Записки Ленинградского орденов Ленина и Трудового Красного Знамени горного института им. Г. В. Плеханова, т. XXXIX, вып. 1, 1959 г.

ВЛИЯНИЕ ПАРАМЕТРОВ ОДНОКОНТУРНОЙ СИСТЕМЫ РЕГУЛИРОВАНИЯ НА ДИНАМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПРИВОДА Г-Д

Р. П. Чичиванов

Переходные процессы в замкнутой одноконтурной системе при определенных допущениях могут быть описаны линейным дифференциальным уравнением

$$D(p)\,x_{вых} + Kx_{вых} = K'x_{о.з} + Mf(t), \qquad (1)$$

где $D(p)$ — оператор разомкнутой системы;
K — коэффициент усиления разомкнутой цепи регулирования, характеризующий действенность системы регулирования в статическом и динамическом режимах;
K' — коэффициент усиления разомкнутой системы;
$x_{вых}$ — регулируемая величина на выходе системы;
$x_{о.з}$ — задающее воздействие на входе системы;
$Mf(t)$ — возмущающие воздействия.

Порядок дифференциального уравнения определяется числом и характером звеньев, входящих в систему. Замкнутые системы электро-

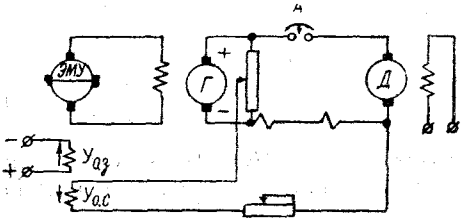


Рис. 1. Схема электромашинного управления приводом Г-Д

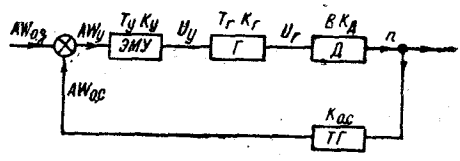


Рис. 2. Структурная схема одноконтурной системы регулирования

машинного управления приводом Г-Д (рис. 1, 2) обычно описываются дифференциальным уравнением высокого (4—6) порядка. Решение таких дифференциальных уравнений, а тем более их анализ, т. е. выявление влияния нужных параметров на процессы в системе, весьма затруднительны. Однако исследование уравнения высокого порядка необходимо, главным образом при рассмотрении вопросов устойчивости системы При исследовании же динамики процессов разгона и замедления привода Г-Д порядок дифференциального уравнения без существенного

ущерба может быть снижен до второго за счет пренебрежения постоянной времени ЭМУ ($T_у = 0{,}04 \div 0{,}2$ *сек*) вследствие относительной малости ее по сравнению с электромагнитной постоянной времени генератора ($T_г = 1{,}5 \div 4$ *сек*) и электромеханической постоянной привода B. При этом переходный процесс в системе опишется дифференциальным уравнением второго порядка, операторная форма которого

$$[T_г B p^2 + (T_г + B)p + K + 1]\, n = K' A W_{о.з} - R_я i_я, \qquad (2)$$

где n — скорость двигателя;
$A W_{о.з}$ — ампервитки возбуждения задающей обмотки ЭМУ;
$R_я$ — сопротивление главной якорной цепи;
$i_я$ — ток нагрузки двигателя;

$$K' = K_у K_г K_д;$$
$$K = K_у K_г K_д K_{о.с};$$

$K_у$, $K_г$, $K_д$, $K_{о.с}$ — соответственно коэффициенты усиления (преобразования) усилителя $K_у = \frac{U_у}{A W_у}$, генератора $K_г = \frac{U_г}{U_у}$, двигателя $K_д = \frac{n}{U_г}$ и обратной связи $K_{о.с} = \frac{A W_{о.с}}{n}$.

