

**ВЛИЯНИЕ МОМЕНТА ИНЕРЦИИ И МОМЕНТА СОПРОТИВЛЕНИЯ
ПРИВОДА НА ПЕРЕХОДНЫЕ ПРОЦЕССЫ ПУСКА И РЕВЕРСА
РОЛЬГАНГОВЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ**

Е. В. Кононенко, Б. А. Данчинов

(Представлена научным семинаром кафедр электрических машин
и общей электротехники)

В зависимости от проводимого механизма двигатель может работать при различных моментах инерции, приведенных к его валу, и различных моментах сопротивления нагрузки. Поэтому оценка влияния различных маховых масс и моментов сопротивления в асинхронных, в частности, в рольганговых двигателях представляет практический интерес.

Эти исследования производились на АВМ типа МН-14 для рольгангового двигателя, имеющего следующие основные параметры в относительных единицах: $r_s=0,0545$, $r_r=0,206$, $x_m=2,05$, $J_{рот}=61,5$. При расчетах использовались уравнения и схема модели, приведенные в [1].

Использование аналоговых вычислительных машин для этих целей исключает влияние целого ряда факторов случайного характера, неизбежных при экспериментальных исследованиях, позволяет быстро и просто производить исследования с изменением параметров привода в широких пределах.

В общем случае уравнение движения электропривода имеет вид:

$$M - M_c = J_z \frac{d\omega}{dt} + \frac{\omega}{2} \cdot \frac{dJ_z}{dt}, \quad (1)$$

где M — вращающий момент двигателя,

M_c — момент сопротивления нагрузки,

J_z — суммарный момент инерции привода, приведенный к валу двигателя,

ω — угловая скорость двигателя,

t — время.

Правая часть уравнения (1) состоит из двух членов: первого — связанного с изменением скорости движения, второго — обусловленного изменением кинетической энергии системы вследствие изменения момента инерции в зависимости от угла поворота.

В приводах рольгангов момент инерции постоянен, от угла поворота роликов рольганга не зависит, а следовательно, второй член правой части уравнения (1) отпадает. В этом случае уравнение движения привода принимает вид:

$$M - M_c = J_z \frac{d\omega}{dt}. \quad (2)$$

Статический момент нагрузки M_c для разных рабочих машин имеет различный характер изменения. Основными факторами, от которых зави-

сит величина момента сопротивления, являются скорость, путь, время и особенности самого технологического процесса.

В соответствии с существующей классификацией исполнительных механизмов по характеру статического момента приводы роликов рабочих и транспортных рольгангов следует относить к классу механизмов с постоянным моментом сопротивления [2]. Поэтому при исследовании влияния момента сопротивления на переходные процессы полагалось, что $M_c = \text{const}$. Кроме того, в приводах рольгангов момент сопротивления нагрузки является реактивным, изменяющим свой знак при изменении направления движения. В связи с этим в схеме модели [1] предусмотрено изменение знака M_c в зависимости от знака скорости с помощью операционного реле ОПР-1.

На рис. 1 и 2 представлены осциллограммы пуска и реверса при различных значениях приведенного к валу двигателя момента инерции привода, где

где $K_J = \frac{J_{\Sigma}}{J_{\text{рот}}}$ — отношение суммарного момента инерции J_{Σ} к моменту инерции ротора $J_{\text{рот}}$.

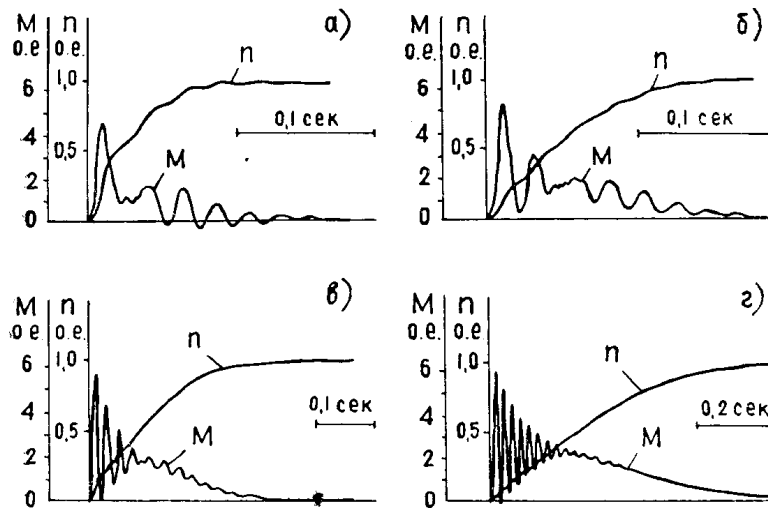


Рис. 1. Осциллограммы пуска с различными значениями приведенного момента инерции ($M_c = 0$). а — $J_{\Sigma} = 0,5 J_{\text{рот}}$; б — $J_{\Sigma} = J_{\text{рот}}$; в — $J_{\Sigma} = 2 J_{\text{рот}}$; г — $J_{\Sigma} = 5 J_{\text{рот}}$.

