

УДК 622.233.6:-83:68.3

ОБЪЕКТ УПРАВЛЕНИЯ КОНТУРА ЧАСТОТЫ ВРАЩЕНИЯ ПРИВОДА СПУСКО-ПОДЪЕМНЫХ ОПЕРАЦИЙ БУРОВОГО СТАВА ШАРОШЕЧНОГО СТАНКА

Хилов В.С., канд. техн. наук, докторант
Национальный горный университет Украины

Произведен частотный анализ характеристик динамических звеньев объекта управления контура частоты вращения электрогидромеханического привода спуско-подъемных операций.

The frequency analysis of characteristics of dynamic parts of object of management of a contour of frequency of rotation of an electrohydraulic drive of up-down operations is made.

Проблема и её связь с прикладными задачами. Разработанный Ново-Краматорским машиностроительным заводом станок для бурения взрывных скважин, оснащён приводной системой спуско-подъёмных операций, содержащей радиальные гидронасос и гидродвигатель. Гидронасос приводится во вращение регулируемым электроприводом по системе преобразователь частоты–асинхронный двигатель. Натяжение канатно-полиспасной системы производится от гидродвигателя [1,2,3].

В кинематическую связь между приводным двигателем и буровым снарядом при поступательном перемещении става входят гидронасос, гидродвигатель с редуктором и канатно-полиспасная система. В гидравлической системе используется сжимаемая жидкость, а канаты подвержены упругим деформациям. При этом частота вращения вала двигателя и приведенная к валу двигателя линейная скорость перемещения бурового снаряда не равны между собой в нестационарных режимах. В приводной системе применяются быстродействующий электропривод с полосой пропускания контура частоты вращения до 100 рад/с. При этом частота собственных упругих колебаний канатно-полиспасной системы и гидропривода попадают в полосу пропускания контура регулирования частоты вращения. Не учёт сжимаемости жидкости и податливости канатов при анализе объекта управления и синтезе системы регулирования может привести к ошибочным результатам и к существенному ухудшению качества переходных процессов во всем электрогидромеханическом приводе.

Анализ исследований и публикаций. В объект управления контура частоты вращения попадает замкнутый контур регулирования активной составляющей тока статора асинхронного двигателя, механическое звено электропривода и дополнительное передаточное звено, учитывающее упругие свойства трансмиссии [4,5].

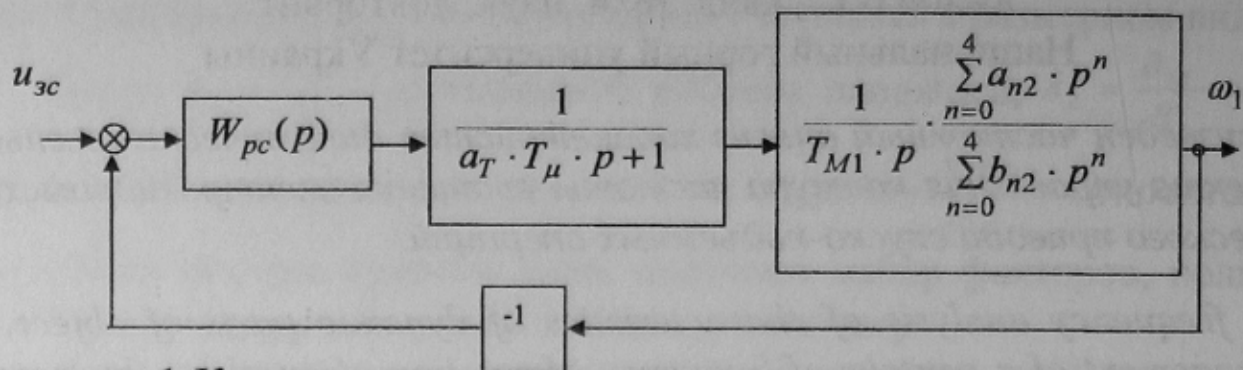


Рисунок –1 Контур контролирования частоты вращения асинхронного двигателя

Ранее найдено [6,7], что механическое динамическое звено объекта управления контура регулирования частоты вращения двигателя при наличии ГС КПС описывается передаточной функцией с характеристическим уравнением пятого порядка

$$W_c(p) = \frac{x_1}{M} = \frac{\omega_1}{M} = \frac{1}{J_1 \cdot p} \cdot \frac{p^4 \cdot c_{24} + p^3 \cdot c_{23} + p^2 \cdot c_{22} + p \cdot c_{21} + c_{20}}{p^4 \cdot d_{24} + p^3 \cdot d_{23} + p^2 \cdot d_{22} + p \cdot d_{21} + d_{20}} =$$

$$= \frac{1}{J_1 \cdot p} \cdot \frac{\sum_{n=0}^4 p^n \cdot c_{2n}}{\sum_{n=0}^4 p^n \cdot d_{2n}} = \frac{1}{J_1 \cdot p} \cdot W_2(p).$$

