

УДК 681.513

ПСЕВДОГОДОГРАФ НАЙКВИСТА *

К.М. БОБОБЕКОВ

630073, РФ, г. Новосибирск, пр. Карла Маркса, 20, Новосибирский государственный технический университет, аспирант кафедры автоматики. E-mail: kurbon_111@mail.ru

В данной статье вводится модификация годографа Найквиста, состоящая в том, что вместо синусоиды на вход устройства подается знакопеременный сигнал типа «меандр» единичной амплитуды, и значения амплитуды и фазы выходного сигнала используются для построения годографа Найквиста. Приводятся годографы Найквиста для нескольких простейших звеньев. Эти годографы «незначительно» отличаются от истинных годографов Найквиста. Необходимость использования модифицированных годографов Найквиста можно объяснить тем, что при активной идентификации параметров объекта иногда выгоднее на вход объекта / системы подавать знакопеременный сигнал, сохраняющий фиксированные значения на определенных интервалах времени.

Ключевые слова: годографы Найквиста, псевдогодографы Найквиста, типовые звенья, активная идентификация, перевернутый маятник, неустойчивый объект, система управления, объект управления

DOI: 10.17212/2307-6879-2016-2-49-57

ВВЕДЕНИЕ

При помощи годографа Найквиста определяют связь между амплитудой и фазой синусоиды заданной частоты при прохождении через устройство. В некоторых случаях (например, при активной идентификации параметров объекта (системы)) удобнее подавать на вход физического устройства не синусоиду, а сигнал типа «меандр» и рассматривать изменение амплитуды и фазы при прохождении через устройство. Такую характеристику назовем *псевдогодографом Найквиста*. Построим псевдогодографы Найквиста для нескольких типовых звеньев, а также для конкретной системы регулирования.

* Статья получена 29 февраля 2016 г.

1. ПСЕВДОГОДОГРАФ НАЙКВИСТА ДЛЯ НЕКОТОРЫХ ПРОСТЕЙШИХ ЗВЕНЬЕВ

Апериодическое звено. Построим годограф Найквиста и псевдогодограф Найквиста для наиболее простого динамического звена – аperiодического. Построение годографа Найквиста можно выполнить при помощи оператора $\text{nyquist}(\text{tf}([k], [T,1]))$, где $k=1$, $T=1$. Если не пользоваться данным оператором, следует на вход подать синусоиду с амплитудой $A=1$, фазой $\varphi=0$ и значение амплитуды и фазы выходной синусоиды отложить на комплексной плоскости. Для построения псевдогодографа Найквиста на вход подаем меандр с амплитудой $A=1$ и фазой $\varphi=0$ и значения амплитуды и фазы выходного сигнала откладываем на комплексной плоскости.

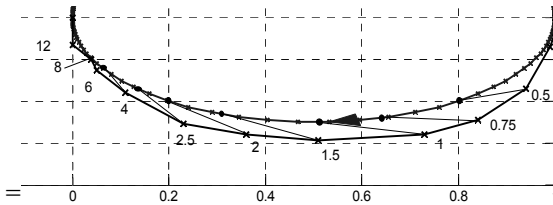


Рис. 1. График псевдогодографа Найквиста для аperiодического звена

Как следует из рис. 1, псевдогодограф и годограф Найквиста отличаются незначительно (у псевдогодографа Найквиста фаза уменьшается и амплитуда несколько увеличивается).

Интегрирующее звено. Построим годограф Найквиста и псевдогодограф Найквиста для интегрирующего звена $W(s) = 1/s$ аналогичным образом.

