

ПЕРЕХОДНЫЕ РЕЖИМЫ АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ
В ПРИВОДАХ С ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ ФРИКЦИОННОЙ
МУФТОЙ*М. Ф. Филиппов*

ВВЕДЕНИЕ

Все новые и реконструированные предприятия нашей социалистической промышленности характеризуются высокой степенью электрификации и дальнейшее развитие энергоснабжения промышленных предприятий пойдет по пути еще более глубокого внедрения электрического привода во все отрасли народного хозяйства.

Электрический двигатель, как преобразователь электрической энергии в механическую, находит применение для самых разнообразных исполнительных механизмов.

Теория электропривода, освещающая вопросы взаимоотношения двигателя и исполнительного механизма, еще молодая отрасль электротехники, непрерывно и быстро развивается, но практическое развитие электропривода идет настолько быстрыми темпами, что очень много вопросов не нашли еще соответствующего отражения в теории.

Между тем практика настойчиво требует разрешения этих вопросов, т. к. рациональный выбор элементов электрического привода возможен только тогда, когда имеется отчетливое представление о поведении этих элементов в их взаимной связи, когда известно, какие факторы влияют положительно на условия работы электропривода и какие—отрицательно.

Самое важное не только знать эти факторы, но и иметь возможность оценить их количественно.

Как известно, для правильного выбора двигателя по мощности необходимо иметь, особенно при повторно-кратковременных режимах, график его нагрузки. При повторно-кратковременных режимах с непродолжительными циклами, на характер нагрузочной диаграммы очень большое влияние имеют переходные режимы двигателя, и в последнее время в теории электропривода вопросу переходных режимов уделяется все большее и большее внимание.

Изучение переходных режимов двигателя в различных установках является на сегодняшний день одной из актуальнейших проблем теории электропривода.

Учесть точно переходные режимы и создать для них оптимальные условия, это значит добиться максимального использования оборудования и повысить производительность исполнительного механизма.

Предлагаемая работа посвящена вопросу переходных режимов асинхронного двигателя в приводах с электромагнитными муфтами. Этот вопрос до сих пор не получил должного разрешения.

КИНЕМАТИЧЕСКАЯ СХЕМА

На рис. 1 изображена кинематическая схема привода с реверсивной электромагнитной муфтой трения. Для наглядности вывода основных уравнений взята наиболее простая схема, но все выведенные ниже зависимости относятся и к сложным схемам.

В изображенной на рис. 1 муфте левый сердечник муфты C_B служит для хода „вперед“ и связан с валом двигателя через зубчатую передачу с передаточным числом i_B . Правый сердечник C_H включается при ходе „назад“ и связан с валом двигателя через паразитную шестерню δ ; передаточное число при ходе „назад“ равно i_H .

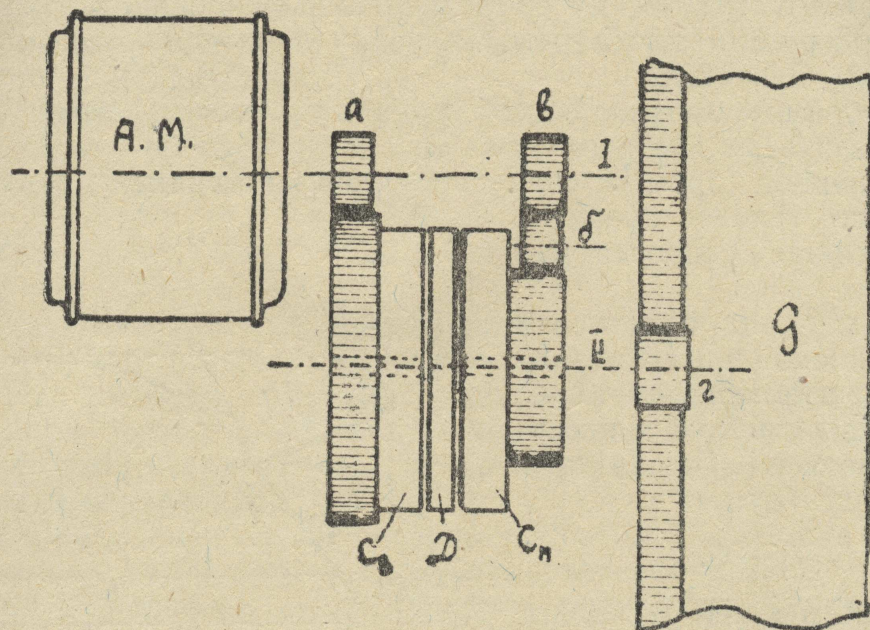


Рис. 1.

При использовании выведенных ниже уравнений для решения конкретных задач необходимо учитывать, при определении „приведенных“ величин, что значение передаточного числа при ходе „вперед“ и при ходе „назад“ может быть различно.

ПУСКОВОЙ ПРОЦЕСС ПРИВОДА С ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ МУФТОЙ ТРЕНИЯ

До включения муфты электродвигатель работает вхолостую, вращаясь с угловой скоростью ω_1 , и преодолевает момент M_1 — статический момент сопротивлений вращению вала двигателя элементов с ним связанных, т. е. всей нереверсируемой части привода. Сердечники — левый C_B и правый C_H , связанные с валом двигателя, непрерывно вращаются в разные стороны. Диск D , жестко связанный с валом II, неподвижен.

После включения намагничивающей катушки одного из сердечников муфты, например C_B , диск D притягивается к вращающемуся сердечнику, за счет трения раскручивается и приводит во вращение рабочий вал (II) привода.

