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

ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИЕ НАГРУЗОЧНЫЕ УСТРОЙСТВА ДЛЯ ВОСПРОИЗВЕДЕНИЯ НЕСТАЦИОНАРНЫХ НАГРУЗОК

В.С.СОЛОВЬЕВ

Электромеханические нагрузочные устройства, используемые при испытаниях и разработке новых систем привода, должны состоять из нагрузочной машины и управляемого преобразователя, позволяющего изменять нагрузку.

Введение жесткой положительной тахометрической обратной связи, реализованной на П-регуляторе $W_c(p)$, компенсирует влияние э.д.с. двигателя (рис.I). Нелинейность коммутации щеточных контактов нагрузочной машины компенсируется введением в якорную цепь добавочного сопротивления $r_{дт}$, величина которого на порядок выше сопротивления щеточных контактов.

Нелинейность характеристики вход-выход ТП устраняется введением контура селективной обратной связи с ПИ-регулятором. Параметры регулятора настраиваются таким образом, чтобы одновременно форсировать электромагнитную постоянную времени якорной цепи НМ до значения $2T_\mu$.

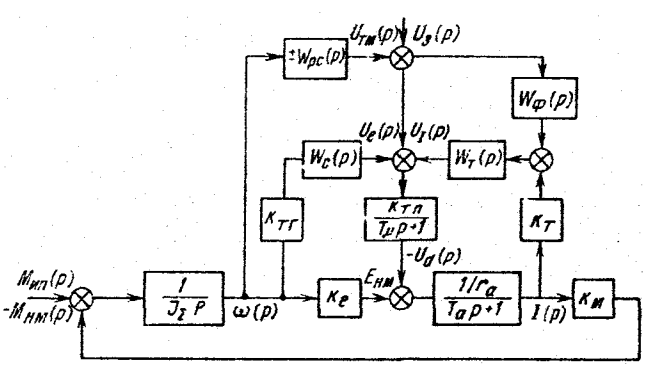


Рис.1. Структурная схема нагрузочной установки

Высокая точность отработки изменяющегося задающего сигнала достигается настройкой токового ПИ-регулятора на оптимум по модулю. Передаточная функция свернутого контура по моменту

$$W_{ст}(p) = \frac{M(p)}{U_з(p)} = \frac{2T_\mu k_{тп} k_м / T_a r_a}{2T_\mu p + 1}, \quad (I)$$

где T_μ - эквивалентная постоянная времени тиристорного преобразователя; $k_{тп}$ - коэффициент передачи тиристорного преобразователя; $k_м$ - коэффициент момента нагрузочной машины; T_a - электромагнитная постоянная времени якорной цепи нагрузочной машины; r_a - сопротивление якорной цепи нагрузочной машины.

Предельная частота пропускания электромеханической нагрузочной системы по моменту составляет

$$\omega_{пр} = \frac{1}{2T_\mu} . \qquad (2)$$

Спектр частот при $T_\mu = 0{,}0033$ с, пропускаемый токовым контуром без искажений, составит $\omega_{пр} \leq 140\ с^{-1}$.

Компенсация момента инерции, вносимого якорем НМ, осуществляется введением контура параллельной гибкой положительной тахометрической обратной связи с Д-регулятором.

Реализация чистого Д-звена на аналоговых элементах затруднительна, поэтому гибкая обратная связь выполнена на реальном Д-звене, вносящем запаздывание.

При использовании реального Д-звена свернутая передаточная функция воспроизводящей части нагрузочного стенда принимает вид

$$W_у(p) = \frac{\frac{1}{k(1-N)J_\Sigma p}(2T_\mu p + 1)}{\frac{4T_\mu}{1-N}p + 1}, \qquad (3)$$

где N - степень компенсации момента инерции.

Параметры характеристического полинома оказываются зависящими от степени компенсации дополнительно внесенного момента инерции нагрузочной машины. Это затрудняет настройку внешнего контура на технический оптимум. Для точной настройки на технический оптимум на входе системы управления устанавливается легко реализуемое на аналоговых элементах форсирующее звено вида

$$W_з(p) = \frac{\frac{4T_\mu}{1-N}p + 1}{2T_\mu p + 1} . \qquad (4)$$

В этом случае передаточная функция нагрузочной части установки настраивается точно на технический оптимум, но при перестройке Д-звена необходима соответствующая перестройка и форсирующего звена. Во многих случаях между испытуемыми устройствами и нагрузочными машинами необходима установка редукторов, снижающих приведенный момент инерции НМ или согласующих величину вращающих моментов испытуемого устройства и НМ. В.В.Рудаковым[x] приведены рекомендации по определению передаточных чисел редукторов из условия получения максимального значения производной частоты вращения, т.е. минимальной электромеханической постоянной времени системы.