Так как основное влияние на характер переходных процессов в приводе Г-Д оказывает характер процесса возбуждения генератора, рассмотрение переходных процессов в системе (схема рис. 1) целесообразно начать с установления и исследования зависимости $e_г = f(t)$. При выключенном автомате в главной якорной цепи обратная регулирующая связь действует как связь э. д. с. генератора. Для этого случая дифференциальное уравнение переходного процесса возбуждения генератора при подключении задающей обмотки возбуждения ЭМУ на неизменное напряжение получено в виде

$$T_г \frac{de_г}{dt} + (1 + K) e_г = K' A W_{о.з}. \qquad (3)$$

Как известно, решение такого уравнения для нулевых начальных условий

$$e_г = \frac{K'}{1+K} A W_{о.з} \left(1 - e^{-\frac{t}{\frac{T_г}{1+K}}}\right) \qquad (4)$$

При размыкании регулирующей обратной связи ($K = 0$) и введении соответствующего сопротивления в цепь задающей обмотки с целью получения

$$A W'_{о.з} = \frac{A W_{о.з}}{1+K}.$$

в разомкнутой системе

$$e_г = K' A W'_{о.з} \left(1 - e^{-\frac{t}{T_г}}\right). \qquad (5)$$

Как следует из уравнений (4) и (5), в обоих случаях процесс возбуждения генератора $e_г = f(t)$ подчиняется экспоненциальному закону, но в замкнутой системе этот процесс происходит значительно быстрее, чем в разомкнутой. Причем действие регулирующей обратной связи на

переходный процесс эквивалентно уменьшению в $(1+K)$ раз величины постоянной времени обмотки возбуждения генератора. Таким образом, при рассмотрении переходных процессов в схеме с регулирующей обратной связью удобнее оперировать не с конструктивной постоянной времени самой обмотки возбуждения $T_г$, а с эквивалентной постоянной времени процесса возбуждения $T_э$. В данном случае, если пренебречь инерционностью ЭМУ, эквивалентная постоянная времени

$$T_э = \frac{T_г}{1+K}. \tag{6}$$

При замыкании автомата главной якорной цепи процесс возбуждения генератора должен протекать несколько более форсированно, так как в этом случае регулирующее воздействие, передаваемое на вход системы регулирующей обратной связью, пропорционально не э. д. с. генератора, а э. д. с. двигателя. Запаздывание во времени действия обратной связи обусловлено не только электромагнитной инерцией контура возбуждения генератора, но и электромеханической инерцией привода, а также величиной статической нагрузки. Однако влияние последних факторов на быстродействие системы вообще незначительно [1] в силу физической сущности процессов в приводе Г-Д. Кроме того, некоторое увеличение форсировки, возбуждения генератора компенсируется неучтенной инерционностью ЭМУ. Это позволяет при рассмотрении реального процесса возбуждения генератора часто пользоваться соотношением (4), распространяя на реальный процесс возбуждения генератора выводы о влиянии величины коэффициент усиления K на быстродействие системы и определяя расчетное значение эквивалентной электромагнитной постоянной времени процесса возбуждения генератора, согласно выражению (6). При выводе зависимостей, характеризующих процессы разгона и замедления привода $n = f(t)$ и $i_я = f(t)$, целесообразно воспользоваться уравнением (4), т. е. по-прежнему пренебречь инерционностью ЭМУ, а действие регулирующей обратной связи по скорости (э. д. с.) с двигателя рассматривать как связи по э. д. с. генератора.

При принятых допущениях уравнения, выражающие изменение скорости и тока двигателя машины при пуске под нагрузкой, были получены [2] в следующем виде [1]

$$n = \frac{K'AW_{о.з}}{C_e(1+K)(T_э - B)}\left[T_э\left(1 - e^{-\frac{t}{T_э}}\right) - B\left(1 - \gamma e^{-\frac{t}{B}}\right)\right] - \frac{\Delta n_{ст}}{1+K}; \tag{7}$$

$$i_я = \frac{B}{T_э - B}\frac{K'AW_{о.з}}{(1+K)R_я}\left(e^{-\frac{t}{T_э}} - \gamma e^{-\frac{t}{B}}\right) + I_{ст}, \tag{8}$$

---

[1] Уравнение (7) представляет решение дифференциального уравнения движения электропривода для нулевых начальных условий

$$\frac{\partial n}{\partial t} + \frac{n}{B} + \frac{\Delta n_{ст}}{B} = \frac{e_г}{BC_e} = \frac{K'AW_{о.з}}{B(1+K)C_e}(1 - e^{-\frac{t}{T_э}}),$$