Вначале угловая скорость ω_D диска меньше скорости ω_{CB} сердечника C_B и, следовательно, имеет место проскальзывание диска относительно сердечника, при этом между ними возникает момент трения M_{TD} . Этот момент, нагружая двигатель, вызывает уменьшение скорости последнего по мере расходования кинетической энергии вращающихся масс нереверсируемой части привода, а, следовательно, вызывает также уменьшение

скорости сердечника ω_{CB} . Когда убывающая скорость ω_{CB} сердечника и возрастающая скорость ω_D диска достигнут одинакового значения, проскальзывание между диском и сердечником прекратится, т. е. произойдет жесткое сцепление муфты.

После жесткого сцепления муфты, когда исчезнет момент трения M_{TD} , двигатель начнет увеличивать скорость до величины, соответствующей общему моменту статических сопротивлений вращению реверсируемой и нереверсируемой частей привода, т. е. в конце разгона

$$M_{\text{об}} = M_1 + M_2,$$

где M_2 — момент статических сопротивлений вращению элементов, связанных с валом диска (реверсируемая часть привода), приведенный к валу двигателя.

Таким образом процесс пуска привода с электромагнитной муфтой можно разделить на два периода.

Первый период (процесс сцепления) занимает время t_1 (рис. 2), в течение которого угловая скорость ω_D диска меньше скорости ω_{CB} сердечника.

Второй период, с момента полного сцепления муфты до конца разгона, занимает время t_2 , при этом скорость диска и сердечника одинаковы. Общая продолжительность пуска

$$t_n = t_1 + t_2.$$

В первый период пускового режима, соответствующий времени t_1 , уравнение движения для вала двигателя будет иметь вид

$$M_{\text{об}} = (M_1 + M_T) + J_1 \frac{d\omega}{dt}, \quad (1)$$

где ω — угловая скорость двигателя;

M_T — момент трения на муфте (между диском и сердечником), приведенный к валу двигателя;

J_1 — момент инерции частей, непрерывно вращающихся вместе с двигателем (нереверсируемой части привода), приведенный к валу двигателя.

В этот же первый период пускового режима для вала диска, когда он разгоняется за счет трения между диском и сердечником, уравнение движения будет:

$$M_T = M_2 + J_2 \frac{d\omega'_D}{dt}, \quad (2)$$

где ω'_D — угловая скорость диска, приведенная к валу двигателя;

J_2 — момент инерции части привода, связанной с валом диска (реверсируемая часть привода), приведенный к валу двигателя.

Во второй период пускового режима в течение времени t_2 , когда диск и сердечник, сцепленные жестко, вращаются с одинаковой скоростью, будет общее для вала двигателя и для вала диска уравнение движения

$$M_{\text{об}} = (M_1 + M_2) + (J_1 + J_2) \frac{d\omega}{dt}. \quad (3)$$

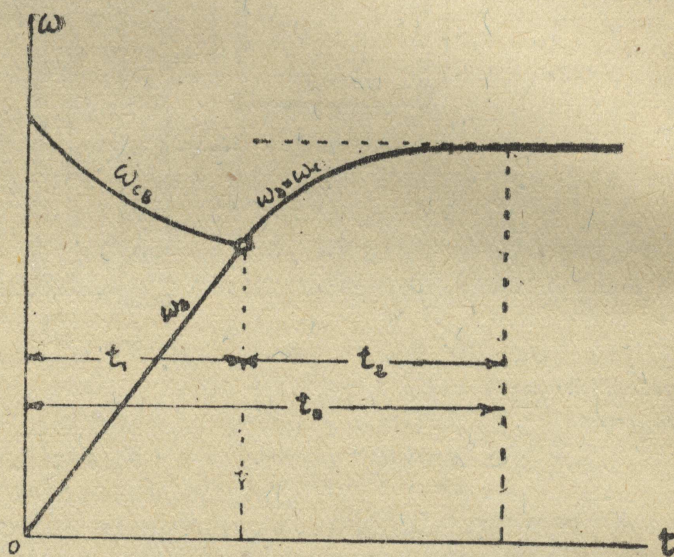


Рис. 2.

Величины статических моментов сопротивлений вращению, т. е. M_1 и M_2 , а также значение моментов инерции J_1 и J_2 , входящие в уравнения движения, можно считать постоянными.

Закон изменения $M_{дв}$ в зависимости от скорости вращения или от скольжения s для трехфазного асинхронного двигателя можно выразить известным уравнением Клосса

$$M_{дв} = \frac{2M_{опр}}{\frac{s_{опр}}{s} + \frac{s}{s_{опр}}}; \quad (4)$$

но применение этого уравнения чрезмерно усложняет решение дифференциальных уравнений движения.

В приводе с электромагнитной муфтой, когда нагрузка двигателя не выходит за пределы рабочей части характеристики $M_{дв} = \varphi(s)$, вполне можно ограничиться уравнением

$$M_{дв} = 0,9 \frac{M_H}{s_H} \cdot s = A \cdot s, \quad (5)^1$$

где M_H — номинальный момент двигателя;

s_H — скольжение при номинальном режиме.

Что касается момента M_T , обусловленного трением между диском и сердечником при проскальзывании, то он зависит от силы тока в намагничивающей катушке сердечника и от коэффициента трения между поверхностями диска и сердечника.

