

**В.С.Хилов, канд.техн.наук**

(Украина, Днепрпетровск, Национальный горный университет)

## АНАЛИЗ ФОРСИРУЮЩЕГО ДЕЙСТВИЯ РЕГУЛЯТОРА ТОКА ПРИВОДА СПУСКО-ПОДЪЕМНЫХ ОПЕРАЦИЙ БУРОВОГО СТАНКА

**Введение.** Понижение частот собственных колебаний объекта управления привода спуско-подъемных операций до значений меньших, чем частота среза контура тока приводит к усложнению передаточной функции компенсируемой части контура тока [1–4].

**Анализ публикаций.** Ранее установлено [5,6], что вследствие наличия обратной ЭДС и податливости трансмиссии происходит изменение как запаса устойчивости по фазе, так и коэффициента передачи контура в зависимости от количества штанг в ставе и длины канатов. В этом случае точная компенсация упругих свойств трансмиссии приводит к неоправданному усложнению регулятора активной составляющей тока. Оценим форсирующее действие регулятора тока для случая, когда собственные частоты колебаний дополнительного динамического звена находятся в области полосы пропускания контура.

**Цель исследования.** Учет влияния дополнительного динамического звена в контуре тока изменением передаточной функции регулятора тока, существенно не видоизменяя его динамическую характеристику.

**Результаты исследований.** Передаточная функция разомкнутого контура активного тока с учетом редуцированного дополнительного динамического звена следующая [7]:

$$W_{раз.к.м}(p) = \frac{1}{p \cdot T_{\mu} + 1} \cdot \frac{p \cdot T_{ЭМ1} \cdot (p^2 \cdot T_{11}^2 + 2 \cdot \xi_{11} \cdot T_{11} \cdot p + 1)}{p^2 \cdot T_{21}^2 + 2 \cdot \xi_{21} \cdot T_{21} \cdot p + 1}, \quad (1)$$

где  $T_{\mu}$  – «некомпенсируемая» постоянная времени;  $T_{ЭМ1}$  – электромеханическая постоянная времени;  $T_{11}, T_{21}$  – постоянные времени трансмиссии ( $1/T_{11} = \omega_{11}$ ,  $1/T_{21} = \omega_{21}$ );  $\xi_{11}, \xi_{21}$  – коэффициенты демпфирования трансмиссии.

В низкочастотной области, где диапазон частот  $0 \leq \omega < 1/T_I$ , а  $T_I$  – электромагнитная постоянная времени, логарифмическая амплитудно-частотная характеристика имеет нулевой наклон из-за форсирующего действия дополнительного динамического звена, что приводит к появлению статизма контура по управляющему воздействию (см. рисунок). В среднечастотной области, в которой  $\omega_{21} \leq \omega \leq \omega_{41}$  ( $\omega_{41}$  – характеристическая частота объекта управления), проявляются резонансные всплески, обусловленные наличием податливости трансмиссии.

Настройка форсирующего звена регулятора тока на компенсацию электромагнитной постоянной времени объекта управления (классическая настрой-

ка) приводит к появлению передаточной функции замкнутого контура тока с форсирующим звеном, имеющим характеристический полиномом третьего порядка

$$W'_{зам.к.т.}(p) = \frac{1}{1 + \frac{a_T \cdot T_\mu}{T_{ЭМ1}}} \cdot \frac{p^3 \cdot T_I \cdot T_{11}^2 + p^2 \cdot T_{11}^2 + p \cdot T_I + 1}{p^3 \cdot \frac{T_{ЭМ1} \cdot T_I \cdot T_{11}^2}{T_{OT} + T_{ЭМ1}} + p^2 \cdot \frac{T_{11}^2 \cdot T_{ЭМ1} + T_{OT} \cdot T_{21}^2}{T_{OT} + T_{ЭМ1}} + p \cdot \frac{T_I \cdot T_{ЭМ1}}{T_{OT} + T_{ЭМ1}} + 1}$$

Для подавления действия полюса  $\omega_{12}$  в контуре тока форсирующий полином числителя регулятора будем настраивать на постоянную времени, определяемую числителем дополнительного динамического звена, который представляется полным квадратным трехчленом. В зависимости от вида корней трехчлена знаменателя регулятор тока имеет следующие настройки.