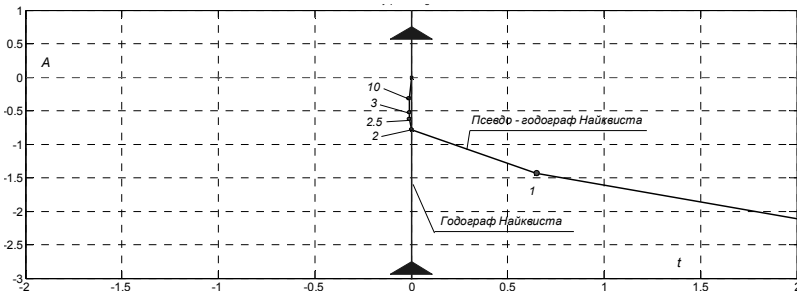


Рис. 2. Графики годографа и псевдогодографа Найквиста для интегрирующего звена

В отличие от годографа Найквиста, который располагается на мнимой оси, псевдографик на частотах $\omega < 2$ располагается справа от мнимой оси и при $\omega > 2$ уходит в левую полуплоскость.

Колебательное звено. На рис. 3 показан график годографа Найквиста и псевдографик Найквиста для колебательного звена. Годографы аналогичны.

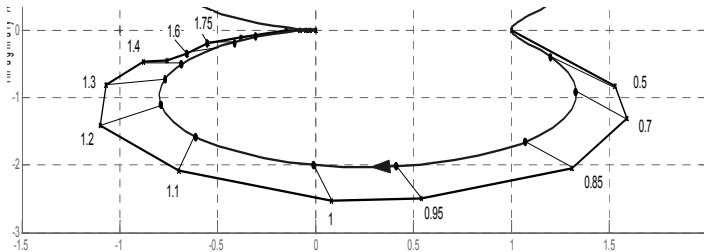


Рис. 3. График годографа и псевдографика Найквиста для колебательного звена

Для замкнутой системы «перевернутый маятник с регулятором» псевдографик Найквиста рассматривается в следующем разделе.

3. ПСЕВДОГРАФИК НАЙКВИСТА ЗАМКНУТОЙ СИСТЕМЫ: ПЕРЕВЕРНУТЫЙ МАЯТНИК С РЕГУЛЯТОРОМ

В этом разделе в качестве объекта рассматривается перевернутый маятник, который охвачен обратной связью. Объект

$$W \left[\frac{Q(s)}{u(s)} \right] = - \left[\frac{k_0}{s^2 - b} \right] \tag{1}$$

вместе с регулятором

$$\frac{-0.44s^2 - 1.4075s - 1}{0.0003s^2 + 0.0085s + 0.0815} \frac{1}{s} \tag{2}$$

образуют систему, передаточная функция которой имеет следующий вид:

$$\frac{(-0.44s^2 - 1.4075s - 1) \cdot (-k)}{(-0.44s^2 - 1.4075s - 1) \cdot (-k) + (0.0003s^2 + 0.0085s + 0.0815) \cdot (s^3 - bs)} \quad (3)$$

При значениях $k = 1$ и $b = 5$ получим

$$W_{\text{sys}} = \frac{0.44s^2 + 1.4075s + 1}{0.0003s^5 + 0.008s^4 + 0.08s^3 + 0.4s^2 + s + 1} \quad (4)$$

Для построения псевдогодографа Найквиста используем схему, представленную на рис. 4.

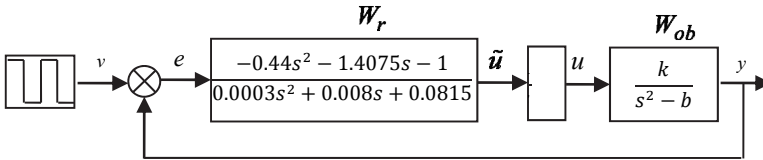


Рис. 4. Структурная схема системы с тестовым сигналом

Графики переходных процессов при значениях параметров объекта, равных $k = 1$ и $b = 5$, показаны на рис. 5. Значения амплитуды и фазы выходного сигнала при подаче на вход синусоидального сигнала и меандра приведены на этом же рисунке.