Из осциллограмм видно, что с увеличением момента инерции привода количество пульсаций момента в начальной стадии переходного режима увеличивается, что объясняется большим влиянием электромагнитных переходных процессов, обусловленных возникновением свободных составляющих переходного момента. Как известно [3], коэффициенты затухания этих составляющих момента, так же как и их частоты, изменяются в зависимости от скорости вращения ротора, причем с увеличением скорости коэффициенты быстрозатухающих составляющих уменьшаются, а медленнозатухающих, оказывающих основное влияние на переходные процессы, — увеличиваются. Поэтому чем больше момент инерции привода, тем скорость ротора нарастает медленнее, двигатель дольше работает в области низких скоростей, электромагнитные переходные процессы протекают дольше, что в конечном счете приводит к большему числу пульсаций переходного момента.

Несмотря на увеличивающиеся пульсации момента колебания скорости вращения ротора уменьшаются, так как значительные маховые массы сглаживают эти колебания.

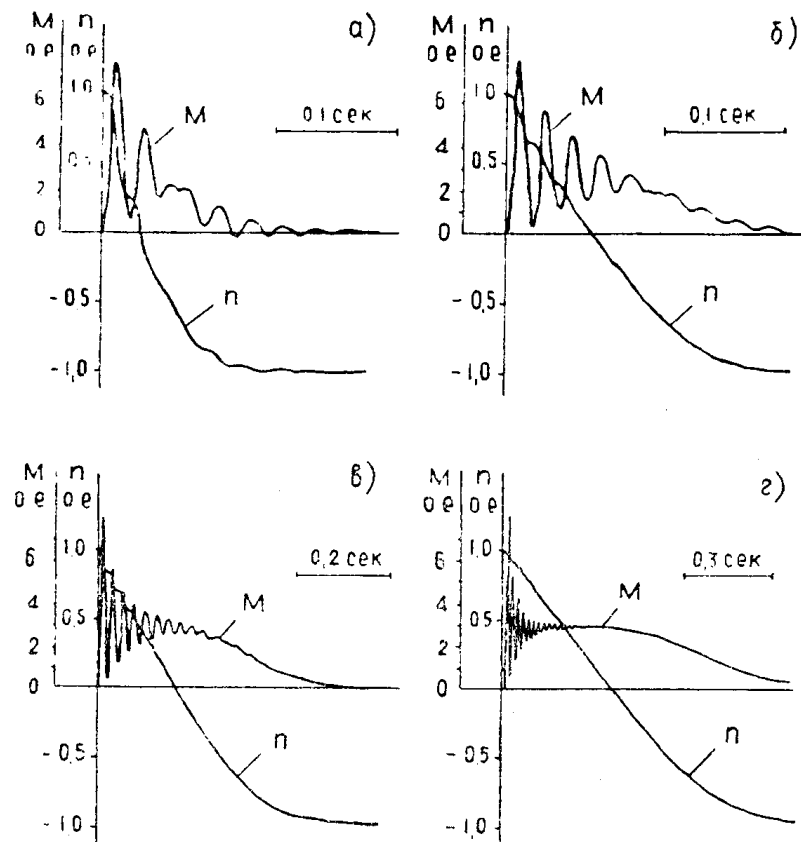


Рис. 2. Осциллограммы реверса с различными значениями приведенного момента инерции ($M_c=0$). а — $J_{\Sigma} = 0,5J_{\text{рот}}$; б — $J_{\Sigma} = J_{\text{рот}}$; в — $J_{\Sigma} = 2J_{\text{рот}}$; г — $J_{\Sigma} = 5J_{\text{рот}}$.

В конце переходного процесса при увеличении момента инерции при- вода пульсации в кривой момента исчезают, так как нарастание скорости двигателя происходит все медленнее.