На рис. 3 приведена кривая нарастания тока в катушке сердечника после включения. Замедленное нарастание тока обусловлено самоиндукцией катушки и наличием токов Фуко в сердечнике. Точка a соответ-

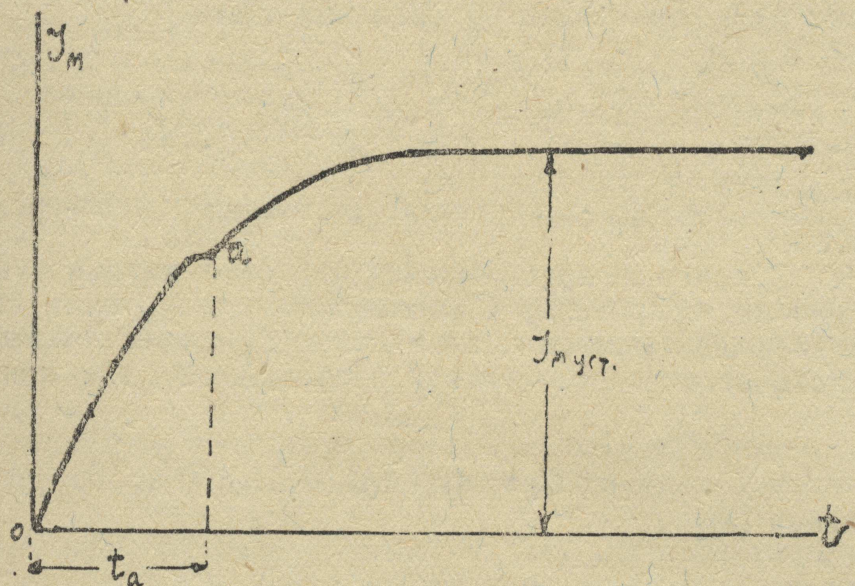


Рис. 3.

ствует началу трения между диском и сердечником, т. е. диск прижимается к сердечнику не сразу после включения намагничивающей катушки, а через промежуток времени t_a . За время t_a сила тока в катушке, а следовательно, и магнитный поток, достигает значительной величины, близкой к максимальному значению и после соприкосновения диска с сердечником,

¹⁾ Филиппов М. Ф.—Об уравнении характеристики $M=\varphi(s)$ трехфазного асинхронного двигателя. Изв. ТИИ. т. 59, вып. II, 1941 г.

продолжая расти, быстро принимает установившееся значение. Таким образом, крутящий момент муфты M_T почти в течение всего процесса сцепления имеет установившееся значение и с достаточной для практики точностью его можно считать постоянным и равным максимальному моменту муфты, тем более, что в настоящее время в электромагнитных муфтах применяется форсировка возбуждения.

При этом, конечно, подразумевается, что напряжение, питающее катушку сердечника, и состояние трущихся поверхностей не меняются в процессе сцепления, что в действительности имеет место при нормальной эксплуатации муфты.

После подстановки значения крутящего момента двигателя из уравнения (5) в уравнение (1) получим

$$A s = (M_1 + M_T) + J_1 \frac{d\omega}{dt}. \quad (6)$$

Уравнение движения удобнее выразить через скольжение, т. к. скольжение выражает относительное изменение скорости вращения и, следовательно, может относиться к любому валу кинематической схемы привода. Из выражения

$$s = \frac{\omega_s - \omega}{\omega_s},$$

найдем

$$-\frac{d\omega}{dt} = -\omega_s \frac{ds}{dt}. \quad (7)$$

Следовательно, уравнение (6) можно представить в виде

$$A s = (M_1 + M_T) - J_1 \omega_s \frac{ds}{dt}. \quad (8)$$

Решение этого дифференциального уравнения дает

$$s = C_1 e^{-\frac{t}{T_{\kappa_1}}} + \frac{(M_1 + M_T)}{A}, \quad (9)$$

где $T_{\kappa_1} = \frac{J_1 \omega_s}{A}$ — электромеханическая постоянная нереверсивной части привода, вращающейся при разомкнутой муфте.

Постоянную интегрирования C_1 легко найти, зная, что в начальный момент, перед включением муфты, скольжение двигателя обусловлено только моментом статических сопротивлений вращению M_1 , т. е. при $t=0$ имеем

$$s = s_1$$

и

$$C_1 = A s_1 - (M_1 + M_T);$$

но из уравнения (5)

$$s_1 = \frac{M_1}{A},$$

тогда

$$C_1 = -M_T.$$

Следовательно, скольжение двигателя в первый период пускового режима, т. е. в процессе сцепления, изменяется согласно уравнению

$$s_t = \frac{M_1 + M_T - M_T \cdot e^{-\frac{t}{T_{\kappa_1}}}}{A} = \frac{M_T (1 - e^{-\frac{t}{T_{\kappa_1}}}) + M_1}{A}. \quad (10)$$

Крутящий момент двигателя за этот же период будет выражаться уравнением

$$M_{\text{дв}} = A s_I = M_T (1 - e^{-\frac{t}{T_{к1}}}) + M_1. \quad (11)$$

Полученные уравнения дают возможность построить кривую изменения скольжения двигателя или крутящего момента его в первый период пускового режима, т. е. за период времени от 0 до t_1 .

Что касается вала диска, то он в это время вращается со скоростью, отличной от скорости сердечника, связанного с двигателем, и уравнение движения вала диска в этом случае из уравнений (2) и (7) представится в виде:

$$M_T = M_2 - J_2 \omega_s \frac{ds_D}{dt}; \quad (12)$$

решение этого уравнения дает

$$s_D = \frac{M_2 - M_T}{j_2 \omega_s} t + C_2. \quad (13)$$

В начальный момент пуска диск неподвижен, т. е. при $t=0$ имеем $s_D=1$ и, следовательно, постоянная интегрирования $C_2=1$.

Таким образом, уравнение для определения скольжения диска в первый период разгона до полного сцепления муфты представится в виде:

$$s_{DI} = 1 - \frac{M_T - M_2}{j_2 \omega_s} t. \quad (14)$$

Изменение скольжения двигателя по уравнению (10) представлено на рис. 4 (кривая ak). Изменение скольжения диска по уравнению (14) изображает прямая mn . За недостатком места пересечение этой прямой с осью ординат при значении $s=1$ не показано.

