Записки Ленинградского ордена Ленина, ордена Октябрьской Революции
и ордена Трудового Красного Знамени горного института им. Г.В.Плеханова,
т.XCIV, 1982 г.

УДК 621.316.728

СТЕНД ДЛЯ ИСПЫТАНИЯ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ

В.С.СОЛОВЬЕВ, В.С.КЛИМАШ

Воспроизведение нагрузок приводов машин при испытаниях и разработке новых систем требует создания специальных нагрузочных устройств. Принципиально для повышения быстродействия такие устройства должны состоять из нагрузочной машины и управляемого преобразователя, позволяющего изменять нагрузку (рис.I).

Применение в качестве нагрузочных машин (НМ), непосредственно воспроизводящих момент на валу привода испытуемой системы (ИП), электродвигателей постоянного тока с независимым возбуждением обусловлено преимуществами этих машин: они легко обратимы, выпускаются серийно в большом диапазоне мощностей, что позволяет без труда подобрать необходимый типоразмер машины.

Пропорциональность тока и момента обуславливает легкость задания и контроля момента, создаваемого ими [I].

Номинальный момент НМ должен быть не меньше, чем среднеквадратичный момент при воспроизведении наиболее тяжелого графика нагрузки. Перегрузочная способность НМ должна обеспечить создание максимальной величины момента, соответствующего моментам при воспроизведении натурных графиков. Кроме того, для коррекции вносимых моментов инерции НМ должна создавать дополнительную составляющую момента, пропорциональную величине $d\omega/dt$.

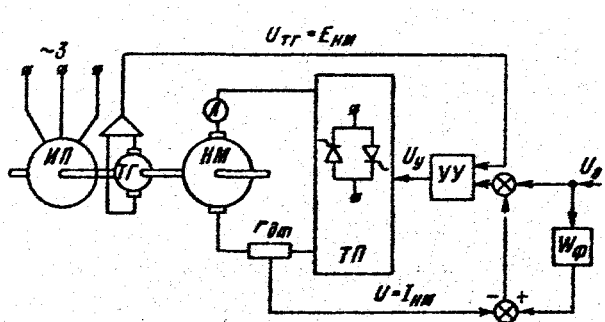


Рис.1. Функциональная схема нагрузочного стенда

Представим, что

$$M_{нм} = M_c \pm M_{доб},$$

где M_c – статический момент, определяемый графиком воспроизводимой нагрузки; $M_{доб}$ – добавочный момент, пропорциональный $d\omega/dt$,

$$M_{доб} = k\frac{d\omega}{dt}, \qquad (1)$$

тогда

$$J\frac{d\omega}{dt} = M_{ип} - M_c \mp k\frac{d\omega}{dt} \qquad (2)$$

или

$$(J \pm k)\frac{d\omega}{dt} = M_{ип} - M_c. \qquad (3)$$

Как видно из равенства (3), добавочный момент эквивалентен изменению момента инерции привода, что дает возможность изменять электромеханическую постоянную времени $T_м$, при этом коэффициент k представляет собой изменение J, т.е. $k = \Delta J$. Отсюда

$$M_{доб_{max}} = \Delta J\left(\frac{d\omega}{dt}\right)_{max}. \qquad (4)$$

Тогда максимальный момент НМ определится выражением

$$M_{max} = M_{c_{max}} + J\left(\frac{d\omega}{dt}\right)_{max}. \qquad (5)$$

В качестве НМ могут быть использованы электродвигатели крановой и металлургической серий.

В качестве управляемого преобразователя наибольшими преимуществами обладают тиристорные (ТП). При выборе ТП необходимо учитывать следующее.

I. Быстродействие ТП, определяемое силовой схемой, должно обеспечить пропускание заданного спектра частот нагрузки, создаваемой на валу ИП. Особенность динамических свойств, связанная с дискретностью его работы, проявляется в том, что он имеет определенный максимум частот пропускания управляющего сигнала. Эквивалентная постоянная времени ТП составляет

$$T_\mu = \frac{2\pi}{m\omega_0}. \qquad (6)$$

При использовании ТП, силовая схема которого выполнена по трехфазной нулевой схеме, T_μ = 0,0066 с. Шестифазной силовой схеме соответствует T_μ = 0,0033 с.

2. Преобразователь выбирается из условия создания статического и динамического токов, необходимых для воспроизведения значений электромагнитной постоянной времени якорной цепи T_a и электромеханической постоянной времени $T_м$. При этом

$$I_{\text{тп}_{max}} \geq I_{\text{нм}_{max}}. \qquad (7)$$

При работе нагрузочной установки в режиме инвертирования энергии торможения ток, протекающий в якорной цепи НМ, определяется выражением

$$I_{\text{нм}} = \frac{E_{\text{нм}} - U_{\text{тп}}}{r_a}, \qquad (8)$$

где r_a - суммарное сопротивление якорной цепи; $E_{\text{нм}}$ - э.д.с. НМ.