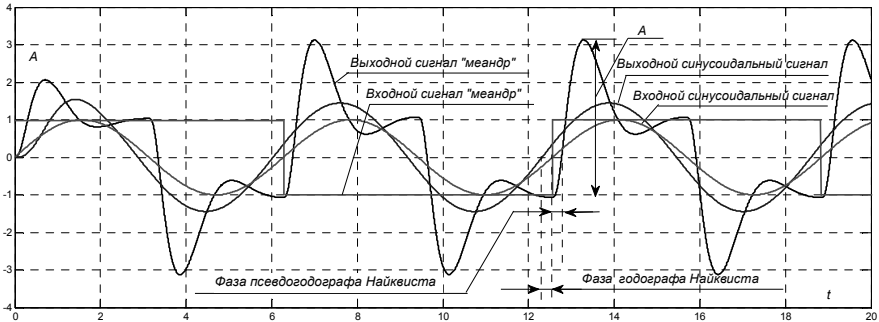


Рис. 5. Графики входных и выходных сигналов системы с маятником

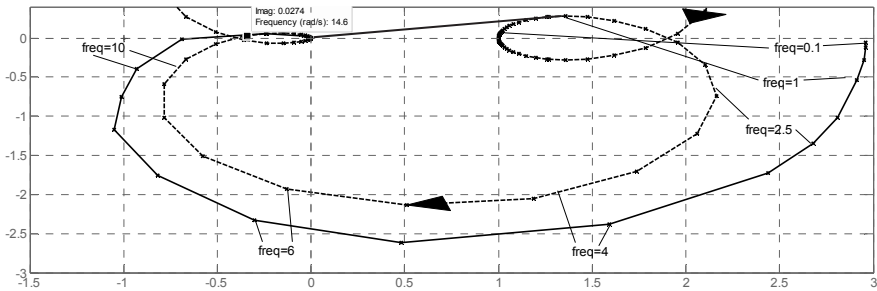


Рис. 6. Графики годографа Найквиста (штриховая линия) и псевдогодографа Найквиста (непрерывная линия)

Как видно из рис. 6 псевдогодограф Найквиста практически повторяет годограф Найквиста.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В работе введено понятие «псевдогодограф Найквиста», которое предполагается использовать, например, при оценке параметров объекта или системы. Это можно объяснить тем, что в некоторых случаях удобнее на систему подавать сигнал типа меандра. На нескольких примерах показано, что введенное понятие корректно, а именно процедура построения модифицированного годографа аналогична стандартной процедуре: измеряется изменение амплитуды и фазы сигнала при прохождении через звено / устройство. Введенные в работе модифицированные годографы Найквиста, как правило, похожи на обычные годографы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Воевода А.А., Шоба Е.В. Управление перевернутым маятником // Сборник научных трудов НГТУ. – 2012. – № 2 (68). – С. 3–14.
2. Бобобеков К.М. Модель перевернутого маятника: частные случаи // Сборник научных трудов НГТУ. – 2015. – № 3 (81). – С. 21–42.
3. Бобобеков К.М. Полиномиальный метод синтеза ПИ(Д)-регулятора для неминимально фазового объекта // Сборник научных трудов НГТУ. – 2015. – № 4 (82). – С. 7–20.
4. Бобобеков К.М., Воевода А.А. Синтез двухканальной системы полиномиальным методом: обеспечение астатизма // Сборник научных трудов НГТУ. – 2016. – № 1 (83). – С. 7–19.