При малых маховых массах ротор двигателя получает большое ускорение (замедление) и в результате возникновения свободных токов, обусловленных изменением скорости, в конце переходного процесса в кривой момента возникают знакопеременные пульсации, особенно при $k_J < 1$. При этом в кривой скорости наблюдаются значительные колебания, соответствующие изменению переходного момента.

Практически невозможный случай, когда $k_J < 1$, дает представление о характере качественных и количественных изменений переходного процесса и может быть использован на стадии проектирования двигателей.

Количественные изменения переходных характеристик приведены на рис. 3, из которого видно, что время переходного режима (за время пуска $t_{\text{п}}$ и реверса $t_{\text{р}}$ принято время достижения ротором скорости, равной 0,95 установившегося значения) возрастает почти пропорционально суммарному моменту инерции.

Ударные значения переходного момента в пусковом режиме при $k_J > 2,5 \div 3$ можно считать практически не зависящими от добавочных масс. Объяснить это можно той же зависимостью коэффициентов затухания от скорости вращения.

При значительных маховых массах скорость ротора нарастает настолько медленно, что за время достижения переходным моментом своего первого максимума (0,005 ÷ 0,008 сек) она изменяется очень незначи-

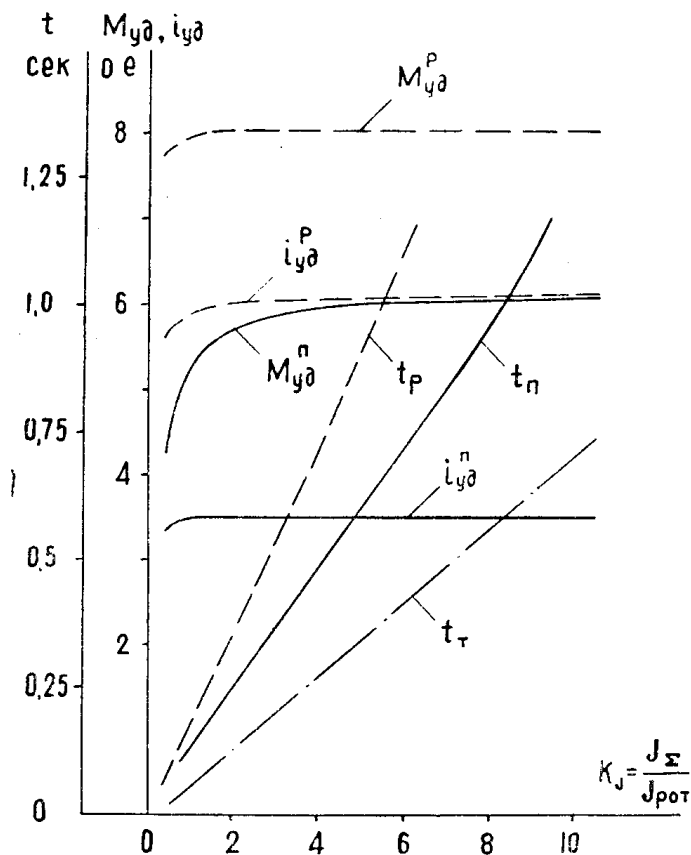


Рис. 3. Зависимости ударных тока и момента и времени переходных режимов от приведенного момента инерции ($M_c=0$). Индексы означают: п — пуск, р — реверс, т — торможение противовключением

тельно. Поэтому и коэффициенты затухания также изменяются очень незначительно, а следовательно, при прочих равных условиях значения $M_{\text{уд}}$ почти не зависят от величины маховых масс.

Совершенно другая картина наблюдается при $\kappa_J < 2,5$: уменьшение J_Σ приводит к резкому уменьшению $M_{\text{уд}}$. Дело в том, что при малых маховых массах ротор двигателя получает большое ускорение и за время достижения момента своего максимума скорость успевает измениться весьма существенно, причем при разных значениях J_Σ на разную величину. Возрастание в связи с этим коэффициентов затухания медленнозатухающих свободных составляющих переходного момента приводит к более быстрому затуханию электромагнитного переходного процесса и в результате к уменьшению ударных моментов.

Разница в значениях ударных моментов при различных J_Σ в этом случае определяется разницей между начальной скоростью и скоростью, при которой момент достигает ударного значения.

В режиме реверса постоянство $M_{\text{уд}}$ наблюдается при $\kappa_J < 1,5$. Объяснить это можно тем, что при реверсе даже при относительно небольших маховых массах в начальный момент ротор сохраняет постоянство скорости дольше из-за приобретенной приводом кинетической энергии.

