

МЕТОД СОГЛАСОВАННОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ ЧАСТОТЫ И НАПРЯЖЕНИЯ ГИДРОАГРЕГАТА

Амантаева Каныкей Анваровна, магистр гр. ЭЭМ2-16(РЗ), КГТУ им. И.Раззакова, Кыргызстан, 720044, г. Бишкек, пр. Мира 66. Тел: +996(702)-12-21-44, e-mail: mntyknk@gmail.com ORCID ID 0000-0002-0866-8430

Научный руководитель: Тентиев Ренат Бектурганович, к.т.н., доцент каф. «Электроэнергетика и Электротехника», КГТУ им. И.Раззакова, Кыргызстан, 720044, г. Бишкек, пр. Мира 66. Тел: +996 (312) 54-51-30. e-mail: renattentiev@mail.ru

Аннотация. Рассматривается вопрос согласованного управления частоты и напряжения при экстремальном режиме работ энергосистем. Ключевую роль для удержания устойчивости энергосистемы играют регуляторы частоты и возбуждения гидроагрегата. Существующие регуляторы частоты и возбуждения гидроагрегата выполнены по модели линейного характера. Эти регуляторы работают каждый отдельно, не учитывают нелинейность гидроагрегата и энергосистемы. В экстремальных режимах энергосистемы регуляторы работают несогласованно, поэтому усугубляется колебание системы. Для поддержания параметров сети необходимо исследовать новые методы. Один из подходов - это разработка нового регулятора с учетом нелинейности объекта управления (генератора), который координирует действие существующих линейных регуляторов гидроагрегата. Нашей задачей является минимизация величины и длительности переходных процессов, происходящих в энергосистеме, путем непрерывного поддержания стабильности, регулирования одновременности частоты и напряжения при больших динамических воздействиях с учетом нелинейности, многомерности, взаимосвязанности. Одним из методов

реализации задачи является разработка нового регулятора с учетом нелинейности объекта управления (генератора), который координирует действие существующих линейных регуляторов гидроагрегата. Для осуществления метода управления гидроагрегатом - задаются инженерные требования – это точность, быстродействие, время регулирования.

Новый алгоритм управления нелинейным многомерным объектом управления, основан на принципе гарантируемой динамики.

Ключевые слова: энергосистема, частота, напряжение, регулятор, согласованное управление

THE METHOD OF COORDINATED REGULATION OF THE FREQUENCY AND VOLTAGE OF THE HYDRAULIC TURBO-ALTERNATOR

Amantaeva Kanykei Anvarovna, master student, KSTU them. I. Razzakova, Kyrgyzstan, 720044, Bishkek, Mira Avenue 66. Phone: 0702-12-21-44, e-mail: mntvknk@gmail.com ORCID ID 0000-0002-0866-8430

Tentiev Renat Bekturganovich, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor at the Department of «Electric power engineering and electrical engineering», KSTU them. I. Razzakova, Kyrgyzstan, 720044, Bishkek, Mira Avenue 66. Phone: +996 (312) 54-51-30, e-mail: renattentiev@mail.ru

Abstract. The question of the concerted management of frequency and tension at the extreme mode of works of grids is examined. A key role for withholding of stability of grid is played by the regulators of frequency and excitation of hydroelectric generator. The existent regulators of frequency and excitation of hydroelectric generator are executed on the model of linear character. These regulators work each separately, does not take into account non-linearity of hydroelectric generator and grid. In the extreme modes of grid regulators work uncoordinated, oscillation of the system is therefore aggravated. For maintenance of parameters of network it is necessary to investigate new methods. One of approaches is development of new regulator taking into account non-linearity of management (generator) object that coordinates the action of existent linear regulators. Our task is minimization of size and duration of transients what be going on in a grid, by continuous maintenance of stability, adjusting of simultaneity of frequency and tension at large dynamic influences taking into account non-linearity, multidimensionality, associations. One of methods of realization of task is development of new regulator taking into account non-linearity of management (generator) object that coordinates the action of existent linear regulators of hydroelectric generator. For realization of management method by a hydroelectric generator - engineering requirements are set is exactness, fast-acting, adjusting time.

New algorithm of management by the nonlinear multidimensional object of management, based on principle of guaranteed dynamics.