---

[x] В.В.Рудаков. Стенд для моделирования реальных нагрузок при испытаниях угольных комбайнов. - Известия вузов, Горный журнал, 1973, № 8.

При определении передаточного числа мультипликатора следует исходить из возможности получения максимального замедления установки при заданных параметрах нагрузочной машины, поскольку динамический момент при замедлении определяется разностью приведенных моментов НМ и ИП, а при ускорении - их суммой. Реверсивный тиристорный преобразователь позволяет реализовать оба режима.

Величина замедления определяется выражением

$$\frac{d\omega_{ип}}{dt} = \frac{M_{нм} i_м - M_{ип}}{J_{нм} i_м^2 + J_{ип}}, \qquad (5)$$

где $M_{нм}$ - момент нагрузочной машины; $J_{нм}$ - момент инерции нагрузочной машины; $i_м$ - передаточное число мультипликатора; $M_{ип}$ - момент испытуемого привода; $J_{ил}$ - суммарный момент инерции испытуемого привода.

Оптимальное значение передаточного числа, обеспечивающего максимальное значение замедления, определяется выражением[x]

$$i = m + \sqrt{m^2 + j}, \qquad (6)$$

где

$$m = \frac{M_{ип}}{M_{нм}}, \quad j = \frac{J_{ип}}{J_{нм}}.$$

Следует иметь в виду, что увеличение передаточного числа мультипликатора существенно увеличивает электромеханическую постоянную времени испытательного стенда:

$$T_м = \frac{(J_{ип} + i_м^2 J_{нм})\omega_0 s_н}{M_{ип}}, \qquad (7)$$

где ω_0 - синхронная частота вращения; $s_н$ - номинальное скольжение.

Увеличение передаточного числа мультипликатора потребует усиления степени коррекции электромеханической постоянной времени установки для компенсации влияния момента инерции, вносимого нагрузочной системой.

При выборе передаточного отношения мультипликатора должны быть соблюдены следующие условия: I) для снижения искажений мультипликатор должен быть одноступенчатым; 2) изменение электромеханической постоянной времени испытуемого привода должно быть по возможности малым; 3) момент, создаваемый нагрузочной частью, должен обеспечить те же замедления, что и в условиях реальной эксплуатации. Последние два условия являются противоречивыми, поэтому оптимальное передаточное число должно быть разумным компромиссом.

Для определения рациональных значений передаточного числа мультипликатора испытательного стенда приводов горных комбайнов на рис.2 построены зависимости электромеханической постоянной времени и величины замедления рабочего органа комбайна в функции передаточного числа мультипликатора $T_м = f(i_м)$ и $d\omega/dt = f(i_м)$. Во всех случаях принято $\omega_0 = 156\ с^{-1}$, $s_н = 0{,}02$.

[x] Л.Б.Гейлер. Основы электропривода. Минск, Высшая школа, 1972.