Для нахождения передаточной функции в удобном для анализа виде, вводим постоянные времени, коэффициент демпфирования и коэффициенты инерционностей, получаем

$$W_c(p) = \frac{1}{T_{M1} \cdot p} \cdot \frac{\sum_{n=0}^4 a_{n2} \cdot p^n}{\sum_{n=0}^4 b_{n2} \cdot p^n},$$

где используются обозначения коэффициентов слагаемых полиномов сведены в таблице

Таблица–1 Значения коэффициентов полиномов числителя и знаменателя передаточной функции $W_c(p)$

n	a_{n2}	b_{n2}
0	K_z/γ_{23}	$K_z \cdot \Gamma/\gamma_{23}$
1	$T_{M2} + 2 \cdot \xi_y \cdot T_y \cdot K_z/\gamma_{23}$	$T_{M2} + 2 \cdot \xi_y \cdot T_y \cdot K_z \cdot \Gamma/\gamma_{23}$
2	$T_{M2} + 2 \cdot \xi_y \cdot T_y \cdot K_z/\gamma_{23}$	$T_z \cdot T_{M2} + 2 \cdot \xi_y \cdot T_y \cdot T_{M2} + K_z \cdot T_y^2 \cdot \gamma_{12}$
3	$T_{M2} \cdot T_y^2 + 2 \cdot \xi_y \cdot T_y \cdot T_{M2}$	$2 \cdot \xi_y \cdot T_y \cdot T_{M2} \cdot T_z + T_{M2} \cdot T_y^2$
4	$T_z \cdot T_{M2} \cdot T_y^2$	$T_{M2} \cdot T_y^2 \cdot T_z$

В таблице обозначено: K_z, T_z – коэффициент передачи и постоянная времени гидросистемы; $\gamma_{12}, \gamma_{23}, \Gamma$ – частичные и полный коэффициенты инерционности электрогидромеханической системы; T_{M1}, T_{M2}, T_{M3} – механические постоянные времени электродвигателя, гидродвигателя и става; ξ_y, T_y – коэффициент демпфирования и постоянная времени колебаний канатно-полиспастной системы.

Выделяем в дополнительной передаточной функции исследуемого контура $W_2(p)$ звено, обусловленное упругими свойствами ГС и КПС в явном виде

$$W_c(p) = \frac{1}{T_{M1} \cdot p} \cdot \frac{(p \cdot T_z + 1) \cdot p \cdot T_{M2} \cdot \gamma_{23} \cdot (p^2 \cdot T_y^2 + p \cdot 2 \cdot \xi_y \cdot T_y + 1) + K_z \cdot (p^2 \cdot T_y^2 \cdot \gamma_{23} + p \cdot 2 \cdot \xi_y \cdot T_y + 1)}{(p \cdot T_z + 1) \cdot p \cdot T_{M2} \cdot \gamma_{23} \cdot (p^2 \cdot T_y^2 + p \cdot 2 \cdot \xi_y \cdot T_y + 1) + K_z \cdot \gamma_{23} \cdot T_{M2} / T_{M1} \cdot (p^2 \cdot T_y^2 \cdot \gamma_{23} + p \cdot 2 \cdot \xi_y \cdot T_y + 1)}$$

Постановка задачи. Оценим влияние на динамические процессы в контуре частоты вращения электродвигателя дополнительных звеньев, обусловленных влиянием гидросистемы (ГС) и канатно-полиспастной передачи (КПС).