Keywords: power system, frequency, voltage, regulator, coordinated management

Вступительная часть. Устойчивость энергосистемы зависит от режима работ генераторов. При появлении возмущающего воздействия на энергосистему, изменение частоты и напряжения выявляется измерительными органами, далее регулятор частоты и возбуждения поддерживает систему в заданных параметрах. В энергосистеме постоянно соблюдается баланс между вырабатываемой мощностью и потребляемой мощностью. При нарушении баланса мощности в энергосистеме возникает электромеханический процесс, который может привести к аварии. Ключевую роль для удержания устойчивости энергосистемы играют регуляторы частоты и возбуждения гидроагрегата. Существующие регуляторы частоты и возбуждения гидроагрегата выполнены по модели линейного

характера. Эти регуляторы работают каждый отдельно, не учитывают нелинейность гидроагрегата и энергосистемы. В экстремальных режимах энергосистемы регуляторы работают несогласованно, поэтому усугубляется колебание системы. Для поддержания параметров сети необходимо исследовать новые методы. Один из подходов - это разработка нового регулятора с учетом нелинейности объекта управления (генератора), который координирует действие существующих линейных регуляторов гидроагрегата.

Основная часть. Одной из основных причин снижения надежности поставки и качества выработки электроэнергии в локальном и групповом масштабе является электромеханические переходные процессы, возникающие в гидроагрегатах вследствие больших возмущений в энергосистемах.

Величина и длительность указанных процессов зависит от согласованной работы регуляторов скорости и возбуждения.

В существующих способах управления гидроагрегатом регулирование возбуждением генератора и регулирование скоростью вращения турбин осуществляется отдельными линейными регуляторами.

Известен способ управления возбуждением синхронного генератора[1], который устанавливает коэффициенты усиления по производной тока обмотки возбуждения ротора, по отклонениям и производным напряжения обмотки статора, по частоте синхронного генератора и осуществляет регулирование возбуждением по производной тока обмотки возбуждения, по отклонениям и производным напряжения обмотки статора и частоты синхронного генератора, во время переходного процесса формирует пары обучающих векторов:

1. Выходные, состоящие из дискретных сигналов: реактивного тока статора, тока обмотки возбуждения и активной мощности генератора;

2. Выходные, состоящие из дискретных сигналов: напряжение обмотки статора, управление возбуждением и частоты генератора, а также дискретных отсчетов, указанных выше, сигналов задержанных на один период дискретизации, дополняют указанные векторы на обучающее, исключают из обучающего множества, пары векторов, включенных в него N-переходных процессов назад. Путем последовательного предъявления пар векторов из обучающего множества, обучают трехслойную нейронную сеть до достижения минимума среднеквадратичной ошибки обучения. По весовому коэффициенту обученной нейронной сети, при помощи заранее сформулированной многомерной таблице, определяются коэффициенты и усредняются по N-переходным процессам.

Недостаток способа прототипа: не учитывается нелинейность и многомерность, взаимосвязанность турбины и генератора. Регулируется только напряжение. Весовые коэффициенты не обеспечивают реальное качество управления.

В качестве второго прототипа следует принять [2] способ адаптивного управления активной мощностью и частотой гидроагрегата с поворотной-лопастной турбиной.

Переменные состояния и параметры модели ГА определяют в процессе управления активной мощностью с помощью рекуррентного метода наименьших квадратов, в результате измерений четырех нормированных величин: отклонение активной мощности от требуемой мощности, отклонение частоты от требуемой частоты, величины открытия направляющего аппарата и скорости изменения величины открытия НА.

В математическую модель гидроагрегата включено уравнение динамики ротора.

Модель поворотной-лопастной турбины имеет следующее уравнение динамики ротора

$$J \frac{d\omega(t)}{dt} + M_{mp}(t) = M_{gc}(a(t), \varphi(t)) + L(f_c - f(t)) - \frac{Pa(t)}{\eta\omega(t)},$$

$$M_{gc}(a(t), \varphi(t)) = CHQ(a(t), \varphi(t)H)^2 [ctg \{a_1(a(t))\} - ctg \{B_p + \varphi(t)\}] \approx$$

$$\varpi(t_0) = \omega_0 H \left(\sum_{j=1}^m b_j a(t)^j + \sum_{i=1}^{m_2} \sum_{p=1}^{m_3} q_{ip} a(t)^i \varphi(t)^p \right);$$