5. *Воевода А.А., Вороной В.В.* Полиномиальный метод расчета многоканальных регуляторов заданной структуры // Научный вестник НГТУ. – 2013. – № 2 (51). – С. 214–218.
6. *Воевода А.А., Вороной В.В.* Модальный синтез регуляторов пониженного порядка методом дифференцирования характеристического полинома // Сборник научных трудов НГТУ. – 2011. – № 1 (63). – С. 3–12.
7. *Воевода А.А., Вороной В.В., Шоба Е.В.* Модальный синтез многоканального регулятора пониженного порядка с использованием «обратной» производной // Научный вестник НГТУ. – 2012. – № 1 (46). – С. 15–23.
8. *Воевода А.А.* Стабилизация двухмассовой системы: модальный метод синтеза с использованием полиномиального разложения // Научный вестник НГТУ. – 2010. – № 1 (38). – С. 195–198.
9. *Voevoda A.A., Troshina G.V.* Active identification of the inverted pendulum control system // Proceedings of the 18th International Conference on Soft Computing and Measurements (SCM'2015). – St. Petersburg: LETI Publ., 2015. – Vol. 1. – P. 153–156.
10. *Chen C.-T.* Linear system theory and design. – 3rd ed. – New York: Oxford University Press, 1999. – 334 p.
11. *Трошина Г.В.* Активная идентификация линейных динамических дискретных стационарных объектов во временной области: дис. ... канд. техн. наук: 05.13.01 / Новосибирский государственный технический университет. – Новосибирск, 2007. – 171 с.
12. *Mehra R.K.* Optimal inputs for linear system identification // IEEE Transactions on Automatic Control. – 1974. – Vol. 19, N 3. – P. 192–200.
13. *Трошина Г.В.* Об активной идентификации динамических объектов // Сборник научных трудов НГТУ. – 2014. – № 4 (78). – С. 41–52. – doi: 10.17212/2307-6879-2014-4-41-52.
14. *Трошина Г.В.* D-оптимальный план эксперимента в задачах активной идентификации по данным установившегося режима для линейных стационарных дискретных систем // Наука. Промышленность. Оборона: труды VII Всероссийской научно-технической конференции, 19–21 апреля 2006 г. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2006. – С. 445–449.
15. *Ljung L.* System identification: theory for the User. – 2nd ed. – Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall PTR, 1999. – 315 p.
16. *Bobobekov K.M., Voevoda A.A., Troshina G.V.* The active identification of parameters for the unstable object // XI Международный форум по стратегическим технологиям, IFOST-2016, Новосибирск, 1–3 июня 2016 г. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2016. – С. 594–596.

Бобобеков Курбонмурод Мулломиракович, аспирант кафедры автоматике Новосибирского государственного технического университета. Основное направление научных исследований – синтез систем управления техническими системами. Имеет несколько публикаций. E-mail: kurbon_111@mail.ru

Pseudo-hodograph Nyquist*

К.М. Bobobekov

Novosibirsk State Technical University, 630073, Novosibirsk, the avenue K. Marx, 20, the post-graduate student of Department "Automatics" of Novosibirsk state technical university. E-mail: kurbon_111@mail.ru

In this paper a Nyquist locus modification consisting in the fact that instead of a sinusoid input alternating signal is supplied device type "meander" single amplitude value and an output signal amplitude and phase are used to construct Nyquist locus. We give hodographs Nyquist for a few simple links. These hodographs "slightly" different from the true locus Nyquist. The need to use modified Nyquist locus can be explained by the fact that the active object identification parameters are sometimes more profitable to the input object / system apply an alternating signal that preserves the fixed values at certain time intervals.

Keywords: hodographs Nyquist, pseudo - Nyquist hodograph, model link, active identification, inverted pendulum, unstable object control system, object control

DOI: 10.17212/2307-6879-2016-2-49-57

REFERENCES

1. Voevoda A.A., Shoba E.B. Upravlenie perevernutym mayatnikom [About model inverted pendulum]. *Sbornik nauchnykh trudov Novosibirskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta – Transaction of scientific papers of the Novosibirsk state technical university*, 2012, no. 2 (68), pp. 3–14.
2. Bobobekov K.M. Model' perevernutogo mayatnika: chastnye sluchai [The model of the inverted pendulum: special cases]. *Sbornik nauchnykh trudov Novosibirskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta – Transaction of scientific papers of the Novosibirsk state technical university*, 2015, no. 3 (81), pp. 21–42.
3. Bobobekov K.M. Polinomial'nyi metod sinteza PI(D)-regulyatora dlya neminimal'no fazovogo ob"ekta [Polynomial method synthesis of PI(D) regulator for non-minimum-phase object]. *Sbornik nauchnykh trudov Novosibirskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta – Transaction of scientific papers of the Novosibirsk state technical university*, 2015, no. 4 (82), pp. 7–20.

* Received 29 February 2016.