Важнейшим условием реализации оптимальной настройки токового контура является наличие запаса по напряжению ТП, необходимого для форсирования переходного процесса в якорной цепи. Таким образом, напряжение преобразователя

$$U_{\text{тп}} = E_{\text{нм}} \pm \Delta U, \qquad (9)$$

где ΔU - составляющая напряжения ТП, обеспечивающая необходимое изменение нагрузки.

При создании нагрузочной установки следует использовать ТП с согласованным управлением. В случае применения ТП с раздельным управлением при работе в зоне перехода от выпрямительного режима к инверторному и обратно, в зависимости от величины люфта регулировочной характеристики и скачка управляющего сигнала, величина постоянной времени T_μ может оказаться значительно завышенной [3].

Принцип построения нагрузочной установки сводится к компенсации противо-э.д.с. НМ, а для достижения требуемого быстродействия введена селективная астатическая коррекция тока якорной цепи [2]. Для компенсации влияния на электромеханическую постоянную времени электропривода моментов инерции, вносимых нагрузочной машиной, применена параллельная обратная связь по производной скорости.

Сигнал управления U_y, поступающий на вход системы, представляет собой сумму сигналов:

$$U_y(p) = U_3(p) + U_E(p) \pm U_I(p) \pm U_{T_M}(p), \qquad (10)$$

где $U_3(p)$ - задающий сигнал, пропорциональный току (моменту) нагрузки; $U_E(p)$ - сигнал компенсации влияния э.д.с. вращения НМ; $U_I(p)$ - сигнал коррекции токового контура; $U_{T_M}(p)$ - сигнал коррекции электромеханической постоянной времени.

Компенсация э.д.с. НМ осуществляется введением в схему управления положительной обратной связи по скорости испытуемого привода. Настройка производится в статических режимах.

Передаточная функция этого контура имеет вид

$$\frac{U_d(p)}{\omega(p)} = \frac{k_{\text{тп}} k_{\text{тг}}}{T_\mu p + 1}, \qquad (11)$$

где $k_{\text{тп}}$ - коэффициент передачи ТП; $k_{\text{тг}}$ - коэффициент передачи тахометрического датчика ТГ; T_μ - эквивалентная постоянная времени ТП.

При полной компенсации э.д.с. ток НМ и, следовательно, момент статических сопротивлений

$$I_a = -\frac{U_d - E + E}{r_a} = \frac{U_d}{r_a}, \qquad (12)$$

где r_a – полное сопротивление якорной цепи.

Таким образом, при выполнении условия (12) ток (момент) НМ оказывается функцией только задающего сигнала $U_з$.

Разбивая контур селективной коррекции на контур с обратной связью по току и с параллельной связью по задающему напряжению при токовом ПИ-регуляторе, можно записать для контура регулирования тока

$$\frac{I(p)}{U_з(p)} = \frac{\frac{k_{тп}}{r_a}}{(T_a p+1)(T_\mu p+1)+\frac{k_{тп}k_т}{r_a}W_т(p)}\left[1+W_т(p)W_ф(p)\right]. \qquad (13)$$

Передаточная функция ПИ-регуляторе имеет вид

$$W_т(p) = \frac{\tau_i p + 1}{T_i p}, \qquad (14)$$

где

$$\tau_i = T_a; \quad T_i = 2\frac{k_{тп}k_т}{r_a}T_\mu; \qquad (15)$$

T_a – электромагнитная постоянная времени якорной цепи.

Фильтр 1-го порядка с передаточной функцией

$$W_ф(p) = \frac{k_ф}{T_ф p + 1}, \qquad (16)$$

где

$$k_ф = \frac{T_i}{T_a}; \quad T_ф = \tau_i = T_a. \qquad (17)$$

После свертывания передаточная функция (13) удовлетворяет требованиям оптимума по модулю [2], т.е.

$$W_{ск}(p) = \frac{I(p)}{U_з(p)} = \frac{\frac{k_ф}{k_т}}{2T_\mu p+1}. \qquad (18)$$

Частота пропускания по току $\omega_{пр}$ достаточно велика, в частности, при ТП, имеющем шестипульсную схему, T_μ = = 0,003 с, а $\omega_{пр} = 1/2T_\mu \approx 150\ с^{-1}$.