$$M_{mp}(t) = \sum_{L=0}^{m_4} \sum_{Y=1}^{m_5} r_{4,5} a(t)^6 \omega(t)^v;$$

где f_c - частота сети

$f(t)$ - частота генератора

$$C = \frac{2\rho\sqrt{0.5(P_1^2 - d_{em}^2)}}{\pi(D_1^2 - d_{em}^2)}$$

D_1 - диаметр водовода на входе в РК

$d_{вр}$ - диаметр втулки РК

$\pi = 3,14$

$Q(a(t); \varphi(t))$ - расход воды при величине открытие НА

$a(t)$, и угла $\varphi(t)$

$$\Phi = \int_{t_0}^{t_k} \left\{ \left(\frac{P_{mp}(t) - \eta\omega(t)M_z(t)}{\sigma_p} \right)^2 + \left(\frac{f_c - f(t)}{\sigma_f} \right) + \left(\frac{a(t)}{a_c} \right)^2 + \left(\frac{\tau\psi(t)}{\Delta a_{oon}} \right)^2 \right\} dt$$

получает минимизирующий функционал обобщенной работы, который имеет

переменные $a(t_k)$ и $\varphi_{mp}(t_k)$ и обращает в минимум ФОР при ограничениях $\frac{da(t)}{dt} = \psi(t)$

$$|\psi(t)| \leq \frac{\Delta a_{oon}}{\tau} \quad \left(\frac{d\varphi(t)}{dt} \right) \leq \frac{\Delta \varphi_{oon}}{\tau}$$

$$\frac{\partial M_{\partial c}(a(t), \varphi(t))}{\partial \varphi(t)} = H \sum_{i=1}^{m_2} \sum_{p=1}^{m_3} p_{mp} q_{ip} a(t)^i \varphi(t)^{p-1} = 0$$

где $P_{тр}(t)$ - требуемое значение активной мощности ГА

$$M_r(t) = M_{\partial c}(a(t), \varphi(t)) - M_{mp}(t)$$

a_c - величина открытия НА без нагрузки на генератор.

$\psi(t)$ - скорость открытия НА.

Недостатком прототипа является неучитываемая нелинейность гидроагрегата, нет связи с системой возбуждения генератора, при больших возмущающих воздействиях некорректно работает регулятор.

Наиболее близкий прототип [3] Нелинейная адаптивная система автоматического управления.

Система управления с самонастраивающимся ПИД регуляторами формирует оценки переменных состояний и управляющие воздействия с помощью модифицированных алгоритмом фильтра Кальмана, в которых в качестве априорных моделей объекта управления и генератора управляющих воздействий используется авторегрессия:

Блок формирования задания (БФЗ), вычислитель измерительных устройств и генератор управляющих воздействий (ГУВ) оснащены нелинейными преобразователями (НП), обеспечивающими выполнение системой управления ограничений заданных неравенств: $(X) \leq a$

$$S(x, a) = \operatorname{ath} \left(\sum_{i=1}^P \frac{1}{1+i} \left(\frac{x}{a} \right)^{1+\xi_i} \right)$$

где $S(x, a)$ - выходной сигнал НП

x - входной сигнал НП

a - заданный параметр, определяющий границы множества допустимых значений.

P - целое число $0 \leq P \leq 3$

Данный прототип решает задачу автоматического управления многомерным динамическим объектом с неизвестным математическим описанием и произвольным возмущающим воздействием при наличии нелинейных ограничений, в виде равенств и неравенств: $y_j(t_k) = h_j(Z(t_k), t_k) + \delta_j(t_k); \quad j = 1, 2, \dots, n$

$$T_d \cdot \left(\frac{dh(z(t_k), t_k)}{dt_k} \right) \leq \Delta h(t) + \eta(t_k)$$

Нелинейная адаптивная система управления реализует алгоритм управления следующим образом: по известным априорным данным формируется в скользящем режиме с помощью модифицированного фильтра Кальмана минимизируется функция ошибки. В конечном счете САУ реализует алгоритм ПИД регулирования.

Недостатком прототипа: нет конкретно описанного метода синтеза. С помощью фильтра Кальмана нелинейности подогнаны к линейному ПИД-закону регулирования.

Постановка задачи. Нами решаемой технической задачей является минимизация величины и длительности переходных процессов, происходящих в энергосистемах, путем непрерывного поддержания стабильности, регулирования одновременности частоты и напряжения при больших динамических воздействиях с учетом нелинейности, многомерности, взаимосвязанности.

Для реализации поставленной задачи в способе управления гидроагрегатом - задаются инженерные требования – это точность, быстродействие, время регулирования.