которое является следствием совместного решения уравнения возбуждения генератора (4), уравнения электрического равновесия главной якорной цепи Г-Д

$$e_г = e_д + i_я R_я = C_e n + i_я R_я$$

и уравнения механического равновесия привода

$$M_{дин} = M_{ст} + \frac{GD^2}{375}\frac{\partial n}{\partial t}.$$

где $\frac{K'AW_{0.з}}{C_e(1+K)} = n_0$ — скорость идеального холостого хода двигателя;

$\Delta n_{ст}$ — отклонение действительной скорости от скорости идеального холостого хода в установившемся режиме в разомкнутой системе, обусловленное моментом статической нагрузки двигателя;

$I_{ст}$ — ток статической нагрузки двигателя;

C_e — коэффициент э. д. с. двигателя;

$$\gamma = \left(\frac{n_0}{n_0 - \Delta n_{ст}}\right)^{\frac{T_э - B}{B}}.$$

Максимальное значение пускового тока, а также время прохождения тока через максимальное значение

$$I_{max} = \frac{K'AW_{0.з}}{(1+K)R_я} \cdot \frac{n_0 - \Delta n_{ст}}{n_0}\left(\frac{B}{T_э}\right)^{\frac{T_э}{T_э - B}} + I_{ст}; \qquad (9)$$

$$t_{max} = \frac{T_э B}{T_э - B} \ln \frac{\gamma T_э}{B}. \qquad (10)$$

Выражения (7)—(10) наиболее общие для процессов разгона в приводе Г-Д. Уравнения переходного процесса для привода Г-Д [1] с обычной схемой управления будут частным случаем уравнений (7) и (8) и получаются из них при коэффициенте усиления $K = 0$.

Зависимости (7)—(10) исследовались в отношении выявления влияния на процессы разгона и замедления параметров системы регулирования K, и программы изменения задающего воздействия на входе системы (приращения ампервитков задающей обмотки ЭМУ на данной пусковой ступени). Исследование проводилось применительно к реальному приводу шахтной подъемной машины.

Данные привода: подъемный двигатель типа ПБК-380/80, $P_н = 2000$ *квт*, $U_н = 900$ *в*, $I_н = 2450$ *а*, $n = 30$ об/мин; генератор типа ПБК-120/45, $P_н = 1900$ *квт*, $U_н = 900$ *в*, $I_н = 2230$ *а*, $n = 750$ об/мин; электромашинный усилитель типа ЭМУ-110, $P_н = 10$ *квт*, $U_н = 230$ *в*, $I_н = 43{,}5$ *а*, $n = 1450$ об/мин.

Электромагнитная постоянная времени генератора 2,38 *сек* и электромеханическая постоянная времени привода 0,425 *сек*, подсчитанные для данного привода, характерны для приводов мощных шахтных подъемных машин.

Для оценки влияния величины коэффициента усиления K на процессы разгона машины рассматривался идеальный случай одноступенчатого пуска машины без нагрузки ($M_{ст} = 0$). При этом зависимости (7) и (8) упростились, так как в них $\Delta n_{ст} = 0$ и $\gamma = 1$. Для последнего случая на основании уравнений (7) и (8) на рис. 3 приведены кривые $n = f(t)$ и и $i_я = f(t)$ при различных значениях K. Величина ампервитков задающей обмотки ЭМУ при изменении значений коэффициента K каждый раз устанавливалась так, чтобы обеспечить одинаковую величину установившейся скорости n_0.

Как следует из графиков рис. 3 и уравнений (7) и (8), величина коэффициента усиления разомкнутой цепи регулирования K оказывает исключительно большое влияние на характер переходных процессов в системе (при увеличении коэффициента усиления K процессы разгона и замедления протекают значительно быстрее). Однако увеличение быстродействия системы достигается за счет ухудшения динамического

и энергетического режимов работы привода: процессы разгона и замедления протекают с большей неравномерностью и сопровождаются большими пиками тока и ускорения двигателя. Такой характер переходных процессов в замкнутой системе объясняется, главным образом, форсированным возбуждением генератора за счет запаздывания действия регулирующей обратной связи.