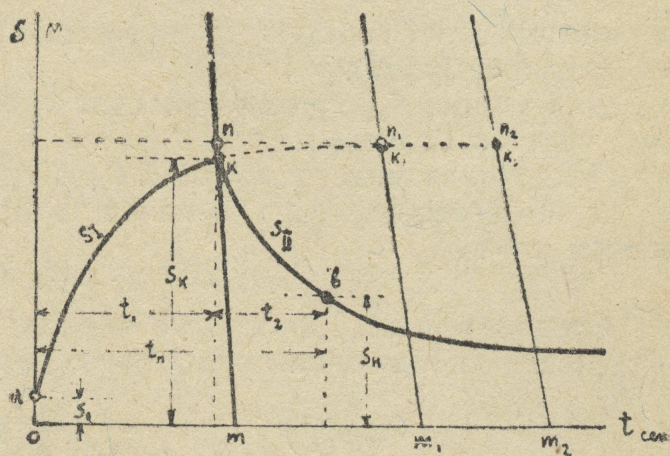


Рис. 4.

Первый период пускового режима (процесс сцепления) закончится, когда скольжение диска и двигателя будут одинаковы, что соответствует точке k , которую находим графически, как точку пересечения кривой ak и прямой mn .

Абсцисса точки k указывает продолжительность процесса сцепления, а ее ордината—скольжение двигателя и диска в момент жесткого сцепления муфты.

Совместное решение уравнений (10) и (14) для аналитического определения t_1 s_k , не представляется возможным, но t_1 может быть вычислено с очень большой точностью, как абсцисса точки n , т. е. точки пересечения прямой mn с асимптотой кривой ak . На рис. 4 кроме прямой mn приведены прямые $n_1 m_1$ и $n_2 m_2$, изображающие изменение скольжения диска при различных значениях момента энергии J_2 .

Как видно из рисунка, когда кривая ak удалена от асимптоты, прямая mn имеет очень малый наклон, и проекция точки n на ось абсцисс почти совпадает с проекцией точки k . Когда же прямая mn становится заметно наклонной, кривая ak практически совмещается со своей асимптотой nn_2 и точки n и k совпадают.

Уравнение асимптоты nn_2 легко получить из уравнения (10) при $t = \infty$:

$$s_{ac} = \frac{M_1 + M_T}{A}. \quad (15)$$

Решая совместно уравнения (14) и (15), найдем

$$t_1 = \frac{J_2 \omega_s}{M_T - M_2} \left(1 - \frac{M_1 + M_T}{A} \right); \quad (16)$$

подставив полученное значение t_1 в уравнение (10), найдем значение s_k .

Для второго периода пускового режима из уравнений (3), (5) и (7) получим

$$As = (M_1 + M_2) - (J_1 + J_2) \omega_s \frac{ds}{dt}; \quad (17)$$

решение этого уравнения дает

$$s = \frac{C_3 e^{-\frac{t}{T_{k_2}}} + (M_1 + M_2)}{A}, \quad (18)$$

где

$$T_{k_2} = \frac{(J_1 + J_2) \omega_s}{A} \quad (19)$$

и представляет общую электромеханическую постоянную привода (при сцепленной муфте).

Для упрощения уравнений счет времени для первого и второго периодов ведется отдельно.

Постоянная интегрирования C_3 в уравнении (18) определится, если принять во внимание, что в начале второго периода пуска, т. е. при $t = 0$, имеем $s = s_k$

$$C_3 = As_k - (M_1 + M_2) = M_k - (M_1 + M_2).$$

Следовательно, во второй период разгона привода уравнение для определения скольжения представится в виде:

$$s_{II} = \frac{[M_k - (M_1 + M_2)] \cdot e^{-\frac{t}{T_{k_2}}} + (M_1 + M_2)}{A}; \quad (20)$$

соответственно крутящий момент двигателя в этот же период выразится уравнением

$$M_{dII} [M_k - (M_1 + M_2)] \cdot e^{-\frac{t}{T_{k_2}}} + (M_1 + M_2); \quad (21)$$

s_k , а следовательно, и M_k может быть найдено графически, как ордината точки k (рис. 4) или — аналитически из уравнения (10) при $t = t_1$, т. е.

$$s_k = \frac{M_T (1 - e^{-\frac{t_1}{T_{k_1}}}) + M_1}{A}; \quad (22)$$

t_1 находим из уравнения (16).

На рис. 4 уравнение (20) представлено в виде кривой kv .

Продолжительность второго периода разгона t_2 также может быть определена графически и аналитически, причем здесь может быть три случая.

Первый случай. Если сумма статических моментов сопротивлений вращению меньше номинального момента двигателя, т. е.

$$M_1 + M_2 < M_n,$$

то разгон следует считать закончившимся при достижении ДЕЙСТВИТЕЛЬНО скольжения, соответствующего номинальному крутящему моменту двигателя, что на рис. 4 соответствует точке *b*. Принимая в уравнении (21) $t = t_2$, $M_{\text{дв}} = M_H$ и решая его относительно t_2 , получим

$$t_2 = T_k \ln \frac{M_k - (M_1 + M_2)}{M_H - (M_1 + M_2)}. \quad (23a)$$

Во втором случае, когда $M_1 + M_2 > M_H$, установившееся движение теоретически наступит, как показывает уравнение (20), через бесконечно большой промежуток времени; скольжение асимптотически стремится к величине

$$s_H = \frac{M_1 + M_2}{A}.$$

Практически разгон можно считать закончившимся, когда показатель степени в уравнении (20) достигнет значения

$$\frac{t}{T_{k_2}} = 3 \text{ т. е. } t_2 = 3T_{k_2}. \quad (23b)$$

Третий случай возможен, когда в целях сокращения времени всего цикла работы привода начинают рабочий режим, не ожидая конца разгона привода на холостом ходу, и сумма всех статических моментов при рабочем режиме больше номинального момента двигателя, т. е.

$$M_1 + M_2 + M_c > M_H,$$

где M_c — полезный рабочий статический момент.