Корни комплексно-сопряженные, если выполняется соотношение между параметрами объекта управления, при котором справедливо неравенство  $\xi_{21} < 1$ . Передаточная функция регулятора обладает ПИД динамической характеристикой

$$W_{PT}(p) = \frac{p^2 \cdot T_{21}^2 + p \cdot 2 \cdot \xi_{21} \cdot T_{21} + 1}{p \cdot T_{OT}},$$

где  $T_{OT} = a_T \cdot T_\mu = 2 \cdot T_\mu$  – постоянная времени замкнутого контура тока.

Постоянную времени форсирующего звена регулятора тока выбираем равной  $T_{21}$ . В области диапазона частот  $0 \leq \omega < \omega_{12}$  амплитудно-частотной характеристики наблюдается участок с нулевым наклоном (см. рисунок). Появляются участки с наклоном  $-20$ дБ/дек между частотами  $\omega_{21} \leq \omega \leq \omega_{11}$  и  $+20$ дБ/дек в диапазоне частот  $\omega_{11} \leq \omega \leq \omega_{14}$ , что влияет на результирующую амплитудно-частотную характеристику, которая существенно отличается от аналогичной характеристики контура, настроенного на модульный оптимум.

Реакция замкнутого контура тока характеризуется наличием статизма контура тока и отсутствием перегулирования при первом всплеске в кривой тока, но одновременно уменьшается его быстродействие за счет увеличения запаса по фазе более чем на 63 эл.градуса, что характерно для модульного оптимума.

Если неравенство  $\xi_{21} < 1$  не выполняется, тогда дополнительное динамическое звено объекта управления представляется двумя апериодическими звеньями:

$$W_{раз.к.т.}(p) = (p \cdot T_\mu + 1)^{-1} (p^2 \cdot T_{11}^2 + p \cdot 2 \cdot \xi_{11} \cdot T_{11} + 1) / (p \cdot T_{1T} + 1) / (p \cdot T_{2T} + 1),$$

где  $T_{1T}, T_{2T}$  – величины, определяемые модулями обратных значения корней характеристического уравнения  $p_{1,2}$ .

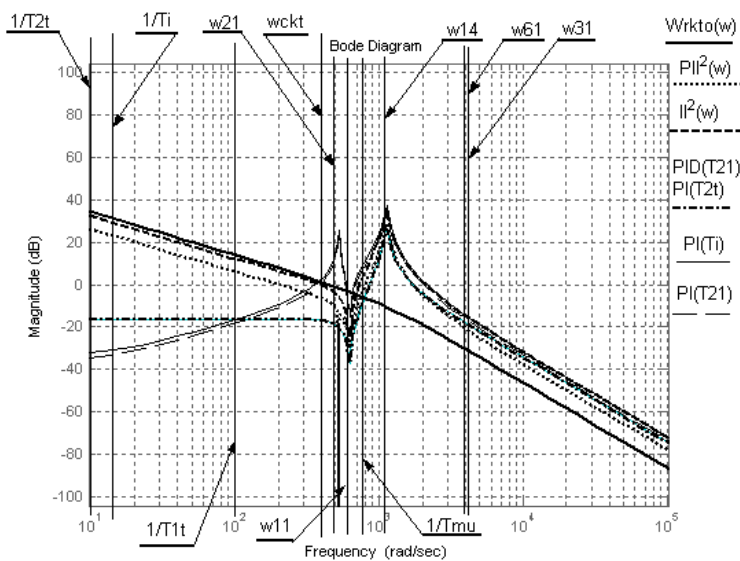
Форсирующее звено регулятора тока принимаем с большей постоянной времени  $T_{2T}$  (накладываем ограничение, что  $T_{2T} > T_{1T}$ ), т.е.

$$W_{PT}(p) = (T_{2T} \cdot p + 1) / T_{0T} / p.$$

За счет уменьшения протяженности участка с наклоном +20 дБ/дек в области средних частот быстродействие контура тока увеличивается (см. рисунок).