Новый алгоритм управления нелинейным многомерным объектом управления, основан на принципе гарантируемой динамики.

Эта совокупность признаков позволяет решать задачу следующим образом:

Вводится математический модуль нелинейного многомерного гидроагрегата в виде $\dot{X}(t) = [x(t), u(t), \xi(t), p]$ (1)

Задаются инженерные показатели качества системы автоматического управления (САУ)

$$\Pi_i [T_i^* \delta_i^* \Delta_i] \quad i = 1, \bar{N} \quad (2)$$

Находим нелинейный закон управления.

Задаются критериальные условия:

$$\int_0^t e_i(\tau) \dot{e}_i(\tau) d\tau \leq \int_0^t \delta_i(\tau) \cdot \dot{\delta}_i(\tau) \cdot d\tau \quad t \in (t_0, t_n) \quad i = 1, \bar{N} \quad (3)$$

$e_i(\tau)$ - ошибка управления.

$\delta_i(\tau)$ - динамическая ошибка управления.

Неравенство (3) гарантирует, что ошибки управления лежат в допустимых областях.

Желаемая динамика замкнутой САУ задается в виде

$$\dot{X}(t) = f^*(X, P),$$

где $P = [p_1, p_2, \dots, p_n]$ n - мерный вектор – параметр.

$f^*(x, p)$ - желаемая функция.

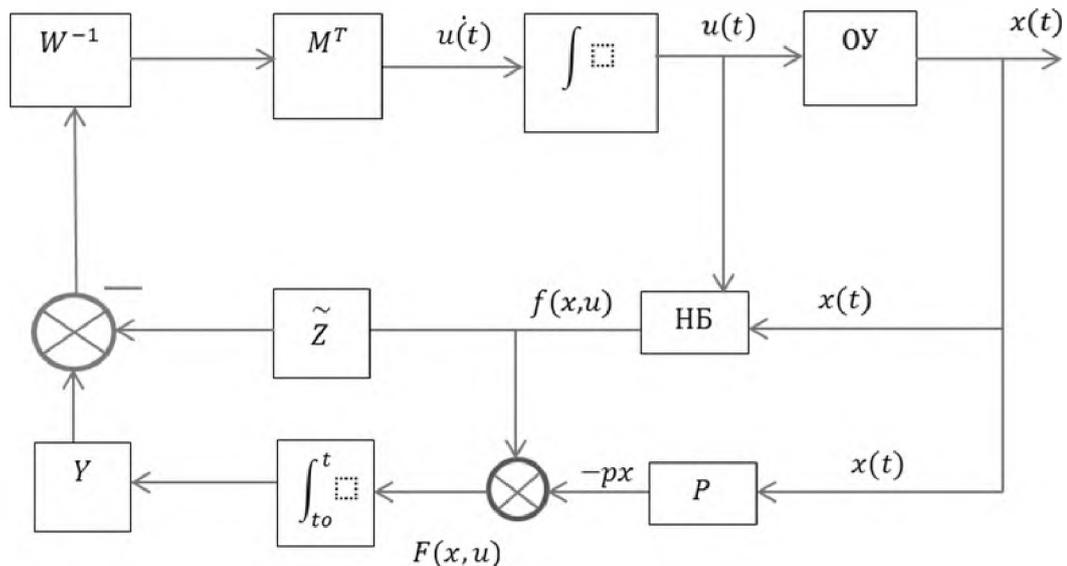


Рис. 1 Структурная схема САУ с нелинейным объектом

Вводятся следующие функции и условия:

$$F_i(x, u) = f_i(x, u) - f_i^*(x, p) \quad i = 1, \bar{N} \quad (4)$$

$$|F_i(x, u)| \leq \delta_i(t) \quad (5)$$

Где $\delta_i(t)$ - положительно дифференциальная функция, задающая точность приближения.

Вектор-функция $f^*(x, p) = p \cdot x(t)$ задается в линейной форме.

Скорость изменения невязок $F(x, u)$ определяется дифференциальной функцией

$$\dot{F}_c(x, u) = \sum_{j=1}^i j_{ij} \cdot \int_0^t F_j(x, u, \tau) d\tau \quad i = 1, \bar{N}$$

Решая эти функции относительно управляющих воздействий, получим уравнение динамики регулятора САУ

$$\dot{U}(x, t) = W^{-1} \cdot M^T \left[Y \int_0^t \{f(x, u) - P \cdot x(\tau)\} d\tau - \tilde{Y}(x, u) \right]$$

Сущность выражается в совокупности существенных признаков, достаточных для достижения указанного технического результата, который включает:

а) признаки, совпадающие с признаками способов-аналогов:

- управление активной мощностью гидроагрегата изменением величины открытия направляющего аппарата (НА).