Если рабочий режим начать при скольжении, соответствующем крутящему моменту двигателя

$$M_{\text{дв}} = M_1 + M_2 + M_c,$$

то продолжительность второго периода будет

$$t_2 = T_{k_2} \ln \frac{M_k - (M_1 + M_2)}{M_c}. \quad (23c)$$

Общая продолжительность пуска привода с фрикционной электромагнитной муфтой

$$t_n = t_1 + t_2.$$

• УРАВНЕНИЯ РЕЖИМА РЕВЕРСИРОВАНИЯ

Процесс реверсирования привода с фрикционной электромагнитной муфтой можно разделить на три периода, с отдельными уравнениями движения для каждого из них (рис. 5).

В течение периода торможения (время t_T) вал диска тормозится до полной остановки за счет крутящего момента от трения между диском и сердечником и затем в течение времени t_1 разгоняется за счет этого же момента до скорости, при которой происходит жесткое сцепление муфты. Следовательно, в период торможения в первый период разгона имеет место проскальзывание диска относительно сердечника муфты, при этом двигатель замедляет скорость вращения. После жесткого сцепления муфты двигатель снова разгоняется.

В период торможения уравнение двигателя для вала диска представится в виде:

$$M_T + M_2 = J_2 \frac{d\omega'_D}{dt}$$

или

$$M_T + M_2 = -J_2 \omega_s \frac{ds_D}{dt}; \quad (24)$$

решение этого уравнения дает

$$s_{DT} = C_4 - \frac{(M_T + M_2)}{J_2 \omega_s} t. \quad (25)$$

Перед началом торможения диск вращался со скоростью ω_{D_2} , после включения муфты на реверс диск прижимается к другому сердечнику, и если передаточные числа от сердечников к валу двигателя неодинаковы, то скольжение s_{D_2} диска по отношению к новой синхронной скорости сердечника, вращающегося в обратную сторону, может быть определено из уравнения

$$s_{D_2} = \frac{\omega_s + \frac{\omega_{D_2}}{i}}{\omega_s}, \quad (26)$$

где i — передаточное число от вала двигателя к сердечнику муфты, вступающему в работу при реверсировании (торможении).

Следует твердо помнить, что при переходе на работу другого сердечника необходимо изменить приведенные значения M_T , M_2 и J_2 в соответствии с новым передаточным числом, а следовательно, и изменится величина электромеханической постоянной T_{k_2} .

Постоянную интегрирования C_4 в уравнении (25) найдем, зная, что в начальный момент торможения, т. е. при $t=0$, $s_D = s_{D_2}$; следовательно $C_4 = s_{D_2}$ и уравнение скольжения для вала диска в период торможения представится в виде:

$$s_{DT} = s_{D_2} - \frac{M_T + M_2}{J_2 \omega_s} t. \quad (27)$$

Уравнение скольжения диска при разгоне от неподвижного состояния до скорости, соответствующей жесткому сцеплению муфты, было найдено ранее

$$s_{DI} = 1 - \frac{M_T - M_2}{J_2 \omega_s} t. \quad (14)$$

Счет времени для каждого периода ведется отдельно. На рис. 6 изменение скольжения диска по уравнению (27) представлено в виде прямой qr , а по уравнению (14) в виде прямой pt .

Что касается двигателя, то скорость его в процессе торможения и разгона диска в обратную сторону до жесткого сцепления муфты убы-

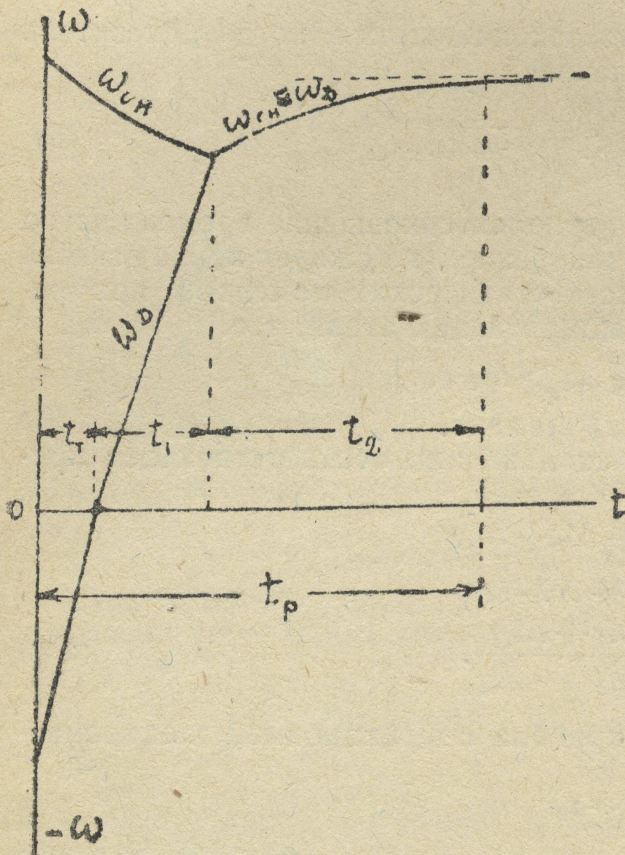


Рис. 5.

вает. Уравнение для определения скольжения двигателя аналогично уравнению (9) и имеет вид:

$$s = \frac{Cs \cdot e^{-\frac{t}{T_{k_1}}} + (M_1 + M_T)}{A}$$

Постоянную C_5 найдем из условия, что перед реверсированием скольжение двигателя определялось суммой статических моментов сопротивления вращению, т. е. при $t=0$ имеем

$$s = s_2 = \frac{M_1 + M_2}{A},$$

тогда

$$C_5 = M_2 - M_T$$

и уравнение скольжения двигателя, охватывающее период торможения и разгон в процессе сцепления, будет

$$s_I = \frac{(M_T + M_1) - (M_T - M_2) \cdot e^{-\frac{t}{T_{k_1}}}}{A} \quad (28)$$

Кривая, выраженная уравнением (28), представлена на рис. 6 в виде кривой ak . Счет времени в уравнении (28) общий для периода торможения и разгона диска до жесткого сцепления муфты.