Для компенсации влияния обратной противоЭДС на динамические свойства замкнутого контура тока, вводим в регулятор тока дополнительный нулевой полюс. При этом передаточная функция регулятора тока обладает характеристикой  $III^2$  – динамического звена

$$W_{PTC}(p) = (T_{2T} \cdot p + 1) / T_{0T} / T_{ЭМ1} / p^2$$



Частотные характеристики разомкнутого контура тока при настройке форсирующего звена регулятора на компенсацию: электромагнитной постоянной времени  $T_I$ , постоянную времени колебательного звена  $T_T$ , большую постоянную времени аperiodического звена  $T_{2T}$ , постоянную времени

$$1 / \omega_{kt2} (PIII^2 - PT)$$

Амплитудно-частотная характеристика отличается от оптимальной характеристики в диапазоне частот  $\omega_{11} \leq \omega \leq \omega_{14}$  наличием оставшихся некомпенсированных нуля и полюса дополнительного звена, что приводит к увеличению колебательности переходного процесса.

Выбираем передаточную функцию регулятора тока в соответствии с настройкой контура регулирования на модульный оптимум и компенсацию действия редуцированной передаточной функции объекта управления контура  $1 / \omega_{kt2}$ , тогда его динамическое звено определяется регулятором с  $PIII^2$  – передаточной функцией

$$W_{PT}(p) = \frac{p^2 \cdot T_{21}^2 + p \cdot 2 \cdot \xi_{21} \cdot T_{21} + 1}{p^2 \cdot T_{0T} \cdot T_{ЭМ1}}.$$

Знаменатель передаточной функции при такой настройке регулятора тока в точности соответствует знаменателю оптимально настроенного контура, однако в числителе имеется передаточная функция форсирующего звена второго порядка. Нули и полюса замкнутого контура тока не равны соответствующим нулям и полюсам оптимально настроенного контура, что оказывает влияние на качество переходных процессов в контуре управления.

**Выводы.** Таким образом, в результате проведенных исследований установлено, что:

– классическая настройка регулятора не обеспечивает приемлемых динамических показателей контура тока;

– компенсация непосредственно постоянных времени колебательного звена или большей постоянной времени объекта управления способствует устранению астатизма контура, из-за существенного влияния ЭДС асинхронного двигателя;

– настройка регулятора тока на компенсацию постоянных времени колебательного звена или большей постоянной времени объекта управления с одновременным ведением дополнительного нуля в полином знаменателя передаточной функции регулятора тока позволяет существенно приблизить амплитудно-частотную характеристику контура тока к оптимальной;

– наличие некомпенсированного полюса  $\omega_{41}$  приводит к увеличению полосы пропускания контура, причем, чем меньше диссипативные силы проявляются в объекте управления, тем полоса пропускания контура будет меньше;

– редукция порядка передаточной функции регулятора тока от  $ПИИ^2$  – динамической характеристики до  $ПИ$ –характеристики, а затем и до  $ПИД$ – характеристики положительного результата не дает;

– приемлемым для настройки регулятора тока привода с электрогидромеханической передачей, когда собственные частоты колебаний объекта управления находятся в полосе пропускания контура, является  $ПИИ^2$  регулятор тока с настройкой на минимальную постоянную времени  $1/\omega_{kt2}$  объекта управления.

### Список литературы

1. Хиллов В.С., Бешта А.С., Заика В.Т. Опыт применения частотно-управляемых приводов в буровых станках карьеров Украины// Горн. информ.-аналит. бюл. МГГУ. – 2004. – №10. – С. 285-289.
2. Бешта А.С., Хиллов В.С. Принципы построения системы управления электроприводом спуско-подъемных операций //Вісн. Кремен. держ. політехн. ун-ту: Наукові праці КДПУ. – 2004. – Вип.4(20). – С.85-88.
3. Хиллов В.С. Математическая модель гидропривода подачи станка шарошечного бурения//Гірн. електромеханіка та автоматика: наук.техн.зб. – 2003. – Вип.70. – С. 100-105.
4. Хиллов В.С. Математическая модель объекта управления привода подачи бурового станка//Сб. науч. тр. НГУ. – 2004.– №19, т.2.– С.33-39.
5. Хиллов В.С. Синтез позиционной системы управления гидравлическим приводом подачи станка шарошечного бурения//Сб. науч. тр. НГУ. – 2003.– №17, т.2.– С.122-127.

6. Хилон В.С. Влияние упругих свойств трансмиссии и оборотной электродвижущей силы на динамику контура тока//Сб. науч. тр. НГУ. – 2005.– №,21.–С. 43-55.
7. Хилон В.С. Собственные частоты колебаний разомкнутого контура тока привода спуско-подъемных операций бурового станка//Гірн. електромеханіка та автоматика: Наук.-техн. зб.– 2005.– Вип. 74. – С 25-31 .