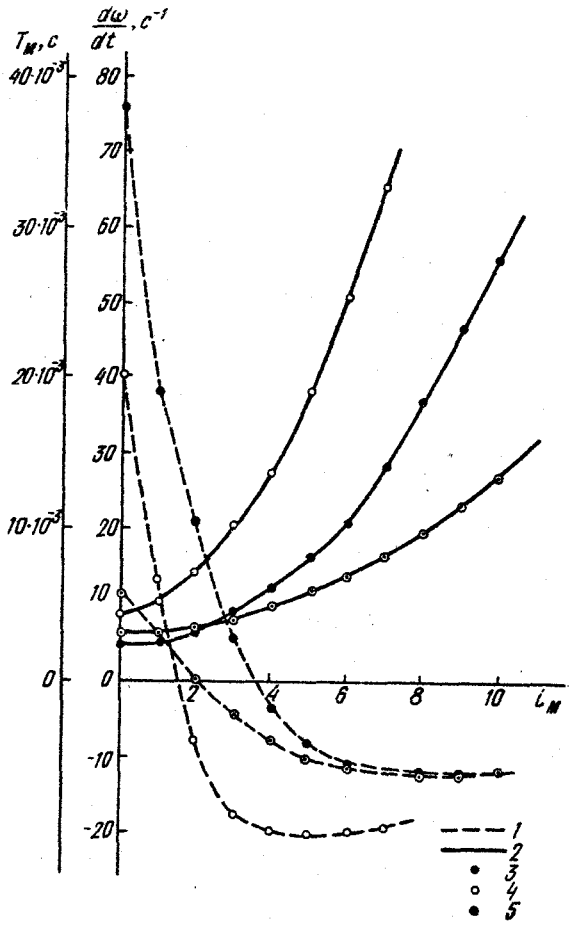


Рис.2. Зависимости $\frac{d\omega}{dt} = f(i_м)$ и $T_м = f(i_м)$ для трех вариантов приводов комбайнов
1 – $d\omega/dt$; 2 – $T_м$; 3 – комбайн 500 кВт; 4 – комбайн ГШ-68; 5 – комбайн КШ-1кг

Как видно из рис.2, при $i_м = 4 \div 5$ величина замедления достаточно близка к максимально достижимому значению и в то же время обеспечивает не слишком большое увеличение электромеханической постоянной времени $T_м$. Рекомендуемые передаточные числа мультипликатора должны иметь $i_м = 3 \div 5$ в зависимости от частоты вращения исполнительного органа данного комбайна.

При моделировании нагрузки на электропривод горного комбайна случайный задающий сигнал на входе нагрузочной установки должен быть сформирован в соответствии со статистическими характеристиками реальной нагрузки. Реализация такого задающего сигнала осуществляется с помощью генератора белого шума и формирующего фильтра. В качестве генератора белого шума используется устройство в виде вращающегося барабана, заполненного токопроводящими шариками. Ось и стенка барабана выполнены из токопроводящего материала. При вращении барабана шарики перекатываются, что приводит к изменению проводимости между осью и стенкой. Снимаемый сигнал имеет равномерный спектр частот до 15–16 $с^{-1}$.

При построении формирующего фильтра используется свойство случайного сигнала изменять свои статистические характеристики при прохождении через линейные стационарные фильтры. Спектральная плотность сигнала, прошедшего через такой фильтр, определяется по формуле

$$S(\omega)_{вых} = S(\omega)_{вх} \left| W(j\omega) \right|^2, \qquad (8)$$

где $S(\omega)_{вх}$ – спектральная плотность сигнала на входе фильтра; $\left| W(j\omega) \right|$ – модуль амплитудно-частотной характеристики фильтра.

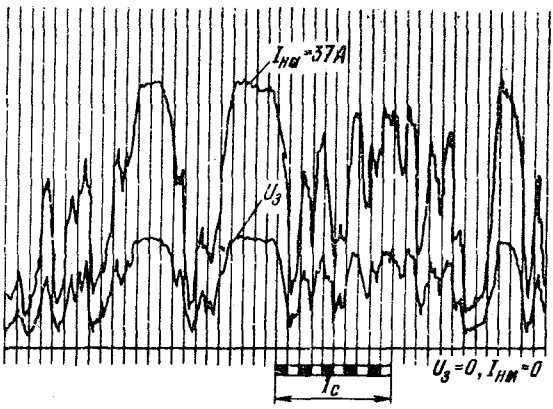


Рис.3. Осциллограмма отработки задающего сигнала током нагрузочной установки

Зная спектральную плотность сигнала на входе фильтра и спектральную плотность реального графика нагрузки комбайнового двигателя, легко получить квадрат модуля АЧХ фильтра и перейти к передаточной функции последнего.

При воспроизведении реального графика нагрузки электропривода горного комбайна на электродинамической модели стенда была получена осциллограмма (рис.3).

Измерения, проведенные на ЭДМ, показали высокий статический КПД нагрузочной установки, равный 70 %. Можно ожидать, что нагрузочные установки, выполненные на элементах большой мощности, будут иметь еще более высокий КПД.

Выполненная испытательная установка позволит производить большой комплекс работ по испытанию и исследованию электродвигателей и создать новые серии электродвигателей, наилучшим образом отвечающих условиям работы.