Крутящий момент двигателя в процессе сцепления муфты при реверсировании будет изменяться по уравнению

$$M_{\text{дв}} = (M_T + M_1) - (M_T - M_2) \cdot e^{-\frac{t}{T_{k_1}}} \quad (28a)$$

Продолжительность торможения t_T найдем из уравнения (27), подставив значение скольжения в конце торможения $s_{D_1} = 1$, т. е.

$$t_T = (s_{D_2} - 1) \frac{J_2 \omega_s}{M_T + M_2} \quad (29)$$

Общая продолжительность процесса сцепления муфты представится абсциссой точки k .

Как и в случае пускового режима, можно допустить, что абсциссы точек k и n практически равны, и тогда, используя уравнение асимптоты кривой ak и уравнение (14), найдем

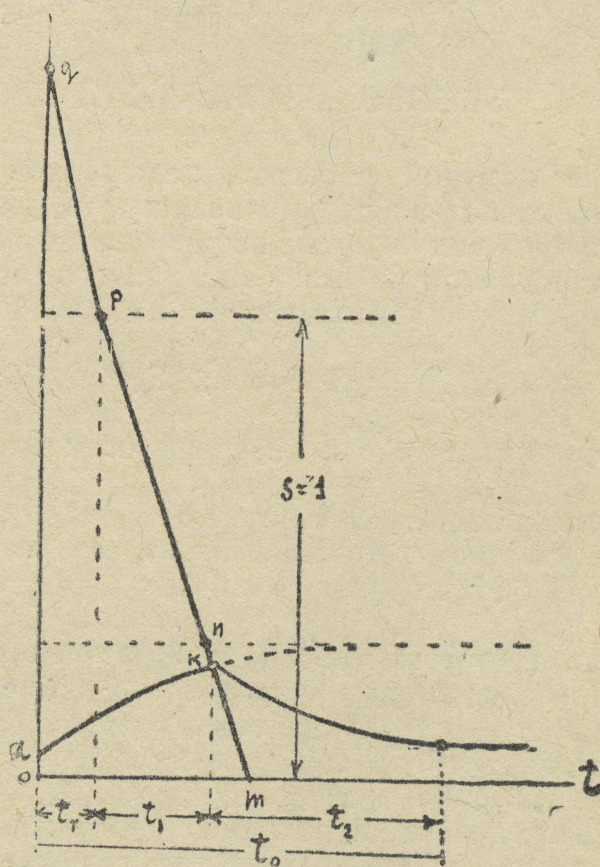


Рис. 6.

$$\frac{M_1 + M_T}{A} = 1 - \frac{M_T - M_2}{J_2 \omega_s} (t_k - t_T),$$

откуда

$$t_k = t_T + \left(1 - \frac{M_1 + M_T}{A} \right) \frac{J_2 \omega_s}{M_T - M_2} \quad (30)$$

Продолжительность разгона диска до конца процесса сцепления

$$t_1 = t_k - t_T = \left(1 - \frac{M_1 + M_T}{A} \right) \frac{J_2 \omega_s}{M_T - M_2}. \quad (31)$$

Для третьего периода реверсирования привода, т. е. при разгоне после жесткого сцепления муфты, уравнение движения было дано ранее (уравнение 17), решение которого представится в виде:

$$S_{II} = \frac{[M_k - (M_1 + M_2)] \cdot e^{-\frac{t}{T_{k_2}}} + (M_1 + M_2)}{A}. \quad (20)$$

Крутящий момент двигателя в этот же период определяется уравнением (21). Значения s_k и M_k при реверсировании находятся из уравнений (28) и (28а) после подстановки в них значения $t = t_k$, определяемого из уравнения (30), или определяются графическим построением, как ординаты, соответствующие точке k .

При определении продолжительности разгона после жесткого сцепления муфты при реверсировании следует принимать во внимание соображения, высказанные относительно уравнений (23а), (23в) и (23с).

Общая продолжительность реверсирования

$$t_p = t_k + t_2 = t_T + t_1 + t_2.$$

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ПРОВЕРКА УРАВНЕНИЙ

Для опытной проверки результатов данной работы была применена электромагнитная фрикционная муфта прямого действия (нереверсивная).

Общий вид муфты изображен на рис. 7. Сердечник муфты укреплен тугой посадкой на валу трехфазного асинхронного двигателя. Двигатель имеет следующие данные:

$$M_H = 2,25 \text{ кгм}; \quad S_H = 0,053; \quad \omega_s = 105; \quad \lambda = 2,44.$$

При опытах были получены осциллограммы пускового режима (рис. 8 и 9) $\omega = f(t)$.

Колебания, накладывающиеся на основную кривую, обусловлены тем, что в качестве тахометрического генератора применялся двигатель УМ—21 и его зубцовые поля вызвали дополнительные колебания шлейфа осциллографа.

Осциллограммы (рис. 8 и 9) отчетливо показывают наличие двух характерных периодов в пусковом режиме, и что ни одним из этих периодов при определении продолжительности переходного режима пренебрегать нельзя, как это допущено в последнем (1938 г.) издании книги проф. С. А. Ринкевича „Теория электропривода“ и в работе Т. Н. Соколова „Аналитическое исследование переходных процессов в приводах с электромагнитными муфтами“, опубликованной в трудах Ленинградского индустриального института за 1938 г. № 2.

На рис. 9 приведена осциллограмма пускового режима при характеристике двигателя, смягченной добавочным сопротивлением в роторе. Из последней осциллограммы видно, что характеристика двигателя в сильной степени влияет на характер и продолжительность переходного процесса. Чем мягче характеристика двигателя, тем раньше наступает полное сцепление муфты, но общая продолжительность переходного процесса увеличивается.