- управление системой возбуждения гидроагрегатов, поддерживающей стабильность напряжения в обмотке статора.

б) признаки, отличающиеся от признаков способов-аналогов:

- математическая модель гидроагрегата описывается, нелинейными обыкновенными дифференциальными уравнениями.

Получен закон управления в виде скорости изменения управляющего воздействия на основе принципа гарантируемой динамики.

Сущность изобретения поясняет упрощенная блок-схема, изображенная на рисунке 2, которая включает:

Блок 1 – объект управления гидроагрегатом, который необходимо регулировать.

2 – измерительные элементы. Это датчики тока, напряжения, скорости вращения

гидроагрегата.

3 – измерительные элементы. Это датчики тока ротора, генератора, механический момент турбины.

Блок 4 – нелинейный функциональный блок.

Блок 5 – желаемый линейный функциональный блок.

6 – сумматор.

7 – операционный блок, который производит вычисление процесса и выдает управляющие сигналы на управление НА гидротурбины и на системы возбуждения гидрогенератора.

Блок 8 – интегратор.

Блок 9 – исполнительные блоки. Это сервомоторы НА и системы возбуждения.

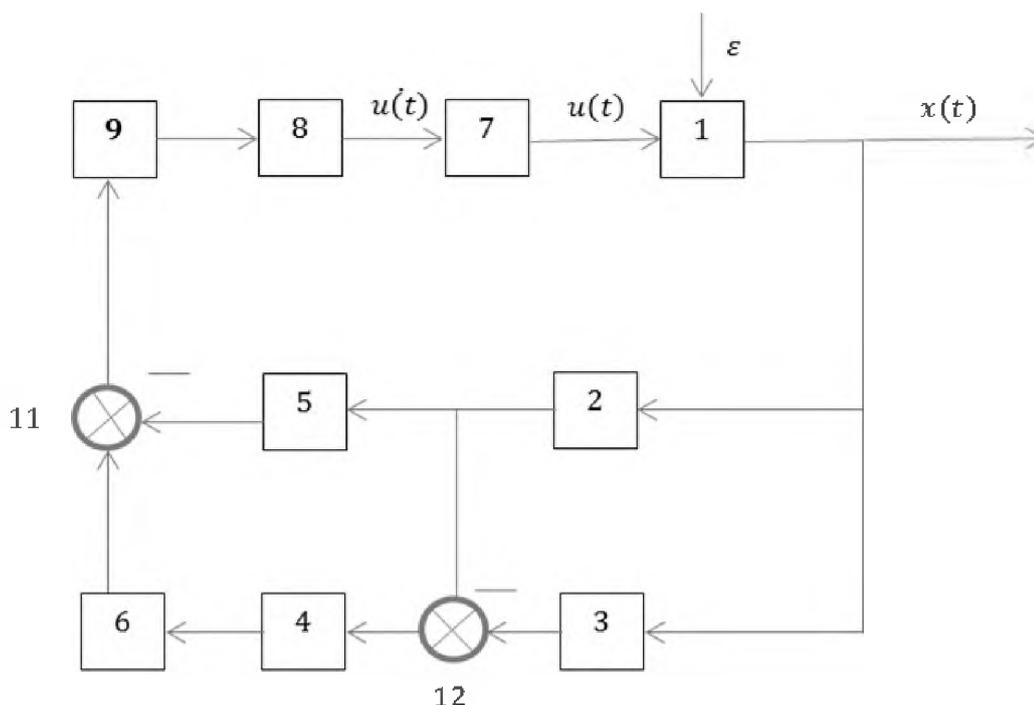


Рис.2 Упрощенная блок-схема

В нормальном состоянии, т.е. при номинальной частоте и номинальном напряжении, регулятор не воздействует на исполнительные устройства. Как только появляется дисбаланс между потребляемой и вырабатываемой мощностью появляется переходный процесс, в этот момент вступает в силу многомерный нелинейный регулятор.

При изменении состояния гидроагрегата выходные величины гидроагрегата через датчики поступают в нелинейный блок и одновременно подается сигнал на НБ. Нелинейный блок 4 преобразует эти переменные состояния на функции $f(x, u, \xi, t)$. Эти же переменные состояния одновременно подаются на желаемый линейный функциональный блок 5 и вводятся параметры регулятора в зависимости от объекта управления.

