляторов различного типа, в том числе цифрового. Система управления с регулятором пропорционального типа (П) проста, но эта система характеризуется погрешностью т.е. статическим падением напряжения. Система с регулятором пропорционально-интегрального типа (ПИ) не владеет статической погрешностью, но является более инерционной. Система с регулятором пропорционально-интегрально-дифференцирующего типа (ПИД) является сравнительно сложной, но при изменении нагрузки характеризуется меньшим динамическим падением напряжения и максимальным быстродействием (0.5 с.) в переходных режимах.

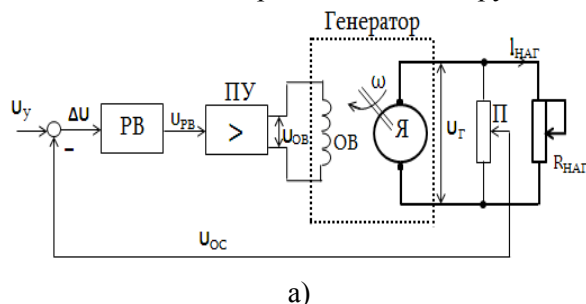
Ключевые слова: динамические характеристики мощных генераторов, оптимизация аналогового и цифрового регуляторов.

Введение

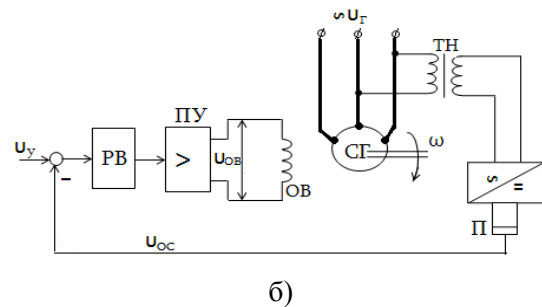
Внедрением автоматизированных т.е систем управления с обратными связями на силовых установках электрических станций и подстанций возможно значительное улучшение качественных показателей выработанной электроэнергии. Современные элементы автоматики (регуляторы и сенсоры) дают возможность стабилизации напряжения с высокой точностью (в пределах 0.1%) и быстродействием в пределах 1 с. Подача электроэнергии потребителям без скачков напряжения даст возможность привести в действие промышленные предприятия, вырабатываемые конкурентно способную продукцию [1-4].

1. Системы управления генераторов

На Рис.1 а,б представлены функциональные схемы систем управления генераторов как постоянного, так и переменного токов с отрицательными обратными связями по напряжению. Схемы обеспечивают постоянство выработанного напряжения на выходных зажимах генераторов с высокой точностью при изменении нагрузки.



а)



б)

Рис.1. Функциональные схемы систем управления генераторов: а) постоянного тока; б) переменного тока

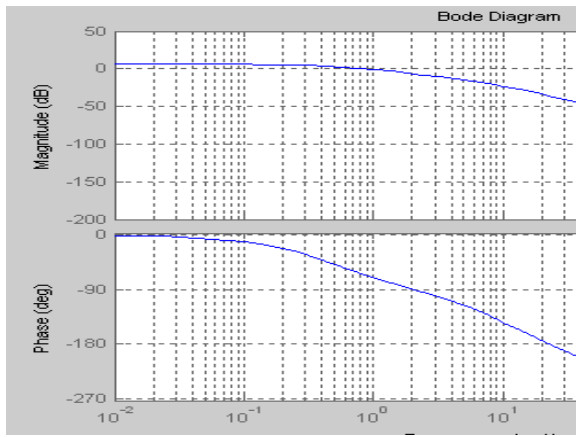
На схемах имеются следующие обозначения: U_y - сигнал управления системы; PB - регулятор возбуждения (OB) генератора; $ПУ$ - промежуточный усилитель, от которого питается OB ; $Я$ - якорь генератора постоянного тока; $П$ - потенциометр (датчик напряжения); $СГ$ - синхронный генератор; $ТН$ - измерительный трансформатор напряжения; $U_Г$, U_{oc} - напряжения на выходных зажимах генератора и цепи обратной связи; U_{PB} , U_{OB} - выходные напряжения PB и $ПУ$, т.е. напряжение на обмотке возбуждения генератора; $R_{НАГ}$, $I_{НАГ}$ - сопротивление и ток нагрузки генератора; ω - угловая скорость генератора; ΔU - сигнал ошибки системы.