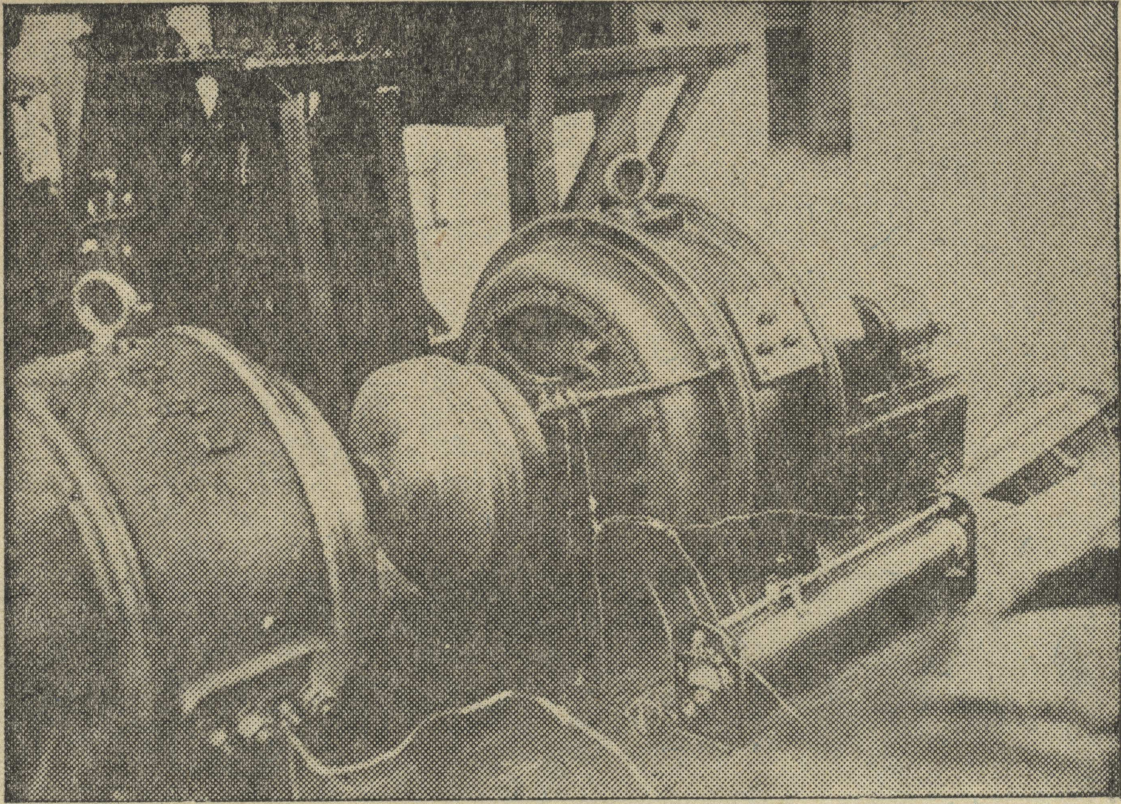


Рис. 7.

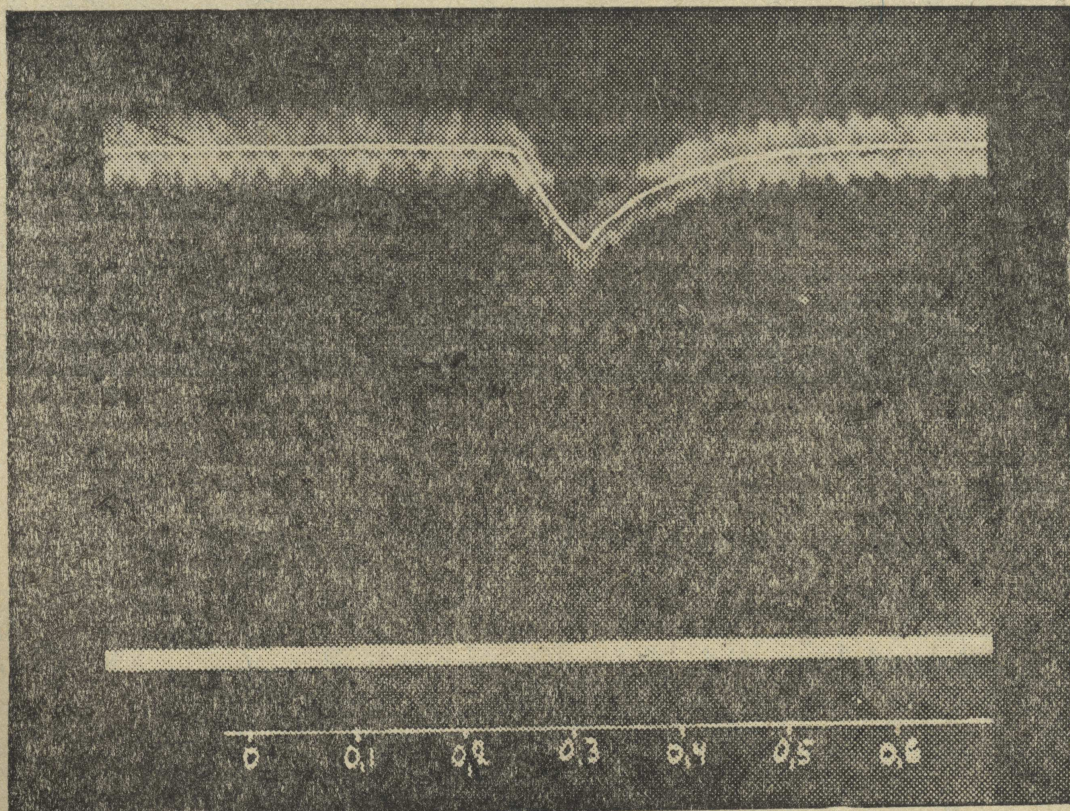


Рис. 8.