По характеру влияния на переходный процесс увеличения коэффициента усиления K в замкнутой системе при определенных допущениях можно считать эквивалентным уменьшению в $1+K$ раз величины электромагнитной постоянной времени обмотки возбуждения генера-

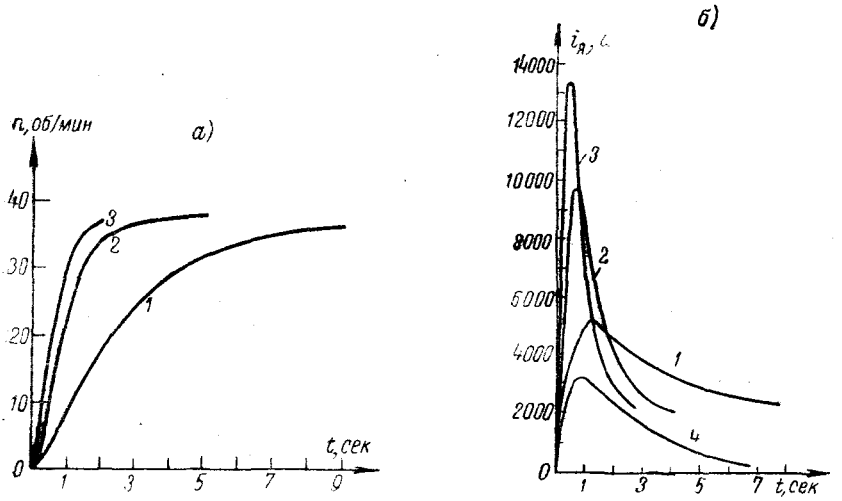


Рис. 3. Кривые изменения:
а — скорости $n = f(t)$ при пуске двигателя вхолостую; *б* — тока $i_я = f(t)$ при одноступенчатом пуске двигателя и $M_{ст} = M_н$; $T_г = 2{,}38$ *сек*, $B = 0{,}425$ *сек*; *1* — $K = 0$; *2* — $K = 4$; *3* — $K = 9$; *4* — $K = 0$ и $M_{ст} = 0$

тора $T_г$ в разомкнутой системе. Особенно значителен эффект увеличения быстродействия системы при увеличении коэффициента усиления K до 3—4. Дальнейшее увеличение K влияет на быстродействие системы уже в гораздо меньшей степени.

В реальных приводах с целью снижения максимальных толчков тока до допустимого значения и получения большей равномерности изменения скорости процессы разгона и замедления машины обычно осуществляются в несколько ступеней. На основании формулы (8) можно заключить, что при заданных значениях $T_г$, B и K максимальные значения пускового тока, т. е. ускорения привода, являются функцией приращения ампервитков задающей обмотки ЭМУ на данной ступени. Чем больше величина приращения ампервитков (величина ступени), тем больше пики тока и ускорения, причем время протекания тока через максимум, а также время нарастания скорости до заданной от величины ступени не зависят, а определяются значением коэффициента усиления K и соотношением величины $T_г$ и B.

Таким образом, приемлемый динамический режим работы привода с замкнутой системой управления и регулирования может быть достигнут соответственным увеличением числа пусковых ступеней командоаппарата управления по сравнению с обычной системой привода. Уменьшение величины ступеней командоаппарата $\Delta AW_{о.з}$ благоприятно

сказывается и на уменьшении колебательности переходных процессов в системе.

Необходимо отметить возможность воздействия в нужном направлении на переходные процессы в системе с электромашинным управлением и другими способами, например действием гибкой обратной связи по напряжению ЭМУ.

Полученные выше выводы о влиянии величины коэффициента усиления K и программы изменения задающего воздействия $\Delta W_{0.3}$ на динамические свойства электропривода позволяют правильно подойти к расчету и выбору основных параметров системы регулирования, а также к вопросу конструктивного построения схемы управления.

ИСПОЛЬЗОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Морозов Д. П. Теория электропривода и автоматика реверсивных станов. Госэнергоиздат, 1949.

2. Чичиванов Р. П. Исследование системы электромашинного управления автоматизированным электроприводом Г-Д для шахтной подъемной машины. Канд. диссертация. Фонды ЛГИ, 1954.