Для установления оптимальных параметров PB воспользуемся следующей передаточной функцией объекта системы:

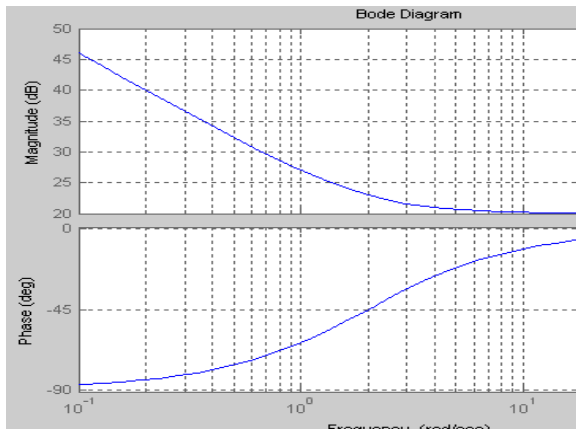
$$W_{OB}(s) = \frac{k_{ПУ}}{T_{ПУ} \cdot s + 1} \cdot \frac{k_{\Gamma}}{T_{OB} \cdot s + 1} \cdot \frac{k_{OC}}{T_{\Phi} \cdot s + 1} = \frac{100}{0,1s + 1} \cdot \frac{20}{2s + 1} \cdot \frac{0,001}{0,02s + 1}, \quad (1)$$

где: $k_{ПУ}, k_{\Gamma}, k_{OC}$ - коэффициенты усиления ПУ, СГ и цепи обратной связи; $T_{ПУ}, T_{OB}, T_{\Phi}$ - постоянные времени ПУ, ОБ и фильтра после датчика напряжения. s - аналоговый оператор передаточной функции;

Соответствующие (1) формуле диаграммы Бode построенные на компьютере в программе MATLAB представлены на рис. 2,а.



а)

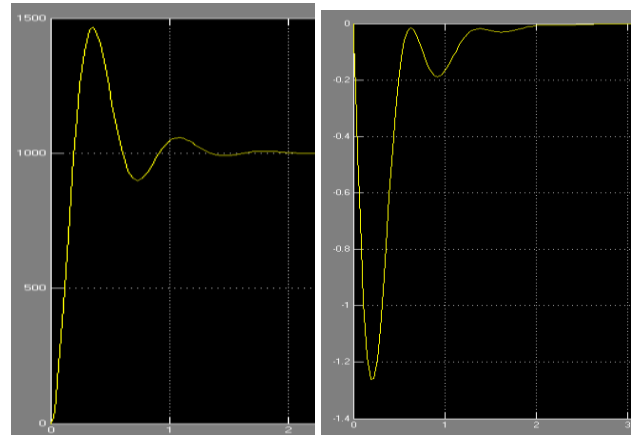


б)

Рис.2. ЛАЧХ объекта управления и регулятора

На их основе были определены параметры регулятора типа ПИ: $\beta = 10; \tau = 0,5$ с. (рис.2,б).

На рис 3а,б представлены кривые переходных процессов напряжения генератора при ступенчатых изменениях сигнала управления и нагрузки. Показатели качества системы составляют: перерегулирование 45%, быстродействие 1,5с и динамическое падение напряжения около 20%, без статической ошибки.



а) б)

Рис.3. Переходные процессы напряжения системы с ПИ регулятором: а) по управлению; б) по нагрузке

Если использовать регулятор типа-ПИД со следующей передаточной функцией :

$$W_{PB}(s) = \beta \cdot \frac{\tau \cdot s + 1}{\tau \cdot s} \cdot \frac{T_1 \cdot s + 1}{T_2 \cdot s + 1} = 10 \cdot \frac{0,2s + 1}{0,2s} \cdot \frac{0,1s + 1}{0,01s + 1}, \quad (2)$$

то система станет максимально быстродействующей. В этом случае передаточная функция разомкнутого контура системы будет равна:

$$W_p(s) = \frac{2,8s^2 + 28,2s + 140}{0,0004s^5 + 0,00642s^4 + 0,2632s^3 + 2,13s^2 + s} \cdot (3)$$

Соответствующие формуле (3) диаграммы Бode приведены на рис. 4,б.

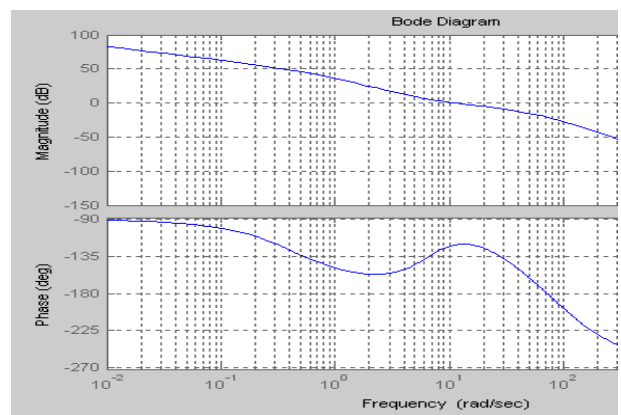


Рис.4. ЛАЧХ разомкнутого контура системы

В этом случае система имеет 45 град. запас по фазе на частоте среза $\omega_{CP} = 15, c^{-1}$.