Осциллограммы динамики токового контура, полученные на модели нагрузочной установки при указанной настройке, приведены на рис.2.

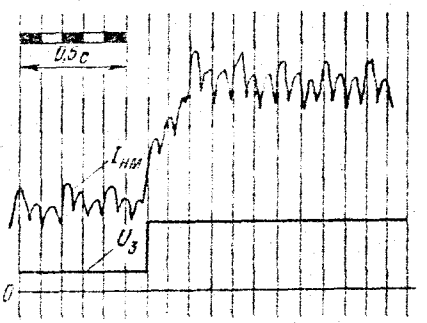


Рис.2. Осциллограммы настройки токового контура

При введении параллельной коррекции по производной скорости с Д-регулятором вида

$$W_{pc}(p)=\frac{T_M}{k_\Sigma}Np \qquad (19)$$

передаточная функция свернутого контура установки

$$W_y(p)=\frac{k_\Sigma/p}{T_M'}, \qquad (20)$$

где $k_\Sigma=\frac{k_\phi k_M}{k_T}$; $T_M'=T_M(1\pm N)$ - воспроизводимая электромеханическая постоянная времени.

Как видно из равенства (20), величина N определяет степень изменения T_M.

Правильность воспроизведения необходимой величины постоянной времени T_M' можно оценить по выбросу тормозного тока при свободном выбеге системы с введенной коррекцией. Действительно, момент, развиваемый нагрузочной машиной постоянного тока при свободном выбеге,

$$M_{c_{нач}}=-k_M I_{c_{нач}}=J\frac{d\omega}{dt}, \qquad (21)$$

где $I_{c_{нач}}$ - начальный ток нагрузки.

В общем случае при введении коррекции

$$M_c'=-k_M(I_{c_{нач}}\pm I_{c_{кор}})=J\left(\frac{d\omega}{dt}\right)', \qquad (22)$$

где $I_{c_{кор}}$ - составляющая тока нагрузки, корректирующая инерционность механической системы.

Переходя к уравнениям в приращениях и поделив выражение (22) на (21), получим

$$\frac{I_{c_{нач}}\pm I_{c_{кор}}}{I_{c_{нач}}}=\frac{\left(\frac{\Delta\omega}{\Delta t}\right)'}{\frac{\Delta\omega}{\Delta t}}. \qquad (23)$$

Если принять $\Delta\omega'=\Delta\omega$, то

$$1\pm\frac{I_{c_{кор}}}{I_{c_{нач}}}=\frac{\Delta t}{\Delta t'}. \qquad (24)$$

Таким образом, изменить электромеханическую постоянную времени установки можно пропорциональным изменением момента статических сопротивлений НМ (при $I_{c_{нач}}\neq 0$). В конкретном случае $T_\mu=2T_M'$. Для обеспечения этого изменения в соответствии с формулой (24) необходимо, чтобы $I_{c_{кор}}=I_{c_{нач}}$ (рис.3).

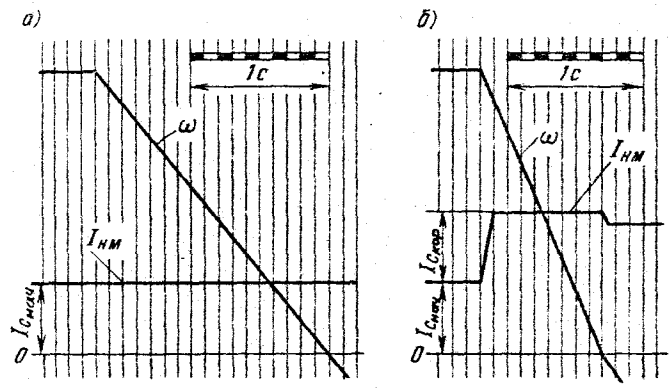


Рис.3. Осциллограммы свободного выбега: а – без коррекции; б – с двойной коррекцией $T_м$

Нагрузочная установка, выполненная согласно сформулированным требованиям, позволяет производить исследования электропривода горных комбайнов в условиях работы, максимально приближенных к натурным.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кочубиевский И.Д., Стражмейстер В.А. Динамическое моделирование нагрузок при испытаниях автоматических систем. М., Энергия, 1965.

2. Мартикайнен Р.П. Тиристорный электропривод постоянного тока с селективной коррекцией, работающий в режиме циклической нагрузки – В сб.: Электроприводы с оптимизацией рабочих режимов. Л., Наука, 1970.

3. Управление вентильными электроприводами постоянного тока / Е.Д.Лебедев, В.Е.Неймарк, М.Я.Пистрак, О.В.Слежановский. М., Энергия, 1970.