По этим же причинам можно объяснить практическое постоянство и ударных токов при любых значениях суммарного момента инерции.

На рис. 4 и 5 приведены осциллограммы, а на рис. 6 зависимости переходных характеристик при пуске и реверсе двигателя с различными значениями момента сопротивления нагрузки.

При пуске (рис. 4) увеличение нагрузки приводит к аналогичному изменению характера переходных процессов, что и увеличение момента инерции: в начальной стадии пуска возникают пульсации момента со значительными амплитудами, которые длятся в течение времени достижения ротором скорости, равной $0,4 \div 0,5$ синхронной; в конце переходного процесса наблюдаются незначительные колебания момента, которые с увеличением нагрузки уменьшаются и затем исчезают; число пульсаций больших амплитуд с увеличением нагрузки увеличивается, затухание пульсаций замедляется. Причинами подобных изменений характера переходных процессов при увеличении момента нагрузки являются те же, что и при увеличении момента инерции.

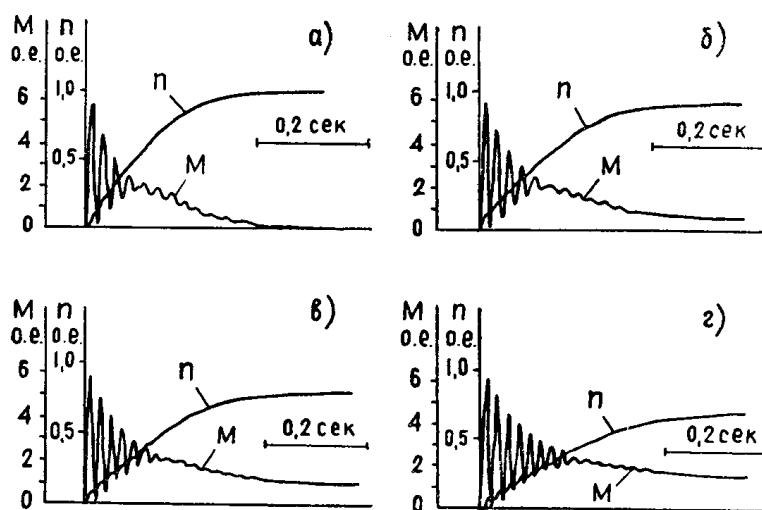


Рис. 4. Осциллограммы пуска с различными значениями момента нагрузки ($J_{\Sigma} = 2 J_{\text{рот}}$). а — $M_c = 0$; б — $M_c = 0,5$; в — $M_c = 1,0$; г — $M_c = 1,5$

При пуске двигателя с нагрузкой ротор ускоряется с некоторыми колебаниями, так как при пульсирующем изменении момента двигателя в период провалов в его кривой момент сопротивления нагрузки становится больше вращающего момента двигателя. Чем больше момент сопротивления, тем больше эти колебания.

При реверсе (рис. 5) затухание пульсаций момента происходит значительно медленнее, чем при пуске; ротор двигателя под действием его тормозного момента и момента сопротивления нагрузки резко замедляется; разворот в обратную сторону происходит с небольшим (в зависимости от величины M_c) ускорением и колебаниями.

Величина нагрузки на валу двигателя как при пуске, так и при реверсе практически не оказывает влияния на величину ударных тока и момента (рис. 6); чем больше M_c , тем меньше время торможения противо-