4. Bobobekov K.M., Voevoda A.A. Sintez dvukhkanal'noi sistemy polinomial'nym metodom: obespechenie astatizma [Synthesis of two-channel system polynomial method: ensuring astatic]. *Sbornik nauchnykh trudov Novosibirskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta – Transaction of scientific papers of the Novosibirsk state technical university*, 2016, no. 1 (83), pp. 7–19.
5. Voevoda A.A., Voronoy V.V. Polinomial'nyi metod rascheta mnogokanal'nykh regulyatorov zadannoi struktury [Polynomial method for calculating multi-channel controllers of a given structure]. *Nauchnyi vestnik Novosibirskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta – Science bulletin of the Novosibirsk state technical university*, 2013, no. 2 (51), pp. 214–218.
6. Voevoda A.A., Voronoy V.V. Modal'nyi sintez regulyatorov ponizhennogo poryadka metodom differentsirovaniya kharakteristicheskogo polinoma [Modal design of reduced order controllers by method of]. *Sbornik nauchnykh trudov Novosibirskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta – Transaction of scientific papers of the Novosibirsk state technical university*, 2011, no. 1 (63), pp. 3–12.
7. Voevoda A.A., Voronoy V.V., Shoba E.B. Modal'nyi sintez mnogokanal'nogo regulyatora ponizhennogo poryadka s ispol'zovaniem "obratnoi" proizvodnoi [Modal synthesis of multi-channel low-order controller using the "reverse" derivative principle for three-mass system]. *Nauchnyi vestnik Novosibirskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta – Science bulletin of the Novosibirsk state technical university*, 2012, no. 1 (46), pp. 15–23.
8. Voevoda A.A. Stabilizatsiya dvukhmassovoi sistemy: modal'nyi metod sinteza s ispol'zovaniem polinomial'nogo razlozheniya [Stabilisation of two-mass system by a modal method of synthesis with polynomial factorization]. *Nauchnyi vestnik Novosibirskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta – Science bulletin of the Novosibirsk state technical university*, 2010, no. 1 (38), pp. 195–198.
9. Voevoda A.A., Troshina G.V. Active identification of the inverted pendulum control system [Aktivnaya identifikatsiya sistemy upravleniya perevernutij mayatnik]. *Proceedings of the 18th International Conference on Soft Computing and Measurements (SCM'2015)*. St. Petersburg, LETI Publ., 2015, vol. 1, pp. 153–156.
10. Chen C.-T. *Linear system theory and design*. 3rd ed. New York, Oxford University Press, 1999. 334 p.
11. Troshina G.V. *Aktivnaya identifikatsiya lineinykh dinamicheskikh diskretnykh statsionarnykh ob"ektov vo vremennoi oblasti*: diss. kand. tekhn. nauk [Active identification of linear dynamic discrete stationary objects in a time domain. PhD eng. sci. diss.]. Novosibirsk State Technical University. Novosibirsk, 2007. 171 p.
12. Mehra R.K. Optimal inputs for linear system identification. *IEEE Transactions on Automatic Control*, 1974, vol. 19, no. 3, pp. 192–200.

13. Troshina G.V. Ob aktivnoi identifikatsii dinamicheskikh ob"ektov [About active identification of dynamic objects]. *Sbornik nauchnykh trudov Novosibirskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta – Transaction of scientific papers of the Novosibirsk state technical university*, 2014, no. 4 (78), pp. 41–52. doi: 10.17212/2307-6879-2014-4-41-52
14. Troshina G.V. [D-optimum design of experiment in active identification problems on base of steady state for single-line stationary discrete systems]. *Trudy VII Vserossiiskoi nauchno-tekhnicheskoi konferentsii "Nauka. Promyshlennost'. Oborona"* [Proceedings of the 7th All-Russian scientific and technical conference "Science. Industry. Defence"], Novosibirsk, Russia, 19–21 April 2006, pp. 445–449. (In Russian)
15. Ljung L. *System identification: theory for the User*. 2nd ed. Upper Saddle River, NJ, Prentice Hall PTR, 1999. 315 p.
16. Bobobekov K.M., Voevoda A.A., Troshina G.V. [The active identification of parameters for the unstable object]. *XI Mezhdunarodnyi forum po strategicheskim tekhnologiyam, IFOST–2016* [The 11th International Forum on Strategic Technology IFOST–2016], Novosibirsk, 1–3 June 2016, pp. 594–596.