На рис. 5,а,б представлены кривые переходных процессов напряжения системы с ПИД регулятором.

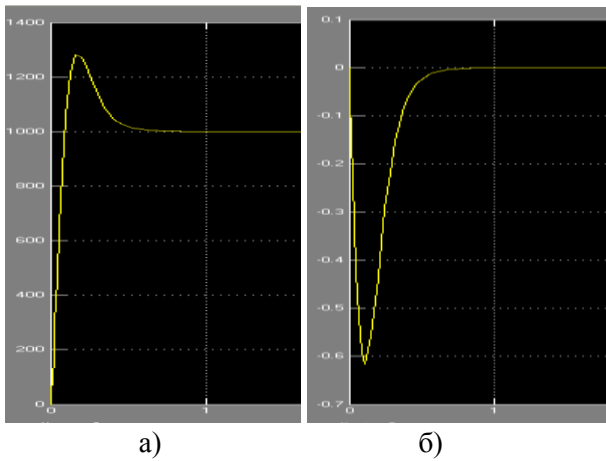


Рис.5. Кривые переходных процессов напряжения системы с ПИД регулятором: а) по управлению; б) по нагрузке

В этом случае динамическое падение напряжения уменьшилось в 2 раза (по сравнению с системой с ПИ регулятором), а быстродействие составляет 0,6 с.

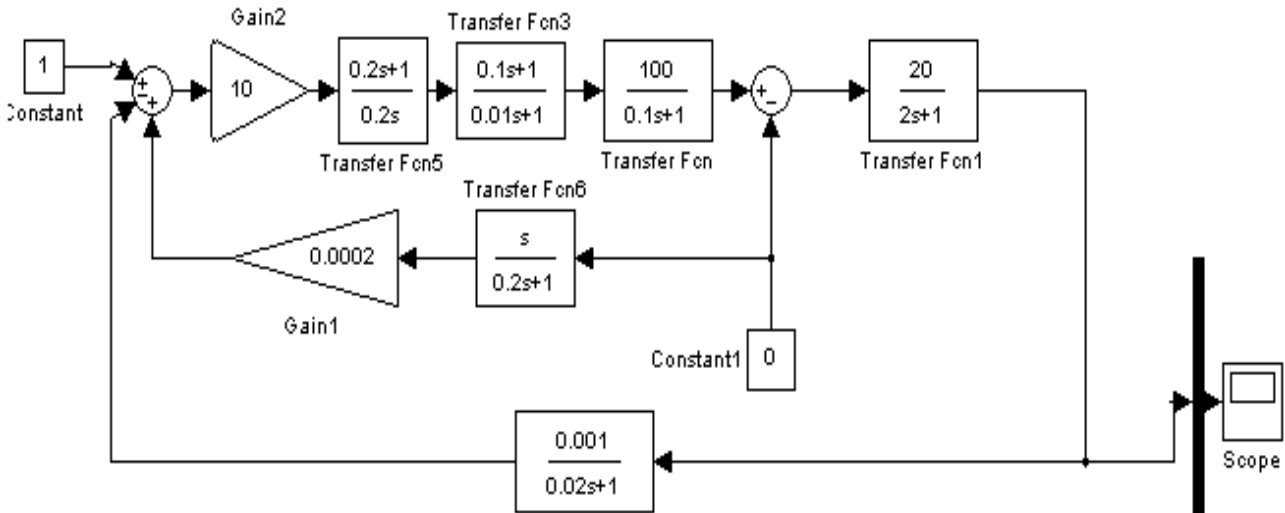


Рис. 6. Компьютерная структурная схема САУ генератором с дополнительной инвариантной обратной связью

Список использованной литературы

1. Морозовский, В. Т. Многосвязанные автоматические системы регулирования [Текст] // Москва: Энергия, 1980, 288 с.
2. Первозванский, А. А. Курс теории автоматического управления [Текст] // Москва: Наука, 1986, 616 с.
3. Борцов, Ю. А. и др. Робастный регулятор возбуждения для мощных синхронных генераторов [Текст] // ж. Электричество, РАН, 2003, № 6, с 42–50.
4. Dochviri, J. Digital Regulator of Excitement for the Power Synchronous Generator [http://elit.lnu.edu.ua/pdf/1_21.pdf] // J. „Electronics and Information Technologies”, 2011, N1, pp. 182 – 188.

В случае использования цифрового ПИД регулятора с передаточной функцией [4;5]:

$$W_{\text{PB}}(z) = 10 \cdot \frac{z-0.95}{z-1} \cdot \frac{z-0.9}{z}, \quad (4)$$

$$\text{где:} \quad z = T_0 \cdot s + 1, \quad (5)$$

z - дискретный оператор передаточных функций; $T_0 = 0.01$ с. - период дискретности управления системы.