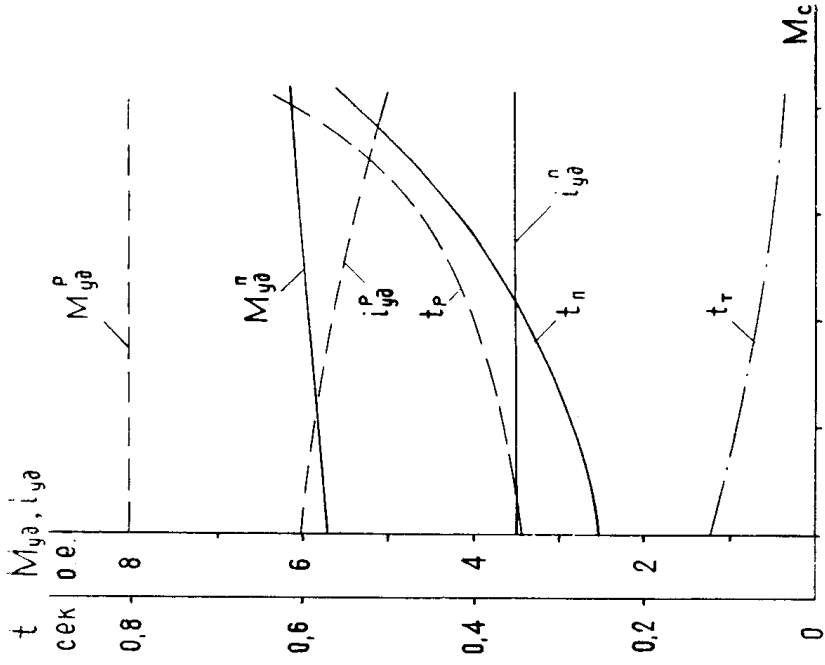


Рис. 6. Зависимости ударных тока и момента и времени переходных режимов от момента нагрузки ($J_{\Sigma} = 2 J_{\text{порт}}$)

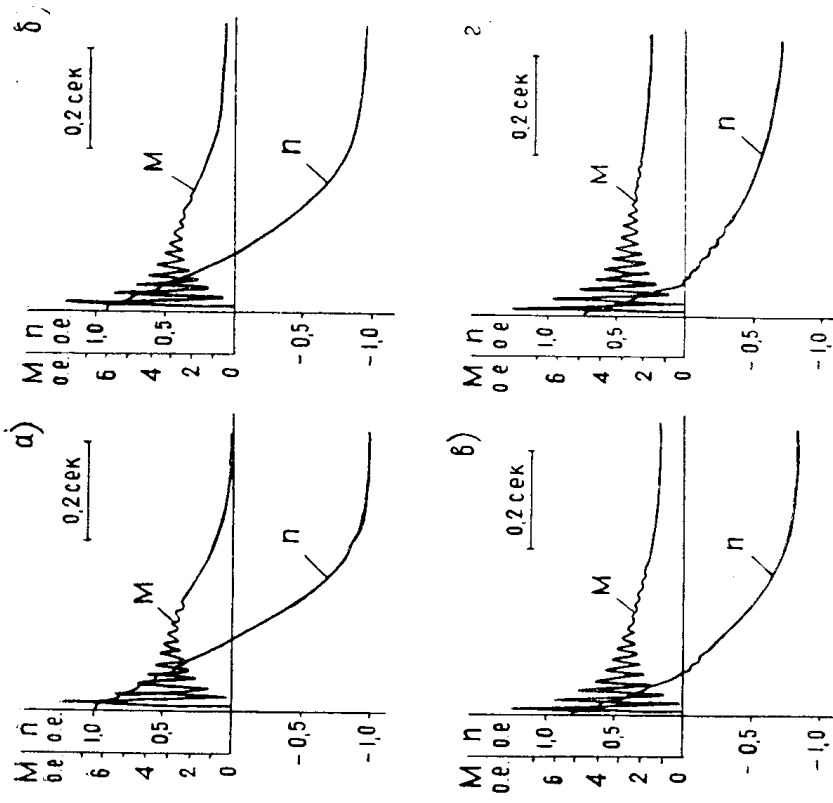


Рис. 5. Осциллограммы реверса с различными значениями момента нагрузки ($J_{\Sigma} = 2 J_{\text{порт}}$). а — $M_c = 0$; б — $M_c = 0,5$; в — $M_c = 1,0$; г — $M_c = 1,5$

током t_T ; время пуска t_n и общее время реверсирования t_p с увеличением M_c возрастает вначале медленно (до $0,5 \div 0,6$ о. е.), затем быстро.

Таким образом, можно сказать, что увеличение J_{Σ} и M_c приводит к увеличению времени переходных режимов, ударные же значения токов и моментов при практически возможных значениях J_{Σ} и M_c сохраняются постоянными; переходные процессы пуска и реверса при больших маховых массах и нагрузках сопровождаются возникновением значительных и длительных пульсаций электромагнитного момента, что отрицательно сказывается на работе кинематических звеньев привода, снижая его надежность и долговечность.

ЛИТЕРАТУРА

1. Е. В. Кононенко, Б. А. Данчинов. Исследование электро-механических переходных процессов рольганговых двигателей на АВМ с учетом насыщения стали потоками рассеяния. Статья в настоящем сборнике.
 2. В. П. Андреев, Ю. А. Сабинин. Основы электропривода. ГЭИ, 1963.
 3. М. М. Соколов, Л. П. Петров, Л. Б. Масандилов, В. А. Ландензон. Электромагнитные переходные процессы в асинхронном электроприводе. «Энергия», 1967.
-