Основной материал и результаты исследования. Для нахождения в явном виде характеристических частот колебаний полиномов числителя и знаменателя, пренебрегаем демпфирующими свойствами канатов и гидросистемы, тогда в дополнительном динамическом звене $W_2(p)$ изменяются коэффициенты при множителях степеней p

$$W_2'(p) = \frac{((T_y^2 \cdot p + 1) \cdot (p^2 \cdot T_e \cdot T_{M2} + K_e) - K_e / \gamma_{23}) \cdot \Gamma}{(T_y^2 \cdot p + 1) \cdot (p^2 \cdot T_e \cdot T_{M2} + K_e \cdot \gamma_{12}) + p^2 \cdot K_e \cdot T_y^2 \cdot T_{m2} / T_{M1} + K_e \cdot (1 / \gamma_{23} - 1)}$$

Характеристические частоты числителя

$$\omega_{kc1,3} = \sqrt{\frac{T_e \cdot T_{M2} + T_y^2 \cdot K_e}{2 \cdot T_e \cdot T_{M2} \cdot T_y^2} \cdot \left(\pm \sqrt{1 - \frac{4 \cdot T_e \cdot T_{M2} \cdot T_y^2 \cdot K_e}{\gamma_{23} \cdot (T_e \cdot T_{M2} + K_e \cdot T_y^2)^2}} - 1 \right)}$$

Характеристические частоты знаменателя

$$\omega_{kc2,4} = \sqrt{\frac{T_{M2} \cdot T_e + T_y^2 \cdot \gamma_{12} \cdot K_e}{2 \cdot T_{M2} \cdot T_y^2} \cdot \left(\pm \sqrt{1 - \frac{4 \cdot K_e \cdot \Gamma \cdot T_y^2 \cdot T_e \cdot T_{M2}}{(T_e \cdot T_{M2} + T_y^2 \cdot \gamma_{12} \cdot K_e)^2 \cdot \gamma_{23}}} - 1 \right)}$$

Частотные характеристики разомкнутого контура частоты вращения без учета диссипативных сил объекта управления, приведены на рис.2.

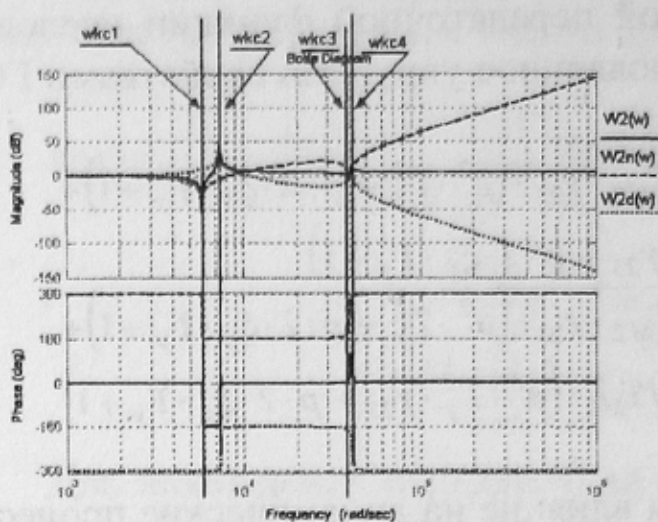
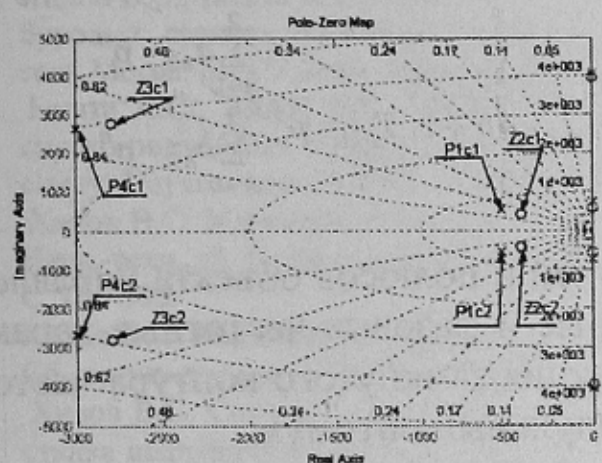


Рисунок – 2 Логарифмические амплитудные и фазовые частотные характеристики дополнительного звена $W_2(p)$ контура частоты вращения с учетом сил диссипации и при максимальных длинах канатов и массе става