В данном случае кривые изменения напряжения в переходных режимах были близкими к наилучшим (рис. 5, а,б).

Динамическое падение напряжения ещё больше уменьшается при работе системы управления с инвариантной обратной связью (вместе с главными обратными связями), рис.6.

5. Dochviri, J., Khachapuridze, O., Beradze, N. A Digital Filter for Electrical Drive with Elastic Shaft [http://pubs.sciepub.com/ajeee/3/5/1/] // American Journal of Electrical and Electronic Engineering, 2015, vol. 3, № 5, pp. 112–116.

References

1. Morozovskii, V. T. (1980) Multiply-Connected Automatic Systems of Regulation [Mnogosvyazannye avtomaticheskie sistemy regulirovaniya], Moscow: “Energy”, 288 pg.
2. Pervozvanskii, A. A. (1986) A Course of Theory of Automatic Control [Kurs teorii avtomaticheskogo upravleniya], Moscow: “Nauka”, 616 pg.

3. Bortsov, Yu. A., et.al. (2003) Robust Controller of Excitement for Power Synchronous Generators [Robastnyj regulyator vzbuzhdeniya dlya moshchnyh sinhronnyh generatorov], J. "Russian Electrical Technology", Russ. Acad. Sci., N 6, pp. 42–50.

4. Dochviri, J. (2011) Digital Regulator of Excitement for the Power Synchronous Generator

[http://elit.lnu.edu.ua/pdf/1_21.pdf] // J. „Electronics and Information Technologies”, N 1, pp. 182 – 188.

5. Dochviri, J., Khachapuridze, O., Beradze, N. (2015) A Digital Filter for Electrical Drive with Elastic Shaft [<http://pubs.sciepub.com/ajeee/3/5/1/>] // American Journal of Electrical and Electronic Engineering, vol. 3, № 5, pp. 112–116.

QUICK SYSTEMS OF VOLTAGE STABILIZATION OF GENERATORS WITH VARIOUS FEEDBACKS

J. N. Dochviri

Georgian Technical University

Abstract. By implementation of automated control systems with feedbacks on the power electric stations and substations it can be significantly improve qualitative characteristics of electrical energy. Modern elements of automatics (controllers and sensors) can be used to stabilize of voltage with high precision (about 0.1 %) and quick acting time before 1sec. The supply of electricity to consumers without power surges will enable them to put into operation industrial enterprises that produce competitive products. The report presents the results of the study of dynamic regimes for controlling the voltage stabilization of high-power generators of both the supplied and alternating currents using various types of regulators, including digital ones. The control system with a proportional-type controller (P) is simple, but this system is characterized by inaccuracy, i.e. Static voltage drop. The control system with a proportional-integral controller (PI) does not have a static error, but is more inertial. The system with a proportional-integral-differentiating type (PID) controller is relatively complicated, but with load variation it is characterized by a smaller dynamic voltage drop and a maximum speed (0.5 sec.) in transient regimes. The dynamic voltage drop is further reduced when the feedback control system is added (together with the main feedbacks). The optimum parameters of the regulators are determined by the method of logarithmic frequency characteristics.

Key words: dynamical characters of power generators, optimization of analogous and digital controllers.

ШВИДКОДІЮЧІ СИСТЕМИ СТАБІЛІЗАЦІЇ НАПРУГИ ГЕНЕРАТОРІВ З РІЗНИМИ ЗВОРОТНИМИ ЗВ'ЯЗКАМИ

Дж. Н. Дочвірі

Грузинський технічний університет

Анотація. У доповіді представлені результати дослідження динамічних режимів систем управління стабілізації напруги генераторів як постійного, так і змінного струму з використанням регуляторів різного типу, в тому числі цифрового. Система управління з регулятором пропорційного типу (П) проста, але має похибку, – статичне падіння напруги. Система з регулятором пропорційно-інтегрального типу (ПІ) не має статичної похибки, але є більш інерційною. Система з регулятором пропорційно-інтегрального- диференціючого типу (ПІД) є порівняно складною, але при зміні навантаження має менше динамічне падіння напруги і більшу швидкодію (0.5 с.) в перехідних режимах.

Ключові слова: динамічні характеристики потужних генераторів, оптимізація аналогового та цифрового регуляторів.

Получено 03.04.2017



Дочвіри Джумбер Николаевич, доктор технических наук, профессор, департамента електроенергетики Грузинського технічного університета. Ул. Костава, 77, Тбілісі, Грузія, E-mail: Jumber_Dochviri@yahoo.com, тел. +995-579-44-19-01

Jumber Dochviri, Dr. of Science, Professor of the Department of electrical engineering, Georgian Technical University, Kostava str., 77, Tbilisi, Georgia

ORCID ORG:0000-0003-1138-8963