Чтобы убедиться, отражают ли выведенные выше уравнения действительную картину переходных процессов, определим продолжительность отдельных периодов пускового режима муфты по уравнениям (16) и (23в).

Для опытной установки имеются следующие данные:

$$M_T = 7,0 \text{ кгм}; \quad M_1 = 0,21 \text{ кгм}; \quad M_2 = 0,29 \text{ кгм};$$

$$J_1 = 0,021 \text{ кгм сек}^2; \quad J_2 = 0,007 \text{ кгм сек}^2.$$

Следовательно,

$$A = 0,9 \frac{M_H}{S_H} = 0,9 \frac{2,25}{0,053} = 38,2;$$

$$T_{k_1} = \frac{J_1 \omega_s}{A} = \frac{0,021 \cdot 105}{38,2} = 0,058;$$

$$T_{k_2} = \frac{(J_1 + J_2) \omega_s}{A} = \frac{0,028}{38,2} = 0,0765.$$

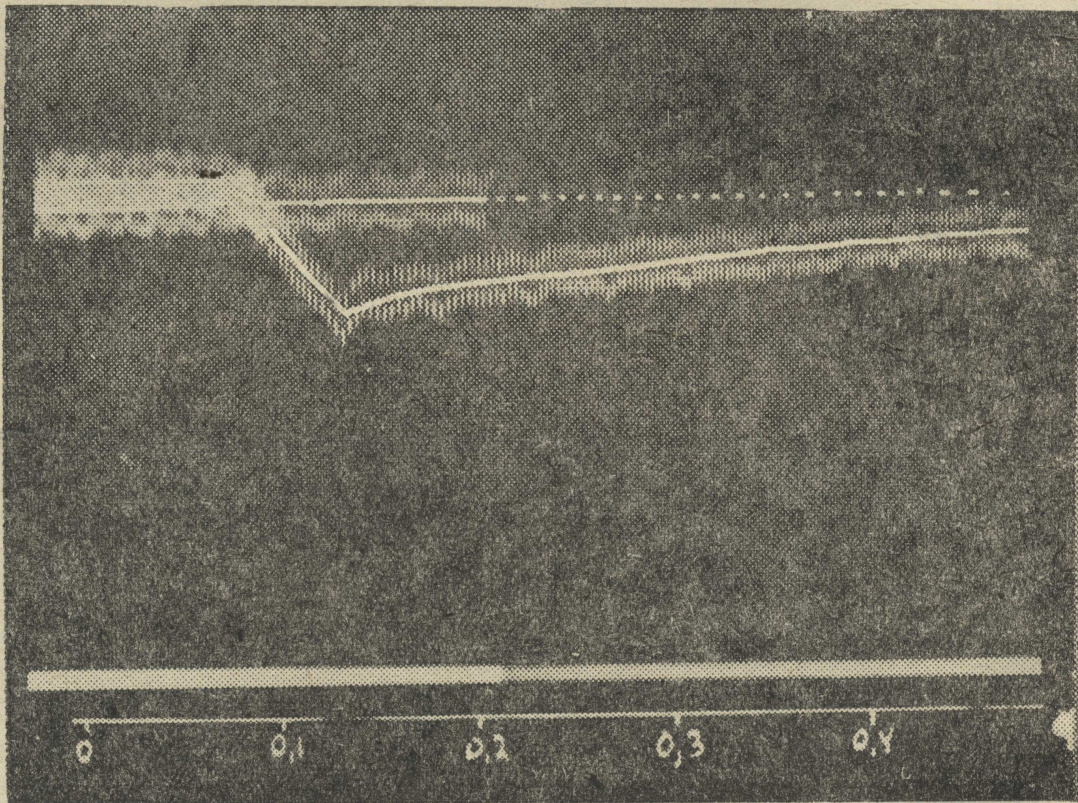


Рис. 9.

Подставив заданные значения в уравнения (16) и (23в), получим

$$t_1 = \frac{J_2 \omega_s}{M_T - M_2} \left(1 - \frac{M_1 + M_T}{A} \right) = \frac{0,007 \cdot 105}{7,8 - 0,29} \cdot \left(1 - \frac{0,21 + 7,8}{38,2} \right) = 0,077 \text{ сек.}$$

$$t_2 = 3T_{k_2} = 3 \cdot 0,0765 = 0,23 \text{ сек.}$$

Полученные результаты мало отличны от опытных (осциллограмма рис. 8).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Подводя итоги, можно сделать следующие выводы:

1. Переходные режимы (пуск, реверсирование) в приводе с электромагнитной муфтой состоят из двух характерных периодов (процесс сцепления и разгон после сцепления) и при определении продолжительности переходных режимов следует в одинаковой степени учитывать оба периода, а не пренебрегать одним из них, как это имело место до сих пор.

2. На характер и продолжительность переходных режимов имеет огромное влияние характеристики двигателя, что в существующих методах определения продолжительности переходных режимов совсем не учитывалось или учитывалось в недостаточной степени.

3. Предложенные в данной работе уравнения, отражающие правильно физическую сторону явлений переходных режимов, дают результаты незначительно отличающиеся от действительных.

4. До сих пор не был решен вопрос о характере нагрузки двигателя во время переходных режимов в приводе с электромагнитной муфтой. Полученные в данной работе уравнения с достаточной для практики точностью дают возможность построить кривую нагрузки двигателя, что имеет очень важное значение в приводах с малой продолжительностью цикла.

5. Полученные аналитические выражения переходных режимов открывают возможность в каждом отдельном случае правильно решить вопрос о рациональном выборе параметров двигателя и муфты.