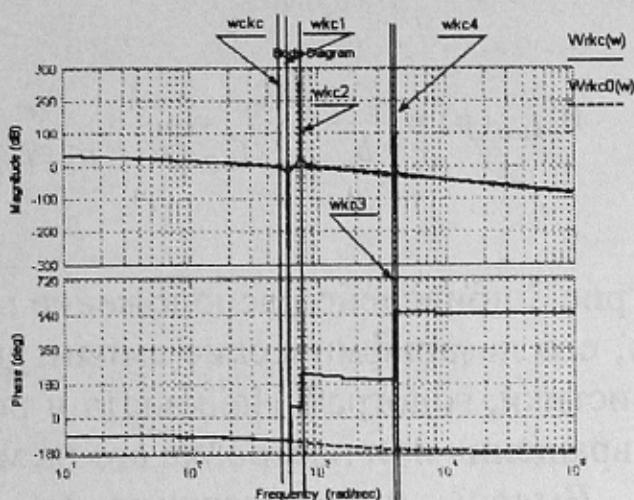
Частоты ω_{kc3} и ω_{kc4} близки по численному значению, а резонансные всплески на амплитудно-частотной характеристике направлены в противоположные стороны, поэтому в результирующей характеристике дополнительного объекта управления контура частоты вращения резонансные всплески на этих частотах практически взаимно компенсируются. В дополнительном объекте управления контура частоты вращения наблюдаются резонансные всплески на частотах ω_{kc1} , ω_{kc2} . Поэтому можно понизить порядок передаточной функции дополнительного динамического звена контура частоты вращения с четвертого до второго, оставляя

характеристические частоты колебаний ω_{kc1} , ω_{kc2} , и отбрасывая ω_{kc3} , ω_{kc4} , так как они взаимно компенсируются

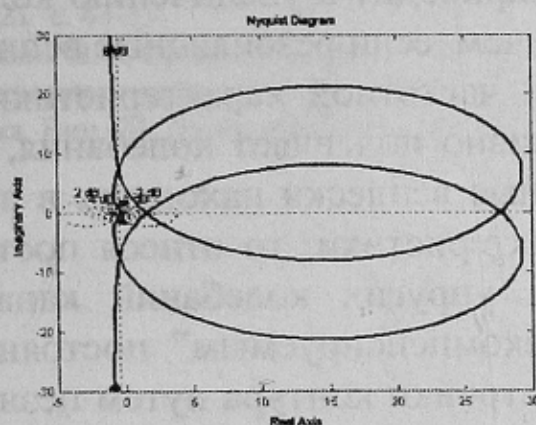
$$W_{2_{ред}}''(p) = \frac{p^2 \cdot (T_z \cdot T_{M2} + 2 \cdot \xi_y \cdot T_y \cdot T_{M2} + K_z \cdot T_y^2) + p \cdot (T_{M2} + 2 \cdot \xi_y \cdot T_y \cdot K_z / \gamma_{23}) + K_z / \gamma_{23}}{p^2 \cdot (T_z \cdot T_{M2} + 2 \cdot \xi_y \cdot T_y \cdot T_{M2} + K_z \cdot T_y^2 \cdot \gamma_{12}) + p \cdot (T_{M2} + 2 \cdot \xi_y \cdot T_y \cdot K_z \cdot T_{M2} / T_{M1} + 2 \cdot \xi_y \cdot T_y \cdot K_z / \gamma_{23}) + K_z / \gamma_{23}}$$



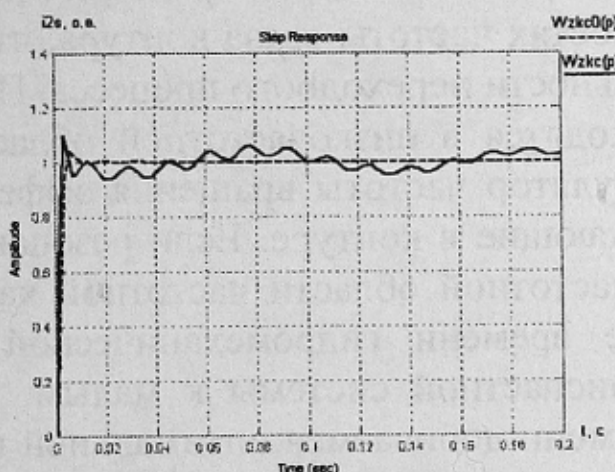
a.



b.



c.



d.