Сигналы с выхода нелинейного блока 4 и с желаемого линейного блока подается на сумматор. Эти функции сравниваются и выдаются сигналы ошибки на операционный блок 7.

Оперативный блок (ОБ) делает вычисления согласно алгоритма и выдает сигнал скорости изменения управляющих воздействий $\dot{U}(t)$. Далее этот сигнал интегрируется и $\dot{U}(t)$ - управляющий сигнал изменяет состояние исполнительных блоков для поддержания частоты и напряжения генератора в зависимости от закона управления.

От датчиков токов, напряжения статора гидрогенератора и от датчиков скорости вращения гидротурбин, а также с датчика тока ротора сигналы поступают на нелинейный

блок. С выхода нелинейного блока функция в виде $f(x, u, \xi, t)$ поступает на сумматор. Вводятся желаемые параметры регулятора в линейный блок. На этот же блок поступают сигналы от датчиков тока, напряжения и частоты. Совместно с векторами параметра P образуются на выходе ЛБ желаемые функции $f^*(x, p)$. Затем подается на сумматор.

После сумматора подается сигнал на операционный блок, где согласно алгоритму производятся вычисления и выдаются сигналы $\dot{U}(t)$ на интегратор и далее на исполнительный элемент объекта управления.

Закон регулирования вычисляется ОБ по формуле:

$$\dot{U}(x, t) = W^{-1} \cdot M^T \left[Y \int_0^t \{f(x, u) - P \cdot x(\tau)\} d\tau - \tilde{Z} \cdot f(x, u) \right]$$

Заключение. В процессе функционирования энергосистемы за счет согласованного регулирования частоты и напряжения, обеспечиваются характеристики больших переходных процессов по заданным инженерным показателям качества управления.

Список литературы

1. А.А.Колесников, А.А. Кузьменко Нелинейный синтез законов управления тербогенератором. Интегральная адаптация. Известия ЮФУ. Технические науки. С. 84-89
2. Андерсон П., Фуад А. Управление энергосистемами и устойчивость. М.: Энергия, 1980.-568с.
3. Веников В.А., Зуев Э.Н., Портной М.Г. и др. Управление переходными режимами электроэнергетических систем. М.: Высшая школа, 1982. — 247 с.: ил.
4. [патент РФ №2498494, МПКНР02Р9/10от20.07.2012]
5. [патент РФ №2531068 МПКФ 03В3В15/от 26.02.2014 г]
6. [патент РФ RU 2267147 от 29.03.2004 г]

УДК 519.87:321.314.21

ИССЛЕДОВАНИЯ ГЕНЕРАТОРОВ С ОБРАТНОЙ LC-СВЯЗЬЮ В ПРОГРАМНОМ ОБЕСПЕЧЕНИИ MULTISIM

Асан уулу Аскат, магистр, КГТУ им. И. Раззакова, Кыргызстан, 720044, г.Бишкек, пр. Ч.Айтматова 66. Тел: 0312-54-51-49, e-mail: asanaskat@gmail.com orcid.org/0000-0003-4391-4139

Абитов Бахтияр Абитович, магистр, КГТУ им. И. Раззакова, Кыргызстан, 720044, г.Бишкек, пр. Ч. Айтматова 66., e-mail: eeb2-12@mail.ru orcid.org/0000-0002-3629-1321

Толонбаев Рахат Канатбекович, магистр, КГТУ им. И. Раззакова, Кыргызстан, 720044, г.Бишкек, пр. Ч. Айтматова 66., e-mail: asanov.askat95@mail.ru orcid.org/0000-0002-3629-1319

Бакашов Адилет Токтогонович, магистр, КГТУ им. И. Раззакова, Кыргызстан, 720044, г.Бишкек, пр. Ч. Айтматова 66., e-mail: bakashov94@mail.ru orcid.org/0000-0002-3629-2421

Аннотация. Существенной частью почти любого электронного устройства является генератор гармонических или каких-либо других колебаний. Кроме очевидных случаев применения автономных генераторов, источник регулярных колебаний необходим в любом периодически действующем измерительном приборе, в устройствах, иницирующих измерения или процессы, и вообще в любом приборе, работа, которого связана с периодическими состояниями или периодическими колебаниями. Так, например, генераторы