Рисунок – 3 Расположение нулей и полюсов дополнительного динамического звена контура частоты вращения (a), логарифмические амплитудо- и фазо-частотные характеристики контура (b), настроенного на модульный оптимум, годограф Найквиста (c) и реакция замкнутого контура частоты вращения на единичный скачок (d) в случае, когда характеристические частоты дополнительного динамического звена попадают в низкочастотную область полосы пропускания контура частоты вращения (перемещение става состоящего из четырех штанг и полной длине каната)

Передаточная функция разомкнутого контура частоты вращения приводного двигателя:

– при настройке контура на модульный оптимум

$$W_{rktmo}(p) \approx \frac{T_{M1}}{a_c \cdot T_{0T}} \cdot \frac{1}{T_{0T} \cdot p + 1} \cdot \frac{1}{T_{M1} \cdot p} \cdot \frac{\sum_{n=0}^2 a_{n2} \cdot p^n}{\sum_{n=0}^2 b_{n2} \cdot p^n};$$

– при настройке контура на симметричный оптимум

$$W_{rktco}(p) \approx \frac{b_c \cdot a_c \cdot T_{0T} \cdot p + 1}{b_c \cdot a_c \cdot T_{0T} \cdot p} \cdot \frac{T_{M1}}{a_c \cdot T_{0T}} \cdot \frac{1}{T_{0T} \cdot p + 1} \cdot \frac{1}{T_{M1} \cdot p} \cdot \frac{\sum_{n=0}^2 a_{n2} \cdot p^n}{\sum_{n=0}^2 b_{n2} \cdot p^n}.$$

На рис.3 приведено расположение нулей и полюсов объекта управления, его логарифмические амплитудные и фазовые частотные характеристики, годограф Найквиста и реакция замкнутого контура частоты вращения при настройке его на модульный оптимум.

Выводы и направление дальнейших исследований. Наличие податливых звеньев в трансмиссии уменьшает запас по фазе в окрестностях частоты среза контура, что приводит к увеличению колебательности переходного процесса. Причем, если резонансные всплески находятся в низкочастотной области частотной характеристики, то регулятор частоты вращения эффективно подавляет колебания, возникающие в контуре. Если резонансные всплески находятся в высокочастотной области частотной характеристики, то отнеся постоянные времени гидромеханической и упругих колебаний канатно-полиспастной системы к малым "некомпенсируемым" постоянным времени добиваемся оптимальной настройки контура путем незначительного уменьшения его быстродействия.

В случае, когда резонансные всплески находятся в окрестностях частоты среза контура, то классический регулятор частоты вращения не подавляет эффективно колебания. Так как постоянные времени гидромеханических и упругих колебаний изменяют свои численные значения в зависимости от количества перемещаемых штанг и длины канатов, то даже находясь в начале перемещения в низкочастотной или высокочастотной областях резонансные всплески частотной характеристики могут переместиться в среднечастотную область, где не

ефективно подавляєт возникающие колебания классический регулятор частоты вращения II или PII типа.

Дальнейшие исследования будут направлены на изучение влияния податливости гидромеханических звеньев на динамические процессы контуров давления, частоты вращения гидродвигателя и перемещения става.

Список источников.

1. Хилов В.С., Бешта А.С., Заика В.Т. Опыт применения частотно-управляемых приводов в буровых станках карьеров Украины. Горный информационно-аналитический бюллетень, Москва. МГГУ, 2004, №10, с. 285-289.
2. Бешта А.С., Хилов В.С. Принципы построения системы управления электроприводом спуско-подъемных операций. Вісник Кременчуцького державного політехнічного університету: Наукові праці КДПУ.- Кременчук: КДПУ 2004. – Вип.4(20) .- с.85-88.
3. Хилов В.С. Математическая модель гидропривода подачи станка шарошечного бурения. Наук.-техн. зб. Гірнична електромеханіка та автоматика. Вип.70. Дніпропетровськ, НГУ. – С. 100-105.
4. Хилов В.С. Математическая модель объекта управления привода подачи бурового станка. Сб. научн. трудов НГУ. Дніпропетровськ, 2004, №19, т.2, с.33-39.
5. Хилов В.С. Синтез позиционной системы управления гидравлическим приводом подачи станка шарошечного бурения. Сб. научн. трудов НГУ. Дніпропетровськ, 2003, №17, т.2, с.122-127.
6. Хилов В.С. Влияние упругих свойств трансмиссии и оборотной электродвижущей силы на динамику контура тока. Сборник научных трудов НГУ. Дніпропетровськ, НГУ, 2005, №21 с. 43-55.
7. Хилов В.С. Собственные частоты колебаний разомкнутого контура тока привода спуско-подъемных операций бурового станка Наук.-техн. зб. Гірнична електромеханіка та автоматика. Вип. 74. Дніпропетровськ, НГУ, 2005.- С 25-31 .